

Magyarország célba ér



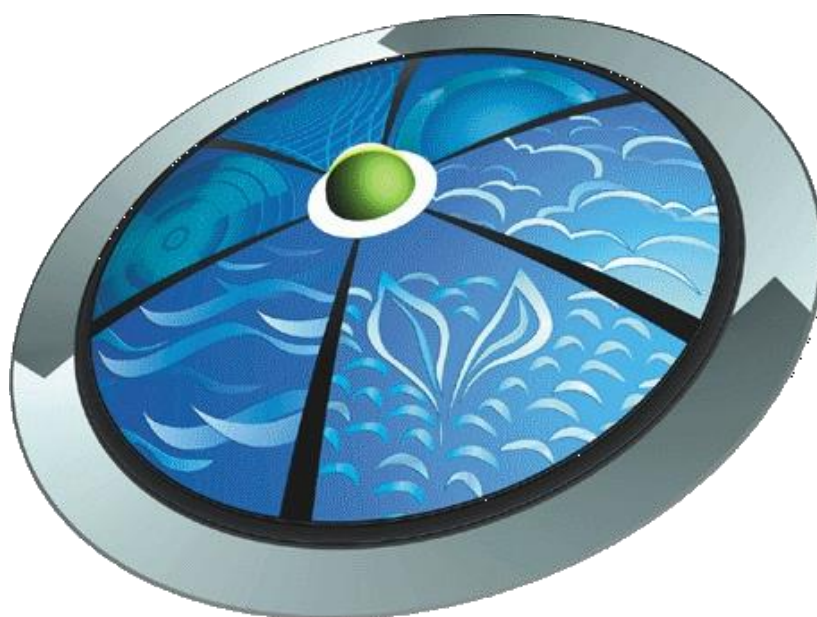
Készült

a HEFOP 3.3.1-P.-2004-0900152/1.0 azonosítójú
„A Felsőoktatás szerkezeti és tartalmi fejlesztése”
című pályázat keretében.

Konzorciumvezető: Pannon Egyetem



Környezetmérnöki Tudástár Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre



12. kötet

Hulladékgazdálkodás

Szerkesztő: Dr. Csőke Barnabás

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet



Környezetmérnöki Tudástár

Sorozat szerkesztő: Dr. Domokos Endre

12. kötet

Hulladékgazdálkodás

Szerkesztő: Dr. Csőke Barnabás

Szerzők:

Bodnár Ildikó

CsőkeBarnabás

Halász János

Hári László

Molnár Károly

Nagy Géza

Nagy Géza

Örvös Mária

Rózsáné Szűcs Beatrix

Simon Miklós

Simon Miklós

Szabó Imre

Szakácsné Földényi Rita

ISBN: 978-615-5044-37-3

2. javított kiadás – 2011

Első kiadás: 2008

Veszprém

Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet

Környezetmérnöki Tudástár

eddig megjelent kötetei

01. Környezetföldtan
02. Környezetgazdálkodás
03. Talajvédelem, talajtan
04. Egészségvédelem
05. Környezeti analitika
06. Környezetvédelmi műszaki technológiák, technológiai rendszerek modellezése, ipari technológiák és szennyezéseik
07. Környezettan
08. Földünk állapota
09. Környezeti kémia
10. Vízgazdálkodás-Szennyvíztisztítás
11. Levegőtisztaság-védelem
12. Hulladékgazdálkodás
13. Zaj- és rezgésvédelem
14. Sugárvédelem
15. Természet- és tájvédelem
16. Környezetinformatika
17. Környezetállapot-értékelés, Magyarország környezeti állapota, monitorozás
18. Környezetmenedzsment rendszerek
19. Hulladékgazdálkodás II.
20. Környezetmenedzsment és a környezetjog
21. Környezetvédelmi energetika
22. Transzportfolyamatok a környezetvédelemben
23. Környezetinformatika II.
24. Talajtan és talajökológia
25. Rezgési spektroszkópia

Felhasználási feltételek:

Az anyag a Creative Commons „Nevezd meg!-Ne add el!-Így add tovább!” 2.5 Magyarország Licenc feltételeinek megfelelően szabadon felhasználható.



Nevezd meg! — A szerző vagy a jogosult által meghatározott módon fel kell tüntetned a műhöz kapcsolódó információkat (pl. a szerző nevét vagy álnévét, a Mű címét).



Ne add el! — Ezt a művet nem használhatod fel kereskedelmi célokra.



Így add tovább! — Ha megváltoztatod, átalakítod, feldolgozod ezt a művet, az így létrejött alkotást csak a jelenlegivel megegyező licenc alatt terjesztheted.

További felhasználás esetén feltétlenül hivatkozni kell arra, hogy

"Az anyag a HEFOP 3.3.1-P.-2004-0900152/1.0 téma keretében készült a Pannon Egyetemen."

Részletes információk a következő címen találhatóak:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/hu/>

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	5
1 Bevezetés-Előszó.....	14
2 Környezeti problémák társadalmi összefüggései.....	18
2.1 Környezetvédelmi kulcsterületek.....	18
2.2 Környezetvédelmi kihívások és feladatok.....	21
Irodalomjegyzék.....	25
3 Hulladék.....	26
3.1 Hulladékfajták, a termelési és fogyasztási hulladékok.....	26
3.1.1 A hulladékok csoportosítása.....	28
A települési szilárd hulladék.....	29
A települési folyékony hulladék.....	30
Az inert hulladék.....	30
A biológiailag lebontható hulladék.....	30
3.1.2 A hulladékok környezeti hatásai.....	31
A talaj, talajvíz (felszín alatti vizek) és felszíni vizek szennyeződése.....	31
A levegő szennyeződése.....	32
Fertőzésveszély.....	32
A rovarok és rágcsálók elterjedése.....	32
A környezet elszennyeződésének esztétikai jelentősége.....	32
3.2 Hulladékkezelési modellek.....	33
3.2.1 A gazdasági folyamatokban keletkező hulladék fenntartható kezelése.....	33
Technológia:.....	35
Konstrukció (bontható szerkezetek):.....	35
Anyaghelyettesítés:.....	36
3.2.2 A hulladékkezelés alapmodelljei.....	36
Hagyományos folyamat-modell („Nyitott rendszer”):.....	36
„Zárt rendszer”, mint modern folyamat modell:.....	36
3.2.3 A hulladékkezelés környezetbarát modellje.....	37
3.3 A fenntartható fejlődést szolgáló, hulladék-megelőzést ill. minimalizálást elsegítő módszerek, irányzatok.....	38
3.3.1 Technológiába integrált megelőző környezetvédelem.....	38
3.3.2 A hulladékminimalizálását szolgáló irányzatok.....	41
3.3.3 Integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás (IPPC).....	43

3.3.4	Az életciklus-elemzés (LCA=Life Cycle Assessment)	44
	Szabványos fogalmak:	44
3.4	Környezetközpontú irányítási rendszerek (KIR, KMR)	45
3.4.1	Az ISO 14001 céljai és eszközei	46
3.4.2	Az EMAS rendelet	47
3.5	Hulladékgazdálkodási tervek	48
	Országos Hulladékgazdálkodási Terv	49
	Területi hulladékgazdálkodási terv	50
	Megyei hulladékgazdálkodási terv	50
	Helyi hulladékgazdálkodási terv	51
	Egyedi hulladékgazdálkodási terv	51
	Irodalomjegyzék	52
4	Hulladékok gyűjtése, átrakása, szállítása	53
4.1	Hulladékok gyűjtése, begyűjtése	53
4.1.1	Hulladékok gyűjtése	53
	Hulladékgyűjtés eszközei	53
	Hulladék gyűjtőhelyek, tárolók kialakítása	55
4.1.2	Szelektív hulladékgyűjtés követelményei és módszerei	57
	Házon (telken) belüli gyűjtőhelyek	59
	Közterületi hulladékgyűjtő szigetek	60
	Hulladékgyűjtő udvarok	63
	Mobil akciószerű hulladékgyűjtés	68
	Kereskedelmi egységekben történő hulladékvétel	68
	Szelektív hulladékgyűjtés bevezetésének eszközei	68
4.1.3	Települési folyékony hulladékok gyűjtése	70
4.1.4	Termelési veszélyes hulladékok gyűjtése	71
4.2	Gyűjtési-szállítási rendszerek	72
4.3	Hulladékok gyűjtésének és szállításának eszközei	75
4.3.1	Települési hulladékok gyűjtése és szállítása	75
	Szilárd hulladékot szállító járművek és berendezések	75
	Folyékony hulladékot gyűjtő és szállító járművek és berendezések	77
	Szelektív hulladékgyűjtés járművei és berendezései	78
4.3.2	Veszélyes hulladékok szállítása	79
4.3.3	Hulladékszállítás szervezése	83
4.4	Hulladékok átrakása	85
4.5	Hulladékok átmeneti tárolása	88

Felhasznált irodalom:	90
5 Hulladékkehelyezés	93
5.1 Fogalommeghatározások	93
5.2 A hulladéklerakók helykiválasztása	94
A földtani közeggel szemben támasztott kritériumok	97
A lerakó területének környezetföldtani kutatása	98
A potenciálisan számításba jövő területek vizsgálata és értékelése	99
5.3 A hulladéklerakók osztályozása, kialakítása	101
5.4 A hulladéklerakók szigetelése	104
Az aljzatszigetelő rendszer felépítésének a szabályozása	105
A hulladéklerakók lezárása, a felső záró szigetelőrendszer felépítése	107
A hulladéklerakók átmeneti záró-szigetelőrendszere	108
A hulladéklerakó végső záró-szigetelőrendszere felépítésének szabályozása	111
5.5 A csurgalékvízgyűjtő rendszer	113
5.6 A hulladéklerakó üzemeltetése	118
A hulladék beszállítási – átvételi szabályai	118
A hulladéklerakón nem ártalmatlanítható hulladékok	120
5.7 A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok	120
A hulladék konszolidációja	121
A biogázképződés	121
A hulladéklebomlási folyamat	122
Az aerob lebomlás (I. fázis)	122
A depónia-gáz összetétele, várható mennyisége	125
5.8 A gázmentesítés	128
5.9 A hulladéklerakók vízháztartása	133
5.10 A monitoring rendszer	136
5.11 Meglévő, régi lerakók rekultivációs kérdései	137
Meglévő, kombinált aljzatszigeteléssel rendelkező régi lerakók rekultivációja	138
Meglévő, műszaki védelem nélküli lerakók rekultivációja	139
A rekultivációs réteg kialakítása	140
Irodalomjegyzék	144
6 Hulladékok ártalmatlanítása	148

6.1	Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal	148
6.1.1	Égetés	149
	Rostélytüzelésű berendezések	153
	Rostély nélküli hulladékégetők (Forgódobos kemence)	155
	Égetési folyamat a kemencében	156
	Forgódobos kemence jellemzői	158
	Fluidizációs kemence	158
	Porleválasztó ciklon	165
	Elektrosztatikus leválasztó	167
	Porszűrő	169
	Nedves leválasztók	170
	Adszorberek	173
6.1.2	Pirolízis	179
6.1.3	Elgázosítás	181
6.1.4	Különleges hulladékok égetése	182
6.1.5	Egyéb eljárások	183
	Felhasznált irodalom a 6.1 fejezethez	188
6.2	Ártalmatlanítás biológiai konverzióval	189
	JELÖLÉSJEGYZÉK	189
6.2.1	A szennyezőanyagok biológiai konverziójának alapfogalmai	191
	Az anyagcsere-folyamatok szempontjából fontosabb vegyületek	193
	A mikrobiális anyagcsere típusai	195
	A katabolizmus főbb reakcióútjai	195
	A hidrolízis, mint a szilárd hulladékok lebontásának kulcsfontosságú lépése.	196
	Aerob katabolizmus	197
	Az aerob és anaerob szervesanyag-lebontás szén- és energiamérlege	197
	A mikroorganizmusok életműködését befolyásoló környezeti feltételek	197
	A baktériumok növekedése	198
	A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája	199
6.2.2	Komposztálás – aerob termofil szervesanyaglebontás	201
	A komposztálás nyersanyagai	202
	Az adalék- és segédanyagok szerepe	202
	Tápkomponensek rendelkezésre állása (C/N-arány)	202
	A környezeti tényezők hatásai a komposztálásra	203
	Nedvességtartalom	203
	Hőmérséklet	203
	Oxigénkoncentráció – a komposztálási folyamat levegőztetése	204
	Sztöchiometrikus levegőigény	205
	Szárítási levegőigény	206

A hőelvonás levegőigénye	206
Szokásos légáramok a komposztálás során	208
Prizmás komposztálási megoldások.....	209
Reaktoros komposztálás.....	211
Utóérlelés a reaktoros komposztálási lépés után.....	213
6.2.3 Az anaerob hulladékkezelés	213
Az anaerob folyamatok kinetikája	215
6.2.4 A depóniagáz keletkezése, kitermelése	222
A depóniagáz összetétele	224
A termelődő depóniagáz mennyisége	224
Depóniagáz kinyerés, kezelés	226
6.2.5 A biológiai hulladéktechnológiák összefoglaló értékelése	227
6.3 Kémiai eljárások.....	228
6.3.1 Fizikai-kémiai műveletek	228
6.3.2 Kémiai reakciók alkalmazása a hulladékok kezelése során	255
Irodalomjegyzék:	274
6.3.3 Osztályozás: méret szerint szétválasztás	275
Légosztályozók (száraz áramkészülékek).....	288
Szétválasztás komponensek fizikai tulajdonságbeli különbsége alapján: dúsítási eljárások	289
Száraz dúsítási eljárások	291
Nedves gravitációs dúsítási eljárások.....	301
Irodalom	306
7 Hulladékok feldolgozása.....	311
7.1 Szilárd települési hulladékok előkészítési technológiái.....	311
7.1.1 A szilárd települési hulladékok mennyisége, összetétele, eljárástechnikai jellemzői.....	311
Országos mennyiségi adatok	311
Budapesti elemzések adatai	313
Dél-Dunántúlra jellemző adatok	314
7.1.2 A szilárd települési hulladékok eljárástechnikai jellemzői.....	314
7.1.3 A szilárd települési hulladékok szelektív gyűjtése	320
7.1.4 Szilárd települési hulladékok előkészítése: a válogatómű kialakítása	328
7.1.5 Mechanikai biológiai stabilizálás	336
Irodalom	345
7.2 Elhasznált (roncs-) autók feldolgozása.....	347
7.2.1 Elhasznált autók mennyisége, részegységenkénti (alkatrészenkénti) szerkezeti és veszélyes anyagai	347
Részegység-, alkatrész- és anyag összetétel	347
7.2.2 Elhasznált autók bontási (előkezelés) technológiája, anyagmérlege és berendezése	349

Előkezelés-bontás	350
7.2.3 A shredderezés technológiája, anyagmérlege, berendezései	351
Irodalom	362
7.3 Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok feldolgozása	365
7.3.1 Elhasznált elektronikai, elektrotechnikai berendezések és eszközök csoportosítása, mennyisége, szerkezeti és veszélyes anyagai	365
Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok mennyisége	367
Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok anyagi összetétele	369
7.3.2 Elhasznált eszközök bontási technológiája, anyagmérlege és berendezése.....	371
Az elektronikai hulladékok feldolgozása általános folyamata	371
Bontás	373
7.3.3 Mechanikai eljárásokkal történő feldolgozás (előkészítés) technológiája, anyag-mérlege és berendezései	375
Szétválasztás komponensek fizikai tulajdonságbeli különbsége alapján: dúsítási eljárások	376
A technológiai folyamat általános kialakítása	382
Példák a különböző feladatok megoldására	384
7.3.4 Feldolgozás kohászati eljárásokkal	391
Irodalom	393
CÉG-Prospektusok	399
7.4 Hulladékakkumulátorok feldolgozása.....	401
7.4.1 A használt akkumulátorok feldolgozásának környezetvédelmi és gazdasági jelentősége	401
7.4.2 Elhasznált akkumulátorok mennyisége, szerkezeti anyagai	405
7.4.3 Mechanikai eljárásokkal történő feldolgozás (előkészítés) technológiája, anyag-mérlege és berendezései	407
7.4.4 Feldolgozás (fémkinyerés) kohászati műveletei, anyagmérlege	410
A nyersólom-előállítás (forgókemencében) anyagmérlege.....	413
Irodalom	416
7.5 Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása és hasznosítása	417
7.5.1 A keletkező hulladék gumi és műanyagok mennyiségi, minőségi jellemzése, a hasznosítás lehetőségei	418
Műanyag hulladékok típusai	419
7.5.2 Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása	421
7.5.3 Lebontható műanyagok és jelentőségük a hulladékgazdálkodásban	436
Irodalomjegyzék	449
7.6 Építési hulladékok előkészítése és hasznosítása.....	452
7.6.1 Építési hulladékfajták, mennyiségük, minőségük	452
7.6.2 A hasznosítás műszaki és alkalmazástechnikai követelményei, gazdasági és környezetvédelmi feltétele, vizsgálati módszerek műszaki	456

Az előkészítőmű helyének kiválasztása	462
7.6.3 Építési hulladékok törmelék előkészítési technológiája, alkalmazott eljárások és berendezések	464
Irodalom	470
7.7 Kohászati hulladékok előkészítése és hasznosítása	471
7.7.1 WAELZ-eljárás	471
7.7.2 PRIMUS-eljárás	473
7.7.3 OXIFINES –eljárás	477
7.7.4 CONTOP-eljárás	480
7.7.5 OXYCUP-eljárás.....	483
7.7.6 Vákuum-termikus eljárások	486
7.7.7 SCANDUST-eljárás	488
7.7.8 Hidrometallurgiai eljárások.....	491
7.7.9 EZINEX-eljárás.....	493
7.7.10 REZEDA-eljárás	498
7.7.11 FASTMET -eljárás	500
7.7.12 SL/RN-eljárás	505
7.8 A vegyipar hulladékai, kezelésük és hasznosításuk.....	508
7.8.1 A vegyipar felépítése, hulladékai	508
7.8.2 A hasznosítás műszaki és környezetvédelmi feltétele, vizsgálati módszerek.....	514
7.8.3 A vegyipari hulladékok feldolgozása és hasznosítása	520
1. Szerves kémiai alapanyagok gyártása és hulladékai	520
2. Szervetlen kémiai alapanyagok gyártása és hulladékai	521
3. Foszfor, nitrogén, kálium alapú műtrágyák gyártása és hulladékai	524
4. Növényvédőszer gyártása és hulladékai.....	526
5. Gyógyszeripar és hulladékai	527
6. Robbanószeripar és hulladékai	528
Irodalomjegyzék.....	530
7.9 Az egészségügyi hulladékok kezelése.....	532
7.9.1 Az egészségügyi hulladékok kezelésének célja, típusai, gyűjtése és szállítása	533
7.9.2 Hulladékkezelési technikák	538
7.9.3 Az egészségügyi hulladékok nem égetéssel történő ártalmatlanítási eljárásai.	549
7.9.4 A hulladékok végső elhelyezése.....	561
7.9.4.11 Monitoring-rendszer a hulladéklerakó üzemeltetési és az	573
7.9.5 Az egészségügyi hulladékok kezelésével kapcsolatos fontosabb törvényi előírások.	575
7.10 A szerves hulladékok (a biomassza) hasznosítása energetikai célokra	576
7.10.1 Magyarország energiaellátottsága, biomassza-potenciálja	576
7.10.2 A szervesanyag-lebomlás energiatermelésének elvei és számítási lehetőségei	579
7.10.3 Magyarország biomasszapotenciáljának jellemzése.....	584

7.10.4	Nyersanyagspecifikus eljárások és berendezések, fejlesztési irányok	591
	Egyfokozatú rendszerek	606
	Kétfokozatú rendszerek.....	612
7.11	Szerves hulladékok hasznosítása talaj-növény rendszerekben	619
7.11.1	Szerves hulladékok mezőgazdasági és erdészeti hasznosítása	622
7.11.2	Szerves hulladékok biomassza-termelési célú hasznosítása energiatermelő ültetvényeken ...	631
7.11.3	Szerves hulladékok rekultivációs és egyéb célú hasznosítása	635
	Irodalomjegyzék	637
8	<i>A hulladékgazdálkodás és hasznosítás jogi környezete.....</i>	642
8.1	A jogi szabályozás felépítése az Európai Unióban	642
8.1.1	Jogforrások.....	642
8.1.2	Egy kis áttekintés - történelmi háttérrel.....	643
8.1.3	Közösségi hulladék stratégiák	646
8.2	A jogi szabályozás Magyarországon - múlt, jelen és jövő	651
8.2.1	A hulladékgazdálkodási törvény	652
8.2.2	A veszélyes hulladék rendelet	654
8.2.3	A hulladékok nemzetközi szállítása	655
8.2.4	Hulladék lerakás	656
8.2.5	Hulladékégetés	658
8.2.6	Kiemelt hulladék áramok	659
8.2.7	Visszavételi kötelezettség, hasznosítási előírások.....	660
8.2.8	Egyéb hulladékgazdálkodási szabályok	663
9	<i>Mérnöki feladatok a vállalati hulladék gazdálkodásban</i>	664
9.1	Üzemi hulladéklogisztika	664
9.1.1	A logisztikai alafunkciók	664
	Szállítás.....	664
	Raktározás	664
	Tárolás (beleértve az anyag- és készletgazdálkodást is)	664
	Csomagolás.....	665
	Hulladékgazdálkodás (tágabb értelemben vett logisztikai alafunkció).....	665
9.1.2	A logisztikai lánc.....	665
9.1.3	A környezetvédelem és a logisztika kapcsolata	666
	Szállítás.....	666
	Raktározás	666
	Csomagolás.....	666
	Termelés	666
9.1.4	A termelési (üzemi) logisztika és a hulladékgazdálkodás speciális kérdései	667

9.1.5	A logisztikai rendszer környezetvédelmi szempontú fejlesztésének lehetőségei, céljai	670
	A szállítás tekintetében	670
	A raktározás tekintetében.....	670
	A termelési rendszerek tekintetében	670
9.2	Üzemi hulladékgazdálkodási koncepció.....	671
9.2.1	Alapállapot-felvétel	672
9.2.2	Műszaki-gazdasági tervezés	673
	Hasznosítás/ártalmatlanítás vizsgálata	674
	Gyűjtőedények kiválasztása.....	674
	Üzemi belső hulladéklogisztika tervezése	675
	Központi (veszélyes)hulladékgyűjtő hely	676
	Személyi kompetenciák és eszközigény	676
9.2.3	Koncepció dokumentálása, prezentálása	677
9.2.4	Koncepció bevezetése, oktatás, monitoring	678
9.3	Üzemi hulladékgazdálkodás dokumentálása	679
9.3.1	Egyedi Hulladékgazdálkodási Terv.....	679
9.3.2	Anyagmérleg	680
9.3.3	Veszélyes hulladék üzemnapló	680
9.3.4	Üzemi (veszélyes) hulladék gyűjtőhely szabályzata	680
9.3.5	Hulladék-nyilvántartás, bevallás	681
9.4	Környezeti teljesítmény, környezeti kontrolling	682
	<i>Ábrajegyzék.....</i>	<i>686</i>
	<i>Táblázatjegyzék.....</i>	<i>695</i>

1 Bevezetés-Előszó

Dr. Csőke Barnabás, Miskolci Egyetem

Az emberi szükségletek kielégítésének folyamata nagy mennyiségű hulladék keletkezésével párosul: a termelés és a fogyasztás során ugyanis mindig keletkezik olyan maradékanyag, termék, elhasznált eszköz vagy csomagolóanyag, amelyet a keletkezés helyén a tulajdonos - gazdasági és műszaki okok miatt- sem az eredeti célra, sem más célra nem tud, nem kíván, vagy nem akar felhasználni, amelyről ezért meg kell szabadulnia- **ez a hulladék.**

A folyamat kiindulópontja az ásványi nyersanyagok kitermelése, amely a környezetbe való nagymértékű beavatkozással jár. Az alapanyag- és a feldolgozóipar, a kereskedelem és szolgáltatás, valamint az intézményi-hivatali és lakossági fogyasztás hulladékainak lerakása pedig jelentős környezeti ártalmakat idézhet elő, és értékes földterületeket von el a természettől és a mezőgazdaságtól.

Mindez arra ösztönzi a társadalmat, hogy a termelést és a fogyasztást elsősorban a hulladékképződését megelőző hulladékszegény technológiák alkalmazásával és környezetbarát termékek előállításával, másodsorban a hulladék-anyagok termelési-fogyasztási folyamatba való minél teljesebb visszaforgatásával, valamint a hulladékok kezelésével, ártalmatlanításával a környezetet és a természeti erőforrásokat kímélő módon folytassa. **E tevékenységet összefoglalóan hulladékgazdálkodásnak nevezzük.**

A szilárd ipari hulladékok –bányászati meddők, kohászati és energetikai salakok, pernyék, a szerves és szervesetlen vegyipar maradékanyagai, az útépités hulladékai, stb. – hasznosítása, a hasznosítást elősegítő előkészítési eljárások, illetve feldolgozási technológiák magyarországi alkalmazása már korábban elkezdődött. Ezzel szemben a települési hulladékok, az elhasznált háztartási eszközök, az autógumi és akkumulátorok, az elektronikai és elektromos hulladékok elhelyezése városaink, falvaink egyik legégetőbb gondja.

1. táblázat. A főbb hulladékokból évente keletkező mennyiség Magyarországon (BAY-LOGI, Miskolc)

• Szilárd települési hulladék	4500 kt
• Termelési hulladék:	85000 kt
• Mezőgazdasági hulladék	35000 kt
• Építési hulladékok	7000 kt
• Gumiabroncs	42 kt
• Akkumulátor	25 kt
• Hűtőgép, hűtőszekrény	200000 db
• Gépjármű	150000 db
• Elektromos, elektronikai termékek	140 kt
• TV készülék	300000 db
• Számítógép	250000 db

Magyarországon 4,5-5 millió tonna háztartási és összetételében ahhoz hasonló ipari-kereskedelmi hulladék (**1. táblázat**), valamint ~1 millió tonna elhasznált fogyasztási eszköz keletkezik, amely jelenleg nagyrészt deponálásra kerül. A fejlett országokban e hulladékok jelentős részét értékes alapanyagként, illetve másodnyersanyagként és másodlagos energiaforrásként hasznosítják.

E hulladékok előkészítése, a hasznos komponensek (fémek, műanyagok, üveg, papír, ill. biológiailag lebontható szerves anyagok) mechanikai eljárásokkal külön termékeként való kinyerése nemcsak az elhelyezés gondjait enyhíti, illetve oldja meg, hanem hasznos nyersanyagokat szolgáltat a gazdaságnak, ezzel csökkenti az ásványi nyersanyagok kitermelési igényét és a velejáró környezeti terheléseket is. Összességében a hulladékhasznosítás a települési hulladék kezelését gazdaságossá is teheti, mind a nemzetgazdaság, mind pedig az adott település számára. Nem hagyható figyelmen kívül a hulladékkezelés és felhasználás, mint új iparág gazdaság élénkítő szerepe sem.

A hulladékgazdálkodás azonban igen összetett feladat, amely Magyarországon a legutóbbi időkig nélkülözötte a közreműködők – a termelők-vállalkozók mint az ipari és lakossági fogyasztás termékeinek előállítói és egyúttal ipari fogyasztók, a lakosság mint fogyasztók, a hulladékkezelők, valamint a kormányzat és önkormányzat - feladatai a törvényi és gazdasági összehangolását, koordinálását. Ezzel összefüggésben született meg az első magyar átfogó hulladékgazdálkodási törvény, a 2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról, amely meghatározza a hulladékgazdálkodás általános szabályait, és az érintettek - gyártók, forgalmazók és fogyasztók, valamint a hulladék termelőjének, birtokosának - kötelezettségeit.

A fejlett hulladékgazdálkodás kialakítása a fentiekén túl igényli a szükséges műszaki technológiai rendszer hazai kialakítását. Ez utóbbi feladat nagyságát az osztrák e célra rendelkezésre álló műszaki bázis példáján szemléltetjük.

2. táblázat. A hulladékkezelő és hulladékhasznosító művek száma és kapacitása Ausztriában [Forrás: Umweltbundesamt, Anlagendatenbank, 1998]

Berendezéstípusok	Darab	kt/év
Fizikai-kémiai hulladékkezelő művek és speciális feldolgozó üzemek (főként fizikai előkészítőművek, mint pl. elhasznált autó, hűtőszekrény, háztartási és elektronikai eszközök, valamint az ólomakkumulátor, nehézfém tartalmú iszapok, stb. feldolgozó üzemek)	148	932
Építési törmelék feldolgozó előkészítő üzemek, ill. berendezések	160	5000
Termikus hulladékkezelő üzemek	65	1800
Biológiai hulladékkezelő üzemek (maradék hulladék feldolgozására)	9	303
Biohulladék komposztáló művek	489	763
Válogatómű	98	650
Anyaghasznosító üzemek	67	1900

A hulladék kezelésére Ausztriában - lerakók nélkül - mintegy 940 üzem szolgál (**2. táblázat**), amelyekben hulladékok kémiai, termikus, biológiai, vagy fizikai átalakítása, hasznosítása történik. Hazai szempontból különösen is feltűnő a fizikai hulladék előkészítő üzemek nagy száma. Az elhasznált autók, hűtőszekrények, elektronikai készülékek, akkumulátorok, fénycsővek, nehézfém tartalmú iszapok, stb. újrahasznosításra való előkészítésére 148 előkészítőművet üzemeltetnek; szelektíven gyűjtött szilárd települési hulladékokat válogató művek száma 98; az építési hulladékokra 160 és komposztálásra 489 előkészítő üzemet telepítettek. Mindezekből az előttünk álló feladatok nagysága és pénzügyi követelményei is érzékelhetők.

A hulladékok hasznosítását szolgáló mérnökök felelőssége azonban igen nagy, hiszen a napjainkban és az elkövetkező 10 évben megvalósuló több száz üzemet magába foglaló hazai hulladékgazdálkodási infrastruktúra meghatározza a tevékenység gazdasági és társadalmi eredményességét, valamint környezetünk állapotát.

Éppen ezért a szilárd hulladékok hasznosításával kapcsolatos feladatok kiemelt része a gyakorlati megvalósításban résztvevő hazai szakemberek képzése és továbbképzése is. E célt szolgálja a jelen egyetemi-főiskolai jegyzet, amelyet a hulladékfeldolgozásban kutatómunkát

és szakirányú oktatómunkát folytató egyetemi és főiskolai oktatók készítettek. A szerzők az elméleti ismeretek mellett, törekedtek a gyakorlati megvalósítást szolgáló ismeretek összefoglalására is, amely lehetővé teszi, hogy a jegyzet a gyakorlati szakemberek is hasznos ismeretekkel szolgáljon.

2 Környezeti problémák társadalmi összefüggései

Dr. Nagy Géza, Széchenyi István Egyetem

Napjainkra egyértelművé vált, hogy a környezetszennyezést csak kényszerítő eszközökkel, országos szintű, vagy akár határokon átnyúló rendeletekkel lehet megállítani, visszaszorítani. A nagy ipari létesítmények – mint minden „produktumot” előállító – abban érdekeltek, hogy minél nagyobb profitra tegyenek szert. Minden további csak másodlagos. Amióta azonban a nemzetközi politika szintjén is egyre hangsúlyosabban jelenik meg a természet és környezet védelme – amiben nem kis szerepe van a társadalmi mozgalmak sok évtizedes tevékenységének, gyakran agresszívnak ható fellépésének és persze a tudományos élet szereplőinek a K+F terén végzett állhatatos munkájának –, többé nem kerülhető meg ez a kérdés: a vállalati stratégia szerves részét kell képezze a környezetstratégia is. Egy magára valamit is adó vállalat ezt ma már meg is teszi.

TAX Á.: Amikor hasznos a kényszer; 2006; Környezetvédelem; 2006/4.sz.;p.3. Tax 2006

A rioi ENSZ Környezet és fejlődés Világkonferencia idején 1992 nyarán az INFO-Társadalomtudomány tematikusszámot jelentetett meg a környezeti problémák társadalmi összefüggéseinek vizsgálatáról – interdiszciplináris megközelítésben. A főlvezető tanulmány záró mondata így szólt: ... a belátható jövőben azonban a Föld alkalmasságát kell – számunkra is – fenntartanunk (hogy az embernek megfelelő élőhelye maradjon), a fenntartható fejlődés (sustainable development) lehetőségét szükséges keresnünk és támogatnunk

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány 52. szám p. 5-13. Bulla 2001

2.1 Környezetvédelmi kulcsterületek

A környezetvédelem kulcsproblémái, kulcsterületei között közvetlen egészségkárosító hatása miatt első helyen áll a levegőtisztaság-védelem. Különösen a városi levegő szennyezettsége okoz mára már komoly problémát, s ez döntően a közúti közlekedésnek, egyszerűbben szólva: az autóforgalom megállíthatatlannak látszó növekedésének „köszönhető”. Magyarországon az autókból származik a nitrogén-oxidok emissziójának legalább a fele, s ez ráadásul talajközben található, abban a magasságban, ahol élünk és e vegyületeket, valamint reakciótermékeiket belélegezzük. Az autózási – úgynevezett „rigid” fogyasztási – szokás nem reagál sem környezetvédelmi észérvekre, sem közgazdaságiakra, az üzemanyag árától sem függ. Ilyenfajta

fogyasztásszabályozás tehát, úgy tűnik, nem lehet sikeres, kivéve talán azt az esetet, ha az autóközlekedés valamennyi külső hatásának költségét megfizettetnék a használóval, ami azonban (egyelőre?) kívül esik a realitások határán, a XXI. század elején uralkodó gazdasági és politikai gondolkodáson. Nincs kormányzat, amely az általa felügyelt, szabályozott (nemzet)gazdaság versenyképességét ne tartaná előbbre valónak a közúti közlekedés összes társadalmi költségének beépítésénél és a fuvaroz(tat)óval történő teljes megfizettetésénél.

Második környezeti kulcsproblémaként a víziközmű-ellátottság helyezte említhető. Pontosabban: a települési szennyvíz- és csapadékvíz-elvezető rendszerek-hálózatok állapota, amennyiben ilyenek vannak, illetve ezek hiánya. A vízellátást megoldottnak tekinthetjük, bár tudjuk, hogy a vezetékes víz EU-minőségének biztosítása az ország egyes területein, bizonyos komponenseket illetően (pl. arzén, nitrát), igen jelentős erőfeszítéseket és (technológiamódosító, kiegészítő) beruházásokat igényel a nagyon közeli jövőben. Meg kellene próbálni elemezni, hogy mennyivel csökken a hatékonyság és mennyivel nő a nehézkesség, továbbá a szervezetek és együttműködésük támogatására szolgáló infrastruktúrák mérete és költsége az erőforrás-gazdálkodás felügyeleti feladatainak (és illetékességének) megosztásával. Ez a kérdés azonban nem csak a vízgazdálkodással, hanem valamennyi környezeti erőforrás hasznosításának felügyeletével kapcsolatosan felvethető.

A települési csapadék- és szennyvízelvezető, tisztító és elhelyező (befogadó) rendszerek működ(tet)ésével, hiány(pótlás)ával kapcsolatos vélekedések jórészt átgondolásra és új következtetések levonására szorulnak. Ez a szemléleti, technológiai, közgazdasági, újragondolás megkezdődött.

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány 52. szám p. 5-13. Bulla 2001

Megfontolandó az elsődleges közműollónak (a vízellátás és a csatornázottság arányának) használata környezetvédelmi mutatóként. Ennek alkalmazása ugyanis további részletes elemző magyarázatok nélkül félrevezető. A szennyvízcsatorna-építés mutatószámai a mélyépítő kapacitás teljesítményét, valamint az erre szolgáló alapok és céltámogatások felhasználásának mértékét jól mutatják, a vízminőség-védelem alakulását azonban alig. Ha pusztán ezt vesszük figyelembe, akkor a kép lehangoló. A csupán mintegy 10%-kal több lakás szennyvizét ma kétszer annyi csatorna szállítja, mint korábban, és harmadrészben még mindig nem valamely szennyvíztisztító telepre, hanem egyenesen a folyókba, tavakba, az ún. befogadó(k)ba.

Több figyelmet érdemelne a települési csapadékvizekkel kapcsolatos problémák megoldása. Az elvezető hálózatok állaga leromlott, szállító kapacitása csökkent, helyenként/időnként megszűnt, különösen a kicsi településeken, ahol az önkormányzat költségvetéséből nem telik

karbantartásra. A felszíni vízvezetés megoldása, fenntartása ugyan feladata az önkormányzatoknak, de nem alapfeladata, amelyet minden áron el kell látni. Ráadásul az 1990-es évek elején, az önkormányzatiság kezdetén száraz, illetve a csapadékviszonyokat illetően kiegyenlítettebb esztendő volt, és így ez a feladat hátrасorolhatónak tűnt egészen a feledésig. A következmények drasztikusan mutatkoznak az évtized utolsó harmada óta. Nagy mennyiségű csapadékhullás idején – ami most (a klímaváltozással összefüggésben) gyakoribb, mint korábban – az Alföld kötött talajú (kis)települései belvízben állnak.

A csapadékvíz lemossa a szennyezett felületeket, és az így keletkező szennyvíz (többek között közlekedési eredetű szénhidrogén-maradványokat, nehézfémeket tartalmazva) károsabb lehet a kommunális szennyvizeknél, és tisztítómű, illetve tisztítóberendezés hiányában a befogadó méretétől függő kockázatot jelent a vízminőségre.

A települési szennyvizek megfelelő kezelésével kapcsolatos súlyos kérdéseket itt most nincs mód részletezni.

A források szűkössége miatt érhető, hogy a támogatáshoz jutás szabálya minimalizálni igyekeznek a környezetvédelmi, vízügyi alapokra és a céltámogatásokra pályázók számát. Az is igaz, hogy a nagyobb településekről több szennyvíz, tehát nagyobb szennyezőanyag-tömeg származik. Egy adott (például a csaknem kizárólag alkalmazott eleveniszapos tisztítási) technológia gazdasági – beruházási és üzemeltetési – hatékonysága együtt nő a településmérettel. A nagyobb települések elhelyezkedése azonban nem esik egybe a vízminőségi szempontból érzékeny, így sérülékeny településekével. Léteznie és működnie kell(ene) tehát a közgazdasági hatékonyság érvényesítése mellett a vízminőség-védelmi érdekeket kifejező döntési szabálynak is. Kétségtelenül alkalmazkodnunk kell – e téren is – az EU-szabályozáshoz (Urban Waste Water Directive), amely azonban nem ír elő kötelezően alkalmazandó megoldást a megfelelő szennyvízkezelésre, illetve -elhelyezésre.

A harmadik környezetvédelmi kulcsterület a hulladékgazdálkodás. Ez ma az egyes számú probléma, amelynek megoldása egyáltalán nem csak környezetvédelmi feladatot jelent. Túl sok anyagból túl sok energia felhasználásával túl kevés jövedelmet termelünk és túl sok szemetet. Ez a nem megfelelő mértékben növekvő hatékonyság „újratermelődése”. A legfontosabb feladatok e téren: a „múlt felmérése” a több mint 2600 ismert lerakóban, továbbá a nem ismertek felderítése. Ezen túlmenően pedig legalább az újonnan keletkező hulladékok sorsának rendezése, nyomon követése. Jóllehet a szabályokat illetően a keretek már rendelkezésre állnak (2000. évi LXIII. törvény a hulladékgazdálkodásról), az alkalmazást késlelteti, hogy a hulladékforgalom információs rendszere még töredezett és a Hulladék Információs Rendszer (HIR) még kiépítés, feltöltés alatt van. A számítások szerint az elmúlt évtizedben

Magyarországon mintegy harmadával-negyedével csökkent a keletkező hulladékmennyiség, s így az ország a kb. 300 kg/fő/év fajlagos értékkel az európai középmezőnybe tartozik.

A veszélyes hulladékok esetében az információkat illetően jobb, a mennyiségeket tekintve rosszabb a helyzet. Magyarország Oroszország és Németország mögött a harmadik legtöbb veszélyes hulladékok produkáló ország Európában. Az ország méretét és gazdaságát figyelembe véve ez a „helyezés” érdemi hulladékgazdálkodási politikáért, de magyarázatért is kiált.

A hulladékgazdálkodás a környezetvédelem egyik fontos – talán legfontosabb – szakterülete. Kulcsszerepe van a környezeti elemek (víz, föld, levegő, élővilág, épített környezet) minőségének és a természeti erőforrásoknak a védelmében egyben eredményesen segítheti a gazdasági hatékonyságot.

A hulladékgazdálkodás a hulladékok káros hatása elleni védelemnek a hulladékok teljes életciklusára kiterjedő tevékenységek összehangolt sorozata. Gyakorlatilag a hulladékok keletkezésének megelőzését, csökkentését, a keletkezett hulladékok elkülönített gyűjtését és hasznosítását, a nem hasznosítható hulladékok környezetszennyezés nélküli átmeneti tárolását és ártalmatlanítását foglalja magában. A tevékenységet ma már hazánkban is átfogó jogszabályi keretek között végezzük.

A hazai hulladékmennyiség nemzetközi összehasonlításban mind fajlagos, mind abszolút értelemben igen magas. A fajlagos anyag- és energiafelhasználásunk ezzel összefüggésben nagyon rossz, ami a nagymennyiségű hulladékképződés mellett nemzetközi piaci pozícióinkat is rontja.

[NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás \(egyetemi jegyzet\); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2001](#)

2.2 Környezetvédelmi kihívások és feladatok

A stratégiai jövőkép szempontjából a fenntartható fejlődésre építve csak olyan gazdasági szerkezet képzelhető el, mely környezetkímélő technikákra, tiszta technológiákra épül, környezetbarát struktúrát biztosít, környezetbarát termékeket és szolgáltatásokat állít elő, ezáltal az életminőség fokozatos javulását eredményezi. A fenntartható fejlődés azonban nem tekinthető kizárólagos környezetvédelmi kérdésnek ahogyan ezt az EU ajánlásai is alátámasztják. A fenntartható fejlődés kritériumai közé tartozik az is, hogy az ország – a környezetvédelmi szempontokat mindenkor szem előtt tartva – a lehető legnagyobb hozzáadott értéket termelő szinteken és területeken kapcsolódjék be a nemzetközi munkamegosztásba.

SZLÁVIK J.: Az Európai Unió fenntartható fejlődés stratégiájának felülvizsgálatáról; 2006; Környezetvédelem 2006/4.sz. p.12. Szlávik 2006

FEKETE J. GY.: A környezetvédelmi innováció az EU egyik fontos stratégiai kérdése; 2006; Környezetvédelem; 2006/4. sz.; p. 13–14. Fekete 2006

A fenntartható fejlődést szolgáló, vagy legalábbis realista környezetpolitikáknak abból kell kiindulni, hogy várhatóan mik lesznek a következő évtized(ek) fő gazdasági, társadalmi, valamint térszerkezetet, erőforrás-használatot befolyásoló anyag-, energia- és információtranszportokat (és migrációt) alakító folyamatai. A nemzetközi és a nemzeti környezetpolitikák szerepe az (lesz), hogy megpróbálják a keretek által meghatározott térben és lehetőségek között a folyamatok előnyös hatásait felerősíteni, megsokszorozni, a kedvezőtlen, kockázatot jelentő folyamatokat és következményeiket pedig enyhíteni, elkerülni. Így lehetne megteremteni a lehetőségét az ökológiai, valamint a gazdasági és társadalmi érdekek, célok összehangolásának, egy ilyen típusú fejlődés megindulásának, azaz a fenntarthatóság-modellek megalkotásának (feltehetőleg regionális méretekben, mert úgy tűnik, hogy ez alkalmas a szerves kapcsolatok létrehozására).

A jövőképeknek feltétlenül reflektálnia kell a klímaváltozás fenyegetése által kiváltott környezetpolitikai prioritásváltozásokra. (Az EU 6. Környezetvédelmi Akcióprogramjának például ez az első számú területe.)

Bizonyosra vehető, hogy a következő évtizedek technológiaváltoztatási/váltási törekvései között központi helyen lesz az energiaforrások és -felhasználás átalakulása. Jóllehet a tapasztalat szerint a már ... ismert technológiák javításába, kiegészítésébe, módosításába általában szívesebben és többet fektetnek, mint olyan új ... technológiákba, amelyek működtetéséhez szükséges ismeretek, szervezeti formák, felhasználási hálózatok még nem állnak rendelkezésre ..., ennek ellenére a szél, a nap, a biomassza energiahasznosításának tanulási görbéje ... a fosszilis fűtőanyag tanulási görbéknél meredekebb és ez azt sejteti, hogy a két csoport költségei kiegyenlítődhetnek

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány 52. szám p. 5-13.

Nincs pontos képünk arról, hogy milyen és mennyi többletemissziót okoz a globális piacliberalizálás: az értelmetlen kínálat megteremtése mindenütt, olyan áruk és göngyölegek utaztatása földrészeken keresztül, amelyek helyben, regionálisan is léteznek, előállíthatók. Vannak azonban próbálkozások e hatások kalkulálására, amelyek szerint a liberalizációból származó GDP-növekmény és a vele szemben álló környezetkárosítási, védelmi, ellenőrzési költségek nagysága nagyjából megegyezik: 1 és 4% közé tehető. A XX. század vége felé a

kapitalizmus újabb erőt merített a felgyorsuló műszaki fejlődésből, a szocialista rendszerek bukásából, valamint néhány távol-keleti államban megtapasztalt gazdasági csodából. Mostanra viszont itt az ideje, hogy józanul áttekintsük a következményeket ... a piaci liberalizáció nem gyógyír minden bajra ... azt sem lenne értelme tagadni, hogy a profitszerzés által hajtott multikat számos esetben terheli felelősség a ... környezetgazdálkodási visszaélésekért

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány 52. szám p. 5-13.

Bár az is kétségtelen ugyanakkor, hogy pl. Magyarország esetében a nemzetközi nagyvállalatok által hozott technológia általában lényegesen kisebb környezetterheléssel működik, mint a megszűnt, leváltott régi.

A kérdés, amelyet a jövőkép készítésekor magunknak fel kell tennünk valójában az, hogy az említett, felszínesen tárgyalt globalizációs és integrációs folyamatok mennyiben és hogyan fogják érinteni, befolyásolni, meghatározni (?) Magyarország környezetpolitikai lehetőségeit, hosszú időszakon át tartó fenntartható fejlődéséhez fűzött reményeit.

A „környezetelemzés” alkalmazására feltétlenül szükség van. Ez a környezetgazdálkodás összetevőinek és összefüggéseinek átfogó vizsgálatát jelenti – egy új interdiszciplináris kultúra, amelynek létrehozására és elterjesztésére a „szakmában” Magyarországon már a 90-es évek elején történt kezdeményezés – megelőzve az EU és az OECD szakapparátusait, de legalábbis szinkronban velük. Az úttörők döntéshozói igény és figyelem hiányában értelmiségi műhelyekbe húzódtak vissza. Pedig erre a komplex gondolkodásmódra, a fenntartható környezeti erőforrás-használat integrálására a szektorpolitikákba, röviden: a fenntarthatóság mint tervezési, vizsgálati szempont általános alkalmazására mindenképpen szükség van. Már csak azért is, hogy motívuma, szervezője legyen az intézményfejlesztésnek.

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány 52. szám p. 5-13.

Bulla 2001

A Magyar Tudományos Akadémia irányításával és az érintett szakmai műhelyek közreműködésével kidolgozás alatt áll egy átfogó Környezet Értékelési Program (KÉP), amelynek célja a következőképpen fogalmazható meg:

A Környezetállapot Értékelés Program célja olyan módszer elkészítése, amelynek segítségével megbízhatóan nyomon követhetők a gazdasági, társadalmi tevékenységből származó, a környezetvédelmi szakterületeken jelentkező hatások és előre jelezhetők az azok nyomán bekövetkező környezeti állapotváltozások. A program során kidolgozásra kerülő metodika lehetővé teszi olyan adatbázisok létrehozását és együttműködését, amelyek felhasználásával

országos, regionális és lokális léptékű, állapotértékelések készíthetők a talaj-, víz(minőség)-, a levegőtisztaság-, és a természetvédelem területén. A kidolgozásra kerülő modellek egymással is kommunikálni képes – előre meghatározott indikátorokra épülő – rendszerként fogják szolgálni a környezet- és szakmapolitikai döntéseket, valamint a gazdaság és társadalom tájékoztatását. A munka eredményeként az egyes környezeti folyamatok elemzése, a mérési adatok modellekkel való térbeli kiterjesztése, a szennyezések terjedése, a várható hatások és hatásterületek körülírása válik lehetővé. A létrehozandó döntést támogató rendszer regionális, országos és EU léptékű fejlesztési tervek kidolgozása során elősegíti a környezetvédelmi, gazdasági és országos és EU léptékű fejlesztési tervek kidolgozása során elősegíti a környezetvédelmi, gazdasági és K + F szempontok (prioritások) együttes figyelembe vételét, vagyis a fenntartható fejlődés biztosítását.

BULLA M., NAGY G. , P. RÁCZ É. V.: Környezeti folyamatok modellezésének fejlesztését célzó kutatások. Zárójelentés.; 2005; Győr; A KvVM megbízásából készült a SZE Környezetmérnöki Tanszéken. Bulla et al. 2005

Irodalomjegyzék

TAX Á.: Amikor hasznos a kényszer; 2006; Környezetvédelem; 2006/4.sz.;p.3.

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány 52. sz. p. 5-13.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft.

SZLÁVIK J.: Az Európai Unió fenntartható fejlődés stratégiájának felülvizsgálatáról; 2006; Környezetvédelem 2006/4.sz. p.12.

FEKETE J. GY.: A környezetvédelmi innováció az EU egyik fontos stratégiai kérdése; 2006; Környezetvédelem; 2006/4. sz.; p. 13–14.

BULLA M., NAGY G. , P. RÁCZ É. V.: Környezeti folyamatok modellezésének fejlesztését célzó kutatások. Zárójelentés.; 2005; Győr; A KvVM megbízásából készült a SZE Környezetmérnöki Tanszéken.

3 Hulladék

A jogi szabályozásban jelenleg Magyarországon is használt, nemzetközileg elfogadott definíció az Európai Közösség hulladékokról szóló, módosított 75/442/EGK irányelve szerinti megfogalmazás, amely a hulladék mindenkori birtokosának szándékát és az emberi egészség, valamint a környezet érdekét veszi alapul. A hulladékgazdálkodási törvény 3. § a) pontja adja meg a hazai definíciót, amely szerint „hulladék: bármely, az 1. sz. melléklet szerinti kategóriák valamelyikébe tartozó tárgy vagy anyag, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik, vagy megválni köteles.”

A hulladékgazdálkodás a hulladékok káros hatása elleni védelemnek a hulladékok teljes életciklusára kiterjedő tevékenységek összehangolt sorozata. Gyakorlatilag a hulladékok keletkezésének meg-előzését, csökkentését, a keletkezett hulladékok elkülönített gyűjtését és hasznosítását, a nem hasznosítható hulladékok környezetszennyezés nélküli átmeneti tárolását és ártalmatlanítását foglalja magában. A tevékenységet ma már hazánkban is átfogó jogszabályi keretek között végezzük. (2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról = Hgt.)

3.1 Hulladékfajták, a termelési és fogyasztási hulladékok

A hazai hulladékmennyiség nemzetközi összehasonlításban mind fajlagos, mind abszolút értelemben igen magas. A fajlagos anyag- és energia-felhasználásunk ezzel összefüggésben nagyon rossz, ami a nagymennyiségű hulladékképződés mellett nemzetközi piaci pozícióinkat is rontja.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2001

ÁGOSTHÁZI L., BARÓTFI I., BORIÁN Gy., CS. FELLEG Á., PODA J.: Környezetvédelmi alapismeretek II; 2001; Budapest; KvVM; 162.Ágostházi et al. 2001

Túl sok anyagból túl sok energia felhasználásával túl kevés jövedelmet termelünk és túl sok szemetet. Ez a nem megfelelő mértékben növekvő hatékonyság „újratermelődése”. A legfontosabb feladatok e téren: a „múlt felmérése”, ezen túlmenően pedig legalább az újonnan keletkező hulladékok sorsának rendezése, nyomon követése.

ÁGOSTHÁZI L., BARÓTFI I., BORIÁN Gy., CS. FELLEG Á., PODA J.: Környezetvédelmi alapismeretek II; 2001; Budapest; KvVM; 162. Ágostházi et al. 2001

A meglehetősen általános hulladék fogalom gyakorlati alkalmazásának megkönnyítése érdekében a világon mindenütt jegyzékben (listán) sorolják fel az egyes hulladékfajtákat, számos rendező elv szerint csoportosítva azokat. A legegyszerűbb rendszerezés a termelő és szolgáltató, illetve a fogyasztási szférában képződő termelési és települési (kommunális) hulladékokat különbözteti meg. A termelési hulladékok árnyaltabb, de továbbra is eredet szerinti csoportosítását tartalmazza a gazdasági ágazat szerinti, továbbá a kibocsátó technológia szerinti felbontás. Az eredet szerinti csoportosítás alapján a hulladékot azzal a tevékenységgel, folyamattal vagy technológiával jellemzik, amelyben a hulladék keletkezett.

Az anyagi minőség szerinti csoportosítás a hulladék vagy annak domináns összetevője kémiai elnevezésén alapul. A hulladék összetétele, anyagi minősége szerinti rendszerezés – az eredet szerinti csoportosítással ellentétben – sokkal több eligazítást ad a hulladék kezelhetőségéről és veszélyeztető hatásairól, ugyanakkor a hulladék képződési körülményeinek ismeretében szinte elképzelhetetlen, hogy kémiai értelemben a hulladék egyetlen anyagi minőséggel jellemezhető lenne.

A környezetre és az emberi egészségre gyakorolt hatásuk alapján a hulladékokat a veszélyes és a nem veszélyes, valamint az inert hulladékok kategóriájába soroljuk. E csoportosítás alapját az képezi, hogy az adott hulladék rendelkezik-e a nemzetközileg megállapított veszélyességi jellemzők valamelyikével vagy sem. A veszélyességi jellemzőket Magyarországon a hulladékgazdálkodási törvény 2. sz. melléklete sorolja fel.

A környezetre és az emberi egészségre gyakorolt hatásai szerint mind a termelési, mind a települési hulladék lehet veszélyes, illetve tartalmazhat veszélyes összetevőket. A települési hulladékban leggyakrabban előforduló veszélyes komponensek: a szárazelemek, az elektronikai hulladékok, az olajtartalmú hulladékok, a lakk- és festékmarmadékok, a növényvédőszer-maradékok, a lejárt szavatosságú gyógyszerek és egyéb betegápolási hulladékok stb.

Kémiai összetételüket tekintve a hulladékok általában egynél több komponensből állnak. Attól függően, hogy az egyes komponensek egy-máshoz való viszonya, oldhatósága milyen, megkülönböztetünk homogén, heterogén és diszperz rendszereket. A hulladékok halmazállapotuk szerint szilárd, folyékony és iszapszerű hulladékok lehetnek.

A hulladékok jegyzéke két listát tartalmaz:

A) alaplista

B) kiegészítő lista

Az alaplista az Európai Hulladék Katalógus (EWC) kódszámainak tartalmazza. Az alaplista felépítése:

FŐCSOPORTOK

alcsoportok

hulladékok

A 20 főcsoport a hulladék származása szerint csoportosítja a hulladékokat, EWC kódszámaik két számjegyűek.

Az alcsoportok az egyes főcsoportok további csoportosításai, EWC kódszámuk négy számjegyű. Az egyes alcsoportokhoz tartozó hulladékok hat számjegyű kóddal rendelkeznek (lásd pl. **3. táblázat**) A (*)-gal megjelölt kódszámok veszélyes hulladékot jelölnek.

3. táblázat. A hulladékjegyzék alcsoportjai (példa)

Kódszám	Megnevezés
04	bőr-, szőrme- és textilipari hulladékok
04 01	bőr- és szőrmeipari hulladékok
04 01 01	húslás és a meszezési bőrhasíték hulladéka
04 01 02	meszezési hulladék
04 01 03*	oldószertartalmú, zsírtalanítási, folyékony fázis nélküli hulladék

A kiegészítő lista a Magyarországon veszélyes hulladéknak besorolt további hulladékok jegyzéke. A Kiegészítő listában a főcsoportok és az alcsoportok számozása és elnevezése megegyezik az Alaplistában találhatóakkal, a hulladék kódszáma az eddig használt magyar veszélyes hulladék nyilvántartási kódszámokkal azonos (102/1996. Korm. rendelet alapján)

3.1.1 A hulladékok csoportosítása

A hulladékoknak számos csoportosítása ismert, ezekből néhányat a **4. táblázat** mutat be.

ÁGOSTHÁZI L., BARÓTFI I., BORIÁN Gy., CS. FELLEG Á., PODA J.: Környezetvédelmi alapismeretek II; 2001; Budapest; KvVM; 162. Ágostházi et al. 2001

4. táblázat. A hulladékok csoportosítása [Ágostházi et al. 2001]

Halmazállapot szerint	Eredet szerint	Környezetihatás szerint
szilárd	települési (kommunális)	nem veszélyes
folyékony	termelési	veszélyes
iszapszerű	technológiai amortizációs	

Szilárd hulladék: makroszkopikus részecskékből összetevődő, szilárd halmazállapotú szerves és szervetlen anyagok.

Folyékony hulladék: az a hulladékká vált folyadék, amelyet nem vezetnek el, és nem bocsátanak ki szennyvízelvezető hálózaton, illetve szennyvíztisztító telepen keresztül (közcsatornába nem kötött szippantott szennyvizek).

Iszapszerű hulladék: egymástól különálló szilárd, finom szemcséjű részecskéket tartalmazó folyadékból kiüledett vagy kiülepített anyagi rendszer (szennyvíziszap, galvániszap stb.)

Települési hulladék: a háztartásokból származó szilárd vagy folyékony hulladék, illetőleg a háztartási hulladékhhoz hasonló jellegű és összetételű, azzal együtt kezelhető más hulladék.

A települési hulladékok csoportosítása a **5. táblázat** látható.

5. táblázat. A települési hulladékok csoportosítása [Ágostházi et al. 2001]

Települési szilárd hulladék
háztartási hulladék
közterületi hulladék
a háztartási hulladékhhoz hasonló jellegű és összetételű hulladék
Települési folyékony hulladék
közműpótló berendezések ürítéséből
nem közüzemi csatorna- és árokrendszerekből
gazdasági, de nem termelési, technológiai eredetű tevékenységből származó hulladék
Inert hulladék
Biohulladék

A települési szilárd hulladék

- A háztartási hulladék: az emberek mindennapi élete során a lakásokban, valamint a pihenés, üdülés céljára használt helyiségekben és a lakóházak közös használatú helyiségeiben és területein, valamint az intézményekben keletkező hulladék.
- A közterületi hulladék: közforgalmú és zöldterületen keletkező hulladék.
- A háztartási hulladékhhoz hasonló jellegű és összetételű hulladék: gazdasági vállalkozásoknál keletkező – külön jogszabályban meghatározott – veszélyesnek nem minősülő szilárd hulladék.

A települési folyékony hulladék

- A települési folyékony hulladék a szennyvízelvezető hálózaton, illetve szennyvíztisztító telepen keresztül el nem vezetett szennyvíz, amely származhat:
- emberi tartózkodásra alkalmas épületek szennyvíztároló létesítményeinek és egyéb helyi közműpótló berendezéseinek ürítéséből,
- a nem közüzemi csatorna- és árokrendszerekből
- a gazdasági, de nem termelési, technológiai eredetű tevékenységből.

Az inert hulladék

- Az inert hulladék az a hulladék, amely nem megy át jelentős fizikai, kémiai vagy biológiai átalakuláson. Jellemzői:
- vízben nem oldódik,
- nem ég, illetve más fizikai vagy kémiai módon nem reagál,
- nem bomlik le biológiai úton,
- nincs kedvezőtlen hatással a vele kapcsolatba kerülő más anyagra oly módon, hogy abból környezetszennyezés vagy emberi egészség károsodása következne be,
- csurgaléka és szennyezőanyag-tartalma, illetve a csurgalék ökotoxikus hatása jelentéktelen, így nem veszélyeztetheti a felszíni vagy felszín alatti vizeket.

A biológiailag lebontható hulladék

A biológiailag lebontható hulladék (biohulladék) minden szervesanyag-tartalmú hulladék, ami anaerob vagy aerob módon (mikroorganizmusok, talajélőlények vagy enzimek segítségével) lebontható.

A termelési hulladék: kitermelő, feldolgozó és az anyagi szolgáltató (fenntartás, szállítás) tevékenység során keletkező hulladék (ipar, mezőgazdaság, közlekedés területén). A termelési hulladékoknak két csoportja van:

- technológiai hulladék,
- amortizációs hulladék.

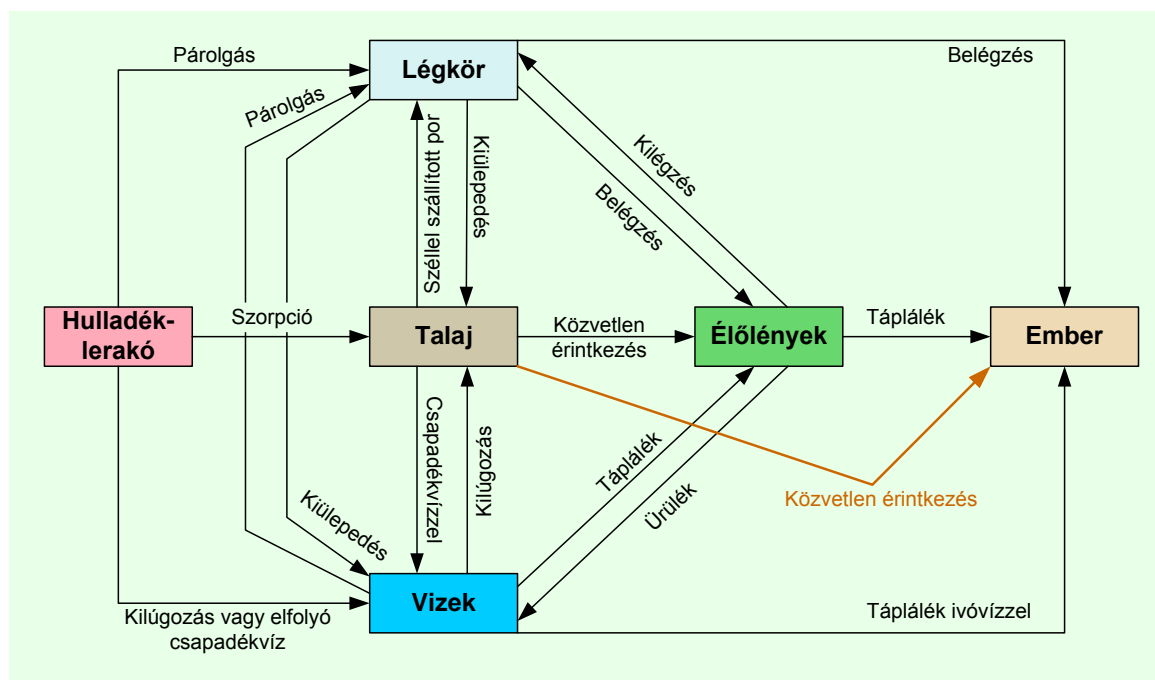
A technológiai hulladék: a termelési folyamat anyagáramaiból keletkező hulladék. Keletkezhet:

- üzemszerűen: az anyag-átalakítási műveletek során;
- nem üzemszerűen: felújítás, karbantartás, üzemleállítás, termékváltás, üzemeltetési hiányosságok, havária stb. során.

Amortizációs hulladék keletkezhet elhasznált gépek, alkatrészek leselejtezése során, fejlesztések kapcsán feleslegessé vált termelő berendezések leselejtezésével.

3.1.2 A hulladékok környezeti hatásai

A környezetbe kibocsátott és nem megfelelően kezelt hulladékok környezetkárosító hatásai különbözőképpen jelentkeznek (1. ábra).



1. ábra A hulladékok környezetbe jutásának útjai

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2001

A talaj, talajvíz (felszín alatti vizek) és felszíni vizek szennyeződése

A hulladékok leggyakoribb – évezredek óta – szükségszerűen természetes befogadója a talaj. A nem megfelelően kezelt hulladékokat, azok bomlástermékeit a csapadékvíz a talaj felszínén szétmossa és az beszívárog a talajvízbe, ahol az áramlás révén gyakran jelentős vízbázisokat veszélyeztetnek.

A hulladék szerves és szervetlen alkotói a csapadék vízzel kilúgozódva, különféle sók – klorid, nitrát, szulfát stb. – nehézfémek, szénhidrogének és nehezen bomló egyéb szerves szennyezők formájában közvetve a vízminőség romlását okozzák. A felszíni vizek közvetett és közvetlen szennyeződését eredményezik a nem megfelelően kezelt kommunális és ipari szennyvízbevezetések, esetenként a káresemények során szennyezett csapadékvizek is.

A levegő szennyeződése

A szervesanyag-tartalmú hulladék bomlása során jellegzetes bűzös gázok keletkeznek (ammónia, hidrogén-szulfid stb.), a kezelés nélküli hulladékhalmok finom porát, illetve nagyobb darabjait (papír, műanyag fólia) azonban a szél vagy kisebb légmozgás is a levegőbe emeli. A hulladéklerakókon öngyulladás miatt vagy a hulladékok nyílt téri (tiltott!) égetésekor keletkező égéstermékek (füstgáz, korom, pernye) közvetlenül szennyezik a levegőt. Nem elhanyagolható a hulladéklerakók üvegházhatást növelő metán- és szén-dioxid-kibocsátása sem.

Fertőzésveszély

A települési és egyes termelési hulladékok (pl. hígrágya, vágóhídi hulladékok) kórokozó mikroorganizmusai különböző fertőző betegségek előidézői lehetnek. A különféle egyéb forrásokból származó hulladékokban is gyakran megtalálhatók a legkülönbözőbb mikroorganizmusok, közöttük fertőző betegségeket is terjesztő kórokozók, amelyek a hulladékban hosszabb ideig életképesek maradnak, onnan a talajba, a vízbe kerülhetnek és közvetlen érintkezés útján is fertőzést okozhatnak. (Meg kell jegyezni, hogy a kórokozók a hulladékban csak a fertőzés lehetőségét jelzik, nem feltétlenül fertőznek, az ilyen hulladék fertőzést terjesztő közegnek tekinthető.)

A rovarok és rágcsálók elterjedése

A nem megfelelően végzett települési hulladék kezelés következtében a rovarok (legyek) és rágcsálók (patkány, egér) nagy mértékben elszaporodhatnak. Mind a rovarok, mind a rágcsálók közismert közvetítői egyes fertőző betegségek terjesztésének. Ezért a gyakori hulladékbegyűjtés a lakásoktól, a lakott területen minél rövidebb ideig tartó és zárt tárolás a helyes kezelés egyik legfontosabb feltétele.

A környezet elszennyeződésének esztétikai jelentősége

A nem megfelelő hulladékkezelés, a rendezetlen, szétszórt hulladék látványa tönkreteszi a táj eredeti szépségét, csökkenti a pihenés, kikapcsolódás teljes körű lehetőségét.

3.2 Hulladékkezelési modellek

A Magyarországon évente keletkező hulladék mennyiségéről és forrás szerinti megoszlásáról a **6. táblázat** ad eligazítást.

A táblázatból kitűnik, hogy a kommunális eredetű hulladék együttes mennyisége az összes hulladék 12-13%-át teszi ki, a többi gazdasági tevékenységből származik. A kommunális hulladékokkal – a terjedelmi korlátok adta keretek között – később részletesebben foglalkoztunk, és a hulladékgazdálkodással kapcsolatos legfontosabb elméleti és jogi szabályozásra vonatkozó kérdéseket is érintettük. Ebben a fejezetben a legnagyobb tömegben keletkező, és ezért mind társadalmi, mind környezetvédelmi szempontból legfontosabb – a fenntarthatóságot szolgáló – kérdéssel, a termelési hulladék minimalizálásával és racionális újrahasználatával foglalkozunk.

BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány; 52. sz.; p. 5-13. Bulla 2001

6. táblázat A Magyarországon évente keletkező hulladék mennyisége (Mt) [Bulla 2001]

A hulladék megnevezése	Keletkező mennyiség
mezőgazdasági hulladék	33
gazdasági tevékenységből származó hulladék	22
ebből nem veszélyes	18
veszélyes	4
építési, bontási hulladék	10
települési folyékony hulladék	7
települési szilárd hulladék	4
kommunális szennyvíziszap	1
összesen:	77

3.2.1 A gazdasági folyamatokban keletkező hulladék fenntartható kezelése

Az anyagi javak előállítása és felhasználása lényegében az anyag (alapanyag) és az energia (energiahordozó) átalakítását, más formában való megjelenését eredményezi. Gyakorlatilag lehetetlen, hogy a nyers- és alapanyagok, valamint azok átfőmálásához szükséges energia

teljes egészében a termékben megjelenjék. Ennek oka lehet az, hogy a nyers- és alapanyagaink hasznosítandó alkotóikon kívül más anyagokat, szennyezőket, meddőt stb. tartalmaznak; az anyagátalakítást létrehozó kémiai reakció teljességgel nem játszódik le stb. Ismeretes, hogy a hőenergia nem alakítható át teljes egészében munkává, ezért a hőveszteséggel – hulladékhővel – mindenképpen számolnunk kell. [5]

Központi kérdéssé vált tehát a környezetet terhelő hulladékok mennyiségének a csökkentése, amely elsősorban hulladékszegény (vagy mentes) technológiák elterjesztésével, a működő technológiák emissziójának csökkentésével (tisztább termelés) érhető el. Ugyanakkor megoldandó feladat a felgyülemlett hulladékok ésszerű ártalmatlanítása (anyagának és energiatartalmának hasznosítása) újabb környezeti terhelés létrehozása nélkül és a folyamatosan képződő hulladékok visszaforgatása a termelési folyamatba.

NAGY G.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. (előadás); 2005; Mosonmagyaróvár; OMBKE Mosonmagyaróvári Szervezete; Szakmai Tudományos Napok; 2005. július 3–4. Nagy 2005

A hulladékprobléma kezelésére általános szinten a következő megoldások kínálóznak prioritási sorrendben **2. ábra**.

SZEDER Z.: Elektronikai készülékek hulladékainak kezelése; 2000; Budapest; BBS-E Bt. Szeder 2000

- Hulladékképződés megelőzése (ill. elkerülése);
- Hulladékképződés mennyiségének csökkentése – Reduce;
- Hulladékhasznosítás – Reuse (ill. feldolgozás – Recycle);
- Hulladék ártalmatlanítása (energetikai hasznosítás, égetés, lerakás).

A hulladék megelőzés módszere a tervezési és egy kis részben a gyártási szakaszhoz tartozik; a csökkentés módszere a gyártási, elosztási és a használati; a többi módszer pedig a használat utáni stádiumra vonatkozik.

Ezeket (a megelőzést és a csökkentést) a tervezési és a termelési folyamatba sorolhatjuk; és mint más területen, itt is komoly kutatásokat végeztek, melynek eredménye az ún. „low waste” (avagy alacsony hulladékszintű) technológia. A „low waste” technológiákat négy nagy csoportra lehet bontani:



2. ábra A hulladékkezelés szintjei [Szeder 2000]

SZEDER Z.: Elektronikai készülékek hulladékainak kezelése; 2000; Budapest; BBS-E Bt. Szeder 2000

Technológia:

- Számítógépes irányítás, szabályozás, tervezés;
- Zárt folyamatok (pl. víz- és vegyszer használatánál);
- Hulladékok visszavezetése a termelési folyamatba;
- Új környezetkímélő technológiák és legjobb elérhető technikák (BAT – Best Available Techniques); stb.

Konstrukció (bontható szerkezetek):

- Fizikai működőképesség növelése;
- Moduláris felépítés (többirányú felhasználás szempontjából);
- Minél kisebb egységek;
- Kiszerezhetőség, szétszerelhetőség;
- Javíthatóság;
- Egységesített kötőelemek;
- Anyag-spektrum (anyagok változatosságának) szűkítése – főleg műanyagoknál fontos;
- Anyagfelismerés elősegítése (pl. műanyagok gyári címkézése);
- Környezetkímélőbb termékre való áttérés.

Anyaghelyettesítés:

- Veszélyes anyagok (pl. CFC, PCB) helyettesítés;
- Újrahasznosíthatóbb és újrahasznosított anyagok alkalmazása;

Multifunkcionális felhasználás: mint másodlagos, harmadlagos és sokadlagos hasznosítás – igen fontos lenne, hogy már tervezési fázisban szem elé kerüljön ez a szempont. Jó példát nyújt erre a számítógépek újraalkalmazása:

- Professzionális alkalmazás;
- Másodlagos félprofesszionális alkalmazás (mit PC);
- Harmadlagos hasznosítás (pl. személyi és hobbi célokra);
- Sokadlagos hasznosítás (pl. elektronikus játékok, ital-automata gépek vezérlése, szabályozási funkciók betöltése).

3.2.2 A hulladékkezelés alapmodelljei

Hagyományos folyamat-modell („Nyitott rendszer”):

(Ez a modell tulajdonképpen egy visszatekintés a korábban jellemző állapotokra.) A következő lépéseket foglalta magába:

- 1) Nyersanyag kitermelés
- 2) Alapanyag előállítás
- 3) Feldolgozás, gyártás
- 4) Elosztás, értékesítés
- 5) Felhasználás
- 6) Hulladék (lerakás, égetés)

Itt nem valósul meg az anyag mesterséges körfolyamata, mert vagy a hulladék égetésével, vagy pedig lerakásával zárul le a folyamat. Így a hulladék csak a környezeten keresztül kerülhetne újra vissza a gazdaságba környezetkárosítás, szennyezés árán.

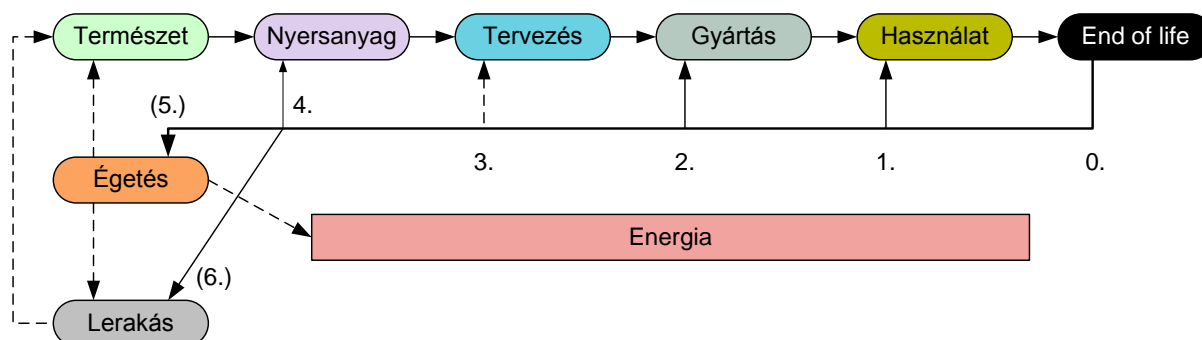
„Zárt rendszer”, mint modern folyamat modell:

A cél az, hogy az „életút végére” (end of life) eljutott termékeket vissza tudjuk forgatni a termelésbe. Ekképp elkerülhetőek a hulladék káros hatásai. A **3. ábra** jól látszik, hogy a hasznosítás során ellentétes tendencia jelentkezik, mint a termék élete közben. Tulajdonképpen

ez egy praktikus visszacsatolt nyitott rendszer, mely az életút végétől kezd érdekessé válni.

Az innen kikerülő termék (O.) több helyen is hasznosítható (1-4, +5, (6.)). A hasznosítás helye kívánatosság szerint van sorszámozva.

A leginkább kívánatos hulladékhasznosítási terület napjainkban és a jövőben: a termék visszaforgatása a közhasználatba (reuse – 1.). Ezt a termék-szintű visszaforgatásnak nevezzük.



3. ábra A zárt rendszer modellje [Nagy 2001]

NAGY G.: Technológiai rendszerek; 2001; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy 2001

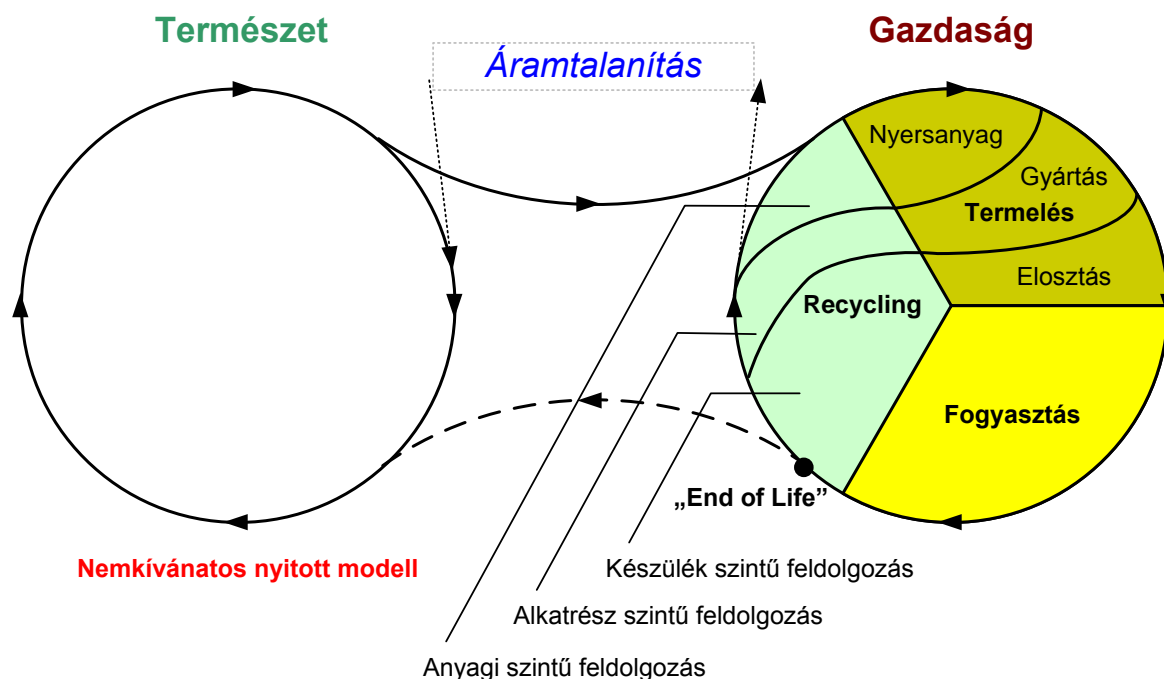
3.2.3 A hulladékkezelés környezetbarát modellje

A legismertebb körfolyamatok a természetben rejlenek, melyek közül soknak több millió az eddigi periódusszámuk.

A gazdasági tevékenység erősen megzavarja a környezeti egyensúlyt. Ezért az elmúlt években kialakult szemléletmód alapján (fenntartható fejlődés) a gazdasági folyamatokat ki akarják választani a természetből, önálló körfolyamatba zárva. Ezt a szemléletmódot takarja az angol „recycle” kifejezés is.

A hulladékgazdálkodás általános modelljét, „a körforgási modellt” a **4. ábra** szemlélteti.

Ezen a modellen jól be lehet mutatni visszaforgatási szintek prioritásának fontosságát. Vegyünk egy példát: a számítógépes processzoroknál (mint alkatrészek) kevésbé ismert az alkatrész szintű újrahasznosítás, inkább a magas nemesfém tartalma miatt anyagként hasznosítják. Amennyiben alkatrész szinten hasznosítjuk, használat után újra visszakerül a hulladékkezeléshez. Ha már alkalmatlan újrafelhasználásra, akkor kellene csak anyagként feldolgozni. Ilyenformán csökkenthető a körforgásban lévő anyagmennyiség, a környezeti elemek igénybevétele és végső soron a termék környezeti költségei is.



4. ábra A körforgási modell [Nagy & P. Rácz]

NAGY G., P. Rácz É. V.: Hulladék megelőzés és hulladék csökkentés a tisztább termelés módszereinek alkalmazásával; 2005; Lajosmizse; XI. Ipari Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás; pp.9–18. Nagy & P. Rácz

3.3 A fenntartható fejlődést szolgáló, hulladék-megelőzést ill. minimalizálást elsegítő módszerek, irányzatok

Itt bevezetésként röviden összevetjük a hulladékmegelőzést szolgáló (preventív) és hagyományosnak nevezhető utólagos (reaktív) környezetvédelmi módszereket. Később rátérünk az ezek kombinációjából fakadó műszakilag megoldható és a gazdasági előnyöket környezetvédelmi szempontokkal ötvöző korszerű irányzatok rövid bemutatására.

3.3.1 Technológiába integrált megelőző környezetvédelem

A tisztább termelés (TT) egy preventív hulladékmegelőzési, csökkentési stratégia, amelyik a hagyományos (nyitott modell szerinti) hulladékkezelés csövégi (reaktív) módszereivel való összevetés révén értelmezhető jól.

A vállalati gyakorlatban alkalmazott környezetvédelmi megoldásokat közelítésmódjuk szerint két alapvető típusba sorolhatjuk. A „reaktívnak” nevezett megközelítés arra keres megoldást,

hogy hogyan lehet a termelés során keletkező szennyezést a környezetre kevésbé ártalmas formába átalakítani. Az ún. „preventív” megoldások ezzel szemben azt tűzik célul, hogy a termelési folyamatot úgy módosítsák, hogy az eleve kevesebb, ill. kevésbé ártalmas szennyezőanyagot bocsásson ki. A 7. táblázat a reaktív és preventív stratégiát hasonlítja össze. A reaktív megközelítés jellemzően ún. „csővégi” (end-of-pipe) technológiák alkalmazásához vezet.

A csővégi technológia általában növeli a technológia komplexitását (ezáltal kockázatát), növeli az anyag- és energiafelhasználást, és végeredményben nem csökkenti (sőt esetenként növeli) a szennyezést, csupán átalakítja a szennyező anyagokat valamilyen kevésbé ártalmas (vagy annak vélt) formába.

A preventív stratégia (TT) ezzel szemben arra törekszik, hogy a termelési folyamatba úgy avatkozzon be, hogy eleve csökkentse (vagy akár teljesen megszüntesse) bizonyos szennyező anyagok keletkezését. Ezt azáltal éri el, hogy a szennyezés keletkezésének okát kutatja, és a forrásnál avatkozik be a folyamatba. Fontos további kritériuma a preventív környezetvédelmi megoldásoknak, hogy az összes szennyezés csökkentését célozzák, tehát bizonyos szennyezések eltávolítása más szennyezések mennyiségének növelése árán nem jelent megoldást.

TÓTH G.(szerk.): Környezeti vezető és auditorképzés; 1999; Budapest; Magyar Szabványügyi Testület. Tóth 1999

A tisztább termelés alapvetően arra a kérdésre keresi a választ, hogy „Hol és mért keletkezik a szennyezés?”.

Az anyag- és energia-megmaradás törvénye (a mérleg-elv) értelmében a folyamatba bevitt és az azt elhagyó anyag- és energia-mennyiség egyenlő (stacionárius folyamatban a tározás nulla). Ebből az következik, hogy a hulladékok és emissziók ugyanazon alapanyagokból keletkeznek, mint a termék. A szennyezés tulajdonképpen elpazarolt nyersanyag.

A tisztább termelés tehát arra keresi a megoldást, hogy hogyan lehet a nyersanyagokat és az energiát minél hatékonyabban hasznosítani, azaz hogyan lehet azonos termékmennyiséget minél kisebb anyag- és energia-felhasználással előállítani. Amennyiben sikerül ilyen megoldásokat találni, a fentiek alapján világosan látszik, hogy ezek közvetlenül csökkentik a termelési költségeket, tehát anyagi hasznot hoznak a vállalatnak (amellett, hogy valóban hatékonyan csökkentik a környezet terhelését).

7. táblázat Az utólagos (reaktív) és megelőző (preventív) környezetvédelem összehasonlítása [Tóth 1999]

Reaktív környezetvédelem	Preventív környezetvédelem
„Mit kezdjek a hulladékokkal és emissziókkal? ...többletköltségekhez vezet A hulladékok és emissziók szűrők és kezelés következtében más formában kerülni ki. „csővégi” (End of Pipe) megoldás Utólagos („tüneti”) kezelés A környezetvédelem csak akkor kerül napirendre, amikor a termék és az eljárás már kifejlesztésre került. A környezeti problémákat műszaki úton oldják meg. A környezetvédelem a felelős szakértők dolga. ...vásárolt szolgáltatás ...növeli a vállalati eszköz- és energiafelhasználást ...növeli a komplexitást és rizikót A környezetvédelem kimerül a törvényi szabályozások teljesítésében.	„Hol és miért keletkezik a hulladék és emisszió?” ... költségcsökkenéshez vezet A hulladékok és emissziók keletkezését a forrásnál kell megakadályozni. A gyártás és anyagfelhasználás kockázatának csökkentése. A környezetvédelem a termék- és gyártásfejlesztés szerves része A környezeti problémákat minden érintett részleg részvételével oldják meg. A környezetvédelem mindenkit érint ...vállalatra jellemző innováció ...csökkenti a vállalati eszköz- és energiafelhasználást ...csökkenti a rizikót és átláthatóbbá teszi a termelést A környezetvédelem egy állandó kihívás (= folyamatos fejlesztés).

A preventív megoldásokra épülő környezetvédelmi stratégiát nevezik „Tisztább Termelésnek” (TT) is, ezt vizsgáljuk részletesebben a következőkben.

KEREKES S., KINDLER J. (szerk.): Vállalati környezetmenedzsment; 1997; Budapest; Aula. Kerekes & Kindler 1997

A tisztább termelés gyakorlati megvalósítását a vállalatnál számos különböző intézkedés szolgálhatja. Ezek közül néhányat (a leggyakoribbakat) az alábbiakban röviden ismertetünk.

- változtatás a terméken (anyagtakarékos desing, egynemű alapanyagok, természetes alapanyagok stb.);
- gondosabb bánásmód (dolgozók motiválása, munkaszervezés, takarékoság stb.);

- alap- és segédanyagok kiváltása (természetes v. biológiailag lebomló anyagok, környezetkímélő vegyszerek stb.);
- technológiai változtatás (anyag- és energiatakarékos technológiák);
- belső visszaforgatás (újbbóli felhasználás azonos célra, kaszkád felhasználás, hasznosítás más célra stb.);
- külső recycling (strukturális vagy anyagbeli újrahasznosítás);
- visszaforgatás biogén körfolyamatokba (pl. komposztálás)
- ártalmatlanítás (hagyományos környezettechnikák, ha a fenti lehetőségeket már kimerítettük).

3.3.2 A hulladékminimalizálását szolgáló irányzatok

A tisztább termelés által képviselt szemlélet révén elérhető megtakarításokat helyezi előtérbe a World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, Világ Üzleti Tanácsa a Fenntartható Fejlődésért) által képviselt **ökohatékonyság** (ecoefficiency) megközelítése is, mely a természeti erőforrások hatékonyabb felhasználását kívánja meg a gazdasági folyamatok során. Ennek értelmében az ökohatékonyság a piaci feltételeknek megfelelő termékek és szolgáltatások nyújtását jelenti olyan módon, hogy azok alkalmasak legyenek az emberi szükségletek kielégítésére és járuljanak hozzá az életminőség javításához, miközben egyre kisebb, a Föld becsült eltartóképességét meg nem haladó környezeti hatással és erőforrás-felhasználással járnak teljes életciklusuk során

MAYER Z. (szerk.): Zöld út az együttműködéshez; 2001; Budapest; MTV TTMK.

E két irányzat mellett Észak-Amerikában „szennyezés megelőzés” (pollution prevention) néven terjedt el a megelőző környezetvédelem filozófiája. A szennyezés megelőzés alapelvei megegyeznek a tisztább termelés és általában véve a megelőző jellegű környezetvédelem elveivel, a különbség elsősorban földrajzi, amint azt a következő definíció is mutatja: a szennyezés megelőzés olyan eljárások, gyakorlatok, anyagok, termékek és energiahordozók alkalmazását jelenti, melyek elkerülik vagy minimalizálják a szennyezőanyagok és hulladékok keletkezését, és csökkentik az ember és a környezet számára fennálló kockázatokat.

A megelőző jellegű környezetvédelem legfontosabb erénye, hogy úgy csökkenti a káros kibocsátásokat, hogy közben a hatékonyság növelésén keresztül gazdasági előnyöket is kínál az elveket alkalmazó gazdálkodó számára. A megelőzés kedvező tulajdonságai mellett azonban

néhány korlátozó tényezővel is számolni kell, melyek az elvek szélesebb körben való elterjedését hátráltatják.

Ezek közül az egyik legfontosabb, hogy az alkalmazott technológia módosításával járó intézkedések esetén nem csak a környezeti szempontok figyelembe vétele válik szükségessé, hanem a teljes folyamat újragondolására is elkerülhetetlenné válik, ami magában foglalja a termékekben, illetve szolgáltatásokban történő változtatásokat is.

A csővégi és a megelőző jellegű intézkedések mellett, azokkal részben átfedve, napjainkban egy harmadik irányzati is megjelent, melyet a szakirodalomban „ipari ökológiának” (industrial ecology) neveznek. Bár amint arra már korábban is utaltunk, az egyes irányzatok elkülönítése nem oldható meg egyértelműen, és az ipari ökológia definíciója sem állít fel egyértelmű határokat, alapvető jellemzői alapján mégis érdemes különválasztani az előbb tárgyalt megközelítésektől.

Az ipari ökológia az előbbieken ismertetett két felfogással ellentétben nem egyetlen technológiai folyamatra teszi a hangsúlyt, hanem kilépve ebből a rendszerből a folyamatok, illetve gazdálkodó egységek közötti anyag- és energiaáramlásokat helyezi a középpontba. Az elnevezés is utal legfontosabb jellemzőjére: az ipari ökológia az ipari rendszereket a természetes ökoszisztémákhoz hasonlítja. Felfogása szerint a cél nem a vállalatok által kibocsátott káros anyagok minimalizálása, azaz a forrásnál történő beavatkozás, mely a megelőzés legfontosabb feladata, hanem a megtermelt melléktermékek újbóli hasznosítása, amint arra a természetből vett példák is útmutatásul szolgálhatnak (az ősszel lehullott levelek a talajban lebomlanak, majd más növények tápanyagául szolgálnak).

Ezen új tudományterület középpontjába ezért a folyamatok helyett a termékek és szolgáltatások kerülnek, legfontosabb módszerei közé pedig az életciklus elemzés, valamint az öcodesign tartoznak.

A fentieket összegezve megállapítható, hogy az ismertetett irányzatok – a csővégi technológiák, a megelőző jellegű intézkedések és az ipari ökológia – egyike sem zárja ki a másik kettő alkalmazását, hanem az adott esetben leginkább megfelelő megoldás feltárását és megvalósítását kell célul kitűzni. Míg bizonyos esetekben a káros kibocsátások keletkezésének a csökkentését kell megcélozni, addig egy másik helyzetben a már megtermelt hulladék nyersanyagként való hasznosítása a célszerű, és amennyiben ezek a módszerek valamilyen oknál fogva nem alkalmazhatóak (például az infrastruktúra sajátosságai vagy technológiai korlátok miatt), akkor a csővégi megoldások is szerepet kaphatnak (**5. ábra**).



5. ábra A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. [Zilahy 2001]

ZILAHY Gy.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig; 2001; Budapest; Átfogó I. évf. 1. szám; ELMO Csoport Kft Zilahy 2001

A fenntartható fejlődés a javak és szolgáltatások előállításán kívül – amint azt a **5. ábra** is mutatja – azok fogyasztásával kapcsolatban is állít fel követelményeket. A fogyasztás mértékével, illetve összetételével kapcsolatban a legfontosabb feladatot a társadalom környezeti tudatosságának a fejlesztése jelenti. Ennek eszközei között első helyen kell, hogy szerepeljen az iskolai oktatás az alapoktól egészen a felsőfokú képzésig, illetve minden olyan információs csatorna, mellyel a társadalom figyelme felkelthető és tudása gyarapítható.

3.3.3 Integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás (IPPC)

Az integrált szennyezés-megelőzésről és szabályozásról (Integrated Pollution Prevention and Control, a továbbiakban: IPPC) szóló 96/61. számú közösségi direktívát az Európai Tanács 1996. szeptember 24-én fogadta el. (Hazai jogszabályként a Kormány 193/2001. (X.19.) Korm. rendeletében az egységes környezethasználat engedélyezési eljárás részletes szabályairól hirdették ki.)

Az IPPC direktíva olyan engedélyezési rendszer kialakítását írja elő, mely az egész környezet magas szintű védelmi érdekében, a legjobb elérhető technikákra (BAT) építve, azokra az ipari tevékenységekre állapít meg szabályokat, melyeknél a legvalószínűbb a környezeti elemek bármilyen szennyezése.

A szabályozás lényegi tartalma két pilléren áll: az engedélyezési eljárás és a legjobb elérhető technikák (BAT) alkalmazásán. Ezek mellett kiemelt jelentőséggel bír az információcsere követelménye a szabályozottak, a hatóságok és a tagállamok között, valamint a nyilvánosság részvétele az engedélyezési eljárásban.

A BAT fogalom – mint a direktíva legfontosabb eleme – az alábbiak szerint értelmezhető:

Legjobb Elérhető Technikák (Best Available Techniques – BAT) jelentése az alkalmazott tevékenységek és működtetési módszerek fejlettségének leghatékonyabb és legmagasabb színvonala, ami jelzi az adott műszaki berendezések gyakorlati megfelelőségét arra, hogy biztosítsák az elvi alapot a kibocsátási határértékek meghatározásához, amely határértékeket úgy terveztek, hogy megakadályozzák, vagy ahol ez gyakorlatilag nem lehetséges, általánosan csökkentsék a kibocsátásokat és azok hatását a környezetre, mint egészre;

- technika (techniques) jelentése mind az alkalmazott technológia, mind annak módja, ahogy a létesítményt tervezték, építették, karbantartották, üzemeltették és lebontották;
- elérhető (available) technikák azok, amelyeket oly mértékben fejlesztettek ki, hogy a vonatkozó ipari szektorban alkalmazhatóak legyenek gazdaságilag és műszakilag életképes feltételek mellett, figyelembe véve a költségeket és az előnyöket, függetlenül attól, hogy az adott technikát a kérdéses tagállamban alkalmazzák vagy előállítják vagy sem, addig a mértékig, amíg azok ésszerűen hozzáférhetők az üzemeltető számára. Találkozni lehet még az „available” kifejezés „beszerezhető” vagy „rendelkezésre álló” fordításával is, melyek szintén helyesek;
- legjobb (best) jelentése a leghatékonyabb abban, hogy a környezet, mint egész védelmében egy magas fokú általános szintet érjenek el.

3.3.4 Az életciklus-elemzés (LCA=Life Cycle Assessment)

Szabványos fogalmak:

Életciklus: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszerének egymás után következő, egymáshoz kapcsolódó szakaszai, a nyersanyag beszerzéstől vagy a természeti erőforrás keletkezésétől az újrahasznosításig vagy az ártalmatlanításig.”

Életciklus-elemzés: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszeréhez tartozó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során.”

Az életciklus-elemzés egy termékkel vagy egy folyamattal kapcsolatos környezeti terhek értékelésének a folyamata

TAMASKA L., RÉDEY Á., VIZI Sz.: Életciklus elemzés készítése. 2001; Veszprém, Tisztább Termelés Kiskönyvtár II. Tamaska et al. 2001

Felismerte, hogy a termékek, folyamatok és szolgáltatások minden egyes életciklus lépcsője környezeti és gazdasági hatásokkal jár. Ez a folyamat a gyártás vagy folyamat során felhasznált energia, anyagok és a környezetbe bocsátott emissziók minőségi és mennyiségi meghatározásával kezdődik. Ezen adatok alapján lehet a termék vagy folyamat környezeti hatását felbecsülni, szisztematikusan értékelni és a környezeti fejlesztés lehetőségeit felmérni. Az LCA a termék, a csomagolás vagy a folyamat teljes életciklusát tartalmazza, nevezhető „bölcsőtől a sírig” megközelítésnek is.

A teljes életút lépései:

- nyersanyagok kitermelése és feldolgozása,
- gyártás,
- szállítás és terjesztés,
- használat,
- újrafelhasználás, újrahasznosítás,
- hulladék-elhelyezés.

Az életciklus-elemzés az ún. leltár fázisból, hatásbecslésből és a fejlesztés analíziséből áll. Az LCA leltár fázisa az energia- és a nyersanyagszükségletek meghatározásának objektív, adatokon alapuló folyamata. Ezen túl a leltár fázis tartalmazza a vízi és légköri emissziók, a szilárd hulladékok és más környezeti hatások meghatározását a termék, folyamat vagy szolgáltatás életciklusa során. Az életciklus-elemzés hatásbecslése technikai, mennyiségi vagy minőségi folyamat a leltárban meghatározott környezeti terhelések hatásának jellemzésére és becslésére. A becslésnél mind ökológiai, mind az emberi egészséget figyelembe kell venni, illetve olyan egyéb hatásokat is, mint pl. egy élőhely megváltozása vagy a zajhatás. Az LCA fejlesztés analízise a termék, folyamat vagy szolgáltatás teljes életciklusa alatti környezeti terhelés csökkentési lehetőségeinek és szükségességének a szisztematikus értékelése.

3.4 Környezetközpontú irányítási rendszerek (KIR, KMR)

A fenntartható fejlődés, a környezet védelme az 1990-es években vált az üzleti vállalkozások stratégiai tényezőjévé. A vállalkozásoknak jelentősen szigorúbb törvényi, hatósági szabályozásnak kell megfelelni, megnőtt a lakosság érzékenysége a környezeti kérdések iránt,

miközben fokozódott az igény a környezeti kockázatokra vonatkozó megfelelő tájékoztatásra.

A médiumok is korábban soha nem tapasztalt mértékben összpontosítanak környezeti kérdésekre, és a nemzetközi egyezmények is fokozódó hangsúlyt helyeznek a környezet megóvására. Mindezek következtében nyilvánvaló, hogy a környezetvédelemnek növekvő hatása van s lesz kis és nagy vállalatokra egyaránt, Magyarországon ugyanúgy, mint más országokban.

A környezettudatos fejlődés tényleges kulcsa azonban az egyéneknek és szervezeteknek a minőség és a környezeti teljesítmény iránti elkötelezettsége, amely nem csak helyi méretekben valósul meg, hanem az egész földkerekségre kiterjed.

A környezetirányítás szabványos rendszerei közül az Angliában kidolgozott BS (British Standard) 7750 szabvány és az Európai közösségek Tanácsa által kiadott EC-Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), az európai követelményrendszer a legismertebbek. Ezek szolgálták az 1996 őszén kiadott ISO 14001 szabvány, a 14000-es sorozat első tagjának alapjául.

Az „ISO-14000” megnevezés az ISO által készített környezetvédelmi szabványok összességét jelenti, számozásuk 14000-el kezdődik.

A szabványsorozat egyes elemeinek tartamát itt mutatjuk be röviden. Később részletesebben tárgyaljuk az ISO 14001 szabványt, amely az egész sorozat kulcseleme.

Az ISO 14000 szabványsorozat írja le azon alapelemeket, amelyekből felépül egy hatékonyan működő környezeti menedzsment rendszer. Ezek közé tartozik a saját környezetpolitika és célkitűzések kialakítása, ezek elérésére szolgáló programok megvalósítása, a környezeti teljesítmény mérése, a hibák kijavítása és a környezeti teljesítmény növelését szolgáló rendszer figyelemmel kísérése.

A hatékony környezetirányítási rendszer segíti a vállalatokat működésük környezeti vonatkozásainak megítélésében és javításában. Mindez összességében a szokásos, és a szokásoson túlmenő, eredményesebb teljesítéshez vezethet, miközben a környezeti kockázatok csökkentésének gyakorlata beépül a vállalatirányítás szokásos tevékenységei közé.

3.4.1 Az ISO 14001 céljai és eszközei

A 14001-es nemzetközi szabvány egy Környezetközpontú Irányítási Rendszer (KIR) – más néven környezeti menedzsment rendszer (KMR) – követelményeit írja le, oly módon, hogy alkalmazgató legyen mindenféle típusú és nagyságú szervezetben, és igazodni tudjon különböző földrajzi, kulturális és társadalmi feltételekhez.

A szabvány az irányítási rendszer követelményeit a „tervezés, bevezetés, ellenőrzés és átvizsgálás” dinamikus ciklusos folyamat alapján építi fel.

Egy ilyen típusú rendszer képessé teszi a szervezetet arra, hogy olyan eljárásokat hozzon létre, amelyekkel kitűzheti környezeti politikáját és céljait, értékelje ezek hatékonyságát, elérje teljesülésüket és igazolja mások számára is a teljesülést. A szabvány alapvető célja a környezetvédelem segítése, és a szennyeződés olyan mértékű megelőzése, ami egyensúlyban van a társadalmi-gazdasági szükségletekkel.

A KIR 14001 szabványa csak olyan követelményeket tartalmaz, amelyeket objektíven lehet felhasználni audithoz tanúsítás/regisztrálás és/vagy önellenőrzési nyilatkozat céljaira. Lényeges, hogy a 14001-es szabvány nem tartalmaz abszolút követelményeket kibocsátásokra vagy hasonló környezeti kritériumokra. A hangsúly az elkötelezettségeken van, amelyek a környezeti politikában szerepelnek, a jogszabályok teljesítését illetik és a folyamatos javítást tűzik ki célul. A szándék az, hogy a szabványban rögzített követelmények szerinti KIR bevezetése jobb környezeti teljesítést eredményezzen. A követelmények azon az elgondoláson alapulnak, hogy a szervezet időszakonként átvizsgálja és kiértékeli a KIR-ét, hogy megkeresse a javítási lehetőségeket és bevezesse ezeket. A környezetközpontú irányítási rendszer javításának célja a környezeti teljesítés további javítása.

3.4.2 Az EMAS rendelet

Az EMAS teljes neve: 1836/93 számú (ET) Tanácsi rendelet az iparvállalatok önkéntes részvételéről a Közösség öko irányítási és auditálási rendszerében. Az EMAS szintén egy környezetközpontú irányítási rendszer, egy KIR, formáját tekintve azonban nem egy szabvány. Az EMAS-t az ipari szennyezéscsökkentés és kockázatsökkentés témakörébe sorolja az EU: a szabályozás formája regulation, vagyis közvetlenül alkalmazandó minden országban, nincs szükség arra – mint a direktívák esetében – hogy az egyes országok azt adaptálják és beemeljék saját jogi szabályozásukba.

Az EMAS az ipari tevékenységet végző vállalatok önkéntes részvételén alapuló európai uniós rendszer, melynek fő célja az ipari tevékenységek környezetvédelmi teljesítményének folyamatos javítása:

- a vállalatok által kiépített és bevezetett környezeti politika, környezetvédelmi programok és menedzsment rendszer által,
- ezen elemek rendszerezett, objektív és rendszeres auditja által,
- és azáltal, hogy információt szolgáltat a vállalat a közvélemény számára.

3.5 Hulladékgazdálkodási tervek

A magyar környezetpolitika a fenntartható fejlődést elősegítő – a környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvényben rögzített – elveit és céljait a hulladékkal kapcsolatban a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény (a továbbiakban: Hgt.) határozza meg.

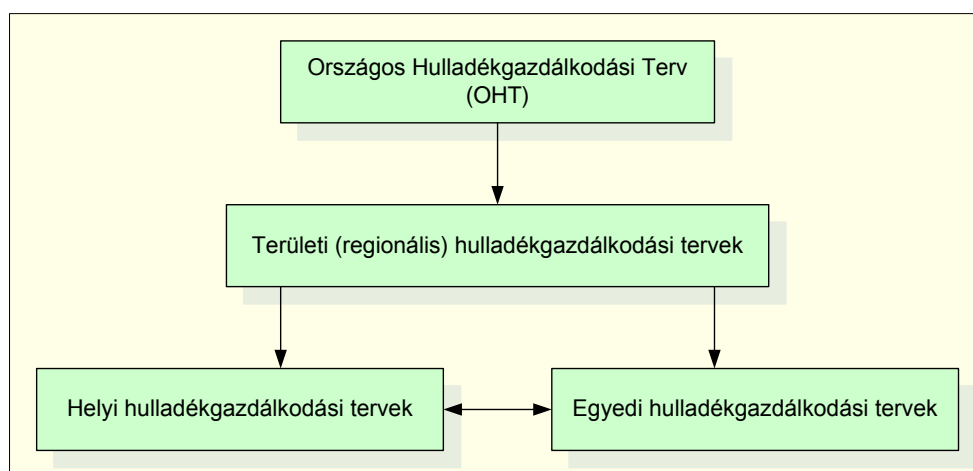
A hulladékgazdálkodási törvény kiemelt fontosságú, elérendő célként határozza meg:

- a képződő hulladék mennyiségének, veszélyességének csökkentését, az újrahasználatot,
- a keletkező hulladék hasznosítását,
- a nem hasznosuló, vissza nem forgatható hulladék előírásoknak megfelelő ártalmatlanítását.

A törvényben meghatározott célok elérését a hulladékgazdálkodási tervek az alapelvek érvényesítésével segítik elő. Az Országos Hulladékgazdálkodási Tervet (OHT) az Országgyűlés 2002. november 26-án fogadta el, a 110/2002.(XII.12.)OGY határozattal. Az OHT-t és az annak alapján készülő egyéb, különböző szintű hulladékgazdálkodási terveket kidolgozóik – hat évre készítik el és 2 évente beszámolót állítanak össze az abban foglaltak végrehajtásáról..

A különböző szintű hulladékgazdálkodási terveket a területen lévő, illetve működő helyi önkormányzatok, érintett más hatóságok, érdekképviselői szervezetek, környezetvédelmi társadalmi szervezetek bevonásával kell készíteni (Hgt. 33.-36.§).

A hulladékgazdálkodási tervek rendszere (**6. ábra**) hatásterületi hierarchia szerint épül fel.



6. ábra Hulladékgazdálkodási tervek rendszere [OKTVF]

OKTVF: Hazánk környezeti állapota; 2005; Budapest; Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium; p. 123. OKTVF

Országos Hulladékgazdálkodási Terv

Az átfogó tervezési rendszert megalapozó első Országos Hulladékgazdálkodási Terv a hulladékgazdálkodás célrendszerének megfelelően elemzi a magyarországi hulladékképződés és kezelés mai helyzetét, meghatározza a Nemzeti Környezetvédelmi Program (NKP) tervezési periódusához igazodóan a 2003–2008. között elérendő célokat, valamint a célok elérését biztosító intézkedéseket és programokat. Ezek keretében kijelöli a feladatokat mind a különböző hulladéktípusokra, mind az egyes gazdasági szektorokra vonatkozóan, illetve meghatározza a feladatok megosztását a hatósági, közigazgatási szervezetek, az önkormányzatok, a társadalmi és gazdasági szervezetek, valamint az ipar, a kereskedelem, a mezőgazdaság és a szolgáltatások területén működők között.

Az OHT célkitűzéseinek és intézkedéseinek meghatározásánál fokozott figyelemmel van az Európai Unióhoz történő csatlakozásból adódó kötelezettségekre, az Európai Közösség integrált hulladékgazdálkodási politikájához történő igazodásra, a már harmonizált vagy később harmonizálandó vonatkozó közösségi jogi szabályozás tartalmára, illetőleg a „Környezet 2010: A jövőnk a mi választásunk” című az Európai Közösség 6. Környezetvédelmi Akcióprogramjára.

Az OHT megvalósításával megoldandó, illetve kezelendő főbb feladatok:

- Csökkenteni kell a mind abszolút mértékben, mind a termelési értékhez viszonyítottan magas hulladékképződési arányt;
- Emelni kell a legtöbb hulladékfajtánál alacsony hasznosítási arányt, ösztönözni kell a takarékos anyag- és energiagazdálkodást;
- Meg kell oldani a nagy mennyiségben tárolt hulladék nyersanyagkénti felhasználását;
- Minimalizálni kell a lerakással történő ártalmatlanítás igen magas arányát;
- Növelni kell a számos esetben nem megfelelő hulladékkezelés színvonalát és biztonságát, mérsékelni kell az egészségügyi és környezeti veszélyeztetés, illetve kockázat mértékét;
- Fokozatosan fel kell számolni az elmúlt évtizedekben kialakult, nem megfelelő hulladékelhelyezésből származó veszélyeztető forrásokat és szennyezett területeket;
- Növelni kell az elvek és szabályok betartásának, a környezettudatos és jogkövető magatartásnak a mértékét;
- Teljessé kell tenni az egyes területeken hiányos szabályzási rendszert, növelni kell a szemléletformálás és a szakmai útmutatási eszközök alkalmazásának hatékonyságát;

- Erősíteni kell a hatósági jogérvényesítés személyi, szakmai és intézményi feltételrendszerét;
- Fejleszteni kell a hulladék monitoring (nyilvántartás, statisztikai adatszolgáltatás, mérés-ellenőrzés) eszközrendszerét, különös tekintettel az adatok megbízhatóságára;
- Piackonform gazdasági szabályozókkal kell ösztönözni a fenntartható fejlődés elvének megfelelő, hosszú távon előnyös megoldásokat, a korszerű, komplex hulladékgazdálkodási rendszerek kiépülését, különös tekintettel a hasznosításra;
- Ösztönözni kell a hulladékgazdálkodási célok elérését segítő kutatást és műszaki fejlesztést;
- Erősíteni kell az állami és a magánszféra közötti együttműködést, támogatni kell a helyi, illetve helyi közösségi kezdeményezéseket, különös tekintettel a hulladék elkülönített gyűjtésére és hasznosítására;
- Hatékonyabbá kell tenni az oktatási, nevelési, szemléletformálási tevékenységet.

Területi hulladékgazdálkodási terv

A területfejlesztésről és területrendezésről szóló 1996. évi XXI. tv. 5. §-ban meghatározott tervezési-statisztikai régióra vonatkozóan a környezetvédelmi felügyelőségek által készített hulladékgazdálkodási terv. A hét területi hulladékgazdálkodási terv elkészült és a 15/2003.(XI.7.) KvVM rendelettel került kihirdetésre.

A környezetvédelmi felügyelőség a területi hulladékgazdálkodási terv készítése során bekéri a területi hulladékgazdálkodási terv tervezetere a tervezési területtel érintett közigazgatási szervek, a helyi önkormányzatok, az érintett érdek-képviselői szervek, valamint a környezetvédelmi társadalmi szervezetek által delegált személyek véleményét.

A területi hulladékgazdálkodási tervet úgy kell elkészíteni, hogy a területi hulladékgazdálkodási terv biztosítsa a Hgt. 56. §-a (7) bekezdésében meghatározott szervesanyag-tartalom csökkenést, valamint a Hgt. 56. §-a (8) bekezdésében meghatározott csomagolási hulladékhasznosítás arányt.

Megyei hulladékgazdálkodási terv

Egy megye közigazgatási területére vonatkozóan meghatározott tartalommal a megyei önkormányzat által készített hulladékgazdálkodási terv. Készítése nem kötelező. Tartalma, felépítése a területi tervekéhez hasonló.

Helyi hulladékgazdálkodási terv

Egy települési önkormányzat területére, vagy az egy körjegyzőséghez tartozó települések területére, illetve hulladékgazdálkodási feladataikat társulásban, vagy más módon közösen ellátó települési önkormányzatok illetékességi területére meghatározott tartalommal készített hulladékgazdálkodási terv. A tervezés során kiemelt figyelmet kell fordítani a települési hulladékok körére, a szelektív gyűjtésre és az önkormányzatok egyéb, hulladék keletkezéssel járó tevékenységi körére.

Egyedi hulladékgazdálkodási terv

Az egyedi tervek elkészítésével kapcsolatos fontosabb rendelkezéseket a 126/2003.(VIII.15.) Korm. rendelet tartalmazza. Egyedi terv készítésére kötelezett az a gazdálkodószervezet, amelynél legalább 10 tonna veszélyes hulladék keletkezik évente, vagy az éves keletkező összes hulladékmennyiség meghaladja a 200 tonna hulladéktömeget. Az egyedi tervet az egyes telephelyekre kell készíteni, több telephely esetén együttesen is elkészíthetik azt, de az egyes telephelyekre vonatkozó tervrészeknek külön kell megjelenniük a tervben

FARKAS H.: Az egyedi hulladékgazdálkodási tervezés; 2003; Budapest; Hulladéksors 12. 10–16. Farkas 2003

Irodalomjegyzék

- NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft.
- ÁGOSTHÁZI L., BARÓTFI I., BORIÁN Gy., CS. FELLEG Á., PODA J.: Környezetvédelmi alapismeretek II; 2001; Budapest; KvVM; 162.
- BULLA M.: Környezetvédelmi kihívások; 2001; INFO-Társadalomtudomány; 52. sz.; p. 5-13.
- NAGY G., P. Rácz É. V.: Hulladék megelőzés és hulladék csökkentés a tisztább termelés módszereinek alkalmazásával; 2005; Lajosmizse; XI. Ipari Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás; pp.9–18.
- NAGY G.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. (előadás);2005; Mosonmagyaróvár; OMBKE Mosonmagyaróvári Szervezete; Szakmai Tudományos Napok; 2005. július 3–4.
- SZEDER Z.: Elektronikai készülékek hulladékainak kezelése; 2000; Budapest; BBS-E Bt.
- NAGY G.: Technológiai rendszerek; 2001; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft.
- TÓTH G.(szerk.): Környezeti vezető és auditorképzés; 1999; Budapest; Magyar Szabványügyi Testület.
- KEREKES S., KINDLER J. (szerk.): Vállalati környezetmenedzsment; 1997; Budapest; Aula.
- MAYER Z. (szerk.): Zöld út az együttműködéshez; 2001; Budapest; MTV TTMK.
- ZILAHY Gy.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig; 2001; Budapest; Átfogó I. évf. 1. szám; ELMO Csoport Kft.
- TAMASKA L., RÉDEY Á., VIZI Sz.: Életciklus elemzés készítése. 2001; Veszprém, Tisztább Termelés Kiskönyvtár II.
- OKTVF: Hazánk környezeti állapota; 2005; Budapest; Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium; p. 123.
- FARKAS H.: Az egyedi hulladékgazdálkodási tervezés; 2003; Budapest; Hulladéksors 12. 10–16.

4 Hulladékok gyűjtése, átrakása, szállítása

Rózsáné Szűcs Beatrix Eötvös József Főiskola, Dr. Simon Miklós, Eötvös József Főiskola

4.1 Hulladékok gyűjtése, begyűjtése

A települési hulladék környezetszennyezést megelőző, károsítást kizáró módon történő gyűjtésére a hulladék keletkezési helyének tulajdonosa, birtokosa, használója kötelezett [\(213/2001. \(XI. 14.\) Korm. rendelet\)](#). A hulladékgazdálkodásról szóló [2000. évi XLIII. törvény](#) a települési önkormányzatok kötelező feladataként írja elő a hulladékkezelés-közszolgáltatás megszervezését. A közszolgáltató igénybevétele a lakosság számára kötelező. A hulladékgazdálkodás fogalmai szerint a gyűjtés a termelő telephelyén történik, míg a begyűjtés az a tevékenység, amikor a hulladékkezelő a hulladékot a termelőktől vagy más birtokosoktól rendszeresen összeszedi és elszállítja a begyűjtőhelyre, a hasznosítás vagy ártalmatlanítás helyére, illetőleg a hulladékot átveszi a hulladék birtokosaitól a begyűjtőhelyeken, gyűjtőpontokon (www.kvvm.hu). A begyűjtést települési hulladékok esetében végezheti közszolgáltató, a termelés és szolgáltatás során keletkező hulladékok esetében pedig hulladékkezelő vállalkozások.

4.1.1 Hulladékok gyűjtése

Hulladékgyűjtés eszközei

Települési hulladékok gyűjtéséhez a technológiai, egészségügyi és munkavédelmi szempontok figyelembevételével különböző típuseszközök használatosak. A mennyiség és gyűjtőterület szerint különböző térfogatú típusedényeket alkalmaznak [\(PAÁLNÉ et al., 1993; OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003; \[www.semicont.com\]\(http://www.semicont.com\)\)](#):

- kistartályok (35, 50, 60 L űrtartalommal),
- középtartályok (80, 110, 120, 140, 240, 360 L űrtartalommal),
- kiskonténerek (660, 770, 1000, 1100 L űrtartalommal),
- konténerek (1,1 m³ feletti űrtartalommal).

A kertes, családiházas övezetekben a 110 L-es, a belvárosi övezetekben a 240 L-es tartályokat, a lakótelepeken, intézményekben az 1,1 m³-es konténereket alkalmazzák a leggyakrabban. Az 1,1 m³ feletti konténereket főleg az intézményekben, a kereskedelemben és a termelésben alkalmazzák.

A hulladékgyűjtő edények szerkezeti és formai kialakításánál az alábbi szempontokat kell figyelembe venni **(FEHÉR, 1977; PAÁLNÉ et al., 1993; OLESSÁK, 2000):**

- mechanikai és vegyi hatásoknak ellenálló, tűzbiztos kivitel,
- jól záródó, könnyen mozgatható fedél,
- könnyű és gyorsan üríthetőség,
- könnyű kezelhetőség és tisztíthatóság,
- időálló, könnyű anyagból készüljön,
- beürítő-, illetve csererendszer esetén illeszkedjen az emelőszerkezethez.

A konténerek különböző térfogattal készülhetnek acéllemezről vagy műanyagból. Kommunális hulladékok gyűjtésére használt kis- és középtartályok általában műanyagból készülnek. A konténerek egyaránt lehetnek zárt és nyitott kivitelűek. A gyűjtőedényeket általában kétkerekű, a konténereket négykerekű kivitelben készítik. A megtelt konténerek szállítójárműre helyezve kerülnek elszállításra, helyükre üres konténerek kerülnek. A konténeres módszer előnyei **(SIKLÓSSY, 1993; OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003):**

- a konténerekben darabos hulladékok is gyűjthetők,
- higiénikus, mivel a konténerek nem a helyszínen kerülnek ürítésre,
- rakodási, szállítási munkaerő igénye minimális.

A konténeres gyűjtési módszer hátrányai:

- speciális szállítójárművet igényel,
- gyakran csak tömörítő berendezéssel ellátott edényzet alkalmazása gazdaságos.

A konténeres módszert főleg termelési hulladékok gyűjtése esetében alkalmazzák. Alkalmazása ott célszerű, ahol a hulladék feldolgozó-ártalmatlanító létesítmény a közelben van.

A hulladékgyűjtő edényzetek térfogatának jobb kihasználása érdekében a hulladékokat már a gyűjtés során tömöríthetik. Az öntömörítős konténerekkel a szállítás gazdaságosabbá tehető. Az ilyen konténerekben hidraulikus tömörítő berendezést helyeznek el, amely a laza hulladékot 1:5 – 1:8 arányban tömöríti **(OLESSÁK, 2000)**. Konténer tömörítő berendezések előnyei, hogy a hulladék térfogatának akár az ¼-ére is tömöríthetnek, több konténer egymást követő tömörítésére alkalmasak, műanyag és fémkonténer esetében egyaránt alkalmazhatóak **(www.straumann-umwelt.de)**. Ezeket, a tömörítő berendezéseket főként áruházakban, bevásárló központokban, ipari és szolgáltató létesítményekben alkalmazzák.

A hulladékgyűjtés megvalósítható zsákos módszerrel, amikor a hulladékot a keletkezés helyén műanyag vagy papír zsákokban gyűjtik és így kerül elszállításra a hasznosító-ártalmatlanító telephelyre. A zsákos módszer előnyei [\(FEHÉR, 1977; SIKLÓSSY, 1993; OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003\)](#):

- a változó hulladékmennyiséghez rugalmasan igazítható,
- higiénikus, por- és bűzmentes,
- a zsákok a hulladékkal együtt hasznosításra-ártalmatlanításra kerülnek, így nem szükséges azok tisztítása, fertőtlenítése,
- olcsó, nem igényel speciális hulladékgyűjtő edényt és járművet,
- szelektíven gyűjtött hulladékok esetében jól alkalmazható,
- csúcsidőszaki hulladékok kezelése esetében jól alkalmazható.

A zsákos módszer hátrányai:

- nem minden típusú hulladék gyűjtésére alkalmazható,
- a megtelt zsákok gyors elszállítása szükséges,
- a zsákok beszerzése költséges,
- a zsákok hasznosításáról, ártalmatlanításáról gondoskodni kell.

A zsákos módszer egyre inkább elterjedőben van a házon belüli szelektív hulladékgyűjtés esetében mind a csomagolási hulladékok, mind a zöldhulladékok gyűjtésénél.

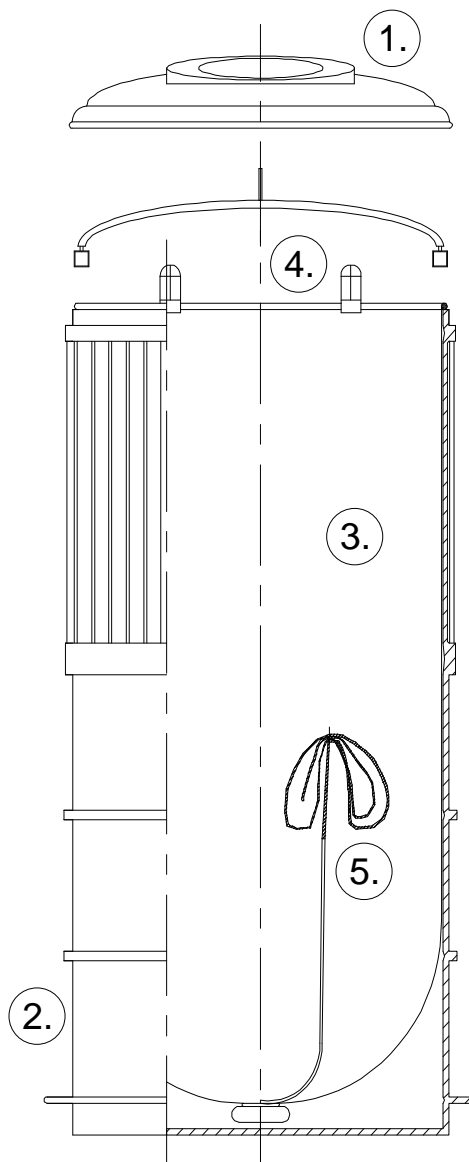
Hulladék gyűjtőhelyek, tárolók kialakítása

A hazai építési előírások szerint az épületekben a hulladékok gyűjtésére megfelelően kialakított nyitott vagy zárt tárolóhelyről kell gondoskodni. A hulladéktárolókat úgy kell kialakítani, hogy a gyűjtőedények töltését, a járművek beállítását, az edényzetek ürítését egyszerűen, zavarmentesen el lehessen végezni. Előregyártott, elemekből összeállítható tárolófülkéket is alkalmaznak a hulladékok gyűjtésére [\(NAGY et al., 2002\)](#). Új épületekben olyan tárolóhelységet kell építeni, amely [\(FEHÉR, 1977; PAÁLNÉ et al., 1993\)](#):

- az épület bejáratához közel, a földszinten helyezkedik el és ajtóval zárható,
- méreteit a tartályok típusa és száma adja meg,
- falazata, padlózata könnyen tisztítható,
- szellőzése és világítása biztosított,
- tömlővéges csatlakozású vízcsappal, padlóösszefolyóval és szennyvíz elvezetővel van ellátva.

A lakótelepek esetében nyitott hulladéktárolókat is alkalmazhatnak, azonban a hulladéktárolót nem célszerű a bejárathoz közel elhelyezni.

A hulladék gyűjtése történhet a felszín alatt is. A felszín alatti gyűjtőedények 2/3-a általában a felszín alatt található. A függőleges kiterjedése miatt nagyobb mennyiségű hulladékot képes befogadni, mint a hagyományos felszíni gyűjtőedények. Hatékonysága kétszeres, mint a hagyományos gyűjtőedénynek, mivel a gravitáció hatására a hulladék jobban tömörödik. A felszín alatti gyűjtés közegészségügyileg is kedvezőbb, mivel nyáron a hulladék a felszín alatt később indul bomlásnak, mint a felszíni gyűjtőedényzetek esetében. Ezt a hulladékgyűjtési formát főleg kommunális hulladékok gyűjtésénél használják, de már hazánkban is alkalmazzák szelektív hulladékgyűjtésre (pl. Siófok és térsége).



7. ábra. MOLOK gyűjtőedényzet részei
(1. zárható fedél, 2. tartály, 3. kiemelő zsák, 4. emelő fűlek, 5. záró mechanizmus)

A mélygyűjtéses módszer egyik finn szabadalmaztatott technológiája a MOLOK[®] gyűjtőedényzet, vázlatát a **7. ábra** mutatja (www.molok.com). A gyűjtőedényzeteket 300 L és 5 000 L közötti térfogatokban gyártják, felszín feletti külső borítása többféle anyagból (pl. fa, kő, fém, műanyag) készül, így azok illeszkednek a környezetbe. A gyűjtőedényzet bedobó nyílással és zárható fedéllel van ellátva, a tartály vízzáró műanyagból készül. A hulladékot egy belső zsákban gyűjtik, amely egy ún. kiemelő zsákban helyezkedik el. Az edények ürítése platós teherautó darujával történik, amely csak egy kezelőszemélyzetet igényel, és mintegy 3 perc alatt elvégezhető. Ürítéskor a fedelet felemelik, a belső zsák száját lezárják, a kiemelő zsákot kiemelik és az autó darujával a plató fölé viszik. A zsák alján lévő egyszerű mechanizmus segítségével kinyitják a kiemelő zsákot, s így a hulladék a zárt belső zsákban a platóra csúszik.

4.1.2 Szelektív hulladékgyűjtés követelményei és módszerei

A hulladékhasznosítás elősegítésének egyik eszköze a szelektív hulladékgyűjtés ([KISS, 2005](#)). Szelektív hulladékgyűjtésnek nevezzük azt a folyamatot, amikor a hulladéktermelőknél keletkező, számukra már feleslegessé váló anyagokat külön gyűjtik, és adják át további hasznosításra, ipari feldolgozásra (www.biokom.hu). A szelektív hulladékgyűjtés megvalósíthatóságának egyik feltétele a jogi szabályozás támogatása, a visszanyert összetevők ipari hasznosításának, kereskedelmi értékesítésének megléte, illetve a veszélyes hulladékok ártalmatlanításának biztonságos, hosszú távú megoldása. A fővárosban és nagyobb városokban 40-45 tömegszázalék, országos átlagban 25-30 tömegszázalék a hasznosítható alkotók (papír, műanyag, üveg, fém) részaránya, amely várhatóan 2008-ra 35-40 tömegszázalékra fog növekedni ([RÉDEY et al., 2003; KISS, 2005](#)).

A szelektív gyűjtés terjedését jogszabályok és irányelvek ösztönzik. Magyarországnak a 94/62/EK irányelvben előírt hasznosítási arányokat (50-65%) 2005. kellett elérnie (Kiss, 2005). A szelektív hulladékgyűjtés mellett szól a csomagolóanyagok kezelésének szabályozása, amely kimondja, hogy 2006-ig a csomagolóanyagok 50%-át hasznosítani kell, ezen belül az anyagában történő hasznosítás legalább 25% kell legyen ([94/2002. \(V. 5.\) Korm. rendelet](#)). A hulladékgazdálkodásról szóló [2000. évi XLIII. törvény](#) a lerakásra kerülő hulladék biológiailag bontható szervesanyag-tartalom csökkentését is célozza (2007-ig 50 %-ra, 2014-ig 35 %-ra az 1992-es évhez képest), amely a biohulladékok szelektív gyűjtését támogatja ([OHT, 2002](#)). Magyarországon jelenleg 3,5 millió ember számára elérhető a szelektív hulladékgyűjtés

(www.ikszenet.hu), azonban 2008-ban legalább 6 millió lakost lefedő szelektív begyűjtő rendszert kívánnak kialakítani.

Szelektív hulladékgyűjtés célja a következők szerint fogalmazható meg ([OLESSÁK, 2000](#); [KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#); www.biokom.hu):

- hasznosítható hulladékok feldolgozóiparba történő visszaforgatása, ezáltal a primer erőforrások kímélése,
- szelektív gyűjtéssel elért hulladékmennyiség csökkenése miatt hulladéklerakó kapacitások megtakarítása, ezáltal a lerakók élettartamának növelése,
- veszélyes frakciók elkülönítésével a környezetünk védelme, a terhelések és szennyezettségek csökkentése.

A szelektív hulladékgyűjtés az alábbi módszerekkel illetve a helyi adottságokhoz illeszkedve ezek kombinált megoldásaival valósítható meg ([OLESSÁK, 2000](#); [KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#); [HORNYÁK, 2003](#); www.hulladek-suli.hu):

- lakóházon belüli gyűjtéssel,
- gyűjtőszigetekkel,
- hulladékudvarokkal,
- mobil, akciószerű veszélyes hulladékgyűjtéssel,
- kereskedelmi létesítményekben történő hulladékátadással.

Az alkalmazható módszer függ a terület jellegétől (családiházas-kertes, lakótelepi), a keletkező hulladék mennyiségétől, a gyűjtendő hulladék fajtájától, a hulladékgyűjtés- szállítás gyakoriságától, a hulladékkezelő létesítmény távolságától stb. Családiházas övezetben a hulladékgyűjtő edényzetek telken belül elhelyezhetők, a zöldhulladékok, biohulladékok szelektív gyűjtése is megoldható. Zárt beépítésű városközpontokban, lakótelepeken a helyhiány miatt gyűjtőszigetekkel oldható meg a szelektív hulladékgyűjtés, szerves hulladékok szelektív gyűjtésére nincs igazán lehetőség.

A termelő és szolgáltató üzemek nem veszélyes hulladékainak szelektív gyűjtése is külön figyelmet érdemel, mivel ezen hulladékok hasznosítható részaránya meghaladja a kommunális hulladékét ([OLESSÁK, 2000](#)). Ebben az esetben konténeres módszerrel oldható meg a hasznosítható hulladékfrakciók gyűjtése ([KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#)).

A szelektív gyűjtés megszervezésénél az alábbi szempontokat kell figyelembe venni ([OLESSÁK, 2000](#); [KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#)):

- a hulladék keletkezési helyéhez minél közelebbi, a lehető legkényelmesebb elkülönítést biztosító gyűjtőhelyek kialakítása,
- a megközelítési távolság az érintett lakosoknak minél kisebb legyen,
- rugalmas, igényekhez alkalmazkodó kialakítás,
- esztétikus kivitel, környezetbe való illesztés.

Házon (telken) belüli gyűjtőhelyek

A házon (telken) belüli gyűjtőhelyet lépcsőházakban, közös helyiségekben, szeméttárolókban, kapu alatt, udvarokban célszerű kialakítani. Fontos a praktikus helykihasználás, olcsó, egyszerű műszaki megoldások alkalmazása, a könnyű üríthetőség és tisztíthatóság, a lakóház működésének zavartalansága ([OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003; www.hulladek-suli.hu](#)). A házon belüli gyűjtés alkalmazhatóságának fő területe a családi házas övezet, ahol különböző gyűjtési rendszert alkalmazhatnak.

A zsákos módszer előnyösen alkalmazható zöldhulladék, papír- és műanyag hulladékok gyűjtésére. A kerti zöldhulladékok gyűjtését általában április elejétől november végéig végzik. A hulladékok gyűjtésére a közszolgáltatótól vásárolt (felirattal, lógóval ellátott) zsákokat használják, amely a hulladék szállítási és hasznosítási költségét tartalmazza ([www.fkf.hu](#)). Különböző színű zsákok alkalmazásával több frakció szelektív gyűjtése is lehetséges. Szeged városában pl. zöld színű zsákban gyűjtötték a papír-, műanyag- és fémhulladékot együttesen, barna színű zsákban pedig a zöld- és biohulladékot ([www.szkh.hu](#)).

Az edényes gyűjtési módszer előnye a zsákos módszerrel szemben, hogy csak egyszer kell megvásárolni a szelektív hulladékgyűjtésre szolgáló gyűjtőedényt. Kezdetben csak a biohulladékot a hasznosítható és a nem hasznosítható hulladékokat célszerű külön edényben gyűjteni, később – ha szükséges – a további frakciókra ki lehet terjeszteni a gyűjtést.

Fontos, hogy a lakosságot tájékoztassuk a hulladékok gyűjtésének szabályairól és a szállítások időpontjáról. A lakosság így a szelektíven gyűjtött hulladékot csak a szállítást megelőzően helyezi ki a közterületre.

Közterületi hulladékgyűjtő szigetek

A leggyakrabban alkalmazott szelektív hulladékgyűjtési módszer a közterületeken kialakított gyűjtősziget. A gyűjtősziget funkciói (KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003):

- a lakosság által odahordott hulladékok elkülönített, akadálytalan és időben folyamatos gyűjtési lehetőségének biztosítása,
- a hulladékok közegészségügyi, környezetvédelmi szempontokat kielégítő, rövid idejű, átmeneti tárolása.

Gyűjtősziget akkor alakítható ki, ha a begyűjtött hulladék újrahasznosításra történő átadása megoldott (KISS, 2005). Gyűjtőszigeteken minimum három másodnyersanyagként hasznosítható, csomagolási hulladék begyűjtését kell lehetővé tenni az alábbiakból (OLESSÁK, 2000; 5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet):

- papír,
- műanyag,
- üveg (fehér és színes),
- fém.

Gyűjtőszigeteken veszélyes hulladékok és biológiailag bomló vagy más egészségre káros hulladékok nem gyűjthetők, mivel a gyűjtőszigeteken nem biztosítható ezen hulladékok környezetet nem veszélyeztető elhelyezése (pl. vandalizmus miatt).

Egyes bevásárlóközpontokban a csomagolási hulladékok gyűjtése mellett használt ruha- és cipőgyűjtő edényeket is találhatunk, ezek kialakítása azonban nem azonos a csomagolási hulladékok esetében alkalmazott edényekkel.

A hulladékgyűjtő szigetek elhelyezését gondos tervezés kell, hogy megelőzze, ahol figyelembe kell vennünk (OLESSÁK, 2000; KISS, 2005):

- a hulladékkeletkezés súlypontjait,
- gyalogos felhasználó esetében a kényelmes és rövid idejű, biztonságos elérhetőséget, valamint a gépkocsival történő megközelítés lehetőségét,
- a gyűjtőjárművek számára akadálytalan megközelíthetőség és gépi ürítés biztosítását,
- változó igényekhez alkalmazkodó kialakítást (bővítési lehetőségét),

- környezetbe harmonikusan illeszkedő, esztétikus, közegészségügyi szempontból kifogástalan kivitel.

A hulladékgyűjtő szigeteket leggyakrabban:

- lakóközrzetek terein,
- központi útkereszteződések környékén,
- kereskedelmi és bevásárló központok parkolóiban,
- közintézmények, oktatási intézmények környezetében,
- csomóponti buszmegálló felé vezető gyalogos út mentén helyezik el.

A hulladékgyűjtő szigetek létesítésének előírásait az [5/2002. \(X. 29.\) KvVM rendelet](#) tartalmazza.

A rendelet előírja, hogy a gyűjtősziget közterület-használati engedély birtokában létesíthető.

A szelektív hulladékgyűjtő szigetek használatának kulcskérdése a ráhordási távolság. A kényelmes lakossági megközelítés érdekében a tervezett ráhordási távolság nem lehet nagyobb 200-300 m-nél. A BIOKOM Kft. felmérése ([Kiss, 2005](#)) szerint a lakosok 250-350 m-nél nagyobb távolságot nem hajlandóak megtenni a szelektív hulladékgyűjtő szigetig. Az ellátási körzet nagysága függ a beépítettségtől és a lakósűrűségtől, átlagos létszáma 1200-3500 fő/sziget között alakul. Gyűjtőszigetek telepítése tízeemeletes házak esetében 300-400 m, négyemeletes házak esetében maximum 500-600 m, családi házas övezetben maximum 600-700 m kell, legyen. Hazai tapasztalatok is mutatják, hogy sok esetben az üzemeltetést követően egyes területeken a gyűjtőedények és gyűjtőszigetek számának növelésére, más területeken áthelyezésére, egyes frakciók (pl. fém) gyűjtésének megszüntetésére vagy együttes gyűjtésére (pl. fehér és színes üveg) van szükség ([KISS, 2005](#)).

A gyűjtőedény megválasztásának követelményei az alábbiak ([OLESSÁK, 2000](#); [KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#); www.hulladek-suli.hu):

- gyűjtendő hulladék-összetevő jellegének megfelelő kialakítás,
- alkalmasan kiképzett bedobónyílás,
- illetéktelen kivétel elleni biztosítás (zárható kivitel),
- minimális zajjal járó működés (főleg üveggyűjtő edények esetében),
- könnyű üríthetőség és tisztíthatóság,
- egyértelmű feliratozás, piktogramok használata,
- esztétikus megjelenési forma,
- időjárás állóság és szándékos rongálás elleni védelem.

Hazánkban az egyes településeken különböző típusú gyűjtőedényzeteket alkalmaznak. A gyűjtőedények lehetnek rekeszes kivitelűek, amelyekbe akár négy különböző frakciót is gyűjthetünk, azonban leggyakrabban az egyes frakciókra külön-külön konténereket alkalmaznak. A gyűjtőedény anyaga lehet műanyag vagy fém, térfogatuk 1,1-2,4 m³. Műanyag edények esztétikusabbak, de sérülékenyebbek, így gyakrabban szorúlnak cserére, sokszor a szándékos gyűjtogatás áldozatai lesznek, ezért a fém konténer alkalmazása javasolható. Többrekeszes konténert (5-15 m³) is használnak a gyűjtés lebonyolításához, hátránya, hogy egy frakció telítődése esetén az egész konténert cserélni kell. A papír- és műanyag hulladékok gyűjtésére azonos méret (pl. 2 m³ körüli), míg az üveghulladék gyűjtésére kisebb (1m³ körüli) edények alkalmazása javasolt ([KISS, 2005](#)).

A gyűjtőedényen sokszor csak a szelektíven gyűjthető hulladékok köre van feltüntetve. A szelektív gyűjtés hatékonyabbá tételéhez olyan feliratozás ajánlható, amely feltünteti, hogy az adott hulladékfajtán az adott edényben belül mit gyűjthetünk és mit nem. A lakosság információhiányából adódóan az italos kartondobozokat hol a műanyag, hol a papírgyűjtő edényzetbe helyezik, vagy a helyes eljárást nem ismerve a háztartási hulladékkal együtt gyűjtik. Az italos kartondobozt az egyes településeken a papír (pl. Budapest), míg más településeken a műanyag (pl. Szeged) gyűjtőedényzetekbe kell dobni. Azt, hogy azokat egyes településen belül melyik gyűjtőedényzetbe kell dobni célszerű felirattal vagy piktogrammal jelölni ([www.iksznet.hu](#), [www.okopannon.hu](#)).

A műanyaggyűjtő konténerekbe üdítős és ásványvizes palackokat, kiöblített háztartási flakonokat, valamint ezek lecsavart kupakjait lehet gyűjteni ([www.okopannon.hu](#)). A kupakok eltávolítására a tömörítés megkönnyítése miatt van szükség. A palackok tömörítését palackpréssel is elősegíthetjük, így azokat az eredeti térfogat ötödére tömöríthetjük ([www.palackpres.hu](#)). A konténerben nem helyezhető el zsíros, olajos, tisztítószeres flakonokat, élelmiszermaradványt tartalmazó műanyag hulladékokat. Egyes településeken (pl. Budapest) a margarinos, joghurtos dobozok újrahasznosítása még nem megoldott, így azokat a vegyes hulladékokkal együtt kell gyűjteni ([www.fkf.hu](#)), azonban más településeken (pl. Győr, Pécs) a fenti hulladékokat is fogadni tudják ([www.komszol.hu](#); [www.biokom.hu](#)).

A fehér üveg-gyűjtő konténerekbe színezetlen konzerves, befőttes, bébiételes üveg gyűjthető. A színes üveg-gyűjtő konténerbe zöld, barna, sárga színű italos, konzerves, parfümös üvegek

helyezhetők. Mindkét üvegtípus esetében az üvegekről a fém zárókupakokat el kell távolítani (www.fkf.hu; www.hulladek-suli.hu, www.okopannon.hu). Egyes településeken a fehér és színes üveg gyűjtését egy konténerben oldják meg.

A fémgyűjtő konténerek fém csomagolódobozok (italos és konzervdobozok) és háztartási kisméretű fémhulladékok (pl. evőeszköz) gyűjtésére alkalmasak. A konzerves dobozokat csak kiöblítve lehet a konténerbe dobni (www.fkf.hu; www.hulladek-suli.hu, www.okopannon.hu).

Hulladékgyűjtő udvarok

A hulladékgyűjtő udvarok a lakosságtól származó szelektíven gyűjtött, hasznosítható, nem rendszeresen keletkező nagydarabos (lom) és veszélyes hulladékok befogadására alkalmas zárt gyűjtőhelyek. A hulladékudvarban azokat a hulladékokat veszik át, amelyek háztartási gyűjtőedényekben, gyűjtőszigeteken nem helyezhetők el. A hulladékudvarokban történik a begyűjtött hulladékok szelektív tárolása a hasznosításra történő átadásig. Hulladékudvart helyi önkormányzat – a közszolgáltatással együtt, szabályozott módon – vagy erre szakosodott vállalkozás létesíthet ([KISS, 2005](#)).

A lakosság a háztartásokban keletkező hulladékokat ingyenesen helyezheti el, míg a vállalkozások átvételi díj fizetése ellenében vehetik igénybe a szolgáltatást. A hulladékudvarokban szakképzett személyzet segíti a hulladékok elhelyezését, és a hulladék forgalmáról nyilvántartást vezetnek ([HORNÁK, 2003](#); [KISS, 2005](#)). A hulladékudvarban jelentkező feladatokat, a hulladék kezelését és további sorsát foglalja össze a **8. ábra** ([KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2004](#)).

A hulladékudvar telepítésének szempontjait, a gyűjthető hulladékok körét, azok mennyiségét, illetve a hulladékudvarral szemben támasztott követelményeket a [5/2002. \(X. 29.\) KvVM rendelet](#) tartalmazza. A hulladékgyűjtő udvarokban az alábbi hasznosítható és veszélyes hulladékok gyűjthetők ([KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#); [KISS, 2005](#); www.biokom.hu, www.fkf.hu; www.hulladek-suli.hu):

- Másodnyersanyagként hasznosítható hulladékok:
 - papír (újság-, hullám-, kartonpapír, italos kartondoboz),
 - műanyag (üdítőitalos és ásványvizes palackok),
 - üveg (fehér, színes),
 - fém (italos, konzerves dobozok),

– textilhulladékok.

• Lakosságtól származó veszélyes hulladékok:

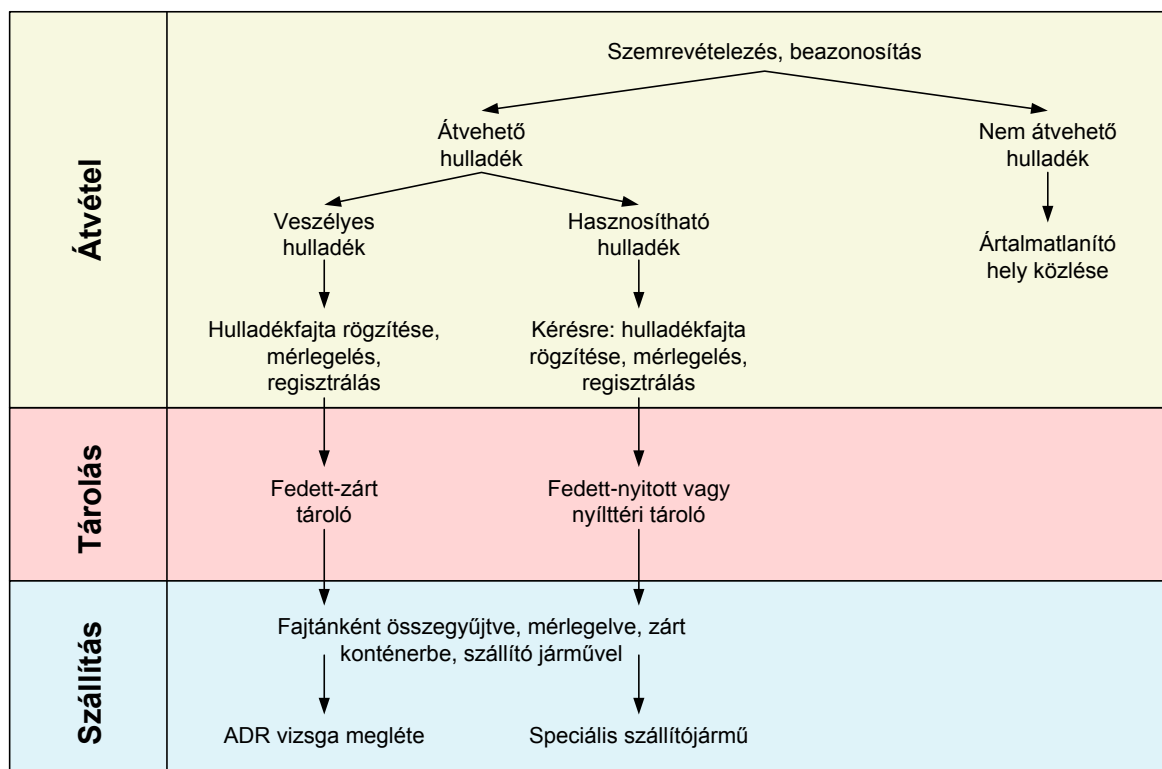
- akkumulátor, szárazelem, gombelem,
- használt sütőzsiradék,
- fáradt olaj és csomagolóanyagai,
- növényvédő szerek göngyöleg,
- festék, lakk, hígító maradékok és göngyölegeik,
- lejárt szavatosságú gyógyszerek,
- fénycsővek, izzók.

• Darabos hulladékok:

- bútor lom,
- építési törmelék (maximum 1 m³),
- elhasználódott háztartási gépek (hűtőszekrény, mosógép, hajszárító stb.),
- elektronikai hulladék (rádiók, televíziók, számítógépek és a hozzá tartozó perifériák, híradástechnikai berendezések),
- gumiabroncs.

Különleges kezelést igénylő hulladékok:

- zöldhulladék.



8. ábra. A hulladékudvar feladatai, a beszállított hulladék sorsa **(KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2004)**

A hulladékudvar telepítésénél az alábbi szempontokat kell figyelembe venni az [5/2002. \(X. 29.\)](#)

[KvVM rendelet](#) szerint:

- településszerkezet (beépítettség aránya), az ellátandó lakosok száma és a népsűrűség,
- a lakosság által elfogadható ráhordási távolság, könnyű megközelíthetőség,
- a begyűjthető hulladékok köre,
- a begyűjthető hulladékok mennyisége összetevők szerint,
- a közszolgáltatás és a begyűjtési rendszer kapcsolata, kialakítási feltételei,
- a begyűjtött hulladékok további kezelésének érdekében történő műveletek megvalósítása,
- a hulladékhasznosítás lehetőségei,
- a hulladékgyűjtő udvar és az ártalmatlanító hely kapcsolata,
- gazdasági szempontok.

A begyűjtött hulladékokat 1 évig lehet tárolni a hulladékgyűjtő udvaron, kivétel a biológiailag bontható hulladékok, amelyek tárolási ideje legfeljebb 1 hét lehet. A hulladékgyűjtő udvarban a veszélyes hulladék az átvétel időpontjától számított 1 évig tárolható. A hulladékgyűjtő udvarból a begyűjtött hulladék hasznosítható vagy ártalmatlanító létesítménybe kell szállítani ([5/2002. \(X. 29.\) KvVM rendelet](#)).

A hulladékudvar minimális műszaki felszereltsége a következő [\(5/2002. \(X. 29.\) KvVM rendelet; Kiss, 2005\)](#):

- min. 2 m magas kerítés, zárható, teherforgalom lebonyolítására alkalmas kapuval,
- fűthető portaépület vagy konténer szociális helységekkel,
- kültéri és beltéri világítás,
- szilárd burkolat (tehergépkocsi forgalomra méretezett, közlekedési útburkolati jelekkel, csapadékvíz elvezetéssel) a gyűjtőudvar azon részein, ahol hulladékgyűjtés, tárolás, mozgatás, szállítás történik,
- a begyűjtött hulladék minőségére és mennyiségére tervezett fedett és nyitott tárolóterek,
- a begyűjtött hulladék minőségétől és mennyiségétől függő méretű és kialakítású, szabványos, zárt hulladékgyűjtő edények,
- 1 db hordozható mérleg 200 kg méréshatárral,
- homoktároló, fűrészportároló,
- egyéb felszívató anyagok, tűzoltó készülékek,
- kézi szerszámok,

- egyéni védőfelszerelések,
- telefon.

Egy városias település hulladékudvarának vázlatát mutatja a **9. ábra**. A hulladékudvar területigényét az alábbi tényezők befolyásolják (**KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003**):

- a fogadóépület és a fedett-zárt építmény területe,
- fedett-nyitott területen elhelyezett edényzetek helyigénye,
- az edényzetek mozgatásához, szállításához, illetve a lakossági beszállítás zavartalanságához szükséges hely,
- kiegészítő létesítmények, eszközök elhelyezéséhez szükséges hely,
- bővítési lehetőség területigénye.

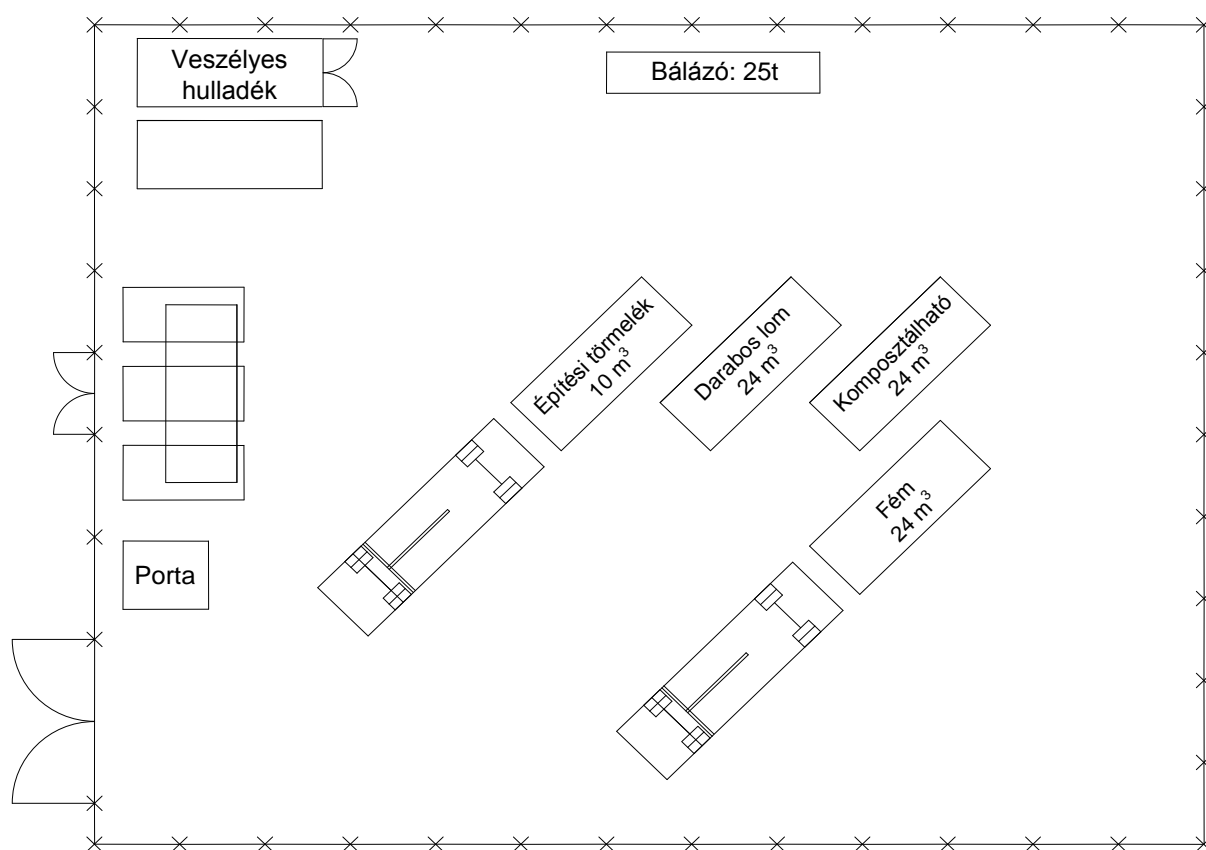
A hulladékgyűjtő udvaron a hulladékok szabványosított gyűjtőedényben vagy konténerben helyezhetők el, amelyen egyértelműen fel kell tüntetni a tárolandó hulladék fajtáját. A gyűjtőudvar minimális helyszükséglete az elhelyezni kívánt edények alapterületének tízszerese, de legalább 400 m². A hasznosítható hulladékokat fedett-zárt vagy fedett-nyitott területen célszerű elhelyezni. A veszélyes hulladék gyűjtése fedett, zárt építményben, illetve nyílt téren kettősfalú vagy kármentővel felszerelt, zárható gyűjtőedényben vagy konténerben végezhető. Hulladékudvarban a hasznosítható hulladékok gyűjtésére tárolására 1,1 m³-es vagy 5,2 m³-es fémkonténereket, a veszélyes hulladékok esetében 120 L-es vagy 200 L-es műanyag vagy fém edényzeteket használnak (**KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003**). A veszélyes hulladék gyűjtésére szolgáló építmény minimális területe 25 m², konténer esetén 12 m².

A biológiailag bontható szerves anyag tartalmú hulladékok és az építési, bontási hulladékok nyílt téren gyűjthetők, ha azok veszélyes anyaggal nem szennyezettek. Nyílt téren történő tárolásnál minden esetben gondoskodni kell a csurgalékvíz összegyűjtéséről és kezeléséről (**5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet**). A hulladékgyűjtő udvarban ártalmatlanítási műveleteket nem szabad végezni (**KISS, 2005**).

A hulladékudvar-hálózat kialakításánál figyelembe kell venni:

- a lakosság által elfogadott ráhordási távolságot,
- a várható hulladék mennyiségét,
- a hulladék-hasznosítás lehetőségeit,

- a terület beépítettségét, a laksűrűséget,
- a helyi adottságokat.



9. ábra. Hulladékudvar helyszínrajza (KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003)

Hulladékudvar kialakításánál általános szempont, hogy 5000 lakosra kell egy hulladékudvar létesíteni (KISS, 2005), az 5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet 1000-5000 főre 1-2 hulladékudvar létesítését javasolja. A kezdeti időszakban 1-1,5 km ráhordási távolsággal számolhatunk, amely legfeljebb 2-2,5 km-re bővíthető (KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003).

A hulladékgyűjtő udvar létesítését a gazdaságossági szempontok befolyásolják, hiszen az udvarban leadott hulladékért díjat nem lehet felszámolni a lakosság számára, viszont az udvar létesítésének és működtetésének költségeit biztosítani kell. A beruházási költség fedezetet jelentheti:

- a lakosság által a hulladékkezelési közszolgáltatásért fizetett díj vagy

- a gyártók, forgalmazók által létesített koordináló szervezetnek a szelektíven gyűjtött hulladékért fizetett díja (költségtérítése) és a szelektív gyűjtés többletköltségéhez történő hozzájárulás összege, illetőleg
- az önkormányzat más forrásokból fedezett összege,
- vagy az előbbiek kombinációja (www.kvvm.hu).

Mobil akciószerű hulladékgyűjtés

Általában évente egyszer-kétszer megrendezésre kerülő veszélyes hulladék gyűjtésen a háztartásban keletkező háztartási olajok, festékmарadványok, hígítók, lakkok, fāradt olajok, szárazelemek, akkumulátorok stb. kerülhetnek leadásra. A gyűjtést speciális, erre a célra kialakított, zárt, különböző veszélyes hulladékok elkülönített fogadására alkalmas felépítményű járművel végzik ([OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003; KISS, 2005](#)) vagy a gyűjtőhelyeket jelölnék ki közterületeken és bevásárlóközpontok parkolóiban (www.biokom.hu; www.hulladek-suli.hu).

Kereskedelmi egységekben történő hulladékátvétel

Egyre több üzletben, áruházban lehetőség van új készülék (pl. televízió, hűtőszekrény, mobiltelefon) vásárlása esetén a régi készülékek leadására. A gyógyszerárakban a lejárt szavatosságú vagy felesleges gyógyszerek térítésmentesen leadhatók. Az elhasznált akkumulátorok, szárazelemek visszavételére egyes kereskedelmi egységekben is lehetőség van.

Szelektív hulladékgyűjtés bevezetésének eszközei

Tapasztalatok alapján elmondható, hogy a szelektív hulladékgyűjtés elterjedése folyamatosan nő ([KISS, 2005](#)). A kampányszerű szemléletformálás nem a leghatékonyabb módszer, inkább a folyamatos, szisztematikus tájékoztatással lehet a lakosságot meggyőzni a szelektív hulladékgyűjtés fontosságáról ([PAÁLNÉ et al., 1993](#)). A hulladékudvarok helyéről, elérhetőségéről, az átvehető hulladékok köréről a lakosságot tájékoztatni kell a média, az internet, a helyi újságok, közérdekű kiadványok (pl. Kisokos, Aranyoldalak stb.) segítségével.

A szelektív hulladékgyűjtést már az iskoláskorú gyermekekkel meg kell ismertetni. A Nemzeti Alaptanterv részét képezik a hulladékgazdálkodással kapcsolatos alapismeretek ([2000. évi XLIII. törvény](#)), azonban a diákokat a gyakorlatban is célszerű megismertetni a szelektív hulladékgyűjtéssel. Az óvodai és iskolai oktatóprogramok legfontosabb célja az lehet, hogy a felnövekvő generációk körében kialakuljon, és tartós értékévé váljon a környezettudatos

gondolkodás és életforma. Az óvodás és általános iskolás korú gyerekek figyelmét különböző kifestőkkel, mesekönyvvel, képregénnyel és foglalkoztató füzetekkel lehet felhívni a szelektív hulladékgyűjtésre.

A szelektív gyűjtési rendszer kialakítása 5-7 éves időigénnyel jár. A hulladékgazdálkodásról szóló törvény szerint a fogyasztó köteles a szelektív hulladékgyűjtésben részt venni, azonban a külföldi tapasztalatok is azt mutatják, hogy jól működő rendszer esetében is a lakosságnak legfeljebb 70-80%-os részvételével számolhatunk (KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003; KISS, 2005). Az optimálisan elérhető hulladékok visszagyűjtési arányai:

- papírféleségeknél 60-70%,
- műanyagoknál 30-40%,
- fémeknél 80-90%,
- üvegnél 60-70%,
- textilhulladéknál 60-70%,
- veszélyes összetevőknél 60-70%.

Magyarországon minden települési önkormányzat, illetve közszolgáltató vállalat maga határozza meg, hogy milyen formában vezeti be a lakossági szelektív hulladékgyűjtést. Legtöbb helyen a gyűjtősziget-hálózat kialakítását választották, de vannak települések, ahol a – zsákos vagy a gyűjtőedényes – házhoz menő szelektív gyűjtőrendszert alakítottak ki. A gyűjtőszigetek léte önmagában is demonstrálja szelektálás fontosságát, de sokan illegális hulladéklerakásra használják a szigetek környezetét, ami több helyen kezelhetetlen helyzetet eredményezett. Emiatt a szakemberek azokon a településeken, ahol nem épült még ki a gyűjtőszigetek hálózata inkább a házhoz menő gyűjtési módszer bevezetését javasolják. Más vélemények szerint mindkét gyűjtési módszer megfelelő, de meg kell választani, hogy hol melyiket alkalmazzák, és azt is, hogy milyen hulladékot gyűjtenek vele. A gyűjtőszigetes megoldás jól működhet egy lakótelepen, míg a zsákos házhoz menő gyűjtés szerencsés választás lehet egy kertvárosi, illetve falusias beépítés esetén.

A szigetes gyűjtés eredményeként nyert frakciók mindig tartalmazznak 10-15% idegen anyagot, amihez hasonló utószelektálást kell kiépíteni, mintha keverve gyűjtenék a hasznosítható anyagokat. Ezt figyelembe véve lehet, hogy le kellene mondani a sokféle szelektálásról, és egyben kellene gyűjteni az egymást nem szennyező hasznosítható anyagokat. Ilyen feltétel

mellett a hulladékudvarok és a házhoz menő gyűjtési rendszerek sokkal hatékonyabbak lennének, mint a sokfelé kiépített gyűjtőszigetes rendszerek.

A szelektív hulladékgyűjtés egyik új alternatívája a svéd OptiBag System AB (www.optibag.se) által bevezetett optikai válogatás módszere, amelyet különböző színű zsákok alkalmazásával érnek el. A hulladék keletkezési helyén a különböző frakciókat különböző színű zsákokban gyűjtik, majd a meglévő gyűjtőedény felhasználásával keverve gyűjtik és szállítják el. Az alacsonyabb költségigényű begyűjtés után a hulladékot a zsákok színe szerinti optikai válogatással osztályozzák. A rendszer előnye, hogy a meglévő gyűjtőedényzet és gyűjtőjármű felhasználásával valósítható meg a szelektív gyűjtés.

4.1.3 Települési folyékony hulladékok gyűjtése

A települési folyékony hulladék a közcsatornába be nem kötött, emberi tartózkodásra szolgáló épületek tároló létesítményeinek, közműpótló berendezéseinek ürítéséből, a közüzemi csatorna- vagy árokrendszerek karbantartásából, valamint a gazdasági, de nem termelési tevékenységből származó szennyvíz és szennyvíziszap. A települési folyékony hulladékok körébe tartozik a kommunális szennyvíztisztításból származó szennyvíziszap is ([LÁNG, 2002](#); [HORNÁK, 2003](#)). A [213/2001. \(XI.14.\) Korm. rendelet](#) szerint az ingatlantulajdonos az ingatlanán keletkező települési folyékony hulladékot műszakilag megfelelő (zárt) tartályban köteles gyűjteni, azt a begyűjtésre jogosult hulladékkezelőnek átadni. Az illetékes vízügyi hatóság határozza meg, hogy a települési folyékony hulladék elhelyezésére melyik szennyvíztisztító telep vehető igénybe.

A települési folyékony hulladék gyűjtésére zárt tárolómedencék, gyűjtőtartályok, egyszerű vagy bővített oldómedencék, szikkasztóaknák és –medencék használhatók ([PAÁLNÉ et al., 1993](#)). A gyűjtést szolgáló létesítményeket az építési szabályok és szennyvízkezelési előírások figyelembe vételével kell kialakítani. Az építési szabályok a folyékony hulladék ideiglenes tárolására szolgáló építmény (berendezés/műtárgy) műszaki követelményeit szabják meg, a szennyvízkezelési előírások pedig a talajba történő elszikkasztást tiltják.

Az önkormányzat köteles közszolgáltatást biztosítani a települési folyékony hulladék begyűjtésére, a közszolgáltatót helyi rendeletben megnevezni. A közműpótló berendezésben gyűjtött hulladék (szolgáltató számára történő) átadásának ütemessége nem határozható meg

olyan módon, mint a szilárd esetében, hiszen a műtárgy méretei ingatlanonként eltérőek lehetnek, így az elszállítás gyakoriságát a telítődés mértékéhez kell igazítani (www.kvvm.hu).

4.1.4 Termelési veszélyes hulladékok gyűjtése

A veszélyes hulladék termelője köteles a környezetszennyezést kizáró, elkülönített gyűjtést biztosítani a kezelőnek történő átadásig. A gyűjtés többlépcsős rendszerben történhet. A keletkezés helyén az erre a célra kialakított gyűjtőedényzetben történő gyűjtést munkahelyi gyűjtésnek, a telephely veszélyeshulladék-gyűjtőhelyén kialakított további gyűjtést üzemi gyűjtésnek nevezzük. A több telephelyen összegyűjtött, azonos vagy együtt kezelhető hulladékok egy közös üzemi gyűjtőhelyen (közös üzemi gyűjtés) esetleg önálló begyűjtőtelepen is tárolhatók az ártalmatlanításra vagy hasznosításra történő elszállításig ([BÁNDI et al., 2002](#); [HORNÁK, 2003](#)).

A gyűjtőhely kialakítható nyílt téri vagy fedett módon, a veszélyes hulladék gyűjtését a hulladékok kémiai hatásának ellenálló, teherbíró és folyadékzáró aljzaton kell biztosítani, meg kell akadályozni a csapadékvíz veszélyes hulladékkal való érintkezését ([BÁNDI et al., 2002](#)). A gyűjtőhelyen az illetéktelen behatolás elleni védelemről gondoskodni kell. Az üzemi gyűjtőhely kialakítása nem engedély köteles, mivel a keletkezés helyéhez kötődik, és a hulladékot itt legfeljebb 1 évig lehet tárolni.

A veszélyes hulladékok gyűjtését oly módon kell megoldani, hogy azok egymással ne keveredhessenek. Egymással összeférhetetlen hulladékok keveredése esetén hőfejlődés, robbanás, gyulladás, gázfejlődés és heves reakciók léphetnek fel, például növényvédő szerek és oldószerek együttes tárolása tűz- és robbanásveszélyt eredményezhet ([PAÁLNÉ et al., 1993](#); [OLESSÁK, 2000](#); [2000. évi XLIII. törvény](#)). Illékony komponenseket tartalmazó veszélyes hulladékok esetében meg kell akadályozni, hogy az illékony összetevők a környezetbe kerülhessenek. A tűzveszélyes, önmagukban reakcióképes, gyorsan bomló anyagokat a környezetvédelmi, közegészségügyi és a tűzvédelmi hatóságok által jóváhagyott mennyiségben és módon szabad gyűjteni ([HORNÁK, 2003](#)).

A veszélyes hulladék anyagi jellemzőinek figyelembe vételével kerüljön kiválasztásra a gyűjtőedény típusa, így például acél tartályok nem alkalmasak ásványi savak, salétromsav, nátrium-hidroxid stb. tárolására. A gyűjtés során használt csomagolóeszközök,

4.2 Gyűjtési-szállítási rendszerek

A hulladékok gyűjtése és szállítása egymással szoros kapcsolatban van, és egységes rendszert képez. A hulladékgyűjtés és szállítás során kétféle gyűjtési rendszert különböztethetünk meg:

- együtemű és
- kétütemű gyűjtést.

Az együtemű gyűjtés-szállítás során a hulladék átrakás nélkül kerül hasznosításra vagy ártalmatlanításra. A kétütemű gyűjtési-szállítási rendszer esetében átrakóállomás közbeiktatását követően kerül a hulladék a hasznosítást vagy ártalmatlanítást végző létesítménybe. Az átrakásra a szállítási teljesítmények növelése és a szállítási költségek csökkentése miatt van szükség abban az esetben, ha körzeti vagy regionális kezelőtelepre történik a szállítás [\(PAÁLNÉ et al., 1993; OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003\)](#).

A hulladékgyűjtés-szállítás elhordásos, pneumatikus és vízöblítéses módon történhet. Az elhordásos és pneumatikus rendszerek mind az együtemű, mind a kétütemű hulladék gyűjtés-szállítás során, míg a vízöblítéses rendszer csak együtemű gyűjtés-szállítási technológiánál alkalmazhatók [\(PAÁLNÉ et al., 1993\)](#).

A pneumatikus hulladékgyűjtés-szállítás során a hulladékot zárt csővezetékben áramló levegővel juttatják a gyűjtőtartályba vagy a hasznosító-ártalmatlanító telephelyre. A pneumatikus hulladékgyűjtés előnye:

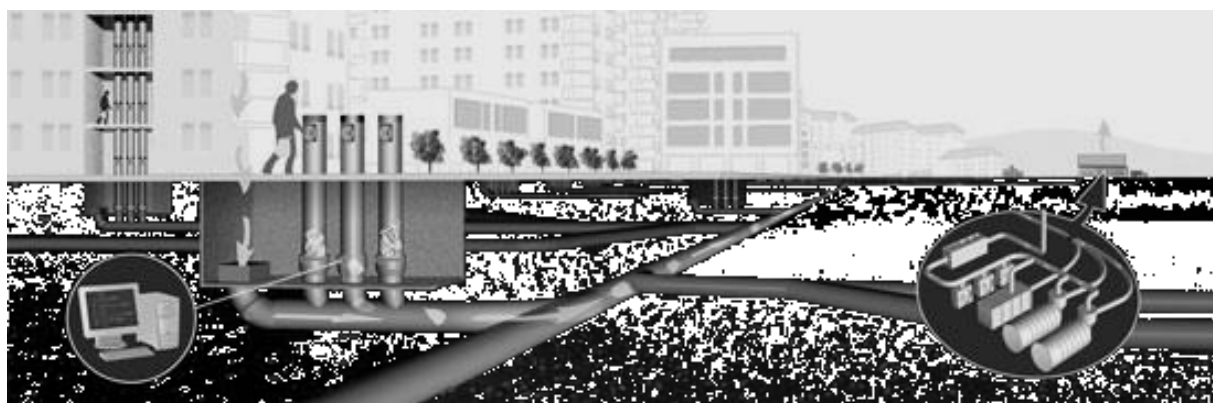
- zárt rendszerű, így nem szennyezi a környezetet,
- higiénikus, por- és bűzmentes,
- munkaigénye minimális,
- közúti forgalomtól független,
- üzemeltetési költsége kedvezőbb, mint az elhordásos rendszernél,
- sokoldalúan felhasználható egyéb szállítási feladatokra is.

Hátrányai:

- beruházási költsége nagy,
- darabos hulladékok esetében aprítóberendezés alkalmazása is szükséges.

A pneumatikus hulladékgyűjtés új településrészek kialakítása esetében alkalmazható gazdaságosan ([SIKLÓSSY, 1993](#); [OLESSÁK, 2000](#); [NAGY et al., 2002](#)).

A felszínalatti hulladékgyűjtés lehetőségét nyújtó pneumatikus rendszerek fejlesztése és terjesztése terén jelentős eredményeket ért el a svéd Envac Centralsug AB (www.envac.net). A tapasztalatok szerint a megoldás előnyösen alkalmazható történelmi belvárosokban, sűrűn beépített új településrészekben, repülőtereken, ipari üzemekben és kórházakban. Alkalmazási példákat találhatunk Portugáliában, Spanyolországban, Franciaországban, Hollandiában.



10. ábra. Az Envac pneumatikus felszínalatti gyűjtőrendszer (www.envac.net)

A **10. ábra** mutatja az Envac rendszerű pneumatikus gyűjtés elvét, amely szerint a rendszer épületen belül és kívül kialakított gyűjtőhelyekből áll, amelyeket hulladékszállító felszínalatti csőhálózat köt össze. A hulladékot tartalmazó zsákot a ledobó aknába helyezés után átmenetileg az elvezető szelep felett tárolják, amelyeket szabályozott időközökkel a csőhálózatba ürítenek. A szabályozó rendszer bekapcsolja a ventilátorokat, amelyek a légeeresztő nyílás egyidejű megnyitásával vákuumot hoznak létre a csőhálózatban. Az elvezető szelepek egyenkénti nyitása után a hulladékzsákok a gravitáció hatására a horizontális csőhálózatba kerülnek, ahonnan a gyűjtőállomásra szívják azokat. A hulladékot ciklon segítségével választják el a szállító levegőtől, amelyet kompaktor segítségével tömörítnek a gyűjtő edényzetbe, a levegőt porleválasztás, szagtalanítás után hangtompítókön keresztül engedik a szabadba. A rendszer könnyen adaptálható a szelektív gyűjtés igényeihez, amikor a különböző hulladékok gyűjtéséhez több ledobó aknát és gyűjtőkonténert alkalmaznak.

Vízöblítéses rendszer esetében zárt csővezetékben áramló vízzel történik a hulladék gyűjtése és szállítása. A hulladék vagy a csatornahálózatba kerül, vagy víztelenítést követően égető-

berendezésbe. Nagy beruházási költsége miatt főként speciális hulladékok kezelésére alkalmazzák ([SIKLÓSSY, 1993; OLESSÁK, 2000](#)). A szállítótól szennyezése miatt alkalmazása környezeti szempontból nem előnyös.

Az elhordásos gyűjtés esetében a hulladékgyűjtő edényekben, tartályokban, zsákokban gyűjtött hulladékot szállítójárművek segítségével, meghatározott technológiával juttatják a hulladékhasznosító vagy ártalmatlanító létesítménybe ([PAÁLNÉ et al., 1993; OLESSÁK, 2000](#)). Az elhordásos technológia esetében így megkülönböztethetünk:

- átürítéses,
- cserekonténeres és
- zsákos módszereket.

Az átürítéses módszer esetében a hulladékgyűjtő edény tartalmát közvetlenül a szállító jármű felépítményébe ürítik. Megkülönböztethetünk félpormentes és pormentes ürítési rendszereket. A félpormentes rendszer esetében a gyűjtőjárműből való átürítés nem zárt rendszerű, ezért porképződéssel jár. A pormentes ürítési rendszer esetében a szabványos kialakítású zárt hulladékgyűjtő edény gépi emeléssel, zárt terű fedélnyitás közben, környezeti szennyezés nélkül ürül a jármű zárt felépítményébe ([PAÁLNÉ et al., 1993; OLESSÁK, 2000; NAGY et al., 2002; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#)). A pormentes átürítéses hulladékgyűjtési módszer előnyei:

- korszerű, gyors, higiénikus megoldás,
- por- és bűzmentes,
- a hulladékszállító jármű a hulladékot tömöríti, így gazdaságos az alkalmazása.

Az átürítéses hulladékgyűjtési módszer hátrányai:

- a hulladékgyűjtéshez speciális gyűjtőedény szükséges,
- a hulladék szállítása speciális gépjárművet igényel,
- nagy a beruházási és üzemeltetési költsége,
- nagy a munkaerő igénye.

Az átürítéses módszert a hagyományos (vegyes) hulladékgyűjtésnél és a szelektív hulladékgyűjtésnél egyaránt alkalmazzák.

4.3 Hulladékok gyűjtésének és szállításának eszközei

A szállítás a hulladék telephelyen kívüli mozgatása, beleértve a szállítmányozást és a fuvarozást is. A hulladékot úgy kell szállítani, hogy annak során a környezet ne szennyeződjék. Szennyezés esetén az azt okozó köteles a szennyezett területet megtisztítani, illetve fertőtleníteni. A hulladékszállítás csak környezetvédelmi hatóság engedélyével folytatható (2000. évi XLIII. törvény).

4.3.1 Települési hulladékok gyűjtése és szállítása

A szállítási igények növekedése miatt, olyan szállítóberendezéseket fejlesztettek ki, amelyek megfelelnek a hulladék jellegének, halmazállapotának és egyéb tulajdonságainak. A hulladék szállításának különböző módszerei vannak, amely megválasztása az alábbiaktól függ (SIKLÓSSY, 1993):

- a hulladék halmazállapotától,
- a hulladék mennyiségétől és a szállítás gyakoriságától,
- a közegészségügyi és környezetvédelmi szempontoktól,
- a gazdaságossági szempontoktól,
- a település jellegétől, szerkezetétől,
- a beruházási és fejlesztési forrásoktól.

A szállító járművek és berendezések a gyűjtésen és szállításon kívül a hulladék rakodására is alkalmasak.

Szilárd hulladékot szállító járművek és berendezések

A szilárd hulladékot szállító célgépek iránti fontosabb követelmények az alábbiak (FEHÉR, 1977; SIKLÓSSY, 1993; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003; NAGY et al., 2002):

- zárt tartályú vagy felépítményű legyen, amely tömörítő berendezéssel van ellátva,
- könnyű, gyors, zaj- és pormentes rakodást és ürítést tegyen lehetővé,
- igénynek megfelelő térfogatú legyen, amely a közúti forgalmat nem zavarja,
- biztonságos indító- és fékező-berendezéssel legyen ellátva, jó manőverező képességű legyen az alépítménye,
- tartós, üzembiztos kivitelű legyen,
- forgalmi és közlekedésbiztonsági előírásoknak megfeleljen.

A konténerszállító járművek esetében a gyűjtőedény a szállítójármű raktere is egyben. A konténerek mozgatását emelődaru végzi, ürítését billentéssel oldják meg. Emelőgépek típusa szerint megkülönböztetünk (SIKLÓSSY, 1993; OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003):

- emelőkaros konténerszállítót,
- emelőhorgos konténerszállítót,
- billenőrámpás - csörlős konténerszállítót.

A konténeres szállítás járműveit intézményekben, üzemekben, közterületeken keletkező hulladékok esetében alkalmazzák. A célgépek munkavégzését megkönnyítő fontosabb szempontok:

- jól megközelíthető konténertároló,
- tartályok mozgatásához elegendő terület, szilárd burkolat,
- kis emelési magasság.

A konténerszállító járműveknek hátul- és oldalemelő típusa van. A konténerszállító célgépek előnyei (OLESSÁK, 2000; NAGY et al., 2002; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003):

- jól használhatók intézményekben, közterületeken, üzemekben,
- pormentes gyűjtéssel jól kombinálhatók,
- építési hulladékok szállítására nyitott kivitelben alkalmazhatók,
- kétütemű szállításnál is alkalmazhatók,
- minimális kiszolgáló személyzetet igényel.

A félpormentes szállítás járműveinél általában billenőplatós tehergépjármű alvázára 4-5 m³ térfogatú zárt tartályt szerelnek. A hulladék a tartály fedelén kiképzett négy vagy hat beöntőnyíláson kézi erővel történik. Az ürítést billentéssel végzik a hátsó zárófal megnyitása után. Tömörítő berendezést tartalmazó kivitelben is készülhet. Kis településeken nem egységes hulladékgyűjtő edények esetében, valamint utcai hulladékgyűjtők begyűjtéséhez alkalmazható (NAGY et al., 2002).

A zárt rendszerű pormentes szállítás járműveit szabványosított gyűjtőedényzetek ürítése esetén alkalmazzák. A be- és kiürítés teljesen pormentes, környezetvédelmi és higiéniai előírásoknak is megfelel, így települési hulladékok gyűjtése esetében ez a legkorszerűbb megoldás. A

pormentes ürítés esetén beürítő szerkezeteket alkalmaznak, amelyek akár konténerek és tartályok esetében egyaránt alkalmazhatók. A gazdaságos járműterfogat kihasználása érdekében a gyakorlatban tömörítő berendezéssel ellátott járműveket alkalmaznak ([FEHÉR, 1977](#)).

A gyűjtőjárművek felépítménye alapján két alaptípust különböztethetünk meg ([SIKLÓSSY, 1993](#); [OLESSÁK, 2000](#)):

- forgódobos megoldású hulladékgyűjtő- és szállító járművet,
- zárt dobozszerű felépítményű gyűjtő-szállító célgépet.

Forgódobos jármű esetében a hulladék a jármű hossz tengelyében lévő, elöl zárt hengeres tartályba kerül a speciális edénybeürítő szerkezeten keresztül. A forgódobban csigamenet hordja be az elülső rész felé a hulladékot, a célgépek tömörítő hatása 1:3 - 1:5 arányú. Az ürítés a hátsó ajtó nyitása mellett a dob forgásirányának megváltoztatásával megy végbe. A zárt, dobozszerű felépítményű tömörítős célgépeknél általában a beürítő részt hátul alakítják ki, amelyre kombinált beürítő szerkezet építhető. A beürítőrészből úgynevezett csúszófal és préselőgép segítségével kerül a tömörített hulladék a gyűjtőtartályba, az elérhető tömörítési arány 1:3 - 1:5 közötti. A beürítőrész felfelé nyíló keretszerkezetben van. A tömörítés négyszög keresztmetszetű, hasáb alakú térben hidraulikus mozgatású tolólap végzi. A tartály a keretszerkezet felemelésével és a hidraulikus tolólap kitolás irányú mozgatásával üríthető. A zárt, dobozszerű felépítményű hulladékgyűjtő- és szállító jármű előnye a forgódobos járművel szemben az alacsonyabb zajszint és a kisebb karbantartási igény.

Folyékony hulladékot gyűjtő és szállító járművek és berendezések

Műszaki megoldás alapján osztott és egyesített rendszerű gyűjtő-szállító berendezéseket alkalmaznak ([SIKLÓSSY, 1993](#)). Az osztott rendszerű gyűjtő-szállító járművek esetén a kiemelést és a szállítást külön gépegység végzi (különválasztott kiemelő szivattyú és szállítótartály). Egyesített rendszerű gyűjtő-szállító járművek esetében a kiemelést és a szállítást ugyan az a gépegység végzi. Erre a célra iszapszippantó célgépeket használnak. A gyűjtő és szállító tartályok gyorsan ülepedő iszapok esetében keverőlapátokkal, nagy sűrűségű iszapok esetében hidraulikus nyomóberendezéssel, kitolólapáttal vannak ellátva. Az iszapszippantó járművekkel szemben támasztott környezetvédelmi követelmények a következők ([SIKLÓSSY, 1993](#)):

- zárt tartály megfelelő tömítésekkel,
- környezetre káros bűzhatás ne képződjön,
- kiemelés, szállítás és ürítés során a környezet és a szállítójármű ne szennyeződjön,
- tartályok és szerelvények könnyen tisztíthatók legyenek.

Szelektív hulladékgyűjtés járművei és berendezései

A gyűjtőszigetek esetében az alábbi gyűjtési rendszerek használhatók ([KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003; KISS, 2005](#)):

- hagyományos tömörítő hulladékgyűjtő jármű,
- helyszíni ürítést biztosító konténeres gyűjtőjármű egy- vagy többkamrás kivitelben,
- görgős, nagykonténeres gyűjtőjármű cserekonténeres rendszerben.

A hagyományos tömörítő gyűjtőjárművel történő szállítás esetén a gyűjtőedény bedobónyílását alakítják át, amely lehetővé teszi az edényzet helyszíni ürítését. A módszer előnye, hogy a vegyes hulladékgyűjtéssel azonos módon történik a hulladékok szállítása, azonban hátránya, hogy nagy a munkaerő igénye, és a lakosság számára zavaró mivel egyszerre csak egy fajta hulladék gyűjtését teszi lehetővé.

Leggyakrabban a speciális, helyszíni ürítést biztosító konténeres gyűjtőjárműveket alkalmazzák egy- vagy többkamrás kivitelben, amely akár mindegyik frakció egyidejű gyűjtését is lehetővé teszi. A gyűjtőedényzet helyszíni ürítése fenéklapjának nyitásával vagy tartály szétnyitással történik. A hulladék ürítésére és szállítására autódaruval felszerelt, nyitott konténert mozgató célgép szükséges. A gyűjtési-szállítási rendszer előnye, hogy nem igényel drága célgépet, különböző másodnyersanyagok gyűjtése azonos célgéppel történik. A módszer hátránya, hogy önálló gyűjtő-szállító rendszer kiépítést igényli ([KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#)).

A cserekonténeres rendszerben működő hulladékgyűjtő szigetek esetében a többrekeszes gyűjtőkonténert speciális konténerszállító célgép szállítja az utóválogatóba. A megtelt konténerek helyett cserekonténer biztosítása szükséges. A rendszer előnye, hogy a különböző frakciók egy járáttal elszállíthatók és munkaerő igénye minimális. Hátránya, hogy speciális célgép igénye van, cserekonténereket igényel, és a különböző frakciók gyűjtésének eltérő lakossági igényéhez nem illeszthető ([KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#)).

Az edényzetek ürítése tervezett logisztikai munkát igényel. Nem könnyen bomló hulladékok gyűjtése esetén az ürítés gyakoriságát a lakossági igénybevétel mértékének és a gyűjtőedényzet

kapacitásának figyelembevételével kell megtervezni. A gyűjtőszigetek ürítése 3 nap és 3 hét között változik, de általában fix járatprogrammal történik. Ürítés gyakorisága a hulladék frakciótól is függ. A papír és műanyag hulladékokat egyszerre, hetente egyszer lehet gyűjteni, míg az üveg hulladékot külön begyűjtő járatral általában 3-4 hetes gyakorisággal is elegendő üríteni ([KISS, 2005](#)).

4.3.2 Veszélyes hulladékok szállítása

A veszélyes hulladék szállítása során a szállításból eredő kockázatok minimalizálása az elsődleges feladat. A veszélyes hulladékok megőrzik a veszélyes anyagok tulajdonságait, így szállításuknál a veszélyes áruk szállítására vonatkozó előírások érvényesek, amelyek a szállítás módjának megfelelően a következők lehetnek ([REINIGER, 1993; HORNYÁK, 2003](#)):

- az ADR (Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállítására vonatkozó Európai Megállapodás)
- a RID (Veszélyes Áruk Vasúti Fuvarozására vonatkozó Nemzetközi Szabályzat)
- az ADN (Veszélyes Áruk Folyami Szállítására vonatkozó Európai Egyezmény) szabályozza.

A veszélyes hulladék szállítását és begyűjtését csak olyan szervezet végezheti, aki rendelkezik az Országos Környezetvédelmi Természetvédelmi és Vízügyi Főfelügyelőség tevékenységi engedélyével. A szállító és a begyűjtő csak olyan veszélyes hulladékot szállíthat, amelyre az engedély feljogosítja. A hulladék begyűjtését és szállítását úgy kell végezni, hogy környezetszennyezés ne következzen be ([HORNYÁK, 2003](#)).

A veszélyes hulladék telephelyen kívüli mozgatásának (szállításának) nyomon követésére és bizonylatolására veszélyes hulladék kísérőjegyeket alkalmaznak. A kísérőjegy tartalmazza a termelő, a kezelő és a szállító(k) azonosítási adatait, az átadás és az átvétel helyét, a szállított veszélyes hulladék megnevezését, veszélyességi jellemzőit és összetételét, csomagolásának és szállításának módját. A veszélyes hulladék szállítása során 4 példányos „SZ” kísérőjegyet kell kitölteni. A kísérőjegy 4. példánya a hulladék átadónál marad, az 1-3. példányt a szállító magával viszi, a szállítmánnyal. A hulladék átadását követően a kísérőjegy első példánya a kezelőnél marad, a második példányt a szállító kapja meg, a harmadik példányt a hulladék átvevője visszaküldi a hulladék átadójának. A veszélyes hulladékot tartalmazó csomagoló

eszközön fel kell tüntetni hulladék EWC kódszámát és az „SZ” kísérőjegy számát (CSEVÁR et al., 2000; BÁNDI et al., 2002; 98/2001 Korm. rendelet; HORNYÁK, 2003).

A hulladékkezelő a termelőtől vagy más birtokostól begyűjtés során is összeszedheti és elszállíthatja a hulladékot, amely begyűjtőhelyre, hasznosító- vagy ártalmatlanító létesítménybe kerül. Begyűjtő járással a termelőtől 200 kg határig bármilyen veszélyes hulladék elszállítható valamint hulladék tömegétől függetlenül a gépjárműroncsok és a hulladékká vált klórozott és fluorozott szénhidrogéneket tartalmazó berendezések (pl.: hűtőszekrény, légkondicionáló berendezés), a hulladékolajok, az elemek és az akkumulátorok (192/2003. (XI. 26.) Korm. rendelet). A veszélyes hulladék begyűjtésénél „K” kísérőjegyet kell kitölteni. A kísérőjegyet a begyűjtő, tölti ki, amelyen a hulladék termelője igazolja a veszélyes hulladék átadását (HORNYÁK, 2003).

A hulladékok országhatáron át történő szállítására külön előírások vonatkoznak: a 120/2004. (IV. 29.) Korm. rendelet és az Európai Unió országaira vonatkozó többször módosított 259/93/EGK rendelet. Az eljáró hatóság az Országos Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Főfelügyelőség.

A veszélyes hulladékok ömlesztett állapotban vagy göngyölegbe csomagolva szállíthatók helyhez kötött (pl. csővezeték, szállítószalag) vagy mobil (targonca, közúti, vasúti stb. járművek) eszközökkel (REINIGER, 1993; OLESSÁK, 2000). A veszélyes hulladékok csomagolásának célja, hogy szállítás közben megakadályozza a szétszóródást, a környezet szennyezését, és ezáltal rövid ideig tartó, korlátozott műszaki védelem szerepét tölti be. A csomagolóeszköz kiválasztásánál figyelemmel kell lenni (FEHÉR, 1984; REINIGER, 1993):

- a hulladék keletkezésének körülményeire,
- a hulladék anyagi tulajdonságaira,
- a hulladék végső elhelyezésére.

A hulladékok csomagolására jó minőségű csomagolóanyagokat kell alkalmazni, amelyek (REINIGER, 1993):

- hőmérséklet, nedvesség és nyomásváltozás hatásra nem szivárognak,
- nem lépnek reakcióba a veszélyes hulladékkal,
- kellő szilárdságúak.

Ennek megfelelően a veszélyes hulladék csomagolására az alábbi eszközöket használják:

- acélhordók,

- alumíniumhordók,
- acélkannák,
- műanyaghordók,
- konténerek,
- tartályok.

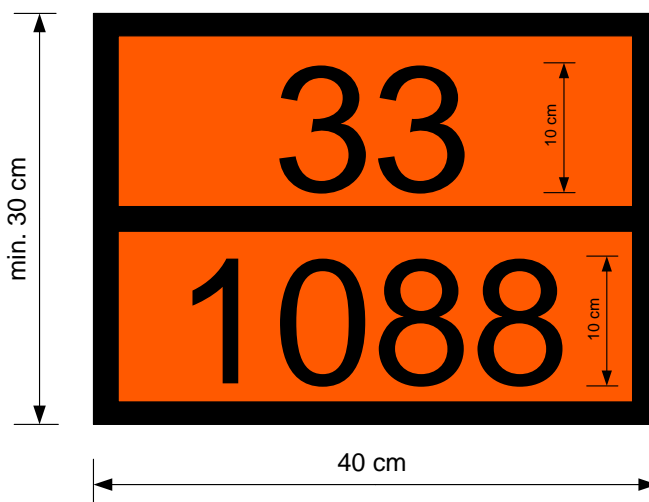
Az egyes csomagokra az adott hulladékra előírt veszélyességi és kezelési bécát, valamint veszélyt jelző táblát kell helyezni ([REINIGER, 1993; www.adrtanacsado.hu](#)). A veszélyt jelző tábla szerepe, hogy figyelmeztesse a közlekedés többi résztvevőjét, hogy a jármű veszélyes rakománnyal közlekedik, valamint baleset, illetve rendkívüli esemény esetén fontos információkat nyújtson a katasztrófa elhárító egységeknek ([www.rhk.hu](#)). A veszélyességi bécá 10 × 10 cm-es sarkára állított négyzet (**11. ábra**), a kezelési bécá A5-ös méretű (15 × 21 cm) rövidebb oldalára állított téglalap (**12. ábra**), a veszélyt jelző tábla 30 × 40 cm-es, hosszabb oldalára állított téglalap, amelyen a veszélyesség természetének jellemzésére fekete számok szolgálnak (**13. ábra**). A veszélyesség jellemzésére 9 osztályt, ezen belül alosztályokat alkalmaznak.



11. ábra. Veszélyességi bécá 3-as osztály: Gyúlékony folyékony anyag, a jelkép (láng): fekete vagy fehér; a háttér: vörös; '3' számjegy az alsó sarokban



12. ábra. Kezelési bárca: Nedvességtől óvni!



13. ábra. Veszélyt jelző tábla, a szegély és a veszélyt jelölő szám: fekete, a háttér: narancssárga

A veszélyt jelző tábla felső mezőjében a veszélyt jelző szám van, amely két vagy három számjegyű. Az első szám a főveszélyt, a második és harmadik számjegy a járulékos veszélyt jelöli. Az alsó mezőben az anyagot jelölő UN-szám található. Pl. 33 – nagyon könnyen gyúlékony folyadék (21 °C alatti lobbanásponttal). Az UN osztályok egy-egy pontosan meghatározott anyagot (pl. UN 1090 aceton) vagy gyűjtőmegnevezéssel ellátottat („másként meg nem nevezett” anyagok pl. UN 1133 ragasztók) is jelenthetnek.

A veszélyes hulladékok közúti szállítása során csak olyan csomagolóanyagokat, tárolóedényeket szabad használni, amelyet az ADR jóváhagyott. A közúti szállításánál a következő ADR előírásokat kell figyelembe venni ([REINIGER, 1993](#)):

- két pótkocsis járműszerelvénnyel szállítani tilos,
- nedvességre érzékeny hulladékokat csak fedett vagy ponyvás járművel szabad szállítani,
- tartályos vagy tartályt hordozó járműveket lökhárítóval kell védeni,

- gyúlékony anyagok szállítása esetében a jármű alkatrészei a rakományt nem melegíthetik fel, a jármű üzemanyagtartályát ütközés ellen védeni kell.

A szállító járműveket az ADR által előírt felszerelésekkel kell ellátni, amelyek közül a fontosabbak a következők ([FEHÉR, 1984; REINIGER, 1993](#)):

- tűzoltó készülék,
- szikramentes szerszámkészlet,
- kerékkitámasztó ék,
- narancssárgafényű lámpa,
- Különleges felszerelések:
 - feltűnő színű zárószalag,
 - veszélyre figyelmeztető tábla,
 - közömbösítésre, felitatásra szolgáló anyag (pl. homok),
 - ásó, lapát,
 - szennyezett testfelület lemosásához szükséges mennyiségű víz,
 - robbanásbiztos lámpa,
 - lék lezárására szolgáló ék.

4.3.3 Hulladékszállítás szervezése

A hulladékok szállításának szervezése a hulladékok tulajdonságai, a feladat végrehajtása iránt támasztott sajátos igények miatt jelentősen különbözik más szállítási feladatoktól, ezért begyakorlott személyzetet, megfelelő szállítójárműveket igényel. A szervezési munkákhoz szükséges alapinformációk a következők ([OLESSÁK, 2000; KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003](#)):

- keletkező hulladék mennyisége és minőségi jellemzői,
- gyűjtőhelyek jellegzetességei (gyűjtési mód, megközelítési lehetőségek stb.),
- szállítási útvonalak adatai (közlekedési-forgalmi viszonyok, kiépítettség, szállítási távolság stb.).

A fenti alapinformációk határozzák meg:

- a hulladékszállítási kapacitásokat, a célgépek számát és típusát,
- a gyűjtőtartályok számát és kialakítását,
- a gyűjtőkörzetek jellemzőit (gyűjtési időszükséglet, fordulóidő stb.).

A szállítási távolságok és a gazdaságosság függvényében célszerű mérlegelni az együtemű vagy a kétütemű hulladékszállítás alkalmazhatóságát.

A települési hulladékgazdálkodás költségének mintegy 40-60%-át teheti ki a hulladék begyűjtésének és szállításának a költsége, ami esetenként akár 85%-ot is elérhet ([EPA, 1999](#)). Ennek köszönhetően a költségcsökkentés szempontjából igen nagy jelentősége van a begyűjtés optimalizálásának. Az [EPA \(1999\)](#) által összeállított útmutató szerint a költségcsökkentés lehetséges módszerei:

- a begyűjtés gyakoriságának csökkentése,
- az útvonal optimalizálása,
- a begyűjtés automatizálása,
- duális gyűjtés, két frakció egy járművel történő begyűjtésével.

A begyűjtés gyakoriságának csökkentésénél közegészségügyi szempontokat kell figyelembe venni úgymint a rágcsálók elszaporodásának veszélyét és az esetleges bűzhatást. Általában a heti egyszeri alkalomnál gyakrabban nem célszerű begyűjteni. Az újrahasznosítható frakciók esetén, a gyakoriság tovább csökkenthető.

A begyűjtési útvonalak általában tapasztalat alapján kerülnek fokozatosan kialakításra. A begyűjtési rendszerek komplexitásának növekedésével azonban az útvonaltervek számítógépes tervezése iránt egyre nagyobb igény jelentkezik. Napjainkban számos útvonal optimalizálásra alkalmas számítógépes algoritmus áll rendelkezésre ilyenek például: Route View Pro, RouteSmart, FleetRoute. A számítógépes optimalizáláshoz digitális adatbázis szükséges. Térinformatikai rendszer elemeiként nyilvántartott numerikus útvonalak, demográfiai eloszlás, gyűjtőedényzet eloszlás, hulladéktermelés adatai, útburkolat minősége, tengelyterhelés és a közlekedés korlátozásával kapcsolatos adatok kerülnek integrálásra a számítógépes programba.

A települési hulladék tradicionális begyűjtése munkaigényes vállalkozás, gyakran 3 főt igényel a gyűjtőjármű kiszolgálása. Az automatizált emelő és ürítő rendszerek megjelenésével az élők munkaeő azonban jelentősen csökkenthető. Az automata és félautomata rendszerekkel a begyűjtés költséghatékonyasága növelhető. A félautomata rendszerek alkalmazása esetén már nincsen szükség kézi emelésre, de továbbra is vissza kell juttatni az edényzetet a gyűjtőhelyre. A teljesen automatizált gépjárművek esetén a járművezető kezeli a hidraulikus emelőkarokat a

vezetőfülkéből, és teszi vissza az edényzetet a gyűjtő pontra. Normál esetben az egyedüli kiszolgáló személyzetnek, a járművezetőnek el sem kell hagynia a vezetőfülkét. A teljes automatizálás hátránya a magasabb beruházási költség, a beépítettség korlátozó hatása és a lakosság pozitív, támogató hozzáállásának az igénye.

A duális gyűjtés során egy járművel, egyszeri begyűjtéssel két fajta hulladékfrakciót gyűjtenek be, aminek az eredményeként a járatok száma csökkenthető. A duális gyűjtésnek sajnos számos limitáló tényezője van: gazdaságosságának feltétele, hogy a két frakció azonos ütemben termelődjön, a gyűjtőjármű nagyobb tengelytávolsága miatt nem minden területen alkalmazható.

4.4 Hulladékok átrakása

Átrakásra kétütemű hulladékgyűjtés során kerül sor. A kétütemű hulladékgyűjtési rendszer a szállítási távolságok, és ezáltal a szállítási költségek csökkentési igénye miatt alakultak ki ([SIKLÓSSY, 1993](#)). Az átrakó állomások üzembe helyezésével a hulladékszállító járművek helyett nagyobb kapacitású konténerszállító jármű teszi meg a lerakó vagy feldolgozó és az átrakó állomás közötti utat, jelentősen csökkentve ezzel a szállítási költségeket, illetve a közutak terhelését (<http://portaegyesulet.hu>). Az átrakóállomások jelentősége nő a regionális hulladékkezelő létesítmények létesítésével és az azokhoz kapcsolódó gazdaságosabb nagytávolságú szállítás igényével. Gazdaságosan minimum 15-20 ezer fő ellátására vagy 20-25 km-es szállítási távolságon belül létesíthető átrakóállomás ([EPA, 2002](#)).

Az átrakás tömörítés nélkül vagy tömörített módon történhet. Tömörítés nélküli átrakás esetén a hulladékgyűjtő jármű rámpára áll, ahonnan surrantón keresztül ürítik a hulladékot a nagy kapacitású szállítóeszközbe. Tömörített átrakás esetén a hulladék egy telepített tömörítő berendezésbe kerül és tömörítés után szállítják el a megtelt konténert ([OLESSÁK, 2000; NAGY et al., 2002](#)). Az átrakás lehet közvetlen (egyik járműből a másikba) és közvetett (ürítés tárolóba történik, majd rakodás a másik szállító járműbe) ([SIKLÓSSY, 1993; OLESSÁK, 2000](#)). A továbbszállítás egyaránt történhet közúton és vasúton.

A kétütemű szállítás során a szállítóeszköz-kapacitás kihasználása és a költségek csökkentése érdekében meg kell teremteni a begyűjtés, az átrakás és a továbbszállítás összhangját. Az

összehangolás érdekében átmeneti tárolót lehet alkalmazni. Az átrakóállomás létesítésénél az alábbi szempontokat kell figyelembe venni **(5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet)**:

- az ellátott körzet nagysága (lakos, ingatlanszám, hulladéktermelők stb.),
- a begyűjtött hulladék összetétele, mennyisége,
- az átrakóállomás közlekedési kapcsolata, közműigénye,
- a hulladékártalmatlanítást szolgáló létesítménnyel való kapcsolat (közlekedési, forgalomtechnikai stb.),
- gazdasági szempontok.

Az átrakóállomás kialakításánál és műszaki felszereltségnél az alábbiakat kell figyelembe venni **(5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet; <http://portaegyesulet.hu>)**:

- min. 2,5 m magas kerítés zárható kapuzattal,
- hídmérleg számítógépes kapcsolattal (min. 9 m hosszú és 30 tonna teherbírású),
- közművesített szociális vagy üzemviteli épület vagy konténer (porta, iroda, mosdó, zuhanyzó, WC, öltöző, munkaruha- és kézraktár céljából),
- szilárd burkolat a nehéz tehergépkocsik forgalmára méretezve, közlekedési útburkolati jelekkel felfestve (a telep közlekedési, ürítési, konténertárolási és mozgatási területén),
- közlekedési jelzőtáblák,
- övárók és csapadékvíz elvezető árok a hulladékforgalommal nem érintett területen,
- csurgalékvíz gyűjtő- és tároló rendszer (az ürítési tér, a garat, a tömörítő pajzs és a konténerek területéről összegyűjtött valamint az ezek mosásából kikerülő vizeknek),
- homoktároló, fűrészportható, egyéb felszívató anyagok,
- tűzi víztározó vagy tűzcsap, tűzoltó készülékek,
- talajvíz figyelőkút,
- védőerdő,
- kézi szerszámok,
- egyéni védőfelszerelések,
- telefon.

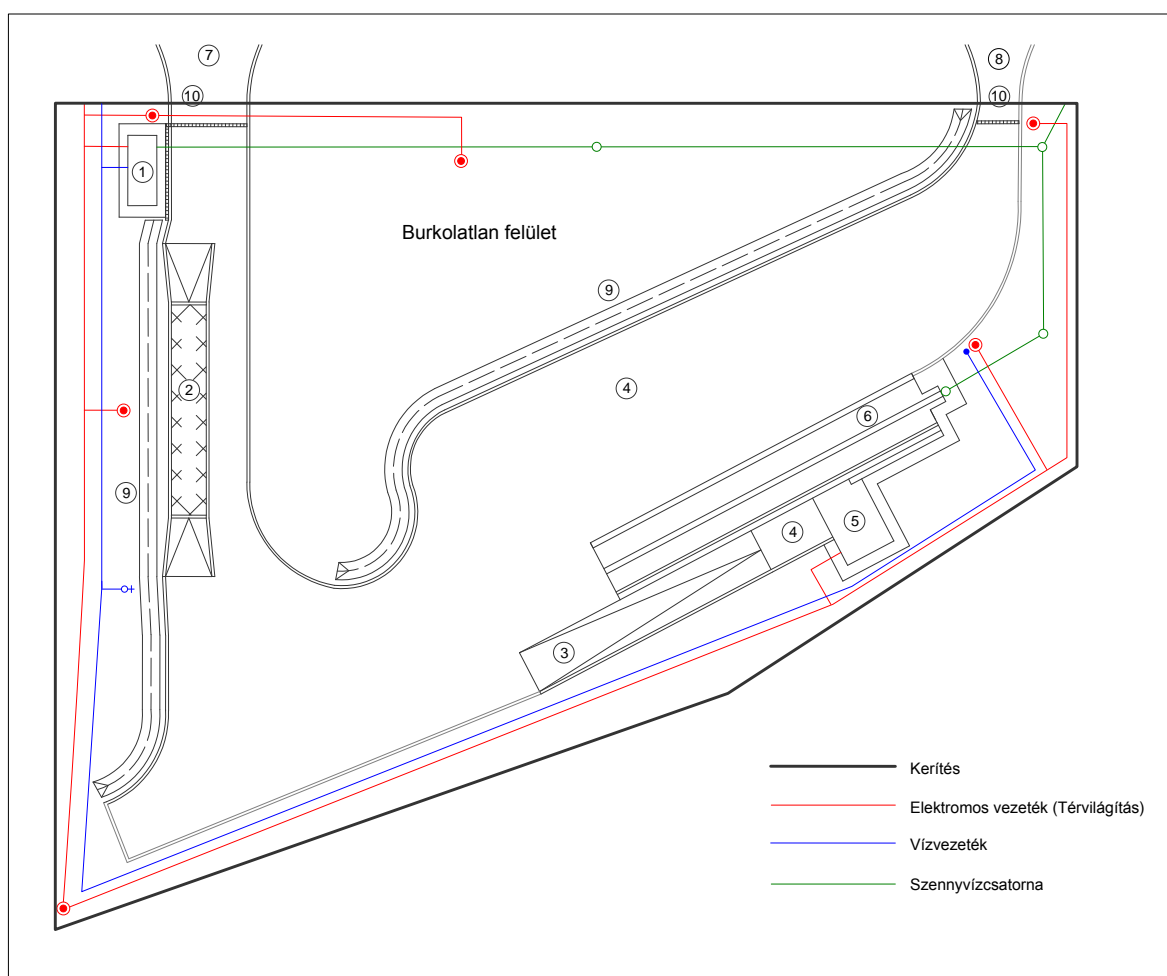
Az átrakó állomáson az alábbi technológiai berendezéseket kell biztosítani **(5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet)**:

- ürítőhely garattal, a hulladék kiporzását és kiszóródását megakadályozó kialakítással,
- tömörítő berendezés,

- konténerek, amelyek a préselő rendszerrel összekapcsolhatóak.

A tömörítő berendezésre történő hulladékfeladás kialakítható szállítoszalaggal és garattal. A légszennyezés, a por és bűzhatás kiküszöbölése érdekében, valamint a hulladék csapadéktól való védelme érdekében a szállítoszalagot vagy az ürítő garatot fedett térben kell elhelyezni. Az ürítéskor keletkező por és a szag elszívásáról gondoskodni kell, az elszívott levegő kezelésére porleválasztók és biofilterek alkalmazhatók (<http://portaegyeselet.hu>).

Átmeneti tárolásra konténereket használhatunk, amelyek mennyiségét úgy kell meghatározni, hogy a hulladékszállítás szünetelése esetén is működhessen a tömörítés melletti hulladékfogadás. A konténereket az erre a célra létesített mozgató sínen tárolhatjuk.



14. ábra. Átrakóállomás helyszínrajza ([ASA KFT., 2007](#))

(1. Üzemviteli és szociális épület, 2. Hidmérleg, 3. Rámpa, 4. Vízszintes ürítő felület, 5. Hulladék tömörítő gép és ürítő garat, 6. Vezetősín kocsisorral, 7. Behajtó út, 8. Kihajtó út, 9. Szikkasztó árok, 10. Kapu)

A **14. ábra** egy átrakóállomás helyszínrajza látható, ahol a szociális és üzemviteli épületet konténer egységgel valósították meg, amely tartalmazza a mérlegkezelőt, öltözőt, WC-t, zuhanyzót és mosdót. Az átrakóállomáson a burkolt felület nagysága gazdasági okok miatt a gépjárművek forgalmának figyelembe vételével került meghatározásra. A konténerekről és a garatról kikerülő csurgalékvizet gyűjtőaknán keresztül szennyvízcsatornába vezetik. A kevésbé szennyezett csapadékvíz a lejtésviszonyok megfelelő kialakításával szikkasztó árokba kerül. Az átrakóállomás nem burkolt részeit parkosították ([ASA KFT., 2007](#)).

A hulladék beszállítását követően a gépjárműveket lemérlegelik, majd a rámpáról a hulladékot a présgép garatjába ürítik. A garat feladata, hogy a hulladékot a tömörítő gépbe terelje. A garattal párhuzamosan található a vezető sín, amely az üres és megtelt konténerek mozgatására szolgál. A konténereket mozgó kocsisor sínpáron halad. A konténerekbe maximum 15 tonna hulladék rakható. A garatból présfej préseli a hulladékot a síneken mozgó 30 m³ térfogatú konténerekbe. A tömörítő berendezés teljesítménye 180 m³/h, a tömörítési arány 1:5 ([AVERMANN-HORVÁTH KFT., 2007](#)). A megtelt konténereket a présfejről lekapcsolják, majd a gépjármű emelő gémje a konténert görgök segítségével a jármű platójára húzza. Ezt követően a konténereket pótkocsis szerelvényekkel elszállítják az ártalmatlanító létesítménybe.

A hulladékátrakó állomás más hulladékkezelő létesítménnyel közös telephelyen is kialakítható, így egyes kiszolgáló létesítmények részben elhagyhatók.

4.5 Hulladékok átmeneti tárolása

Az átmeneti tárolás a hulladék véges ideig tartó, ideiglenes és a környezetkárosodást megakadályozó elhelyezését jelenti a hulladékhasznosítás vagy ártalmatlanítás előtt ([PAÁLNÉ et al., 1993](#)). A tárolás tehát a gyűjtésnek egy olyan speciális esete, amikor a hulladék további kezelése átmenetileg nem oldható meg megfelelő eljárás, kapacitáshiány vagy anyagi okok miatt. A tároló telepen a hulladék legfeljebb három évig tárolható. Ez idő alatt a hulladék tulajdonosa köteles a hulladék ártalmatlanításának vagy hasznosításának megoldásáról gondoskodni.

Az átmeneti tárolás módszerét a tárolt hulladék anyagi minősége, a tárolás időtartama és a tárolás utáni hasznosítás-ártalmatlanítás határozza meg, amely történhet nyílt téren

(medencében, szabadtéri tárolóban) vagy raktárépületben **(OLESSÁK, 2000; HORNYÁK, 2003)**.

A tárolóteret úgy kell kialakítani, hogy a tárolt hulladék a környezeti elemeket ne veszélyeztesse. Nyílt téri és medencés tárolásnál gondoskodni kell:

- szilárd burkolatról,
- csurgalékvíz gyűjtésről, elvezetésről,
- műszaki védelemről (szigetelő réteg).

Az átmeneti tárolók kialakításánál az alábbi követelményeket kell figyelembe venni **(PAÁLNÉ et al., 1993; HORNYÁK, 2003)**:

- teherbíró, szilárd, folyadékzáró (szükség szerint vegyszerálló) padozat kialakítása,
- gyorsan, könnyen felépíthető legyen,
- a fajlagos térkihasználás maximális legyen
- olcsó legyen.

A veszélyes hulladékok tárolása történhet stabil és mobil konténerekben is. Leggyakrabban felhúzzható konténereket alkalmaznak, amelynek padlója rosttal fedett gyűjtőkáddal van ellátva. A konténerben fogantyúkat helyeznek el, amelyekre tartóhevederekkel bármilyen edényt fel lehet fogatni. A rendszer előnye, hogy az edények számát és összetételét a pillanatnyi igények szerint változtatni lehet. A tároló kialakításánál figyelembe kell venni a munka- és tűzvédelmi előírásokat. Az egyes tárolóterek mellett tágas parkoló területeket kell kialakítani, a hulladék rakodására célgépeket kell beszerezni **(PAÁLNÉ et al., 1993)**. Az átmeneti tároló kiszolgálásához kezelőépületre van szükség, amely az üzemi létszámra méretezett fekete-fehér öltözőből, szociális helyiségekből, műhelyekből, laboratóriumból és mintatárolóból áll.

Az átmeneti tároló őrzéséről, védelméről gondoskodni kell. Az átmeneti tárolóba ki- illetve beszállított hulladék forgalmáról üzemnaplót kell vezetni, az éves forgalomról bevallást kell készíteni. Az üzemnapló nem selejtezhető, tartalmát a környezetvédelmi felügyelőség köteles évente ellenőrizni **(PAÁLNÉ et al., 1993; HORNYÁK, 2003)**.

Felhasznált irodalom:

- ASA HÓDMEZŐVÁSÁRHELY KÖZTISZTASÁGI KFT.: Adatszolgáltatás; 2007;
- AVERMANN-HORVÁTH KFT.: Adatszolgáltatás; 2007;
- BÁNDI, GY., BESE E., CSEPREGI I., ERDEY GY., MARKÓ CS., NAGY GY.: Hulladékgazdálkodási kézikönyv I. Környezetvédelmi kiskönyvtár 11.; (2002); Budapest; KJK-KERSZÖV Jogi és Üzleti Kiadó Kft.;
- CSEVÁR A.: Hulladékgazdálkodási tanácsadó; 2000; Budapest, Verlag Dashöfer Szakkönyvkiadó Kft.;
- EPA: Getting More for Less, Improving Collection Efficiency; 1999; United States Environmental Protection Agency, EPA530-R-99-038;
- EPA: Waste Transfer Stations: A Manual for Decision-Making; 2002; United States Environmental Protection Agency; EPA530-R-02-002;
- FEHÉR L., HORVÁTH A., KOLONICS Z.: Veszélyes hulladékok; 1984; Budapest; Műszaki Könyvkiadó;
- FEHÉR GY.: Települési hulladékok eltávolítása és hasznosítása; 1977; Budapest; Műszaki Könyvkiadó;
- HORNYÁK M.: A hulladékgazdálkodás alapfogalmai és jogi vonatkozások, In: Zimmer Tamás (szerk.): Hulladékgazdálkodás; 2003; Budapest; Tertia Kiadó;
- KISS L.: A települési szilárd hulladékok gyűjtése, előkezelése, hasznosítása, In: Nagy György (szerk.): Hulladékgazdálkodási kézikönyv II., Környezetvédelmi kiskönyvtár 15.; 2005; Budapest; KJK-KERSZÖV Jogi és Üzleti Kiadó Kft.;
- KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS: A települési szilárd hulladék szelektív kezelésének módszerei, alkalmazási lehetőségei, Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 4.; 2003; Budapest; Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Hulladékgazdálkodási és Technológiai Főosztály;
- LÁNG I.: Környezet- és természetvédelmi lexikon I-II.; 2002; Budapest; Akadémiai Kiadó;
- NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M., VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás; 2002; Győr; Széchenyi István Egyetem, Környezetmérnöki Tanszék;
- OLESSÁK D.: A hulladékok gyűjtése, átmeneti tárolása, In: Barótfi István (szerk.): Környezettechnika; 2000; Budapest; Mezőgazda Kiadó;

Hulladékgazdálkodási kézikönyv; 1993; Budapest; Műszaki Könyvkiadó;

RÉDEI Á., TAMASKA L.: A kommunális hulladékgazdálkodás helyzete és lehetőségei, In: Zimmer Tamás (szerk.): Hulladékgazdálkodás; 2003; Budapest; Tertia Kiadó;

REINIGER R.: Veszélyes hulladék szállítása, In: Árvai József (szerk.): Hulladékgazdálkodási kézikönyv; 1993; Budapest; Műszaki Könyvkiadó;

SIKLÓSSY M.: Települési hulladék szállítása, In: Árvai József (szerk.): Hulladékgazdálkodási kézikönyv; 1993; Budapest; Műszaki Könyvkiadó;

2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról;

98/2001 (VI. 15.) Kormányrendelet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről;

213/2001. (XI. 14.) Kormányrendelet a települési hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről;

5/2002. (X. 29.) KvVM rendelet a települési szilárd hulladék kezelésére szolgáló egyes létesítmények kialakításának és üzemeltetésének részletes műszaki szabályairól;

94/2002. (V. 5.) Korm. rendelet a csomagolásról és a csomagolási hulladék kezelésének részletes szabályairól;

110/2002. (XII. 12.) OGY határozata az Országos Hulladékgazdálkodási Tervről;

192/2003. (XI. 26.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről szóló 98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet módosításáról;

120/2004. (IV. 29.) Kormányrendelet az Európai Közösségen belüli, az oda irányuló és az onnan kifelé történő hulladékszállítás felügyeletéről és ellenőrzéséről;

www.adrtanacsadas.hu Bagó Endre Veszélyes áru szállítási biztonsági tanácsadó honlapja

www.biokom.hu Biokom Pécsi Környetgazdálkodási Kft. honlapja

www.fkf.hu Fővárosi Közterület-fenntartó Zrt. honlapja

www.hulladek-suli.hu Templomdombi Általános Iskola, Szentendre honlapja

www.envac.net Envac Centralsug AB honlapja

www.iksznet.hu Italos Karton Környezetvédelmi Egyesülés honlapja

www.komszol.hu Győri Kommunális Szolgáltató Kft honlapja

www.kvvm.hu/szakmai/hulladekgazd/ Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium hulladékgazdálkodás honlapja

www.mevakomi.hu Meva & KÓ-MI Kft. honlapja

www.molok.com Molok Ltd. honlapja

www.okopannon.hu ÖKO-Pannon Kht. honlapja

www.optibag.se OptiBag Systems AB. honlapja

<http://portaegyesulet.hu> PORTA Környezet- és Természetvédelmi, Városvédő, Kulturális közhasznú Egyesület honlapja

www.palackpres.hu GIGATEL Kft. honlapja

www.rhk.hu Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kht. honlapja

www.semicont.com Semicont Kft. honlapja

www.szelektiven.hu KM-Projekt Mérnöki Tanácsadó és Szolgáltató Kft. honlapja

www.szkh.hu Szegedi Környezetgazdálkodási Kht. honlapja

www.straumann-umwelt.de Straumann Umwelttechnik GmbH honlapja

5 Hulladékelhelyezés

Dr. Szabó Imre, Miskolci Egyetem

5.1 Fogalommeghatározások

A 20/2006.(IV.5) számú a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló *KvVM rendelet szerinti definíciók:*

Hulladéklerakó: sajátos építményfajta (lásd 1997. évi LXXVIII. törvényt), amely a hulladék lerakására szolgáló területet, valamint az azon lévő építmények összességét jelenti

Lerakás: a hulladék ártalmatlanítása műszaki védelemmel és monitoring rendszerrel épített és üzemeltetett, a földtani közeg felszínén vagy a földtani közegben kialakított hulladéklerakóban;

Csurgalékvíz: a lerakott hulladéktesten átszivárgó, illetve az ott keletkező minden olyan folyadék, oldat vagy híg szuszpenzió, amely a lerakóban marad, onnan elvezetik, illetőleg a környezetbe kerülhet.

Hulladéklerakó-gáz: a lerakott hulladék biológiai, kémiai bomlása során a lerakóban képződő gázkeverék.

Üzemeltető: az – a hulladéklerakó élettartama során azonos vagy egymástól különböző – természetes vagy jogi személy, illetve jogi személyiséggel nem rendelkező szervezet, aki (amely) a hulladéklerakó üzemeltetéséért, utógondozásáért, rekultivációjáért felelős

Meglévő hulladéklerakó: az e rendelet hatályba lépése előtt létesített hulladéklerakó

Lezárás: a felső záró-réteg rendszer megvalósítása

Rekultiváció: az e jogszabály szerinti műszaki védelemnek nem megfelelően épített, bezárt hulladéklerakó vagy hulladék elhelyezésére használt terület környezeti veszélyességének csökkentése műszaki védelem utólagos kiépítésével, tájba illesztésével, továbbá utógondozásával

Hulladéklerakó felszámolása: hulladéklerakóban vagy hulladéklerakás céljára használt területen korábban ártalmatlanítási céllal lerakott hulladék teljes felszedése és kezelése a terület hasznosítása érdekében.

Utógondozás: a hulladéklerakó részleges (egy részének) vagy teljes lezárását követő átfogó tevékenység, amely magában foglalja a monitoring rendszer üzemeltetését, a csurgalékvíz, a

Bezárás: a hulladék átvételével és lerakásával kapcsolatos tevékenységek megszüntetése a hulladéklerakóban.

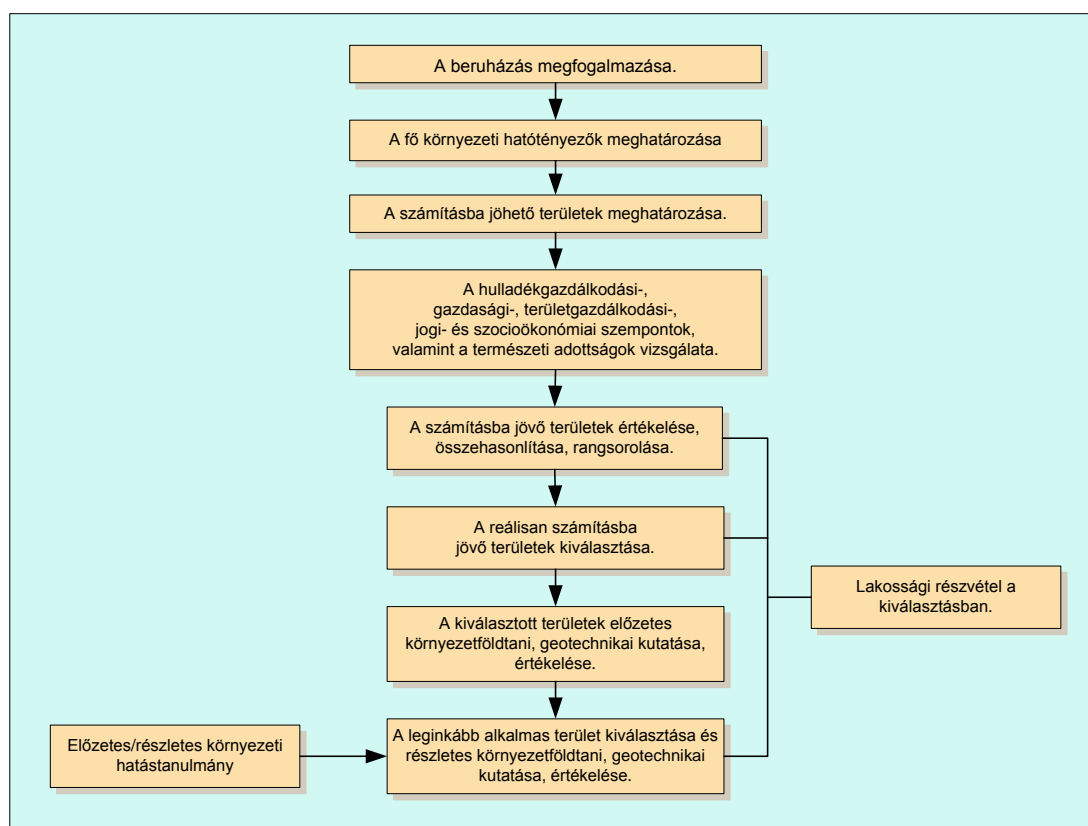
Monitoring rendszer: a környezeti elemek, különösen a felszín alatti víz, a földtani közeg terhelésének, szennyezésének, állapotának (beleértve a szennyeződésterjedést is) és igénybevételének megismerésére, illetőleg az állapotváltozás nyomon követésére szolgáló mérő-, megfigyelő- (együtt észlelő-), ellenőrző hálózat.

Monitoring: a monitoring rendszer működtetése, amely magában foglalja az észlelést, az adatok ismétlődő gyűjtését, ellenőrzését, feldolgozását, nyilvántartását, értékelését és továbbítását.

Eluátum: a laboratóriumi kioldási vizsgálatok során keletkező oldat.

5.2 A hulladéklerakók helykiválasztása

A hulladéklerakó helykiválasztása egy összetett szakmai feladat, amit mindenkor az adott jogszabályok betartása, figyelembe vétele mellett kell elvégezni. A terület-kiválasztás folyamatát a **15. ábra** szemlélteti és látható, hogy számos szempontot, esetenként érdeket figyelembe vevő, nagy gondosságot és körültekintést igénylő feladatról van szó.



15. ábra. A területkiválasztás folyamata

A lerakók hely kiválasztásának környezetföldtani követelményei, az alkalmassági kritériumok

A környezetföldtani követelmények meghatározásának alapvető feltétele, hogy a *természeti környezet és a mesterséges védelem együtt* adja a szükséges feltételeket az adott hulladék elhelyezésére. *A gyakorlatban a végleges lerakóhelyeknél megkövetelünk egy olyan minimális természetes védelmet, ami egyrészt megnyugtató a környező lakosságra, másrészt védelmet nyújt olyan előre nem látható esetekben, amikor a mesterséges korlátok lebomlanak, roncsolódnak.* Ez utóbbi esetben a természetes védelemnek elegendőnek kell lenni arra, hogy a tönkrement mesterséges védelmet helyreállítsák anélkül, hogy közben a környezet károsodna. A hulladéklerakás feltételeiről szóló 22/2001. (X.10.) KÖM rendelet előírásai szerint a hulladéklerakó helyének megválasztásánál

- a területfejlesztési;
- a terület- és településrendezési;
- a tájvédelmi;
- a föld, mint környezeti elem, különösen a termőföld védelmével kapcsolatos;
- a geotechnikai, környezet- és vízföldtani;
- a felszíni és felszín alatti vízvédelmi;
- a levegőtisztaság-védelmi;
- a közegészségügyi;
- a természetvédelmi;
- a hulladékgazdálkodási;
- a tűzvédelmi

szempontokat kell figyelembe venni, különös tekintettel a következő követelményekre:

- a hulladéklerakó határának lakó- és üdülőövezetektől, vízi-utaktól, csatornáktól, felszíni vizektől, mezőgazdasági és lakott területektől való távolsága;
- ivóvízbázisok védőidomainak, védőterületeinek helyzete, előfordulása;
- a terület külön jogszabályok szerinti szennyeződés érzékenysége;
- a terület földtani és hidrológiai adottságai;
- árvíz, felszínössüllyedés, felszínmozgás (csúszás) veszély a területen;
- természeti vagy kulturális örökség védelme.

Hulladéklerakó nem telepíthető:

- a területfejlesztési és területrendezési, valamint településrendezési tervek alapján alkalmatlannak ítélt területeken;
- erősen erózióveszélyes területeken;
- felszíni mozgásveszélyes területen;
- minden olyan karsztos, erősen tört szerkezetű, tagolt kőzetösszetű területen, ahol a felszínen vagy a felszín alatt 10 méteren belül mészkő, dolomit, mész- és dolomitmárga képződmények, illetve tektonikailag erősen tagolt kőzetösszetek találhatóak;
- külön jogszabály szerint az üzemelő és távlati ivóvízbázisok, ásvány- és gyógyvízhasznosítást szolgáló vízkivételek kijelölt, vagy kijelölés alatt álló belső-, külső- védőövezetein, illetve hidrogeológiai „A” védőterületein;
- természeti oltalom alatt álló területen;
- energiaszállító vezeték védősávjában;
- működő vagy felhagyott mélyművelésű bánya felszakadási területén belül, ha a mozgások még nem konszolidálódtak, ill. bányaművelésre előzetesen kijelölt terület fölött;
- olyan földrengésveszélyes területen, ahol a várható földrengés maximális erőssége VI. az MKS skálán;
- árvíz-, belvízveszélyes, illetve kármentesítéssel nem rendelkező területen;
- magas talajvízállású területen (a hulladéklerakó szigetelő-rendszerének fenékszintje alatt a mindenkori maximális talajvízszint, illetve a felszín alatti víz nyomásszintje legalább 1,0 méterre legyen).

Veszélyeshulladék-lerakó külön jogszabály szerint a *kiemelten érzékeny felszín alatti vízminőség-védelmi területen nem létesíthető*. A rendelet 2/1. mellékletében részletezett érzékenységi kategóriák területi eloszlása megtalálható a Környezetvédelmi Minisztérium gondozásában megjelent „Kármentesítési füzetek” 7. kötetéhez tartozó 1. mellékletein, ill. a minisztérium internetes honlapján elérhető (www.ktm.hu/korny/karmentes).

Az *üzemelő és távlati ivóvízbázisok* kijelölt, vagy kijelölés alatt álló belső-, külső- védőövezeteire, illetve „A” és „B” hidrogeológiai védőterületeire vonatkozó *korlátozásokat a 123/1997. (VII.18.) sz. Korm. rendelet* fogalmazza meg, amelynek a legfontosabb korlátozó rendelkezéseit a **8.** táblázat foglalja össze.

8. táblázat. 123/1997. (VII.18.) sz. Korm. rendelet korlátozásai

<i>A védőterületek és védőidomok övezeteire vonatkozó korlátozások a (123/1997. (VII.18.) Korm. rendelet alapján</i>				
Tevékenység	Felszíni és felszín alatti vízbázisok		Felszín alatti vízbázisok hidrogeológiai	
	belső	külső	A	B
	védőövezetek			
Települési folyékonyhulladék lerakó létesítése és üzemeltetése	∅	∅	∅	⊗
Településhulladék-lerakó (nem veszélyes hulladékok)	∅	∅	∅	⊖
Építéshulladék-lerakás	∅	∅	⊖	⊕
Veszélyeshulladék-ártalmatlanító	∅	∅	∅	⊗
Veszélyeshulladék-lerakó	∅	∅	∅	∅
Veszélyeshulladék üzemi gyűjtő	∅	∅	⊗	⊖

Jelmagyarázat:

- ∅ : tilos;
- ⊗ : új létesítménynél, tevékenységnél tilos, a meglévőnél a környezetvédelmi felülvizsgálat/hatásvizsgálat eredményétől függően megengedhető;
- ⊖ : új vagy meglévő létesítménynél, tevékenységnél a környezeti hatásvizsgálat/felülvizsgálat, illetve az ezeknek megfelelő tartalmú egyedi vizsgálat eredményétől függően megengedhető;
- ⊕ : nincs korlátozva.

A földtani közeggel szemben támasztott kritériumok

Hulladéklerakók létesítése esetén a területnek geotechnikai szempontból az alábbi adottságokkal kell rendelkeznie:

- a.) Inert lerakónál 1,0 m vastag, $k \leq 10^{-7}$ m/s, nem veszélyes-, ill. veszélyeshulladék-lerakónál 1,0 ill. 5,0 m vastag, $k \leq 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezőjű földtani közeg (altalaj) vagy vele egyenértékű védelmet nyújtó épített réteg, amelynek a minimális vastagsága 0,5 m. A nemzetközi gyakorlatban az altalaj kifejezés általánosan elterjedt és a továbbiakban ezt használjuk. A földtani közeg: a föld felszíne és a felszín alatti rétegei. Az altalaj ettől szűkebb fogalom, amelyen a lerakó alatti földtani közeget értjük, amelyre a lerakó potenciálisan veszélyt jelent vagy jelenthet.

- b.) Az altalaj anyagának *agyagásvány-tartalma* a nem veszélyes-, ill. veszélyeshulladék-lerakónál legalább 10 % legyen, rendelkezzen nagy adszorpciós kapacitással. Utóbbi esetben a terület különösen kedvező, ha az altalaj *kationcserélő kapacitása* $T > 25$ mekv/100 g, megfelelő, ha 15-25 mekv/100 g közötti érték. Ha $T < 15$, az altalaj adszorpciós kapacitása kedvezőtlen, de ez nem kizáró kritérium.
- c.) *A talajvíz maximális nyugalmi vagy nyomásszintje* nem veszélyeshulladék-lerakónál legfeljebb 1,0 m-re veszélyeshulladék-lerakónál legfeljebb 5,0 m-re lehet a lerakó szigetelőrétegének fenékszintjétől. Így *kívánatos*, hogy a talajvíz maximális nyugalmi vagy nyomásszintje legalább 1,0 ill. 5,0 m-rel az eltávolított humuszréteg utáni felszín alatt legyen, ellenkező esetben a depónia fenékszintjét ki kell emelni.
- d.) Az altalaj *szervesanyag-tartalma* max. 5% lehet.
- e.) A lerakó altalajának a depónia várható terhelésével szemben *teherbíró*nak kell lennie, biztosítania kell, hogy a terhelés hatására bekövetkező deformációk az aljzatszigetelő rendszer hatékonyságát, a depóniatest állékonyságát ne veszélyeztessék.
- f.) Kedvezőtlen, ha felszínközeli *kis szilárdságú, gyengén konszolidált* rétegek fordulnak elő, mert ezen rétegek összenyomódásából származó *többletsüllyedést* a depóniaaljazat kiemelésével kompenzálni kell.

A lerakó területének környezetföldtani kutatása

A hulladéklerakók helyszínének környezetföldtani kutatása célszerűen egymástól elkülönült fázisokban történik a **9. táblázat** szerint.

9. táblázat. A környezetföldtani kutatás különböző fázisai

<i>A hulladéklerakók helyszínének környezetföldtani kutatása</i>	
Kutatási fázis	Elérendő cél
I. Előzetes kutatás	Alternatív területek kijelölése
II. Felderítő előzetes kutatás	Az alternatív területeken eldönthető legyen: az egyes területek alkalmassága, a területek rangsora
III. Részletes kutatás	A kiválasztott, leginkább kedvező területen minden szükséges részletkérdés tisztázása

Az egyes kutatási fázisokban elvégzendő vizsgálatok körét a tisztázandó problémákat a **10. táblázat** foglalja össze. Nyilvánvalóan minden egyes probléma megoldásához, tisztázásához széleskörű helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokra van szükség.

10. táblázat. Hulladéklerakó-telepek kutatása során elvégzendő vizsgálatok fázisai és a vizsgálandó problémák köre (JÓZSA-HETÉNYI-RAINCSÁK, 1990.)

Vizsgálat	Kutatási fázisok		
	I.	II.	III.
<p>Általános területrendezési telepítési szabályok: Területfelhasználási szabályok Településfejlesztési szempontok Védett területek (vízvédelmi, természetvédelmi, ásvány-, vagyonvédelmi, stb.) Védőtávolságok (településtől, közúttól, stb.) Megközelíthetőség</p>	o o o o o		
<p>Meteorológiai adatok: Csapadékadatok Szélviszonyok</p>	+ +	o o	o o
<p>Földrajzi adottságok: Morfológiai viszonyok (lejtőkategória stb.) Növényzet, művelési ágak</p>	+ +	o o	o o
<p>Hidrológiai adottságok: Árvíz, belvíz-veszélyeztetettség Lefolyási viszonyok, csapadékvíz-elvezetés Befogadók, vízfolyások, vízgyűjtő területek</p>	+ + +	o o o	o o o
<p>Földtani adottságok: Távolabbi környezet vizsgálata Ásvány-kőzettani felépítés Kor, település, vastagság Fejlődéstörténet, tektonika Átnézeti földtani térképek, szelvények A kutatási terület vizsgálata: Feltáró létesítmények (fúrások, aknák stb.) telepítése Ásvány-kőzettani viszonyok, vizsgálatok Kor, település, vastagság Fejlődéstörténet, tektonika Különböző méretarányú térképek, szelvények szerkesztése</p>	+ + + +	o o o o o o o o o o	o o o o o
<p>Műszaki földtani viszonyok: Szeizmikus, földrengés-veszélyességi viszonyok Felszínmozgás veszélyességi térkép Rézsúállékonysági vizsgálat Erózióvizsgálat Geotechnikai jellemzők Alapozási viszonyok Műszaki védelem</p>	+ +	o o o o o o o	o o o o o o

o: elvégzendő vizsgálat

+: becslés, prognózis

A potenciálisan számításba jövő területek vizsgálata és értékelése

A hulladéklerakóhely számára kiválasztott terület/területek esetén el kell végezni az *előzetes környezeti hatásvizsgálatot*, amelynek során a környezeti elemek állapotában bekövetkező változásokat értékelni és minősíteni kell, amely után eldönthető, hogy környezetvédelmi szempontból a beruházás megvalósítható-e.

A hatótényezők, a hatásfolyamatok és a közvetlen és közvetett hatásterületek meghatározása nyomán lehetőség nyílik a környezeti elemek állapotában a lerakó és létesítményei által okozott változások értékelésére, majd minősítésére. Az értékelés során *minden környezeti elemre/rendszerre, és a teljes hatásterületre el kell végezni a beruházás megvalósítása következtében kialakuló új környezetállapot és a kontroll környezet kiinduló állapotának az összehasonlítását*. Az értékelés lépéseit összefoglalóan a **16. ábra** szemlélteti.

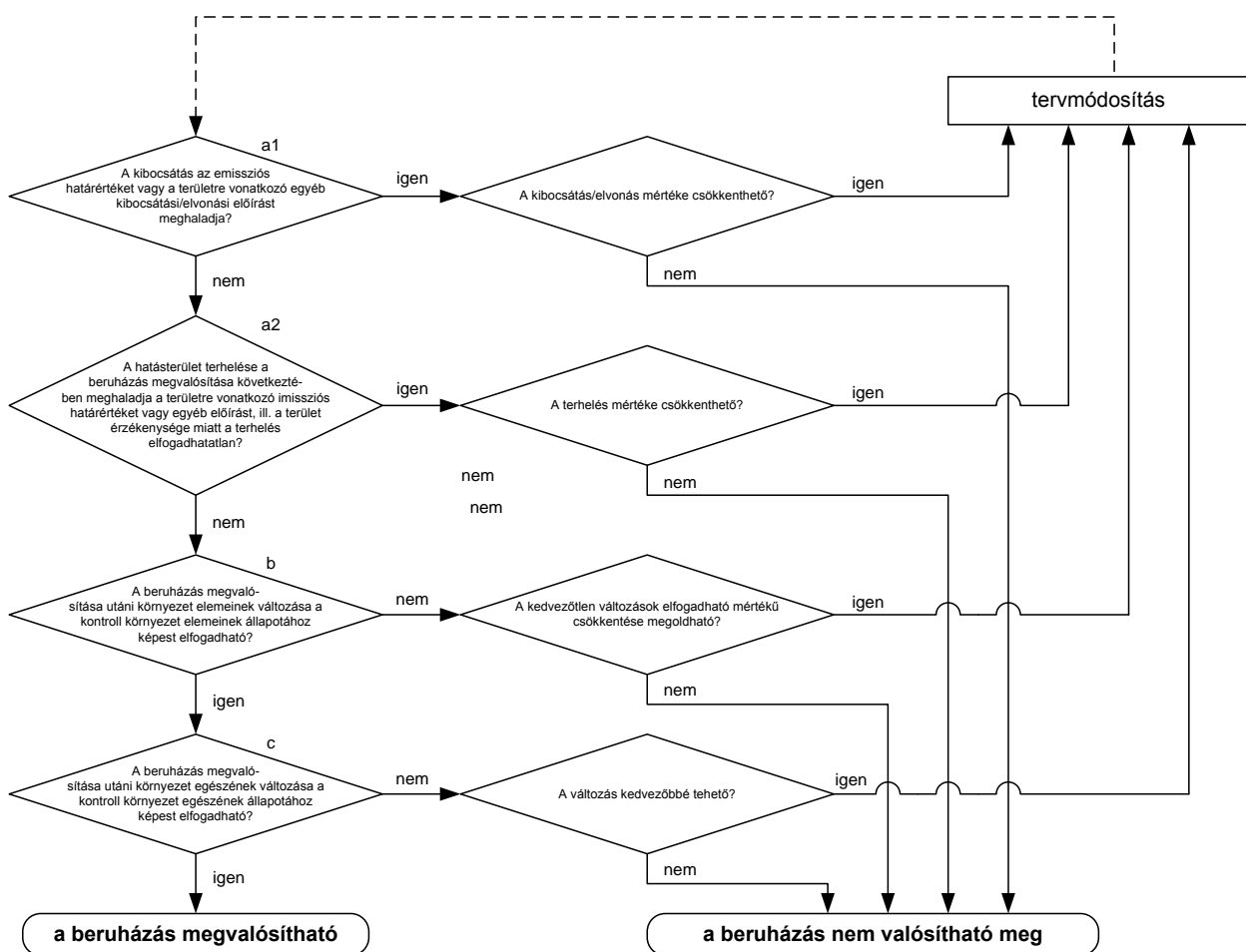
A *minősítés* bemutatja, hogy a környezeti elemekben és rendszerekben beállt változások mennyire elfogadhatók. Az értékelés során el kell végezni:

a hatótényezők és a vonatkozó emissziós normák összehasonlítását,

a környezeti elem/rendszerek kiinduló állapota (kontroll környezet) és a megváltozott állapot összehasonlítását,

az elemrendszer terhelése és a környezet - illetve természetvédelmi célkitűzések közötti nem határérték jellegű összehasonlítását,

a lakossági szempontokkal való összevetést.



16. ábra. A környezeti elemek állapotában bekövetkező változások értékelése

Az értékelés leglényegesebb és legkritikusabb mozzanata a *környezeti elemek/rendszerek* állapotváltozásának a megítélése. Alapvetően fontos, hogy a megítélés *objektív kategóriák alapján* történjék, aminek alapján a döntés egyértelmű, szubjektív elemektől mentes legyen. A környezeti hatásvizsgálatok törvényi és tartalmi követelményeit a 20/2001. (II.14) Korm. rendelet szabályozza.

5.3 A hulladéklerakók osztályozása, kialakítása

A hulladéklerakók osztályozása több szempont szerint történhet. Az *előkezelés módja, a lerakandó hulladék minősítése* szerint megkülönböztetünk:

veszélyeshulladék-lerakót;

nem veszélyeshulladék-lerakót;

inert hulladék-lerakót.

A vonatkozó rendelet a fenti besorolás alapján határozza meg a depóniák kialakításának műszaki követelményeit, amit a későbbiekben tárgyalunk.

Az *építési mód szerint* megkülönböztetünk:

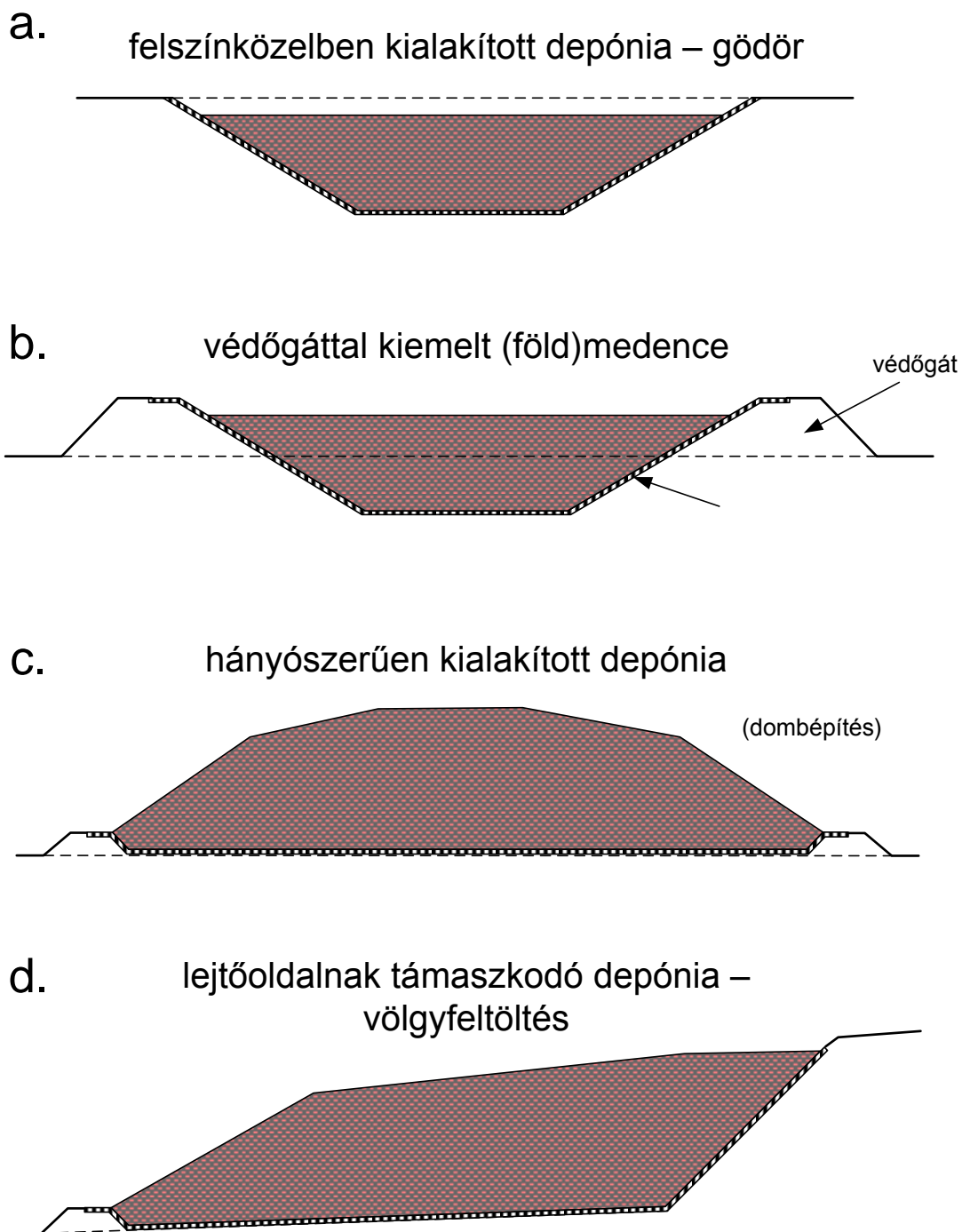
feltöltéssel épített hulladéklerakókat (depóniákat);

tárolószerűen kialakított lerakókat.

A talaj felszínén vagy felszínközeli épített hulladék lerakók típusait a **17. ábra** szemlélteti.

A feltöltéssel épített depónia a leginkább hagyományos forma, és a köztudatban szinte ez a kizárólagosan értelmezett "hulladéklerakás". Az így kialakított depóniák - ellentétben a tárolószerűen kialakítottakkal - nem rendelkeznek teherbíró szerkezeti elemekkel, mivel az oldalhatárolást biztosító védőgátaknak csak másodlagos jelentőségük van.

A *felszínközeli kialakított depóniagödrök* tájképileg a leginkább elrejtethők, esetenként a meglévő bányagödrök - ha a megkívánt feltételek biztosíthatók - gazdaságosan kihasználhatók. Legfőbb hátránya ezen kialakítási módnak az, hogy a keletkező csurgalékvíz és az üzemelés során a nyitott részekben bejutó csapadékvíz elvezetése nehézkes, ill. a megoldás jelentős többletberuházást igényel, a szabad kifolyás, elvezetés nem biztosított. Mindez egy esetleges szennyeződés állandó kockázatát is jelenti. A megépített aljzatszigetelő rendszer meghibásodása legjobb esetben is csak szektorálisan határolható be, és nehezen lokalizálható, javítható.



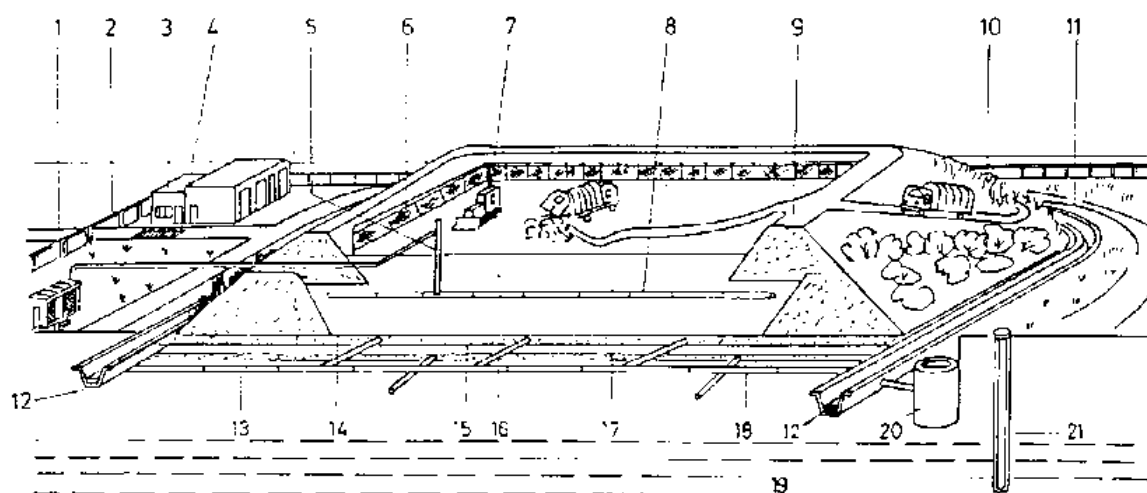
17. ábra. Feltöltéssel épített hulladéklerakó típusok (BRANDL, 1989.)

A védőgáttal kiemelt *medenceformájú* depóniákat leginkább iszapülepítőként, vagy folyékony és iszapszerű ipari hulladékok tárolására alkalmazzák. Különösen elterjedt az alkalmazása a bányaiiparban, az előkészítőműveknél és a kohászatban, főként monodepóniaként. A fenékszivárgónak különösen hatékonynak kell lennie.

A hányószerűen, dombépítéssel kialakított depóniák előnye, hogy a hulladéktér gázmentesítése és víztelenítése technikailag viszonylag egyszerűen megoldható és jobban ellenőrizhető, mint a gödör feltöltés. További előny, hogy a domb magasságának a növekedésével az altalaj további konszolidációja révén a szivárgási tényező értéke kedvezően csökkenhet. A dombmagasságot a topográfia és az altalaj teherbíróképessége határozza meg. Magyarországon az utóbbi években épített vagy tervezett ilyen típusú lerakók hulladékfeltöltési magassága 20-30 m.

A völgyoldalnak támaszkodó depóniák többnyire jól illeszkednek a helyi topográfiai viszonyokhoz és előnyük a hatékony víztelenítés lehetősége.

Egy-egy hulladéklerakó - kialakításától függetlenül - ma már valóságos nagyüzemnek tekinthető. Tervezése, kialakítása különböző területen dolgozó szakemberek összehangolt munkáját kívánja meg. A **18. ábra** egy rendezett lerakó metszetét szemlélteti, feltüntetve a lerakó biztonságos üzemeltetésének a szükséges/lehetséges elemeit.

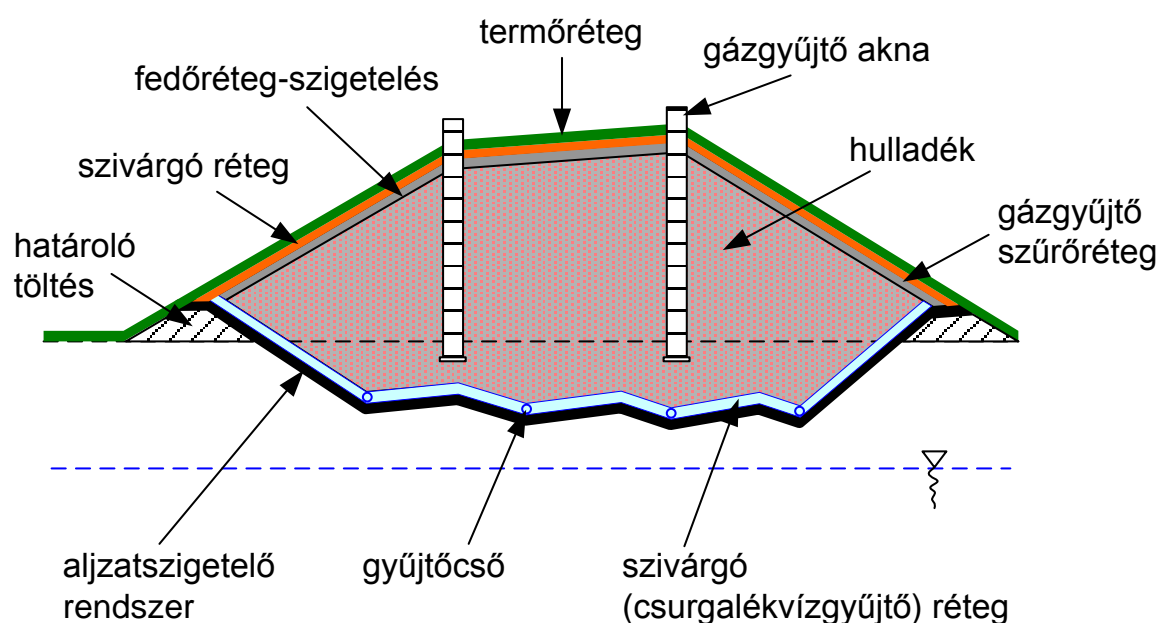


1.	gépház, biogáz-szivattyú	12.	vízvezető óvárok
2.	bejárat és kerítés	13.	szivárgó víz elvezetés
3.	bejárati ellenőrzés	14.	homokos kavics réteg
4.	lúdmerleg	15.	talajfeltöltés magas talajvízzel
5.	biogázzívó kut szállítócsővel	16.	tömörített hulladék
6.	papírfogó háló vagy palánk	17.	homokréteg szivárgóvíz vezetékkel
7.	hulladéktömörítés	18.	vízszelő altalaj és műszaki védelem
8.	biogázgyűjtő vezeték	19.	talajvíz
9.	védőtöltés, lezárás	20.	víznyelő akna
10.	zöld növényzet	21.	talajvíz figyelőkut
11.	körforgalom		

18. ábra. A rendezett lerakó lehetséges modellje (THOME - KOZMIENSKY, 1987.)

5.4 A hulladéklerakók szigetelése

A depóniák szigetelőrendszere záró- és aljzatszigetelő rendszerből áll, és a kettő együtt a teljes hulladéktömeget körbezárja, a külvilágtól elszigeteli. A körbezárás akkor megfelelő, ha mindkét elem szigetelő hatása tartós, és a szennyező anyagok csak az ellenőrzött csurgalékvíz, valamint a gázgyűjtő és -elvezető vezetékekben lépnek ki. A depóniák szigetelőrendszerének elemeit a **19. ábra** szemlélteti.



19. ábra. Hulladékdepónia szigetelőrendszerének az elemei

Az aljzat-és zárószigetelő rendszernek a következő követelményeknek kell megfelelnie:

([STIEF, 1985.](#); [FRANZIUS, 1987.](#)):

- vízzáróság csapadékvízzel szemben, hőállóság 70°C-ig,
- depóniagázokkal szembeni szigetelőkéesség,
- depóniaterheléssel (mechanikai, kémiai, biológiai) szembeni ellenállóképesség,
- képes legyen elviselni a bekövetkező süllyedéseket,
- kiszáradással szembeni ellenállóképesség,
- mikroorganizmusokkal, rágcsálókkal, a növényzet gyökérzetével szembeni ellenállóképesség,
- erózió- és fagyállóság,

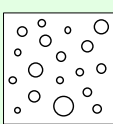
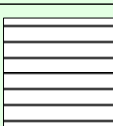

- technikailag egyszerű beépíthetőség,
- az építési- és üzemeltetési fázisban a tömörség és szigetelőképeség ellenőrzésének a lehetősége,
- sérülés, rongálódás esetén javíthatóság,
- gazdaságosság.

Az aljzatszigetelő rendszer felépítésének a szabályozása

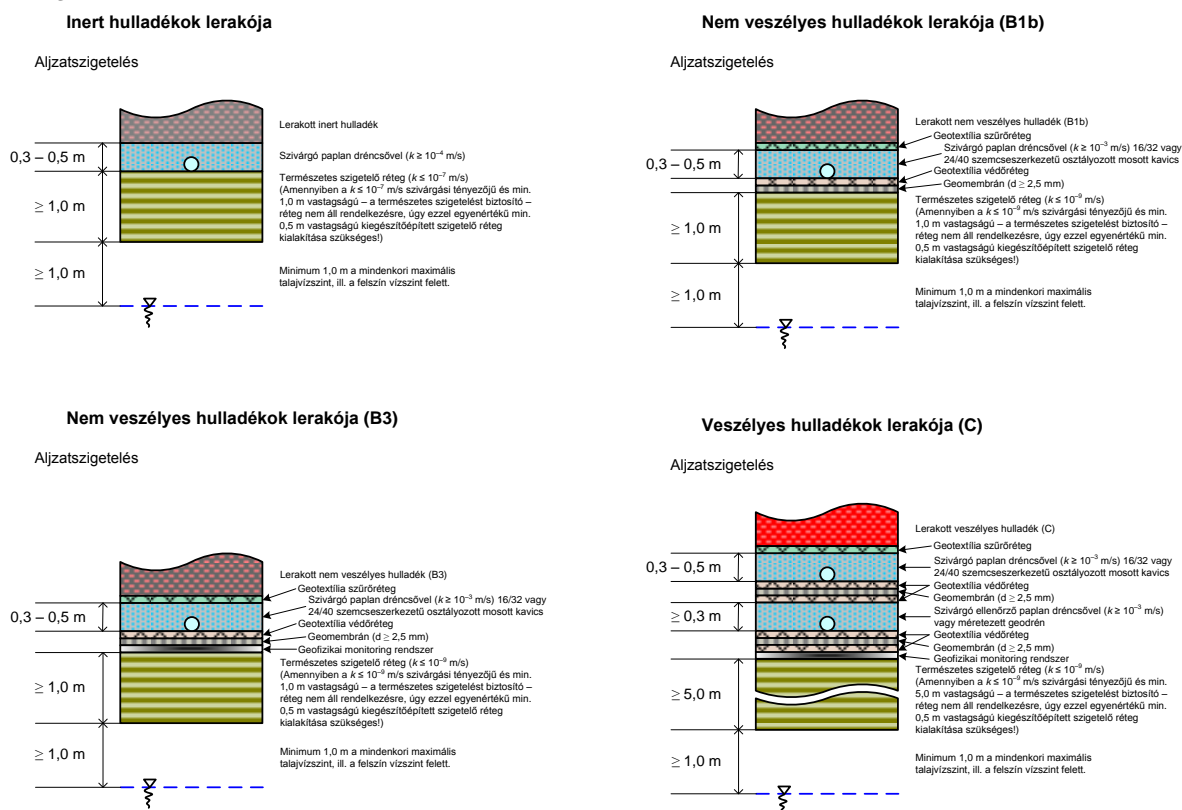
Az 1999/31/EK irányelv az általajjal szemben rendkívül szigorú előírásokat tartalmaz mind a veszélyes mind a nem veszélyes hulladékok lerakója esetén. Ugyanakkor a tagországok számára megadja a lehetőséget, hogy az aljzatszigetelés telepítésére vonatkozó általános és specifikus követelményeket egyedileg fogalmazzák meg, előírva, hogy mindkét lerakó típusnál szükséges a megléte (**20. ábra**).

Hazánkban az egyes hulladéklerakó kategóriákra vonatkozó aljzatszigetelés kialakításának követelményeit a *20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet 1.sz. melléklete szabályozza*. A rendelet messzemenően figyelembe veszi az 1999/31/EK irányelveket, valamint a 2003/33 EK direktívának megfelelő lerakó típusokat. A különböző típusú hulladékok lerakóira (inert – nem veszélyes hulladék – veszélyes hulladék) vonatkozó előírásokat a **21. ábra** szemlélteti.

Az ábrákon megtaláljuk az egyes rétegekkel és műszaki védelmi elemekkel szemben támasztott követelményeket, kritériumokat, méreteket.

RÉTEG/PARAMÉTER	KÖVETELMÉNY		
	Veszélyes hulladék	Nem veszélyes hulladék	Inert hulladék
 Szivárgóréteg Vastagság (d_s)	$d_s \geq 0,5 \text{ m}$	$d_s \geq 0,5 \text{ m}$	A tagállam egyedileg szabályozza
 Épített szigetelőréteg (természetes és mesterséges)	Felépítését a tagállamok egyedileg határozzák meg		
 Általaj Vastagság (d_a) Szivárgási tényező (k_a)	$d_a \geq 5,0 \text{ m}$ $k_a < 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	$d_a \geq 1,0 \text{ m}$ $k_a \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$	$d_a \geq 1,0 \text{ m}$ $k_a < 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$
Vagy: legalább 0,5 m vastag, egyenértékű épített réteg			

20. ábra. Az aljzatszigetelő-rendszer felépítése az 1999/31/EK irányelv alapján



21. ábra. A hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere felépítésének szabályozása

A földtani közeg szigetelési- és szennyezőanyag visszatartó-képességének hatékonyságát az határozza meg, hogy a hulladéklerakó alatti, és a hulladéklerakót körülvevő geológiai, hidrogeológiai és geotechnikai feltételek megfelelő védelmet nyújtanak-e a földtani közeget és a felszín alatti vizet fenyegető potenciális veszély elhárítására.

A hulladéklerakó aljzat- és oldalszigetelését olyan természetes anyagú rétegből kell megépíteni, amely legalább az alábbiakkal egyenértékű szivárgási tényező értékeket és vastagsági követelményeket elégít ki:

veszélyeshulladék-lerakónál: $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s; vastagság ≥ 5 m;

nem veszélyeshulladék-lerakónál: $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s; vastagság ≥ 1 m;

inert hulladék-lerakónál: $k \leq 1,0 \times 10^{-7}$ m/s; vastagság ≥ 1 m.

Amennyiben a fenti tulajdonságokkal rendelkező természetes szigetelő réteg nem áll rendelkezésre, úgy ezzel egyenértékű szivárgási tényező értéket biztosító minimum 0,5 méter vastagságú, kiegészítő épített szigetelő réteg kialakítása szükséges. Egyenértékűnek tekinthető az a két szigetelő réteg, amelyeket az alkalmazás feltételei mellett azonos kumulatív transzport jellemez.

A hulladéklerakó szigetelésénél betartandók a **11. táblázat** előírásai.

11. táblázat. A csurgalékvíz gyűjtésre és aljzatszigetelésre vonatkozó előírások

Hulladéklerakó kategória	Inert	nem veszélyes	veszélyes
Épített szigetelőréteg	nem előírt	előírt	előírt
Szivárgóréteg	előírt ($\geq 0,3-0,5\text{m}$)	előírt ($\geq 0,3-0,5\text{ m}$)	előírt ($\geq 0,3-0,5\text{ m}$)

Az épített szigetelő réteg minimális vastagsága 0,5 m, amely szükség szerint több szigetelőanyag-réteg kombinációjával is elérhető. A hulladéklerakó szigetelőrendszerének fenékszintje és a maximális talajvíz szintje, vagy nyomásszintje között legalább 1 méter távolságot kell tartani.

Mint látható az új miniszteri rendelet a 90-es évek gyakorlatához képest lényegesen szigorúbb: Az általajnál (földtani közeg) nem veszélyeshulladék-lerakónál 1,0 méter veszélyeshulladék-lerakónál 5,0 m vastag, $k \leq 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezőjű természetes településű réteget kíván meg. Inerthulladék-lerakónál a vízzárósági követelmény értelemszerűen kisebb ($k \leq 10^{-7}$ m/s). Amennyiben ez a réteg nem áll rendelkezésre, úgy az *előírttal egyenértékű és legalább 0,5 m vastag kiegészítő épített szigetelő réteget ír elő*. Ez azt jelenti, hogy az *általaj adottságok hiánya csak természetes anyagú és épített réteggel pótolható*.

Rendkívül fontos és előremutató, hogy az egyenértékűségénél az azonos szennyezőanyag-visszatartó képességet írja elő,

A korábbi lerakó rendelethez képest változott a csurgalékvízgyűjtő réteg vastagságára vonatkozó előírás (lásd **21. ábra**). A rendelet szerint a vastagsága 0,3-0,5 méter között lehet, *a 0,5 méternél kisebb rétegvastagságot méretezéssel kell indokolni, azonban a minimális vastagság itt sem lehet kevesebb, mint 0,3 m*. Lejtős, rézsús felületen mind beépítési, mind állékonysági (megcsúszás) problémák felléphetnek, itt sok esetben kedvezőbb lehet a *geoműanyagok (geodrén, geokompozit, geoszintetikus-agyag az ún. bentonitszőnyeg)* alkalmazása, amennyiben azok az előírttal azonos védelmet biztosítanak.

A rendelet hatályba lépésével különös gond fordítandó a *terület földtani, hidrogeológiai, geotechnikai kutatására, vizsgálatára*, hiszen az általaj megfelelő vízzáróságát ebben a fázisban kell igazolni, szemben az épített réteg kivitelezésekor végzett helyszíni ellenőrzéssel.

A hulladéklerakók lezárása, a felső záró szigetelőrendszer felépítése

A hulladéklerakónál elérve a végleges magasságot, gondoskodni kell a lezárásáról, amelynek feladata és rendeltetése a következő:

az infiltráció megakadályozása, ill. a minimálisra csökkentése;

növeli a biztonságot az aljzatszigetelőrendszer esetleges meghibásodása esetén;

biztosítható a gázemisszió teljes kontrollja;

megakadályozza a depónián lefutó csapadékvizek érintkezését a hulladékkal, s ezáltal a környezet felszíni, felszín alatti szennyeződését;

megakadályozza a szennyeződés szél általi továbbszállítását;

megakadályozza a hulladék közvetlen kapcsolatát az állatokkal és az emberekkel;

csökkenti a depónia felületén az eróziót, elősegíti a rekultivációt.

Az új 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a zárószigeteléseknél a *végleges záró-szigetelőrendszer* mellett előírja az *átmeneti záró-szigetelőrendszer beépítését*.

A rendelet szerint:

A végleges záró-rétegrendszer rendeltetése a csapadékvíznek a hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása, a csurgalékvíz képződésének (és kezelésének) lehetőség szerinti csökkentése, továbbá a környezetbe való potenciális kijutásának megelőzése.

Az átmeneti záró-rétegrendszer legfontosabb feladata, hogy tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, a hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlásának meggyorsítását és a rendszer stabilizálódását, a végleges záró-réteg kiépítése érdekében. Beépítését indokolja, hogy a hulladék konszolidációja, a lebomlás-stabilizálódás során a lerakó felszínén jelentős süllyedések várhatók, amit a végleges záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedezéséhez vezetne, ami végül is a szigetelőképeség hatékonyságának jelentős csökkenését eredményezi.

A fentiekből következik, hogy mindazoknál a lerakóknál, amelyekre az új lerakórendelet vonatkozik, a zárószigetelőrendszer végleges kiépítése időben eltolva, két lépcsőben történik. A stabilizálódás bekövetkezését a lerakó-gáz mennyiségének és összetételének, a csurgalékvíz mennyiségének és összetételének, valamint a felszínsüllyedésnek az idő függvényében történő mérésével lehet értékelni. Ha a stabilizálódás bekövetkezett, akkor ki lehet építeni a végleges záró-réteget.

A hulladéklerakók átmeneti záró-szigetelőrendszere

Az átmeneti (ideiglenes) záró szigetelőrendszer megépítését a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet 4. sz. melléklete szabályozza.

A megfelelő hulladékbetöltési-, feltöltési magasság elérése után a lerakó vagy annak egy része bezárásra/lezárásra kerül. Azzal, hogy a lerakót lezárjuk a *hulladék-konszolidáció folyamata nem áll meg*, tovább folytatódik/megindul a *hulladék lebomlása*, valamint a *mechanikai*

hosszú ideig jelentős csurgalékvíz-mennyiséggel és felszínmozgással/süllyedéssel kell számolnunk. Annak érdekében, hogy:

a hulladék lebomlásához optimális feltételeket biztosítsunk,

a végleges záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedések miatti tönkremenetelét (funkcionális) megakadályozzuk ill. megelőzzük,

célszerű a lezárás első fázisában egy ideiglenes, átmeneti záró-szigetelőrendszert beépíteni.

Inert hulladékok lerakójánál, ill. olyan veszélyeshulladék-lerakóknál, ahol a hulladék lebomlásával, a hulladéktest jelentős konszolidációjával nem kell számolni, ideiglenes záró-szigetelőrendszer megépítése nem szükséges.

Az átmeneti záró-szigetelőréteget mindaddig üzemeltetni kell, amíg a hulladéktest biológiai és mechanikai stabilizációja/konszolidációja be nem következik.

Az átmeneti záró szigetelőrendszertől *elvárt követelmények:*

az alkalmazott anyag a várható süllyedéseket tönkremenetel, jelentősebb hatékonyságcsökkenés nélkül el tudja viselni;

segítse elő a minimális csurgalékvíz-képződést;

akadályozza meg a csapadékvíznek a kívánatosnál nagyobb mértékű beszivárgását a depóniába; tegye lehetővé a depóniagáz ellenőrzött kezelését.

Ellentmondani látszik egymásnak az a követelmény, hogy akadályozza meg a csapadékvíz bejutását a depóniatestbe (minimális csurgalékvíz-képződés), de mégis *engedjen át annyi vizet, amennyi a hulladéklebomlási folyamathoz szükséges.* Valójában ezen utóbbi funkció betöltése a legnehezebb, és ez az oka annak, hogy az *átmeneti záró-szigetelőrendszer felépítésének rétegrendjére nem adható egy általános mindenhol alkalmazható generális megoldás. Minden lerakó egyedi mérlegelést, egyedi tervezést, egyedi rétegrendet igényel.*

Az átmeneti záró-szigetelőrendszer anyaga kiválasztásánál figyelembe veendő szempontok:

megkívánt vízzáróság;

időtartam;

széljárás;

fagyérzékenység;

erózióveszély;

beépíthetőség (aljzat, rézsű);

újrafelhasználhatóság, a végleges záró-szigetelőrendszerbe való integrálhatóság;

visszabonthatóság;

költségek.

Az alternatív záró-szigetelőrendszer felépítésénél leginkább *számításba jövő anyagok*:

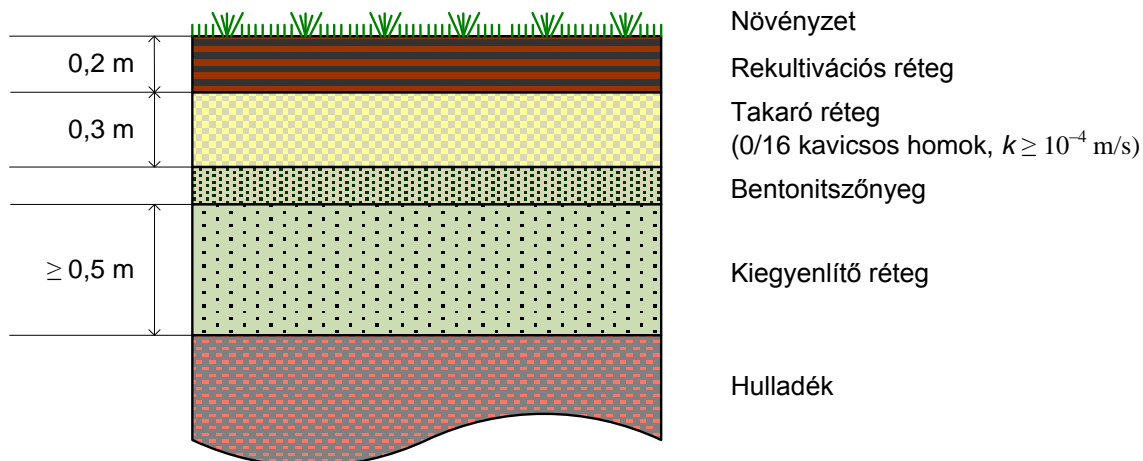
ásványi anyagú szigetelések

geomembránok

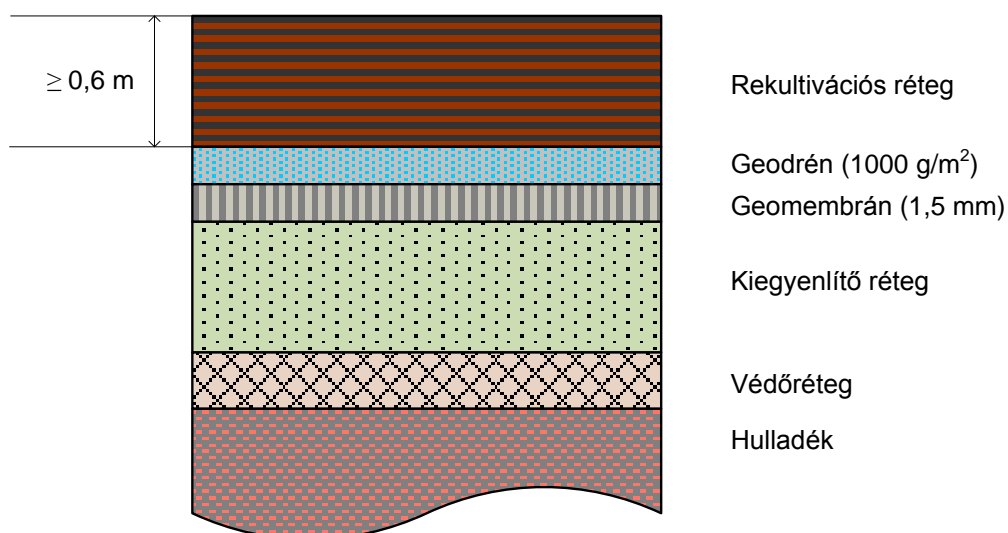
bentonit szőnyegek

keverék talajok

Az ideiglenes lezárásra mutat be példát a **22. ábra**.



A Nadelwitzi lerakó ideiglenes lezárása bentonitszőnyeggel



A Nonnenwühl-i lerakó ideiglenes záró-szigetelése

22. ábra. Példák ideiglenes záró-szigetelési megoldásokra

A hulladéklerakó végső záró-szigetelőrendszere felépítésének szabályozása

A depóniák végleges lezárására túlnyomórészt természetes- és mesterséges anyagú (elsősorban az aljzatszigetelőknél is megismert műanyag fóliák) szigetelőrétegek jönnek számításba.

Általánosan elmondható, hogy a zárószigetelő-rendszernek a következő elemei vannak (a hulladéktól a felszín felé haladva):

- kiegyenlítő réteg,
- gázelvezető (gázmentesítő) réteg,
- szigetelő rétegek:
 - természetes anyagú,
 - mesterséges anyagú,
 - szivárgó paplan,
 - szűrő réteg,
 - rekultivációs réteg,
 - termőtalaj.

A lezáró rendszer méretezésénél figyelembe veendők:

a földmunkára beépítésre, tömörítésre vonatkozó előírások;

a rendszer kellő biztonsággal rendelkezzen a *megcsúszással szemben*;

a geomembrán és a geotextília megfelelő szilárdsági jellemzőkkel rendelkezzen a *mechanikai igénybevételekkel szemben*;

ellenálló legyen a kémiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);

ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (csurgalékvíz, depóniagáz, gázkondenzátumok);

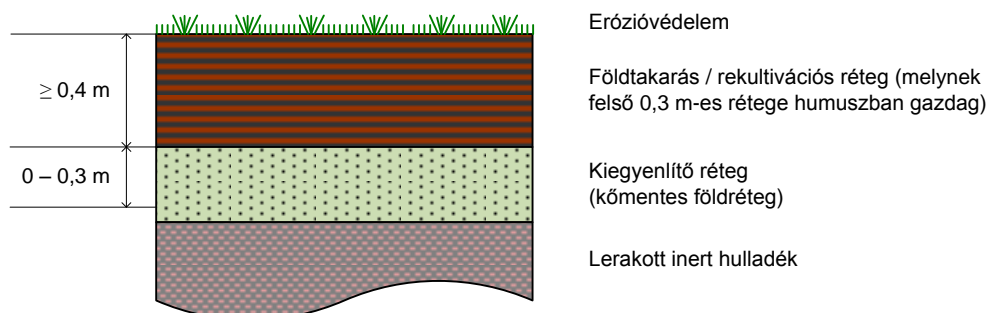
ellenálló legyen a biológiai terhelésből adódó igénybevételekkel szemben (növényi gyökérzet, rágcsálók, mikrobiológiai átalakulási folyamatok);

a hulladék tömörödésének, konszolidációjának hatására bekövetkező felszínsüllyedés.

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a hulladéklerakók lezárásának szabályozását a **23. ábra-26. ábra** szerint írja elő.

Inert hulladékok lerakója

Zárószigetelés



23. ábra. Az inert hulladékok lerakójának felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

Nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b)

Zárószigetelés



24. ábra. A nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

Nem veszélyes hulladékok lerakója (B3)

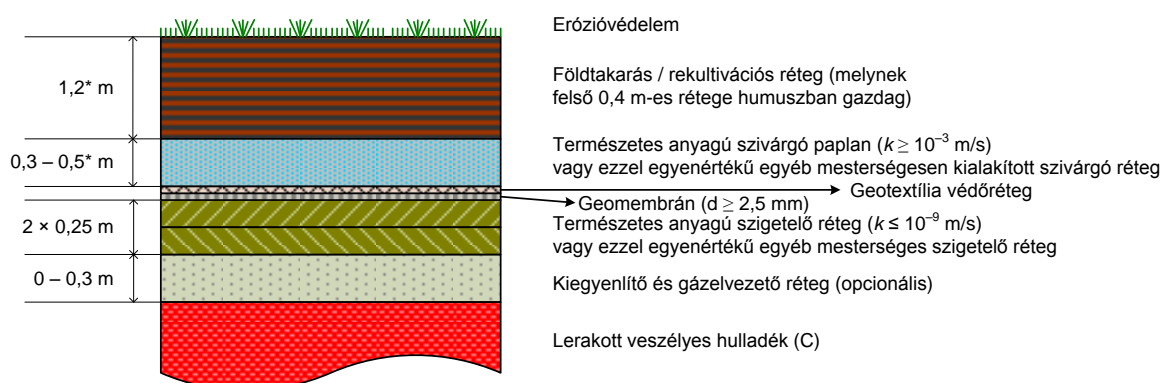
Zárószigetelés



25. ábra. A nem veszélyes hulladékok lerakója (B3 kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

Veszélyes hulladékok lerakója (C)

Zárószigetelés



26. ábra. A veszélyeshulladék-lerakó (C kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

A **B1b** ill. **B3** típusú lerakóknál a végső záró-szigetelő rendszer felépítése azonos, azonban a B3 típusnál célszerű a *szigetelőréteg alá egy monitoring rendszer* beépítése. A nemzetközi gyakorlat egyre inkább a zárószigetelés monitorozását részesíti előnyben az aljzatszigetelésével szemben, mert egy esetleges meghibásodás során a zárószigetelés javítása egyszerűbben, gazdaságosabban oldható meg. Monitoring rendszer alkalmazásával számításba jöhetnek a hidraulikailag egyenértékű, de esetleg sérülékenyebb, gazdaságosabb *alternatív zárószigetelő megoldások* is.

5.5 A csurgalékvízgyűjtő rendszer

Az aljzatszigetelő rendszernek szerves része egy, a csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgáló hatékony szivárgórendszer, amit összefoglaló néven csurgalékvízgyűjtő rendszernek nevezünk. Mint már a neve is jelzi, itt is egy több, önálló funkcióval rendelkező elemből felépülő rendszerről van szó.

A hulladék és az első szigetelőréteg közé kerülő szivárgórendszer (szivárgópaplan) is legalább *két rétegből* épül fel. A szigetelőrétegre kerül a *csurgalékvízgyűjtő és elvezető* rendszer, majd e réteg és a hulladék közé egy *szűrő-védő réteget* építenek be. Funkciója – mint a neve is mutatja – kettős: egyrészt elősegíti a csurgalékvíz bejutását a gyűjtő és elvezető rendszerbe, másrészt védi azt a hulladékból bemosódó finom szemcsék bejutásától, megakadályozva eltömődését. A réteget - akár természetes anyagú (laza szemcsés közet), akár műanyag (műszaki vagy

geotextília) - méretezni kell. Ugyancsak méretezni kell a csurgalékvízgyűjtő rendszert, hogy a szigetelőrétegnél a megengedettnél nagyobb hidraulikus gradiens ne alakuljon ki, azaz a lejutó csurgalékvizeket visszaduzzasztás nélkül tudja elvezetni.

A *második szivárgóréteg*, ha van (lásd veszélyeshulladék-lerakóknál) az első szigetelőréteg alá kerül, és úgyszintén kettős célt szolgál: elsődleges az *ellenőrzési funkció* (jelzi a szigetelőrendszer meghibásodását) és másodlagos a *gyűjtő-elvezető funkció*.

A 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet 1.sz. mellékletének 1.3.3. pontja szerint a csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírásokat a **12. táblázat** foglalja össze.

12. táblázat. csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírásokat

	Inert hulladéklerakó	Nem veszélyes hulladékok lerakója	Veszélyeshulladék-lerakó	
			Felső szivárgó paplan	második szivárgó-ellenőrző réteg
Vastagsága (m)	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3
Anyaga	16/32 v. 24/40 mosott kavics	16/32 v. 24/40 mosott kavics	16/32 v. 24/40 mosott kavics	–
Megkivánt k tényező (m/s)	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$	$>10^{-3}$

Ha az előzetes felmérések alapján a hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatását követően megállapítást nyert, hogy a hulladéklerakó nem jelent potenciális veszélyt a földtani közegre, a felszín alatti vagy felszíni vízre, azaz a csurgalékvízgyűjtő rendszer vastagságát, a dréncsőtávolságot, az esésviszonyokat elfogadott méretezés alapján határozzuk meg, akkor lehetőség van a kisebb vastagsági érték választására. A 0,5 méternél kisebb rétegvastagságot méretezni kell.

Abból adódóan, hogy a csurgalékvízgyűjtő rendszer eleget tegyen a vonatkozó rendelet előírásának, de ugyanakkor a kialakítása is a lehető leggazdaságosabb legyen, a méretezéskor az alábbi problémákat kell megoldani

a csurgalékvízgyűjtés hatékonyságának a hosszútávú biztosítása;

a megfelelő anyag kiválasztása;

hatékony csurgalékvízlevezetést biztosító dréncsőtávolság – rétegvastagság-esés viszony megválasztása.

Amennyiben a réteg a szűrő és szivárgó funkciót is betölti, vagyis nincs felette külön szűrőréteg, úgy azt a szűrőszabály szerint méretezni kell az eltömődés megakadályozása érdekében.

A szűrőrendszerek (szűrőréteg, geotextília, dréncsővek) a leg gondosabb tervezés mellett is idővel veszítenek hatékonyságukból, eltömődhetnek. Az eltömődés okai mechanikai, fiziko-kémiai, mikrobiológiai.

A mechanikai okokra visszavezethető eltömődést a finomabb szemcsék bemosódása okozza. Ez a hatás elkerülhető, ha a szivárgóréteg megfelelő *mechanikai és szűrő stabilitással* rendelkezik. A mechanikai stabilitás gyakorlatilag a *megfelelő szemcseméretű* réteget, míg a szűrő stabilitás a *megfelelő szemcseeloszlású* réteget jelenti. A mechanikai stabilitás az előírásoknak megfelelő szemcseméretű szűrőrétegnél a *szűrőszabály* betartása mellett biztosítható.

A *fiziko-kémiai és mikrobiológiai* hatások általában együtt jelennek meg az eltömődéssel, és az eredménye az ún. *inkrusztáció*, amikor elsősorban vasoxidok és karbonátok kiválása révén a hatékony pórustér jelentősen csökken.

A szűrőréteg fiziko-kémiai és mikrobiológiai okokra visszavezethető inkrusztációja ellen védekezni nehéz, mert a csurgalékvíz összetételét, pH és redox-potenciál értékét, hőmérsékletét befolyásolni nemigen tudjuk. A folyamatot lehet lassítani, ha:

- növeljük a szűrőrétegben az áramlási sebességet;
- növeljük a szűrőréteg hézagméretét;
- csökkentjük a szűrőréteg fajlagos felületét.

A fentieket elősegíthetjük azáltal, ha:

- a szűrőréteg megfelelő vastagságú (0,3-0,5 m) és anyaga mosott, jól kopatott, kis karbonáttartalmú (<20%), gömbölyded szemcsékből áll;
- megakadályozzuk a finomabb szemcsék bemosódását;
- a csurgalékvízgyűjtő rendszer megkívánt kereszt és hosszirányú esését biztosítjuk;
- megfelelő méretű dréncsövet alkalmazunk, amelynél a perforált felület aránya a mechanikai stabilitást még biztosító lehető legnagyobb;
- a dréncső hálózat lehetőleg ellenőrizhető és utólagosan tisztítható.

Különösen fontos, hogy a *hézagméret növelésével, a fajlagos felület csökkenésével csökken az inkrusztációra való hajlam*, ezért nagyon fontos a KÖM rendeletben előírt szivárgási tényező ($k > 10^{-3}$ m/s) kritérium mellett a szemcseméretre (16/3-24/40 mosott kavics) vonatkozó követelmény teljesítése is, mert a $k > 10^{-3}$ m/s szivárgási tényezőt már egy homokos kavics réteggel is biztosítani lehetne.

A depóniaépítésnél számos esetben előtérbe kerülhet, vagy megfontolandó lehet a *geokompozitok* alkalmazása a szemcsés anyagú szivárgóréteg helyett. Ilyen lehetőségek például:

- völgyfeltöltéssel épülő lerakóknál a meredekebb aljzaton gondot okozhat a szivárgóréteg stabilitása, megcsúszása,
- támasztótöltések szigetelésének a kialakításakor,
- zárószigetelések szivárgórétegeként,
- a két geomembrán közötti második, ún. szivárgó-ellenőrző réteggént.

Ugyanakkor általános elvként kimondhatjuk, hogy felső (első) szivárgóréteggént, kis esésű aljzaton alkalmazásuk nem megengedett, mert kis szerkezeti vastagságuk miatt nem teljesül az a feltétel, hogy az elvezetendő csurgalékvíznek a szivárgórétegen belül kell maradnia.

A geokompozit szivárgórétegek általában két szűrőréteg (ami többnyire geotextília) között lévő műanyag szivárgórétegből (geoháló, georács, stb..) épülnek fel.

A csurgalékvízgyűjtő rendszer alaprajzi elrendezését és metszetét egy általános esetre a **27. ábra** mutatja be. Az ábra szerinti esetben a rendszer szektorokra osztott. A lejutó csurgalékvíz a depónia középvonalától kifelé i_h hosszirányú és i_k keresztirányú eséssel kialakított aljzatszigetelő rendszerre kerülő víztelenítő rétegből, annak a mélyvonalába helyezett *dréncsőbe* jut be. A dréncső a *gyűjtőaknába* torkollik. A gyűjtőakna kerülhet mind a depónia szigetelt alapfelületén kívülre, mind az alapfelületen belülre. A dombépítéssel kialakított depóniáknál a gyűjtőakna célszerűen a *támasztó töltésen kívülre* (**28. ábra**), míg a medenceszerűen kialakított lerakóknál többnyire a *lerakón belülre* kerül.

A **27. ábra** szerinti elrendezésnél a gyakorlatban általánosan alkalmazott méretek, paraméterek a következők:

A keresztirányú esés (i_k): $\geq 3\%$

A hosszirányú esés (i_h): 1-2%

A gyűjtőakna távolság

 keresztirányban (l_k): 30-50 m

 hosszirányban (l_h): max. 300 m.

A víztelenítő réteg

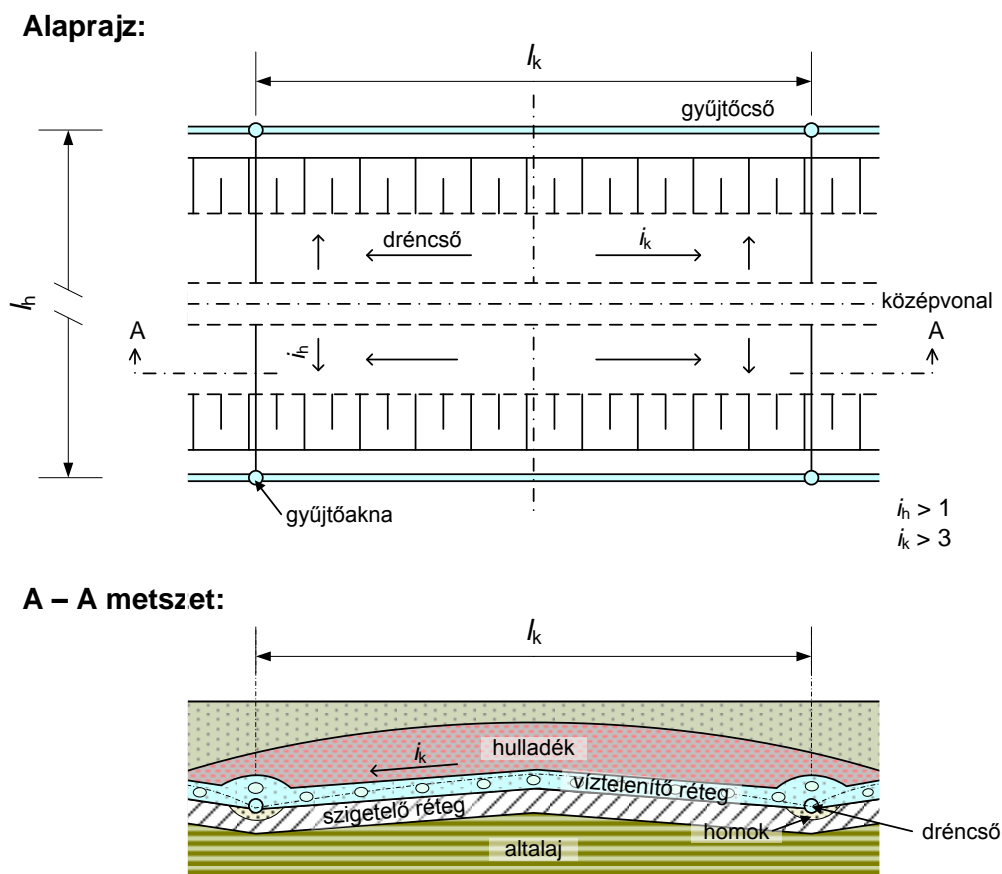
 vastagsága: 30-50 cm

 szivárgási tényezője: $k \geq 10^{-3}$ m/s

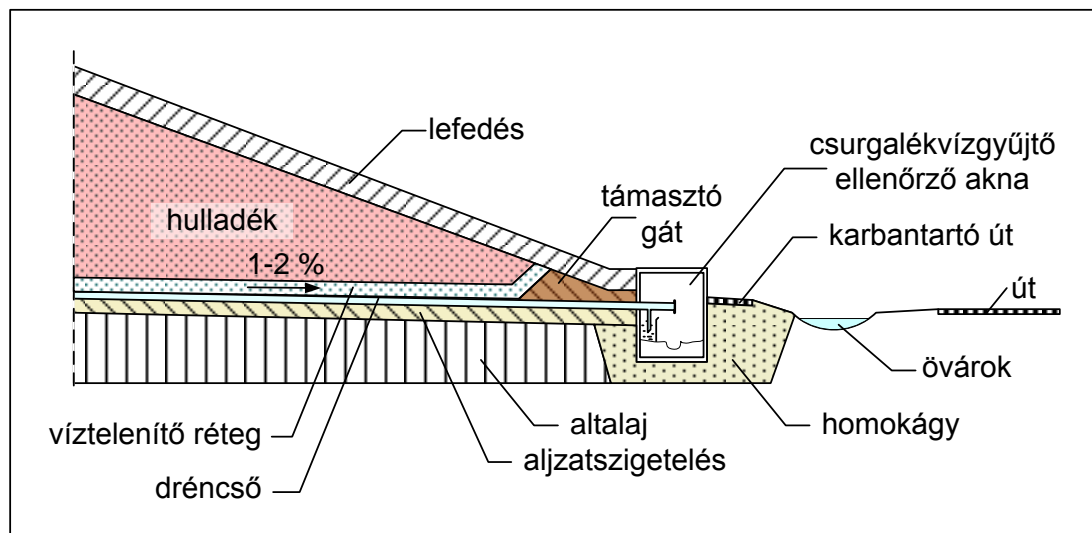
 anyaga: 16/32 vagy 24/50 szűrőkavics

A dréncső átmérője:200-300 mm

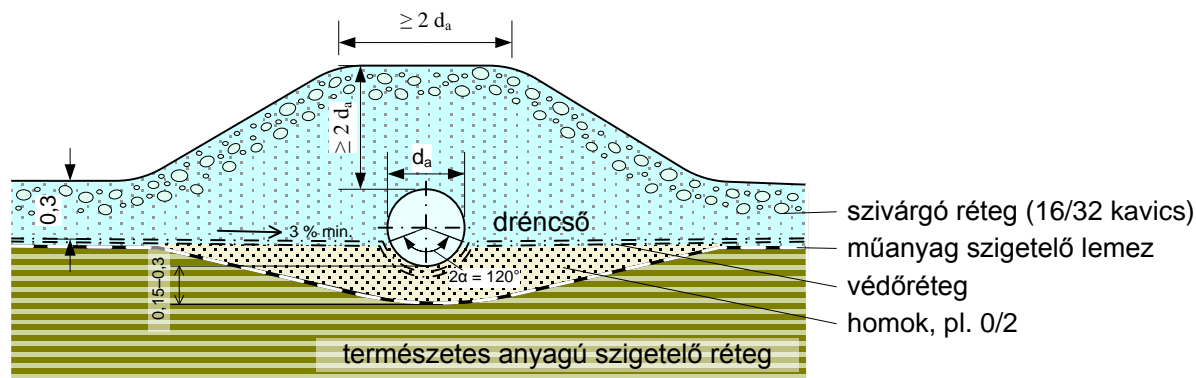
A dréncső beépítésénél a szűrőréteg előírt vastagságának a dréncső fölött is meg kell lennie. A kialakítás néhány lehetőségét német előírás alapján a **29. ábra** szemlélteti.



27. ábra. A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (RAMKE, 1991.)



28. ábra. Csurgalékvízgyűjtő rendszer: a peremi rész metszete (RAMKE, 1991.)



29. ábra. A dréncső beépítése

5.6 A hulladéklerakó üzemeltetése

Az üzemeltetés a hulladéklerakók többlépcsős védelmi rendszerének egy újabb, igen fontos eleme. A hulladéklerakó szakszerű, gondos üzemeltetésével a hulladéklerakó emissziói megakadályozhatóak, minimálisra csökkenthetőek.

A hulladék beszállítási – átvételi szabályai

A hulladéknak a hulladéklerakón való átvételét megelőzően a beszállításkor - illetve ugyanazon típusú hulladék sorozatos beszállítása esetén az első alkalommal - a hulladék birtokosának igazolnia kell, hogy a beszállított hulladék az adott hulladéklerakón, a vonatkozó engedélyben előírt feltételek szerint átvehető, és kielégíti az e rendelet 2. számú mellékletében előírt átvételi követelményeket.

Az üzemeltetőnek a hulladék átvételekor (beérkeztetés):

- ellenőriznie kell, hogy a hulladék típusát és minőségét (veszélyességét) megállapító dokumentáció megfelel-e az előírásoknak, és azonosítható-e a beszállított hulladék és annak mennyisége;
- szükség szerint ellenőrzéseket kell végeznie arra vonatkozóan, hogy a beszállított hulladék megfelel-e a birtokos által átadott, a hulladék minőségét tartalmazó dokumentációban meghatározottaknak;
- el kell végeznie a rendelet 2. számú melléklet 2. pontjának végrehajtása céljából a hulladék szemrevételezéssel történő vizsgálatát a hulladéklerakóra való beérkezési helyen és a lerakás

helyén. Ha szemrevételezéssel a beszállított hulladék összetétele nem állapítható meg, reprezentatív mintavétel szükséges.

Nyilvántartást kell vezetnie a lerakott hulladék mennyiségéről és jellemzőiről, különösen:

- a) a hulladék eredetéről,
- b) a termelő, birtokos megjelöléséről,
- c) a beszállítás időpontjáról,
- d) veszélyes hulladék lerakásakor a lerakás pontos helyéről.

A reprezentatív mintavételből származó vizsgálati eredményeket és a mintákat legalább 1 hónapig meg kell őrizni.

A hulladéklerakó üzemeltetője a hulladéklerakón fogadott egyes szállítmányok átvételekor minden esetben írásos átvételi elismervényt köteles adni.

Ha a hulladéklerakó üzemeltetője egy adott hulladékszállítmányt vagy annak egy részét nem veszi át, akkor a visszautasításról haladéktalanul értesítenie kell a felügyelőt.

Lerakással kizárólag előkezelt hulladék ártalmatlanítható, kivéve az inert hulladékot és azt a hulladékot, amelynek előkezelése az elérhető legjobb technikával nem valósítható meg.

Tilos a hulladék keverése, hígítása abból a célból, hogy az így nyert hulladék megfeleljen a hulladéklerakóban való ártalmatlanítás átvételi követelményeinek.

Inert hulladék a hulladéklerakóban felhasználható üzemi útépitésre, takarásra, területkiegénylítésre, támasztó töltés építésre továbbá más, hasonló technológiai célokra.

A rendelet 3. § (2) bekezdése szerint meghatározott kategóriájú hulladéklerakóban – a külön jogszabály ([16/2001. \(VII. 18.\) KöM rendelet](#)) figyelembe vételével – a következő csoportokba tartozó hulladékok lerakása engedélyezhető, feltéve, hogy a hulladék eleget tesz a rendelet 2. számú mellékletében felsorolt, az adott hulladéklerakó-kategóriára megállapított átvételi követelményeknek

„A” kategóriájú hulladéklerakóban inert hulladék

„B1b” alkategóriájú hulladéklerakóban

szervetlen, nem veszélyes hulladék, beleértve az „A” kategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is

előkezelés (befoglalás, beágyazás) után, nem veszélyes hulladékként kezelhető, eredetileg veszélyes hulladék

B3” alkategóriájú hulladéklerakóban

nem veszélyes települési szilárd hulladék

biológiai, kémiai, illetve hőkezeléssel, tartós (legalább 6 hónapig tartó) tárolással vagy más kezeléssel nyert olyan szennyvíztisztításból származó hulladék és csatornaiszap,

amelyben a fekál coli és a fekál streptococcus szám külön jogszabály (50/2001. (IV. 13.) Korm. rendelet) szerinti mennyisége a kezelés során az előírt értékre csökkent

egyéb nem veszélyes hulladék, beleértve a „B1b” alkategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is

„C” kategóriájú hulladéklerakóban veszélyes hulladék

A hulladéklerakón nem ártalmatlanítható hulladékok

A hulladéklerakóban nem helyezhetők el a rendelet 4. §-a szerint a következő hulladékok:

- folyékony hulladék,
- nyomás alatt gáz,
- a Hgt. 2. sz. melléklete szerinti robbanásveszélyes, fertőző kórházi, vagy más egészségügyi, illetve állategészségügyi intézményből származó klinikai hulladék,
- használt gumiabroncsot 2003. július 1-je után, a hulladéklerakó építés műszaki védelmének céljára használt, gumiabroncsok, valamint a kerékpár gumiabroncsok és az 1400 mm külső átmérőnél nagyobb gumiabroncsok kivételével, továbbá az aprított használt gumiabroncsot 2006. július 1-je után,
- előkezelés nélküli szennyvíziszap,
- állati hulladék,
- minden más típusú hulladékot, amely nem elégíti ki a rendelet mellékletében meghatározott átvételi követelményeket,
- veszélyes hulladék, kivéve az előkezelés (befoglalás, beágyazás, stb.) után, nem veszélyes hulladékként kezelhető, eredetileg veszélyes hulladékokat.

Tilos a hulladék keverése, hígítása abból a célból, hogy az így nyert hulladék megfeleljen a hulladéklerakóban való elhelyezés követelményeinek.

5.7 A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok

A lerakóba kerülő hulladék többnyire rendkívül heterogén, ami fizikai és kémiai értelemben is igaz (méret, alak, tömeg, térfogatsűrűség, összetétel, nedvességtartalom, reakcióképesség, stb.), és ez a heterogén anyag a kiindulópontja annak a hosszú homogenizálódási folyamatnak, amelynek során az *anyag mechanikai és fiziko-kémiai értelemben is konszolidálódik.*

A hulladék konszolidációja

A hulladék várható konszolidációjának az ismerete igen fontos, mert a deformációkat figyelembe kell venni mind a zárószigetelő rendszer, mind a gázgyűjtő rendszer mechanikai méretezésénél, kialakításánál. Sajnos ma még nem áll rendelkezésre kellő mennyiségű tapasztalat, amely lehetővé tenné a pontos számításokat. A hulladék várható összenyomódását elméletileg a talajmechanikából jól ismert konszolidációs elmélettel közelítjük, azonban figyelembe kell venni, hogy a hulladék:

a szokásos talajokhoz képest lényegesen változatosabb, inhomogénebb;

a fizikai paramétereinek pontos meghatározása lényegesen nehezebb.

A fentieken túl nehezíti a problémát, hogy a hulladék konszolidációja nemcsak a mechanikai terhelés (önsúly) hatására bekövetkező tömörödés, hanem a különböző alkotórészek kémiai-biológiai lebomlásával rendszerint együttjáró térfogatcsökkenés eredménye is.

A süllyedések üteme az idő előrehaladtával lassul. A kezdeti szakaszban az önsúly hatására bekövetkező süllyedések dominálnak (elsődleges konszolidáció), mértéke általában 5-30 %-a a feltöltési vastagságnak, és a süllyedések zöme a feltöltés utáni első évben lejátszódik.

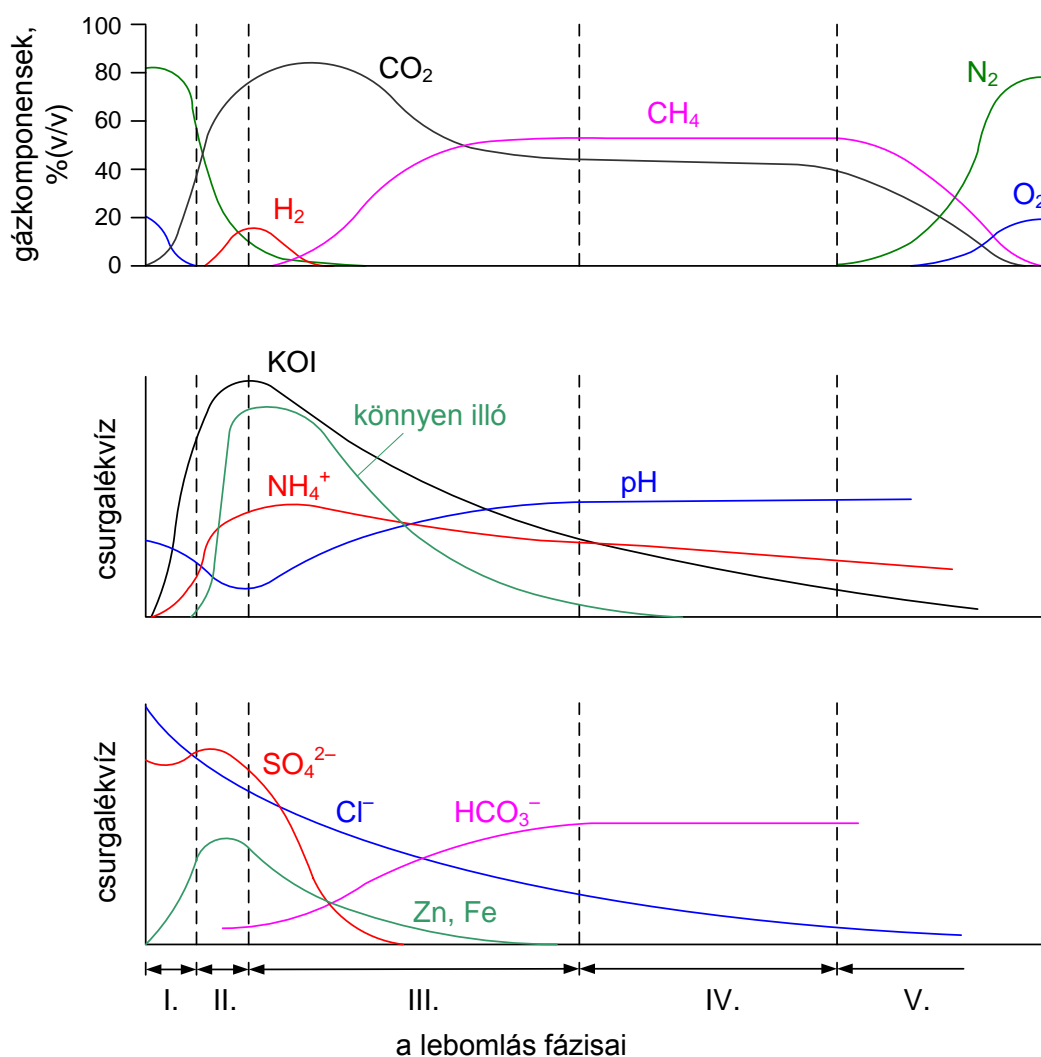
Az elsődleges konszolidációt követi a másodlagos konszolidáció szakasza, ami egy időben hosszan elnyúló, a hulladékban lejátszódó folyamatoktól is jelentősen függő folyamat.

A biogázképződés

A deponált anyag a környezeti hatások és a hulladéktömeg konszolidációjának hatására átalakul. Az átalakulás egy dezintegrációs bomlási folyamat, amit befolyásol az atmoszféra (az oxigén jelenléte vagy hiánya), a depóniára hulló, illetve bejutó csapadék mennyisége, a hulladék nedvességtartalma, összetétele, homogenitása, a tárolótér maassága, a depónia kialakítása és a mikroorganizmusok tevékenysége. A külső hőmérséklet csak a felső rétegekre gyakorol hatást, mélyebben már a biokémiai reakciók által beállított hőmérséklet uralkodik.

A hulladéklebomlási folyamat

A hulladéklebomlási folyamat eredményeként *biogáz* és *csurgalékvíz* keletkezik. Laboratóriumi mérések és tapasztalatok alapján a *lebomlási folyamatot öt jellegzetes fázisra* osztják, amit a **30. ábra** szemléltet **CHRISTENSEN-KJELDSEN (1989.)** nyomán.



30. ábra. A depóniagáz és csurgalékvíz összetevőinek alakulása a lebomlási fázisban

Az aerob lebomlás (I. fázis)

Az **I. fázis** egy rövid abiotikus szakasz rögtön a hulladék elhelyezése után, amikor a rendelkezésre álló oxigén (levegő) mellett a hulladékban jelenlevő, vagy kívülről származó mikroorganizmusok a szerves anyag *aerob lebontását* végzik. A folyamatot részben a depóniában csapdázódott levegő, a felszínközeli rétegeknél pedig az atmoszférából bejutó oxigén táplálja. Az aerob fermentáció eredménye a *szén-dioxid*, az *ammónia* és a *víz*, illetve az

egyéb alkotórészek oxidációs termékei. A folyamat fontos tényezője a nedvesség, ami a mikroorganizmusok számára 60%-nál optimális. A nedvesség egyaránt származhat magából a hulladékból, vagy a depóniába bejutó csapadékból történő utánpótlásból. A folyamat *exoterm*, és a lezárást követő néhány nap ill. hét alatt a hőmérséklet elérheti a 60-70°C-ot is. A nagy hőmérséklet gyakran öngyulladásához is vezethet. A depónia átlagos belső hőmérséklete ebben a fázisban 40-60°C ([BÁNHEGYI, 1993.](#)).

Az anaerob lebomlás fázisai (II-V)

A biogázképződés körülményeit az *anaerob (oxigénmentes)* lebomlás jellemzi, a számára kedvező, elsősorban közepes (30-75°C) hőmérséklet tartományban ([BÁNHEGYI, 1993.](#))

Az anaerob lebomlás kezdeti szakaszában (II. fázis a **30. ábra**) illékony zsírsavak, szén-dioxid és hidrogén keletkezik az erjesztő és acetogén baktériumok hatására. A savas kémhatású csurgalékvíz (a pH alakulását lásd a **30. ábra**) nagy koncentrációban tartalmazhat zsírsavakat, kalciumot, vasat, nehézfémeket és ammóniát.

A gáz nitrogéntartalma csökken a szén-dioxid- és hidrogénképződés következtében. A redoxipotenciál csökkenésével a kezdeti magas szulfát tartalom lassan lecsökken. A keletkező szulfid kicsapja a vasat, mangánt és a nehézfém elemeket, amelyek eddig oldott állapotban voltak.

A III., ún. második közbülső anaerob fázis a metanogén baktériumok lassú növekedésével kezdődik. A metánkoncentráció nő, mialatt a hidrogén, a szén-dioxid és a zsírsavak koncentrációja csökken.

Tovább csökken a szulfátkoncentráció a folytatódó szulfátredukció révén. A zsírsavak átalakulása a pH és alkalitás (lúgosság) növekedésével jár, ami a kalcium, a vas, a mangán és a nehézfémek oldhatóságának a csökkenését vonja maga után, amelyek később valószínűleg szulfidokként csapódnak ki. Továbbra is szabadul fel ammónia, ami az anaerob környezetben nem alakul át.

A IV., ún. metán fázisban 50-60% metántartalomnál stabilizálódik a gázképződés, ami a zsírsavak és a hidrogén alacsony szinten történő tartását eredményezi.

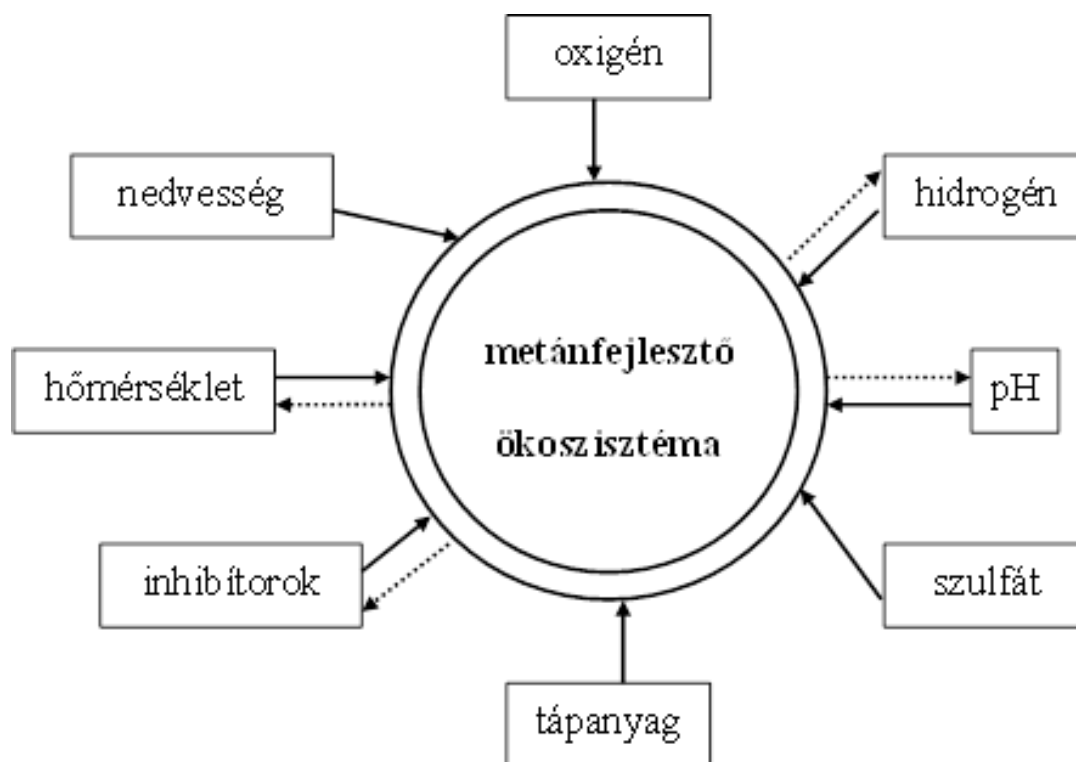
Az V. fázisban csak az ellenálló szerves szén marad az elhelyezett hulladékban. A metántermelődés jelentősen visszaesik, koncentrációja olyan kicsi lesz, hogy nitrogén jelenik meg a gázokban a légköri diffúzió miatt. Aerob zónák és a metán képződéshez túl magas redox-potenciálú zónák jelennek meg a felső rétegekben.

A depóniában lejátszódó folyamatok követelményeit és következményeit a **13.** táblázat foglalja össze.

13. táblázat. A depóniában lejátszódó folyamatok követelményei és következményei ([KISS, 1992.](#))

folyamat	anaerob bomlás	aerob bomlás	atmosódás
követelmények	levegőhiány a hulladék nedvességtartalma	rendelkezésre álló oxigén kevesebb nedvesség	a depóniát érő csapadék permeábilis fedőréteg
következmények	szilárdulás oldhatóság csökken tömörödés, ásványosodás	szivacsos szerkezet oldhatóság nő	áteresztőképesség nő szalinitás, oldott anyag- tartalom lefelé nő (bemosódás)
termékek	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	CO ₂ , NH ₃ , H ₂ O szer- ves savak	csurgalékvíz

A biogáz képződés/termelés folyamatának kézbe tartása, optimalizálása érdekében ismernünk kell a képződéshez, termeléshez szükséges mikroszervezetek életfeltételeit és a folyamatot befolyásoló abiotikus tényezők hatását. A **31. ábra** a fő abiotikus tényezőket tünteti fel, amelyek a metánképződésre hatással vannak.



31. ábra. A metánképződés fő abiotikus tényezői ([CHRISTENSEN - KJELDSEN, 1989.](#))

A depónia-gáz összetétele, várható mennyisége

Mint azt az előző fejezetben tárgyaltuk, a deponált anyag a környezeti hatások és a hulladéktömeg konszolidációjának hatására átalakul. Az átalakulás egy dezintegrációs bomlási folyamat, amit befolyásol az atmoszféra (az oxigén jelenléte vagy hiánya), a depóniára hulló, illetve bejutó csapadék mennyisége, a hulladék nedvességtartalma, összetétele, homogenitása, a tárolótér magassága, a depónia kialakítása és a mikroorganizmusok tevékenysége. A külső hőmérséklet csak a felső rétegekre gyakorol hatást, mélyebben már a biokémiai reakciók által beállított hőmérséklet uralkodik.

A keletkező gázok összetételének jellemző értékeit a **14. táblázat** foglalja össze.

14. táblázat. A depóniagáz összetétele és az egyes komponensek koncentrációjának jellemző értékei (BILITEWSKI et al., 1990.)

Komponens	Koncentrációtartomány
metán	0-80 térf. %
szén-dioxid	0-80 térf. %
szén-monoxid	0-3 térf. %
hidrogén	0-3 térf. %
oxigén	0-21 térf. %
nitrogén	0-78 ppm (térf.)
etilén	0-65 ppm (térf.)
etán	0-30 ppm (térf.)
acetaldehid	0-150 ppm (térf.)
aceton	0-100 ppm (térf.)
szénhidrogének (aromások nélkül)	0-50 ppm (vegyületenként)
hidrogén-szulfid	0-100 ppm (vegyületenként)
etilmerkaptán	0-120 ppm (vegyületenként)
benzol	0-15 ppm (vegyületenként)
toluol	0-15 ppm (vegyületenként)
xylol	0-15 ppm (vegyületenként)
etil-benzol	0-10 ppm (vegyületenként)
vinil-klorid	0-10 ppm (vegyületenként)
halogénvegyületek (1,1-diklór-etán, metilén-klorid, tetraklór-metán, 1,1,2-triklór-etilén)	0-100 ppm (vegyületenként)

A depóniagáz fő összetevőinek a lebomlás során való alakulását a **32. ábra** szemlélteti. RETTENBERGER nyomán ([in HEYER, 2003](#)). A depónia gázháztartását RETTENBERGER 10 fázisra osztotta:

Aerob fázis

Anaerob savas erjedés

Anaerob instabil metánképződés

Anaerob stabil metánképződés

Metánfázis: növekvő metántartalom, csökkenő CO₂ koncentráció

Tartós fázis: magas metántartalom és további CO₂ csökkenés jellemző, az NH₄:CO₂ arány 1:4 körüli.

Levegőbejutás fázisa: időszakosan vagy tartósan levegő jut a depóniába a gázképződés csökken. A metán koncentráció visszaesik, miközben a CO₂ és N₂ gyengén emelkedik.

A metán-oxidálódás fázisa: tovább csökkenő gázképződés mellett a levegő benyomul a depóniába, a metán széndioxiddá oxidálódik.

Széndioxid fázis: a CH₄ koncentráció a nullához közelít, a CO₂ tartalom 5-20% közötti. Az N₂ koncentráció eléri a normál talajlevegőre jellemző értéket, az O₂ tartalom növekszik.

Levegő fázis: a széndioxidtartalom tovább esik, a metántartalom gyakorlatilag zérus, az oxigén és nitrogéntartalom a talajlevegőre jellemző átlagos értéket éri el. A depóniában képződő gáz mennyiségét egyértelműen nehéz meghatározni, mivel az összes képződő mennyiségnek csak egy részét lehet kinyerni. Ellenőrizhetetlen gázemissziók alakulnak ki a feltöltés során, amíg a gázkinyerő berendezések nincsenek beépítve, üzemeltetve, és még az üzembe helyezés után is a kinyert gáz mennyisége alatta marad a képződő mennyiségnek. A képződő gázmennyiség elméletileg, vagy laboratóriumi mérésekre alapozottan becsülhető.

Abból a feltételezésből kiindulva, hogy 1 kg, biológiailag rendelkezésre álló, szerves szén teljes anaerob lebomlásából 1,868 m³ depóniagáz keletkezik, 100-200 kg TOC/t száraz (friss) hulladék (t/sz.a.) jellemző széntartalom mellett 187-375 m³/t/sz.a. gázpotenciál (összes gázprodukción).

TABASARAN a gázpotenciál értékére a következő összefüggést találta:

$$G_E = 1,868 \times \text{TOC} \times (0,014 \times T + 0,28)$$

ahol:

G_E : a gázképződési potenciál (az összes keletkező gáz mennyiség, m³/t/sz.a.)

TOC: összes szerves széntartalom a hulladéokban (kgC/t/sz.a.)

T: a hőmérséklet (°C)

A fenti összefüggés alapján 25°C mellett, kb. 250 kg TOC/t/sz.a. széntartalom esetén mintegy 300 m³/t/sz.a. gázmennyiség adódik.

Laboratórium és félipari modellkísérletek alapján háztartási jelegű hulladéokra 160-240 m³/t/sz.a. gázpotenciál adódott, a szélsőséges értékek 60-413 m³/t/sz.a. közöttiek voltak.

A gázképződés időbeli alakulása a következő összefüggéssel közelíthető:

$$G_t = G_E (1 - e^{-k \times t})$$

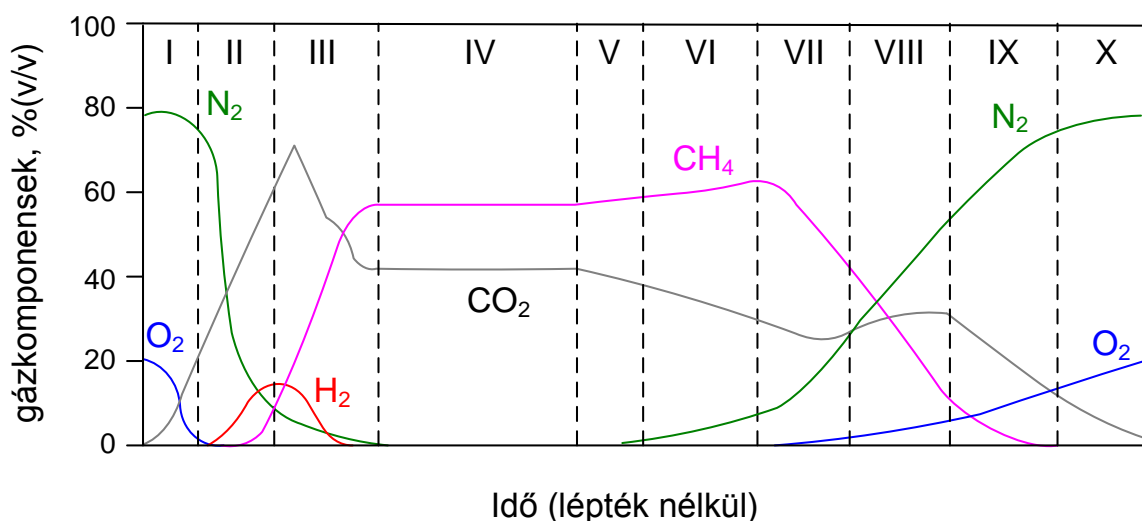
G_t: a t időpontig képződött gázmennyiség (m³/t/sz.a.)

G_E: a gázpotenciál, azaz az összes képződő gázmennyiség (m³/t/sz.a.)

k: lebomlási állandó (d⁻¹ ill. a⁻¹)

T: idő (d ill. a)

Fázisok:



32. ábra. A depóniagáz fő összetevői koncentrációjának alakulása a hulladék lebomlása során (RETTENBERGER, 1992. in. K. U. HEYER, 2003)

A gázképződés intenzitását és időbeli alakulását a „k” lebomlási állandóval lehet jellemezni. A k a T_{1/2} felezési idő alapján jellemezhető a következőképpen.

$$k = \frac{-\ln 2}{T_{1/2}}$$

A felezési időnek a gázháztartás vizsgálata alapján történő meghatározása még a várható gázmennyiség meghatározásánál is bizonytalanabb, és ennek megfelelően az irodalmi adatok eléggé szórnak ([in HEYER, 2003.](#)):

2-3,5 év ([EHRIG, 1986.](#))

2-4 év ([RETTENBERGER, 1978.](#))

6-10 év bezárt lerakóknál ([WEBER, 1990.](#))

1 év a könnyen lebomló, 10 év a nehezen lebomló szerves hulladékok esetén ([KRAUSE, 1994.](#))

1 év a könnyen-, 5 év a jól-, 15 év a nehezen lebomló szerves hulladékok esetén ([HOEKS, 1983.](#))

5.8 A gázmentesítés

Egy jól működő hulladéklerakónál alapvető feltétel, hogy a gázképződés és gázmentesítés *ellenőrzött körülmények* között történjék annak érdekében, hogy megelőzzük a depóniagáz nemkívánatos kijutását az atmoszférába, illetve horizontális vagy vertikális irányú migráció révén a környező talajrétegekbe.

A keletkező gáz ellenőrzött gyűjtése illetve elvezetése fontos, mert:

- a nagy nyomású gáz kitöréseket okozhat a lerakóban;
- a gáz kiszivárgása a vegetáció pusztulását idézheti elő, aminek a következménye, hogy a rekultivált felszínen jelentősen nő az erózió veszélye;
- toxikus hatása lehet;
- a tartós gázkibocsátás a hulladéklerakó közvetlen szomszédságában lakók egészségét veszélyeztetheti;
- kellemetlen szaghatást okoz;
- a keletkező metán a levegővel keveredve robbanókeveréket alkot;
- a keletkezett gáz olcsó energiaforrás, ezért gyűjtése célszerű.

A gázellenőrző és mentesítő rendszer lehet *aktív vagy passzív*. Passzív rendszerben a lerakóban levő természetes gáznyomás a mozgás hajtóereje. Aktív rendszerben mesterséges vákuum segíti elő a gázkiáramlást a lerakóból. A passzív módszer csak akkor használható hatékonyan, ha metán és szén-dioxid is nagy mennyiségben képződik. A nyomáskülönbség és a diffúzió a metánt a lerakóból a légtérbe irányítja. A passzív rendszer vázlata látható a **33. ábra**.

Legkisebb mértékben a homokkal vagy kavicsal teli függőleges aknák, árkok vagy rétegek szállítják a metánt. Ennél hatékonyabb módszer a függőleges, vagy a fedőréteg alá elhelyezett

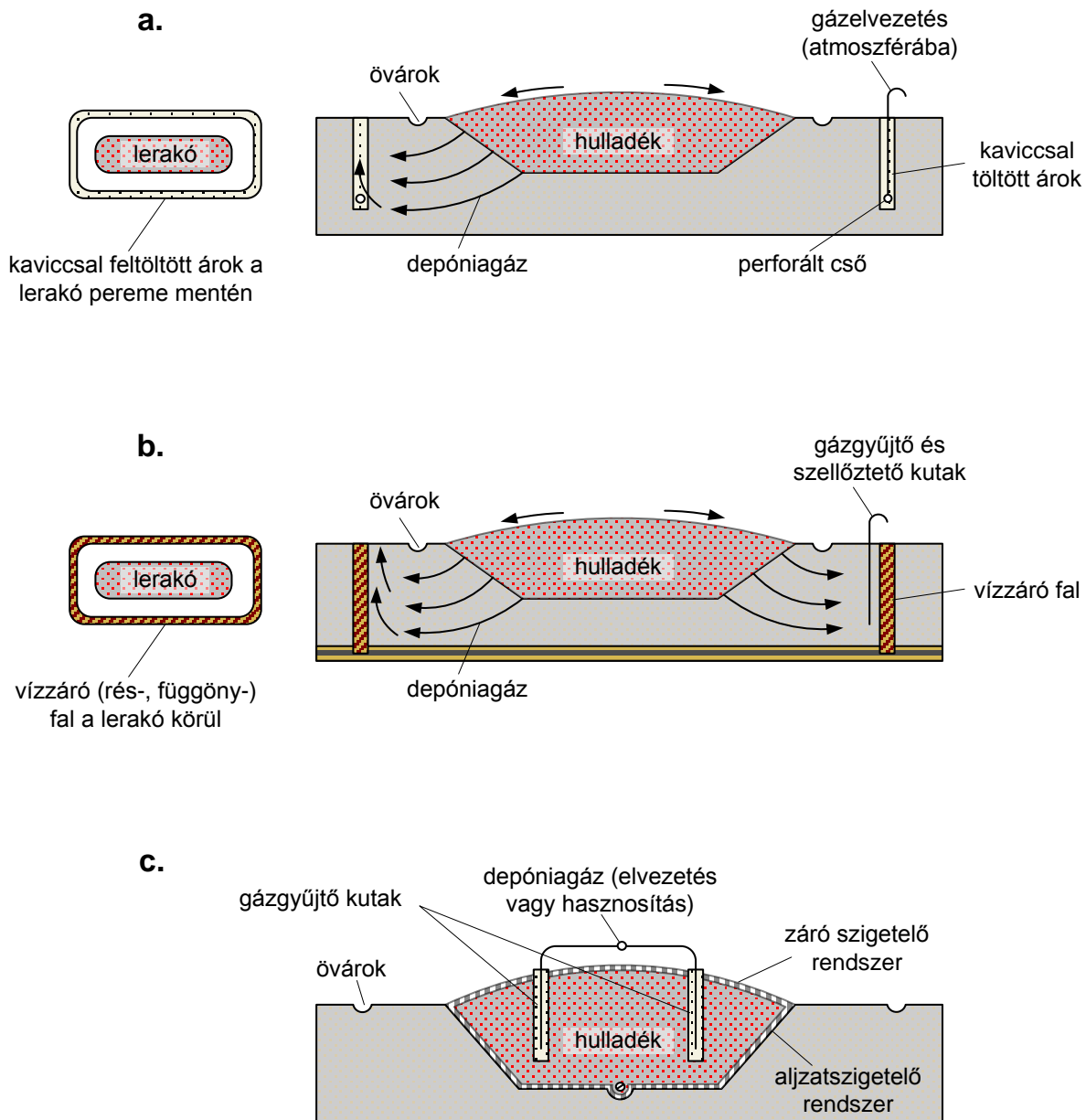
perforált csövek alkalmazása. A lerakót körülvevő talajba helyezett szigetelő fólia lassíthatja a metánáramlást, elhelyezése azonban nem könnyű feladat. A kis koncentrációjú, veszélyesebb gázok levegőbe kerülését közbetelepített szorpciós rétegekkel lehet megoldani, ill. csökkenteni. Mivel a passzív rendszer csak korlátozott védelmet nyújt, a gáz a levegőbe kerül, és a gázmozgás szinte előre megjósolhatatlan, alkalmazása kevésbé ajánlott, és egyre inkább a háttérbe is szorul.

Hatékonyabb módszer az *aktív rendszer*, még akkor is, ha a keletkezett gáz mennyisége kicsi, és a gáz mozgásában csak a molekuláris diffúzió vesz részt. A szellőztető csövekhez vákuumszivattyút csatlakoztatva olyan nyomáskülönbség érhető el, amely képes eltávolítani a gázt a lerakó belsejéből. Az aktív rendszer vázolata a **34. ábra** látható. A **35. ábra** az aktív rendszer felépítéséhez javasolt kút kialakítását mutatja be ([JESSBERGER, 1994.](#)), a fejkiképzést a **36. ábra** szemlélteti.

Ha a telepítés célja csak a gázellenőrzés, akkor a lerakó pereméhez kell elhelyezni a kutakat, illetve a környező talajban, ha az jó áteresztő.

Az egyes kutak átmérője 30-90 cm legyen. A nagyobb átmérőjű kutak esetében ugyanannyi energiával több gáz nyerhető, ami akkor célszerű, ha a gázt energiaforrásként is gyűjtik. Az aktív rendszer a lerakó peremén és a lerakóban hálózatosan elhelyezett kutakból áll. A kutak lehetnek függőleges vagy vízszintes elhelyezésűek. Az egyes kutakat és csöveket egy fővezeték köti össze, amelynek a végén egy kompresszor van. Ezzel a kompresszorral hozzák létre a fővezetékben a vákuumot. Amikor a vákuum létrejön, kialakul egy hatásterület, amely a kutakkal behálózott területre terjed ki. A gáz így belekerül a kutakba, onnan a fővezetékbe, az ellenőrző állomásra, majd az energiafelhasználó, vagy égető berendezésekbe. A kerületen lévő kutakban összegyűlő gáz gyakran rosszabb minőségű, ezért ilyen esetben célszerű ezt külön kezelni.

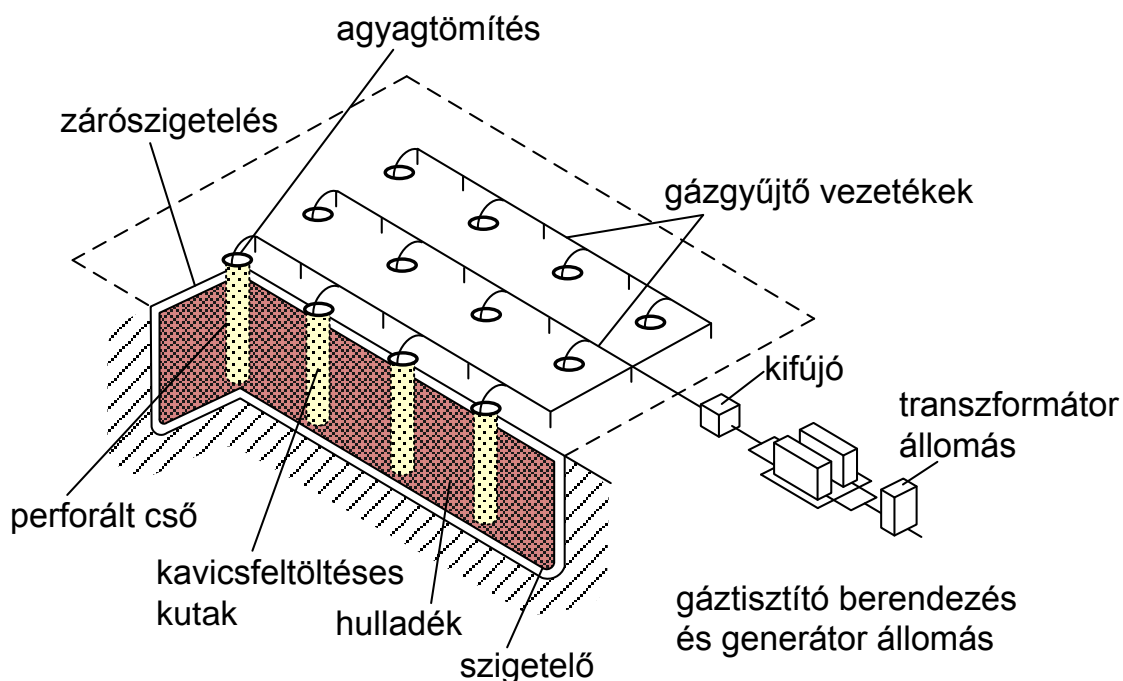
A kutak hatásterülete - ugyanúgy mint a vízbeszerző kutaknál - minden irányban kiterjed. A kutakat úgy kell elhelyezni, hogy a hatásterületük összeérjen. A rendszer működtetésénél kerülni kell a túlnyomást, mert ezzel levegő kerülhet a talajból a hulladékba. A lerakó vastagságától és egyéb helyi adottságoktól függően a *kutak távolsága 8-20 m*. Az aktív rendszereknél *peremi gázelvező árkokat* is alkalmaznak. Ezt közvetlenül a lerakó körül alakítják ki kb. 8 m, vagy annál kisebb mélységgel.



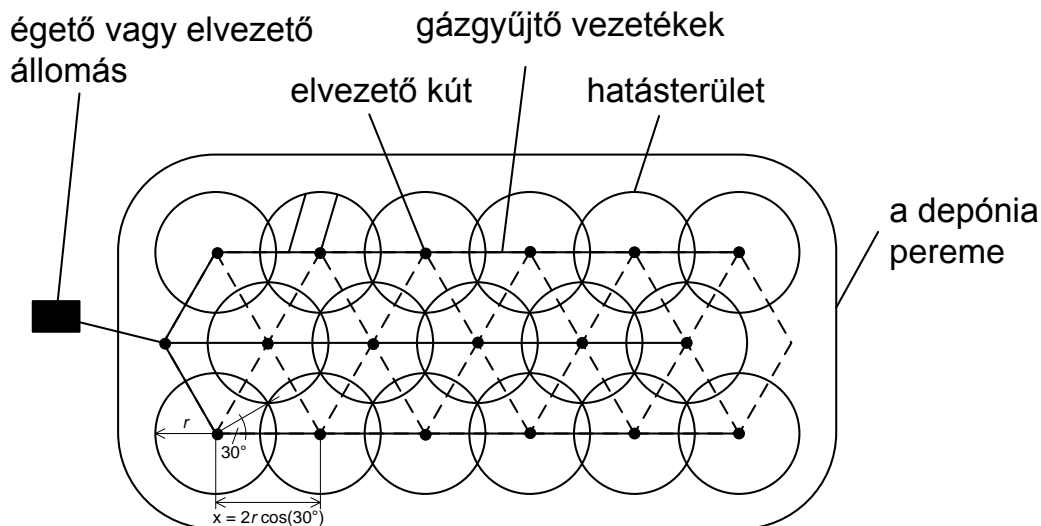
33. ábra. A passzív gáz ellenőrző-mentesítő rendszer vázlata (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.)

a. kavicsal töltött gyűjtőárok és perforált cső, **b.** a lerakó kerülete mentén kialakított védőárok, **c.** gázgyűjtő kutak

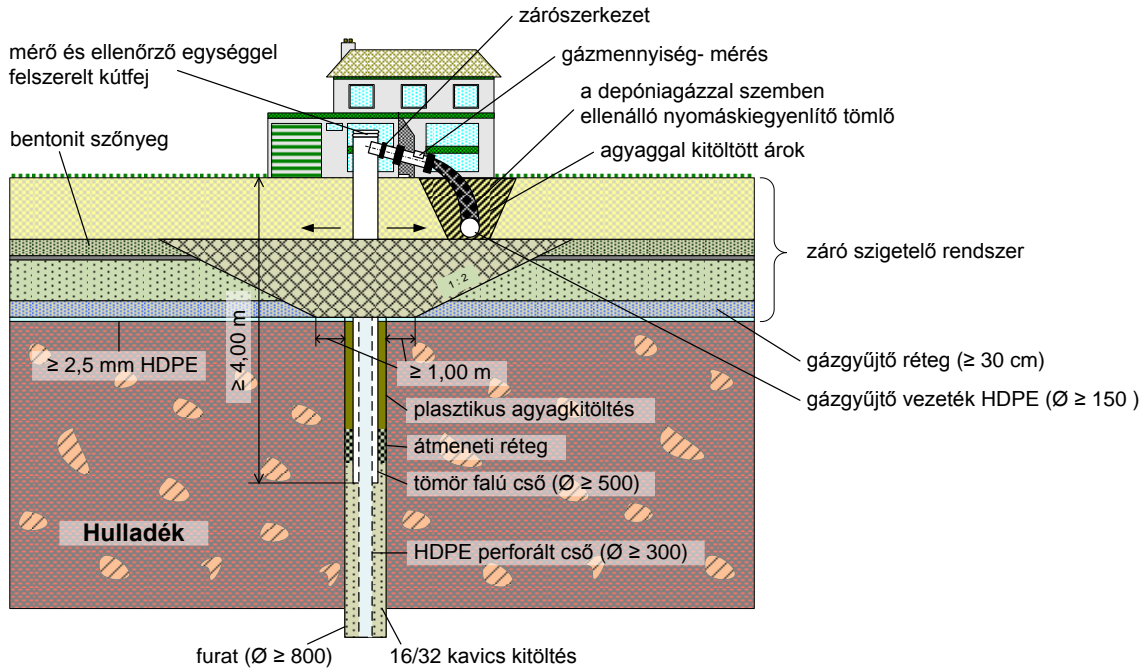
Megjegyzés: az a. és b. változat aljzatszigetelő nélküli; a c. változat szigetelt aljzattal rendelkező lerakóknál



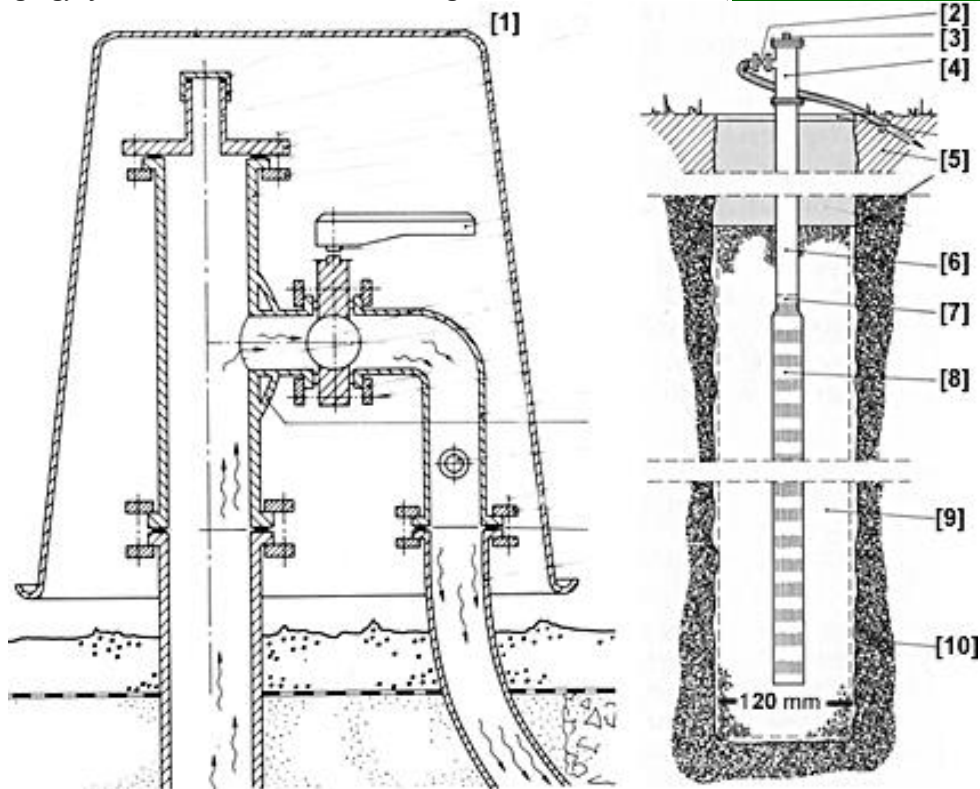
vertikális irányú kutak



34. ábra. Aktív gázgyűjtő rendszer függőleges kutakkal (TCHOBANOGLOUS et al., 1993.)
a. rendszer-vázlat, b. kútelrendezés és hatásterület



35. ábra. A gázgyűjtő kutak kialakítása és a zárószigetelésen való átvezetése (JESSBERGER, 1994)

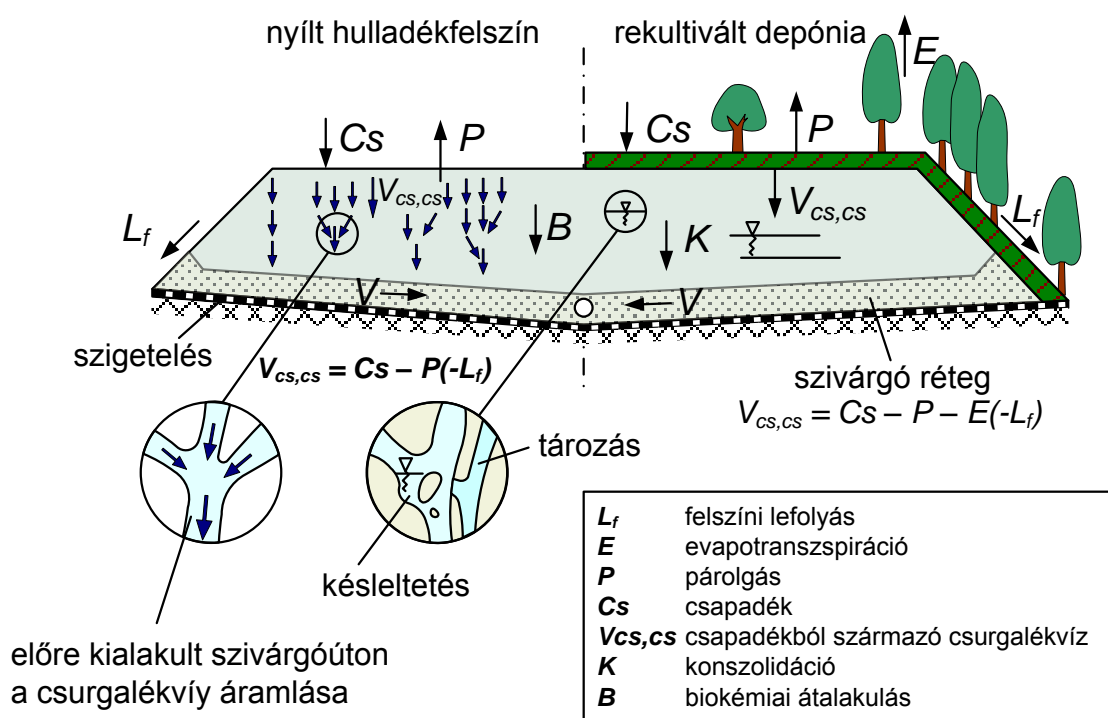


36. ábra. A gázkút fejkiképzése

(1. zárófedél; 2. zárószelep; 3. mintavételi csonk; 4. kútfej, 5. zárószigetelés és tömítés; 6. HDPE cső; 7. teleszkopikus csőcsatlakozás; 8. HDPE perforált cső (átmérő 2-300 mm); 9. kavics vagy mészkömentes törmelék kitöltés; 10. hulladék)

5.9 A hulladéklerakók vízháztartása

A hulladéklerakó vízháztartásának ismerete rendkívül lényeges, mert segítségével tudjuk meghatározni a *várható csurgalékvíz mennyiségét*, ami a csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezésénél alapvető fontosságú. A csurgalékvíz mennyiségén kívül szükségünk van annak várható összetételére is, ami a szigetelőrendszer anyagának, felépítésének a megválasztásánál jelentős. Míg a várható mennyiséget viszonylag jól tudjuk számítani, előre jelezni, addig a minőség tekintetében elsősorban analógiákra, korábbi tapasztalatokra támaszkodhatunk, hiszen minden depónia egyedi.



37. ábra. A hulladéklerakó vízháztartása

A depóniák vízháztartását a módosított vízháztartási egyenlettel írhatjuk le (37. ábra):

$$Cs - P - R \pm K - V_{cs} - L_f + V_b + V_k = 0$$

ahol:

Cs : a csapadék,

P : a párolgás,

R : a tározás (kötött vízként),

- K:** a késleltetés (rövidebb ideig a kapillárisokban raktározott víz),
V_{CS}: a csurgalékvízlefolys az altalaj felé,
L_f: a felszíni lefolyás,
V_b: a biokémiai folyamatok során képződött víz és
V_k: a konszolidáció hatására keletkezett víz.

A módszernél feltételezzük, hogy alulról és felülről külső hozzáfolyás nincs, a csurgalékvíz a lerakóból csak a szivárgórendszeren keresztül kerülhet ki és nincs vízkilépés a rézsű felületén. A csurgalékvízgyűjtő rendszer méretezéséhez szükséges vízmennyiséget a tér és idő függvényében kell meghatározni. A csurgalékvíznek több, egymástól független összetevője lehet:

- a csapadék és az aktuális párolgás különbsége;
- a hulladékban mikrobiológiai folyamatok hatására bekövetkező vízképződés, ill. vízfelhasználás;
- a hulladék konszolidációja során keletkező vízmennyiség;
- a hulladékban tározódni képes vízmennyiség.

A vízháztartási egyenlet megoldásával meghatározhatjuk a hulladékból kijutó *csurgalékvíz* mennyiségét. Ezen vizsgálatok elvégzésére fejlesztették ki az ún. HELP modellt, ma a világban elterjedten használnak.

A hazai párolgási és csapadékviszonyokat elemezve az átlagos csurgalék-víz hozam amit 150-300 m³/ha/hónap (5-10 m³/ha/nap) értéknek lehet tekinteni (1mm/nap beszivárgás és k=10⁻⁸ m/s szivárgási tényező mellett).

A lerakó üzemeltetésének különböző fázisaiban 1 hektárnyi depónia felületen várható csurgalékvíz havi mennyiségét a **15. táblázat** tünteti fel ([in BARÓTFI, 2000.](#)).

15. táblázat. 1 ha depónia felület esetén várható csurgalékvíz mennyiség (m³/hó)

A depónia üzemelési fázisa		csapadékvíz mennyisége: mm/hó				
		40	80	120	160	200
területre hulló csapadékvíz mennyisége		400	800	1200	1600	2000
hulladékmentes területről kivezetett csurgalékvíz	($\alpha=75\%$)	300	600	900	1200	1500
max 3 m vastag hulladékkal borított területről kivezetett csurgalékvíz	($\alpha=5\%$)	200	400	600	800	1000
	($\alpha=15\%$)	60	120	180	240	300
min. 10 m vastag hulladékkal borított területről kivezetett csurgalékvíz	($\alpha=25\%$)	80	160	240	320	400
	($\alpha=10\%$)	40	80	120	160	200

A 16. táblázat a csurgalékvíz összetételének szélső értékeit mutatja be, s látható hogy az aljzatszigetelő rendszerre egy igen szélsőséges hatások közötti agresszív biokémiai terhelés jut.

16. táblázat. A csurgalékvíz összetételének szélső értékei irodalmi adatok alapján (RAY-CHAN, 1986.)

Jellemző	Mennyiség (mg/l)
Biológiai oxigén igény (BOI ₅)	4 - 57.700
Kémiai oxigén igény (KOI)	31 - 89.520
Összes szerves szén (TOC)	0 - 28.500
Illó savak és ecetsav	70 - 27.700
BOI ₅ /KOI hányados	* 0,02 - 0,87
KOI/TOC hányados	* 0,4 - 4,8
Nitrogén	7 - 1.970
Nitrát (N-ben)	0 - 51
Ammónium (N-ben)	0 - 1.966
Összes foszfát	0,2 - 130
Ortofoszfát	0,2 - 120
lúgosság (mg CaCO ₃ /l)	0 - 20.850
összes keménység (mg CaCO ₃ /l)	0 - 22.800
összes szilárd anyag	0 - 59.200
összes oldott anyag	584 - 44.900
fajlagos vezetőképesség (μS/cm)	* 1.400 - 17.100
pH (-)	* 3,7 - 8,8
Ca	60 - 7.200
Mg	17 - 15.600
Na	0 - 7.700
Cl	4,7 - 4.816
SO ₄	10 - 324
Cr	0,2 - 18
Cd	0,3 - 17
Cu	0,005 - 9,9
Pb	0,001 - 2,0
Ni	0,2 - 79
Fe	4,0 - 2.820
Zn	0,6 - 370
Metán gáz	* 60 %-ig
Széndioxid	* 40 %-ig

* A külön nem jelölt érték mg/l-ben értendő

5.10 A monitoring rendszer

Egy hulladéklerakó minden esetben – még ha a legkorszerűbb is – potenciális szennyezőforrást jelent környezetére, ezért szükséges, hogy megfelelő ellenőrző-megfigyelő (monitoring) rendszere legyen. A lerakó üzemelése és szüneteltetése alatt is folyamatosan ellenőrizni kell:

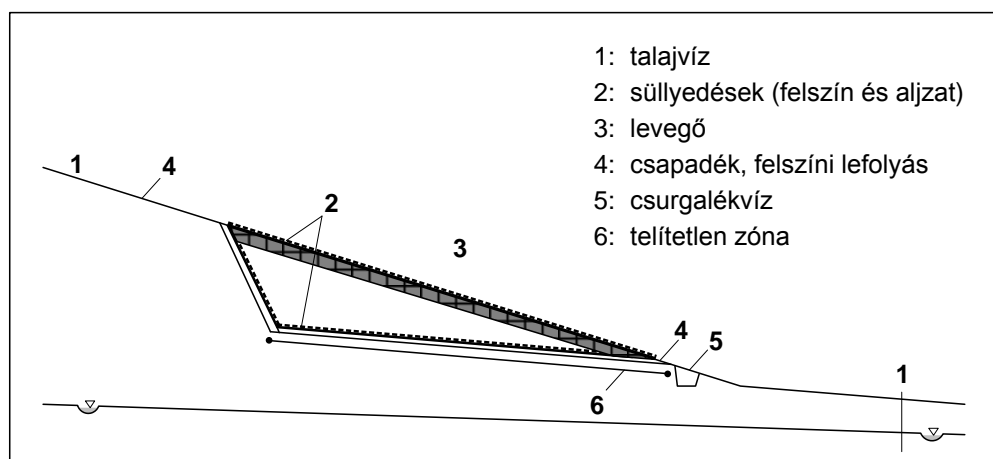
- az elsődleges technológiai létesítmények (tárolóterek, műtárgyak) műszaki állapotát, állapotváltozását;
- a tárolóterek szivárgásának megfigyelésére szolgáló eszközök és berendezések működőképességét;
- a lerakótelep védőtávolságán belüli felszín alatti víz minőségét;
- a lerakótelep területéről elvezetett felszíni víz minőségét;
- a levegőszennyező anyagok emisszióját, immisszióját;
- a lerakótelep környezetében a hatásvizsgálatban kijelölt élő szervezetek állapotát és azok változásait;
- a biztonsági célokat szolgáló melléklétesítmények, vízvezető és vízkezelő rendszerek működőképességét.

Az ellenőrző vizsgálatok elvégzéséhez szükséges megfigyelőrendszer elemeit két csoportba sorolhatjuk. Ezek:

- a lerakó üzemelésével, állapotváltozásával kapcsolatos megfigyelőrendszer;
- a lerakónak a környezetre gyakorolt hatását figyelő-ellenőrző rendszer.

Egy hulladéklerakó megfigyelőrendszerének elemeit szemlélteti a **38. ábra**.

Az ellenőrzési és megfigyelési eljárásokat, a mintavételi, mérési gyakoriságot mind az üzemelési mind az utógondozási fázisban a 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet szabályozza.



38. ábra. A hulladéklerakó megfigyelőrendszerének elemei

5.11 Meglévő, régi lerakók rekultivációs kérdései

A Magyarországon rekultiválandó lerakók többsége 1995-2000 előtt létesült, uralkodóan kis lerakók, amelyek mindenképpen bezárásra kerülnek, és a rekultivációnál, a zárószigetelőréteg kialakításánál mind a rendeletből adódóan, mind gazdasági okból egy józan kompromisszumot kell találni. A kompromisszum mértéke értelemszerűen az előző fejezetben ismertetett felülvizsgálat, kockázatelemzés eredményétől függ, az elsődleges mindig a környezet védelme.

A hulladéklerakók lezárását, utógondozását, rekultivációját és megfigyelését a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet alapján kell elvégezni. A rekultivációnál értelemszerűen meg kell különböztetnünk azokat a lerakókat, amelyek a rendelet hatályba lépése előtt-, illetve az után létesítettek. *Ennek megfelelően a rendelet hatályba lépése előtt létesített lerakók rekultivációs kérdéseit a jelen fejezet ismerteti , míg az utána létesített lerakók lezárását a 5.4 már bemutattuk.*

A lerakó rendelet szerint annál a meglévő hulladéklerakónál, amelyet nem lehet vagy az üzemeltető/tulajdonos nem kíván úgy kialakítani, hogy az megfeleljen a rendeletben a műszaki védelemre vonatkozóan meghatározott előírásoknak, függetlenül attól, hogy a hulladéklerakó a rendelet hatályba lépésekor üzemel vagy korábban bezárásra került, de a rekultivációja nem történt meg, a bezárást követően a rekultivációra vonatkozó előírások szerint kell eljárni.

A rekultivációra vonatkozó követelményeket kell alkalmazni a szigetelés nélkül létesített hulladéklerakó, illetve hulladék elhelyezésére használt terület esetében is.

A fentiek azt jelentik, hogy az új és jelenleg érvényes rendelet megkülönböztet:

lezárást, utógondozást, ill
rekultivációt.

A lezárás, utógondozás jelenti a szigorúbb feltételeket, és azokat kell alkalmazni minden, a rendelet hatályba lépése után létesített lerakóra és mindazokra, amelyek ugyan a rendelet hatálybalépése előtt épültek, azonban a szigetelőrendszerük megfelel az új rendelet előírásainak, illetve a rendeletileg előírt és elvégzett környezetvédelmi felülvizsgálat eredményeképpen az új rendelet szerinti követelményeket (lásd 5.4) írták elő. Értelemszerűen ebből az következik, hogy *a 2009 után megmaradó végleges depónia-hálózat lerakóinak meg*

kell felelniük az új rendelet előírásainak, azaz náluk a lezárásra, utógondozásra vonatkozó előírások érvényesek.

A 2009-ig bezárandó több mint 2000 lerakóra, amelyeknél:

- a regionális hálózat kialakítása miatt már nem lesz szükség,
- a szigetelőrendszere nem alakítható át az új rendelet elvárásainak megfelelően,
- az üzemeltető/tulajdonos nem kívánja az új rendelet elvárásainak megfelelően átalakítani azokat, ott

a rekultivációra vonatkozó előírások ([20/2006. \(IV.5.\) KvVM rendelet 3. melléklet 2. pont](#)) alkalmazása a kötelező.

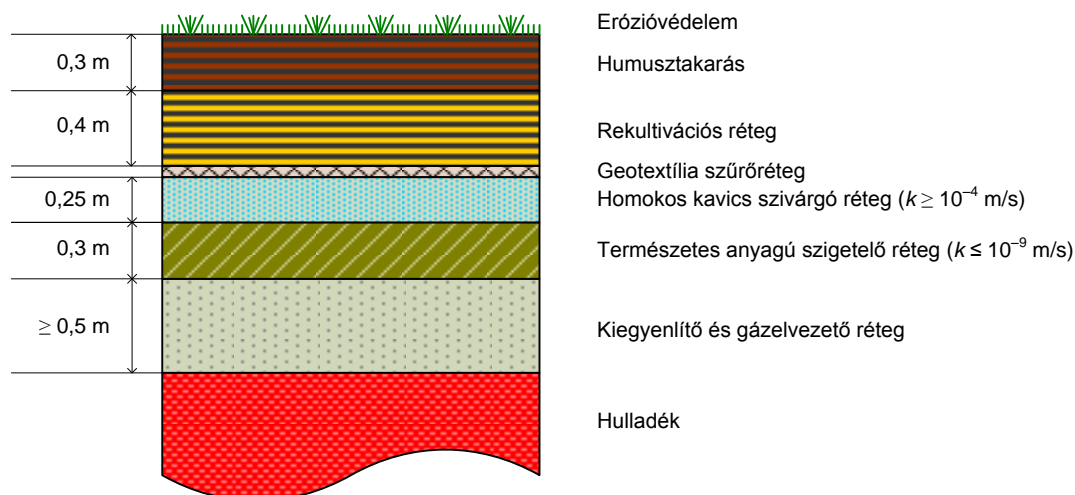
Meglévő, kombinált aljzatszigeteléssel rendelkező régi lerakók rekultivációja

A hulladéklerakót *átmeneti felső záró rétegrendszerrel* szükséges lezárni a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek biológiai stabilizálódásáig, de legfeljebb 10 évig.

A *végleges felső záróréteg rendszer* azt követően építhető ki, hogy a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött. A stabilizálódási folyamat befejeződését a hulladéklerakó-gáz mennyiségének csökkenése, a csurgalékvíz mennyiségének és összetételének változása, illetőleg a hulladéklerakó felszínének megállapodása (a süllyedés megáll) jelzi.

Az átmeneti felső záróréteg rendszer legfontosabb feladata az, hogy a végleges felső záró-réteg rendszer kiépítése érdekében tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, ezáltal elősegítve a lerakott hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlását és a hulladéktest stabilizálódását. Alkalmazása azért is indokolt, mert a biohulladék lebomlása következtében a hulladéktestben roskadás, a felszínén jelentős süllyedések várhatóak, ami a végleges felső záró-réteg rendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedezéséhez vezetne, és ez a szigetelőképeség romlását okozná.

A kombinált aljzatszigetelő rendszerrel rendelkező régi lerakók rekultivációjánál alkalmazható felső lezáró szigetelésének rétegrendjét a **39. ábra** mutatja be, de természetesen egyenértékű alternatív megoldások alkalmazása is számításba jöhet. Az egyenértékűség feltétele ebben az esetben az azonos hidraulikai transzport.



39. ábra. A műszaki védelemmel rendelkező régi hulladéklerakók végső lezárásának rekultivációjakor alkalmazandó szigetelőrendszere

Meglévő, műszaki védelem nélküli lerakók rekultivációja

Meglévő, nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló, mesterséges szigetelés (geomembrán) nélkül létesült hulladéklerakó vagy hulladéklerakás céljára használt terület esetében indokolt lehet *kockázatelemzés és költség-haszon elemzés elkészítésével megvizsgálni, hogy a lerakó rekultivációja megvalósítható-e, vagy fel kell számolni.*

A vonatkozó rendelet szerint azon lerakó esetében, ahol a 219/2004. (VII. 21.), a felszín alatti vizek védelméről szóló Korm. rendelet szerinti szennyező anyagot tartalmazó hulladék – az első vízáadó összlet mindenkor maximális nyugalmi vízszintjének figyelembevételével – érintkezik a felszín alatti vízzel, fenn áll a közvetlen bevezetés a felszín alatti vízbe, *csak a lerakó felszámolására kerülhet sor.*

A fenti esetben csak egészen kivételes esetben maradhat meg a lerakó és csakis akkor, ha fennmaradása gazdaságilag indokolt és a terület kármentesítése (pl. a szennyezőanyag izolálása, az utánpótlódás megszüntetése) megnyugtatóan megoldható. Esetlegesen egy ilyen megoldás mellett szól a lerakó kedvező földrajzi, hulladékgazdálkodási helyzete, valamint az, hogy nem kell új területet igénybe venni a szóban forgó térség hulladékelhelyezési gondjainak megoldására.

Ha a lerakó rekultivációjára kerül sor, akkor az előző fejezetben bemutatott követelményeket kell teljesíteni az alábbiakban meghatározott eltérésekkel:

- A 2001. január 1-jén még üzemelő lerakó rekultivációja estében, ha a lerakott hulladék mennyisége meghaladja a 10.000 m³-t, a rekultivációt 2 ütemben, ellenkező esetben egy ütemben kell elvégezni az előző fejezetben leírtaknak megfelelően.

- A 2001. január 1-jén már bezárt, de nem rekultivált lerakó esetében, a rekultivációt a végleges záró-réteg rendszer kialakításával, 1 ütemben kell elvégezni az előző fejezetben leírtak szerint.

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által biztosított a fentiekben ismertetett lehetőség alapján a meglévő hulladéklerakóknál a *mérsékelt követelmények szerinti rekultivációnál* elegendő lehet a tájba illesztés, a bezárt lerakó – felületi rétegének tömörítését, rendezését követő – olyan lezárása, amely a veszélyeztető potenciál függvényében lehet:

- talajtakarás, illetve
- egyszerűsített (a lerakó rendeletben foglaltakhoz képest) épített zárószigetelő rendszer ún. tájba illesztés.

Mindkét lezárási módnál különösen előnyös lehet az ún. *evapotranspirációs lezárás*, amikor is a lezárás mértékét a hulladéklerakó *vízháztartása alapján határozzuk meg*. Természetesen ezek megoldások csak a veszélyeztető potenciál meghatározása után, a Felügyelőség külön engedélyével lehetségesek, tekintettel arra, hogy a még megengedhető rétegrendre a rendelet konkrétan nem tér ki.

A rekultivációs réteg kialakítása

Mint az előzőekben láttuk, a záró szigetelésnél az alkalmazott szigetelőrendszer (kiegyenlítő réteg, agyag és vagy geomembrán, szivárgó réteg) A fölé a lerakó típusától, műszaki védelmi rendszerétől függő *rekultivációs réteg kerül*. Az új rendelet szerinti végleges lezárásnál a *rekultivációs és szivárgó réteg vastagsága együtt legalább 1,5 m* kell, hogy legyen. A vastagságának megválasztásánál figyelembe kell venni:

- a területre jellemző fagylehatolási mélységet,
- a rekultivációs növényzet gyökérzetének lehatolási mélységét. (A szivárgó paplanba a gyökérzóna ne érjen bele.)
- *vízháztartási viszonyokat*. (A szigetelőréteget a kiszáradástól meg kell védeni.)

A *rekultivációs réteg anyagának* kiválasztásában jelentős szerepet játszanak a helyi adottságok. A lehetőségeken belül figyelembe kell venni, hogy a *réteg elsődleges szerepe a csurgalékvíz minimalizálása*, tehát azok a talajok jönnek elsődlegesen számításba, amelyek *jó víztároló-képességgel* rendelkeznek, és az alkalmazott növényzettel együtt jelentős az *evapotranspiráció*. Német ajánlások szerint leginkább kedvezőek a *homoklisztes-, iszapos talajok*, amelyeknek az

A **17. táblázat** a rekultivációs rétegeként számításba jövő leginkább kedvező talajfajtákat tünteti fel. A szabadföldi vízkapacitás értékénél a kisebb érték a lazán beépített talajokra ($\sigma < 1,45 \text{ g/cm}^2$), a nagyobb érték a közepes tömörségű ($\rho = 1,45\text{-}1,65 \text{ g/m}^3$) talajokra vonatkozik

17. táblázat. Rekultivációs rétegeként leginkább ajánlott talajok

Talajtípus	Iszaptartalom (%)	Agyagtartalom (%)	Szabadföldi vízkapacitás (VK _{sz} ; mm)
Homoklisztes, iszapos homok	10-40	8-17	185-220
Iszapos homok, homokliszt	10-50	0-15	210-270
Agyagos homok	0-15	5-25	220-270
Homokos homokliszt	10-50	15-45	160-200
Homokos iszap	50-80	0-17	200-260

A német lerakórendelet szerinti, a rekultivációs rétegnél megengedhető szennyezőanyag koncentrációkat a

A rekultivációs réteg vastagságát, a szigetelőréteg hatékonyságát *jelentősen befolyásolja* az alkalmazott *növényzet* és a *növények gyökérlehatolási mélysége*. A **19. táblázat** a leginkább számításba jövő növények *gyökérzetének lehatolási mélységét tünteti fel*.

18. táblázat mutatja be. A táblázat feltünteti a 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendeletben foglalt B szennyezettségi határértékeket is, és célszerű a megengedhető koncentrációt ezen határértékekhez viszonyítani. Különösen fontos a várható *eluátum-koncentráció* betartása.

A *rekultivációs réteg vastagságát* a rendelet szabályozza, a szigetelőréteg fölött a *szivárgó- és rekultivációs réteg együttes vastagságának el kell érnie az 1,5 métert*. Ez azt jelenti, hogy ha a szivárgó réteg vastagsága 0,3 m (a rendelet szerinti alsó érték) akkor a rekultivációs réteg 1,2 m, ill. 0,5 méternél 1,0 m vastag, és geodrén alkalmazása esetében értelemszerűen 1,5 m!

A rekultivációs réteg vastagságának a csökkentése csak olyan *alternatív megoldásként* jöhet számításba, amelyeknél a *szigetelő funkciót betöltő elem nem időjárás érzékeny*. Ilyen megoldás lehet pl. a geomembrán alkalmazása, azonban a nagyobb időjárás-hatásnak való kitettség miatt a membrán alá észlelőhálózat építése szükséges.

A rekultivációs réteg vastagságát, a szigetelőréteg hatékonyságát *jelentősen befolyásolja* az alkalmazott *növényzet* és a *növények gyökérlehatolási mélysége*. A **19. táblázat** a leginkább számításba jövő növények *gyökérzetének lehatolási mélységét tünteti fel*.

18. táblázat. A rekultivációs rétegben megengedhető szennyezőanyag-, valamint eluátumkoncentrációk (Deponieverordnung, Németország, 2002.)

Paraméter	Szennyezőanyag tartalom [mg/kg száraz anyag] (salétromsavas kioldás)	Eluátum-koncentráció
pH		6,5-9
Vezetőképesség		500 µS/cm
Klorid		10 mg/l
Szulfát		50 mg/l
Arzén		10 µg/l
Kadmium	1,0	2 µg/l
Ólom	140,0	40 µg/l
Króm (össz.)	120,0	30 µg/l
Réz	80,0	50 µg/l
Higany	1,0	0,2 µg/l
Nikkel	100,0	50 µg/l
Cink	300,0	100 µg/l

19. táblázat. Különböző növények gyökérzetének lehatolási mélysége

Növény	A gyökérzet lehatolási mélysége (cm)
Zöldmezős vegetáció	
szarvas kerep (<i>Lotus corniculatus</i>)	30-100
közönséges aszat (<i>Cirsium</i>)	80-150
régi perje (<i>Poa pratensis</i>)	70-200
francia perje (<i>Arrhenatherum elatius</i>)	100-200
gyermekláncfű (<i>Taraxacum officinale</i>)	70-240
mezei aszat (<i>Cirsium arvensis</i>)	80-150
ökörfarkkóró (<i>Verbascum lychnitis</i>)	< 150
(fodros) sóska (<i>Rumex crispus</i>)	< 150
Bokros, fűs vegetáció, cserje	
földiszeder (<i>Rubus fruticosus</i>)	< 200
(hamis) akácfa (<i>Acacia</i>)	> 200
fehér fűz (<i>Salix alba</i>)	< 300
bükkfa (<i>Fagus silvatica</i>)	180-300
juharfa (<i>Acer</i>)	> 150

A rekultivációs réteg beépítése rétegesen történik, általában 2 rétegben elegendő a terítés, mivel az elérendő térfogatsűrűség (a humuszcéteg alatt) 1,4-1,6 t/m³, azaz a terítési rétegvastagság 0,5-0,6 m.

A *humuszcéteg* vastagsága ne legyen több, mint 0,3 m, a térfogatsűrűség értéke 1,2-1,45 t/m³ között, a *szabadföldi vízkapacitás* értéke *legalább 200 mm* legyen.

Az átszivárgó vízmennyiséget tovább csökkenthetjük, ha a rekultivációs réteg alját (a humuszcéteg és az altalaj alatt) ún. „*gyökérczáró*” *réteggént* képezzük ki, azaz úgy építjük meg, hogy azon a gyökérczóna minél nehezebben hatoljon át. Ilyen réteg lehet pl. egy 0,2-0,3 m vastag *erősen kötött* v. *erősen kötőrmelékes tömör* ($\sigma > 1,8$ t/m³) réteg, vagy számításba jöhetnek a *geoműanyagok is*.

Irodalomjegyzék

BAGCHI, A. (1989): Design, construction and monitoring of sanitary landfill, John Wiley and Sons, p. 285.

BARÓTFI I. (2000): Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, p.981.

BÁNHEGYI I. (1993): Biológiai hulladékkezelés, Hulladékgazdálkodás (szerk.: ÁRVAI J.), Műszaki Könyvkiadó, pp. 390-423.

BILITEWSKI, B.-HÄRDTLE, G.-MAREK, K. (1990): Abfallwirtschaft, Springer Verlag, Erich Schmidt Verlag

BRANDL, H. (1989.): Geotechnische und bauliche Aspekte bei der Neuanlage von Abfalldeponien, Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 134. Jg. H.3. pp. 123-163.

CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.. (1989): Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, Academic Press

CHRISTENSEN, TH.H -KJELDSSEN, P. (1989): Basic biochemical process in landfills Sanitary Landfilling (ed.: CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.), Academic Press, pp. 29-48.)

DANIEL, D.E. (1993): Clay liners, Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapter 7., Chapman and Hall, London

DANIEL, D.E.-BOWDERS, J.J. (1996): Waste containment systems by geosynthetics. State of the art report., Proc. 2nd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka, Balkema, Rotterdam, McGraw-Hill Inc.

DEPONIEVERORDNUNG IN ÖSTERREICH, (1996.) Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen Deponieverordnung. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jhg. 1996. 49. Stk.

DEPONIEVERORDNUNG IN DEUTSCHLAND, (2002.) Verordnung über die Deponien und Langzeitlager, (Deponieverordnung – Dep V), BGBl. I, S. 2807 (Juli 2002), valamint BGBl. I, S. 4417 (November 2002)

DGEG-GDA-DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU E.V. (1993): Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten, GDA, Ernst & Sohn, Berlin, USA

EHRIG, H.J. (1989): Sickerwasser aus Hausmülldeponien. Menge und Zusammensetzung, Müll-Handbuch, Loseblattsammlung, Lieferung I/89., Erich Schmidt Verlag

EK DIREKTÍVA (1999.) Hulladéklerakásra vonatkozó 1999/31/EC sz. 1999. április 26-i tanácsi irányelv

GDA-EMPFEHLUNG E2-30 (2000): Modelierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien

GIROUD, J.P.-HOULIHAN M.F. (1995): Design of leachate collection layers, Proc. 5th International Landfill Symposium, Sardinia '95, Margherita di Pula, CISA, Cagliari

HAUBRICH, E.(2002.): Oberflächenabdichtungssysteme. Stand der Technik. Systemauswahl-technische, und wirtschaftliche Bewertungskriterien, Deponietechnik 2002. Abschlussplanung und Sicherung von Deponien, www.mu.sachsen-anhalt.de/lau.default/htm

HEYER, K.U. (2003): Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge, Hamburger Berichte 21, Abfallwirtschaft, Technische Universität Hamburg-Harburg

JESSBERGER, H.L. (1987-1994): Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der Deutschen Gesellschaft für Erd-und Grundbau e.V., Bautechnik, 1987-1994.

JÓZSA G.-HETÉNYI R.-RAINCSÁK GY. (1990): Veszélyes hulladéklerakótelepek országos hálózata fejlesztésének földtani megalapozásához szükséges módszertani javaslat, MÁFI, Kézirat

JUHÁSZ J. (1990): Vízkutatás, vízbeszerzés, vízgazdálkodás I. kötet., Tankönyvkiadó Bp., Egyetemi jegyzet.

K.HUPE, K.-U.HEYER AND R. STEGMANN (2003) Water infiltration for enhanced in situ stabilization, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Caligari, Italy, 6 - 10 October 2003)

KISS G. (1992): Szilárd kommunális hulladékok felszíni elhelyezése, Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Tanszék, Diplomaterv.

KOERNER, R.M.–DANIEL, D.E. (1997): Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps, Thomas Telford, London, p. 256.

KOERNER, R.M. (1986): Designing with geosynthetics, Prentice Hall, p. 424.

Koerner, R. M. - Daniel, D. E. (1997): Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Dumps, Thomas Telford

KRÜMPELBECK, I. (2000.): Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien., Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. Ing., Gesamthochschule Wuppertal

K.-U. HEYER, K. HUPE, A. KOOP, M. RITZKOWSKI AND R. STEGMANN (2003) The low pressure aeration of landfills: experience, operation and costs, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Caligari, Italy, 6 - 10 October 2003

LAKATOS, I.-SZABÓ I.(1997): A környezetvédelemben alkalmazható vertikális és horizontális szigetelőgátak egyenértékűségének feltételei, Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle, XLVII. évf. 11.sz. pp. 423-431.

MANASSERO, M.-VAN IMPE, W.F.-BOUAZZA, A. (1997): Waste disposal and containment. State of the art report., Proc. 2nd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka pp. 1425-1474., Balkema, Rotterdam

MANASSERO, M.-PARKER, R.-PASQUALINI, E.-SZABÓ, I.-ALM,EIDA, M.-BOUAZZA, A.-DANIEL, D.E.-ROWE, R.K. (1998): Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects), TC55SC4 Report, 3rd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Lisboa, 1998.

MANASSERO, M. (2000): Solid waste containment systems, GeoEng 2000, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering, 19-24 November, Melbourne, Australia, Conference Proceeding on CD ROM

MEGGYES, T. (1994. B): Oberflächenabdichtungssysteme, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und – prüfung, Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 173-185. Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

MÜLLER, W.(2001): Handbuch der PEHD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik, Birkhauser Verlag, Basel, p. 384.

NIELSEN, D.M. (1991): Practical Handbook of Ground-Water Monitoring, Lewis Publishers
OWEIS, I.S. - KHERA, R.P. (1990): Geotechnology of Waste Management, Butterworths, p. 273.

ÖNORM S2076-1, (1999): Deponien. Dichtungsbahnen aus Kunststoff. Verlegung., Österreichisches Normungsinstitut.

RAMKE, H.G. (1991): Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle, Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig, Mitteilungen, H. 114. p. 326.

RETTENBERGER, G.-SASSE, T.-URBAN, S. (1988): Konzeption der Oberflächenabdichtung an der SAD Gerolsheim, Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29., pp. 39-61. Erich Schmidt Verlag

ROWE, K.R. (2000): Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 1087.

SCHMID, G. (1992): Deponietechnik, Vogel Buchverlag

SPILLMANN, P. (1988): Wasserhaushalt von Abfalldeponien, Behandlung von Sickerwässern aus Abfalldeponien. Fachseminar Veröffentlichungen des Zentrums für Abfallforschung, Heft 3. TU Braunschweig.

STEFANOVITS P. (1992): Talajtan, Mezőgazda Kiadó, Budapest

STEGMANN, R. - SPENDLIN, H.H. (1985): Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary landfills., Proc. of the Conf. New Directions and Research on Enhancement of Biochemical Processes in Sanitary Landfills. University of British Columbia, Vancouver, Canada, June 23-28.

SZABÓ, I. (1995): Hulladékékelhelyezés I-IV., „Ipar a környezetért” Alapítvány, Budapest

SZABÓ, I. (1999): Hulladékékelhelyezés, Miskolci Egyetemi Kiadó, Egyetemi tankönyv

SZABÓ, I – SZABÓ A. (2002): Field and laboratory measurement experiences related to mineral barriers of waste disposal sites, 12th Danube European Conference, Passau, 2002.

TCHOBANOGLOUS, G.-THEISEN, H.-VIGIL, S. (1993): Integrated solid waste management, Mc Graw-Hill Inc., p. 913.

THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1987): Deponie. Ablagerung von Abfällen, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH

US DEPARTMENT OF ENERGY (2000.): Alternative Landfill Cover, Innovative Technology, Summary Report, DOE/EM–0558/2000.

6 Hulladékok ártalmatlanítása

6.1 Ártalmatlanítás termikus eljárásokkal

dr. Örvös Mária, BME

Az előző fejezetek részletesen ismertették a hulladékok fogalma alatt értett anyagok sokféleségéből, változó összetételéből és halmazállapotából adódó problémákat. A hulladékok kezelésére számos eljárás ismert.

A hulladékok kezelésénél, a világon sehol sem egységesek a kialakult vélemények annak tekintetében, hogy a hulladékot termikusan kezeljék (zömében égetéssel) vagy biztonságosan kiépített lerakóban deponálják. Ezek az arányok a legváltozatosabb képet mutatják, vannak olyan országok, ahol a deponálás és a termikus kezelés aránya 70 – 16 %, más országokban pedig ez az arány akár 15 – 77 % is lehet. Költségvonzatukat tekintve a lerakás ugyan olcsóbb lehet, de a szerves anyag tárolásakor keletkező gázkomponensek környeztkárosító hatását sem lehet figyelmen kívül hagyni. A termikus kezeléssel kikerülő maradványokat általában jól lehet deponálni és térfogatukat tekintve lényegesen kevesebb tároló kapacitást igényelnek, mint termikus kezelés nélkül.

Hőfokszint szempontjából alapvetően hideg (alacsonyabb hőfokszintű) és meleg (magasabb hőfokszintű) hulladékkezelés eljárásokat különböztetünk meg.

A hideg eljárások közé sorolhatók:

- a mechanikai eljárások (válogatás, osztályozás, aprítás);
- a fizikai eljárások (oldás, kishőfokú szárítás);
- kémiai eljárások (semlegesítés, nedves oxidálás);
- biológiai eljárások (anaerob, aerob lebontás).

A nagyhőfokú eljárások közé sorolható:

- a fizikai eljárásoknál alkalmazott nagyhőfokú szárítás, olvasztás és kigázosítás;
- kémiai eljárásoknál alkalmazott égetés, pirolízis, elgázosítás.

A háztartási, a csomagolási, a kisipari hulladékok fűtőértéke ugyan változó, de jelentős energiatartalommal rendelkeznek, ezért ártalmatlanításuk egyik gazdaságos lehetősége a termikus ártalmatlanítás.

A termikus hulladékkezelési eljárásoknál sokféle eljárást különböztethetnek meg, de az oxidáció függvényében alapvetően három eljárásfajta különíthető el.

A **hulladékégetés** olyan exoterm folyamat, amelynél a tökéletes oxidáció, megfelelően nagy, ($\lambda > 1$) légfeszüléssel biztosítható.

A **pirolízis** eljárásnál a meleg szétbomlasztást, levegő nélkül ($\lambda = 0$) légfeszüléssel hajtjuk végre. A termikus kigázosítás olyan folyamat, amelynél a hulladék levegőtől elzárt melegítése során pirolízis-gáz és pirolízis-kokszt keletkezik. A hulladékkezelés második lépésében a pirolízis-gáz és a pirolízis-kokszt utókezelése történik.

Elgázosítás során részleges oxidáció történik kevés levegővel, ($\lambda < 1$). Az elgázosítási folyamatokkal csaknem valamennyi hulladék feldolgozható, de igényesebb az előkészítés, mint a többi eljárásnál. A folyamat során tisztítandó nyers gáz és megolvadt szervesetlen maradék keletkezik. A gáztisztítást követően a gáz energetikailag hasznosítható.

A termikus hulladékkezelési eljárások első technológiai lépése általánosságban arra szolgál, hogy a különféle hulladékokat termikusan kezeljék annak érdekében, hogy a különféle vegyületek megfelelően felbomljanak, az inert anyagok eltávozzanak és a hasznosítható anyagokat vissza lehessen nyerni. A második technológiai lépés vagy a gőztermeléssel vagy egyéb energetikai hasznosítással van összekapcsolva. Valamennyi technológiához elő- és utókezelések is tartoznak, amely alatt pl. a hulladék előkészítését, a maradvány kezelését, a víztisztítást vagy a füstgázkezelést értjük.

6.1.1 Égetés

A hulladékban lévő éghető anyagok megfelelő feltételek mellett elégethetők, azaz a hulladék égetés exoterm folyamat. Az égetés során a hulladék szervesanyag-komponensei a levegő oxigénjével reagálva gázokká, vízgőzzé alakulnak és füstgázként távoznak az égető rendszerből. Az éghetetlen szervesetlen anyag salak vagy pernye formájában marad vissza. A hulladékégetés gyakorlatában a legkülönbözőbb típusú, összetételű és halmazállapotú anyagokat kell elégetni. Ez az égetési folyamatokat meglehetősen bonyolulttá teszi. A

kifogástalan égetéshez megfelelő áramlási viszonyokat, tartózkodási időt és kellő mennyiségű levegőt kell biztosítani.

Az égés nagy hőmérsékleten, bonyolult sok lépcsőben végbemenő vegyi reakciók sorozata, amelynek célja a hulladék szerves anyagának minél tökéletesebb oxidációja. Hulladékok égetésénél a nagy hőmérséklet hatására olyan folyamatok is végbemennek, amelyek a hulladék lebomlását eredményezik, pl. klór kötések lebomlása sósavvá vagy a fém-kloridok, szulfátok képződése.

A tökéletes égetéshez az éghető anyagon kívül szükséges:

- elegendő oxigént tartalmazó égéslevegő;
- megfelelő égéstér hőmérséklet;
- az égés folyamatához szükséges idő;
- a fejlődő éghető gázok és az égéslevegő intenzív keveredéséhez szükséges turbulencia.

Az égést a lebontási és az égetési hatásokkal szokták jellemezni ([LÁBODY J.: Veszélyes hulladékok égetése, korszerű égetőművek üzemeltetése I. - II.; 2000; Budapest; NETI Kft.](#)).

Tökéletes égés a technológiai paraméterek pontos betartása és jó konstrukciójú égésterekben, megfelelő szabályozással valósítható meg.

A teljes oxidációs égéstechnológiában a hulladék az első égéstérben (a kemencében) a sztöchiometrikus levegőigény 1,5 – 2,5-szeresének megfelelő égéslevegővel intenzíven érintkezve 90- 95 %-os hatásokkal oxidálódik. Alacsony fűtőértékű hulladék égetésekor az előírt – általában 850 °C körüli – hőmérsékletet földgáz vagy olaj tüzelőanyaggal működő támasztóégővel kell biztosítani. A kemence tüztér hőmérséklete a hulladék beadagolása után azonnal nőni kezd és kb. 5-7 perc után eléri a maximumát. Az adagolás környezetében a falazat hőmérséklete magasabb, mint a tüztér hőmérséklete, ezért az intenzív hősugárzás nagyon rövid idő alatt megindítja a kigázosodás folyamatát. Az égés vegyi reakciói gyorsak, azaz az égés sebessége nagyobb, mint a bomlási sebesség.

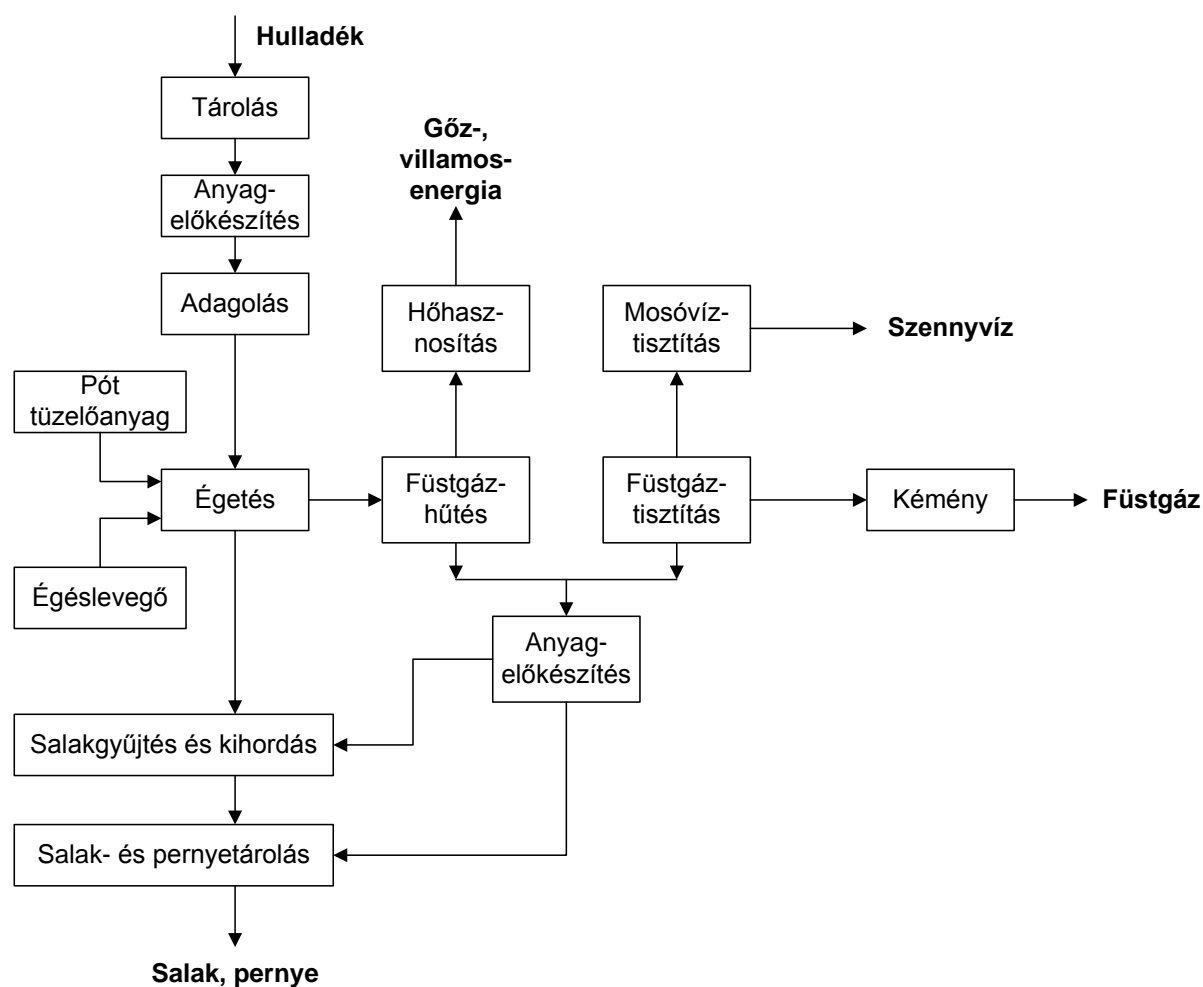
A még 5-10 % éghető gázt, illórészt tartalmazó füstgáz az **utóégető kamrába** áramlik, ahol az előírt hatásfokú égetés befejeződik. A gáz áramlása az utóégető kamrában lelassul és a turbulencia – a nagy sebességgel befűvott szekunder levegő keveredése ellenére – lecsökken. Az előírt – általában 850 °C vagy 1100 °C - hőmérsékletet csak olaj vagy földgáz póttüzeléssel lehet tartani. Ennek oka az, hogy a kamrában hőveszteség lép fel, valamint a szekunder levegő befűvása is hűlést okoz. Az általános előírások szerint a füstgáznak az utóégető kamra szekunder

levegősugár feletti terében legalább 2 másodpercig kell tartózkodnia, hogy a füstgázban maradt éghető anyagok tökéletesen elégjenek. Szénhidrogének, műanyagok tökéletes, korommentes elégetéséhez a 2 másodperces tartózkodási idő általában kevés.

6.1.1.1 Az égetés fő technológiai lépései

A hulladék kezelési technológiák első fő technológiai lépése a hulladék átvétele és feldolgozás előtti tárolása. Az égetés előtt ismerni kell a hulladék főbb jellemzőit pl. halmazállapotát, jellemző méretét, összetételét, fűtőértékét, sűrűségét, a hamu olvadási jellemzőit, halogén- és fémtartalmát, mérgezőanyag-tartalmát stb.

A hulladék égetés általános technológiai lépései a **40. ábra** láthatók.



40. ábra. A hulladék égetés technológiai blokkvázlata

Az égetésre történő beadagolást a hulladék előkészítése – esetenkénti aprítása és összetételének megfelelő keverése – előzi meg. Az égetés az első égéstérben, a kemencében kezdődik, amely kialakítása a hulladék típusától és halmazállapotától függően különböző lehet. Az első égőtérhez csatlakozik az utóégető kamra, melynek feladata az első tüztérben végbement tökéletlen égés befejezése. Az égésterekből kilépő forró füstgázok lehűtése és hőtartalmának hasznosítására a hőhasznosító kazán szolgál. Az itt előállított gőz hő- vagy villamos energia formájában hasznosítható. A hőhasznosítót elhagyó füstgáz káros komponenseinek, emissziós határértékre történő csökkentését, a füstgáztisztító rendszer végzi. A tisztított füstgáz a kéményen keresztül jut a szabadba. A füstgáztisztítás során keletkező szennyvizek tisztítását a vízkezelő rendszer, míg a szilárd égési maradékok kezelését a salak- és pernyekezelő rendszer biztosítja.

6.1.1.2 Tárolás, előkészítés

A hulladékot az átvétel után tárolják, szilárd hulladék esetén megfelelően kialakított bunkerben. Mozgatását és adagolását általában polipmarkolós híddaruval oldják meg. A nem szivattyúzható iszapot és a nagy-viszkozitású, pasztaszerű anyagokat megfelelően kialakított – esetleg fűthető – bunkerban tárolják, mozgatását, adagolását serleges markolóval ellátott híddaruval végzik. A szivattyúzható és folyékony hulladékot zárt tartályban vagy hordóban tárolják. Mozgatását, adagolását megfelelő szivattyúk biztosítják.

A bunkerből a szilárd hulladék a garaton keresztül csúszik az adagoló berendezésbe. Az adagolók folyamatosan juttatják a hulladékot a tüzeléstechnikai és terhelési viszonyoknak megfelelő mennyiségben a tüztérbe.

6.1.1.3 Hulladék égető berendezések

A hulladékok égetésére sokféle műszaki megoldás létezik. A legkedvezőbb megoldás általában az elégetésre kerülő hulladék összetételének és tulajdonságainak ismeretében, valamint a szabályozás szempontjainak figyelembe vételével kerül kiválasztásra.

A hulladékok égetésére használt berendezések lehetnek:

- a hulladék égetésére tervezett speciális égetők,
- más célú ipari berendezések, amelyekben a technológiának megfelelő égetés mellett történik a hulladék együtt égetése.

A tüzelőberendezések kialakításuk szerint

- rostélytüzelésű,
- rostély nélküli,
- fluid-ágyas

hulladék égető berendezésekre oszthatók.

Rostélytüzelésű berendezések

A rostélytüzelésű berendezések főleg kommunális és termelési szilárd hulladékok égetésére alkalmazzák. Bizonyos korlátozásokkal azonban iszap halmazállapotú termelési hulladékok égetésére is használhatók. A rostélyos égető berendezés fontos feladata a tüzelőanyag réteg lazítása, átforgatása és homogenizálása. Ez biztosítja azt, hogy az elégetendő anyag gyorsabban égő alkotórészeit a rácson lévő lyukakon el lehessen távolítani. A rostély-rendszer a szárítás, a gyújtás, égetés, kiegészítő reakció folyamatának megfelelően szabályozható, melynek megfelelően a tartózkodási idő és az égés levegőigény változtatható.

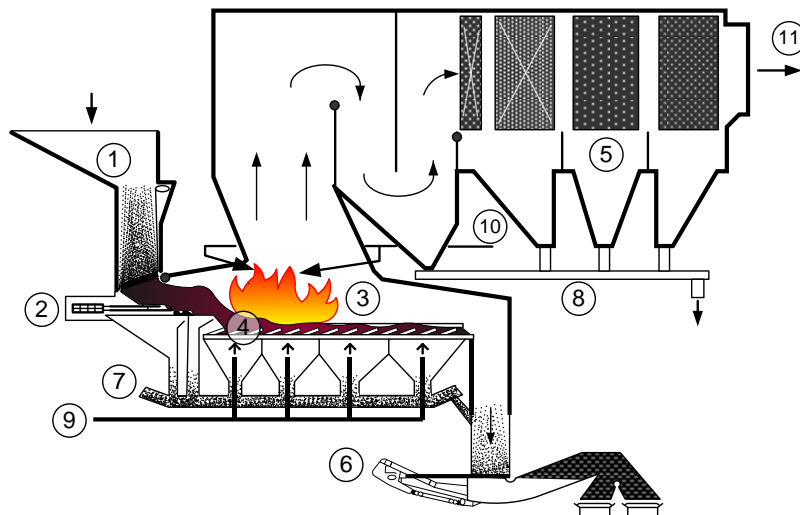
A kommunális hulladékot égető rendszerek legtöbbször rostélytüzelésű. A rostélyos tüzelő rendszer egyszerűsített működési vázlata a **41. ábra** látható.

Az ilyen rendszerű hulladékégető fő részei: a szemét behordó és tároló, az elégető rostély, a hőhasznosító kazán, valamint a füstgáztisztító egység. A kazánban termelt gőz energetikai célokra hasznosítható.

A hulladék a tároló rendszerből, a tölcseren és aknán keresztül jut az égető térbe. A rostélyra változtatható sebességű előtoló berendezés szállítja a szemetet. A rostélyok kialakítása igen különböző lehet. Használhatnak vízszintes elrendezésű, ellenirányban működő ún. fölétoló rostélyt, vagy ferde, egyirányban mozgó előtoló rostélyt is. Alkalmazzanak hengerekből álló változtatható fordulatszámú rostélyt is. **42. ábra** a lépcsős vándorrostély (a.), a visszatoló rostély (b.) és a lépcsős előtoló rostély (c.) elvi kialakítása látható.

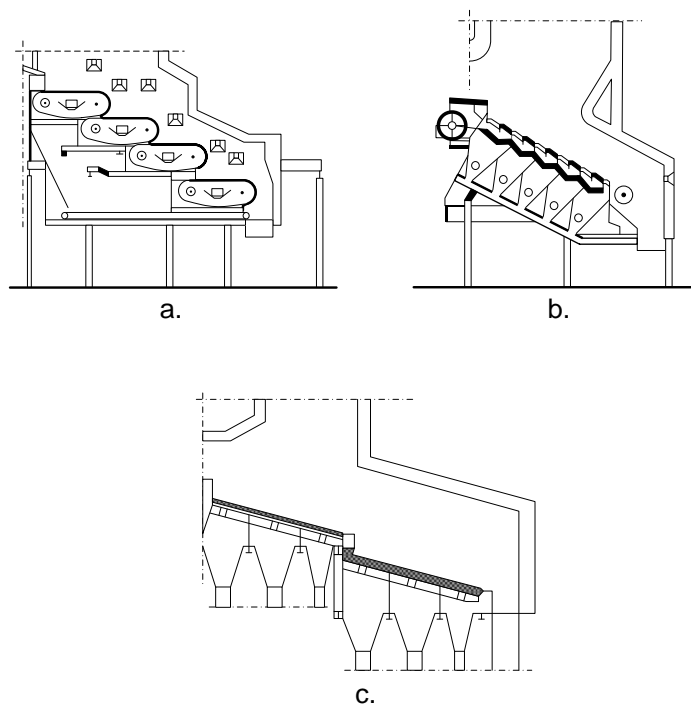
A rostélyon feldolgozható szemét tömegárama általában 6 – 40 t/h között változik. A rostély alatt – kamrákra osztva – vezetik be az égéslevegőt. A szemét –összetételtől függően – 30 - 90 percet tartózkodik a rostélyon, miközben kiszárad, 100 – 250 °C-on kigázosodik. 300 °C körül meggyullad, 500 °C felett elgázosodik, majd a gáz és a szemcsék nagy hőmérsékleten elégnak (kb. 1200 °C). Az égés az utóégető kamrában fejeződik be, a szekunder levegő segítségével.

A füstgáz ezt a tüzetert mintegy 800 – 900 °C –on hagyja el. Az utóégetőhöz csatlakozó hőhasznosító kazánban a gáz hőtartalmát gőz termelésére hasznosítják.



1. tölcsér és szemétakna; 2. adagoló; 3. égetőtér; 4. rostély; 5. hőhasznosító kazán;
6. leszalakoló; 7. rostélyhulladék elvezetés; 8. pernyeszállító rendszer; 9. primer levegő;
10. szekunder levegő; 11. kilépő füstgáz

41. ábra. A rostélytüzelés szerkezeti vázlata



- a.) lépcsős vándorrostély; b.) visszatoló rostély; c.) lépcsős előtoló rostély

42. ábra. Hulladékégetők rostély típusai

A rostélyról a salak általában a vízkádba hullik. Megfelelő kiégés érdekében a rostélytüzelésnél nagy légfelesleget $\lambda = 1,6 - 1,9$ -et kell használni, ami miatt viszonylag nagy lesz a fajlagos füstgázmennyiség, költséges a füstgáztisztítás. Ez az égetési technológiai – az indítás kivételével - nem igényel kiegészítő tüzelőanyagot. Előnye az eljárásnak, hogy a csatlakozó gőzfolyamattal – tisztán kondenzációs villamos-energia termelésben – viszonylag jó hatásfokot lehet elérni. A kommunális hulladék elégetéséhez nem szükséges különleges előkészítés. Világszerte sok száz rostélytüzelésű kommunális hulladék égető üzemel.

Rostély nélküli hulladékégetők (Forgódobos kemence)

A rostély nélküli hulladék égetők főként a tüztér kialakításában különböznek a rostélyos berendezésektől. A rostély nélküli berendezések tüztere általában hengeres, ezáltal majdnem kétszeresére növeli a hőszugárzás intenzitását. Ezek a berendezések típustól függően salakolvasztásos üzemmódban is üzemelhetnek. Lényegesebb típusaik a forgódobos kemencék, emeletes kemencék, fluidizációs kemencék, egyéb speciális tüzterek.

Hulladékok égetésére a rostély nélküli kemencetípusok közül legelterjedtebben a forgódobos kemencét alkalmazzák. A kemence ebben az esetben tűzálló falazattal kibélelt hengeres tüztér, amely a vízszinteshez képest enyhén lejt és lassan forog.

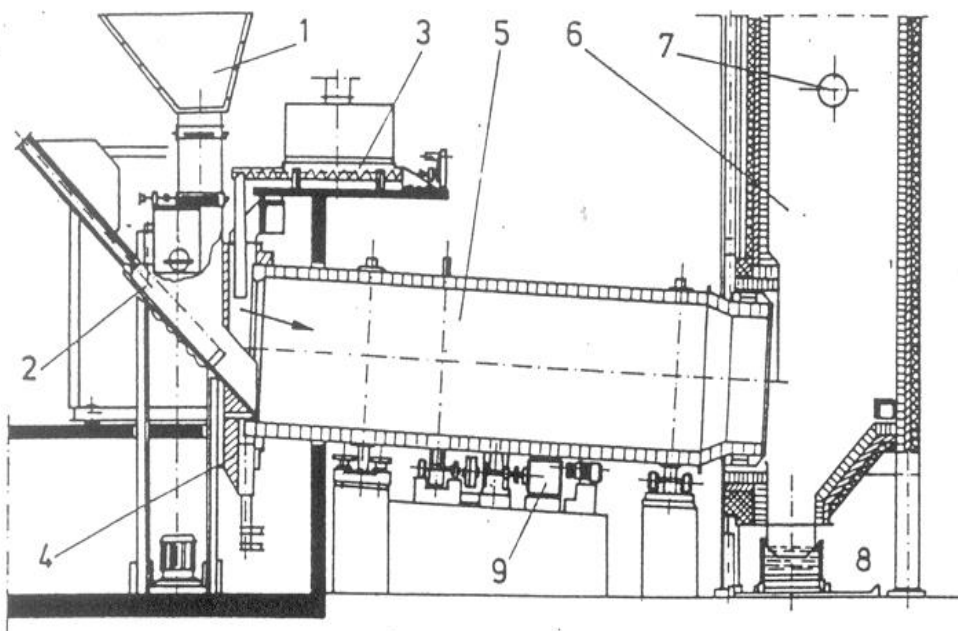
A kemencébe betáplált hulladék folyamatosan keveredik, a keveredés során fellazult anyagból a bomlási és égési gázok gyorsan távoznak, és ezáltal viszonylag gyors és egyenletes égés érhető el. A hulladék mozgása a dobban kétirányú. Egyrészt a henger palástjával együtt mozog, majd visszacsúszik, miközben tengely irányban is elmozdul. Ez a kétirányú mozgás az anyagforgalom és a tökéletes égés szempontjából is kedvező. A hulladék és a füstgázok áramlása egyirányú, ami a szárítási-gyulladás zónából származó bomlási termékek forró zónán való átvezetését teszi lehetővé, és így lényegesen javul a kiégés hatásfoka.

A rostély nélküli hulladékégetők főleg folyékony és pasztaszerű hulladékok, valamint iszap elégetésére alkalmasak. A forgódobos megoldás a szilárd anyagok mozgatását is megoldja, ezért sok esetben alkalmazzák szilárd hulladékok eltüzelésére is.

A veszélyes ipari hulladékok, olajos, oldószeres, tisztítószeres, vegyszeres, kórházi hulladékok elégetéséhez a rostélytüzelésnél alkalmazott hőmérsékletnél nagyobb égetési hőfokra van

szükség, ezért ezen anyagok égetéssel történő megsemmisítését túlnyomórészt forgó csőkemencében hajtják vége.

A technológia lényege, hogy a bezsilipelt szilárd anyagokat, a lándzsákon át bevezetett folyékony vagy pasztaszerű anyagokat a lassú forgásban lévő tűzálló falazattal ellátott csőkemencében, a légkörinél kissé kisebb nyomáson, de nagy hőmérsékleten kiégetik. A salak folyékony állapotban, gravitációs úton folyik ki. A füstgázzal távozó, még éghető részeket (korom, CO, szénhidrogének stb.) pedig az utóégető kamrában kiégetik. A füstgáz a hőhasznosító kazánban lehűl, majd ezt követi a füstgáztisztító rendszer. A forgó csőkemencés égető rendszer vázlatát a **43. ábra** látható.



1. szilárd anyag beadagolása; 2. hidraulikus adagoló; 3. csigás adagoló iszap beadagolásához; 4. kemence fejrésze; 5. falazott forgódobos kemence; 6. utóégető; 7. folyékony hulladék égetése; 8. salak kihordó; 9. hajtómű

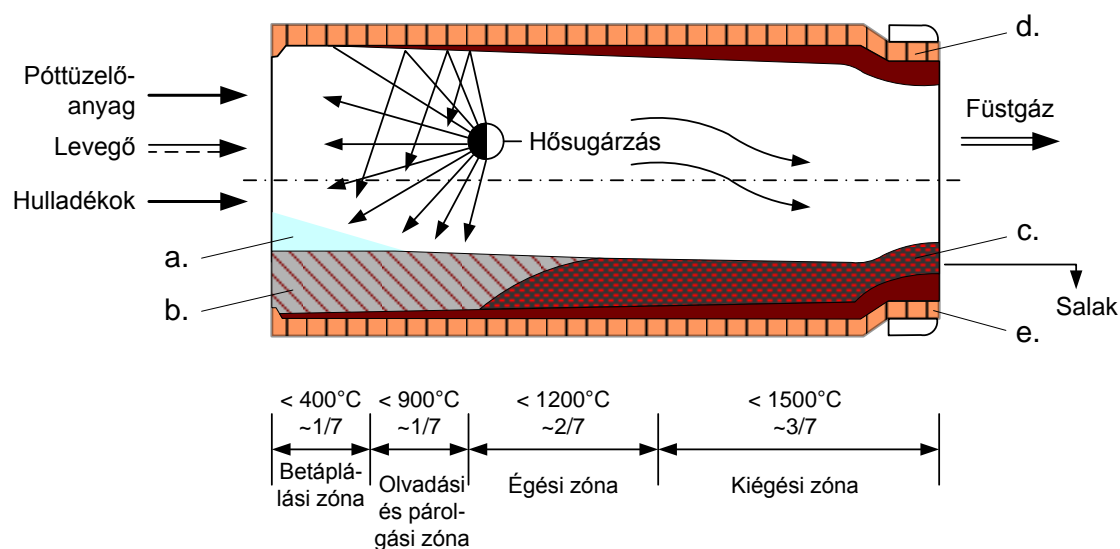
43. ábra. Forgó csőkemencés égető rendszer vázlatát

Égetési folyamat a kemencében

A szilárd anyag égése időben és térben hosszú folyamat. Ha a szilárd anyag egy hosszabb kemencében halad előre, akkor az égés lefolyását zónákra lehet osztani. A forgódobos kemencében kialakuló hőmérsékleti szakaszokat a **44. ábra** mutatja.

Az első zónában – a betáplálási zónában - az anyag felmelegedése és kiszáradása történik. A levegőigény minimális, mert csak a vízpára eltávolításához szükséges. A teljes kemence hossz tekintetében ez kb. 1/7 részen megy végbe.

A második zónában - 400 – 900 °C közötti hőmérsékleten – a hulladék kigázosodik és eltávozik az illó rész. Ebben a zónában a hulladék fölötti gáztérben keveredik az illórész a levegővel és a gáz/gáz reakció közben alakul ki a láng. Az illórész fűtőértéke nagy, az égéshez sok oxigén kell, a láng hőmérséklete 700-800 °C fölött van, de elérheti az 1400 – 1500 °C-ot is. Az égéslevegő legnagyobb részét ebbe a zónába kell bevinni és összekeverni az éghető gázokkal.



a. vízgőz; b. éghető anyag; c. salak; d. salak olvadék; e. falazat

44. ábra. A forgódobos kemence hőmérsékleti szakaszai

A harmadik zónában ég ki az elkocszosodott szén. Ezt nevezik égési zónának. Az égés az anyag felületén zajlik le. Az oxidáció térben és időben hosszú folyamat, lassíthatja az égést a füstgáz alacsony oxigén-koncentrációja. Ez a szakasz a teljes kemence hosszának kb. 2/7-ét jelenti.

A kemence utolsó szakasza - a teljes hosszúság kb. 3/7 része - a salak kiegészi zónája. Tulajdonképpen itt is elsősorban karbon égés történik, de a salak széntartalma olyan kevés, hogy az égés alig termel hőt, önfenntartó égés már nem lehetséges ebben a zónában, ezért külső hőforrásra van szükség. A külső hőforrás a salak fölött áramló forró füstgáz.

Forgódobos kemence jellemzői

A kemence fordulatszáma általában 0,2 – 2 fordulat/perc körül van, dőlésszöge 2 - 4° között változik. A fordulatszám és a dőlésszög változtatásával szabályozható a hulladék tartózkodási ideje. Az anyag jellemző összetételétől függően a hulladék kiégési időtartama kb. 15 – 70 perc.

A forgódobos kemence kb. 20 t%-ig tölthető fel hulladékkal. A dob tűzálló falzatának belső terelőfogakkal való kiképzése a hulladék tartózkodási idejének meghosszabbítását és a belső turbulencia növelését eredményezi.

A légfelesleg-tényező a szerkezeti okok miatt meglehetősen nagy $\lambda = 2 - 2,5$. Ez jelentősen növeli a ventilációs igényt. A dob szokásos átmérője 3 - 4 m, hossza 8 - 13 m.

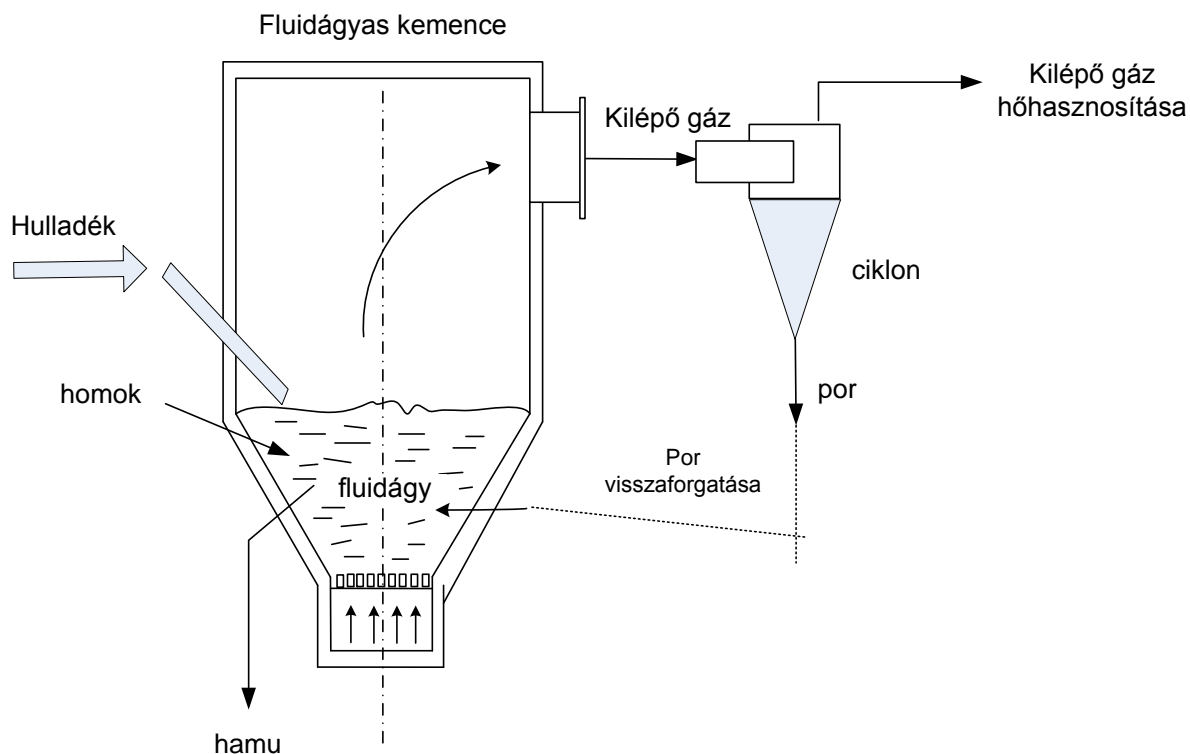
Fluidizációs kemence

A fluidizációs (örvényágyas vagy fluid ágyas) kemence folyékony, pasztaszerű, aprított szilárd hulladék és iszap kezelésére is alkalmas. Az intenzív hő- és anyagátadás miatt igen nagy fajlagos égetési teljesítmény érhető el.

A fluidizációs kemence égéstere henger alakú, melynek alján megfelelően kiképzett tartó rostélyon finom, szemcsés ömlesztett anyagból álló réteg helyezkedik el. Ezt az anyagot a rostélyon átfúvott levegőáram tartja lebegő, örvénylő mozgásban. A kemence szerkezete egyszerű, mint azt a **45. ábra** mutatja.

A fluidizációs kemencében technológiai szempontból alapvetően egyenáramú folyamat megy végbe. Az égetendő anyag a fluid ágy rétegére esik, vagy részben az fluid réteg felett porlasztják be. Az elgőzöltetéssel, bomlási és kigázosodási reakciókkal a komponensek illóvá válnak, jól elkeverednek az égéshez szükséges levegővel, majd az örvényréteg felett elhelyezkedő gázzrétegig jutnak és ott reagálnak. Az ehhez szükséges tartózkodási idő rövid. A szilárd anyagrészeszkéket, amelyek gyakran hosszabb kiégetési időt igényelnek tovább tartják az örvényágyban. Az égetési zóna felett helyezkedik el a fő égéstét, amelynek térfogata az égésgázok tökéletes kiégetési követelményeinek megfelel. Az égés javítására esetenként a fő égéstérbe szekunder levegőt is fújnak be. A kemence szokásos tüztér hőmérséklete 750 – 850 °C. A fluidizációs kemence szokásos légfelesleg-tényezője: $\lambda = 1,1 - 1,3$. Az égés során visszamaradó hamu a kemence fejrészén távolítható el vagy az örvényágyból az ágy anyagával együtt vehető ki. Felső eltávolítás esetén a hamu a füstgáztisztító berendezésbe kerül

leválasztásra. Az ágyal együtt történő kihordás során közvetett vagy közvetlen hűtésről kell gondoskodni.



45. ábra. A fluidizációs kemence vázlata

6.1.1.4 Utóégető kamra

Az utóégető kamra feladata az első tüztérben végbement tökéletlen égés befejezése. Az utóégető kamrában az intenzív lángsugárban elégtelen anyagokat (pl. a folyékony hulladékokat, gázokat) közvetlenül, egy lépésben is el lehet égetni. A szilárd, a pasztaszerű anyagok el- és kiégetéséhez hosszú időre van szükség. Ez a folyamat az első égéstérben játszódik le. Itt a hulladék kiszáradása, kigázosodása, karbonégése és a salak kiégése az anyag felületén játszódik le.

Az utóégető kamrában egészen mások az égés körülményei, mint az első égéstérben. Az utóégető kamrában – bár gyors gáz-gáz reakciók zajlanak le – mégsem lehet az égés körülményeit kedvezőnek tekinteni.

Az utóégető kamrában:

- kedvezőtlen az oxigén és az inert gázok koncentráció aránya, melyen szekunder levegő befújással lehet javítani;
- a nagyhőfokú viszkózus füstgázokat nem lehet intenzíven összekeverni a szekunder levegővel, a sok fűvókára elosztott szekunder levegő keveredés nélkül pászmákban áramlik az állandó keresztmetszetű kamrában;
- a még éghető komponensek koncentrációja nagyon lecsökken, ezért az oxigén molekulákkal történő ütközés valószínűsége is romlik;
- a tűzálló bélés falhatása és az élek mentén kialakuló holtter rontja az égetés hatásfokát;

Az utóégető kamrában az égetés, lebontás hatásfokát javítja.

- kör- vagy ellipszis- vagy többsarkú keresztmetszet;
- az áramlás lassítása vagy gyorsítása azáltal, hogy a kamra hossz tengelye mentén változó keresztmetszetet alakítanak ki;
- az áramlás irányváltoztatásával, valamint az áramlás perdítésével;
- a gázáram ütköztetése nagysebességű lángsugárral;
- a minimálisan előírt tartózkodási idő megnövelése;
- a koromképző vagy nagyobb PCDD/PCDF tartalmú hulladékok égetésénél nagyobb tüztér-hőmérséklet biztosítása;
- folyékony hulladékok égetése célszerűen elhelyezett égőkkel, amelyek a füstgáz-áram útját megtörik.

Az utóégető kamrában csak olyan folyékony hulladékot szabad égetni, amelyek nagyon finom cseppekre porlaszthatók, mivel csak így módon javíthatják az égetési viszonyokat. Az utóégető kamrát vastag hőálló béleléssel és többrétegű hőszigeteléssel látják el, a hőveszteségek csökkentése érdekében.

A **43. ábra** a forgódobos csőkemencét követő utóégető kamra elhelyezése látható.

6.1.1.5 Hőhasznosítás, füstgáz hűtés

Az égéstérből kilépő nagyhőfokú füstgázokat le kell hűteni a füstgáztisztítási technológia hőmérsékletére. A hűtéssel elvont hővel gőz vagy forró víz állítható elő. Hőhasznosítás során tulajdonképpen hőcsere jön létre. A gőzfejlesztő berendezésekre a kazán elnevezés, míg a kisebb teljesítményű forró víz előállító rendszerekre a hőcserélő elnevezés terjedt el. A hőhasznosítóba belépő füstgáz hőmérséklete 850 – 1300 °C között változik. A különböző hőmérsékletű füstgáz több problémát vehet fel. 950 °C fölött a pernye ragadóssá válik, a kazán

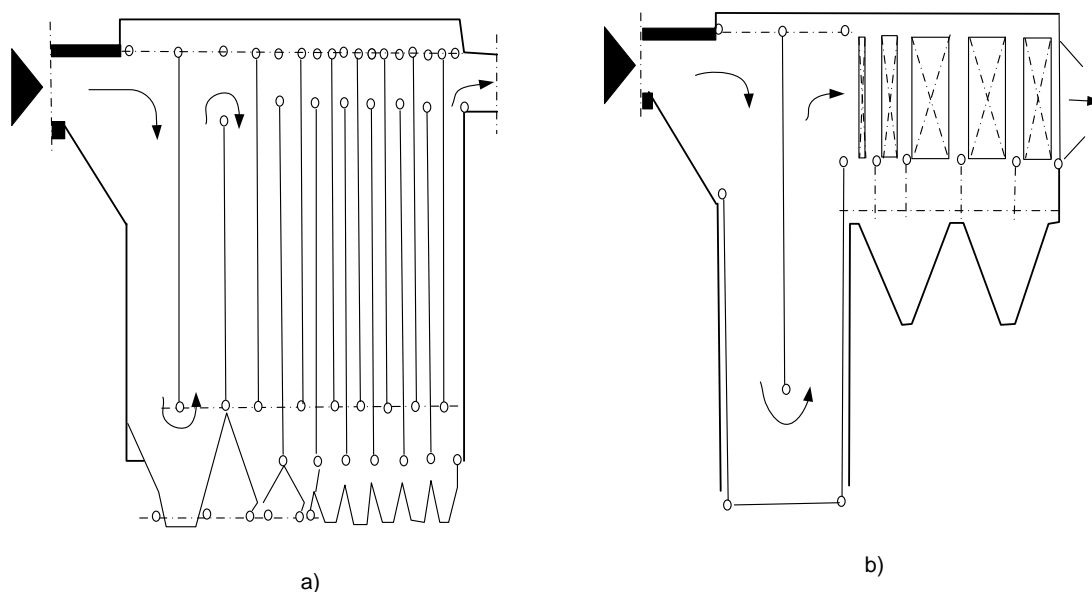
csőrendszerének hidegebb pontjaira dermedhet. 1300 °C körüli hőmérséklet problémákat okozhat a csőrendszer hőterhelésének szempontjából. Változó füstgáz-hőmérséklet együtt jár a füstgáz térfogat áramának megváltozásával. A hőhasznosító kazánban a legkomolyabb problémát a savas gázok harmatponti hőmérséklete jelenti. A korrózió elkerülhető vagy csökkenthető, ha a füstgáz hőmérséklete (SO_x , HCl, stb. koncentrációtól függően) 140 – 180 °C fölött van.

Ezért a hőhasznosítóban a füstgázt - a füstgáztisztító berendezés hőtűrő képessége valamint a sav-harmatponti problémák elkerülése miatt - általában 250 – 350 °C-ra kell lehűteni.

A füstgáz hűtés közvetlen módon is megoldható, amikor a füstgáz ágba közvetlenül hideg levegőt vagy vizet permeteznek be. A közvetlen víz bepermetezés (ún. kvencselés), olyan esetekben szokásos, amikor a füstgázban található gázkomponensek koncentrációjának gyors csökkentését kell biztosítani vagy újra alakulásából adódó koncentráció növekedését kell elkerülni. Ilyenkor a füstgáz gyors és intenzív hűtése szükséges, pl. a dioxin/furán vegyületeket tartalmazó füstgázok esetében. Szokás ezt a módszert alkalmazni kis kapacitású, kis hőtéljesítményű hulladékégetők esetében is. A vízbepermetezéses hűtés nagyon hatékony megoldás, azonban hátránya, hogy a vízgőz növeli a füstgáz reakcióképességét és megnövekszik a továbbiakban kezelendő füstgáz mennyiség is. Alkalmazható a vízbepermetezéses és a levegő befűvós hűtés kombinációja is. Ekkor a vízbepermetezéses hűtést csak a nagyobb hőmérséklet tartományban használják kb. 500-600 °C-ig, majd ezután levegő hozzákeveréssel végzik a hűtést. E kombinált módszerben a füstgáz mennyisége közel kétszeresére nő, vízgőz koncentrációja pedig közel megegyezik a tüztérből távozó füstgázéval.

A füstgáz közvetett módon történő hűtése a már említett kazánokban, hőcserélőkben történik. Az itt előállított meleg víz, gőz vagy villamos energia az értékesíthetőség függvényében csökkenti a hulladék égetés költségét. A hulladékégetők kazánjai általában természetes, vagy kényszeráramlásúak, 3-5 huzamúak, leggyakrabban a függőleges huzamú vagy az L- megoldást alkalmazzák, melyek vázlata a **46. ábra** látható.

Az L-alakú megoldás akkor előnyösebb, ha nagy a füstgáz portartalma. Ekkor a konvektív fűtőfelületeket a vízszintes huzamban helyezik el, így ezek egyszerűen tisztíthatók. A pernye olvadási jellemzői és a füstgázok nagy portartalma miatt gondot kell fordítani a lerakódások csökkentésére, ezért lehetőleg párhuzamos áramlási viszonyokat és a szokásosnál nagyobb csőosztást kell biztosítani.



a.) Függőleges huzamú kazán b.) L- alakú kazán

46. ábra. Tüztér után kapcsolt kazántípusok

A kazán fűtőfelületeinek tisztítására a besugárzott huzamokban pneumatikusan vagy villamosan működtetett kopogtatókat használnak, amelyek a lerakódott szilárd anyagok eltávolítását biztosítják. A csököteges fűtőfelületeket, a függőleges huzamú kazánok „hideg” részét gőzös vagy sűrített levegős koromlefúvókkal tisztítják.

6.1.1.6 Füstgáztisztítás

A hulladékok megsemmisítésének számos módszere közül az égetéses eljárás legfőbb előnye, hogy a hulladék legnagyobb mértékű térfogat csökkenése megy végbe és bizonyos mértékű hasznosítható energia is keletkezik, ugyanakkor a füstgáz sokféle nemkívánatos égéstermék is tartalmaz.

Környezetvédelmi szempontból a hulladékégetés egyik legjelentősebb problémája a kibocsátott füstgázok által okozott légszennyezés. A légszennyezés csökkentése érdekében a hulladékégetőkből kikerülő füstgáz szennyezőanyag tartalmát szigorú határértékekkel szabályozzák. A hulladékégetés levegőtisztasági normái az elmúlt időszakban jelentősen megváltoztak, mivel az Európai Unió egységes szabályozási rendszert kíván kialakítani. Ezek az értékek az emberi és az ipari tevékenység megváltozásával, valamint a környezetünkben jelentkező éghajlati változások miatt tovább módosulhatnak.

A hulladékégetőkből távozó füstgáz mennyisége valamint szilárd, gáz/gőz szennyezőanyag tartalma az elégetett hulladék tulajdonságaitól, az égető berendezés szerkezeti kialakításától, az üzemeltetési paramétereiktől függően változik. A hulladékégetőkben keletkezett füstgáz káros anyag tartalma ennek megfelelően igen széles koncentráció tartományban ingadozik.

A kommunális hulladék átlagos összetétele és jellemzői:

Tömeg:	0,3 kg/(nap, lakos)
Térfogattömeg:	157 kg/m ³
Nedvességtartalom:	43,8 %
Kéntartalom:	1- 5 kg/t
Hamutartalom:	14,2 %
Fűtőérték:	6490 kJ/kg

Kommunális hulladékégetők füstgázainak átlagos szennyezőanyag koncentrációja:

Szilárd anyag:	2-15 g/m ³
SO ₂ :	1000 – 3000 mg/m ³
HCl:	2000 – 8000 mg/m ³
HF:	20 – 100 mg/m ³
NO _x :	500 – 1500 mg/m ³
CO:	500 – 1000 mg/m ³

A füstgázokban található egyéb jelentősebb szennyezők lehetnek a különböző nehézfémek (higany, kadmium, ólom stb.), valamint a szerves szénvegyületek (főként policiklusos aromások, dioxin illetve furán vegyületek).

A hulladékégetők füstgázaiban fő légszennyező komponensként tartják számon a szerves és szervetlen porokat, a por-alakú nehézfémeket, az 1 µm-nél kisebb szilárd/folyékony lebegő anyagokat az ún. aeroszolokat, a gőzállapotú fémeket, fémoxidokat, fém-kloridokat, a gázállapotú klór-, fluor-, kén-, nitrogén-, szerves- vegyületeket, szén-monoxidot, valamint a dioxinokat (PCDD) és furánokat (PCDF).

Dioxinok keletkezésének jelenleg egyik, legtöbbet támadott területe a hulladék égetés. A klórozott dioxinok a szeméttel kerülnek be a tüztérbe és egy részük nem bomlik el a tüzelés folyamán. A dioxinok és a furánok a tüzeléskor keletkeznek, klórozott aromás

szénhidrogénekből, mint pl. poliklórozott bifenilekből (PCB), vagy klór-fenolokból (PCF), de a szemét PVC tartalma is lehet „klórhordozó”. Az újonnan keletkezett PCDD/PCDF egy része a tüztérben ismét elbomlik. A dioxinok és a furánok az égetésnél, vagy azt követően a kazán hidegebb füstgáz-hőmérsékletű részeinél keletkeznek szerves anyagok és szervesetlen klórtartalmú vegyületek komplex reakcióinak sorozatában.

Számos égetési eljárás során keletkezik dioxin, azonban nagyobb koncentrációban a városi szemét, a kórházi és ipari hulladékok, fűadt olajok égetése, erdőtüzek során keletkező füstgázokban és a cigarettafüstben van. Az ipari eljárások során a kemikáliák, a színezékek, az ásványolajok gyártása, a papír, a textil, a fa feldolgozás során keletkezhetnek dioxinok.

A dioxin egy vegyületsalád neve. Dioxin elnevezésen a poliklórozott dibenzo-p-dioxin (PCDD) és a poliklórozott dibenzo-p-furán (PCDF) vegyületet, illetve valamennyi izomerjének keverékét értik és ezeket nevezik összefoglalva dioxinoknak.

A poliklórozott dioxinok csoportja 210 vegyületből, illetve izomerből áll. Ezek legtöbbje abban a koncentrációban, ahogy általában előfordul nem jelent veszélyt az egészségre. A 210 vegyület közül 17-ről bebizonyították, hogy toxikus. A dioxin vegyületek toxicitás szempontjából különbözőek. A környezetben a PCDD-k és PCDF-ek csak komplex keverékben fordulnak elő, így a keverékben előforduló komponensek toxicitását súlyzó faktorról veszik figyelembe, amely alapján az ún. toxicitási egyenérték (TE) meghatározható. A különböző kibocsátási forrásokra a határértéket is az ílymódon megállapított toxicitási egyenértékben adják meg (pl. hulladékégetők dioxinokra vonatkozó technológiai kibocsátási határértéke 1×10^{-7} mgTE/Nm³).

Az égetési folyamatok során keletkező dioxinok képződésére a 300-800°C hőmérséklet a legkedvezőbb. Leválasztásuk egyik problémáját az jelenti, hogy a füstgáz csatorna különböző hőmérsékletű helyein újra keletkeznek és átalakulnak, valamint a szilárd részecskék felületén is előfordulhatnak. Az égetés során keletkezésük minimalizálható, ha a füstgáz 1000 °C fölötti hőmérsékleten pár másodpercig tartózkodik. Klórtartalmú vegyületek égetésénél előírás pl. 1150 °C-os hőmérsékleten, legalább 2 másodperces tartózkodási idő biztosítása.

Dioxinok leválasztására számos módszer ismeretes, mivel azonban vízoldhatóságuk kicsi, alapvetően a száraz – adszorpciós elvű – leválasztást alkalmazzák.

A kibocsátás csökkentésének első lépése a jó hatásfokú porleválasztás, mivel a szilárd részecskék felületén is megkötődnek. A porleválasztás szempontjából a száraz elven működő leválasztók bármelyike alkalmazható.

A leválasztás második lépése az adszorpciós elvű emisszió csökkentés. Az adszorbens aktív szén, aktív koks, mészkő stb. lehet. Az adszorpciós megkötés megvalósítható álló vagy mozgóágyas adszorberben (kisebb füstgáz mennyiségek esetén általában a két-vagy több oszloppal működtetett nyugvóágyas adszorpciót, míg nagyobb füstgázmennyiségeknél a csúszóágyas adszorpciót alkalmazzák). A dioxinok adszorpciós elven történő megkötésének egy másik módja, amikor az adszorbens a füstgáz ágba injektálják, majd jó hatásfokú leválasztóban eltávolítják a felületére adszorbeálódott dioxinnal együtt.

A hulladékkezelést követő füstgáztisztítás – füstgáz változó összetételének megfelelően - igen sokféle lehet.

A füstgáztisztítás során:

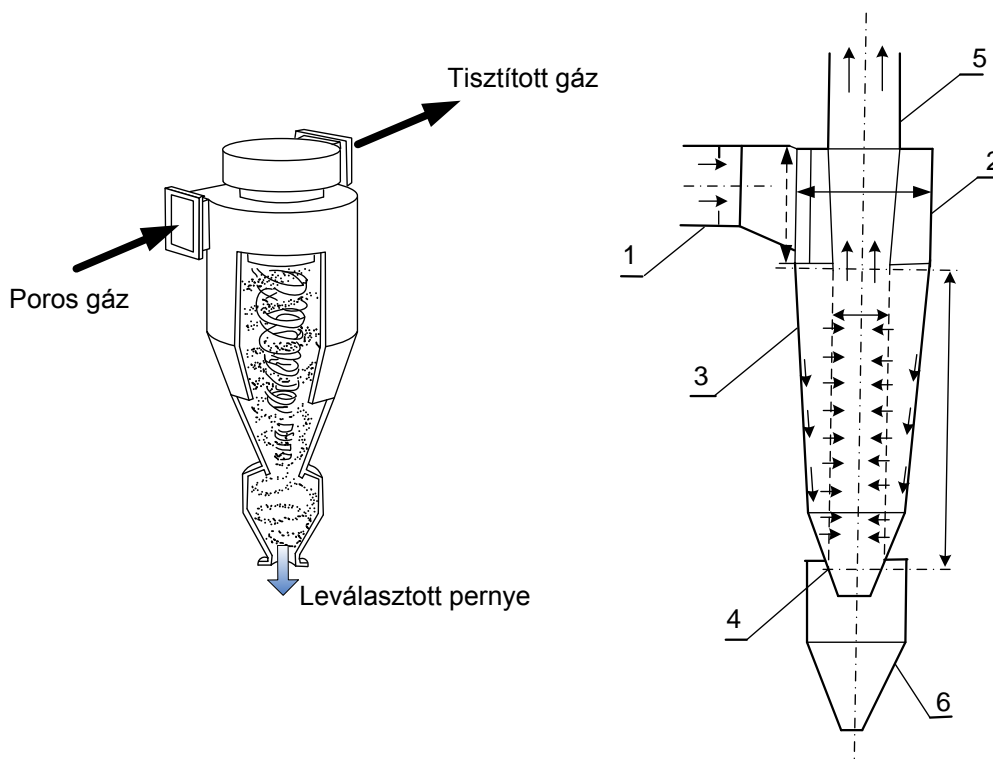
- a szilárd komponensek hatásos leválasztását;
- a folyadékban jól elnyelődő gázkomponensek leválasztását;
- a szilárd anyagon megkötődő gáz/gőz komponensek leválasztását;
- a katalitikus /nem katalitikus redukciókkal történő bontást kell megvalósítani.

A technológiai lépések során általában az első lépés a hőhasznosítót elhagyó füstgáz szilárd alkotóinak leválasztása, az ún. **porleválasztás**. Szilárd komponensek –pl. por, pernye – leválasztására a száraz elven működő leválasztók közül a gravitációs elven működő porkamrákat vagy ütközéses leválasztókat alkalmazhatják. Ezek meglehetősen gyenge leválasztási hatásfokuk miatt általában agresszív, koptató porok esetében előleválasztóként jöhetnek szóba. A hulladékégetők jellegzetes porleválasztó berendezése a porleválasztó ciklon, az elektrosztatikus porleválasztó és a szűrő.

Porleválasztó ciklon

A centrifugális erő elve alapján működő legelterjedtebb mechanikus porleválasztó berendezések, amelyekben mozgó alkatrész nélkül létrehozott centrifugális erő idézi elő a porszemeseknek a gázáramból való leválasztását. A ciklonok általában 10 µm-nél nagyobb méretű szilárd anyagok leválasztására alkalmazhatók jó hatásfokkal. A ciklon fő részei a gázbevezető csomagtartó, a hengeres rész, a kúpos rész, a porkivezető nyílás, a gázkivezető cső vagy merülőcső, a porkivezető nyílás alatti portartály, mint az a **47. ábra** látható.

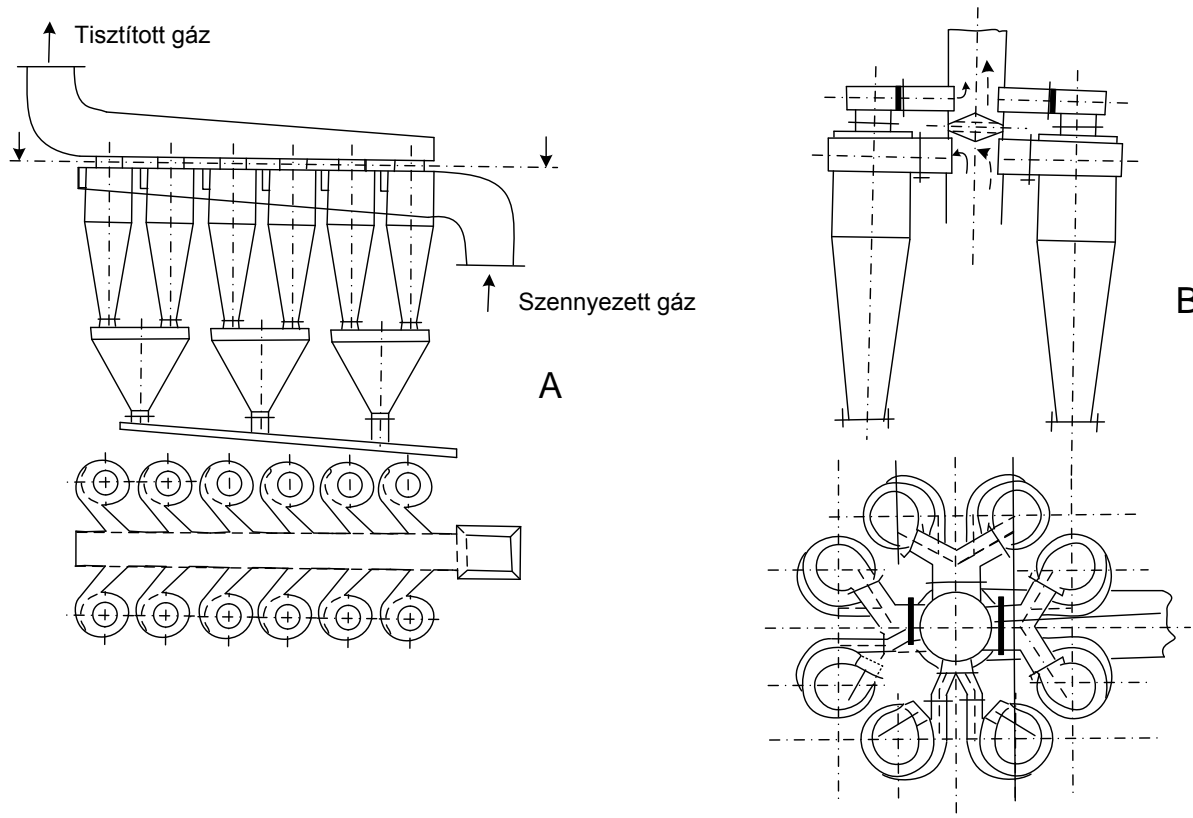
A ciklonban a szemcsék ívelt pályán haladnak, többször körbefutva a leválasztó térben. A körmozgást a ciklontestbe érintőlegesen bevezetett gázáram idézi elő. A centrifugális erő hatására a porszemcsék a leválasztó tér felülete, a hengeres ciklon fala felé vándorolnak, ahol lefékeződve kiválnak a gázáramból. A kivált por a nehézségi erő hatására a ciklon alsó részébe, majd onnan a portartályba jut. A portalanított gázáram a tengely-szimmetrikusan beépített merülőcsövön keresztül felfelé hagyja el a készüléket. A ciklon nem képes minden szennyeződést leválasztani, ezért a finomabb frakciójú porok a gázárammal együtt a kilépő nyíláson keresztül távoznak. A ciklonban igen bonyolult áramlások alakulnak ki. A szemcsékre különböző sebesség-komponensek hatnak, amelyek eredője határozza meg a szemcse mozgásának irányát. A merülőcső átmérőjének megfelelő hengerfelületen áramlanak át azok a porszemcsék, amelyek sebessége a kiválási határsebességnél kisebb és eredő radiális sebességkomponense a ciklon belseje felé mutat. Határszemcsének nevezik, és d_{sh} -val jelölik, a ciklonban még éppen leválasztható méretű részecskét, amelyre ható radiális sebességkomponensek egyensúlyban vannak a $2r_i$ merülőcső átmérőjének megfelelő hengerfelületen. A határszemcse átmérőjét a ciklon geometriai jellemzői, a gázbevezetés módja és a gáz fizikai jellemzői befolyásolják.



1. Gázbevezető csomk, 2. Hengeres rész, 3. Kúpos rész, 4. Porkivezető nyílás,
5. Gázkivezető, 6. Portartály a por összegyűjtésre

47. ábra. Porleválasztó ciklon működési elve és részei

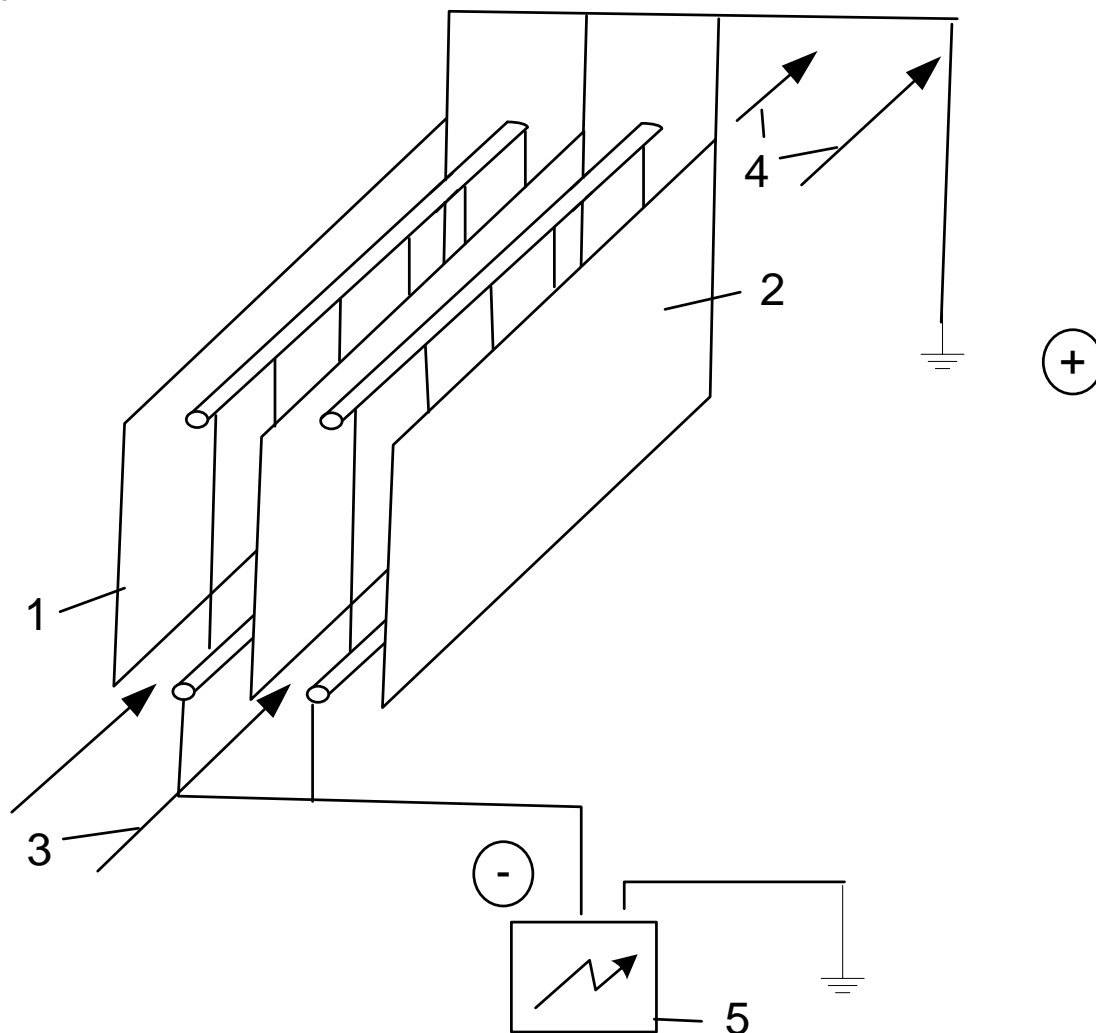
A ciklon átmérőjének csökkentésével a határszemcse átmérője is csökken, ezért ugyanolyan gázmennyiség több kisebb ciklonba történő bevezetésével jobb hatásfokú leválasztás érhető el. Több kisebb átmérőjű összeépített ciklont multiciklonnak nevezik. A **48. ábra** néhány multiciklon kialakítást mutat.



A- hosszirányú elrendezés, B- körkörös elrendezés

**48. ábra. Multiciklon kialakítások
Elektrosztatikus leválasztó**

Az elektrosztatikus porleválasztók igen jó hatásfokkal üzemelő, $1\ \mu\text{m}$ -nál kisebb részecskék leválasztására is alkalmas berendezések. A leválasztó úgy működik, hogy a két elektróda között - a nagyfeszültségű egyenáram következtében - villamos erőtér alakul ki. Az elektródák elnevezése szóró és leválasztó elektróda. Ha az elektródák közötti potenciálkülönbség elegendően nagy, a szóróelektróda közvetlen közelében a villamos térerő olyan mértékű lesz, hogy az ott lévő gázmolekulák ionizálódnak, vagyis pozitív és negatív ionok, szabad elektronok keletkeznek és a stabil (semleges) molekulákkal együtt lesznek jelen. Az elektrosztatikus leválasztó elvi felépítését a **49. ábra** mutatja.



1. szóróelektroda, 2. leválasztó elektróda, 3. szennyezett gáz, 4. tisztított gáz,
5. transzformátor és egyenirányító

49. ábra. Az elektrosztatikus leválasztó elvi felépítése

A szóró-elektroda közelében nagymértékű potenciálesés van, amely megfelelően nagy ionizációs feszültség esetén koronakisülést idéz elő. A koronakisülésnél a gázban lévő szabad elektronok a gázmolekulákkal ütközve további elektronok képződését idézik elő. A negatív töltések a földelt leválasztó elektróda felé áramlanak, ezáltal a teljes leválasztó-teret villamos töltések árasztják el. A porral szennyezett gázzal a koronaterbe jutó porszemcsék a pozitív és negatív töltésű ionokkal ütköznek és felvehetik a töltésüket. Így a szóró-elektrodával azonos töltésű negatív részecskék a leválasztó-elektroda felé vándorolnak, a pozitív töltésűek pedig a szóró-elektrodán válnak le, és ott veszítik el a töltésüket. A szóró-elektrodák különböző alakzatúak lehetnek, melyeket szigetelve függesztik a leválasztó térbe. A leválasztó elektródákat úgy kell kialakítani, hogy a leválasztott port a gázáram ne ragadja magával. Ezt különböző kiálló felületek, áramlási holtterek, ún. zsebek kiképzésével, valamint a leválasztott

port vezető csatornák alkalmazásával oldják meg. Az elektródákat a rájuk leváló portól időszakosan le kell tisztítani. A szárazon működő leválasztók elektródáit úgy tisztítják, hogy a levált porréteget az elektródák ütemes kopogtatásával fellazítják és az porfüggöny formájában hullik a gyűjtőgaratba.

Az elektrosztatikus leválasztók előnye, hogy 0,1 µm-nél kisebb szemcseméretű részecskék – porok, savködök stb.- leválasztására is alkalmasak. A száraz állapotban leválasztott porok a folyamatban újra felhasználhatóak. Ellenállásuk kicsi, karbantartási igényük is kicsi. Normál kivitelben 350 °C-ig, különleges esetben

800 °C-os gázhőmérsékletig használhatók. Hátrányuk a nagy beruházási költség és a nagy helyigény.

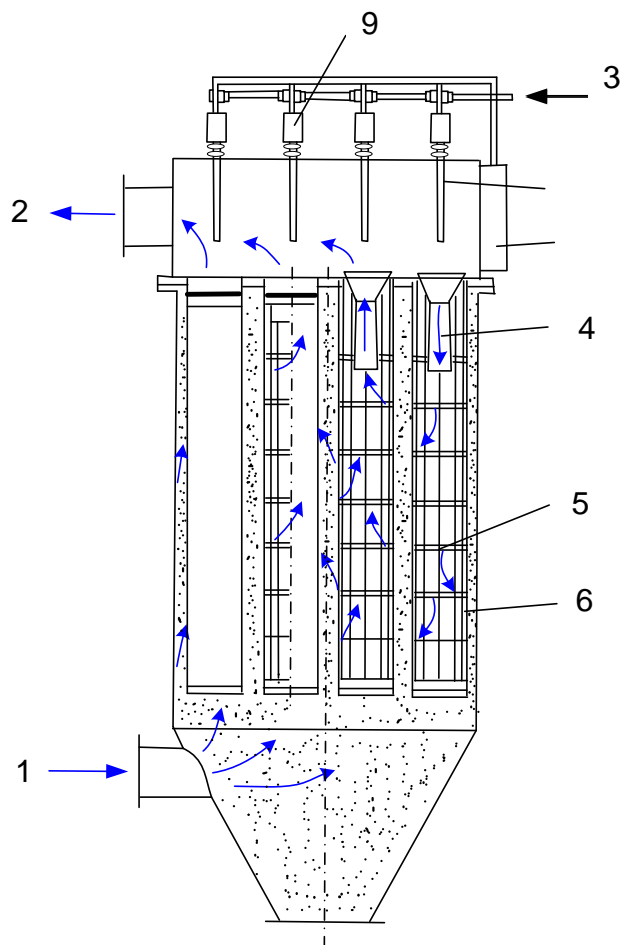
Porszűrő

A szűrés az egyik legrégebben és legáltalánosabban alkalmazott porleválasztási módszer. A szűrőket széles körben használják jó leválasztási hatásfokuk, kis méretű szilárd részecskék leválasztására való alkalmasságuk, viszonylag kis energiaköltségük miatt. Szűréssel 0,1 - 0,01 µm szemcséket akár 99 %-ot is meghaladó hatásfokkal lehet leválasztani.

A nagy portartalmú gázok szennyeződéseinek leválasztására leginkább a szövetszűrők alkalmasak, mivel ezek tisztítása oldható meg a legkönnyebben. A szövetszűrőket nyomó és szívóüzemben is lehet üzemeltetni. A szűrés folyamat során a leválasztandó szilárd anyag a szűrőközegegen visszamarad, amely a szűrőegység ellenállásának növekedését eredményezi. A szűrőberendezésen létrejövő nyomásesés egyrészt a tiszta szűrőréteg ellenállásából, másrészt a szűrőrétegre rakódó porréteg ellenállásából tevődik össze.

A szűrő tisztítása mechanikus és pneumatikus módszerrel történhet. A tisztítási folyamat alatt a gáz hozzavezetését meg kell szüntetni, vagy kamrákra osztott berendezésnél másik kamrába terelni.

Az **50. ábra** ellenáramú levegősugárral tisztított szűrőberendezés látható.



1. szennyezett gáz, 2. tisztított gáz, 3. sűrített levegő, 4. levegőfúvóka,
5. időprogramadó, 6. Venturi-cső, 7. szűrőtömlő, 8. merevítő kosár, 9. mágnes szelep

50. ábra. Nagynyomású levegősugárral működő porleválasztó szűrő

Nedves leválasztók

A füstgáztisztítás második technológiai lépése a folyadékban elnyelődő gőz/gáz komponensek leválasztása ún. füstgázmosókkal, nedves mosókkal.

Nedves eljárással a szennyezett gázból a szilárd anyagokat és egyidejűleg, a hordozógáztól különböző egyéb gáz- és gőzkomponenseket is le lehet választani. A művelet során a szennyezőanyagot tartalmazó gáz érintkezik a megfelelő mosófolyadékkal, majd a tisztított gázt és a szennyező anyagot tartalmazó folyadékot szétválasztják. A porok leválasztása többféle mechanizmus - tehetetlenségi, nehézségi stb. erőhatások - útján megy végbe, míg a gázok leválasztása diffúzióval történik. A nedves mosókat általában 10 μm -nél kisebb porszemcsék leválasztására alkalmazzák, ha a szennyezett gáz csak szilárd szennyeződést tartalmaz, akkor

2-5 μm -nél kisebb méretű porok leválasztásához indokolt.

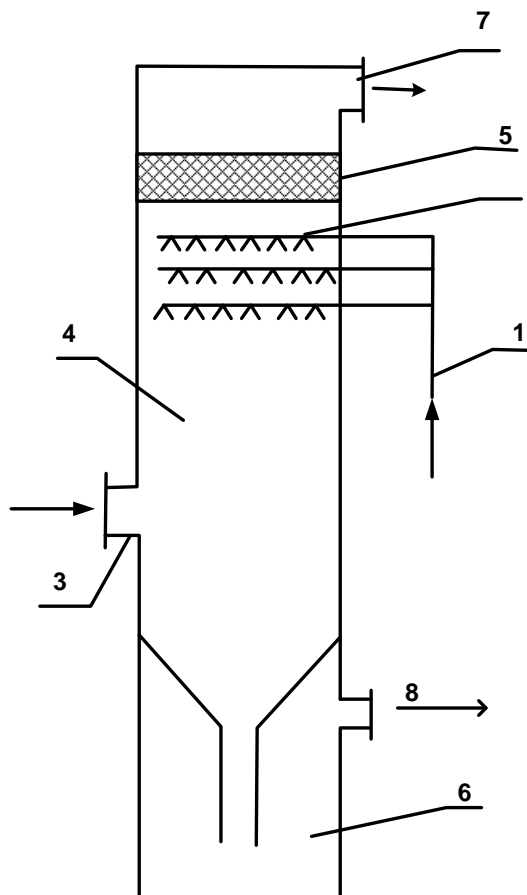
A nedves mosók működési mechanizmusa miatt a gáz és a mosófolyadék intenzív érintkeztetését kell biztosítani, ezért a berendezés olyan belső kialakítására kell törekedni, hogy a porszemcsék és a folyadék találkozási valószínűsége nagy legyen, lehetőség szerint minden porszemcsének lehetősége legyen a vízcseppehez jutni. Gázkomponensek leválasztásánál bekövetkező diffúzió esetén az anyagátadás nagy érintkezési felület esetén intenzívebb, azaz ebben az esetben is nagy érintkező felületet kell biztosítani.

Az intenzív érintkeztetés során a tisztítandó gázba a nedvesség bepárolog illetve a gáz a cseppeket is magával ragadja, ezért a nedves mosók kiegészítője a cseppeleválasztó. A mosófolyadékkal távozó szilárd részek és/vagy leválasztott gázkomponensek a nedves mosó után elhelyezett folyadéktisztító rendszerben választhatók ismét szét.

A nedves mosók széles körben alkalmazott berendezései a **permetező mosók**, melyek egyidejűleg alkalmasak gáz és szilárd anyagok leválasztására. A hatásos érintkeztetést a gáz egyenletes eloszlásával és a folyadék cseppekre bontásával valósítják meg. A folyadékcseppek létrehozására különböző kialakítású porlasztókat használnak. A permetezőtorony általában függőleges elrendezésű, amelybe a mosófolyadékot felülről, a gázt alulról vezetik be. A folyadékot egy vagy több szinten permetezik be. Egy permetező mosó vázlatát a szerkezeti részek megnevezésével az **51. ábra** mutatja.

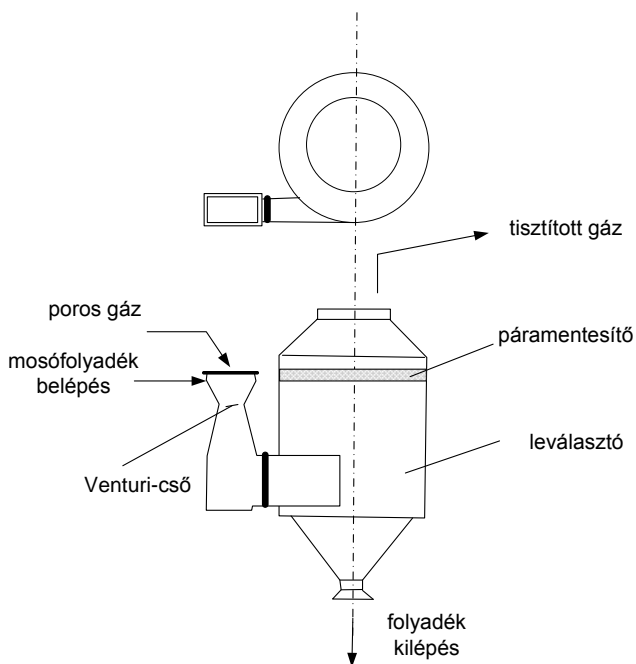
A nedves leválasztók másik jellegzetes kialakítása a **Venturi-mosó**. A Venturi-mosókban a leválasztandó porok a mosófolyadékkal való ütközése a legfontosabb tényező. A folyadékot a Venturi-szakasz torokrézében táplálják vagy porlasztják be. A gázsebesség a torokban a legnagyobb, ahol kinetikai energiája hatására a mosófolyadék finom cseppekre oszlik. A készülékben a gáz és a cseppek örvénylésben vannak, amely kedvez a két fázis érintkezésének, ami nagyon jó leválasztási hatásfokot eredményez. Abszorpciós műveletre történő alkalmazásának korlátja az, hogy a nagy sebességek miatt rövid a tartózkodási idő, ezért inkább kémiai reakcióval kísért abszorpciónál alkalmazzák.

Venturi-mosóknál igen jó porleválasztási hatásfok érhető el még 1 μm -nél kisebb méretű szennyeződések esetén is. A leválasztás hatásossága a mosófolyadék-vivőgáz arányának megváltoztatásával és a toroksebesség növelésével befolyásolható.



1. folyadék bevezetés, 2. cseppképző rész, 3. gáz bevezetés, 4. gáz-folyadék érintkeztető,
5. cseppfogó, 6. folyadék-gyűjtő, 7. gáz kilépés, 8. folyadék kilépés

51. ábra. A permetező mosó felépítése



52. ábra. Ventur-mosó kialakítás és elvi működési vázlat

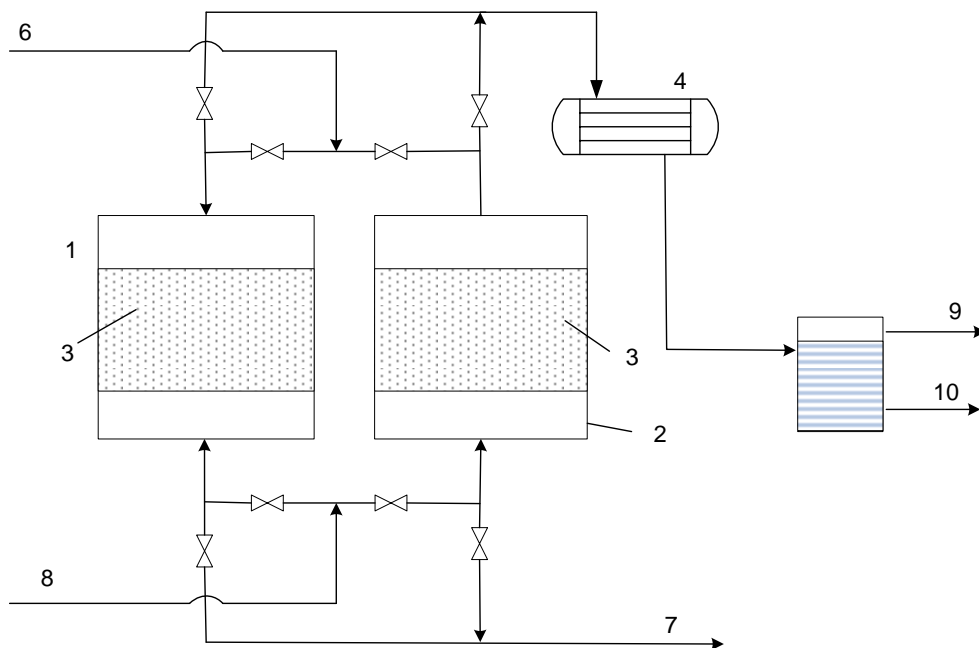
Adsorberek

Hulladék égetése során keletkező füstgáz, folyadékban elnyelődni nem képes, környezetet szennyező komponenseinek leválasztása adszorpció elven történik.

Gőz, gáz vagy folyadék szilárd felületen történő megkötődését adszorpciónak nevezzük. Az adszorbensek porózus szerkezetű anyagok, nagy belső fajlagos felületük van. A nagy fajlagos felület az anyag ultramikroporózus szerkezetének köszönhető. A leggyakrabban alkalmazott adszorbensek az aktív szén vagy koks, a szilikagél, az aktív alumínium-oxid, és zeolitok (molekulasziták).

Az adszorpció művelete az adszorberben játszódik le, amely során a hordozógázból leválasztandó gáz- vagy gőzkomponens az adszorbens felületén megkötődik. Az adszorpció lehet fizikai vagy kémiai. Fizikai adszorpciónál az elnyeletendő gáz vagy gőz az adszorbens felületén kizárólag fizikai erők hatására kötődik meg. Kémiai adszorpció során az adszorbens a gázt vagy gőzt elnyeli és egyidejűleg kémiai kötés is létrejön. A megkötődési jelenség a van der Waals-erő hatására alakul ki úgy, hogy az adszorbens kapillárisaiban kapilláris kondenzáció játszódik le. Minél több belső kapilláris van és minél kisebb az átmérője, annál több gőzt vagy gázt képes felvenni. Az adszorbens annyi gőzt képes elnyelni, amennyi a kapillárisokon belüli gőznyomást egyensúlyba hozza a vívőgázban levő elnyeletendő gáz parciális nyomásával.

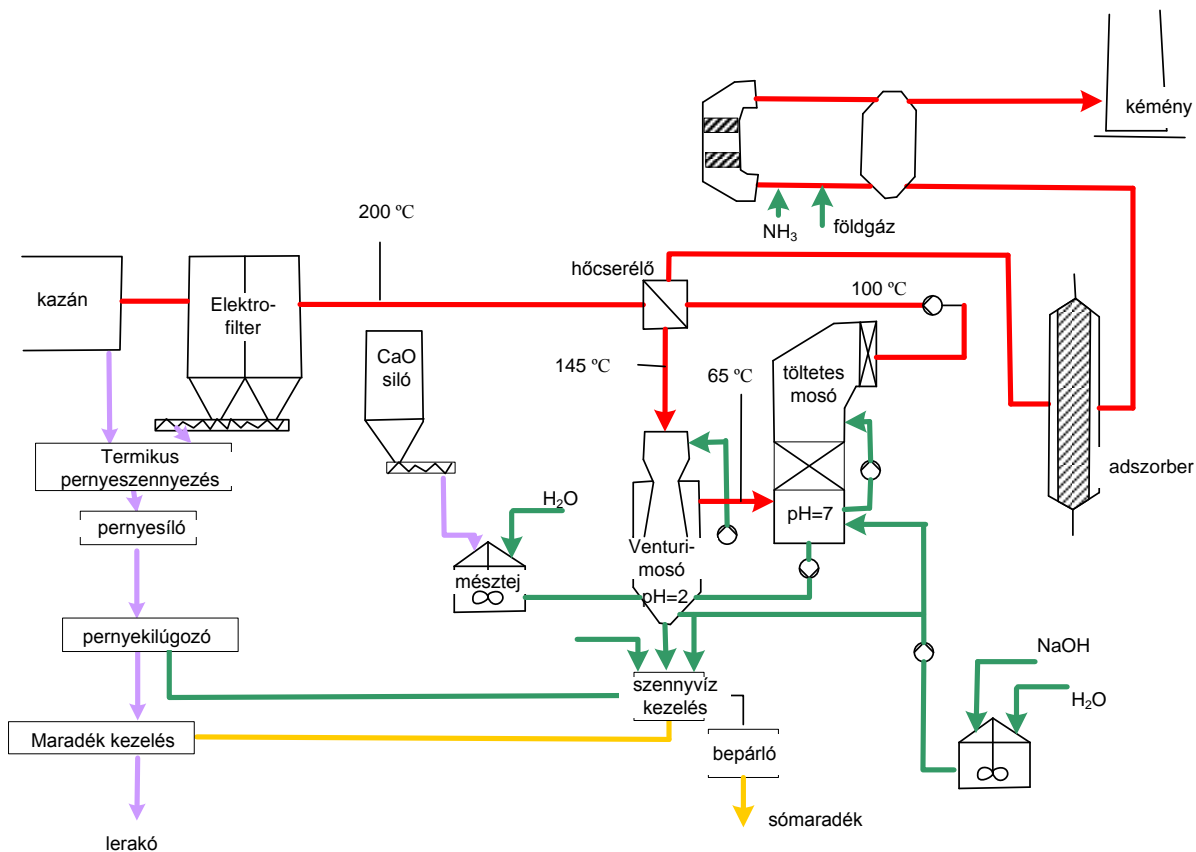
A teljes adszorpció folyamat a gáz megkötődéséből, az adszorpcióból; a megkötött gáznak az adszorbens felületéről történő kihajtásából, a deszorpcióból; és az adszorbens újabb adszorpcióra való előkészítéséből, a regenerálásból; áll. Az adszorpció elvégezhető szakaszosan, nyugvó ágyas adszorberben, vagy folyamatosan mozgó ágyas adszorberben. A szakaszos üzemű adszorberekből általában két vagy több egységet kapcsolnak össze, ezzel a tisztítás folyamatossága biztosítható. Az **53. ábra** két egységből álló nyugvóágyas adszorber elvi vázlatát látható. Az adszorbens ágyat rendszerint ömlesztetten helyezik el az adszorber rácsszerkezetén, de lehetséges olyan megoldás is, ahol egymás fölött az adszorbens ágyakat osztva alakítják ki.



1,2. adszorber, 3. aktív szén-ágy, 4. kondenzátor, 5. dekantáló, 6. szennyezett gáz,
7. tisztított gáz, 8. vízgőz vagy forró gáz, 9. könnyű komponens, 10. nehéz komponens

53. ábra. Két egységből álló adszorber elvi vázlat

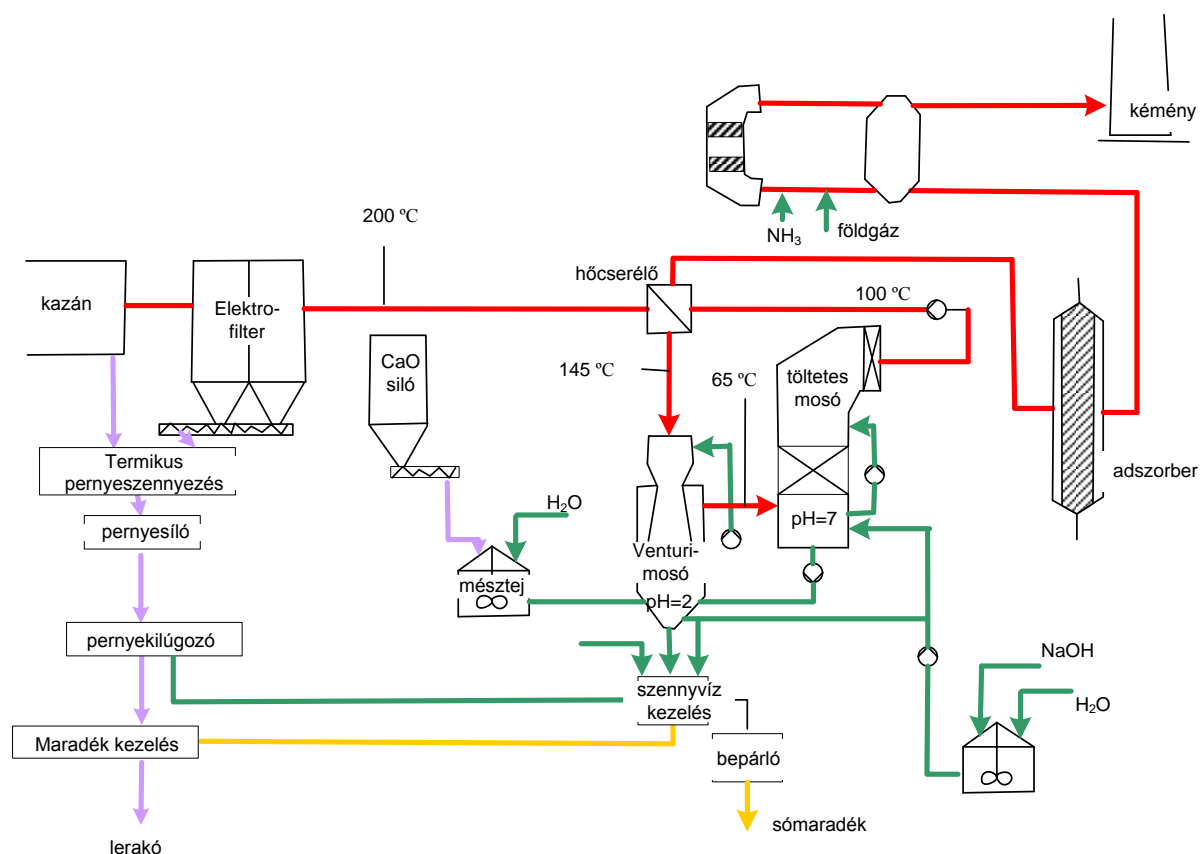
A hulladékégetés füstgáztisztítási eljárásainak számos változata lehetséges. Az



54. ábra egy jellegzetes és az emissziós előírásoknak megfelelő füstgáztisztító rendszert mutat.

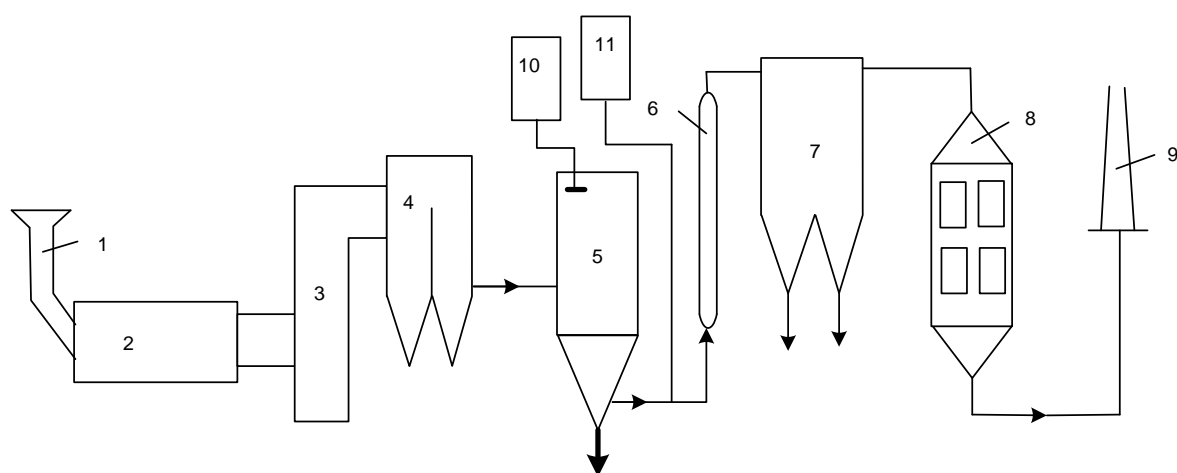
A kazánból kilépő füstgáz elektrofilterbe kerül. Az itt leválasztott pernyét termikusan megsemmisítik a dioxintól, illetve kioldják a pernyéből a nehézfémeket. A füstgáztisztítás következő része kétlépcsős mosás, ahol a szennyező gázok döntő hányadát leválasztják. Az első fokozat Venturi- mosó egységében mésztejjel történik az elnyelés, a második mosóban nátronlúggal tisztítják meg a szennyeződésektől a füstgázt. Az első mosófokozatba történő bevezetés előtt a füstgáz lehűtése, illetve a második fokozatot elhagyó füstgáz visszamelegítése a gáz-gáz hőcserélőben történik.

A higany, a dioxin és a nyomokban jelenlévő gázkomponensek megkötése érdekében a füstgázt aktívkoksz-ágyas adszorberen vezetik keresztül. A nitrogén-oxidok redukálása céljából a füstgázt katalizátor jelenlétében ammóniával kezelik, ahol N_2 és H_2O komponensekké alakítják át. A mosókban keletkezett szennyvizet kezelik, a gipszet külön leválasztják, a nátrium-kloridot bepárolják és ezzel értékesíthető terméket nyernek.



54. ábra. Kommunális hulladékégetés füstgáztisztító rendszere

Az **55. ábra** látható kapcsolási vázlaton a hulladékégetés forgókemencében (2) történik, amelybe a különböző hulladékokat (aprított szilárd, folyékony, pasztaszerű, stb.) oly módon adagolják, hogy az égetésük során keletkező füstgáz összetétele átlagos legyen, ílymódon a kéményen kilépő szennyező-anyag koncentráció még rövidebb ideig sem lépi túl a határértékeket. A forgókemencében a magas hőmérséklet és a jó égetési feltételek miatt általában kisebb dioxin koncentrációra lehet számítani, mint más típusú égető esetében. Ezért alkalmazzák általában a forgódobos kemencét a veszélyes hulladékok égetésénél. Az utóégetőt (3) és a hőhasznosítót (4) elhagyó füstgáz mészhidrát oldattal érintkezik a porlasztva szárítóban (5). A füstgázba a porlasztva szárítót elhagyó szakaszon történik az aktív kokszt injektálás. A reaktoron (6) áthaladó gázból a szilárd részek leválasztását zsákos porszűrő (7) biztosítja. A nitrozus komponensek emissziós határértéknek megfelelő leválasztása a katalizátor egységben (8) történik.



1. örlő és adagoló, 2. fogókemence, 3. utóégető, 4. hőhasznosító, 5. porlasztva szárító, 6. reaktor, 7. zsákos szűrő, 8. katalizátor egység, 9. kémény, 10. mészhidrát tartály, 11. aktív kokszt tartály

55. ábra. *Hulladékégető füstgáztisztító rendszere adszorbens injektálással*

6.1.1.7 Szilárd égetési maradék kezelés

A szilárd égetési maradék (salak és pernye) - az anyagi tulajdonságaik miatt – kizárólag a környezetet nem károsító módon helyezhető el. A maradékok mennyisége és összetétele a hulladék jellemzőitől és a tüzelőberendezés üzemmódjától függ.

Az égető után az elégetlen maradékok általában vízagyba esnek és megszilárdulnak, melyeket salaknak neveznek. Ezek összetétele nagyon inhomogén, található bennük: ásványi anyag (kő,

üveg, kerámia stb.), fém (vas, alumínium, réz stb.). A salak szemcseeloszlása elsősorban a hulladék darabosságától, valamint a tüzelőberendezés szabályozásától függ.

A legtöbb hulladék égetőben a szerves maradványok lágyulási-olvasztási jellemzői miatt a tüztér hőmérséklete nem haladja meg az 1100 °C-ot. Ha az égetést 1200 – 1700 °C-on végzik, akkor a szilárd maradvány olvadékként távozik az égéstérből, ezt a technológiát salak-olvasztásos hulladékégetésnek nevezik. A salakolvasztásos égetési eljárásokból kikerülő átolvadt anyagban a vízoldható komponensek vízben oldhatatlan szilikátos kötésbe mennek át, és így a salak granulátum a környezetre nem hat, ezért bárhol lerakható, esetleg építési anyagként is felhasználható.

A füstgázból leválasztott pernye az összes égetési maradvány 5 – 10 %-át jelenti, azonban lényegesen szélsőségesebb tulajdonságokkal rendelkezhet, mint a salak. A pernye gáz, gőz, nedvesség megkötő képessége miatt kén-, fluoridokat, kloridokat és nehézfémeket is tartalmazhat, ezért lerakására nagy gondot kell fordítani.

A szilárd égetési maradványokat - a fent említett tulajdonságok miatt - a környezetet nem károsító módon, kizárólag rendezett, biztonságos lerakóban szabad elhelyezni.

Az égetési maradvány hasznosítására irányuló kísérletek és fejlesztések folyamatosan szélesednek és újabb eredményeket hoznak. A települési hulladék salakját pl. az útépitésben hasznosítják. Ilyen esetben a salakot megfelelően elő kell készíteni. Az előkészítés aprításból, mágneses vaskiválasztásból, és rostálásból áll. A salakot különböző méretű frakciókra választják szét. Az égetésből visszamaradó salak egyéb alkotóinak pl. üveg és a vastól különböző fémek visszanyerésére kifejlesztett eljárások hatékonysága is egyre javul.

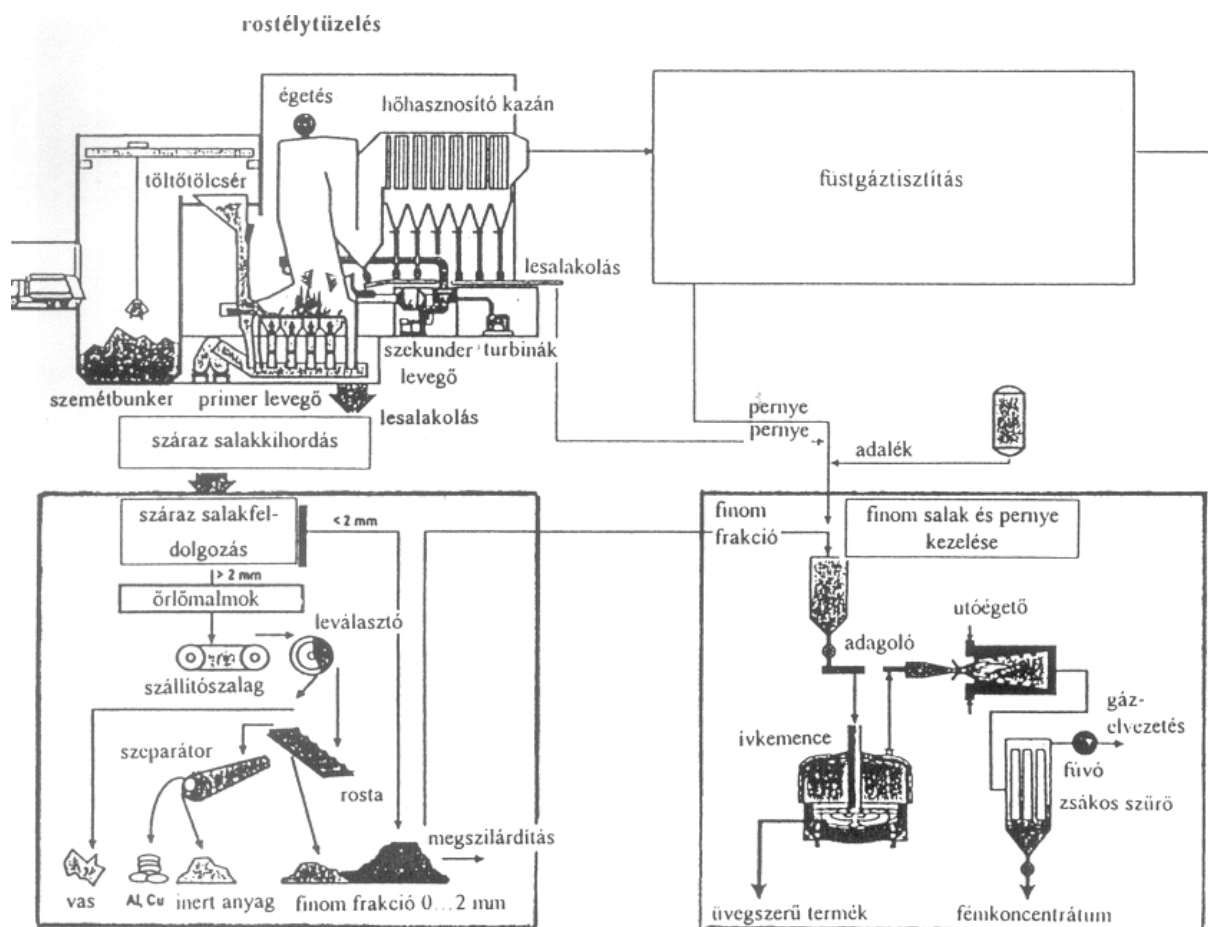
A nedves salak kezelési eljárásoknál több probléma vetődhet fel. A kalcium-oxid a nedves salakkal lúgos közeget teremt, és az ezzel érintkező fémek már nem használhatók fel. A finom - 2 mm-nél kisebb – részekben is nagy az alkáli anyagok és a nehézfémek koncentrációja. Ebben a finom frakcióban nem könnyű szétválasztani az egyes anyagcsoportokat. A nedves salakban a víztartalom kb. 20 % is lehet, amely megnehezíti a végső elhelyezést.

A száraz salak elhelyezésénél ezek a problémák nem jelentkeznek, nagyobb a maradvány fémek tisztasága, az egyes frakciók mechanikai módszerekkel szétválaszthatók. Az **56. ábra** a hulladékégetést követő száraz salakkezelési eljárás látható, amely három fő részből áll:

- a száraz salak kihordásból,
- a száraz salak szétválasztásából,
- a finom frakciók kezeléséből.

A kazánt elhagyó salak a szitarostélyon két frakcióra különül el. A nagyobb részek - a 32 mm-nél nagyobb méretűek - a nedves salakkezelésnek megfelelően vízágyba esnek, míg a kisebbek nem érintkeznek vízzel. A kisebb méretű frakcióból a további lépések során kiszitálják a 2 mm-nél nagyobb részeket, majd a mágneses leválasztó kiválasztja a vasat, a többi fémet pedig elkülönítik, szitálják, őrlik és elszállítják.

Ezzel a módszerrel 2 – 32 mm közötti méretű értékesíthető fémeket kapnak. A finom salakot és a porleválasztókból kikerülő anyagot adalékanyagokkal megszilárdítják, majd az ívkemencében megolvasztják. Az olvadt salak üvegszerű terméként távozik az olvasztóból. A kemencéből kikerülő gázokat még utóégetik és tisztítják annak érdekében, hogy mérgező szerves vegyületek ne képződjenek újra.



56. ábra. Száraz salakkezelési eljárás vázlatja

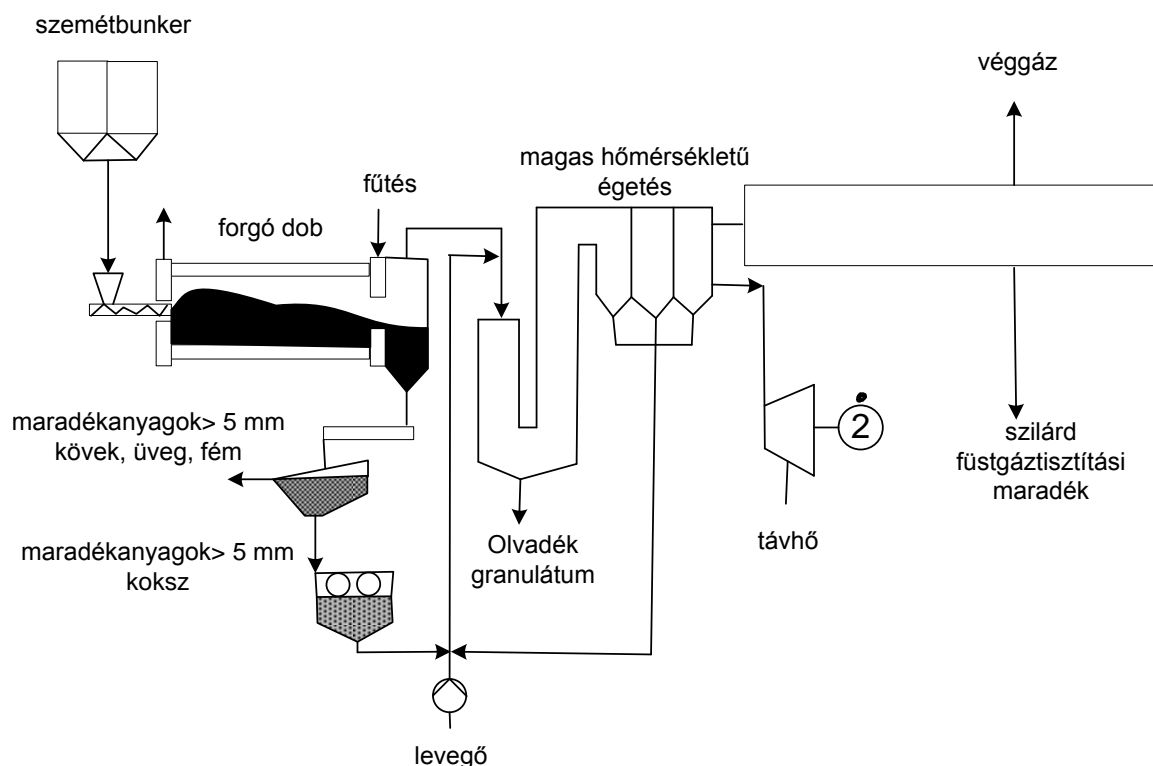
6.1.2 Pirolízis

A pirolízis tulajdonképpen külső hevítéssel végzett száraz átalakítás, amely során a hulladék 400-700 °C-ra hevítve éghető gázokká alakul át, amely során illó részek keletkeznek. A visszamaradó, nem éghető szilárd rész a salak. A nagy széntartalmú hulladékok éghető anyaga nem tud teljes mértékben elgázosodni, hanem a széntartalom egy része is - elégetetlenül – a szilárd maradékban marad.

A parciális pirolízis technológiáját az jellemzi, hogy az első égéstérben csak annyi égéslevegővel történik a hulladék égetése, hogy az égéstérben a hőmérséklet az előírt hőmérséklet-tartományban maradjon. Ezen a hőfokon a hulladék egy része elég, más része csak elgázosodik, illetve izzó szénként marad az égéstérben, végül szintén megmarad a nem éghető rész, a salak. A füstgázok az első, az ún. pirolízis kamrából tovább áramlanak a második (vagy a harmadik) égéstérbe. A parciális pirolízis azt jelenti, hogy az égési folyamat első lépcsőjében a hulladék részlegesen pirolizál, és részlegesen oxidálódik, de a pirolitikus reakciók vannak túlsúlyban az oxidációhoz képest. Ezt a technológiát szokás pirolitikus égetésnek is nevezni.

A pirolízises eljárások több változata ismeretes, melyekben a pirolízis, a gáz égetés, a maradvány kezelés és a gáztisztítási technológiák szerint különböznek .

A **Schwel-Brenn** eljárásnéven ismert pirolitikus módszer technológiai vázlatát az **57. ábra** látható. Az aprított hulladékot a köpenyoldalról indirekt módon fűtött forgó dobba vezetik, ahol megtörténik a kiszáradás és a kigázosodás. A pirolízis kb. 450 °C-on megy végbe, miközben pirolízis gáz ún. svélgáz keletkezik. Ezt a gázt közvetlenül a nagyhőmérsékletű égetőkamrába vezetik. A keletkezett szilárd maradékot osztályozzák, a fémeket leválasztják belőle. A finom frakció, melynek mérete kisebb mint 5 mm, az izzítási kokszt tartalmazza, így ezt a svélgázzal együtt a nagyhőmérsékletű tüztérbe vezetik. A tüztér aljáról vezetik el az olvadékot, majd granulálják. A kazánban előállított hő energetikai célra felhasználható. A tüztérrel elhagyó füstgáz hagyományos füstgázkezelésre kerül. Egy tüztérhez több pirolízis dobot lehet használni. A dobok fűtése megoldható villamos fűtéssel vagy földgáz felhasználásával.

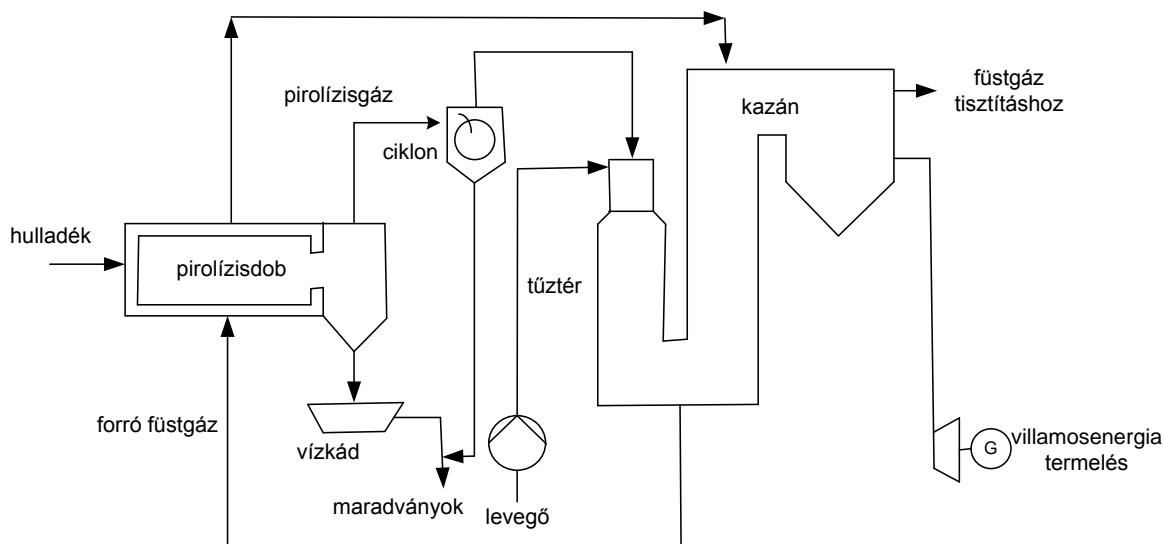


57. ábra. A Schwel-Brenn eljárás technológiai vázlatja

A pirolízises eljárások egy másik elterjedten alkalmazott módszere az ún. **Babcock-eljárás**. A Babcock-eljárás technológiai vázlatát az **58. ábra** mutatja.

Ennél a technológiánál az aprított hulladékot a forgó dobba vezetik, ahol 450 – 500 °C-on történik a kiszáradás és a kigázosodás. A hulladékhoz meszet adnak, hogy a gáz savas részeit megkössék. A pirolízis dobot elhagyó maradék vízkádas salakkihordóból kerül deponálásra. A dobben keletkezett forró pirolízis gázt ciklonba vezetik, ahol a gázzal elragadott szilárd anyagokat leválasztják. A szilárd anyagok a salakkal együtt deponálóba jutnak. A ciklont elhagyó gázokat

kb. 1200 °C-on elégetik. A forró füstgáz egy részét használják fel a dob fűtésére. A hőhasznosító gőzkazánban. Kb. 250 °C-ra hűtik le a füstgázt, melyet azután a szokásos módon füstgáztisztításra vezetnek. A kazánban termelt gőzt villamos energia termelésre hasznosíthatják.



58. ábra. A Babcock-pirolízises eljárás vázlatja

6.1.3 Elgázosítás

Az elgázosításos eljárások lényege, hogy kevés levegővel, $\lambda < 1$ légfeszleggel részleges oxidáció történik. A folyamat során tisztítandó nyers gáz és megolvadt szerves maradék keletkezik.

Az elgázosítási eljárások közül az egyik legismertebb a **Thermoselect** eljárás. Az eljárás lényegesen különbözik a megszokott hulladékkezelő eljárásoktól, a hulladékban lévő potenciális energiát főleg kémiai energiává, szintézis gázzá alakítják.

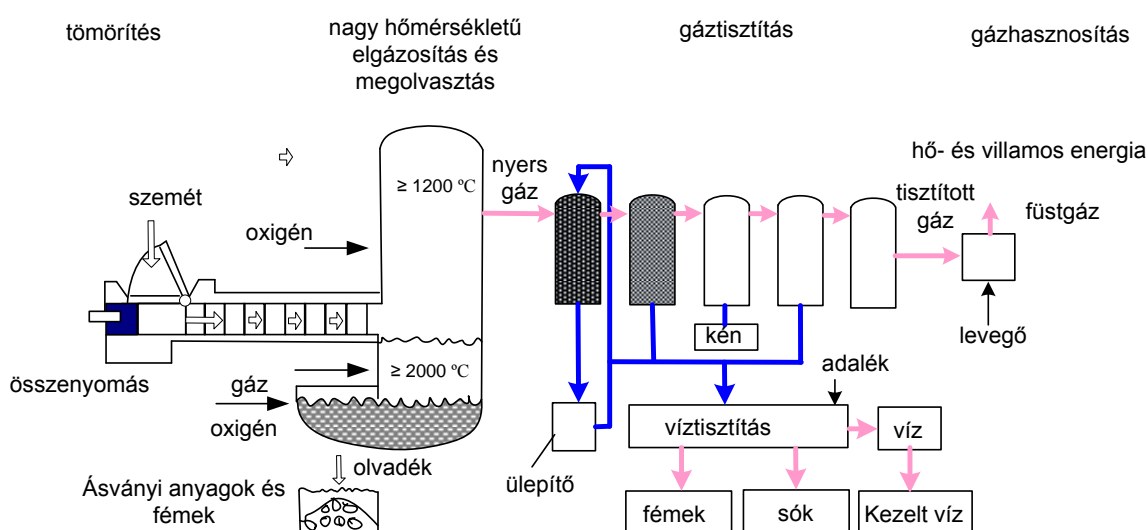
Az eljárás lényegében négy fő technológiai egységből áll:

- a hulladék tömörítése
- kiszáradás és gáztalanítás
- elgázosítás és megolvasztás
- gáztisztítás és lehűtés.

A Thermoselect eljárás sematikus ábráját az **59. ábra** mutatja.

A hulladék a fogadó és tároló részen keresztül jut az aprító berendezésre, majd markoló és nyomás alatti beadagolással kerül a termikus kezelőbe. A présben a hulladék tömörítése és részleges homogenizálása is megtörténik. A nedvesség eltávolítás és a gáztalanítás hőmérséklete kb. 800 °C. A nagyhőfokú reaktorban, oxigén jelenlétében kb. 1200 – 2000 °C-on keletkezik a szintézis gáz és az olvadék.

A megolvadt szerves maradékok (ásványi anyagok, fémek) granulátumként értékesíthetők. A tisztított szintézisgáz (CO és H₂) égethető és a hagyományos módon energetikailag hasznosítható villamos energia és távhő termelésre. Az eljárás nagy előnye, hogy továbbkezelendő anyagok nem keletkeznek. A jelenlévő oxigén és a nagy hőmérséklet miatt valamennyi szerves összetevő elbomlik. A szintézisgázt a reaktorból elvezetik, majd hirtelen – vizes érintkeztetőben ún. kvencselőben – lehűtik. A hirtelen hűtés előnye, hogy nem keletkeznek újra dioxinok, furánok és szerves vegyületek. A legtöbb maradék az olvadékból képződő granulátumból jön létre, de ezek környezeti hatása semleges, és ezáltal többségükben hasznosíthatók.



59. ábra. A Thermoselect eljárás főbb egységei

6.1.4 Különleges hulladékok égetése

Ipari és egyéb folyamatokból, egyre nagyobb mennyiségben keletkeznek környezetünket terhelő hulladékok, amelyek összetétele jelentősen eltér a kommunális hulladéktól. A különleges, veszélyes hulladékokkal kapcsolatos szabályozásokat előírások, direktívák, rendeletek tartalmazzák.

A különleges kezelést igénylő mérgező, fertőző (veszélyes, különleges) hulladékok ártalmatlanításának legelterjedtebb eljárása a nagyhőmérsékleten történő oxidáció, égetés. Nem minden veszélyes hulladék ártalmatlanítható égetéssel, hiszen a nagyhőfokú oxidáció is termel veszélyes hulladékokat, anyagokat. Az égetést olyan veszélyes hulladékok ártalmatlanítására célszerű alkalmazni, amelynek nagy a szervesanyag-tartalma, ezért az égetés nagy térfogat- és tömegcsökkenéssel jár, valamint veszélyességük is jelentősen csökken. Jól alkalmazható az

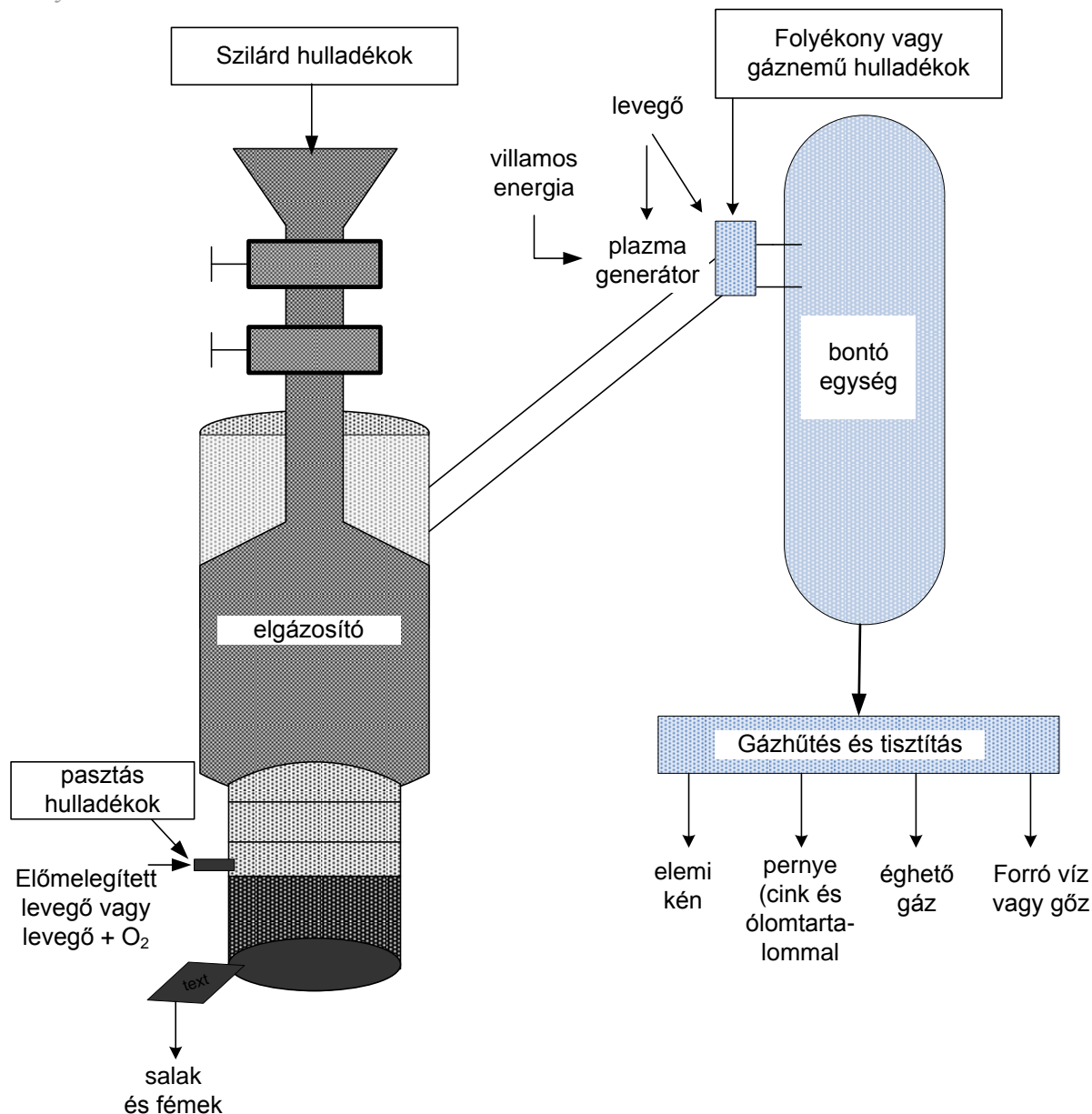
égetés abban az esetben is, amikor a hulladék fűtőértéke olyan nagy, hogy vagy önfenntartóan égnék vagy kevés hőenergia bevitelével elégethetők. A veszélyes hulladék égetőkben kétféle égetési technológia terjedt el: a teljes oxidációs égetés és a parciális pirolízis. A kisteljesítményű veszélyes hulladék égetőkben a parciális pirolízis terjedt el. A középteljesítményű létesítményekben mindkét technológia használatos, általában a hulladék jellemzői alapján döntenek. A nagy teljesítményű létesítményeknél leggyakrabban a teljes oxidációs égetést alkalmazzák.

Speciális égetőkamrákat alkalmaznak pl. klórozott szénhidrogén tartalmú hulladék elégetésénél, valamint folyékony, nagy sótartalmú hulladék illetve szennyvíz iszap égetésénél.

6.1.5 Egyéb eljárások

6.1.5.1 Plazmasugaras égetés

A termikus hulladékkezelés egyik lehetősége, a plazmatechnológiával történő hulladék megsemmisítés. A **60. ábra** látható technológiánál az elgázosító egységet a plazmagenerátorral működtető szétbontó reaktor követi, majd a gázhűtő és a gáztisztító következik. Az aknakemencés elgázosítóba beszipelik a szilárd hulladékot, míg a pasztaszerű hulladékot alul nyomják be. Felül helyezkedik el az elgőzöltető zóna (500 – 700 °C), ahol a víz és az illékony anyag távozik. Középen van a szenesítő zóna (500 – 1400°C), alul pedig a részleges elégetési és üvegesítő zóna található (1500 – 1600 °C). Az elgázosításhoz szükséges levegőt és oxigént alul vezetnek be. A folyékony salakot és fémolvadékot lecsapolják, a gáz pedig felül távozik a bontóba. Plazmagenerátor segítségével itt, igen nagy hőmérsékleten égetik ki a gázt, -szétbontva a szerves vegyületeket. A megfelelő hőt egyenáramú, gyűrű alakú plazmagenerátor termeli. A toxikus anyagok a bontóban 0,3 – 0,6 s tartózkodási idővel szétbomlanak. Az eljárásban nem túl nagy fűtőértékű gáz keletkezik. A módszer előnye, hogy a gáz térfogata, a hagyományos égetőkben keletkező gáz térfogatának csak kb. 30 - 40 %-a. A gáz gyakorlatilag nem tartalmaz dioxinokat, furánokat és szénhidrogéneket, nitrogén-oxid tartalma is kicsi.



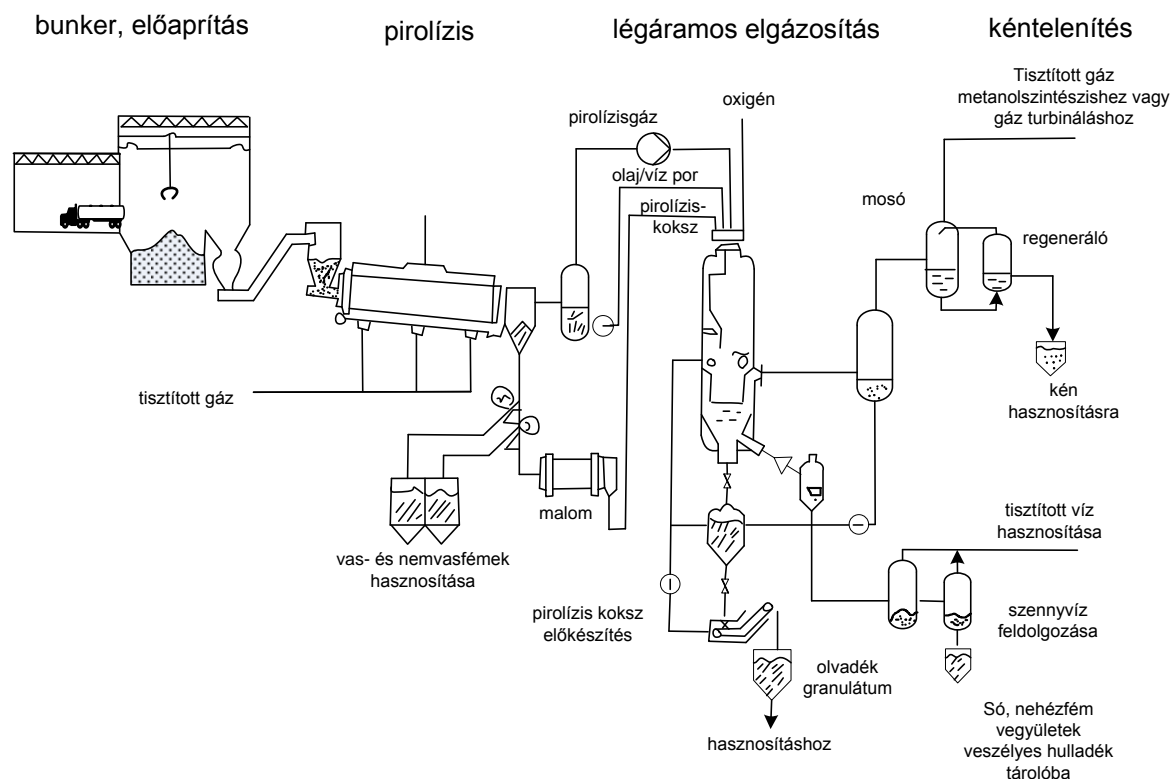
60. ábra. A plazmasugaras égetés vázlatja

6.1.5.2 Konverziós eljárások

A Noell-féle konverziós eljárás a pirolízis és a lebegőágyas elgázosítás kombinációján alapszik. A **61. ábra** látható technológia szerint a bunkerből beadagolt hulladékot felaprítják, majd a pirolízis reaktorba vezetik. Ebben az indirekt fűtésű forgó csőben kb. egy órás tartózkodási idő alatt, kb. 550 °C-on, levegő bevezetés nélkül, a hulladék elbomlik. A pirolízis során pirolízis kokszt és pirolízis gáz keletkezik. A kokszt lehűtik, majd mechanikus szétválasztás után feldolgozzák. A kiválasztott fémeket eltávolítják, az éghető maradékot megőrlik és az elgázosító reaktorba vezetik.

A forró pirolízis gáz kondenzálható olajat is tartalmazhat, ezért hűtik és a kondenzálódó szénhidrogének leválasztása után az elgázosítóba vezetik. A 2-35 bar nyomás alatt működő reaktorban, tiszta oxigén segítségével megy végbe az elgázosítás. A szerves vegyületekből CO és H₂ keletkezik a magasabb rendű szénhidrogének nélkül. A reakcióhőmérsékletet úgy állítják be, hogy a fémes hulladékok megolvadjanak. A termelt gázt lehűtik, tisztítják gázturbinákban vagy metanol-szintézishez vagy a pirolízis kemence fűtésére hasznosítják.

Az eljárás meglehetősen jó hulladék előkészítést igényel, ami aprításból és a nedvességtartalom beállításából áll. Ebben az eljárásban fajlagosan kevés tisztítandó gáz keletkezik.



61. ábra. A Noell-féle konverziós eljárás vázlatja

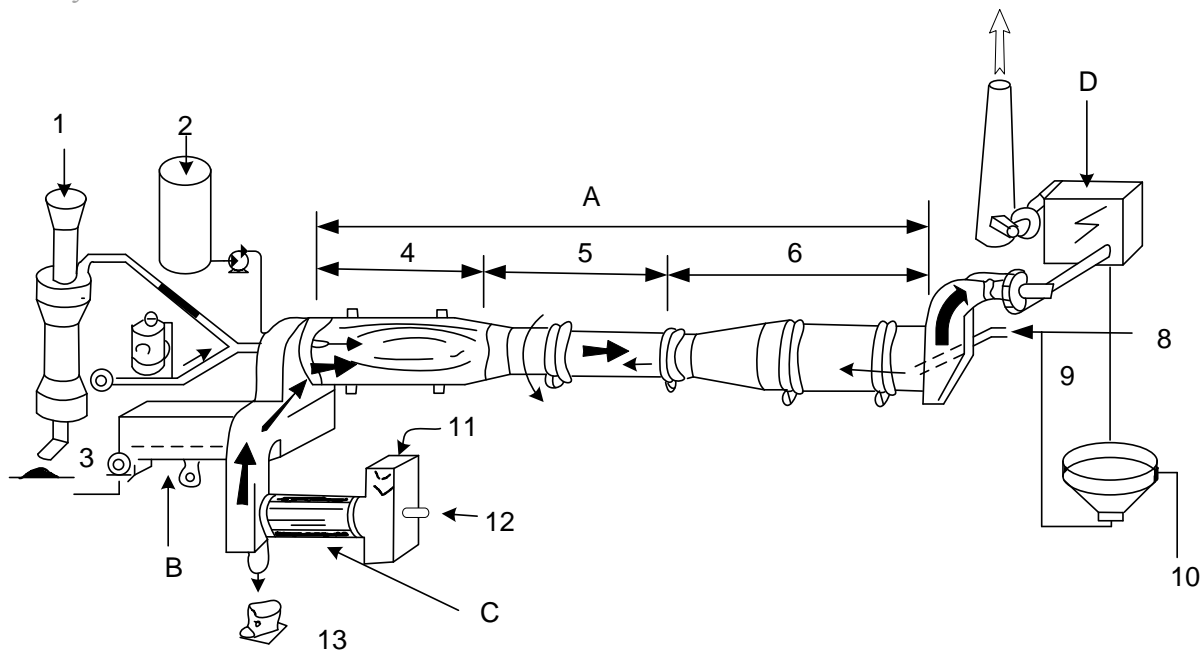
6.1.5.3 Égetés nagyhőfokú ipari technológiákban (együttégetés)

A már meglévő berendezések átalakítása hulladék befogadására jóval kisebb beruházást igényel, mint egy új hulladékégető létesítése. A technológiák nagy energiaigénye miatt a fosszilis tüzelőanyag egy részének égethető hulladékkal történő helyettesítése jóval olcsóbbá teszi az üzemeltetést. Az eljárás hátránya, hogy ezekben a berendezésekben többnyire csak szivattyúzható állapotú hulladék égethető. Veszélyes hulladékok égetésére csak a nagyhőfokú

ipari eljárások alkalmazhatók, mint pl. az energiatermelő gőzkazánok, cementgyári klinkerkemencék, vasolvasztó kohók, acélöntödei olvasztókemencék, mészégető kemencék, téglagyári és egyéb kerámia-ipari égetőkemencék, üvegipari olvasztókemencék stb. A gyakorlatban leginkább az ipari energiatermelő kazánokban és a cementgyári klinkerkemencékben történik a hulladék együttégetése.

Az ipari energiatermelő gőzkazánok főleg halogénmentes folyékony hulladék ártalmatlanítására alkalmasak. Az égetett hulladék aránya a tüzelőanyaghoz képest általában 20 %, de nagy fűtőértékű halogénmentes anyagok esetében ez az arány elérheti az 50 %-ot is. A hulladék együttégetés korlátja lehet az is, hogy a hulladékégetés során keletkezett füstgáz igényes füstgáz-tisztítórendszert igényel, amellyel ezek az energia-termelő rendszerek nincsenek felszerelve.

A **62. ábra** egy klinkerkemence látható, amely alkalmas folyékony hulladék közvetlen égetésére, valamint a pirolízis előtétkemence miatt szilárd hulladék pirolitikus ártalmatlanítására is. A folyékony hulladékot előkezelés után egy segéd-égő alkalmazásával közvetlenül a klinkerkemence nagy hőmérsékletű zónájába porlasztják. A szilárd és pasztaszerű hulladékot, az erre a célra kialakított forgó csőkemencében pirolitikus körülmények között elbontják, és a képződő viszonylag nagy fűtőértékű pirolízis gázok energiataralmát a klinkerkemencében hasznosítják. Az eljárás biztosítja azt, hogy a pirolízisgázban található bomlatlan és részben oxidálódott szerves komponensek a klinkerkemencében teljesen elbomoljanak. A klinkerkemence ebben az esetben a pirolízis kemence jó hatásfokú utóégetőjeként működik.



A-klinkerkemence; B – klinkerhűtő; C – pirolízis előtétkemence; D – elektrofilter
1.primer tüzelőanyag; 2. szekunder tüzelőanyag (folyékony hulladék); 3. klinkereltávolítás;
4. zsugorító zóna; 5. kalcináló zóna; 6. szárító zóna; 7. füstgáz kilépés; 8. nyersiszap; 9.
leválasztott por; 10. víz; 11. szilárd hulladék; 12. pasztaszerű hulladék; 13. salak eltávolítás

62. ábra. Hulladék együttégetés klinkerkemencében

Felhasznált irodalom a 6.1 fejezethez

- STRÓBL A.: A hulladékégetés – termikus kezelés – korszerű irányzatai; 1997/17; OMIKK.
- LÁBODY J.: Veszélyes hulladékok égetése, korszerű égetőművek üzemeltetése I. - II.; 2000; Budapest; NETI Kft.
- LÁBODY J.: Bevezetés a veszélyes hulladékok égetésének technológiájába III. – IV. ;1995; Ipar a Környezetért Alapítvány.
- MOLNÁR K.: A környezetvédelmi eljárásai és berendezései (oktatási segédlet), 1994.
- FÖRSTNER U.: Környezetvédelmi Technika; 1991; Springer-Verlag, Budapest-Berlin.
- KOVÁCS L.: Egészségügyi hulladékok kezelése (oktatási segédlet) 2002.
- ÁRVAI J.: Hulladékgazdálkodási kézikönyv; 1993; Budapest; Műszaki Könyvkiadó;
- 3/2002. (II.22.) KöM rendelet „A hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről
- 16/2001. (VII.18) KöM. rendelet „ A hulladékok jegyzékéről”
- 98/2001. (VI.15) Korm. rendelet „ A veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről”

6.2 *Ártalmatlanítás biológiai konverzióval*

JELÖLÉSJEGYZÉK

Dimenzió

H vagy h magasság vagy mélység [L]

L vagy l Hosszúság [L]

d Átmérő [L]

A Felület [L²]

V Térfogat [L³]

V_R Reaktortérfogat [L³]

Koncentrációk

X Lebegőanyag koncentráció [ML⁻³]

S Oldott anyag koncentráció [ML⁻³]

C_o A nyersanyag összes szervesanyag koncentrációja [ML⁻³]

C_e A kezelt nyersanyag összes szervesanyag koncentrációja [ML⁻³]

X_R Iszapkoncentráció a reaktorban [ML⁻³]

X_w A fölösiszap (recirkulációs iszap) koncentrációja [ML⁻³]

Termodinamikai jellemzők

T Hőmérséklet [K] vagy [°C]

P Energia [ML²T⁻²],[J]

Idő, sebesség és áramlási sebesség jellemzők

t Általános idő jelölés [T]

t_H Hidraulikai tartózkodási idő [T]

Q A befolyó nyersanyag tértogatárama [L³T⁻¹]

M Tömeg [M]

B_V Térfogati nyersanyag terhelés [$ML^{-3}T^{-1}$]

B_X Iszap nyersanyag terhelés [$MM^{-1}T^{-1}$]

Reakciósebességi és sztöchiometriai jellemzők

Y_V Fajlagos térfogati gázképződés [$L^3L^{-3}T^{-1}$]

Y_O Fajlagos lebontott szervesanyagra vonatkoztatott gázképződés [$L^3M^{-1}T^{-1}$]

Y_X Iszapképződési (hozam) konstans,

η_K KOI eltávolítási hatásfok[-]

η_{IS} szervesanyag eltávolítási hatásfok [-]

Rövidítések

IS Illó szervesanyag tartalom [ML^{-3}]

ISS Illó lebegő szervesanyag tartalom [ML^{-3}]

TS Összes szárazanyag tartalom [ML^{-3}]

KR Kevert kontaktreaktor

6.2.1 A szennyezőanyagok biológiai konverziójának alapfogalmai

A fejezet címében szereplő általánosabb „szennyező anyag” kifejezéshez máris szükséges egy **szűkítő értelmű; a tárgyalást egyszerűsítő megjegyzést fűzni.**

A biológiai szennyezőanyag-lebontáson a hulladéktechnológiák esetében kevés kivételtől eltekintve **szerves (szennyező) anyag lebontását**, ill. ártalmatlanítását értjük. Ennek fontosabb okai; konkrétan a magyarországi viszonyok figyelembevételével:

a) Az Országgyűlés 110/2002 sz. határozata alapján érvénybe lépett Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHGT) 2008-as előirányzata alapján az ún. nem veszélyes hulladékok begyűjtött mennyisége összesen 32,3 millió tonna/év, amelyből az alábbi tételek összetételében túlnyomórészt szervesanyag található:

- Mezőgazdasági –élelmiszeripari H.	3 Mt
- Települési szilárd H.	5,2 Mt
- Települési folyékony hulladék és szennyvíziszap	6,1 Mt

Emellett: az ipari hulladékok mennyiségéből is egy kisebb rész a szervesanyag 18 Mt

A legnagyobb tétel az ún. biomassza 32 Mt

teljes egészében szervesanyag (meghatározása az OHGT szerint: „a biológiai körforgásba megközelítőleg teljes egészében visszakerülő mező- és erdőgazdasági maradványok”).

Az ún. veszélyes hulladékok (vörös iszap nélküli) 1,8 Mt/év mennyiségének kb. kétnegyed részét kitevő állati eredetű hulladékok, ill. ásványolaj/származék jellegű hulladékok is főleg szervesanyag összetételűek, és mint ilyenek biológiailag többé-kevésbé jól lebonthatók.

b) A természetben „sorsukra hagyott” nem élő szervesanyagokra leginkább jellemző az instabilitás, ami legtöbbször intenzív bűzhatással járó spontán lebomlást jelent, egyben igen súlyos víz-, talaj- és atmoszférikus környezetszennyezést okoz.

c) Nagymértékben a fenti okból, az 1999/31 ún. „EU lerakó irányelv” nyomán a magyar 43/2000 sz. Hulladékgazdálkodási Törvény (HGT), és az OHGT igen szigorúan, határidőkkel korlátozza a biológiailag lebomló szervesanyagok lerakóra (szeméttelpre) vitelét (azonos bázis időszakhoz képest)

20. táblázat. A lerakható biohulladékok csökkentési üteme

Határidő	Lerakóra vihető rész
2004	75%
2007	50%
2014	35%

Fontos a kötelezettség gazdasági vonatkozását nyomatékosítani:

a lerakás messze a legolcsóbb hulladékártalmatlanítási alternatíva. Így a helyébe léphető két csoport:

- a biológiai eljárások is sokkal költségesebbek, de
- a termikus eljárások (főleg beruházási) költsége hatalmas mértékben drágítja azonos probléma megoldását.

Az OHGT nyilvánvalóan emiatt, de környezeti károsága miatt is igen korlátozott égetési kapacitásbővítést irányoz elő.

d) Fontos az ártalmatlanítás energiamérlegének értékelése is. A szervesanyag lebontás említett mindkét útja potenciálisan energiatermelő, de **a kinyert energia nagyon eltérő mértékben hasznosítható** a választott megoldás alapelve és kivitele függvényében.

A környezetmérnök tehát mindennek is megfelelően kell értékelje a döntési alternatívákat.

A hulladéktechnológia gyakorlatában mára a biológiai módszerek a legáltalánosabban használt eljárásokká váltak – a termikus alternatívák „versenyársaként”. A biológiai szennyvízkezelési eljárások során a víz mikroorganizmusok számára hasznosítható szerves szennyezőkomponensei egyrészt valamilyen formában beépülnek a mikrobacejtekbe, (és esetenként a hulladék főtömegétől elválaszthatóak), másrészt a környezetet már nem károsító (legtöbbször kisebb energiataralmú) vegyületekké (pl. CO₂, víz) alakulnak. A fenti meghatározás szellemében ebben a fejezetben áttekintjük

- a technológiai szempontból lényeges mikróbacsoportokat;
- a biológiai konverzió alapját képező anyagcserefolyamatokat;
- a mikroorganizmusok életműködésének környezeti feltételeit, valamint
- a mikroorganizmusok növekedését és kinetikai leírását.

A szervesanyagbontás során előforduló legfontosabb mikroorganizmusok

A mikroorganizmusok általában egysejtűek, bár ismerünk többsejtű mikroszervezeteket is, amelyeknél azonban nem figyelhető meg a sejtek differenciálódása. Méretük igen tág határok

között változhat. A legkisebb élő szervezetek, a vírusok kb. 10 nm nagyságúak, míg egyes amőbák a 300 nm méretet is elérhetik.

A mikroorganizmusok annak alapján, hogy a genetikai információt tartalmazó kromoszómát, illetve kromoszómákat a citoplazmától membrán határolja el, vagy sem két csoportra oszthatók: A prokarióták (baktériumok, kék-zöld algák) sejtenként egy kromoszómával rendelkeznek, amely nem alkot elkülönült, membránnal határolt sejtmagot. Az eukarióták (gombák, algák, egysejtűek) sejtjeiben legalább három kromoszóma található, amelyek a membránnal körülhatárolt sejtmagban helyezkednek el. A szennyezőkomponensek biológiai lebontása, illetve átalakítása majdnem teljes mértékben baktériumok működésének következménye, így a gyakorlatban ez a mikróbacsoport szinte kizárólagos jelentőségű.

A baktériumok mérete tág határok között változhat. A gömb alakúak átmérője általában 0,5-1,9 nm, a pálcikák hosszúsága a 3,0 nm-t a csavaralakúaké pedig a 10-15 nm-t is elérheti.

tériumsejt kémiai összetételét a sejtek kora, valamint a rendelkezésére álló tápanyagok összetétele befolyásolhatja. Általánosságban kijelenthető, hogy az élő sejtek anyagának kb. 80-90 %-a víz. A fennmaradó szárazanyag 90%-át teszik ki a különböző szerves anyagok (legnagyobb százalékban), míg a szárazanyag 10%-a különböző szervesetlen sók formájában van jelen. A baktériumsejtek átlagos összetételét megadható a sejttanyag szerves funkciójának sztöchiometriai összetétele is: $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$, illetve amennyiben a foszfort figyelmen kívül hagyjuk: $C_5H_7O_2N$.

A hulladéktechnológiai számításoknál gyakran alkalmazott arány a sejttanyag a fenti összegképletből származtatható KOI-egyenértéke: 1 kg sejttanyag teljes kémiai oxidációjához 1,42 kg oxigén szükséges.

Az anyagcsere-folyamatok szempontjából fontosabb vegyületek

Az anyagcsere-folyamatok - így a szennyezőanyagok biológiai konverziójának - pontos megértése érdekében szükségeszerű bizonyos szerves vegyületek felépítésének és élettani szerepének ismertetése.

A **szénhidrátok** a természetben széleskörben elterjedt vegyületek, a legtöbb mikroorganizmus számára táplálékként szolgálhatnak. Három fő csoportba oszthatók:

- **egyszerű cukrok** (monoszacharidok),
- **összetett cukrok** (oligoszacharidok), amelyek molekulái több (2-10) egyszerű cukormolekula összekapcsolódása révén jönnek létre és
- **poliszacharidok**, amelyek igen nagyszámú (esetleg több ezer) egyszerű cukormolekulából épülnek fel. (és a hulladéktechnológiai gyakorlatban igen fontos, de szinte bonthatatlan) cellulóz átlagos molekulásúlya 35-300 ezer.

A zsírszerű anyagok, **lipidek** alatt a sejtekből apoláros oldószerekkel kivonható anyagokat értjük. Kémiai összetételük alapján megkülönböztetünk neutrális zsírokat, amelyek hosszabb láncú (Legalább 12 szénatomot tartalmazó) zsírsavak és alkoholok (leggyakrabban glicerin) észterei. A sejtekben tartalék táplálék- és energiaforrásként halmozódnak fel. A **proteinek** (fehérjék) a sejtek nélkülözhetetlen alkotóelemei, a mikróbasejtek szervesanyag-tartalmának kb. 50%-át teszik ki.

Az anyagcsere: a biológiai konverzió folyamata

A baktériumsejt működése rendkívül sokirányú. A funkciók közül a sejtömeg gyarapodását, a növekedést tekinthetjük a legfontosabbnak, ami a sejtalkotók (kromoszómák, enzimek, membránok stb.) szintézisét jelenti, amelyhez két dologra van szükség:

- a szerves makromolekulák "alapelemeit" képező egyszerű, kis molekulatömegű szerves anyagokra, amelyet a baktériumsejtek általában a táplálék (egyéb szerves molekulák) lebontása eredményeként állítanak elő, valamint
- energiára, melynek befektetése szükséges a szerves makromolekulák újra-előállításához.

Azoknak a biokémiai folyamatok rendszerét, melyek során a táplálékból új sejtanyag keletkezik **anyagcsere**nek (metabolizmus) nevezzük. Az anyagcsere két alapvető lépésre bontható. A **katabolizmus** során a táplálék komplex szerves anyaga lebomlik, egy része a bioszintézis "alapanyagául" szolgál, más része kis energiatartalmú vegyületekké (szén- dioxid, víz) alakul és a lebontásuk során felszabaduló energia nagy energiatartalmú kötésekben raktározódik. A második lépés a szervezett bioszintézise, az **anabolizmus**.

Az új sejtanyag felépítése - mint az anyagcsere elsődleges céljának - szempontjából a metabolizmus alapvető funkcióit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- a szerves makromolekulák előállítása az anyagcsere anyagaiból v. közbenső termékeiből,
- a lebontás során felszabaduló energia tárolása

Az oxidáció során az energiaforrás által leadott elektronok természetesen nem maradhatnak a sejtben. Az élőlényeknek szüksége van olyan anyagokra, melyek az elektronokat és sok esetben hidrogént felvéve, redukált formában távozik a sejtekből. Ezeket az anyagokat terminális elektronakceptoroknak nevezzük. Ez aerob szervezetek esetén O_2 , az anaeroboknál lehet valamely szerves vegyület, vagy szénforrás lebontásának valamely szerves mellékterméke. Egy számos baktérium képes növekedni glükóz jelenlétében, amelyet anaerob körülmények között szén- és energiaforrásként továbbá H-akceptorként egyaránt használ fel.

A mikrobiális anyagcsere típusai

Egy sejt anyagcseréjének típusát alapvetően három tényező határozza meg: a szénforrás, az elektron donor és az elektronakceptor minősége. Az élőlények korszerű csoportosítása is ezen anyagok fajtája szerint történik.

Azokat az élőlényeket, melyek szénforrása szerves anyag (CO_2) autotrófoknak (pl. a magasabbrendű növények), a szénforrásként szerves anyagokat, használókat pedig heterotrófoknak nevezzük. (Az aerob hulladéktechnológiák fontos „mellékszereplője” a nitrifikálás folyamatában kulcsszerepet játszó *Nitrosomonas sp.* számára a szénforrást a CO_2 jelenti (szerves C forrás: autotróf). Az energiát az ammónia (szerves vegyület) oxidációjával nyeri (kemotróf), így az ammónia egyben elektronforrás is)

A katabolizmus főbb reakciójai

Mint azt korábban már hangsúlyoztuk az anyagcsere célja az új sejtanyag szintézise, a baktériumok "ennek érdekében" veszik fel és alakítanak át bizonyos, a környezetükben levő anyagokat. A biológiai hulladékkezelés célja azonban kizárólag ezen anyagok eltávolítása (a sejtszaporulat, („fölösizap” képződés a szennyvíztisztítás esetén) mint "elkerülhetetlen rossz , egy másodlagos hulladékáram” jelentkezik), így elegendő csak a lebontás, a katabolizmus elterjedtebb reakciójait áttekinteni.

A kezelendő szennyvízben a szerves szennyezőanyagok legtöbbször komplex makromolekulák - fehérjék, poliszacharidok, zsírok - formájában vannak jelen, melyek lebontása több lépcsőben játszódik le.

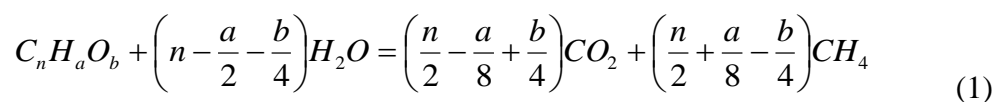
A hidrolízis, mint a szilárd hulladékok lebontásának kulcsfontosságú lépése.

A fehérjék, poliszacharidok és lipidek molekulái túl nagyok ahhoz, hogy a sejtmembránon áthatoljanak, így a baktériumsejtek számára közvetlenül nem hasznosíthatóak. A hidrolízisre képes baktériumok extracelluláris enzimeket termelnek, így a reakció a sejteken kívül történik. A poliszacharidok bontását végző legfontosabb enzimek az amilázok és cellulázok, míg a fehérjebontó enzimeket proteázoknak nevezzük.

A poliszacharidok és proteinek hidrolízisét számos obligát vagy fakultatív anaerob baktérium végzi. A reakció termékeinek (monoszacharidok, aminosavak, hosszabb-rövidebb láncú zsírsavak) felhalmozódása sohasem figyelhető meg, mivel azok a mikroorganizmusok számára könnyen felvehetőek és azok a baktériumok, amelyek a hidrolizáló enzimet termelik, azonnal felhasználják ezeket a monomereket energiaszerző reakcióik során.

Anaerob katabolizmus

Anaerob lebontásnak azt a folyamatot nevezzük, melynek során a szerves szennyezőanyagok oxigénmentes körülmények között disszimilálódnak. Ha a folyamat teljes mértékben végbemegy, illetve oxigén, szulfát, és nitrát hiányában, amikor a széndioxid az egyetlen lehetséges elektronakceptor, végtermékként metán és széndioxid keletkezik, melyek mennyisége elméletileg a következő egyenlet sztöchiometriai együtthatóiból számítható, amennyiben a táplálékként szolgáló szerves vegyület kizárólag szénhidrogén és oxigénatomokból épül fel:



(A biomassa molekulái azonban gyakran nitrogén és kénatomokat is nagy mennyiségben tartalmaznak, minek következtében a biogáz kénhidrogénnel és ammóniával szennyezett.)

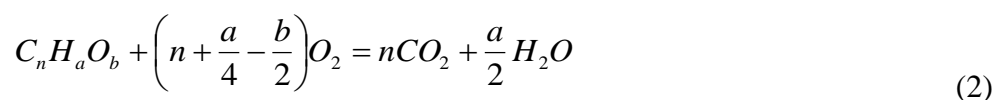
A **metanogenezis** (metánképzés) közvetlen szubsztrátjai az ecetsav, a metanol, egyes metilaminok, valamint a hidrogén lehetnek.

A metanogén baktériumok a prokarióták egyedülálló, ősi csoportját alkotják. A ma ismert metanogének többsége kemolitotróf autotróf, vagyis a kémiai energiát a hidrogén oxidációjával nyerik, terminális elektronakceptoruk a

Aerob katabolizmus

Az aerob sejt fő energianyerő mechanizmusa a légzés, vagyis a tápanyagok enzimes oxidációja, mely folyamatban a terminális elektronakceptor a molekuláris oxigén.

Összefoglalva, az aerob lebontás az alábbi nettó reakcióegyenlettel jellemezhető:



Az aerob és anaerob szervesanyag-lebontás szén- és energiamérlege

Az energiamérleg különbözőségéből két, a gyakorlatban fontos momentum következik. Az egyik, hogy az **anaerob lebontás végtermékei nagy energiatartalmú vegyületek**, további felhasználásuk (pl. a metán elégetése) során a bennük lévő kémiai energia kiaknázzható. A másik, hogy anaerob viszonyok között **egységnyi tömegű szubsztrát lebontása esetén kevesebb energia fordítódhat a sejtek növekedésére és fenntartására**, így a reprodukció („fölsziszap-képződés”) jóval kisebb mértékű, mint aerob baktériumok esetén.

Az anaerob és aerob mikrobiális lebontás szén- és energiamérlegét a táblázat mutatja be.

21. táblázat. Az aerob és az anaerob mikrobiológiai lebontás szén- és energiamérlegének összehasonlítása

	Aerob körülmények	Anaerob körülmények
Szénmérleg	Kb. 50% épül be a bio-masszába, 50% CO ₂ -dá alakul	Kb. 5% épül be a bio-masszába és 95% pedig a biogázban jelenik meg
Energiamérleg	Kb 60% használdik el új sejtanyag képződése során, 40% a hőveszteség	Kb. 90% a biogázban raktározódik, 5-7 % fordítódik a sejt növekedésre, 3-5 % a hőveszteség

Hőveszteségként a táblázat effektíve termelődött hőmennyiséget értelmek, ami hig vizes közegben nyitott medencékben ténylegesen elvész, de pl- a komposztálásnál hasznosul a rosszul hőszigetelt szilárd halmaz fölmelegítésére.

A mikroorganizmusok életműködését befolyásoló környezeti feltételek

A baktériumok hőmérsékleti optimumukat tekintve pszichrofilek, mezofilek és termofilek lehetnek. A mezofilek befolyásoló hőmérsékleti optimuma 30-40 °C között van és 7-45 °C szélesebb skálán, míg a termofileik általában 40-75 °C között szaporodnak

A pH szintén jelentős hatást gyakorol a mikroorganizmusok szaporodására. A citoplazmamembrán az ionok és ionizált vegyületek számára nehezen átjárható. Felépítéséből következően pH-ja közel neutrális. Ennek ellenére a baktériumok érzékenyek a pH-változásokra. Többségük pH 4,5-9,0 között szaporodik, bár intenzíven csak 1-2 pH intervallumon belül.

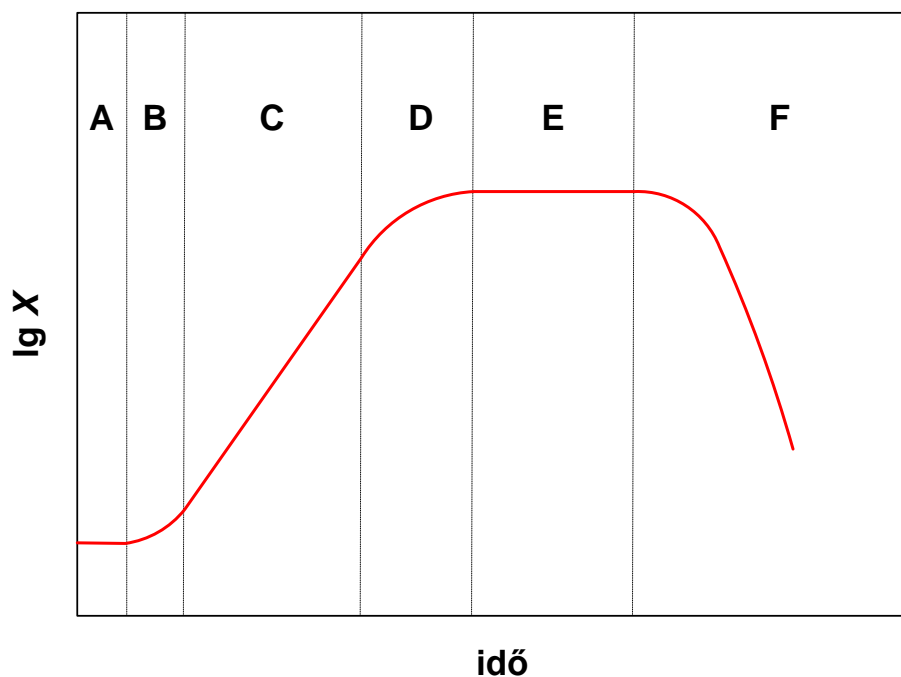
Láthattuk, hogy az anyagcsere-folyamatokban meghatározó szerepük van a redoxi reakciónak, így a közeg redoxi potenciálja is fontos

A szén- és energiaforráson kívül az új sejtanyag felépítéséhez szükséges valamennyi elemnek jelen kell lennie a közegben, a baktériumok számára felvehető formában. Megkülönböztetünk makroelemeket: C, O, H, N, P, S, K, Ca, és Mg, amelyeket az élő sejtek nagyobb mennyiségben igénylik, ezen kívül mikro- vagy nyomelemeket. Ez utóbbiak közül a Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V és a W a legfontosabbak.

A baktériumok növekedése

A baktériumok általában osztódással szaporodnak. Azt az időt, amely két osztódás között eltelik, generációs időnek nevezzük. A generációs idő 20 perctől néhány napig változhat.

Tiszta baktériumtenyészet növekedési görbéjét szakaszos rendszerben a **63. ábra** szemlélteti. Szakaszos tenyészetben ez a szaporodási folyamat korlátozott és jellemző szakaszokra bontható.



63. ábra. Baktériumok szaporodási görbéje

- A) Lag - vagy inkubációs - fázis. Az inokulum sejtjei ebben a szakaszban adaptálódnak az új környezethez. A sejtek száma nem változik, aktivitásuk egyre nő.
- B) Gyorsuló szaporodási szakasz
- C) Exponenciális, vagy log fázis. Ebben a szakaszban a generációs idő a fajra jellemző minimális érték és állandó. A baktériumok száma folyamatosan megkettőződik, és exponenciálisan növekszik. Az idő és a baktériumszám logaritmusai között így egyenes arányosság áll fenn, ezért ezt a szakaszt logaritmikus, vagy log fázisnak is nevezik.
- D) Lassuló szaporodás szakasza
- E) Állandósult szakasz, a maximális szinten állandó élősejtszám szakasza, amelyet a sejtosztódás és sejtpusztulás egyensúlya jellemez.
- F) Pusztulási szakasz. Ebben a szakaszban a baktériumok pusztulási sebessége meghaladja az új sejtek képződésének sebességét. A pusztulási sebesség a baktérium fajtájától és a tenyészfeltételektől függ.

A fenti növekedési szakaszok természetesen csak akkor érvényesek, ha megfelelő mennyiségű tápanyag áll rendelkezésre. Ellenkező esetben tápanyag-limitált állapot következik be, a szaporodás sebessége csökkenni fog.

A hulladéktechnológiák gyakorlatában azonban a legtöbb folyamat során kevert mikrobapopulációval találkozunk, amelyekben az egyes fajok bonyolult táplálkozási kapcsolatrendszere alakul ki.

A mikroorganizmusok növekedésének kinetikája

Az előző fejezetben növekedési görbe exponenciális szakaszának jellemzéséhez bevezethetjük a fajlagos növekedési sebesség fogalmát (r_g). Ha a növekedés számára minden feltétel adott, vagyis a tápanyagok gyakorlatilag korlátlan mennyiségben állnak rendelkezésre, akkor ez a növekedési sebesség arányos a mikroba koncentrációjával.

$$r_g = \frac{dX}{dt} = \mu X \quad (3)$$

ahol: r_g - a növekedési sebesség
 X - a mikróbakoncentráció
 μ - a fajlagos növekedési sebesség
 t - az eltelt idő

A fajlagos növekedési sebesség az adott mikroorganizmusra és a szénforrásra jellemző. értéke csak abban az esetben állandó, ha a növekedéshez szükséges minden tápanyag elegendő koncentrációban van jelen. A legtöbb szennyvíztisztítási eljárásban azonban valamely tápanyag mennyisége korlátozott, ekkor szubsztrát limitációról beszélünk.

A limitáló szubsztrát koncentráció fajlagos növekedési sebességre gyakorolt hatását a Monod nevéhez fűződő összefüggés írja le:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (4)$$

ahol: μ_m - a maximális fajlagos növekedési sebesség

S - a szubsztrátkoncentráció

K_s - a szubsztrát féltelítési állandója, amely fizikai tartalmát tekintve az a szubsztrát koncentráció, amelynél a fajlagos növekedési sebesség a μ_m értékének fele

Más , a gyakorlat számára a viszonyokat érzékletesen mutató megközelítésben: ha a szubsztrátkoncentráció jóval nagyobb, mint a féltelítési állandó ($S \gg K_s$) a növekedés nulladrendű-, ellenkező esetben ($S \ll K_s$) elsőrendű- kinetikával közelíthető.

A hulladéktechnológia gyakorlatában általában nem a keletkező baktériumtömeg, hanem a szubsztrátkoncentráció, amely a folyamat termékének minőségi jellemzője a legfontosabb paraméter. A növekedési és a szubsztráteltávolítási sebesség között a hozam bevezetésével teremthetünk kapcsolatot.

$$\frac{dX}{dt} = -Y \frac{dS}{dt} = -Yr_s \quad (5)$$

ahol: r_s - a szubsztrátfelhasználási sebesség vagyis a szubsztrátkoncentráció változása az időben

Y - a hozam, vagyis az egységnyi tömeg- szubsztrát eltávolítása során keletkező baktériumtömeg.

$$Y = -\frac{dX}{dS} \quad (6)$$

A fenti egyenletek összevonásával megkaphatjuk, hogyan függ a szubsztrát eltávolításának sebessége magától a szubsztrátkoncentrációtól:

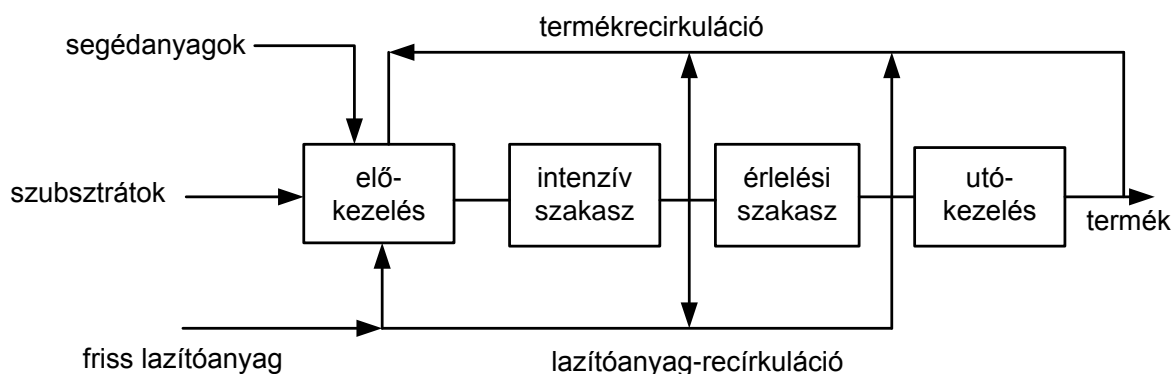
$$r_s = -\frac{\mu_m X S}{Y(K_s + S)} \quad (7)$$

A biológiai hulladékkezelő rendszerekben ez a teljesítőképességükre jellemző talán legfontosabb kritérium.

6.2.2 Komposztálás – aerob termofil szervesanyaglebontás

A komposztálás olyan szerves anyagok biológiai lebontására és stabilizálására szolgáló eljárás, melynek során a biológiai hőtermelés következtében előálló termofil hőmérsékleteken (tipikusan 45 °C fölött) lezajló folyamatok stabil, patogén- és gyommagmentes, talajjavításra alkalmas terméket eredményeznek. Fő termékei a szén-dioxid, víz, hő, és természetesen a kész komposzt.

A komposztálás általános sémája a 64. ábrán látható. Magát a komposztálási folyamatot általában két részre osztják: egy kezdeti, gyors fázisra, és egy azt követő érlelési szakaszra. A két szakasz összehasonlítását a 22. táblázat tartalmazza.



64. ábra. A komposztálás általános folyamatábrája.

22. táblázat. A komposztálás intenzív és érési szakaszának összehasonlítása

szakasz	Intenzív	érési
oxigénigény	Magas	alacsony
hőmérséklet	termofil (> 45 °C)	mezofil (környezeti)
szervesanyag-lebontás	intenzív, nagy mértékű	lassan bontható komponensek degradációja
szagmisszió	Jelentős	elhanyagolható
mikrobakultúra	elsősorban termofil baktériumok	elsősorban mezofil baktériumok, sugárgombák, gombák
kezelés	mérnöki szempontból jobban kézben tartott	kevesebb odafigyelést igényel

A komposztálás nyersanyagai

Gyakorlatilag bármilyen szerves eredetű anyag alkalmas komposztálásra, feltéve, hogy VS-tartalma (VS = volatile solids, szerves szárazanyag-tartalom) nagyobb 30 %-nál. Ilyen, komposztálásra alkalmas anyagok például a biohulladékok (háztartásokban képződő konyhai hulladékok, a települési szilárd hulladékok biológiailag bontható frakciója), a mezőgazdasági hulladékok (szalma, törköly, kukoricaszár, stb.), a zöldhulladékok (lomb, nyesedék, fű, faapríték, kéreg), a szennyvíziszap, a papírhulladékok, a trágyák (híg- és istállótrágyák, baromfitrágyák), stb.

Van azonban néhány szennyező komponens, amelynek jelenléte kizárja a komposztálást. Ilyenek tipikusan:

- a nehézfémek (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se, Zn)
- illetve bizonyos szerves szennyezőanyagok (toxikus illetve perzisztens, a lebontásnak ellenálló szerves molekulák, elsősorban peszticidek).

Az adalék- és segédanyagok szerepe

Nagy nedvességtartalmú nyersanyagok esetén szükség lehet térfogatnövelő/lazítóanyagok adagolására. Ezek szerepe elsősorban az, hogy megfelelő hézagterefogatot, ezáltal jó oxigénellátottságot biztosítsanak a komposztálódó anyagnak.

Lazítóanyagként elsősorban a nagy szárazanyag-tartalmú, szemcsés anyagok jöhetnek szóba: faapríték, szalma, fűrészpor, darált autógumi.

Tápkomponensek rendelkezésre állása (C/N-arány)

A mikroorganizmusok megfelelő életműködéséhez szükség van a szerves szénen kívül egyéb elemekre is, amelyek közül a legfontosabbak a nitrogén és a foszfor. Jóval kisebb

mennyiségben szükséges a kálium, a kalcium, a magnézium és a vas, de szinte az összes elem kisebb-nagyobb mértékű jelenléte előfeltétele a jól működő metabolizmusnak. Ezek közül jellemzően a nitrogén szokott problémát okozni; vagy azért mert túl kicsi mennyiségben van jelen a nyersanyagban, vagy azért, mert túl sok van belőle.

A mikrobajetek C/N aránya kb. 5:1. Értelmetlen volna azonban a tápanyagokat ilyen arányban dúsítani nitrogénnel, minthogy a mikrobák az általuk feldolgozott szervesanyag széntartalmának csak kb. 20 %-át használják fel bioszintézisükhöz, 80 %-át energianyérés céljából elégetik. Megfelelőbb tehát a kiindulási 25:1-es C/N arány.

Ez a 25:1-es arány inkább elméleti érték; a nehezen bomló szerves komponensek (pl. lignin) miatt célszerűbb 30-35:1-es C/N arányt fenntartani.

A komposztálás során a C/N-arány csökken, a komposztok C/N-aránya (10-20) közelebb van a talaj szervesanyagainak hasonló mutatójához, mint a kiindulási anyagoké.

A kívánatosnál alacsonyabb arány ammóniakibocsátást (szaghatást) okoz. A magasabb arány következtében lelassul a lebontás (nitrogénlimit), ami korlátozott önhevülést is jelent, azaz a patogénmentesítés határfoka leromlik. Az irodalom minden esetben kihangsúlyozza azt a tényt, hogy a szennyvíziszapokban több a nitrogén ennél az optimális aránynál, ezért valamilyen nagy széntartalmú anyaggal kell őket keverni. Tipikusan a fűrészpor/szalma/faapríték mint segédanyag alkalmazása jön szóba minden esetben, azonban a komposztálás intenzív szakasza során, amikor is a C/N-aránynak kiemelt szerepe van, nincs elegendő idő a cellulóz alapú szubsztrátok számottevő lebomlásához (lásd faapríték-visszanyerés a szennyvíziszap komposztálása során), így ezek a segédanyagok csak mint lazító komponensek jönnek szóba szennyvíziszap komposztálása esetén.

A környezeti tényezők hatásai a komposztálásra

Nedvességtartalom

A komposztálás során az optimális nedvességtartalom 40-60 % között van. Az ennél magasabb nedvességtartalom kiszorítja a pórusokból a levegőt, anaerob feltételeket teremt. A túl alacsony nedvességtartalom sem előnyös: a túl száraz közegben a mikrobák metabolizmusa leáll.

Hőmérséklet

A komposztálás során a folyamat beindulásával a mikroorganizmusok hőtermelésének következtében a hőmérséklet a termofil tartományba (45 °C fölé) emelkedik. Ez több szempontból előnyös:

1. A magasabb hőmérséklet gyorsítja a biokémiai folyamatokat, azaz a komposzt lebontása gyorsul. Ez a gyorsító hatás azonban nem érvényesül minden határon túl, a lebontás 65-70 °C fölött jelentősen lelassul. Az optimális folyamatsebesség elérése érdekében fontos tehát a hőmérséklet szabályozása. Erre elsősorban a reaktoros komposztálás során van mód, mégpedig a bevezetett légáram szabályozásával

A környezeti hőmérséklet erőteljes visszaesése elsősorban a prizmás komposztálás során okozhat gondot: a hidegebb téli időszakokban a termofil hőmérsékleti viszonyok kialakulása elmaradhat.

2. Az intenzív szakasz során megszokott hőmérsékletértékek mellett a komposztálódó hulladékban található patogén mikroszervezetek rövid időn belül elpusztulnak. Ez a fajta termofil tartományban tapasztalt „hősterilizálás” (higiénizálás) a komposztálás egyik legkedvezőbb tulajdonsága, hiszen a komposztálandó hulladékok esetében éppen a fertőzőképesség jelenti az egyik legfőbb problémát. Hatásfoka függ a folyamat során elért hőmérséklettől és az ott eltöltött idő hosszától. A jelenleg érvényes szabályozás a **23. táblázat** bemutatott értékeket írja elő a megfelelő higiénizálás érdekében különböző komposztálási megoldások esetén.

23. táblázat. A komposztálás során a 23/2003 (XII. 29.) KvVM rendeletben meghatározott minimális hőmérséklet-tartózkodási idő követelmények

	hőmérséklet	kezelés	forgatás
		időtartama	gyakorisága
prizmakomposztálás	55 °C	2 hét	5
prizmakomposztálás	65 °C	1 hét	2
(alternatíva)			
zárt rendszerű	60 °C	1 hét	-
komposztálás			

Oxigénkoncentráció – a komposztálási folyamat levegőztetése

A komposztálás során három alapvető célja van a levegőztetésnek:

1. fedeznie kell a szervesanyag-lebontás oxigénigényét (sztöchiometrikus igény)
2. levegőt használunk a nedves szubsztrátokból a felesleges vízmennyiség eltávolítására (szárítási igény)
3. a levegő által elvitt vízpára tekintélyes hőmennyiséget is magával visz, azaz ilyenformán lehetőség van a komposzt hűtésére, a hőmérséklet szabályozására (hűtési igény)

Sztöchiometrikus levegőigény

<i>24. táblázat. Különböző szervesanyag-fajták általános közelítő összetétele</i>	
hulladékösszetevő	tipikus kémiai összetétel
szénhidrátok	$(C_6H_{10}O_5)_x$
fehérjék	$C_{16}H_{24}O_5N_4$
zsírok, olajok	$C_{50}H_{90}O_6$
iszap	
nyers	$C_{22}H_{39}O_{10}N$
kevert	$C_{10}H_{19}O_3N$
hulladék (teljes szerves frakció)	$C_{64}H_{104}O_{37}N$
fa	$C_{295}H_{420}O_{186}N$
fűnyesedék	$C_{23}H_{38}O_{17}N$
hulladék	$C_{16}H_{27}O_8N$
zöldhulladék	$C_{16}H_{38}O_{16}N$
baktériumok	$C_5H_7O_2N$
gombák	$C_{10}H_{17}O_6N$

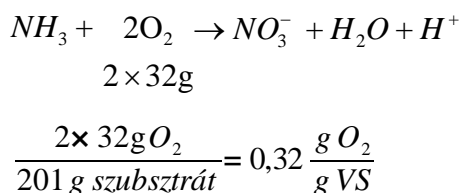
A **24. táblázat** alapján például a szennyvíziszap sztöchiometriai oxigénigénye a következő módon becsülhető:

$$C_{10}H_{19}O_3 \square 12,5 O_2 \square 10CO_2 \square 8H_2O \square NH_3$$

$$201g \quad 12,5 \times 32g$$

$$\frac{12,5 \times 32g O_2}{201g \text{ szubsztrát}} = 1,99 \frac{g O_2}{g VS}$$

A szervesanyagbontás során szabaddá váló ammónia oxidálódhat (nitrifikáció) a következő reakció szerint:



A nitrifikálás oxigénszükséglete – mint látható – jóval alacsonyabb, mint a szervesanyag-lebontásé, de általában az ammónia nagyon kis része oxidálódik nitráttá a folyamatban. Legnagyobb része elillan a komposztból, tekintélyes hányada felhasználódik új sejtek szintéziséhez, illetve meg kell jegyeznünk, hogy a komposztálás termofil szakaszában a

nitifikálás folyamata amúgy is visszaszorul, mivel az erre képes mikrobacsoportok hőmérsékleti optimuma a termofil hőmérséklettartomány alatt van.

Nagyon sok komposztálási nyersanyag magas cellulóztartalommal jellemezhető. A szénhidrátok kémiai összetételével számolva a fentiekhez hasonló gondolatmenet mentén kb. 1 g O₂/gVS oxigénigényhez juthatunk, míg a zsíros, olajos komponensek esetén ez az igény 4 g O₂/gVS. A szennyvíziszapra – mely maga is fehérjék, lipid- és szénhidrát jellegű anyagok keveréke – kapott 2 g O₂/gVS tipikusnak mondható a komposztálás szempontjából szóba jöhető anyagok esetén.

Az összes levegőigény, 23,2 tömeg%-os oxigéntartalommal számolva 8,58 g levegő/g szubsztrát VS értékre jön ki; ez az a levegőmennyiség, amit a komposztálás teljes időtartamára elosztva kell bejuttatnunk a komposztba (tehát nem keverendő össze a komposzt pillanatnyi levegőigényével).

Szárítási levegőigény

A kész, megfelelő állagú komposztot általában 40 % körüli nedvességtartalom jellemzi. Ez alacsonyabb, mint a lebontás szempontjából ideális 60 %, tehát a komposzt megfelelő nedvességtartalmának beállításához szárításra van szükség, különösen ha azt is figyelembe vesszük, hogy a biológiai lebontás során víz is képződik.

Ezt a szárítást célszerű a komposztálási folyamat közben a levegőztetés segítségével megvalósítani, kihasználva a mikroorganizmusok által megtermelt hőt. A komposztból távozó levegő jó közelítéssel felveszi a komposzthalom hőmérsékletét, és a halmon való áthaladás közben kisebb-nagyobb mértékben párateltté válik. A távozó levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának ismeretében számítható az eltávozó vízmennyiség, azaz a számítást megfordítva a szárítási levegőigény.

Fontos tudnunk, hogy a komposzt hőjével történő szárítás felső határa kb. 70%-os szárazanyag-tartalom körül van; e fölött az érték fölött a mikrobák számára már nagyon kevés víz található a komposztban, az életfolyamataik, ezáltal a hőtermelés is leáll.

Elmondható, hogy a szárítási levegőigény általában jóval nagyobb, mint a sztöchiometrikus igény.

A hőelvonás levegőigénye

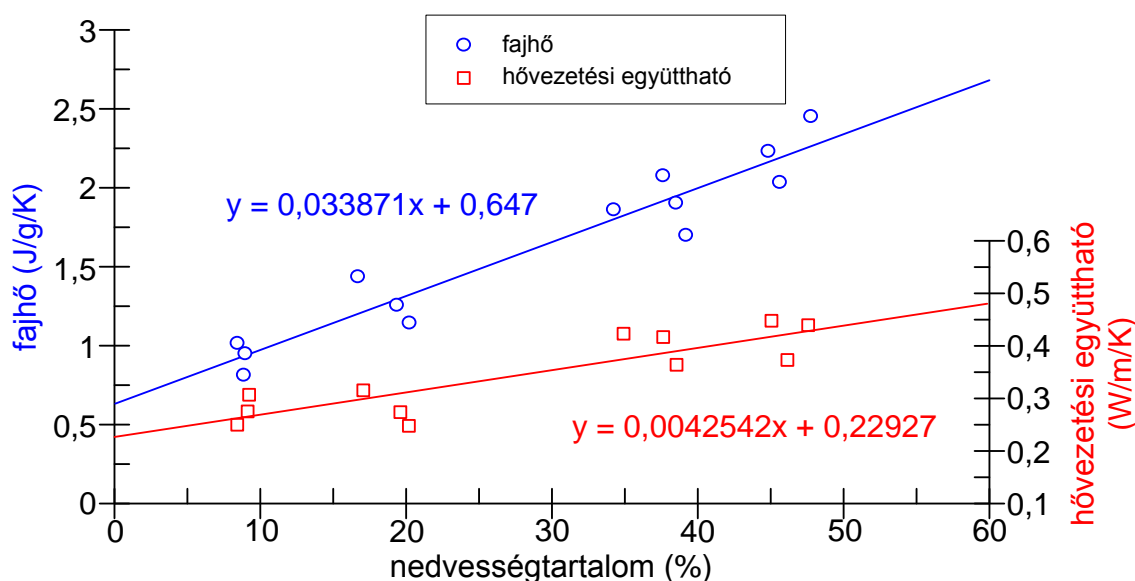
A biokémai reakciók exponenciálisan gyorsulnak a hőmérséklet növekedésével, de csak egy bizonyos határig; a komposztálási folyamat hőmérséklete könnyen elérhet olyan értékeket, amelyek már károsítják a mikrobák életfolyamatait, ilyenkor a hőmérséklet válik limitáló

tényezővé. A komposztálás során beálló hőmérséklet becsléséhez, szabályozásához ismernünk kell a mikrobiális hőtermelés mértékét, valamint a hőveszteség jelentősebb mechanizmusait.

Közismert tapasztalat, hogy a mikrobák által termelt hő egyenesen arányos az aerob lebontási (égetési) reakciókban felbomlott szerves kötésekben részt vevő elektronok számával. A hőtermelés elektronegyenértéke 109 kJ/mol elektron, azaz 436 kJ/mol O₂, mivel az oxigén az égési reakciókban molekulánként 4 elektront vesz át az elégetett szerves komponensektől. Ez azt jelenti, hogy a hőtermelés becsülhető a mikrobiális légzési (oxigénfogyasztási) értékekből. A komposztálás során felszabaduló hőmennyiség elsősorban a folyamatból kilépő meleg, páratelt levegővel távozik, azaz a levegővel eltávolított hőmennyiség könnyedén számítható a víz párolgás- és fajhőjének ismeretében.

A hőelvonás levegőigénye szintén jóval nagyobb a sztöchiometrikus igénynél, ezért a szárítási levegőigény mellett ez a másik fontos tényező a komposztálás levegőztetése során. Ugyanakkor mivel az elvitt hőmennyiség döntő része a távozó levegő páratartalmával jut ki a rendszerből, a szárítás és a hőelvonás szorosan kapcsolt folyamatok a rendszerben.

A komposzt-hőháztartás szempontjából fontos a komposzt tulajdonságainak (fajhő, hővezetőképesség) figyelembe vétele is (**65. ábra**).



65. ábra. A komposzt termikus tulajdonságai

(Mears, D. R., Singley, M. E., Ali, C. and Rupp, F. Thermal and Physical Properties of Compost, in Energy, Agriculture and Waste Management, W. J. Jewell, Ed. (Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science Publisher, Inc., 1975))

Mint az ábrából látható, a nedvességtartalommal lineárisan változik a komposzt fajhője és hővezetési tulajdonságai is. Az adatok alapján kimondhatjuk, hogy a komposzt hővezetési együtthatója viszonylag kicsi, ezért a komposzt nagy tömegben mint hőszigetelő anyag is szerepet játszik a folyamatban.

Szakaszos légáramok a komposztálás során

A légáramok becsléséhez/beállításához (amelyre elsősorban a reaktoros komposztálás során van lehetőség) a fenti sztöchiometriai jellegű ismereteken túl szükség van a mikrobiális kinetika, a lebontási sebességek ismeretére is.

Szakaszos rendszerek esetén, mint pl. a prizmás komposztálás, az átlagos levegőigény kiszámítható a fenti módon számított összes levegőigények és a komposztálási idő hányadosaként. Általában néhányszor tíz (50-70) levegő/t szárazanyag/h levegőztetési sebességek jellemzőek. Azonban ez nem mindig elegendő; az intenzív lebontási szakasz elején az átlagos levegőigényt meghaladó csúcsigények jelentkeznek. Ez abból fakad, hogy a mikrobiális folyamatok nem azonos sebességgel zajlanak a szakaszos komposztálás során, hanem jellegzetes lefutásuk van, 4-14 mg O₂/gVS/h nagyságrendű csúcslégzéssel. A csúcsigényt az adott mikrobiális légzés csúcs mellett szükséges hőelvonási kapacitás határozza meg; amennyiben a levegőztetőrendszerünk nem képes a csúcsigények kielégítésére, a komposzt túlhevül.

A levegőigény erősen függ a komposztálás során tartandó hőmérséklettől is, amint az a *Error! Reference source not found.* is látható.

25. táblázat. A komposzt levegőztetési igényének hőmérsékletfüggése

komposztálási hőmérséklet	levegőigény (szárazanyag/h)
45	400
50	170
55	60
60	40
65	6
70	4,5

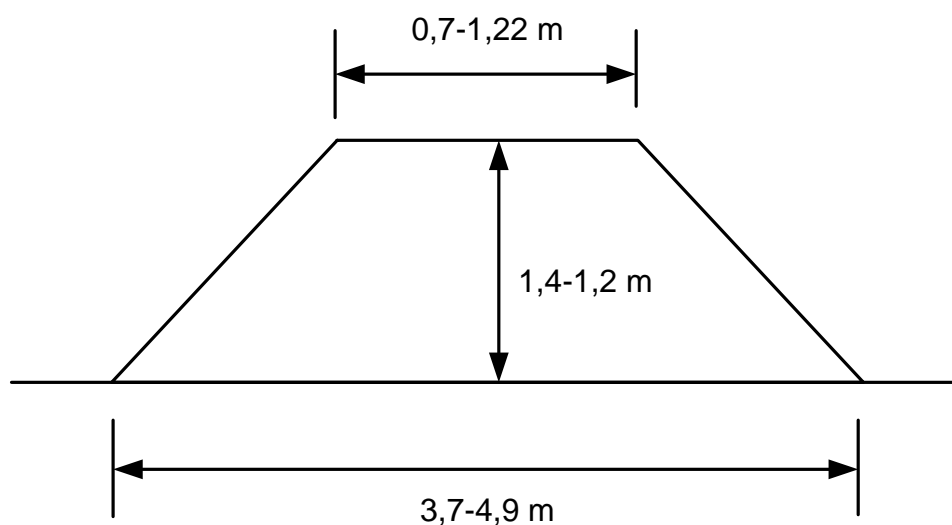
Folytonos rendszereknél a komposzt rendszerbeli tartózkodási ideje szabja meg az átlagos levegőztetési igényt, amely hasonlóan a szakaszos rendszerekhez néhányszor tíz (60-70) levegő/t szárazanyag/h nagyságrendben mozog.

6.2.2.1 A komposztálási eljárások

Prizmás komposztálási megoldások

Forgatott prizmás eljárások (windrow process)

Ez talán a leggyakrabban alkalmazott komposztálási eljárás. A komposztálandó anyagot háromszög vagy trapéz keresztmetszetű prizmákba rendezik, és meghatározott időközönként forgatják. A prizmák jellemző méreteit a **66. ábra** mutatja.



66. ábra. *Forgatott prizmák jellemző méretei*

Általában lazítóanyag nélkül építik a prizmákat, ebből fakad a levegőztetett megoldásokhoz képest kisebb méret.

Az oxigénutánpótlást jórészt a folyamat során felmelegedő gázok helyébe lépő környezeti levegő mozgása által fenntartott természetes szellőzés biztosítja (kéményhatás), kisebb mértékben pedig a forgatás során bejutó levegőmennyiség. Előfordul olyan változata is, amelyet a forgatás mellett levegőztetnek is, ilyenkor a forgatás szerepe csupán a komposzt homogenizálására korlátozódik.

A forgatott prizmás komposztálás mindenfajta komposztálásra alkalmas nyersanyag feldolgozására alkalmas, manapság azonban elsősorban zöldhulladék kezelésére használják.

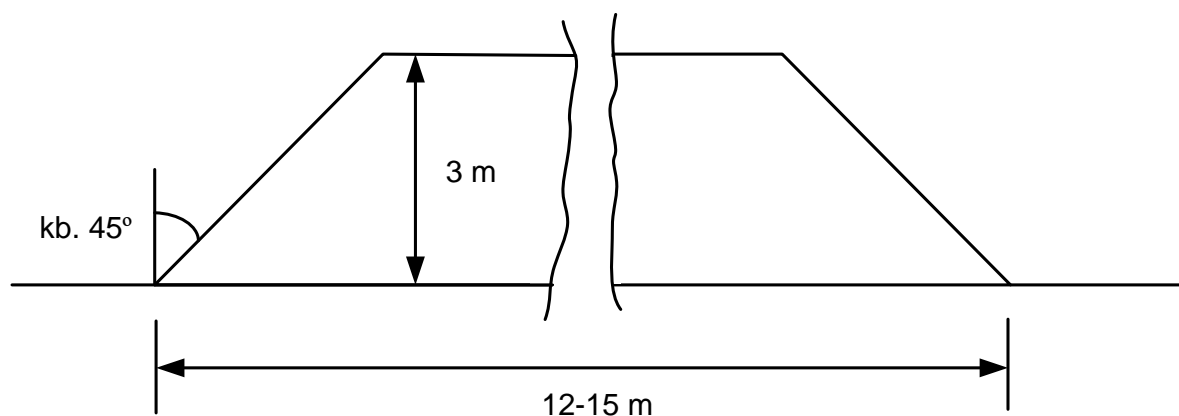
Az intenzív, termofil szakasz ennél a technológiánál 3-4 hétig tart, ennek során heti 1-2-szeri forgatás indokolt. A hőmérséklet ebben a szakaszban elérheti a 65-70 °C-ot is.

A komposzt forgatására telepmérettől és egyéb adottságoktól függően használhatunk egyszerű homlokrakodót, vagy komposztforgató célgépet. A célgép használatát elsősorban nagyobb komposztmennyiség, gyakori forgatási igény indokolja.

Az eljárás hátránya a viszonylagos lassúság és az intenzív szakaszban elkerülhetetlen szaghatás. Komposztérelésre viszont ez a technológia tökéletesen megfelel, nagyon gyakori, hogy az intenzív, reaktoros komposztálási eljárásokat követő érlelési szakaszt forgatott prizmás komposztálás használatával oldják meg.

Levegőztetett prizmás eljárások (aerated static pile, Beltsville-, Rutgers-eljárás)

A fő eltérés a forgatott prizmás eljárásokhoz képest az, hogy itt a komposztálandó anyaghoz (leggyakrabban szennyvíziszap) térfogatnövelő/struktúrányagot adagolnak (pl. faapríték, darált autógumi, mogyoróhéj, stb.), ami olyan porózus, önmegtartó szerkezetet eredményez, amely nem igényli a komposztálás közbeni forgatást. A levegőztetett prizmák jellemző méretei a **67. ábra** láthatók.



67. ábra. Levegőztetett prizma tipikus méretei

A 3-5 napos felfutási időt követő intenzív szakasz általában három hétig tart.

A levegőztetés a komposzthalom alá fektetett perforált csövek segítségével történik. Mind légbefúvásos mind pedig elszívásos levegőztetési megoldások ismertek.

Általában nagyobb nedvességtartalmú anyagok (pl. szennyvíziszap) komposztálására alkalmas a lazítóanyag-adagolás miatt. A folyamat során gyakorta visszaforgatják a kész komposztból visszanyert lazítóanyagot (a komposzt átrostálásával 85-90 %-os visszanyerési arányt érhetünk el).

Létezik az eljárásnak szemipermeabilis membrántakaróval zárttá tett változata. Előnyei közt tartják számon, hogy a membrán biztosítja a gázcserét, de a szaganyagokat, a nedvességet és a hőt visszatartja. A nedvesség visszatartása mindazonáltal problémák forrása is lehet – a

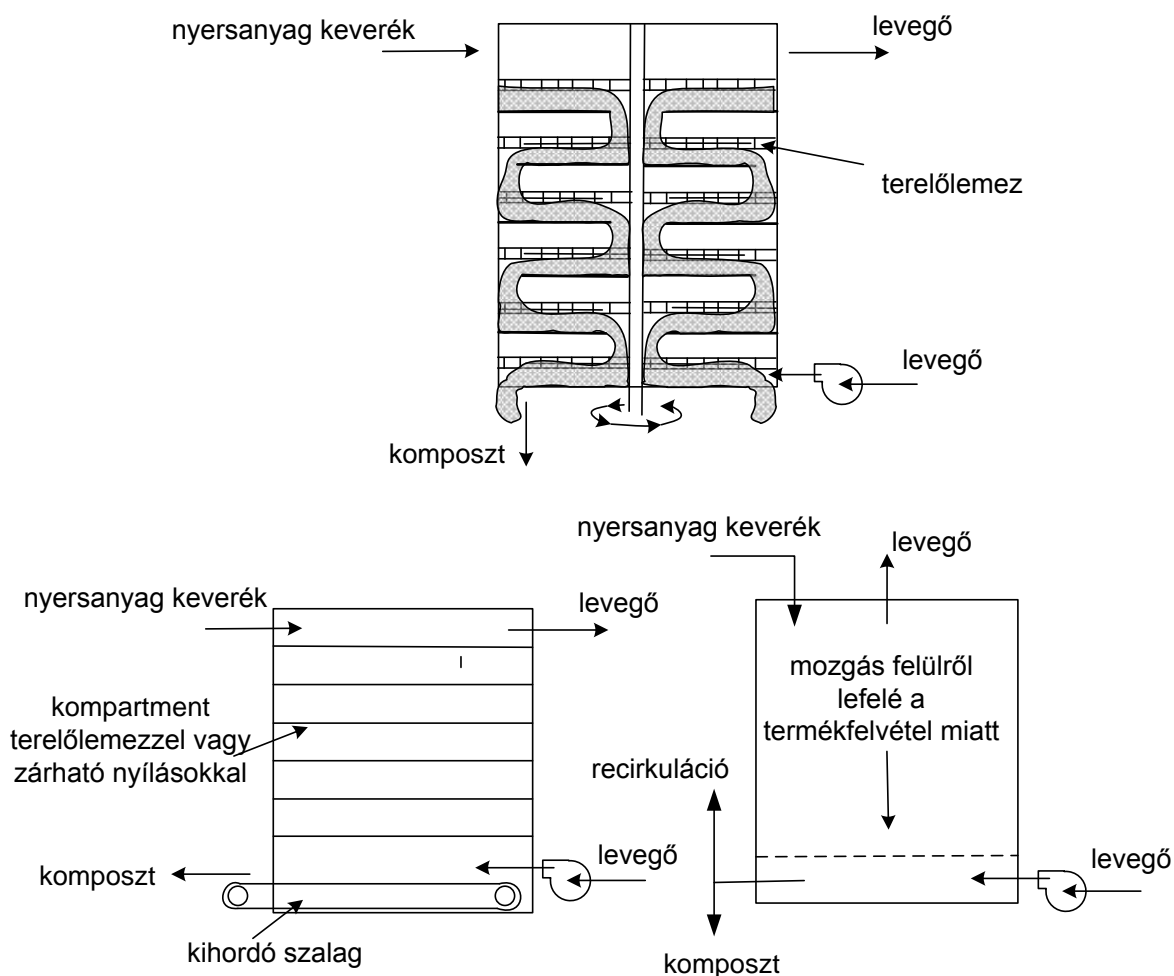
komposzthalom külső felülete elázhat a membránon kondenzálódó párától, ami rontja a halom külső rétegeinek porózus szerkezetét.

Reaktoros komposztálás

A reaktoros eljárásokat feloszthatjuk szakaszos és folytonos technológiákra, illetve a folytonos csoporton belül a reaktorkialakítás szerint megkülönböztethetünk függőleges illetve vízszintes átfolyású reaktorokat.

Folytonos rendszerek – függőleges átfolyású reaktorok

Az ide sorolható megoldások tovább csoportosíthatók aszerint, hogy a reaktoron a komposzt felülről lefelé haladása során van-e lehetőség az anyag keverésére. Az anyag keverése általában akkor történik a vízszintes kompartmentekre osztott reaktorokban, amikor az bizonyos tartózkodási idő után egy szinttel lejjebb hullik. Függőleges átfolyású rendszereket szemléltet a **68. ábra**.



68. ábra. Függőleges átfolyású folytonos komposztálóreaktor-megoldások

A reaktorok jellemzően 6-9 m magasak, általában 2 hetes tartózkodási idővel működnek. A legegyszerűbb, silószerű kivitelek kivételével mára gyakorlatilag eltűntek ezek a rendszerek.

Vízszintes kialakítású reaktorok

Ezek a megoldások is tovább csoportosíthatók aszerint, hogy hogyan történik a komposzt továbbítása a reaktorban. Ismerünk

- forgódobos
- kevert kamrás megoldásokat.

Forgódobos reaktorkialakítás

A betáplálás és az elvétel a reaktor ellenkező oldalain történik. A fekvő dobreaktor enyhén lejt az elvétel oldala felé; ez, illetve a dob forgó mozgása biztosítja az anyag keveredését és folyamatos haladását az elvételi oldal felé. Az áramlási rövidzár kiküszöbölése érdekében a dobreaktort több, egymástól válaszfalakkal ellátott részre osztják.

A forgási sebesség jellemzően 0,1-1 rpm.

Ez a megoldás különösen alkalmas inhomogén nyersanyagok kezelésére (pl. települési szilárd hulladék szerves frakciója), mivel az üzemszerű forgás közben fellépő nyíróerők felaprózzák, homogenizálják a reaktor tartalmát.

Általában pár napos–egyhetes tartózkodási idővel üzemelnek ezek a reaktorok.

Kevert kamrás megoldások (agitated bins)

Kör- és négyszögalaprajzú elrendezések is ismeretesek.

Kör alakú elrendezés esetén a nyersanyagok betáplálása a kör külső kerületén, míg az elvétel a kör középpontjában kialakított nyíláson történik. Egy lassan forgó hídra szerelt csigasor végzi a keverést és a komposzt továbbítását a reaktor közepe felé. A híd körbefordulásához néhány órára van szükség.

A levegőztetést általában alsó légbefúvással valósítják meg. A jellemző tartózkodási idő ezekben a reaktorokban 7-14 nap. A reaktorátmérő akár 40 m is lehet, a komposzt általában 2-3 m magasan van elosztva a reaktor teljes keresztmetszetében.

Négyszög alaprajzú megvalósításoknál a reaktor hosszanti falára felszerelt síneken mozgó hídra rögzítik a keverésért felelős csigákat. A betáplálás a reaktor végén történik, ahonnan – csakúgy, mint a kör alapú elrendezések esetén – a keverés továbbítja a komposztot a reaktor másik végén

kialakított elvételi pont felé. A reaktorok hossz/szélesség aránya nagyon nagy is lehet, nem ritka a többszáz méter hosszúságú reaktor sem.

Jellegükönél fogva ezek a kialakítások is maximálisan alkalmasak hulladékkomposztálásra.

Statikus, anyagmozgatás nélküli reaktoros megoldások (cellás vagy kamrás komposztálás)

A fentebb bemutatott megoldásokhoz képest sokkal egyszerűbb kialakítású reaktorokkal dolgoznak ebben az esetben: adott egy hőszigetelt kamra, ahova a komposztálási ciklus elején behordják a megfelelően kialakított nyersanyagkeveréket, a végén pedig eltávolítják a kész komposztot. A komposztálási ciklusidő általában 7-14 nap, a komposztálás során a kamrában nincs keverés. Általában alsó légbefúvással végzik a levegőztetést.

Nagy előnye ennek az elrendezésnek a többi, komplex kialakításhoz képest a fokozott üzembiztonság (nincs mozgó alkatrész a reaktorban), a komposztálási folyamat teljes kézmentarthatósága. A levegőztetést általában a komposzt hőmérsékletéről vagy a távozó gázok O₂- vagy CO₂-tartalmáról vezérlik.

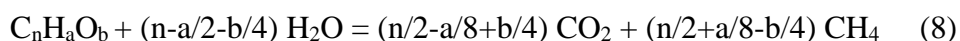
Utóérlelés a reaktoros komposztálási lépés után

Minden reaktoros komposztálási művelet megfelelő időtartamú utóérlelést igényel, amely általában prizmás rendszerben történik. Mind a forgatott, mind pedig a levegőztetett prizmás/halmos eljárások elterjedtek. Általában 4-6 hetes érlelési periódust szokás az intenzív reaktoros szakasz után iktatni.

6.2.3 Az anaerob hulladékkezelés

Anaerob lebontásnak azt a folyamatot nevezzük, melynek során szerves anyagok oxigénmentes körülmények között disszimilálódnak. Ha a folyamat teljes mértékben végbemegy, illetve oxigén, szulfát és nitrát hiányában, amikor a szén-dioxid egyetlen lehetséges terminális elektronakceptor, végtermékként metán és szén-dioxid keletkezik.

Ezt a heterogén mikrobapopuláció hatására lejátszódó folyamatot metános rothadásnak, vagy metános fermentációnak, a keletkező gázt pedig biogáznak nevezzük. A képződött szén-dioxid és metán mennyisége elméletileg a következő egyenlet sztöchiometriai együtthatóiból számítható, amennyiben a disszimilált szerves molekula kizárólag szén, hidrogén és oxigénatomokból épül fel:



A biomassa molekulái azonban gyakran nitrogén és kénatomokat is jelentős mennyiségben tartalmaznak, minek következtében a biogáz kén-hidrogénnel és ammóniával szennyezett.

Az anaerob lebontás végtermékei az aerob degradációval összehasonlítva, ahol az oxigén a terminális elektronakceptor, nagy energiatartalmú vegyületek. Ez azt jelenti, hogy egységnyi tömegű lebontott szubsztrátból kevesebb energia fordítható a sejtek növekedésére és fenntartására, a reprodukció jóval kisebb mértékű, mint aerob körülmények között.

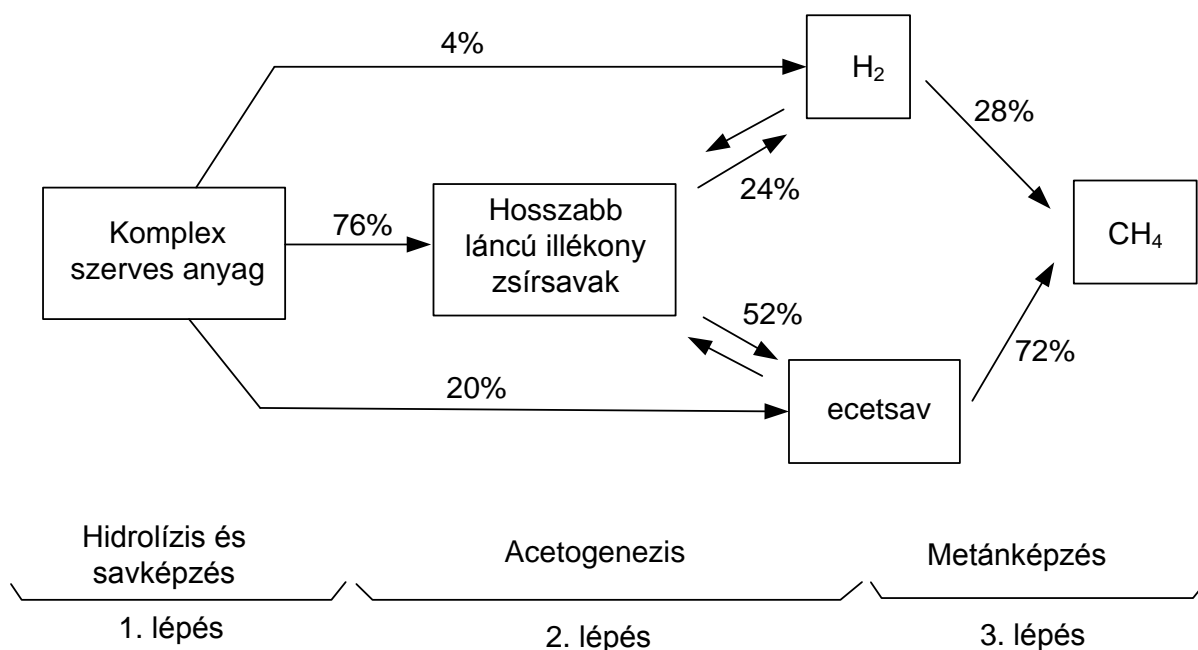
A komplex szerves anyag anaerob biodegradációja - másnéven a metános rothadás több, egymást követő lépésből álló folyamat során megy végbe. A vonatkozó szakirodalom korántsem egységes a reakciósorozat elemeinek csoportosítása terén. A probléma megközelítése szempontjából az eddig közölt csoportosításokat az alábbiak szerint foglaljuk össze:

A/ Biokémiai szempontból a folyamat négy fő reakciótípusra osztható amelyek a következők:

- a) - Hidrolízis, melynek során a komplex organikus makromolekulák lebontása történik monomerjeiké, hogy azok vízoldhatóvá válva a baktériumok sejtmembránján áthatolhassanak.
- b) - Savképzés, melynek során a hidrolízis eredményeképpen keletkezett molekulák ecetsavvá, és nagyobb molekulatömegű zsírsavakká alakulnak.
- c) - Acetogenezis, melynek során az előző lépések intermedierjei (propionsav, vajsav, etanol stb.) ecetsavvá alakulnak. Ezt a lépést korábbi munkákban a savképzéssel együtt tárgyalták, azonban ezt a megközelítést elavultnak tartjuk, mivel mind a reakció jellege, mind az acetogenezisért felelős mikroorganizmusok jelentősen eltérnek az előző csoporttól.
- d) - Metántermelés, melynek során az ecetsavból, illetve az oldott hidrogénből és széndioxidból metán keletkezik.

B/ Mikrobiológiai szempontból vizsgálva a lebontást, három lépéses folyamatról beszélhetünk, mivel a fenti felosztás első két lépését gyakorlatilag ugyanaz a mikrobapopuláció végzi, csak a hidrolízis extracelluláris enzimek segítségével játszódik le, míg a savképzés a citoplazmában, endoenzimek hatására zajlik. Az acetogenezis és a metánképzés mikrobiológiai szempontból is két különböző lépés.

C/ A gyakorlat számára fontos megkülönböztetéssel **kinetikai szempontból** két lépést tárgyalhatunk, - annak alapján, hogy a hidrolízis és a savképzés gyors, az acetogenezis és a metánképzés viszont lassú folyamat. Hasonló eltérés van az acidogén, illetve az acetogén és a metanogén baktériumok fajlagos növekedési sebessége között is. Ezen alapul az úgynevezett kétfázisú anaerob rothasztási technológia, melynek lényege, hogy a savképzés és a metántermelés, külön készülékben, eltérő körülmények között játszódik le.



69. ábra. A metánfermentáció háromlépéses modelljének egyszerűsített sémája, az elektronáramlás százalékos megoszlásával.

Az anaerob folyamatok kinetikája

A szerves anyagok anaerob lebontása kinetikai szempontból három fő szakaszra osztható:

1.- A lebegő szerves anyagok **hidrolízise, mely elsőrendű kinetika** szerint zajlik:

$$r_h = k_h [S_x] \quad (9)$$

ahol:

r_h a hidrolízis reakciósebessége

k_h a hidrolízis sebességi állandója

$[S_x]$ a lebegőanyag formájában jelenlevő szerves szubsztrát.

2.- Az oldott szerves anyagok fermentációja, mely illékony zsírsavakat, elsősorban ecetsavat eredményez. A savképző (acetogén) baktériumok növekedése, így a savképzés reakciósebessége a Monod-összefüggéssel írható le

3.- **A metánképzés, a lebontási folyamat utolsó lépése.** A hulladéktechnológia szempontjából jelentős, hogy a három szakasz közül a hidrolízis lassú, a savképzés viszonylag gyors, míg a metánképzés ismét lassú folyamat, általában az egész anaerob lebontás sebességmeghatározó lépése.

Megállapítható, hogy a vegyes baktériumtenyészetben a szubsztrátlebontási sebesség jóval kisebb, mint külön-külön a tiszta tenyészetekben. E jelenség oka egyrészt a két baktériumcsoport eltérő környezeti (pH, hőmérséklet) optimuma, másrészt az, hogy a savképződésnek és felhasználásnak egyensúlyban kell lennie, különben súlyos következményekkel járó pH-csökkenés következik be. Ez a metanogének pH-optimuma környékén biztosítható, ahol a savképzők már nem működhetnek teljes intenzitással.

A technológia alkalmazását befolyásoló tényezők

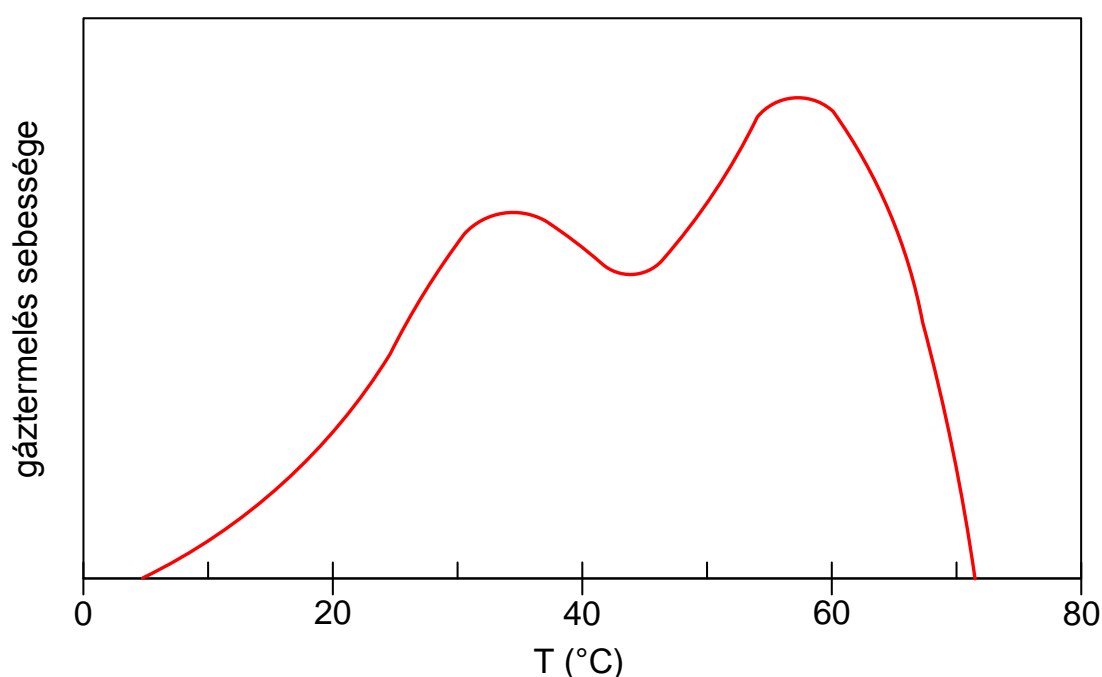
Mint láttuk, az anaerob szervesanyag-lebontás sebességét az utolsó lépés, a metántermelés szabja meg. A környezeti tényezők metanogén baktériumokra gyakorolt hatása így közvetve az egész folyamatot befolyásolja, ezért a tárgyhoz kapcsolódó kutatások elsősorban a mikrobacsoport tulajdonságaira koncentrálnak. Az anaerob kezelés gyakorlati megvalósítása során az egyes kontrolparaméterek megválasztása is a metanogének ökológiai valenciájához igazodik, ezért a szabályozás, irányítás lehetőségeit, módszereit is ebben a pontban foglaljuk össze.

Hőmérséklet

Metánképződést iszaprothasztókban 0 és 75 °C között tapasztaltak. A metántermelés hőmérsékletfüggése a **70. ábra** látható. Technológiai szempontból két jelentős hőmérséklettartományt különböztetünk meg, a mezofil (30-37 °C) és a termofil (50-65 °C) zónát. A mezofil tartományban a hőfok fokozatos emelésével a 35°C körüli maximum után, 40°C-on túl aktivitás-csökkenést tapasztalunk, melynek oka a pusztulási sebesség növekedése és a hozamkonstans csökkenése. A hőmérsékletet tovább növelve a termofil zónába jutunk. Ez egyben egy más összetételű mikrobaközösség kialakulását is jelenti. A baktériumok lízise itt gyors, ezért csak az exponenciális növekedés feltételei között tudnak fennmaradni. A gáztermelés sebessége a termofil zónában 25-50 %-kal nagyobb, mint a mezofil tartományban. A hozamkonstans ellenben mintegy 50%-kal kisebb. Ezért és mivel a termofil

törzsek spektruma is lényegesen szűkebb, a felfutási idő hosszabb a termofil reaktorokban és nehezebb az adaptálódás a szubsztrát összetételének változásaihoz és a toxikus hatásokhoz. A patogén mikroorganizmusok és a féregpeték eliminációja viszont jobb a termofil eljárás során. A metántermelés lehetséges 20 °C alatt is, azonban ezt a - pszichrofilnek nevezett - tartományt eddig jóval felületesebben vizsgálták, elsősorban állati trágyák kezelésével kapcsolatban, de egyre terjedő alkalmazási területe a **deponiagázhasznosítás**.

Az anaerob lebontás sebessége a hirtelen hőmérsékletváltozásra is érzékeny. A hulladéktechnológia gyakorlata számára fontos, hogy a hőmérsékletszabályozást úgy kell megoldani, hogy a hőfok ingadozása ne legyen több, mint 1-2 °C/d



70. ábra. A gáztermelés hőmérsékletfüggése metános fermentáció során

A pH hatása

A metántermelés optimális pH-tartománya igen szűk: 6,8 és 7,4 közé esik, pH 6 alatt és pH 8 fölött a metántermelés csökken, majd teljesen leáll.

A pontos pH-szabályozás az anaerob hulladéktechnológia gyakorlata számára az egyik sarkalatos probléma. A reaktorokban a pH-t az illósavak koncentrációja, a lúgosság és a reaktor légterében uralkodó CO₂-parciális nyomás határozza meg. A nyersanyag bázikus (lúgosságot okozó) anyagai (Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄⁺ vegyületek) ebben szintén szerepet játszanak. Hiányuk vagy alacsony koncentrációjuk esetén a nyersanyaghoz lúgosságot növelő anyagokat kell adagolni.

Anaerob környezet

A metanogén szervezetek növekedésének egyik feltétele, hogy a környezet redoxipotenciálja - 330 mV-nál alacsonyabb legyen

Szervesanyagok különbözősége, és egyéb tápelemek

A különböző szervesanyagok anaerob lebontásának a sebessége eltérő. A tisztítási technológiával összefüggésben a nyers szennyvíz fizikai állapotát (oldott- és lebegőanyag tartalom), és kémiai összetételét kell figyelembe venni.

A szénhidrátok közül csak a cellulóz bonthatósága nem kielégítő. A nagy cellulóz tartalmú anyagok biogázosítása, ezért nem javasolt.

A fehérjék lebontása gyors, de a melléktermékként keletkező nagymennyiségű NH_3 -át az utótisztításkor figyelembe kell venni.

Ha a nyersanyagban az összes szervesanyag tartalomra vonatkoztatva a természetes zsírok és olajok mennyisége több 5%-nál és / vagy 250 g/m^3 -nél a biogázosítás nem javasolt, illetve a zsírokat, olajokat előzetesen el kell távolítani. A nyersanyag magas fehérje és zsírtartalma egyébként erős habzást is okozhat.

Az anaerob rothasztáshoz szükséges KOI:N:P arány elméleti minimuma 350:7:1. A gyakorlatban ez a szervesanyag-terhelés függvénye, átlagosan 500:5:1. Ha a nyersanyag nem tartalmazza a szükséges mennyiségű nitrogént és foszfort, akkor a kiegészítő mennyiséget külön kell adagolni.

Az ammónia a metanogén baktériumok fő nitrogénforrása, azonban a szabad ammónia $0,1-0,2 \text{ gN/dm}^3$ koncentráció felett erősen toxikus. A metántermelés szempontjából kedvező pH 7 értéknél az ammónia nagy része ammónium-ion formában van jelen, így $5-8 \text{ gN/dm}^3$ összes ammóniakoncentráció még elviselhető.

Néhány nyomelem jelenléte szintén elengedhetetlen növekedésükhöz. Ezek: Co, Fe, Mo, Ni

A nitrát és szulfát hatása

A nyers hulladék, NO_3^- és SO_4^{2-} tartalma kedvezőtlenül befolyásolja az anaerob biodegradáció folyamatát. Mindkét anyagnak inhibitor hatása van a metántermelésre, egyrészt közvetlenül, az ismert redoxipotenciál-kritériumok, valamint a metanogén és szulfátredukáló baktériumok közötti kompetíció miatt; másrészt közvetve, mivel a belőlük anaerob körülmények között keletkező ammónia és kén-hidrogén - mint láttuk - magasabb koncentrációban toxikus hatású. Egyéb toxikus anyagok jelenléte

A biológiai folyamatra toxikus anyagok jelenlétében már a tervezésnél különös gonddal kell eljárni. Általában igaz az, hogy bizonyos mennyiségű mérgező anyagot az anaerob mikroflóra képes elviselni, illetve képes ahhoz adaptálódni.

A mérgező, de biológiailag bomtható anyagokhoz a reaktor szokásosnál lényegesen lassabb beüzemelésével, illetve már adaptálódott oltókultúra használatával lehet a rendszert hozzászoktatni.

Az anaerob tisztítás gyakorlati megvalósítása, az eljárás legfontosabb üzemeltetési paraméterei
Az anaerob hulladéktechnológia gyakorlata számára fontos teljesítményének jellemzésére az aerob eljárásokhoz hasonlóan az alábbi fajlagos terhelési adatokat használhatjuk: Fajlagos térfogati szervesanyag- (vagy KOI-) terhelés (B_V , mértékegysége: $\text{kg}/\text{m}^3\text{nap}$):

$$B_V = \frac{QC_{KOI}}{V_R} \quad (10)$$

Fajlagos iszapterhelés (B_X , mértékegysége: $\text{kg}/\text{kgISnap}$):

$$B_X = \frac{QC_{KOI}}{V_R X_R} \quad (11)$$

ahol:

V_R a reaktorok hasznos térfogata,

X_R a reaktorok hasznos térfogatára vonatkoztatott aktív iszapkoncentráció

Az alkalmazható maximális iszapterhelés a reaktor fajtájától és a szennyvíz típusától függ. A különböző nyersanyagokra vonatkozó tájékoztató B_X értékeit a szennyvíztisztítás esetére definiálhatjuk, általában $0,2-1 \text{ kg KOI}/\text{kgISnap}$

A fenti terhelési értékek huzamosabb ideig tartó túllépése az anaerob reaktor túlterheléséhez vezet, ami a lebontási hatásfok rohamos csökkenését eredményezi. Túlterhelés esetén előbb megnő az illósav (ecetsav, propionsav, vajsav stb.) koncentráció, majd a pH elkezd csökkenni és végül leáll a gáztermelés. Az "elsavanyodás" veszélye miatt az anaerob reaktorok

túlterhelését szigorúan el kell kerülni. Általánosan alkalmazandó szabály, hogy a maximális reaktor kapacitás ($B_{V_{max}}$) mintegy 50-65 %-áig lehet csak a reaktorokat terhelni.

A rendszer működését a szennyezőanyagok eltávolításának hatásfoka jellemzi, amit az aerob rendszereknél ismertetett módon számítunk. A rendszer hatásfoka a hulladék fajtájától és minőségétől (KOI/BOI arány) és a reaktor terhelésétől függ, de egyensúlyban lévő rendszerben a η_{KOI} 60 és 90 % közötti, míg az η_{BOI} 85-90% feletti érték.

A gáztermelés a technológia sajátossága és egyben hulladéktechnológia **energiahozama szempontjából fontos**. A biogázképződés mennyiségi jellemzése a gázképződés órai vagy napi mennyiségén (Q_G : Nm³/nap) túl a fajlagos térfogati gázképződéssel (Y_V : Nm³/m³nap) és a lebontott szervesanyagra vonatkoztatott fajlagos gázképződéssel (Y_C : Nm³/kgKOI) történik:

$$Y_V = \frac{Q_G}{V_R} \quad (12)$$

$$Y_C = \frac{Q_G}{Q(C_0 C_e)} \quad (13)$$

A szervesanyagra vonatkoztatott fajlagos biogázképződés (Y_C) nagymértékben függ a szervesanyag biológiai bonthatóságától, vagyis a BOI₅/KOI aránytól, valamint a szervesanyag kémiai összetételétől.

A gázhozamot és összetételt azonban nem csak a szubsztrát szénttartalmának átlagos oxidációs foka, hanem a N/C arány is befolyásolja.

1 kg lebontott KOI-ból átlagosan (keverék szervesanyag) 0.35 m³ CH₄ keletkezik.

Ha a szennyvíz főleg szénhidrátot tartalmaz, Y_C értéke alacsonyabb, csak mintegy 0.26-0.27 Nm³/kgKOI.

A biogáz CO₂ tartalma jellegzetesen 15 és 45 % között változik. A metán / szén-dioxid arány közvetlen kapcsolatban van a közeg alkalitásával. Ha az alkalitás magas, több szén-dioxid oldódhat kémiailag, ami a CO₂ tartalom csökkenését okozza.

A biogáz a metánon és széndioxidon kívül kis mennyiségben tartalmazhat még:nitrogént (1-2 tf%), hidrogént (0,5-2 tf%), valamint kénhidrogént (0,25-6tf%) A "szennyezők" közül a kénhidrogén akadályozza a gáz felhasználhatóságát. A H₂S tartalom a nyersanyag szulfát és

fehérje tartalmától függ, nagy szulfát koncentrációjú nyersanyag esetén elérheti az 5-6 tf%-ot is. Ilyenkor a gáz hasznosítása előtt a H_2S -t el kell távolítani. A gáztisztításra a különböző vastartalmú reagensanyagok váltak be klasszikus eljárásoknál.

Az aerob eljárásokhoz hasonlóan az anaerob kezelés során is számolhatunk, bár nagyságrenddel kisebb mértékű fölösiszap képződéssel.

Ennek mértékét akkor is figyelembe kell venni, ha a képződő iszap nem válik el a kezelt hulladéktól (hagyományos kevert rendszerekben).

6.2.3.1 Az anaerob szervesanyag lebontás során alkalmazott reaktortípusok

A reaktorokkal szemben alapvető követelmény, hogy a betáplált anyagárammal érkező bontandó szervesanyag és a lebontást végző mikroorganizmusok (iszap) érintkeztetése minél tökéletesebb legyen. A műszaki megvalósítás realitását és gazdaságosságát szolgáló másik követelmény, hogy az igen kis szaporodási sebességű és hozamú metanogén baktériumok által végzett alapvetően lassú folyamat ellenére minél nagyobb reaktorteljesítményt érjünk el.

Ennek a reaktorkialakítással befolyásolható egyetlen lehetséges útja, az X_R iszapkoncentráció növelése, amit immobilizált sejteket tartalmazó reaktortípusok alkalmazásával érhetünk el.

Az anaerob hulladéktechnológia gyakorlata számára legfontosabbhagyományos megoldás a **kontakt reaktor** kevert tartályreaktor, amelyhez valamilyen szilárd-folyadék fázisválasztó (általában üleptítő) csatlakozik. A biomassa visszatartás az iszap recirkulációjával valósul meg.

A kétlépcsős anaerob tisztítás alapja :

A sok lebegő szilárd komponenst tartalmazó a komplex szubsztrátok, főleg a vizsgált **(fél)szilárd hulladékok** anaerob lebontását kétféle, fiziológiailag, tápanyagszükségletében eltérő, a zavaró hatásokra másképpen reagáló, eltérő környezeti optimumú mikroba-populáció végzi. Célszerű ezért olyan eljárás kidolgozása, ahol a kétféle mikrobacsoportot egymástól elválasztják és külön-külön optimalizált körülmények között tenyésztik.

Ennek kézenfekvő lehetősége a kinetikai fázisválasztás, amely a mikrobák eltérő generációs idején alapul. Rövid, néhány órás tartózkodási időt alkalmazva a metánképzők (és ezen belül az ecetsavat felhasználók) a reaktorból kimoshatók. egy kialakul az első, savas fázis, melyben a hidrolízis és a savképzés optimális környezeti feltételek mellett (pH=5-6) zajlik.

A második, metános reaktorban, amelybe az előző elfolyóját tápláljuk be, célunk az illó szerves savak eltávolítása. Ez a berendezés a metánképzéshez optimális feltételeket, 7,0 körüli pH-t és a metenogének szaporodását biztosító hosszabb iszaptartózkodási időt biztosít.

A kétfázisú eljárás legfontosabb előnyeit az egyfázisúval szemben az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- A folyamat intenzívebb, ezért a berendezések szükséges összterfoglata és egyben a beruházási költség is kisebb
- Üzemeltetése biztonságosabb, mivel a lökésszerű toxikus hatásokra és a túlterhelésre kevésbé érzékeny.

6.2.4 A depóniagáz keletkezése, kitermelése

6.2.4.1 A hulladéklerakók kialakításának hatása a gáz keletkezésére

A hulladéklerakókban az elhelyezett szervesanyag anaerob körülmények közé kerül és a beinduló anaerob biológiai lebomlás során biogáz termelődik. A gyakorlatilag kontrollálatlan, közel környezeti hőmérsékleten (pszichrofil körülmények között) végbemenő, lassú lebomlással járó folyamat lezajlása nagyban függ a hulladékok összetételétől, a lerakók kialakításától és korától:

6.2.4.2 A lerakó „életkorának” hatása

A lerakók jellegzetesen több évtizeden át üzemelnek, ill. – elsősorban éppen a bennük zajló biológiai és kémiai folyamatok miatt – felhagyásukat, lezárásukat követően is további évtizedekig számottevő változásokon mennek át. Az alábbiakban egy hagyományos, vegyes hulladékot fogadó depónia „életciklusát” foglaljuk össze a gázképződés oldaláról. A korszerű lerakókban ehhez képest figyelembe veendő hatásokat a következő két alfejezet emeli ki.

A lerakást követően rövid idővel (gyakorlatban már sokszor a hulladékgyűjtő edényekben) megindul a szerves összetevők spontán aerob lebontása. A folyamat sebessége a lebontható anyagok összetételén túl elsősorban a rendelkezésre álló oxigén és nedvességtartalom függvénye. A száraz hulladékban a vízhiány akadályozza a mikrobák tevékenységét, míg a nagyon nedves hulladékban elzáródnak a járatok és hamar válik anaerobbá a közeg. A lebontás intenzív hőképződéssel jár. Amennyiben elég nagy a szervesanyag aránya és jó az oxigén

utánpótlás (főleg a felszínhez közel), a keletkező hő jelentős hőmérséklet emelkedéssel jár (lásd komposztálás), akár öngyulladás is bekövetkezhet.

Az intenzív oxigénfelhasználás és a hulladék tömörödése (célzott tömörítése) miatt a hulladéktömeg belsejében hamar elfogy az oxigén, a közeg anaerobbá válik. Az anaerob lebontás kezdetén elsősorban illékony zsírsavak, CO₂ és hidrogén képződik. A pH savassá válik, így az ebben a szakaszban képződő csurgalékvíz még számottevő mennyiségű nehézfémeket, vasat, kalciumot és ammóniát is tartalmaz.

A későbbiekben beindul a szulfátredukció, majd a metánképzés (jellegzetesen a hulladék lerakását követő 2-4 évben). A szulfát redukciója nyomán képződő szulfid megkötöi a nehézfémeket, vasat, mangánt (oldhatatlan szulfid csapadék képződik). A zsírsavak lebomlása a pH-t semleges tartományba emeli vissza, ami tovább csökkenti a fémek kioldódását. Az ammónia anaerob környezetben nem oxidálódik, így a lebomlott szervesanyag N tartalma zömmel továbbra is ammóniaként távozik.

A savképző és metanogén folyamatok egy idő után egyensúlyba kerülnek és hosszabb távra (10-15 év) állandósul az 50-60% körüli metánt tartalmazó depóniagáz képződés.

Az anaerob úton bontható szervesanyag elfogyását követően a gázképződés csökken, majd érdemben leáll. Amennyiben a lerakó felülről nem zárt, a bediffundáló levegő újból anaerobbá teheti a viszonyokat. Az anaerob környezetben lassan újból megindulhat a képződött fém szulfidok oxidációja és a fémek visszaoldódása.

6.2.4.3 A hulladék összetételének hatása

A **hagyományos**, vegyes háztartási hulladékot befogadó hulladéklerakók további üzemeltetése gyakorlatilag azok utógondozására, ezen belül a depóniagáz kezelésére korlátozódik. E lerakók évtizedeken keresztül olyan vegyes összetételű hulladékot fogadtak, melyek jelentős része, 30-40%-a biológiailag bontható szervesanyag volt. Ennek a vegyes szervesanyagnak mintegy fele előbb-utóbb, a környezeti paraméterektől és a szervesanyag típusától (valamint a N, P és más tápelemek vagy inhibitorok jelenlététől) függő sebességgel, de lebomlik és a lebomlásnak megfelelő mennyiségű depóniagáz képződik belőle.

A **korszerű** hulladéklerakókba ma már csak olyan szervesanyagtartalmú hulladék helyezhető el, mely biológiailag előkezelt, stabilizált, azaz a biológiailag bontható anyagok túlnyomó része már lebomlott. A „stabilizált állapot” jogilag (még) nem definiált kritériumaként irányértéknek a négy napos aerob lebontás tesztet követően maximum 10 g O₂/kg sz.a. légzési sebesség vagy

a maximum 1 g O₂/kg VS · h dinamikus légzési index tekinthető¹. Ez a kritérium csak a hulladék szerves részének biológiai előkezelése, anaerob rothasztása vagy aerob lebontása (többnyire komposztálása) útján teljesíthető.

6.2.4.4 A lerakók kialakításának hatása

A fent leírt „depónia életciklus” egy korszerű lerakó esetén némileg befolyásolható ill. – főleg a felső lezáró szigetelés miatt – a végső fázisban módosul.

A depónia töltése során alkalmazott jelentős tömörítés és a rendszeres takarás a kezdeti anaerob lebomlási fázist igen gyorsan lezárja. A keletkező csurgalékvíz visszavezetésével nem csak annak kezelése történik meg, hanem a lebontó folyamatok számára szükséges nagyobb nedvességtartalmat is biztosítják

6.2.4.5 A keletkező depóniagáz összetétele és mennyisége

A depóniagáz összetétele

Az anaerob folyamatok stabilizálódása után keletkező gáz alapvetően metánt (50-65 tf%) és szén-dioxidot (35-50 tf%) tartalmaz. A többi komponens (illó szerves komponensek, hidrogén, kén-hidrogén) csak igen kis, „szennyező komponensnek” tekinthető mértékben jelennek meg (0,01-0,1 tf%).

A gáz hasznosítása szempontjából fontos a gáz fűtőértéke. Ez – természetesen a metántartalomtól függően – 20-25 000 kJ/Nm³

A termelő depóniagáz mennyisége

Ahogy az a fentiekből kitűnik, a lerakóban keletkező depóniagáz összes mennyiségét és ennél is jobban a keletkezés ütemét, ill. a keletkező gáz kinyerhető hányadát számos tényező befolyásolja. Az egyes, jellemzően egyedi kialakítású, ill. az évtizedeken át gyűjtött hulladék változó összetétele miatt nem általánosítható hulladék összetétellel ill. környezeti viszonyokkal jellemezhető lerakókból származó adatok igen széles tartományban szórnak.

¹ Készülő EU irányelv: „Biological treatment of biowaste”

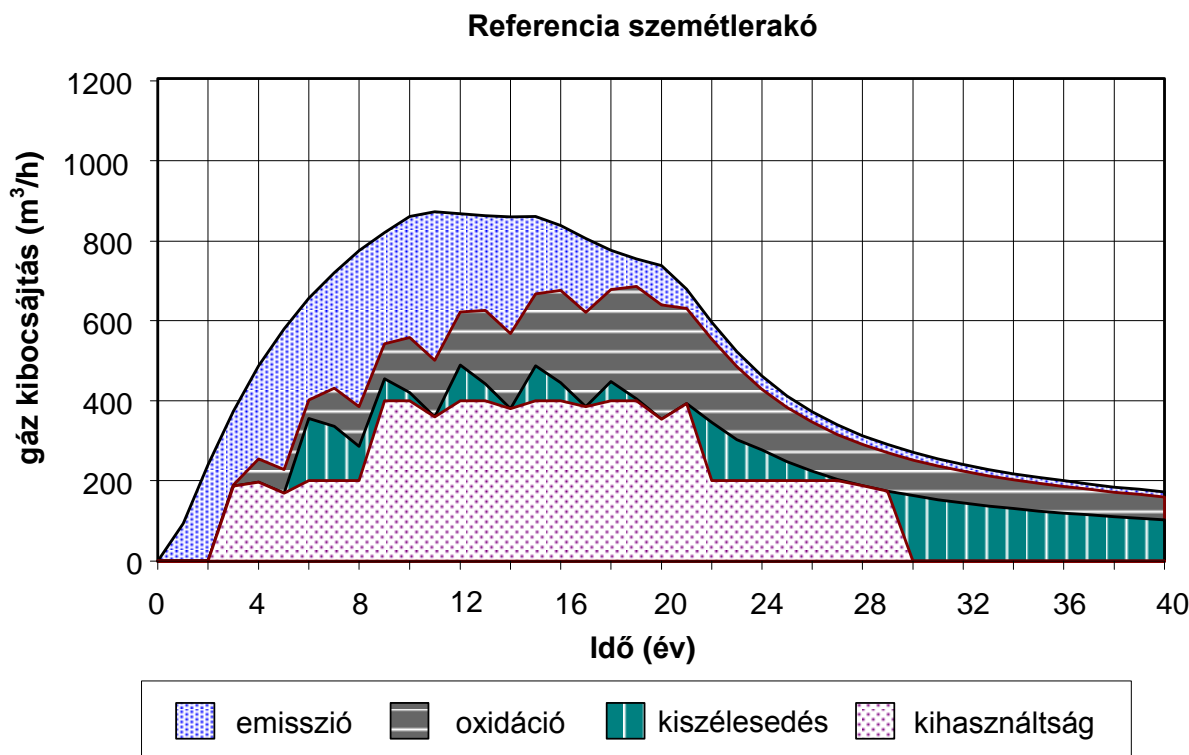
Az adatok feldolgozását tovább nehezíti, hogy általában nem dokumentált (ill. többnyire nem is ismert) a depóniaágz kinyerésének hatásfoka.

Az alábbi táblázatban közölt értékek szempontjából a fentiek alapján így az alsó határ a reálisan kinyerhető, míg a felső határ inkább az elvileg képződő gáz mennyiségeként kezelhető.

26. táblázat. A lerakott hulladékból keletkező depóniaágz mennyisége

	Gáz képződés üteme Nm ³ / kg szerves hull. /év	Összesen termelődő gáz Nm ³ / kg szerves hull.
Alsó értékek (≈kinyerhető)	10	150
Felső értékek (≈elméleti gázképződés)	30	600

Ahogy az az átlagolt adatokból is kitűnik, a gyakorlatban a szerves hulladék anaerob lebomlása mintegy 15-20 év alatt következik be. A lerakóra kerülő hulladékból az első pár évben gyorsuló ütemben növekszik a termelődő gáz mennyisége, 10-15 éven keresztül ez állandónak tekinthető sebességgel folytatódik, majd a bontható anyagok elfogyásával pár éves lecsengő, csökkenő gáztermeléssel járó szakasszal kell számolni.



71. ábra. Egy depóniában keletkező depóniaágz mennyisége

Az ábrán látható depóniagáz termelődés görbén feltüntettük a termelő depóniagáz sorsát is: A gáz elvezethető hányada a rendszer kialakításától és üzemeltetésétől függően 30-60% körül adható meg. Természetesen az elszívott gáz minél nagyobb hányadát érdemes hasznosítani, de a hasznosítás módjától is függően bizonyos mennyiség alatt, ill. bizonyos időszakokban a gáz biztonságos elfaklyázása is indokolt.

6.2.4.6 A depóniagáz kezelése, hasznosítása

A lerakóból keletkező gáz ellenőrzött gyűjtése ill. elvezetése több okból is szükséges:

- A keletkező metán a széndioxidnál 20-szor erősebb üvegházhatású gáz, így már az egyszerű elégetésével is jelentősen csökken az ilyen környezetszennyezés mértéke.
- A depóniagáz kellemetlen szaga (mely a másodlagos szennyező komponensek következménye) bűszennyezést okoz, de a szennyező komponensek miatt hosszabb távon egészségkárosító hatást is jelenthet.
- A gáz robbanásveszélyt okozhat a depónián és környékén
- A kiszivárgó gáz károsítja a közvetlen környék vegetációját
- A gáz hasznosításával energia nyerhető (kb. 35% metántartalomtól érdemes ezzel foglalkozni)

Depóniagáz kinyerés, kezelés

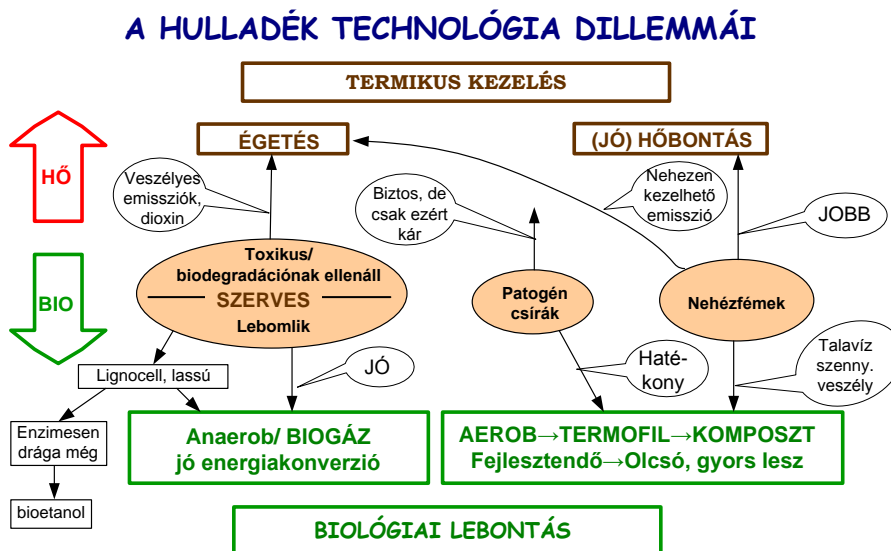
A **passzív módszerek** számottevő gázfejlődés esetén – a kivezetett gáz megjósolhatatlan, időjárásfüggő – terjedése miatt nem javasolhatók. Alkalmazásuk csak a már igen lecsökkent gáztermelésű régi lerakók esetén jöhet szóba (depónia felszínre vetített gáztermelés kisebb, mint 10-15 m³/m²/év).

Aktív gázkinyerés esetén a depóniagázt a hulladéktestben elhelyezett perforált csövekben (gázkutak) gyűjtik össze.

A gáz hasznosítása számos módon történhet, leggyakoribb a kazánban történő elégetés, de megfelelő mennyiségű (pl. > 50 Nm³/h) gáz esetén már szóba jöhet belső égésű gázmotorban és hozzá kapcsolt generátorban történő hasznosítás, melynek során a hőenergián kívül a hálózatba is visszatáplálható elektromos energia nyerhető. (A gázmotor üzemeltetéséhez szükség lehet a gáz további tisztítására, kéntelenítésére.)

6.2.5 A biológiai hulladéktechnológiák összefoglaló értékelése.

Az alábbi séma igyekszik szemléletessé tenni a hulladékkezelés –ártalmatlanítás útjának megválasztásával kapcsolatban fölmerülő kérdéseket, mind a „alapanyagra” mind a két legáltalánosabb szennyezőforrás környezeti hatásainak elkerülési hatékonyságára nézve, de tartalmaz gazdasági – energetikai utalásokat is



72. ábra. Hulladéktechnológiai dilemmák

6.3 Kémiai eljárások

Dr. Földényi Rita, PE, Dr. Halász János, SZTE

A hulladékok kezelése során a fizikai-kémiai törvényszerűségek alapvető szerepet játszanak, ezért a kémiai eljárások között külön fejezetet szentelünk a fizikai-kémiai műveleteknek (ezeket nem feltétlenül kíséri kémiai reakció), majd külön tárgyaljuk azokat a módszereket, amelyek valamilyen kémiai reakció lejátszódásán alapulnak. Fontos megjegyezni, hogy az itt bemutatásra kerülő eljárások – költségüktől függően – a hulladékok hasznosítása és ártalmatlanítása során egyaránt alkalmazhatók.

6.3.1 Fizikai-kémiai műveletek

6.3.1.1 Fázisszétválasztási műveletek: diszperz rendszerek megbontása

A különböző technológiai folyamatok megvalósítása során gyakran fordul elő, hogy valamely anyag heterogén diszperz rendszer formájában áll rendelkezésre, vagy képződik és kinyerésükhöz, tisztításukhoz a rendszert, azaz a közeget és a diszpergált részecskéket el kell választani. Ismeretes továbbá, hogy a szennyező anyagok viszonylag nagy része heterogén diszperz rendszer formájában kerül ki a környezetbe; ez az oka annak, hogy gyakorlatilag minden működő környezetvédelmi technológiának, így a hulladékkezelésnek is, tartalmaznia kell olyan műveleti megoldásokat, amelyek a heterogén diszperz rendszerek elválasztását teszik lehetővé.

Heterogénnek nevezzük azokat a rendszereket, amelyekben a különböző fizikai és/vagy kémiai tulajdonságú anyagrészeket – nem keveredő fázisokat – makroszkópiusan éles határfelületek választják el egymástól, és a határfelületek között 10^{-6} méternél nagyobb a távolság.

Diszperznek nevezzük azokat a rendszereket, amelyekben az anyag egyik része összefüggő közeget képez, és ebben helyezkedik el kis részekre osztva az anyag többi, a közegtől minőségileg eltérő része. **Heterogén diszperz rendszereknél** a részecskéket éles határfelületek választják el a közegtől. Az összefüggő fázist *diszperziós közegnek*, míg az ebben eloszló anyagot *diszpergált résznek* nevezzük.

A heterogén diszperz rendszerek alkotóinak szétválasztására a következő lehetőségeink vannak:

- szűrés,
- ülepités
- centrifugálás.

6.3.1.1.1 Szűrés, szűrőberendezések

A **szűrés** az a művelet, melynek során a diszperziós közeg valamilyen porózus rétegen vagy membránon nyomáskülönbség hatására áthalad, miközben a diszperz rész a rétegen/rétegben megkötődik. A szűrőrétegen áthaladt diszperziós közeget *szűrletnek*, a lokalizálódott diszperz részecskék halmazát (ha az láthatóan befedi a szűrőközeget) *szűrőiszapnak*, vagy *szűrőlepenyének* nevezzük.

Szűrőberendezésnek tekintjük azt a készüléket, amelyben elhelyezhetjük a szűrőréteget, melynek van az iszap felvételére megfelelő kamrája, továbbá tartalmaz a szűrlet felfogására és elvezetésére alkalmas tartályt vagy leeresztőcsatornát, illetve megfelelő szerkezeteket a kérdéses mennyiségek betáplálására és elvételére.

A szűrés nemcsak a kémiai- vagy biotechnológiai eljárásokban, hanem a környezettechnikai megoldásokban is alapvető jelentőségű művelet, hiszen a szennyező anyagok jelentős része heterogén diszperz rendszer formájában kerül ki a levegőbe vagy a vizekbe, és ezek elsődleges feldolgozása általában a szűrés műveletével kezdődik.

A szűrés általános értelmezése szerint a fluidum lehet folyadék, gáz vagy a kettő keveréke. A szűrés és a szűrőberendezések több módon osztályozhatók.

A szűrés **hajtóereje** szerint megkülönböztethetünk:

- (1) hidrosztatikai nyomással működő *gravitációs szűrőket*;
- (2) a szűrőréteg belépő oldalán túlnyomást alkalmazó *nyomószűrőket*,
- (3) a szűrőréteg kilépő oldalán létrehozott nyomáscsökkentéssel dolgozó *vákuum-szűrőket* és
- (4) a centrifugális erőteret felhasználó *szűrőcentrifugákat*.

A szűrési **mechanizmus** alapján, ugyanis a diszperz rész megkötődése a szűrőréteg minőségétől függően két módon történhet:

- (1) ha a szűrőréteg pórusai kisebbek, mint a diszperz részek mérete, akkor *kalibrációról*;

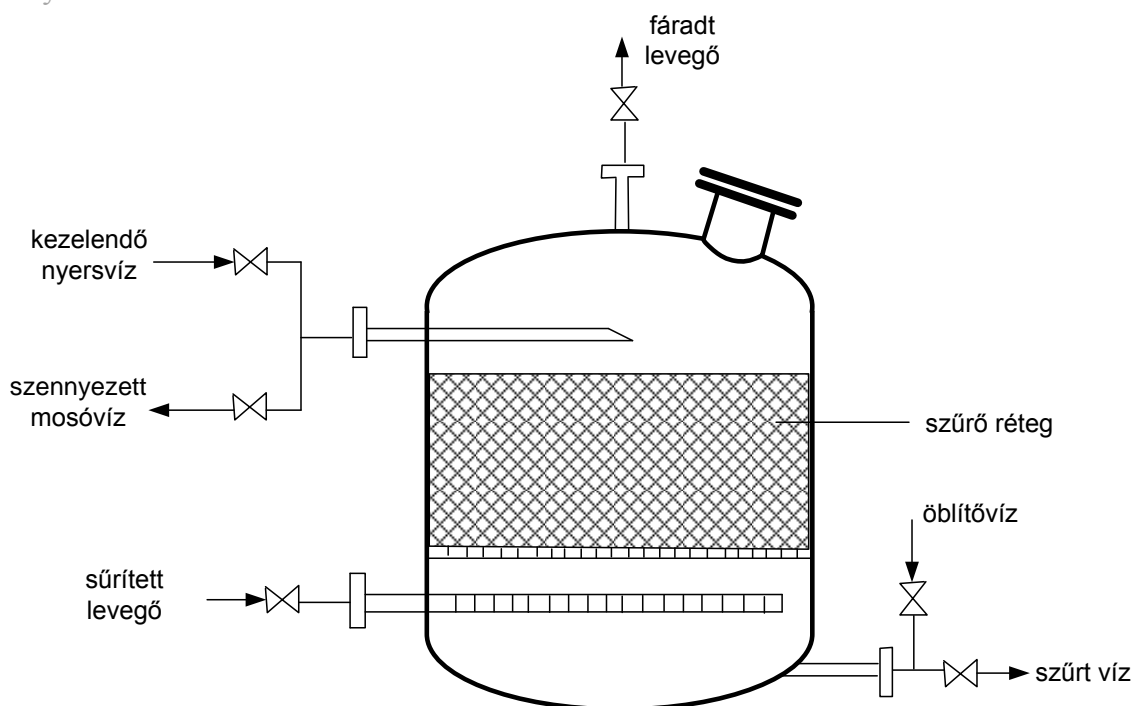
- (2) ha a szűrőréteg pórusai nagyobbak, mint a diszperz részecskék mérete, de a pórusokba bekerült szilárd anyagot felületi erők képesek megkötni, akkor *adhézióról* beszélünk.

A szűrőberendezések szerkezeti kialakításánál a szűrőberendezés teljesítőképességére, a szűrésnél alkalmazott nyomásra, a szűrőréteg elhelyezésére és rögzítésére, a szűrőlepeny eltávolítására és a közeg korrzív tulajdonságára kell tekintettel lenni.

A szűrőberendezés **teljesítőképessége** arányos a szűrőfelület nagyságával, ezért igyekszünk nagy felületű szűrőket készíteni. Ezt rendszerint azzal érik el, hogy nagy fajlagos felületű (lemez alakú vagy csöves) szűrőelemeket kapcsolunk össze párhuzamosan. Meg kell oldani azonban azt, hogy a diszperz rendszer ne keveredhessen a már leszűrt diszperziós közeggel, és hogy csak a szűrőrétegen keresztül történhessen áramlás. Szilárd, porózus szűrőréteget, fémszövetet ragasztással, hegesztéssel lehet tömören a szűrőedény falához rögzíteni. Ha a szűrésnél nagy nyomáskülönbséget alkalmazunk, akkor a szűrőréteg kellő alátámasztásáról is gondoskodni kell.

A fluidum állapotú szűrlet a berendezésből viszonylag egyszerűen (pl. csővezetéken) eltávolítható. A diszpergált rész azonban szilárd (iszap) halmazállapotú, melynek eltávolítása nehézségekkel jár. A régebben szokásos kézi eltávolítás ma már csak kis teljesítőképesség esetében maradt fenn, az iszap eltávolítását igyekeznek automatizálni. A szűrőberendezések szakaszos vagy folyamatos üzeme is elsősorban az iszapeltávolítás megoldásától függ.

A *mélyégi szűrésben* használatos *laza, szemcsés rétegű szűrőberendezések* esetében a szűrőréteget a szűrendő diszperz rendszer minősége alapján kell kiválasztani. Semleges és savas kémhatású vizes rendszerek esetében éles szemcséjű *kvarchomokot*, lúgos közegeknél *zúzott mészkövet*, kátránnyal szennyezett vizes szuszpenziók kezelésére durván őrölt *faszenet*, *kocszot* használnak. A leszűrt diszpergált részt csak a szűrőréteg anyagával keveredve lehet a készülékből eltávolítani, ezért ilyen berendezéseket csak a diszperziós közeg tisztítására alkalmazzák.

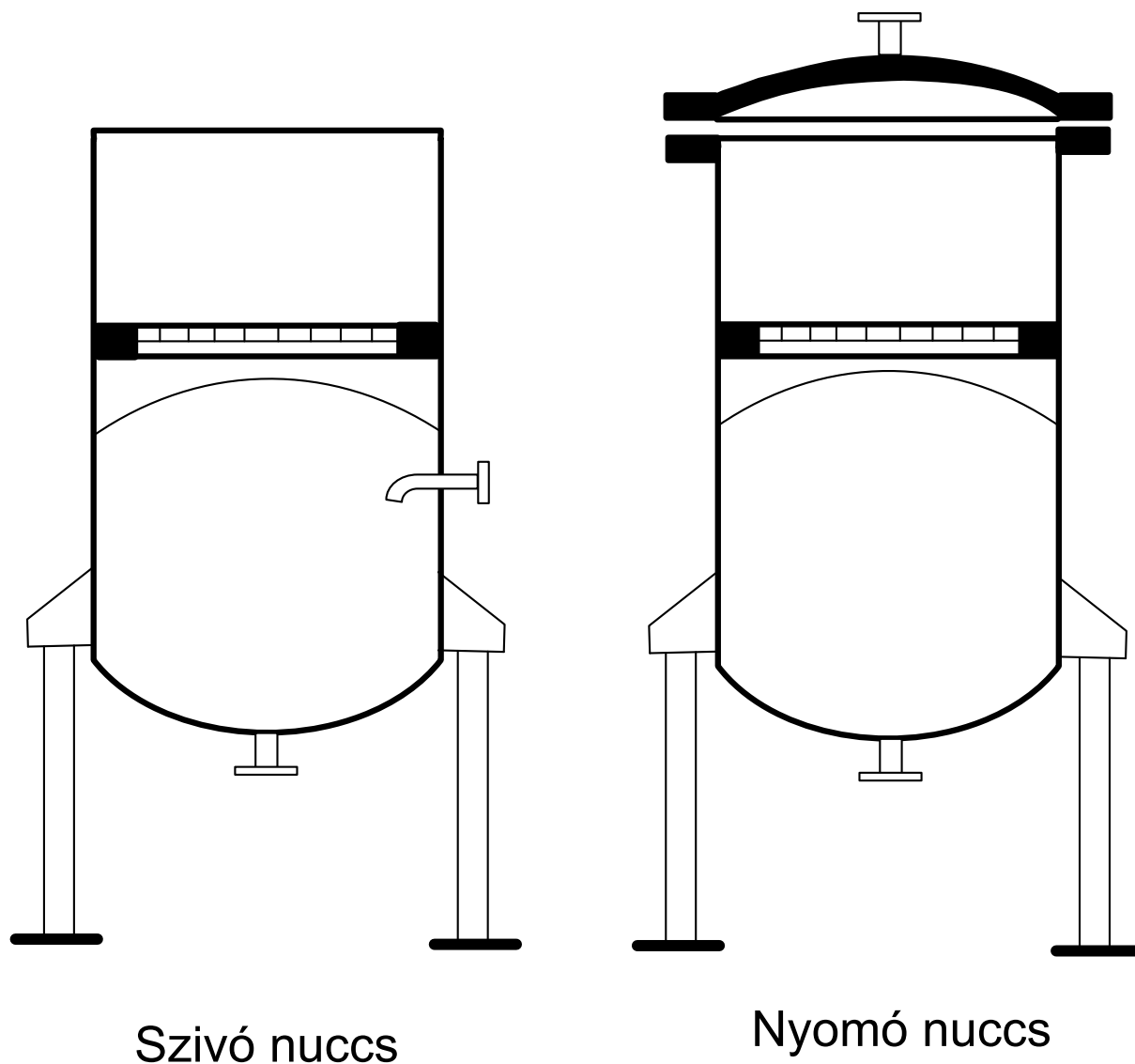


73. ábra. Gyors vízszűrő

A vízkezelésben alkalmazott gyorszűrőknél (73. ábra) melyek mélységi szűrőként működnek, durva, éles szemcséjű homokot használunk a szűrésre. Az acéllemezről készített berendezésben vízszintes tartórácsra helyezhető a homok. A készüléket légmentesen megtöltjük vízzel és szivattyúval nyomjuk át a szűrőrétegen a vízáramot. A vízben lebegő szennyezés a homokréteg belsejében rögzítődik. Ha a szűrőréteg ellenállása a benne lerakódott szennyeződésektől megnövekszik, a készüléket ki kell mosni. Ebből a célból szűrt vizet és levegőt nyomunk át rajta alulról fölfelé. A sűrített levegő mozgatja a homokszemcséket, azok egymáshoz dörzsölődnek és a felület letisztul. A gyors-szűrőkben elérhető szűrősebesség $\sim 8-15$ m/óra.

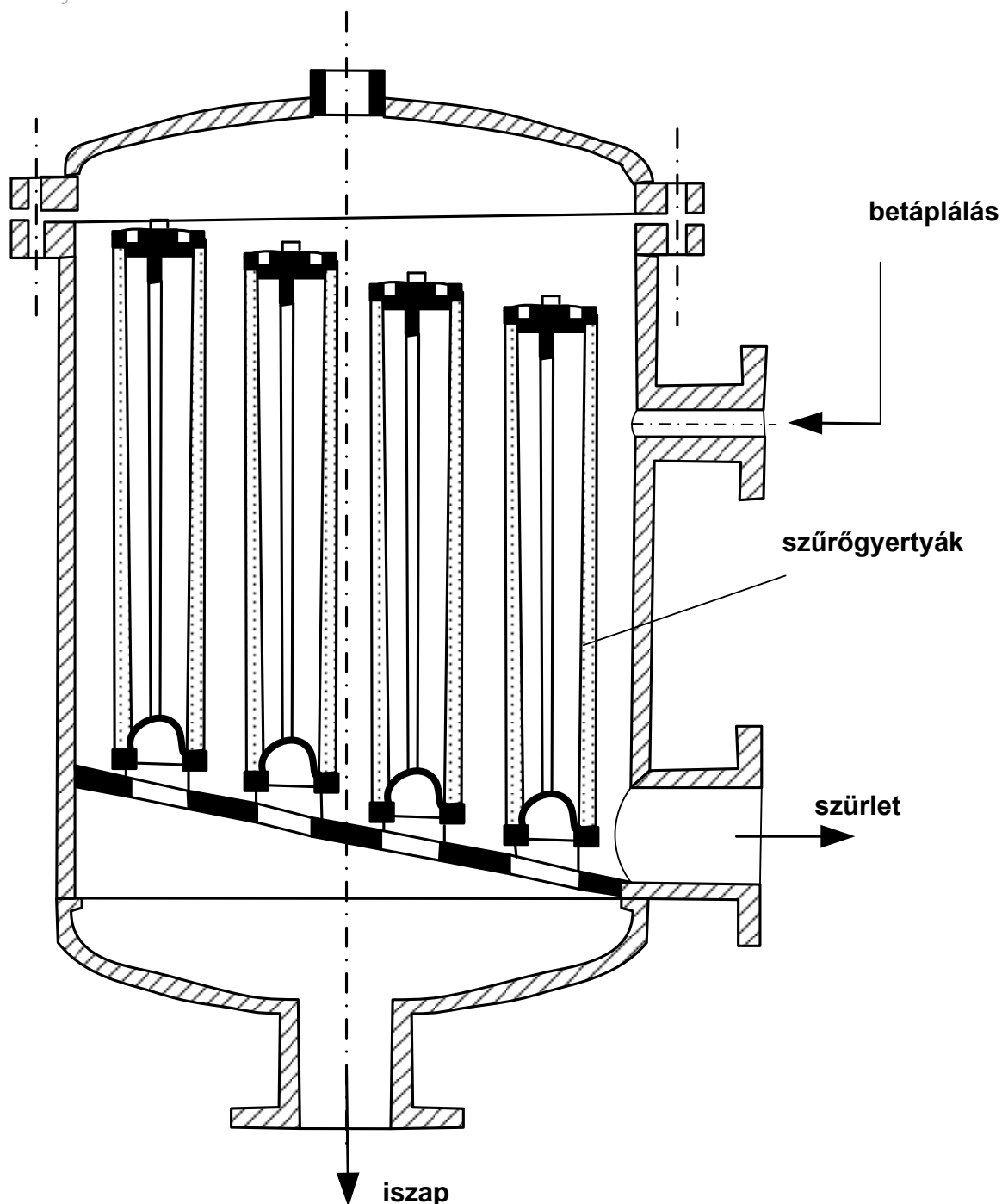
A szilárd, porózus szűrőrétegű szűrőberendezések esetében a szűrőréteget mázatlan, porózus porcelánból, zsugorított üvegből, műszénből, fémszinterből, stb. készíthetjük. A szűrőréteg alakja lemez (kör vagy téglalap keresztmetszetű), vagy cső. Az ilyen szűrőréteg elég szilárd és a kívánt pórusmérettel készíthető. Megfelelő pórusméretű szűrőréteg választásával elérhető, hogy a szűrlet a szűrés kezdetétől fogva tiszta legyen.

Szilárd, porózus szűrőrétegű szűrőt akkor alkalmazunk, ha a folyadék, illetve a gáz tisztítása a szűrés elsődleges célja. A szemcsés szűrőkkel ellentétben lehetőség van azonban arra, hogy a leszűrt iszapot koncentrált formában, esetleg mosva és szikkasztva nyerjük ki, ami lehetővé teszi további felhasználásukat.



74. ábra. Szűrőnuccsok

A legegyszerűbb szerkezetű szűrőréteges szűrők az ún. *nuccsok*, melyeket a szűréshez alkalmazott nyomáskülönbség kialakításának módja szerint szívó- vagy nyomószűrőként (74. ábra) is lehet működtetni. A nuccs szerkezeti anyaga fém, kerámia, műanyag, stb. lehet, a szűrőfelület vízszintes, egyrétegű, tehát viszonylag kicsi, a szűrőiszap eltávolítása általában emberi munkát igényel. Szívónuccsnál az elérhető nyomáskülönbség legfeljebb 1 bar , nyomónuccsnál függ a kialakítástól, rendszerint $2-6 \text{ bar}$.

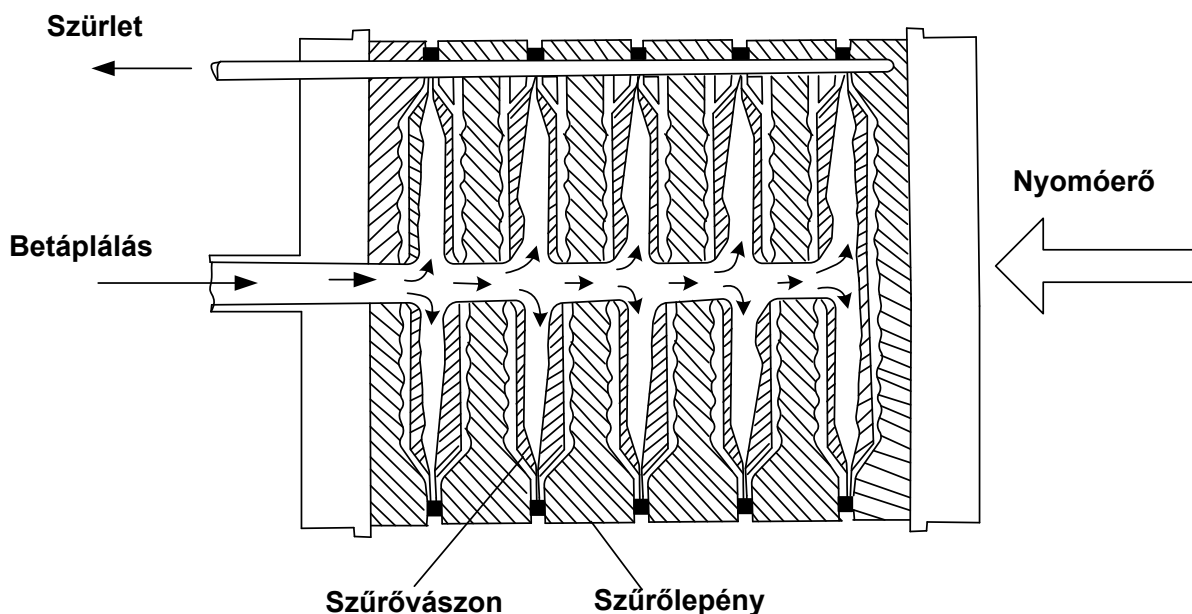


75. ábra. Gyertyás szűrő

A szűrőréteges berendezések teljesítménye a szűrőfelület növelésével fokozható. Az e csoportba tartozó szűrők egyik gyakori típusa a *szűrőhüvelyes (gyertyás) szűrő* (75. ábra).

A *szűrőszöveteket* szálal anyagokból szövással vagy nemezeléssel állítják elő. Nyersanyaguk lehet fém (acél, bronz), műanyag (poliamid, polietilén, polipropilén, PVC, stb.), cellulóz (vászon, papír), szilikát (üvegszál), gyapjú. A fémszöveteket elsősorban folyamatos üzemű

szűrőknél használják szűrőrétegnek, de alkalmazhatják tartórácsnak is más anyagú szűrőrétegek alátámasztására.

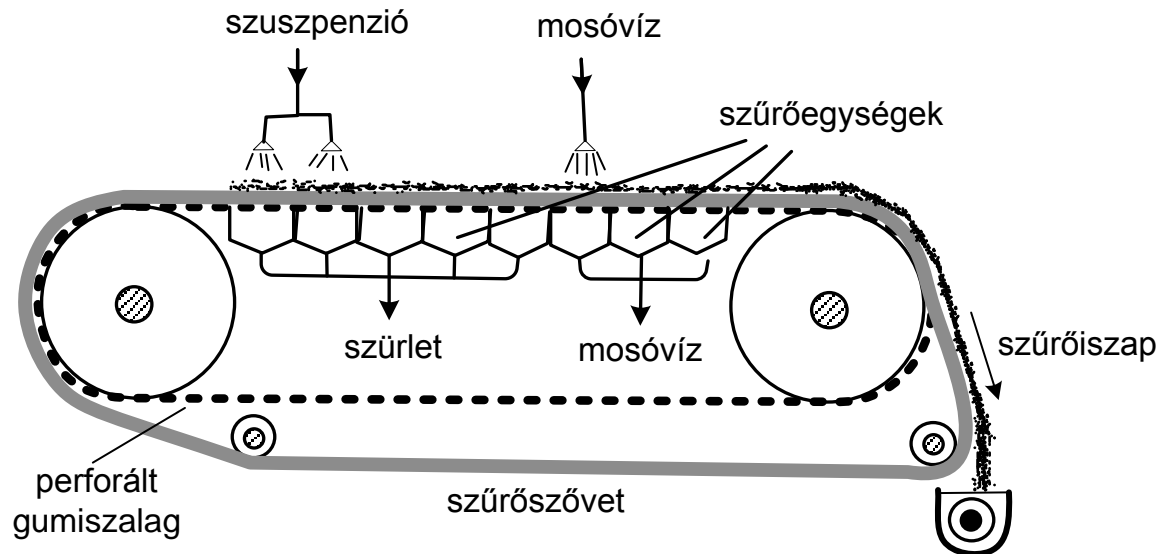


76. ábra. Keretes szűrőprés

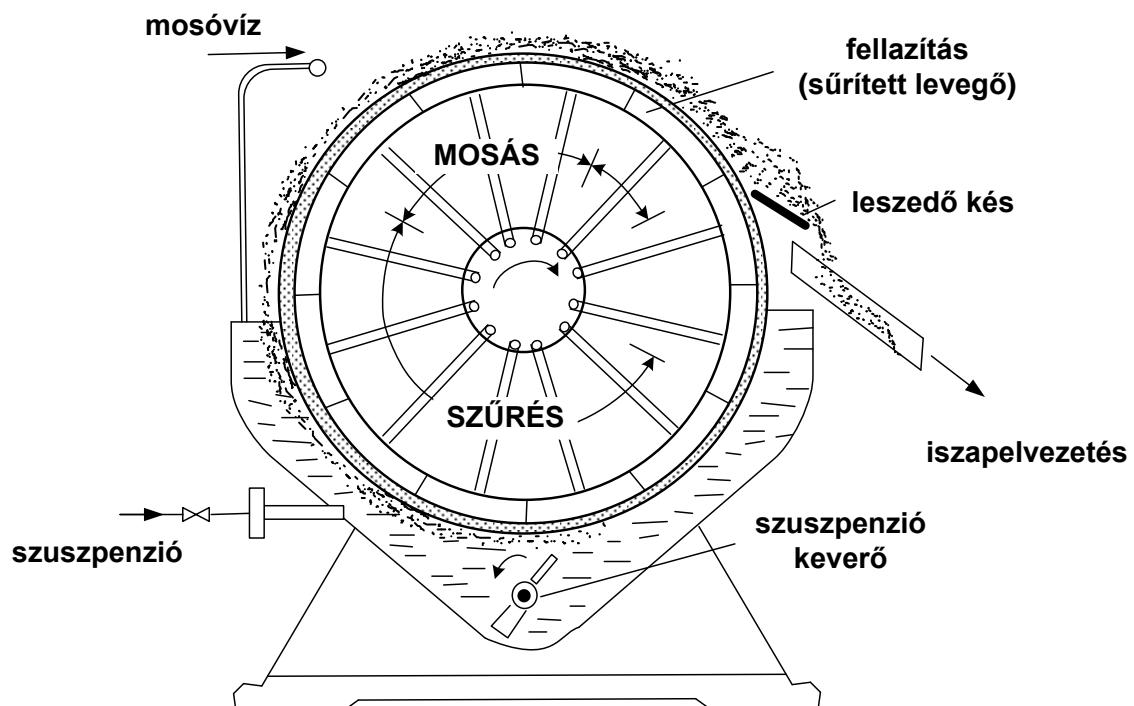
A szakaszosan üzemelő szűrőszövetes berendezések közül a legnagyobb teljesítőképességűek a **szűrőprések**. A lemezes-keretes szűrő váltakozva tömör lemezekből és üres keretből áll (76. ábra). A szűrőprések szűrőfelülete nagy, meghaladhatja a 100 m^2 -t, az alkalmazott maximális nyomás $10\text{--}12 \text{ bar}$. A legnehezebb szűrési feladatok megoldására általában ezt a típusú berendezést használjuk.

A *folyamatos üzemű* szűrőszövetes szűrők közé a *szalagszűrők*, a *dobszűrők* és a *tárcsás-szűrők* tartoznak. Szűrőelemeik kisméretű lapos tartályok, melyeknek a külső felületén helyezik el a szűrőszövetet.

A *vákuum szalagszűrőnél* (77. ábra) a szűrőelemeket vízszintesen egymás mellé rögzítik. Perforált gumilemezből készített, végtelenített szalag, mint tartórács a rajta lévő szűrőszövet-szalaggal együtt a szűrőelemek fölött csúszik, azokhoz hozzásimulva. A szalagokat vízszintes tengelyű, széles szíjtárcsák mozgatják a szállítószalaghoz hasonlóan. A perforált gumiszalag szélei felhajlanak, ezáltal vályút képeznek a szuszpenzió befogadására.



77. ábra. Vákuum-szalagszűrő



78. ábra. Vákuum-dobszűrő

A vákuum-dobszűrőnél (78. ábra) a szűrőelemek egy vízszintes tengelyű henger palástján helyezkednek el. A szűrőelemekre fémből készített szűrőszövetet vagy fémtartórácsot rögzítenek, ezek felületére végtelenített szűrőszövetszalagot, illetve végtelenített láncot helyezhetnek el a szűrés vagy a szűrőlepleny eltávolításának megkönnyítésére.

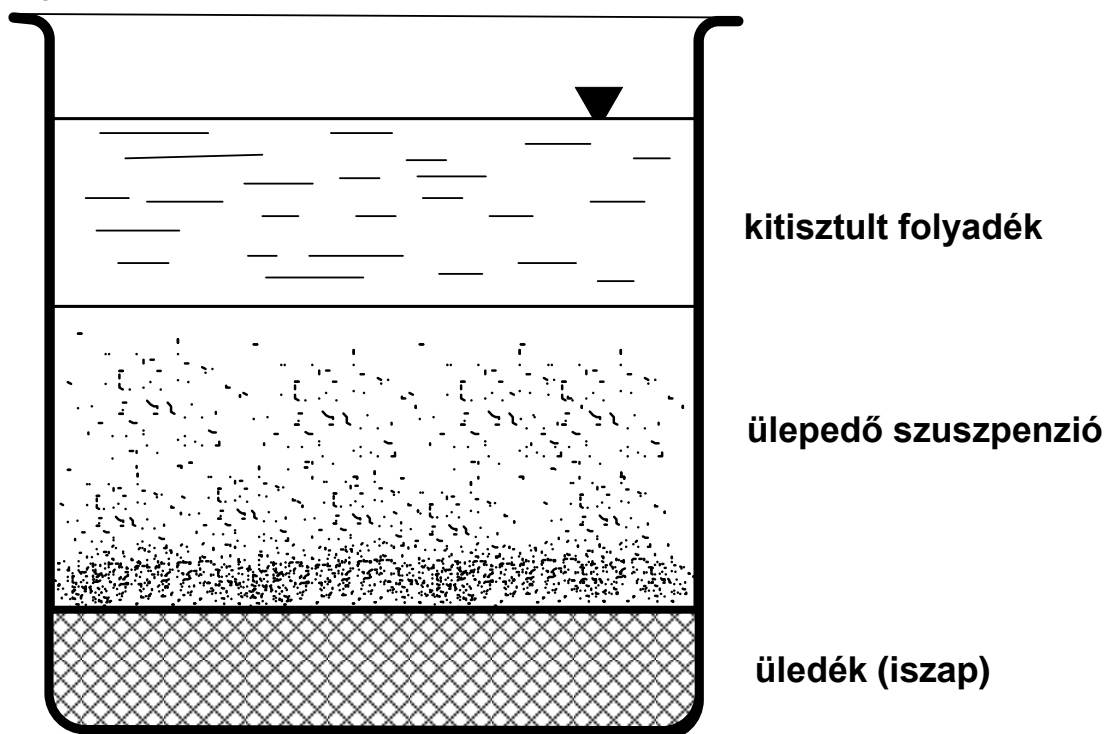
Mindegyik szűrőelemből külön cső halad a dob üreges tengelyében az elosztófejhez. A szűrődob alatt helyezik el a szuszpenziót tartalmazó tartályt, melyben állandó szintet tartanak úgy, hogy a szűrődob félig belemerüljön a szuszpenzióba. A szuszpenzió ülepedését keveréssel akadályozzák meg. A dob forgása következtében az egyes szűrőelemek periódikusan áthaladnak a szuszpenziótartályon, ahol a felületre iszap rakódik le, mely a levegőn megszikkad, kimosódik, ismét megszikkad, majd a leszedőberendezés előtt fellazul. A leszedőberendezések késes vagy görgős megoldásúak lehetnek.

A vákuum-dobszűrő a legelőször megvalósított és legelterjedtebb folyamatos szűrőberendezés, melyet a néhány tized négyzetméteres laboratóriumi készüléktől a 40 m^2 -es nagyüzemi egységekig minden méretben készítenek. Mivel a szuszpenziót alulról felfelé szívja, a felületére a kisebb részecskék előbb rakódnak le. Ez erősen polidiszperz szuszpenziók esetén megnehezítheti a szűrést. Jól szűrődő szuszpenzió esetén a szokásos rétegvastagság $4\text{--}6\text{ cm}$, rosszul szűrődő szuszpenziók esetén 1 cm alatt marad. A fordulatszámot, melynek szokásos értéke $0,1\text{--}3\text{ / perc}$ között van, ennek megfelelően állítják be.

6.3.1.1.2 Ülepítés, ülepítőberendezések

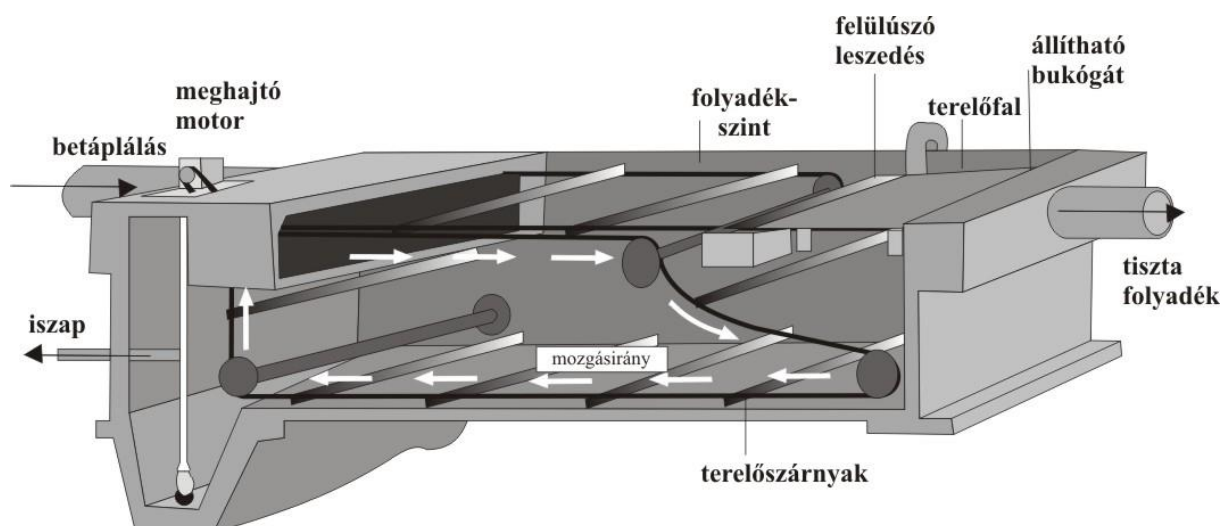
Ülepítés során egy erőterben a diszperz részek a közeghez képest elmozdulnak a közegtől eltérő valamilyen fizikai tulajdonságuk alapján. Gravitációs és centrifugális (inercia) erőterben *sűrűségkülönbségük* következtében, elektrosztatikus erőterben pedig *elektromos töltésük*ből eredően mozdulnak el a részecskék. Heterogén diszperz rendszerben lévő részecske különböző kifejezésekkel meghatározható, állandó sebességgel ülepszik, ha mozgását a közeg áramlása, vagy a szomszédos részecskék mozgása nem zavarja. Nyugalomban lévő, vagy irányított lamináris áramlást végző közeg az ülepedésre nem fejt ki zavaró hatást. Áramló közegben történő ülepítésnél természetesen a közeg sebességének függőleges irányú komponense a részecske sebességéhez algebrailag hozzáadódik. Ha a közeg függőleges irányú sebessége ellentétesen megegyezik a részecske ülepedési sebességével, akkor a részecske vízszintes síkban lebeg. A közeg keveredő mozgása (pl. mechanikus hatás vagy a hőmérséklet-különbségből eredő konvekció) az ülepedést zavarja, illetve nagyobb sebességek esetén azt teljesen meg is akadályozhatja.

Az ülepítő berendezéseket (műtárgyakat) a diszperz részecskék szemcsemérete alapján lehet csoportosítani. A $0,1\text{--}0,2\text{ mm}$ -nél nagyobb szemcseméretű anyagok esetén az ülepítőket *homokfogóknak*, míg az ennél kisebb szemcseméretű anyagok esetén *ülepítő tartálynak* vagy *ülepítő medencének* nevezzük.



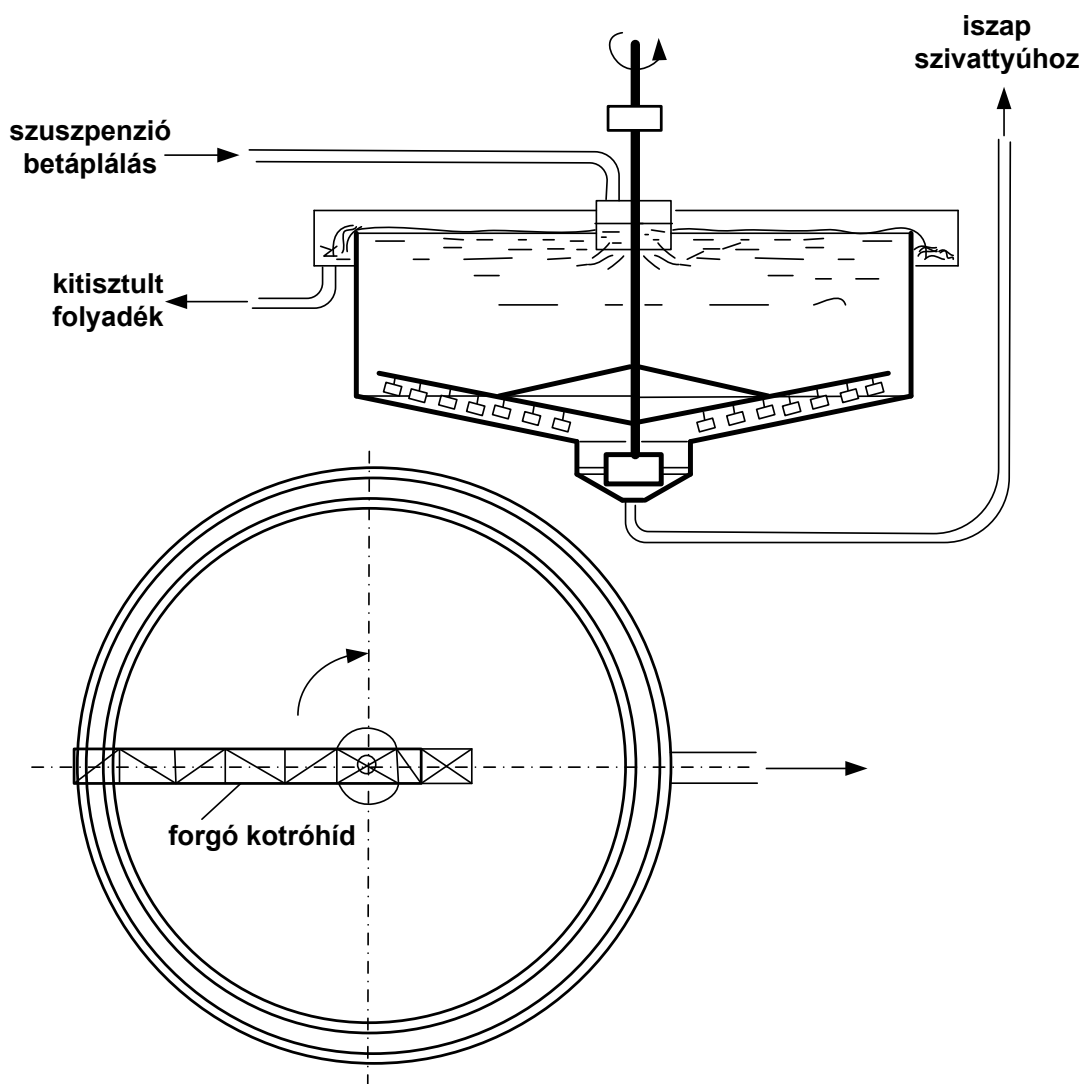
79. ábra. Szakaszos üzemű ülepítőtartály

Álló közegben, szakaszosan végrehajtott ülepítés legegyszerűbb készüléke az *ülepítőtartály* (79. ábra). A szuszpenziót (vagy emulziót) a tartályba töltik, majd magára hagyják. Adott idő eltelte után a folyadéknál nehezebb diszpergált részt tartalmazó szuszpenzió a következő helyzet alakul ki: felül helyezkedik el a kitisztult folyadék; a középső rétegben van az üledő szuszpenzió, alul pedig az üledék (iszap).



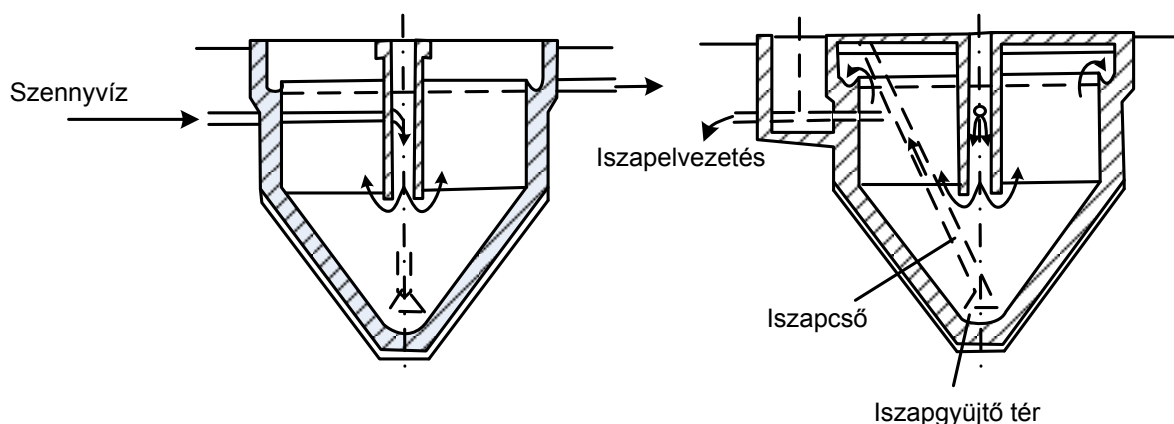
80. ábra. Hosszanti átfolyású ülepítőmedence

A szennyvíztisztításban azt is biztosítani kell, hogy az üleptőkben a szennyvíz ún. *friss állapotban* maradjon, azaz a leülepedő iszappal csak rövid ideig érintkezzék, hogy annak bomlástermékeit ne tudja felvenni. Ez azt jelenti, hogy az iszapot az üleptőtérből folyamatosan el kell távolítani. A kiülepedett iszap kezeléséről minden esetben gondoskodni kell. A friss vizű üleptők vízszintes (hosszanti- vagy sugárirányú) és függőleges átfolyású medencék lehetnek. A hosszanti átfolyású medencék általában téglalap keresztmetszetűek (80. ábra). A medencébe érkező szennyvíz egyenletes elosztását vályú biztosítja, a bevezetőnyílások elé helyezett energiatoró elemek révén a kívánt egyenletes sebességeloszlás a medence elejétől rövid távon megvalósítható. A medence fenekén összegyűlő iszap eltávolítása az iszaptölcséren keresztül valósítható meg, ahová azt a folyamatos működésű kaparólemezek tolják be.



81. ábra. Dorr-típusú, radiális áramlású üleptő

A *sugárirányú átfolyású* (Dorr-típusú) ülepítő medencék henger alakúak, amelyek fenekét kúposan képezik ki (**81. ábra**); átmérőjük a 30 métert is elérheti, mélységük pedig 4 m is lehet. A medence közepén lévő kis hengeres térbe vezetett szuszpenzió (például szennyvíz, vagy vörösiszapot tartalmazó alumínátlúg) energiatoró elemek közbeiktatásával jut az ülepítőtérbe, ahol sugárirányban a medence pereme felé áramlik. Az ülepítőtől a tisztított folyadék túlfolyással, a peremen kialakított körkörös csatornán át távozik. A diszperz részecskék a vékony, lassan áramló folyadékrétegből az álló folyadékrétegbe, majd a berendezés aljára ülepednek. A kúpos részben összegyűlő üledéket körpályán lassan mozgó (kb. 5-10 fordulat/óra), célszerűen kialakított terelőlapátok (iszapkotró) továbbítják az iszapleeresztő vezetékhez, ahonnan iszapszivattyú távolítja el.



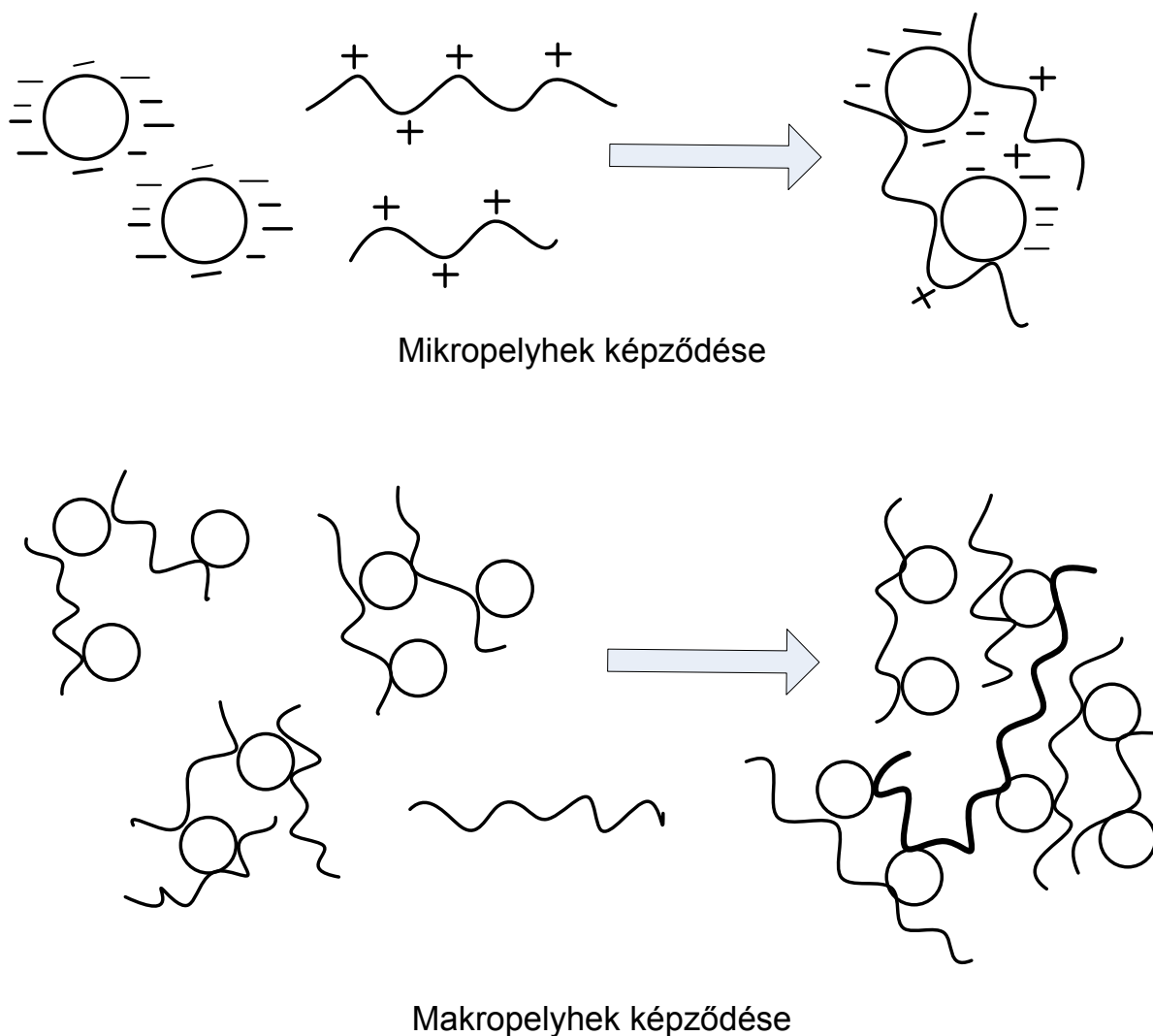
82. ábra. Dortmundi-típusú ülepítő medence

Kisebbs ülepítőtérfogat esetén gazdaságosan alkalmazhatók a *függőleges átfolyású*, ún. *Dortmundi-medencék* (**82. ábra**), amelyek kör és négyzet alaprajzúak lehetnek, átmérőjük a 7 métert, térfogatuk a 100 m³-t általában nem haladja meg. A medence közepén elhelyezett ejtőcsőben a lefelé mozgó víz sebessége maximum 0,03 m/s, majd a cső alsó peremét megkerülve jut az ülepítőtérbe, ahol 0,003-0,006 m/s sebességgel felfelé áramlik, végül a kitisztított folyadék a túlsordulóélen átbukva távozik. A medence alsó, kúpos felületén az iszap lecsúszik a tölcser legmélyebb pontjára, ahonnan iszapelvezető csövön át eltávolítható.

6.3.1.1.3 Derítés

A szennyvíztisztításban használt mechanikai ülepítők teljesítményét különféle vegyszerek hozzáadásával növelhetjük, ezek a pelyhesítő anyagok (flokkulálószer) adott körülmények

jelentős mennyiségű kolloid anyagot képesek „*pehely*” állapotba hozni, ami a méretnövekedés révén nagymértékben növeli az üleptetés hatásfokát. A flokkulálószernek nagy (1 millió fölötti) molekulatömegű láncpolimerek, amelyek a szennyvízben diszpergált különböző töltésű részecskékhez nagy aktivitású oldalláncokkal kapcsolódnak, azokat *pehely*vé gyűjtik (**83. ábra**). Ezáltal önmagukban, vagy a jelenlévő, esetleg külön e célra hozzáadott nagy sűrűségű (pl. homok) részecskékhez kapcsolódva megnövelik a rendszer ülepedési sebességét. A hazai *Sedosan* vagy *Flokonit* akrilsav és akrilamid kopolimerek, amelyeknek a $-COOH$ -csoport kationaktív, a $-CONH_2$ -csoport anionaktív jelleget ad. A polimerekre jellemző, hogy elősegítik a keletkező iszap későbbi vízmentesítését is; jellemző adagolási mennyiségük $0,25-1 \text{ g/m}^3$.



83. ábra. A flokkulálás mechanizmusa

A vízelőkészítésben évtizedek óta alkalmazott kémiai derítésnél keletkező *pehely* csapadékok is alkalmasak arra, hogy a szennyvíz lebegő részecskéit magukkal ragadják: a vegyszer

bekeverése *1-2 percet*, a pelyhesítés *15-30 percet*, az ülepités *1-2 órát* igényel. Leggyakrabban $45-90 \text{ g/m}^3 \text{ FeCl}_3$ -ot vagy $75-250 \text{ g/m}^3 \text{ Al}_2(\text{SO}_4)$ -ot használnak. Napjainkban egyre inkább elterjedőben vannak a hagyományos derítőszerkezet hátrányait (pH- és hőmérsékletfüggés, alacsony algaeltávolítási hatásfok, a kezelt víz agresszivitása, stb.) kiküszöbölő új típusú anyagok alkalmazása, melyek közül legfontosabbak a polimerizált alumíniumvegyületek, a *poli-alumínium-kloridok*, például a BOPAC elnevezésű készítmény. Ezek használatakor a vízben kolloidálisan diszpergált részecskék koaguláltatása eredményeként gyorsan ülepedő és jól szűrhető flokkulátumokat kapnak, melyek alacsony hőmérsékletű vizek kezelésére is alkalmasak, azok pH-jától gyakorlatilag függetlenül.

A **derítőberendezések** két csoportba sorolhatók. A *vízszintes átfolyású* derítőknél a három művelet (vegyszerbekeverés, pelyhesítés, ülepités) külön működik, külön műtárgyakban. A *függőleges átfolyású* derítőberendezéseknél, amelyeket elsősorban nagy és változó lebegőanyag-tartalmú felszíni vizek kezelésében alkalmaznak, a három művelet egy műtárgyon belül játszódik le.

6.3.1.1.4 Ülepités centrifugális erőterben, centrifugák

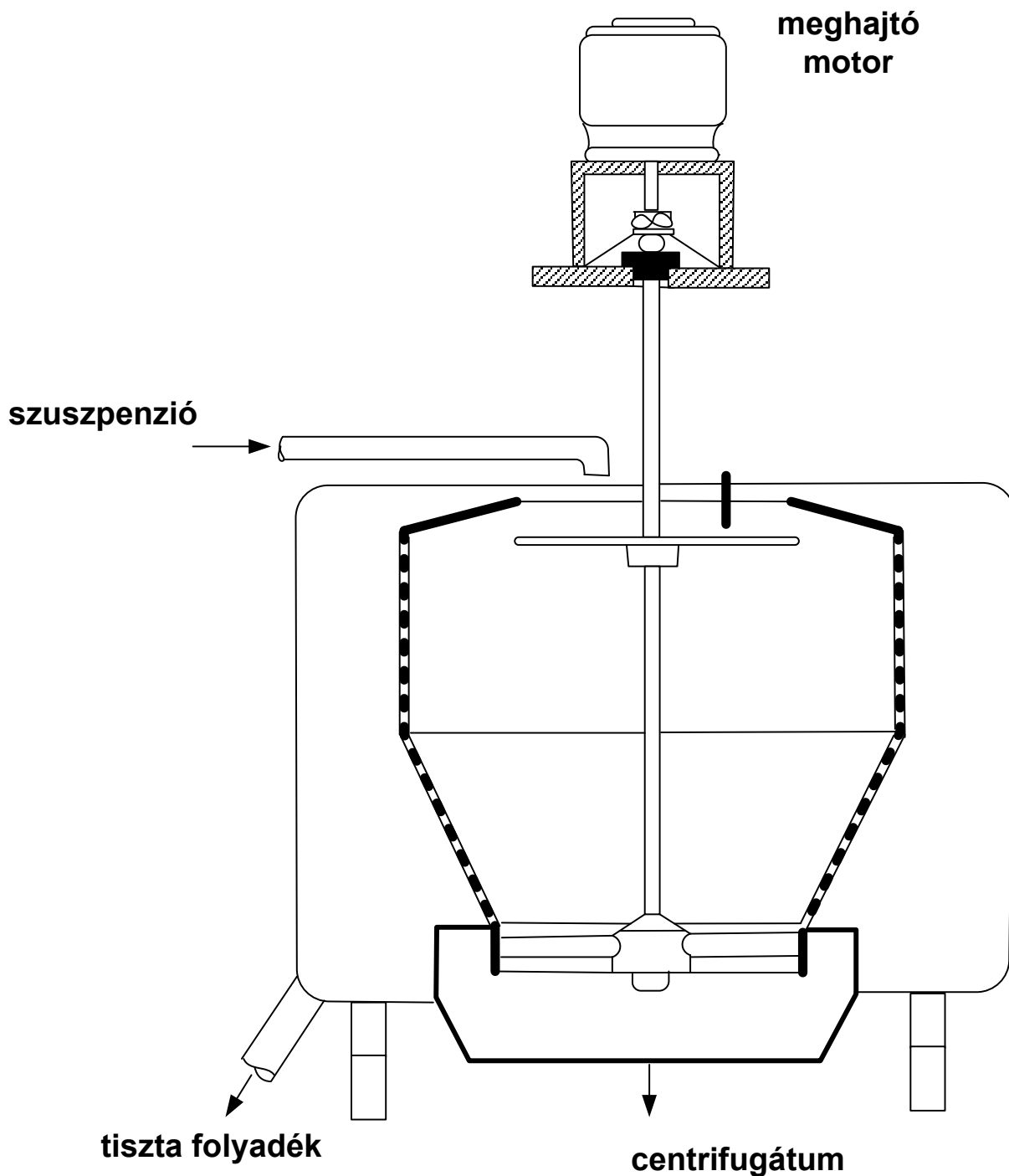
Az ülepitését hatásosabbá lehet tenni, ha az adott nagyságú gravitációs gyorsulást a sokkal nagyobbra, szabályozhatóan beállítható *centrifugális gyorsulással* helyettesítjük, azaz az ülepitést centrifugális (inercia) erőterben végezzük.

A **centrifugákra** az a jellemző, hogy bennük a közeg együtt mozog a centrifuga forgórészével, tehát üzem közben a közegnek, és így a vele együtt forgó részecskéknek a szögsebessége állandó. A centrifugákat feloszthatjuk *szakaszos és folyamatos üzemű*, továbbá *ülepítő-* vagy *szűrő-centrifugákra*, illetve *folyadékseparátorokra*. A szakaszos üzemű centrifugákat minden ürítéshez le kell állítani, és az újabb üzembe helyezéshez fel kell gyorsítani, mindkét művelet energiaigényes.

A folyamatos üzemű centrifugák esetén a töltési és ürítési műveletek forgás közben szakaszosan vagy folyamatosan megoldhatók.

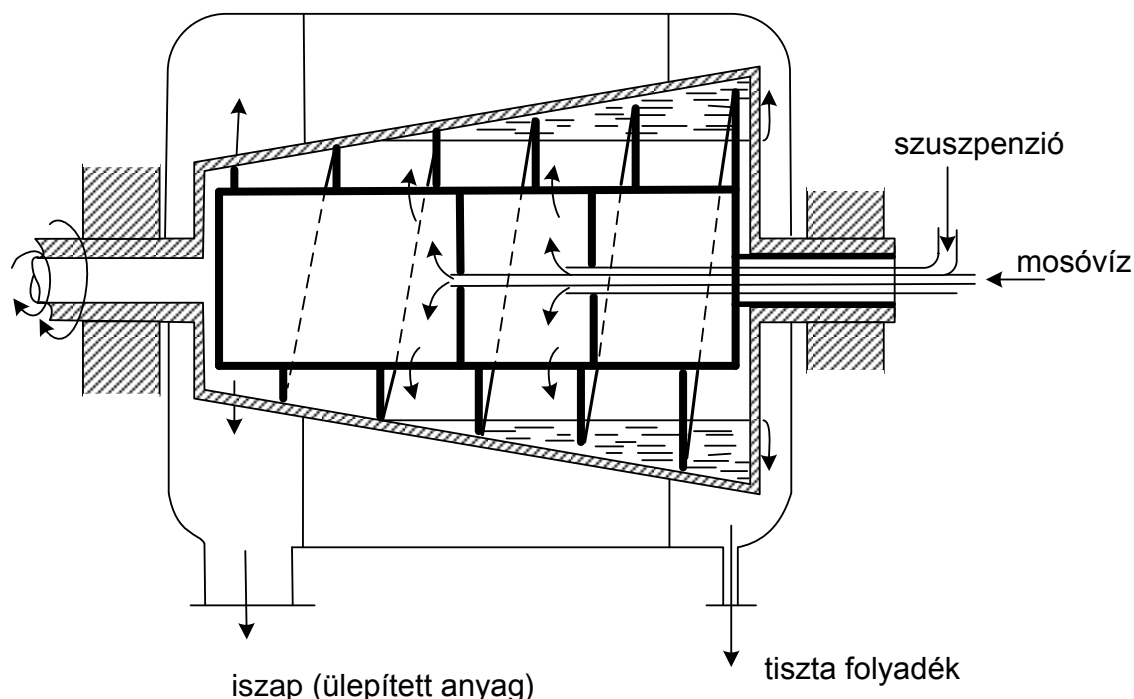
Függő centrifugát láthatunk a **84. ábra**. Ennél a megoldásnál a centrifuga tengelyét a felül elhelyezett hajtómotor tengelyéhez hajlékony tengelykapcsolóval csatlakoztatják és önbeálló csapágyazással látják el, hogy biztosítani lehessen a forgórész dinamikus kiegyensúlyozását, vagyis a szabad tengelybe való beállítás lehetőségét. A dob felül és alul nyitott, az alsó nyílás esetlegesen kúpos zárószerkezettel zárható. A szuszpenziót lassú forgás közben táplálják be, és egy, a tengelyre erősített tárcsa végzi az egyenletes elosztását, a dob palástjára. A diszperziós

közeg a perforált dobpaláston keresztül jut ki a köpeny belső oldalára és távozik az alsó kifolyónyíláson.



84. ábra. Függő centrifuga

Sokkal elterjedtebb berendezések mind ülepítési, mind víztelenítési célokra a folyamatos üzemű *csigás centrifugák* (85. ábra). Ezek a készülékek kettős forgórésszel készülnek: a gyorsan forgó kúpos ülepítődobon belül egy valamivel lassabban forgó (fordulatszáma 1-2 %-kal kisebb) csigás ürítődob is van.

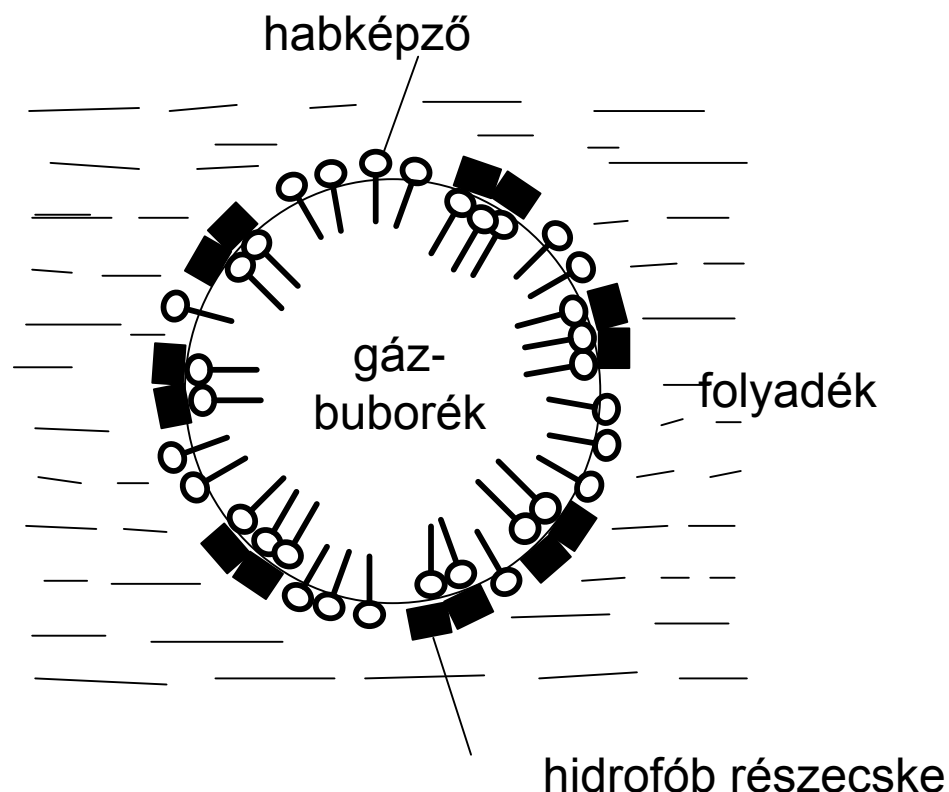


85. ábra. Csigás centrifuga

A centrifugák üzemeltetésével kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy ezek tetszőlegesen indíthatók és leállíthatók; az elérendő cél figyelembe vételével – ami vagy az iszapvíz nagyobb tisztasága, vagy a centrifugátum szárazanyag-tartalmának növelése – a berendezés *automatizálható*. Érzékelésre például az iszapvíz zavarossága lehet az egyik megfelelő paraméter.

6.3.1.1.5 Flotálás

Az anyagok nedvesíthetősége a felületen elhelyezkedő molekulák vonzóerejének következménye és az anyagpárra (szilárdanyagra és folyadékra) jellemző.



86. ábra. A felúszó levegőbuborék felülete

Vannak anyagok, amelyeket adott folyadék pl. víz nedvesít (hidrofil anyagok), más anyagokat nem nedvesít (hidrofób anyagok). A nedvesedő szemcsék a folyadékban leülepsznek, a nem nedvesedő szemcsék a légbuborékok felületén (ha ilyeneket bevezetünk vagy létrehozunk a szuszpenzió kezelésékor) gyűlnek össze és kisebb sűrűségük következtében felúsznak (86. ábra). A flotálóberendezések olyan műveleti egységek, amelyekben a szuszpenzió a levegőbuborékokkal való telítése és a levegőhöz, ill. a vízhez tapadó szemcsék elkülönülése végbemegy. Mivel a gázbuborékok mérete meghatározó a folyamat szempontjából, különböző módszereket alkalmaznak a minél finomabb eloszlású gázbuborékok előállítására (elektrolízis, szakaszos gázbefúvás, oldott gázok felszabadítása, stb.).

A flotálás elősegítéséhez különböző segédanyagokat ún. reagenseket alkalmaznak:

- A *habképző adalékok* feladata a képződő hab stabilitásának biztosítása. Ezek a folyadékok felületi feszültségét csökkentik (ilyen pl. a fenolszármazékok, a nagyobb szénatomszámú alkoholok és a vízben oldódó olajok).
- A *gyűjtőreagensek* az anyag felületi hidrofóbiáját fokozzák, az úszóképességet növelik (pl. zsírsavak, xantánok, aminok).
- A *módosítóreagensek* szerepe a szemcsék nedvesíthetőségének növelése.

6.3.1.2 A komponensek elválasztását, kinyerését szolgáló műveletek

A homogén rendszerek (gáz- vagy folyadékelegyek, oldatok) komponenseit *diffúziós elválasztási műveletekkel* lehet elkülöníteni úgy, hogy egy vagy több anyag lép át az egyik fázisból a másikba; a folyamat tehát anyagátadás, ami a fázisok határfelületén diffúziós úton megy végbe. A folyamat hajtóereje az egyensúlyi állapottól való eltérés mértékével, pontosabban a folyamatban résztvevő anyagok kémiai potenciáljának különbségével fejezhető ki. Az időegység alatt átadott anyag mennyiségét a fázisok közötti határfelület nagysága határozza meg (a hajtóerőn kívül), ezért a műveletek során igyekszünk ennek nagyságát a maximálisra növelni.

Gáz-folyadék, folyadék-folyadék rendszerek, valamint oldatok ipari elválasztására a következő műveleteket használhatjuk:

- 1) **desztilláció (lepárlás)**– homogén folyadékelegyek elválasztásának művelete, a folyadékfázis és annak részleges elpárolgásával létrejövő gőzfázis közötti anyagátmenettel;
- 2) **abszorpció** – gázelegyek komponenseinek (szelektív) elnyelése folyadékban, ellentétes folyamat a kihajtás, vagy deszorpció;
- 3) **adszorpció** – gázok, gőzök vagy oldatok komponenseinek elválasztása szilárd anyagokon történő szelektív megkötődés révén; az adszorpció sajátos formája az ioncsere;
- 4) **extrakció** – a kiindulási folyadék vagy szilárd fázisban oldott komponens átvitele egy másik, az előzővel nem, vagy csak részben elegyedő oldószerbe; folyadék-folyadék extrakciónál a kiindulási anyag folyadék (oldat) a szilárd-folyadék extrakciónál pedig szilárd halmazállapotú;

6.3.1.2.1 Desztillációs műveletek

A **desztilláció** folyadékelegyek alkotórészeinek elválasztása az elegy részleges elgőzölögtetésével és az elkülönített gőz, valamint a maradék visszanyerésével. Az illékonyabb komponensek a gőzben, illetve a gőz kondenzációjával nyert **desztillátumban**, a kevésbé illékonyak pedig a folyékony **maradékban** dúsulnak fel.

A **rektifikálás** olyan desztillációs művelet, melynek során a gőz és a folyadék folytonosan és ellenáramban érintkezik és az oszlopon belül többször beáll a két fázis közötti termodinamikai egyensúly. Ez a művelet az illékonyabb komponens nagyobb mértékű feldúsulását eredményezi, mint az egyébként azonos energiaigényű egyszerű desztilláció.

A **frakcionált desztilláció** elnevezést általában akkor használjuk, ha a többkomponensű elegyből szakaszos művelet során meghatározott forráspont-tartományú frakciókat szedünk, ami például megtehető a desztillátum gyűjtő edények cseréjével (laboratóriumban), vagy oldalpárlatok szedésével (a kőolaj rektifikálása során).

Mind az egyszerű desztilláció, mind a rektifikálás szakaszos és folytonos üzemben is megvalósítható. A gyakorlatban használatos desztillációs módszerek főbb jellemzői a következőkben foglalhatók össze.

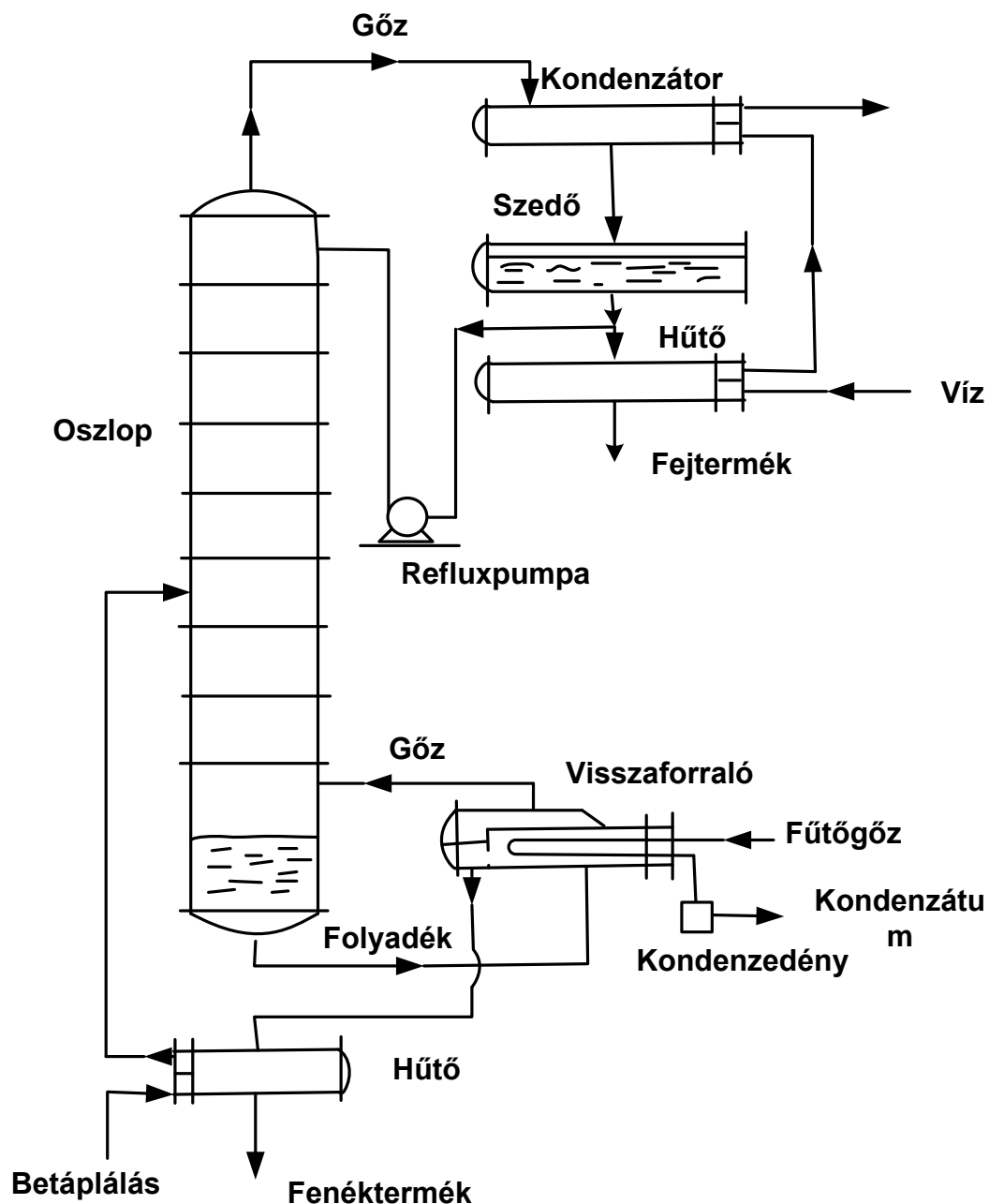
Egyszerű szakaszos desztillációnál a kiforráló üstbe adott mennyiségű elegyet töltünk, és forralni kezdjük. A gőzt elvezetjük és kondenzáltatva összegyűjtjük mindaddig, amíg a desztillátum (vagy a maradék) összetétele egy meghatározott értéket el nem ér.

Egyszerű folyamatos desztilláció (vagy „*flash*” desztilláció) végrehajtásánál a folyamatosan betáplált elegyet részlegesen elgőzöltetjük (pl. csökemencében); a kapott gőzt és folyadékot pedig folyamatosan elvezetjük.

Szakaszos rektifikálásnál a kiforráló (másnéven: visszaforráló) üstben lévő elegyet forráspontig hevítjük, a gőz felfelé halad a kolonnában, s ezt elhagyva hűtőbe visszük, ahol kondenzáltatjuk. A kondenzátum egy részét, a **refluxot** visszavezetjük az oszlop tetejére, a másik részét termékként szedjük el. A rektifikálást addig folytatjuk, míg a desztillátum vagy a maradék összetétele eléri az előírt értéket. A szakaszos rektifikálás a gyakorlatban kétféleképpen végezhető:

- állandó desztillátum összetétel és változó refluxarány;
- változó desztillátum összetétel és állandó refluxarány mellett.

Folyamatos rektifikálás (87. ábra) esetén a művelet ugyanúgy indítjuk, mint a szakaszos eljárásnál, de nem veszünk el termékeket; azaz teljes refluxot alkalmazunk mindaddig, míg az oszlopon nem áll be az állandósult állapot. Ezután kezdetük meg a kiindulási elegy folyamatos betáplálását az oszlop valamely közbenső pontján. Az oszlop felső végéről távozó gőzt kondenzáltatjuk, s ennek egy része kerül csak *reflux*ként vissza a kolonnára, a másik részét desztillátumként elvezetjük; a kiforráló üstből pedig a maradékot vehetjük el folyamatosan. A működés során kialakuló stacionárius állapotban a desztillátum és a maradék árama, valamint összetétele állandó.



87. ábra. Folyamatos rektifikáló-kolonna

Ebben a fejezetben eddig kétkomponensű biner elegyek elválasztási lehetőségeit tárgyaltuk, a hulladékkezelési folyamatok többségénél azonban nem biner, hanem többkomponensű elegyek elválasztását kell megoldanunk. Mivel a hagyományos kapcsolási módnál – egy betáplálású, két termékes kolonna – a rektifikálóberendezés egynél több komponenst tisztán nem tud elválasztani (azaz vagy a fejtermék vagy a desztillátum továbbra is elegy), ezért a feladatot több kolonna kombinációjával lehet megoldani, vagy oldalpárlatként, nem tiszta termékeket nyerve lehet kompromisszumot találni. A tisztán előállított komponens csak a legkönnyebben vagy a legnehezebben illó lehet.

6.3.1.2.2 *Abszorpciós műveletek*

A gázabszorpció művelete során egy adott gázt vagy gázelegyet alkalmas folyadékkal érintkeztetünk abból a célból, hogy a gáz(elegy) egy vagy több komponensét eltávolítsuk, s a folyadékban egy (vagy több) anyag oldatát hozzuk létre. Ipari alkalmazásának célja a gázok tisztítása, vagy a gázhalmazállapotú termékek elválasztása, vagy termékek előállítása lehet; a környezetvédelmi technológiákban kiterjedten alkalmazzák például szennyezett levegő tisztítására.

A gázok oldódása során azonban kémiai reakciók is lejátszódhatnak, ilyenkor kémiai abszorpcióról, vagy kemisorpcióról beszélünk. A kemisorpció lehet reverzibilis vagy irreverzibilis. Az elválasztási folyamatokban a reverzibilis kemisorpció bír nagyobb jelentőséggel, ugyanis a ennek alkalmazásakor az oldószer nemvész el, deszorpció után újra felhasználható.

Az abszorpciónak igen nagy jelentősége van az aerob biotechnológiai-környezettechnológiai folyamatokban, így például az eleveniszapos szennyvíztisztításban, ahol a szerves anyagot lebontó mikrobák oxigénszükségletének biztosítása történik abszorpcióval, ami az eljárás legnagyobb energiaigényű folyamata.

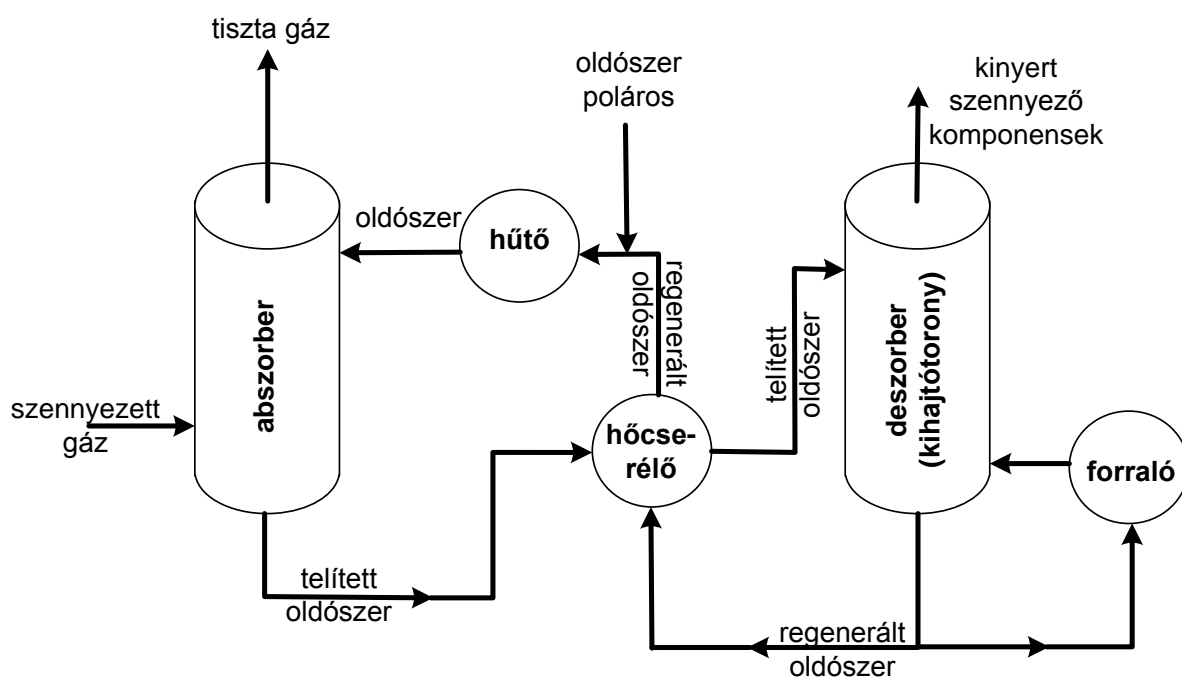
A gázok oldódása általában (az esetek 99%-ában) hőfelszabadulással járó, azaz exoterm folyamat, lejátszódásának a minél alacsonyabb hőmérséklet kedvez. Ennek megfelelően az abszorpciós műveletek hatékonysága a hőmérséklet csökkentésével és a nyomás növelésével (továbbá *műveleti oldalról* a gáz-folyadék határfelület és az érintkeztetés intenzitásának növelésével) javítható.

Az abszorpciót követően az elnyelt komponenst általában gáz formában vissza kell nyernünk az abszorbensből, és regenerálnunk kell az oldószert az ismételt felhasználás előtt. Ez a deszorpció, vagy „*kihajtás*”, vagy elterjedt idegen kifejezéssel a „*sztrippelés*” művelete. Az oldószer regenerálása megvalósítható:

- nyomáscsökkentéssel;
- az oldószer + abszorbátum elegy melegítésével;
- inert gázzal vagy vízgőzzel végzett kihajtással.

A *nyomáscsökkentéssel* végzett oldószer regenerálás akkor a legegyszerűbb, ha az abszorpció atmoszféricusnál nagyobb nyomáson megy végbe. Ebben az esetben ugyanis a nyomás atmoszféricusra történő csökkentésével megvalósítható a regenerálás.

A *melegítéssel* történő deszorpciónál (**88. ábra**) az abszorberből kilépő oldatot a fűtött kihajtótoronyba vezetjük, ahol az oldószer egy része is elpárolog, amit kritikus esetben desztillációval választhatunk el.



88. ábra. Abszorpciós-deszorpciós ciklus kapcsolása, melegítéssel

Az *inert gázzal* történő kihajtásnál az abszorbátumoldat a deszorpciós torony tetején, a kihajtó gáz (ami például levegő, inert gáz vagy éles vízgőz lehet) a torony alján lép be.

6.3.1.2.3 Adszorpciós műveletek

Az adszorpció gázok, gőzök vagy folyadékok megkötődését jelenti szilárd anyagok felületén. Ha egy fluidum érintkezik egy szilárd felülettel, akkor kellően hosszú idő eltelte után beáll az *adszorpciós egyensúly*, ami – egy adott adszorbens-adszorptívum rendszerénél – a hőmérséklet és a nyomás egyértelmű függvénye.

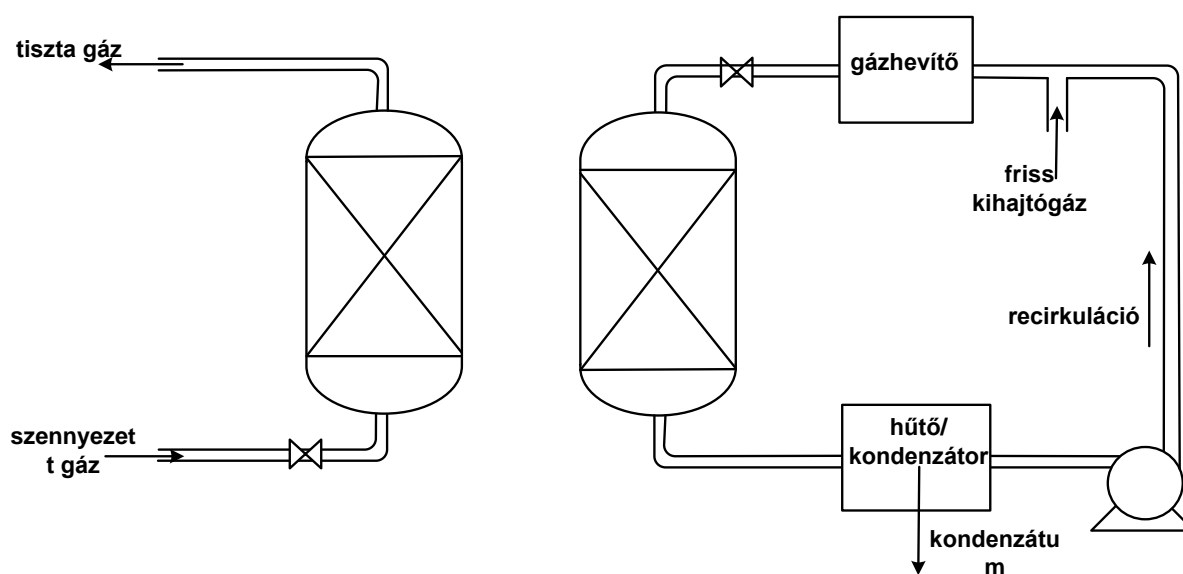
Ipari technológiákban az adszorpciós műveletek alkalmazása elsősorban akkor célszerű, ha az elválasztandó komponens koncentrációja kicsi, és ezt a komponenst gyakorlatilag teljes mennyiségében el akarják távolítani a kilépő elegyből.

A legfontosabb ipari *gázadszorpciós* eljárások közé tartozik a levegő szárítása, komponenseire történő elkülönítése, a füstgázok adszorpciós tisztítása, oldószer-gőzök visszanyerése elszívott gázokból (elsősorban levegőből), a földgázok kén-hidrogén mentesítése, stb.

Az adszorbensek (nagy fajlagos felületű anyagok) készítése különböző módszerekkel történhet.

Csak aprítással vagy őrléssel, azaz a külső felület növelésével csupán néhány m^2/g nagyságrendű felület állítható elő, míg a pórusos szerkezetű, belső felülettel rendelkező adszorbenseknél (aktívszén, szilikagél, alumínium-oxid, zeolitok) ez az érték $1000 m^2/g$ is lehet. A szilárd felületeken végbemenő adszorpciós eljárások készülékei, így maguk a műveletek is, három csoportba sorolhatók: (1) szakaszos; (2) félfolyamatos és (3) folyamatos eljárások.

A *szakaszos adszorpciót* általában folyadékok kezelésére alkalmazzák; ilyenkor az oldatot vagy elegyet adott mennyiségű adszorbenssel érintkeztetik az adszorpciós egyensúly beálltáig, majd az adszorbenst ülepítéssel vagy szűréssel elkülönítik a folyadéktól. Ilyen eljárások használatosak szirupok, borok, stb. derítésére, szintelenítésére, vagy a kenőolajok finomítására.



89. ábra. Elkülönített adszorpció/deszorpció ciklusú állóágyas adszorber

Az adszorpció gyakorlati megvalósítására legáltalánosabban használatos *félfolyamatos eljárásokban* (89. ábra) a fluidumelegyet nyugvó adszorbensréteggel töltött berendezésen, "állóágyon" áramoltatják keresztül. Az adszorbensrétegen áthaladó fluidum mennyiségével növekszik a megkötött adszorptívum mennyisége, az adszorbens fokozatosan telítődik. Ezt úgy jellemezhetjük, hogy az „adszorpció front” fokozatosan halad előre a rétegben, mindaddig, míg az oszlop telítődik, további adszorpcióra már nem képes. Ezt az jelzi, hogy az elválasztandó komponens koncentrációja a kilépő áramban nagyobb lesz valamilyen megengedett (előírt) értéknél. Ekkor a betáplálást le kell állítani, és az újabb felhasználás érdekében az adszorbenst regenerálni kell.

Ez a művelet rendszerint ugyanabban az oszlopban végezhető el, a korábban elmondottak szerint a hőmérséklet emelésével és/vagy valamilyen regeneráló fluidum (kihajtó gáz, eluens)

átvezetésével, illetve a nyomás csökkentésével. Az eljárás így szakaszos, azonban az ipari adszorpciós technológiákban legalább két oszlopot alkalmaznak, mert míg az egyikben az adszorpció folyik, addig a másikban elvégezhető az adszorbens regenerálása.

Különböző technológiai megoldásokkal az adszorpció is folyamatossá tehető, ennek egyik lehetősége az, hogy az adszorbenst egy szegmensekre osztott hengeres kiképzésű dobba töltjük be, amit megfelelő sebességgel forgatva az egyes szegmensekben lévő nyugvó töltetek ciklikusan haladnak át az adszorpciós-deszorpciós lépéseken.

6.3.1.2.4 *Extrakciós műveletek*

Extrakción (vagy kivonáson) azt az elválasztási műveletet értjük, amikor valamilyen többkomponensű szilárd anyagból vagy folyadékból bizonyos komponens(ek)e)t egy folyadékkal „*kioldunk*”. A művelet során a két fázist bensőségesen érintkeztetjük, majd a megoszlási egyensúly beállása után a két fázist elkülönítjük. Az extrakció során a megoszló (elválasztani kívánt) komponenst nem tisztán, hanem folyékony oldatban vagy elegyben kapjuk meg, s ha nem éppen ennek előállítása volt a célunk, akkor további feldolgozásra, újabb elválasztási műveletek alkalmazására van szükség az adott komponens(ek) tisztán történő kinyerésére. A kiindulási anyagtól és a felhasznált oldószerrel függően az extrakciós műveleteket három csoportba sorolhatjuk:

- a kiindulási elegy folyékony oldat vagy elegy, s az oldószer is folyadékfázisú, ekkor *folyadék-folyadék*, vagy *szolvens extrakció*ról beszélünk;
- összetett szilárd anyag valamely komponensét (vagy komponenseit) folyadékfázisú oldószerrel oldunk ki, ilyenkor *szilárd-folyadék extrakció* vagy *kilúgozás*, *perkoláció* a művelet elnevezése;
- összetett szilárd anyagból, esetleg folyadékelegyből, szuperkritikus állapotban lévő (általában nagynyomású) anyaggal vonjuk ki a megoszló komponens(ek)e)t, ilyenkor *szuperkritikus extrakció*s, vagy más néven *destrakció*s műveletet végzünk.

A folyadék-folyadék extrakciós berendezések eredményes működéséhez, hasonlóan a desztillációhoz és az abszorpcióhoz, a két fázis bensőséges érintkeztetése szükséges, hogy a kialakuló nagy fázishatáron az anyagátmenet végbemehessen.

A megoszlási egyensúly beállását követően a két folyadékfázist, nevezetesen az eredeti oldószeres *raffinátumot* (más elnevezéssel: „*finomítványt*”) és az extraháló oldószeres *extraktumot* hidrodinamikai elválasztási módszerek (üleptetés, centrifugálás) alkalmazásával elkülönítjük. A két sorba kapcsolt művelet (érintkeztetés és elválasztás) végrehajtásával elvégeztük

ugyan magát az extrakciót, de a komponenskinyerés még nem fejeződik be, hiszen ismételt oldatban van jelen, elkülönítéséhez újabb elválasztási művelet (desztilláció vagy kristályosítás) szükséges.

A szolvens extrakció nagy hátránya tehát az ismételt elválasztás, amit a kívánt anyag kinyerése, illetőleg az oldószer regenerálása érdekében kell elvégezni. Ebből következik, hogy az extrakciót általában a következő körülmények fennállása esetén célszerű alkalmazni.

- Az egyik eset akkor áll fenn, ha az extrakció és az oldószer visszanyerés együtt gazdaságosabb, mint a közvetlen desztillációs elválasztás. Ez valósul meg az antibiotikumok előállításakor, amikor a fermentáció során kapott igen híg vizes oldatból az antibiotikumot szerves oldószerrel extrahálják. Mivel az oldószer mennyisége és párolgáshője jelentősen kisebb, mint a vízé, az oldószer-visszanyeréses extrakció jelentősen olcsóbb, mint a közvetlen desztilláció.
- Az is előfordulhat, hogy az elválasztásra egyszerűbb módszer nem is alkalmazható. Példa erre, ha egy bonyolult elegy különböző kémiai tulajdonságú, de közel azonos forráspontú komponenseit kell elválasztani, amire igen alkalmas az extrakció, hiszen ez a kémiai karakter szerint szelektál.

A **szilárd-folyadék extrakció**, amit *kioldásnak*, *kilúgozásnak* (utalva a fahamuból történő hamuzsír kinyerésre), *perkolációnak*, a cukoriparban *diffúzió*nak is neveznek, igen régi és a legkülönbözőbb iparágakban alkalmazott művelet. A szilárd-folyadék extrakció valójában valamilyen összetett szilárd anyag egy, vagy több alkotórészének folyékony oldószerrel megvalósított szelektív kioldását jelenti. Kioldással igen sok természetes szerves anyagot nyerünk ki, de a szilárd hulladékokból is sok komponens távolítható el a módszer alkalmazásával.

A különböző kilúgozási feladatok megoldásának alapvető feltétele az adott célra alkalmas oldószer kiválasztása. Az extrakciós oldószernek elsősorban szelektív oldóképességgel kell rendelkeznie (természetesen a kivonandó komponensre vonatkozóan). Ha erre a célra víz felhasználható, akkor természetesen ez a legjobb megoldás, a víztől eltekintve az egyéb oldószereknél további szempontokat is érdemes figyelembe vennünk, ezek a következők:

- legyen könnyen elpárologtatható;
- forráspontja ne legyen se túl kicsi, se túl magas;
- legyen jó „áthatolóképességű”, azaz legyen képes a szemcsehalmaz nedvesítésére;
- ne hasson károsan az extraktumra;
- melegítés, víz vagy gőz hatására ne szenvedjen bomlást;

- a vas- és fémfelületeket ne támadja meg;
- vízben gyakorlatilag oldhatatlan legyen;
- hőkapacitása és párolgáshője kicsi legyen;
- sűrűsége és viszkozitása ne legyen nagy;
- a környezetre nézve ártalmatlan legyen;
- ne károsítsa az élő (emberi) szervezetet;
- ne legyen tűz- vagy robbanásveszélyes;
- kémiaileg és termikusan stabilis legyen;
- az ára lehetőleg alacsony legyen.

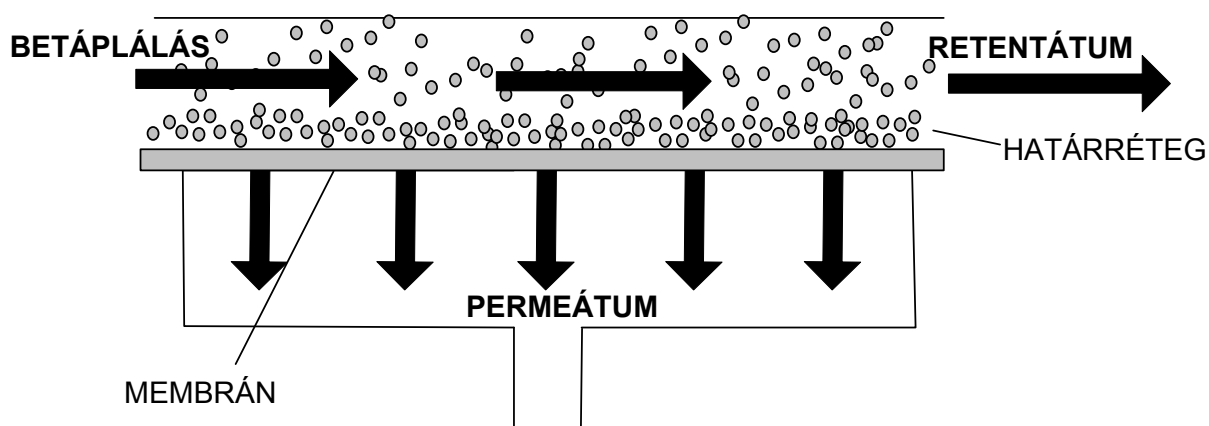
A kilúgozás hatékonyságát elsősorban a szilárd- és a folyadék-fázis érintkezésének intenzitása határozza meg. Ennek növelése érdekében célszerű a szilárd anyag felületét aprítással, őrléssel, szeleteléssel megnövelni, ugyanis az oldószernek minél jobban be kell hatolnia a szilárd anyag részecskéi, vagy – növényi, esetleg állati eredetű alapanyagok esetén – sejtjei közé. Őrléskor és szeleteléskor azonban nem kívánatos, hogy a kivonandó anyagot tartalmazó sejtek megsérüljenek, ezért nem kell feltétlenül finom aprításra törekedni. Az oldószernek a szemcsehalmazon keresztül történő egyenletes és akadálytalan áthaladása szintén optimális szemcseméret esetén valósul meg (gondoljunk itt például a kávéfőzésre), tehát ezt a paramétert gondosan meg kell határozni.

Az esetek többségében a komponensek oldhatósága növekszik a hőmérséklettel (az oldás sebessége viszont mindig), ezért célszerű magasabb hőmérsékleten, meleg oldószerrel dolgozni.

6.3.1.3 Membráneljárások

A membráneljárásokkal: mikro-, ultra- vagy nano-szűréssel, fordított ozmózissal kisméretű szennyezések, akár molekulák, ionok is eltávolíthatók. A membránszeparációs műveletek során a membrán két oldala között kémiai potenciálkülönbség lép föl, ennek hatására komponenstranszport indul el. Ha a membrán áteresztőképessége (permeabilitása) az elegy komponenseire vonatkozóan különböző, akkor az átlépő fluidum (*permeátum*) összetétele eltér a betáplálási összetételtől (és természetesen a visszamaradó fluidum, a *retentátum* összetételétől is).

A membránseparációs műveletek során - a hagyományos eljárásokkal szemben - a fluidum a membránfelülettel párhuzamosan áramlik. A részecskeméretük alapján a keresztáramú membránseparációnak négy változatát különböztethetjük meg. *Mikroszűréssel* a 0,1-1 μm méretű részecskéket távolíthatjuk el, az ultraszűrés makromolekulák szeparálására alkalmas eljárás, a 2-100 nm mérettartományban, míg nanoszűrésnek azt a műveletet nevezzük, ahol a visszatartott részecskék mérete jellemzően 1 nanométer.

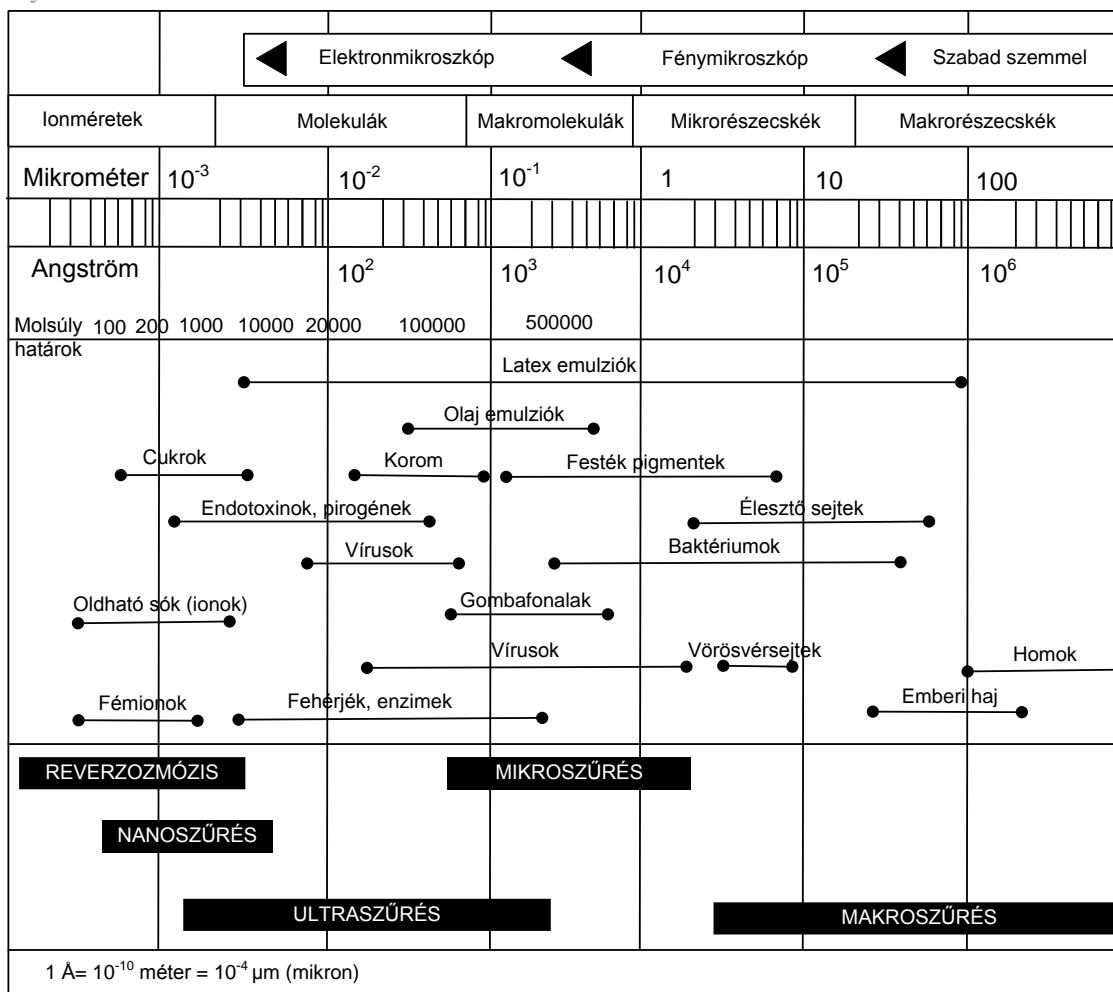


90. ábra. Áramlás membránberendezésben

A fordított ozmózis (reverzozmózis, RO) technológiát először az amerikai haditengerészetnél használták a sós tengervízből ivóvíz előállítására. Ma már a Közel-Kelet tehetősebb országai így nyerik ivóvizüket a tengerből, sőt Ázsiában már megjelentek a palackozott RO ivóvizek is.

A fordított ozmózis műveletében a csőszerűen kialakított membrán belsejében áramló fluidumra nyomást (15-100 bar) gyakorolva a rendszer az oldott anyag koncentrációjának növelésével igyekszik ellennyomást kifejteni, ami azáltal valósulhat meg, hogy a tiszta folyadék (oldószer) a membránon keresztül távozik.

A különböző membrántechnikai folyamatok részecskeméret-tartományait mutatja a **91. ábra**.



91. ábra. A membránszeparációs műveletek jellemző mérettartományai

6.3.2 Kémiai reakciók alkalmazása a hulladékok kezelése során

A kémiai reakciókkal járó kezelési eljárásokat a veszélyesség csökkentésének (megszüntetésének) érdekében – tehát ártalmatlanításra, továbbá a hulladék egyes komponenseinek hasznosítása céljából szokták alkalmazni. A folyamatok legtöbb esetben folyékony közeget igényelnek, amiből az következik, hogy leggyakrabban veszélyes komponenseket tartalmazó vizek (döntően ipari szennyvíz) kezelésénél játszanak szerepet.

6.3.2.1 Semlegesítés

A gyártási technológiáktól függően számos helyen savas illetve lúgos kémhatású szennyvíz hagyja el az üzemet. Ekkor a semleges (pH=7), de legalábbis semleges közeli (6-8 közötti) pH-érték beállítása a cél.

A savas kémhatású hulladékokat bázisokkal ártalmatlanítjuk, míg a lúgos kémhatásúakat savakkal. A reagens kiválasztásánál fontos szempont az ár, a hozzáférhetőség és a könnyű kezelhetőség.

A fenti szempontok figyelembevételével a savak semlegesítésénél leggyakrabban mésztejet (Ca(OH)_2) szokás alkalmazni, hiszen a nátrium-hidroxid ennél lényegesen drágább, míg az ugyancsak lúgos kémhatású szóda (Na_2CO_3) a felszabaduló szén-dioxid gáz miatt erős pezsgést, kihabzást okoz.

A lúgok semlegesítése esetében ugyan legkézenfekvőbb megoldásnak a sósav-oldat alkalmazása tűnik, a hidrogén-klorid korlátozott vízoldhatósága miatt ez mégsem ajánlott. Helyette inkább a tetszőleges mértékben hígítható kénsavat célszerű használni. Akármelyik reagenst is alkalmazzuk, fontos a kibocsátási határértékek figyelembevétele klorid- illetve szulfát-ionra.

Olyan helyeken, ahol savas és lúgos kémhatású hulladékáramok is keletkeznek, ezek megfelelő keverésével is elérhetővé válik a semleges kémhatás. Azonban ekkor feltétlenül ismerni kell az elegyítendő szennyvizek összetételét, nehogy kedvezőtlen mellékreakciók játszódjanak le, illetve nehogy más veszélyes anyag keletkezzék.

6.3.2.2 Csapadékképzés

A csapadékképződés az oldat összetételének megváltozása következtében játszódik le. A hulladékok kezelése során ez a módszer is vizes közegekben nyert alkalmazást, de ne felejtjük el, hogy szerves oldószerből is válhat ki csapadék, például az oldat polaritásának megváltoztatásakor (pl. n-hexán adagolása aceton-oldathoz).

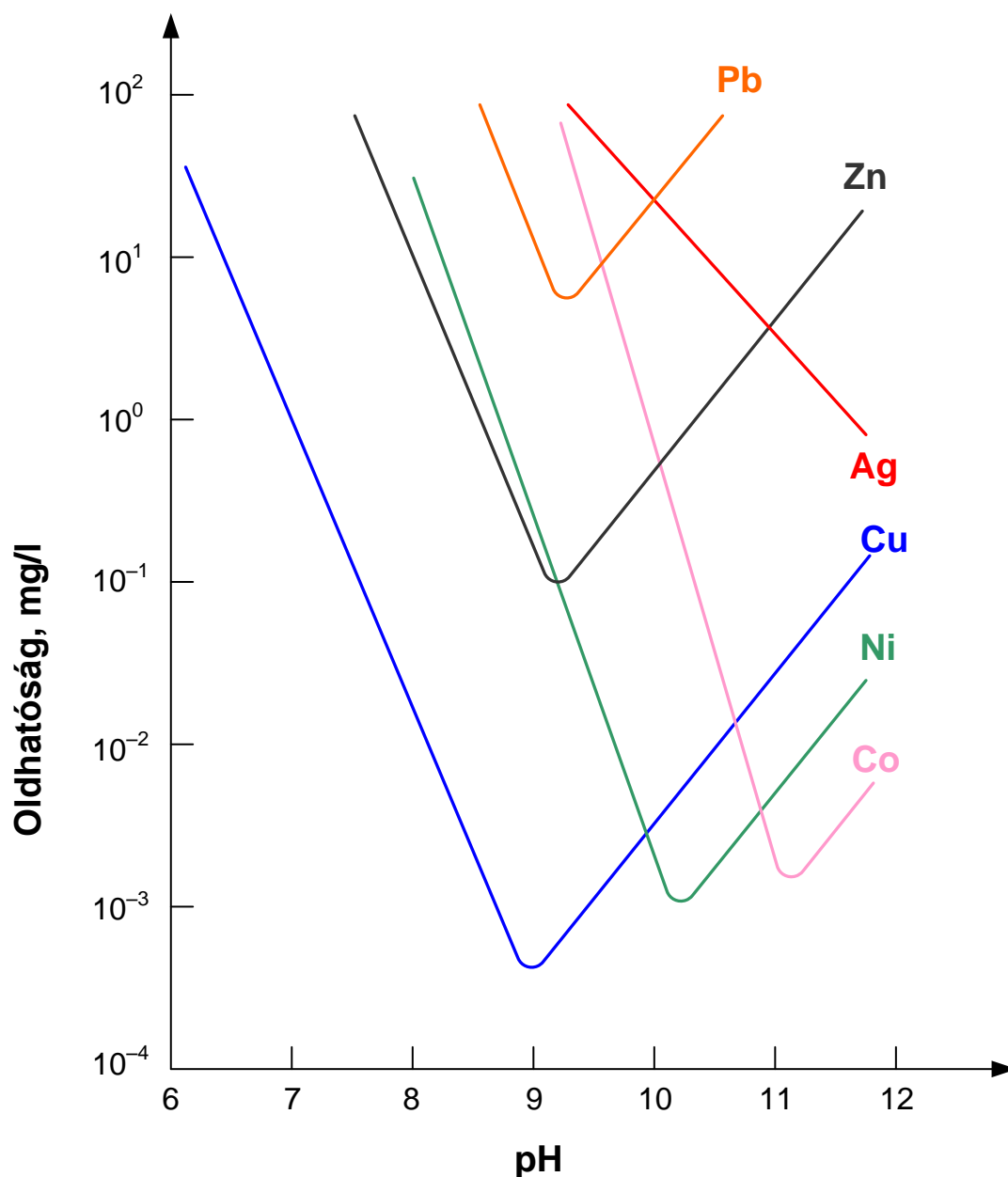
Az alábbiakban a kationok illetve az anionok vizes oldatból történő leválasztási módszereit tekintjük át, amikor is az oldott állapotban lévő ionokat szilárd fázisba visszük. Ennek hatékonysága az illető csapadék oldhatóságától függ. A folyamat ülepítéssel jár együtt, amelyet legtöbbször szűrés, szükség esetén centrifugálás követ.

Kationok leválasztási módszerei

Ezeknek az eljárásoknak az a célja, hogy a toxikus hatású fémionokat hozzuk vízben oldhatatlan formába. Az alábbiakban összesen öt lehetőséget ismertetünk, amelyek alkalmazása előtt mindig figyelembe kell venni az adott módszer korlátait.

- Hidroxidos leválasztás

Ennél az eljárásnál kihasználjuk, hogy a toxikus hatású fémionok döntő többsége amfoter tulajdonságú fémhidroxidot képez, tehát savakban és lúgokban oldódik, de a képződő vegyületnek adott pH-értéknél van egy oldhatósági minimuma, amint az a **92. ábra** látható. A semlegesítési eljárásokhoz hasonlóan az oldathoz reagensként itt is elsősorban mésztejet adagolnak, de ekkor a folyamat gyorsabb lejátszódása érdekében gyakrabban kerül sor a NaOH alkalmazására.

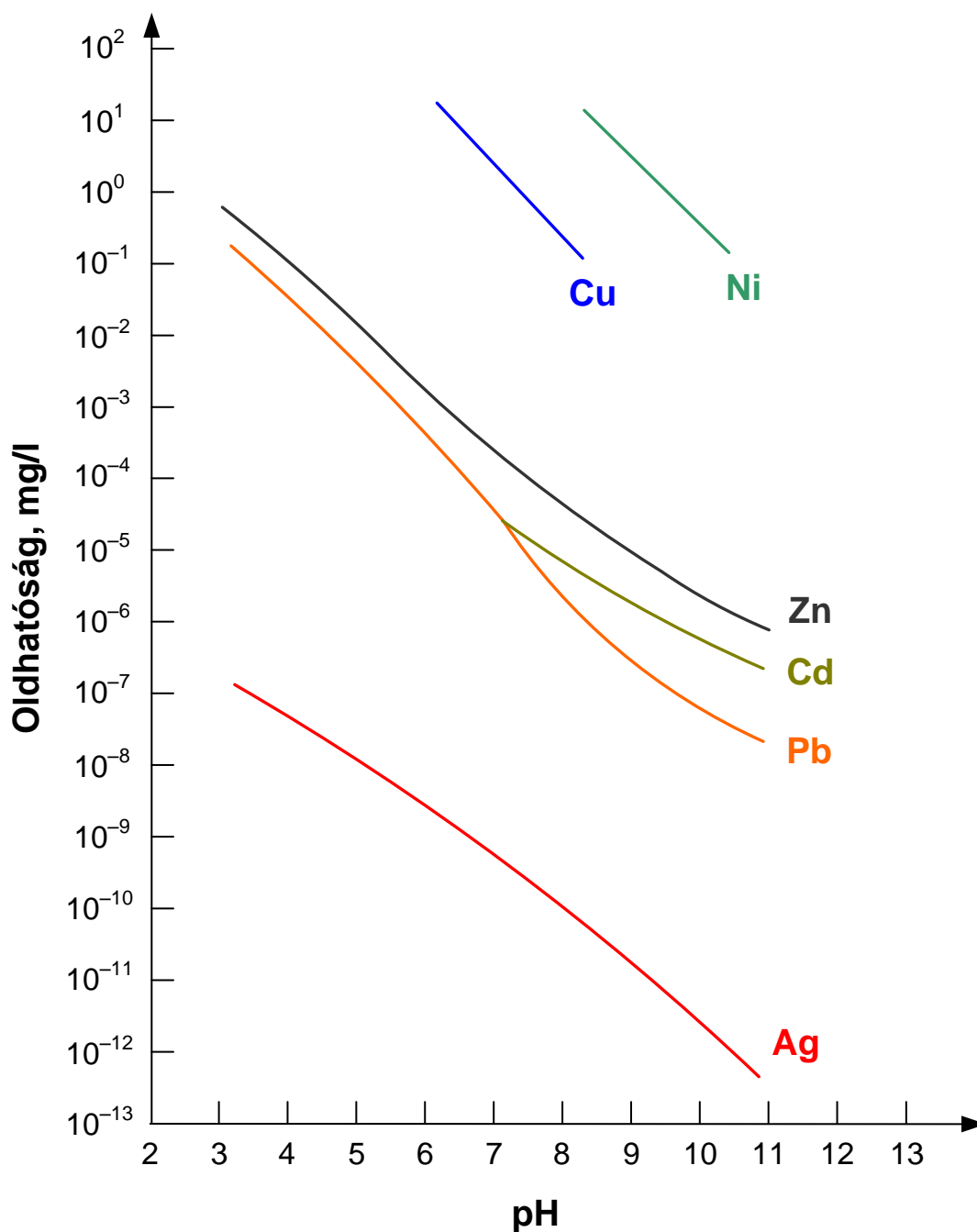


92. ábra. Néhány fém-hidroxid oldhatósága a pH függvényében

- Szulfidos leválasztás

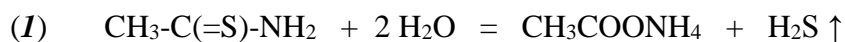
A fémek szulfid sói nem rendelkeznek oldhatósági minimummal, oldhatóságuk a pH függvényében folyamatosan csökken (ld. **93. ábra**). Mivel a kén-hidrogén (H_2S) rendkívül gyenge sav, keletkezésére semleges közeli pH-értékeken számítani kell. Az így fejlődő gáz mérgező hatása és kellemetlen szaga miatt a közeg pH-ját 8 felett kell tartani.

Reagensként nátrium-szulfidot, Na-hidrogén-szulfidot, illetve gyenge víz-oldhatóságú vas(II)-szulfidot használnak.



93. ábra. Néhány fém-szulfid oldhatósága a pH függvényében

Egy szerves vegyület alkalmazása is lehetséges, ez a tio-acet-amid. A reakciót az (1) egyenlettel írhatjuk le. Ekkor a kén-hidrogén *in situ* keletkezik a folyamatban.



A két ábra összehasonlításából látható, hogy a legtöbb fém-szulfid oldhatósága azonos pH-értéken kisebb a megfelelő hidroxidénál, mégis ez utóbbiak leválasztása gyakoribb a kellemetlen mellékreakció elkerülése miatt.

- Karbonátos leválasztás

A fém-karbonátok általában jól szűrhető csapadékot képeznek, ezért a karbonátos leválasztás bizonyos fémek (Cd, Pb) esetében igen hatékony lehet. Reagensként nátrium-karbonátot használnak.

- Borátos lecsapás

Mint az a példaként két vegyértékű fémion reakcióját leíró (2) egyenletből látható, ez a folyamat nem egyszerű csapadékképzést jelent, hanem a nátrium-boro-hidrid (Na[BH₄]) hatására a fémion elemi fémmé redukálódik, majd kiválik. Mivel a folyamatban hidrogéngáz keletkezik (a hidridek vízzel reagálva hidrogént fejlesztenek!), rendkívül fontos a körültekintő kivitelezés. Emiatt inkább csak kis mennyiségekkel végrehajtva, laboratóriumi módszerként ajánlott, nagyobb mennyiségek esetében feltétlenül inert atmoszféra (pl. nitrogén) alatt célszerű végrehajtani a reakciót.

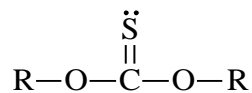


- Komplexképzés

Ezt a kémiai módszert csakis olyan esetekben használhatjuk, amikor a hulladékban datív (koordinatív) kötésre alkalmas – azaz szabad elektronpár befogadására képes elektronpályával rendelkező – kation (elektronpár-akceptor) van. A mérgező tulajdonságú fémionok többsége ilyen. Ligandumként nemkötő elektronpárral rendelkező (elektronpár-donor) atomokat tartalmazó molekulákat, anionokat használhatunk. A kémiai tanulmányok alapján közismerten ilyenek az oxigén-, kén- és a nitrogén-tartamú vegyületek.

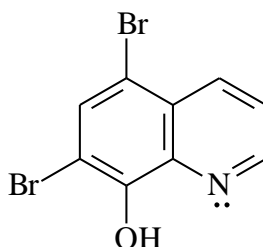
A komplexképzés célja kettős lehet: vagy oldatba visszük komplex formájában a kérdéses fémiont, vagy csapadékként leválasztjuk azt. Például nikkelező bevonatok oldatainak

tisztítására a kéntartalmú *dialkil-tiokarbonátokat* szokták használni. Ekkor a szennyező fémionok csapadékként kiválnak, míg a nikkelt az oldatban marad komplex formájában, amelyet később megbontva lehet a bevonathoz jutni.



dialkil-tiokarbonát

Nitrogéntartalmú komplexképzőre példa az *5,7-dibróm-8-hidroxi-kinolin*, amelyet elsősorban természetes vizek fémszennyezéseinek leválasztására használnak.

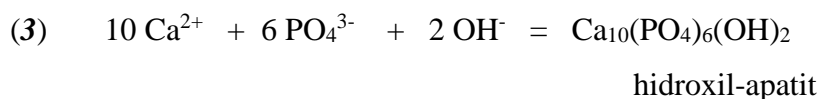


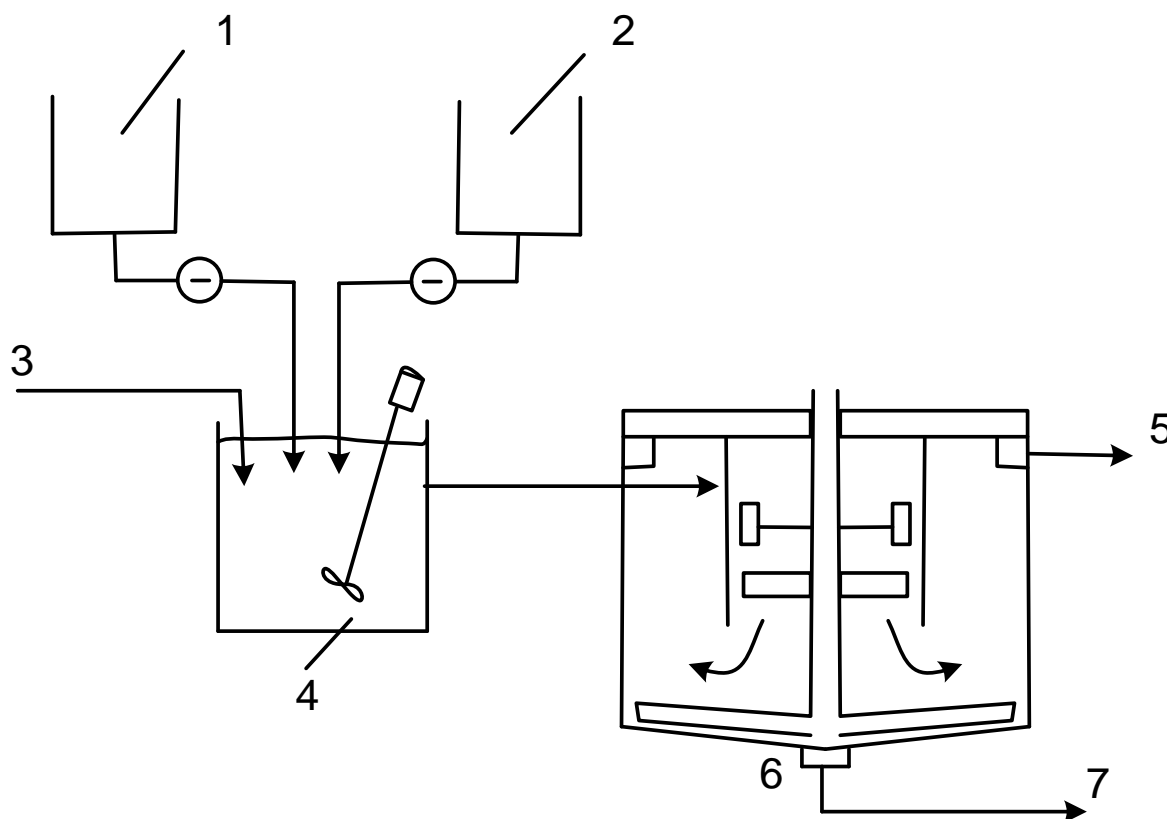
5,7-dibróm-8-hidroxi-kinolin

Toxikus fémionokat tartalmazó ipari szennyvíz csapadékképzéssel járó tisztítási technológiáját mutatja be a **94. ábra**. A csapadék gyorsabb ülepedésének céljából flokkulálószeret szoktak adni a rendszerhez.

Anionok leválasztási módszerei

Az anionok csapadék formájában történő leválasztása a kationokhoz képest ritkábban kitűzött cél, hiszen a leggyakrabban szennyező komponensként előforduló anionok (klorid, nitrát) sói többnyire vízoldhatóak. A csapadékképzési eljárásokat elsősorban foszfát leválasztására használják. Ennek háromféle módja ismeretes: Al^{3+} -, Fe^{3+} -ionokkal foszfát só (AlPO_4 és FePO_4) leválasztása, továbbá kalciummal lúgos körülmények között (tehát mésszel) hidroxilapatit előállítás. Ez utóbbit mutatja be a (3) egyenlet.



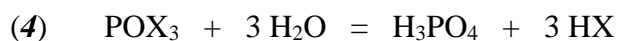


94. ábra. A csapadékképzés folyamatábrája

(1: reaktáns tartálya, 2: flokkulálószer tartálya, 3: szennyvíz vezetéke, 4: reaktor, 5: tisztított víz elvezetése, 6: ülepitő-derítő egység, 7: csapadék elvezetése)

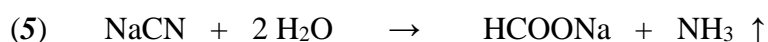
6.3.2.3 Hidrolízis

A hidrolízis a hulladékok kezelése során a mérgező komponensek illetve a hulladékká vált veszélyes anyagok vízzel történő reakcióját jelenti, amikor legalább két új vegyület keletkezik. Ezek a termékek a kiindulási anyagnál kevésbé veszélyes tulajdonsággal rendelkeznek, de szükség lehet további kezelésükre, hiszen a folyamatban savak és lúgok is keletkezhetnek. A foszfor-oxi-halogenidek (POX_3) hidrolitikus bontása (ld. (4) egyenlet) kétféle savat - foszforsavat és hidrogén-halogenidet – eredményez.



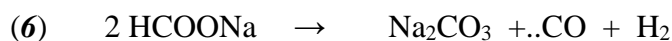
A rendkívül mérgező cianidok ártalmatlanítása magas hőmérsékleten és - a folyékony halmazállapot fenntartása érdekében - nagy nyomáson (kb. 7-10 MPa) nátrium-formiát és ammónia keletkezéséhez vezet (ld. (5) egyenlet).

$$T > 150 \text{ }^\circ\text{C}$$



Ezt a reakciót gyakran olvadék állapotban hajtják végre, amikor a formiát a (6) egyenlet szerint tovább bomlik nátrium-karbonát, szén-monoxid és hidrogén keletkezése közben.

$$T > 700 \text{ }^\circ\text{C}$$



A fenti folyamatot, akár csak a vízzel hevesen reagáló anyagok (pl. alkálifémek, hidridek stb.) hidrolízisét biztonságtechnikai szempontból rendkívül körültekintően kell kivitelezni: a fejlődő gáz elvezetéséről gondoskodni kell, lehetséges a lefáklyázás (a (6) esetében a szén-monoxidot és a hidrogént az ammóniával együtt elégetik), de leginkább az inert atmoszférában végrehajtott kezelés alkalmazása tanácsolt.

6.3.2.4 Redox folyamatok

A redox folyamatok a hulladék redukációs és oxidációs kezelési reakcióit foglalják magukban. Mint azt alább látni fogjuk, a hulladékok oxidációjára sokkal több megoldás lehetséges, mint redukációjára.

Redukció

A redukció során a hulladékkomponens elektront vesz fel, míg a redukálószer elektront ad le (oxidálódik). Redukálószerként felhasználgják a kén-dioxidból előállított kénessavat (ld. (7) egyenlet) és sót, a kétértékű vas vegyületeit (szulfátot, hidroxidot) és a csapadékképzésnél már ismertetett nátrium-boro-hidridet (ld. (2) egyenlet).



A krómsavat tartalmazó galvanizáló üzemi szennyvíz korrozív hatása mellett rákkeltő és toxikus hatású a króm(VI) jelenléte miatt, ezért szükséges a kevésbé veszélyes króm(III) formává történő redukció (8) egyenlet szerint.



Mivel a reakció savas körülmények között zajlik, a keletkező króm(III)-sókat hidroxid formájában kicsapják, amelyhez a nagy tömegben keletkező csapadék elkerülése végett reagensként inkább nátrium-hidroxidot használnak mésztej helyett.

Oxidáció

A hulladék oxidációval történő kezelése során a hulladékkomponens adja le az elektront, amelyet az oxidálószer vesz fel (redukálódik).

Az oxidációra számos eljárás ismeretes a hulladékok kezelése során. Jelen fejezetben a termikus módszerek (ld. 5.2. fejezet) között részletezett égetéstől eltekintve minden lényeges megoldást tárgyalunk.

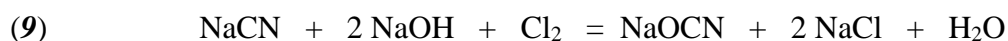
- Vegyszeres oxidáció

Mint a címből is kiolvasható, ebben az alfejezetben a hulladékot illetve annak komponenseit valamilyen oxidáló tulajdonságú vegyszer adagolásával kezeljük. A következőkben oxidálószerként csoportosítva ismertetjük az egyes módszereket.

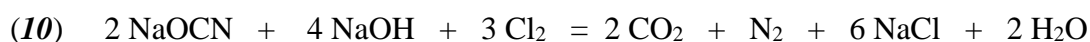
- Klór (Cl_2)

A klór a vizek szennyezőinek általánosan használt oxidáló- és fertőtlenítő szere. Mind ebben az esetben, mind a hulladékok kezelése során figyelembe kell venni, hogy az oxidációs folyamat mellett klórozási reakciók is lejátszódhatnak, ami az eredeti szennyezőknél még veszélyesebb (mérgező, rákkeltő) tulajdonságú anyagokat eredményez. Ilyen nemkívánatos termékek keletkeznek a szerves, különösen az aromás vegyületek klórozása során, tehát az ilyen komponenseket tartalmazó hulladékok esetében nem szabad oxidálószerként klórt használni. A vizes közeg humuszanyag-tartalma is képes klórozódni, ezért azt kezelés előtt minimálisra kell csökkenteni.

A cianid-tartalmú hulladékok hatékonyan alakíthatók át klór alkalmazásával kevésbé veszélyes anyaggá (cianát-tartalmú hulladékká) a (9) egyenlet szerint. (A lúgos közeg fontos, ellenkező esetben mérgező klór-cián (CNCl) keletkezik!)



A felhasznált klór mennyiségétől függően az oxidáció nem mindig áll meg a cianátnál, ugyanis egészen szén-dioxid és nitrogén keletkezéséig is eljuthatunk (ld. **(10)** egyenlet).



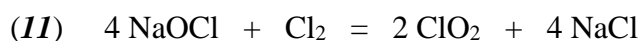
– Hipokloritok (OCl^-)

A klórgáznál egyszerűbben kezelhető, emiatt jobban el is terjedt az ipari hulladékok kezelésénél a nátrium-hipoklorit vizes oldata (10-30%), a hypo, továbbá a szilárd állapotú kalcium-hipoklorit és a klórmész (CaClOCl).

Alkalmazásuk során a nemkívánatos klórozási reakciók ugyancsak lejátszódhatnak, tehát ezeket a vegyületeket a klórhoz hasonlóan cianid-tartalmú hulladékok ártalmatlanítására használják. Hatékony oxidálószerként működnek a szulfid-ionok esetében is, amikor elemi kénen keresztül szulfát-ionok képződéséig is el lehet jutni.

– Klór-dioxid (ClO_2)

A klór-dioxidot nátrium-hipoklorit oldat és klór reakciójával állítják elő (ld **(11)** egyenlet) – általában az alkalmazás helyszínén.



Igen erélyes oxidálószer, alkalmazása során klórozási mellékreakció nem várható, hiszen benne a klór oxidációs száma +4. Ezért nemcsak cianidok és szulfidok, hanem szerves vegyületek, így pl. fenolok ártalmatlanítására is használható.

– Hidrogén-peroxid (H_2O_2)

A vegyszeres oxidációs eljárások között leginkább környezetbarát megoldásnak tekinthető a hidrogén-peroxid alkalmazása (30-70 %-os vizes oldatban), hiszen belőle a folyamat során víz és oxigén keletkezik. Tárolása alatt lassan elbomlik, a folyamatot fémionok jelenléte katalizálja. Az oxidáció kivitelezését óvatosan kell kivitelezni (adagolás, szükség esetén hűtés stb.) a robbanásszerűen lejátszódó reakciók elkerülése érdekében.

A hidrogén-peroxid a cianidokat szén-dioxidig és nitrogénig képes oxidálni, továbbá hatékony oxidálószer a kéntartalmú szerves és szervetlen vegyületeknek, az aromás gyűrű megbontására azonban nem képes (katalizátor, UV-fény besugárzása növeli a hatékonyságot).

– Kálium-permanganát (KMnO_4)

A kálium-permanganátot szilárd halmazállapotban tárolják, azonban vizes közegben nyer alkalmazást. Amikor a pH 3 és 11,5 közötti érték, az oxidáció során belőle oldhatatlan mangán-dioxid (MnO_2) képződik. Ennél savasabb körülmények között ($\text{pH} < 3$) Mn^{2+} -ionok keletkeznek. A hulladékok kezelésében nyert alkalmazási területe hasonló a hidrogén-peroxidnál leírtakhoz (pl. cianidok, szerves és szervetlen kénvegyületek oxidációja).

• Nedves oxidációs módszerek

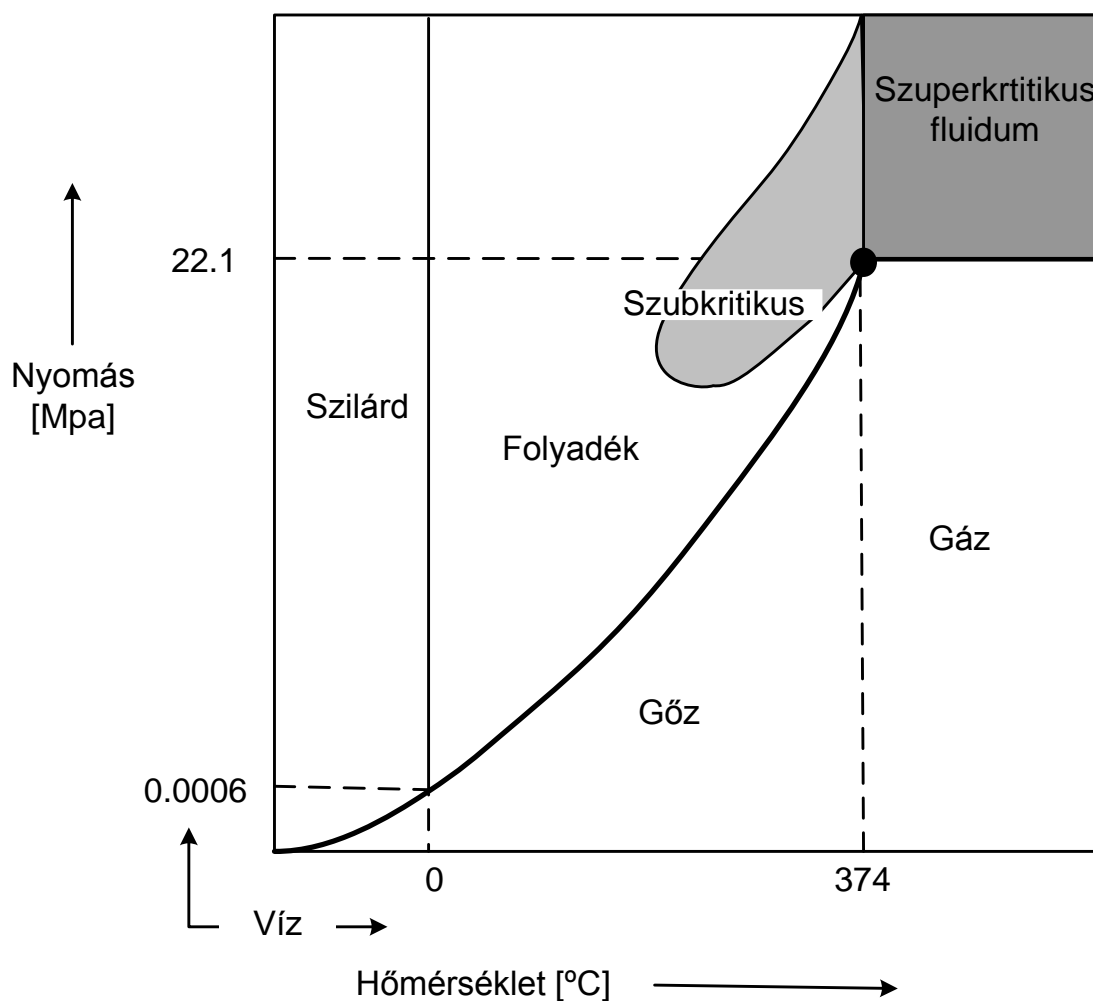
Az ún. nedves oxidációs módszerek gyűjtőfogalmat takarnak, hiszen különböző körülmények között a hulladékkomponenseket vizes közegben kezeljük oxigénnel. A meglehetősen magas hőmérséklet és nyomás biztosítása miatt nyomásbiztos reaktorban (autokláv) kell dolgozni, az energiaigény nagy. Mindez a költségek növekedéséhez vezet.

Az eljárások között két nagy csoportot különböztetünk meg: szubkritikus és szuperkritikus nedves oxidációs módszereket. Az elnevezés annak alapján történik, hogy a folyamat során a víz milyen állapotban van jelen. Ezt hivatott szemléltetni a víz fázisdiagramja (**95. ábra**). Ezen a szürke területek jelzik a szubkritikus és a szuperkritikus tartományokat, amelyeket az ipari gyakorlatban is alkalmaznak. A kritikus hőmérséklet (374 °C) felett a víz már semmilyen nyomáson nem komprimálható folyadékká.

- Szubkritikus nedves oxidáció

A szubkritikus nedves oxidációt víz kritikus hőmérséklete és nyomása közelében, de ezek alatti értékeken szokták végrehajtani, ezért az alkalmazott hőmérsékleti tartomány $150\text{--}325\text{ °C}$, a nyomás pedig $2\text{--}20\text{ MPa}$. Két kivitelezési mód lehetséges: klasszikus és fűtő kutakban végrehajtott nedves oxidáció.

A *klasszikus nedves oxidációt* kevert tankreaktorokban hajtják végre. A betáplált vizes közeg bármilyen formában (oldott, koloid, lebegő finom vagy durva szilárd részecskék) tartalmazhatja a hulladékkomponenseket, de alapvető követelmény az elegendő mennyiségű oxigén biztosítása, amelyet a kémiai oxigénigénnyel (KOI) fejezünk ki. Ez egységnyi térfogatú vizes közegben található anyagok tökéletes kémiai oxidációjához szükséges oxigén mennyiségét jelenti. A nedves oxidációs eljárásoknál a KOI $20\text{--}200\text{ g/dm}^3$ közötti érték.



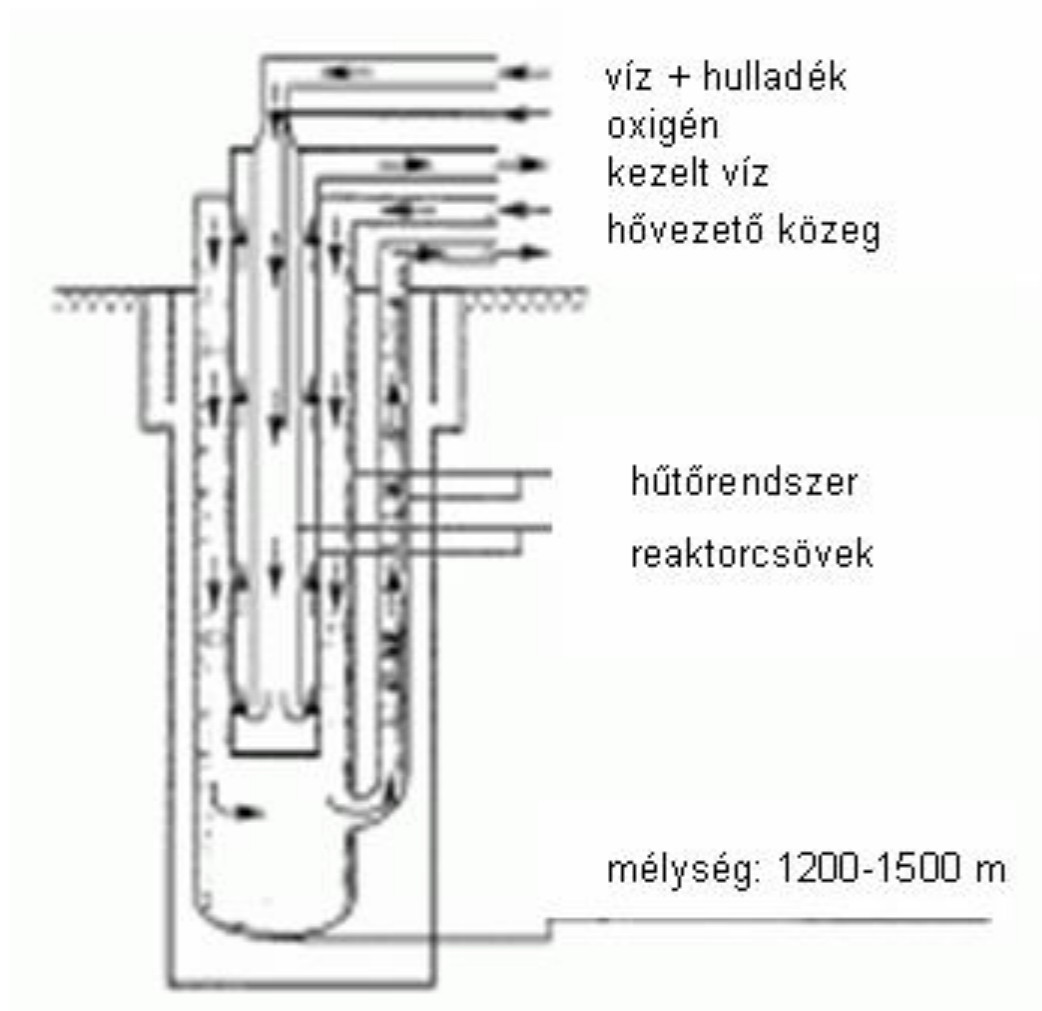
95. ábra. A víz fázisdiagramja

Az egyes hőmérsékleti tartományokban dolgozva más és más célokra használhatjuk ezt a módszert:

1. 150-200 °C-on az iszap-hulladékokból a víz eltávolíthatósága javítható.
2. 200-280 °C között a kimerült, szerves vegyületeket tartalmazó aktívszén regenerálható, továbbá kevésbé hőérzékeny molekulák alakíthatók át kisebb molekulatömegű, biológiailag lebontható anyagokká.
3. 280-300 °C között sok veszélyes szerves vegyület hidrogén- és széntartalma vízzé és szén-dioxiddá alakítható.

A nedves oxidáció fűrt kutakban is kivitelezhető. Természetesen ilyenkor a földtani közeg tulajdonságai nagyon fontosak, hiszen rendkívüli mélységet kell biztosítani. Ennek az eljárásnak a bemutatását szolgálja a 96. ábra. A rendszer lelke kettős reaktorcsőből áll, ahol a

belső csőbe történik a hulladék és víz beadagolása, míg a külső csőben emelkedik fel és abból vezethető el a kezelt folyadék. A víz hidrosztatikai nyomása biztosítja a reakcióhoz szükséges nyomást, míg az oxidáció exoterm jellege a hőt. Nagy előnye az eljárásnak, hogy a nagy mélység miatt teljesen biztonságosan hajtható végre.



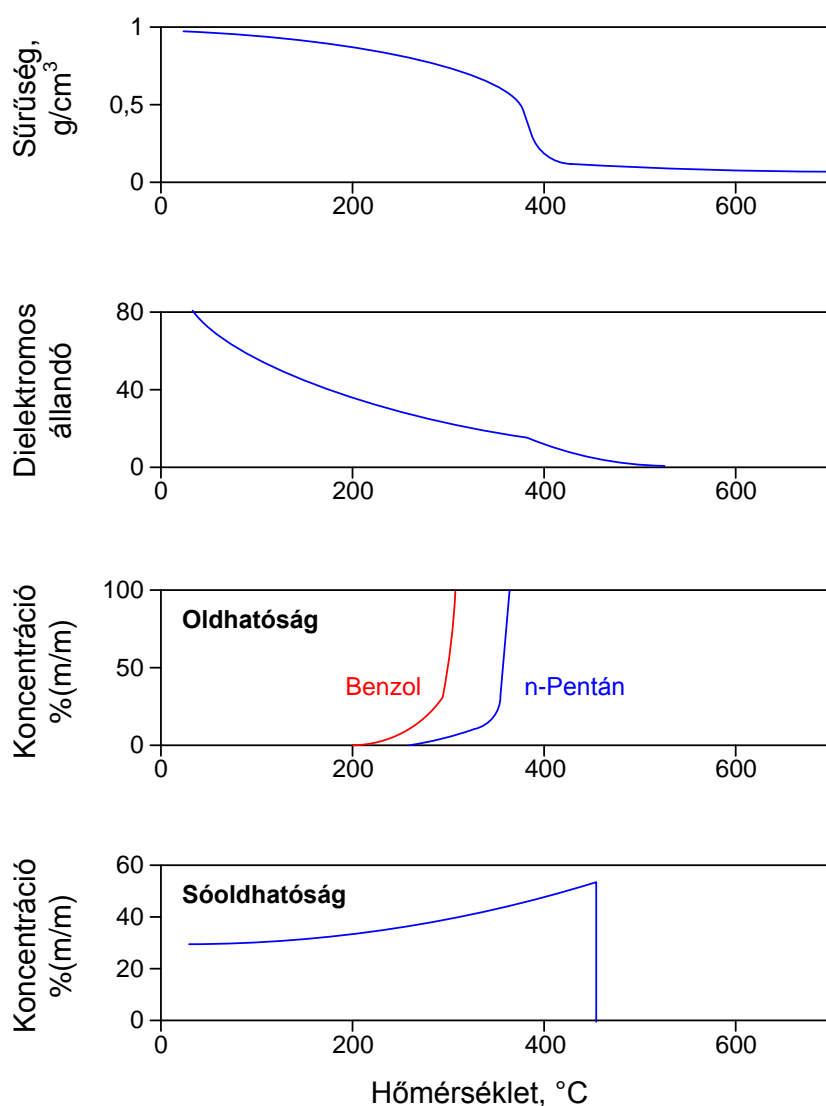
96. ábra. Kútban végrehajtott nedves oxidáció kivitelezése

- Szuperkritikus nedves oxidáció

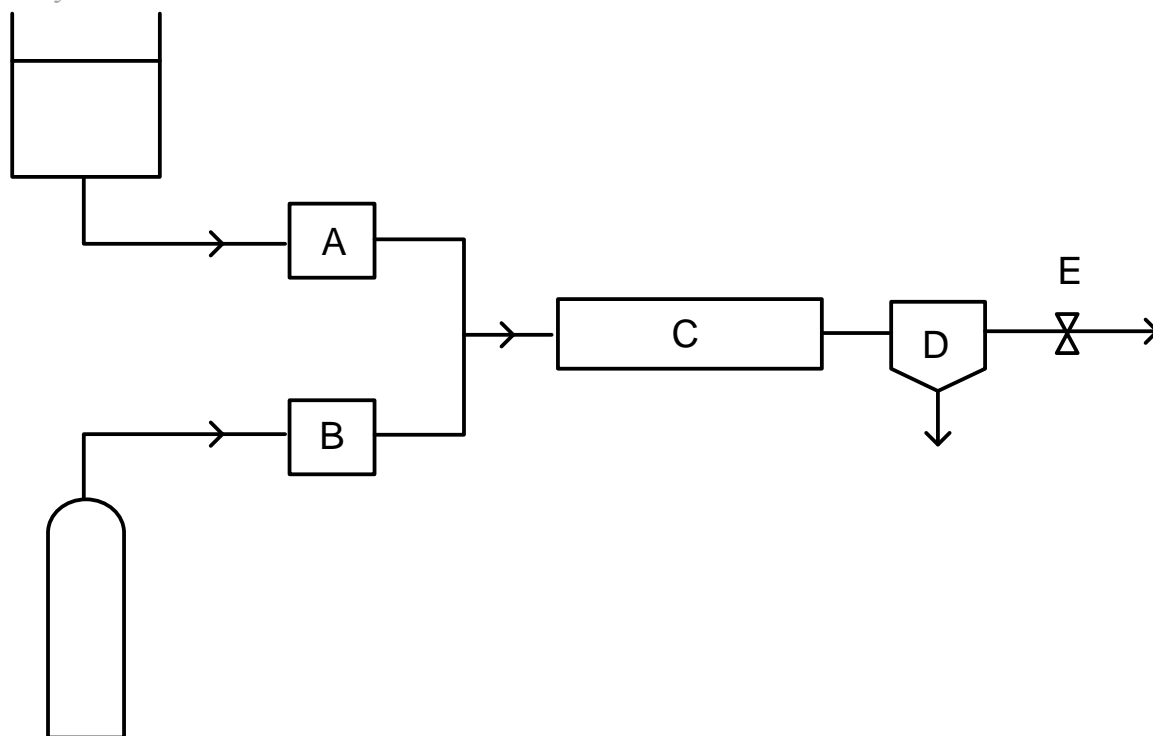
A szuperkritikus nedves oxidációt a víz kritikus pontját jellemző hőmérséklet és nyomás feletti értékeken hajtják végre (ld. **97. ábra**). Ekkor a szuperkritikus fluidum állapot alakul ki, ahol a fizikai-kémiai tulajdonságok drasztikusan megváltoznak. A víz tulajdonságaiban bekövetkező változásokat mutatja be a **97. ábra**. A szuperkritikus fluidum sűrűség (a kritikus ponton $\rho=0,3 \text{ g/cm}^3$) és viszkozitás szempontjából a gázokhoz hasonló, így benne az oxigénmolekulák szabadon mozoghatnak, tehát a reagens rossz oldhatósága nem csökkenti a reakció sebességét (az O_2 oldhatósága vízben egyébként rossz, pl. 315°C -on és $13,8 \text{ MPa}$ nyomáson csak $0,56$

m/m%). A víz dielektromos állandója nullára csökken, ezért apoláris oldószerként viselkedik, benne a veszélyes szerves vegyületek jól oldódnak, oxigénnel való találkozásuk valószínűsége nagy. Azonban éppen emiatt az egyébként normál körülmények között - a hidrátburok kialakulása következtében - ionjaira disszociáló sók oldhatatlanná válnak, ami az ipari megvalósításakor duguláshoz vezethet. Ennek megakadályozására szoktak valamilyen szeprátort (pl. ciklont) iktatni a rendszerbe (ld. 98. ábra). A disszociáció hiánya előny abból a szempontból, hogy nincsen korrózió.

Ezzel a módszerrel hatékonyan ártalmatlaníthatók a legveszélyesebb szerves vegyületek, így a klórozott szénhidrogének is. A rendszerből általában CO_2 , H_2O , N_2 , Cl^- és SO_4^{2-} távozik.



97. ábra. A víz tulajdonságainak változása a hőmérséklet függvényében 25,3 MPa nyomáson



(A: hulladékkomponenseket tartalmazó vizes közeg pumpája, B: oxigén vagy levegő pumpa, C: reaktor, D: szilárd anyag szeparátora, E: nyomásszabályozó szelep)

98. ábra. A szupercritikus nedves oxidáció megvalósításának egyszerűsített vázlata

- Ózonos (O_3) oxidáció

Az ózont ún. ózongenerátorban állítják elő elektromos kisülésekkel tiszta oxigén gázból vagy a levegő oxigénjéből, az utóbbi esetben a kinyerés nyilván rosszabb. A nagy energiaigény miatt igen drága eljárás, azonban az itt tárgyalt oxidációs módszerek közül a leghatékonyabbnak tekinthető. Az ózon ugyanis képes megbontani az aromás gyűrűt, tehát légköri nyomáson a legveszélyesebb szerves komponensek ártalmatlanítására is alkalmas. Nemcsak ipari szennyvíz, hanem például a hulladéklerakók csurgalékvizének kezelésére is használják. Mivel az emberi egészségre erősen mérgező hatású, a reakció lejárta után a véggázban maradt ózont el kell bontani.

- Radiokémiai oxidáció

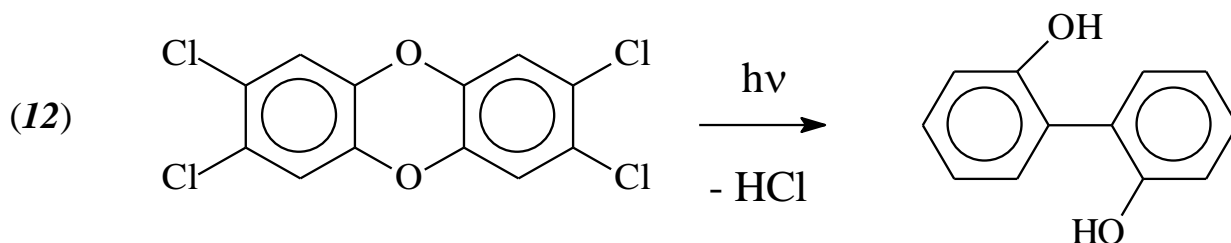
Veszélyessége miatt kevésbé elterjedt módszer, azonban hatékony. A hulladék besugárzására oxigén (levegő) jelenlétében γ -sugárzó izotópot használnak. Ilyen pl. a ^{60}Co . A radioaktív sugárzás hatására oxigéngyökök keletkeznek, a folyamat gyökös oxidáció. Jól alkalmazható a klórozott aromás vegyületek ártalmatlanítására.

6.3.2.5 Fotolízis

A fotolízis során a fény energiája ($h\nu$) segítségével bontjuk el a hulladékban lévő veszélyes komponenseket. Ez akkor lehetséges, hogyha a kezelendő hulladék molekulái rendelkeznek olyan csoporttal/tokkal, amely a besugárzó fény adott hullámhosszán ($\lambda=c/\nu$) képes energiát elnyelni, attól gerjesztett állapotba kerül. Hogyha ilyen csoport nincsen jelen, akkor a rendszerhez ún. fotoszenzibilizátort szoktak adagolni. Ez elnyeli a fényenergiát, majd gerjesztett állapotában ütközik a hulladék molekulájával, amelynek átadja energiáját, így annak kötéseit részben vagy egészben felhasadnak.

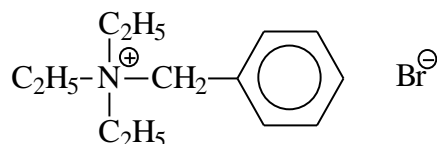
Minél nagyobb energiájú a fény, annál hatékonyabb a bontás. Ezért szokás a kisebb hullámhossz-tartománnyal rendelkező ultraibolya-fényt besugározni. A módszert gyakran kombinálják oxidációval. Így például a hidrogén-peroxid és az ózon hatékonyságát is gyakran növelik UV-fénnyel.

A kivitelezést üveg, speciális műanyag vagy kvarc reaktorban valósítják meg, fényforrásként higanygőz-lámpát használnak. Üvegfalú edényzet esetében a besugárzást felülről vagy a közegbe merített lámpával kell végrehajtani, hiszen az üveg elnyeli az UV-fényt, míg a speciális műanyag és a kvarc átengedi azt. Ez utóbbi esetekben elegendő az oldalról történő besugárzás. A fotokémiai reakcióknál a kezelendő hulladék típusától függően közegként nemcsak vizet, hanem más oldószert is lehet használni. Erre példa a tetraklór-dibenzo-dioxint tartalmazó hulladék extrakciója n-hexánnal, majd az így nyert oldat besugárzása higanygőz-lámpával. A rendkívül veszélyes dioxin-tartalom közel 100%-osan elbontható. A reakció fő terméke a 2,2'-dihidroxibifenil (ld. (12) egyenlet), amely nagyrészt ártalmatlan polimerré alakul át.



6.3.2.6 Katalízis

A katalizátorok a reaktánsokhoz képest (jelen esetben hulladék- és reagens molekulák) kis mennyiségben vannak jelen, feladatuk a reakció aktiválási energiájának csökkentése, tehát biztosítani egy olyan folyamat lejátszódását, ami nélküle nem vagy nagyon lassan mehetne végbe. A katalizátor jelenlétében lejátszódó folyamat a katalízis, amelynek attól függően, hogy a reaktánsok és a katalizátor milyen formában van jelen, három megoldása lehetséges: homogén-, heterogén- és fázistranszfer katalízis. A homogén katalízis során a reaktánsok és a katalizátor azonos formában vannak jelen – általában egy közegben (víz vagy más oldószer) feloldva. A heterogén katalízis esetében a katalizátor a reaktánsoktól eltérő, szilárd halmazállapotban van jelen. A reaktánsok ekkor gáz- vagy folyékony halmazállapotban vesznek részt a reakcióban. A fázistranszfer katalízis esetében a reaktánsok két, egymással nem elegyedő (apoláris és poláris) oldószerben vannak jelen, a katalizátor pedig a két folyadék közötti határfelületen helyezkedik el. A katalizátor olyan szerkezettel rendelkezik, hogy molekulájának egyik része az apoláris, másik része pedig a poláris oldószer felé fordul (abban oldódik), így segítve a reaktánsok egymással való ütközésének valószínűségét. A legegyszerűbb fázistranszfer katalizátorok közé tartoznak a szerves kvaterner nitrogén sók mint pl. a *TEBA* (triethyl-benzil-ammónium-bromid).



TEBA

A hulladékok kezelésekor a heterogén és a fázistranszfer katalízist alkalmazzák. Leggyakrabban a klórozott vegyületek ártalmatlanítása a cél, tehát az ún. dehalogénezési eljárások tartoznak elsősorban ide, ezek között is általában a dehidro-halogénezési módszerek. A heterogén katalízis során leggyakrabban gázhalmazállapotban dolgoznak, a reaktáns hidrogéngáz. *In situ* is elő lehet állítani a hidrogént, ekkor azonban a reaktánsok oldott állapotban vannak jelen. Erre példa klórozott aromás vegyületek dehidro-klórozása Ni katalizátor jelenlétében dimetil-formamid/izo-propanol oldószerkelegyen, amelyből a fémcink hatására hidrogén fejlődik.

A fázisátvitel katalízis alkalmazását általában szabadalmak írják le. Legtöbbször katalizátorként a polietilén-glikol vagy a polietilén-glikol-éter alkalikus komplexét használják, amelynek köszönhetően a szerves és a vizes fázis határán lejátszódik pl. a PCB-tartalmú hulladékok dehidro-halogénezése. A keletkező halogénmentes szerves anyag az apoláris oldószerben marad, míg a keletkező sók (pl. NaCl) a vizes fázisba mennek át.

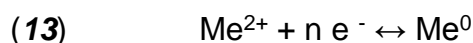
6.3.2.7 Elektrokémiai módszerek

Az elektrokémiai módszereket nagy energiaigényük miatt nem használják elterjedten, bár van olyan eset, amikor igazából nincsen jobb megoldás. Négy megoldás lehetséges: fémvisszanyerés, elektrodialízis, elektroflotálás és elektroflokkuláció. Az elnevezésekből is látható, hogy részben az előző fejezetben (ld. 5.4.1...) már tárgyalt eljárások elektrokémiai folyamatokkal történő kombinálásáról van szó.

Fémvisszanyerés

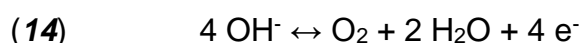
Az elektrokémiai módszerek között a leginkább használatos a fémvisszanyerés, ami valójában fémion-tartalmú oldatok elektrolízise. A katódon megtörténik a fémion elektronfelvétele (redukciója), így elemi fémet nyerhetünk ki (ld. 99. ábra). Az eljárást relatíve magas ára ellenére különösen a hulladékok hasznosítása során célszerű alkalmazni.

A katódon lejátszódó reakció:

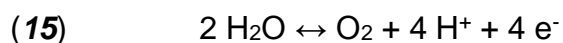


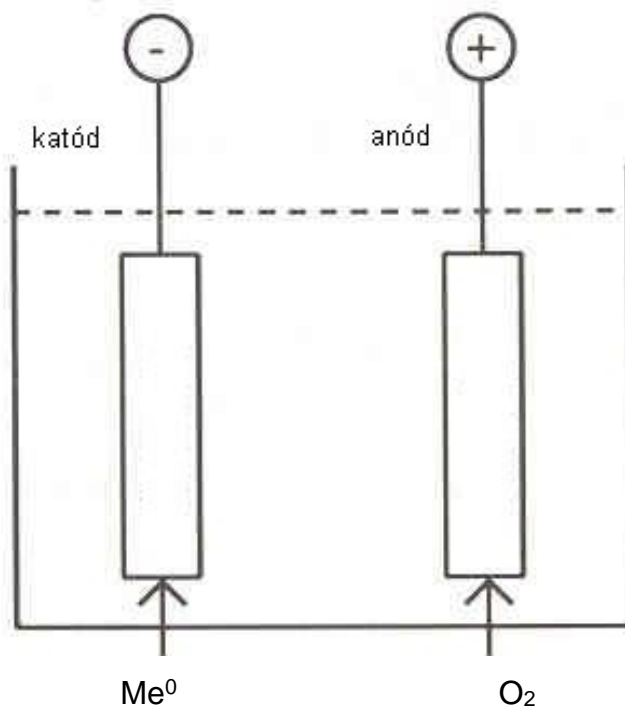
Az anódon lejátszódó reakció:

Lúgos elektrolitban



Savas elektrolitban





99. ábra. Fém visszanyerés elektrolízis segítségével

Elektrodialízis

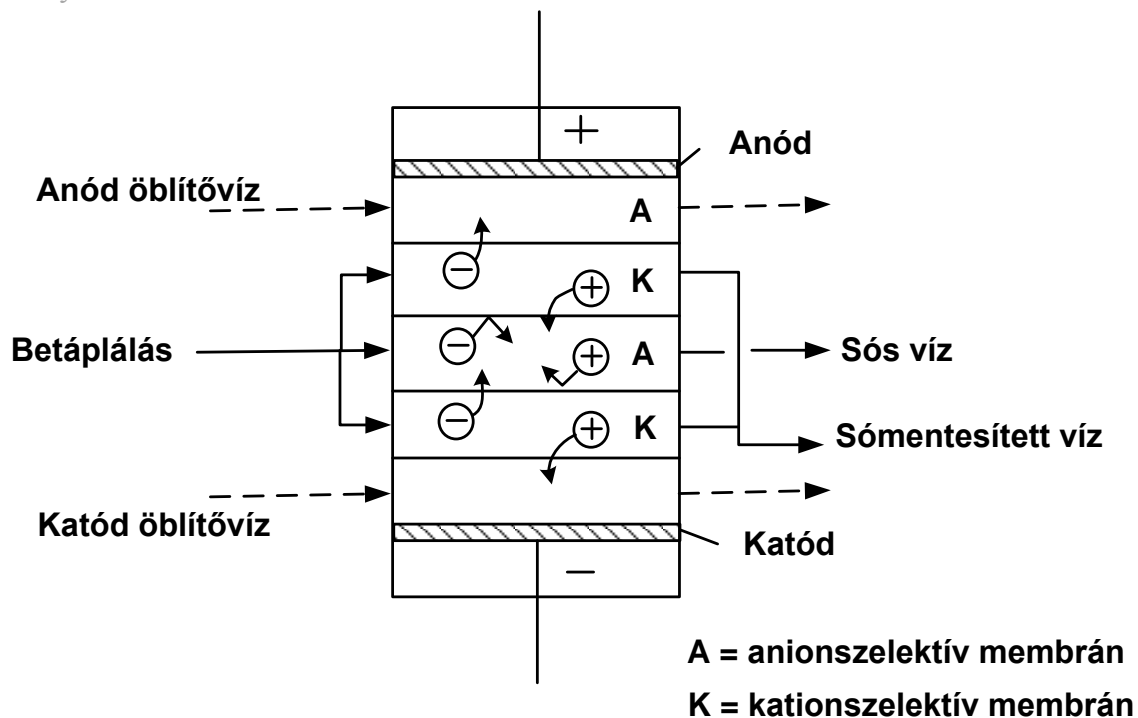
Az elektrodialízis során az elektrolízist olyan cellában oldják meg, amelyben kation- és anioncserélő membránok váltakozva helyezkednek el. A többféle fémiont és az aniont tartalmazó oldat mentesítése a szennyezőktől és a fémek tisztán történő kinyerése így módon hatékonyan megoldható.

Elektroflotálás

Az elektroflotálás az elektrolízis és a flotálás kombinációja oly módon, hogy a kezelendő hulladékot tartalmazó vizet bontják. A folyamatban hidrogén és oxigén fejlődik, a keletkező gázbuborékok felületükön adszorbeálják a szerves hulladékkomponenseket, amelyek így leförlözhetővé válnak. Újabban elterjedten alkalmazzák zsírtartalmú szennyvizek kezelésére – tehát nemcsak veszélyes hulladékok esetében használatos.

Elektroflokkuláció

Ebben az esetben a hulladékkomponensek ülepítő (flokkuláló) szerét állítják elő *in situ* az elektrolízis során, miközben nehezen ülepedő csapadék képződése játszódik le. A folyamatban alumínium (Al^{3+}) - és vas (Fe^{3+}) -ionokat nyernek, amelyek segítik a pelyhesedést, így módon a csapadék kiválását.



100. ábra. Az elektrodialízis megvalósításának folyamata

Irodalomjegyzék:

Chemistry of waste minimization

Abfallwirtschaft

Árvai

deJonge

Hazardous waste (de Jonge ford.)

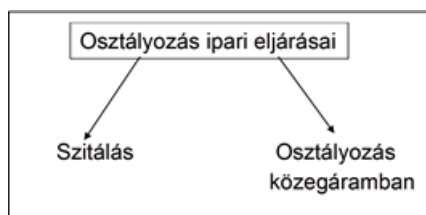
Angol cikk

United States Patent 6663766, <http://www.freepatentsonline.com/6663766.html>, 2006. okt. 26.

6.3.3 Osztályozás: méret szerint szétválasztás

Dr. Csőke Barnabás, Miskolci Egyetem

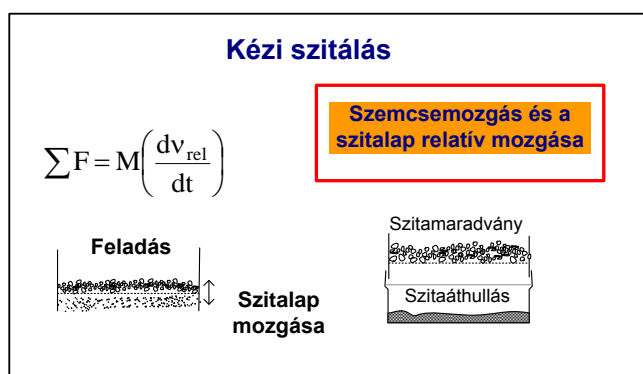
A méret szerint szétválasztás az mind aprítást mind pedig a aprítást követő dúsítást szervesen kiegészítő eljárás, amikor a szemcsehalmazt eltérő méretű frakciókra választjuk szét. Az ipari gyakorlatban ezt vagy szemimpermeábilis felületen szitákkal vagy közegáram segítségével végezzük el. A durvább szemcseméretnél való osztályozásra általában szitát használunk.



6.3.3.1 Szitálás

A szitálás fontos szerepet tölt be a hulladékok előkészítésében, a legfontosabbak:

- finom szennyezők, föld stb. leválasztása (építési hulladék-előkészítés, válogatás),
- a szeparálást vagy aprítást zavaró a túlméretes darabok leválasztása,
- a szeparálás (dúsítás) által igényelt szemcseméret beállítása (különösen fontos válogatás, örvényáramú és légáramban való szeparálás előtt);
- végtermék-szemcsefrakciók előállítása (építési hulladék).

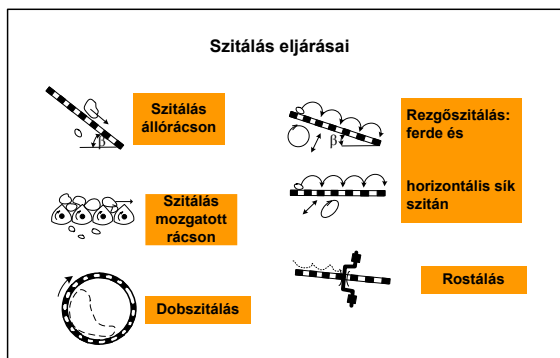


101. ábra. Kéziszitálás

A kézi szitálás alapján is belátható a szitálási folyamatban kitüntetett szerepe van a szemcsék egymáshoz viszonyított mozgásának, amelynek eredményeként a nagyszemcsék közötti hézagban a kisebbek a szitanyílás közelébe juthatnak, a nyílásnál kisebb szemek legyőzve a lyukellenállási erőt (súrlódási erő, kapilláris erők...) átesnek a szitanyíláson

Az üzemi szitáláskor a szitalapnak és a szitalap mozgatásának a szemcsék szállításáról is gondoskodnia kell.

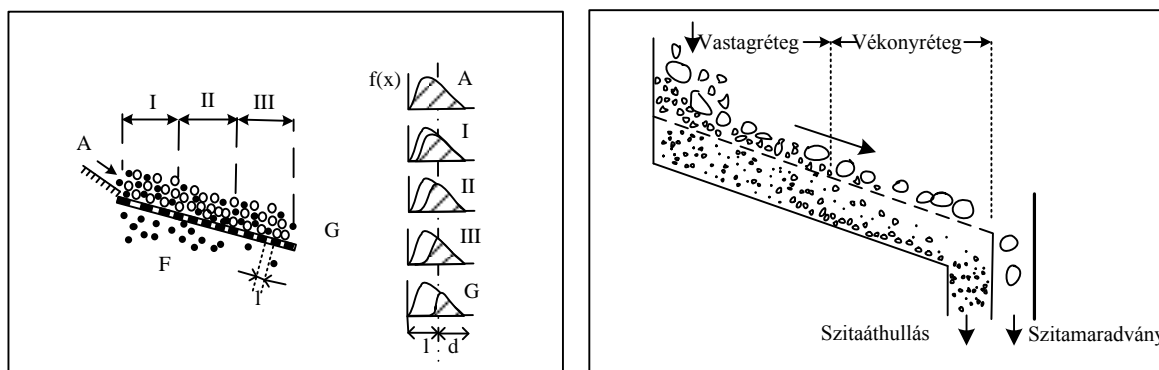
Szitálás eljárásai



A szitálás történhet állórácson a gravitációs erő révén vagy mozgatott (profilozott) rácselemek mozgatásával, vagy a kézi szitálásra emlékeztető rostálással, amikor a szemcsék a szitalap síkjában mozognak. Hatásos szitálás valósítható meg a rezgőszitálással, amikor a szemcsék többnyire ugrálnak a sík szitalapon (vibrátorok) vagy csúsznak (lengősziták). A hulladék-előkészítés leggyakrabban alkalmazott szitaberendezése az anyag jó áthalmozására képes dobszita.

102. ábra. A szitálás eljárásai

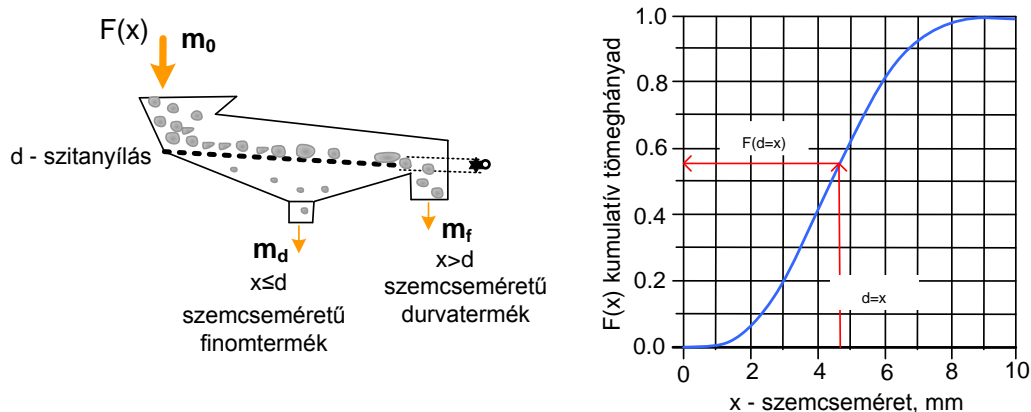
A gépi szitálás folyamata



103. ábra. Szemcsék áthullása a szitanyíláson

A szitálás során elsőként a legfinomabb szemek esnek át: a szitanyílás-méret felénél kisebb szemek a szitalap első egyharmadában átesnek. Miközben a szitalapon az anyagréteg vastagsága fokozatosan csökken (103. ábra). A szitanyílással közel megegyező méretű szemek, a d szitanyílás fele és másfélszerese közé eső az ún. kritikus szemek ($0,5 d < x_{krit} < 1,5 d$) igen nehezen esnek át a szitanyíláson, gyakran bennragadnak a szitanyílásban.

Az alábbi ábra szemlélteti a szita anyagmérlegét.



104. ábra. Szitálás anyagmérlege

A Szitamaradvány tömegáramát a szemcséknek a szitalapon való v_a mozgási sebessége, a b szemcsrétegvastagság, a szemcsréteg ε porozitása, a ρ_s szemcsesűrűség, valamint a szitalap B szélessége:

$$m_d = (1 - \varepsilon) \rho_s B h_E v_E$$

Ebből a feladás tömegárama a szitálás η hatásfokának és a feladás $F(x)$ szemcseeloszlásának ismertében

$$m_0 = \frac{(1 - \varepsilon) \rho_s}{1 - \eta F(d = x_{elv})} B b v_d$$

összefüggéssel határozható meg. A szitálás η hatásfok megadja, hogy a feladásban lévő szitanyílásnál kisebb szemek ($x \leq d$) hányad része esik át a szitanyíláson, amíg a szemcsék a szitalapon végighaladnak.

A szitálás eredményességét meghatározó tényezők

A fentiekből kitűnik, hogy, hogy a szitálás hatásfokát, az elválasztás élességét a következő egymással is kölcsönösen összefüggő tényezők befolyásolják, határozzák meg:

- szemcse és a szitanyílás méretének viszonya;
- a kritikus szemek mennyisége, ill. a feladás szemcseeloszlása;
- a szemcse és a szitanyílás alakja;

- a szemcsemozgás iránya, sebessége;
- a szitalap hossza, ill. a szemcse - szitalapon való tartózkodásnak időtartama;
- a szitalap terhelése, ill. a szitalap szélessége - az anyagréteg vastagsága;
- a feladás nedvességtartalma, a szemcse és a szitalap anyaga (anyagminősége).

A tényezőket szokás anyag-, gépi és üzemmódbeli jellemzőkként is csoportosítani (táblázat).

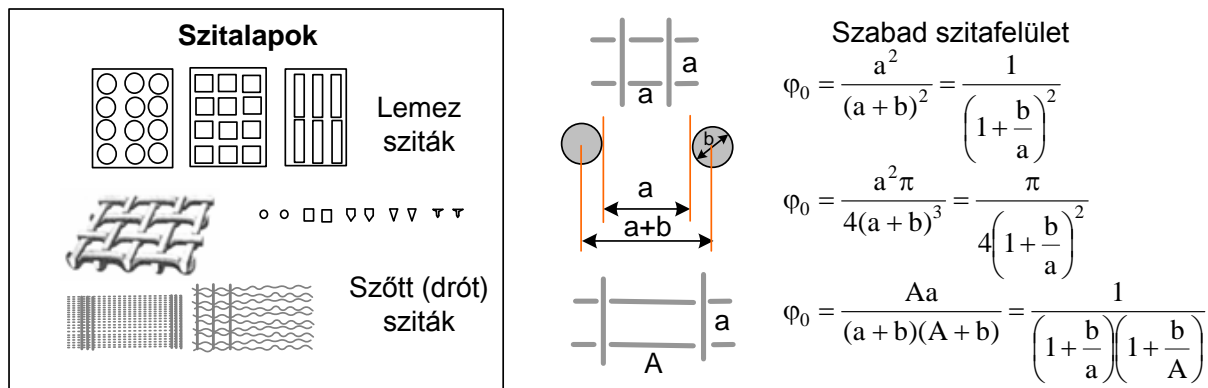
27. táblázat. A szitálást befolyásoló tényezők

Anyagjellemzők	Gépi jellemzők	Üzemjellemzők
<ul style="list-style-type: none"> – szemcseösszetétel, – szemcsealak, – sűrűség, – nedvesség, és más – anyagi minőség 	<ul style="list-style-type: none"> – szitalap kialakítása, – szitanyalások mérete, alakja, – szitalap anyaga, – a szita mozgatásának módja. 	<ul style="list-style-type: none"> – terhelés, – száraz vagy nedves

Anyagjellemzők. A szitálás eredményességét a feladás szemcseméret eloszlása vonatkozásában elsősorban a szitanyílással közel megegyező méretű szemek, a d szitanyílás fele és másfélszerese közé eső az ún. kritikus szemek ($0,5 d < x_{krit} < 1,5 d$) mennyisége határozza meg, e szemcsék igen nehezen esnek át a szitanyíláson, gyakran bennragadnak a szitanyílásban. A szemcsék alakja is szerepet játszik itt: gömbölyded és szögletes szemcsék nagyobb valószínűséggel esnek át, mint hosszú és/vagy lapos szemcsék. A szitanyílás alakjának alkalmas megválasztásával (hosszúkás négyszög alakú nyílások) e szemcsék átesésének is nagyobb a valószínűség. A szitálás nedvességtartalma is alapvető tényező. Az 5...15 % nedvességtartalmú anyag szilálásának hatásfoka gyakorlatilag zérus: a kapilláris erők megkötik a szemcséket a szitanyílásban, ehhez társul, hogy a kapilláris erők a finomabb szemcséket egymással és nagyobb szemcsékre is megkötik. Leghatékonyabb megoldás az anyag kiszárítása az 5 % alsó kritikus nedvességtartalom alá, vagy nedvesítés (azaz nedves szitálás) a 15...20 % felső kritikus nedvességtartalom felé.

A feladott anyag x_0 szemcsenagyságától függően beszélünk durva ($x_0 \geq 20$ mm), közepes ($1 \leq x_0 < 20$ mm) és finom szitálásról ($x_0 < 1$ mm).

Szitalap kialakítása.



105. ábra. Szitalap kialakítása, szabad szita felülete

A szitalapok lehetnek lyukasztott lemezsziták vagy szőtt sziták. A szitanyílások alakja lehet: kör, négyzet téglalap, hosszúkás négyszög (ahol nyílás hossz méret a nyílás szélességi méretéhez képest végtelennek tekinthető) hárfa sziták. A szita kialakítása meghatározza a szita felület φ szabad szita felületet, amely a szitanyílások A_{ny} keresztmetszetének viszonya az A teljes szita felülethez: $\varphi = \frac{A_{ny}}{A}$. A szitalapok bármilyen alakúak is, anyaguk szerint igen sokfélék lehetnek, fontosabbak: acél, ötvözött (pl. Mn-)acél, bronz, réz, gumi, műanyag (teflon, poliuretán). Az acél lemezsziták a durva osztályozásra, az acél szőtt sziták a közepes és finom szemcsetartományban használatos. A műanyag sziták alkalmazása igen előnyös közepes és finom szemcsetartományban a koptató és vagy tapadós anyagok szitálására. A bronz és réz szitákat laboratóriumi szitálásra használják.

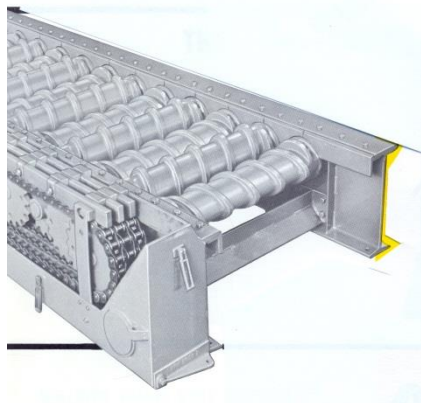
Mozgatott szita típusok, a sziták mozgatása és szemcsék mozgása a szitalapon

A mozgatott rácsok

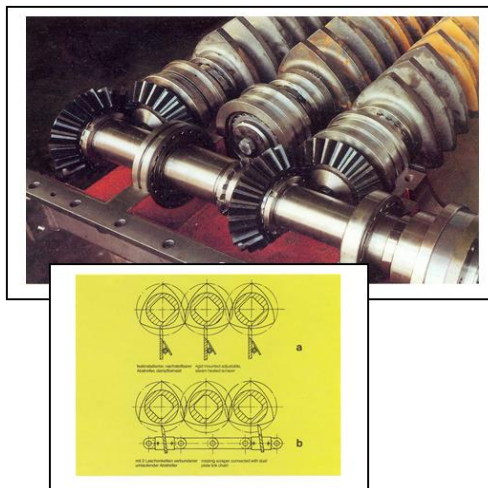
A rácsok párhuzamos álló vagy mozgatott rudakból állnak (106. ábra). A durva aprításhoz, ill. durva osztályozáshoz kapcsolódnak, fő feladatuk a törőgépek vagy a szeparátorok mentesítése a finom résztől. A rácsok technológiai folyamatban vagy megelőzik az előtörőt, vagy követik.



106. ábra. Mozzgatott rácsprofilok



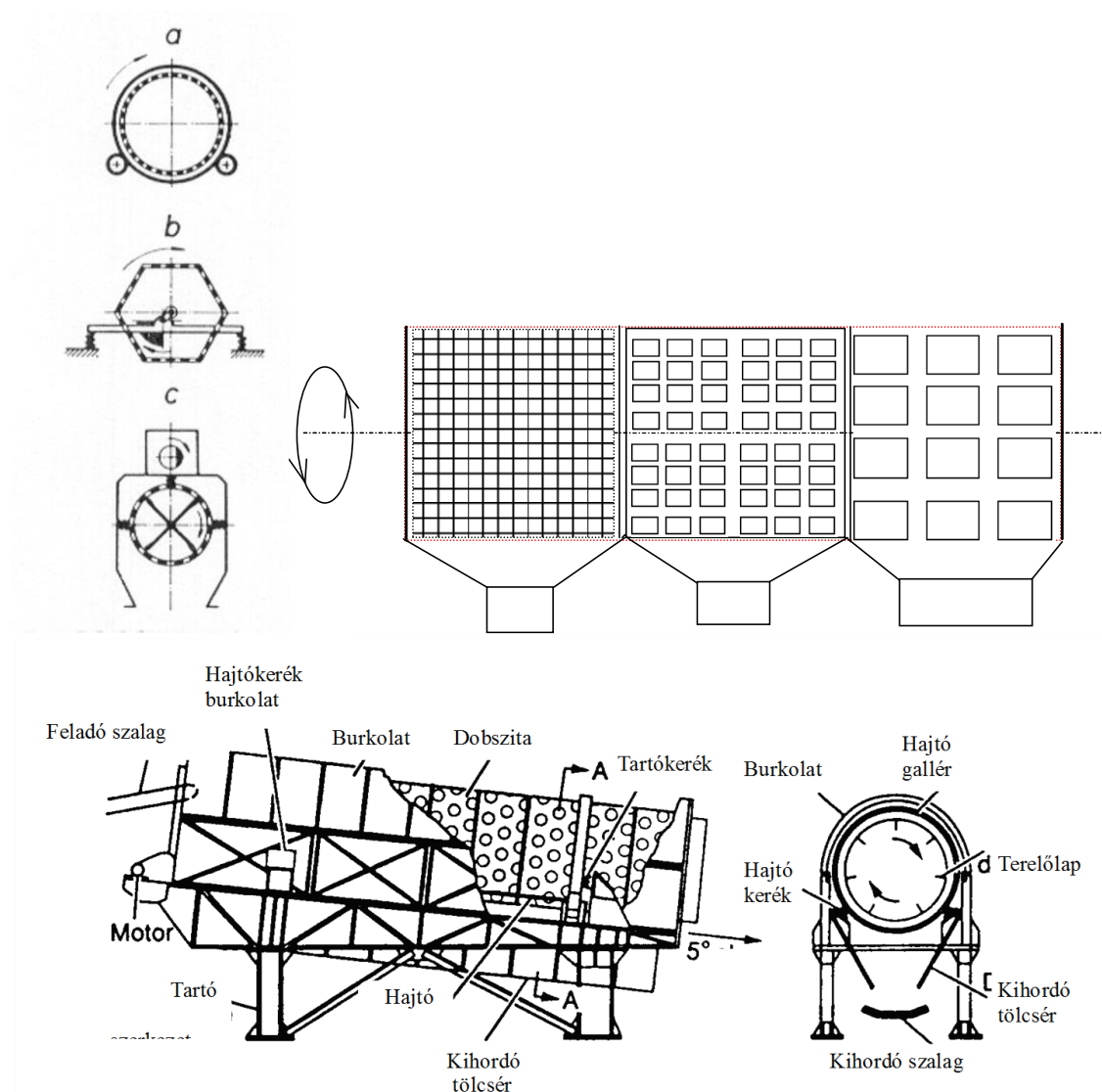
107. ábra. Keresztrudak hajtása



108. ábra. Keresztrudak hajtása kúpos

A **106. ábra** a mozzgatott rácsok leggyakoribb kialakítását mutatja. E mozzgatott rácsokat kaliberrácsnak nevezik. A kaliberrácsok felületét forgó keresztrudak képezik. A rudak vagy a rudakra felhelyezett testek, tárcsák keresztmetszete lehet: pl. kör, ívháromszöges (ld. **107. ábra**is), ellipszis (**108. ábra**), trapéz, négyszög, ellipszis. E testek, tárcsák kíméletesen „kézről-kézre adják” a szitamaradványt. A forgó rudak hajtása lánckerékkel vagy kúpfogaskerekekkel történik. Az egymást követő rudak kerületi sebessége (fordulatszama) vagy megegyezik, vagy az anyaghaladás irányában kismértékben növekszik (pl. eggyel kevesebb fog, ill. ennek mértékében kisebb kúpkerek, ill. lánc-csillag átmérő alkalmazásával). Az anyag haladási (szállítási) sebessége 0,7 és 1 m/s között változik. A berendezés kialakítása alapvetően kétféle: a rácsfelület vagy vízszintes, vagy ferde (a vízszintessel 15....25° szöget bezáró). A kaliberrácsok szélessége leggyakrabban 1000...2500 mm, hossza 2000...7000 mm. Az osztályozó felület nyílásmérete pedig 25 és 100 mm között változik.

Dobszíták



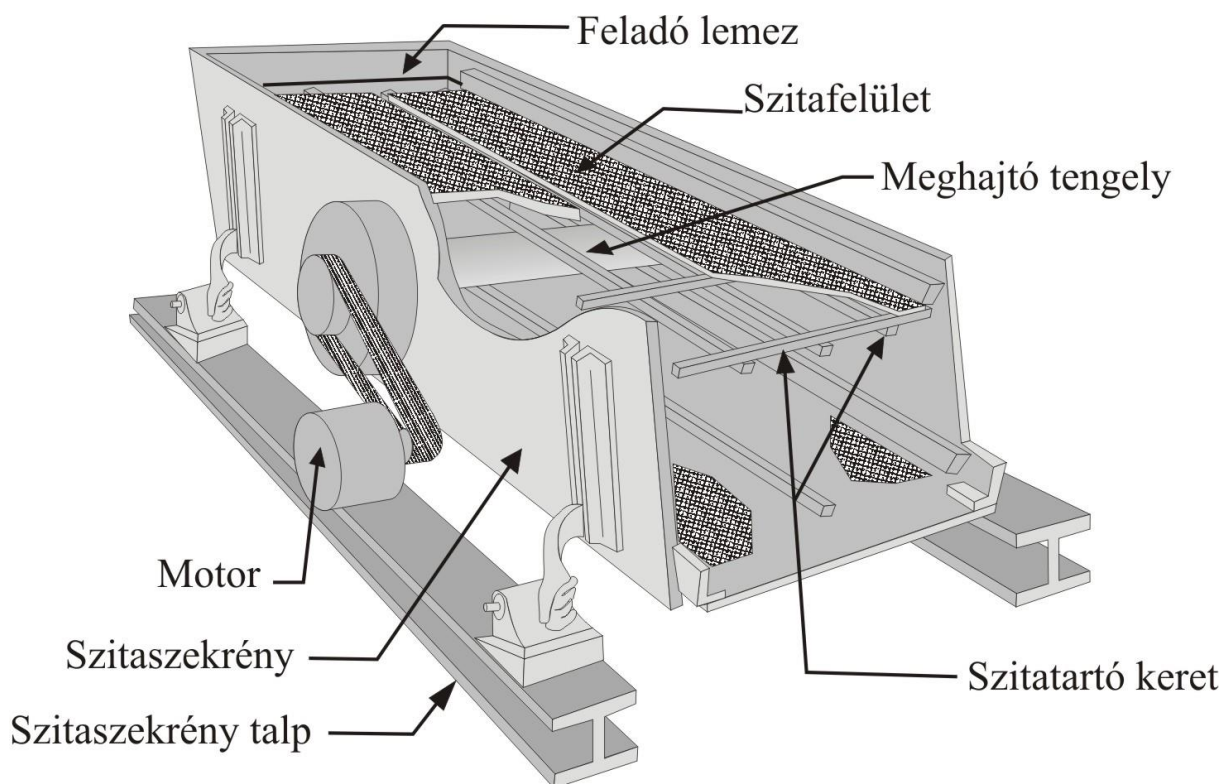
109. ábra. Dobszita

A hengeres vagy kúpos lyukasztott lemez (ritkábban drótszövet) köpenyt rendszerint 4 vagy 6 küllővel bíró kerékgagyak kapcsolják a forgató tengelyhez, amit fogaskerék és szíjtárcsa hajt vagy görgős alátámasztás centrális csapágyazás helyett. A kúpos és gúlás dobszíták vízszintes tengelyűek, a hengeres dobszíták tengelye kissé ferde. α hajlásszög $5 \dots 7^\circ$. Átmérőjük rendszerint $0,6 \dots 3$ m, hosszuk $1,5 \dots 12$ m. Egymás folytatásában fokozatosan nagyobb lyukbőségű vagy egymás köré koncentrikusan belülről kifelé fokozatosan kisebb lyukbőségű szitalapok egy készülékben is összeépíthetők. A dobszítákban dobpalástjával (a dob

fordulatszámától és a dobban lévő anyag mennyiségétől függően) bizonyos magasságig felszállított szemcsék a szemcsehalmazon lecsúszva-legördülve újra és újra áthalmazódnak. Dobszitákat a hulladékélelőkészítésben főleg a durva ($a > 20 \dots 40$ mm) osztályozásra alkalmazzák, különösen heterogén építési és szilárd települési hulladékokból a finom szennyeződések (talaj, por) leválasztására, valamint a komposztálásban a késztermék frakciók előállítására.

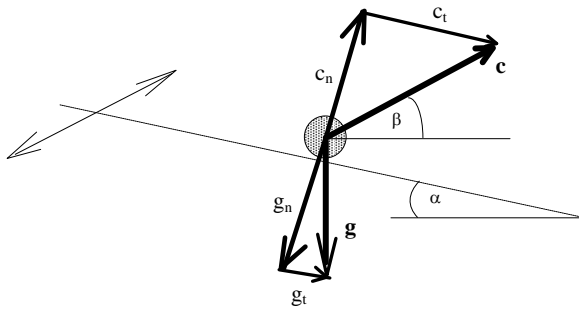
Síksziták.

Rezgősziták



110. ábra. Sík rezgősziták felépítése

Vibrátorok: Ha a tehetetlenségi gyorsulás szitalapra merőleges c_n komponense nagyobb (111. ábra), mint nehézségi gyorsulás hasonló g_n komponense (azaz $K_n > 1$), akkor a szemcse eldobódnak, ugrálva haladnak végig a szitalapon. A gyakorlatban a vibrátoroknál $K_n = 1,6 \dots 6$.

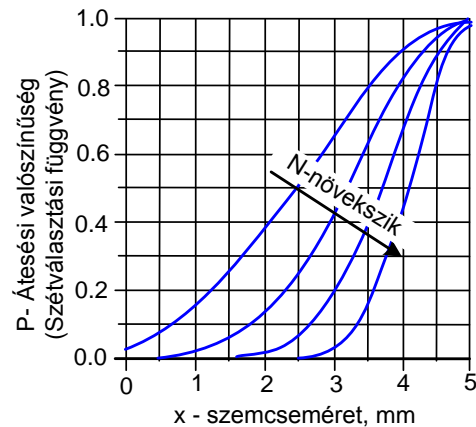
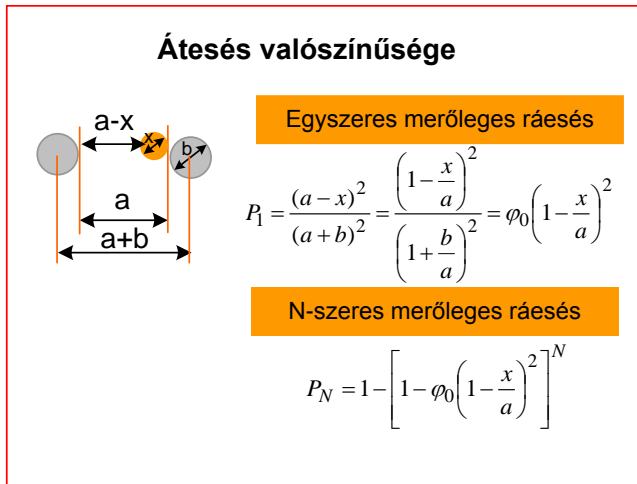


Sík rezgőszítákon a $\mathbf{c} = \mathbf{r}^2 \cos \omega t$ tehetetlenségi gyorsulás és a \mathbf{g} nehézségi gyorsulás viszony határozza meg a szemcsék mozgását.

$$K_n = \frac{r^2 \omega \sin(\alpha + \beta)}{g \cos \alpha}, \text{ amelyben}$$

$$K = \frac{r^2 \omega}{g} \text{ a szita Froude -száma}$$

111. ábra. Szemcsére ható erők rezgő szítálásnál

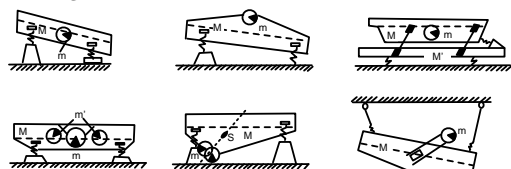


112. ábra. Szítálás valószínűsége

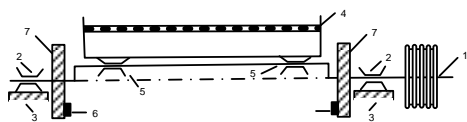
Az ugráló szemcsék nyílásba kerülésének és átesésének valószínűsége a geometriai viszonyoktól, azaz a szabad szitafelülettől és a szemcse és a nyílás méretének a viszonyától, valamint a folyamat (a ráesések) megismétlődésének számától függ (112. ábra). Az átesés valószínűsége megadja, hogy az adott viszonyok mellett a feladás agy valamely méretfrakciójában lévő szemcséknek hányad része hullik át a szitalapon. A ráesések száma a szita hosszával egyenesen, a szitára feladott anyag tömegáramával fordítottan arányos.

Lengőszíták: Ha a tehetetlenségi gyorsulás szitalapra merőleges \mathbf{c}_n komponense kisebb, mint nehézségi gyorsulás merőleges \mathbf{g}_n komponense (azaz $K_n \leq 1$), akkor a szemcsék csúsznak a szitalapon. Ekkor azaz az előnyös, ha a csúszás úthossza a fél-szitanyílások közötti távolság körüli érték (vagy annak páratlan számú többszöröse).

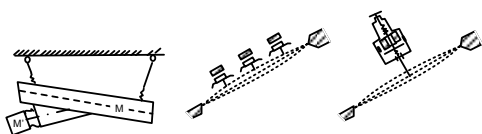
A leggyakoribb rezgőszítákat 113. ábra szemlélteti.



A) Kiegyenlített tömeggel gerjesztett sziták



B) Excenteres szita



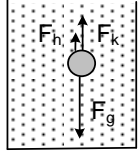
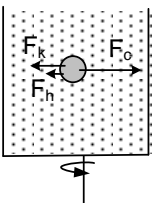
C) Elektromágneses gerjesztési sziták

113. ábra. Rezgősziták mozgatása

Az A) szabadlengésű és a B) excenteres sziták széles szemcseméret-határok között alkalmazhatók, rezgésszám $n=600\dots3000 \text{ min}^{-1}$, $r = 1\dots10 \text{ mm}$, amplitúdó $1\dots100 \text{ mm}$ között változhat. Az elektromágneses gerjesztésű sziták a finomosztályozásra szolgálnak ($n=1000\dots6000 \text{ min}^{-1}$, $A=0,1\dots10 \text{ mm}$)

6.3.3.2 Oszályozás közegáramban

A közegáramban való szemcseméret szerint elválasztás alapja a szemcsék eltérő süllyedési végsebessége. A **114. ábra** szemlélteti gravitációs és centrifugális erőterben a szemcsére ható erőket. A kezdetben ($t=0$) nehézségi erő és a felhajtó erő, ill. a centrifugális és a felhajtó erő eredőjeként fellépő mozgató erő hatására a szemcsék egyenes vonalú gyorsuló mozgást végeznek. A mozgásba lendült szemcsére az elmozdulás pillanatától hat a közegellenállási erő, amely a szemcsesebesség növekedésével egyre nő mozgás, melynek eredményeként az mozgató erő és a közegellenállási erő kiegyenlítődik, a szemcse elérte az adott viszonyok közötti végsebességét. Az eredő erők egyensúlyi helyzetre vonatkozó összefüggésből ($\sum F = 0$) a behelyettesítések süllyedési végsebesség meghatározható (**114. ábra**). Megállapítható, hogy a szemcsék vertikális és radiális irányú süllyedési végsebesség több tényező, nevezetesen d szemcseméret, ρ_s szemcse- és ρ_k közegsűrűség viszonyának, a c_E közegellenállási tényezőnek (és ezen keresztül a szemcsealaknak), valamint a erőter gyorsulásának (abszolút értékének és irányának) egyaránt függvénye.

<p style="text-align: center;">Szemcsemozgás gravitációs erőterben, nyugvó közegben</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> $\sum F = M \left(\frac{dv}{dt} \right)$ $F_g = V_s \rho_s g$ $F_h = V_s \rho_k g$ $F_k = c_E A \frac{\rho_k v^2}{2}$ <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $v_0^2 = \frac{4d}{3c_E} \frac{\rho_s - \rho_k}{\rho_k} g$ </div> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p style="background-color: orange; color: black; padding: 2px;">Szemcsemozgás differenciál egyenlete</p> $m \frac{dv}{dt} = F_g - F_h - F_k$  </div> </div>	<p style="text-align: center;">Szemcsemozgás centrifugális erőterben, nyugvó közegben</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> $\sum F = M \left(\frac{dv}{dt} \right)$ $F_c = V_s \rho_s \frac{v_t^2}{R}$ $F_k = c_E A \rho_k \frac{v^2}{2}$ $F_h = V_s \rho_k \frac{v_t^2}{2}$ <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $v_{ro}^2 = \frac{4d}{3c_E} \frac{\rho_s - \rho_k}{\rho_k} \frac{v_t^2}{R}$ </div> </div> <div style="width: 45%; text-align: center;"> <p style="background-color: orange; color: black; padding: 2px;">Szemcsemozgás differenciál egyenlete</p> $m \frac{dv}{dt} = F_c - F_h - F_k$  </div> </div>
--	---

114. ábra. Gömbszemcse mozgása nyugvó közegben

A szemcse süllyedési végsebesség alapvetően függ a közegellenállási tényezőtől, ami a áramlási viszonyok és a szemcsealak (súrlódásos vagy súrlódásmentes körüláramlás) függvénye. A Stokes-lamináris tartományban a közegellenállási tényező a csak a Reynolds-szám függvénye: $c_E = 24/Re$. A Newton –turbulens tartományban $c_E = 0,44$ konstans, a köztes viszonyokra pl. a Kaskas-egyenlet használható:

$$c_E = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4$$

$Re = \frac{vd}{\mu}$

Lamináris körüláramlás $Re < 0,6$ Stokes tartomány ($c_e = 24/Re$)

$$v_{oS} = \frac{d^2(\rho_s - \rho_k)}{18\eta} g$$

Turbulens körüláramlás $Re > 800 \dots 1000$ Newton tartomány, $c_e = 0,44$

$$v_{oN} = \sqrt{\frac{4d \cdot g}{3 \cdot 0,44} \frac{\rho_s - \rho_k}{\rho_k} g}$$

Alak befolyása

$v_{o,a} = K_a v_o$

Szilárdanyag-koncentráció befolyása

$\rho'_k = \rho_s \sigma + \rho_k(1 - \sigma)$

$\eta' = \eta(\sigma)$

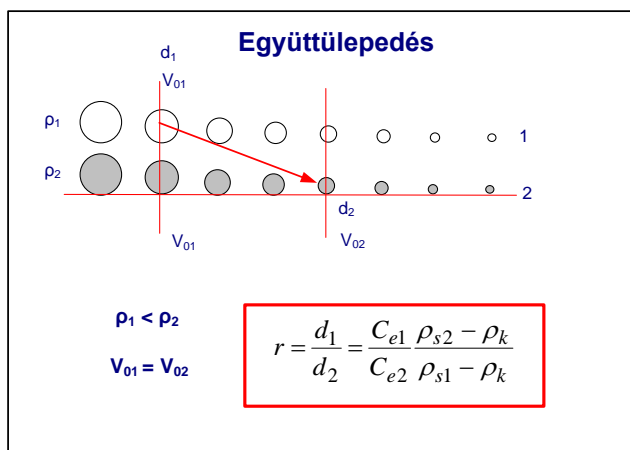
$v_{o}^* = \phi_H v_o'$ $\phi_H = (1 - c_v)^n$

115. ábra. Süllyedési végsebesség függése a közegellenállási tényezőtől, szemcse alaktól és szilárdanyag-koncentrációtól

Az alak hatását az K_H alaktényező segítségével is figyelembe vehetjük, amely kifejezi, a gömbtől eltérő kedvezőtlenebb alakú szemcsék süllyedési sebességcsökkenésének mértékét

gömbhöz képest. A $c_v > 1$ % térfogati szilárdanyag koncentráció esetén tekintettel lenni arra is hogy a szemcse mozgását több tényező hátráltatja, úgymint a szemcse-közeg szuszpenzió valódi közegnél nagyobb ρ_k sűrűsége és η_k viszkozitása, valamint a süllyedő szemcsehalmaz által kiszorított közeg szemcsével szemben történő áramlása.

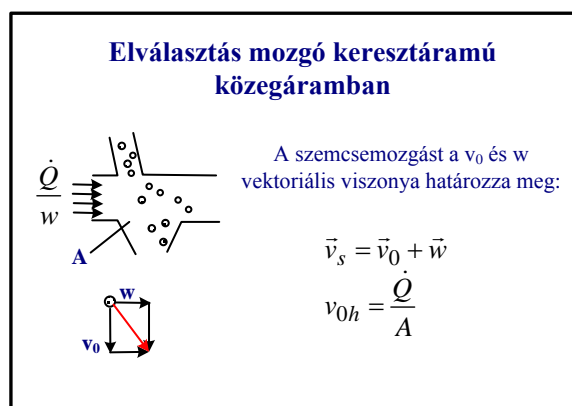
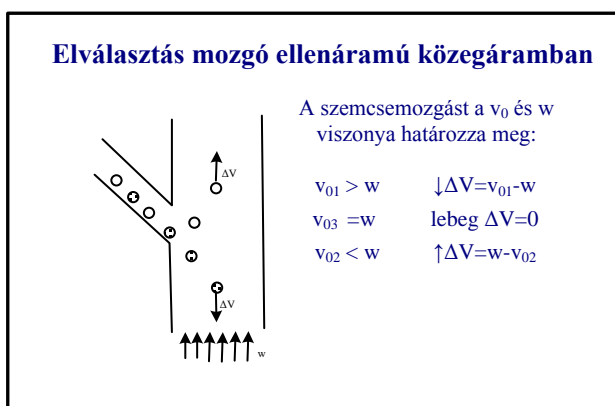
Együttülepedés



Az áramkészülékkel történő szétválasztás feltétele a szemcsék eltérő süllyedési sebessége. Az egykomponensű szemcsék esetén a nagyobb méretű szemcsék nagyobb, a kisebbek kisebb sebességgel mozognak. Többkomponensű különböző méretű szemcsékből állór endszerben a jelenség összetettebb. Egy kisméretű, de nagy sűrűségű szemcse azonos vagy nagyobb sebességgel mozoghat mint egy jóval nagyobb méretű, de kisebb sűrűségű szemcse

116. ábra. Együttülepedés

Határeset, azaz az együttülepedés feltétele két eltérő sűrűségű szemcsére $v_{01} = v_{02}$. Ebből kifejezhető az együtt ülepedő d_1 és d_2 méretű szemcsék mérethányadosa. E d_1 és d_2 szemcse-mérethatárokkal jellemzett rendszerben a szétválasztás áramkészülékben sűrűség szerint elválasztásra vezet (116. ábra). E kérdésre a hulladékok áramkészülékkel történő szeparálásakor visszatérünk.



117. ábra. Osztályozás áramkészülékkel ellen- és keresztáramú közeggel

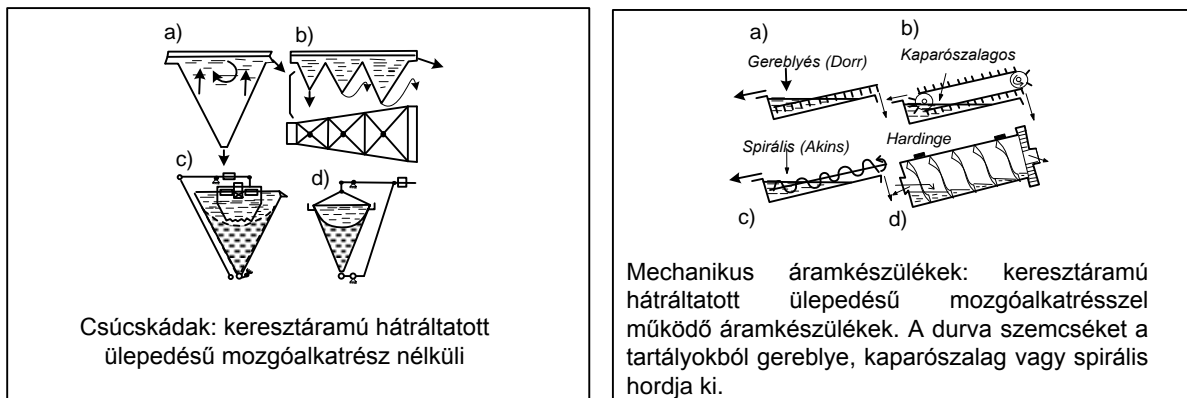
Osztályozás áramkészülékkel ellen- és keresztáramú közeggel. Ellenáramú áramkészülékekben a közeg a szemcsékkel szemben áramlik, melynek eredményeként a w

közegsebességnél kisebb v_{02} süllyedési végsebességű szemcséket a közeg magával ragadja, a közegnél nagyobb v_{01} süllyedési végsebességű szemcsék kiülednek, közeg sebességével megegyező $w=v_{03}$ sebességük pedig lebegnek. A szemcsék mozgásával *szöget bezáró közegáram* esetén a szemcsék a közeg és a szemcse sebességvektorai eredőjének irányába mozdulnak el.

Az áramkészülékek az előbb vázolt működési elvek alapján lehetnek:

- Erőtér szerint:* gravitációs, centrifugális.
- Közeg szerint:* száraz, nedves.
- Szilárd-anyag koncentrációja alapján:* szabad vagy hátráltatott ülepedésű.
- A közegáram- és a szemcsesebesség (nyugvó közegben) iránya szerint: ellenáramú (hidraulikus), keresztirányú vagy keresztáramú (felszíni áramkészülék).
- Alkalmazási terület szerint:* osztályozó áramkészülékek ($r = 1$), dúsító áramkészülékek ($r > 1$).
- Kialakítási mód szerint:* mozgó alkatrésszel rendelkezik, mozgó alkatrész nélküli készülékek.

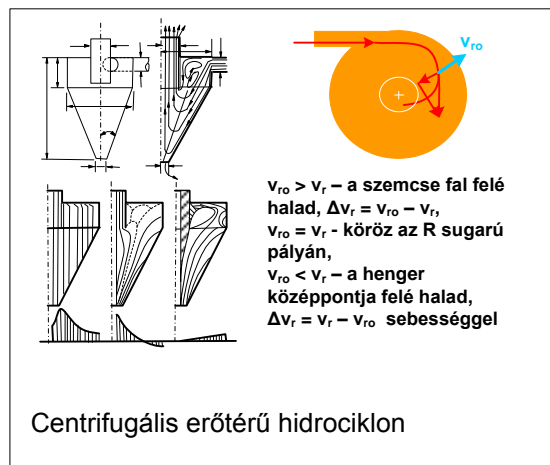
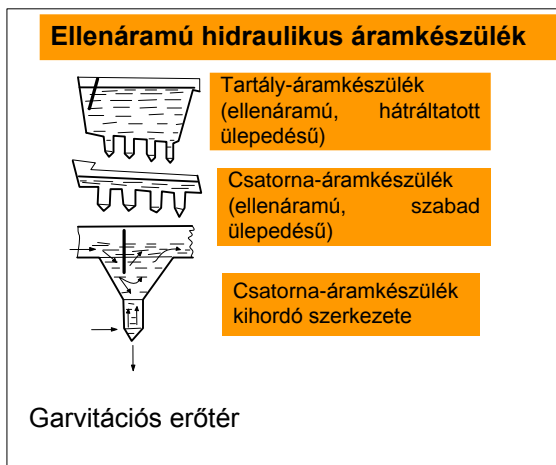
Nedves áramkészülékek. A legfontosabb nedves áramkészülék típusokat az alábbi **118. ábra** és **119. ábra** mutatják be:



118. ábra. Hátráltatott ülepedésű keresztáramú mechanikus és mozgóalkatrész nélküli áramkészülékek

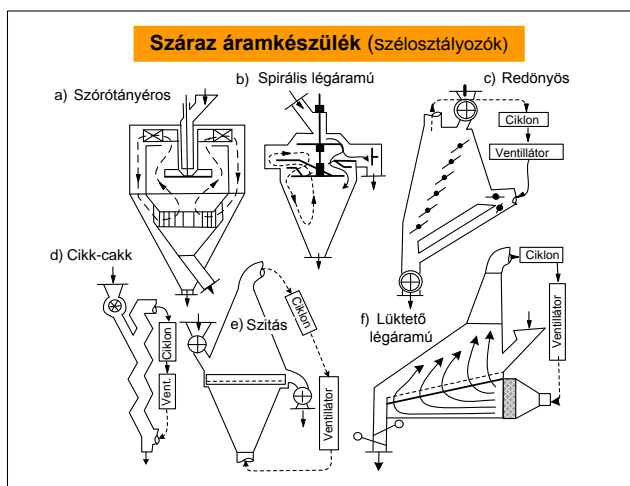
A hengeres és kúpos részből, valamint alsó és felső kiömlő nyílásból hidrociklonban a tangenciálisan a közeg a ciklon tengelye felé áramlik, és a ciklon tengelyének közelében megoszlik az alsó és felső kiömlő nyílás között. Ezzel szemben a szemcsék radiális irányban a ciklon külső fal felé törekednek. A szétválasztás tehát ellenáramban valósul meg, szemcse eredő mozgását a szemcse radiális irányú süllyedési végsebességének és a közeg radiális irányú

sebességkomponensének a viszony határozza meg (ld. **119. ábra**). A kis süllyedési sebességű szemcséket a köze magával ragadja és a ciklon tengelye felé szállítja, ahol a felső kereső csövön távoznak. A közeg radiális sebesség-komponensénél nagyobb radiális süllyedési végsebességű szemek a ciklon külső falához (falközélbe) érkeznek, ahonnan a lefelé haladó közegáram szállítja ki a ciklonból.



119. ábra. Szabad és hátráltatott ülepedésű ellenáramú mozgóalkatrész nélküli áramkészülékek

Légosztályozók (száraz áramkészülékek)



Egyik legelterjedtebb típus a *szórótányéros légszeparátor* (a rajz). Két koncentrikus hengeres-kúpos tartályból áll, a belső tartály felül nyitott, alul a kúpos részén tangenciális (vagy radiális) réseket képező - esetleg állítható - terelőlapok vannak. A belső tartály felett forgó ventilátor-lapátkerék zárt légáramlást létesít; ez a belső tartályban felfelé, a tartályok között lefelé halad és a tangenciális réseken át kerül vissza a belső tartályba.

120. ábra. Száraz áramkészülékek

Az osztályozandó anyagot forgó szórótányérra adják, amely azt egyenletes fátyol alakjában szétteríti. A felfelé haladó légáram elszállítja belőle a finom szemcséket a külső tartályba, ahol a falnak ütközve kiválnak a légáramból, míg a durvább szemek a belső tartályban hullanak le, s ennek kivezetőcsövén át kerülnek ki a készülékből. A szórótányéros légszeparátor és az aerociklon elvét kombinálja a *priális légárammal osztályozó légszeparátor* (b rajz). A *redőnyös* (vagy zsalus) légszeparátorokban (c rajz) a feladott anyag redőnyről redőnyre hullik, miközben

a redőnyök által vezetett levegő közel vízszintesen, vagyis a szemcsékre ható nehézségi erő irányára merőlegesen áramlik a redőnyről redőnyre pergő anyagfátyolon át. A *cikcakkos légszeparátorban* (d rajz) alulról felfelé áramlik a levegő, amely a finom szemcséket magával viszi, míg a durva szemcsék alul távoznak. Az osztályozótér cikcakkos kiképzése minden egyes irányváltozás helyén a teljes keresztmetszeten átérő örvényléseket támaszt, s ezekben a szemcsék meg-megismétlődő osztályozásra kerülnek, úgyhogy az „előző” zónák osztályozásának hibás szemei a termékekből jól eltávolíthatók. A *szítás légszeparátorokban* (e és f rajz) a levegő függőlegesen áramlik a szitán és az anyagrétege át; az anyag szintesen vagy kis hajlásszöggel halad végig a szitán, s haladását a szita mozgásával (e rajz) vagy - álló szitán - lüktető légárammal (f rajz) érik el.

Szétválasztás komponensek fizikai tulajdonságbeli különbsége alapján: dúsítási eljárások

Az aprítással feltárt komponensek egymástól való szétválasztása a komponensek között meglévő fizikai tulajdonságbeli eltéréseken alapul. Ezeket az eljárásokat összefoglalóan dúsításnak nevezzük, mivel az adott komponenseket rájuk nézve nagy koncentrációjú termékekbe választjuk le. A különböző ipari és lakossági hulladékokban megtalálható szerkezeti vagy csomagoló anyagok legfontosabb fizika, mechanikai jellemzői összefoglalva a **28. táblázat** található, amelyek alapján a kedvező és alkalmazandó szétválasztási eljárás kiválasztható. A dúsítás rendszerint azon a anyagtulajdonságon alapszik, amelyben az adott szemcseméretnél legnagyobb az eltérés a szétválasztandó komponensek között. A fémtartalmú hulladékok esetében a különböző alkotóanyagok szétválasztására elsősorban a sűrűség, a mágneses és elektromos tulajdonság eltérése alapján nyílik lehetőség (**29. táblázat**).

Száraz dúsítási eljárások

A dúsítás száraz eljárásokkal történhet:

- kézi válogatással,
- sűrűség szerint légárammal száraz áramkészülékben, légszérrel,
- a vas leválasztása mágneses szeparátorokkal,
- a nemvas-fémek pedig elektrosztatikus vagy örvényáramú szeparátorok alkalmazásával.

Nedves technológiánál: a száraz áramkészüléket és a légszért, nedves nedves áramkészülék, ill. az ülepitőgép vagy nehézsuszpenziós készülék, finomabb anyagokra nedves szér váltja fel.

28. táblázat. Szerkezeti anyagok főbb fizikai tulajdonságai

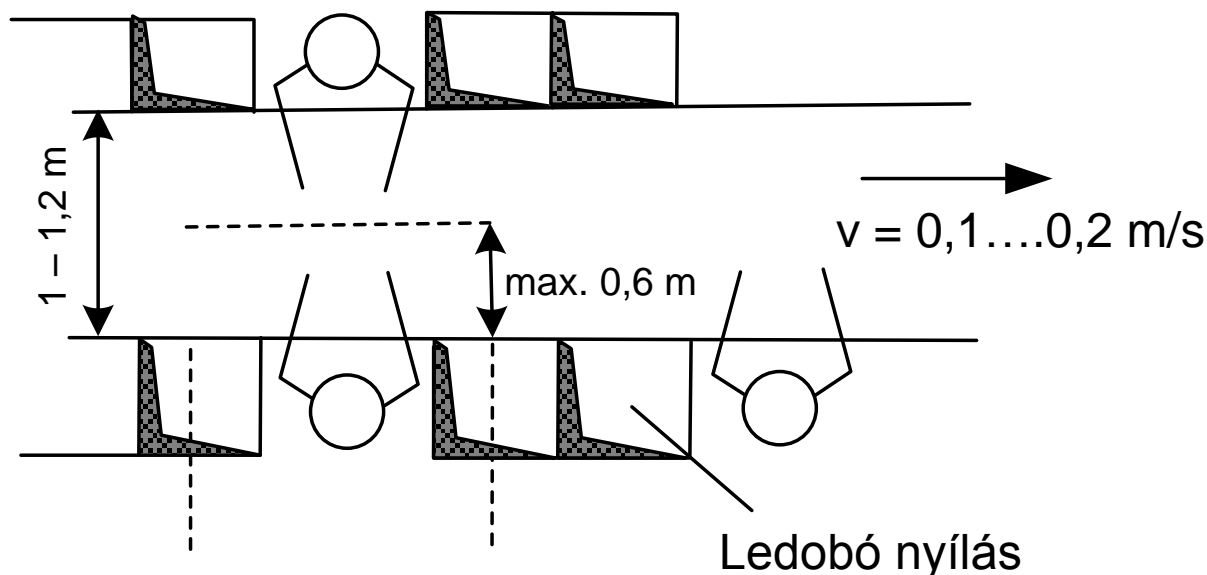
Anyag	Elektromos vezetőképesség $\sigma \cdot 10^{-6}$ $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$	Sűrűség $\rho \cdot 10^{-3}$ kg/m^3	Mágneses szuszceptibilitás $\chi \cdot 10^9$ $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$
Aluminium (ötvözet)	34,1-37,4	2,4-2,8	16-21
Réz (ötvözet)	56,8-57,1	8,9	0,05-0,06
Nem ötvözött acél	24,3-26,7	7,9	19000-21000
Ötvözött acél	1,4-1,9	8,0	0,8-2,0
Cink	17	7,1	-1,4
Ólom	5	11,4	-1,1
Ezüst	63	10,5	
Műanyagok	-	0,8-1,45	-
Gumi	-	1,1-6	-
Kátrány	-	1,1	-
Fa	-	1,1-1,3	-
Kerámia	-	2,8-3,7	-
Üveg	-	2,8	-

29. táblázat. A hulladék-előkészítés mechanikai dúsítási

Anyagtulajdonság	Ipari eljárások
Sűrűség	- nehézkegben történő szeparálás - ülepités - szérelés - közegárammal való szétválasztás
Elektromos vezetőképesség, dielektromosság	- elektrosztatikus szeparálás - örvényáramú szeparálás - elektromos válogatás
Mágneses szuszceptibilitás	- mágneses szeparálás - szétválasztás mágneses folyadékban
Optikai tulajdonságok	- optikai válogatás
Sugárzás	- radiometrikus válogatás - röntgensugaras válogatás - infrasarkanos válogatás
Alak szerinti szeparálás	
Szilárdsági, törésmechanikai tulajdonságok	- szelektív aprítás (és osztályozás)

Szárász dúsítási eljárások

a) Kézi és gépi válogatás

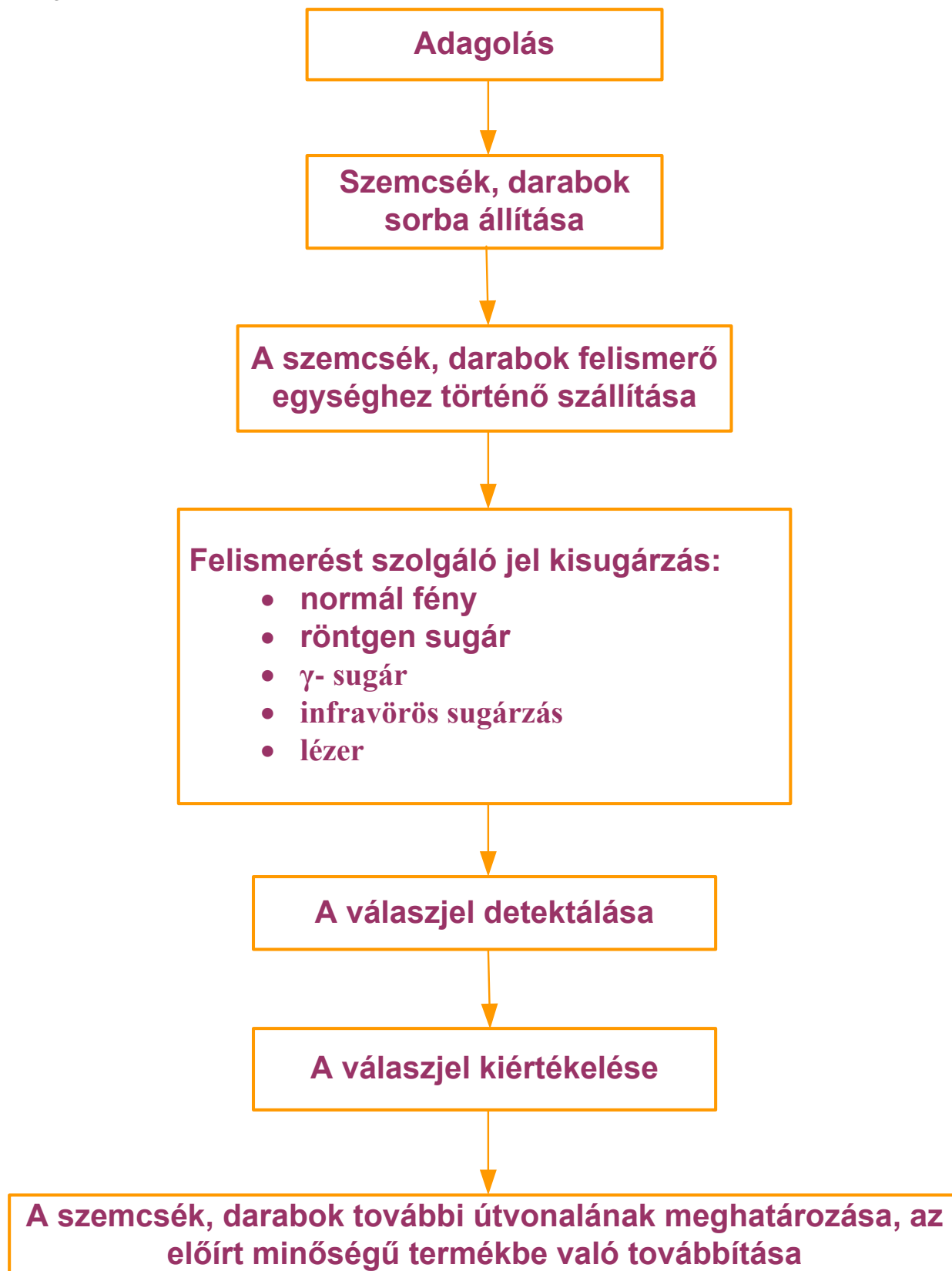


121. ábra. Kéziválogató-munkahelyek kialakítása

A kézi válogatásnál a hatékonyság csak a nagyobb méretű ($> 40 \text{ mm}$) anyagok eltávolításánál jelentkezik. Eszköze a kis $0,1 \dots 0,2 \text{ m/s}$ sebességgel mozgó válogató szalag (121. ábra), amely mellett $1,5 \dots 1,8 \text{ m}$ széles munkahelyeket alakítanak ki. A szalag szélessége, ha csak az egyik oldalán vannak munkahelyek $0,6 \text{ m}$, ha mind a két oldalon akkor $1,2 \text{ m}$. A kiválogatott anyagokat ledobó aknán keresztül boxokba vagy konténerekbe gyűjtik. A válogatószalagot elsősorban a szelektíven gyűjtött csomagolóanyagok szelektálásra alkalmazzák, de gyakran használják a fémtartalmú hulladékok előkészítéseinél főként a nem-vasfémek - alumínium, réz, ólom - , valamint a rozsdamentes nem mágnesezhető acél egymástól való elválasztására. A nagyobb méretű veszélyes anyagok kiválogatására is gyakran nyújt megoldást.

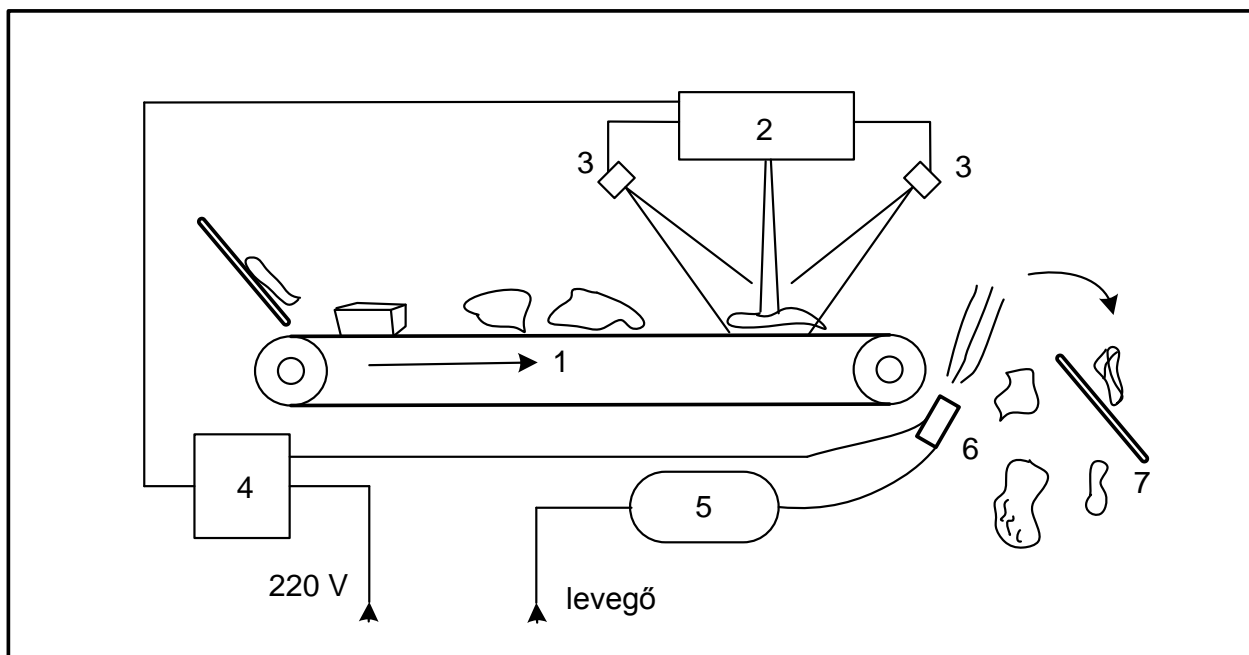
b) Automatikus válogatás

Az automatikus válogatás részfolyamatai (122. ábra):



122. ábra. Automatikus válogatás folyamata

- az anyag fellazítása, sorba állítása, hogy minden egyes darab külön vizsgálható legyen (a szemcsék egyedi megjelenítése): szállítószalag, forgó tárcsa és egyéb berendezésekkel;
- a sorba állított szemcséknek, daraboknak a felismerő egységhez való szállítása;
- az egyes darabok azonosítása meghatározott szétválasztási tulajdonságok alapján, valamint a kapott mérési jelek kiértékelése (jelkibocsátás - jelérzékelés-értékelés): jel-specifikus készülék +számítógép
- megvizsgált darabok elválasztása (cselekvés): rendszerint sűrített levegős-fúvókákkal.



- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1) szállító szalag; | 5) sűrített levegő tartály |
| 2) szenzor modul; | 6) sűrített levegős fúvókák; |
| 3) felismerő jel-források; | 7) válaszfal |
| 4) vezérlő elektronika; | |

123. ábra. Automatikus válogató berendezés elvi vázlata

30. táblázat. Detektálási rendszerek automatikus válogatás céljára

A szétválasztást szolgáló anyagsajátság	Szenzor
<p>Optikai tulajdonságok</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Reflexió <ul style="list-style-type: none"> ○ általános ○ specifikus ○ polarizált ➤ Áteresztőképesség ➤ Fluoreszcencia ➤ Infravörös ➤ Forma 	<p>Fotocella</p> <p>Fotocella</p> <p>Fotocella</p> <p>Fotocella</p> <p>Fotocella</p> <p>Infravörös-spektrométer</p> <p>Képanalizátor</p>
<p>Röntgensugárzás</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Áteresztőképesség ➤ Fluoreszcencia (látható) ➤ Röntgen-fluoreszcencia 	<p>Szcintillációs számláló, impulzus-magasság analizátor</p> <p>Fotocella</p> <p>Szcintillációs számláló, impulzus-magasság analizátor</p>
Mágneses	Örvényáram-detektor
<p>Elektromos vezetőképesség</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Kisfeszültségű ➤ Nagyfeszültségű 	<p>Elektromos ellenállás</p> <p>Indukció vagy örvényáram detektor</p>

Száraz gravitációs dúsítás

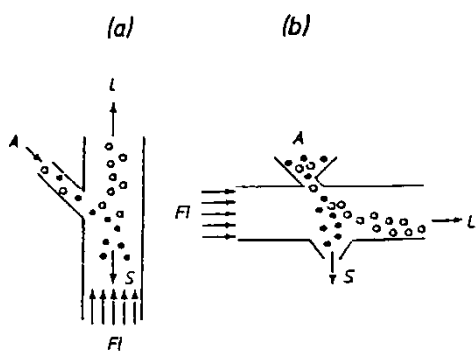
A sűrűség szerinti száraz szétválasztás történhet áramkészülékekben süllyedési végsebesség szerint, vagy légáramban fluidizált ágyban sűrűség szerint légszérrel vagy légülepítőgéppel.

c) Légáramban történő szétválasztás

A légáramban történő szétválasztás elvi alapja az alkotók eltérő süllyedési sebessége, ill. közegben való eltérő mozgása. A szemcsék (mérettől és közeg- és szemcsesűrűségtől függő) mozgását a nyugvó közegben mért maximális sebességével, az un. süllyedési végsebességgel jellemezzük., amelyre jellemző, hogy a nagyobb sűrűségű (és nagyobb méretű) szemek nagyobb sebességgel mozognak mint a kisebb sűrűségűek (és kisebb méretűek). A szétválasztás áramkészülékekben történik, amelyben a közeg a szemcsékkel szemben vagy szöget bezáróan

mozog (ellenáramú, ill. keresztáramú áramkészülék). A süllyedési végsebesség alapján az áramkészülékekben például oly módon valósul meg, hogyha szemcséket mozgásukkal szemben áramló közegbe helyezünk, akkor azok a szemcsék, amelyeknek nyugvó közegben kisebb volt a süllyedési sebessége, mint a közezáram sebessége, azokat a közezáram magával ragadja; a közezáramnál nagyobb süllyedési sebességű szemek pedig a közezárammal szemben haladva kiülednek. A különböző kialakítási típusokat a **124. ábra-126. ábra** mutatják.

A Miskolci egyetem Eljárástechnika tanszékén a dúsító légáramkészülékkel (**127. ábra**) elvégzett kísérletek tanúsága szerint (128. ábra) a légáramkészülékkel nemcsak a könnyű fa, műanyag, papír, gumi választhatók el a hanem a téglá a betontól.



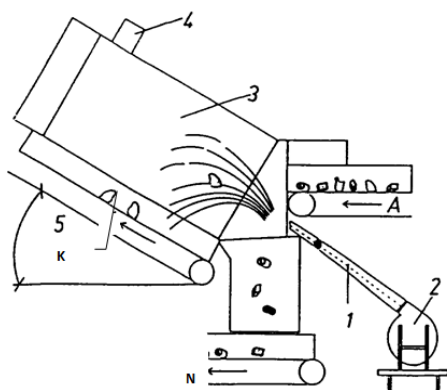
124. ábra. Légáramban történő szétválasztás módja

Kialakítási típusok:

- a) ellenáramban való szétválasztás
- b) keresztáramban való szétválasztás

Termékek:

- L** - Légáram
- A** - feladott anyag
- K** - könnyű termék
- N** - nehéz termék



125. ábra. Keresztáramú áramkészülék kialakítási

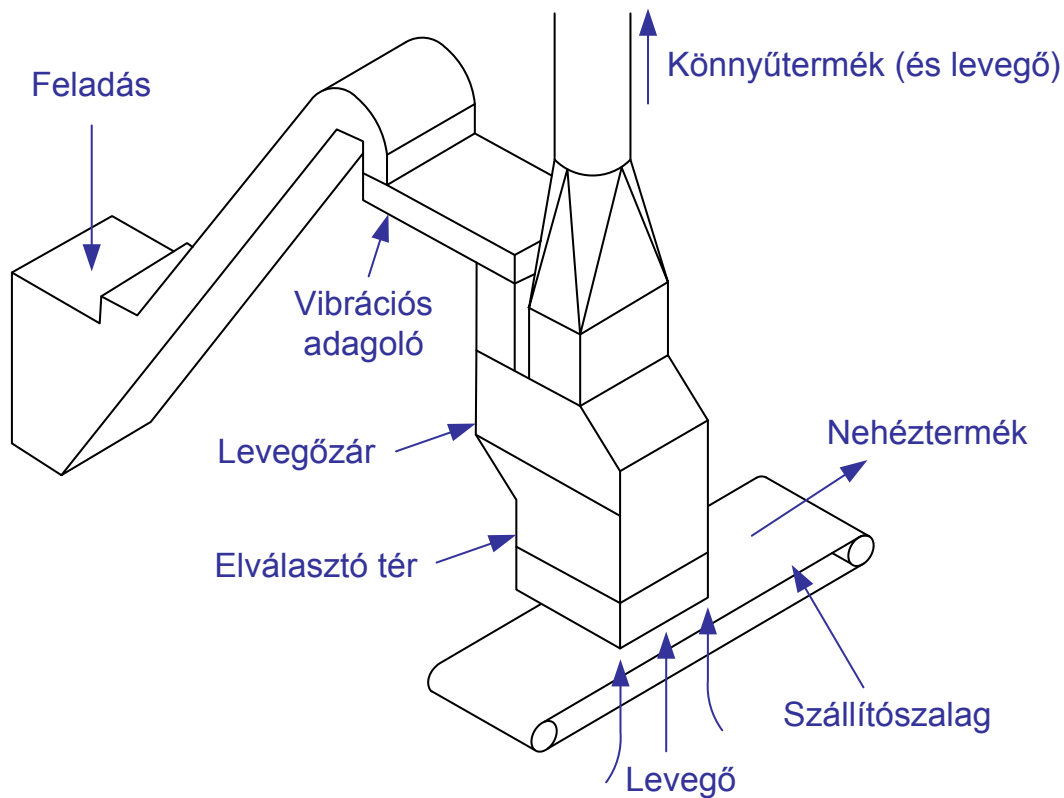
Jelölések:

- 1. fúvóka (váltóztatható nyílással)
- 2. ventilátor
- 3. szétválasztó tér
- 4. elszívás

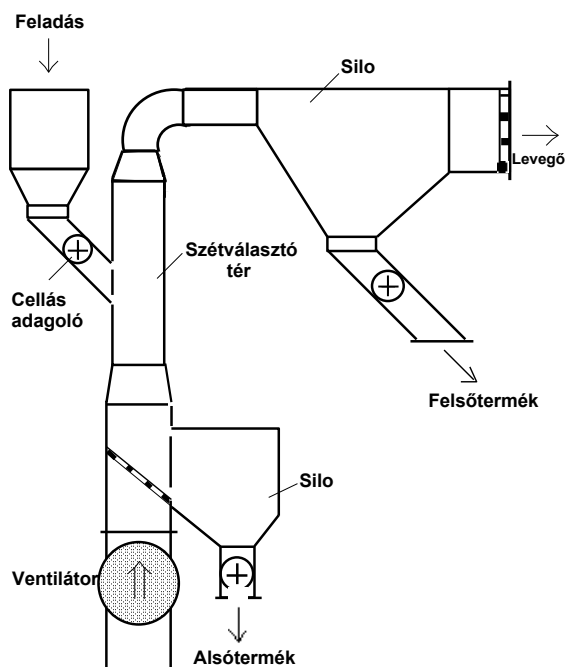
szállítószalag, váltóztatható hajlásszöggel (30°-ig)

Termékek:

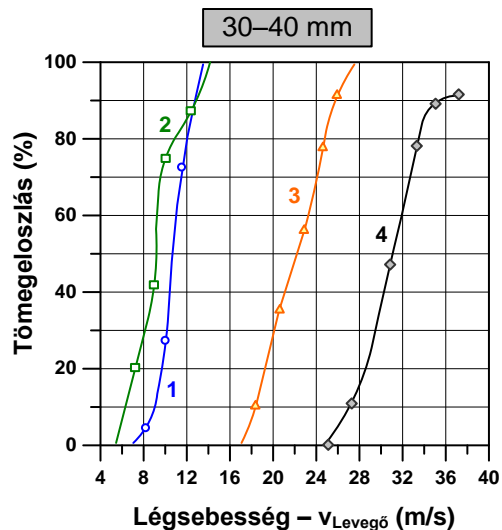
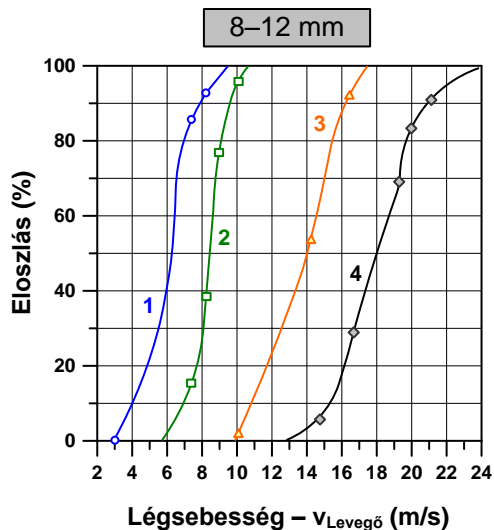
- A** - feladott anyag
- K** - könnyű termék
- N** - nehéz termék



126. ábra. Elszívó áramkészülék a kis sűrűségű anyagok leválasztására



127. ábra. Ellenáramú légáramkészülék sűrűség szerinti száraz szétválasztásra (Miskolci Egyetem Eljárás technikai Tanszék által tervezett)



128. ábra. Áramkészülékkel való sűrűség szerinti szétválasztás eredménye: tömeg-eloszlás a légsebesség függvényében építési hulladék-komponensenként

Dúsítási eljárás	Szemcseméret [mm]	Szétválasztási (dúsítási) feladat		
		Műanyag/fém-gumi/ fémhulladék	Kábel hulladék	Könnyűfémek / nehézfémek
Dúsítás ellenáramú áramkészülékkel - Száraz	< 300	++	++	+

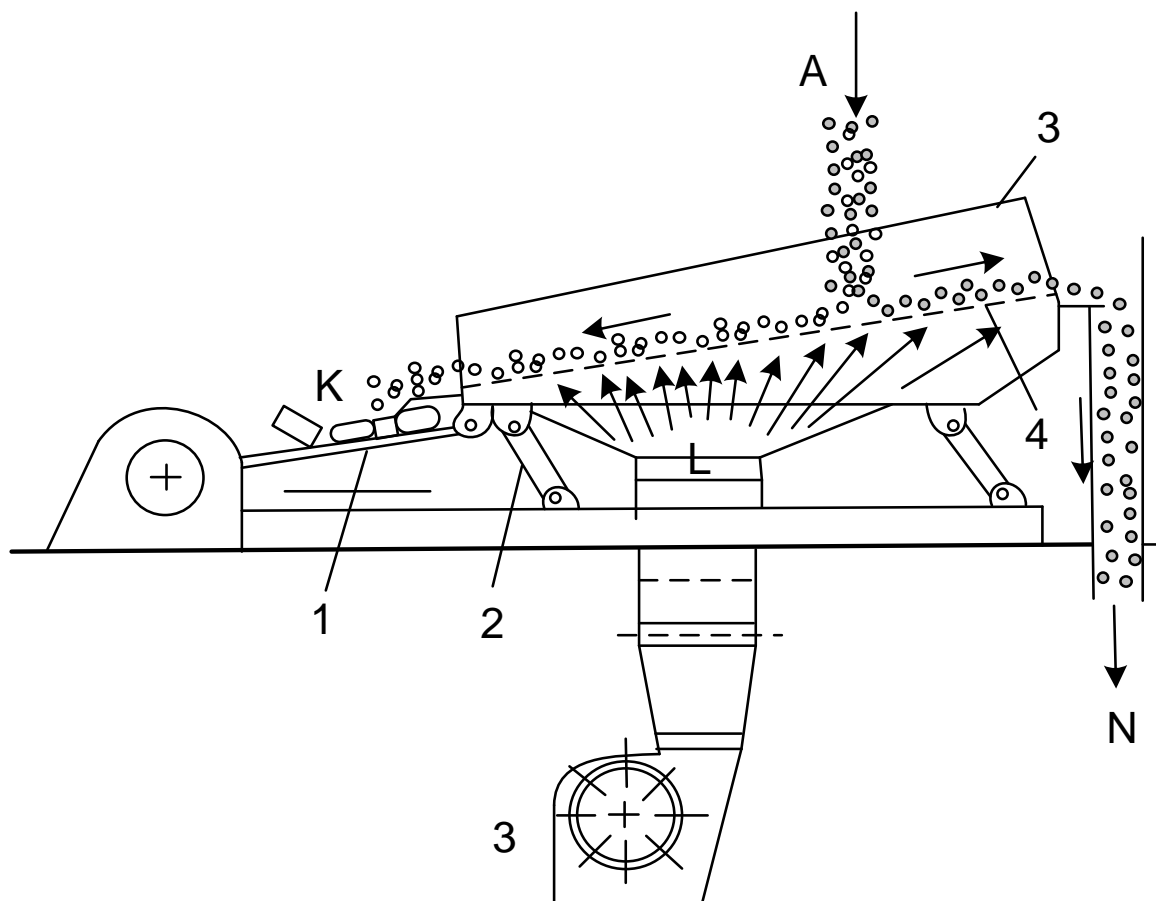
+ hatásos, ++ igen hatásos

d) Szétválasztás légszérrel

A légszerek szemimpermeábilis asztalán a ventilátor által szállított levegő fluid ágyat hoz létre, amelyben a nagyobb sűrűségű szemek az asztalra ülepednek, és e szemeket az vibrációs asztal a lejtőn felfelé kihordja, miközben a kissűrűségű fluidizált szemcsék az lejtő irányába lefolynak a szérasztalról.

Dúsítási eljárás	Szemcseméret [mm]	Szétválasztási (dúsítási) feladat		
		aprított autógumi szövetleválasztás	Kábel hulladék fém / műanyag-gumi elválasztás	Elektrotechnikai hull. fém / műanyag elválasztás
Dúsítás csatornában és széren - Légszér	< 4	+	++	+

+ hatásos, ++ igen hatásos



L – Légáram **A** - feladott anyag
1- lökő-rudazat 2 – Rúgó

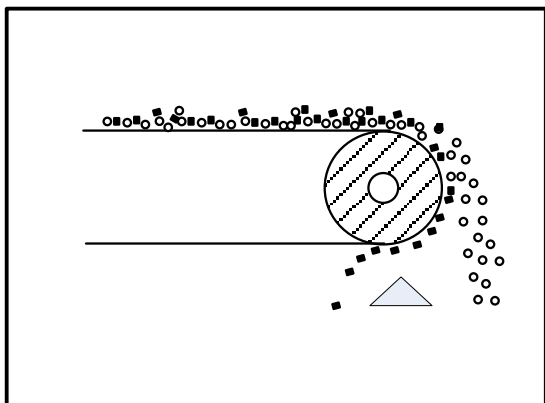
K - könnyű termék **N** - nehéz termék
3 – Ventilátor

4 – szemimpermeábilis asztal

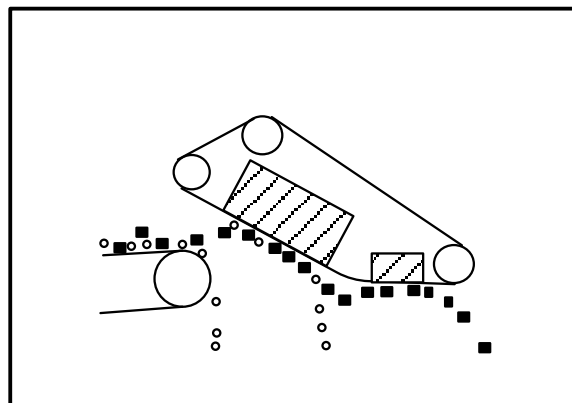
129. ábra. Légszér

e) Mágneses szeparálás

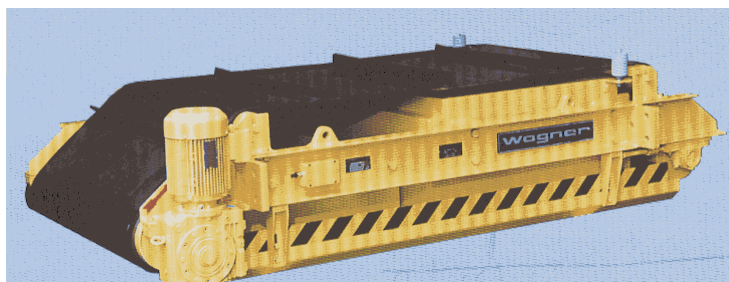
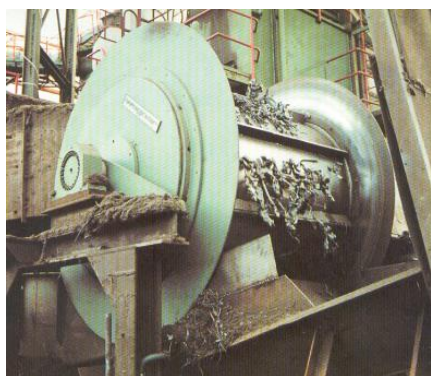
A vas (valamint más ferromágneses és jól mágnesezhető fémek) leválasztásának leghatékonyabb módszere a *mágneses szeparálás*.



Dobszeparátor



Felsőszalagos mágneses szeparátor



130. ábra. Vaskiválasztó berendezések típusai

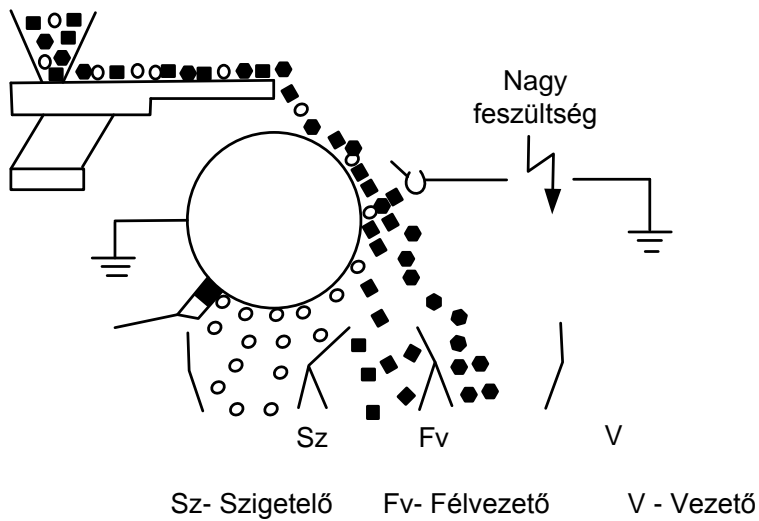
A permanens vagy elektromágnessel üzemelő vaskiválasztó berendezések lehetnek:

- kihordás nélküli függesztett vagy
- kihordással rendelkező mágneses készülékek.

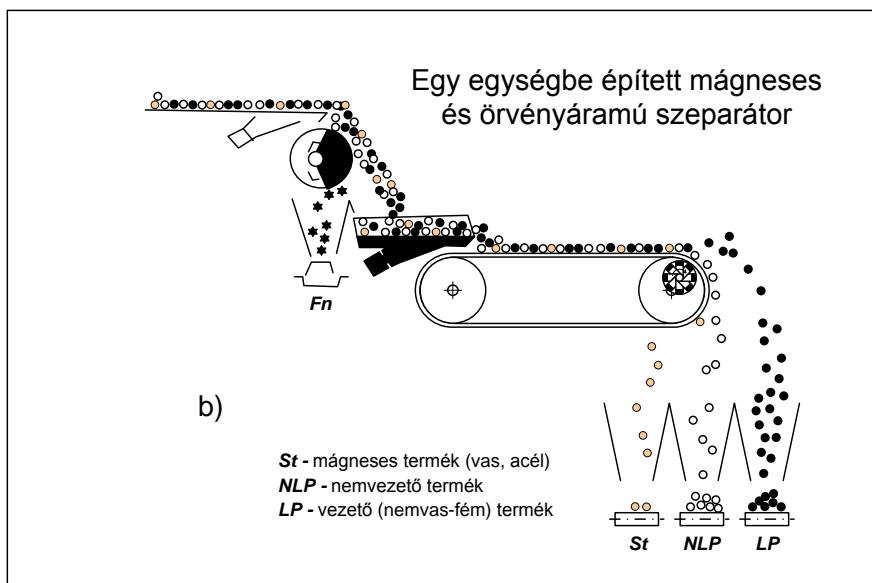
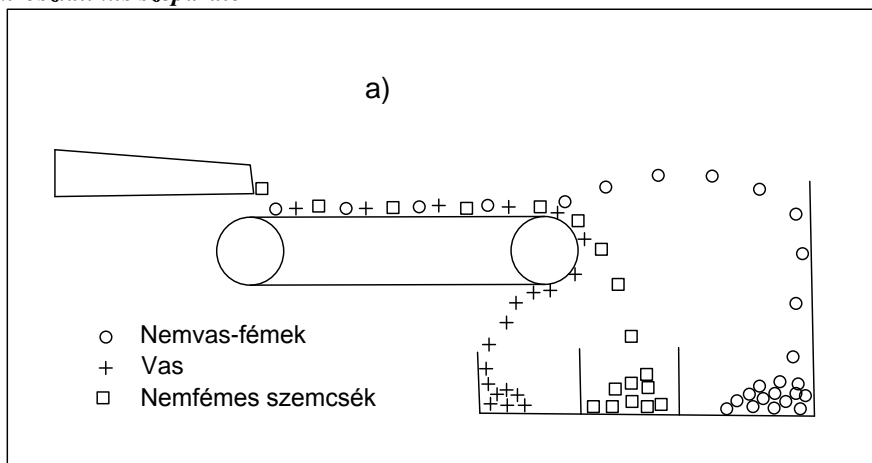
Kialakításuk szerint:

- szalagos vaskiválasztók,
- vaskiválasztó dobok.

f) Elektromos szétválasztás



131. ábra. Elektrosztatikus szeparátor



132. ábra. Örvényáramú szeparátor

Az elektromos szétválasztás igen fontos szerepet tölt be a fémtartalmú hulladékok szétválasztásánál elsősorban a vezető és nemvezető anyagok egymástól való szétválasztásában. A durvább szemcséket örvényáramú szeparátorokkal, a finomabbakat elektrosztatikus berendezésekkel választhatjuk el egymástól. Az elektromos szétválasztás eljárásait és berendezéseit a **31. táblázat** és **132. ábra** mutatja be.

31. táblázat. Elektromos szétválasztási eljárások

Szétválasztási jellemző	Eljárás	Szétválasztás alapelve	Szortírozási feladat	Alkalmazási szemcseméret - határok
Elektromos vezetőképesség	Örvényáramú szeparálás	Örvényáram keletkezése mágneses térben mozgó vezetőben, örvényáram hatására fellépő mágneses tér (amely az őt létrehozó eredeti mágneses teret csökkenteni törekszik), ill. Lorentz-erő a vezető szemcsét eredeti mozgásirányától eltéríti (a nemvezető szemcséket nem).	Fémek-nemfémek egymástól való elválasztása	> 5 mm
Felületi vezetőképesség	Elektroszeparálás koronaelektrodás dobszeparátorral	Eltérő koronafeltöltődés (elektronok megtapadása a szemcsék felületén) és eltérő töltésvesztés (áttöltődés) és ezzel összefüggésben fellépő eltérő elektrosztatikus erők révén a vezető szemcsék a dobbal érintkezve vele azonos töltésre tesznek szert, és a dobról eltaszítódnak, a szigetelő szemcsék megtartván töltésüket a dobhoz tapadnak, amely magával szállítja őket.	Fémek-nemfémek egymástól való elválasztása	0,02 ... 4 mm
Influencia-konstans (dielektromos állandó)	Elektrosztatikus szeparálás szabadesésű lapszeparátorral	Dörzselektromos feltöltődés (nagyobb dielektromos állandójú szemcsék a pozitívak) és ennek következtében a sztatikus térben eltérő mozgásirány	Dielektrokumok, pl. műanyagok egymástól való elválasztása	< 5 (10) mm

Nedves gravitációs dúsítási eljárások

A nedves eljárások alkalmazásával lehet a legjobb minőségű végterméket előállítani. Az eljárás során azonban a keletkezett szennyvíz tisztításáról és az iszap elhelyezéséről külön gondoskodni kell.

A fém tartalmú és azn építési hulladékok előkészítésénél az

- ülepitőgép,
- nedves áramkészülék
- nehézsuszpenziós dúsító készülék nedves dúsító berendezések,
- szér alkalmazhatók.

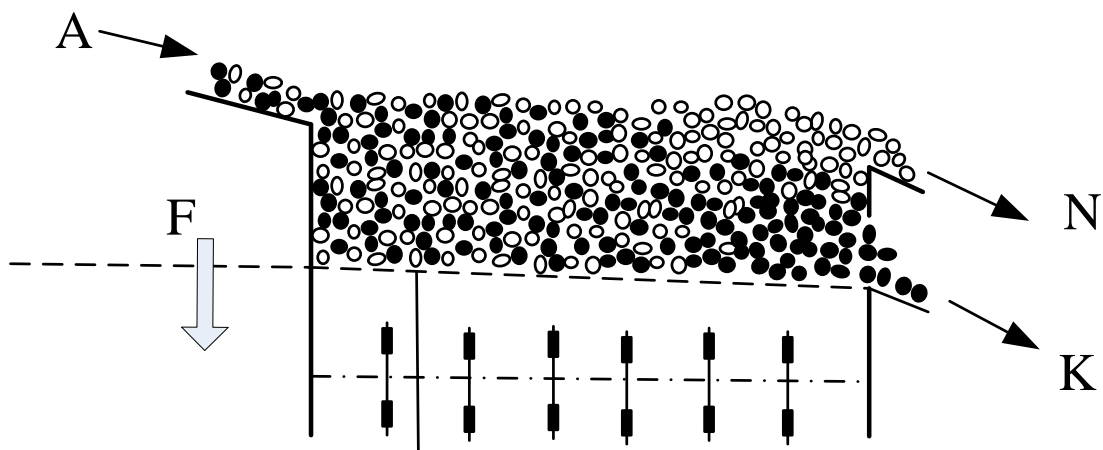
Az ülepitésben, a szérelésben és a nehézközeges dúsításban egyaránt az anyagdarabokra ható súlyerő, a közeg felhajtóereje és a közegáramlás következtében fellépő erőhatás határozza meg az egyes szemek elhelyezkedését, ill. mozgását a dúsító készülékekben, ezért az egyes eljárások alkalmazási területét a szemcseméret alapvetően meghatározza (**32. táblázat**).

32. táblázat. Nedves sűrűség szerint szétválasztó (nedves gravitációs dúsító) eljárások alkalmazási területe

Dúsítási eljárás	Szemcse méret [mm]	Dúsítási feladat					
		Műanyag-hulladék	Alumínium hulladék	Ólom akkumulátor hull.	Kábel hulladék	Elektrotechnikai hull.	Könnyű acélhull. (autó-hull.)
Úsztató eljárások – Nehézközegben • Nehézségi erőterben • Centrifugális erőterben (ciklon)	5 ... 150 <2...10	+	+	+		+	+
Dúsítás ülepitőgéppel -Nedves ülepitőgép	2 ... 50				+		+
Dúsítás széren - nedves szér	< 8				+	+	
Dúsítás ellenáramú áramkészülékkel - Nedves	5 ... 150	+		+			+

Dúsítás ülepitő géppel

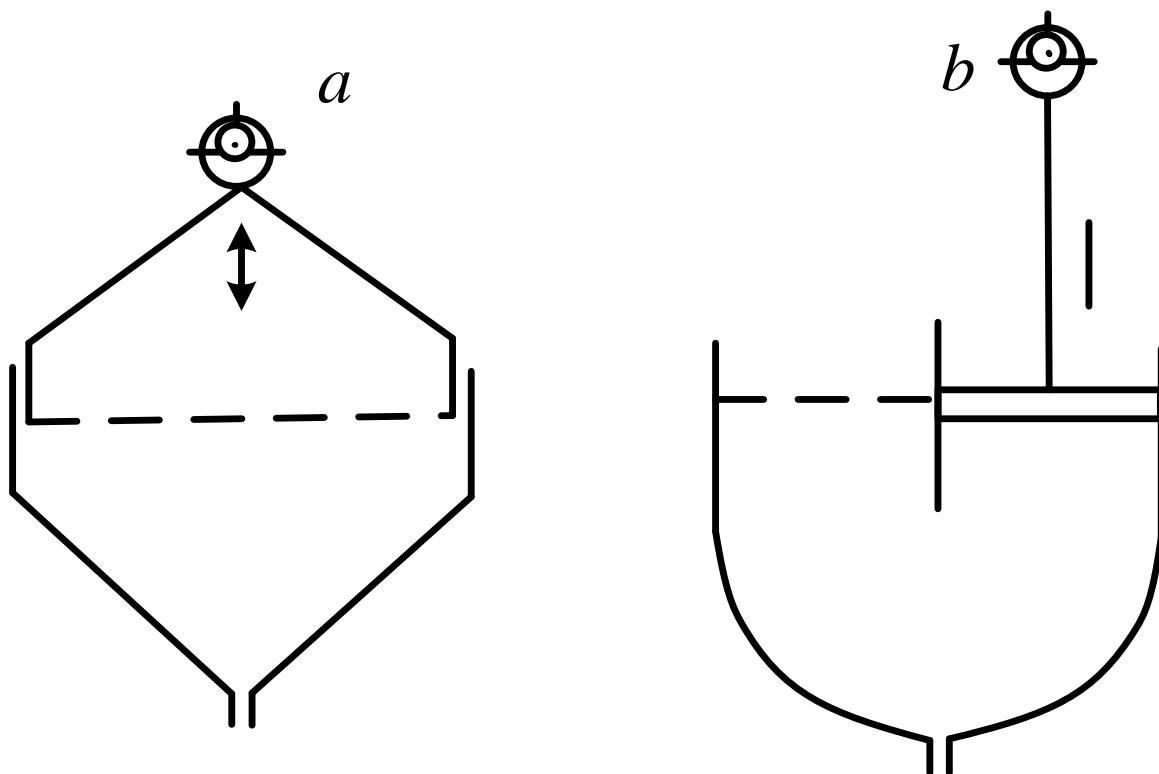
Az ülepités lényege gép (**133. ábra**) szitáján levő anyagréteg szakaszos fel-fellazítása és a szitára való visszaülepitése, miáltal az anyagréteg sűrűség szerint rendeződik. A sűrűség szerinti szétrétegződés annak köszönhető, hogy az ülepitőgép ágyának fellazított állapotában is nagy a szilárd részek térfogataránya, amely a rétegek összezáródásakor még nagyobbra növekszik. Minél nagyobb szemcsék térfogataránya az ágyban, annál nagyobb az ágyat alkotó szilárd szemcsék és a köztük levő víz keverékének a sűrűsége, és ezzel együtt az ágy szemcséire gyakorolt felhajtóerő. Az ágy (víz-szilárd keverék) sűrűségénél nagyobb sűrűségű szemek leülepednek az ágy aljára, a kisebb pedig felúsznak az ágy tetejére.



Közeg

A - feladás, N - nagysűrűségű termék, K - kisműrésű termék

133. ábra. Membrános (vibrációs) ülepítőgép [7]

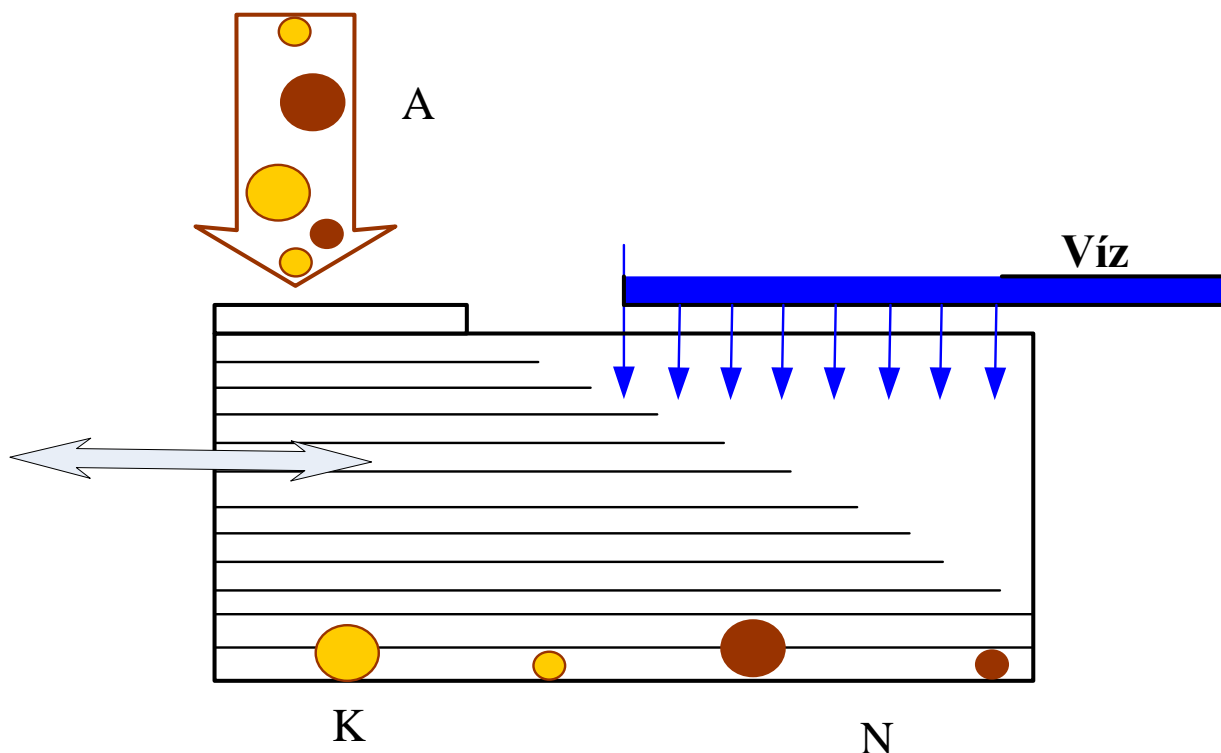


134. ábra. Álló (a) - és mozgósítás (b) ülepítőgép vázlata

Az anyaghalmoz felállítására álló szitán át való vízaramoltatással vagy álló vízben a szitának fel-le mozgatásával történhet, e szerint lehetnek állószítás vagy mozgósítás ülepítőgépek (**134. ábra**). Leggyakrabban állószítás ülepítőgépeket alkalmaznak, ahol a vízszintes vagy közel vízszintes szita egyik végén folyamatosan történik az anyagfeladás, a szita túlsó végén levő résen át - ha van ilyen - ugyancsak folyamatosan távozik az alsó, nagysűrűségű réteg, és túlömlő élen át a felső, kissűrűségű réteg. Az ülepítésnél a közeg mozgatására dugattyút vagy membránt, vagy pedig sűrített levegőt használnak. Ezzel az eljárással nagy kapacitás és éles szétválasztás érhető el. Az üzemeltetési és beruházási költség is alacsony.

b) Szétválasztás nedves szérrel

Az előkészítéstechnikában a finomabb szemek nedves sűrűség szerint elválasztására szérek terjedtek el.



A - feladás; N - nagysűrűségű termék; K - kissűrűségű termék

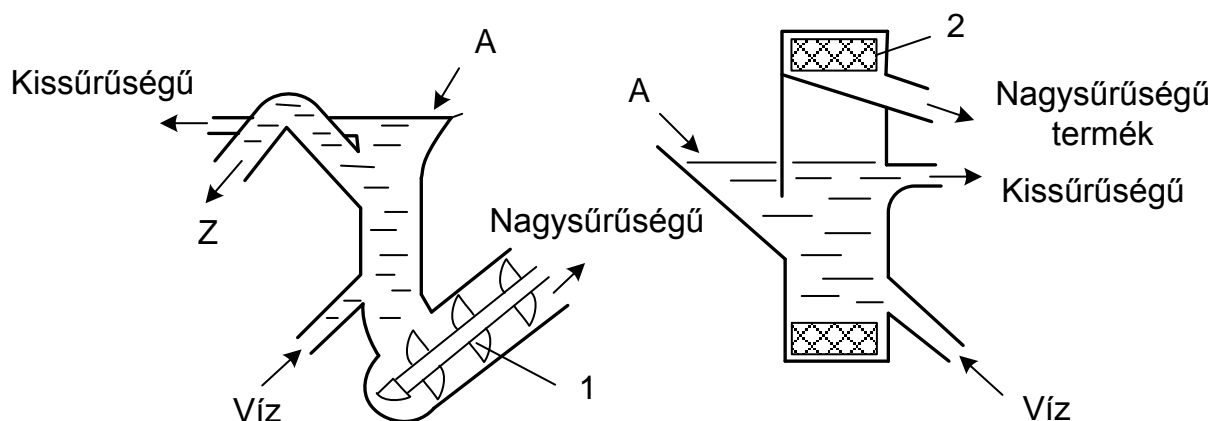
135. ábra. Nedves lökött szér

A szér egy enyhén dőlt és hosszirányban mozgatott (lökött) lapból áll (**135. ábra**), amelynek felső sarkában adják fel a szeparálandó anyagot, miközben a szérlapon a lejtő irányában vékony

vízáram folyik le. *A széren* a szétválasztás sűrűség alapján történik úgy, hogy a szérlapon a vékonyvízárammal fellazuló anyagokban a szemcsék egyrészt a szér hosszirányában (a szérlapmozgatás irányába) a tömegek révén, másrészt a szérlap dőlése irányában a víz szállító ereje hatására eltérően mozognak: a nagyobb szemek a szérlap dőlése mentén, a nagyobb sűrűségűek a hosszirány (lökés irányában) haladnak nagyobb sebességgel.

c) Szétválasztás nedves áramkészülékkel

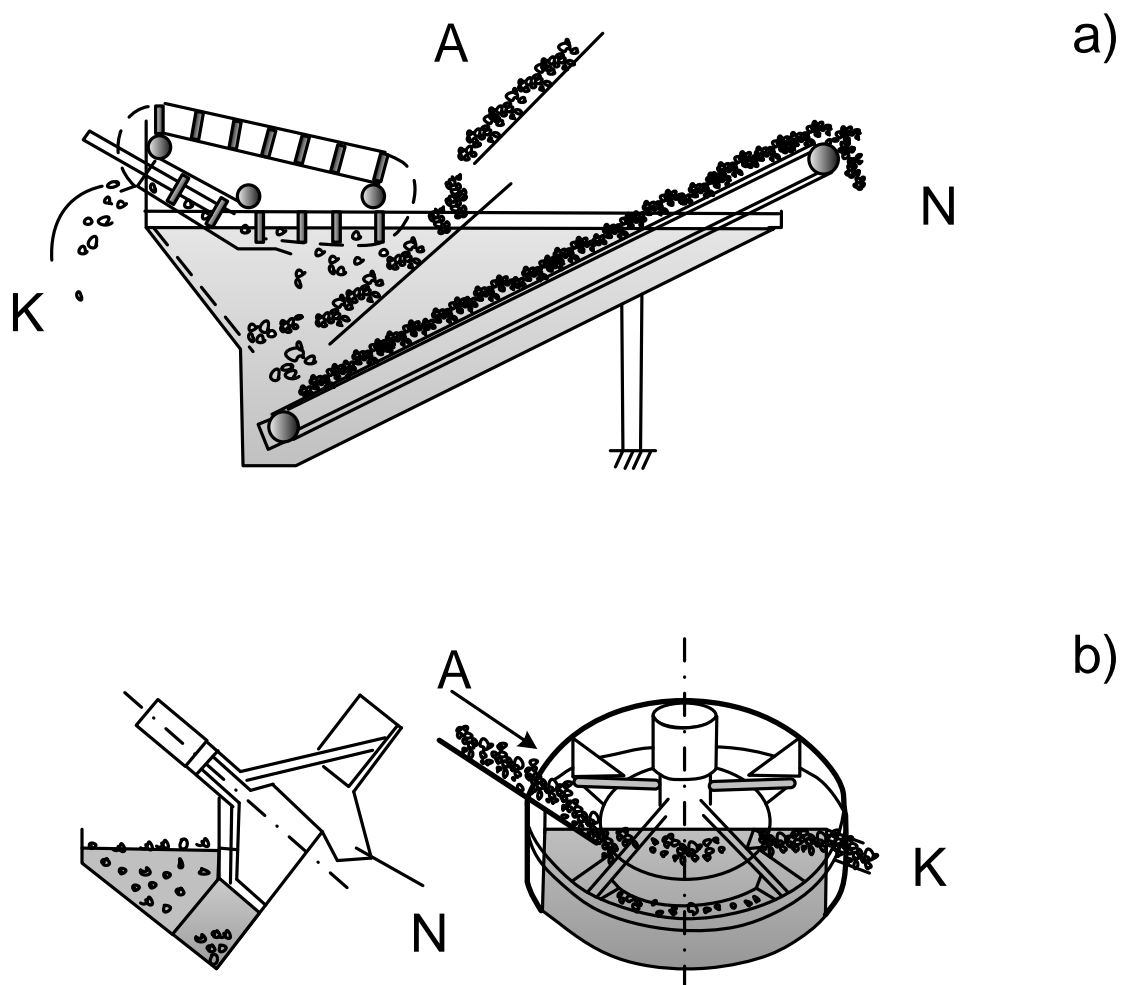
A nedves áramkészülékekben történő szétválasztás elvi alapja, ugyanúgy, mint a száraz áramkészülékek esetében a különböző sűrűségű szemcsék eltérő süllyedési sebessége, ill. közegben való eltérő mozgása. Elsősorban vegyes hulladék szétválasztására alkalmazott az eljárás. A két kialakítás vázlatát a **136. ábra** mutatja.



136. ábra. Nedves áramkészülékek

d) Nehézközegess szétválasztás

A nehézsuszpenziós berendezés tartályból és a kihordó szerkezetből áll. A **137. ábra** elsősorban a hulladék-előkészítésben alkalmazott készülékeket mutatja be. A dúsító berendezésbe előírt sűrűségű szuszpenziót (pl. magnetit és víz keverékét) vagy valódi oldatot (pl. CaCl_2) vezetnek. A közegnél nagyobb sűrűségű anyag leülepedik a tartály aljára, amit a kihordó szerkezet távolít el a tartályból. A kis sűrűségű (könnyű) anyagokat a tartály túlömlésén elfolyó szuszpenzió ill. oldat szállítja el.



a) láncos vonszoló és b) kerekes kihordással

A - feladás; N - nagysűrűségű termék; K - kissűrűségű termék

137. ábra. Nehézsuszpenziós készülékek

Irodalom

- [1] Tarján, G., .: Mineral Processing I. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981
- [2] Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. Band 2. Verfahrenstechnik I. (Grundoperationen) Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr. 1972. pp. 35-42.
- [3] Schubert, H.: Auberetung fester Stoffe, Band I, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 1987
- [4] Verfahrenstechnik. Mechanische. Verfahrenstechnik I./II. (Schubert, H. führ. Autor) eutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig, 1979.

Zerkleinerungstechnik. Verlag TÜV Rheinland.1991

[6] Stieß, M.:Mechanische Verfahrenstechnik. Springer.Berlin.1993

[7] Kelly,E.G.-Spottiswood,D.I., 1982.; Introduction to Mineral Processing. John Wiley and Sons, New York, pp.187.

[8] Weiss, N.L.: SM Mineral Processing Handbook, I., II. New York, 1985.

[9] Kellerwessel, H.: Aubereitung disperser Feststoffe: Mineralische Rohstoffe-Sekundärrohstoffe-Abfälle. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf.1991

[10] Matin Zogg: Einführung in die mechanische Verfahrenstechnik. B.G. Teubner Stuttgart. 1993

[11] Wills, B.A.: Mineral Processing Technology.Pergamon Press. Oxford, 1981.

[12] Budó, Á.: Kísérleti fizika II. Tankönyv, Budapest, 1979.

[13] Hemming, W.: Verfahrenstechnik. Vogel Buchverlag, Löbau

[14] Böhm,J. - Csőke,B. - Schultz,Gy. - Tompos,E.: Ásványelőkészítési mérések és laboratóriumi gyakorlatok. Tankönyvkiadó, Budapest, 1984, 1-418.

[15]Csőke B.: Építési hulladékok előkészítése és hasznosítása .Környezetvédelmi Füzetek . OMIKKK. 1999/19

[16]Schubert, G.: Vorlesung für ungarische Fachleuten „Aufbereitung der kommunalen Abfälle”. TU Bergakademie Freiberg. 15-19. Juli 1997

[17]Schubert, G.: Processing of scrap and metalliferous waste material - communities and specialities by contrast with mineral raw material processing XVII. International Mineral Processing Congress, Dresden, September 23-28, 1991.

[18]Barsky, L. - Schubov, L.I. - Bondar, I.M.: Recovery of non-ferrous metals from industrial and urban wastes using electrodynamic separators, VII. International Mineral Processing Congress, Dresden, September 23-28, 1991.

[19]Brožek, M. - Nowakowski, K. - Pilch, W.: The possibility of applying the magnetic separator with ferrofluid for separation of nonferrous scraps, XVII.International Mineral Procddsing Congress, Drsden, September 23-28, 1991.

[20]Dalmijn, W.L.: Developments in sorting technologies for non-ferrous scrap metals, XVII. International Mineral Procddsing Congress, Dresden, September 23-28, 1991.

[21]Gubarevich, V.N.: Magnetic separators for complex composite scrap processing of ferrous and non-ferrous metals and other mixtures, XVII. International Mineral Processing Congress, Dresden, September 23-28, 1991.

- [22]Shewelew, A. - Bredikhin, V.: Process and commercial equipment for electrodynamic separation, XVII. International Mineral Processing Congress, Dresden, September 23-28, 1991.
- [23]Csőke, B. - Böhm, J. - Tarján, I.: Separation of scrap and other wastes in air-flow. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 11- Zeszyt 4, Kraków, 1995.
- [24]Jong, de T. P.R. - Felix R.A. - Dalmijn W.L.: Dry density separation of 4-16 mm non-ferrous car scrap. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [25]Bokányi, L. - Török, T.I.: The fundamentals of metals recycling by flotation or flotation related methods. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [26]Köhnlechner, R. - Botsch, M.: Electrostatic separation and its industrial application for the processing of different mixtures of recycling materials. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [27]Stückrad, B.T. O. - Löhr, K. - Vogt, V.: Sorting of waste plastic mixtures by flotation. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [28]Guern, Le C. - Conil, P. - Houot, R.: Physico-chemical separation (flotation) of plastic waste before recycling. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [29]Fraunholz, N. - Dalmijn, W.L.: Wetting mechanisms in the flotation of plastics. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [30]Lindner, W. - Schnettler, H. R.: Preparation of post-consumer plastics collected by the Dual System: Intelligent concepts for the preparation of plastics. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [31]Bertram, P. - Unkelbach, K.-H.: High duty plastics recycling with the aid of sorting centrifuges. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [32]Stahl, I. - Beier, P. -M.: Sorting of plastics using the electrostatic separation process. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.

- [33]Kamptner, A. - Mientkewitz, O. - Schubert, G.: The electrostatic separation of PVC containing waste. Proceedings of the XX International Mineral Processing Congress, 21-26 September 1997, Aachen, Germany. Vol. 5.
- [34]Brauer, H.: Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Band 2: Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz, ISBN 3-540-58059-X Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- [35]Kelly, E.G. - Spottiswood, D.J.:The theory of electrostatic separations: A review part I. Fundamentals. Mineral Engineering, 1989. Vol. 2. No.1, pp. 33-46.
- [36]Kelly, E.G. - Spottiswood, D.J.:The theory of electrostatic separations: A review part II. Particle charging. Mineral Engineering, 1989. Vol. 2. No.2, pp. 193-205.
- [37]Kelly, E.G. - Spottiswood, D.J.:The theory of electrostatic separations: A review part III. The separation of particles. Mineral Engineering, 1989. Vol. 2. No.3, pp. 337-349.
- [38]Kellerwessel, H.: Setzmaschinen, besonders für Recyclingaufgaben - Möglichkeiten, Grenzen, Bauarten -Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.10, p. 521-530.
- [39]Veasey, T. J. – Wilson, R.J.: The Physical Separation and Recovery of Metals From Wastes. Copyright 1993. Amsterdam, ISSN 1066-2200; v.1.
- [40] Uhlig, D.- Dietzel, W. – Schulz,G.: Setzarbeit als Verfahrensstufe bei der Aufbereitung von Kabelplastrückständen. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.5, p. 239-247.
- [41]Schubert, G. – Warlitz, G.: Sortierung von Metall-Nichtmetall-Gemischen mittels Koronawalzenscheider. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9, p. 449-456.
- [42]Schubert, H.: Wirbelstromsortierung - Grundlagen, Scheider, Anwendungen. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.11, p. 553-562.
- [43]Lindroos, J.B.- Stout, M.E.: The separation of mixed non-ferrou metals using thermal gravity classification (TGC). Conservati and Recycling, 10.k. 2/3. sz. 1987. p. 77-82.
- [44] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 1. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.2, p. 78-89.
- [45]Schubert, G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 2.Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.7, p. 352-357.
- [46] Spaniol, H. – Koch, P.: Automatische Klaubung beim Werkstoffrecycling mittels Thermographie. XLVI. Berg- und Hüttenmännischer Tag Juni 1995, Freiberg, Kolloquium 8. NOELL ABFALL-UND ENERGIETECHNIK GMBH
- [47] Koch, P. – Köhler, F.: Ergebnisse bei der Dichtesortlerung von Elektronikschrotten. XLVI. Berg- und Hüttenmännischer Tag Juni 1995, Freiberg, Kolloquium 8. NOELL ABFALL-UND ENERGIETECHNIK GMBH

- [48] Csőke, B. - Egyedi, Cs.: Autóhulladék-komponensek száraz szétválasztásának kísérleti vizsgálata. BKL Kohászat, (1994) 127.évf. 11-12.sz. p. 478-481.
- [49]Hans, J. L. – Wijnand, V.- Dalmijn, L. – Willem, P.- Duyvesteyn, C.: Eddy-current separation methods with permanent magnets for the recovery of non-ferrous metals and alloys. Erzmetall 41 (1998) Nr.5, p. 266-274.
- [50]Morgan, D.G. – Bronkala, W.J.: The Selection and Application of Magnetic Separation Equipment. Part I. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 5-16.
- [51] Kopp, J.: Superconducting Magnetic Separators. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 17-32.
- [52] Superconducting High Gradient Magnetic Separation.Australian Mining, 1998. may . pp. 43-58.
- [53]Szantho, E. – Hildenbrand. H.:Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit von Mineralen und deren Ablenkung am Elektro-Walzenscheider.Aufbereitungs-Technik (1965) Nr.11, p. 637-645.
- [54] Jon K. Ahlness, J.K. – Kirchner, J.C.: Electronic Ore-Sorting Tests on Native Copper Ore .RI 8490 Bureau of Mines Report of Investigations/1980.
- [55]Kellerwessel, H.: Sortieren nach der Form-Verfahren, Apparate, Anwendungsmöglichkeiten. Aufbereitungs-Technik. 1995. Nr. 2. 69-77.
- [56]Kellewessel, H.: Sortieren mit Luft im Recycling-Bereich.Verfahren, Apparate, Möglichkeiten, Grenzen, Aufbereitungstechnik 34, 1993. Nr.3. 144-150.
- [57]Schubert, G.: Automatische Klaubung der Metalle, des Glases und der anderen Abfälle Vorlesung für ungarische Studenten. Miskoci Egyetem. Eljárástechnikaim Tanszék Miskolc, 16 May 2000
- [58]Tarján I: A mechanikai eljárás technika alapjai. (Egyetemi jegyzet). Miskolci Egyetemi Kiadó, 1997. ISBN 963 661 316 8

7 Hulladékok feldolgozása

7.1 Szilárd települési hulladékok előkészítési technológiái

Dr. Csőke Barnabás

7.1.1 A szilárd települési hulladékok mennyisége, összetétele, eljárástechnikai jellemzői

A szilárd települési és háztartási hulladékok mennyiségére és összetételére számos adat létezik.

Országos mennyiségi adatok

Az alábbiakban megbecsüljük a KSH adatit felhasználva a Magyarországon keletkező szilárd települési hulladék mennyiségét

33. táblázat. A Magyarországon begyűjtött települési szilárd hulladék éves teljes és fajlagos (egy lakosra vonatkoztatott) mennyisége megynként

KSH adatai [9] alapján 150 kg/m³ halmazsűrűséggel számolva (1999)

Megye	Mennyiség [kt/év] [1000 t/év]	Lakosság száma [1000 fő]	A hulladék gyűjtésbe bevont lakások aránya [%]	Fajlagos mennyiség [kg/fő. év]	A 4. oszlop adatával korrigált fajlagos mennyiség [kg/fő. év]
Budapest	742	1 812	99,8	409	410
Pest	261	1 032	86,4	252	292
Közép-Magyarország	1 003	2 845	95,6	352	368
Fejér	148	423	88,3	350	397
Komárom-Esztergom	88	312	96,5	280	290
Veszprém	127	372	77,7	342	440
Közép-Dunántúl	363	1 107	87,0	328	377
Győr-Moson-Sopron	187	424	91,1	441	484
Vas	61	267	75,5	227	301
Zala	59	293	82,3	203	246
Nyugat-Dunántúl	307	984	84,2	312	371
Baranya	83	401	85,0	206	243

Megye	Mennyiség [kt/év] [1000 t/év]	Lakosság száma [1000 fő]	A hulladék gyűjtésbe bevont lakások aránya [%]	Fajlagos mennyiség [kg/fő. év]	A 4. oszlop adatával korrigált fajlagos mennyiség [kg/fő. év]
Somogy	106	330	80,7	322	399
Tolna	65	244	80,6	268	332
Dél-Dunántúl	254	975	82,4	261	317
Borsod-Abaúj- Zemplén	149	730	81,7	204	250
Heves	126	323	75,7	390	515
Nógrád	49	216	86,9	228	262
Észak-Magyarország	324	1 269	81,0	255	315
Hajdú-Bihar	131	541	81,1	243	299
Jász-Nagykun- Szolnok	113	411	59,8	274	455
Szabolcs-Szatmár- Bereg	102	570	65,5	179	273
Észak-Alföld	346	1 522	69,5	227	327
Bács-Kiskun	123	532	62,7	231	368
Békés	99	392	68,6	253	368
Csongrád	163	418	78,2	391	499
Dél-Alföld	385	1 342	69,3	287	414
Összesen	2983	10 043	83,0	297	358
ebből városok (Bp. nélkül)	1652	4 577	88,3	361	409
falvak	598	3 655	66,7	161	241

Az előbbi táblázat utolsó három sorának adata 200 kg/dm³ halmazsűrűség esetén M.o. összesen, városok és falvak sorrendben 477, 545 és 321 kg/fő.év, amelyből a fajlagos adatok jellemző tartománya

- Magyarország összesen (átlagban): 358...477 kf/fő.év
- Városok (átlagban): 409...545 kf/fő.év
- Falvak (átlagban): 241...321 kf/fő.év

Budapesti elemzések adatai

A Fővárosi Közterület Fenntartó Rt. (Budapest, adatszolgáltató: Koltainé Dr. Pfeiffer Zsuzsa, [15]) mérései szerint települési hulladékok mennyiségét és anyagi összetételét a 34. táblázat szemlélteti. Megjegyzés a KSH rendszerint a budapesti összetételi adatokat veszi át [9].

34. táblázat A fővárosi települési szilárd hulladék összetétele az 1992-2002 években [15]

Vizsgált jellemző	Tömegarány, %												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Papír	19,6	17,9	18,5	17,1	18,2	17,0	19,0	19,2	18,3	20,2	13,7	16,0	16,3
Egészségügyi Hulladék								3,5	3,0	3,0	1,3	2,0	2,3
Műanyag	4,6	4,6	4,4	5,6	5,7	3,5	4,5	8,0	9,3	12,3	9,8	13,0	15,9
Textil	6,8	3,1	4,3	6,6	5,3	4,3	3,4	5,8	6,4	5,1	3,5	2,5	3,0
Komposztálható (növényi, konyhai)	32,3	38,4	39,0	34,6	33,4	35,1	32,4	28,4	31,4	30,7	40,7	40,4	30,7
Üveg	5,3	3,4	4,8	5,0	4,7	3,1	3,0	2,8	4,7	4,3	2,5	2,2	2,4
Fém	6,0	4,3	4,4	4,8	4,0	4,2	3,8	2,2	3,9	3,1	1,8	1,6	1,8
Egyéb tovább nem válogatható finom frakció	25,4	28,3	24,6	26,3	28,7	32,8	32,8	29,3	22,0	20,7	26,5	21,9	27,2
Veszélyes hulladék.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	1,1	0,8	1,0	0,6	0,2	0,3	0,4
Összesen	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Potenciális másodnyersanya g %	42,3	33,3	36,4	39,1	37,9	32,1	33,7	38,0	45,6	48,0	32,6	37,3	41,7
Éghető anyag tartalma %	63,3	64,0	66,2	63,9	62,6	59,9	59,3	64,9	68,4	68,3	67,7	71,9	65,9

Dél-Dunántúlra jellemző adatok

35. táblázat. A Baranya, Tolna és Somogy megyei vizsgálatok: összes begyűjtött

(háztartási és a háztartási hulladékhoz hasonló ipari, intézményi) hulladék összetétele 2003-ben végzett analízis alapján [12]

Szolgáltató	Megyeszékhelyen az összes hulladékon belüli részarány (%)								
	papír	üveg	fém	műanya g	textil	szervetl en	Veszély es	szerve s	összese n
BIOKOM Kft. (Pécs)	17,72	4,44	4,58	5,71	2,68	29,32	0,43	35,12	100,00
ALISCA ONYX (Szekszárd)	17,10	4,90	2,70	8,60	2,10	18,30	0,90	45,40	100,00
KVG Rt. (Kaposvár)	13,21	3,87	3,60	15,33	4,76	23,11	3,72	32,40	100,00
Átlag	16,01	4,40	3,63	9,88	3,18	23,58	1,68	37,64	100,00

7.1.2 A szilárd települési hulladékok eljárástechnikai jellemzői

A szilárd települési hulladékok feldolgozási-előkészítési folyamatának kialakításához nélkülözhetetlen a nyershulladék eljárástechnikai jellemzőinek megállapítása.

Ehhez a nyersmintából legalább 5 m³, 400..500 kg mintát kell venni, a szabványban előírt módon és meg kell állapítani az alábbi eljárástechnika jellemzőket:

- Szemcseméret
- Porozitás, sűrűség
- Nedvességtartalom
- Anyagi összetétel
- Fűtőérték és hamutartalom
- Kémiai összetétel (nehézfémek, klór, fluór)

A szabvány azonban csak három szitafrakcióra igényli <20 mm, 20-100 mm,> 200 mm anyagi összetétel és nedvességtartalom. Ez a technológiai folyamatok kialakításához nem elégséges,

részletes szitaelemzés kell, és valamennyi szitafrakcióra kell a fenti jellemzőket megállapítani.

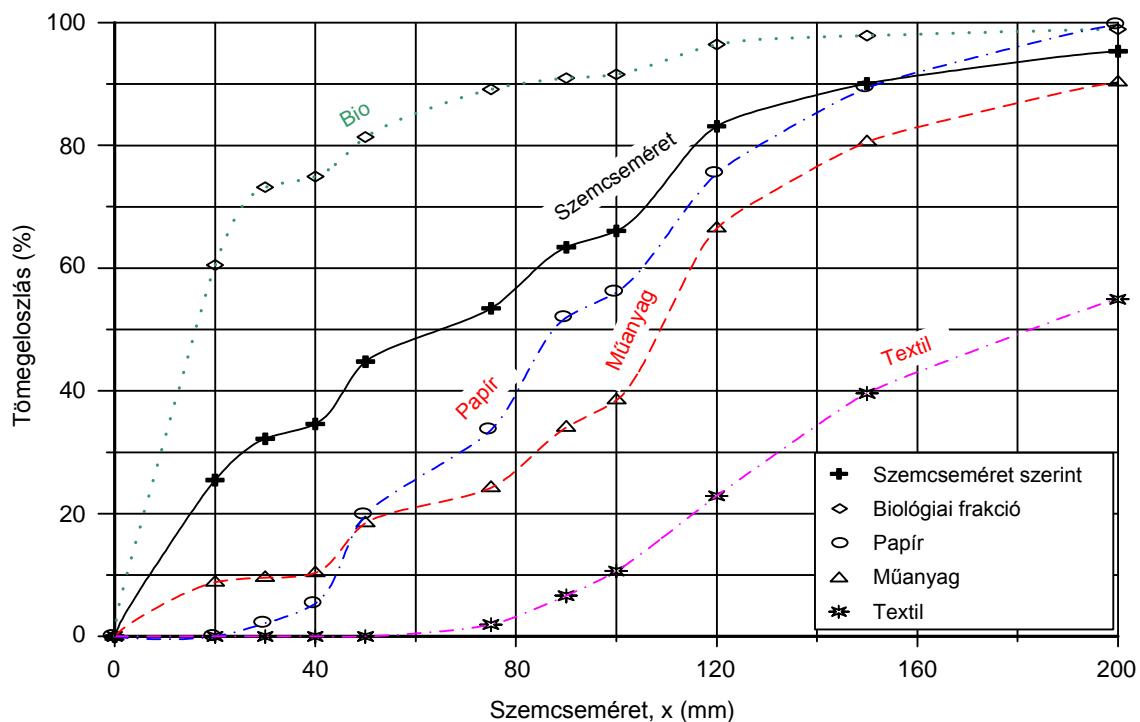
A Pécssett elvégzett vizsgálat adatait a **36. táblázat** szemléltetik. E táblázat adataiból, kiszámíthatók az egyes komponensek megoszlás a szitafrakciókban (**37. táblázat**), amelyet a szemcseméret függvényében ábrázolhatunk, külön-külön (**138. ábra**) vagy csoportosítva (pl. éghető, neméghető anyagokra, **139. ábra**), valamint megállapítható az egész mintára érvényes anyagi összetétel (**38. táblázat**).

36. táblázat. A szitafrakciók anyagi összetétele (Pécs, 2006)

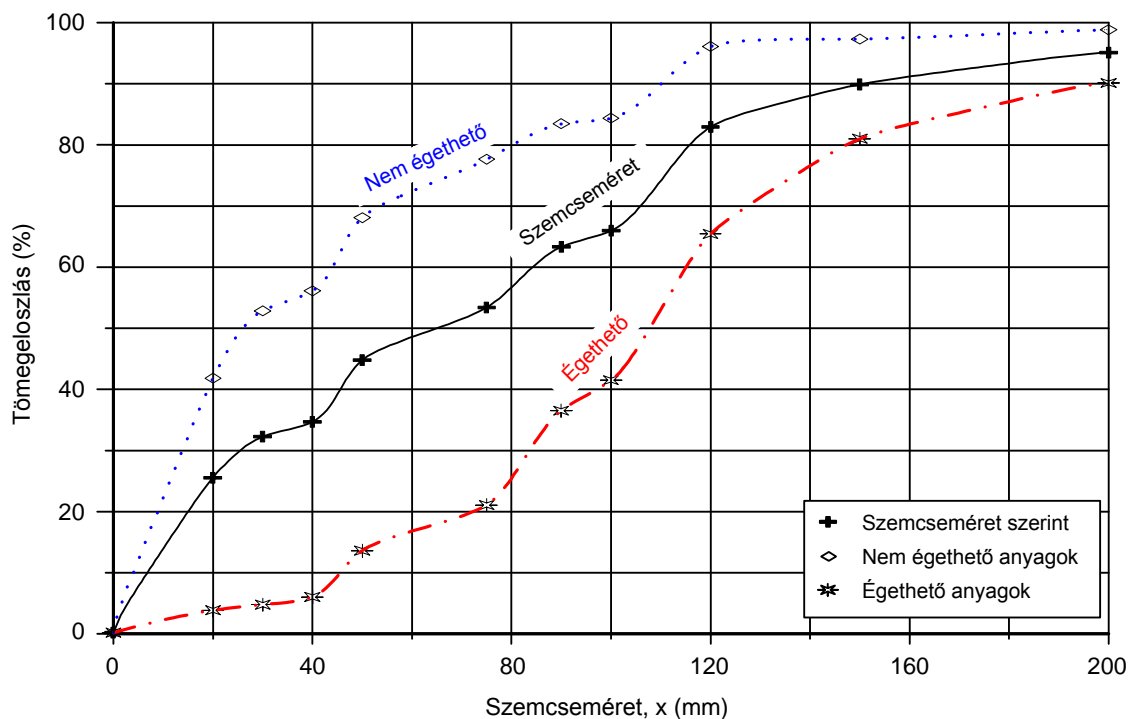
Szemcse- méret, mm	Tömeg- hányad [%]	Bio [%]	Papír [%]	Műanyag [%]	Mágnesezhető fém [%]	Nem mágnesezhető fém [%]	Üveg [%]	Éghetetlen [%]	Éghető [%]	Textil [%]	Kompozit [%]	Karton [%]	Higiéniái [%]	Veszélyes [%]	Összes [%]
> 200	4,68	9,16	0,96	37,11	0,00	2,17	0,00	0,00	0,00	35,42	0,00	15,18	0,00	0,00	100,00
150...200	5,25	7,71	24,53	32,94	3,27	1,64	0,00	0,00	0,93	10,757	0,93	9,58	4,44	3,27	100,00
120...150	6,97	8,14	25,08	35,93	0,00	2,03	0,00	0,00	0,00	8,81	9,83	4,75	5,42	0,00	100,00
100...120	17,02	11,25	14,24	29,31	5,83	2,92	10,56	0,76	2,43	2,64	0,56	3,06	10,69	5,76	100,00
90...100	2,67	9,26	19,44	29,63	0,00	7,41	0,00	0,00	2,78	5,56	1,85	2,78	21,30	0,00	100,00
75...90	9,98	7,18	23,02	17,57	6,93	5,20	8,17	1,24	4,21	1,73	2,72	3,47	18,07	0,49	100,00
50...75	8,68	35,37	19,92	11,79	5,28	5,28	10,57	1,22	4,88	0,81	1,22	2,03	1,22	0,41	100,00
40...50	10,15	25,00	17,86	14,29	7,14	7,14	17,86	10,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
30...40	2,42	27,78	16,67	5,56	2,78	2,78	27,78	8,33	5,56	0,00	0,00	0,00	0,00	2,78	100,00
20...30	6,73	74,26	3,96	1,98	0,99	0,99	8,91	6,93	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
0...20	25,47	93,59	0,00	6,15	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Σ	100,00														

37. táblázat. Az anyagi komponensek megoszlása a szitafrakciókban(Pécs,2006)

Szemcse- méret, mm	Tömeg- hányad [%]	Bio [%]	Papír [%]	Műanyag [%]	Mágnesezhető fém [%]	Nem Mágnesezhető fém [%]	Üveg [%]	Éghetetlen [%]	Éghető [%]	Textil [%]	Kompozit [%]	Karton [%]	Higiéniái [%]	Veszélyes [%]
> 200	4,68	1,09	0,36	9,75	0,00	3,47	0,00	0,00	0,00	45,07	0,00	26,70	0,00	0,00
150...200	5,25	1,03	10,27	9,71	5,41	2,93	0,00	0,00	2,98	15,34	3,90	18,90	4,75	13,16
120...150	6,97	1,44	13,96	14,07	0,00	4,85	0,00	0,00	0,00	16,72	54,58	12,44	7,71	0,00
100...120	17,02	4,86	19,34	28,01	31,29	16,97	27,17	6,15	25,11	12,22	7,53	19,55	37,09	75,21
90...100	2,67	0,63	4,14	4,44	0,00	6,76	0,00	0,00	4,50	4,03	3,93	2,79	11,57	0,00
75...90	9,98	1,82	18,33	9,85	21,79	17,73	12,33	5,84	25,49	4,70	21,63	13,00	36,73	3,79
50...75	8,68	7,79	13,79	5,74	14,45	15,68	13,87	5,00	25,70	1,92	8,43	6,63	2,16	2,70
40...50	10,15	6,44	14,47	8,14	22,85	24,80	27,42	51,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30...40	2,42	1,70	3,21	0,75	2,11	2,29	10,15	9,52	8,15	0,00	0,00	0,00	0,00	5,14
20...30	6,73	12,68	2,13	0,75	2,10	2,28	9,06	22,05	8,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0...20	25,47	60,52	0,00	8,80	0,00	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0 0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0	100,00	100,0



138. ábra. A nyershulladék-minta főbb alkotóinak eloszlása szemcseméret szerint (Pécs, 2006)



139. ábra. A nyershulladék-minta égethető és nemégethető alkotóinak együttes eloszlása szemcseméret szerint (Pécs, 2006)

Az anyagi komponensek szemcseméret szerint eloszlását vizsgálva megfigyelhető:

- A biológiailag lebontható rész 80 %-a a <50 mm-es szemcsefrakcióban helyezkedik el, ezzel szemben a papír és a műanyag 80 % -a a > 50 mm-es szemcseméret-halmazban található.
- Az összes neméghető anyag mintegy 80 %-a a <75...80 mm-es szemcsefrakcióban lelhető fel, miközben szemben az éghető anyagcsoport 80 %-a a durvább, > 80 mm-es szemcseméretben dúsul.

38. táblázat. A keletkező települési szilárd hulladékok anyagi összetétele (nedves tömeg) (Pécs, 2006)

Anyag-komponens	Tömeg-százalék, %
1. Bio-hulladék	39,39
2. Papír	12,53
3. Műanyag	17,81
4. Mágnesezhető fémek	3,17
5. Nem mágnesezhető fémek	2,92
6. Üveg	6,61
7. Éghetetlen	2,11
8. Éghető	1,65
9. Textília	3,68
10. Kompozit	1,26
11. Karton	2,66
12. Higiéniai	4,91
13. Veszélyes	1,30
Összesen	100,00

Fontos jellemző a halmazsűrűség:

39. táblázat. Nyershulladék halmazsűrűsége (Polgárdi, 2002)

Szemcsefrakció, [mm]	Átlagos halmazsűrűségek, ρ_h [kg/dm ³]
>200	0,0788
150 – 200	0,0208
100 – 150	0,0345
50 – 100	0,0749
< 50	0,1937
Súlyozott átlagsűrűség	0,0819

A fűtőérték, hamutartalom változását a biostabilizálásról szóló fejezetben mutatjuk be.

7.1.3 A szilárd települési hulladékok szelektív gyűjtése

Hazánk hulladékgazdálkodásának legégetőbb gondja a szilárd települési hulladékok kezelése és ártalmatlanítása. Magyarországon 4,5-5 millió tonna háztartási és összetételében ahhoz hasonló ipari-kereskedelmi hulladék, amely jelenleg nagyrészt deponálásra kerül. A fejlett országokban e hulladékok jelentős részét, értékes alapanyagként, illetve másodnyersanyagként és másodlagos energiaforrásként hasznosítják. A fejlett ipari országokban (az utóbbi csoport országaiban) szilárd települési hulladékok kezelésének többé-kevésbé egységes rendszere alakult ki Európában, amelyet a **140. ábra** szemléltet.

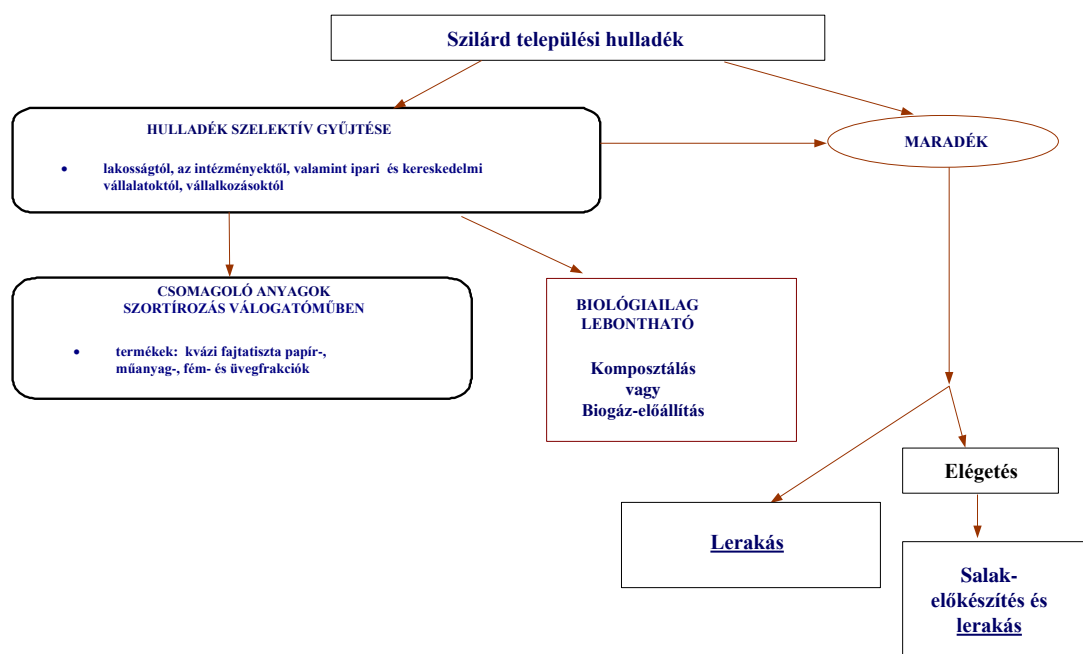
E szerint a szilárd települési az együttkezelhetőség szempontjából hulladék három fő hulladékcsoportha bontható:

1) csomagoló anyagok: a szilárd települési teljes hulladék 30 ... 40 % -a; *üveg* : fehér, barna, zöld; *papír*: nyomdai termékek, karton, hullámpapír; *könnyű csomagoló anyagok*: fémek: vas és alumínium konzerves, italos és más dobozok; műanyagok.

2) biohulladékok: 40 ... 50 %; biológiailag lebontható természetes anyagok (növényi hulladék, ételmaradék stb.);

3) maradvány: 30 ... 10 % .

4)



140. ábra. A hagyományos hulladékkezelés rendszere

Ennek megfelelően a rendszer fő elemei: a csomagolóanyagok szelektív gyűjtése és szortírozás (válogatása); a biológiailag lebontható rész szelektív gyűjtése és kezelése (komposztálás és biogáz előállítás); és a maradvány elégetése és/lerakása.

7.1.3.1 Szelektív gyűjtési eljárások



141. ábra. Szelektív gyűjtési eljárások

Az eljárás kiválasztását meghatározó tényezők:

- Hulladék-összetétel
- A rendelkezésre álló begyűjtési rendszer
- A rendelkezésre álló kezelési rendszer (pl. van-e hulladék-égetőmű)
- A lakosság érzelmi hozzáállás (pénz, személyzet ruházata, szag, rovarok)
- Hasznosítási lehetőségek

A legfontosabb szelektív gyűjtési eljárásokat a **141. ábra** és **41. táblázat- 43. táblázat** mutatja be. A gyűjtési eljárásokat alapvetően két csoportba sorolhatjuk, összefüggésben azzal, hogy milyen viszonyban van a közszolgáltatás keretében folyó szemétszállítással: ha azt kiegészítő módon történik a szelektív gyűjtés, akkor additív, ha azzal szerves egységet, akkor integrált eljárásról van szó.

Sűrűn lakott települési környezetben hatékony megoldást jelent a kihelyezett konténerek telepítése.

E gyűjtési mód fő műszaki jellemzőit a 40. táblázat és a 41. táblázat foglalja össze.

40. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének

Szelektív gyűjtési eljárás: <u>Kihelyezett konténer</u>	
Gyűjtési hatások Költség Ft/kg	
Konténer sűrűség: 200...500 m	
⇒ Üveg	<ul style="list-style-type: none"> • Hatásfok 35 % • Költség: <ul style="list-style-type: none"> - gyűjtés és száll.: 4...8 Ft/kg - előkészítés: 1,5...4 Ft/kg
⇒ Papír	<ul style="list-style-type: none"> • Hatásfok: 30 % • Költség: <ul style="list-style-type: none"> - gyűjtés és száll.: 5...14 Ft/kg
⇒ Italos fémdoboz	<ul style="list-style-type: none"> • Költség: <ul style="list-style-type: none"> - gyűjtés és száll.: 20...25 Ft/kg

41. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének

Szelektív gyűjtési eljárás:	
<u>Többkamrás konténer</u>	
Általános jellemzés	Gyűjtési hatások Költség Ft/kg
<p>Konténer méret: 10...18 m³</p> <p>Gyűjtőhely sűrűség: 1000...4000 fő/gyűjtőhely</p>	<p>Begyűjthető mennyiség átlagban, egy évben egy fő lakosra:</p> <p>papír: 10..15 kg üveg: 10..20 kg fémdoboz: 1 kg</p> <p>Költség: - gyűjtés és száll.: 5,4...8 Ft/kg</p>

42. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének és

Szelektív gyűjtési eljárások:	
<u>Részben Integrált rendszerek</u>	
Általános jellemzés	Gyűjtési hatások, költség
<ul style="list-style-type: none"> • Értékes anyagok tartályba való gyűjtése (Grüne Tonne) - Egy tartályban egy komponens , vagy több komponens egy tartályban (Hiba rész tömegaránya: 20...30 %-ot is eléri) • Szerves komponensek tartályba való gyűjtése (Bio-tonne) a fentiek kiegészítéseként 	<ul style="list-style-type: none"> • Hatásfok: 50...90% - Előkészítésnél: 70 % tömegkihozatal - Elérhető gyűjtési mennyiség: 70-100 kg/fő/év • Költség: - Begyűjtés: 5...8 - 10...25 Ft/kg - Előkészítés: 8 ... 14 Ft/kg • Hatásfok: 10...25% • Komposztálási költség: 10...25 Ft/kg

43. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének

Szelektív gyűjtési eljárások: <u>Integrált rendszerek</u>	
Szelektív gyűjtési eljárás	Gyűjtési hatások
<ul style="list-style-type: none"> • Tartály+értékes anyag-zsák • Zsák + értékes anyag-zsák <ul style="list-style-type: none"> • Értékesanyag-zsák tartályban, 240 l,(maradvány szintén tartályban nyer elhelyezést) • Többkamrás tartályba való szelektív hulladékgyűjtés (240 l) <p>Tartály-megosztás: 1:2= értékes anyag : szemét</p>	<p>Szemét és az értékes anyagok zsákba való gyűjtésekor (Zsák+értékes anyag-zsák)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Költség: <ul style="list-style-type: none"> - Begyűjtés: 5 Ft/kg - Előkészítés: 8 ... 14 Ft/kg • Komposztálási költség: 10...25 Ft/kg

7.1.3.2 Példák szelektív hulladékgyűjtésre

Németország

A legelterjedtebb gyűjtési és hasznosítási rendszer Németországban az ún. DSD rendszer

A Duális Német Rendszer

Duales System Deutschland , röviden DSD

A rendszer az 1991.évi német csomagolóanyag-törvényen alapszik.

A törvény három legfontosabb eleme:

- **előírja a hulladék-fajtákat (kezelési szemlélet) és fajtánként az évi begyűjtendő mennyiséget (minden évre új előírt mennyiség)**
- **intézkedik a begyűjtés és hasznosítás technikai és rendszerbeli megvalósításáról**

1. Hulladék-fajták és fajtánként az évi begyűjtendő mennyiség a DSD-ben
- 2.

44. táblázat. Gyűjtési, válogatási és hasznosítási részarányok (előírás) a DSD bevezetésekor

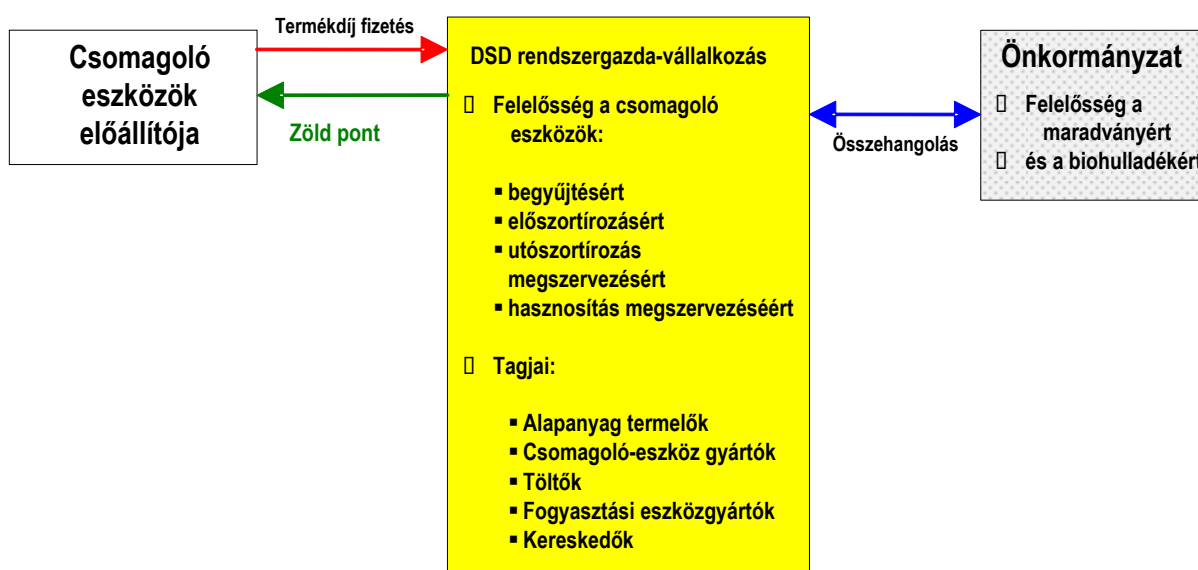
Komponensek	Mennyiség a	Veszteség a	Begyűjtendő	Cél, előírt mennyiség, ill. tömegkihozatal			
	felhasználónál	felhasználónál		Begyűjtés		Előkészítés (válogatás)	Értékesítés
	kg/fő/év	%	kg/fő/év	%	kg/fő/év	%	kg/fő/év
Üveg	42	10	38	80	30	90	28
Papír, karton, hullámpapír	15	20	12	80	10	80	8
Nyomdai termékek	55	15	47	80	38	80	30
Konzerves doboz	7,5	15	6,4	80	5	90	4,5
Al-dobozok, csomagoló eszk.	0,6	20	0,5	80	0,4	90	0,3
Műanyagok, rétegelt csom. eszk.	10	25	7,5	80	6	90	4,8
Összesen	130,1		11,4		89,4		75,6

A fogyasztó mindenfajta csomagolást a kereskedelem kikapcsolásával visszaszolgáltathat az erre rendszeresített tartályokban, zsákokban és konténerekben. NSZK-ban 1993-ban a csomagolóanyagok 57%-át, vagyis 4,6 Mt-t gyűjtötték vissza a DSD-rendszer (Duales System Deutschland) keretében. Ez azt is jelenti, hogy abban az évben minden egyes német állampolgár 56,8 kg csomagolóanyagot gyűjtött össze. A hulladék szétválogatása után a teljes mennyiség 85%-át, 3,9 M-t újra hasznosították. Az alumínium kivételével minden csomagolóanyagból többet értékesítettek újra, mint amennyit a törvény előír.

2. A begyűjtés és hasznosítás technikai és rendszerbeli megvalósítása

- Szervezeti rendszer

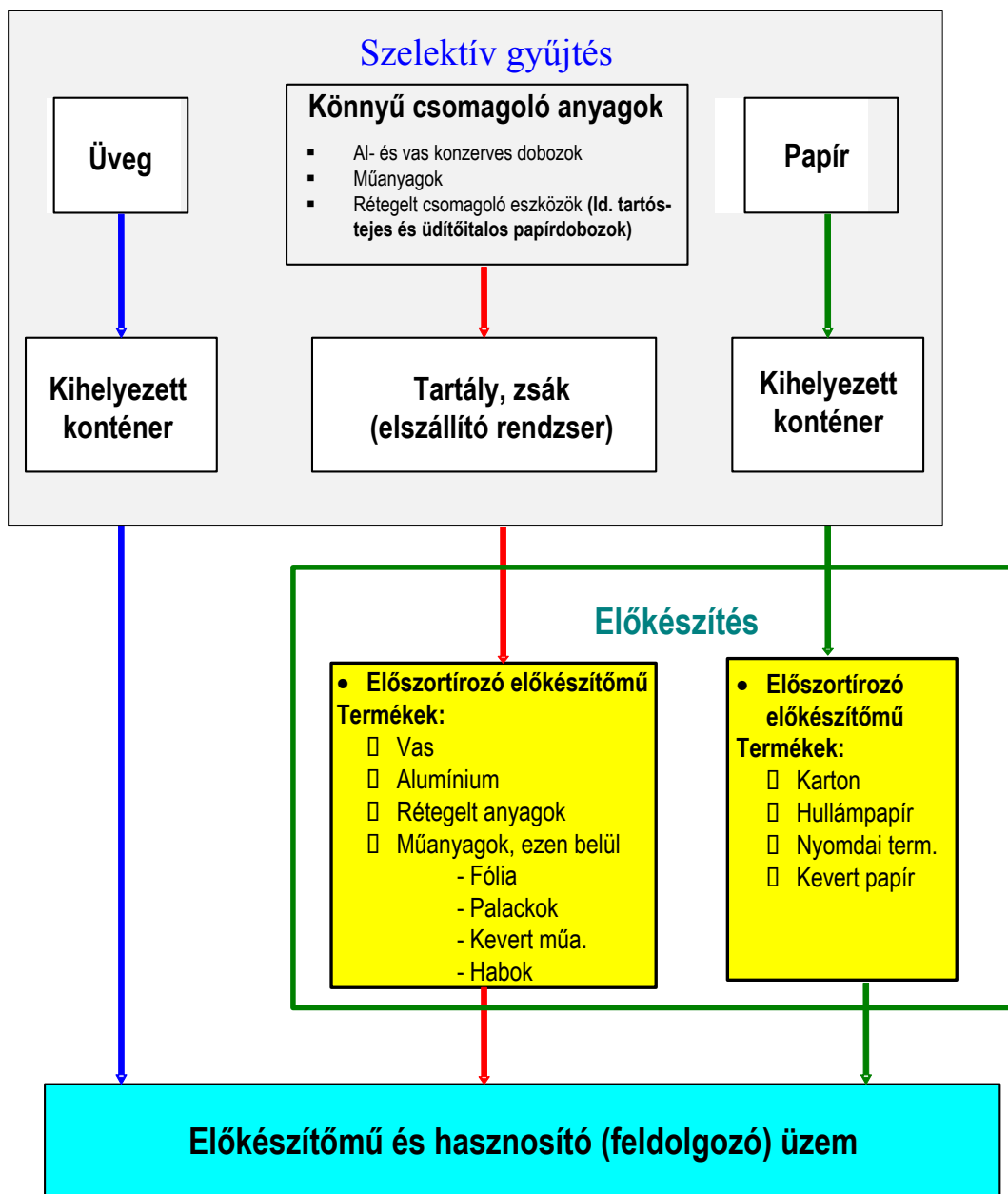
A rendszer kettős, az önkormányzati és a feldolgozó-hasznosító magánvállalkozás felelősségét kapcsolja össze: a bio-hulladék és a deponálás elsősorban az önkormányzat a csomagolóanyagok pedig a DSD-vállalkozás felelősségi körébe tartozik. A DSD rendszergazda a hulladék kezelést és újrahasznosítást a licenclételekkel finanszírozza, amelyet a csomagolóanyagot előállító és felhasználó fizetni köteles.



142. ábra. Szervezeti rendszer

Jele: a " zöld pont " , amelyet a rendszerben résztvevő vállalatok licenclételek ellenében csomagolásaikon feltüntethetnek. A német DSD-nek 600 bejegyzett tagja van.

Gyűjtési és előkészítési rendszer



143. ábra. Gyűjtési és előkészítési rendszer

A fenti adatokból kitűnik, hogy a háztartásokból a szelektív gyűjtés a kombinált eljárásokkal a leghatásosabb: konténerbe az üveget és a papírt, esetleg a fém-csomagolóanyagokat célszerű gyűjteni; a könnyű csomagolóanyagokat pedig vagy zsákba vagy tartályba. Az iparból a szelektív begyűjtést konténerrel, kisebb egységeknél vagy nagyobb könnyű csomagolóanyag-mennyiségnél (pl. kisebb étterem) tartályba. Egyedi családi házaknál zsák, vagy tartály alkalmazása, a lakosság sűrűség növekedésével pedig a kombinált eljárás az előnyösebb (300-500 m-enként kihelyezett üveg és papír esetleg fém konténerekkel).

7.1.4 Szilárd települési hulladékok előkészítése: a válogatómű kialakítása

Általános technológia-műszaki követelmények

A hulladék csomagolóanyagok fajta szerinti (papír, műanyag, üveg, fém) válogatására létesülő hulladék-előkészítőművet a német és osztrák tapasztalatok alapján célszerű kialakítani. E tapasztalatok azt mutatják, hogy a válogatóműveket csak munkanapokon célszerű üzemeltetni és maximum kétműszakos üzemmódban. A válogatómű maga is "termel" a teljes feldolgozott mennyiségre vonatkozóan 15..20 % hulladékot. A válogatómű technológiáját és épületét, üzemét az alábbi módon célszerű kialakítani:

- Képes legyen a különböző módon gyűjtött hulladékok fogadására és feldolgozására, tehát ha egyaránt alkalmas a kevert csomagolóanyag-hulladék és a különböző mértékben előszelektált szállítmányok feldolgozására (flexibilitás);
- A technológia zárt rendszerű legyen, zárt épületben nyerjen elhelyezést és messzemenően gondoskodjon az egészséges munkakörülményekről éppúgy, mint a környezete védelméről.
- A válogatóműnek a kívánt kapacitást a feldolgozandó hulladék fajták szerinti feladási tömegarányoknak, valamint a hulladék-fajtánként előállítandó termékfrakcióknak megfelelően kell teljesítenie.
- A technológiai rendszer főberendezései a kézi válogató szalagok, a válogatószalag szélessége 1,2 m, munkaterület szélessége 1,5-1,8 m között változhat.
- A kézi válogatószalag sebessége 0,1-0,3 m/s határok között változik. Értékét folyamatos szabályozással, vagy fokozatonként (0,1/0,2 m/s) állítják be.
- Több válogató szalag esetén a kiszolgáló részegységek (szállítószalagok, dobszita, stb.) alapvető feladata annak biztosítása, hogy a szalagon egymással párhuzamos - egyidejű üzemmódban- az eltérő gyűjtésből származó anyagok feldolgozására is mód legyen: pl. könnyű csomagolóanyag az egyik szalagon és iparból származó (döntően papír) a másik szalagon egyidejűleg is feldolgozható legyen.
- A vas kiválasztása gépi úton történjen.
- A nemvas-fémek (döntően Al) leválasztása kézzel és géppel is történhet. Ha kézi úton történik a mai megvalósítás szerinti Al-kinyerés, akkor célszerű helyet biztosítani a későbbi gépi megoldásra is.

- A csekély mennyiségben előforduló veszélyes, vagy idegen anyagok kiválogatásáról gondoskodni kell (gyűjtő-edény, azok helye, telepítése mozgatása, stb.).
- A kézi válogatás tiszta munkahelyi körülményeinek és a termékek tisztaságának biztosítása érdekében gondoskodni kell a gyűjtött hulladékokban előforduló finom - nem értékes- résznek a technológiai folyamat elején történő leválasztásáról, továbbá a gépeknél a megfelelő porelszívásról (kiporzás elleni védelemről), a poros levegő a szabad légtérbe való kibocsátása előtti megtisztításáról.
- A termék-boxokból -figyelembe véve a várható egyidejűleg kiszortírozott termékfajtákat- a kézi válogatószalag alá legalább 4-8-ot telepítenek, amelyek mindegyike rendszerint alkalmas Euro-konténer befogadására.
- A kézi válogató-szalagot zárt házba kell elhelyezni, amelyben gondoskodni kell a megfelelő tiszta levegő-ellátásáról, és klimatikus viszonyokról.
- A mű egészében és részleteiben is feleljen meg a tűzvédelmi és környezetvédelmi előírásoknak.

Válogatási teljesítmény, a műkapacitás, szalagkapacitás

A válogatómű kialakítását és technológiáját

- a feldolgozandó hulladékfajták és
- tömegáramaik

határozzák meg.

A különböző feladások esetén ugyanis az egy főre eső válogatási teljesítmény lényegesen eltér egymástól:

- Csomagoló anyagok háztartásból (DSD-anyag): 50-100 kg/h/fő
- Csomagoló anyagok az iparból, kereskedelemről: 250-1000 kg/h/fő.

A számítás módszerét, menetét agy példán keresztül muatajuk be.

A létesítendő válogatómű két műszakban, évi 2500 órát üzemel, átlagos feldolgozó képessége 6 t/h, éves termelése 15 000 t.

a) A előbbiekből a szükséges válogató munkások létszámát Y jelölve, a DSD anyag válogatására fordított időt X -el, akkor figyelembe véve az évi 2500 üzemórát az alábbi egyenlet írható fel:

$$\begin{aligned} 0,075 X Y &= 3000 && \text{t/év, DSD-anyag} \\ 0,5 (2500-X)Y &= 12000 && \text{t/év, iparból származó hulladék} \end{aligned}$$

amelyből

$$Y = 25,6 \text{ fő létszám}$$

és $X = 1563 \text{ h/év}$ üzemidő fordítandó DSD - anyagra válogatására

$$2500 - X = 938 \text{ h/év üzemidő az iparból származóra.}$$

Egy szalagra eső létszám 13 fő. Javasolható 14 fő/szalag. A szükséges effektív válogatószalag-hossz $1,5 \cdot 7 = 10,5 \text{ m}$, teljes szalaghossz 21 m.

A válogató mű kapacitása (2 válogató szalag):

- DSD- anyagra: 1,92 t/h (egy szalagra: 0,96 t/h),
- Iparból származóra: 12,8 t/h (egy szalagra: 6,4 t/h).

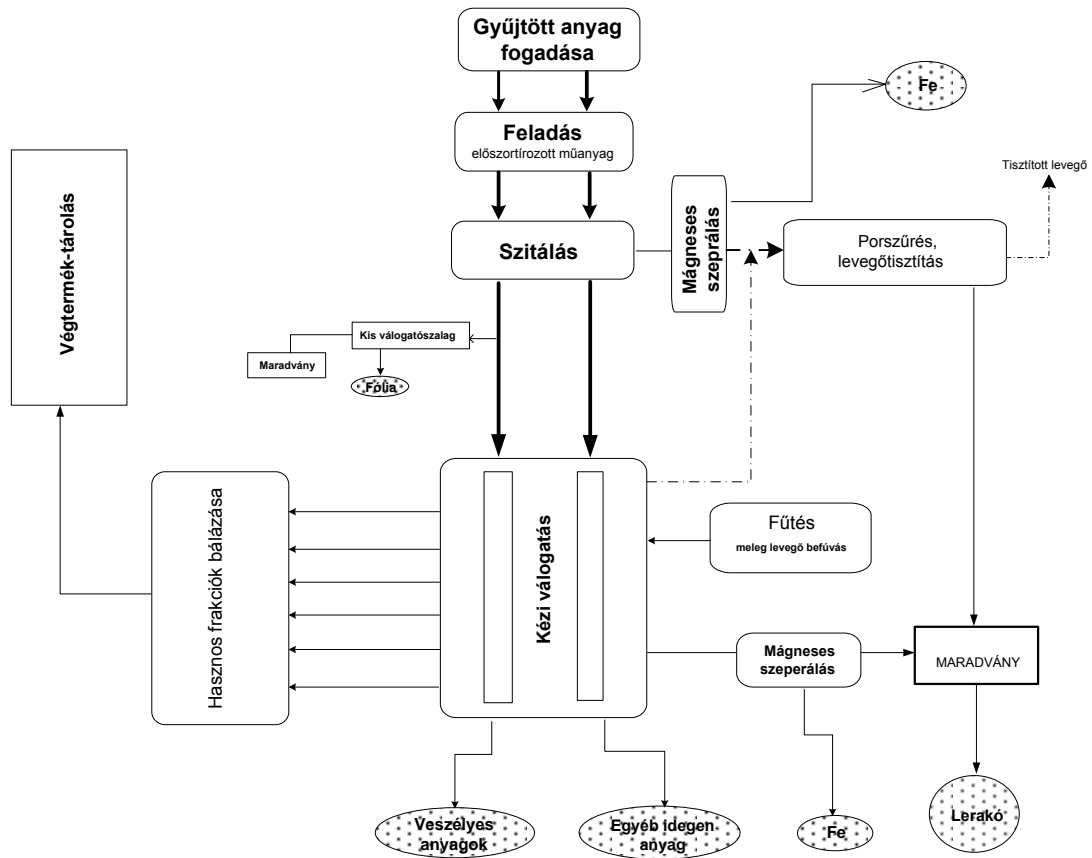
Technológiai folyamatok, üzemmód

A technológiai folyamat az alábbi eljárásokat, műveleteket foglalja magába (**144. ábra**):

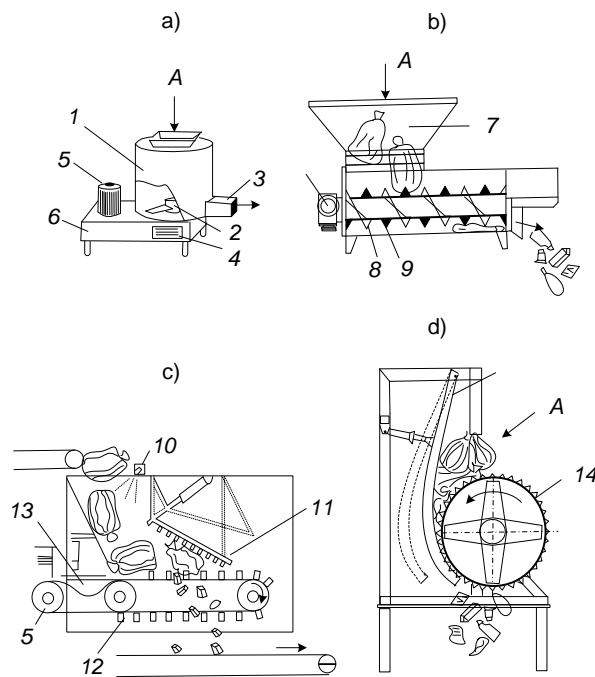
- A feldolgozási folyamat első lépcsőjében a műbe érkező hulladék-szállítmány tömegének mérése és számítógépes **adatfelvétele** történik meg.
- A **szállítmány kiürítése és lerakása** a válogatómű épületében történik. Az épület földszinti alapterületének 40 %-a szolgálja azt a célt, hogy a csoportvezető irányításával a beérkező hulladék előszelektált formában kerüljön lerakásra. Ezzel elérhető, hogy a kb. azonos módon gyűjtött és azonos tartalmú szállítmányok

ugyanabba a rakatba kerüljenek. A platz-mester feladata a szállítmány esetleges veszélyesanyag-tartalmának a megállapítása és lejelentése is.

- A válogató rendszerre a **hulladék feladása** bordázott gumiszalaggal valósul meg. A rendszer táplálása szisztematikus, az előbbieken vázolt előszelektált lerakatokból rakodógéppel történik. A zsákok megbontását kézzel, vagy géppel (**145. ábra**) végzik.
- A **finom rész leválasztása szitálással**. Funkciója a finom szennyeződésnek a rendszerből való kizárása. A hulladék-anyag méret szerinti osztályozását egy 20...50 mm-es résnyílású szita végzi el. Több válogatószalag esetén az egyik sorra dobszitát, a másik sorra vibrátort (mozgatott rácsot) célszerű telepíteni. A sziták két részből állhatnak, pl. amelyeken 50 és 250 (...300) mm-es nyílások vannak. Az anyagot méret szerint így alul és felül is lehatárolhatjuk, amely növeli a válogatási teljesítményt, csökkenti a zavaró anyagok arányát a válogató szalagra érkező anyagáramban. A dobszita durva terméke kis válogatószalagra kerül, ahol (1-2 fő) a hasznos > 300 mm-es anyagot (főként fólia) kiválogatja.
- A finom és a durva részből, vagy a faladás anyagáramából **a vas leválasztása** egyaránt mágneses szeparálással valósul meg. A finom részre dobszeparátor, egyéb esetben célszerűen szalagos mágneses szeparátor látja el a feladatot.
- A **hasznos anyagok szortírozása** válogató szalagon kézi erővel történik. A főbb anyagcsoportok: alumínium, üveg, fólia, kemény műanyag (palack, pohár), egyéb műanyag, karton papír, nyomdai termék-papír, egyéb papír. A szalagon egy ember által mélységben átfogott (átfogható) távolság 0,6 m, a szalag hossz tengelye irányában egy fő munkahelyének szélessége 1,5 ... 1,8 m (nagyobb nem lehet), összes munkahossz 2...2,5 m.
- **Végtermékek tárolása** gyűjtő-boxokba, vagy konténerekbe történik.
- A **boxok kiürítését** vagy toló lapos rakodógép, vagy szállítószalag végzi el.
- Az anyagnak a **bálázó-géphez** való juttatása szállítószalaggal történik.
- Bálák elszállítását és lerakását rakodógép végzi.



144. ábra. Válogatómű technológiai vázlat



145. ábra. A székfelbontás gépi megoldásai

A 145. ábrán alkalmazott jelölések: (1) tartály; (2) rotor; (3) kilépő nyílás láncfüggönnyel; (4) karbantartó nyílásfedél; (5) meghajtómotor; (6) váz; (7) feladógarat; (8) lemezspirállal ellátott henger, elől; (9) a spirállal ellátott henger, hátul; (10) fényérzékelő; (11) leszorító; (12) tépőlánc; (13) láncfeszítő egység; (14) tépőhenger; (15) szorítókar

Az ábrán bemutatott megoldások: a) rotoros zsákfeltépő, Thyssen-Henschel-féle kialakítás; b) csavaros zsákfeltépő; c) láncos zsákfeltépő, Bezner-féle kialakítás; d) hengeres zsákfeltépő, BRT-féle kialakítás

◇ Üzem módok

A válogatómű üzemvitele a vázolt megoldással igen flexibilis, alkalmazkodik a válogatósoron éppen feldolgozni kívánt hulladék összetételéhez, amely egyúttal meghatározza a telepítendő válogató-személyzet létszámát is.

Alapvetően üzem módot különböztetünk meg:

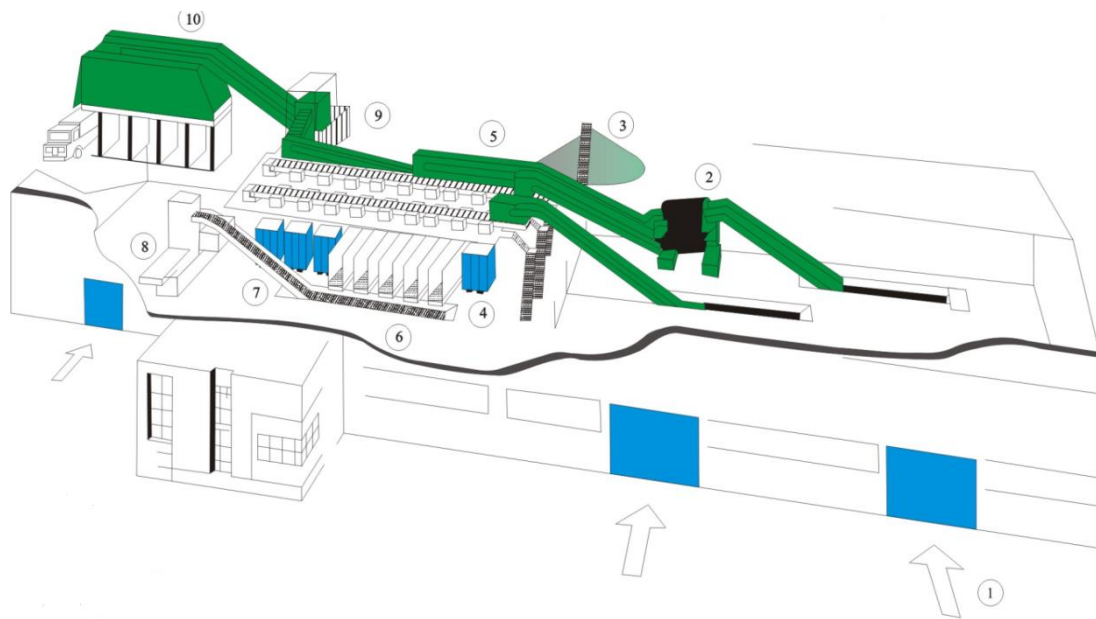
- **negatív szortírozás** (negatív mert a válogatás nem a fő komponensre irányul, hanem a "nem odavalóra"): ez esetben egy valóban szelektíven begyűjtött hulladékot dolgoz fel a válogató -pl. csak két-három fajta műanyagot tartalmaz-, és a feldolgozandó anyagban az egyik komponens a döntő, a másik egy, vagy két komponens mennyisége az előbbihez képest lényegesen kisebb. Ebben az esetben a kisebb mennyiségben jelenlevő egy-két komponens kiválogatása történik, az anyag zömét a szalag a legutolsó boxba üríti. A telepített munkás létszám igazodik a kézzel kiszedni szükséges anyagmennyiséghez, figyelembe véve az előbb ismertetett válogatási teljesítményeket (és számítási eljárást).

- **pozitív szortírozás:** ezt a megoldást a vegyes összetételű anyag feldolgozása esetén választjuk, amikor is a kinyerni kívánt komponensek (vagy fajtacsoportok) kb. ugyanazt az arányt képviselik a feladott anyagban. Ez esetben is célszerű azonban a legnagyobb arányt képviselő részt tovább engedni és a szalagvégen megfogni. Ugyanakkor előnyös -a "zavaró"- a nagyobb méretűeket és a fóliákat a rendszer elején kinyerni.

A válogatóművek kialakítása

45. táblázat. A válogatómű fő technológiai berendezései

<i>Fő technológiai berendezések</i>
Szortírozó rendszer: 1. Feladószalag (zsákfeltépő) 2. Dobszita (kétsíkú) 3. Vibrátor (egysíkú) 4. Mágneses szalagszeparátor 5. Mágneses dobszeparátor 6. Válogatószalag 7. Örvényáramú szeparátor
Késztermék kezelése: 8. Bálázó feladószalag 9. Bálázó berendezés
Levegőtisztító rendszer: 10. Ventilátor 11. Porszűrő 12. Klimatizálás



- | | |
|------------------|----------------------------|
| (1) Beszállítás | (6) Termék-boxok |
| (2) Kehely szita | (7) Termék-konténer |
| (3) Faaprítás | (8) Bálázó-prés |
| (4) Lom-konténer | (9) Fe-mágneses szeparátor |
| (5) Válogatósor | (10) Maradvány konténer |
- Csarnok-méret 35x107 m

146. ábra. Linzi kétszalagos válogatómű, 55 000 t/év (A.S.A)

7.1.5 Mechanikai biológiai stabilizálás

A megismert hagyományosnak tekinthető rendszer számos hátránnyal rendelkezik:

- Nem csökkenti elegendő mértékben a lerakandó hulladék mennyiségét (ha nincs égetés).
- A hulladék egy tetemes része (40...60 %) kezeletlenül kerül lerakásra (maradékanyag).
- Az előbbieket miatt a lerakás költségei nagyok.
- A szelektívgyűjtés (csomagoló és biológiailag lebontható anyagokra) és kézi-gépi válogatás túlerőltetése e rendszert is gazdaságtalanná teszi.
- Ugyanakkor a települési szilárd maradékanyag mezőgazdasági, ill. energetikai szempontból hasznos komponensekből, nevezetesen biológiailag lebontható, ill. biológiailag nem lebontható vagy nehezen lebontható (nagyobb fűtőértékű) szerves részből áll.
- A kezeletlen települési maradék (-hulladék) elégetése - a maradék kedvezőtlen tüzeléstechnikai tulajdonságai (alacsony fűtőérték, nagy nedvességtartalom) miatt - műszaki és gazdasági szempontból egyaránt előnytelen.

A fentiek vezettek [9]:

- elsőként (kb. 20...25 éve) a lakossági hulladékból másodtüzelőanyag előállítására mechanikai eljárásokra alapozott technológiák (német rövidítése BRAM = Brennstoffs aus Müll, angol rövidítése RDF: Refuse Derived Fuel),
- majd pedig a 90-es években a biológiailag lebontható rész nedvességtartalmának csökkentésére és jobb minőségű alternatív tüzelőanyag előállítása érdekében a szilárd települési hulladék maradékanyagának ún. stabilizációs kezelésének a bevezetésre.

A szilárd települési hulladékok mechanikai-biológiai kezelésének fogalma is a 90-es évek elejétől ismert, amikor is az addig már alkalmazást nyert mechanikai eljárásokat biológiai eljárásokkal egészítették ki. A szilárd települési hulladékok (szelektív gyűjtést követően visszamaradt) maradékanyagának kezelése tehát történhet

- mechanikai,
- biológiai
- vagy termikus eljárásokkal,
- illetve leggyakrabban ezek kombinálásával kialakított technológiával.

A mechanikai kezelés (előkészítés) többnyire a hulladék biológiai vagy termikus tovább kezelésnek megelőző (és követő) lépcsője. Már a hulladék összegyűjtésénél is alkalmazunk mechanikai eljárásokat, már ebben a folyamatban is célszerű arra törekedni, hogy a különböző anyag típusok szeparálása lehetőség szerint a legnagyobb mértékben megvalósuljon. A maradék-hulladék kezelése során célszerű elsősorban a fémeket, a magas fűtőértékű frakciót, valamint a kevésbé értékes, de a kezelést nehezítő frakciókat, mint pl.: a közetdarabok, a föld, az üveg, leválasztani az anyagáramból. A mechanikai előkészítés minden nyersanyag körfolyamatos gazdálkodásához (reciklálásához) szükséges.

A biológiai kezelés egyik fő célja a különböző gázok és szivárgó, illetve lefolyóvizek mennyiségének csökkentés, azaz a környezetet károsító emissziók minimalizálása, illetve a teljes megszüntetése. A másik, előbbivel szoros kapcsolatban álló célkitűzés, hogy a rendelkezésünkre álló mikroorganizmusokat úgy használjuk fel, a működésüket úgy befolyásoljuk, hogy a kiindulási anyagban (hulladékban) meglévő toxikus tartalmat a legnagyobb mértékben minimalizáljuk. Ezt az eljárást biológiai stabilizálásnak nevezzük.

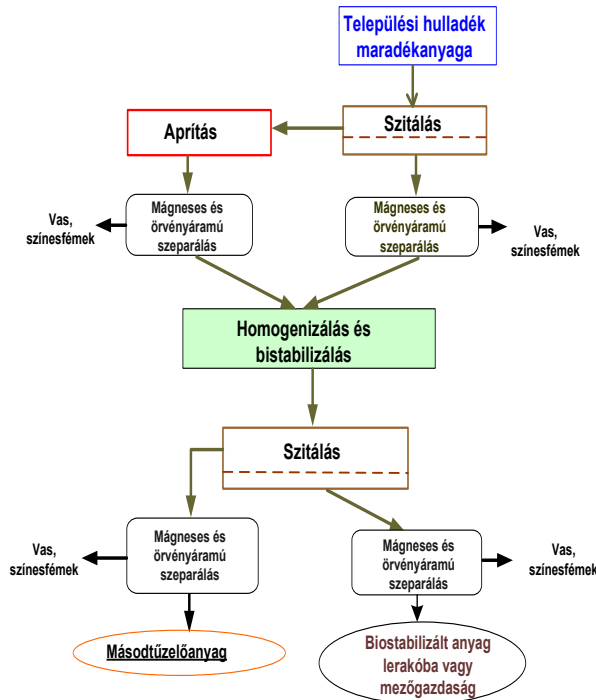
Mechanikai-biológiai stabilizálás (MBS, német rövidítése: MBA=Mechanisch-biologische Abfallbehandlung; angol rövidítés: MBT=Mechanical-biological treatment)

A mechanikai-biológiai stabilizálás általános célja:

- egy, a nagyfűtőértékű komponensekben gazdag és
- egy másik, a nagyfűtőértékű komponensekben szegény frakció előállítás, ill. ennek a terméknek lerakása: olyan lerakandó termék előállítás, ami megfelel a lerakóba elhelyezés feltételeinek mind az eltávozó levegő, mind a szivárgó víz, mind pedig a szilárd fázisból való kioldódásra vonatkozóan.

A mechanikai-biológiai stabilizálás közvetlen célját tekintve két kezelési célkitűzést különböztethetünk meg [7]:

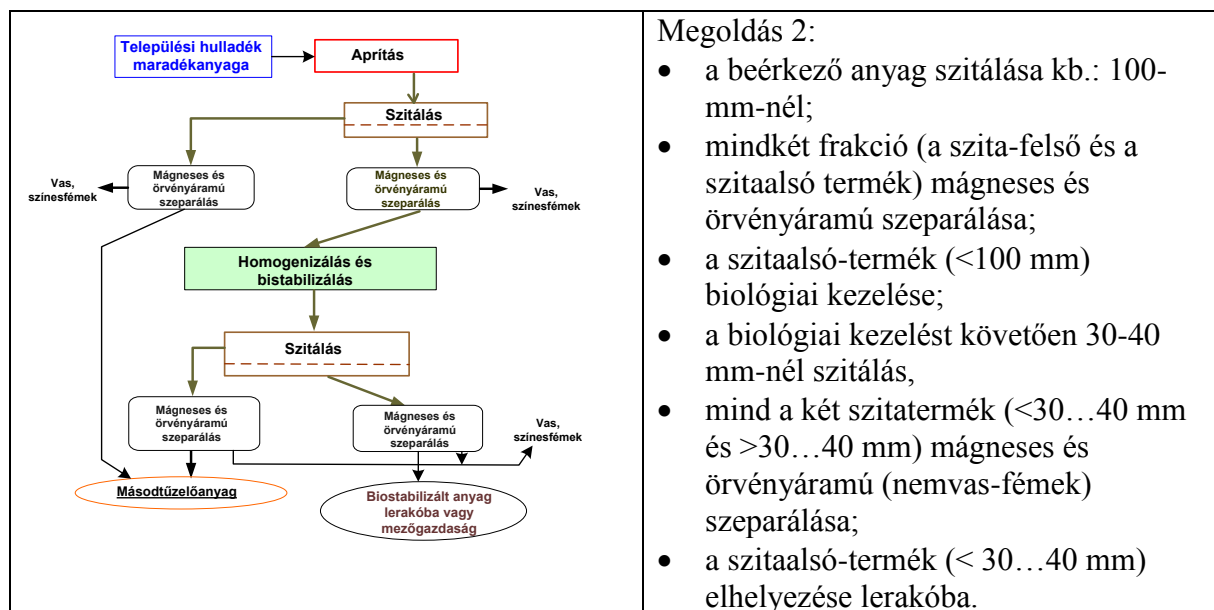
1. Eljárástechnikai cél: kezelendő hulladék nagy részének biológiai stabilizálása és az ehhez kapcsolódó lerakás. Ebben az esetben az a törekvés, hogy a szilárd települési hulladék maradékanyagából a lehető legnagyobb részt (papírt, kartont, pelenka stb.) biostabilizálásra vigyenek (**147. ábra**). Ezért elsőként az anyagot biológiai úton stabilizálják és a stabilizált anyagból (a stabilátból) nyerik ki szitálással a nagyfűtőértékű komponensekben gazdag frakciót.



147. ábra. Mechanikai-biológiai stabilizálás. Megoldás 1

2. Eljárástechnikai cél: az értékes és nagy fűtőértékű frakció a lehető legnagyobb nagymértékben történő leválasztása.

Itt az eljárástechnikai koncepció az (148. ábra), hogy az értékes nagyfűtőértékű komponenseket jórészt még a biológiai kezelés előtt válasszuk le, mivel az értékes komponensek egy része (papír, karton, pelenka stb.) a biológiai kezelés során lebomlana.



148. ábra. Mechanikai biológiai stabilizálás: Megoldás 2

Megoldás 1:

- a beérkező anyag szitálása kb.: 100-130 mm szemcseméretnél;
- a felső termék aprítása;
- mindkét frakció (az aprított szita-felső és a szitaalsó termék) mágneses és örvényáramú (nemvas-fémek) szeparálása;
- a két rész egyesítése, keverése és homogenizálása;
- biológiai kezelése (aerob lebontás);
- a biológiai kezelést követően 20-30 mm-nél szitálás;
- mind a két szitatermék (<20...30 mm és >20...30 mm) mágneses és örvényáramú (nemvas-fémek) szeparálása;
- a szitaalsó-termék (< 20...30 m) elhelyezése lerakóba.

Megoldás 2:

- a beérkező anyag szitálása kb.: 100-mm-nél;
- mindkét frakció (a szita-felső és a szitaalsó termék) mágneses és örvényáramú szeparálása;
- a szitaalsó-termék (<100 mm) biológiai kezelése;
- a biológiai kezelést követően 30-40 mm-nél szitálás,
- mind a két szitatermék (<30...40 mm és >30...40 mm) mágneses és örvényáramú (nemvas-fémek) szeparálása;
- a szitaalsó-termék (< 30...40 mm) elhelyezése lerakóba.

A szerves anyagok mechanikai-biológiai, mechanikai-fizikai kezelése során tehát jól definiált termékeket, illetve anyagokat kell előállítani, így nagymértékben elősegíthetjük a gazdaságos értékesítést és a környezetkárosítás mentes lerakást (46. táblázat és 47. táblázat). A jól definiált termék egyik legfontosabb minőségi követelménye (47. táblázat), hogy az értékesítésre továbbadott termék maximálisan higiénikus, illetve fertőtlenített legyen. Ezzel együtt a gyártóknak garantálniuk kell a változatlan minőséget és az előre rögzített alkalmazhatóságot.

46. táblázat. Fontosabb német előírások a lerakandó stabiláttal szemben [11, 12]

Fűtőérték felsőhatár	$\leq 6\ 000\ \text{kJ/kg}_s$ száraz anyag
TOC (total organic carbon) szárazanyagra	$\leq 18\ \%$
Oxigén-fogyasztás (AT_4)	$\leq 5\ \text{mg/g}$ száraz anyag
Gázképződés (GB_{21})	$\leq 20\ \text{NI/g}$ száraz anyag
$\text{TOC}_{\text{eluat}}$	$\leq 250\ \text{mg/l}$

Lényeges a környezetvédeleml célkitűzés is, aminek fő összetevője a szag emisszió, a szivárgó víz és technológiai víz csökkentése. A másik igen fontos célkitűzés, hogy a hulladék felhasználónak, kezelőjének a legnagyobb mértékben minimalizálni kell a lerakásra kerülő maradék anyag mennyiségét.

Németországban mintegy 26 MBS-üzem (német röv. MBA) működik, összesen 1,7 millió t/év kapacitással [13].

47. táblázat. A másod-tüzelőanyaggal szemben támasztott (német) követelmények [11] és [12] szerint

Paraméter	Egység	Előírás
Nedvességtartalom	%	10,2 ⁽¹⁾
Fűtőérték	kJ/kg	16 000
Cl	%	0,2 ⁽¹⁾
F	%	0,0 ⁽¹⁾
S	%	0,3 ⁽¹⁾
Nehézfémek – I		
Cd	mg/kg _{száraz}	4,0
Hg	mg/kg _{száraz}	0,6

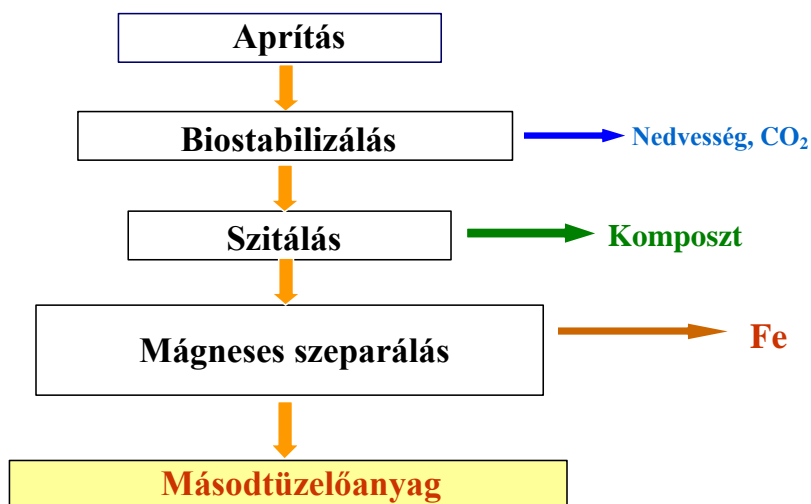
Paraméter	Egység	Előírás
Tl	mg/kg _{száraz}	1,0
Nehézfémek – II		
As	mg/kg _{száraz}	5
Co	mg/kg _{száraz}	6
Ni	mg/kg _{száraz}	80
Se	mg/kg _{száraz}	3
Te	mg/kg _{száraz}	3
Nehézfémek - III		
Sb	mg/kg _{száraz}	25
Pb	mg/kg _{száraz}	190
Cr	mg/kg _{száraz}	125
Cu	mg/kg _{száraz}	350
Mn	mg/kg _{száraz}	250
V	mg/kg _{száraz}	10
Sn	mg/kg _{száraz}	3
Be	mg/kg _{száraz}	0,5

Hazai nagyüzemi kísérleti vizsgálatok

1. A kísérleti vizsgálatok helyszínhelye

Az üzemi kísérletek helyszíne a Polgárdi lerakó volt. A szóban forgó Polgárdi hulladéklerakót a Vertikál Rt. üzemelteti, melynek fő tulajdonosa a Polgárdi Város Önkormányzata. A Vertikál Rt. jelenleg 60 településen folytat a hulladék-begyűjtési tevékenységét, mely részben vagy egészben három megyére terjed ki.

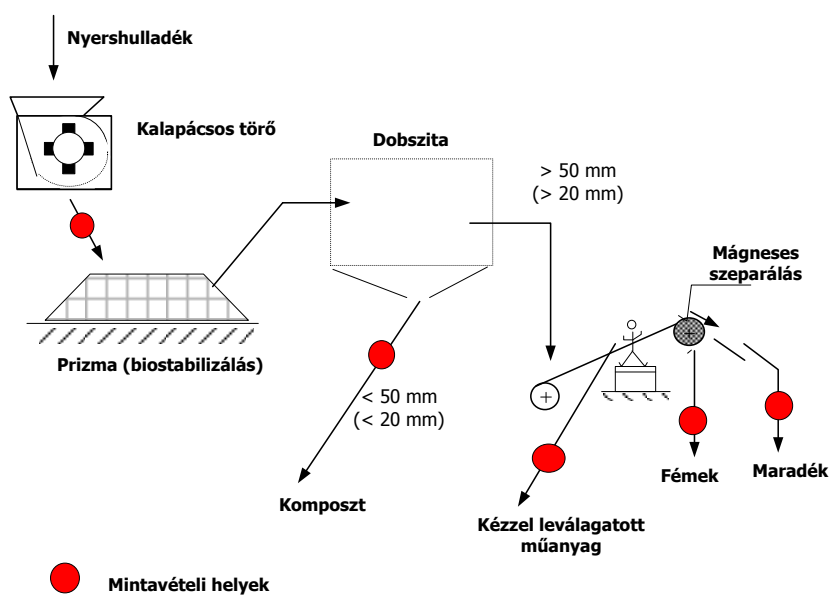
2. Technológiai folyamat [16]



149. ábra. A Polgárdi lerakón alkalmazott biológiai-mechanikai stabilizálás technológiai vázlatja

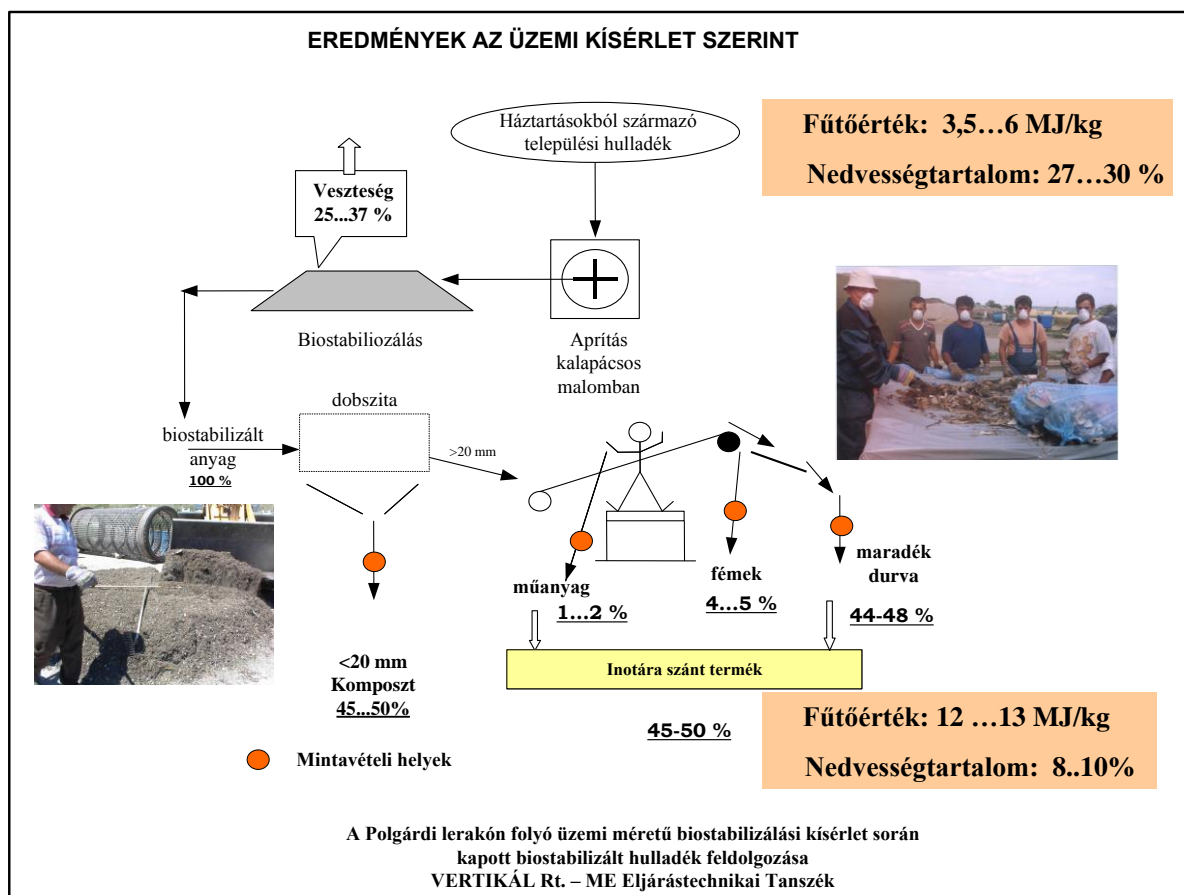
3. A hazai üzemi méretű mechanikai-biológiai stabilizálás eljárás technikai tapasztalatai

A technológiai folyamat valamennyi anyagáramából az ismertetett módon a **150. ábra** feltüntetett helyeken mintát vettünk. A mintavétel a hulladéklerakó területén belül, a leaszfaltozott udvaron történt 2002. március 29-én, május 8-án, május 14-én, június 20-án, valamint július 24-27-én és augusztus 25-29-én került sor. A mintákat elsőként (a megfelelő mintacsökkentést követően) szemcsefrakciókra bontottuk, majd meghatároztuk a frakciók anyagi összetételét, a halmazsűrűségét, a nedvességtartalmát, a fűtőértékét és a hamutartalmát az új kísérleti kazánnal, valamint a kazán hamujának és füstgázának kémiai összetételét [16]. A továbbiakban az értékelés csak a legfontosabb eljárás technikai jellemzőkre terjed ki.



150. ábra. Mintavétel az üzemi mechanikai biostabilizálás során

Ezekre vonatkozó eredményt összefoglalóan a **151. ábra**, valamint a **48. táblázat** és **49. táblázat** mutatja be.



151. ábra. A polgárdi lerakón folyó üzemi méretű biostabilizálási kísérlet

Az adatokból megállapítható (**151. ábra**,):

- Az aerób biológiai lebontás során 20...40 %-a csökken a hulladék mennyisége, víz és széndioxid távozik el (**151. ábra**,).
- A stabilizáltban legnagyobb tömeghányadot - 45...50 %-ot - a komposztszerű finom (<20 mm) rész képezi.
- Az éghetőben dús nehezen, ill biológiailag nem lebomló szerves durva (>20 mm) termék adja a másik tetemes (kb. 45 %-ot képviselő) részt. Ebben a nedvességtartalom 27...30 %-ról 8...10 %-ra csökken, miközben a fűtőérték 3,5...6 MJ/kg -ról 12...13 MJ/kg -ra nőtt (a jelzett nedvességtartalom mellett).
- A fémek 4-5 %-al vesznek részt az anyagmérlegben.

Eljárás technikai szempontból igen fontosak a részletek, nevezetesen a szemcsefrakciók tulajdonságai. Megállapíthatók (**48. táblázat** és **49. táblázat**), hogy

- a fűtőérték a szemcsemérettel szignifikánsan nő (**48. táblázat**), miközben a hamu- és nedvességtartalom ellenkező képet mutat: a kisebb méretfrakciókban nő meg;
- mindegyik egyértelmű magyarázattal szolgál a **49. táblázat**: az anyagi összetétel szempontjából két legfontosabb anyagcsoport, nevezetesen a leghasznosabb éghető anyagok (műanyagok, textil, papír) és az ásványos (kőzet +komposzt) rész, eltérően helyezkedik el (eltérően rendeződik el) a stabilizált anyag szemcseméret-frakcióiban; a >50 mm szemcsefrakciók éghetőben növekvő módon dúsabb, a < 50 mm szemcsefrakciók jórészt kőzet és komposzt (egyéb) szemcsékből állnak.
- Az anyagi összetétel vonatkozásában kiemelésre érdemes továbbá, hogy
 - a műanyag és a textil a legnagyobb méretű frakcióban (> 100 mm),
 - a papír a közepes szemcseméret-frakcióban (20...100 mm),
 - a komposzt pedig a legkisebben (< 20...50 mm) dúsul.

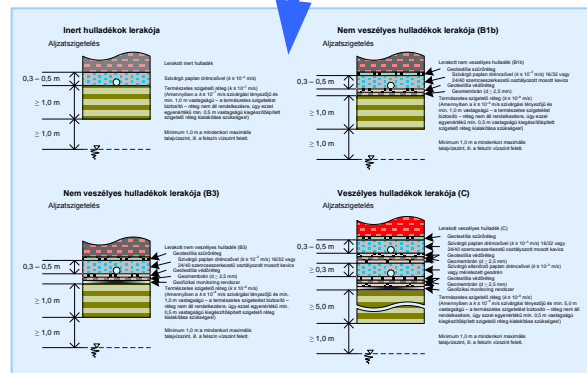
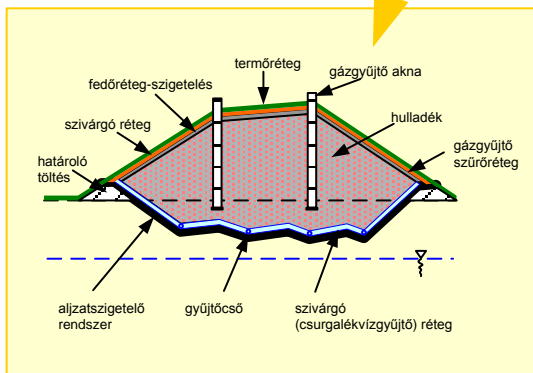
A **48. táblázat** és **49. táblázat** adataiból az is egyértelműen kitűnik, hogy a szemcseméret alkalmas megválasztásával a tüzelőanyag-termék minősége (fűtőértékre, hamu és nedvességtartalma) szabályozható – mindezt az előzetes (biostabilizálás előtti) vagy utólagos (stabilizálás után) aprítással is befolyásolhatjuk.

48. táblázat. Szemcsefrakciók eljárás technikai jellemzői (2002 július 24)

BIOSTABILIZÁLT HULLADÉK				
Szemcse- méret x, [mm]	Tömeg eloszlás [%]	Fűtő- érték MJ/kg	Nedvesség tartalom [%]	Hamu- tartalom [%]
<50	54,09	6,33	10,59	41,2
50 – 150	34,72	12,94	6,14	25,7
>150	11,19	20,43	3,33	27,5
Σ	100,00	10,20	8,23	34,3
Σ mért		11,79		32,9
<i>Vegyes kemény műanyag</i>				
Σ mért		36,17	0	3,7
NYERSHULLADÉK				
		Fűtőérték MJ/kg	Nedvességtartalom [%]	Hamutartalom [%]
Σ mért		5,79	26,86	29,8

49. táblázat. Szemcsefrakciók anyagi összetétele

Szemcseméret [mm]	Tömeghányad [%]	2002. július 24-i mérés		Száranyagra vonatkoztatott fűtőérték, F ₀ , [MJ/kg]
		Tömegarány, [%]		
		Műanyag + textil + papír	kő + egyéb	
> 200	60...50	81,17	7,22	21,22
150 – 200		77,59	12,87	
100 – 150		79,10	9,86	
50 – 100		61,20	23,71	
20 – 50	40...50	41,44	42,30	7,37
12 – 20		19,13	66,29	
8 – 12		12,12	80,60	
< 8		0...10	90...100	
Σ	100	53,41	33,88	



Irodalom

- [1] Pahl, M.H.: Erfassen, Lagern und Entsorgen von festen Abfallstoffen im Betrieb. Universität - GH – Paderborn
- [2] Brauer, H (Hrsg): Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Band 2, Springer, Berlin, 1995.
- [3] Csőke, B. – Olessák, D.: A hulladékgazdálkodás általános kérdései, alapelvei. Szakmai ismeretterjesztő füzetek a települési hulladékgazdálkodással foglalkozók számára (1. sz. füzet). Környezetvédelmi Minisztérium. 2002
- [4] Csőke, B. – Böhm, J.: A hulladék, mint nyersanyag. Miskolci Egyetemi Közleményei. A sorozat, Bányászat, 62.kötet. Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2002.p.: 9-34.
- [5] Wallmann, R. - Fricke, Kl.: Energiebilanz bei der Verwertung von Bio- und Grünabfällen und bei der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung. ATV-Handbuch. Ernst & Sohn A Wiley Company (Ed.: Loll, U). Hennef, 2001, ISBN 3-433-01470-1, p.385-388
- [6] Thomé-Kozmiensky, K.J.: Aufbereitungskonzepte für Ersatzbrennstoffe. Aufbereitungstechnik, Vol.43. 2002. Nr4. p.11-20
- [7] Fricke, K. –Müller, W. – Hake, J. - Turk, T. – Wallmann, R. – Ziehmann, G. – Müller, G.: Verfahren und Aggregate zur mechanischen Aufbereitung. Mechanische und biologische Verfahren der Abfallbehandlung. ATV-Handbuch. Ernst & Sohn A Wiley Company (Ed.: Loll, U). Hennef, 2001, ISBN 3-433-01470-1, p.149-205
- [8] Haug, T.R.: Compost Engineering. Ann Arbor Science Publ. Inc. Michigan, 1980.
- [9] Niederdränk, J.- Wirtgen, Chr. – Heil, J.: Untersuchungen zur thermischen Veredlung mechanisch-biologisch aufbereiteter Restabfälle. Aufbereitungstechnik, Vol.44. 2003. Nr. 2. p.32-39
- [10] Recycling - Metals 2001.p.62.1 -62.13.
- [11] Wengenroth, K.: Betriebserfahrungen mit der Aufbereitung von Sekundärbrennstoffen beim Herhof-Trockenstabilat-Verfahren. Bio- und Restabfallbehandlung V (biologisch-mechanisch-thermisch). Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen-Institut. (Hrsg.: Wiemer, K.- Kern, M.), ISBN 3-928673-34-3, 2001, p .383-400
- [12] Flamme, S. – Gallenkemper, B.: Anforderungen an gütegesicherte Sekundärbrennstoffe aus der Sicht der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e.V. Bio- und

Restabfallbehandlung V (biologisch-mechanisch-thermisch). Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen-Institut. (Hrsg.: Wiemer, K.- Kern, M.), ISBN 3-928673-34-3, 2001, p .428-439

[13] Coburg, R. – Buer, T.: Derzeitige ind künftige Mengenpotentiale für die thermische Behandlung. Thermische Industrie- und Gewerbeabfallentsorgung. Stand und Entwicklun. Tagungsband des 13. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft im November 2000. Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.(Hrsg.: Dohmann, M.), 2001, ISSN: 0940-4511, ISBN 3-932590-65-1, p.1/1-18

[14] Puchelt, A. – Hofman, R. – Grünekee, C.E.: Die Trockenstabilatanlage Dresden. Bio- und Restabfallbehandlung V (biologisch-mechanisch-thermisch). Neues aus Forschung und Praxis. Witzenhausen-Institut. (Hrsg.: Wiemer, K.- Kern, M.), ISBN 3-928673-34-3, 2001, p .533-541

[15] KGI anyaga

[16] Mechanikai-biológiai eljárás techniai rendszer a szilárd települési hulladék kezelésére. (Zárójelentés). Készült a „Komplex kommunális hulladékkezelési rendszer kidolgozása” KMFP 00032/2001 pályázati projekt megvalósítása keretében. Vertikál Rt., Miskolci Egyetem Eljárás technikai Tanszék, Profikom Kft., Köztisztasági Egyesülés

[17] Csőke B.- Szűcs I.- Antal G. - Ferencz K.: Experimental Determination of Heat Value of Heterogeneous Fuels and Waste Materials. microCAD 2003. International Scientific Conference 6-7 March 2003, Miskolc

7.2 Elhasznált (roncs-) autók feldolgozása

Dr. Csőke Barnabás

7.2.1 Elhasznált autók mennyisége, részegységenkénti (alkatrészenkénti) szerkezeti és veszélyes anyagai

Magyarországon hozzávetőlegesen 150 ezer darab feldolgozásra váró elhasznált autó keletkezik. A statisztikai adatok szempontjából - hasonló nagyságrend miatt - célszerű az osztrák adatokat kiemelni. Azt elhasznált autómennyiséget (minden esetben személygépkocsiról van szó), amely a shredder-üzemekben jelentkezik a forgalmi engedélyezés szerint a forgalomból kivont statisztikai adatokból kiindulva becsülhető. A nemzetközi adatok szerint a forgalomból kivont autók 35...99 % jelenik meg az előkészítő üzemekben (shredder üzemekben) a többi alkatrészként a az adott országban vagy külföldön (főként a keleti országok) a bontóüzemekben kerül értékesítésre.

50. táblázat. Statisztikai adatok az a forgalomból kivont személygépkocsikról

Ország	Forgalomból kivont személygépkocsik száma (ezer darab)	A shredder-üzemekben megjelent személygépkocsik száma (ezer darab)	A shredder-üzemben megjelenő szgk.-k aránya (%)
Németország	3400	1200	35
Franciaország	1800	1300	72
Hollandia	284	282	99
Belgium	250	140	56
Ausztria	235	115	49

Részegység-, alkatrész- és anyag összetétel

Ausztriában Umweltmanagement-Verfahrenstechnik Neubacher&Partner G.m.b.H. cég az osztrák Környezetvédelmi Minisztérium és az érdekelt szakmai szervezetek megbízásából igen részletes anyagmérleg vizsgálatokat végzett működő bontó- és shreddert-üzemekben.

A gyártóktól szerzett adatok alapján elméleti részegység és anyagi összetételt (a részegység, anyag tömegében kifejezve) az 51. táblázat szemlélteti.

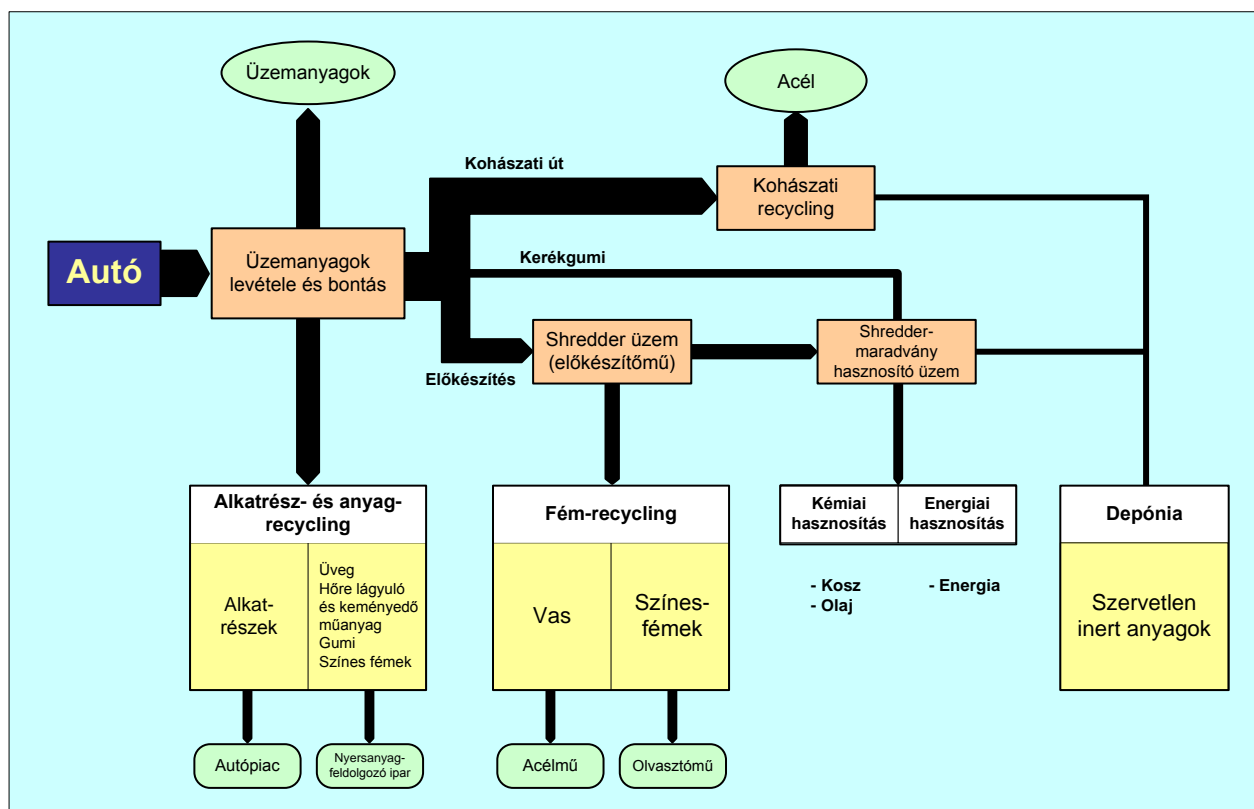
51. táblázat. Részegység-összetétel (elméleti adat)

Részegység/ anyag	Elhasznált autó
	Tömeg kg/szkg
Üzemanyag	4,00
Fékfolyadék	0,63
Kenő- és hidraulikai olajok	6,40
Hűtőfolyadék	6,30
Ablakmosó-víz	3,00
Folyadékok összesen	20,33
Motor/hajtómű	140,00
Kerék	35,50
Katalizátor	0,75
Hűtő	6,00
Porlasztó	1,50
Benzinszivattyú	0,20
Indítómotor	12,00
Ablaktörlő-motor	3,00
Hangszórók	2,00
Fényszórók	10,00
Ülőkárpit	6,00
Kéztámasz	3,00
Akkumulátor	15,00
Kis részegységek összesen	94,95
Kerékgumi	40,00
Szélvédő	35,00
Cu-kábel	6,00
Alumínium	3,00
Textil	20,00
Műanyag-részegységek	30,00
Gumi-részegységek	13,00
Biztonsági öv	0,80
Anyagok összesen	147,80
Maradék karosszéria	580,00
Összesen	983,08

7.2.2 Elhasznált autók bontási (előkezelés) technológiája, anyagmérlege és berendezése

Az elhasznált autók hulladékgazdálkodási rendszerét a **152. ábra** szemlélteti.

A teljes feldolgozási folyamat alapvetően három részből áll: előkezelés és előkészítés, maradványok ártalmatlanítása. Az előkezelést-bontást követően megmaradt, közvetlenül nem értékesíthető részt rendszerint mechanikai eljárásokkal un. shredder-üzemekben készítik elő. Az előkészítés során fajtiszta értékesíthető termékek előállítását a cél, és törekednek arra, hogy a lehető legkisebb mennyiségben képződjenek olyan féltermékek, maradványok, amelyeket valahol máshol kell továbbtisztítani és kezelni, vagy deponálni, ott okozva környezetterhelési (környezetszennyezési) problémákat.

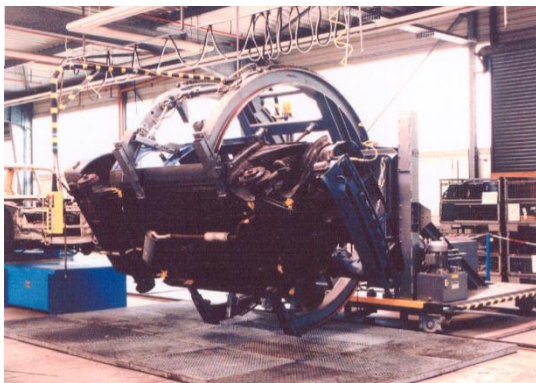


152. ábra. Autó-recycling

Előkezelés-bontás

Az előkezelés az alábbi műveleteket foglalja magába

- száraz állapotba hozás (üzemanyagok, kenőolajok, hűtő- és mosófolyadékok) elvétele (**153. ábra**)
- a levett folyadékok tárolása
- és a hasznosításra vagy ártalmatlanításra való átadása (és/vagy értékesítése);
- bontás: hasznosítható alkatrészek kiszérése bontószalagon (**154. ábra**),
- alkatrészek tárolása (**155. ábra**)
- és használt alkatrészek értékesítése,
- karosszéria összepréselése shredderezés vagy kohászati feldolgozás előtt (**156. ábra**).



153. ábra. Autó-bontóüzem (GAZ-HESE): száraz állapotba hozás (folyadékok leszívása)



154. ábra. Autó-bontóüzem: bontószalag (GAZ-HESE)



155. ábra. A kiszertelt használt alkatrészek az autó-bontóüzemben (GAZ-HESE)



156. ábra. Maradék-karosszéria préselése

Az osztrák cég valóságos anyagi összetétel-vizsgálatokat is elvégzett mind az előkezelő-bontó üzemben, mind pedig az előkészítőműben (shredder-üzemben). Az 52. táblázat a bontóüzem anyagmérlegét szemlélteti.

52. táblázat. 30 db hulladékautó bontásának anyagmérlege (átlagértékek).

Elnevezés	Tömeg, kg/szkg	Tömegarány, %
Tömeg a felvételnél	917,0	100,00
Üzemanyag	5,8	0,63
Fékfolyadék	0,3	0,03
Hűtőfolyadék	1,8	0,19
Mosófolyadék	0,7	0,07
Olaj	4,2	0,46
Kerék gumival	48,0	5,23
Indító akkumulátor	8,0	0,87
Katalizátor	0,3	0,03
Előkezelt gépkocsi shredderezésre	848,0	92,47

7.2.3 A shredderezés technológiája, anyagmérlege, berendezései

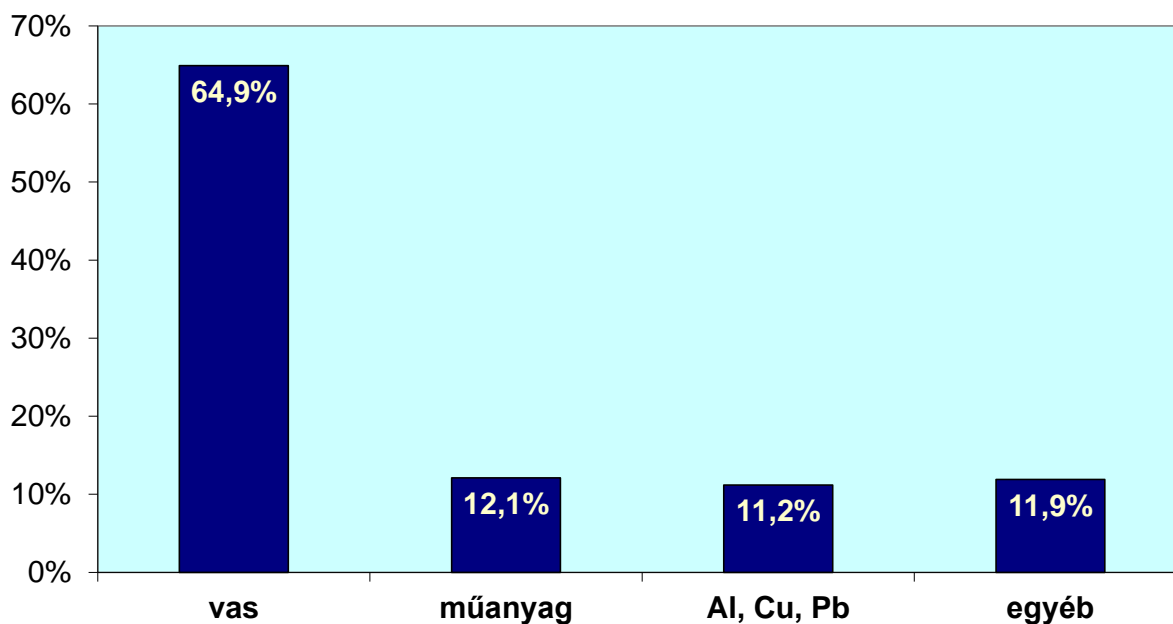
Előkészítés: feldolgozás fizikai-mechanikai eljárásokkal (un. shredder üzemben)

A teljes shredder-üzemi folyamat az alábbi műveleteket foglalja magába:

- aprítással és fizikai szétválasztási vas, nemvas-fémek és nemfémek (shredder-maradvány) termékek előállítására ;
- fémek értékesítése;
- shredder-maradvány ártalmatlanításra, esetleg hasznosításra való tovább adása, amely történhet: mechanikai eljárásokkal (a még hasznos fémek és műanyag kinyerése hasznosításra), kémiai vagy termikus úton (energia-hasznosítás kohóban, hulladék-égetőműben)

A **156. ábra.-158. ábra** az autók anyagakció fajta szerinti összetételét, azok fizikai tulajdonságait tüntetik fel. Az ábrákból kitűnik, hogy legnagyobb arányt (65%) a vas, ill. acél képviseli, jelentős az alumínium és a színesfémek aránya (10-12%), azonban a fémeknek a shredder-üzemben való leválasztásával olyan maradvány keletkezik, amelyben a műanyagok 40...60 %-ot képviselnek. Megállapítható továbbá, hogy az előkészítési technológiát - a vas kinyerését szolgáló mágneses szeparáláson túlmenően- főként sűrűség és elektromos tulajdonságbeli különbségre alapozott eljárásokból célszerű kialakítani.

AUDI80



157. ábra. Az autó szerkezeti anyagai

	Vezetőképesség $10^8 1/\Omega \cdot m$	Sűrűség $10^3 kg/m^3$
Aluminium	0,35	2,7
Réz	0,59	8,9
Ezüst	0,63	10,5
Cink	0,17	7,1
Ólom	0,05	11,3
Műanyag	-	0,8 ... 1,43
Gumi	-	1,5 ... 1,6

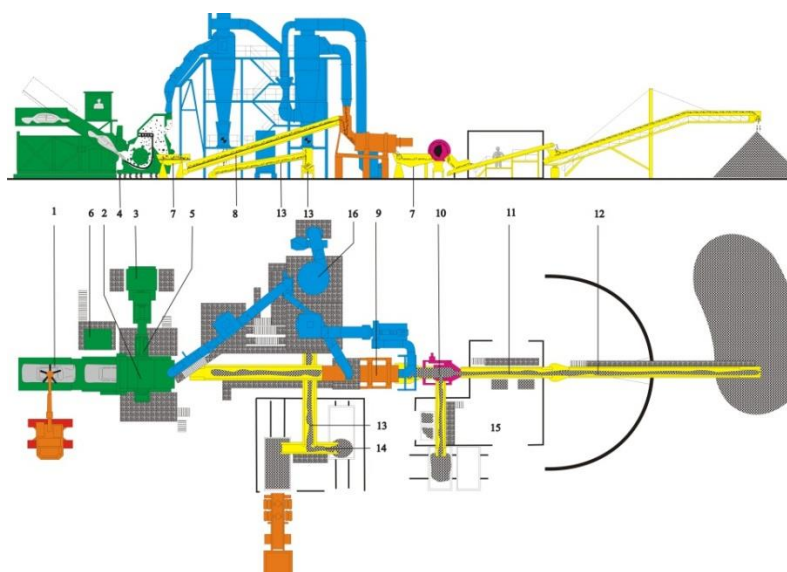
158. ábra. Az autó szerkezeti anyagainak fizikai tulajdonságai

Valamennyi folyamat több eljárással (és berendezéssel) valósítható meg. A főfolyamat a fémek leválasztása, az ezt megelőző (adagolás, aprítás, méret szerinti osztályozás) és ehhez kapcsolódó (levegő- és/vagy szennyvíztisztítás) folyamatok főfolyamatot szolgálnak ki vagy a környezetet védik. Egy nedves és egy száraz technológiai folyamatot a **159. ábra** és **160. ábra** mutat be.

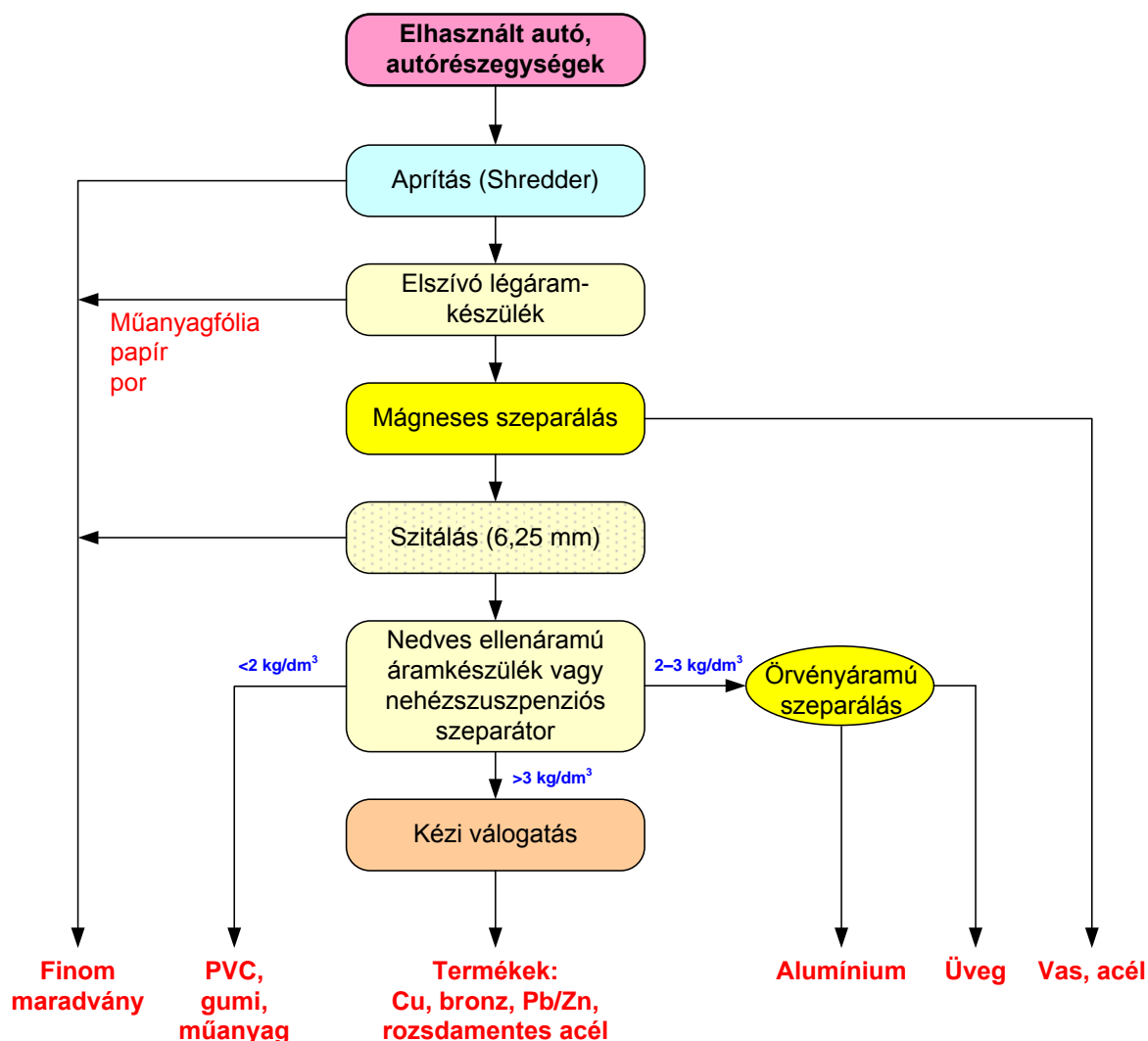
A LINDEMANN-féle száraz technológia folyamatban (6.2.8.ábra) a rakodógép az autórongsokat az kalapácsos shredder (2) billenő adagoló teknőjébe (1) helyezi, amely a rongsokat a törőgép garatjába juttatja. A kalapácsos törőhöz közvetlenül egy elszívó áramkészülék, valamint porciklon és porszűrő (16) csatlakozik a finom por, a legkönnyebben

elszívható papír, műanyagfólia, fa leválasztására és a kiporzás elkerülésére szolgál. A shredder töretét vibrációs adagoló (7) táplálja egy gumi szalagra (8), amely azt a keresztáramú (dobformájú) légáramkészülékhez (9) szállítja. A dob-áramkészülékben a kissűrűségű műanyag, gumi, fa, kátrány stb. szemcséket választják le. A fémekben dús nagysűrűség részt mágneses dobszeperatorra (10) adják fel a vasnak és acélnek a nem mágnesezhető fémektől való elválasztására. Mind mágneses, mind pedig a nemmágneses terméket kézi válogatásnak vetik alá. Az első esetben válogatószalagon (11) mágneses termékből a vas-, ill. acélgyártás szempontjából káros szennyezőket veszik ki, a második esetben (15) nemmágneses terméket rozsdamentes acélra és különböző színesfémekre (Pb/Zn, Cu, bronz, alumínium) válogatják szét. A shredder-üzem valamennyi termékét, a vas-acél kivételével, amit prizmába raknak le, konténerekbe gyűjtik.

A Newell-féle nedves dúsítási technológia szerint (**160. ábra**) a kalapácsos shredder töretét elsőként mágneses szeparálásnak vetik alá a vas-acél kinyerésére. A nemmágneses részből a későbbi nedves dúsítási folyamatot zavaró finom (<6,25 mm) szemcséket kiszitálják. Az így nyert nemmágneses durva anyagot nedves áramkészülékkel vagy nehézsuszpenziós szeparátorral három, <2 kg/dm³, 2 - 3 kg/dm³, >3 kg/dm³ sűrűségfrakciókra bontják. Ezzel a kissűrűségű (műanyagok, gumi, fa, papír, kátrány), a közepes (Al, üveg, kerámia) és a nagysűrűségű anyagokat választják el egymástól. A továbbiakban a közepes sűrűségű terméket örvényáramú szeparátorral vezető (Al) és nemvezető (üveg, kerámia) termékekre bontják. A nagysűrűségű terméket pedig kézzel rozsdamentes acélra és különböző színesfémekre (Pb/Zn, Cu, bronz) válogatják szét.



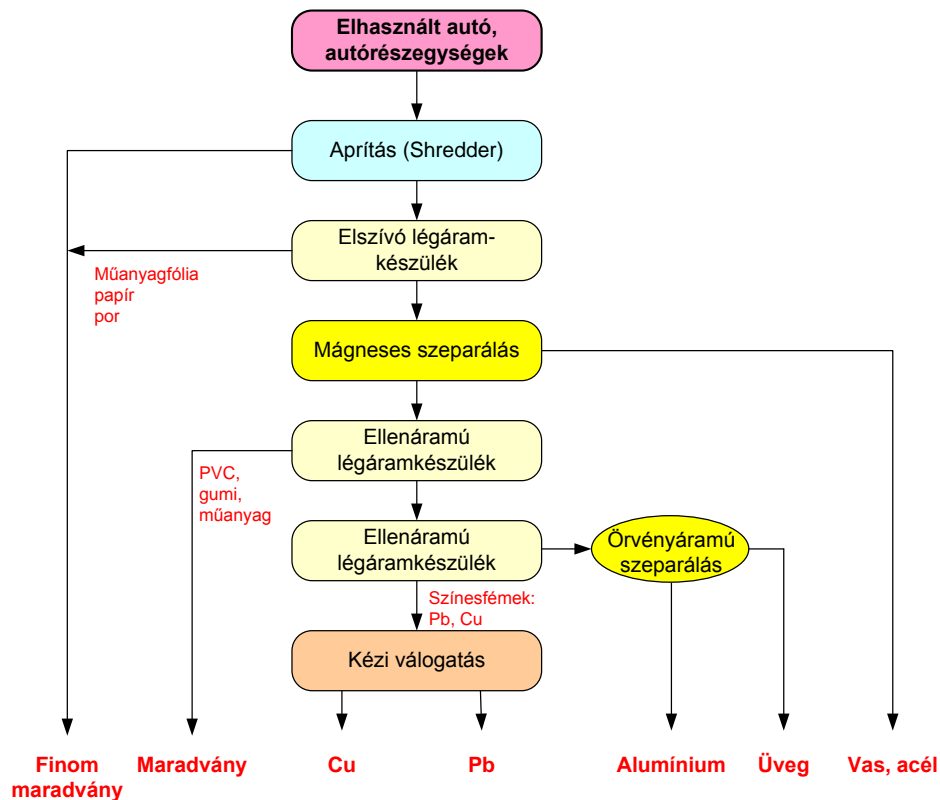
159. ábra. Száraz előkészítési technológia ([Lindemann Maschinenfabrik GmbH](#))



160. ábra. Autó-hulladék nedves előkészítés (Newell Industries Ltd)

Az előbbi Newel-technológiához teljesen hasonló száraz technológia is megvalósítható (161. ábra).

Látható azonban, hogy két kevert termék is keletkezik: a kis sűrűségű - főként műanyagokból, gumiból, festékszemcsékből stb. álló- un. maradvány, amelynek feldolgozása mechanikai, termikus vagy kémiai eljárásokkal is lehetséges. Gyakran egy, a színesfémekből álló nagysűrűségű termék is keletkezik. Ez utóbbi további szelektálása történhet kézi és gépi válogatással vagy kohászati úton, un. szelektív olvasztással.



161. ábra. Száraz előkészítési technológia

A technológiai lehetőségeket az alábbi táblázat foglalja össze:

ELŐKÉSZÍTÉSI TECHNOLÓGIAI LEHETŐSÉGEK

Az előkészítés technológiája az alábbi főbb folyamatokat foglalja magába:

- szétválasztást megelőző aprítás:

(kalapácsos shredderrel < 60...100 mm-re) és

- mágneses szeparálás: *vastermék*

- méret szerinti osztályozás (dobszitával),

- száraz vagy nedves eljárással 3 sűrűségfrakció

< 2 kg/dm³; könnyű shredder-maradvány: műanyag, gumi, fa, kátrány;

2-3 kg/dm³: üveg, *alumínium*;

és > 3 kg/dm³ : nehézfémek-frakció előállítás,

- a közepső sűrűség-frakcióból (2-3 kg/dm³) elektromos úton, örvényáramú vagy elektrosztatikus szeparálással alumínium-kinyerése,

- nehézfém-termék komponenseinek szétválasztása kézi vagy gépi válogatással, vagy magneto-hidrosztatikus szeparálással

Az **53. táblázat** pedig a shredder-üzem valóságos mérleg adatait találjuk meg.

53. táblázat. 90 db előkezelt hulladék-autó shredderezésnek anyagmérlege (átlagértékek)

Termék elnevezés	Tömeg, kg/szkg	Tömegarány, %
Tömeg a shredderezés előtt	749	100
Fe – termék	544	73
Nemvas-fém termék	75	10
• ebből értékesített	33	4
Shredder-üzemi maradék	172	23
• Könnyűtermék	130	17
• Nemvas-fém maradék (nem értékesített)	42	6

A további kezelést (esetleges további mechanikai előkészítés, termikus ártalmatlanítás, deponálást) Shredder-üzemi maradék veszélyes hulladék. Kémiai összetételét a **54. táblázat** közli.

54. táblázat. Shredderezési maradványok kémiai összetétele

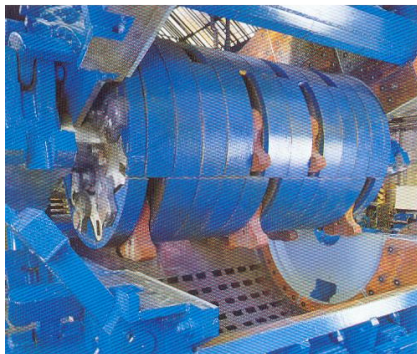
Paraméter	Egység	Shredderezési maradványok	
		Könnyűtermék	Nemvas-fém maradék
Nedvességtartalom	%	5,3	3,2
Szárazanyagtartalom	%	94,7	96,8
Illórszttartalom	%	56,0	67,5
Illó-maradék	%	44,0	32,5
C	%	38,1	54,0
H	%	4,9	6,0
N	%	0,9	0,9
F	%	0,0	0,1
Cl	%	1,7	2,1
S	%	0,4	0,8
Fűtőérték	kJ/kg	17960	22700
As	mg/kg száraz anyag	7,0	16,3
Pb	mg/kg száraz anyag	7330	15600

Paraméter	Egység	Shredderezési maradványok	
		Könnyűtermék	Nemvas-fém maradék
Cd	mg/kg száraz anyag	24,5	15,5
Cr	mg/kg száraz anyag	431	349
Cu	mg/kg száraz anyag	14100	10300
Ni	mg/kg száraz anyag	466	736
Hg	mg/kg száraz anyag	<2	<2
Zn	mg/kg száraz anyag	5750	13100
PCB	mg/kg száraz anyag	6	-

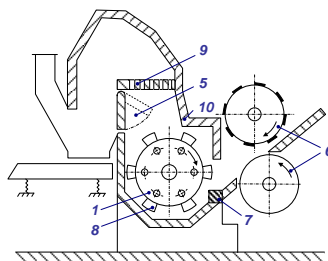
A technológiai folyamat fő berendezései

Aprítóberendezések

Az autófeldolgozó üzemek legfontosabb berendezése nyíró-kalapáctörő (**Hammer-Shredder**). E törőkben fontos szerepet tölt be a feladás-garatnál kialakított üllő (**162. ábra, 163. ábra**): a feladott hulladékfém az üllőn a nagy sebességgel (50..80 m/s) elhaladó kalapács révén nyírással-vágással aprózódik.



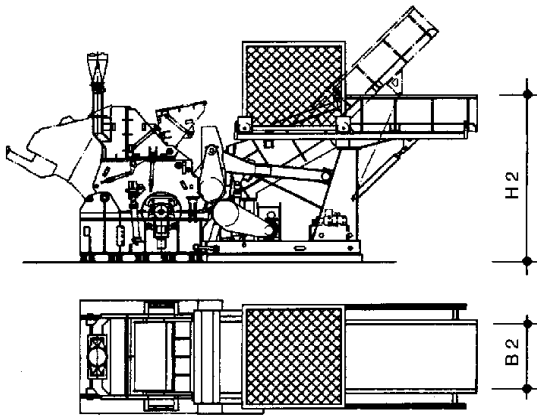
162. ábra. A kalácsos shredder alsó szítarúccsal



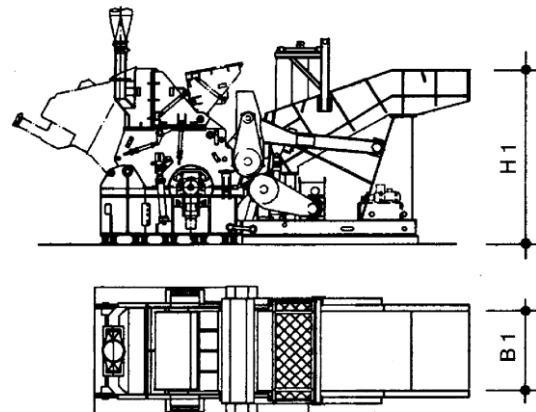
163. ábra. A kalácsos shredder felső szítarúccsal



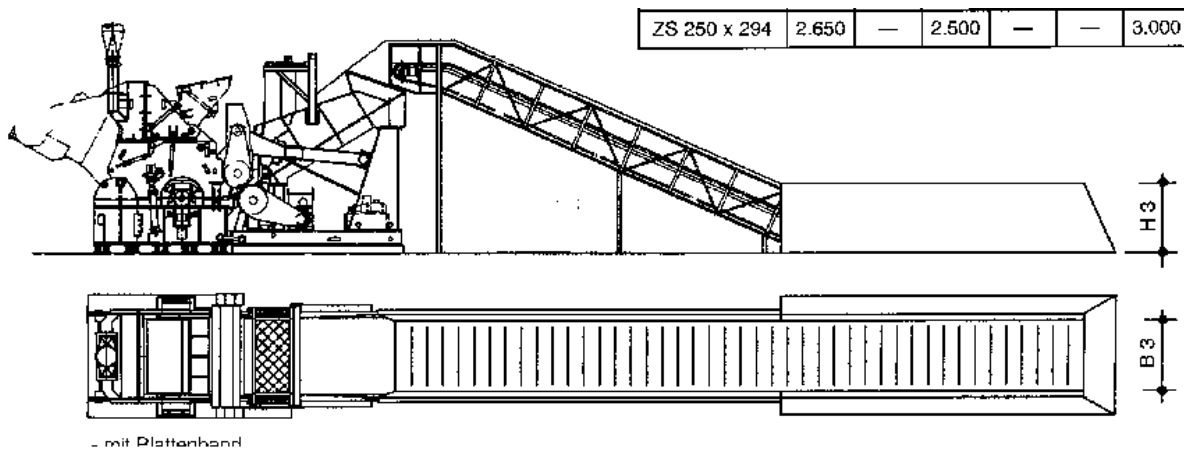
A **164. ábra – 166. ábra** a shredderek táplálásának módját szemlélteti.



164. ábra. A kalácsos shredder kialakítása és táplálása billenő adagolóval



165. ábra. A kalácsos shredder kialakítása és táplálása surrantó-adagolóval



166. ábra. A kalácsos shredder adagoló és felhordó lemeztagos szalagja

Szétválasztás komponensek fizikai tulajdonságbeli különbsége alapján: dúsítási eljárások

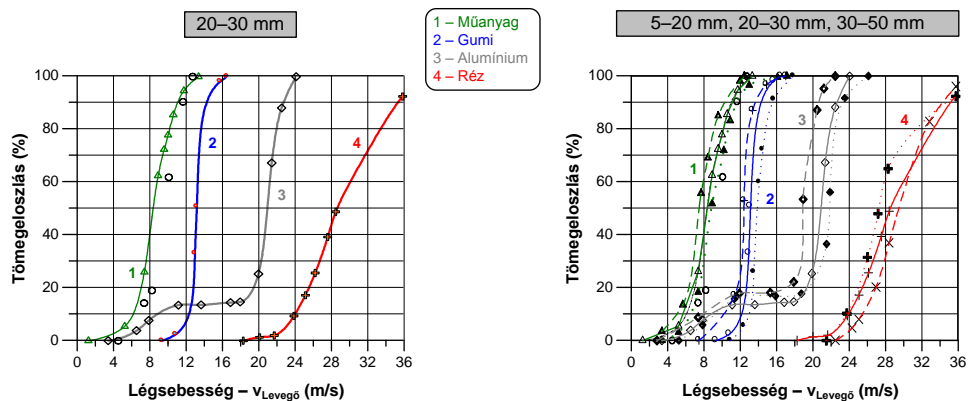
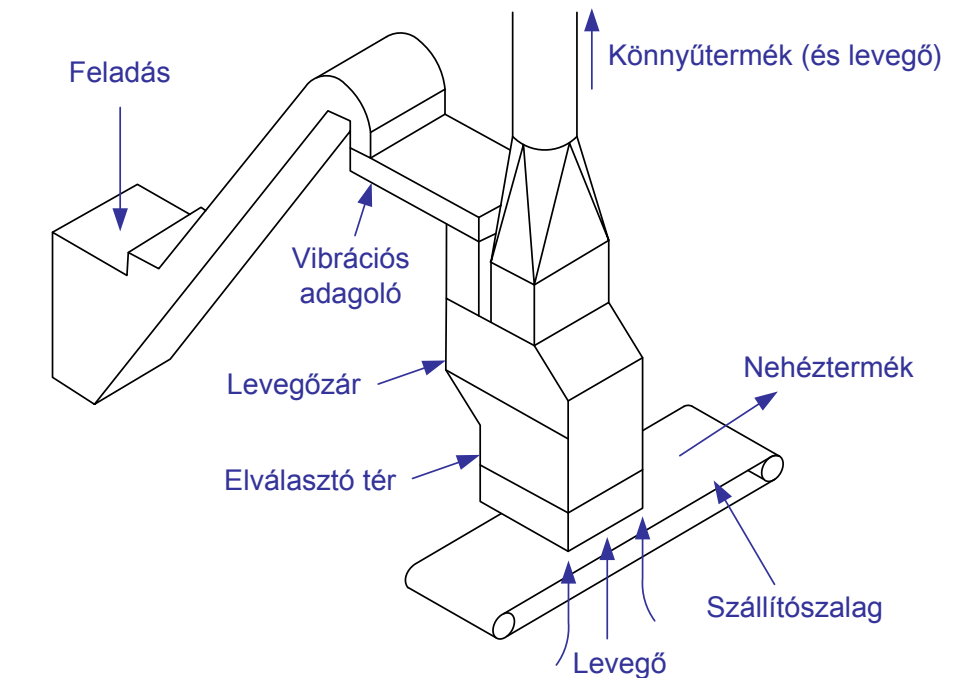
Az aprítással feltárt komponensek egymástól való szétválasztása a komponensek között meglévő fizikai tulajdonságbeli eltéréseken alapul. Ezeket az eljárásokat összefoglalóan dúsításnak nevezzük, mivel az adott komponenseket rájuk nézve nagy koncentrációjú termékekbe választjuk le

Az eszközökben leggyakrabban lévő alkotók főbb fizika, mechanikai jellemzői összefoglalva a 53. táblázat található, amelyek alapján a legkedvezőbb szétválasztási eljárás kiválasztható. A dúsítás rendszerint azon a anyagtulajdonságon alapszik, amelyben az adott szemcseméretnél legnagyobb az eltérés a szétválasztandó komponensek között. A fémtartalmú hulladékok

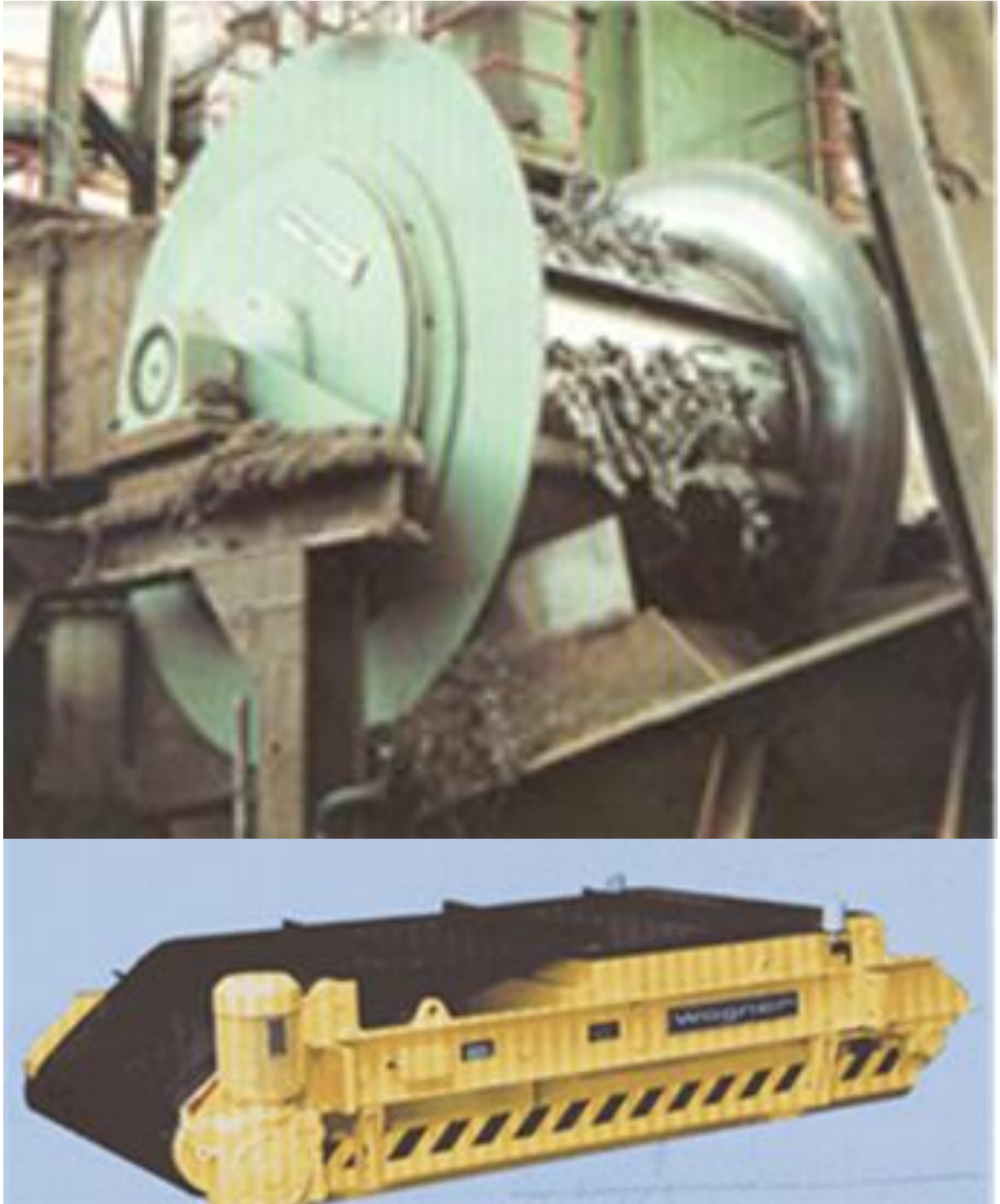
esetében a különböző alkotóanyagok szétválasztására elsősorban a sűrűség, a mágneses és elektromos tulajdonság eltérése alapján nyílik lehetőség (54. táblázat).

A dúsítás száraz eljárásokkal történhet:

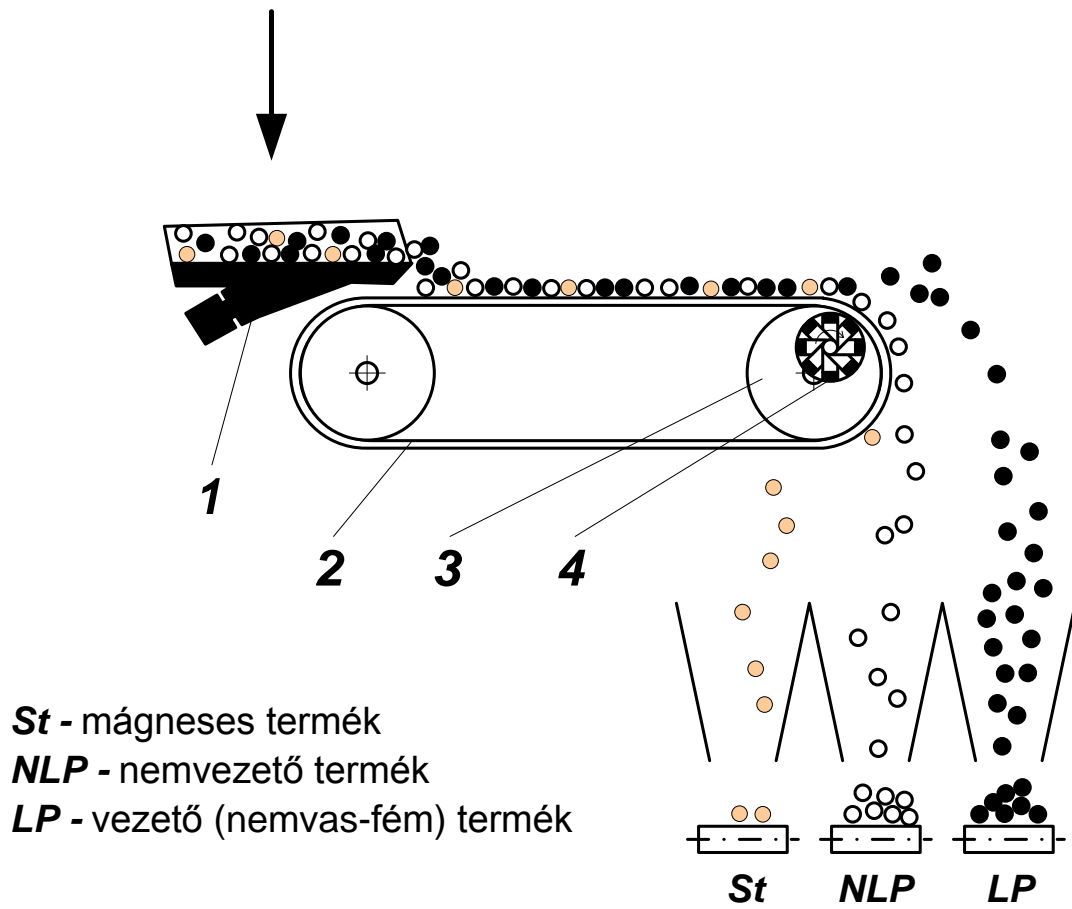
- kézi válogatással,
- sűrűség szerint légárammal száraz áramkészülékben (**167. ábra**),
- a vas leválasztása mágneses szeparátorokkal (**168. ábra**),
- a nemvas-fémek pedig örvényáramú szeparátorok alkalmazásával (**169. ábra**)



167. ábra. Ellenáramú légáramkészülék és a komponensek kihozatalának alakulása a légsebesség függvényében e felső termékben



168. ábra. Mágneses szeparátorok



169. ábra. Örvényáramú szeparátor

Irodalom

- [1] Terry J. -Veasey- Robert J.- Wilson: The Physical Separation and Recovery of Metals From Wastes. Copyright 1993. Amsterdam, ISSN 1066-2200; v.1.
- [2] Schubert,G.-Warlitz.G.: Sortierung von Metall-Nichtmetall-Gemischen mittels Koronawalzenscheider. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9, p. 449-456.
- [3] Schubert, H.: Wirbelstromsortierung - Grundlagen, Scheider, Anwendungen Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.11, p. 553-562.
- [4] Lindroos, J.B.- Stout, M.E.: The separation of mixed non-ferrou metals using thermal gravity classification (TGC). Conservati and Recycling, 10.k. 2/3. sz. 1987. p. 77-82.
- [5] Spalding, B.J.: A slick new way to recover gold from scrap. Chemical Week, 142. k. 23. sz. 1988. jun. 8. p. 31-32.
- [6] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 1 Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.2, p. 78-89.
- [7] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 2. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.7, p. 352-357.
- [8] Spaniol, H. - Koch, P.: Automatische Klaubung beim Werkstoffrecycling mittels Thermographie. XLVI. Berg- und Hüttenmännischer Tag Juni 1995, Freiberg, Kolloquium 8. Noell Abfall-und Energietechnik GmbH
- [9] Koch, P. -Köhler, F.:: Ergebnisse bei der Dichtesortlerung von Elektronikschrotten XLVI. Berg- und Hüttenmännischer Tag Juni 1995, Freiberg, Kolloquium 8. Noell Abfall-und Energietechnik GmbH
- [10] Salisbury, H.B.- Duchene, L. J. - Bilbrey, J. H..Jr.: Recovery of Copper and Associated Precious Metals From Electronic Scrap, RI 8561 Bureau of Mines Report of Investigations/1981.
- [11] Improved aluminium scrap recovery offers potential energy savings. = Materials Reclamation Weekly 148. k. 12. sz. 1986. aug. 9. p. 19-20.
- [12] Field III. F.R. - Clark. J. P.: Automobile Recycling: Environmental Policymaking in a Constrained Marketplace.JOM - Journal of the minerals metals and materials society 1994. Vol. 46. ISSUE 4. p. 17-21.

- [13] Young, S.B. - Vanderburg, W.H.: Applying Environmental Life-Cycle Analysis to Materials. JOM - JOURNAL OF THE MINERALS METALS AND MATERIALS SOCIETY 1994. Vol. 46. ISSUE 4. p. 22-27.
- [14] F.R. Field III.- Isaacs, J.A. - Clark, J. P.: Life-Cycle Analysis of Automobiles: A Critical Review of Methodologies. JOM - Journal of the minerals metals and materials society 1994. Vol. 46. ISSUE 4. p. 12-16.
- [15] Paul W. Gilgen: Aluminium in der Kreislaufwirtschaft. Erzmetall 44 (1991) Nr.6, p. 293-302.
- [16] Hartfeld, G.: Entwicklungsstand der Magneto hydrostatik-Separatoren . Aufbereitungs-Technik (1995) Nr.4, p. 224-233.
- [17] Csöke B.-Egyedi Cs.: Autóhulladék-komponensek száraz szétválasztásának kísérleti vizsgálata
BKL Kohászat, (1994) 127.évf. 11-12.sz. p. 478-481.
- [18] Hans J. L. van der Valk, Wijnand L. Dalmijn, Willem P.C. Duyvesteyn: Eddy-current separation methods with permanent magnets for the recovery of non-ferrous metals and alloys
Erzmetall 41 (1998) Nr.5, p. 266-274.
- [19] Rohstoff Rundschau, Separatoren für Nichteisenmetalle. Werk-Verlag Dr.Edmund Banaschewski GmbH, München-Fräfelfing.
- [20] A.D. Appleton and P.P. Dobbing: A discussion on some aspects of high gradient magnetic separation. Advances in Magnetic Materials and their Applications, 1-3 September 1976. International Research and Development Co. p. 65-68.
- [21] Morgan, D.G. - Bronkala, W.J.: The Selection and Application of Magnetic Separation Equipment. Part I. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 5-16.
- [22] Kopp, J.: Superconducting Magnetic Separators. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 17-32.
- [23] Superconducting High Gradient Magnetic Separation ..Australian Mining, 1998. may . pp. 43-58.
- [24] Szantho, E. Hildenbrand, H.:Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit von Mineralen und deren Ablenkung am Elektro-Walzenscheider. Aufbereitungs-Technik (1965) Nr.11, p. 637-645.
- [25] Dipl.-Ing. M. Güldenpfennig und Dipl.-Ing. K.Löhr: Sortierung vermischter Reststoffe gleicher Dichte auf dem Luftherd. Aufbereitungs-Technik 36 (1995) Nr.7, p. 314-320.

- [26] Ahlness, J. K. - Kirchner, J.C.: Electronic Ore-Sorting Tests on Native Copper Ore. RI 8490 Bureau of Mines Report of Investigations/1980.
- [27] Technische Grundlagen zur Umsetzung der Altfahrzeugrichtlinie in Österreich. UV&P.Ges.M.B.H. Bericht, Informationstand, Oktober 2001
- [28] Separatoren für Nectiesenmetallen. Rohstoff Rundschau.Werk-Verlag Dr. Edmund Banaschewski GmbH.München-Gräfelfing
- [29] Tchobanoglous, G.- Theisen, H. Vihil, S.: Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill, Inc. ,New York
- [30] Lanoir,D--Trouve, L.: Physical and chemical characterization of automotive shredder residues. Waste Management and Research. No.15.p.267-276
- [31] UV&P (UNWELTMANAGEMENT-VERFAHRENSTECHNIK NEUBACHER&PARTNER G.M.B.H.): Technische Grundlagen zur Umsetzung der Altfahrzeugrichtlinie in Österreich, WIEN, 2001

7.3 Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok feldolgozása

Dr. Csőke Barnabás

7.3.1 Elhasznált elektronikai, elektrotechnikai berendezések és eszközök csoportosítása, mennyisége, szerkezeti és veszélyes anyagai

Elektronikai és elektrotechnikai eszközökhöz tartozik minden olyan gép, készülék, amelynek működéséhez elektromos áram szükséges.

55. táblázat. Elektronikai és elektrotechnikai eszközök [12, 48]

Csoportosítás	Tartalom
Fogyasztást szolgáló eszközök	
Háztartási nagygépek (fehér áru)	Hűtőszekrények, hűtőberendezések, mosó- és szárítógép, mosogatógép, vasalógép, tűzhely
Háztartási kisgépek	Konyhai gépek (kávéfőző, pirító, keverőgépek, kenyérszeletelő), villanyborotva, órák, vasaló, elektromos fogkefe, zsebszámológép, mikrosütő, elektromos gyerekjátékok
Szórakoztató elektronika (barna áru)	TV-készülék, rádiók, videolejátszó, erősítők, hangosbeszélő, fejhallgató, mikrofon, lemezjátszó
Elektromos szerszámok	Kézi szerszámok: fűrőgép, körvágó, csiszológép, gyalugép
Információtechnikai eszközök	
Számítógép (EDV/PC) a privát háztartásból, az iparból és szolgáltatásból	személyi számítógépek (monitorral, tastaturával és egérrel)
Kommunikációs eszközök a privát háztartásból, az iparból és szolgáltatásból	telefon- és fax-készülékek, projektorok
Irodagépek, irodai eszközök	elektromos írógép, másológépek, diktafonok, nyomtatók, lámpák
Ipari (beruházási) eszközök	
Ipari elektronika	irányítástechnikai mérő és szabályozó eszközök
Nagyszámítógépek	Irányítástechnikai ipari nagyszámítógépek

Csoportosítás	Tartalom
Mérőeszközök	orvosi és laboratóriumi mérőeszközök
Elektromos szerszámok	kézi szerszámok: fűrőgép, körvágó, csiszológép, gyalugép
Gépkocsi-elektronika	Elektromos kijelzők, fedélzeti számítógép, elektromos szabályzók (fűtés, gyújtás stb.)
Katonai elektronikai eszközök	a haditechnika elektromos irányítástechnikai mérő és szabályozó, információ és kommunikációs eszközei, kis- és nagyszámítógépek

Ezek az eszközök a származási hely alapján lehetnek (**55. táblázat**):

- a fogyasztást (a háztartásokat) szolgáló eszközök,
- beruházási eszközök,
- információtechnikai, irodai és kommunikációs eszközök, amelyek az előbbi két területről egyaránt származhatnak.

A megfelelő bontási technológia kidolgozásához, a mechanikai aprítási és szétválasztási eljárások kiválasztásához, az előkészítési technológia kialakításához, valamint (értékesítés-hasznosítás ill.) a gazdaságossági kérdések vizsgálatához az alábbiak ismerete szükséges:

1. Az adott eszköz, eszközcsalád jellemző (időben is változó) felépítése (bontáshoz szükséges szerkezeti felépítés).
2. A részegységekbe beépített alkotóelemek, szerkezeti anyagok (fémek, műanyagok, fa, gumi, stb.) mennyiségi viszonyai.
3. Az előbbieket kémiai összetétele: ez esetben a káros, ill. veszélyes (pl. PCB, Hg, nehézfémek, freon, Cl, S), valamint az újrafelhasználást befolyásoló (ötvözőelemek), ill. gátló (pl. a műanyagok szívósságát, szilárdságát növelő, gyulladásgátló adalékok) alkotók ismerete különösen fontos.
4. A szerkezeti anyagok fizikai-mechanikai tulajdonságai: törési-apríthatósági, sűrűség, mágneses, elektromos, optikai, termikus, sugárzóképeségbeli stb. és fizikai-kémiai tulajdonságok.

Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok mennyisége

Magyarországon évente keletkező elektromos hulladék mennyiségét a főbb eszközökre az **56. táblázat** foglalja össze.

56. táblázat. Az évente kidobásra kerülő HEEB mennyisége (tonna) Magyarországon

Egy évben hulladékká váló mennyiség (tonna)	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Színes TV	6 285	6 387	6 484	6 576	6 663	6 747
Fekete-fehér TV	5 764	5 461	5 173	4 899	4 638	4 389
Videomagnó	1 883	1 917	1 950	1 981	2 010	2 038
Videokamera	122	139	157	176	196	217
Telefon	206	209	212	215	215	203
Mobiltelefon	70	81	92	105	118	132
Személyi számítógép	8 260	9 131	10 048	11 009	12 016	13 068
automata mosógép	10 313	10 880	11 468	12 079	12 712	13 367
hagyományos mosógép	6 838	6 571	6 303	6 036	5 769	5 501
mélyhűtő	7 967	7 948	7 928	7 909	7 890	7 986
hűtő	12 457	12 493	12 531	12 569	12 609	12 650
mikrosütő	5723,75	5889,68	6047,10	6196,84	6339,61	6476,03
Összesen	65 889	67 106	68 393	69 751	71 176	72 774

Ezt a vizsgálati elemzést (**56. táblázat**) a COWI Magyarország Kft által koordinált alábbi munka alapján készítette a BAYLOGI 2003 novemberében:

- Kormányrendelet és miniszteri rendelet tervezetének, gazdasági, társadalmi vizsgálati elemzésének elkészítése az EU elektromos és elektronikai berendezések hulladékkezelésére vonatkozó, 2000/0158 (COD9); és az elektromos és elektronikai berendezésekben levő veszélyes anyagok korlátozásáról szóló, 2000/0159 (COD) sz. irányelvek tervezetének magyarországi bevezetéséhez

Az elektromos és elektronikai berendezések hulladékaiból (HEEB) évente képződő hulladék mennyisége jelenleg 130-135 ezer tonna. Ennek várható növekedési üteme 5-10 %, amely nagymértékben függ a társadalom anyagi helyzetének alakulásától. A társadalom elektronikai termékek iránt igénye jelentősen nőhet a jóléti szint emelkedésével.

A múltból felhalmozott hulladék mennyisége 300-400 ezer tonna, amely az utóbbi évtizedben halmozódhatott fel. Valószínű, hogy a korábban elhasznált EE termékek már nem találhatók meg a háztartásokban, valamelyik hulladéklerakóra kerültek. Hozzávetőlegesen ennyi lehet a még „hozzáférhető” történelmi hulladékmennyiség.

Az elhasznált elektromos és elektronikus termékhulladékok a keletkező összes hulladékhoz viszonyítva nem képviselnek jelentős mennyiséget (kb. 5-6%). Ennek ellenére veszélyességük anyagtartalmuk miatt számottevő.

A Magyarországon a keletkező elektromos hulladék becsült megoszlását eszközök szerint a **57. táblázat** mutatja be.

57. táblázat. A főbb elektromos hulladékok tömegarányai Magyarországon (becsült)

Hulladékforrás, termék	Magyarország (2004)	
	Tömegarány %	Tömegarány %
Ipari eredetű		40
Lakosságtól származó	100	60
Háztartási nagygépek	54	32
Háztartási kisgépek	11	7
TV-készülék	17	10
Szórakoztató elektronika (** videokamera, videomagnó)	3**	2**
Információ technika (*számítógép, telefon, mobiltelefon)	13*	8*
Egyéb (pl. elektromos szerszámok)	2	1

Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok anyagi összetétele

Az elektromos és elektronikai eszközöket alkotó domináns anyagcsoportok:

- fémek: vas, nemvas-fémek (NE), nemesfémek,
- műanyagok,
- üvegek.

A főbb elektromos készülékek (hulladékok) szerkezeti anyagösszetételét foglalja össze az **58.** táblázat -**62. táblázat**.

58. táblázat. Főbb elektromos hulladékok szerkezeti-anyagösszetétele [12]

Eszköz	Eszközök tömegaránya [%]	Alkotórész-tartalom (tömegarány) [%]						Σ
		Fe	NE	Műanyag	NYÁK	Egyéb (üveg, fa)	Képcső	
Számítógép	7,8	30	20	30	15	5		100
TV/Monitor	13,0	8	5	10	9	12	56	100
Kommunikációs eszközök	4,4	25	15	37	17	6		100
Fehér áru	29,0	63	6	14	1	16		100
Háztartási kiskészülékek	8,3	24	16	52	2	6		100
Szórakoztató elektronika	6,3	30	13	32	9	16		100
Egyéb (ipari, irodai)	31,0	50	15	18	15	2		100
Σ	100,0	43	11	21	9	9	7	100

59. táblázat. Színes TV-k anyagi összetétele [12]

Anyag	Tömegarány, [%]
Képcső (üveg)	56
Műanyag	10
Fe	8
NE-fémek	5
Elektronikai alkatrészek (pl. NYÁK)	9
Maradék hulladék	12
Σ	100

60. táblázat. Színes képcső felépítése [12]

Anyag	Tömegarány, [%]
Képernyőüveg	63,30
Kónusz üveg	23,80
Fém-részekységek	12,10
Katódsugár előállító	0,44
Világító anyagok	0,03
Egyéb	0,43
Σ	100,00

61. táblázat. Színes képcső világító réteganyag összetétele [12]

Elemek	Tömegarány, [ppm]
Kálium	750
Kén	270
Cink	220
Ólom	110
Bárium	100
Kadmium	81
Alumínium	75
Yttrium	19
Vas	13
Titán	7
Mangán	6
Kalcium	6
Foszfor	2,6
Európium	1,5
Nikkel	1,2
Réz	1
Króm	1
Stroncium	1
Higany	nyomokban

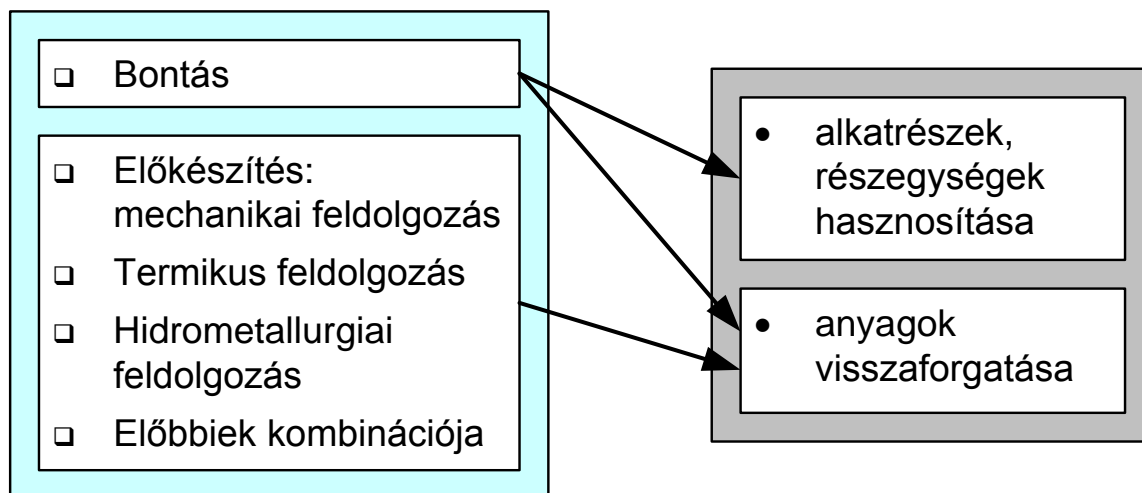
62. táblázat. NYÁK anyag-összetétele [12]

Elemek	Tömegarány, [%]
Műanyagok	19
Bróm	4
Üveg, kerámia	49
Fém	28
fémből	
Réz	10...20
Ólom	1...5
Nikkel	1...3
Ón	0,8...0,9
Vas	0,5...10
Cink	0,3...0,4
Ezüst	0,05...0,3
Palládium	0,004...0,03
Arany	0,003...0,045

7.3.2 Elhasznált eszközök bontási technológiája, anyagmérlege és berendezése

Az elektronikai hulladékok feldolgozása általános folyamata

Az elektronikai hulladékok feldolgozására számos út kínálkozik: az alábbi ábra e lehetőségeket és egymáshoz való kapcsolatukat mutatja be.



170. ábra. Elektronikai hulladékok feldolgozása

A *mechanikai feldolgozás* a veszélyes és hasznos építőelemek kinyerését szolgáló bontást, valamint rendszerint a bontást követően a kiszertelt részegységek egy vagy többlépcsős aprítását és a szerkezeti anyagok egymástól való elválasztását foglalja magába annak érdekében, hogy a

komponensek (un. szerkezeti anyagok) egymástól megszabaduljanak (fizikailag feltárodjanak) és fizikai tulajdonságbeli különbség alapján történő szeparálást megvalósulhasson.

A termikus út különösen előnyös a könnyen illó fémek cink, kadmium, lítium leválasztására, mint pl. az akkumulátorok feldolgozásakor. Általában előnye, hogy a komponensek feltárására nincs zavaró hatása a fém – műanyag belső kapcsolatnak. Hátránya, hogy a halogéntartalom dioxin-képződéssel jár, amit a megfelelő füstgáz-tisztítási eljárással kell ellensúlyozni. A pirometallurgia emellett a legnagyobb környezeti kockázattal jár (levegőre, valamint a salak révén a talajra), emiatt az ilyen üzem telepítésének terve rendszerint jelentős lakossági aggodalmakat, tiltakozásokat von maga után.

A hidrometallurgia eljárásai - a komponensek savas vagy lúgos kémiai feltárása, amelyet szeparáció, mint pl. szelektív kikristályosítás, kicsapatás, ioncsere, elektrolízis [21]- a leghatásosabbak, mivel valamennyi komponens kinyerését biztosítja és a legkevesebb (lerakandó) szilárd maradékanyag keletkezésével jár. Másoldalról viszont a maradéklúg és az értéktelen csapadékok kezelése jelentős hátrány.

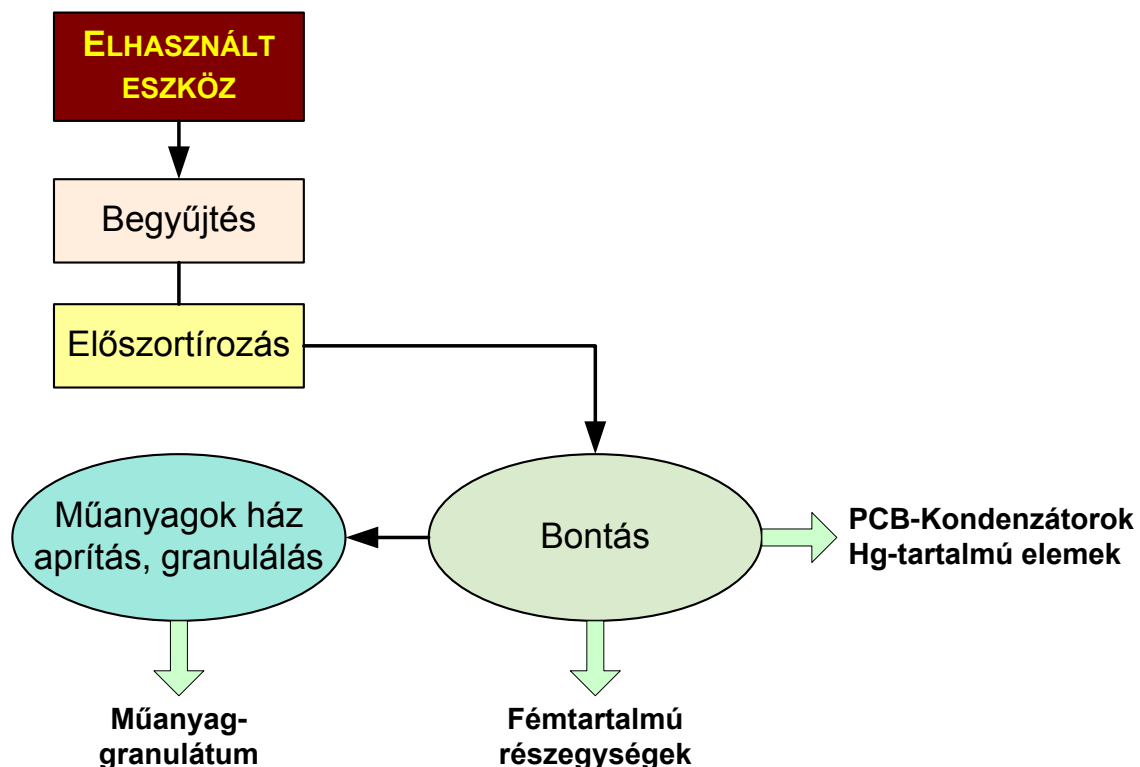
Valamennyi technológiai úton vannak tehát megoldásra váró feladatok a piro- és hidrometallurgiai út gazdaságosságát alapvetően meghatározza a nyershulladék fémtartalma, amelyre az elektronikai hulladékoknál fokozatos csökkenés a jellemző. Emellett nő e hulladékok (a típust, a méretet, az alkotókat, a felhasznált anyagokat tekintve) heterogenitása és bonyolultsága. Mindezek különösen fontossá teszik a mechanikai előkészítést: típus és összetétel szerint előzetes szortírozást, aprítást és dúsítást a "ballaszt" anyagok leválasztására, fémekben dús koncentrátum előállítására.

Bontás

Az elhasznált eszközök (elektronikai készülékek, elektrotechnikai berendezések, háztartási eszközök, autó, akkumulátorok, elemek stb.) újrahasznosításának feltétele, hogy a felépítő szerkezeti anyagaik (fémek fajtánként, műanyagok fajtánként, papír, textil, üveg stb.) fajtatisztán egymástól elkülönítve álljanak rendelkezésre a másodnyersanyagként történő feldolgozásra, felhasználásra. Az egyes komponensek - azaz az eszközöket felépítő anyagok, az ún. mérnöki szerkezeti anyagok- szétválasztása fizikai-mechanikai úton három módon lehetséges:

- 1) szelektív bontás: részegységekre, alkatrészekre, anyagfajtákra való szétszerelés,
- 2) aprítás után történő szelektív gépi szétválasztás,
- 3) kombinált eljárás, bontás és aprítás gépi szétválasztás egymást követő alkalmazása.

Az elhasznált eszközök feldolgozása ma komplett rendszert alkot. A folyamat decentralizált gyűjtéssel kezdődik (**171. ábra**).



171. ábra. Elhasznált eszközök bontási technológiája

A begyűjtést, előszelektálást centralizált vagy decentralizált bontás követi, amely során a főbb részegységek és a veszélyes anyagokat hordozó építőelemek, ill. eltérő további feldolgozást igénylő részegységek, építőelemek kiszerelese és elkülönítése történik (**172. ábra**).

A rendszerint **bontó asztalon vagy szalagon manuálisan megvalósított szelektív bontás** során az eszközt a további feldolgozás (azonos technológiai folyamatban való tovább feldolgozás lehetősége) szempontjait is figyelembe vevő építőelemekre (részegységekre, alkatrészek) szerelik szét. Az építőelemek, részegységek teljes anyagfajta szerinti szétszerelése csak elenyésző esetben valósítható meg: vagy fizikailag nem lehetséges a megbontás, vagy gazdaságossági okok miatt nem alkalmazható.

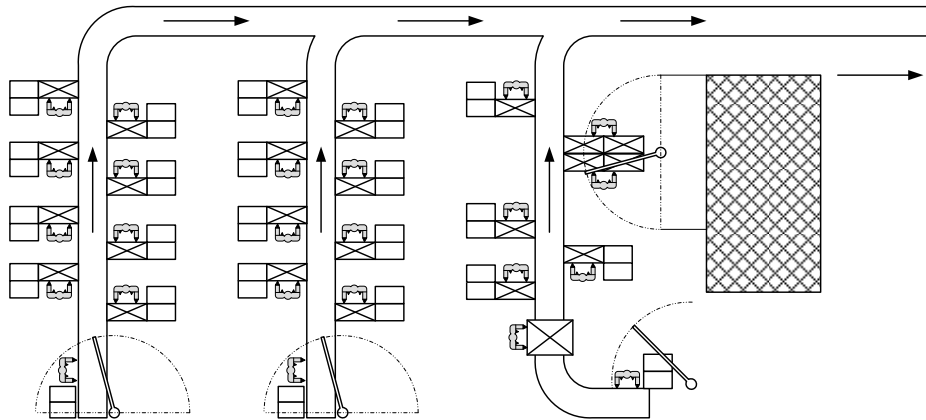
A bontás többlépcsős folyamat, amely:

1. a veszélyes anyagokat tartalmazó részegységek, (kondenzátorok, akkumulátorok), ill. a veszélyes anyagok kinyerésével (folyadékok leszivattyúzása, ld. hűtőszekrényeknél és az autóknál az üzemanyagok és hűtőfolyadékok) kezdődik;
2. ezt követően a nagyobb –elsősorban a homogén anyagi összetételű- részegységek kiszerelese (elektronikai hulladékoknál pl. képernyő, fém- és műanyagházak, és más nagyobb műanyag építőelemek, autóknál motor, sebességváltó, szélvédő, stb.) történik;
3. relatíve nagyobb elektronikai részegységek, esetleg alkotórészek (meghajtók transzformátorok, kábelek, vezetőlapok, dugasz, stb.) kiszerelesével folytatódik;
4. az ezt követő lépcsőben következhet az alkatrészekből, részegységekből a szerkezeti anyagok kiszerelese, amelyre azonban valójában ritkán kerül sor.
- 5.

Jellegzetes bontómunkahely-kialakítást mutat be a **172. ábra- 173. ábra**.



172. ábra. Bontó munkahelyek (GAZ-HESE), [P.9]



173. ábra. Bontószalag (GAZ-HESE) , [P.9], [75]

Megfigyelhető, hogy a különböző tömegű eszközök bontására külön-külön szalag áll rendelkezésre, amelyek mellett bontómunkahelyeket alakítanak ki. A szalag gumí vagy görgős kivitelű. A munkahelyeket termék-tároló kosarak (konténerek) veszik körül, amelybe a lényegében azonos összetételű alkatrészek, részegységek kerülnek

7.3.3 Mechanikai eljárásokkal történő feldolgozás (előkészítés) technológiája, anyag-mérlege és berendezései

A 63. táblázat bemutatja a megfelelő fizikai feltárás érdekében szükséges aprítás mértékét a különböző elhasznált eszközökre. Látható, hogy a szerkezeti anyagok közötti finomabb kapcsolatok finomabb aprítást igényelnek. A komponensek megfelelő feltárását rendszerint csak többlépcsős aprítással érhetjük el.

63. táblázat. Az aprítás szükséges mértéke a fizikai feltárás érdekében

Hulladékfajta Főrés	Aprítás minimális felső határ-szemcsemérete ,[mm]
Közepes méretű készülékek	30
Háztartási kiskészülékek	15...20
Telefon	5
Komputer	2
Chipek	1
Fémvezetővel rétegelte műanyaglapok	0,5

A 64. táblázat és 65. táblázat a hulladékaprítás gépeit tüntették fel alkalmazási területükkel. Látható, hogy a fémtartamú hulladékok aprításában (tekintettel komponenseikre) forgótárcsás nyíró-aprítógép, a kalapácsos nyíró-aprítógép (hammer-shredder), valamint a vágómalom kitüntetett szerepet játszanak.

64. táblázat. Az aprítóberendezések alkalmazása a hulladékaprításban területe: nyíró-aprítógépek

Törési viszonyok	Alkalmazható aprítógép	Alkalmazási példák
Szívós (nyírási) törés	Kalapácsos törő (kalapácsos shredder törő)	– Könnyű acélhulladék (Elhasznált háztartási eszközök: hűtőszekrény, mosógép, stb, autó) – Elektrotechnikai és elektronikai hulladék – Háztartási hulladék
	Vágómalom (rendszerint több lépcsős)	– Kábelhulladék
	Forgótárcsás nyíró aprítógép durva, ill. előaprítás	– Könnyű acélhulladék (Elhasznált háztartási eszközök: hűtőszekrény, mosógép, stb.) – Elektrotechnikai és elektronikai hulladék (durvaaprítás) – Kábelhulladék

65. táblázat. Az aprítóberendezések alkalmazása a hulladékaprításban területe: nyíró-aprítógépek

Törési Viszonyok	Alkalmazható aprítógép	Alkalmazási példák
Rideg törés a) normál hőmérsékleten	Pofástörő	– Elektromotorok (kis és közepes méretű)
b) Kriogén aprítás	Kalapácsos törő (normál kalapácsos t.)	– Elektromotorok (kis és közepes méretű) – Kábelhulladék
	Prall-malom	– Kábelhulladék

Szétválasztás komponensek fizikai tulajdonságbeli különbsége alapján: dúsítási eljárások

Az eszközökben leggyakrabban lévő szerkezeti anyagok főbb fizika, mechanikai jellemzői összefoglalva a **66. táblázat** található meg, amelyek alapján a legkedvezőbb szétválasztási eljárás (ld. összefoglalóan **66. táblázat**) kiválasztható. A dúsítás rendszerint azon az anyagtulajdonságon alapszik, amelyben az adott szemcseméretnél legnagyobb az eltérés a szétválasztandó komponensek között. A fémtartalmú hulladékok esetében a különböző alkotóanyagok szétválasztására elsősorban a sűrűség, a mágneses és elektromos tulajdonság eltérése alapján nyílik lehetőség.

66. táblázat. Elhasznált elektronikai - elektrotechnikai készülékek szerkezeti anyagainak fizikai tulajdonságai

Anyag	Elektromos vezetőképesség $\sigma \cdot 10^{-6}$ $\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$	Sűrűség $\rho \cdot 10^{-3}$ kg/m^3	Mágneses szuszceptibilitás $\chi \cdot 10^9$ $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$
Aluminium (ötvözet)	34,1-37,4	2,4-2,8	16-21
Réz (ötvözet)	56,8-57,1	8,9	0,05-0,06
Nem ötvözött acél	24,3-26,7	7,9	19000 - 21000
Ötvözött acél	1,4-1,9	8,0	0,8-2,0
Cink	17	7,1	-1,4
Ólom	5	11,4	-1,1
Ezüst	63	10,5	
Műanyagok	-	0,8-1,45	-
Gumi	-	1,1-6	-
Fa	-	1,1-1,3	-
Kerámia	-	2,8-3,7	-
Üveg	-	2,8	-

67. táblázat. Elektronikai hulladék előkészítés legfontosabb mechanikai szétválasztási (dúsítási) eljárásai

Anyagtulajdonság	Ipari eljárások	Feladat, példa
Szemcseméret	- osztályozás o szitálással o áramkészülékkel	a dúsításhoz szükséges szemcsefrakciók előállítása
Dúsítási eljárások		
Sűrűség	- szérelés - közegárammal való szétválasztás	az eltérő anyagú, ezért eltérő sűrűségű szemek külön-külön termékekbe való kinyerése, rendszerint 3 sűrűségfrakció előállítása a cél: o <2 kg/dm ³ : műanyagok, gumi, fa... o 2...3 kg/dm ³ : Al, üveg o >3 kg/dm ³ : nehézfémek
Elektromos vezetőképesség	- elektrosztatikus szeparálás - örvényáramú szeparálás - elektromos válogatás	- vezető- nemvezető (pl. műanyag –nemvasfémek) szemek elválasztása, vagy szigetelők szemek dörzs-elektromosság útján történő elválasztása egymástól - vezető- nem vezető szemek elválasztása - vezető- nem vezető szemek elválasztása
Mágneses szuszceptibilitás	- mágneses szeparálás	para-, ferromágneses szemcsék kinyerése

A továbbiakban csak a legfontosabb alkalmazható száraz eljárásokat és berendezéseket tekintjük át.

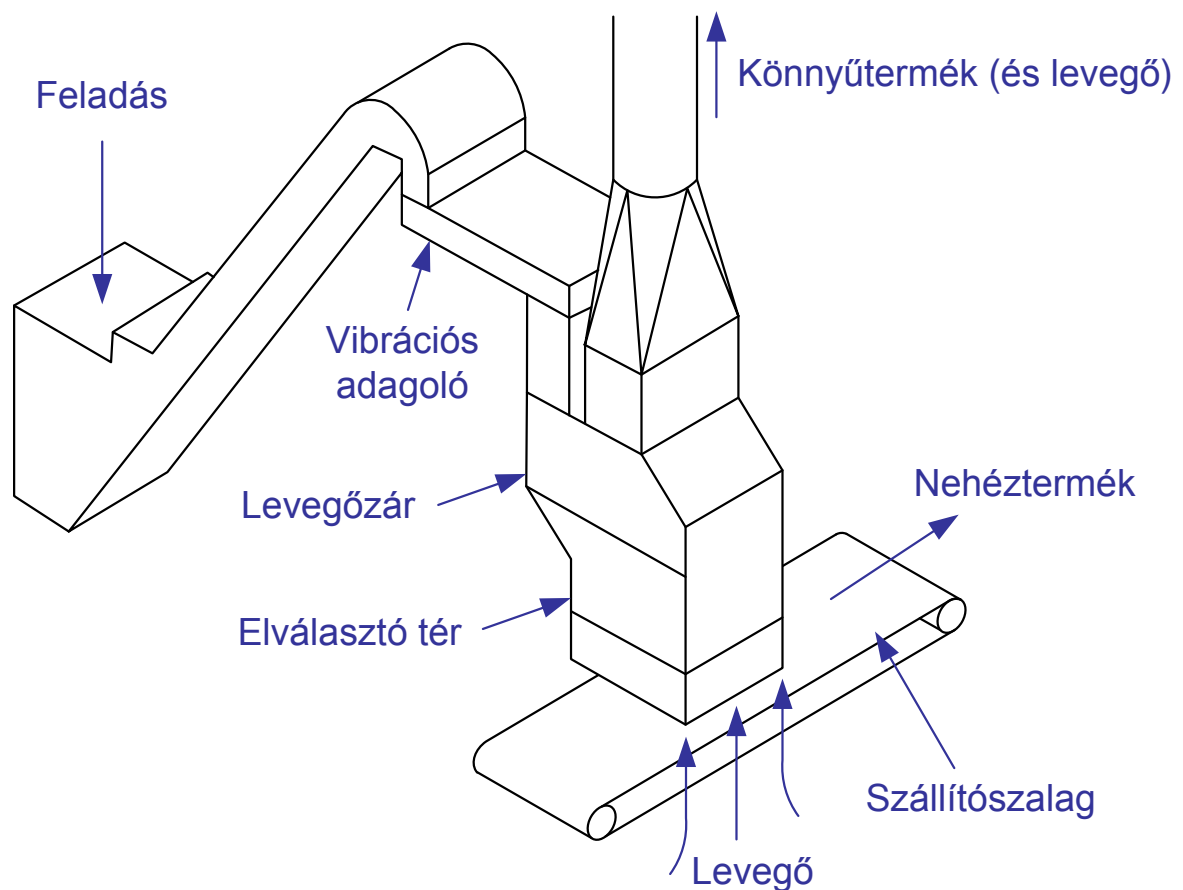
Száraz dúsítási eljárások

A dúsítás száraz eljárásokkal történhet:

- kézi válogatással,
- sűrűség szerint légárammal száraz áramkészülékben, légszérrel,
- a vas leválasztása mágneses szeparátorokkal,
- a nemvas-fémek pedig elektrosztatikus vagy örvényáramú szeparátorok alkalmazásával.

Száraz gravitációs dúsítás

A légáramban történő szétválasztás alaptípusát a **174. ábra** mutatja.



174. ábra. Ellenáramú áramkészülék a kis sűrűségű anyagok leválasztására

Alkalmazási terület:

Dúsítási eljárás	Szemcseméret [mm]	Szétválasztási (dúsítási) feladat		
		Műanyag/fém- gumi/ fémhulladék	Kábel hulladék	Könnyűfémek / nehézfémek
Dúsítás ellenáramú áramkészülékkel - Száraz	< 300	++	++	+

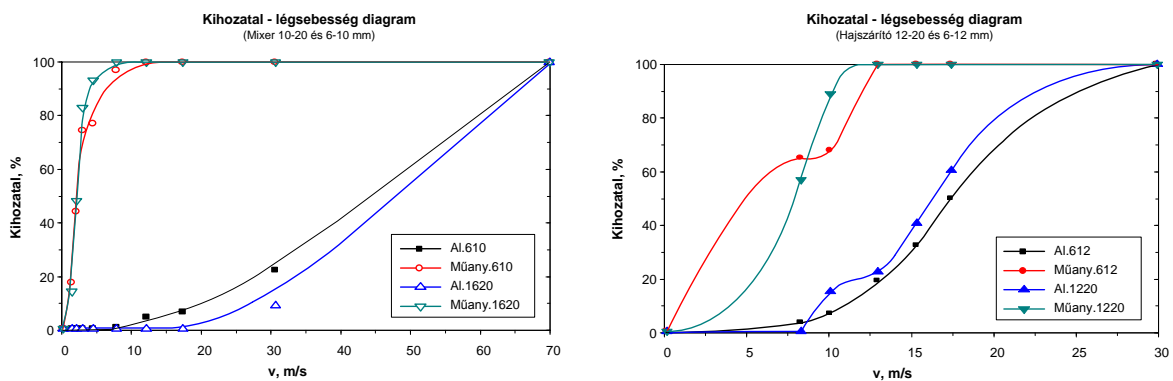
+ hatásos, ++ igen hatásos

Számos cég gyárt áramkészüléket, jól ismert berendezés az ALPINE cég cikk-cakk szeparátora (175. ábra), [P.14., P15.].



175. ábra. ALPINE cikk-cakk légáramkészülék kábelszeparálásra

Az alábbiakban (176. ábra) példaként két háztartási kiskészülék kalapácsos shredderrel történő leaprításakor kapott töret áramkészülékkel való szeparálás eredményeit mutatjuk be.



176. ábra. Kisháztartási gépek légáramkészülékkel történő szeparálásának kihozatal-légsebesség függvénygörbéi

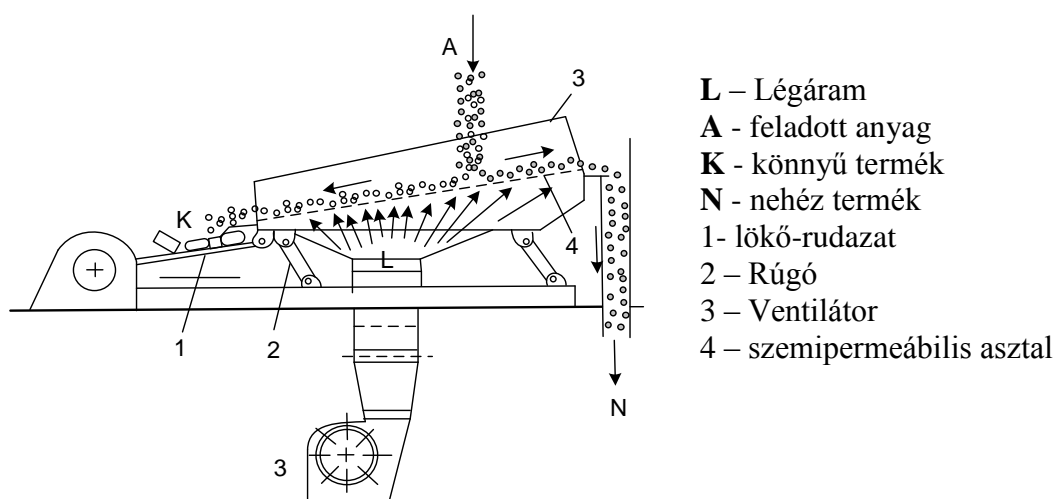
Megállapítható a kalapácsos törővel kapott töret kb. 10 m/s légsebességnél az hatásosan elválasztható alumínium és műanyag (egyébként a töretben a komponensek csaknem 100 %-ban feltártak).

Szétválasztás légszérrel

A légszerek szemimpermeábilis asztalán a ventilátor által szállított levegő fluid ágyat hoz létre, amelyben a nagyobb sűrűségű szemek az asztalra ülepednek, és e szemeket az vibrációs asztal a lejtőn felfelé kihordja, miközben a kissűrűségű fluidizált szemcsék az lejtő irányába lefolynak a szérasztalról (**177. ábra**).

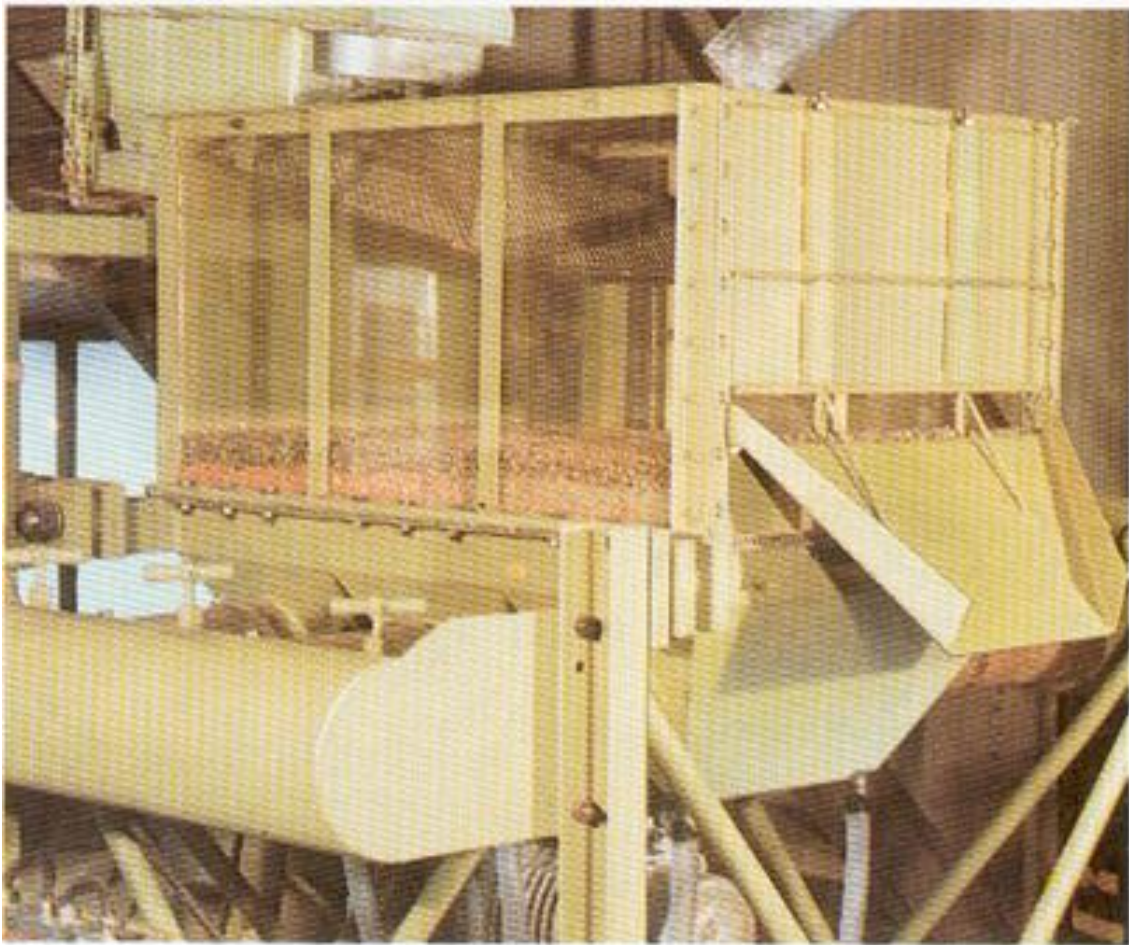
Dúsítási eljárás	Szemcse méret [mm]	Szétválasztási (dúsítási) feladat		
		aprított autógumi szövetleválasztás	Kábel hulladék fém / műanyag-gumi elválasztás	Elektrotechnikai hull. fém / műanyag elválasztás
Dúsítás csatornában és széren - Légszér	< 4	+	++	+

+ hatásos, ++ igen hatásos



177. ábra. Légszér

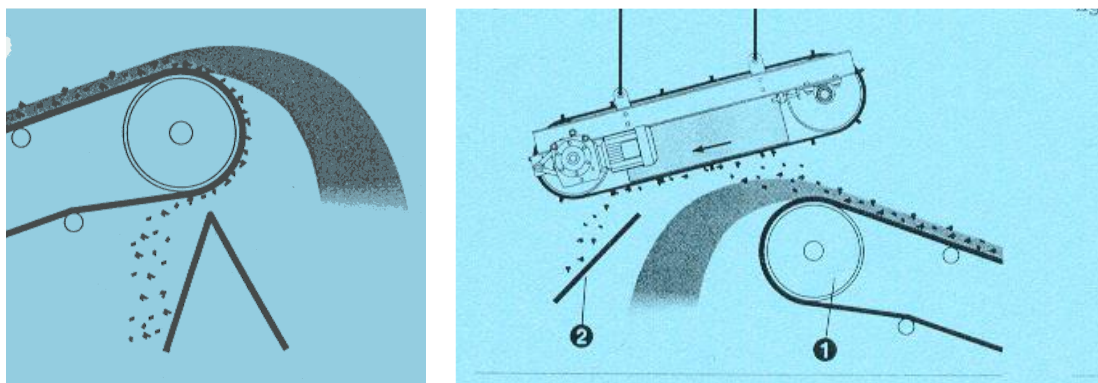
Számos cég gyárt (pl. **ALPINE, HAPPLE, ELDAN**) légszért, légülepítőgépet jól ismert berendezés az ALPINE cég légszeparátora (**178. ábra**), [P.14., P15.].



178. ábra. ALPINEI légülepítőgép.

Mágneses szeparálás

A vas (valamint más ferromágneses és jól mágnesezhető fémek) leválasztásának leghatékonyabb módszere a *mágneses szeparálás*.



179. ábra. Vaskiválasztó berendezések típusai

A permanens vagy elektromágnessel üzemelő vaskiválasztó berendezések lehetnek: kihordás nélküli függesztett vagy kihordással rendelkező mágneses készülékek. Kialakításuk szerint: szalagos vaskiválasztók, vaskiválasztó dobok.

Elektromos szétválasztás

Az elektromos szétválasztás igen fontos szerepet tölt be a fémtartalmú hulladékok szétválasztásánál elsősorban a vezető és nemvezető anyagok egymástól való szétválasztásában. A durvább szemcséket örvényáramú szeparátorokkal, a finomabbakat elektrosztatikus berendezésekkel választhatjuk el egymástól.

A technológiai folyamat általános kialakítása

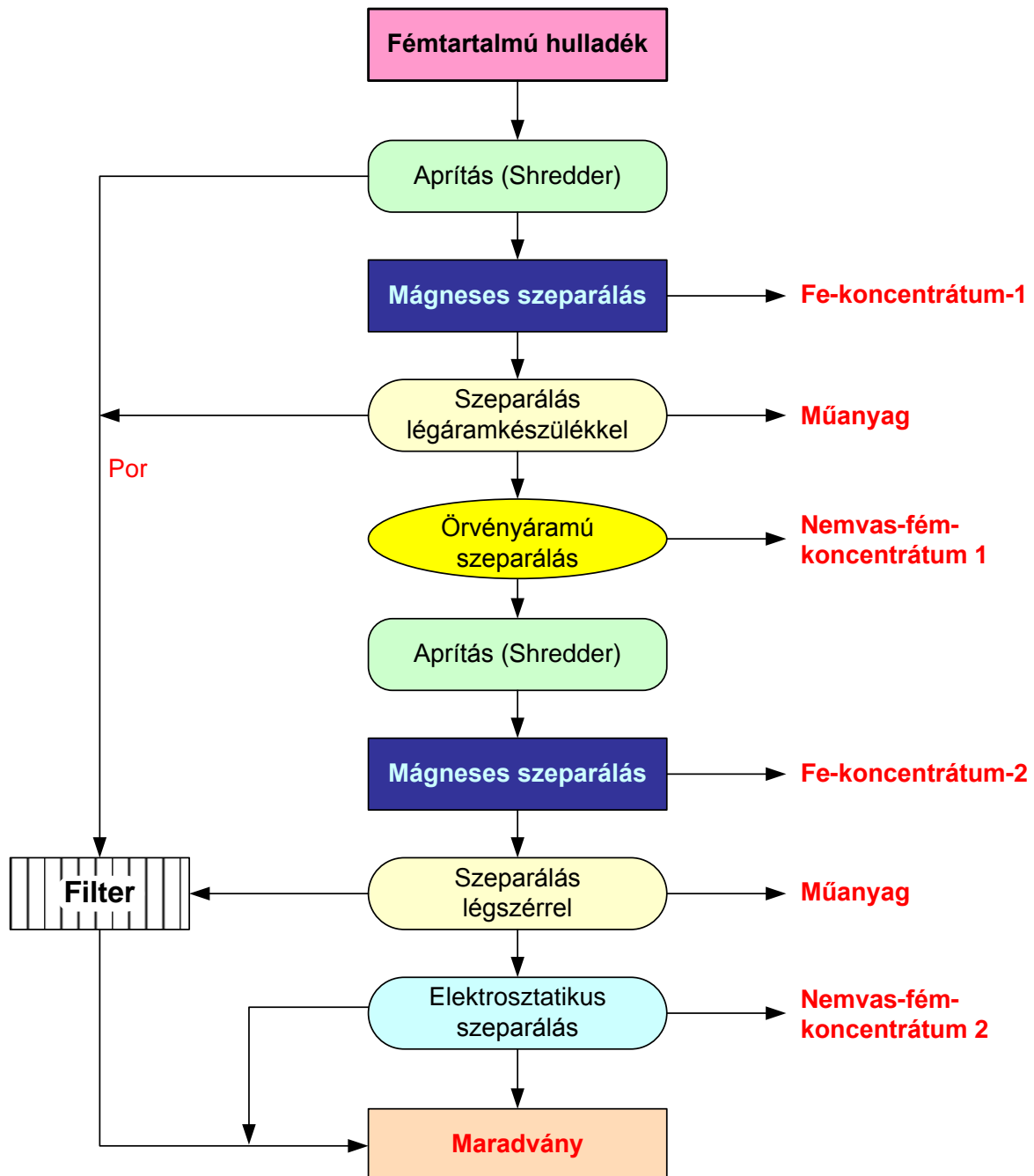
Legáltalánosabb esetben több egymást követő lépcsőben történik az előkészítés (**181. ábra**), amikor is az egyes folyamatlépcsők szemcseméretnek a szétválasztási eljárás élességének érdekében történő szabályozását, valamint a komponensek egymástól való szabaddá tételét szolgáló aprításból és osztályozásból, továbbá valamely fizikai tulajdonság szerint szétválasztó dúsító eljárásokból állnak.

A technológiai folyamat során egyre csökken a szemcseméret. A folyamat elején a kevésbé költséges (de kevésbé éles), rendszerint száraz eljárásokkal a nagy tömegű (pl. vas) és/vagy a legkönnyebben kinyerhető anyagok (pl. vas, papír és műanyagfólia) leválasztása történik. A folyamat végén a legértékesebb, általában kisebb tömegáramú anyagok (nem-vas fémek, üveg, műanyag) kinyerése valósul meg precízebb, költségesebb eljárásokkal.

Minden aprítási lépcsőt követően a szabaddá vált komponenseket (vas, nemvasfémek, műanyag...szerkezetianyagokat) tehát sűrűség szerinti, gravitációs, mágneses, elektromos, termikus stb. eljárások alkalmazásával leválasztjuk le - a komponensek között meglévő fizikai (sűrűség, mágneses, elektromos) tulajdonságbeli különbség alapján.

Ezt szemlélteti a **180. ábra**, ahol a kétlépcsős technológiai folyamatban (mind a két lépcsőben) az aprítást mágneses, gravitációs (sűrűség szerinti) és elektromos szétválasztási eljárás követ. Mindig a tiszta (feltárt) vas, nemvas-fém és nemfémes szemcsék leválasztására törekszünk. Ez egyes lépcsőkben az alkalmazott eljárás igazodik a szemcsemérethez: az első lépcsőben a durvább szemcséknek megfelelően sűrűség szerint áramkészülékkel, elektromos tulajdonság

alján örvényáramú szeparálást találunk, majd pedig a finomabb szemcseméretnél légszert és/vagy elektrosztatikus szeparátort.



180. ábra. Fémtartalmú hulladékok tipikus előkészítési technológiája

A továbbiakban néhány jellegzetes e csoportba tartozó hulladék-eszköz előkészítési technológiáját mutatjuk be.

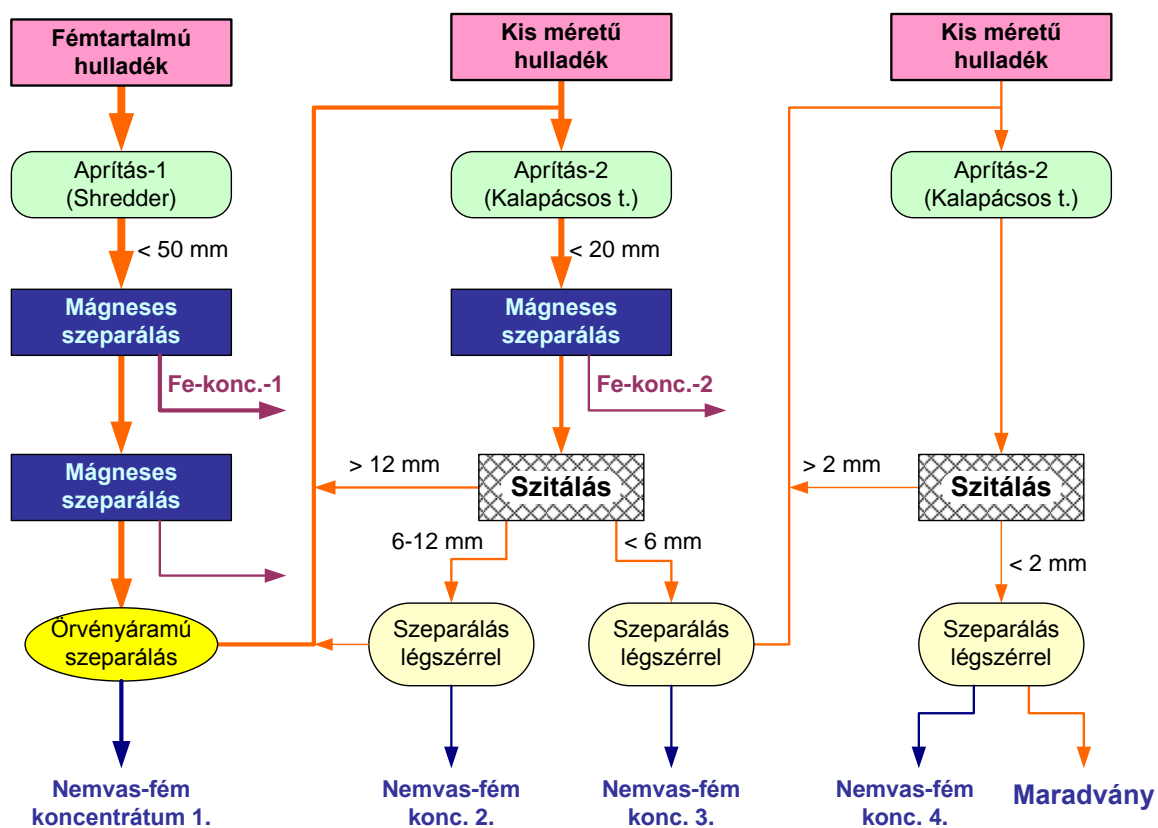
Példák a különböző feladatok megoldására

Elsőként a goslári komplett technológiai rendszert mutatjuk be, amely egyrészt a bontóüzemből, másrészt amely előkészítő shredder üzemből áll. Ez utóbbi technológiai rendszer bármely elektronikai-elektrotechnikai hulladékot (eszközt) bontás nélkül is képes feldolgozni.

Electrocycling cég (Goslar, Németország) technológiai rendszer

Szétszerelés (bontás). Az újrahasznosított eszközök skálája igen széles. Ide tartoznak a telefonkészülékek, számítógépek, televíziók, rádiók, sőt a több tonnás, szekrénymeretű elektromos eszközök is. Ezeket a használatból kikerülő gépeket vonattal vagy kamionnal az újrahasznosító üzembe szállítják, ahol előbb manuálisan főbb darabjaikra bontják szét, majd az eladható és jó állapotú alkatrészeket kiserelik, illetve az ártalmas részeket eltávolítják.

Előkészítés: feldolgozás mechanikai eljárásokkal (shredderezés).



181. ábra. Goslari (Electrorecycling GmbH., Németország) előkészítési technológia, [4]

A megmaradt darabokat, melyek nem tartalmazzak többé egészségre ártalmas, ill. manuálisan tovább nem bontható alkatrészeket, gép úton aprítják több lépcsőben keresztül őrlik, így a legkisebb méretű fém, illetve műanyagok is elkülöníthetővé válnak.

A fémek és a maradék anyag, - mely többnyire műanyag – elválasztását mágneses- és örvényáramú szeparátorral, valamint légszérrel végzik.

A technológiai folyamatot a **181. ábra** szemlélteti. Az első aprítási lépcsőben kalapácsos shredder (ütő-nyíró) törő üzemel és < 50 mm-re aprítja le az a viszonylag nagyméretű feladott anyagot. A következő két lépcsőben kétrotoros kalapácsos malmok üzemelnek 20 mm és 2 mm alá aprítva az anyagot. Az első törési lépcsőt követően két lépcsős mágneses szeparálás és örvényáramú szeparálás történik a fizikailag feltárt a vas és a nemvas-fémek kinyerésére. A második és harmadik aprítás után s nemvas-fémek kinyerése légszérrel történik. A második törés után (a légszérrel való szeparálás előtt) az élesebb elválasztás érdekében szitával < 5mm és 5-12 mm frakciókra bontják az őrleményt.

A televíziók és monitorok képcsőveit egy külön üzemszben, a kónuszról leválasztva, a képcső üvegek típusa szerint válogatják szét és száraz eljárással tisztítják meg az ártalmas komponensektől (**183. ábra**).



182. ábra. A képcsőüveg leválasztása a goslari üzemben

Végtermékek [4].

A végtermékek mennyiségi arányai

Fe-koncentrátum	45 %
NE-koncentrátum	25 %
Nemfém	30 %
Összesen	100 %

A végtermékek minőségét az alábbi táblázat adja meg [4].

Termék	Alkotórész-tartalom, %		
	Fe	Nemvas-fémek	Nemfém
Fe-koncentrátum	95 - 99	0,1 - 5	0,5 - 5
Nemvas-fém koncentrátum I (örvényáramú szep.)	-	>95	0,5 - 5
Nemvas-fém koncentrátum II-IV (sűrűség szerinti szeparálás) (ferritek)	2-16	85 - 95	0 – 1,5
Maradvány (Nemfém)	0 - 2	1 - 5	> 5

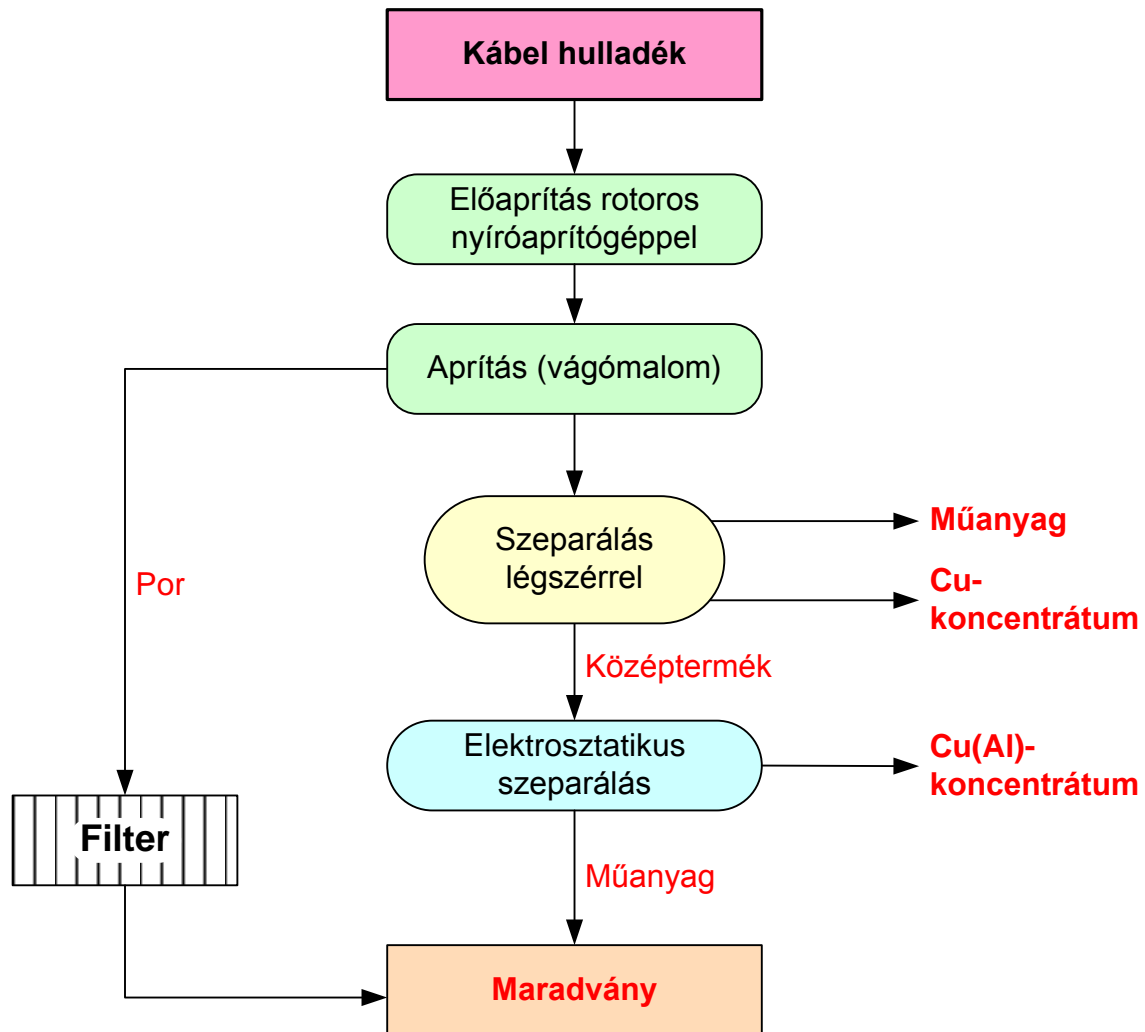
A szétválogatott és megtisztított képcső-üvegeket metallurgiai és üveggyártási folyamatokban hasznosítják.

A típus szerint szétválogatott műanyagokat ugyancsak felhasználják az iparban. A Deutsche Telekom AG, mint az Electrocycling egyik részvényese, ilyen műanyagok felhasználásával már gyárt telefonkártyát és telefonokhoz burkolatot.

Ártalmas anyagokat tartalmazó alkatrészek, hulladékok, szűrők ártalmatlanítását a környezetvédelmi szempontok és előírások szerint végzik.

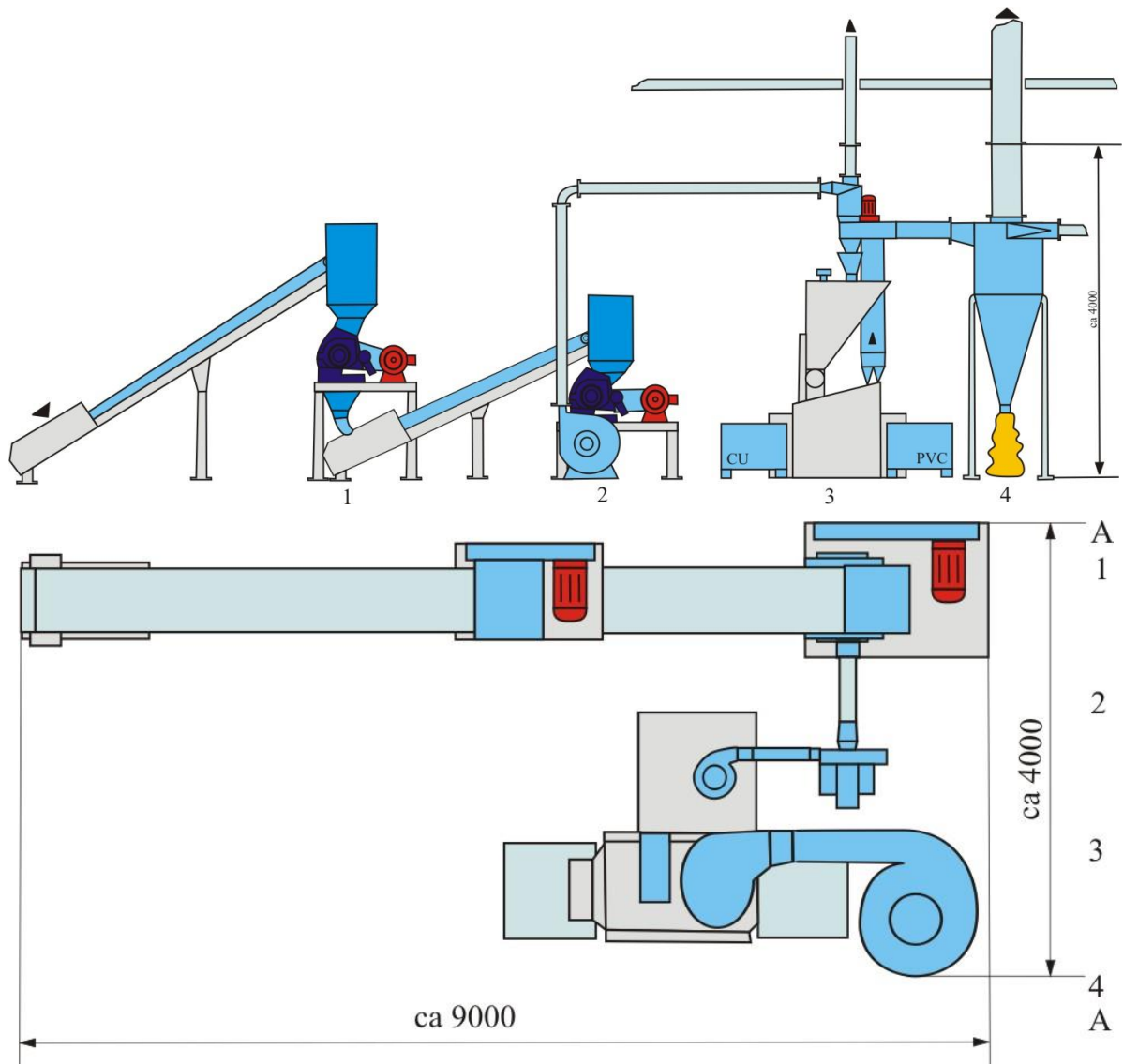
Vezetőkártyák, kisméretű készülékek, részegységek mechanikai eljárásokkal történő előkészítése megfelel a korábbi technológiai folyamat általános elveinek (**183. ábra**).

Kábelek előkészítése.



183. ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája (Budapesti Intermetall Kft. technológiája)

A többlépcsős vágómalomban történő aprítást követően főként száraz (ritkábban nedves) sűrűség szerinti szétválasztási eljárásokkal történik, vezető-nemvezető egymástól való elválasztására az elektrosztatikus eljárás is alkalmazható. A **183. ábra** egy hazai üzem technológiáját mutatja be. Az őrlés vágómalomokkal történik, a dúsítás légszérrel [60].



Anlagenkomponenten	
1	= Rotoplex-Schneidmühle Typ 28/40 Ro Sieb mit großer Lochung
2	= Rotoplex-Schneidmühle Typ 36/60 Ro Sieb mit kleiner Lochung
3	= Trenntisch für - Cu-Konzentrat - Kunststoff
4	= Zyklonstauber
Anmerkung: Die Vorderansicht der Anlage ist versetzt gezeichnet.	

1 - Rotoplex (Typ 28/40) Vágómalom

2 - Rotoplex (Typ 28/40) Vágómalom

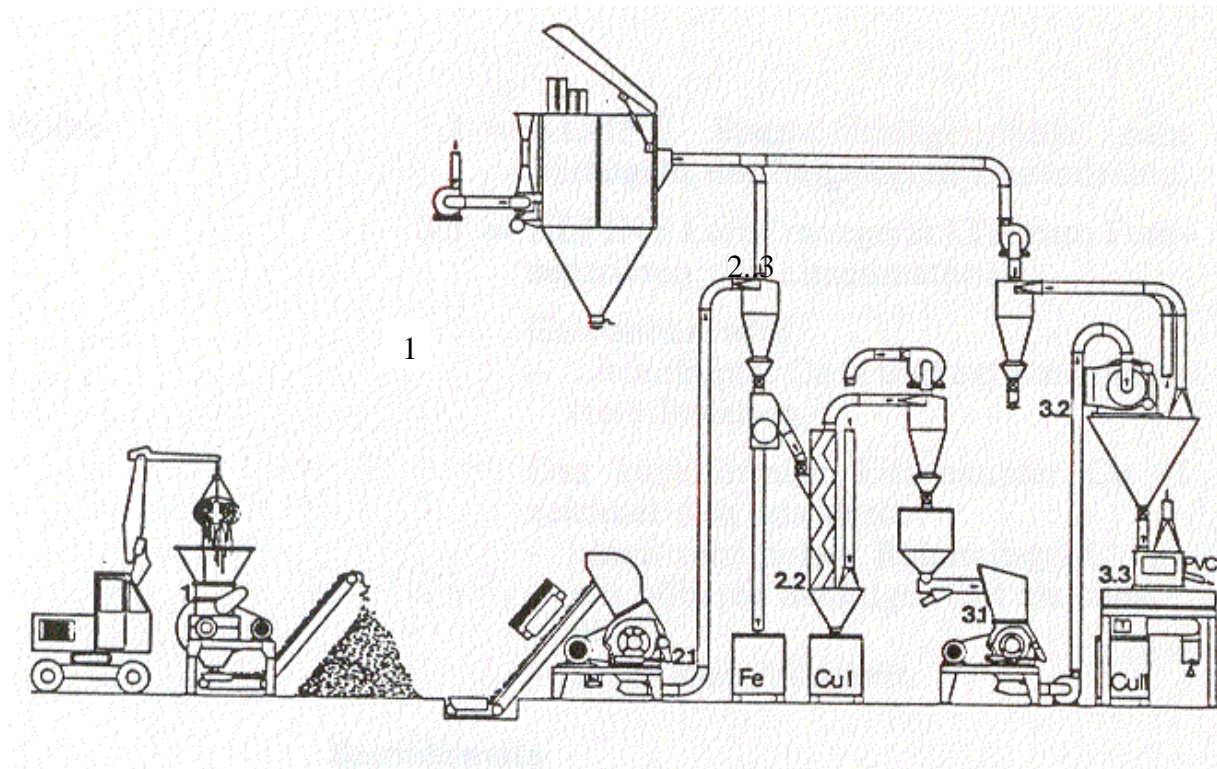
3 - Légszér Cu és műanyag koncentrátum nyerésére

4 – Porleválsztó ciklon

184. ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája ([ALPINE GmbH, Augsburg](#)), [P.14.]

Az ALPINE cég által kifejlesztett kábelüzemi technológiai megoldásokat mutatja be a **184. ábra**. A **184. ábra** szerint technológia nagyon hasonló a korábbi szegedi technológiához: két lépcsőben vágómalommal leőrölt anyagot légszéren Cu és műanyag termékekre bontják. E

technológiát vegyes (egyeres vagy masszív kábel és sodrott vezetékű kábel keverék) dúsítására alkalmazzák.



185. ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája (ALPINE GmbH, Augsburg), [P.14., 50] nagy sodrott kábel arányú feladásra

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 - Előaprítás: Vágómalom (UZ) | 3.1. Örlés: Vágómalom (Rotolpex) |
| 2.1. Örlés: Vágómalom (Rotolpex) | 3.2. – ütő-prall-malom |
| 2.2. – cikk-cakk ellenáramú
légáramkészülék | 3.3. – légmentőgép |
| 2.3. – mágneses dobszeprátor | |

*

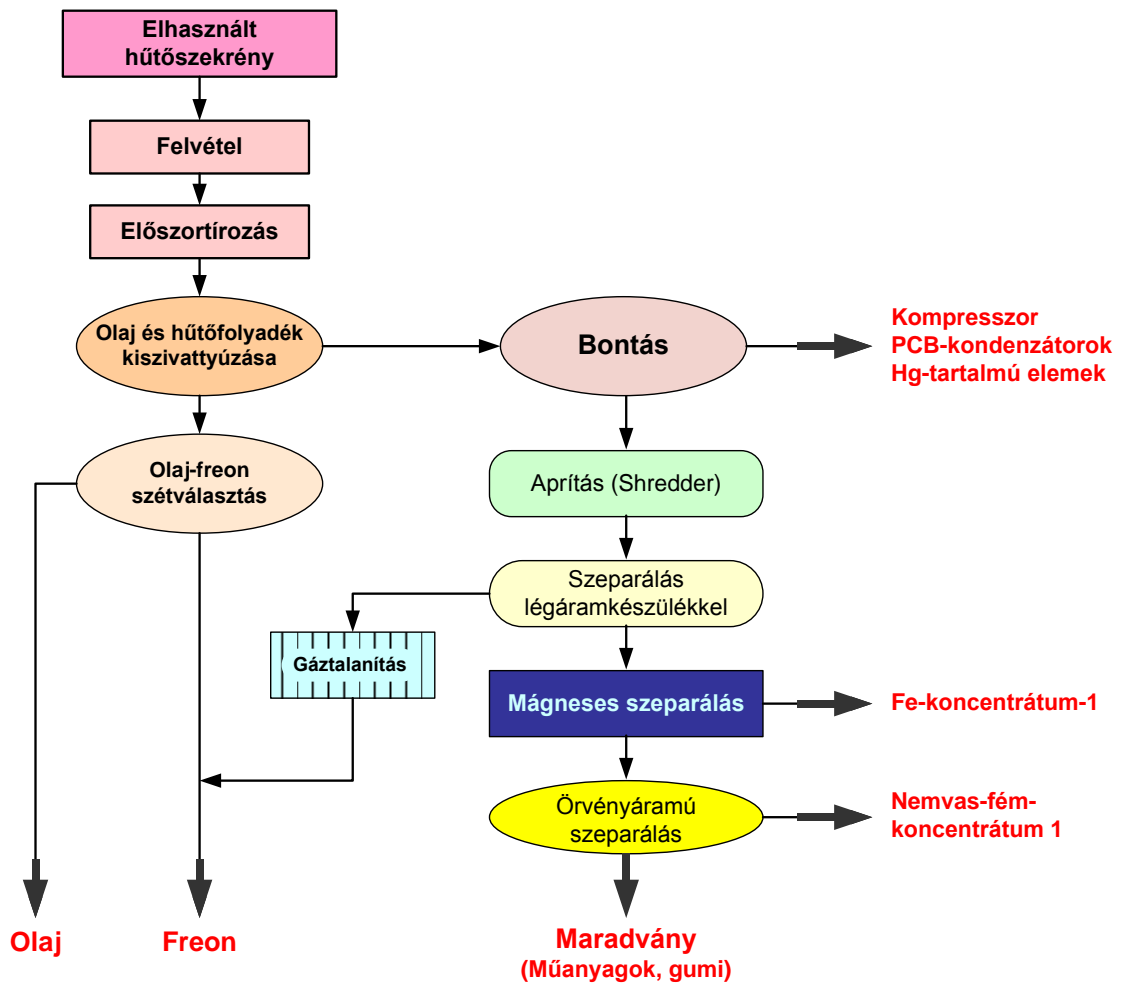
Végezetül a KRÖPFEL cég Linz-i hűtőszekrény-feldolgozó üzem technológiáját ismertetjük.

Az elhasznált hűtőszekrények szétbontása és mechanikai eljárásokkal történő szelektív szétválasztásának technológiája alapvetően a következő fő lépésekből áll:

- Vastartalmú fémek leválasztása mágneses szeparátorral.
- Nem vastartalmú fémek (alumínium, réz) leválasztása örvényáramú szeparátorral.
- A maradvány főként gumi- és műanyag hulladék.

A hűtőszekrény feldolgozás technológiai vázlatát a **186. ábra** mutatja.

- Hűtőfolyadék leszívása.
- Hűtőfolyadékból a freon leválasztása.
- Bontás: kompresszor, kondenzátor kiszerelése.
- Aprítás (shredderrel).
- Műanyag hulladék (PUR) leválasztása áramkészülékkel.
- Freon-visszanyerés a PUR-habból (örlés vákuum alatt).



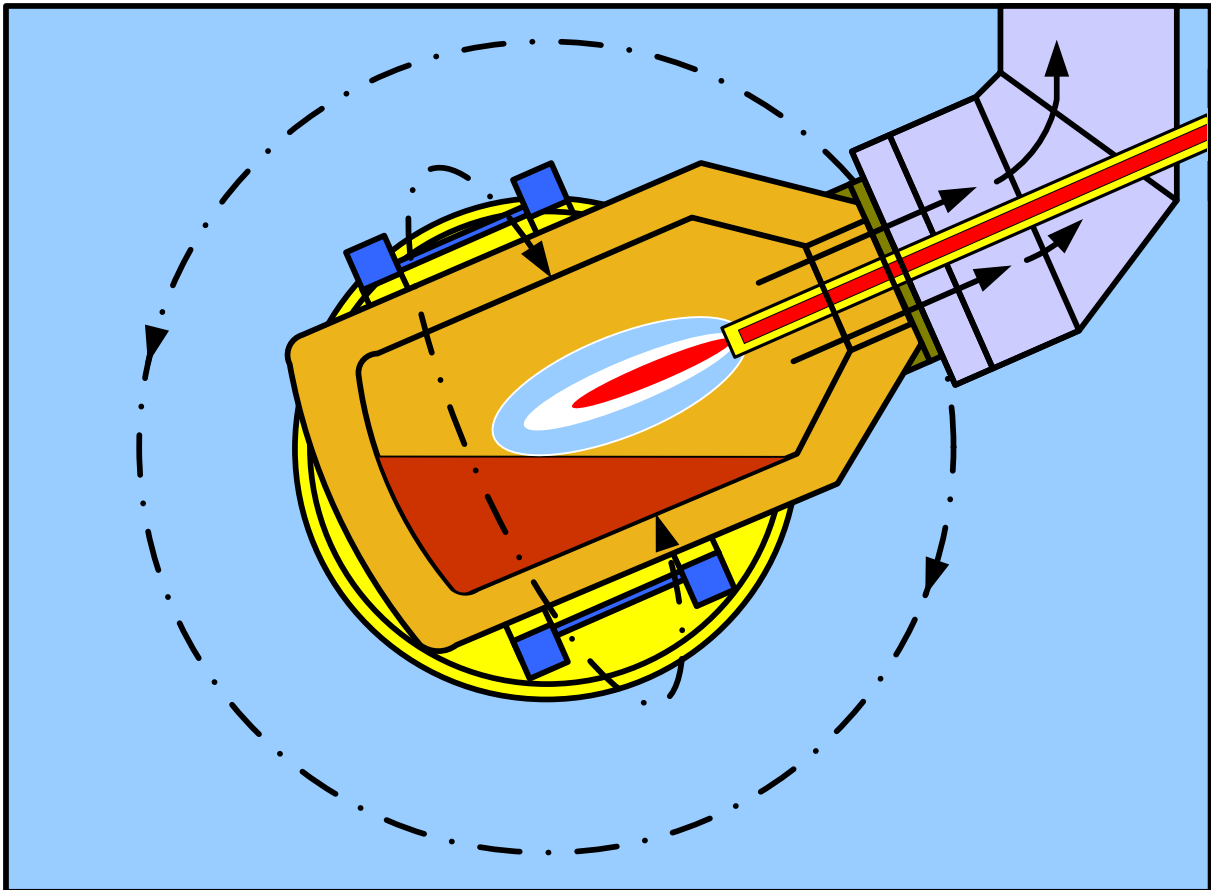
186. ábra. Elhasznált hűtőszekrények előkészítési technológiája

7.3.4 Feldolgozás kohászati eljárásokkal

Boliden Mineral AB, Svédország



Évente mintegy 25 000 tonna elektronikai hulladékot dolgoznak fel a rönnskar-i olvasztóüzemükben. Az elhasznált elektromos és elektronikai hulladékok gyártási hulladékokkal keverve tartalmaz különböző mennyiségben értékes aranyat, ezüstöt és rézet. A legjobb minőségű elektronikai hulladéknak az aranytartalma a nyers aranyérc 10-szerese is lehet. A beszállítók javarészt európai cégek, Magyarországon kizárólagos beszállítóval rendelkezik. Az elektronikai hulladék Helsingborg kikötőjéből vonattal jut el Rönnskar-ba, ahol a feldolgozást végzik.



187. ábra. Kaldó-kemence működési elve

A hulladékot Kaldó-kemencékben (**187. ábra**) olvasztják fel. Az eljárás során ledarált hulladék műanyagtartalma kettős szerepet tölt be: mint égést tápláló és redukáló közeg van jelen. A folyamat során képződő gázok környezetbarát módon, magas hőmérsékleten utánégetéssel semmisülnek meg. A megmaradt fémolvadékot finomítják, majd nyerik ki belőle az értékes fémeket.

Irodalom

- [32] Kellerwessel, H.: Setzmaschinen, besonders für Recyclingaufgaben - Möglichkeiten, Grenzen, Bauarten -Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.10, p. 521-530.
- [33] Terry J. -Veasey- Robert J.- Wilson: The Physical Separation and Recovery of Metals From Wastes. Copyright 1993. Amsterdam, ISSN 1066-2200; v.1.
- [34] Uhlig, D.-Dietzel, W. -Schulz, G.: Setzarbeit als Verfahrensstufe bei der Aufbereitung von Kabelplastrückständen. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.5, p. 239-247.
- [35] Koch, P. Kasper, P.: Zerlege- und Aufbereitungstechnik für Elektroaltgeräte und Elektronikschrott. Aufbereitungs-Technik 37 (1996) Nr.5, p. 211-219.
- [36] Moskala, R. Schneider-Kühn,U.- Weber, W.: Siebtechnik GmbH, Mülheim/Ruhr.: Rückgewinnung von Polystyrol aus geschredderten Kühlschränken mit Setzmaschinen Aufbereitungs-Technik 37 (1996) Nr.9, p. 447-450.
- [37] Beckmann, R. -Guderian, J.-Hoffmann. E.: Bewertung von Separationsverfahren für kommunalen Restmüll. Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.6, p. 296-304.
- [38] Schubert,G.-Warlitz.G.: Sortierung von Metall-Nichtmetall-Gemischen mittels Koronawalzenscheider. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9, p. 449-456.
- [39] Schubert, H.: Wirbelstromsortierung - Grundlagen, Scheider, Anwendungen. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.11, p. 553-562.
- [40] Schubert, G.: Gliderung der Schrotte der Elektrotechnik und Elektronik nach Erzeugnisgruppen (előadáskézirat) (1994) Nr.11, p. 553-562.
- [41] Kirchner, J.- Jäckel, H.-G. – Schubert, G.-Müller, H.: Aufbereitung der Haushaltnkleingeräte. Duisburger Recycling. 1996.p.103-127
- [42] Schubert, H.: Zum Trennmerkmal bei der Wirbelstromsortierung. Aufbereitungs-Technik (2001) Nr.9, p. 411-419.
- [43] Hanke, M. – Ihrig, Ch.-Ihrig, D.F.: Stoffbelastung beim Elektronikschrott-Recycling. Iserlohn/Menden/ Dortmund 2000
- [44] Lindroos, J.B.- Stout, M.E.: The separation of mixed non-ferrou metals using thermal gravity classification (TGC). Conservati and Recycling, 10.k. 2/3. sz. 1987. p. 77-82.
- [45] Spalding, B.J.: A slick new way to recover gold from scrap. Chemical Week, 142. k. 23. sz. 1988. jun. 8. p. 31-32.
- [46] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 1 Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.2, p. 78-89.

- [47] Schubert, G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 2. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.7, p. 352-357.
- [48] Spaniol, H. - Koch, P.: Automatische Klaubung beim Werkstoffrecycling mittels Thermographie. XLVI. Berg- und Hüttenmännischer Tag Juni 1995, Freiberg, Kolloquium 8. Noell Abfall-und Energietechnik GmbH
- [49] Koch, P. -Köhler, F.: Ergebnisse bei der Dichtesortlerung von Elektronikschrotten XLVI. Berg- und Hüttenmännischer Tag Juni 1995, Freiberg, Kolloquium 8. Noell Abfall-und Energietechnik GmbH
- [50] Aluminium: A recycling success story. = Recycling Today, 26. k. 8. sz. 1988. p. 96-98, 103, 137.
- [51] Veasy, T.J.: Metals Recycling. Proceedings of the International Symposium on Waste Processing and Recycling in Mineral and Metallurgical Industries (Editors: Rao, S.R.-Amaratunga, L.M.-Richards, G.G.-Kondos, P.D.). Vancouver, British Columbia August 20-24, 1995.p.3-8
- [52] Burns, A.H.: Furnace Technology and Non-Ferrous Recycling. Proceedings of the International Symposium on Waste Processing and Recycling in Mineral and Metallurgical Industries (Editors: Rao, S.R.-Amaratunga, L.M.-Richards, G.G.-Kondos, P.D.). Vancouver, British Columbia August 20-24, 1995.p.115-126
- [53] Huang, P. – Meloy, T.P. – Marabini, A. – Allese, V.: Recycling Power Cables Using Particle Shape. Proceedings of the International Symposium on Waste Processing and Recycling in Mineral and Metallurgical Industries (Editors: Rao, S.R.-Amaratunga, L.M.-Richards, G.G.-Kondos, P.D.). Vancouver, British Columbia August 20-24, 1995.p.235-244
- [54] Distin, P.A.: Metals Recovery from Electronic Scrap Using Mineral Processing Methods . Proceedings of the International Symposium on Waste Processing and Recycling in Mineral and Metallurgical Industries (Editors: Rao, S.R.-Amaratunga, L.M.-Richards, G.G.-Kondos, P.D.). Vancouver, British Columbia August 20-24, 1995.p.235-244
- [55] Alfaro, I.: Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Entstehung und Verarbeitung von Aluminiumkrätze. = Aluminium, 62. k. 4. sz. 1986. p. 259-267.
- [56] Salisbury, H.B.- Duchene, L. J. - Bilbrey, J. H.. Jr.: Recovery of Copper and Associated Precious Metals From Electronic Scrap, RI 8561 Bureau of Mines Report of Investigations/1981.
- [57] Improved aluminium scrap recovery offers potential energy savings. = Materials Reclamation Weekly 148. k. 12. sz. 1986. aug. 9. p. 19-20.

- [58] Field III. F.R. - Clark. J. P.: Automobile Recycling: Environmental Policymaking in a Constrained Marketplace. JOM - Journal of the Minerals Metals and Materials Society 1994. Vol. 46. ISSUE 4. p. 17-21.
- [59] Zhang, Sh.- Orssberg, E.: Mechanical Recycling of Electronics Scrap - Current Status and Prospects Waste Management and Research. 1998. No.2. pp.19-127.
- [60] Csőke, B. - Kovács, T.: Experimentelle Untersuchungen zur Auschlusszerkleinerung von Leiterplatten. XLVIII. Berg- und Hüttenmännischer Tag 1997 in Freiberg. Abfallzerkleinerung-Grundlagen und praktische Erfahrungen. Freiburger Forschungshefte, A84. Gundstoff-Verfahrenstechnik, 1997. pp.264-271.
- [61] Csőke, B. - Böhm, J.-Tarján, I.: Separation of scrap and other wastes in air-flow. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Polska. Akademia Nauk, Kraków. 1995/4, Tom 11. p.480-491.
- [62] Paul W. Gilgen: Aluminium in der Kreislaufwirtschaft. Erzmetall 44 (1991) Nr.6, p. 293-302.
- [63] Hartfeld, G.: Entwicklungsstand der Magneto-hydrostatik-Separatoren . Aufbereitungstechnik (1995) Nr.4, p. 224-233.
- [64] Csőke B.-Egyedi Cs.: Autóhulladék-komponensek száraz szétválasztásának kísérleti vizsgálata
BKL Kohászat, (1994) 127.évf. 11-12.sz. p. 478-481.
- [65] Hans J. L. van der Valk, Wijnand L. Dalmijn, Willem P.C. Duyvesteyn: Eddy-current separation methods with permanent magnets for the recovery of non-ferrous metals and alloys
Erzmetall 41 (1998) Nr.5, p. 266-274.
- [66] Separatoren für Nichteisenmetalle. Werk-Verlag Dr.Edmund Banaschewski GmbH, München-Frälfelfing. Sonderdruck aus Rohstoff Rundschau. 1988 Nr.10-20
- [67] Appleton, A.D. – Dobbing, P.P.: A discussion on some aspects of high gradient magnetic separation. Advances in Magnetic Materials and their Applications, 1-3 September 1976. International Research and Development Co. p. 65-68.
- [68] Morgan, D.G. - Bronkala, W.J.: The Selection and Application of Magnetic Separation Equipment. Part I. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 5-16.
- [69] Kopp, J.: Superconducting Magnetic Separators. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 17-32.
- [70] Superconducting High Gradient Magnetic Separation .Australian Mining, 1998. may . pp. 43-58.

- [71] Szantho, E. Hildenbrand, H.: Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit von Mineralen und deren Ablenkung am Elektro-Walzenscheider. Aufbereitungs-Technik (1965) Nr.11, p. 637-645.
- [72] Güldenpfennig, M. und Löhr, K.: Sortierung vermischter Reststoffe gleicher Dichte auf dem Luftherd. Aufbereitungs-Technik 36 (1995) Nr.7, p. 314-320.
- [73] Ahlness, J. K. - Kirchner, J.C.: Electronic Ore-Sorting Tests on Native Copper Ore. RI 8490 Bureau of Mines Report of Investigations/1980.
- [74] Wakeman, R.J.: Progress in filtration and separation 1. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- [75] Separatoren für Nichtiesenmetallen. Rohstoff Rundschau.Werk-Verlag Dr. Edmund Banaschewski GmbH.München-Gräfelfing
- [76] Tchobanoglous, G.- Theisen, H. Vihil, S.: Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill, Inc. ,New York
- [77] Lanoir,D--Trouve, L.: Physical and chemical characterization of automotive shredder residues. Waste Management and Research. No.15.p.267-276
- [78] UV&P (UNWELTMANAGEMENT-VERFAHRENSTECHNIK NEUBACHER&PARTNER G.M.B.H.): Technische Grundlagen zur Umsetzung der Altfahrzeugrichtlinie in Österreich, WIEN, 2001
- [79] Erfolgskontrolle 2001. Vorgelegt von der Stiftung " Gemeinsemenes Rücknahmesystem Batterien".Hamburg m März 2002. www.grs-batterien.de
- [80] Cox, A.- Fray, D.J.: Recycling of cadmium from domestic, sealed NiCd Battery waste by use of chlorination. Trans.IMM, Sect.C. Vol.10, Sept-Dec.1999pp.C153-158
- [81] Recycling betrieblicher Abfälle. 4/4.2.4.2. Recyclingverfahren (Tiltmann, K.O.). WEKA Fachverlage GmbH (Augsburg)
- [82] Recycling betrieblicher Abfälle. 4/4.2.1. Metallabfälle (Tiltmann, K.O.). WEKA Fachverlage GmbH (Augsburg)
- [83] Recycling betrieblicher Abfälle. 5. Asnlagetechnik (Tiltmann, K.O.). WEKA Fachverlage GmbH (Augsburg)
- [84] Kreislaufwirtschaft in der Praxis (BDE). Nr.1 Elektrogeräte. ENTSORGA gemeinnützige GmbH, 1995
- [85] Gralher, M.: Zukünftige Verfahrenstechniken bei der stofflichen Wiederverwertung von Elektronikschrott. Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft (Thomé-Kozmiensky, K.J.). EF Verlag für Energie- und Umwelttechnik. p.848-855

- [86] Boros, T-né: A hulladékok újrahasznosítása az elektronikai iparban .Környezetvédelemi füzetek. OMMIK, 2000 augusztus
- [87] Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Vermarktung. VDI-Richtlinien (Verein Deutscher Ingenieure). VDI 2343 Blatt 4, VDI-Handbuch Materialfluß und Fördertechnik, Band 8, 1999 November
- [88] Meier-Staude, R.- Köhnlechner, R.: Elektrostatische Trennung von Leiter-/Nichleitergemischen in der netrieblichen Praxis. Aufbereitungs-Technik 41 (2001) Nr.3, p. 118-131.
- [89] Böhm, J. - Csőke, B. - Kovács, T.: Elektrostatic Separation of the Components of Electronic Scrap. 7.Seminar Verfahrenstechnik. TU Berlin 1999.p.37-46
- [90] Halmai, Gy.: Kábelhulladék szétválasztási technológiájának kidolgozása. (Diplomaterv. 1991). Miskolci Egyetem, Eljárastechnikai Tanszék
- [91] Kábelüzem Szeged. (Üzemi technológia ismertetés 1990). MÉH TP. Szeged
- [92] Schubert, G.: Zerkleinerungstechnik für nicht-spröde Abfälle und Schrotte. Aufbereitungs-Technik 43 (2002) Nr.9, p. 6-23.
- [93] Schubert, G.: Zerkleinerungstechnik für das Recycling von Abfällen und Schrotten. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.12-32
- [94] Jackel,H.-Schubert, G.: Die Zerkleinerung der Abfälle mittels Rotorscheren, Rotorreißern und Schraubenreißern. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.82-98
- [95] Göll, G.: Zum Zerkleinerungsverhalten zäher Rohstoffe in meschanischen Feinprallmühlen. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.186-203.
- [96] Csőke, B.-Papp,G.-Sárvári, J.-Antal,G.-Nyitrai,S.: Entwicklung einer Rotorscherenfamilie in der Jászberényer Zerkleinerungsmaschinenfabrik AG. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.111-121.
- [97] Schubert, G.: Aufbereitung metallischer Sekundärrohstoffe.Band.I.VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.1983
- [98] Csőke, B.: Zerkleinerung von Duroplastabfällen.2. Internationale Fachtagung "Fortschritte in Theorie und Praxis der Aufbereitungstechnik" 35 Jahre Forschungsinstitut für Aufbereitung, 24-26.Oktober 1989, Freiberg,pp. 178-183.
- [99] Csőke, B.: Zerkleinerung von Abfällen.Publications of the University of Miskolc, Series A. Mining, Vol. 48(1993), Fasc.1-4.,pp.75-88.
- [100]Tarján, G.: Mineral processing. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981

- [101]Schubert, H.: Aufbereitung fester Stoffe. Band II: Sortierprozesse. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart.1996
- [102]Kirchner, J.-Schubert, G.: Zerkleinerung der Schrotte und Metall in Shreddern. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.122-133
- [103]Vejnar, P.: Recovery of NON Ferrous Precious Metals from Electronic Scrap. Preprints XVII. International Processing Congress. Dresden, September 23-28, 1991.p.209-219
- [104]Schniermann, A.: Die Rolle der Zerkleinerung im Kunststoffrecycling. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.71-81
- [105]Timmel, G. .-Schubert, G.- Jäckel, G-G.: Zerkleinerung in Shreddern mit vertikalem Rotor. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.146-155.
- [106]Tanulmányok-Hazai-Lévai

CÉG-Prospektusok

- P.1. Universal –Zerkleinerer Typenreihe ZEREC (Prospekt). Lindemann Maschinenfabrik GmbH. Düsseldorf
- P.2. Kondirator (Prospekt). Lindemann Maschinenfabrik GmbH. Düsseldorf
- P.3. Metallzerkleinerer für Elektronik-Schrott (Prospekt). Lindemann Maschinenfabrik GmbH. Düsseldorf
- P.4. Spänezerkleinerer (Prospekt). Lindemann Maschinenfabrik GmbH. Düsseldorf
- P.5. Hochfrequenz NE-Metallscheider. (Prospekt). Lindemann Maschinenfabrik GmbH. Düsseldorf
- P.6. GAS-HESE Aufbereitungsanlagen (Prospekt). ERNST HESE GmbH. Gelsenkirchen
- P.7. IFE (Prospekt) Industrie-Einrichtungen Fertigungs-Aktiengesellschaft Waidhofen/Ybbs Austria
- P.8. IFE Magnettechnik (Prospekt). Industrie-Einrichtungen Fertigungs-Aktiengesellschaft Waidhofen/Ybbs Austria
- P.9. ERIEZMagnetics Europa Ltd. U.K. Bedwas, Newport (Prospekt)
- P.10. WAGNER (Magnete Prospekt)) Kg.Heimertingen (DE)
- P.11. Separationsanlage für Nichteisenmetallen. STEINERT Elektromagnetbau GmbH. Köln
- P.12. APRÍTÓGÉPGYÁR, Jászberény
- P.13. SVEDALA Kft., Budapest
- P.14. Handbuch Mechanische Verfahrenstechnik. Alpine. Augsburg
- P.15. Mechanische Verfahrenstechnik. Prospekt 017/7 d , ALPINE, Augsburg
- P.16. Hackschnitzel-Trockenreinigungsanlagen. Prospekt 342-346/3 d , ALPINE, Augsburg
- P.17. Kühlschränk Recycling (Prospekt). Kröpfel Abfallwirtschaft GmbH. Attnang-Puchheim
- P.18. HERBOLD Schneidmühle (Baureihe SMS). HERBOLD Maschinenfabrik GmbH. Meckesheim (DE)
- P.19. Zerkleinerungsmaschinen (Prospekt). Alpirsbacher Maschinenbau GmbH.&Co.KG. Alpirsbach-Peterzell
- P.20. MeWa Recycling Anlagen (Prospekt). MeWa Recycling Maschinen und Anlagenbau. GmbH.Geschingen.
- P.21. Bomatic Umwelt- und Verfahrenstechnik GmbH. (Prospekt) Quickborn (DE).
- P.22. MOCO Zerkleinerungstechnologie (Prospekt). MOCO Maschinen- und Apparatebau GmbH. Viernheim (DE)

P.23. Shredder- und Zerdirator Anlagen (Prospekt). Lindemann Maschinenfabrik GmbH.
Düsseldorf

P.24. Vorzerkleinerer für Kunststoffe (Prospekt). Adelman Anlagen- und Maschinenbau,
Umwelttechnik GmbH. Karlstadt

P.25. Bulldog Scrap Shredders. (Prospekt). Hammermills Inc. Cedar Rapids, Iowa USA

P.26. Mahlanlage B45/50. (Prospekt). Adelman Anlagen- und Maschinenbau, Umwelttechnik
GmbH. Karlstadt (DE)

P.27. BEZNER Maschinen. Maschinenfabrik Bezner GmbH. Ravensburg (DE)

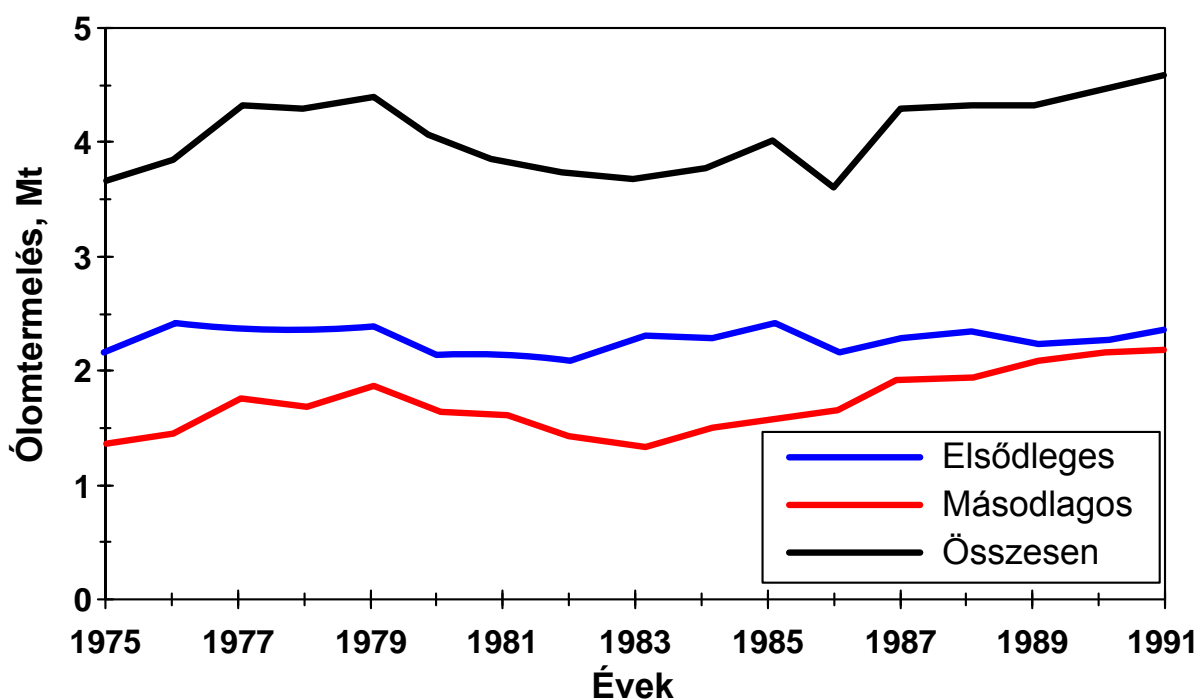
P.28. HAZEMAG.

7.4 Hulladékakkumulátorok feldolgozása

Dr. Csőke Barnabás

7.4.1 A használt akkumulátorok feldolgozásának környezetvédelmi és gazdasági jelentősége

A világ ólomtermelésére az egyenletes (188. ábra) kismértékű emelkedés a jellemző. A teljes termelésen belül a másodlagos ólom termelése nő erőteljesebben (90-es években évi 3 %), a mennyisége a 80 években elérte, a 90-es években pedig meg is haladta az elsődleges ólom termelését. A másodlagos ólom további növekedését ösztönzi, hogy a nyersérc-készletek korlátozott mennyisége is (egy 1975-ös Világbanki tanulmány a készletek élettartamát 20-30 évre becsülte, M.Radetzki, Metall 30/1976.p.464).



188. ábra. Fejlett ipari országok ólomtermelése

Hasonló megfigyelést tehetünk az árak alapján. Mind az elsődleges, mind pedig a másodlagos ólom-termelés gazdaságossága erősen függ az ólom árától, valamint a felhasználástól. Befolyásolják a gazdaságosságot a környezetvédelmi előírások, ill. az ehhez kapcsolódó állami támogatások (ösztönző eszközök) is.

68. táblázat. Ólom árának alakulása

Év	Ár, USD/t
1981	811
1985	424
1987	933
1996	770*
1997	638*

*Londoni tőzsdei ár (a többi amerikai)

Az ólom ára a 1985-ben érte el mélypontját. 1987-re nemcsak elérte, hanem meg is haladta a 80-évek elején elért szintjét, a 90-es években 600...800 \$/t között ingadozott.

69. táblázat. Ólomtermelés a 90-es években

Év	Mennyiség, kt		
	Elsődleges	Másodlagos	Teljes
1991	2181	2262	4443
1992	2233	2268	4501
1993	2248	2208	4556
1994	2140	2367	4507
1995	2145	2490	4635
1996	2150	2585	4735
1997	2250	2750	5000

Az ólmot legszélesebb körben az akkumulátorgyártásban használják fel (**70. táblázat**). Az ólomfelhasználás további növekedése várható, amelyet az elektronika (a számítógépek, a biztonsági rendszerek folyamatos, szünetmentes áramellátásának biztosítása) és az autógyártás (az indítást és az elektronikát szolgáló akkumulátorok különválasztása, a két részt egybe építik), valamint új felhasználási lehetőségek (pl. aszfalt stabilizátorként való alkalmazás, amellyel a stabilizált aszfalt élettartam közel kétszeresére nő) ösztönöznek. Következő évekre a kereslet egyenletes kismértékű kb. évi 1 % -os növekedése prognosztizálható, amely várhatóan stabilizáló szerepet tölt be az ólomárak alakulásában is.

A szakértők a gazdaságos termelést biztosító ár határértékének a 660 \$/t -t ítélik. Tízéves távlatban e határérték feletti éves átlagár prognosztizálható. Tény az is, hogy a mai árak az elsődleges ólomtermelést is stabilizálták.

A **71. táblázat** az elsődleges és másodlagos ólomtermelés energia szükségletét mutatja, amely önmagában is alátámasztja a másodlagos, azaz az elhasznált akkumulátorokból történő ólomtermelés gazdaságosságát.

70. táblázat. Ólom-felhasználás összetétele a fejlett ipari országokban

Termék	Felhasználás összetétele (tömegaránya) %
• Akkumulátorok	60,4
• Kábel-burkolás	5,1
• Hengerelt és présáru	7,5
• Lőszer	2,3
• Ötvözés	3,9
• Festékgyártás	13,6
• Üzemanyag-adalék	2,9
• Egyéb	4,3
• Összesen	100,0

71. táblázat. Energia-igény fémek előállításakor

Komponens	Elsődleges fém [GJ/t]	Másodlagos fém [GJ/t]
Magnézium	400	11
Alumínium	270	14
Réz	115	19
Cink	30	10
Ólom	70	18

A fentiek alapján a hulladékakkumulátorok hazai feldolgozásának szükségességét az alábbiak indokolják:

- Környezetvédelmi szempontból:
 - ◇ az akkumulátorok fokozottan veszélyes anyagokat tartalmaznak, amelyek a használatból kikerült akkumulátorok esetében a környezetbe jutva, maradandó környezeti és egészségkárosodást okoznak;
 - ◇ a használat után nem szakszerűen kezelt, a hulladékokkal keverten jelentkező akkumulátorok károsító hatásai évtizedeken át érvényesülhetnek (erre bizonyíték a hevesi ólomfeldolgozók tragédiája is);
 - ◇ a Baseli Egyezmény korlátozta a hulladék exportot, ami az akkumulátorok külföldi feldolgozási gyakorlatát rövidtávon kizárja.
- Nyersanyagként történő hasznosítás szempontjából:
 - ◇ a világ növekvő ólomtermelésében és felhasználásában nő a másodlagos ólomtermelés aránya, abszolút és relatív értelemben egyaránt;
 - ◇ az elhasznált akkumulátorból kinyert másodlagos ólom-előállítás profittermelő képessége évente 10-25%-kal nő;
 - ◇ jelentősen csökkenhet az ólombányászattal összefüggő környezetkárosító hatás és az ilyen típusú egyszeri és rendszeres beruházások és ráfordítások mértéke.

A fejlet ipari országokban a másodlagos ólom az ólom-szükséglet 40...60 % -át fedezi. A **70.** táblázat és **72. táblázat** alapján látható, hogy a másodlagos ólom-előállítás döntő forrását az akkumulátorok szolgáltatják, és újrahasznosításuk fő iránya is az akkumulátorgyártás.

72. táblázat. Ólom újrahasznosítása

Termék	Újrahasznosítási aránya, (%)	Életciklus, (év)
Akkumulátorok		
• személyautó	80 -90	3 - 4
• tehergépkocsi	~ 100	5 - 6
• állandó telepítésű	~ 100	5 -15
Lemez	95 - 100	100
Cső	70 -80	50
Kábel-burkolás	50	40

7.4.2 Elhasznált akkumulátorok mennyisége, szerkezeti anyagai

Hazai elhasznált akkumulátorok mennyisége

A keletkező használt akkumulátorok mennyiségi becslésére lehetőséget biztosítanak

- az értékesítésre vonatkozó statisztikai adatok;
- az akkumulátoros járművek, különböző funkciójú berendezések üzemeltetési jellemzői;
- a begyűjtésre vonatkozó statisztikák feldolgozásból és a tendenciák extrapolálásából levont következtetések.

Értékesítési adatok alapján – figyelembe véve a hazai gyártást, exportot, importot – 22000 t/év gépjármű indító és kb. 2500 t/év ipari savas akkumulátorral számolhatunk. A lúgos nikkell-kadmium akkumulátorok mennyisége 400-450 t/év körül becsülhető (**73. táblázat**).

73. táblázat. Képződő akkumulátor hulladék (Forrás: BAY-LOGI, Miskolc)

	Értékesítési adatok alapján (tonna/év)	Üzemeltetési adatok alapján (tonna/év)
Savas akkumulátor (gépjárművek)	22000	19000
Savas akkumulátor (ipari alkalmazás)	2500	Nehezen meghatározható
Lúgos (Ni-Cd) akkumulátor	450	350

Az üzemeltetési volumenek adatai alapján 2.500.000 db személygépkocsi, 260000 db haszongépjármű és kb. 70000-80000 db motorkerékpár forgalomban tartását becsülhetjük. Ez kb. 19000 t/év használt akkumulátor feldolgozását jelenti 3,5 évre feltételezve az akkumulátorok átlagos élettartamát (Forrás: BAY-LOGI, Miskolc).

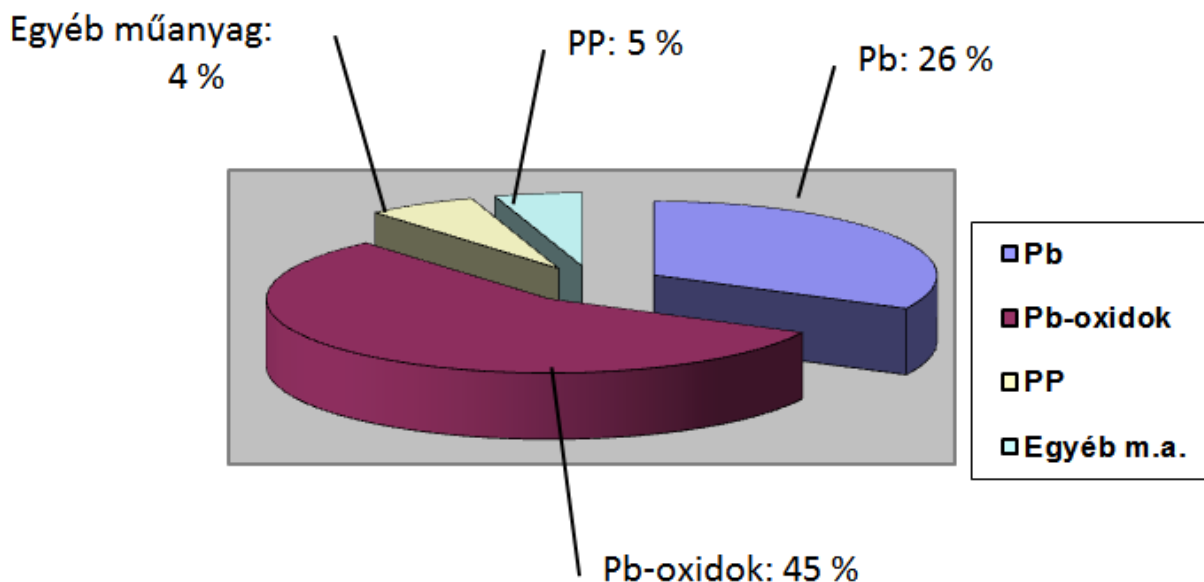
74. táblázat. Képződő akkumulátor hulladék részletezve (Forrás: BAY-LOGI, Miskolc)

		ezer db	ólomtart (kg)	Átlagos akku élettartam (év)	Akku teljes tömege (t)	Ólom tartalom (t)
szgk	1992	2058	13	3,50	11584	7644
19,7 kg/db	1994	2200	13	3,50	12383	8171
tehergk.	1992	220	24,5	2,00	6600	4042
40 kg/db	1994	240	24,5	2,00	7200	4410
			ÖSSZESEN	1992	18184	11086
				1994	19583	12581

Távlatban: a hazai autópark életkora (várhatóan kb. 100000 szgk./év kerül bontásra shredder-üzemekben, amelyekből 1200 t/év elhasznált akkumulátor kerül ki), valamint a

gépkocsiállomány alapján - a begyűjtés határfokától is függően - évi 18000-24000 t akkumulátor hulladék kerülhet e forrásból feldolgozásra.

Használt savas akkumulátorok átlagos összetétele **189. ábra** szemlélteti.



189. ábra. Használt savas akkumulátorok átlagos összetétele

Az ólom világpiaci árának növekedésével egyidejűleg növekszik a másodlagos termelésű ólomfelhasználás aránya. Mindezekből következően megbízhatóan prognosztizálható, hogy a hazai készletből kinyerhető kb. 15000 t/év ólom mennyiség nehézség nélkül gazdaságosan értékesíthető, amely hozzávetőlegesen 2 milliárd Ft árbevétellel jár. Az export árbevétele pedig nem éri el az 1 milliárd Ft, ami közel milliárdos veszteséget jelent a gazdaságnak. Ha az ólmot importálni is szükséges, akkor további veszteségekkel számolhatunk.

Tehát a hazai elhasznált akkumulátorok feldolgozásához jelentős nemzetgazdasági és környezetvédelmi érdek fűződik.

Mindezeket felismerve készült a hazai szabályozás.

A hazai szabályozás

A magyar környezetvédelmi törvényalkotás és termékdíj-bevezetés túljutott a kritikus döntési fázisokon, az 1995. évi LIII. és a termékdíjról szóló 1995. évi LVI. törvény egyértelműen

előírja, hogy a használt akkumulátorok feldolgozásáról miként kell gondoskodniuk a gyártóknak, az értékesítőknak és az üzemeltetőknek.

A fejlett országok a használt akkumulátorok feldolgozásánál a koncentrált feldolgozó helyek kialakítására törekedtek. A feldolgozó üzemek kapacitásának alsó határa 5000-10000 t/év, átlagos kapacitásuk 20000-30000 t/év, ezért az idehaza keletkezett használt akkumulátorokat egy-két üzemben célszerű feldolgozni.

7.4.3 Mechanikai eljárásokkal történő feldolgozás (előkészítés) technológiája, anyag-mérlege és berendezései

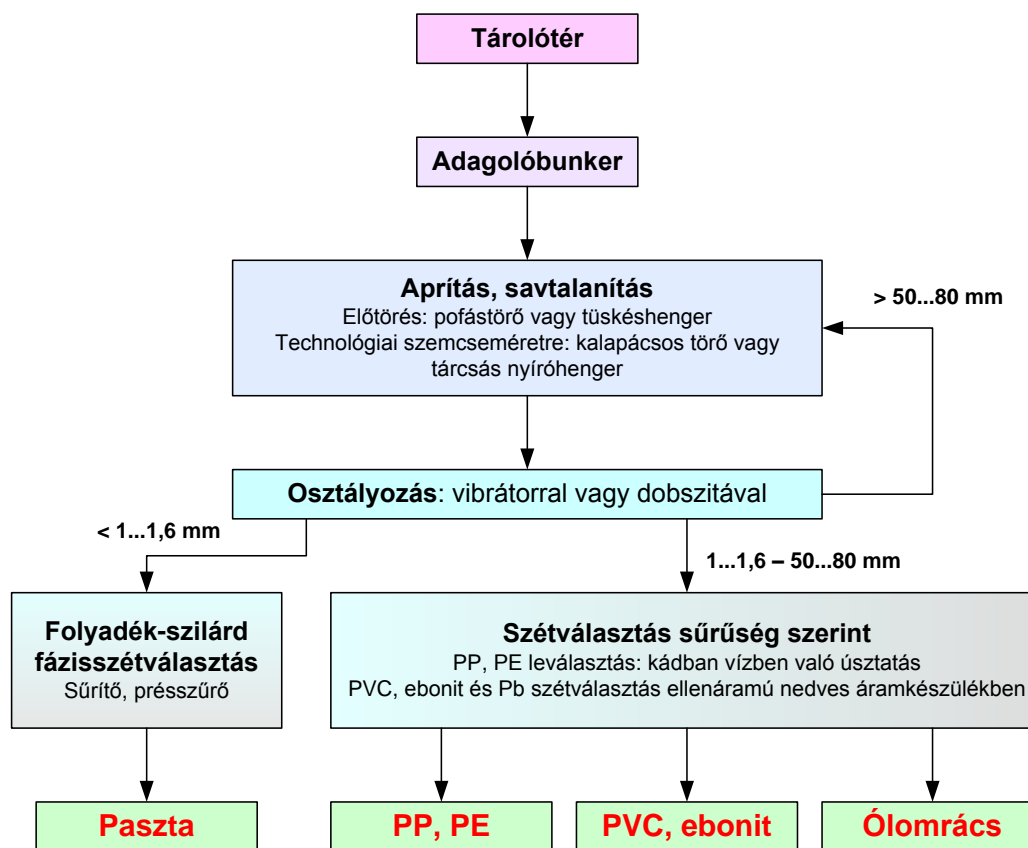
A legrégebb feldolgozási folyamatban az elhasznált akkumulátorok előkészítése (a hasznos komponensek, mint az ólomrács és a műanyag, ill. ólomtartalmú paszta, mechanikai eljárásokkal történő kinyerése) és az azt követő fémólommal történő kohászati feldolgozás ketté vált. A mai korszerű üzemekben a két üzemrész egységes technológiai rendszert képez.

Előkészítés

Az előkészítés jellegzetes megoldásait a **190.** ábra és **191. ábra** szemlélteti.

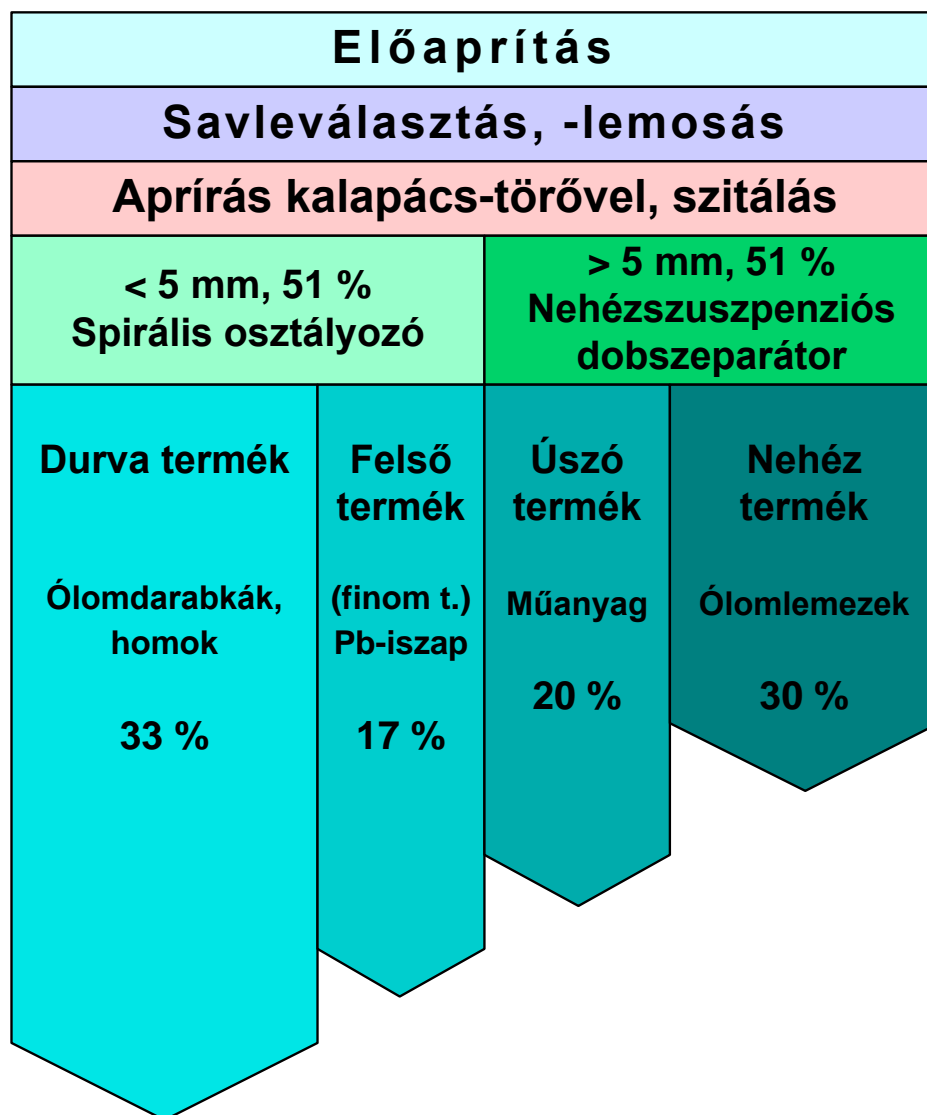
Függetlenül attól, hogy az előkészítőmű önálló üzem-e vagy a kohászati résszel egységet képez az előkészítés az alábbi fő feladatokat oldja meg (**190. ábra**):

- anyag fogadása és feladása a rendszerre;
- savtalanítás és előtörés;
- aprítás és a szerkezeti anyagok szétválasztása (szeparálás);
- folyékony anyagáramok kezelése:
 - nagy savtartalmú folyadék,
 - technológiai mosóvizek, szuszpenziók és paszta, esővíz;
 - légnemű anyagáramok kezelése: előkészítő üzemrész berendezéseinek portalanítását és savgőzök elszívását szolgáló légáramok tisztítása.



190. ábra. Ólomakkumulátorok előkészítése

Az akkuhulladékot a tehergépkocsik rendszerint mélybunkerbe ürítik, amelyből markoló rakja át az adagolóba. A bunkerben az ürítés és az átrakás során az akkumulátorok részben széttörnek és a sav a bunker alján lévő zsombból kiszivattyúzható. A tárolóból a markoló rezgővályúra rakja az anyagot, ahol további vízpermetezés közben mágnesekkel kiválasztják a vasat a hulladékból. Ezt követően a hulladékot két fokozatban aprítják: egy tuskéshenger vagy forgótárcsás, esetleg kalapácsos törőberendezés a dobozokat átlyukasztja, ill. előaprítja az anyagot, hogy a sav is elfolyhasson, majd az előaprítékot egy újabb -forgótárcsás vagy kalapácsos- törőben továbbaprítják. A töretet osztályozzák: a pasztát vibrátoron leválasztják, majd sűrítik és szűrik; a durva szitamaradványt - rácsokat, pólusokat és a műanyagokat-hidraulikus áramkészülékekben (hidro-szeperatorokban) vagy nehézsuszpenziós készülékben szétválasztják (190. ábra és 191. ábra). Lényeges eleme a szeparálásnak, hogy a műanyag hulladékból különválasztják a PVC-t!



191. ábra. Elhasznált ólomakkumulátor előkészítési technológiája

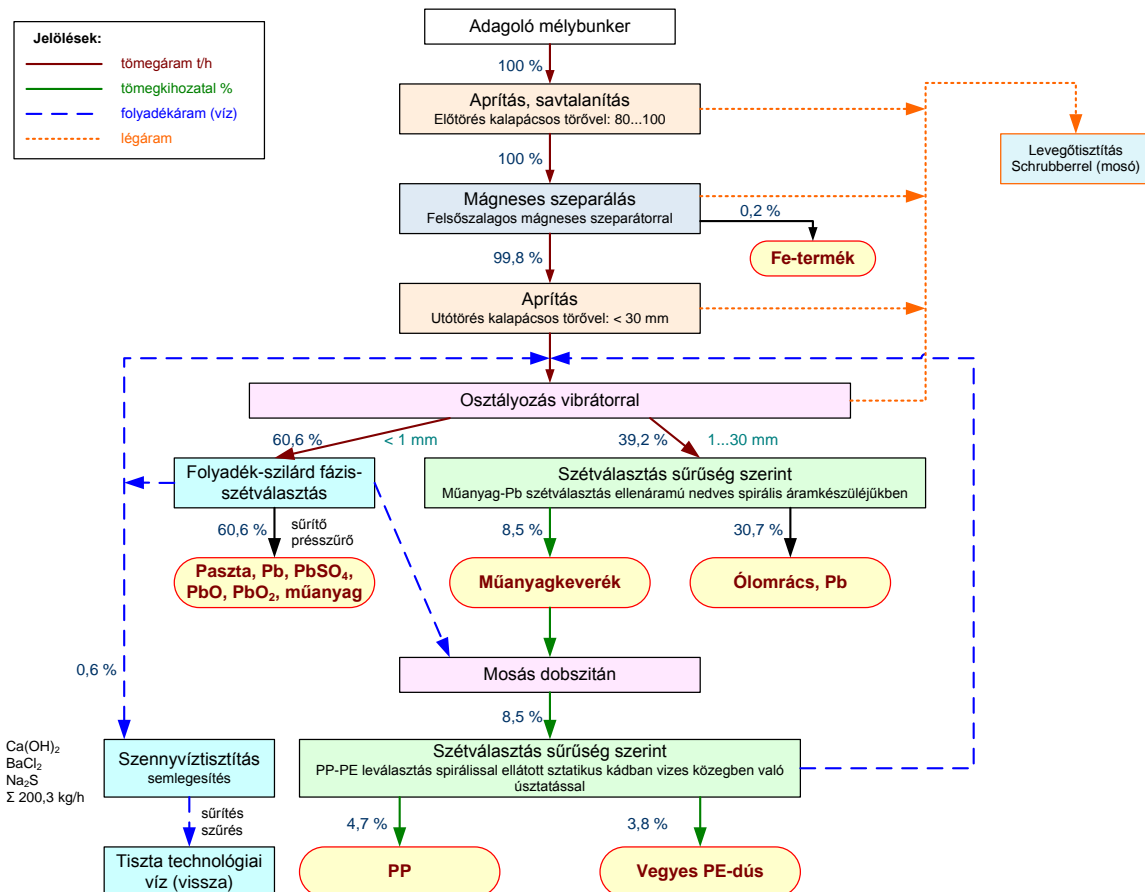
Az első hazai (vekerdi) feldolgozó üzem előkészítési technológiai folyamata

Kapacitás: 25 000 t/év használt savas akkumulátor

A technológiai folyamat áttekintő egyszerűsített vázlatát a **192. ábra** tünteti fel, amelyen az anyagmérleget is megtaláljuk. A technológiai folyamatban a hulladékanyagot két fokozatban kalapácsmalomban aprítják le -elsőként 80... 100 mm-re, majd <30 mm- re-, miközben az első törés után mágneses szeparálásnak vetik alá. A töret ezt követően vibrátorral <1 mm és 1...30 mm szemcsefrakciókra bontják. A finom (< 1 mm) rész szilárd anyagát elválasztják a savas folyadéktól. A szilárd részt tartalmazó (Pb, PbO, PbO₂, PbSO₄ tartalmú) paszta kohászati feldolgozásra kerül. Az itt kapott folyadékot részben az osztályozó szitákhoz vezetik vissza, részben pedig a szennyvíztisztító rendszerre vezetik. A vibrátor durva (1...30 mm)

szemfrakcióját ellenáramú spirális áramkészülékre (hidro-szeperatorral) vezetik ahol durva ólom- és kevert műanyag-termékekre választják szét.

Vízkezelés. A vízkezelés rendszerint többkörös, zárt rendszerű. Külön kezelik a nagy ólom és a nagy savtartalmú vizeket, valamint külön az öblítő-mosó vizeket, amelyhez csapadék-vízkezelő és ún. záportároló kapcsolódik szervesen. A savas vizet a semlegesítő tartályba szivattyúzzák, majd mésztejjel közömbösítik, sűrítik és szűrik.



192. ábra. A vekerdi üzem, előkészítési részleg szilárd anyagánakanyagmérlege

7.4.4 Feldolgozás (fémkinyerés) kohászati műveletei, anyagmérlege

A kohósítás során az alábbi feladatokat kell megoldani:

- olvasztás,
- finomítás és öntés,
- légnemű anyagáramok kezelése: kohászati üzemrész kemencéi eltávozó gázainak tisztítása.

A kohósítási eljárásban jelentős különbség van abban, hogy a kohósítás előtt milyen az alkatrész szétválasztás mélysége. A kohósítási technológiákba kerülhet

- ólommassza, ólomrács, polipropilén és egyéb műanyagok;
- csak ólommassza és ólomrács;
- ólomrács és deszulfatizált ólommassza.

A legegyszerűbb megoldásnál az akkumulátorok kalapácsmalomban vagy forgótárcsás nyíró-aprítógépben való összetörése után az összes anyagot kohósítják. Egyszerűbb eljárásoknál a műanyagokat gyakran elégetik és a végtermék a nyers finomítandó ólom.

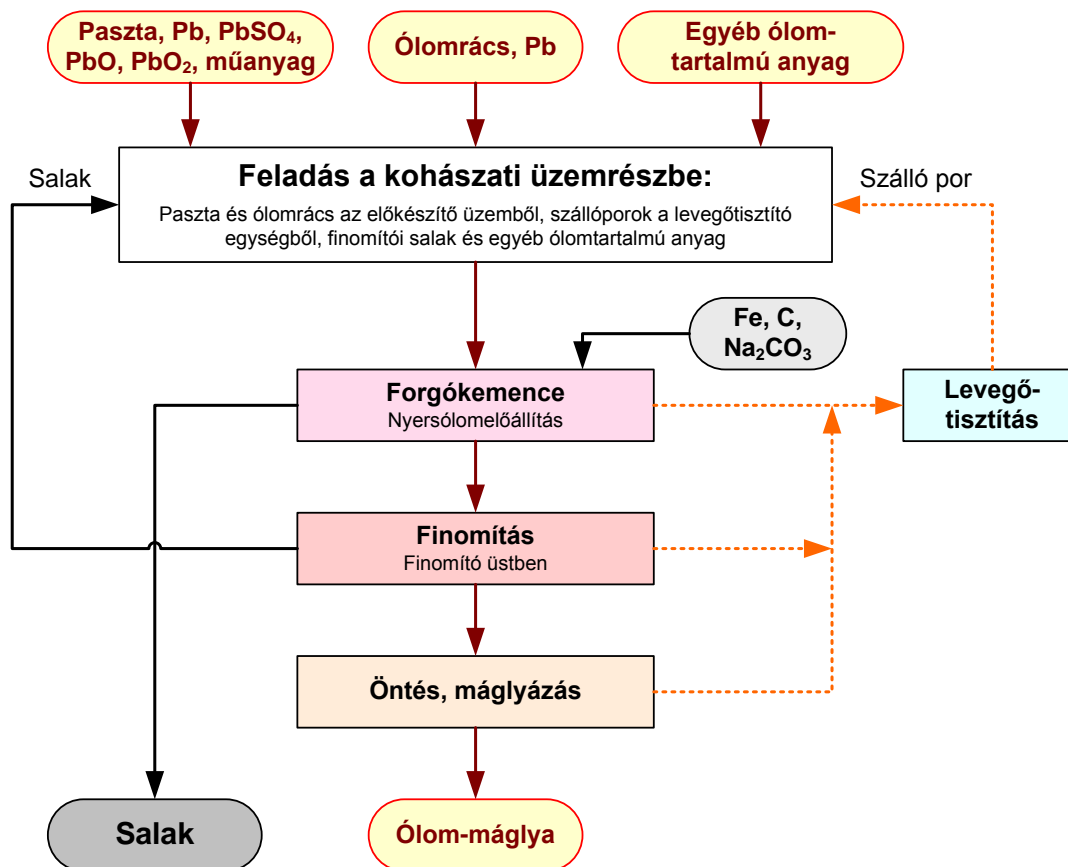
Ennél fejlettebb eljárás, amikor a keménygumi alkatrészeket elválasztják és nem égetik el, további fejlettségi szint, amikor az összes műanyagot kinyerik, a polipropilént és a polietilént újra feldolgozzák, a PVC deponálják, az ólmot finomítják. Egy másik eljárás szerint az ólommasszát nátrium-karbonáttal kezelve annak szulfáttartalmát elválasztják és újrafelhasználható nátrium-szulfát alakban nyerik ki. A keményólm (ólomrács, ólomhíd, kivezetők) és az ólommassza (az energiatároló aktívanyag) mindegyik esetben kohósításra kerül - a megvalósítás alatt áll hazai (vekerdi) üzem technológiája ez utóbbinak megfelelő.

A vekerdi tervezett üzemben összes ólomtartalmú anyagot, amelyet az akkumulátoroknak az előkészítése (aprítása és szeparálása) során kaptak meg, elsőként a forgókemencében dolgozzák fel (**193. ábra**). A forgókemencében nyert nyersólmot ezt követően finomítják és végül a finomított ólmot tömbökbe öntik, amelyek máglyákba rakva kerülnek a késztermék-tárolóba. A forgókemencéből nyert salakot salaktárolóban gyűjtik. A két kohászati egység (forgókemence, finomító üst) légáramát szűrőkkel megtisztítják, a felfogott port edénybe összegyűjtik, és hasonlóképpen a finomító üstből nyert salakhoz, forgókemencébe visszavezetik.

Kohósítás ekkor tehát alap és tisztító olvasztásból áll. Az alapolvasztásra

- a paszta,
- a szűrőkről visszajáratott por,
- a finomításból származó fölözék és salak kerül.

A folyamatba salakképző és redukáló anyagokat (homok, vasforgács, szóda, koks) adagolnak. A hőmérsékletet oxigénes gázegővel biztosítják. Az ólmot lecsapolják és fémkokillába öntik elszívó-ernyő alatt, majd a tömböket átszállítják a raffináláshoz.



193. ábra. A vekerdi üzem kohászati részlegének törzsfája

Olvasztás forgókemencében

A forgókemencében lejátszódó legfontosabb reakciók a következők:

- $\text{PbSO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{PbS} + 2\text{CO}_2$
- $\text{PbS} + \text{Fe} \rightarrow \text{Pb} + \text{FeS}$
- $\text{PbO} + \text{CO} \rightarrow \text{Pb} + \text{CO}_2$
- $\text{PbCl}_2 + \text{Na}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO} + 2\text{NaCl}$

A szenet (C) és a vasat (Fe) kokszként ill. vasforgácsként adagolják az anyaghoz. A Na_2O a Na_2CO_3 nagy hőmérsékleten való bomlásának terméke.

Raffinálásra (finomításra) az előbbi tömbök és a leválasztott ólomrácscok, ill. a darabos ólomhulladék kerül. Nem szükséges az ólom kohászatában megszokott és bonyolult, sok

lépéses finomítás, a réz- és az antimon-eltávolítás általában elegendő. A tisztított ólmot tömbökbe öntik.

A nyersólom-előállítás (forgókemencében) anyagmérlege

A forgókemencéből kilépő anyagok átlagos becsült mennyisége:

	Nyersólom	Salak
Sb	1,8-2%	0,05%
Sn	0,08-0,12%	0,02%
Cu	0,08-0,10%	0,2-0,3%
As	0,05-0,10%	0,005%
Ni	0,01-0,015%	0,005%
S	0,10-0,40%	10,5%
Ag		0,0025-0,0030%
Bi		0,015-0,020%
Pb mérleg		10,00%
Fe		57,00%
Cl		1,50%
SiO₂		6,00%
Al₂O₃		0,20%
CaO		5,60%
egyéb		mérleg

Bemenő anyagok

- paszta
- szállópor
- fém az akkumulátorokból
- salak a finomítóból

- egyéb anyagok
- szén
- öntöttvas forgács
- Na_2CO_3

Kimenő anyagok

- nyersfém
- szállópor (újrafelhasználásra kerül a forgókemencében)
- salakok (8%-nál nem nagyobb ólomtartalommal)
- kilépő gáz

Emisszió a kilépő gázban, összetétel:

por	< 4	mg/m^3
SO_x	< 80	mg/m^3
NO_x	< 150	mg/m^3
HCl	< 1	mg/m^3
szerves anyagok (COT)	< 10	mg/m^3
CO	< 1	mg/m^3

További különbségek lehetnek a kohó kialakításában, valamint a redukció során alkalmazott paraméterek között. Az eljárások egyik legfontosabb jellemzője a kibocsátott melléktermék, a salak ólomtartalma és mennyisége. Ez mind közgazdasági, mind környezetvédelmi szempontból igen kritikus pontja a technológiáknak, hiszen a salak ólom- és egyéb szennyezőanyag tartalmától függően kerülhet vagy normál lerakásra, vagy veszélyes hulladéktárolóba. 20000 t használt akkumulátor feldolgozásánál a fejlett feldolgozó eljárások mellett is képződik évente 2500-3000 t salak, ami a kevésbé fejlett technológiáknál elérheti a 7000-8000 tonnát is.

További fontos jellemző, amely nem szigorúan az eljáráshoz kapcsolódik, a technológiában alkalmazott környezetvédelmi leválasztó (levegőt, vizet tisztító) módszer. Az eljárások közös jellemzője, hogy különböző adalékokkal előállított redukáló gázok segítségével, magas

hőmérsékleten (750-1100 °C) fémólmá alakítják az ólomvegyületeket. Ezt a fémólmot aztán tovább tisztítják és szükség szerint ötvözik.

A technológiai folyamat végtermékei: kívánt összetételű ólomtömbök, melléktermékként nyert tiszta műanyag, e főként polipropilén- és polietiléntöret másodnyersanyagként és/vagy másodtüzelőanyagként hasznosításra kerül. Az esetlegesen kinyert ötvöző-anyagokat, vashulladékot szintén hasznosítják.

Levegőtisztaság-védelem. A technológiai berendezések szinte mindegyikétől elszívó-ernyőkön keresztül a levegőt elszívják, de az üzemcsarnok légtérét is enyhe depresszió alatt tartják. A technológiai gázokat és az elszívott levegőt rendszerint zsákos porszűrővel tisztítják meg.

Technológiai veszélyes maradványok kezelése. A kereskedelmileg nem hasznosítható és veszélyes hulladéknak minősülő melléktermékeket (szennyezett műanyagot), a veszélyes hulladékokat - salakot, gipsziszapot - véglegesen veszélyes hulladék-lerakóban helyezik el.

Az MRH eljárás eltér a kohászati technológiától, kisebb volumen 10000-12000 t/év kapacitásig eljárás. Az eljárást a műanyagházas indítóakkumulátorok feldolgozására tervezték. Az 1200x800 mm-es EUR raklapon átlagosan 45 db akkumulátor fóliaburkolatát megbontják, a záródugókat eltávolítják és a telepeket a savas tartályok tartórácsaira helyezik, ahol a sav a kádakba ürül. A sav nélküli telepek fedelét egy félautomata célgéppel lefűrészelik. A fedelet konténerbe, az akkumulátort görgősorra továbbítják, ahol a cellákban lévő pólusokat kiemelik, majd elválasztják a pozitív és negatív pólusokat és a közszigetelőket. Az elemeket fajtánként konténerekbe rakják, mossák, a műanyag részeket a törő-szétválasztó rendszerbe továbbítják. A lemosott pólusokat 50 °C-on kamrában szárítják. Az elektródokról a hidalásokat pneumatikus célgéppel levágják és konténerekben gyűjtik az átolvasztáshoz (Sb tartalmú keményólm). Az elektródák anyagának a szétválasztása célgépeken történik (speciális fogazatú hengerek eltávolítják az aktív anyagot a rácsból zárt rendszerben). A keményólm rácsok alacsony hőmérsékleten (330-360 °C) átolvasztásra kerülnek, így a nagy értékű antimon nem vész el. Az aktív anyag zárt rendszerben szállítócsigán, őrlő berendezésen, elevátoron keresztül tárolótartályba jut. Innen az anyag automatikus adagolással az elektromos fűtésű reaktiváló berendezésbe kerül, ahol 400-600 °C-on végbemegy a különböző ólomvegyületek termikus átkristályosodása. A reaktivált anyag speciális zárt tároló-szállító tartályokba jut, amelyeket a készáru-raktárba szállítanak.

Az MRH módszernek több előnye van a tiszta kohászati eljárással szemben:

- kisebb a füstgázban az ólomemisszió;
- nem kell magas (1100 °C) hőmérsékleten redukálni az ólomvegyületeket;
- biztosítja a massa közel 100 %-os újrafeldolgozását,
- kisebb a beruházási igény, mint a kohósításnál;
- kicsi kapacitású feldolgozó művek is építhetők, így jelentősen csökkenthető az elhasznált akkumulátorok szállítási távolsága;
- az értékes antimon jelentős része megmarad a keményólomban.

Hátránya az eljárásnak:

- a nagyobb élómunka igénye;
- a technológia környezettől kevésbé zárt;
- emiatt és a kézi munkával járó nagyobb a munkahelyi egészségügyi kockázat.

Irodalom

- [1] Peters M.D.: Secondary lead gets mixed reviews. Recycling Today. 1987.No.10.p.64.
- [2] Szentimreyné H. O.-Harrach W.: Stratégiai anyagok- stratégiai anyaggazdálkodás. BKL. Kohászat. 1997.8.-9.sz. p.297
- [3] Medhat. A. el Fotouh: Használt ólomakkumulátorok feldolgozása. BKL. Kohászat. 1997.2.-3.sz. p.77
- [4] Szabó G. : Használtakku-üzlet. HVG.Gazdaság.1997. November. p.125.
- [6] Schubert G.: Aufberetung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle. Teil 1. Aufbereitungstechnik. 991. Nr.2.p.78.
- [7] M.L.Deelo.: Lead. Engineering & Mining Journal 1997. No.3. p.WW-17
- [8] Plant for Recycling of Spent Batteries 20-25 000 ton/year. SE.R.I. (81016 Piedimonte Matese)
- [9] Vekerd község területére tervezett hulladék akkumulátor feldolgozó üzem Részletes Környezeti Hatástanulmánya. Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék. Miskolc.2005 (Szerzők Csöke B, Lengyel A, Szűcs I)

7.5 Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása és hasznosítása

Dr. Bodnár Ildikó

Ma már a legtöbb iparág működése és fejlődése elképzelhetetlen lenne műanyagok nélkül. A műanyag termelés ennek megfelelően az elmúlt évtizedek során folyamatos növekedést mutatott, s ez a tendencia várhatóan a jövőben is hasonló irányban változik majd. A csomagolóipar, elektronikai ipar, nehézipar, gépjárműgyártás, közlekedés, mezőgazdaság, építőipar, egészségügy területén ma nagy mennyiségben használatosak ezek az anyagok, elsősorban alacsony áruknak, kis sűrűségűeknek, korrózióállóságuknak, és egyéb előnyös tulajdonságaiknak köszönhetően.

A környezetvédők, a lakosság közül természetesen sokan vádolják - a növekvő műanyag hulladékmennyiség miatt - a műanyagipart (szemétlerakó hegyek, lakott területhez közeli égetőművek, stb.), de műanyagok nélkül az élet számos területe elképzelhetetlen lenne. Napjainkban a hulladékok fellazulása egyértelműen megfigyelhető jelenség, mely jelenség oka a szilárd hulladékok térfogatának rohamos növekedése, miközben a tömegük alig növekszik. Ez a kommunális hulladékok esetében egyértelműen megállapítható, s melyhez a papírhulladékok és egyéb csomagolási hulladékok mellett a műanyag hulladékok is egyértelműen hozzájárulnak. A társított csomagolóanyagok is tartalmaznak műanyag részeket, melyek esetén a műanyagtartalom kb. 10 % körüli.

Mindezt figyelembevéve a keletkező műanyag hulladékok kezelése nemcsak a szakemberek, hanem a lakosság számára is alapvető fontosságú. A megfelelő kezeléssel, elhasználódás utáni feldolgozással, újrahasznosításával, illetve új típusú, lebomló műanyagok alkalmazásával a környezet védelme azonban megoldható. További bizonyítékot jelenthet a műanyagok pozitív megítélésére az is, ha ún. ökomérleget készítünk [1], melyhez felhasználjuk a műanyagok előállításához szükséges energia- és nyersanyagigényt, a gyártással a környezetnek okozott terhelést, valamint a hulladékhasznosítás módjait. Ennek megfelelően a műanyagok ökomérlege megállja a helyét pl. a papír vagy akár az alumínium ökomérlegével szemben is. Független nyugat-európai intézetek által végzett életcikluselemzések alapján is megállapítható, hogy a műanyagok hatékonyan használják fel a természeti erőforrásainkat.

A műanyagból és gumiból készült tárgyaink használat után hulladékként jelentkeznek. A hagyományos tömegműanyagokból gyártott műanyagok hulladékai a természetes vagy szintetikus, lebomló polimerekkel (pl. poliszacharidok, polilaktidok, polikaprilakton, stb.) szemben baktériumok számára nem lebonthatók, ezért felhalmozódásuk megakadályozása

céljából kezelésükről, újrahasznosításukról gondoskodni kell [1, 2]. A műanyag hulladékok kezelésekor - hulladékgazdálkodási szempontból - az alábbi követelményeket kell figyelembe venni:

- Hulladékszegény vagy hulladékmentes technológiák bevezetése, a termék méretének csökkentése, vagy termékcsere [2],
- A képződő hulladék kezelése: visszadolgozás vagy újbóli felhasználás (tisztá vagy kevert hulladékból), kémiai lebontás, termikus hasznosítás,
- Műanyag hulladékokkal szennyezett területek ártalmatlanítása.

Napjainkban már a műanyagot gyártó nagyvállalatok (BorsodChem, TVK, stb.) is komoly hangsúlyt fektetnek a hulladékhasznosítás és kezelés megvalósítására. Több cég külön üzemegységet hozott létre, melyek feladata a képződött és máshonnan beszállított műanyag hulladékok hasznosítása, feldolgozása [1].

7.5.1 A keletkező hulladék gumi és műanyagok mennyiségi, minőségi jellemzése, a hasznosítás lehetőségei

Napjainkban a világon évente kb. 150-160 millió tonna műanyagot és gumit állítanak elő [1]. Ennek a mennyiségnek közel 40 %-át a csomagolóipar használja fel. A kőolaj készletek fogyása nem írható egyértelműen a műanyagok terhére, ugyanis a műanyagipar a kitermelt kőolaj és földgáz mindössze néhány százalékát dolgozza fel. Magyarországon a műanyag felhasználás és a fejlődési ütem is kissé elmarad az Európai Unió (EU) országaihoz képest [2, 3].

A termelt műanyagmennyiség adalékanyagokkal együtt egy idő után hulladékká válik. A műanyag hulladékok aktuális mennyisége szoros összefüggésben van a műanyagok élettartamával. A műanyagok és gumik használati ideje rendkívül különbözik, pl. a csomagolóanyagokat általában rövid ideig, míg más műanyag tárgyakat akár több évtizedig használunk [1]. Élettartamuk alapján a műanyagok lehetnek: rövid élettartamúak (1-2 év), közepes élettartamúak (5-15 év), és hosszú élettartamúak (15- akár 100 év).

A hulladékká vált hagyományos műanyagok nem lebonthatók, nem komposztálhatók, így pl. mezőgazdaság, vagy az erdészet számára nem is hasznosíthatók. A talajba jutott hagyományos műanyagok hulladékai évtizedekig változatlan formában maradnak jelen. A műanyag hulladék mennyiség nagymértékű növekedésének elkerülésének néhány alternatívája lehet:

- a keletkező műanyag hulladék mennyiségének, térfogatának csökkentése,
- a műanyagok hulladékainak feldolgozása, illetve hasznosítása,
- lebomló műanyagok használata, amelynek a természetbe visszakerülve azt nem károsítják [1].

A jelenleg érvényben lévő hazai és nemzetközi törvényi szabályozás is segíti a műanyag hulladékok kezelését és feldolgozását. Az Európai Unió jogi szabályozási rendszere is szigorú előírásokat tartalmaz. Az EU a műanyag hulladékokon belül kiemelten foglalkozik a csomagolási illetve a veszélyes hulladékokkal, fontos, hogy a tagállamok ezen hulladékokról szigorú nyilvántartást vezessenek, az Unió szabályozza jelölésüket, kezelésüket, szállításukat és hasznosításukat. Előírják például azt, hogy megfelelő türelmi idő után a csomagolóanyagok legalább 50-65 %-át újra kell hasznosítani [2]. A termékdíj bevezetésével is ezen szabályozásokat segítik elő, mely díjat a termék első belföldi forgalmazója vagy felhasználója, illetve importálója fizeti meg. A környezetbarát védjegyet használók a termékdíj felét kötelesek megfizetni, de a termékdíj megfizetése alól mentesség is szerezhető [1].

Műanyag hulladékok típusai

A műanyagok és gumik előállítására illetve feldolgozására, továbbá használatára során jelentős hulladékképződéssel kell számolni. A műanyag hulladékok megfelelő kezeléséhez elengedhetetlen azok típusainak pontos ismerete.

A műanyagok kémiai értelemben egy vagy többféle polimerből és adalékanyagokból (töltőanyagok, stabilizátorok, lágyítók, csúsztatók, színezőanyagok, stb.) felépülő összetett rendszerek. A polimerek szintézise megvalósítható polimerizációval, polikondenzációval, vagy poliaddícióval. Lehetnek hőre lágyuló (termoplastikus) vagy hőre keményedő (duroplaszt) anyagok. A műanyagok elterjedt feldolgozási módszerei: extrudálás, fröccsöntés, kalanderezés, préselés, sajtolás, palackfűvés, stb. A legfontosabb műanyagokat és jelöléseiket a **75. táblázat** mutatja be, melyek közül a tömegműanyagok kategóriájába elsősorban a PE, PP, PVC, PS és a PET tartozik.

75. táblázat. A legfontosabb műanyagok és jelölési rendszerük

Műanyag jelölése	Műanyag neve
PE	Polietilén
PP	Polipropilén
PS	Polisztirol
PVC	Poli(vinil-klorid)
PA	Poliamid
PET	Poli(etilén-tereftalát)
PMMA	Poli(metil-metakrilát)
PUR	Poliuretán
PC	Polikarbonát
POM	Poli(oxi-metilén)
PAN	Poli(akril-nitril)
PIB	Poliizobutilén
ABS	Akril-nitril/butadién/szirol kopolimer

A képződő műanyag hulladékok - keletkezési helyük alapján - lehetnek:

- gyártói és feldolgozó hulladékok (gyártási maradék, polimer oldatok hulladékai, szennyezett oldószeresek, selejt),
- felhasználói hulladékok (kommunális hulladék, csomagolóanyagok, elhasznált termékek, stb.).

Az első csoport hulladékai általában az előállítás helyén, tiszta, fajtaazonos formában jelentkeznek, és gyakran azonnali kezelésük valósul meg. A második csoport hulladékai gyakran kevert formában keletkeznek, tiszta formában csak válogatás, szelektív gyűjtés segítségével nyerhetők ki [1, 2]. A környezet szennyezése szempontjából a legtöbb gondot a kommunális, lakossági szemét jelenti, ahol a felhasználói műanyag hulladékok kétharmada található [2]. Ennek összetétele változó, a hazai települési hulladékot illetően a műanyag tartalom kb. 5 %-ra tehető, de világviszonylatban is igen hasonló ez az arány (7-10 %, aminek 60 %-a csomagolóanyag). Általánosan megállapítható, hogy a lakossági szemét műanyag tartalma - a műanyag-felhasználás növekedésével arányosan - növekvő tendenciát mutat [1, 2]. A műanyagfélések közül a kommunális hulladék műanyag tartalmának nagy részét a poliolefin (PE, PP, stb.) teszik ki. Ezek elsősorban a csomagolóanyagokból származnak és gyakran erősen szennyezettek. A kommunális hulladékok mellett ebbe a

csoporthoz sorolhatjuk még a gépjárművekből, a mezőgazdaságból (PE, PP és PVC fóliák, zsákok, csövek, tömlők), és az építőiparból, (PE, PVC víz- és csatornacsövek, kábelszigetelések, padlószőnyegek, szigetelőprofilok, ereszcatornák, stb.) származó műanyag hulladékokat is. Továbbá ide sorolhatók még a nem műanyaggyártó cégektől, hanem más iparágakból és nagykereskedelemből származó (élelmiszer- vagy vegyiparban használatos zsákok, konténerek, csomagolófóliák, kábelek, vezetékek, műanyagládák, stb.) műanyag- és gumi hulladékok is [2].

kérdés:

Hogyan csoportosítaná a műanyag hulladékokat?

7.5.2 Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása

A műanyag hulladékok kezelésére, feldolgozására számos lehetőség kínálkozik. Hulladék típustól függően akár többféle kezelési lehetőség is van, melyek közül mindig az optimális magválasztására kell törekedni, de a módszereket akár kombinálni is lehet. A műanyag hulladék kezelése elvégezhető akár már a gyártás előtt (hulladékszegény technológia tervezése és alkalmazása, vagy degradálható polimer használata), a forgalmazás során (újratölthető palackok, utántöltők, koncentrátumok), illetve a gyártás és felhasználás után (újrahasznosítás, kémiai vagy termikus kezelés, deponálás) is [2]. Korábban a hulladékgazdálkodásban elsődleges szerepe a deponálásnak volt, de manapság már ez a megoldás - komoly szabályozás - mellett visszaszorulóban van [1]. A továbbiakban elsősorban a gyártást és a felhasználást követő kezelési lehetőségekkel foglalkozunk. A műanyag hulladékok hasznosítási lehetőségeit az alábbi csoportokba soroljuk:

- mechanikai kezelés (reciklálás)
- kémiai kezelés
- termikus kezelés

A kezelési módot elsősorban a műanyag típusa és megjelenési formája határozza meg. A mechanikai vagy pl. a termikus kezelés műanyag típustól függetlenül mindig ugyanazokat a lépéseket jelenti, viszont a kémiai kezelés általában műanyagfajta függő és gyakran jelentős beruházást igényel. Napjainkban a hasznosítás elterjedt módja a mechanikai kezelés, mely csak a fajtaazonos műanyag hulladékok esetén gazdaságos. Vannak műanyagok, amelyeket

célszerűbb pl. kémiai lebontással feldolgozni (pl. PMMA), egyes műanyag és gumi hulladékok csak termikus úton hasznosíthatók, míg néhány típus mind a három módszerrel kezelhető [1].

A módokat a hasznosítás célja szerint is csoportosíthatjuk:

- termék-, gyártmány-előállítás,
- nyersanyag-előállítás,
- energia-visszanyerés.

A műanyag hulladékok hasznosításában az EU tagállamai közül Németország áll az első helyen, ahol évente közel 3 millió tonna műanyag hulladék keletkezik. Ennek a mennyiségnek nagy része gyártói illetve felhasználói hulladék, de a kommunális hulladék 80 %-a is begyűjtésre kerül, melyből közel 60-70 %-ot újrahasznosítanak. Az EU a felhasznált csomagolóanyagok esetén pl. 45 %-os reciklálását vár el. A jelenlegi EU átlag kb. 35-40 % [1]. A kommunális hulladékok - és ezen belül a műanyag hulladékok - szelektív gyűjtése hazánkban is kialakulóban van, de még mindig sok költséggel járó folyamat. A begyűjtést így csak a sűrűn lakott körzetekben, valamint a viszonylag tiszta, palack- és flakonjellegű műanyag csomagolóeszközök esetében célszerű megszervezni. A begyűjtött frakciót tovább kell válogatni, amelynek egy része újrafeldolgozásra, más része pedig kémiai vagy termikus kezelésre kerülhet. Minden típusú feldolgozást és hasznosítást egyértelműen megkönnyít, ha az elhasznált terméken - még a gyártás során - a műanyag típusának megfelelő jelöléseket feltüntetnek [3]. Ezek elősegítik a szelektív válogatást és a fajtaazonos feldolgozást. Sajnos gyakori eset az, hogy a képződő műanyag és gumi hulladék jelöletlen, így kevert műanyag hulladékként kell tekinteni, mely feldolgozása nehezebb, és elsősorban csak termikus úton lehetséges.

kérdés:

Milyen módszereket ismer a műanyag hulladékok hasznosítására, kezelésére?

7.5.2.1 Mechanikai eljárások

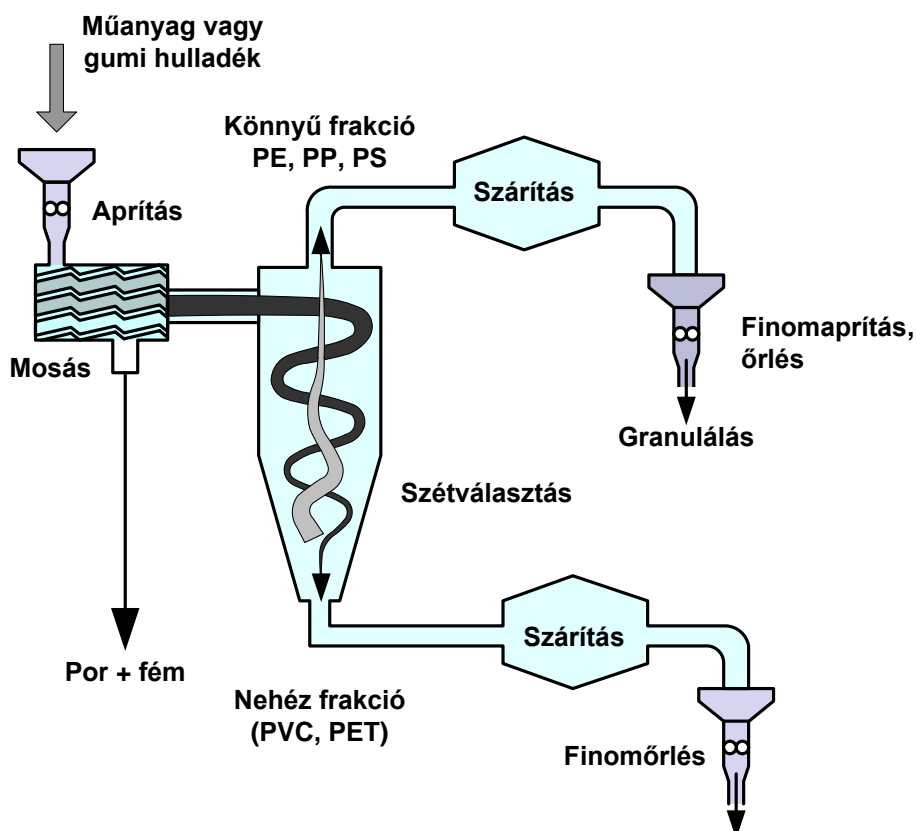
A műanyag hulladékok mechanikai úton történő kezelése nem más, mint mechanikai műveletek sorozata, ahol az egyes műveletek sorrendje, valamint az alkalmazott berendezések típusa műanyag típusonként eltérhet, de kezelés a **194. ábra** bemutatott általános blokkdiagram szerint is megadható [1]. A mechanikai úton történő kezelés, vagy ennek valamely lépése gyakran használatos a kémiai és termikus úton történő feldolgozásoknál is. A reciklálás elsősorban az

1970-es évek elejétől kapott lendületet, aminek fő oka az alapanyagok árának drasztikus emelése volt. Az EU legalább 15 %-os újrahasznosítási arányt ír elő a csomagolási hulladékokra, mely 2012-ben várhatóan eléri a 22,5 %-ot [4].

A reciklálás elsősorban csak fajtaazonos műanyagok feldolgozásakor alkalmazható jól, és ebben az esetben az újra előállított termék minősége is kielégítő. Gyakran azonban a műanyag hulladékok kevert formában jelentkeznek, és ebben az esetben a műanyagfélések elegyíthetlensége is komoly problémát jelenthet. Ezek esetében az ömledéken keresztüli újrafeldolgozás terméke általában valamilyen fapótló jellegű termék, mely gyakran inhomogén [2].

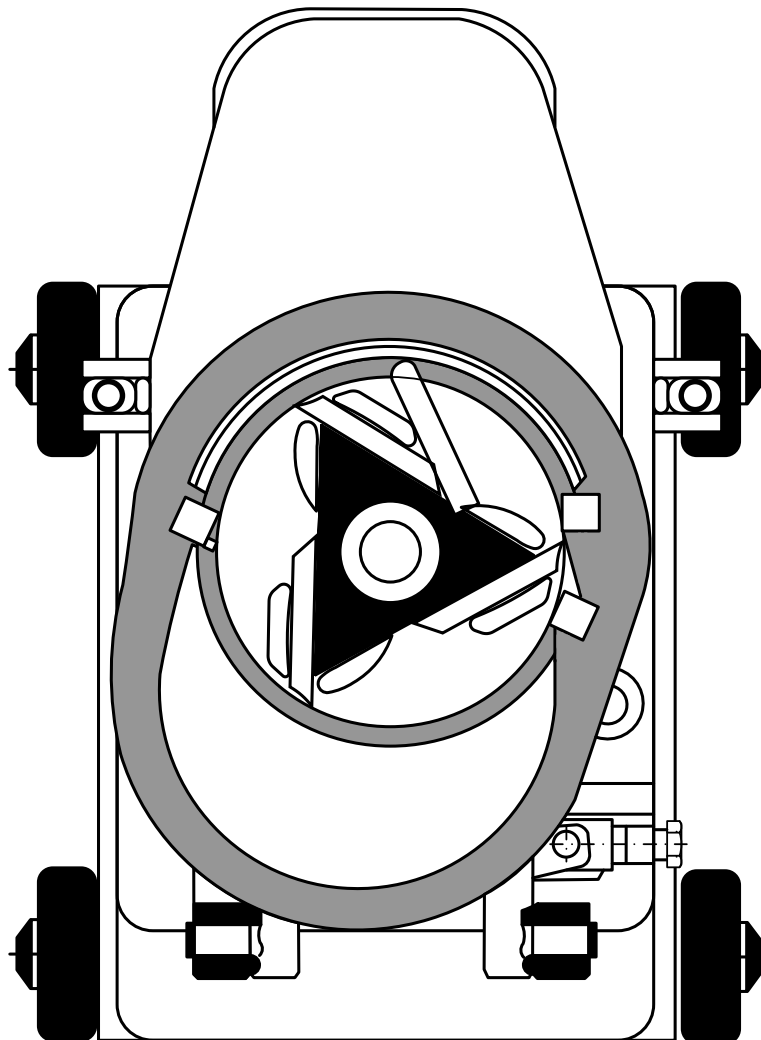
A reciklálás alkalmazása során a technológiai lépések odafigyelése mellett szem előtt kell tartani azt is, hogy bizonyos műveletek, pl. a műanyag hulladékok mosása és kezelése során keletkezett szennyvíz hatással van felszíni és felszín alatti vizeinkre, így ezen műveletek esetén a szennyvíz elhelyezését és megfelelő kezelését is meg kell oldani [5].

Technológia



194. ábra. Reciklási technológia [1]

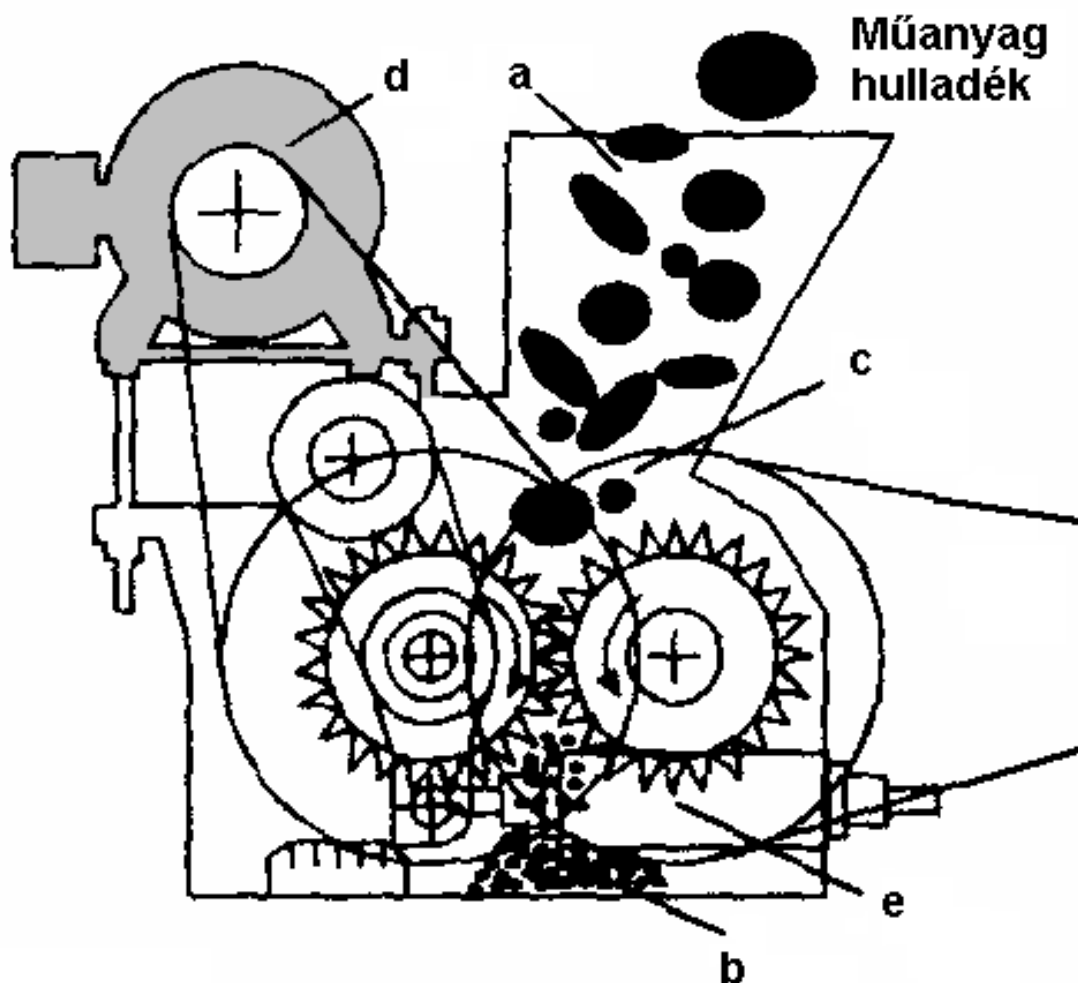
A reciklálás első lépése mindig a válogatás, ugyanis így tudjuk biztosítani a fajtaazonos kiindulási hulladékot a gazdaságos kezeléshez. Ha ez elmarad, akkor a kevert hulladék feldolgozása kevésbé jó minőségű termékhez vezethet. A válogatás el is maradhat, ha homogén, gyártói illetve feldolgozói hulladékból indulunk ki. A válogatást kézi vagy - sűrűségkülönbség alapján - gépi úton végezhetik. Természetesen a korábban említett szelektív gyűjtés nagymértékben segíti a fenti műveletet. A megfelelően fajtaazonos műanyag hulladékot ezt követően aprítják, darabolják. A berendezések típusa függ a műanyag típusától, a tárgy alakjától és méretétől. Az aprítás többféleképpen végezhető: szárazon vagy nedvesen, továbbá szobahőmérsékleten vagy hűtött állapotban. A **195. ábra** egy ún. késes őrlő berendezést mutat be [1].



195. ábra. Késes őrlő [1]

A késes változat mellett elterjedten alkalmazzák a kalapácsos törőket is, illetve kemény műanyag tárgyak aprítására a hengeres őrlőgépeket (**196. ábra**) használják. Ilyen típusú anyagok

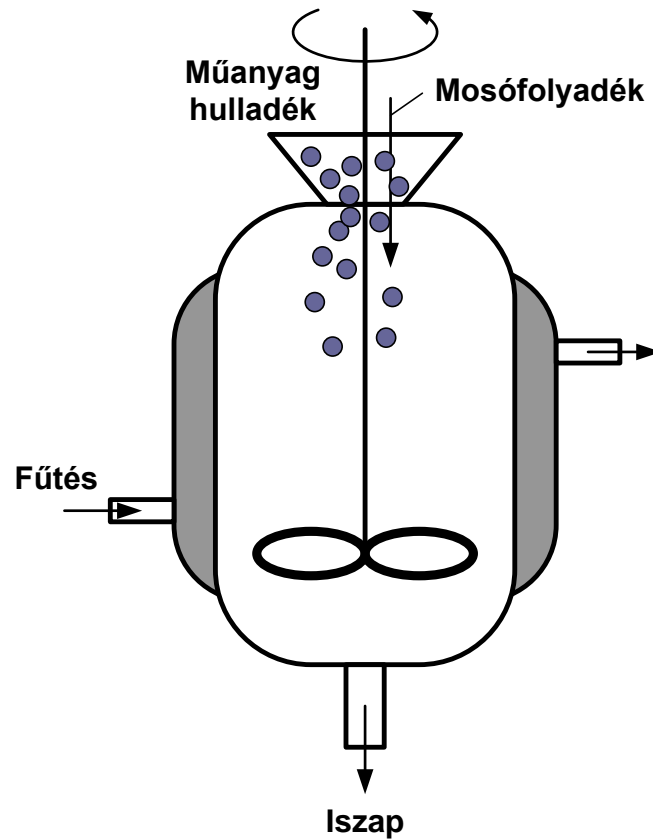
golyós malomban is apríthatók. A hengeres őrlőgép esetében a hengerek közötti távolság, a késes illetve a kalapácsos berendezésnél, pedig az alsó rosta lyukmérete szabályozza az aprított hulladék szemcseméretét [1].



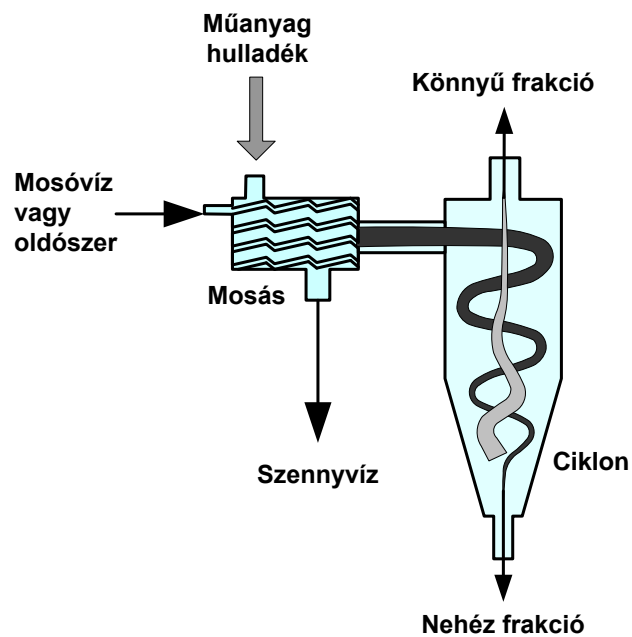
196. ábra. Hengeres őrlőgép (a: hulladék, b: őrlemény, c: törőhenger pár, d: hajtómű, e: rugóköteg) [1]

Vékony fólia vagy lemeztárgyak aprítására vágóollókat használnak, elasztomerek, gumik őrlése viszont csak hűtött állapotban ($-80 - -90^{\circ}\text{C}$) valósítható meg hatékonyan. Ezt a műveletet kriogén őrlésnek is nevezik. A hűtőközeg általában folyékony nitrogén [1]. A hatékony mechanikai kezeléshez szükséges a kiindulási aprított hulladék tisztítása is, így a technológiai folyamat következő lépését a mosás jelenti. A felületre tapadt szennyeződést felületaktív anyag tartalmú vízzel, vagy megfelelő oldószerrel távolíthatjuk el. A művelet lehetőséget ad sűrűségkülönség alapján történő válogatásra is, hiszen a poliolefinnek (PE, PP) sűrűsége a víz sűrűségénél kisebb, így a lépések egybeolvasztásával hatékony kezelést valósíthatunk meg, ugyanis a nehezebb műanyag frakciókat külön útra terelhetjük. A műanyag hulladékok mosására keverős, fűthető mosó duplikátort alkalmazhatunk, melyet a **197. ábra** mutat be. A

mosás megvalósítható még ún. lebegtetőkádás mosóberendezésben is, mely a műanyagok szortírozására is alkalmas, illetve gyakran alkalmaznak hidrociklonokat (**198. ábra**) is a jobb szétválasztási hatások elérése érdekében [1].

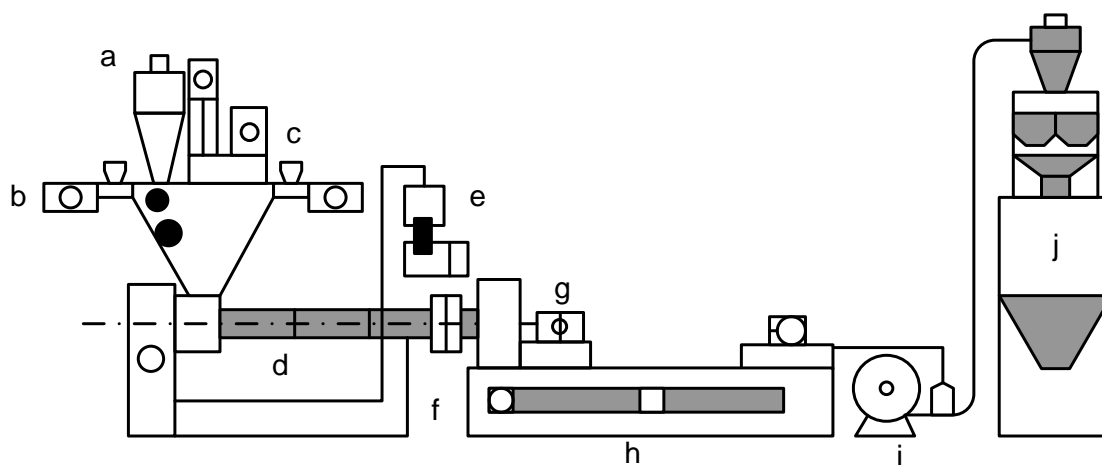


197. ábra. Mosóduplikátor [1]



198. ábra. Hidrociklon [1]

A hőközlés, szárítás az egyik legjobb módszer, ha a műanyagdarabkák felületén megkötött víz eltávolítása a cél, mely forrólevegős ciklonos szárítóberendezésben, vagy légcirkulációs szárítóalagutakban valósítható meg [1]. Az extrúziós granulálás, melyet a **199. ábra** szemléltet aprított és tiszta hulladékok darabosítási módszere. A művelet célja a térfogat csökkentése és a feldolgozás hatékonyságának növelése. A darabosítási eljárások másik útja a pelletezés, amely elsősorban a nem, vagy nehezen extrudálható műanyag- és gumihulladékok (műbőrök, textilszálvázazas műanyag) tömörítésére használatos [1].



199. ábra. Extrúziós granulálás folyamatábrája

(a: tároló siló, b: adagolócsiga, c: adalékbeadás, d: extruder, e: légtelenítés, f: ömledékszűrő, g: granulálófej, h: hűtő, i: szállítóventillátor, j: tároló siló) [1]

A technológiai műveleteket végző berendezések optimális működésének biztosítására ún. kiegészítő berendezéseket is használnak. A vegyes hulladékból vagy a háztartási szemétből a műanyag hulladék (palackok) kiválogatására ún. szélosztályozókat alkalmaznak, melyek meleg levegő alkalmazásával szárítóként is működtethetők. Manapság már modern szeparáló berendezéseket is kifejlesztettek, melyek röntgen-sugár detektálással, fényáteresztés alapján, vagy elektrosztatikus elven működnek. A technológiai berendezések védelme érdekében célszerű ún. fémkereső egységeket használni is, melyek a mágnesezhetőség elvén működnek. A feldolgozás során szitákat is alkalmaznak, melyek sík- vagy dobszita kivételben használatosak. A szállítóberendezések a reciklálás során a hulladékot az egyes fázisok között továbbítják, melyek lehetnek szállítóhevederek, de elterjedt a pneumatikus szállítás, a csúszdák vagy zárt rendszerű csigák használata is [1].

kérdés:

Milyen részfolyamatokat különböztethetünk meg a reciklálás során?

Különböző műanyagok recirkálása

A műanyag hulladékok jelentős részét a tömegműanyagok adják, általában fajtaazonos formában, így reciklálásuk egyszerű és gazdaságos. A kommunális hulladékban elsősorban a poliolefinok találhatók meg nagy százalékban, de a háztartásokból kikerülő szemétkben mindezek mellett számtalan, műanyagipari szempontból nem kívánatos kísérőanyag is van. Legnagyobb mennyiségben az üdítőitalos műanyag palackok jelentkezők, melyekkel feldolgozhatók az egyéb élelmiszersomagoló (ecetes, étolajos stb.), ill. mosó- és tisztítószerek flakonok is. Az elhasznált fóliaszerű termékekből képződött hulladékok anyagukat tekintve zömében nagy sűrűségű PE, kisebb mennyiségben PP, PVC és PET. Hasznosításukat tekintve elmondható, hogy a palack reciklátokból ismét flakonok gyárthatók, a vegyes visszanyert hulladékot pedig különböző termékek (zajvédő falak, jelzőoszlopok, virágtartók, ruhafogasok stb.) készítésére használják [1, 2, 6]. A műbőr-hulladékok általában tiszták, így a technológia egyszerűbb, de a textiltartalmukat el kell különíteni. A mindennapi életben elterjedten használt joghurtos, tejfölös és egyéb poharakat hőformázással állítják elő polisztirolból, melyek begyűjtés után könnyen recikálhatók, és újrahasznosíthatók. Az ún. hulladékmentes technológiák bevezetésével, illetve technológiai folyamatok átszervezésével is csökkenthető a képződött műanyag hulladék mennyisége. A csomagolóipar az elmúlt évtizedben sokat tett a képződő hulladékmennyiség csökkenéséért. Ma már egy-egy csomagolóanyag típus esetén kb. 40 %-kal kisebb fajlagos tömeg elérésére törekcszenek. Erre példa, hogy a Danone cég 6,5 g-os polisztirolból készült joghurtos poharai ma már csak 3,5 g-ot tesznek ki, így a belőlük keletkező hulladék mennyisége ilyen úton csökkenthetővé vált [1, 2]. Polisztirolból sokféle habanyag is készül, melyeket épületek hő- és hangszigetelésére használnak, de fontosak a csomagolóiparban is. Feldolgozásuk során a begyűjtött hulladékot aprítják, granulálják, majd fröccsöntött vagy extrudált PS termékeket készítenek belőlük. Érdekes alkalmazási területük a kertészeti felhasználás, mely során virágföldhöz keverve talajlazítóként használatosak. Az örleményt - betonba vagy vakolatba keverve - az építőipar is szívesen alkalmazza, így kiváló hő- és hangszigetelő, továbbá tűzbiztos termékekhez jutnak [1]. Az ún. műszaki műanyagok túlnyomó részét a szintetikus szálak adják, melyek hulladékaik vegyes összetételűek (PET, PA, PAN) így feldolgozásuk is vegyesen történik. A műszaki műanyagok estében kisebb, de mégis fontos frakciót jelent a PET palackok csoportja, melyek reciklálása fémkeresés és mosás után a korábbi megismert technológiának megfelelően történik. Még kisebb csoportot tesznek a

poliamidok illetve a polikarbonátok, melyekből általában hosszú élettartamú műszaki cikkek készülnek, így reciklálásuk nem okoz problémát. Az akril-nitril kopolimerek (ABS, SAN) jól reciklálhatók, begyűjtésük ugyanis megoldott, hiszen főleg nagyméretű gépjármű alkatrészek, bútorborítások, vagy háztartási gépek alkatrészeit készítik ebből a műanyagcsaládból. A poliuretánokat elsősorban habanyagok formájában alkalmazzák, melyeket reciklálással vagy kémiai lebontással dolgoznak fel, majd a bontási termékeket újra uretánok előállítására céljából hasznosítják. A természetes illetve mesterséges elasztomereket legnagyobb mennyiségben gépjármű abroncsok előállítására használják, melyek mennyisége az utóbbi évtizedben ugrásszerűen megnövekedett. Ezek a termékek is előbb-utóbb hulladékként jelentkeznek, de hasznosításukat acél- és textilkord tartalmuk és egyéb összetevőik nehezítik. A kapott őrleményt újrahasznosíthatják a gumigyártásban, vagy más hasonló termékek előállításában, de különböző burklatok vagy sportpályák készítésére is felhasználhatók [1].

kérdés:

Van-e különbség az egyes műanyag típusok hulladékainak reciklálásában?

7.5.2.2 Kémiai eljárások

A reciklálás, mint műanyag hulladékfeldolgozási lehetőség sok esetben nem valósítható meg gazdaságosan, ilyenkor természetesen más módszerek kerülnek előtérbe. Köztudott, hogy kémiai úton a polimerek lebonthatók monomerjeik, de ez a hasznosítás tiszta, fajtaazonos hulladékot követel meg és sokszor a szükséges berendezések is rendkívül drágák. Az eljárás bomlástermékeiből legtöbbször újra polimert gyártanak, vagy a vegyipar más területén használják fel a kapott anyagokat (pl. olajfinomítás) [1, 5].

A kémiai hasznosítás bizonyos esetekben a termikus módszernél is gazdaságosabb. Három alapvető módszert nevez meg a szakirodalom, de ismertek speciális módszerek is, melyek bizonyos műanyag típusok esetén jól alkalmazhatók (katalitikus extrakció, dehalogénezés) [1]:

- depolimerizáció,
- szolvólízis,
- hidrogénezés,

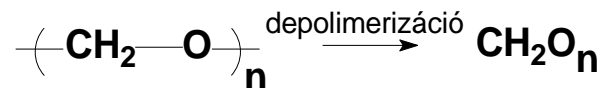
a.) Depolimerizáció

A depolimerizáció a polimerizáció ellentétes folyamata, melynek során a polimer molekulákat monomerjeikre bontják. A depolimerizációs kezelés tehát a polimerizációval előállított

polimerek esetén valósíthatók meg, általában magas hőmérsékleten. Vannak olyan polimerizációs műanyagok, melyek nem depolimerizálhatóak, esteleg csak gyökös lánctördeléssel bonthatók le (PE, PP, PVC), míg mások a bontási paraméterek helyes megválasztásával depolimerizálhatóak (PMMA). A legegyszerűbb megoldást a könnyen depolimerizálható polimerek (POM, PS) jelentik, melyek feldolgozása ilyen úton gazdaságos [1]. Ebben a részben így az utóbbi polimerek degradációját ismertetjük.

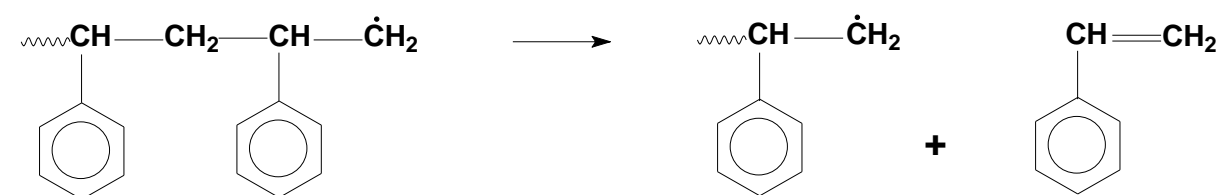
A poli(oxi-metilén) magas hőmérsékleten többféle módon depolimerizálható (1. képlet). Az alkalmazott módszerek egyike a fém-, ill. fémsó-ömladékben való depolimerizáció, melynek több hátránya is van (nagy energiaigény, a reaktorméret korlátozottsága, szakaszos üzem). Egyéb lehetőségként a művelet megoldható reaktorban, de elterjedt a degradatív extrúzió is. Ebben az esetben az extruderbe adagolt órlemény megolvad, majd polimer típustól függően kb. 300°C felett inert (N₂ vagy CO₂) atmoszférában megindul meg a degradáció. A lehasadó monomert kondenzálják és folyékony formában raktározzák. A folytonos üzemű eljárást más kémiai kezelés előműveleteként is alkalmazzák [1].

1. képlet.



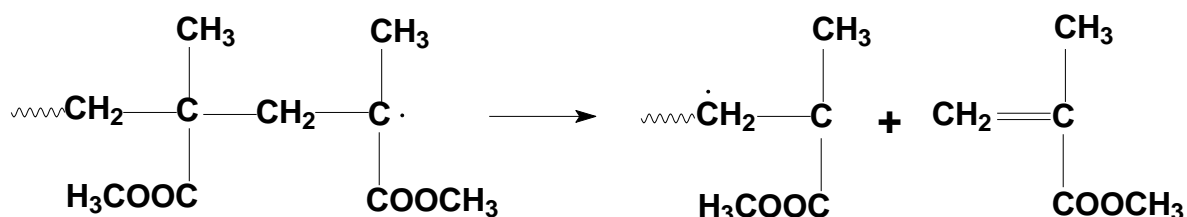
A polisztirol termikus depolimerizációját (2. képlet) kb. 400 °C-on valósítják meg, melynek során monomerjeire bomlik, a monomerhozam ebben az esetben csak kb. 40 %-os [1].

2. képlet.



A PMMA csak optimális paraméterek esetén depolimerizálható. A műanyag hulladék termikus degradációja (3. képlet) viszonylag alacsony hőmérsékleten indul be és technológiailag itt is az extrúziós megoldást alkalmazzák. A monomer-hozam magas, megközelíti a 100 %-ot, tehát alig képződik maradék, a termék pedig ismételt használhat PMMA előállítására [1].

3. képlet.



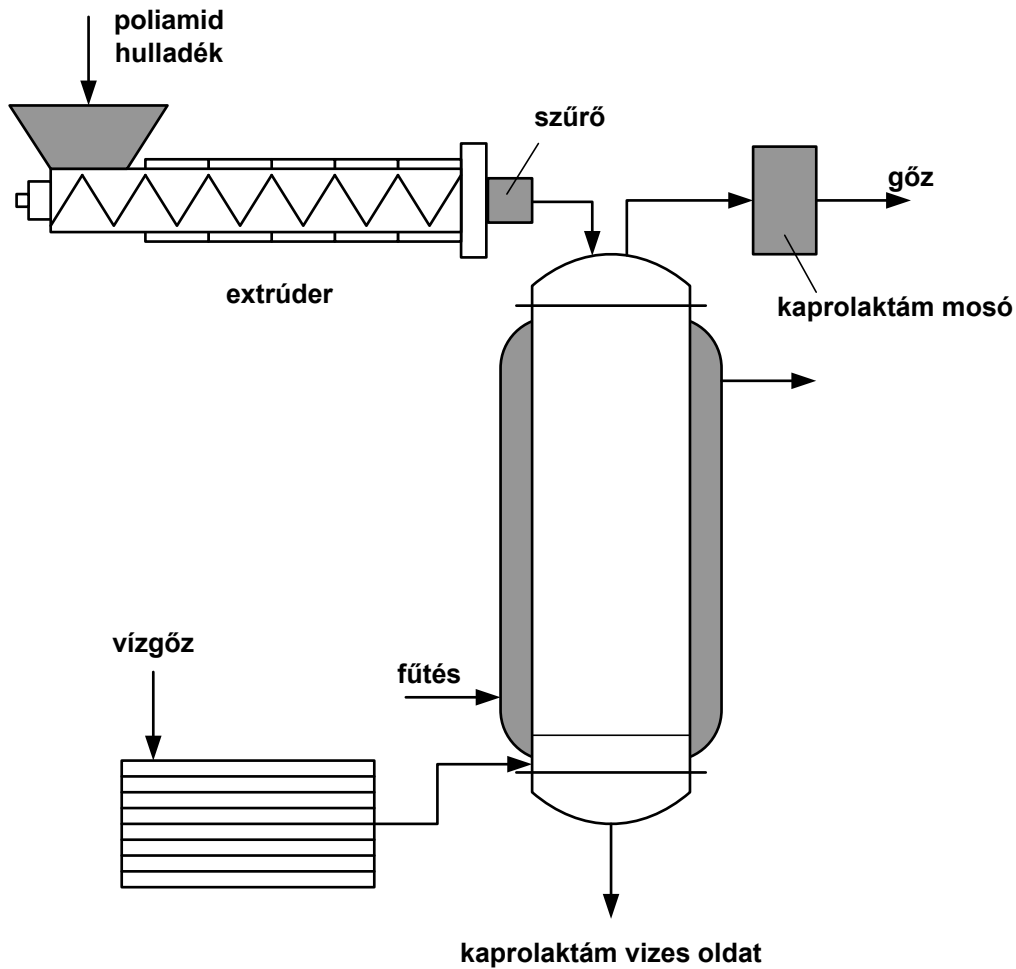
b.) Szolvolízis

A polimerek előállítási módjait tekintve a polimerizációtól eltérő technikával (polikondenzációval és poliaddícióval) nyert makromolekulák elsősorban szolvolízissel bonthatók le monomerjeikre. A fenti polimerek (pl.: PA, PET, PC, PUR) kiindulási anyagaikra bonthatók, mely bontási folyamat lehet: hidrolízis, alkoholízis (metanolízis, glikolízis, hidroglikolízis), aminolízis, acidolízis vagy átészterezés. Az említett eljárások közül a két kiemelten alkalmazott módszer: a hidrolízis (PA-6, PET, PUR) és a glikolízis (PET, PUR). A kapott termékek természetesen új műanyagok szintéziséhez ismét felhasználhatók [1].

A PA-6 vagy PA-66 hulladékok hidrolízissel történő hasznosítása ipari jelentőségű. A technológia folyamatát a **200. ábra** mutatja be.

A PA-6 hulladékot pl. extrúziós előmelegítés után a toronyreaktorba adagolják, melybe vízgőzt vezetnek. A hidrolízis savas jellegű katalizátor jelenlétében megy végbe, majd a monomer kaprolaktám vizes oldat formájában a reaktor alján összegyűjthető. Tisztítás után a termékből ismét PA gyártható. A szakirodalomban azonban megtalálható a poliamidok más módszerekkel (alkoholízis, glikolízis, aminolízis, acidolízis) végrehajtott szolvolízise is [1].

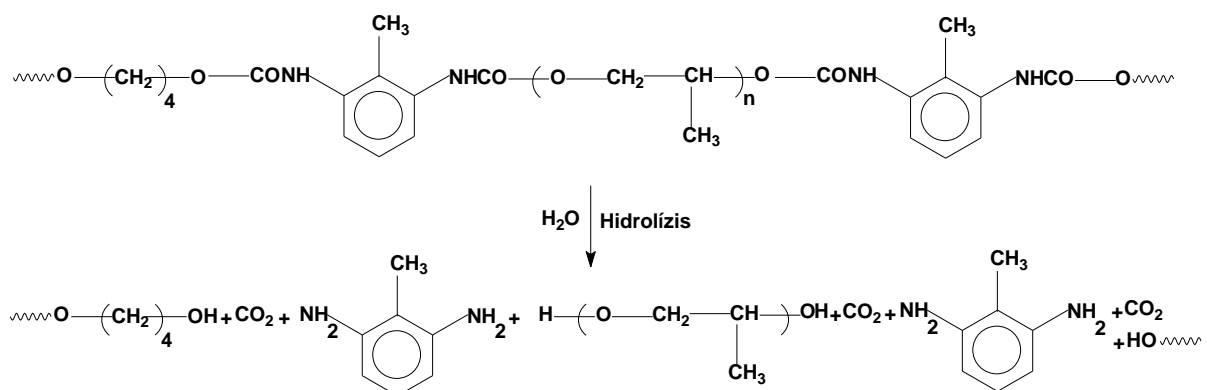
A PET hulladékok kémiai lebontása hidrolízissel vagy glikolízissel valósítható meg optimálisan. A műanyag hulladék feldolgozására más módszerek (metanolízis, vagy átészterezés) is használhatók, a termék pedig nemcsak poliészter (szálgyártás), hanem poliuretánok előállítására is alkalmazható, mint polioli komponens. Az így előállított poliuretán habok szilárdsága nagy [1, 2].



200. ábra. PA-6 hidrolízise [1]

A PUR hulladékok esetén is előnyösen alkalmazható a kémiai kezelés. Elsősorban habanyagok hidrolízissel történő bontása vagy glikolízise elterjedt. A hidrolízis során kapott termékben poli-ol, lánchosszabbító diol és a rendszert alkotó diizocianátnak megfelelő diamin van jelen (4. képlet):

4. képlet.



A hidrolízist magas hőmérsékleten csőreaktorban végzik, a glikolízishez pedig etilén-, dietilén-, propilén- és dipropilén-glikol használata mellett atmoszférikus nyomást és néhány 100°C-os hőmérsékletet alkalmaznak. A feldolgozandó hulladékhoz előregedett habhulladékot is keverhetnek. A glikolízis előnye, hogy nem képződik a hidrolízisnél zavaró CO₂, csak OH-végű poliolkok keletkeznek. Diizocianát hozzáadásával a lebontás termékei elsősorban keményhab gyártásra, cipőgyártásra és gépjármű alvázvédő anyagok készítésére alkalmasak. A poliuretánok szolvólízise hidroglikolízis és aminolízis útján is megoldható [1].

c.) Hidrogénezés

A depolimerizáció és a szolvólízis elsősorban csak fajtaazonos hulladékok esetén használhatók, azonban nagyon gyakran ezek a hulladékok keverten (nem műanyagokkal társítva vagy szennyezve) jelentkeznek. Ebben az esetben elsősorban a hidrogénezés jöhet szóba, mint kémiai eljárás. Az eljárást főleg az elektromos és elektronikai ipar műanyag hulladékainak hasznosítására alkalmazzák, ahol hulladékok többféle műanyagot alkalmaznak, gyakran társított formában. Az eljárást degradálás (a láncok hasadása, esetleges fémrészek eltávolítása) előzi meg, majd a hidrogénezést, mint fő műveletet az utókezelés követi. Ez utóbbi célja a kívánt minőségű termék beállítása. A hidrogénezés folyékony fázisban, kb. 150 bar nyomáson, magas hőmérsékleten és hidrogénatmoszférában történik. A kémiai reakcióban a telítetlen termékek telítődnek, továbbá klórmaradékok esetén sósav képződik [1].

kérdés:

Mi a célja a műanyag hulladékok kémiai kezelésének?

kérdés:

Milyen módszereket ismer műanyag hulladékok kémiai úton történő kezelésére?

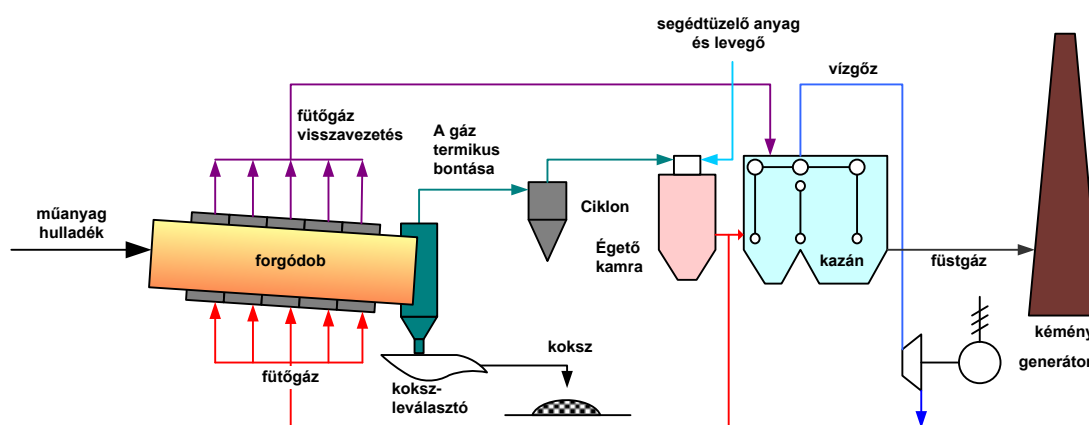
7.5.2.3 Termikus eljárások

A műanyag hulladékok feldolgozásának harmadik módja a termikus eljárás, ami alapvetően égetést jelent, de ezen kívül többféle módszert is ismerünk: pirolízis, gázosítás, kohászati és cementipari hasznosítás. Néhány évtizeddel ezelőtt még a cél a hulladék megsemmisítése volt, de manapság már az energetikai hasznosításuk alapvető fontosságú. A módszer lényege, hogy a műanyag hulladékokat nem másodnyersanyagként hasznosítjuk, hanem nagy fűtőértékük miatt ezen anyagokat energia visszanyerésre használjuk.

A termikus hasznosításnak is vannak veszélyei, ugyanis csak megfelelő füstgáz-tisztító egységgel ellátott égetőművek használhatók biztonságosan. Ha ezek az égetők nem megfelelően működnek, akkor az égetés a légkör, továbbá az ülepedés révén a talaj, növények szennyezésével veszélyt jelent a környezetre és az emberekre is. A helytelen technológiák alkalmazásával akár dioxin, furán származékok, valamint a füsttel szétszóródó nehézfémek (kadmium, cink, nikkel, ólom stb.) is kikerülhetnek a természetbe. Ezen anyagok némelyike rendkívül toxikus, pl. a dioxin 0,01 milliomod grammjának belégzése már tüdő és keringési rendellenességet okoz, de károsítja az immunrendszert és a hormonháztartást is [1, 5, 7].

a.) Pirolízis

A pirolízis célja valamilyen ipari alapanyag vagy fűtőanyag előállítása, melynek során a vegyes, aprított és homogenizált műanyag hulladékot zárt térben, oxigén (levegő) kizárásával végzett hőkezelésnek vetjük alá. A folyamat eredményeképpen füstgáz, kondenzálható termékek és szénben gazdag maradék jön létre, környezetterhelése ennek a módszernek szinte nincs. A hőkezelés során egyrészt primer bomlás (depolymerizáció, oldalsó csoport-leszakadás, tördelődés), másrészt szekunder folyamatok (bomlástermékek reakciói, kátrány-képződés) mennek végbe. A képződött termék tulajdonságai és az alkalmazott hőfok alapján a hulladék kezelése megvalósítható alacsony hőmérsékletű pirolízissel (< 500°C), melynek során olaj és kátrány; közepes hőmérsékletű pirolízissel (500-800°C), ahol nagy fűtőértékű gázok, olaj és kátrány; és végül magas hőmérsékletű pirolízissel (800-1000°C), mely során elsősorban kis fűtőértékű gázok képződnek [1, 7]. A pirolízis általános technológiája a **201. ábra** értelmezhető.



201. ábra. A pirolízis technológiai folyamatábrája [1]

Reaktorként általában forgódobos vagy fluidágyas kivitelű és fűtött berendezéseket használnak. A fűtést megoldhatják indirekt módon, a pirolízisgázok elégetésével nyert energia

felhasználásával, vagy a fém reaktorfal hevítésével. A kokszt eltávolítják, a pirolízisgázokat pedig elégetve a reaktor fűtésére használják, de előnyös hasznosítás lehet az áramtermelés vagy a desztillálás utáni másodnyersanyagként történő alkalmazás is [1].

b.) Gázosítás

A megfelelően előkezelt műanyag hulladékok oxigén, levegő, füstgázok, vízgőz és szén-dioxid, ill. ezek keverékei jelenlétében végzett lebontását gázosításnak nevezi a szakirodalom. A lebontás magas hőmérséklet, ún. gázosítóreaktor segítségével vihető véghez, mely különböző kivitelű lehet, ahol a műanyag hulladék és a gázosítószer egymással ellenáramban halad [1].

c.) Kohászati és cementipari hasznosítás

A vasérc redukciós kezelésével a kohászat fémvasat állít elő. A redukálószer leggyakrabban szénmonoxid és hidrogén keveréke (szintézisgáz), amely műanyag hulladékokból is előállítható (5. képlet).

5. képlet.



A műanyag hulladékok kohászati hasznosításakor vegyes műanyag hulladékok dolgozhatók fel viszonylag alacsony költséggel, ugyanis nincs szükség új beruházásra, és nem terheli a környezetet. Az eljárás azonban salakot termel és a vegyes hulladék miatt gyakran a berendezések is megsérülnek

A cementipari hasznosítás a műanyag hulladékokon belül elsősorban a feleslegessé vált gumiabroncsok esetén elterjedt [1].

d.) Hulladékégetés

Azokat a műanyag hulladékokat, amelyek újrahasznosítással, kémiai-, ill. egyedi termikus módszerekkel nem, - vagy gazdaságosan nem – hasznosíthatók, elégetik. Ennek alapja az, hogy a műanyagok fűtőértéke magas, ezért hulladékaikra, mint tüzelőanyagokra energianyerés szempontjából szükség van. Például a vegyes háztartási hulladék egyik energiában leggazdagabb frakcióját jelentik a műanyag hulladékok, így a kommunális hulladékégetők gazdaságos működéséhez is jelentősen hozzájárulnak. A műanyag hulladékok égetésére alkalmas égetőművek akár szilárd műanyag hulladékok, de pasztaszerű vagy folyékony hulladékok is kezelhetők. Az égés során keletkező füstgázokat tisztítani kell. Az égéstermékek

összetétele függ az égetett anyag és az égés körülményeitől. A műanyagok égetésével keletkező bomlástermékek lehetnek. A szénből, hidrogénből és oxigénből álló polimerek (pl. PE, PP, PS, PMMA, PET) égetésekor kizárólag szénhidrogén- és monomer-képződés, oldallánc-hasadás figyelhető meg, azaz főleg telített és telítetlen szénhidrogének, valamint aldehidek, ketonok, továbbá kisebb molekulatömegű termékek (ecetsav, víz) keletkeznek. A képződő szén-monoxid füstgázmérgezést okozhat, ezért a megfelelő előírások betartása alapvető fontosságú. A kéntartalmú polimerek (gumi) égetésekor kén-oxidok keletkeznek, melyek közül a kén-dioxid van jelen nagy arányban. A nitrogéntartalmú polimerek (PA, PAN, PUR) égetésekor nitrózusgázok és hidrogén-cianid képződik, de ammónia-képződés is megfigyelhető. Halogéntartalmú polimerek (PVC) égetésekor hidrogén-halogenid (sósavnál HCl) képződik. A magas klórtartalom esetén dioxin- és furánvegyületek is jelentkezhetnek, melyeket összehasonlítva elmondhatjuk, hogy a dioxin vegyületek mérgezőbbek az analóg furánvegyületeknél. Ezek közül is legmérgezőbbek a tetraklór-származékok. Mérgező hatásuk, máj- és tüdő-, bőr- és orrüregrákot okoznak [1].

Mint ismert, a műanyagtárgyak előállításához töltő- és erősítőanyagokat, stabilizátorokat, pigmenteket stb. is használnak, de mennyiségük csekély, így az égéstermékekben általában nem jelentkeznek. Gond a nehézfém-tartalmú segédanyagokkal van, ezek általában a salakban maradnak meg.

Az elégetett műanyag hulladékokból füstgázok is keletkeznek, melyeket a szabadba engedés előtt megfelelő mértékig tisztítani kell. A füstgáztisztításra különböző elven működő mosókat, adszorbereket, leválasztókat használnak és a folyamat részlépéseit a tisztítandó gáz összetétele szabályozza [1].

kérdés:

Milyen típusú műanyag hulladékok kezelhetők termikus módszerekkel?

kérdés:

Milyen módszereket ismer műanyag hulladékok termikus kezelésére?

7.5.3 Lebontható műanyagok és jelentőségük a hulladékgazdálkodásban

A hagyományos tömegműanyagok a szabadba vagy a talajba kerülve a külső körülmények (napfény, nedvesség, mikroorganizmusok, stb.) hatására - szemben a lebomló makromolekuláris anyagokkal (cellulóz, keményítő, fehérje, politejsav) - nem bomlanak le,

hosszú éveken át változatlanul maradván kellemetlen „esztétikai látványt” nyújtanak [1]. Kb. az 1980-as évektől ennek megfelelően előtérbe kerültek a lebontható műanyagokkal kapcsolatos kutatások és alkalmazások, melyek alapvető célja a növekvő műanyagmennyiség elkerülése. A degradálható polimerek mennyisége természetesen még elmarad a hagyományos műanyagok mennyiségéhez képest, ami elsősorban magasabb árúknak köszönhető, de a környezetvédelmi törvények és szabályozások bevezetése, valamint az olcsóbb nyersanyagok alkalmazása mindenképpen árcsökkenéshez, s így nagyobb volumenű termeléshez vezet majd. Továbbá a jelenlegi kutatások alapján a degradálható műanyagok megfelelő jelölés alkalmazásával és szelektív begyűjtés után akár újrafeldolgozhatóak (kb. háromszori visszalgozás) is, mely alkalmazásukat tekintve mindenképpen tovább növeli előnyeiket és pozitív megítélésüket [2].

A lebontható műanyagokat két csoportba sorolhatjuk:

- fény hatására bomló, valamint
- biológiailag bontható műanyagok.

kérdés:

Hogyan csoportosíthatjuk a lebontható műanyagokat?

a.) Fény hatására lebomló műanyagok

Bizonyos műanyagok esetén a fény fotonenergiája elegendő a polimerek kémiai kötéseinek felszakításához. Ilyen jelensége oka az is, hogy pl. a poliamidból készült tárgyak (függönyök) fény hatására néhány év alatt gyengébb mechanikai tulajdonságokkal bírnak vagy egyéb fényre bomló anyagokból készült termékek egyszeűen elporladnak.

Ezt kihasználva bizonyos alkalmazási területeken célszerű olyan csoportokat (pl. karbonil-csoport) bevinni az alappolimerbe, melyek hatására a műanyag használata után ez a bomlás - akár szabályozottan is - végbemegy. A bomlás megindulásával egyszerűbb vegyületek keletkeznek, melyeket akár már a mikroorganizmusok sejtjei is képesek lebontani.

Szintén fény hatására degradálódó polimerek állíthatók elő speciális fémkelát additívokat használatával is. Ilyenek lehetnek pl. a vas(III) és réz(II) dinonil-ditio-karbamát komplexei, melyek segítségével meghatározott élettartamú polimerek előállítása valósítható meg [1].

kérdés:

Mi az alapja a fény hatására bontható műanyagok degradációjának?

b.) Biodegradálódó polimerek

Biológiailag lebomló műanyagokra elsősorban a csomagolóiparban, a mezőgazdaságban, valamint a gyógyászatban van nagy igény. A természetes polimerek - például a keményítő és a cellulóz - ideális alapanyagai lehetnek ezeknek a műanyagoknak, mivel amellet, hogy teljesen lebomlanak, még megújuló nyersanyagforrásokon is alapulnak, így nagy mennyiségben és olcsón hozzáférhetők.

A biológiailag lebomló polimereknek három nagy csoportját különböztethetjük meg:

- Bioszintetikus (bioszintézissel képződő növényi és állati eredetű) polimerek;
- Hagyományos polimerkémiai, illetve enzimes úton szintetizált, nem kőolaj alapú, általában természetes nyersanyagforrásokra támaszkodó polimerek;
- Kőolaj alapú, nagy mennyiségben gyártott polimerekből biológiailag lebomló polimerekkel való társítással, kopolimerizációval előállított, (esetleg csak részben) biodegradálódó anyagok (pl. PE kopolimerek).

A várakozások a természetben szintetizálódó, olcsó, nagy mennyiségben rendelkezésre álló, megújuló nyersanyagforrásokon alapuló, biológiailag lebomló polimerek területén a legnagyobbak.

A biopolimereket az élet számos területén alkalmazzák, így felhasználásuk alapján az alábbi csoportokat lehet megnevezni:

- gyógyászati (kollagén, poli-D,L-laktid, stb.),
- ökológiai (cellulóz, polietilén-szukcinát, polibutilén-szukcinát, stb.)
- és az előbbi területek mindegyikén használható polimereket (poli-L-laktid, poli-ε-kaprolakton, keményítő).

A biopolimereknek gyógyászati alkalmazásuk során számos fontos követelménynek kell, hogy megfeleljenek: ne legyenek mérgezőek, fontos a hatékonyság és a tartósság, a sterilizálhatóság és az, hogy ne legyenek testidegenek (pl. a polietilén nem toxikus, de nem biokompatibilis). A gyógyászatban számos területen nyernek alkalmazást: megelőző kezelések, sebészeti eljárások, klinikai vizsgálatok, gyógyszerészeti kutatások, szövettervezés. Néhány tipikus gyógyászati alkalmazási forma a következő: fecskendő, vér tárolására alkalmas zsák, katéter, sebészeti varrocérna, implantátum, műszerv, égési sérüléseket szenvedett betegeknél bőrpótló szövet,

valamint előnyösen használhatók a gyógyszerészetben, pl. gyógyszerhatóanyag kioldódásának szabályozására (retard hatású gyógyszerek).

A gyógyászati alkalmazás mellett fontos terület az ökológiai alkalmazás is, hiszen környezetvédelmi szempontból alapvető fontosságú a biológiailag lebomló anyagok bevezetése és alkalmazása. Itt is több területet különböztethetünk meg: mezőgazdaság, erdészet, halászat (halászháló), közszükségleti műanyagárak előállítása (csésze, palack, evőeszköz, stb.), csomagolóipar (táskák, csomagolóanyagok, fóliák, stb.), piperecikkek, higiéniai termékek, sportszerek.

Ismertek olyan biodegradálható polimerek, melyek mindkét előbb tárgyalt területen egyaránt alkalmazhatók. Ezek két fontos képviselői: a politejsav és a polikaprolakton [8].

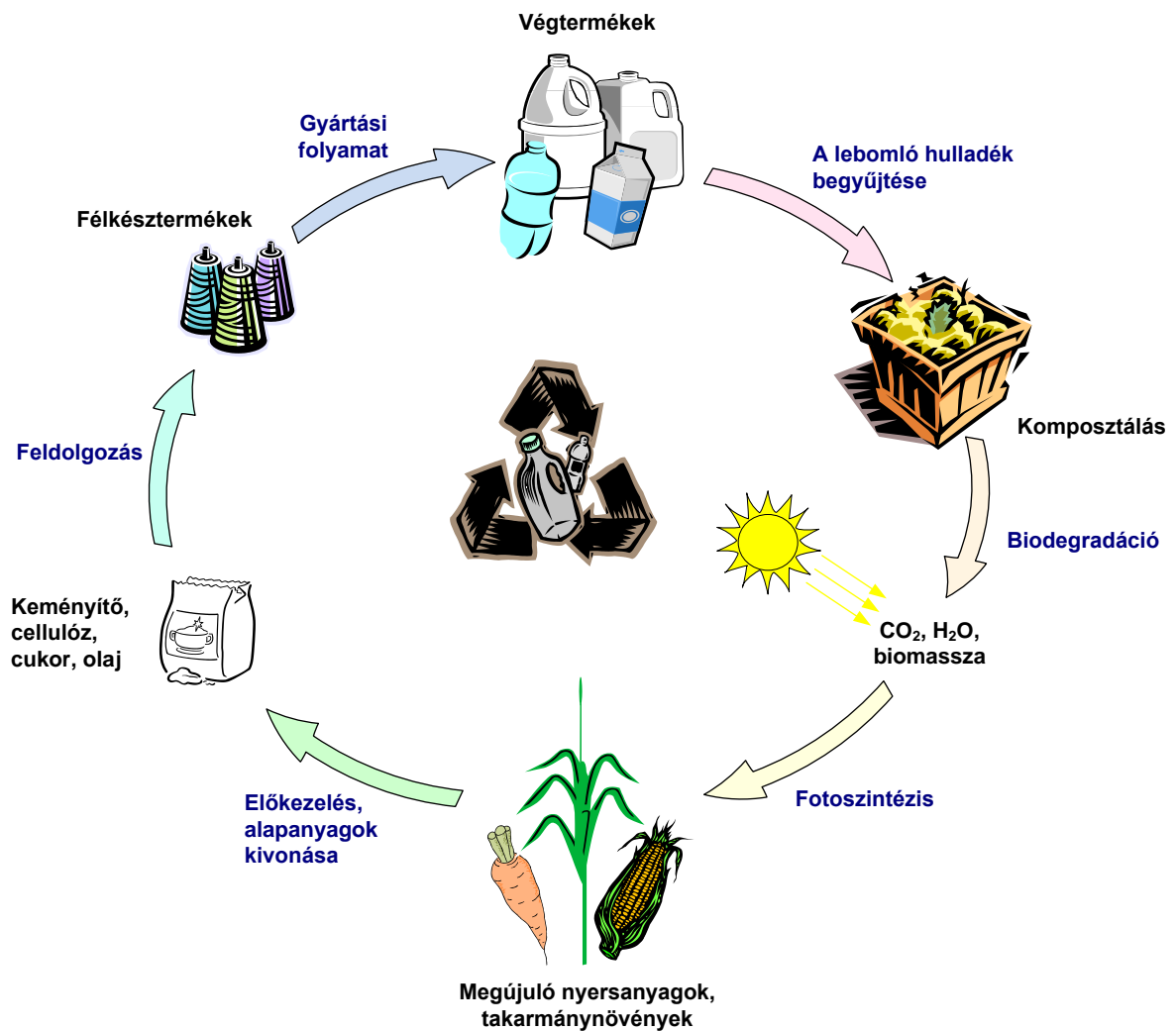
Biológiai lebomlás (biodegradáció) jellemzése

Az előbb tárgyalt alkalmazási területek alapja tehát az, hogy a degradálható polimerek a szervezetben, illetve a természetben anorganikus, vagy organikus úton lebomlanak, megszabadítva így a környezetet a káros és veszélyes hulladékoktól. Biológiai lebomlás alatt a mikroorganizmusok (gombák, baktériumok) hatására végbemenő lebomlást értjük, amelynek során a mikroszervezetek feltárják és a növények számára ismét felvehető formába hozzák a szerves anyagok felépítésében, az energia raktározásában és transzportjában résztvevő biogén elemeket. Ennek a folyamatnak az eredményeképpen a műanyag visszatér a természetes körfolyamatba (**202. ábra**). A lebomlás során mérgező anyagok nem keletkeznek (szén-dioxid, víz, ásványi elemek), valamint adalékanyagok segítségével a bomlás sebessége is befolyásolható.

Számos szabvány és előírás foglalkozik a komposztálhatósággal, a biodegradáció vizsgálati módszereivel, melyek részletesen taglalják a bontási körülményeket, a vizsgálatához felhasznált anyagféléseket és azok tulajdonságait. A biodegradáció vizsgálatára alapvetően laboratóriumi mikrobiológiai és elásási kísérleteket alkalmaznak [2].

A biológiai bomlást számos tényező befolyásolja:

- ✓ A polimer szerkezete, tulajdonságai:
 - Kémiai szerkezet: összetétel, molekulatömeg, molekulatömeg-eloszlás stb.
 - Fizikai szerkezet: kristályosság, olvadáspont, lágyuláspont, üvegesedési hőmérséklet stb.
 - Felületi tulajdonságok: hidrofil, hidrofób jelleg, felületi réteg stb.
- ✓ A lebontásban résztvevő mikróbák,
- ✓ A környezeti körülmények (hőmérséklet, napfény, nyomás, stb.).



202. ábra. Biológiailag lebontható műanyagok körforgalma

A lebomlásnak több típusát különbözteti meg a szakirodalom: termikus aktiválás, radioaktív lebomlás, oxidáció, hidrolízis (enzimatis (észteráz, lipáz enzimekkel), és nem enzimatis). Például a politejsav nem enzimatis úton bomlik le a természeti környezetben és az emberi testben, míg a polikaprolakton a természeti környezetben enzimatisan bomlik, az emberi szervezetben pedig nem enzimatis úton. A biopolimerek lebomlása során a különböző kötések egymás után szakadnak fel, majd ennek eredményeképpen vízoldható komponensek maradnak vissza [8].

A polimerek degradációjának iniciálása különféle mechanizmusok szerint történhet:

3. A sugárzásos, hőmérséklet hatására történő és mechanikailag indukált bomlás rendszerint a kovalens kötések elszakadását okozza. Az így keletkező szabad gyökök a polimerlánc további tördelődését okozzák.
4. A hidrolitikus lebomlás a hidrolízisre érzékeny csoportokat (észter-, amid-) tartalmazó polimereknél lép fel. A polimerizáció ilyenkor egy fordított polikondenzációs reakciónak felel meg. A hidrolízist a hőmérséklet, a savas vagy bázisos közeg és az enzimek is katalizálhatják. Poliésztereknél az észterkötés bomlik le és savak, ill. alkoholok keletkeznek (pl: politejsav, laktidok).
5. Enzimatis degradáció olyan csoportoknál lép fel, amelyeket az enzimek felismernek. Az enzimtől függően a bomlás lehet hidrolízis, oxidatív degradáció vagy közvetlen láncszakadás. A nagy molekulatömegű enzimek nem tudnak a polimerbe bediffundálni, hanem csak a felületen fejtik ki hatásukat. Pl: polikaprolakton. Az enzimatis lebomlást főként a természetes polimereknél mint pl. a természetes poliésztereknél, poliszacharidoknál (kitin), polipeptideknél (kollagén, keratin) lehet megfigyelni.

Egy műanyagot akkor tekintünk biológiailag lebomlóknak, ha:

- degradációja az ismert biodegradálódó anyagok lebomlásával azonos sebességű és fokú, és nem keletkezik belőle toxikus és/vagy perzisztens maradék,
- szemmel nem látható, nem felismerhető részekre bomlik,
- nem ökotoxikus (és komposztálás esetén a bomlástermékek a keletkező komposzt minőségét nem rontják).

Csak a biológiailag teljesen lebomló és a környezetre ártalmatlan termékekre lebomló anyagok kifejlesztésével érdemes foglalkozni, amelyek megfelelnek a komposztálás feltételeinek.

kérdés:

Hogyan definiálja a biodegradációt ?

Fontosabb biodegradálódó polimerek jellemzése

a.) Bioszintetikus polimerek

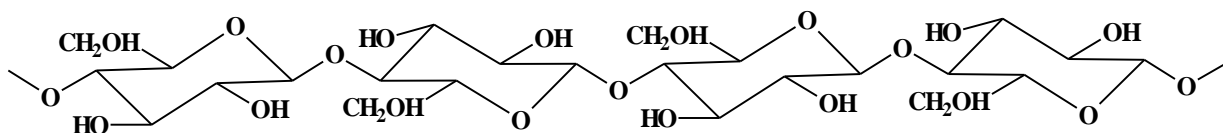
A cellulóz

A cellulóz a legnagyobb mennyiségben előforduló természetes polimer a Földön. Évente kb. 10^{18} tonna szerves anyag keletkezik a növények fotoszintézise során, és ennek közel 40 %-a

cellulóz. Jelentős mennyiségű cellulóz van még pl. a városi és mezőgazdasági hulladékban, valamint az állati trágyában is. Ezek a források azonban egyelőre kihasználatlanok [9]. A különböző növények cellulóztartalma eltérő, a különféle fafélésekben kb. 45-52 % cellulóz van. A növényi sejtfal legfontosabb alkotórésze a cellulóz. A primer sejtfal kb. 10 %-a, a szekunder sejtfal kb. 50 %-a cellulóz. A pamut esetében a szekunder sejtfal pedig tiszta cellulóznak tekinthető, így ez a legtisztább cellulózforrás, α -cellulóztartalma kb. 90 % [10]. Ha a sejtfalban található cellulózhoz hozzá szeretnénk jutni, akkor a kísérőanyagoktól (pektint, lignint, viaszt, ásványi anyagokat, fehérjéket és természetes színezékeket) el kell választani. A folyamat első lépése egy mechanikai bontás (csiszolás, aprítás), mivel a növényi sejtek a növény szövetszerkezetébe vannak beágyazva. A mechanikai bontás után következik a kémiai feltárás. A feltárások két alapvető csoportra oszthatók: az alkalikus és szulfitos eljárásokra.

Ez a poliszacharid β -D-glükózegységekből épül fel, amelyek 1-4 glükozidos kötéssel kapcsolódnak össze láncmolekulává (6. képlet). A polimerizációs fok a primer sejtfalban 2000-6000, a szekunder sejtfalban elérheti a 14000 körüli értéket, ami már másfél milliós molekulatömeget jelent.

6. képlet.



A cellulóz láncok között hidrogénhid-kötések kialakulására van lehetőség, és több láncmolekula összekapcsolódása fibrilláris, rendezett szerkezetet eredményez. A rendezettség helyenként olyan fokú, hogy eléri a kristályos szerkezetet. A sejtfal cellulózállománya azonban nem teljes egészében kristályos. A sejtfalban vannak olyan térrészek, amelyekben a cellulóz láncmolekulák kristályrácsba rendeződnek (micella).

A cellulóz tulajdonságait - kémiai szerkezetén kívül – elsősorban az határozza meg, hogy a láncmolekulák intramolekuláris hidrogénhid kötésekkel kristályos fibrillákká aggregálódnak. Ennek következtében a cellulóz vízben egyáltalán nem oldódik, de erélyes reakció-körülményeket alkalmazva, pl. erős savakban és lúgokban, vagy tömény sóoldatokban, magas hőmérsékleten kismértékben igen. Kíméletes reakciókörülmények között a cellulóz degradálódása enzimkatalizált hidrolízissel lehetséges.

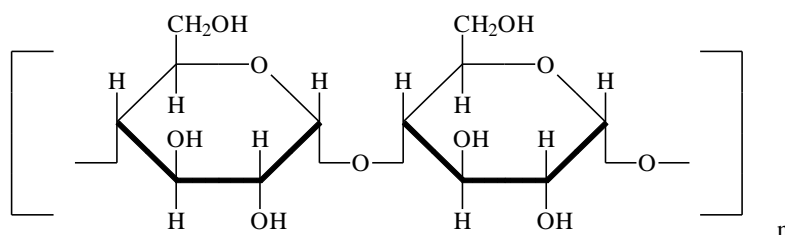
A cellulózszármazékok a cellulóznál jóval kevésbé biodegradálódnak. A származékokban ugyanis a hidroxil-csoportok gyakorlatilag teljes helyettesítése szükséges a termoplaszticitás

eléréséhez. A szubsztitúciós fok (DS, a szubsztituált hidroxil csoportok száma anhidroglükóz egységenként) növekedésével azonban a biológiai bonthatóság mértéke csökken, mivel nem szubsztituált glükóz egységek jelenléte szükséges az enzimes bontás megkezdéséhez. Megfelelő adalékokkal lehetséges a cellulóz-alapú műanyagok degradációjának gyorsítása. Jelenleg a cellulózeszterek területén a kutatások nagy része biológiailag lebomló műanyagként való felhasználásuk felé irányul. A kereskedelmi szempontból legjelentősebb cellulózszármazék a cellulóz-acetát (CA).

A keményítő

A természetben a másik nagy mennyiségben jelenlévő poliszacharid a keményítő, amely szinte valamennyi élőlényben megtalálható, mint tartalék tápanyag. Legnagyobb mennyiségben a növényekben fordul elő, ugyanis a fotoszintézis során keletkező szőlőcukrot ilyen formában raktározza el a növényi szervezet. A 7. képlet a keményítő általános szerkezetét szemlélteti.

7. képlet.



A keményítő α -D glükóz egységekből épül fel. A keményítő hideg vízben nem oldódik, viszont forró víz hatására kolloid állapotba kerülve oldatba vihető. A növényekben termelődő, majd elraktározódó keményítő azonban nem egységes szerkezetű. Két módosulata létezik a természetben: az amilóz és az amilopektin. A keményítő e két módosulata kémiaiilag nem, csak szerkezetében tér el egymástól. A nyers, természetes keményítő önmagában, hagyományos műanyag feldolgozó módszerekkel nem dolgozható fel, ugyanis a folyási hőmérséklete ($T_{\text{foly}} = 257 \text{ }^\circ\text{C}$) az anyag bomlási hőmérséklete fölé esik ($T_{\text{boml}} = 230\text{-}250 \text{ }^\circ\text{C}$). A keményítő termoplasztikussá tételéhez a feldolgozás során a kristályos szerkezetét kell elbontani, melyet a szakirodalom destrukturalásnak, más esetekben zselatinálásnak nevezi. A zselatináláshoz a keményítő természetes lágyítója szükséges és ez a tiszta víz. A víz mellett egyéb egy- és többértékű hidroxil-vegyületek, főleg alkoholok jöhetnek még szóba [6]. A műanyagiparban a keményítő feldolgozásakor a vízen és egyéb lágyítókon kívül a feldolgozás során alkalmazott hőmérséklet, valamint a fellépő nyíró erők is szerepet játszanak a kristályos szerkezet

lebontásában. Az így kapott anyag a termoplasztikus keményítő (az angol nevéből eredő rövidítéssel: TPS), amely szintén biodegradálható polimer. Alkalmazzák szálerősítéses rendszerekben mátrixként, illetve nanokompozitok előállítására [11, 12-15].

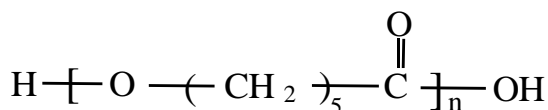
b.) Mesterségesen előállított biológiailag lebomló polimerek

Napjainkban egyre nagyobb jelentőségük van a mesterségesen előállított biológiailag lebomló polimereknek, melyek lehetnek: alifás poliészterek, polivinil-észterek, polivinil-alkohol, poliészter-amidok, polianhidridek, poliészter-uretánok. A kereskedelmi forgalomban legelterjedtebbek a mesterséges biodegradálódó polimerek között az alifás poliészterek, ezek közül is a politejsav, a poli(ϵ -kaprolakton), és ezek kopolimerjei.

A poli(ϵ -kaprolakton)

Az poliészterek közül különösen nagy jelentőségű a szintetikus úton előállított poli(ϵ -kaprolakton) (PCL), mely az első kereskedelmi forgalomba került biológiailag bontható alifás poliészter [2] (8. képlet).

8. képlet.



Nagy szerepe van a gyógyászatban (mind a sebészetben, mind a gyógyszerhordozó rendszerekben), valamint a csomagolástechnikában. Kiváló szerves szénforrás szennyvizek denitrifikációjához. Jó összeférhetőségének köszönhetően alkalmas bevonatként való felhasználásra is. Jelentőségét mutatja, hogy a keményítővel alkotott keverékéből készített szemetes zsák jelenleg a legelterjedtebb biológiailag lebomló műanyagcikk Európában [16]. A PCL nem toxikus és biológiailag lebomló. Kristályossági foka, üvegesedési hőmérséklete és olvadáspontja alacsony. A többi alifás poliészterhez képest viszonylag hidrofób. Mivel olvadáspontja alacsony, ezért keresztkötések létrehozására van szükség magasabb hőmérsékleteken történő használatához, de a PCL megtartja biodegradálhatóságát még szerves peroxidokkal, vagy γ -sugárzással történő térhálósítás esetén is [2]. A PCL elegyíthető számos polimerrel, többek között a poli(vinil-kloriddal), poli(epiklórhidrin)-nel, sztirol-akrilnitril kopolimerrel, a biszfenol-A polihidroxiéterével, emellett pedig néhány cellulózszármazékkal is, mint például a nitrocellulózzal, vagy a cellulóz-acetát-butiráttal. Bár a PCL a biológiailag

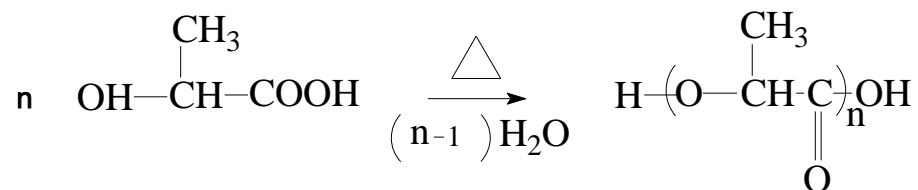
lebomló polimerek között olcsóbbnak számít, ára még mindig sokszorosa azon műanyagokénak, amelyeket kiváltani szándékoznak vele. Emiatt olcsó biodegradálódó anyagokkal (többek között poliszacharidokkal) próbálják társítani. Eddig főként a keményítővel alkotott keverékei és kopolimerjei felé fordult a figyelem [17-20], de egyre többen foglalkoznak már más poliszacharidokkal, főleg cellulóz-származékokkal történő módosításával is [21].

A többi alifás poliészterhez hasonlóan a PCL is kémiai, vagy enzimes hidrolízissel bomlik le. Degradációja során a molekulatömeg csökken, a molekulatömegeloszlás szélesedik, a kis móltömegű frakciók száma nő. Vizes közegben, abiotikus körülmények között a lebomlás bázikus pH-n és magas hőmérsékleten a leggyorsabb. A PCL egyik legvonzóbb tulajdonsága az, hogy biotikus körülmények között is gyorsan, maradéktalanul és toxikus anyagok keletkezése nélkül lebomlik. Biodegradálhatóságát a molekulatömeg és a kristályosság befolyásolja a legnagyobb mértékben, de a hőmérséklet is fontos szerepet játszik benne. Annak, hogy magasabb hőmérsékleten gyorsabb a bomlás, az az oka, hogy a mikroflóra összetétele hőmérsékletfüggő. A PCL biodegradációja szempontjából az 50 °C körüli hőmérsékletet találták a legkedvezőbbnek [22]. A poli(ϵ -kapolakton) előállítását az ϵ -kapolakton monomer gyűrűnyílásos polimerizációjával végzik. Az ϵ -kapolakton gyűrűnyílásos polimerizációját számos fémvegyület katalizálja, például fémhalidok, -oxidok, -karbonátok, -karboxilátok és -alkoxidok [23-24]. Mivel a gyógyászati alkalmazások során a nehézfémek jelenléte nem kívánatos, ezért az ón-oktoát más, cink-alkoxidokkal célszerű helyettesíteni [24]. A laktongyűrű nyitását és zárását egyes fémvegyületeken kívül különféle lipáz enzimek is lehetővé teszik, így környezetbarát enzimes technológiával is szintetizálható [25].

A politejsav és polimerjeinek jelentősége

A politejsav a szintetikus előállított biodegradábilis polimerek rendkívül fontos képviselője. A világ számos országában előállított mennyisége egyre növekszik, és alkalmazása nagy léptekkel halad előre. A gyártás megfizethetetlen ára miatt az 1980-as évekig más területeken nem alkalmazták ezt a polimert. Ugyanis a monomer tejsav addig ismert, petrokémiai úton történő előállítása rendkívül drága eljárás volt (a termék D,L-tejsav), ami a politejsav előállítását is meghatározta. A nagy előrelépést egy új technológia bevezetése jelentette, amely takarmánynövényekből (kukorica, búza, burgonya, cukorrépa, stb.) nyert szénhidrátok (pl. D-glükóz, stb.) baktériumokkal végzett fermentációjával állított elő L-tejsavat [8, 26-27]. Ez jelentős fejlődést indított el ezen a területen, és lehetővé tette mind a monomer tejsav, mind a politejsav nagyüzemi gyártását.

9. képlet.



Napjainkban a világon több nagyvállalat állít elő politejsavat [26, 28], amelyek közül jelenleg a Cargill J. V. Inc. (Minneapolis) a legnagyobb kapacitással bíró vállalat. A takarmánynövényeken alapuló tejsav előállítás forradalmasította a politejsav gyártását, megnyitva így az utat a közszükségleti műanyagok, csomagolóanyagok gyártására. Napjainkban ez a technológia az alkalmazott módszerek 80 %-át teszi ki. A politejsav szintézise megvalósítható laktidból kiindulva gyűrűfelnnyílásos polimerizációval (ROP), illetve tejsavból kiindulva termikus polikondenzációval [8]. Kísérletek alapján megállapították, hogy a termikus polikondenzációval előállított polimerek kedvezőbb tulajdonságúak, belőlük sokféle közszükségleti műanyag (csésze, fólia, evőeszközök, filmek) állítható elő, amelyek időjárás-állósága is kiváló. A módszer további előnye, hogy nem igényel rendkívül nagy tisztaságú kiindulási monomert, ellentétben az ROP-vel, ahol az alkalmazott laktid-monomer nagy tisztasága alapvető fontosságú. A polilaktid előállítása során szennyeződésként katalizátormaradványok és kisebb molekulatömegű termékek, valamint laktid lehet jelen. Végül, de nem utolsó sorban megállapították, hogy ezzel a módszerrel kedvezőbb körülmények között, és könnyebben hozzáférhető monomerekkel állíthatók elő kopolimerek [29].

Láthattuk, hogy a politejsav előállítására számos eljárást fejlesztettek ki az elmúlt évtizedekben, amelyek segítségével a szükséges molekulatömegű és fizikai tulajdonságú polimerek állíthatók elő. Ezen célok eléréséhez alapvető fontosságú a reakcióparaméterek betartása, illetve, ha nagy molekulatömegű politejsavra van szükség, akkor alkalmas katalizátorok, vagy katalizátorrendszerek használata.

A politejsav polimereknek jó fizikai és mechanikai tulajdonságaik vannak, a többi biopolimer árát figyelembe véve olcsóbbak és más polimerekkel (pl. kristályos polisztirol (PS), polietilén-tereftalát (PET), stb.) összehasonlítva elmondható, hogy kiváló aroma és íztartó anyag, hőstabilitása jó, az amorf és biaxiális filmek tisztasága és átláthatósága felülmúlja a PET-ét, valamint a PLA filmek és egyéb anyagok jól nyomtathatók.

A politejsav tulajdonságai javíthatók kopolimerizációval, vagy tejsav monomer keverék, illetve L-tejsav és ciklikus oligo-L-tejsav keverék alkalmazásával [30-33]. A politejsavat elsősorban a

gyógyászatban biokompatibilis tulajdonsága miatt alkalmazzák, de használata már különböző ökológiai területeken is terjed [8].

Carothers és munkatársai a politejsav nedvességgel szembeni érzékenységét már 1932-ben tapasztalták [26]. A hidrolitikus lebontás eredményeképpen kisebb molekulatömegű oligomerek, majd szén-dioxid és víz keletkezik és hidrolitikus enzimek jelenléte nem szükséges a lebomláshoz. A lebonthatóságot a hőmérséklet (növekedésével nő a bonthatóság) és a nedvesség mértéke is befolyásolja, de a napfény jelenléte nem szükséges a lebontáshoz [26, 34]. Összefoglalva a politejsav és polimerjeinek biológiai lebonthatóságát a szakirodalom számos publikációja igazolja, amely alapvető hatással van széles körű alkalmazhatóságára és környezetvédelmi jelentőségére.

A tejsav-kaprolakton polimerek jelentősége

Mivel a polikaprolakton és a politejsav is biológiailag bontható anyagok, ezért az elmúlt években a hidrolizálható és biokompatibilis poli-(kaprolakton-tejsav), (P(CL-LA) kopolimerek nagy érdeklődést keltettek az orvostudományi alkalmazásban. Az P(CL-LA) kopolimerek és más laktonból kiinduló kopolimerek előállítására vonatkozóan számos tanulmány jelent meg az elmúlt években. A legtöbb kutatás figyelme a polimerizáció paramétereire és a különböző katalizátorokra terjedt ki, és kevésbé a termék mechanikai tulajdonságaira és felhasználhatóságára [35]. Nemcsak monomerekből állítottak elő P(LA-CL) kopolimereket, hanem a homopolimereknek, a PLA-nak és a PCL-nak a reagáltatásával is. Ezen a területen is számos kísérletben vizsgálták a polimerek keverékéből előállítható anyagok tulajdonságait és jelentőségét, amelyek felhasználása biodegradábilis és biokompatibilis tulajdonságaikon alapszik és főleg a csomagolóipari, felületbevonóként történő alkalmazásukat célozza.

Politejsav alapú uretánok szintézise és jelentősége

Közismert, hogy az izocianátok reakcióképes vegyületek, reagálnak minden aktív hidrogént tartalmazó vegyülettel, így a hidroxil- illetve karboxilvégű politejsavval is, amely reakcióban uretán típusú vegyület keletkezik [8, 36]. Politejsavból biológiailag lebontható poliuretánok előállítására vonatkozóan az 1990-es évek elejétől kezdve jelentek meg közlemények [8]. Ezek közös jellemzője, hogy a politejsavat, vagy valamilyen prepolimert diizocianátokkal reagáltatva alakították ki a tervezett poliuretánt. Diizocianátként elsősorban hexametilén- illetve toluilén-diizocianátot (HMDI és TDI), illetve 4,4'-difenilmetán-diizocianátot (MDI) használhatunk. A tulajdonságok javítására polietilén vagy polipropilén glikolokkal láncnövelést is lehet végezni, így elasztikus tulajdonságú, fóliaszerű termékek nyerhetők [8]. A politejsav alapú poliuretánok

lebomlásával a szakirodalomban több publikáció is foglalkozik [37-39]. A politejsav alapú uretánok szintén hidrolitikusan bonthatók le.

kérdés:

Milyen természetes illetve mesterséges eredetű biodegradálható műanyagokat ismer?

Irodalomjegyzék

- [1] FARKAS F.: A műanyagok és a környezet; 2000; Budapest; Akadémiai kiadó; 345:250-339.
- [2] www.kfk.hu/kornyezet/Belina_Ea2.pdf (Műanyagtermelés és a képződött hulladékok helyzete)
- [3] Remoplast Műanyag csomagolóeszköz hulladék hasznosítását koordináló Kht: Elektronikai hulladékok hasznosítása, Powerpointos előadás, 2005.
- [4] A Remoplast Műanyag csomagolóeszköz hulladék hasznosítását koordináló Kht., Magyar Gyártóipar, 45. évfolyam, 10. szám
- [5] <http://www.csomagolo.hu/cikkek.html> (A műanyag csomagolási hulladékok kezelésének lehetséges megoldásai)
- [6] <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/Plastics.htm> (Plastics recycling information sheet)
- [7] MÉSZÁROS NÉ KIS Á.-LUKÁCS P.: A közlekedési környezetvédelem helyzete és jövőbeli alakulása 1999-től 2020-ig; 1999; Budapest; OMFB Technológiai előrettekintési program.
- [8] BODNÁR I.: Potenciálisan biodegradálható, politejsav bázisú polimerek szintézise és vizsgálata; Ph.D. értekezés; 2002; Debrecen; Debreceni Egyetem-TTK.
- [9] FAN L. T., GHARPURAY M. M., LEE Y.-H.: Cellulose Hydrolysis; 1987; New York, London, Paris, Tokyo; Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [10] NEVELL T. P., ZERONIAN S. H.: Cellulose chemistry and its applications; 1985; Chichester; Ellis Horwood Limited Publishers.
- [11] RANDAL L., SHOGREN I., SWANSON C. L., THOMPSON A. R.: Extrudates of Cornstarch with Urea and Glycols: Structure / Mechanical Property Relations; 1992; *Starch/Sterke*, 9; 335-338.
- [12] PETRIK A.: Keményítő tartalmú műanyagok előállítása; Diplomamunka; 2000; Budapest; BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék.
- [13] BABOVKA É.: Biodegradálódó polimerrendszerek alapanyagaként felhasználható módosított keményítő előállítása; Diplomamunka; 1996; Budapest; BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék.

- [14] DILOVA E., TRUTER P., VARGHA V.: Modification of Thermoplastic Starch with Vinyl Monomers by Reactive Extrusion Process; 8-9 April 2000; Stellenbosch, South Africa; 3rd UNESCO School & Conference on Macromolecules & Materials Science.
- [15] AICHHOLZER W., FRITZ H. G.: Charakterisierung der Stärkedestrukturierung bei der Aufbereitung von bioabbaubaren Polymerwerkstoffen; 1996; *Starch/ Stärke*, 48; 434-444.
- [16] SANCHEZ J., TSUCHII G. A., TOKIWA Y.: *Biotechnology Letters*; 22; 2000; 849-853.
- [17] ISHIKAWA U.S., PANG K. W., LEE W. S., MOHD. ISHAK Z. A.: *European Polymer Journal*; 38; 2002; 393-401.
- [18] ODUSANYA O. S., ISHIAKU U. S., AZEMI B. M. N., MANAN B. D. M., KAMMER H. W.: *Polymer Engineering and Science*; 40; 2000; 1298-1305.
- [19] MANI R., BHATTACHARYA M.: *European Polymer Journal*; 37; 2001; 515-526.
- [20] CHOI E.-J., KIM C.-H., PARK J.-K.: *Macromolecules*; 32; 1999; 7402-7408.
- [21] LI J., XIE W., CHENG H. N., NICKOL R. G., WANG P. G.: *Macromolecules*; 32; 1999; 2789-2792.
- [22] OHTAKI K., AKAKURA N., NAKASAKI K.: *Polymer Degradation and Stability*; 62; 1998; 279-284.
- [23] TIAN D., DUBOIS Ph., JEROME R., TEYSSIE Ph.: *Macromolecules*; 27; 1994; 4134-4144.
- [24] *Communications to the Editor Macromolecules*; 24; 1991; 6542-6545.
- [25] McDONALD R. T., PULAPURA S. K., SVIRKIN Y. Y., GROSS R. A., KAPLAN D. L., AKKARA J., SWIFT G., WOLK S.: *Macromolecules*; 28; 1995; 73-78.
- [26] LUNT J.: *Polymer Degradation and Stability*; 59; 1998; 145.
- [27] IKADA Y., TSUJI H.: *Macromol. Rapid Comm.*; 21, 2000; 117.
- [28] LOWE C. E.: US Patent 2,668,162 (DuPont); 1954.
- [29] AJIOKA M., ENOMOTO K., SUZUKI K., YAMAGUCHI A.: *A. Bull. Chem. Soc. Jpn*; 68; 1995; 2125.
- [30] SINCLAIR R. G.: *J.M.S.-Pure Appl. Chem.*; A33(5); 1996; 585.
- [31] BLUME O., SCHOLZ H.-Ch.: *Germ. Offen. Patent* 19611285, 3.; 1997.
- [32] SINCLAIR R. G., Preston J. R.: *PCT Int. Appl.* 9204413, 205; 1992.
- [33] AJIOKA M., HIGUCHI C., YAMAGUCHI T., SUZUKI K.: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho* 06306264, 7, 1994.
- [34] BOGAERT J. C., COSZACH P.: *Nonwovens World*; 2000 Feb-March.

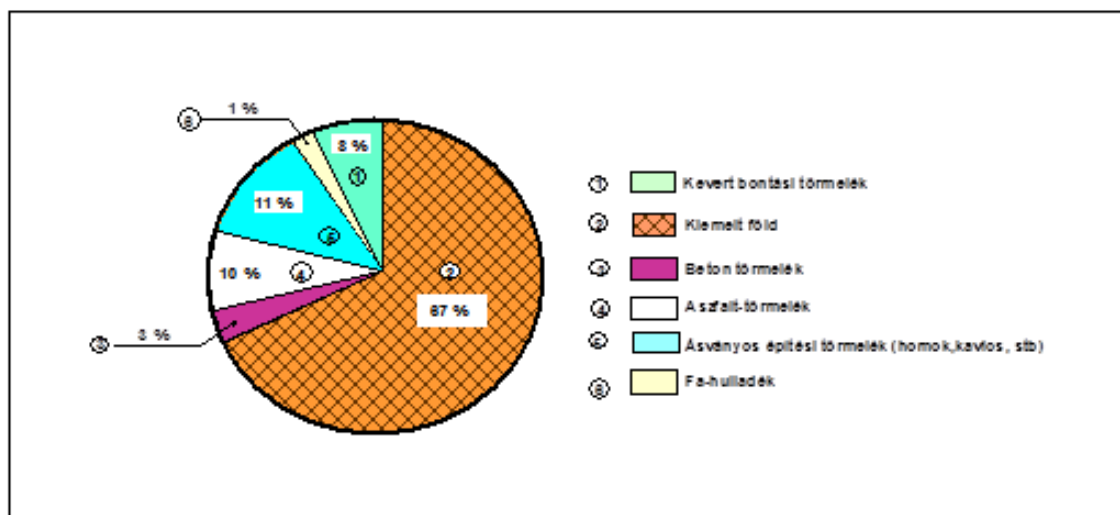
- [35] DUBOIS P., ROPSON N., JEROME R., TEYSSIE P.: *Macromolecules*; 29; 1996; 1965-1975.
- [36] BORDA J.: *Poliuretánok kémiája és előállításuk*; 1994; Debrecen; Egyetemi kiadó.
- [37] WOO S. I., KIM B. O., JUN H. S., CHANG H. V.: *Polymer Bulletin*; 35; 1995; 415.
- [38] HARKÖNEN M., HILTUNEN K., MALIN M., SEPPALA J. V.: *J.M.S.-Pure Appl. Chem.*; A32(4); 1995; 857.
- [39] OWEN S., MASAOKA M., KAWAMURA R., SAKOTA N.: *J.M.S.-Pure Appl. Chem.*; A32(4); 1995; 843.

7.6 Építési hulladékok előkészítése és hasznosítása

Dr. Csőke Barnabás

7.6.1 Építési hulladékfajták, mennyiségük, minőségük

Hazánkban egy évben keletkező építési hulladék (kiemelt föld nélküli) mennyisége ma 7 Mt-ra becsülhető, amely az összes ipari hulladéknak 9-11 %-a. Mennyisége közel kétszerese a szilárd települési hulladékok mennyiségének. A jászberényi Aprítógépgyár Rt. 1996-ben legyártotta az építési hulladékok feldolgozását szolgáló első mobil aprítóberendezését. Az útépitési bontási anyagok újrahasznosítása ma már csaknem teljes, a magas építési bontási és munkahelyi hulladékok hasznosítása azonban keletkező mennyiségnek kb. 5 %-a. Összehasonlításképpen Ausztriában 23 Mt/év építési hulladék keletkezik (**203. ábra**). 160 építési hulladék-feldolgozó létesítmény működik, egy üzem általában 150000 t/év feldolgozási teljesítménnyel rendelkezik.



203. ábra. Építési hulladékok, Ausztria, [4]

Az újrahasznosítás gazdaságosságát elsősorban a deponálási díjak határozták meg, például Hollandiában lerakás költségei egy nagyságrenddel meghaladják a feldolgozás költségét. Az eredményes működést a fejlett országokban támogatják: helyi adókedvezménnyel, helyi beruházási támogatással, nyereség- és forgalmi adómentességgel, a termék felhasználóit adókedvezménnyel.

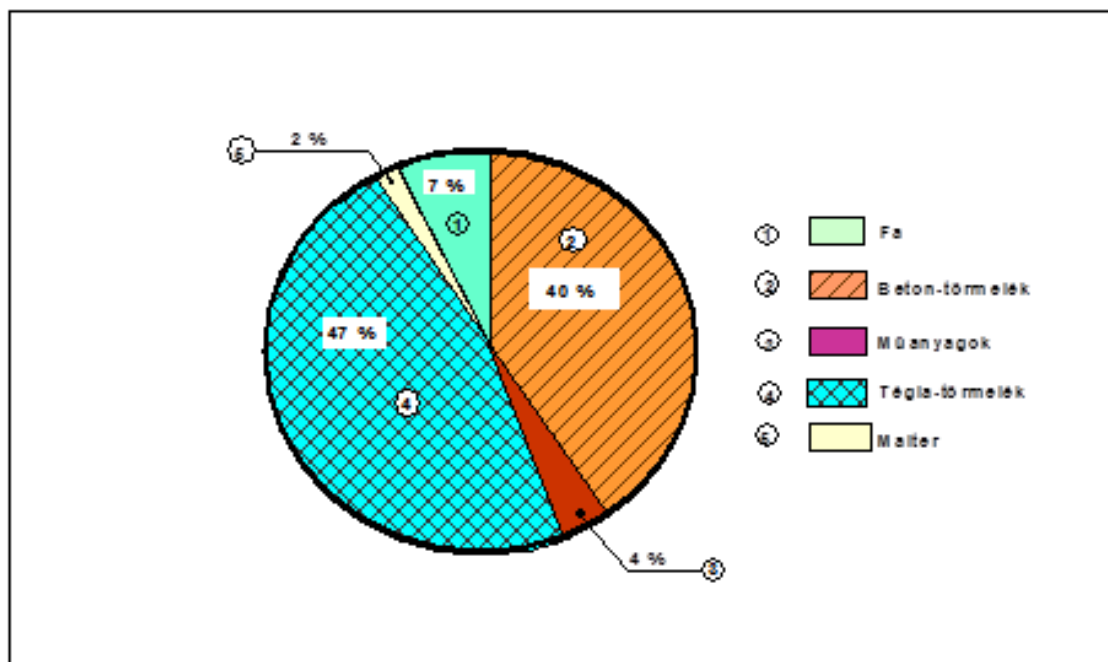
Az építési hulladékoknak alábbi négy fontos csoportját különböztetjük meg (**204. ábra**). A *kitermelt föld* a mélyépítésnél, útépitésnél és egyéb építőipari munkák során egyaránt

keletkezik. A kiemelt föld termőföldből, homokból, kavicsból és más kőzetanyagokból, kőzetdarabokból áll.



204. ábra. Építési hulladékok

Az építési törmelék a bontási műveletek során jön létre. Fontosabb alkotóanyaga: a beton, vasbeton, téglá, malter, cserép, kerámia. A legértékesebb komponensek a beton és a téglá, melyek aránya a 80 %-ot is eléri (205. ábra, [5]; ld. még 76. táblázat). A törmelékben szennyezőanyagok is előfordulnak, melyeket az újrahasznosítás előtt gondosan le kell választani. Ebbe a csoportba tartozik a fa, üveg, fémek, papír, műanyag.



205. ábra. Építési bontási hulladékok összetétele, Németország, [5]

Az építéshelyi hulladékok az új épületek építésénél, régi épületek újjáépítésénél és helyreállításánál keletkeznek. E hulladékokat rendszerint konténerekben gyűjtik össze, ezért építési konténerhulladéknak is nevezik. Igen heterogén összetételű hulladék, fő alkotóelemei a csomagoló anyagok - fa, műanyag, kábel, üveg, vas, papír, lakk- és a festékdobozok-, de tartalmaz a beton, téglá, malter, homok, kavics, kerámia stb. törmelékeket is.

A 76. táblázat az is kitűnik, hogy a legértékesebb másodlagos nyersanyagot az útfeltörés és az építmények bontásából származó törmelékek képezik. A teljes építési hulladékmennyiségen belül legnagyobb részarányt - 60-80 %-ot - a kiemelt föld képviseli (205. ábra és 206. ábra), a többi hulladékfajta - építési bontási hulladék, építéshelyi hulladék és az útbontási törmelék-hozzávetőlegesen ugyanolyan arányban keletkeznek.

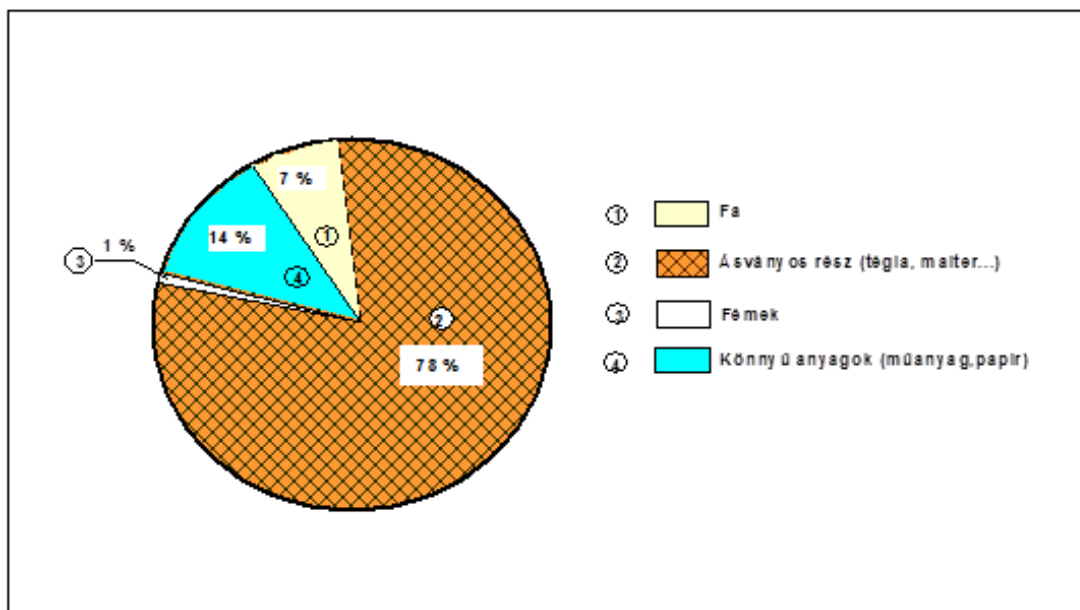
Útbontási törmelékek. Az útépitésnél keletkeznek az útbontási törmelékek. A merev beton útpálya feltöréséből származó anyag beton. A hajlékony útpálya (amikor az útalap aszfalt vagy zúzott kő, a burkolati réteg pedig aszfaltból készül) feltöréséből származó anyag vagy tiszta aszfalt, vagy aszfalt és az alapból származó zúzottkő keveréke (aszfalt 20 % és zúzottkő 80 %). A fél-merev (beton alapra aszfalt burkolat) útpálya bontásából származó anyag a felszedés módjától függően lehet tiszta aszfalt és beton, vagy aszfalt és beton keveréke (aszfalt 20-30 %

és beton 80 -70 %). Mindegyik esetben a szennyező anyag a földmű anyaga (< 5-10 % homok-kavics, zúzottkő vagy salak és föld).

Az eltérő eredet és összetétel miatt célszerű a különböző építési hulladékokat (építési bontási törmelék, kevert hulladék, útfeltörési törmelék) az előkészítő területén külön-külön tárolni és feldolgozáshoz előkészíteni.

76. táblázat. Építési hulladékok

Kiemelt föld	Útbontási törmelék	Bontási törmelék	Építéshelyi hulladékok
Keletkezési hely			
Mélyépítési munkák - iparban - utakon - otthon - egyéb	Utak felbontása vagy újjáépítése - forgalmi út - repülőtér - vasút	Épületek bontása - iparban - otthon - egyéb	Épületek újjáépítése vagy helyreállítása, új létesítmény építése
Összetétel (szerkezeti anyagok)			
- termőföld - homok - kavics - agyag - egyéb közet - salak	- bitumenes vagy hidraulikusan kötött építőanyag - útburkolat - szegélykő - járda - homok, kavics	- beton - vasbeton - téglá - malter - gipsz - kerámia	- beton - téglá - malter - homok - kavics - kerámia
Szennyező-anyagok			
		- fa - vas - üveg - műanyag	- fa - vas - műanyag - üveg - kábel - papír - lakk - festék



206. ábra. Építéshelyi hulladékok, Németország, [2]

7.6.2 A hasznosítás műszaki és alkalmazástechnikai követelményei, gazdasági és környezetvédelmi feltétele, vizsgálati módszerek műszaki

Az építési hulladék-anyagok újrahasznosítását tehát három kritérium határozza meg: 1) műszaki minőség, amely kívánalom teljesen megegyezik a primer nyersanyagokkal (osztályozott és zúzott homok, kavics, ill. közúzalék) szemben támasztott követelményekkel; 2) környezettel való összeegyeztethetőség; 3) valamint a primer ásványi anyagokkal való versenyképesség.

Az újrahasznosítás érdekében gondosan fel kell deríteni a gazdaságban azokat a területeket, ahol az előkészített hulladék-anyagból származó termékek felhasználhatók. A termékeknek meg kell felelnie a környezetvédelmi és az építési műszaki előírásoknak. Ismerni kell az anyagok tulajdonságait, amire a rendszerint a megfelelő anyagvizsgálatok és kísérletek adnak választ.

Az építési hulladék-anyagok újrahasznosítását tehát három kritérium határozza meg [6]:

- műszaki minőség,
- környezettel való összeegyeztethetőség,
- valamint a primer ásványi anyagokkal való versenyképesség

A legfontosabb vizsgálandó műszaki anyagjellemzők:

- agyagi összetétel: ásványi komponensek, szennyezők fajtái és tömegarányai,
- finom agyagos szemcsék tömegaránya,
- ásványi és nem ásványi anyagok (fém, pl vasbeton) összenövése, kapcsolata (ásványi, közetszemcsék feltártsága)
- szemcseméret-eloszlás,
- szemcsék alakja,
- fagyállósága,
- szemcseszilárdság,
- Devál kopás elleni ellenállás,
- Los Angeles ütési szilárdság,
- szemcsesűrűség, halmazsűrűség,
- tört (aprítással) szemcsék részaránya.

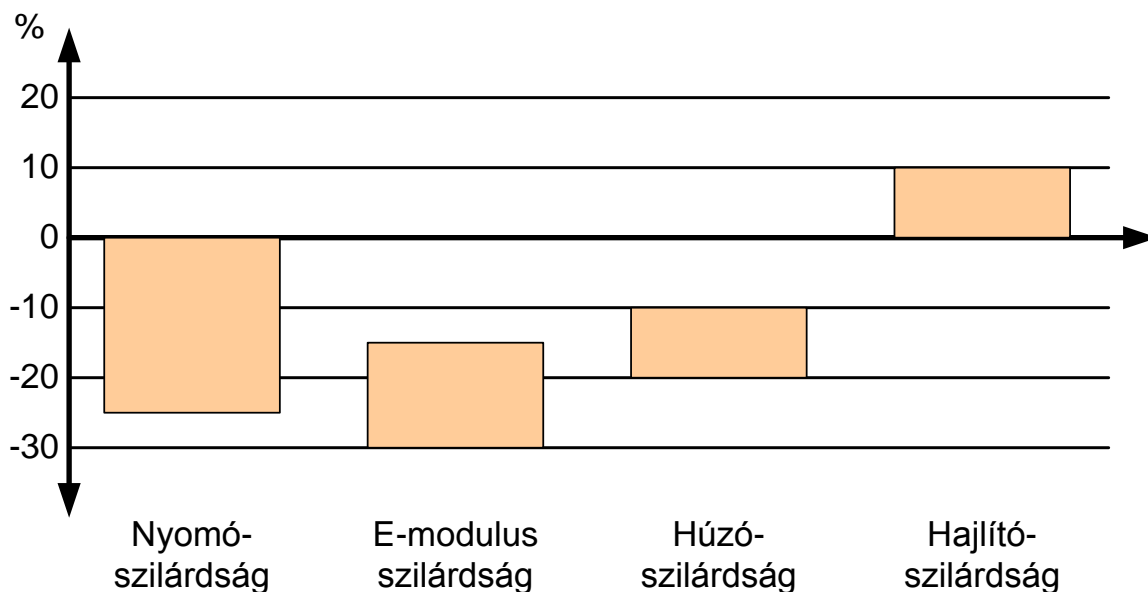
A legfontosabb vizsgálandó műszaki anyagjellemzők: ásványi komponensek, szennyezők fajtái és tömegarányai, finom agyagos szemcsék tömegaránya, ásványi és nem ásványi anyagok (fém, pl, vasbeton) összenövése, szemcseméret-eloszlás, szemcsék alakja, fagyállósága, szemcseszilárdság, Devál kopás elleni ellenállás, Los Angeles ütési szilárdság, szemcsesűrűség, halmazsűrűség, tört (aprítással) szemcsék részaránya.

Az építési hulladékok újrahasznosításának lehetőségeit a 77. táblázat mutatja [7,8,2].

Az építési hulladék-anyag legértékesebb részét az ásványos alkotórészek képezik. E vonatkozásban első helyen a beton áll, beton újrahasznosításának a lehetőségei széles körűek és csaknem teljes tömegében újrahasznosítható. A hasznosításuk fő területe az építési és útépitési beton-adalékanyagként (a primer kavics-homok és a zúzottkő részben vagy teljes helyettesítésével) való alkalmazás. A törtbeton másik fontos felhasználói területe az építőelemek gyártása, ahol szintén betonadalék-anyagként felhasználható fel. Az így kapott termék kisebb szilárdságú (10-20 %-kal), mint a hagyományos, a változást az alábbi ábra szemléltet [9].

77. táblázat. Az újrahasznosított termékek felhasználási lehetőségei

Feldolgozott hulladék	Források	Az újrahasznosított Termékek	Alkalmazási lehetőségek
Betontörmelékek	Utak, hidak, ipari Létesítmények	Aprított betontörmelék (döntően beton)	Kötés nélküli útlapok, ill. alacsonyabbrendű útlapok. Cementkötésű útlapok. Mezőgazdasági utak. Adalékanyag beton előállításához. Jó minőségű töltőanyag. Vízelvezető rétegek.
Aszfalttörmelék	Útszerkezetek	Aprított aszfalttörmelék (döntően aszfalt)	Kötőanyag nélküli felső útalap, ill. alsó útalap. Kötőanyaggal ellátott útalap. Mezőgazdasági utak. Adalékanyag aszfalt előállításához.
Aszfalt és betontörmelék	Utak, hidak, Közterek	Aprított keverék betonból, aszfaltból és természetes kövekből	Kötőanyag nélküli felső, ill. út- Alap. Kötőanyaggal ellátott felső, ill. útalap. Mezőgazdasági utak.
Építési törmelék	Építmények, ipari Létesítmények	Újrahasznosítható építési homok, építési apríték (téglatartalom 25 %-nál kevesebb)	Stabilizált feltöltések és alapozások. Sportpályák alapozásai.
Építési téglatörmelék	Házak, építmények	Újrahasznosítható építési homok, építési apríték (téglatartalom 25 % felett)	Adalékanyag falazótéglák elő- állításához. Beton és könnyűbeton adalékanyag. Stabilizálások. Töltés, alapozás. Padlóburkolatok.
Kevert ásványi eredetű építési törmelék	Építmények, házak, ipari létesítmények	Újrahasznosítható ásványi építési zúzalék (beton, téglá, természetes kő)	Feltöltések, alapozások, sport- pályák alsó rétegén, vízelveze- tések



207. ábra. A hulladék-beton töretéből készített beton-próbatest tulajdonsága

A holland tapasztalatok szerint [11] ugyanolyan beton-nyomószilárdság esetén a tulajdonságok az alábbiak szint alakulnak:

78. táblázat. Beton-nyomószilárdsága recycling és hagyományos adalékanyagból készített beton esetén

	Recycling-beton	Hagyományos beton
Mechanikai tulajdonságok		
Nyomószilárdság	25 N/mm ²	25 N/mm ²
E-modul	70 %	100 %
Húzó- és hajlítószilárdság	60 %	100 %
Összetétel		
Cement	360 kg/m ³	330 kg/m ³
Kavics	-	1120 kg/m ³
Homok	300 kg/m ³	800 kg/m ³
Építési hulladék töret-kavics	975 kg/m ³	-
Építési hulladék töret-homok	400 kg/m ³	-
Plastifikátor	1 %	-

A téglá, a csempe (önmagában vagy betonnal keverve) már csak meghatározott célra való hasznosítást tesz lehetővé (pl. beltéri betonozást). A mészhomokkő, malter, finom homok munka gödrök, vezetékárok töltőanyaga. A többi komponens (fa, fém papír, műanyagok, agyagos föld, termőtalaj) szennyezőnek tekinthető.

Útbontási törmelékek felhasználása: 25 % részarányig póttanyagként új fedőréteghez; 20-30 % részarányig kötő réteghez, - 80 % póttanyagként aszfalt-teherviselő réteghez; 100 %-os felhasználásként aszfalt alapozáshoz és más (beton) útalapozáshoz. A **bitumenes kötőanyagokat** tartalmazó útbontási törmelékek feldolgozására számos műszakilag kiforrott eljárás létezik. A már használt aszfaltot újra lehet használni az egyes bitumenes kötőanyagokat tartalmazó rétegekben vagy laza formában a kötőanyag nélküli rétegekbe keverve. A bitumenes kötőanyagokat tartalmazó rétegekbe való visszajuttatás egyik módszere a helyszíni újrahasznosítás, melynek jó néhány műszaki változata ismeretes (RESHAPE, REPAVE, REMIX, stb.). Ezek mindegyike magában foglalja a használt aszfalt aprítását, majd az ezt követő melegítési és adalékolási, keverési műveleteket, amelyek eltérései szerint különböztetik meg az egyes eljárásváltozatokat.

A gyakorlatban ezt a módszert csak nagy projekteknél alkalmazzák, kifejezetten gazdasági előnyei miatt (Németországban és Ausztriában rendszerint ilyen módszereket preferálnak nagyobb infrastrukturális beruházások közbeszerzési tendereinél).

Leggyakrabban a keverőtelepeken történő újrahasznosítás használatos, melynek során a használt aszfaltot az építés helyszínéről felaprított (felmart) formában szállítják be az aszfaltkeverő telepre és ezt meghatározott arányban keverik hozzá az új anyaghoz. Nagyobb méretű aszfaltdarabokat a keverődobba adagolás előtt aprítani kell. Az aszfalthulladékot minőségi követelmények miatt csak meghatározott arányban lehet adagolni a melegen kevert új aszfaltanyaghoz. Ez függ az aszfaltgyártó gép műszaki megoldásától is. Az adagokban keverő, kényszerkeverővel működő gépeknél legfeljebb 20 % lehet a beadagolt aszfalthulladék aránya, míg a forgódobos keverő berendezésekben elvileg ez elérheti a 100 %-ot is. A tényleges bekeverési arányt a kész aszfalt minőségi követelményei határozzák meg, amit megfelelő analitikai vizsgálatokkal ellenőriznek a termék előállításakor. Az aszfalthulladék megfelelő aprítást követően az útépitésnél hideg úton is felhasználható. Egyrészt a megtört aszfaltot hozzá lehet adni az útalapként, vagy fagyvédő réteggéként használt anyagokhoz. Másrészt ezt a hulladékot alárendelt utak burkolataként, vagy útalapként is lehet közvetlenül felhasználni.

Az útbontási törmelék jól elkülöníthető részét képezik a különböző burkoló- és szegélykövek, amelyeket rendszerint külön gyűjtnek, tisztítanak és tárolnak, majd újra felhasználnak.

A nem veszélyes szennyezők vonatkozásában is indokolt a hulladék-anyag szennyezettségének mértékét a szállítmány beérkezésekor (előkészítés előtt) megállapítani és a különböző mértékben szennyezett szállítmányt külön-külön tárolni és előkészíteni. Fontos a finom anyagrészeire külön figyelmet fordítani, mennyiségét kémiai és ásványos összetételét megállapítani, egyrészt, mivel a legfinomabb rész gyakran magasabb káros- anyagtartalommal rendelkezik, jelenléte (pl, talaj) a előkészített termékekben a műszaki minőséget alapvetően lerontja, leválasztva nem vagy korlátozottan értékesíthető (ami a végtermék fajlagos előkészítési költségének növekedését, a teljes árbevétel csökkenését eredményezi, azaz mennyisége gazdaságosságot alapvetően meghatározza). Az előkészítés során a finom részt célszerű mielőbb, már a technológiai folyamat elején leválasztani.

A környezettel való összeegyeztethetőséget környezetvédelmi szabványokkal, előírásokkal szabályozzák. A környezettel való összeegyeztethetőség érdekében a veszélyes hulladék leválasztásáról és kezeléséről külön gondoskodni kell. A veszélyes hulladék-anyagok a nehézfémek, az azbesztek, az olajok, a szénhidrogének és a különböző sók, amelyek a talajba, a talajvízbe és a levegőbe kerülve szennyezik a környezetet. Célszerű az építési ásványos hulladék-anyagnak e káros és veszélyes anyagokkal való elszennyeződését a keletkezés helyén elkerülni, pl. építéshelyi hulladéknál a komponensek - fa, papír, műanyagok, fémek, építési ásványos anyagmaradványok (tégla, csempe, malter, stb.), valamint a veszélyes anyagok-külön-külön konténerben való gyűjtésével.

A veszélyes anyagokkal szennyezett építési hulladék-szállítmányt az előkészítőműnek vissza kell utasítania.

Az előkészítőműben leválasztott szennyező-anyagokról is gondoskodni kell. A vas újból felhasználható az acélgyártás során. A fa, papír, műanyag és egyéb éghető hulladékokat — környezetvédelmi előírások betartása mellett — erőművekben el lehet égetni. A veszélyes anyagokat veszélyes hulladékégető műben kell megsemmisíteni.

A feldolgozó létesítményekben fontos, hogy működjön egy olyan multikontrolling átvételi rendszer, amely három vizsgálati lépcsőt tartalmaz (79. táblázat). Az első vizsgálati szűrőnél a mérlegelésnél szemrevételezéssel (szag, kinézet) és a beszállító levél adatai alapján ellenőriznek. Ezt követi egy gyorsanalizáló ellenőrzési fázis, ahol a beszállított anyagból vett minták néhány fontosabb paraméterét vizsgálják meg gyorsanalitikai módszerekkel és a megfelelő vizsgálati dokumentumokkal együtt adják át a hulladékot feldolgozásra.

Amennyiben a gyorsanalízis a szennyezés gyanúját jelzi, kerül sor a részletes analitikai elemzésre (harmadik fázis). Ennek elvégzéséig a hulladékot a biztonsági tárolóban kell tárolni. Csak részletes analízis eredményét követően lehet a hulladékot feldolgozni, vagy feldolgozását elutasítani. A részletes analízissel főleg a kilúgozási, elúciós tulajdonságok meghatározását és a szilárd rész analízisét végzik, kvantitatív elemzésekkel.

79. táblázat. Vizsgálati lépcsők feldolgozó létesítményben a hulladék átvételekor

1.fázis	2.fázis (gyorsanalízis)	3.fázis (részletes analízis)
Szemrevételezés kinézet és szag alapján	Vezetőképesség pH-érték Keménység Oldott szerves szénhidrogének	Sótartalom: Mg, Ca, K, Na, klorid, szulfát, nitrát
Származási hely	Kvalitatív nehézfém- meghatározás(esetleges)	Nehézfémek (Cr, Zn, Cd, Pb)
		Anyagspecifikus vizsgálatok a származási hely ismeretében (pl. As, Cu, Ni, fenolok, PAH, PCB stb.)

Az előkészítőmű helyének kiválasztása

A nemzetközi gyakorlat szerint az építési hulladék-előkészítőműveket nagyobb városokban a város közigazgatási határán belül, a város szélén helyezik el ott, ahol megfelelő nagyságú terület áll rendelkezésre, és a szállítási távolságok még elviselhetők. A hulladékválogató helyének kijelölésénél műszaki, gazdasági és regionális, valamint környezetvédelmi szempontokat kell figyelembe venni.

1) Az előkészítőmű helyének kiválasztását meghatározó **gazdasági kritériumok:**

a) megfelelő mennyiségű nyers hulladék álljon rendelkezésre max. 15-30 km –en belül:

- a városcentrumok (több város egymáshoz közel) legelőnyösebbek;

2) közelség másodnyersanyag-igény helyéhez:

- szállítási költségek minimalizálása – központi helyzet;

3) közlekedési kapcsolat – ha lehetséges közvetlenül a távolsági utakhoz:

- lakott területek közlekedési útjai kerülendők;

4) közlekedési pályák – vasúti és vízi közlekedés - a jövőben különösen fontos lehet:

- kevesebb országúti közlekedés;

5) rendezési terv szerinti ipari terület;

- g) integrálódás (kapcsolódás) egy nagyobb hulladék-centrumhoz, amely előnyösen egykori ipari területen van (korábbi erőmű, vegyigyár, kohászati vagy bányauzem,...);
- h) közelség a lerakóhoz (vagy az hulladék-égetőműhöz): a feldolgozott-hulladék 10...30 %-a ugyanis maradékként keletkezik, amelyet a lerakóba kell elhelyezni (vagy égestéssel kell ártalmatlanítani).

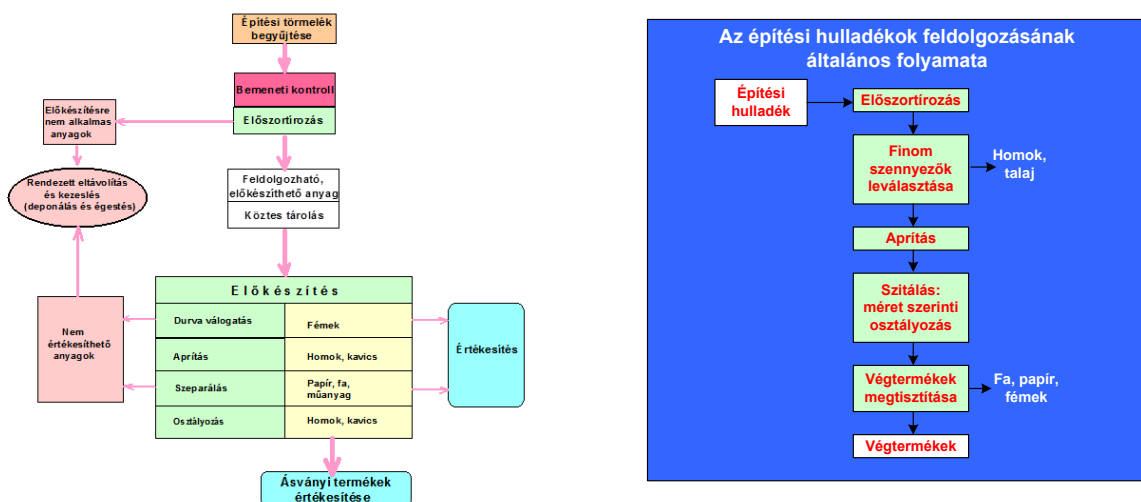
2) Az előkészítőmű helyének kiválasztását meghatározó **műszaki szempontok:**

- a) rendelkezik e terület villamos energia- és,
- b) vízellátással;
- c) megoldott- e szennyvíz és a csapadékvíz elvezetése;
- d) valamint a gázellátás;
- e) milyen a terület állapota; ez utóbbi vonatkozásban – a hely konkrét kiválasztásánál – különösen is nagy jelentőséget kell tulajdonítanunk az alábbi kérdéseknek:
 - Vannak-e a területen nagyobb magasságkülönbségek ?
 - „Növényzetmentes” szilárd talajjal rendelkezik vagy gondoskodni kell a vegetáció kiirtásáról, ill. talajszilárdításról ?
 - Feksznek e a területen olyan vezetékek, csatornák, amelyekre nem szabad építkezni?
 - Vezet-e át a területen valamilyen közút vagy privát út?
- f) Telep helyigénye: a 50000 t/év ... 200000 t/év kapacitású előkészítő üzem a minimálisan 5000...15000 m² területet igényel.

3) Az engedélyezéssel és a környezetvédelemmel kapcsolatos szempontok

- a) A terület környezetének lakóházakkal való beépítettsége.
- b) A válogatómű por emissziója: korszerű üzem és megfelelően kialakított szilárd pormentes közlekedési utak esetén csekély.
- c) Szag emissziója: általában elhanyagolható.
- d) Elkerülendő, hogy az előkészítő üzem élelmiszer-feldolgozó üzem közvetlen szomszédságában legyen.
- e) Az előkészítőmű ne legyen az ivó-vízbázis védett területén.
- f) Zajvédelem: a legközelebbi lakóépületektől való távolságot az alábbi módon célszerű megválasztani (magyar 4/1984.(I.23) EüM rendelet alapján).

7.6.3 Építési hulladékok törmelék előkészítési technológiája, alkalmazott eljárások és berendezések



208. ábra. Útépítési hulladékok újrahasznosításra való előkészítése

Az előkészítési technológia lehet száraz, nedves vagy kombinált; a törési fokozatok száma alapján pedig egy-, két- vagy három lépcsős. A célszerű megoldást elsősorban a végtermék minősége, a technológiai rendszer jellege (mobil vagy fix telepítés) határozza meg. Az építőipari hulladékokat az előkészítés során be kell gyűjteni és megfelelő kontroll mellett - a veszélyes (finom talaj) és a fel nem dolgozható anyagok leválasztására - előszortírozásnak kell alávetni, majd pedig a továbbiak során egy vagy több lépcsőben le kell törni, a különböző szennyező-anyagoktól fizikai tulajdonság szerint a dúsító-berendezésekkel meg kell tisztítani, és szitaberendezésekkel méret szerint frakciókra kell bontani.

A technológiai kialakításánál tekintettel kell lenni a következőkre: A kisebb szemcseméretű, tisztább és kedvezőbb tulajdonságú (jobb szilárdság, fagyállóság stb.) termék előállításához több eljárási lépés, különösen több aprítási lépés szükséges. Egy aprítási fokozattal rendszerint csak korlátozott minőségű végtermékhez jutunk. A legfinomabb – általában talajjal, nehézfémekkel vagy szerves anyagokkal szennyezett talajt hordozó - frakció leválasztása a folyamat elején elengedhetetlen, amit előleválasztó szitaberendezéssel valósítanak meg. A finom szemeknek az aprítás előtt történő leválasztásával -mind az első, mind pedig a későbbi törés előtt - csökkenek a kopási és energia költségek. A kézi válogatószalag segítségével a szennyező-anyagok mennyisége - elsősorban a nagyméretű papír, fa, fémek, műanyag, amelyek az aprítógépek működését is zavarják – már a folyamat elején jelentősen csökkenthető. A

szabad vas esetén a törés előtt az aprítógép védelmére, továbbá a vasbetonból az aprítással szabaddá váló (feltárt) vas eltávolítására törést követően mágneses szeparátorokat kell alkalmazni.

A technológiai folyamatban a berendezések fő eljárástechnikai feladatai: tárolás, feladás, adagolás, osztályozás, aprítás, szennyező anyagok leválasztása, szállítás, rakodás, energiaellátás, környezetvédelem.

A technológiai berendezések helyes kiválasztásával biztosíthatjuk a megfelelő minőségű végtermékek előállítását, valamint a gazdaságos üzemet. A technológia legfontosabb berendezései a törőgépek, az osztályozók és a szennyezők leválasztását szolgáló, az anyagok fizikai tulajdonságbeli eltérésén alapuló szétválasztó- (dúsító)berendezések. A többi kiegészítő berendezés az anyag mozgatását, tárolását, valamint az energiaellátás és a környezetvédelmi előírások betartását szolgálja.

Az osztályozáskor mozgatott rácsok és dobszita a finom szennyezők, föld, stb., valamint az apró, (<20... <60 mm) a kézi válogatást zavaró méretű rész leválasztására, szolgálnak; vibrációs osztályozó sziták pedig a végtermék előállítására.

Szennyező anyagok leválasztásakor a szétválasztás a száraz dúsító eljárásokkal történhet: kézi válogatással, légárammal száraz áramkészülékben, a vas leválasztása pedig mágneses, a nemvas-fémeké örvényáramú szeparátor alkalmazásával. Nedves technológiáknál a száraz áramkészüléket nedves szalagszér vagy nedves áramkészülék és/vagy az üleptítőgép, ritkábban nehézsuszpenziós vagy mosó-osztályozó spirális készülék váltja fel. A száraz eljárások *előnye* időjárástól független, a beruházási és üzemköltségek kicsik, nincs víz-körfolyamat; *hátrányuk*: nem megfelelő a termékek tisztasága, ezért a beton készítésekor adalék-anyagként nem vagy korlátozottan használhatók fel, a <10 mm rész nem tisztítható, nagy tömegarányban keletkezik deponálható maradvány. A termékminőség és költség szempontjából a mindenkori optimumot a kombinált üzemek képesek biztosítani, jövőbeni elterjedésük várható.

Aprítás. A technológiai folyamatokba a törés rendszerint több lépcsőben történik. Az építési hulladékok aprításában három törőberendezés játszik kitéüntetett szerepet: a pofástörő, az ütő-hengerestörő és a röpítő-törő. Ezek kapcsolatát az alábbi táblázat mutatja be.

80. táblázat. A törőberendezések egymáshoz való kapcsolata

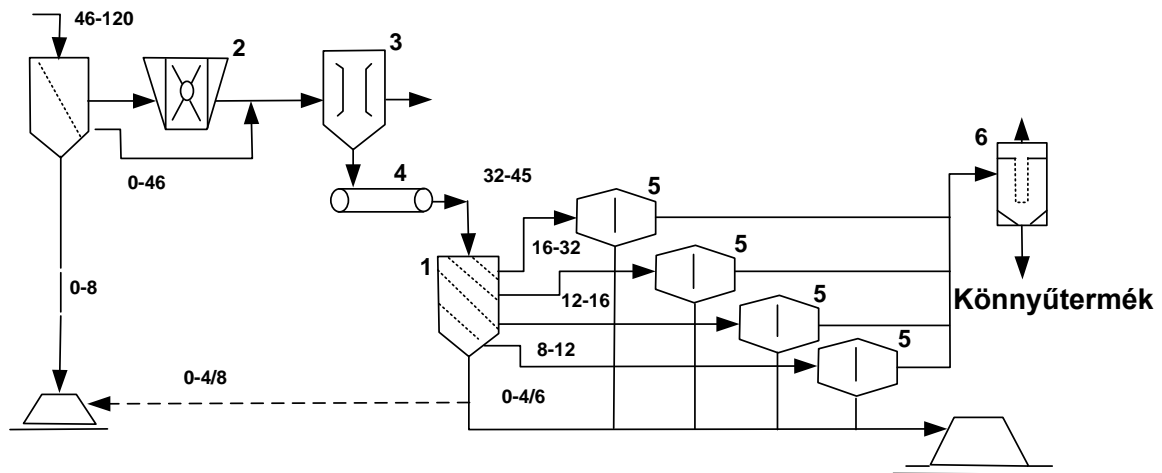
Kombináció típusa	A törőberendezés eljárás technika feladata	
	Előtörő	Utótörő (végtermék előállítás)
A	Pofástörő	Röpítőtörő
B	Ütő-hengeres törő	Röpítőtörő
C	Röpítőtörő	Röpítőtörő

81. táblázat. A hulladékok előkészítésénél alkalmazott aprítóberendezések

Hulladék fajta	Aprítási terület	Aprítógép	Alkalmazási példa
Ásványos hulladékok ásványipari, építőanyag-ipari, építési, üveg hulladék Anyagtulajdonság Szilárd - közepes szilárdságú, kemény igen koptató	Durvaaprítás >50 mm	Hidraulikus bontókalapács Pofástörő Röpítő-törő Horizontális pofástörő Ütő-hengeres törő Hengeres törő (fogazott) Kalapácsos törő	beton, vasbeton beton, téglá beton, téglá, aszfalt és beton együtt, üveg vasbeton gerenda, erősen vasalt vasbetonok, rúdformájú vasbetonok, síntalpak, villanyoszlopok aszfalt, könnyűbeton, üveg aszfalt, könnyűbeton, téglá, kiemelt föld
	Középaprítás 5...50 mm	Kúpos törő Röpítő törő Kalapácsos törő Hengeres törő	beton, téglá beton, téglá, aszfalt és beton együtt, üveg aszfalt, könnyűbeton, téglá aszfalt, könnyűbeton
	Finomaprítás < 5 mm	Kalapácsmalmok Kúpos törő	aszfalt, könnyűbeton, téglá beton, téglá

Alkalmazási példák:

Száraz technológia (209. ábra)

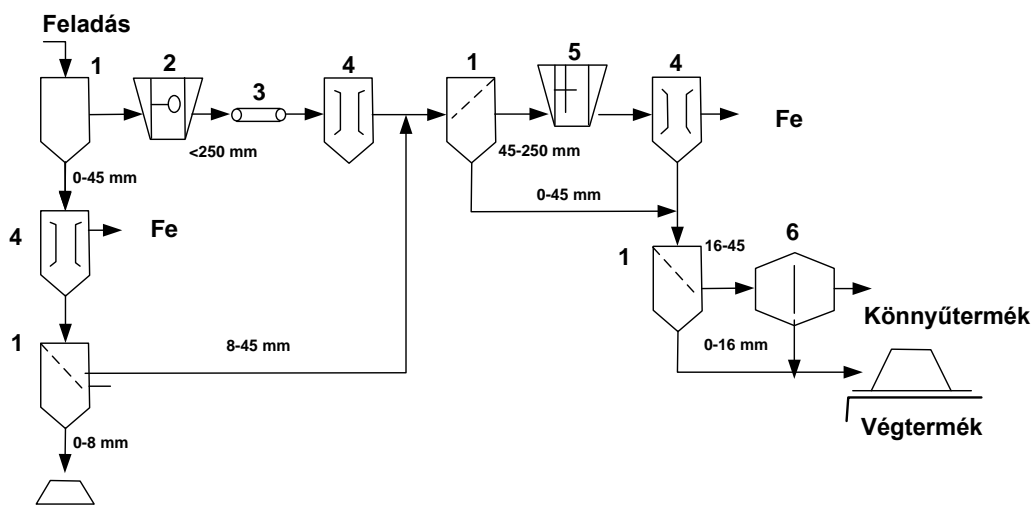


- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 - szita | 4 - kézi válogatószalag |
| 2 - röpitőtörő | 5 - légáramkészülék |
| 3 - mágneses szeparátor | 6 - porszűrő |

209. ábra. Száraz technológiai[12, 13]

Leggyakrabban egylépcsős aprítással, ezt követő osztályozással és légáramkészülékkel történő szennyező leválasztással találkozunk (9.ábra). E rendszer berendezései: előleválasztó és végtermék-osztályozó szita (1), röpitőtörő (2), mágneses szeparátor (3), kézi válogatószalag (4), légáramkészülék (5).

Nedves technológia (210. ábra)



210. ábra. Szalagszéres nedves rendszer technológiai rendszer[12, 13]

Elterjedt az aquamatorral történő szennyező-leválasztás alkalmazási is (**210. ábra**). A **209. ábra** látható technológiai folyamathoz hasonló megoldást alkalmaz pl. a rotterdami (Recycling Kombinat), a büttelborni (Baustoff-Recycling-Werkes) és a düsseldorfi (Firma WBR) építési hulladék-előkészítőmű. Ebben a technológiában a korábbi légáramkészüléket a szalagszár váltja fel. E rendszer kétlépcsős, elemei: előleválasztó szita (1), pofástörő (2), kézi válogatószalag (3), mágneses szeparátorok a törés előtt és után (4), röpítőtörő (5) és aquamator (6.)

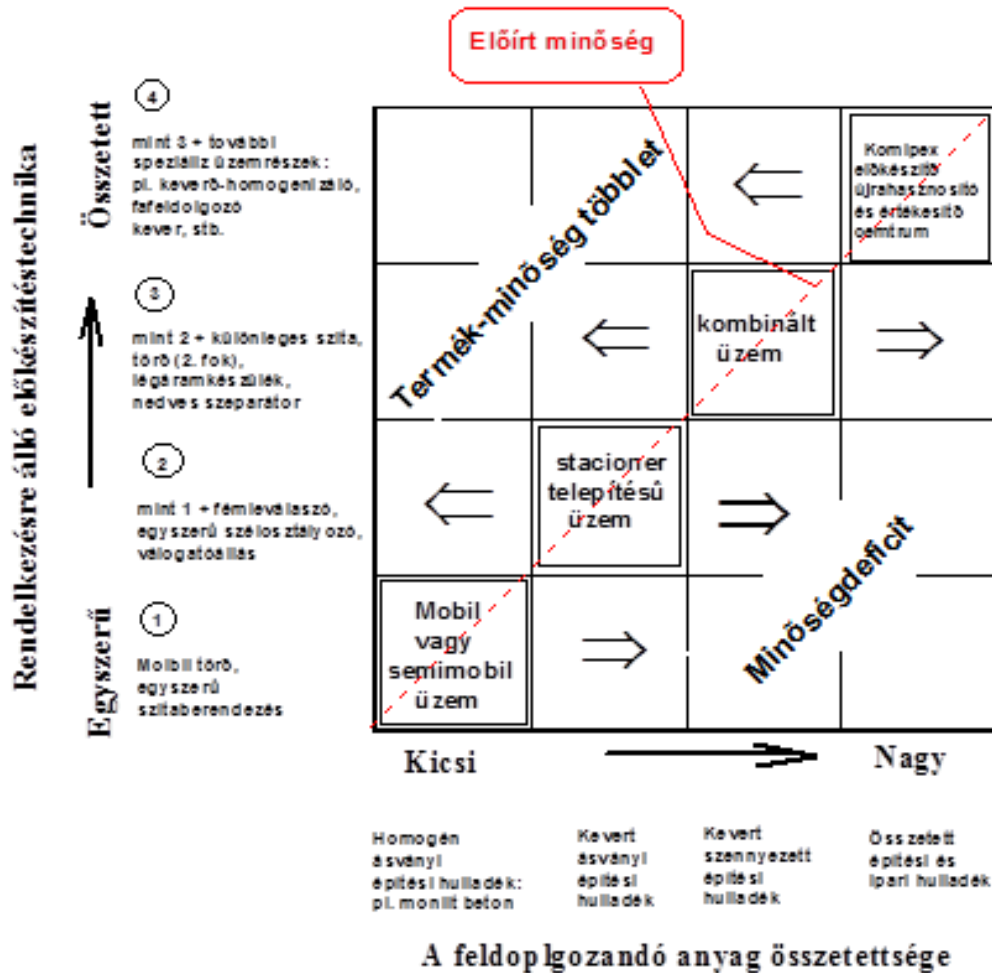
Technológiai rendszerek

Az építési hulladékokat feldolgozó gépi rendszerek lehetnek: stacioner, semi-mobil vagy mobil telepítésűek. A stacioner üzemekben a különböző helyen - a műtől 10...30 km távolságban-keletkező építési hulladékot szállítva nagy mennyiségű begyűjtött hulladék halmozódik, így az előkészítőmű kapacitása is nagy lehet (> 120...160 t/h), a feladás nagy szemcseméretű mérete > 600 ... 900 mm. Itt száraz vagy nedves technológia egyaránt alkalmazható, a végtermék minősége jól szabályozható. Hátránya, hogy engedélyköteles. A mobil üzemet a feldolgozandó építési hulladékok keletkezési helyének közelébe telepítik, így a hulladék szállítási költsége jelentős csökken. A mobil berendezés kapacitása (< 120 ...160 t/h) és a berendezésre feladható hulladékdarab maximális mérete (< 600 ... 900 mm) kisebb, mint a stacioner telepítésű rendszernek. A fejlett országokban ezek telepítésénél nincs szükség építési engedélyre, csak működtetési engedélyre. A végtermék minőség azon gyengébb, mint a fix üzemeknél. A semi-mobil telepítés az előző két telepítési mód előnyeit használja ki. Hosszabb ideig alkalmazható egy adott területen, de szükséges esetben áttelepíthető.

A technológiának tehát tekintettel kell lennie arra, hogy szoros összefüggés van a nyers építési hulladék minősége (ásványi anyagtartalma, összetettsége, szennyezettsége) és a célszerűen alkalmazandó előkészítéstechnika között. A viszonyokat a **211. ábra** szemlélteti.

Megfigyelhető: A homogén lényegében csak ásványi komponensekből álló hulladékból, mint például a beton törmelék, egyfokozatú töréssel és egyszerű szitálás alkalmazásával (mobil törővel) is megfelelő minőségű termék állítható elő. Az előbbi technológia azonban az összetettebb és szennyezettebb nyers hulladék (különösen építés-munkahelyi hulladék) feldolgozására nem alkalmas - minőség deficitel jár; az összetettebb és szennyezettebb hulladék-anyagok előkészítése tehát egyre komplexebb technológiákat igényelnek. Ezzel szemben a komplexebb technológiának a homogén ásványos építési hulladék-anyagokra való

alkalmazása felesleges, ugyanis az előírásoknál jobb minőségű termék előállítására vezet, ami gazdasági szempontból előnytelen (a piac nem értékeli a minőség-többletet).



211. ábra. Összefüggés az anyagsajátságok és az előkészítéstechnika között

Irodalom

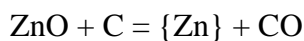
- [1] Csöke B.: Építési Hulladékok előkészítése és hasznosítása. Környezetvédelmi Füzetek. OMIKK.1999./19 (80)
- [2] Böhringer, P.- Höffl, K.: Baustoffe wiederaufbereiten und verwerten. AVS-Institut GmbH. Verlag 82008 Unterhaching. 1994.
- [3] Hanisch, J.: Stand und Probleme bei der Zerkleinerung von Baureststoffen. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.8, p. 423-432.
- [4] Abfallwirtschaft am Bau. Kröpfel-Speitzer Ges.m.b.H., SRD Salzburg. Prospekt
- [5] Heimsoth, W.: Wirtschaftliche Aufbereitung von Baurestmassen. Aufbereitungs-Technik 31 (1990) Nr.10, p. 556-560.
- [6] Guntram, K: Technik und Management der Aufbereitung, Recyclingpraxis Baustoffe, September 1991. Verlag TÜV Rheinland. ISBN 3-8249-0001-7
- [7] Kohler, G. - Penzel, U.: Aktuelle technische Entwicklung der Bauschutttaufbereitung mit dem Ziel der höherwertigen Verwertung. Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.3, p. 119-129.
- [8] Csöke, B-Olessák, D (2003): Építési-bontási hulladékok kezelése, Környezetvédelmi Minisztérium, Szakmai füzet sorozata 6, Budapest, 2003. (47 oldal)
- [9] Dora, B. - Udelmann, H.: Eigenschaften von Recyclingbeton. "Baustoffrecycling" Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.79-86.
- [10] Bakker. M.A.: 12 Jahre erfolgreiche Naßaufbereitung von Bauschutt in Rotterdam. Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.4, p. 201-210.
- [11] Jungmann, A.: Bauschutttaufbereitung mit Alljig-Setzmaschinen in Europa und USA. Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.10, p. 543-549.
- [12] Tränkler, J.: Verbesserung der Produktqualität bei der Bauschutttaufbereitung durch nasse oder trockene Behandlung? Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.4., p. 194-201.
- [13] Schumann, R. - Kwiasowski, R.: Hochwertige Recyclingbaustoffe durch moderne Aufbereitungstechnik. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.7, p. 349-357.

7.7 Kohászati hulladékok előkészítése és hasznosítása

dr. Hári László

7.7.1 WAELZ-eljárás

Az eljárást eredetileg a cinkkohászat hulladékainak feldolgozására fejlesztette ki a NORDAG vállalat, mintegy 500 kt/év kapacitású kemencékre. Az eljárás korszerűsítését, valamint a füstgázrendszer fejlesztésének köszönhetően az eljárást alkalmassá tették a nagy cinktartalmú vaskohászati hulladékok kezelésére is, mint az elektrokemencék filterporának vagy a revének a feldolgozása. Az eljárás fűtőanyaga a földgáz vagy az olaj, a redukálószer a szilárd kokszipor. A poros érc a szárítás és a melegítés után redukálódni kezd. Az Fe_2O_3 és az Fe_3O_4 6-700 °C-on kezd redukálódni, az FeO redukciója kb. 900 °C-tól 1200 °C-ig tart. A redukció során kb. 1000 °C-tól a cink is redukálódik a



folyamatban. A gázfázis O_2 - és CO_2 -tartalma a gőz állapotban levő atomos cinket reoxidálja mely igen kis szemcsenagyságánál fogva a füstgázokkal a porleválasztóba kerül. A nagy tisztaságú ZnO a zsákos szűrőben gyűlik meg. A Waelz-oxid néven is ismert anyag a cinkkohászatban hasznosítható (**212. ábra**).

A forgódobos kemencéből kikerülő redukált vasat a reoxidáció elkerülés céljából gyorsan le kell hűteni. Ez utóbbit vízmedencébe való adagolással biztosítják. A fémeket és a salakot elevátorok hordják ki a medencéből. A terméket általában két frakcióra osztályozzák. A 0-3 mm-es rész a zsugorítószalagra kerül, míg a 3 mm feletti frakciót közvetlenül a nagyolvasztóba adagolják.

Megállapították, hogy a gazdaságos eljáráshoz legalább 17-18 % ZnO-tartalom szükséges. A zsákos szűrőkből leválasztható termék 50-60 % cinket és 7-10 % ólmot tartalmaz.

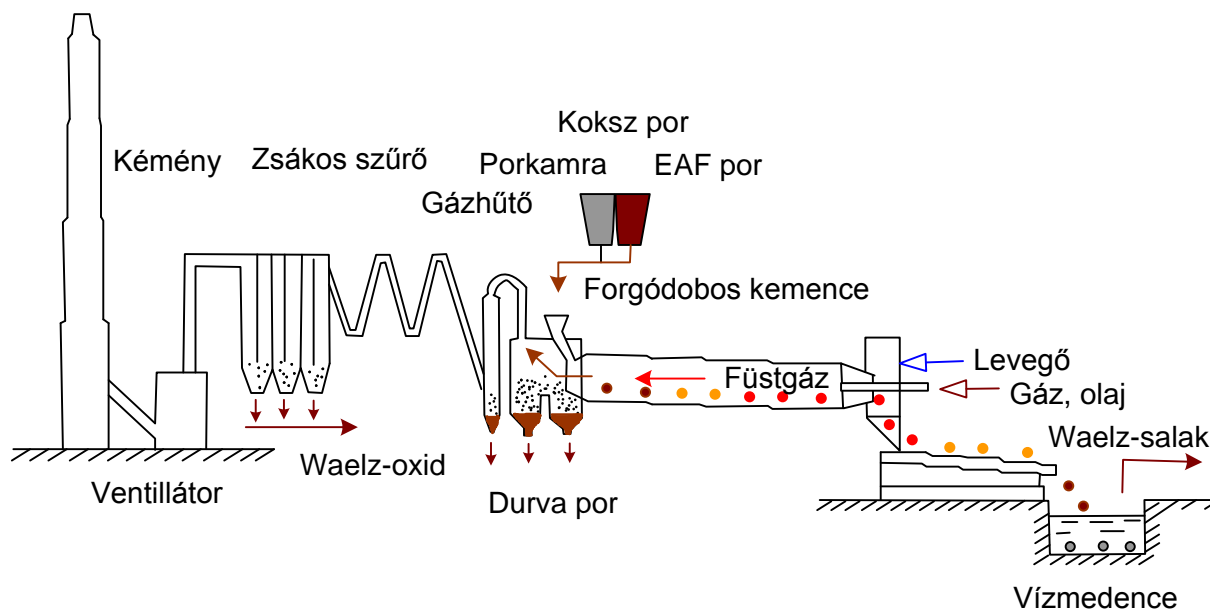
Németországban jelenleg 3 telep működik melyek egyenként 85 t-ás szénacélt gyártó ívkemence porát dolgozzák fel.

Gazdaságossági adatok:

Az eljárás beruházási költsége nagy, ez csak nagy Zn-tartalmú betét használata esetén gazdaságos.

A fajlagos beruházási költség 415 - 480 euró 1 tonna /év kapacitásra számítva. Évi 50 kt-ás egység beruházása ebből adódóan 6 Mrd Ft lenne körhűtővel és gázsűrítővel.

Az üzemeltetési költség főleg a hajtáshoz szükséges villamos energia és a fosszilis tüzelőanyagok beszerzési árából adódik. Ennek mértéke 7 Ft/kg betét.



212. ábra. A Waelz-eljárás sémája

82. táblázat. Input és output adatok

Input adatok			Output adatok		
EAF-por	kg/t	1 000	Waelz-oxid	kg/t	400
Kokszipor	kg/t	340-380	Salak	kg/t	700
Homok	kg/t	150-200	Füstgáz		n.a.
Levegő	m ³ /t	2 200			
Energia	GJ/t	11,1			
- elektromos energia	kWh/t	87			
- olaj		n.a.			

Az eljárás előnyei

Olcsón dolgozza fel a nagy cinktartalmú hulladékot,

A reakció során Közepes tisztaságú ZnO-por keletkezik, mely külön meggyűjthető

Olcsó üzemeltetési költség

Az eljárás hátrányai.

- A vas nem fémesített formában, hanem salakként nyerhető ki.
- Sem a ZnO-por, sem a nagy vasoxid-tartalmú salak nem kedvező a Dunaferr számára. Az előbbi nem értékesíthető, a másik sok szennyezőt tartalmazna és még redukálni is kellene. Ettől eltekintve a salaktermék aprítva felhasználható a zsugorításnál.

Felhasznált irodalom:

Rentz, O. – Spengler, Th.: Report on Best available Techniques (BAT) in the Electric Steelmaking Industry. <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2488.pdf>

7.7.2 PRIMUS-eljárás

Az eljárást a luxemburgi telephelyű Paul Würth cég fejlesztette ki egy 2 t/h kapacitású pilot-plant nagyságrendű berendezésben a belvali telephelyén 1999-2002-ig tartó üzemi kísérletsorozatot követően. Az eljárás lehetővé teszi az elektrokemencék szállóporának és az olajos hengerműi revének az újrahasznosítását. Az egyébként nehezen kezelhető kohászati melléktermékek egyrészt nagy – közel 60 % - Zn-tartalmú Primus porrá alakulnak át, másrészt nagy redukációs fokú fémesített pelletet állít elő, melyet nyomban folyékony nyeresvassá alakítanak át a kemence után telepített elektrokemencében. A kemence lényege egy többszintes, adott esetben 11 emeletes etázkemence, melyben az anyagáram fentről lefelé folyik, tengelyekre szerelt terelőlapátok segítségével (**213. ábra** és **214. ábra**).

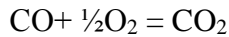
A betét fő tömegét adó porérceket, EAF filterporokat, hengerműi revét és iszapokat különös előkészítés nélkül – legfeljebb átlagosítás után – adagolják. Az eljárás alapvetően por alakú betétet követel, darabos anyagok feldolgozására nem alkalmas, de kohászati hulladékok esetében erre nincs is szükség.

83. táblázat. A 60 millió t elektroacélt termelő európai üzemekben képződő hulladék összetétele

Anyag	EAF filterpor	Hengerműi reve	Reveiszap	Összesen
Mennyiség (kt)	900	1080	240	2220
Arányok (%)	40	49	11	100

Fentiekől eltérően a Primus-eljárás alkalmas a porércek, valamint a vertikumban képződő kisebb Zn- és Pb-tartalmú szállóporok és iszapok feldolgozására is.

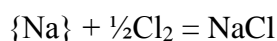
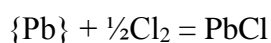
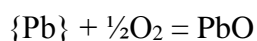
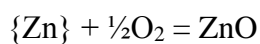
Az eljáráshoz szükséges redukálószernek közül legmegfelelőbb a szénpor. A szilárd, porított állapotú szénport a kemence felső emeletein adagolják, mely összekeveredik a vasoxidokkal. A direkt redukációs folyamatok során keletkező CO a fűtőanyag szerepét is betölti, mivel a kemence oldalsó nyílásain beáramló levegővel résztvesz a



exoterm reakcióban. A szén nagy illótartalmú alkotói szintén részt vesznek a reakciókban és a hőtermelésben. Tapasztalatok szerint az utóégés hatásfoka magas. A folyamat termikus jellegét úgy irányítják, hogy az emeletek alsó felében a munkahőmérséklet kb. 1000-1100 °C legyen. A kiadónyílásnál az előbbiekkkel egyezően a szilárd anyag mért hőmérsékletet kb. 1050-1080 °C-nak határozták meg.

Az anyagrétegben felülről lefelé való anyagmozgás, valamint az ellenáramú áramlás hatására bekövetkező melegedés a poros anyagrétegben először a száradási, olajeltávolítási, majd indirekt és direkt redukációs folyamatok mennek végbe. A betétben levő nehézfémek és a vas oxidjai nagyjából párhuzamosan redukálódnak. Míg a nehézfémek oxidjai – a nagy tenziójuk miatt – gőz állapotban keletkeznek, addig a vas oxidjai szilárd állapotúak.

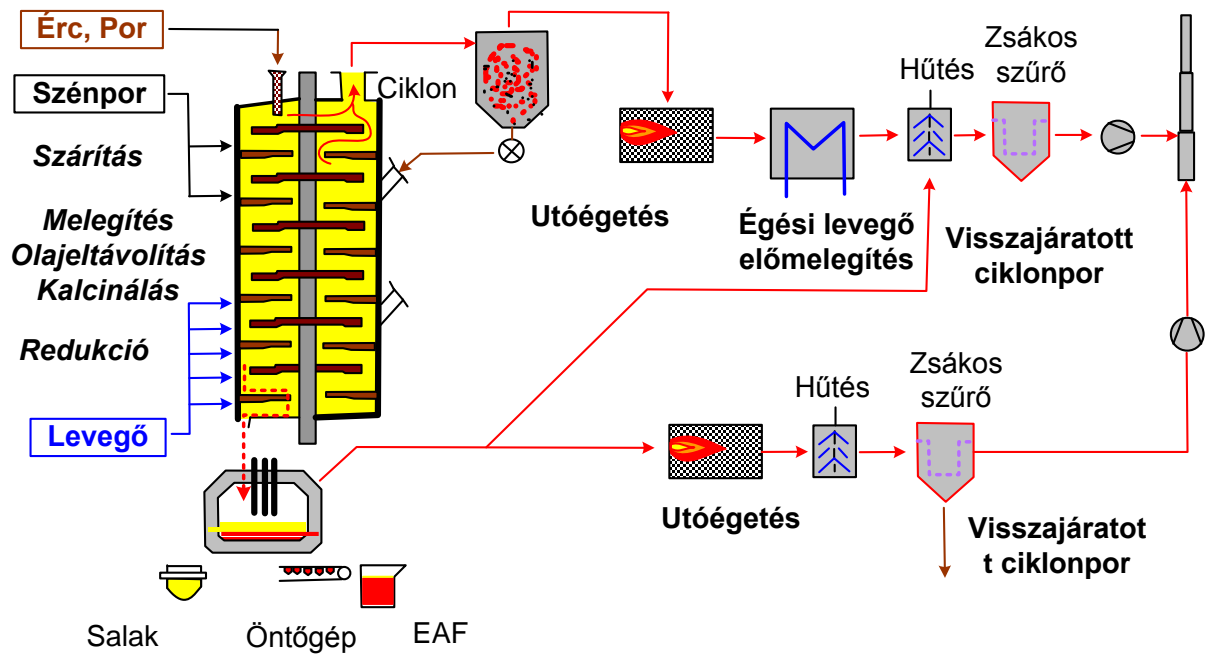
A nagy illékonyságú nehézfémekkel együtt távoznak az olyan elemek is, mint pl. a Na, K és a Cl. Az atomos állapotú fémek feloxidálódnak az atmoszféra nem fémes elemeinek hatására és szilárd reakciótermékek keletkeznek. Ezt szemléltetik a



reakcióegyenletek.

A folyamat füstgázkezelése kétirányú. Az etázskemencéből távozó szállóporok először ciklonba kerülnek, ahol a durva szemcsenagyságú – elsősorban mechanikusan magával ragadott – vasoxidrészecskék kerülnek leválasztásra. A még éghető alkotókat tartalmazó gáz kémiai energiáját levegőelőmelegítéssel összekötött utóégetéssel nyerik vissza. A gázokat ezután hűtik, majd zsákos szűrőben választják le a porból a mikrométerű, nagy Zn–Pb-tartalmú ún. Primus port. Ez utóbbit a Zn-ipar vásárolja fel.

Az etázskemence alatt elhelyezett ívkemencéből elszívott gáz szintén nagy CO- és Zn-tartalmú, mechanikus részecskéket azonban nem tartalmaz. A gázok kezelése hasonló az előbb ismertetettel, azzal a különbséggel, hogy ciklont nem kell a rendszerbe tenni.



213. ábra. A Primus-eljárás sémája

84. táblázat. A technológia termékének, a nagy fémesítettségű fokú vasszivacs összetétele

Minta eredete	η_{met} (%)	Fe (%)	C (%)	S (%)	Meddő (%)	Zn (%)
Vasérc	> 90	80	5 - 8	0,2-0,4	10	-
EAF-por reveiszap	+ 90-92	50-55	6 - 10	0,3-0,6	30-40	1-2,5

Fenti eredményeket a kísérleti berendezésen való kb. 1 órás áthaladási idővel kapták. Amennyiben nagyolvasztói iszap EAF-por és reveiszap 1/3 -1/3-ad arányú keverékét dolgozták fel ugyanolyan körülmények között, akkor teljesen hasonló eredményeket kaptak, azzal a különbséggel, hogy a kapott termék Zn-tartalma 0,3 % körüli.

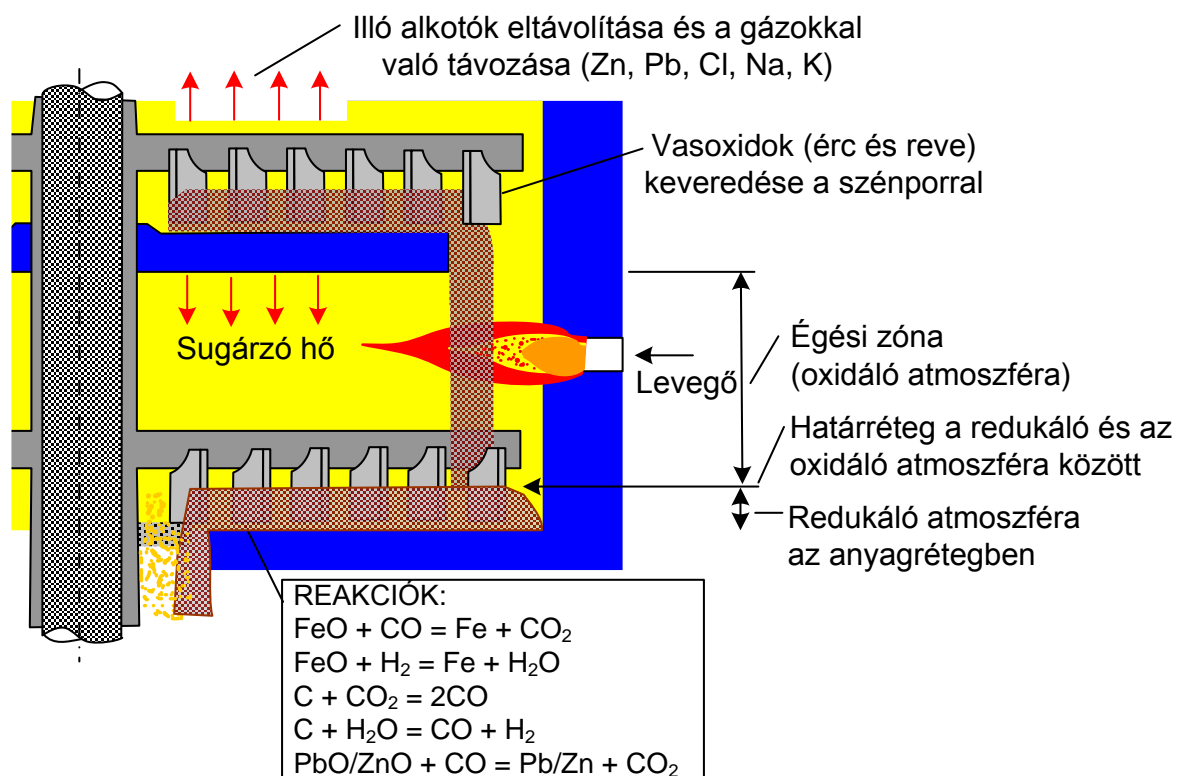
85. táblázat. A jellemző szennyező eltávolítási hatásfokok; EAF por és reveiszap esetén

Mutató	η_{met} (%)	η_{Zn} (%)	η_{Pb} (%)	η_{Cl} (%)
Érték	> 98	> 96	> 90	> 98

A kapott kb. 1050 °C-os terméket ívkemencében dolgozzák fel, ahol nyersvasat gyártanak belőle.

86. táblázat. Az ívkemencében gyártott nyersvas fő mutatói

Mutató	C (%)	Si (%)	S (%)	T (°C)
Érték	3 - 4,5	0-0,2	0,02-0,04	1500



214. ábra. A Primus etázkemence anyagáramlása és a fő reakciók

87. táblázat. A fajlagos anyagfelhasználási mutatók 1 tonna nyersvasra* és 1 tonna porra** számítva

Alapanyag	M.e.	Ércpor*	80 % EAF-por és 20 % reveiszap**
Vashordozó	kg/t	1490	1000
Szén (Cfix = 60)	kg/t	640	280
Elektromos energia	kWh/t	470	320
Földgáz	Nm ³ /t	5	30
Salakképző	kg/t	50	20
Elektróda	kg/t	2	1,5
Nitrogén	kg/t	15	-
ZnO-PbO (Zn = 60 %)	kg/t	-	350
Nyersvas	kg/t	1000	250
Salak	kg/t	-	180

Az 2 t/h kapacitású kísérleti berendezésen kapott eredményekre alapozva az ARBED Művek vezetősége egy 11 t/h kapacitású ipari berendezés telepítését határozta el, mely Luxemburg 3 elektroacélművének szállóporát dolgozza fel.

Felhasznált irodalom:

- [1] Roth, J. L. et al.: PRIMUS, a new process for recycling by-products and producing virgin iron. *Revue de Métallurgie - CIT*. 2001. nov., pp.: 987-996.
- [2] Steffen, R. – Lungen H.-B.: State of art technology of direct reduction of iron ores. *Revue de Métallurgie – CIT*. 2004. mars., pp.: 171-181.
- [3] <http://www.innovation.public.lu>: Le procédé PRIMUS de Paul Wurth: une technologie de pointe pour le recyclage de coproduits sidérurgiques par réduction directe(2006.01.02.)

7.7.3 OXIFINES –eljárás

Az eljárás a Linde cég által kifejlesztett és szabadalmaztatott oxigén-szénhidrogén (oxyfuel) égők felhasználásán alapul. Ebben az esetben az oxyfuel kifejezés bármely, gáznemű vagy folyékony szénhidrogénféleséget jelenthet, mely az ipari oxigénnel kb. 3000 °C-os adiabatikus láng hőmérsékletet ad. A fejlesztés révén lehetővé vált a nedves és iszapos állapotú vastartalmú hulladékok szárítás nélküli visszajáratása (**215. ábra**). A vállalat kifejlesztette a technológiához szükséges osztályozott finom frakció adagolásához való berendezést is. Az alapanyag szemcsenagysága általában 0,01-1 mm közötti. Az iszapot szivattyúzással juttatják az égőbe, ahol a káros elemek elpárolognak. Az oxigénfelesleget oly módon állítják be, hogy a fémek utólagos reoxidációja kismértékű, vagy elhanyagolható legyen. A rendszer rugalmas a különböző összetételű hulladékok feldolgozására, ami ígéretes a pilot plant érettségű üzem további fejlődése szempontjából.

Az eljárás számos, - nyersvasgyártási, acélgyártási ferroötvözetgyártási és porkohászati - különböző eredetű filterpor, iszap és hulladék feldolgozására alkalmas, amint azt a tesztkísérletek is bizonyítják. Bizonyításként az alábbi mennyiségek és anyagféleségeket dolgozták fel:

- 45 000 t/év nagyolvasztói és oxigénes konverteres acélműi iszap visszajáratása,
- 60 000 t/év nagyolvasztói és oxigénes konverteres por visszajáratása,
- 20 000 t/év zsákos szűrőből származó Zn-tartalmú iszap visszajáratása,
- 40 000 t/év SiMn-gyártásból származó iszap visszajáratása,
- 100 000 t/év ferronikkal gyártásból származó por visszajáratása,
- 30 000 t/év FeCr gyártásból származó por visszajáratása,
- 5 000 t/év vasporgyártási hulladék acélgyártó kemencébe való fúvatása,

- Cr-tartalmú porok saválló acélgyártáshoz való visszajáratása.

A már meglévő üzemekben való alkalmazása során a következőket állapították meg:

- Nem befolyásolja károsan a fő technológiai folyamatokat,
- A porokban levő C-tartalom fűtőanyagként és redukálószerként hat,
- A 65 % víztartalmú iszapok is szárítás nélkül feldolgozhatók,
- A fő elemeket kb. 95 %-os határfokkal nyeri vissza,
- A káros elemek eltávolításának határfoka megfelelően nagy,
- A reoxidáció mértéke 3-5 %.
- A fő termék, mint alapanyag használható.

A berendezést speciálisan nagyolvasztói Dorr-iszap feldolgozására is kialakították. A tesztek során a 25-50 % víztartalmú iszappal 250 kg/h teljesítményt értek el, míg LD filterporral 1,5 t/h a megfigyelt teljesítmény. A víztartalom és az iszap alkotói a lángban elpárolognak, és részben atomokra bomlanak. A kapott folyékony vasoxid kb. 1300-1500 °C hőmérsékletű.

A kezelése során a Zn-tartalom 0,9 %-ról 0,03 %-ra csökkent, ami 97 %-os cinktelenítési határfokot jelent. A Dorr iszaptól gyártott salak összetétele az alábbi volt: FeO = 74 %, CaO = 7 %, SiO₂ = 9 %, Al₂O₃ = 4 %, MgO = 4 %. A fentiekből számolható Fe-tartalom kb. 57 %, ami magasabb, mint a zsugorítmányé, a salak kb. önjáró.

Általában igaz az, hogy 1 t nagyolvasztói por 2 t más bármilyen más eredetű por megolvasztását teszi lehetővé. Az eljárás berendezéseit különböző porok ívkemencébe való befúvatására fejlesztették ki. Ebben az esetben az 1-3 égőfejet az oldalfalba építik be. Az ellenőrzéshez a salakajtó nyitogatása nem szükséges. Az oxyfuel égő hatására az energiafelhasználás 50-120 MJ/t értékkel csökkent. A kísérleteket 80 t-ás saválló acélt gyártó kemencében végezve is jelentős előnyöket tapasztaltak.

A visszajáratási technológia beilleszthető a vaskohászati vertikumba is. A legtipikusabb feladatok a konverteriszap visszajáratáshoz kötődnek melynek során a bevitt Fe 97-98 %-a nyerhető ki.

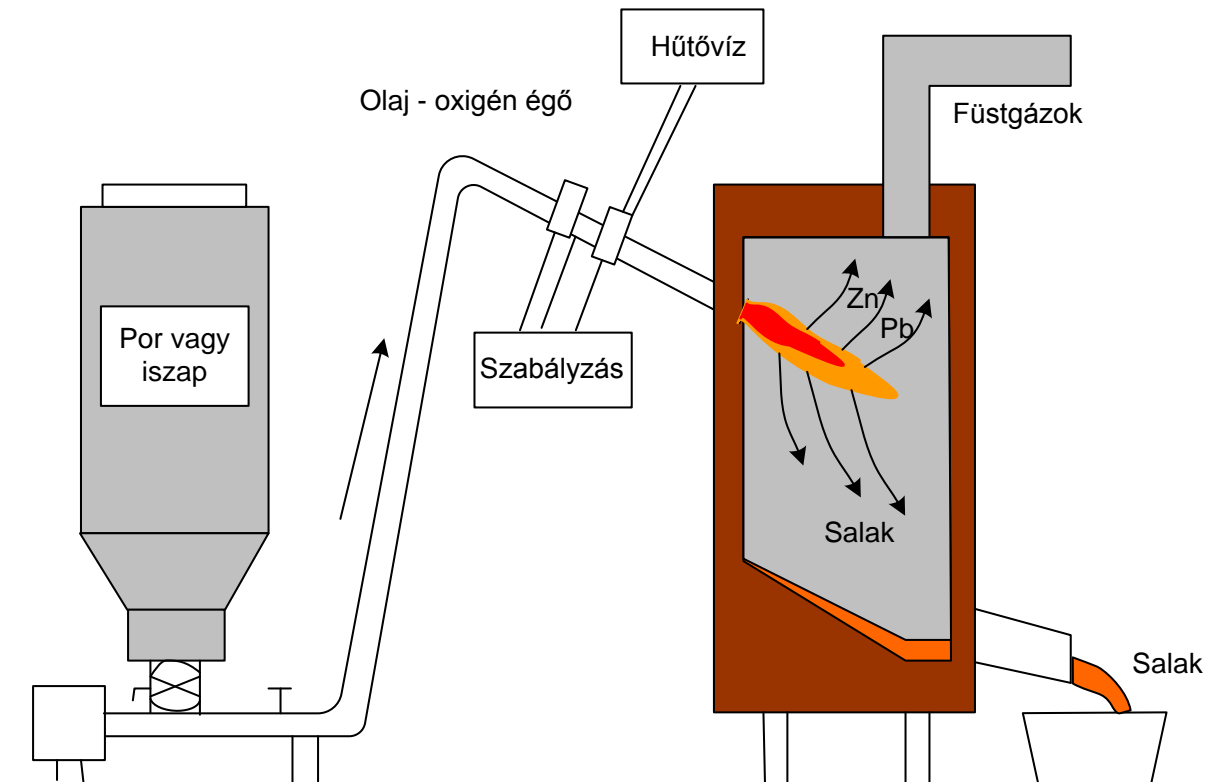
88. táblázat. A kísérletileg meghatározott eltávolítási határfokok (%)

K ₂ O	Na ₂ O	S	ZnO	PbO
70-90	20-40	70-90	85-95	95-100

A berendezést 2002 közepén fejlesztették ki ipari méretekben és finn 600 kt/év termelésű Fundia acélművekben üzemel, 3 t/h teljesítménnyel, ami évente 20 kt kohói és acélműi por feldolgozását teszi lehetővé.

Gazdaságossági adatok:

Az eljárás telepítési és üzemeltetési költsége attól függ, hogy a befúvatást meglévő termelő berendezésbe végzik-e, vagy erre a célra újat kell építeni. Előbbi esetben gyakorlatilag csak az égőfejre és az adagoló berendezésre van szükség. Ebben az esetben az üzemeltetés 20-30 euró (4-6 000 Ft) 1 t porra vonatkoztatva, amihez azonban még hozzá kell adni a hasznosításból származó hasznot.



215. ábra. Az Oxyfines-eljárás sémája

Előnyök:

- Egyszerű kezelésű és olcsó üzemeltetésű berendezés. A DUNAFERR-ben a szükséges oxigén megvan.
- A legújabbak közül való, érettsége üzemi szintű.

Hátrányok:

- A DUNAFERR-ben külön kemencét kell építeni a salak felfogására.
- A vasat jól hasznosítja, a cinket és az ólmot szennyezett oxid formában nyeri vissza.

Felhasznált irodalom:

Schéele, J von. – Markluns, S.: In-Plant Recycling of dust and Sludge form Iron and Steel-making Operations. Clean Technology in he Steel Industry. 6-8 June, 2005. Balatonfüred.

7.7.4 CONTOP-eljárás

A CONTOP-eljárást eredetileg színesfémek kezelésére fejlesztették ki Düsseldorfban. A két legnagyobb kemencét az ASARCO Művek üzemelteti az Egyesült Államokban, rézkonzentrátumok feldolgozásának céljából. A Voest Alpine 1998-ban megvásárolta a know-howt és az eljárást acélipari szállóporok és autóshredderezési könnyűfrakciók feldolgozására is átalakította.

Az eljárással főleg a 100 % hulladékkal dolgozó ívkemencék szállóporának feldolgozására adaptálták évi 5 és 100 kt pormennyiségek közötti szállópor mennyiségre. A kisebb méretű egység kiváló egy integrált acélműben, míg a nagyobb egység már regionális feladatokat is el tud látni.

Az eljárásra a nagy intenzitás a jellemző, akár az anyagszállítás, akár az olvasztási teljesítményt illetően. A por alakú anyagot pneumatikusan szállítják, és ily módon injektálják a ciklonkemencébe. Az oxigénnel dúsított levegő, a magas, mintegy 1800-2000 °C üzemi hőmérséklet, valamint a tangenciális befúvásból adódó magas turbulencia igen gyorsá teszi a folyamatokat. A reakcióban résztvevő betét redukció nélkül megolvad, tangenciálisan lefelé mozogva hagyja el a ciklonkemencét, miközben az ülepítőkemencébe lépve az emulzió salakfázisra, porra és gázokra válik szét (**216. ábra**).

A szállópor ZnO-tartalma mintegy 58-60 %, mely a hőhasznosítóból való kilépést követően a zsákos szűrőn választható le. A terméket festékgyárak felé lehet értékesíteni. A salakot az építőipar hasznosíthatja.

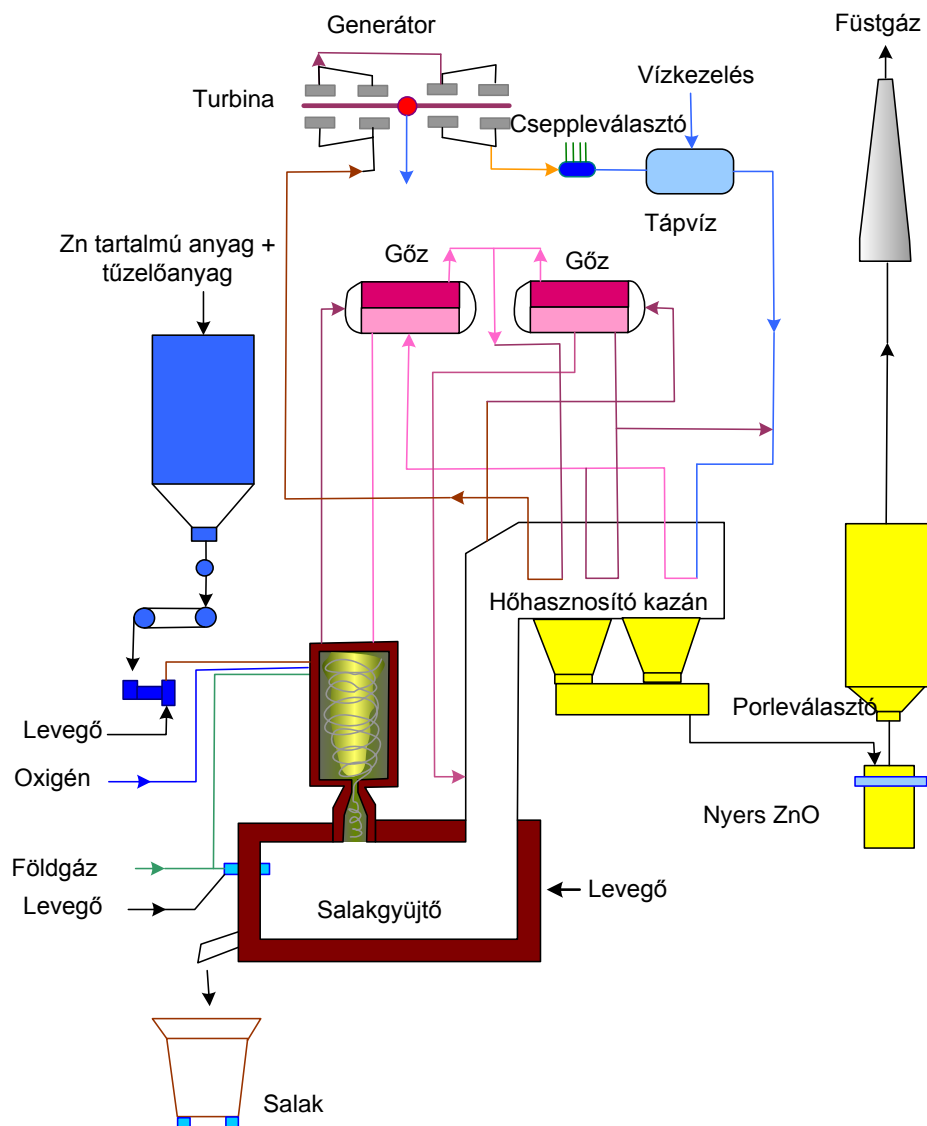
A kemencéből távozó forró gázok fizikai hőtartalmát gőztermelésre illetve áramtermelés céljára lehet hasznosítani.

A reaktorba (**217. ábra**) számos egyéb hulladék is adagolható, mely az ásványi anyagokat helyettesítve csökkentheti az önköltséget. Kvarcos pótléknak ujabban pl. használt öntődei homokot alkalmaznak a vásárolt ásványi termék helyett. Karbonhordozónak jól bevált az autóipari shredderezési könnyű frakció. Vonzó alternatívának látszik az aprított

gépkocsibroncs felhasználása, mely javítja az eljárás jövedelmezőségét. Ugyancsak jól használható a pernye is.

89. táblázat. Egy 20 kt/év kapacitású contop-reaktor adatai

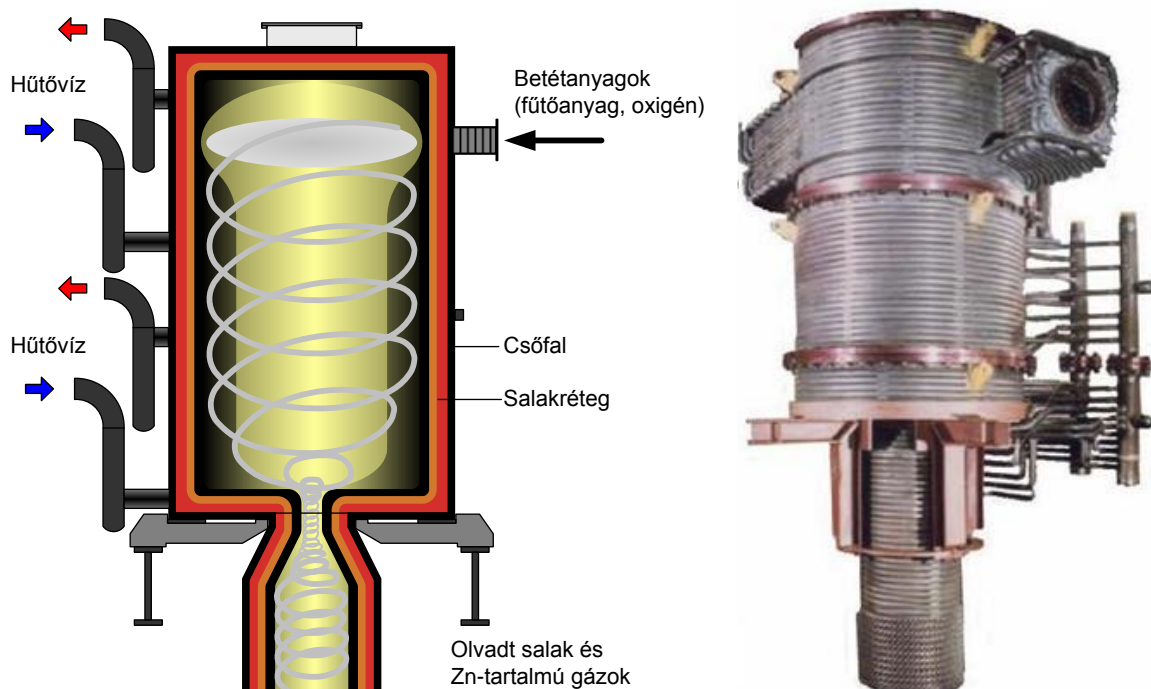
Paraméter	Érték	Mértékegység
Adagolási sebesség	4,5	t/h
Ipari oxigénfogyasztás	250	Nm ³ /t betét
Szállító levegő	75-100	Nm ³ /t betét
Földgázfogyasztás	27,5	Nm ³ /t betét
Nyers ZnO termelés	0,8-1,0	t/h
Salaktermelés	1,7-2,2	t/h
Füstgázáram	25 000	Nm ³ /h
Gőztermelés	7,0-7,5	t/h
Elektromos energiatermelés	200-250	kWh/t betét
Személyzet	12	(4 műszak x 3 fő)
Összes foglalkoztatott	24	Fő



216. ábra. Egy 32 kt/év kapacitású CONTOP üzem folyamatábrája

90. táblázat. Az eljárás anyagmérlege

Input adatok		Output adatok	
Anyagfelhasználás		Salak	850 kg
- Ívkenecpor	1000 kg	Zn	2-4 %
Zn:	10-35 %	Pb	0,1-0,4 %
Pb:	1-4 %	Fe	35-45 %
- Szénpor	300 kg	SiO ₂	22-30 %
- Öntödei homok	200 kg	CaO	5-15 %
- Összes betét:	1500 kg	S	0,6 %
Energiafogyasztás		Gőz	3 t
- Oxigén	379 Nm ³	Füstgáz	12 000- 45 000 m ³
- Földgáz	20 Nm ³		
- Elektromos energia	193 kW	Filterpor	
		Zn	56-60 %
		Pb	3-9 %
		Fe	2-5 %
		S	0,5-1,5 %
		Cl	4-7 %
		Si	0,5-2 %
		Ca	0-1 %



217. ábra. A Contop reaktor képe

Az eljárás előnyei:

- A CONTOP-eljárás jól bevált ipari méretekben.
- Gazdaságosan megvalósítja a cink és cinktartalmú hulladékok visszajáratását.
- Jellemzője a kis füstgázmennyiség és a vele járó alacsony poremisszió.
- Környezetbarát termékeket állít elő.
- Az eljárás tiszta és biztonságos.

Az eljárás vélt hátrányai

- A szállópor vastartalmát nem nyeri vissza.
- Cink-oxidot állít elő, melynek magyarországi értékesítése nem megoldott.

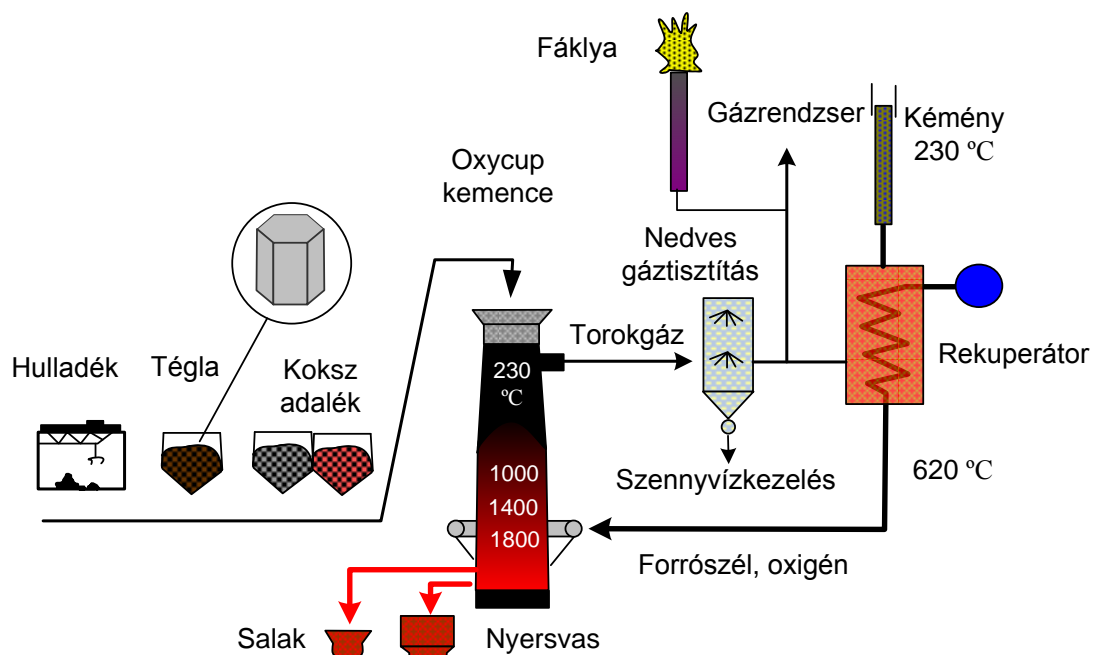
Felhasznált irodalom:

Fried Sauert: CONTOP - A Cost-Effective Recycling Technology for the Steel and Automotive-Scrap Industry. VOEST-ALPINE Industrieanlagenbau GmbH & Co (VAI) Linz/Austria (www.vai.at)

7.7.5 OXYCUP-eljárás

A ThyssenKrupp Stahl duisburgi telephelyén 2004 közepén építették meg az iszapok és porok reciklálására szánt OxyCup nevű aknás kemencét. Az eljárás jellemzője a hidegenkötő anyagokkal végzett önjáráó pelletek alkalmazása, melyek közül a legfontosabbak a nagy Fe- és C-tartalmú hulladékok. Az eljárás ipari fejlettségű, a kifejlesztéséhez szolgáló pilot plant üzemet 3 évig tesztelték. Az aknás kemence egy módosított kupolókemence, melybe oxigénnel dúsított 600 °C-os forrószelet fúvatnak. A keletkezett torokgázokkal távoznak el az illékony nehézfémek. Az eljárás az „In-bed reactor” típusú eljárások közé tartozik, azaz a hulladékot kokszágyba fúvatja.

A fejlesztők szeme előtt az a cél lebegett, hogy a hagyományos vaskohászati vertikumban képződő összes hulladék az eljárással feldolgozható legyen, ide számítva a kokszolás, az elegyelőkészítés, a zsugorítás, a nyersvasgyártás, az acélmű a hengerművek és a kisegítő üzemek hulladékait. Halmazállapot szerint az eljárás egyaránt kezelni tudja a poros, darabos és iszapos anyagokat. A kapott termék a folyékony nyersvas és salak. Az előbbi közvetlenül visszajáratható a fő technológiai folyamatba, az utóbbi pedig értékesíthető.



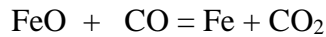
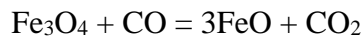
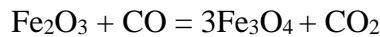
218. ábra. Az OxyCup –eljárás sémája

Az eljárás a visszajáratást két lépcsőben valósítja meg (218. ábra). Az elsőben a hulladékokból aknás kemence által megkivánt darabos anyagot állítanak elő. Kötőanyagként szervesetlen anyagot használnak, mely salakká alakul. A különböző eredetű poros anyagok között – a Fe-tartalomon kívül – fontosak a nagy C-tartalmú hulladékok is. A kötőanyag minősége és mennyisége alapvetően a kellő nyomó- és ejtőszilárdság biztosításához szükséges. Ha ez megvan, akkor biztosított az aknás kemence jó gázpermeabilitása, azaz a magas termelékenység. Ez elősegíti az ipari oxigén használatából adódó alacsony fajlagos gázszükséglet is.

Az aknás kemence fűvósíkjában a koks karbontartalmának elégségéből származik a folyamat által megkivánt hőmennyiség. A C a nagy redukciós hatás miatt exoterm reakcióban CO-vá ég el a levegő oxigéntartalmával. A fűvósíkba fűvatott 620 °C-os levegő kb. 1800 °C elérését teszi lehetővé a fűvókák előtt. Az oxigénes dúsítás megvalósításával az adiabatikus láng hőmérséklet minden O₂ %-ra kb. 50 °C-kal nő. Ez elősegíti az ideiglenesen a salakba vagy a nyersvasba került nehézfémek és egyéb elemek illósítását. Az elpárolgó anyagok elemi állapotba kerülnek és az akna közepétől a torokig tartó úton a gázok CO₂-tartalma révén oxidálódnak fel.

Az aknás kemencébe felülről adagolják az elegyet és a koksot. Az elegy darabos hulladékból, a préselt ércéglákból és salakképzőkből áll. A környezeti hőmérsékletű darabos anyag

ellenáramban lefelé süllyedve egyre nagyobb hőmérsékletű és CO-tartalmú aknagázokkal találkozik. Az elegy Fe-tartalma ebben az esetben a következő reakciókban vesz részt.



Az akna alsó részén, a fűvósító előtt-felett, az anyagok meglágyulnak és a gázzal folyó fenti redukciós folyamatok feltételei megszűnnek. A lágyulást követő olvadás után kerül előtérbe a salak FeO-tartalmának direkt redukciója a 4. reakció szerint, valamint ekkor megy végbe a nyersvas karbonizációja is.

A folyamatban képződő salak a szállóporok és egyéb vastartalmú hulladékok oxidjaiból, a szándékosan beadagolt salakképzőkből és a koks hamutartalmából alakul ki. Összetétele akkor jó, ha a salakban levő oxidok összetétele kielégíti a $\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 0,6-1,2$ arányt. Ha az előbbi tört értéke 0,6-1 értékű, akkor kisebb salakmennyiségre és a vele járó takarékosabb energiafelhasználásra lehet számítani, ha az érték 1-1,2 közötti akkor a több salak miatt valamelyest megnő a kokszfogyasztás, viszont a salak rész tud venni a nyersvas kéntelenítésében, ami növeli annak használati értékét.

A salak további hasznosításának biztosítására, a hűlés körülményeinek a befolyásolásával azt úgy kell kezelni, hogy hűlés során ne kristályosodjon, hanem üvegesen dermedjen. Ezt a tiszta célt csak megközelíteni tudják, mivel a gyakorlatban – a salakréteg vastagságától függően – csak a jobban hűlő széleken képződik amorf fázis, a salak belseje általában kristályosodik. A salak használhatóságát annak szilárdsága és a belőle kioldódó nehézfémek koncentrációja határozza meg. Az utóbbi biztosítására a salakok bázikusságát 0,55-0,65 érték közé állítják be.

Gazdaságossági adatok:

A kb. 500 kt hulladék/év kapacitású üzem beruházási költsége 21 M euró, azaz kb. 5,0 Mrd Ft. Ez magába foglalja az elegytér berendezéseit a keverőkkel, téglapréssel, mérlegekkel.

Előnyök:

- Az elegyösszetételre a rendszer érzéketlen.
- A termékek (nyersvas, salak) hasznosíthatók.

Hátrányok:

- Nagy beruházási költség.
- Magas üzemeltetési költség.

- Üzemeltetéséhez nagy létszám szükséges.
- A rendszer igen összetett. Szinte egy másik nagyolvasztóművet kellene építeni.
- A leválasztott Zn szennyezett formában van.

Felhasznált irodalom:

Kessler, K et al.: The New Oxycup Concept Shaft Furnace Plant of ThyssenKrupp Stahl: Start up and first Results. Clean Technology in the Steel Industry. 6-8 June 2005. Balatonfüred.

7.7.6 Vákuum-termikus eljárások

Feldolgozás plazmakemencében

A szállóporok és iszapok, valamint adott esetben egyéb anyagok, köztük akár veszélyes hulladékok feldolgozásának az utóbbi 20 évben kifejlesztett változata a plazmatechnológia alkalmazása (40. ábra). Az eljárás szabályozható atmoszférában, 3-5000 °C-on kezeli a fenti betétből esetleg redukálószerből álló betétet. A betét fémes alkotóinak nagy része redukálódik, (Fe, Cr, Mn, Cu, Ni és részben a Si), illetve párolgáspontjuktól és oxigénaffinitásuktól függően elpárolognak (Zn, Pb, Cd). Az eljárás termékei a nyersvas, a salak, a leválasztott por és a gázok. A plazmakemencében a beadagolt kokszpor és a fémoxidok direkt redukciója gyorsan játszódik le. A keletkező nyersvas a salaktól jól elkülönül, tiszta, mint termék értékesíthető. A szállóporból a zavaró elemek inkább elpárolognak, ezért az elektroacélgártás szokásos fémes szennyezői nem találhatók meg a plazmakemencében gyártott nyersvasban.

A kapott salak tulajdonságai széles határok között változtathatók. Ebben az esetben célszerű a salak bázikusságát savanyúra beállítani, mivel ebben az esetben, valamint a csapolást követő gyors hűtés miatt a salak nem kristályosodik, hanem vízben hűtve üvegesen dermed. Ez lehetővé teszi a redukcióból visszamaradt nehézfémek (Fe, Mn, Cr, stb.) komplex szilikátokban való megkötését. Ennek révén $\text{MeO}\cdot\text{SiO}_2$ vagy $\text{MeO}\cdot x\text{SiO}_2\cdot y\text{Al}_2\text{O}_3$ vegyületek alakulnak ki melyeknek az üvegesen dermedő salakból nem oldódnak ki sem a savas esők hatására, sem pedig a szokásos kioldhatósági tesztek során. Ez akkor biztosítható, ha a salakban az SiO_2 -tartalom nagyobb, mint 35-40 %, illetve az $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalom nagyobb, mint 45 %. Fontos, hogy az olvadáspont csökkentéséhez használt alkáloxidok mennyisége 20 % alatti legyen.

A savas jelleg biztosítására olcsó homokot vagy SiO_2 -tartalmú hulladékokat, pl. samottéglát használnak salakképzőnek. A kapott salak térfogata nagyságrendekkel kisebb, mint a szállóporé, másrészt építőanyagként általában értékesíthető, ezért a lerakáshoz üzemi

tárolókapacitás biztosítása nem szükséges. Ha szállóporokat dolgoznak fel, akkor vigyázni kell arra, hogy a salak ZnO-tartalma ne haladja meg a 30%-ot, ugyanis ennyi a salak ZnO oldó képessége. A ZnO + Fe₂O₃-tartalmának összege pedig max. 35-40% lehet.

A kapott porok jórészt a tenzióaktív elemek redukcióját követő párolgásból és kondenzációból erednek. Az atmoszféra oxidáló vagy redukáló jellegének szabályozásával érik el azt, hogy a kapott fémek gőz állapotból, mint folyékony fém kondenzálódjanak-e, vagy az oxidáló atmoszférában reoxidálódva mint fémoxid-por kerüljenek-e leválasztásra. Az alkalmazott viszonyokat általában a fém tisztasága, oxidációs foka és kereslete közötti viszonyok döntik el. A gázok megfelelő tisztítóberendezések után tisztán távoznak a rendszerből.

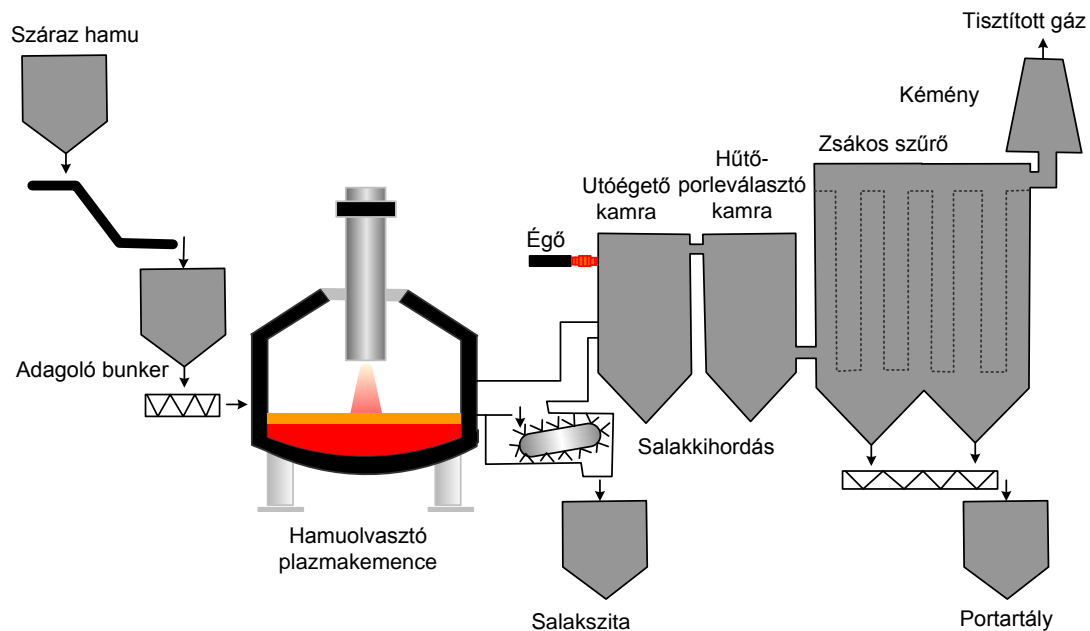
Az eljárás környezetvédelmi előnyei

- Az eljárás a betétviszonyokra rugalmas, azaz a szállóporokon kívül számos egyéb hulladék kezelésére is alkalmas. Gond nélkül kezelni képes a nagy olajtartalmú vagy a perzisztens szennyezőket tartalmazó veszélyes hulladékokat illetve az azbesztet vagy a erőműi pernyéket.
- A jelen levő toxikus szerves és szervetlen anyagok a nagy hőmérséklet és az erős UV sugárzás hatására teljesen lebomlanak.
- A kapott anyagok termékeknek minősülnek, valamennyi értékesíthető.
- Az elszívott gázok térfogata kicsi, könnyen kezelhető.
- Az üzemi berendezés telepítéséhez kis helyigény (kb. 30 x 60 m) szükséges.
- Az üzem felépítése moduláris jellegű, pl. a nehézfémek oxid alakban való leválasztását felváltó folyékony leválasztó a meglevő egységhez kiegészítésként kapcsolható.

91. táblázat. Néhány műszaki adat a Japánban üzembe helyezett plazmakemencéről

Üzembe helyezés dátuma	2000
Helyszín	Japán, Iwaki
Napi teljesítmény pernyéből	40 t
Betét összetétele	30% szállópernye, 70 % rácshamu
Elektródátmérő	250 mm
Átlagos áramerősség	4000 A
Átlagos feszültség	380 V
Névleges teljesítmény	1520 kW
Maximális áramerősség	5000 A
Leadott teljesítmény	740 kW

Meg kell említeni, hogy a témában a MTA Kutatólaboratóriuma is végzett laboratóriumi kísérleteket, melynek során kísérleti plazmareaktorral megállapították az üveges állapot biztosító célszerű salakképzők célszerű mennyiségét. Egyéb megállapításaik egybevágnak a szakirodalomban találhatóakkal.



219. ábra. A plazmás üvegesítő olvasztás jellemző berendezései

Felhasznált irodalom:

http://www.mat.ncku.edu.tw/~emba/course_web/waste.pdf. Plasma Treatment of Waste Ash

7.7.7 SCANDUST-eljárás

Az eljárást a svéd ScanArc PlasmaTechnologies AB cég dolgozta ki mely a 80-as évek közepére kiforrott technológiájú ipari üzemet eredményezett.

Az eljárás alapanyagai a különféle eredetű és fémtartalmú porok, szén, és salakképzők. Az alapanyagok egyaránt lehetnek porosak vagy iszapszerűek, a darabos anyagokat aprítani kell (220. ábra).

A betételőkészítés során az átvett porokból kb. 50 % szilárdanyag-tartalmú zagyot képeznek. A zagyot két, egyenként 400 m³-es tartályba szivattyúzzák, ahol a továbbiakban állandó agitálásnak vetik alá. Ezután a zagyot 40 m³-es keverőtartályba kerül, ahol hozzákeverik a

szénport és a salakképzőket és állagát továbbra is 50% szárazanyag és 50 % víztartalom értéken tartják.

A művelet után a zagy szűrőprésekre kerül, ahol az 50 %-os víztartalmat kb. 15-20 %-osra csökkentik. A kapott szűrőleplenyeket szárítás céljából átmenetileg tárolják, és az elegyet nedves őrlésnek vetik alá. Ennek során a szemcsenagyságot 0-2 mm közé állítják be.

Az utószáritáshoz technológiai gázokat használnak. A szárított anyagot tárolóbunkerekbe továbbítják, mely átadóállomásokon keresztül kerül a plazmaéggőbe és a végül a kemencébe.

Az alapanyagokat a szén és a salakképző (homok) egészíti ki, melynek szemcsenagyságát golyómalmokkal a folyamat elején 0-0,1 mm közé őrlik le.

Az aknás kemencébe kerülő kokszt 20-60 mm-es szemcsenagyságú. A kokszt adagolás előtt szárítják és osztályozzák. Az aprókokszt a golyósmalomhoz kerül vissza.

Az aknás kemencén levő fűvókák mindegyikére plazmaéggőt szereltek. Ezek teljesítménye egyenként 6 MW. A kemencéhez 3 fűvóka tartozik. A fűvósíkban a fűvókák előtt mintegy 3000 °C keletkezik, mely a kokszt jelenlétével párosulva igen jó hatásfokú redukciót és az illékony elemek nagyarányú párolgását teszi lehetővé.

Az eljárás fő fémestétalkotóját az ívkemencés eljárások szállópora képezi. Ez utóbbit külön csoportosítják ötvözetlen és ötvözött acélok gyártásából származó porokra. Az előbbieket nagy cink- és ólomtartamúak, az utóbbiak viszont jelentős Cr- és Ni-tartalommal rendelkeznek.

92. táblázat. Az ívkemencében gyártott szénacélok filterporainak összetétele különböző szerzők szerint

Zn	Pb	Feö	CaO	Cr	Ni	Mo	Adatközlő
30	4,5	22	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Weiss
19	2,1	28,5	n.a.	0,39	n.a.	n.a.	EPRI
5-35	1-5	35-55	2-14	n.a.	n.a.	n.a.	Harwell
23,4	5,4	22	10,7	n.a.	n.a.	n.a.	Frada
15-35	1-8	20-30	5-12	0,1-0,4	0,05-0,25	<0,1	Kola
15-30	2-6	18-28	6-10	0,3-0,4	0,1	n.a.	IISI

93. táblázat. Az ívkemencében gyártott saválló acélok filterporainak összetétele különböző szerzők szerint

Zn	Pb	Feö	CaO	Cr	Ni	Mo	Adatközlő
1,9	1,9	20	0,7	13,7	3,75	n.a.	Werner
1,0	1,1	31,7	3,1	10,2	n.a.	n.a.	EPRI
1-7	0,2-1,5	25-45	3-10	10-15	3-7	1-2	Kola
2-5	0,3-0,7	30-40	10-25	16-22	2-4	0-4	Etienne
0,38	0,1	59,7	2,8	12,4	3,9	n.a.	Acélipar
1,9	1,9	28	0,7	14	3,75	n.a.	IISI

Az adagolt filterporokból, azok összetételétől függően 200-600 kg/tpor nyersvas képződik. A csapolási hőmérséklet 1400 °C. A nyersvasat öntőgépre viszik, a salakot granulálják. A fajlagos

salakmennyiség, 200-500 kg/tnyv. Az üzem időkihasználására jellemző, hogy 1,5 hónap üzemelés után karbantartásra leáll. Az időkihasználás 95 %.

A kemencéből távozó gázok hőmérsékletre magas, mintegy 1200 °C. Jellemző összetétele: 75 % CO, 24 % H₂, 1 % N₂. A nagy nehézfém-tartalmú torokgázokat 3 darab fémkondenzáló berendezésbe vezetik. A belépő gáz hőmérséklete 1200 °C, Zn-tartalma mintegy 4 - 20 %, mely kilépéskor 5-600 °C-ra csökken, míg Zn-tartalma elhanyagolható lesz.

A továbbhaladó gáz nedves mosóba kerül, ahol hőmérséklete kb. 40 °C-ra csökken. A vizet Dorrokban ülepítik, majd szűrik. A tiszta vizet recirkuláltatják, a szűrőlepenyt a folyamatba visszajáratják.

A kondenzált cink és ólom hőmérsékletre kb. 500 °C. Ezeket a megrendelő kívánsága szerint tömbbé vagy rúddá öntik. A fajlagos cinkmennyiség a por összetételétől függően 200-400 kg/t_{por}.

A folyamatban keletkező tisztított aknagázokat kompresszorral szintén recirkuláltatják, elsősorban a szárításhoz, az üstelőmelegítéshez, vízmelegítéshez.

A landskronai telepen évente 70 kt filterport, 9 kt szénport, 3,6 kt kokszot, 6 kt salakképző anyagot dolgoznak fel. Az összes forgalmazott anyag kb. évi 90 kt. Ezekből az alábbi anyagok képződnek: cink: 15 kt, ólom 2,8 kt, acélgyártási vagy öntészeti nyersvas 13,8 kt, ötvözött nyersvas és 3,7 kt és salak 30 kt. A képződött exportgáz energiája 65 GWh.

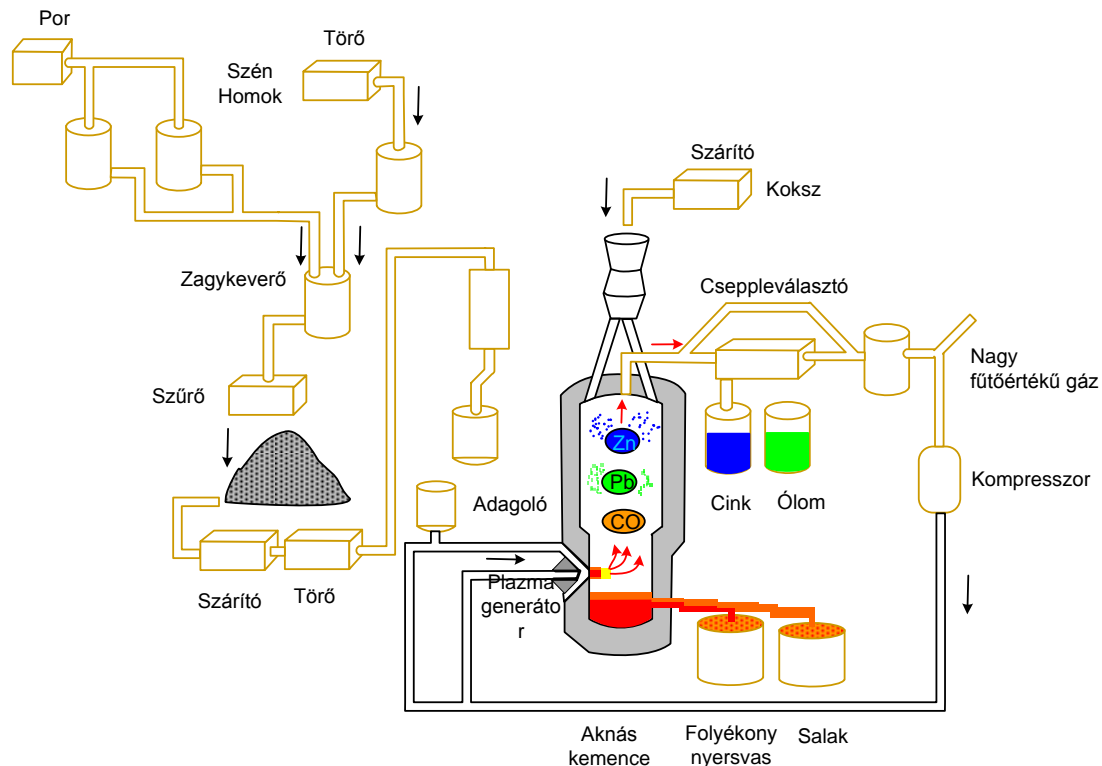
A plazmakemencében olyan veszélyes hulladékok is teljesen ártalmatlaníthatók, mint az azbeszt, valamint dioxinok és furánok, PCB és egyéb szerves szénhidrogének.

Az eljárás előnyei:

- Képes az iszapok és szállóporok vastartalmának valamint cink és ólomtartalmának egyidejű kinyerésére.
- A gyártás termékei (cink, ólom, nyersvasak) és melltermékei (salakok) értékesíthetők.
- Az üzem nagyságrendje megfelel a régióban képződő hulladékok mennyiségének.
- A reaktorban veszélyes hulladékok is feldolgozhatók.
- Regionális igényekre is használható lenne megfelelő alapanyagok megléte esetén.

Hátrányok:

- Az üzem telepítése igen költséges.
- Az üzemviteli költségek feltehetően nagyok.
- Az üzemet ívkemencék porainak feldolgozására tervezték.
- A hazai viszonylatban nem képződik sem nagy Zn-tartalmú sem nagy Cr- és Ni-tartalmú filterpor, ezért a megtérülési mutatók rosszabbak lennének, mint Svédországban.
- Sem a régióban (Magyarországon), sem a környező országokban nem képződik olyan mennyiségű elektroacélgyártási filterpor, mely elérné az 50 - 100 kt éves nagyságrendet.



220. ábra. A Scandust-eljárás folyamatábrája

Felhasznált irodalom:

<http://www.scandust.se/>

<http://www.scanarc.se/pages/processes.asp>

7.7.8 Hidrometallurgiai eljárások

Általános ismertető

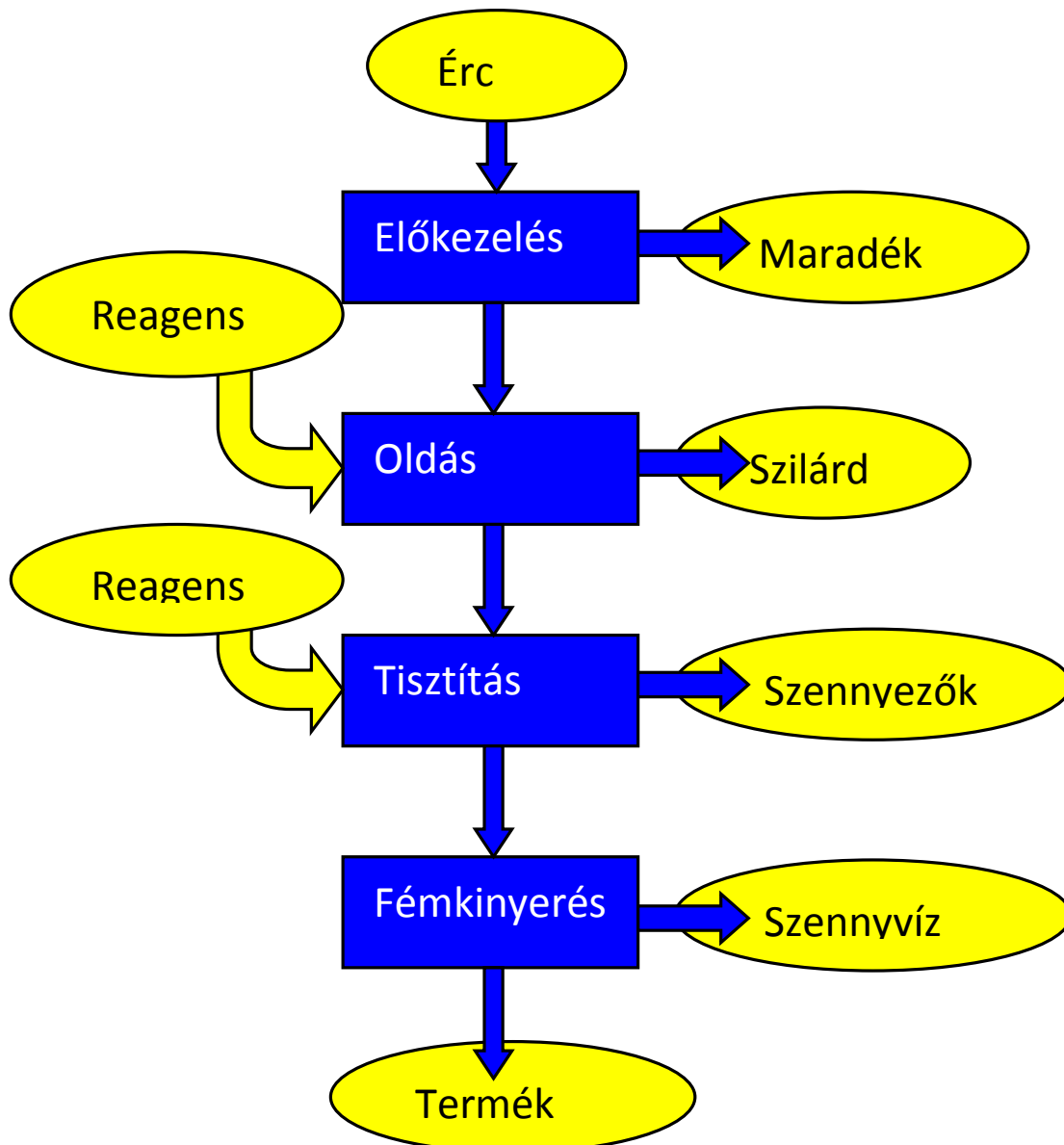
Míg a pirometallurgiai alapú eljárásokat az antik idők óta használja az emberiség, addig a hidrometallurgiai eljárások csoportja a XIX. sz. végén alakult ki. Az ebbe az eljáráscsoportba tartozó arany cianidos lúgzása 1887-ben alakult ki, az ezüsté 1900-ban. A cink elektrolízisét 1916 óta végezzük.

A hidrometallurgiai tudományág a XX. sz. elejétől erősen fejlődött, számos oldalágban kapcsolódva a pirometallurgiai alapú eljárásokhoz, főleg a Zn a Cu és a Ni vonatkozásában. Ezeknél a fémeknél kezdetben főleg a koncentrátumok kezelésére használták, a hulladékok

kezelésére az utóbbi 20 évben alkalmazzák. Hidrometallurgiai módszerekkel fémek és fémvegyületek egyaránt előállíthatók.

Az eljáráscsoport jellemzője hogy – a pirometallurgiai eljárásokhoz képest – kevésbé költségigényes a felhasznált energia vonatkozásában, főleg annak köszönhetően, hogy technológiai műveleteit közönséges hőmérsékleten végzik. A tömegarányok szempontjából szintén előnyös, mivel kis méretű üzem is gazdaságos lehet. Az eljárás lehetővé teszi a legszegényebb ércek, hulladékok és egyéb alapanyagok felhasználását is, miközben a kihozatal magas értéken marad. Az eljárás jellemzője a nagymennyiségű és erősen szennyezett technológiai és használt víz.

A hidrometallurgia klasszikus műveletei a lúgzásból, szűrésből, oldattisztításból és fémkinyerésből állnak a **221. ábra** szerint.

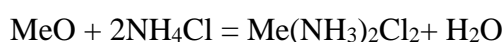


221. ábra. A hidrometallurgiai műveletek általános törzsfája

7.7.9 EZINEX-eljárás

Az eljárás cinkoxid-tartalmú anyagokat, ívkemence szállóport, nyers cinkoxidot, sárgarézöntödék filterporát cinktartalmú pörköléket használhat fel alapanyagul. Az oldást autoklávokban, ammónium-kloridos oldat felhasználásával végzik. A lejátszódó kémiai reakciók során a cink és a szennyezők oldatba mennek, a nehezen oldódó komponenseket szűrőn választják le. Az így nyert, még sok szennyezőt tartalmazó oldatból a cinknél elektropozitívabb tulajdonságú szennyezőket cinkporral ejtik ki. Ennek eredményeképpen szilárd, por alakú fémporkeveréket kapnak, amit szűréssel távolítanak el. Ennek összetétele főleg réz és ólom. Ezt különleges eljárásokkal lehet tovább finomítani és a fémkomponenseket külön-külön kinyerni.

Az eljárás első lépcsőjében az ívkemence vagy egyéb kohászati por nehézfém-tartalma oldódik fel az alábbi reakciók során:



ahol a Me általános fém = Zn, Cd, Cu, Ni, Co. A fentiekől eltérően az ólom a

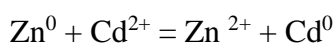
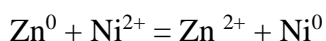
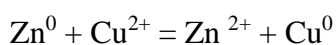


reakció szerint lép reakcióba a M jelű Na, K, vagy NH₄ kloridjaival.

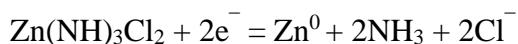
94. táblázat. Az oldás után kapott dús oldat tipikus összetétele g/l-ben

Zn	NH ₄ Cl	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl+KCl	Pb	Cu	Cd
10-20	150-200	20-40	20-30	80-120	3	0,2	0,08

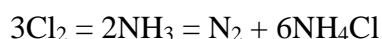
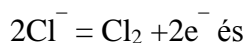
Az oldás után kapott oldat a fémkinyerés szempontjából szennyezett, azt tisztítani kell. A tisztítás a cementálás során következik be, melynek során cinkport adagolnak az oldatba. A cink, erősen elektornegatív révén oldatba megy és elektrokémiai reakciók során fémpor formájában kiejti a szennyezőket. A tipikus reakciók a következők:



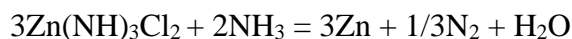
A reakciók lejátszódása után a 70 %-os ólomtartalmú cementlepenyt szűrővel választják le az oldattól. A tiszta oldatot elektrolízishez viszik. Az elektrolit éppúgy, mint az oldószer semleges ammónium-klorid. A folyamat során a tiszta cink a katódon válik le a



Reakció szerint. Az anódon a



folyamatok játszódnak le, vagyis tiszta N_2 fejlődik. Ennek megfelelően az elektrolízis bruttó reakciója

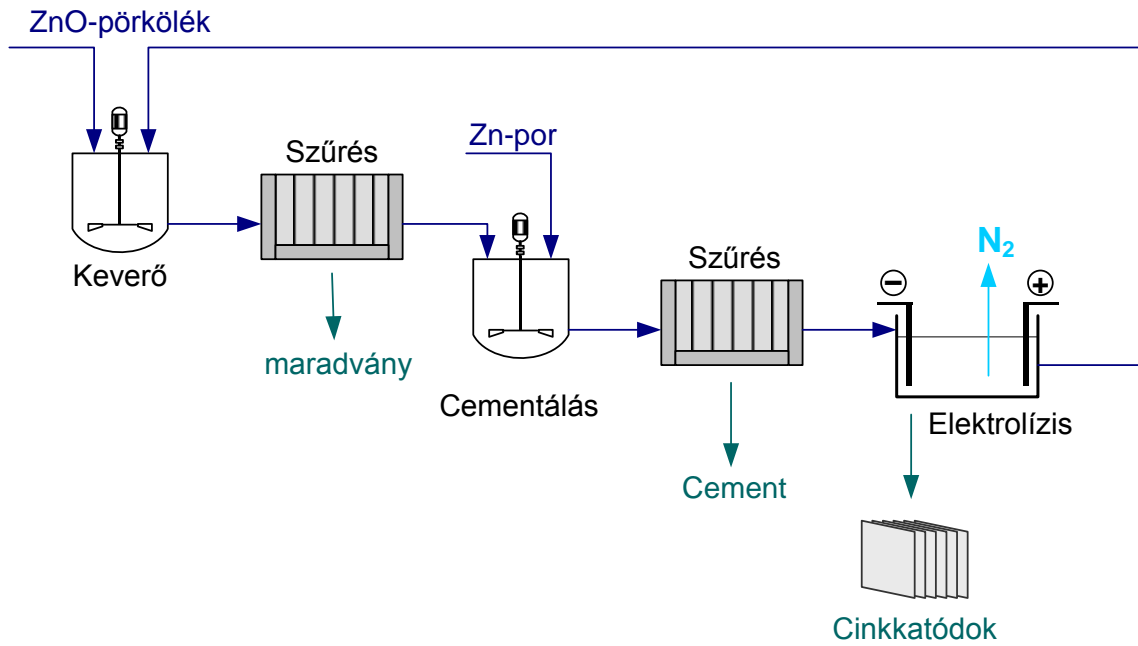


Az oldatban a folyamatok során feldúsulnak a cinkkel nem kiejthető és az elektródákon nem leváló anyagok. Ezek jól oldódó kloridokat képeznek melyek közül a CaCl_2 a szódával való reakcióval CaCO_3 -má alakítható és leszűrhető, a többi klorid egy megfelelő szennyező koncentráció elérése után bepárlással töményíthető és por formájában általában értékesíthető.

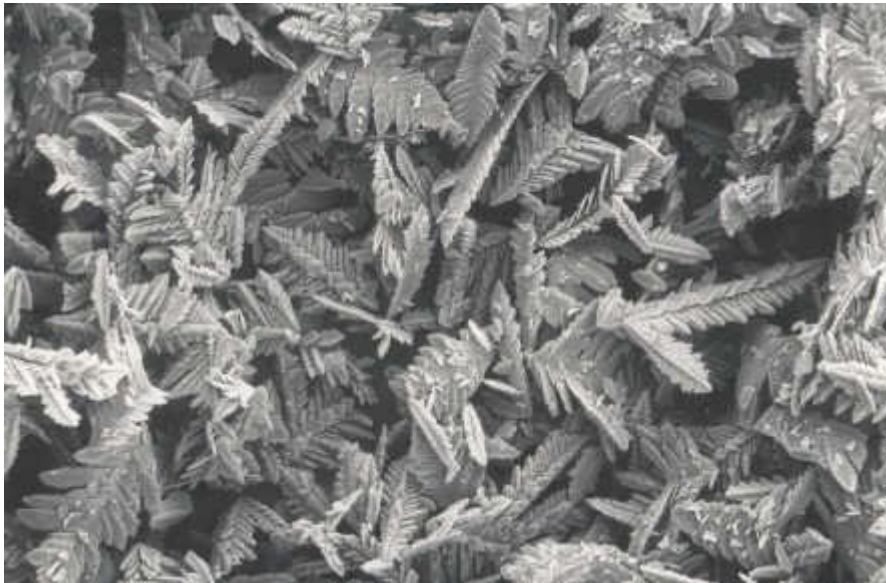
A tiszta oldatot elektrolízishez viszik. Az elektrolit éppúgy, mint az oldószer semleges ammónium-klorid. A termék nagy tisztaságú kb. „Special High Grade” minőségű cinkpor (46. ábra), melyet a kád titánkatódján választanak le. Az eljárást ipari méretekben Olaszországban valósították meg. Az eljárás törzsfája a **222.** ábra és a **225. ábra** látható.

Az eljárással nagy tisztaságú cink és szennyezett réz-ólom keverék állítható elő. A kiejtett fémekben egyéb szennyezők is vannak. Itt gyűlik meg a szállóporokban levő kis mennyiségű kadmium és ezüst is.

Az eredetileg cinkdús anyagok feldolgozására kidolgozott eljárást tovább fejlesztették, a nagy Fe-tartalmú szállóporok feldolgozására. Ezt egy indukciós kemence közbeiktatásával érték el, melyet egyszerre két célra is használnak (**224. ábra**).

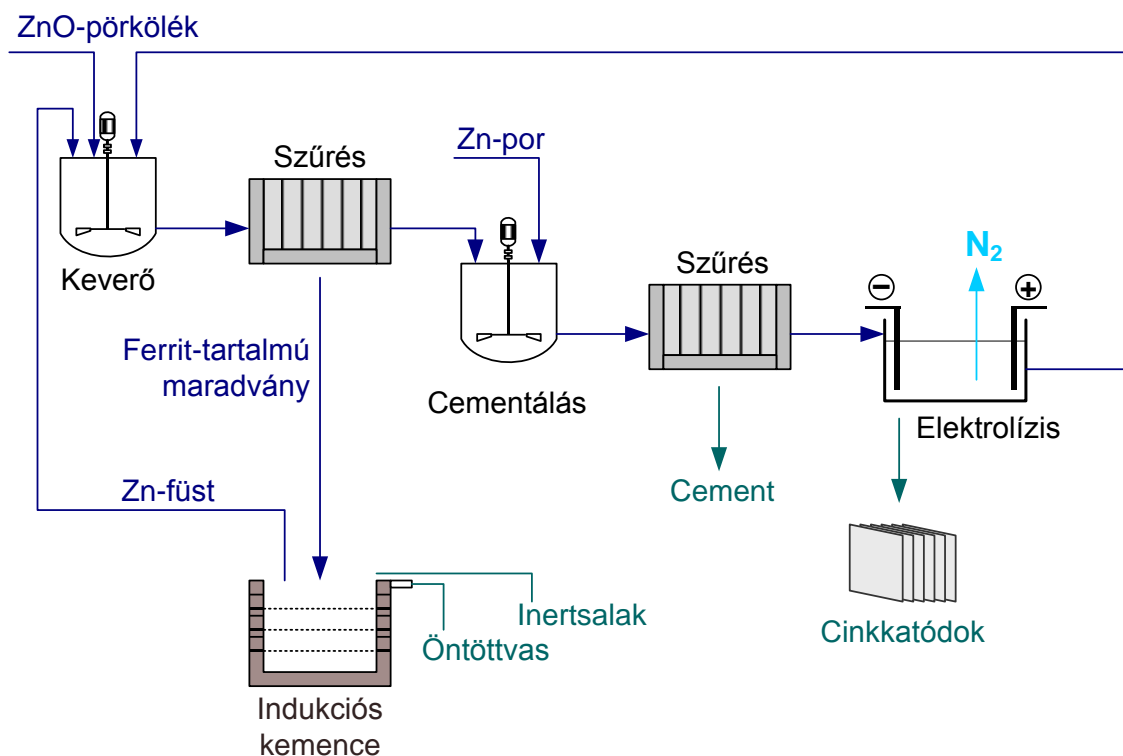


222. ábra. Az E-zinc-eljárás törzsfája



223. ábra. Katódon leválasztott dendrites cinkpor fotója

Egyrészt a szűrési maradékot szárítás után indukciós kemencében olvasztott vasba injektálják. Ekkor a maradék ZnO az oldott kísérőelemekkel reakcióba lép és gőz állapotú cinkgőzzé redukálódik. A kemence porleválasztójában meggyűlő nagytisztaságú cinkoxid ismételtén lúgozható. Az indukciós kemence beiktatása másrészt azért is előnyös, mivel a szállóporokban levő vas redukció után megnövelve a vassfürdő tömegét, itt hasznosul.



224. ábra. Ezinex-Indutec-eljárás törzsfája

Gazdaságosság

Az eljárás fajlagos energiafelhasználása 2550 kWh/t (short ton), ezért ez a képezi a költségek 44 %-át, 12 % egyéb energiahordozókra jut, 15 %-ot tesz ki a laboratóriumi költség. Az elektrolízis energiafelhasználása előnyösnek mondható a hagyományos szulfátos eljárásokéhoz képest, ahol ugyanez a mutató 3300 kWh/t_{Zn}.

A fő termék a cink kiváló minőségű, megfelel a horganyzáshoz. Az alkálifém-kloridokat az alumíniumolvasztás sóadalékához lehet felhasználni. A szűrt cement 80-90 % ólomtartalmú, amit a szekunder ólomgyártáshoz lehet felhasználni. A lúgzás során képződő 50-60 % Fe-tartalmú és kb. 10-12 % Zn-tartalmú lepény kokszporral keverve pelletezhető és visszajártható.

Az eljárást egy 16 kt/év teljesítményű üzemben valósítják meg, Észak-Olaszországban.

Fő műszaki- gazdasági adatok:

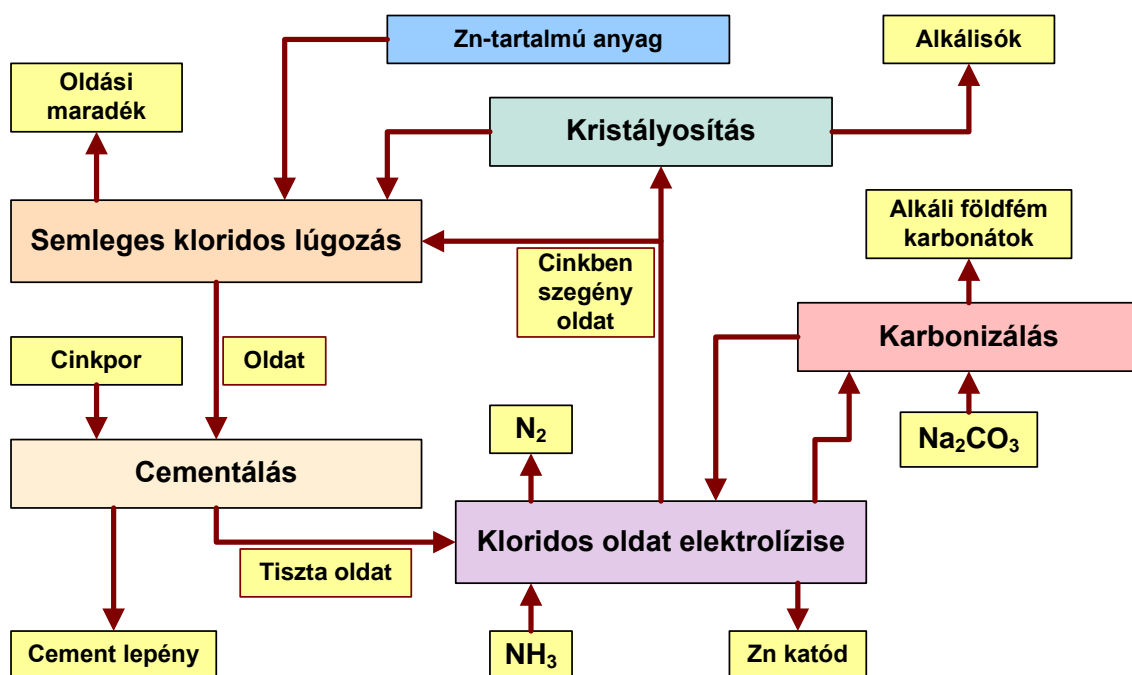
Kádak száma: 10 db

Katód száma: 39 db/kád

Anód száma: 40 db/kád

Elektrodtávolság: 135 mm (anódtól anódig)

Katód áram: 770 A
Fajlagos áramerősség: 350 A/m²
Katód anyaga: titánlemez
Anód anyaga: grafit
Cellafeszültség: 2,95 V
Elektrolit hőmérséklete 65-75 °C
Cinklehúzás: 48 óránként
Katód termelékenysége: 7 t_{Zn} / (m².év)



225. ábra. Az EZINEX-eljárás törzsfája

Az eljárás előnyei:

- Ez az egyetlen olyan eljárás, mely szállóporokból és egyéb hulladékokból képes nagytisztaságú – pl. lemezorganyzásra is alkalmas – cinket előállítani.
- Az eljárás mind beruházásigénye, mind működtetési költsége egyaránt alacsony.
- Az elektrolízis során az anódon N₂ gáz fejlődik, mely nem szennyező.
- A továbbfejlesztett eljárás megoldja a vastartalmú iszap elhelyezési költségeit.
- Dunaferres előnyeit vizsgálva lényeges lehet, hogy telepítésével valószínűleg megoldódna a nagymennyiségű tárolt horganyiszap hasznosítása is.

Vélt hátrányok:

- Az eljárást a nagy Zn-tartalmú ívkemence szállóporok kezelésére fejlesztették ki, ezért várható, hogy a jóval kisebb Zn-tartalmú porok feldolgozása nem jár a fenti előnyökkel.

Felhasznált irodalom:

<http://www.engitec.com/EZINEX.pdf>

7.7.10 REZEDA-eljárás

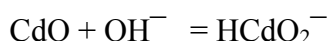
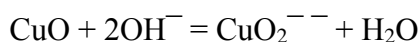
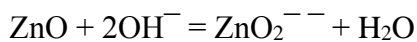
A (REcyclage du Zinc par Electrolyse des Déchets d' Aciéries) Rezeda-eljárást 1995-ben alapította négy, fraciákból és belgákból álló iparvállalati konzorcium eredetileg elektroacélgyártási filterporok cinktelenítésére. A filterporok, különösen az elektroacélgyártási szállóporok szennyezőinek nagy része (Zn, Pb, Cu, Cd, Cl) jól oldódik vizes oldatokban. Erre alapozva az eljárás lehetővé teszi, hogy:

- megvalósítsák az olyan értékesíthető elemek kinyerését, mint a cink és a réz,
- visszajárassák a vasat és a meszet,
- eltávolítsák a rendszerből a klórt.

A technológia tesztelésére, a termékek tisztaságának fokozására és a gazdaságosság javítása céljából a feltalálók a rendelkezésre álló 600 m²-es csarnokban egy 100 kg/h teljesítményű demonstrációs üzemet építettek.

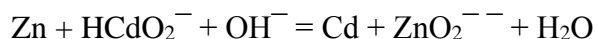
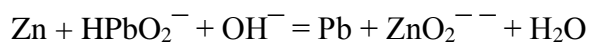
Az eljárásnak három fő lépcsője van:

Az eljárás első lépcsőjében a porokat egy 300 g/l koncentrációjú és 85 °C-os szódaoldatban lúgozzák. A szennyezők közül a Zn, Pb, Cu, Cd, Cl oldatba megy, míg a többi alkotó, főleg a vasoxid és a CaO nem oldódik. A lejátszódó reakciók a következők:



A szilárd és folyékony fázisok szétválasztását szűrőpréssel végzik. A szűrés terméke az iszap, mely elektrokemencébe visszajáratható valamint a nehézfémeket és a klórt tartalmazó szódaoldat.

A következő lépcsőben az oldatot tisztítási célból cementálják, amit egy, a jelenlevő fémeknél elektronegatívabb fémnek az oldatba adagolásával érnek el. Erre a célra a legmegfelelőbb maga a cinkpor. Ez az elektrokémiai folyamatok során kiejti az ólmot, a rezet és a kadmiumot.



A szilárd és folyékony fázisok szétválasztását itt is szűrőpréssel végzik. A szűrés terméke a cementlepeny és a szódaoldat mely már csak cinket és klórt tartalmaz.

Az eljárás harmadik lépésőjében elektrolízissel nyerik ki a cinket. A magnéziumból készült katódon a cink kis dendritek alakjában válik le, mely – többszöri szűrés és passziválás után – mint por nyerhető ki. A szódaoldatot a lúgozáshoz viszik vissza. Egy idő után az oldatban a klór is feldúsul. Ebben az esetben az oldatot bepárolják és a kapott dús, kb. 900 g/l koncentrációjú oldatot a vegyiparban értékesítik.

A kísérletek során 40 t anyagot kezeltek, melyben 1-3 tonnás kampányokat tartottak. Ezek fő eredményei:

Cinktelenítési határfok: 60 %,

Ólomtalanítási határfok: 92 %,

Feltárási arány: 28 %,

Maradék (száraz): 72 %,

Kapott száraz anyag sűrűsége: 2 kg/dm³

Szükséges szódaoldat: 5 000 l/t száraz por

95. táblázat. A kapott szűrt, szárított ferritpor %-os összetétele

Fe	Zn	Pb	CaO	SiO ₂	Na ⁺	Cl ⁻
29	9	0,9	16	4,6	3	0,1

Az eljárás előnyei:

- A rendszerből eltávolítható a cink nagy része, valamint az ólom és a réz, ezzel a porok és iszapok nehézfém-tartalma eltávolítható.
- A kapott vasoxid a rendszerbe visszajártható.

Vélt hátrányok:

- Az eljárás csak demonstrációs nagyságrendben létezik. 1995 óta nem jelent meg ipari nagyságrendű üzeme.
- Az eljárást a nagy Zn-tartalmú ívkemence szállóporok kezelésére fejlesztették ki, ezért várható, hogy a jóval kisebb Zn-tartalmú porok feldolgozása nem jár a fenti előnyökkel.

- A kísérletek alatt több iszapkezelési problémát, jeleztek, mint pl. iszapok feltapadása, a kapott termékek piroforrósága vagy a zavaróan változó koncentráció.
- A cinktelenítési hatások kis mértékű, ezért csak részben oldaná meg a Dunaferr cinkkinyerési problémáját.

Felhasznált irodalom:

Olper, M. – Maccagni, M: Electrochemistry with unconventional electrolyte. Electrometallurgy 2001. Toronto. Aug. 27-29.

Ismeretlen szerző: Design details of the Engitec „EZINEX” electrowinning plant. CIMM 31st Hydrometallurgy Meeting.

Ismeretlen szerző: The Ezinex Process. Web.mit.edu/ysp314/Desktop/ysp314/Public/ezinex.

Ismeretlen szerző: The EZINEX process for EAF dust treatment.
<http://www.engitec.com/OUTLINE.htm>

Rocchia, L. et al.: Traitement des poussières d' aciéries électriques par le procédé Rezeda. 16^{es} Journées Sidérurgiques Internationales. Paris. 1995. 6-7 décembre. ATS95.

Rentz, O. – Hare, S.- Jochum, R.- Spengler, T.: Report on Available Techniques (BAT) in the Electric Steelmaking. German Federal Environmental Agency. 1997.

7.7.11 FASTMET -eljárás

Az eljárást a Midrex és a Kobe Steel fejlesztette ki, a szilárd redukálószeres direkt redukációs eljárások termékválasztékának növelése és hulladékok reciklálása céljából.

Az eljárás alkalmazásával a pellet, porérc, reve vagy egyéb poros hulladék formában levő vasoxidokat szénporral vagy egyéb, C-tartalmú anyagokkal fémvassá redukálják. Az eljárás végterméke, a direkt redukált vas, brikettálható (mint HBI), melegen bunkerbe tölthető (mint hot DRI), hidegen tárolható (mint cold DRI) (126. ábra). Az eljárást az utóbbi időben továbbfejlesztették és így lehetővé vált a közvetlen olvasztókemencébe való adagolása is. Ez utóbbival vetették meg a FASTMELT-eljárást.

Azokban az esetekben, amikor ásványi vas, azaz vasérc és koncentrátum, valamint redukálószer a betétanyag, ezeket pelletizálják, szárítják és egy vagy két rétegben terítik a forgófenekű kemence (RHF) aljára (**227. ábra**). Amikor a betét reve, ívkemence szállópor vagy

konverteriszap a fő alkotó, akkor a betétet brikettálni kell. A brikettálás nagyobb rugalmasságot kölcsönöz a betételőkészítőknek, mivel nem lesz szükség az őrlésre és a nyers brikettek szárítására. Ebben az esetben a briketteket egy rétegben terítik a kemencébe.

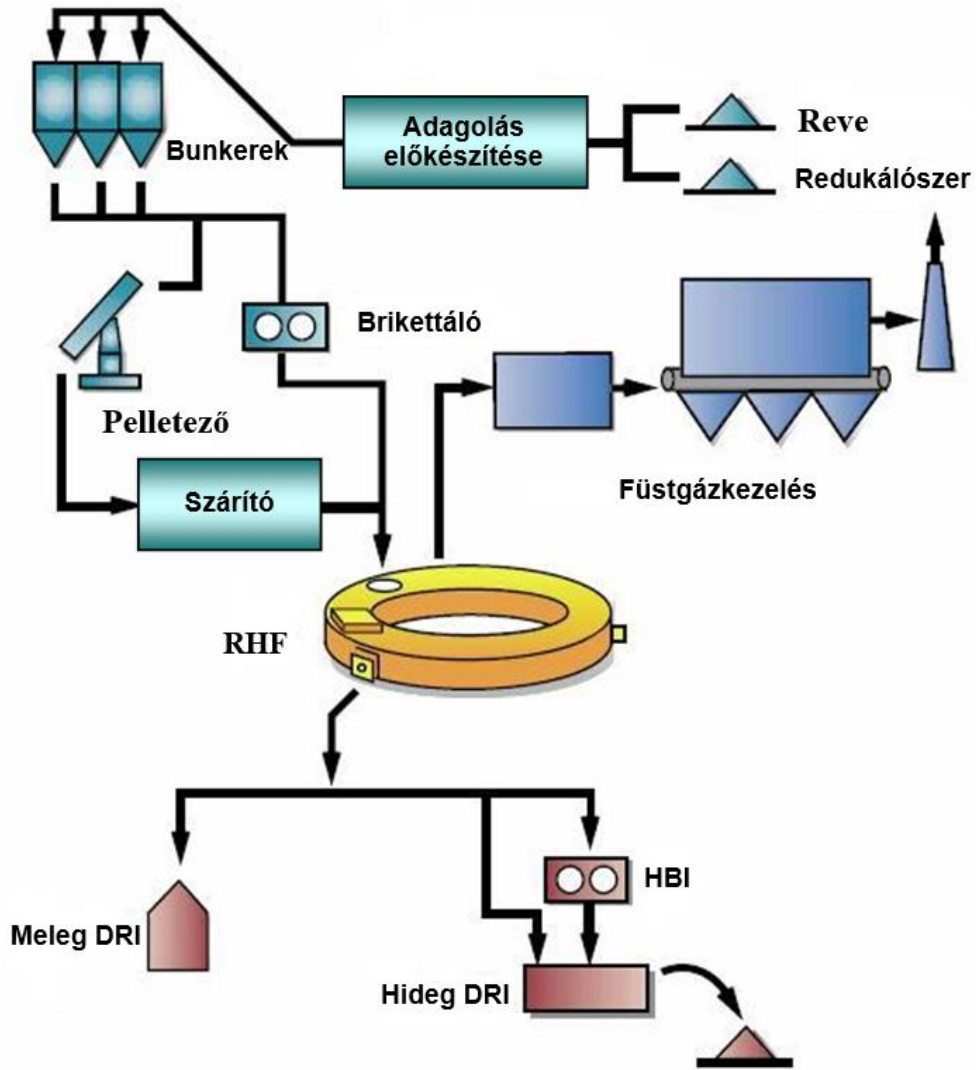
A tervezők szerint a Fastmet-eljárás igen jó a vaskohászati fémes hulladékok hasznosítására. A forgókemencében a tartózkodási idő kb. 6-10 perc. Ez az előkészítéstől, a brikettek méretétől és egyéb tényezőktől függően változik. A tartózkodási idő 85-95 %-ában a betét vastartalma redukálódik. A gyors redukció a magas hőmérsékletnek és a gyors hőátadásnak és a jó érintkezésnek köszönhető.

A kemence forgása közben a brikettek főleg a sugárzás, kisebb részben a konvekció hatására gyorsan felmelegednek és elérik a kb. 1300 °C-os hőmérsékletet. A reakcióhőmérséklet elég magas ahhoz, hogy a redukálószer C-tartalma közvetlenül redukálja a vashordozók Fe_3O_4 és Fe_2O_3 összetevőit. Az átmenetileg keletkező FeO szintén vassá redukálódik. A redukcióban az átmenetileg keletkező CO szintén részt vesz végül CO_2 -vé alakul. A két redukálószer egyben elvégzi a vas karbonizációját is (228. ábra).

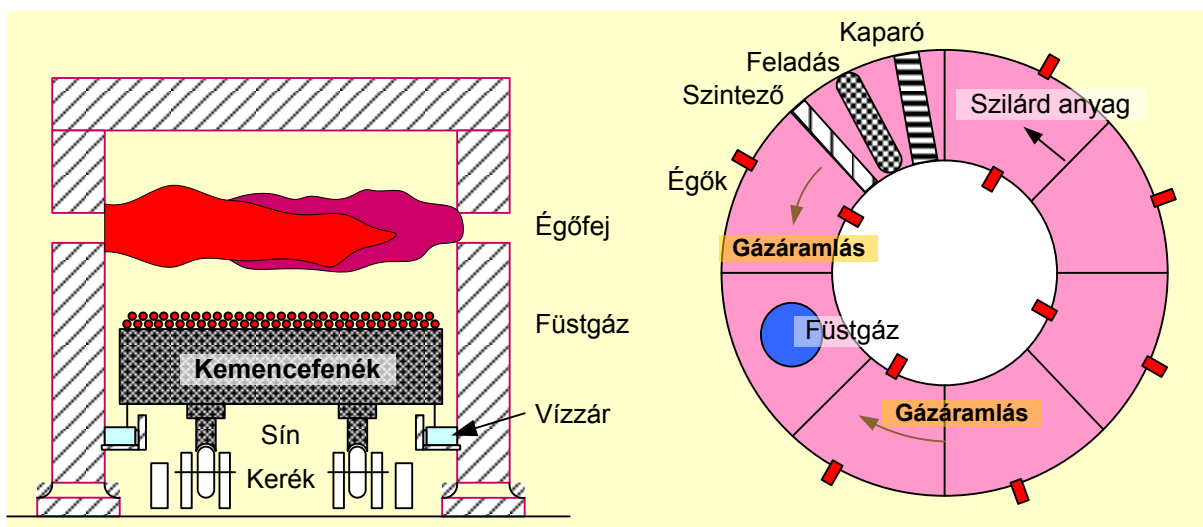
A szennyezőként jelen levő Zn szintén redukálódik, egyúttal elpárolog, majd ezt követően visszaalakul ZnO-vá, később leválasztják, ezúttal azonban sokkal koncentráltabb arányban lesz jelen, mint a betétben. A füstgázok CO-tartalma teljesen elég, mivel a füstgázok O_2 -tartalma kb. 2 %. A gázok nagy fizikai hőtartalmát hőcserélőben hasznosítják, ahonnan a gázok kb. 120 °C hőmérsékleten távoznak. Ennek eléréséhez azonban vízbepermetezésre és hígító levegő beáramoltatására van szükség. Ezzel biztosítható a zsákos szűrők anyagának épsége. A zsákos szűrőn válik le a ZnO is.

A füstgázok kezelése nem igényli az SO_2 leválasztók telepítését, mivel a füstgáz SO_2 -tartalma a füstgázban levő porokon adszorbeálódik. A gázok alacsony NO_x -tartalma LOWNOX égőkkel, valamint a légfelesleg és a hőmérséklet szabályozásával biztosítható. Az NO_x koncentrációja ipari körülmények és 2 % (száraz) O_2 -tartalom esetén 50 ppm. A dioxinok és furánok szintén szabályozhatók a kemencehőmérséklet és a tartózkodási idővel.

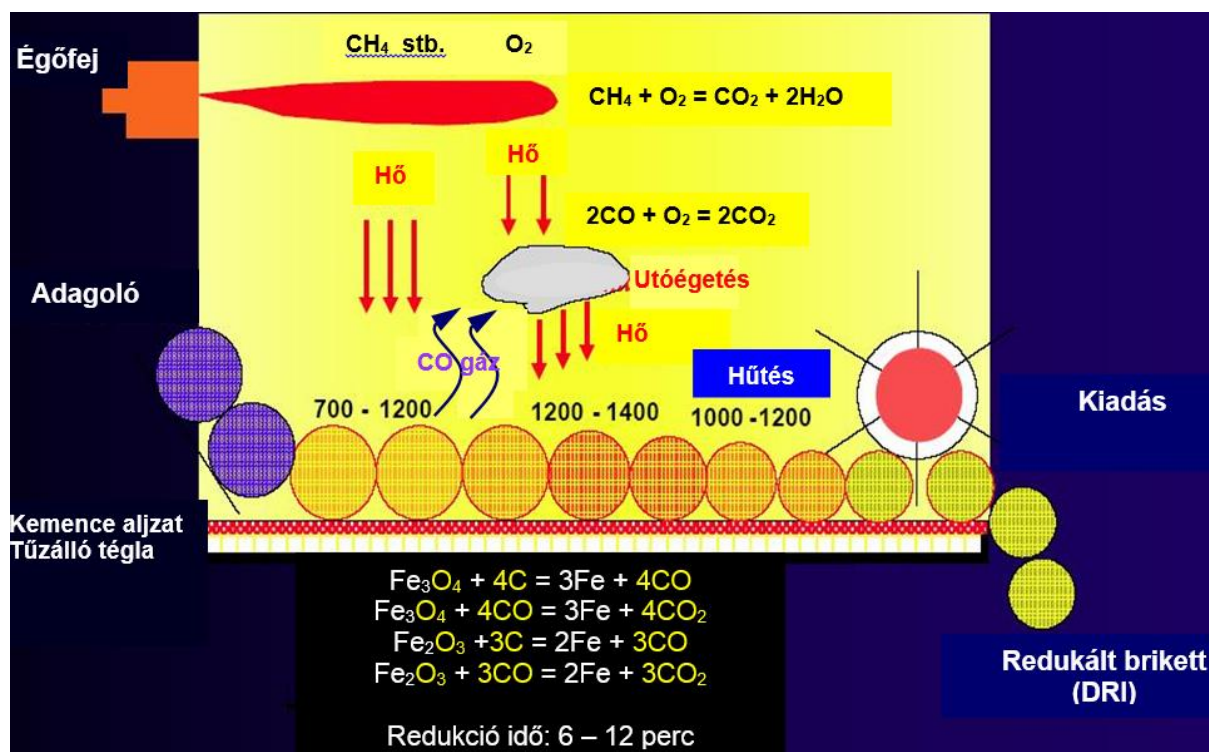
A porleválasztó rendszerből a Zn oxid formában gyűjthető be. Értékesítés előtt silókban kell tárolni.



226. ábra. A Fastmet-eljárás sémája



227. ábra. A Fastmet-eljárás forgófenékű kemencéjének metszete és felülnézete



228. ábra. A forgófenékű kemencében lejátszódó redukációs folyamatok

96. táblázat. Műszaki adatok egy demonstrációs és két ipari üzemről

Paraméter megnevezése	Kakogawa	Hirohata	Kakogawa
Üzembe helyezés éve	1995	2000	2001
Feldolgozott por, kt/év	16	192	14
Gyártott DRI, kt/év	11	140	11
Teljesítmény, t/h	2,5	18	
ZnO, kt/év		2,25	1,4
Kemenceátmérő, m	8,5	21,5	
Kemenceszélesség, m	1,25	3,75	
Fémesedési fok, %	90	92	
Cinktelenítési határfok, %	95	94	
Betét		Konverteriszap és por	Kohóiszap, EAF por, reve
Emissziós szintek:			
NOx (ppm)		27,75	
SOx (ppm)		1,00	
PM ₁₀ (mg/m ³)		1,5	
Dioxin (n-TEQ/m ³)		< 0,1	

A fő terméket képviselő DRI vegyi összetétele a betétet alkotó oxidok, az alkalmazott kötőanyagok és a redukálószer összetételétől függ.

97. táblázat. A kakogawai példa alapján a betét és a termékek összetétele %-osan

Betétanyag	C	Fe(ö)	Zn	Na ₂ O	K ₂ O	S	Mn	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Cl	F
Kohóiszap	37,6	31,8	1,20	0,20	0,60	0,70	-	3,1	4,1	-	-	0,065	0,16
EAF por	0,22	31,2	21,1	1,45	1,35	0,17	3,33	10,3	6,2	0,85	3,5	0,290	4,84
LD por	0,70	53,6	2,54	1,01	5,82	0,10	0,31	5,0	0,7	0,32	0,19	0,185	0,96

DRI	Fe (ö)	Fe (fém)	FeO	C	S	Mn	CaO	SiO ₂
	68,0	57,8	13,3	2,0	0,52	1,07	4,35	5,95

Leválasztott por	Zn	Pb	Fe(ö)	Na	K	S	Cl	F	C
	56,4	4,99	0,32	3,13	10,79	1,69	4,86	0,15	0,01

A nyers pellet és a DRI termékre vonatkozó adatok (%):

	Fe (össz)	Fe (fém)	C	Zn	η_{met}	η_{Zn}
Nyers pellet	58,1	21,3	11,6	1,00	-	-
DRI	75,8	69,7	3,1	0,06	91,9	94

Gazdaságossági mérőszámok:

Beruházási kts.: 150-200 \$/t, 50 -200 kt/év méret esetén.

Üzemeltetési kts.: 30 - 50 \$/t (ebből hulladék költség 0 \$).

Technológiai előnyei:

- A betét, esetünkben a vastartalmú hulladékok fémvassá redukálódnak.
- A ZnO magas koncentrációban kinyerhető. A betét cinktelenítési hatásfoka 95 %.
- Rendkívül kis emisszió.
- Az eljárás fejlettsége ipari jellegű.
- A Dunaferr nagyságrendjébe eső hulladék mennyiség feldolgozására is elérhető.

Technológiai vélt hátrányai:

- A ZnO nyers, ólom-oxiddal szennyezett formában van jelen.

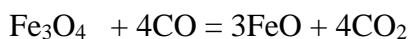
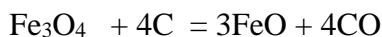
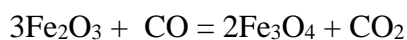
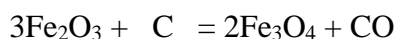
Felhasznált irodalom:

- [1] James M. McClelland, Gary E. Metius: Smorgasbord Recovery Solutions for Ferrous and Non-Ferrous Producers. 132nd TMS Annual Meeting & Exhibition
- [2] James M. McClelland, Jr. P.E.: Not All RHF's Are Created Equal: A Rotary Hearth Furnace Primer. Midrex.
- [3] James M. McClelland: Proven FASTMET Process. Right for India. Midrex.

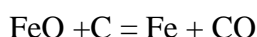
7.7.12 SL/RN-eljárás

Az SL/RN eljárás kivitelezésére forgódobos kemence szolgál (**229. ábra**). A technológiát a Lurgi cég szabadalmaztatta, jóllehet az eljárás alapjai Krupp-Renn-eljárás néven már az 50-es évek közepén ismertek voltak. A kemence betétje darabos érc vagy pellet lehet, salakképzőnek mézskő vagy dolomit szolgál, a redukálószer a szilárd karbon, legtöbbször kokszpor vagy szénpor. A kemence az anyagkiadási oldal felé 3-4 fokos szögben lejt. A kiadási oldal végén található az égő, mely a szilárd redukálószerrel is a kemencébe juttatja. A betét tartózkodási ideje átlagosan 10 -12 óra.

A kemence hossza szerint a folyamatokat két részre bonthatjuk. Ez az előmelegítési és a redukációs szakasz. Azt előmelegítés a kemence hosszának kb. 40 - 50 %-át teszi ki. Ennek során a betét kb. 1000 °C-ra melegszik. Ebben a zónában megy végbe a betétnedvesség eltávozása, valamint az előredukció, mely az FeO fokozatig tart. Ennek során az alábbi folyamatok mennek végbe.



A betét ezután a redukációs vagy fémesítési zónába kerül, ahol 1000 °C felett a wüstit fémvassá redukálódik. Ebben az esetben az



endoterm reakció játszódik le. Ennek feltétele, az, hogy a hőmérséklet meghaladja az 1000 °C-ot. A redukációs folyamat során a betét meglágyul, és salak vonja be a fémvasat.

A redukciós zóna egyenletes hőmérsékletének biztosítása, valamint a meglágyult részek elkerülése céljából a szénbetét teljes részét az ércadagolási oldalon viszik be. Az eljárás során lehetőség van szénhidrogének befűvésére is. Ez főleg a munkatér hőmérsékletének a szabályozására szolgál.

A kapott DRI-t hűtik, melynek során a termék hőmérséklete legalább 200 °C alá csökken. Ez elegendő a reoxidáció elkerülésére. Az összeolvadt fém-salak fázis szétválasztását töréssel és mágneses szeparálással biztosítják. Osztályozás után darabos és poros vasszivacsot kapnak, valamint a nem mágneses frakciót. A finom DRI (0-3 mm) brikettálható.

A termékre egyébként a kb. 93 % -os redukció fok a jellemző. A kapott vasszivacs C-tartalma 0,1-0,2 %. A helyzettől függően a terméket visszahűthetik.

A kemencében a hőátadást a főleg a gázok sugárzása és konvekciója biztosítja, melyhez még hozzá kell adni a fal által biztosított sugárzást és az érintkezés útján létrejövő vezetést.

Az SL/RN üzem fő berendezései az alábbiak: dobkemence, betét és szilárd tüzelőanyag adagoló rendszer, légbefűvő rendszer, mely a kemence palástján fújja be az előmelegítő zónába a levegőt, valamint az égési levegőt biztosító ventilátorok. A rendszerhez tartozik a körhűtő, mely vízpermettel dolgozik, a mágneses szeparátor mely mágneses és nem mágneses frakciókra bonja a terméket, a gravitációs fázisszétválasztó, mely a nem mágneses részeket szénre és salakra osztályozza. A gázokat nedves mosóval tisztítják.

A forgódobos kemencével dolgozó eljárások hasonlítanak egymáshoz. Ezek közül világszerte 4 ismert eljárás terjedt el az alábbi cégek szerint:

SL/RN-eljárás Lurgi

CODIR-eljárás Krupp (később DEMAG)

ACCAR-eljárás Allis Chalmers

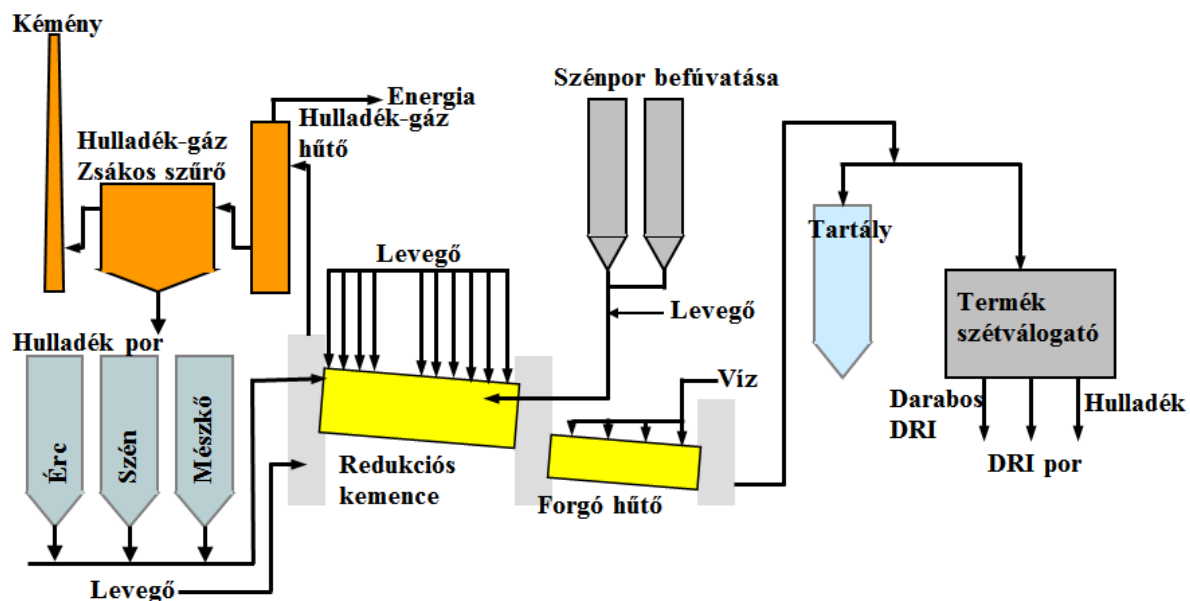
DRC-eljárás Direct Reduction Corporation

Az eljárás előnyei:

- Ipari érettségű bevált eljárás.
- Redukálószer és fűtőanyag az olcsó szilárd karbon, mely gyakorlatilag bármilyen C-hordozó lehet.
- Az eljárás ipari jelentősége javul.

Vélt hátrányok:

- Az eljárás minimális termelési nagyságrendje 0,5 Mt.
- Az eljárást választva a konverteriaszapot pelletezni kell.
- A betét hajlamos a falra tapadni, aminek eltávolítása termelékiesést okoz.



229. ábra. Az SL/RN-eljárás törzsfája

98. táblázat. A különböző helyszíneken megvalósított eljárásokban használt szén összetétele

Megnevezés	Új-Zéland	Brazília	India	Dél-Afrika	Dél-Afrika	Kanada
C-fix, %	40	36	44	53	73	39
Illó, %	38	23	22	24	9	33
Hamu, %	4	32	24	16	9	7
Nedvesség, %	18	9	10	7	9	21
S, %	0,3	0,4	0,4	0,7	0,75	0,37
Fűtőérték, MJ/kg	27,76	19,26	25,12	26,38	29,73	25,02
Reakcióképesség	Nagy	Nagy	Mérsékelt	Mérsékelt	Mérsékelt	Nagy
Hamu lágyuláspont, °C	1270	1250	1160	1150	1260	1138

Felhasznált irodalom:

www.epa.gov/ost/ironsteel/pdf/steelea_ch1-2.pdf

www.patentmatics.org/pub2005/pub7c.pdf

7.8 A vegyipar hulladékai, kezelésük és hasznosításuk

Dr. Földényi Rita, Dr. Bodnár Ildikó

7.8.1 A vegyipar felépítése, hulladékai

Az emberiség fejlődésében, az ipari termelés növekedésében a vegyipar rendkívül fontos szerepet játszott és manapság is játszik. Ez az iparág rohamosan fejlődik, új eredményeket produkálva segíti a többi iparág dinamikus fejlődését is. A sok eredmény ellenére gyakran támadják a vegyipart és a kémiát, hogy az általa használt kémiai anyagok veszélyeztetik, károsítják a természeti környezetet és ezen belül magát az embert is. Természetesen ez a veszély csak akkor áll fenn, ha az emberek helytelenül és felelőtlenül használják a kémiai anyagokat, azok hulladékait, és nem tartják be kezelésük szabályait. Továbbá nemcsak a vegyipari termelés, hanem minden más iparág termelése is - kezdve a mezőgazdaságtól az energiagyártáson át a gépiparig - a természet szennyezésével jár. Egy adott ipari folyamat megvalósíthatatlan emisszió nélkül és ennek a mértéke rendkívül eltérő lehet. A kibocsátott szennyezőanyagok koncentrációja a mérvadó, ugyanis kis koncentrációban kikerülő anyagok nem jelentenek környezetterhelést. A vegyiparban manapság már egyértelműen megfigyelhető, hogy a növekvő termelés ellenére egyre inkább csökken a kibocsátás, azaz egyre fontosabb a környezet védelme.

Ezek figyelembevételével és a szükséges törvényi előírások betartásával a vegyipar megfelelően működhet, sőt köztudott, hogy a hatékony környezetvédelem lényege a környezeti szennyezések megelőzése és ebben a kémiának nagyon fontos szerep jut. Ez megvalósulhat olyan technológiai folyamatok kidolgozásával, melynek hulladékai nem veszélyesek, illetve a képződött hulladékok hasznosítása és kezelése útján is [1].

A vegyipari termelés esetén tehát fontos a megfelelő hulladékkezelés és hasznosítás, mely révén biztonságos és gazdaságos tevékenység valósulhat meg. Magyarországon és a világ más országaiban is fontos rendeletek és előírások szabályozzák a környezet védelmét, s ezen belül is számos előírás vonatkozik az ipari tevékenységek ellenőrzésére, felülvizsgálatára.

Magyarországon a törvényi eszközök egyik fontos tagja az a kormányrendelet, amit a környezetszennyezés megelőzése érdekében az elérhető legjobb technika megvalósításával „Egységes környezethasználati engedélyezési eljárás” néven vezettek be. A hulladékgazdálkodásában az iparvállalatok számára betartandó az IPPC irányelv (Integrated Pollution Prevention and Control – Integrált szennyezés-megelőzés és -ellenőrzés) mely előírás,

az ún. „elérhető legjobb technikák” (BAT: Best Available Techniques) használatán alapszik [2, 3]. A fenti szabályozásnak szem előtt kell tartania az adott ipari létesítmény földrajzi fekvését és a helyi környezeti feltételeket. Az irányelv a levegő, a víz és a talaj szennyezésének, az energiafelhasználásnak és az ipari biztonságának az integrált kezelésére irányul, egységes, a megelőzésen alapuló környezetvédelmi engedélyezési eljárást vezet be. Az Európai Unió (EU) 1996 őszén fogadta el ezt az irányelvet (Council Directive 96/61/EC, 1996 szept. 24.), mely 1999-ben lépett érvénybe. Magyarország az EU tagállamaként csatlakozott az irányelv használatához, ugyanis 2002. január 1-től kezdődően az új berendezéseknek meg kellett felelniük a közösségi követelményeknek, míg a már meglévő létesítményeknek 2007. október 30-ig kell alkalmazkodniuk. Az Európai Unióban 1999. október 30-ig számítottak meglévőnek a létesítmények, ezeknek ugyancsak 2007. október 30-ig kell alkalmazkodniuk. A BAT-ot Magyarországon a 98/2001. Kormányrendelet foglalja magába [3a], mely a korszerű technikai színvonalnak megfelelő módszer, üzemeltetési eljárás, berendezés, amelyet a kibocsátások, környezetterhelések megelőzése és -amennyiben az nem valósítható meg - csökkentése, valamint a környezet egészére gyakorolt hatás mérséklése érdekében alkalmaznak, és amely a kibocsátások határértékének, illetőleg mértékének megállapítása alapjául szolgál. Ennek értelmezésében:

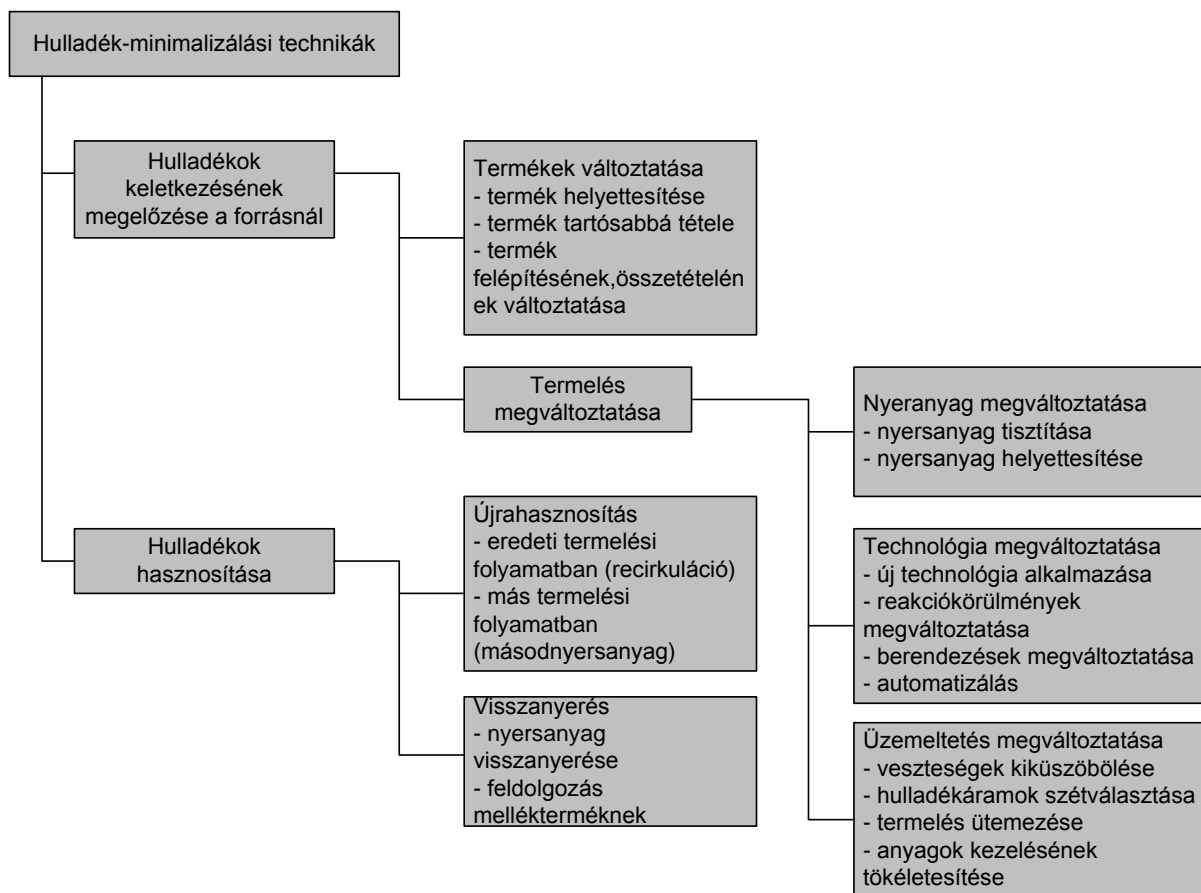
legjobb az, ami a leghatékonyabb a környezet egészének magas szintű védelme érdekében,

- az *elérhető* technika az, amelynek fejlesztési szintje lehetővé teszi az érintett ipari ágazatokban történő alkalmazását elfogadható műszaki és gazdasági feltételek mellett, figyelembe véve a költségeket és előnyöket, attól függetlenül, hogy a technikát az országban használják-e vagy előállítják-e, és amennyiben az az üzemeltető számára ésszerű módon hozzáférhető,
- a *technika* fogalmába beleértendő az alkalmazott technológia és módszer, amelynek alapján a berendezést (technológiát, létesítményt) tervezik, építik, karbantartják, üzemeltetik és működését megszüntetik.

Az Unió a *legjobb* elérésére igyekszik ösztönözni a vállalatokat, amelyek a pénzügyi szempontokat és helyzetüket figyelembe véve leggyakrabban az *elérhetőt* célozzák meg.

A BAT bevezetésével a vállalatok a hulladékgazdálkodási stratégiában megfogalmazott elvek közül a legfontosabbat valósítják meg, hiszen mindenképpen a keletkező hulladékok mennyiségének csökkentésére kell törekedniük.

A hulladékok mennyiségének minimalizálása tehát minden ipari területen fontos, megoldandó feladat, mely lehetőségeit összefoglalóan a **230. ábra** szemlélteti [3b].



230. ábra. Hulladék-minimalizálási technikák

A fentiek értelmében a vegyipar területén is be kell tartani és alkalmazni ezeket az új előírásokat. Az IPPC direktíva alapján a vegyipar részterületeit az alábbiak szerint lehet megadni:

- Szerves kémiai alapanyagok gyártása
- Szervetlen kémiai alapanyagok gyártása
- Foszfor, nitrogén, kálium alapú műtrágyák gyártása
- Növényvédőszer gyártása
- Gyógyszer gyártás
- Robbanószer gyártása

A vegyiparban keletkező hulladékokat csoportosíthatjuk a fenti részágazatok (eredet) alapján, de elterjedt a halmazállapot szerinti osztályozás is, tehát ismertek a gáz (gőz), cseppfolyós és szilárd halmazállapotú hulladékok. Gyakran lehet találkozni az iszapszerű hulladékok

elnevezéssel, ami nem halmazállapotot jelöl, hanem egy megjelenési formát, gyakorlatilag szuszpenziót.

A hulladék eredete szerinti besorolásban a hulladékok jegyzéke [4a-b] segít eligazodni, amelyben a veszélyes hulladékokat csillag (*) jelöli. Magyarországon egyébként a 2003-as adatok szerint a szerves kémiai folyamatokból származott a legtöbb vegyipari veszélyes hulladék (60 684 t), ami az év folyamán keletkezett összes veszélyes hulladéknak csupán 5,1 %-a [4c]. Innen is látszik, hogy a kémiai ágazatok már korántsem terhelik annyira a környezetet, mint az 1990-es évek elején, amikor a kémiai átalakítás hulladékai a második helyet foglalták el a veszélyes hulladékok között.

A vegyipari hulladékok jelentős része jellemezhető a Hulladékgazdálkodási törvény 2. sz. mellékletében felsorolt veszélyes tulajdonságok valamelyikével (ld. **99. táblázat**)[5a].

99. táblázat. Veszélyességi jellemzők (forrás: Hgt. 2. sz. melléklet)

Jelölés	Jellemző
H1	"Robbanó": folyékony, képlékeny, kocsonyás vagy szilárd anyagok és készítmények, amelyek a légköri oxigén nélkül is gyors gázfejlődéssel járó hőtermelő reakcióra képesek, és amelyek meghatározott kísérleti körülmények között, illetőleg nyomásra vagy hőre felrobbannak
H2	"Oxidáló": anyagok és készítmények, amelyek más, elsősorban gyúlékony anyagokkal érintkezve erősen hőtermelő reakcióba lépnek
H3-A	"Tűzveszélyes": <ul style="list-style-type: none"> • folyékony anyagok és készítmények, amelyek nagyon alacsony lobbanásponttal rendelkeznek (beleértve a fokozottan tűzveszélyes anyagokat és készítményeket is) • anyagok és készítmények, amelyek a levegőn, normál hőmérsékleten öngyulladásra képesek • szilárd anyagok és készítmények, amelyek gyújtóforrás rövid ideig tartó behatására könnyen meggyulladnak, majd a gyújtóforrás eltávolítása után tovább égnek vagy bomlanak • gáz halmazállapotú anyagok és készítmények, amelyek a környezeti hőmérsékleten és nyomáson a levegővel érintkezve tűzveszélyesek • anyagok és készítmények, amelyek vízzel vagy nedves levegővel érintkezve tűzveszélyes gázt fejlesztenek, veszélyes mennyiségben

Jelölés	Jellemző
H3-B	"Kevésbé tűzveszélyes": folyékony anyagok és készítmények, amelyek alacsony lobbanásponttal rendelkeznek
H4	Irritáló vagy izgató": nem maró anyagok és készítmények, amelyek a bőrrel vagy nyálkahártyával történő rövid idejű vagy hosszan tartó vagy ismételt érintkezésük esetén gyulladást okozhatnak
H5	"Ártalmas": anyagok és készítmények, amelyek belélegzésük, lenyelésük vagy a bőrön át történő felszívódásuk esetén halált vagy heveny egészségkárosodást okozhatnak
H6	"Mérgező": anyagok és készítmények (beleértve az erősen mérgező anyagokat és készítményeket is), amelyek belélegzésük, lenyelésük vagy a bőrön át történő felszívódásuk esetén kis mennyiségben is halált vagy heveny egészségkárosodást okozhatnak
H7	"Karcinogén": anyagok és készítmények, amelyek belélegzéssel, szájon át, a bőrön vagy a nyálkahártyán keresztül, vagy egyéb úton a szervezetbe jutva daganatot okoznak, vagy előfordulásának gyakoriságát megnövelik
H8	"Maró" (korrozív): anyagok és készítmények, amelyek élő szövetrel érintkezve azok elhalását okozzák
H9	"Fertőző": életképes mikroorganizmusokat vagy azok toxinjait tartalmazó anyagok, amelyek ismert módon vagy megalapozott feltételezések szerint betegséget okoznak az emberben vagy más élő szervezetben
H10	"Reprodukciót és az utódok fejlődését károsító": anyagok és készítmények, amelyek belélegzéssel, szájon át, a bőrön, a nyálkahártyán keresztül vagy egyéb úton a szervezetbe jutva megzavarják, általában gátolják a reprodukciót, illetve az utódokban morfológiai, illetőleg funkciós károsodást okoznak, vagy előfordulásának gyakoriságát megnövelik
H11	"Mutagén": anyagok és készítmények, amelyek belélegzéssel, szájon át, a bőrön, a nyálkahártyán keresztül vagy egyéb úton a szervezetbe jutva genetikai károsodást okoznak vagy megnövelik a genetikai károsodások gyakoriságát
H12	Anyagok és készítmények, amelyek vízzel, levegővel vagy savval érintkezve mérgező vagy nagyon mérgező gázokat fejlesztenek

Jelölés	Jellemző
H13	Anyagok és készítmények, amelyek hajlamosak arra, hogy belőlük a lerakást követően valamely formában - pl. kimosódás - a felsorolt tulajdonságok bármelyikével rendelkező anyag keletkezzék
H14	"Környezetre veszélyes": anyagok és készítmények, amelyek a környezetbe jutva a környezet egy vagy több elemét azonnal vagy meghatározott idő elteltével károsítják, illetve a környezet állapotát, természetes ökológiai egyensúlyát, biológiai sokféleségét megváltoztatják

A **99. táblázat** alapján nem dönthető el, mikor kell a *tűzveszélyes* (H3-A) illetve *kevésbé tűzveszélyes* (H3-B) kategóriába sorolni a hulladékot. Ehhez szükséges ismernünk a lobbanáspont definícióját, amely így szól:

A lobbanáspont: az a legalacsonyabb hőmérséklet, amelynél meghatározott vizsgálati körülmények között egy éghető folyadék olyan mennyiségű gyúlékony gázt vagy gőzt bocsát ki, hogy az gyújtóforrás hatására belobban.

- A H3-A kategóriában a *nagyon alacsony lobbanáspont* azt jelenti, hogy a tűzveszélyesnek minősülő folyékony anyagok és készítmények zárttéri lobbanáspontja $< 21\text{ °C}$.
- A H3-B kategóriában az *alacsony lobbanásponttal* rendelkező folyékony anyagok és készítmények esetében: $21\text{ °C} \leq \text{zárttéri lobbanáspont} \leq 55\text{ °C}$.

Hasonlóképpen nincsen elég magyarázat az *ártalmatlan* (H5) és a *mérgező* (H6) veszélyességi jellemző közötti különbségre sem, amelynek eldöntésében a **100. táblázat** segít eligazodni [5b].

100. táblázat. Méregerősség szerinti osztályozás (forrás: 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet 1. sz. melléklet), [5b]

Kategória	Orális LD ₅₀ , ALD patkány, mg/kg	Dermális LD ₅₀ , ALD patkány vagy nyúl, mg/kg	Inhalációs LC ₅₀ , ALC patkány, mg/liter/4 óra ¹
Nagyon mérgező	≤ 25	≤ 50	$\leq 0,25$
Mérgező	25 - 200	50 - 400	0,25 - 1
Ártalmatlan	$>200 - 2000$	$>400 - 2000$	$>1 - 5$

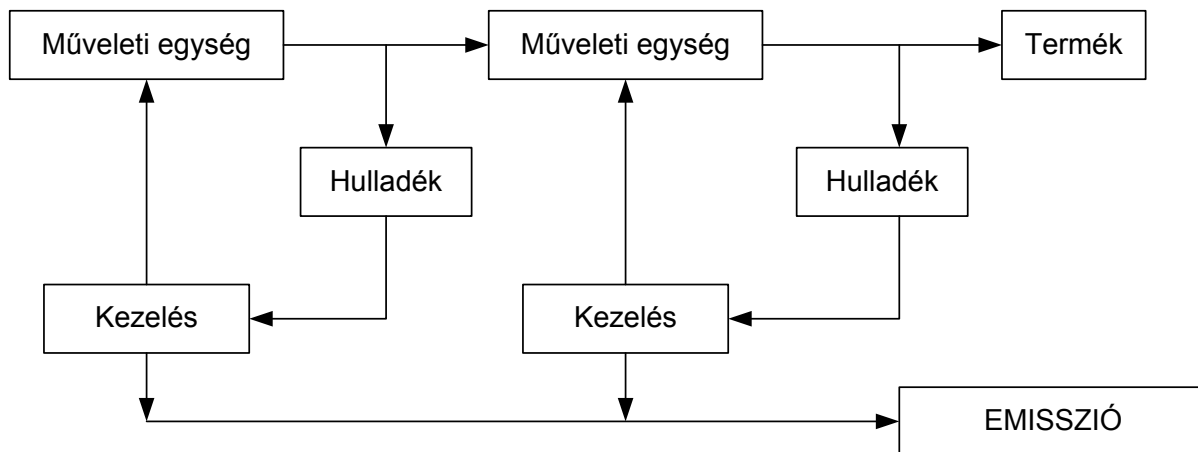
Ezekből a megjegyzésekből is érzékelhető, hogy a hulladék veszélyességének megnevezése és jelölése gyakran vizsgálatokat igényel, amelyek részleteire a következő fejezetben térünk ki.

7.8.2 A hasznosítás műszaki és környezetvédelmi feltétele, vizsgálati módszerek

A veszélyes hulladékok esetében azoknak az emberre és a környezetre káros hatásait ki kell küszöbölni, azaz kémiai reakciókban át kell őket alakítani, hasznosítani vagy végső esetben ártalmatlanítani. A tárolás illetve lerakás nem jelent biztonságos megoldást, de bizonyos esetekben - pl. radioaktív hulladékok, tűz- és robbanásveszélyes anyagok - nincs más lehetőség. Az előző fejezetben említett IPPC direktíva segíti a vegyipari technológiák és produktumok vizsgálatát és ellenőrzését, mely a hulladékkezelés gazdaságos és biztonságos megvalósításában is iránymutatásként szolgál. Természetesen az optimális cél az ún. hulladékszegény technológiák megvalósítása és bevezetése lenne, melyek magyarországi elterjedése sajnos még gyerekcipőben jár. A világ fejlett országaiban ezek a technológiai folyamatok elterjedtebbek, így ezeken a helyeken a hulladékok kezelésével is kevesebb a probléma. Hazánkban ezen technológiáknak a meghonosítása mérföldkövet jelentene a környezetvédelmi elvárások teljesítésében, bár az közismert, hogy tökéletesen hulladékmentes technológia nincs.

A hulladékcsökkentés eléréséhez egy adott technológiai folyamatban az anyagtakarékosság is alapvető fontosságú, melyet az alapanyagok gyors mértékű növekedése is ösztönöz. Ez részben visszaforgatás révén is megoldható, így optimális anyagtakarékosság érhető el, de a többoldalú ellenőrzés is nagyon fontos, mely a termék jó minőségének biztosításához alapvető. Ennek eléréséhez javítani kell az üzemvitelt, valamint reális számításokon alapulva optimalni kell az adott technológiai folyamatot. Gyakran csak a technológia módosítása vagy nyers- és alapanyagok cseréje, esetleges előkezelésük jelenthet jó megoldást. A használt anyagok megválasztásánál törekedni kell a környezetszennyező anyagok mellőzésére, esetleges kiváltására.

A hagyományos környezetvédelemmel szemben ma már az ún. *termelésbe integrált környezetvédelem* (**231. ábra**) valósul meg, melynek alapvető célja a hasznosítható hulladékok környezetet kímélő felhasználása, ami nyersanyag-takarékosságot is jelent. Ehhez gyakran más ipari, termelő üzemekkel kell együttműködni, hogy a kitűzött cél megvalósuljon.



231. ábra. Termelésbe integrált környezetvédelem blokksémája [6]

Ez a szemlélet előtérbe helyezi a környezetvédelmet a gazdaságossághoz képest, illetve a hulladékok ártalmatlanítása helyett a hasznosítást preferálja. Az optimális termelésbe integrált környezetvédelem a technológiai részegységek hulladékait egyenként kezeli és nem vegyíti ezen anyagokat, hogy a biztonságos hasznosítás megvalósítható legyen.

A szemléletváltás további lépcsőjét az ún. *termékbe integrált környezetvédelem* jelenti, mely a termék sorsát végigköveti az eladástól a végső kezelésig. Ennek egyik fontos eszköze az Európai Unió 2007-től érvényes új vegyianyag-szabályozása, a REACH (**R**egistration, **E**valuation, **A**uthorization of **C**hemicals), amelynek lényege, hogy egyetlen rendeletben alapvetően megváltoztatják a vegyianyagokkal kapcsolatos gyártói-importálói és hatósági feladatokat [6a].

A vegyiparban is alapvető fontosságú a hulladékok kezelése és hasznosítása, viszont a jelentős veszélyes hulladék hányad miatt kissé bonyolultabb a helyzet, mint más ipari területeken vagy a kommunális hulladékkezelésnél megszokott megoldásoknál. A kezeléshez a hulladékot össze kell gyűjteni, átmenetileg tárolni, s mindez - a pl. tűz- és robbanásveszélyes vagy toxikus illetve rákkeltő anyagoknál - speciális intézkedéseket és megoldásokat jelent. Ilyen nehézségek ellenére is a különböző vegyipari üzemek törekszenek a lehető legjobb és leggazdaságosabb megoldás megvalósítására, melynek eredményeképpen akár üzemem belül más technológiai folyamatban hasznosítható anyagokat tudnak produkálni. A vegyipari hulladékok nagy része veszélyes hulladék révén mennyiségileg jól nyomon követhető, ugyanis ezeket az anyagokat szigorú nyilvántartási rendszer dokumentálja [6b-c].

A hasznosításhoz megfelelő *vizsgálati módszerek* is szükségesek, melyek a vegyipari hulladékokat azonosítják, illetve megállapítják az esetleges szennyezőanyag tartalmat. Ezen

vizsgálatok ismeretében a kezelés és a hasznosítás biztonságosabban és optimálisabban végezhető el.

A hulladékvizsgálati módszerek lehetnek általános jellemzésre szolgáló átfogó vizsgálatok, melyek elsősorban a hulladékkezelési módszer helyes megválasztásában adnak jelentős segítséget. Ezen túlmenően lehetnek szűkebb körű vizsgálatok is, melyek már a kiválasztott kezelési módszer helyességét és lehetőségét igazolják. A vizsgálat célja végül lehet a környezetre gyakorolt hatások elemzése, annak megállapítása, milyen mértékű veszély terheli azt. A hulladékok környezeti veszélyességének megállapítására irányuló vizsgálatokat a 98/2001. Kormányrendelet 1.sz. melléklete tartalmazza [3a].

Ezeknek a meglehetősen költséges vizsgálatoknak az alapossága, illetve kiterjesztése kezelési módszer és hulladékfüggő, így mindig más-más jellemző paraméter meghatározására irányulnak.

A hulladék-vizsgálatok elvégzéséhez fontos a hulladékból vett megfelelő minta, így szabványos hulladék mintavételi és -előkészítési eljárásokat kell alkalmazni. Nemzeti előírásaink bizonyos esetekben több komponensre terjednek ki, mint a nemzetközi, a harmonizáció érdekében még mindig számos feladat vár a hazai szakemberekre és a jogalkotókra. A 98/2001. Kormányrendelet egyébként kitér arra, hogy nemzeti szabvány hiányában EN vagy ISO szabványok, szükség esetén OECD előírások alkalmazandóak.

A hulladékvizsgálati módszerek számos jellemző paraméter alapján állapítják meg a minőséget és az összetételt. A keletkező hulladékot elsősorban a fizikai és a kémiai tulajdonságaikkal lehet jellemezni, de természetesen a halmazállapot is befolyásolja a jellemző tulajdonságokat és azok vizsgálati módszereit. A vegyipari hulladékok elemzésére alkalmazhatnak klasszikus analitikai eljárásokat (gravimetria, titrimetria) vagy műszeres analitikai eljárásokat (elektroanalitikai, optikai és termikus módszerek, kromatográfiás eljárások). A biológiai jellemzők megállapításához toxikológiai-(mérgező és genetikailag károsító hatások) illetve ökotoxikológiai (környezetet mérgező hatások), valamint mikrobiológiai (fertőző tulajdonságok) vizsgálatokat alkalmaznak.

A hulladék általános jellemzéséhez használják pl. az összes szerves széntartalom (TOC) és a biológiai oxigénigény (BOI) mérését, továbbá a nedvesség- illetve szárazanyag-tartalom meghatározását.

Vizsgálhatjuk még a vízáteresztő-képességet, vízdoldhatóságot is. Gyakori hulladék-vizsgálati módszer az éghetőség, öngyulladó-képesség, tűz- és robbanásveszélyesség meghatározása is. Bizonyos vegyipari hulladékoknál a szaghatást, a bomlékonyságot és a porszennyező hatást is azonosítani kell [7].

Fontosak még a kémiai jellemzők is, így a pH és a vezetőképesség meghatározása. [26-28]. A hulladék kémiai összetételének megállapításához tartozik az ún. részleges és teljes feltárás, majd az ily módon nyert oldat analízise. A feltárásos módszerekre vonatkozó hazai szabvány pl. azt írja elő, hogy meghatározott kivonószerezrel (víz, ásványi sav, ammónium-acetát puffer, dimetil-szulfoxid) eluátumot készítünk, majd azt elemezzük - leggyakrabban a fémes összetétel szempontjából (AAS vagy ICP készülékkel).

A szerves szennyező komponenseket extrahálják, azonosításukra azonban még az Európai Unió Szabványügyi Bizottsága (CEN: European Committee for Standardization) sem fordít kellő hangsúlyt, pedig ismeretük fontos lenne, hiszen nemcsak az általa kiemelt vegyülettípusok (fenol, PAH, PCB) jelentenek a környezetre és az emberi egészségre veszélyt. Elemzésükre a gyakran alkalmazott gázkromatográfiás módszerek [29] mellett a folyadékkromatográfiát is előírják (ez a PAH-tartalom meghatározásánál a GC-MS alternatívájaként szerepel), ami különösen a vizes közegek analízisének (pl. vizes eluátum) előnyös.

A jogi szabályozás a veszélyes vegyipari hulladékok szigorú dokumentálását és körültekintő, biztonságos kezelését írja elő, melyek esetében nemcsak a keletkezés ellenőrzésével, hanem a begyűjtésükkel, tárolásukkal, szállításukkal valamint a kezelés illetve ártalmatlanítás módozataival is részletesen foglalkozik.

A vegyipari hulladékok egy része égetéssel ártalmatlanítható, amikor pl. a következő jellemzők vizsgálata szükséges: halmazállapot, kémiai összetétel, éghetőanyag-tartalom, fűtőérték, gyulladás- és lobbanáspont, sűrűség, térfogattömeg, szemcseméret-eloszlás, szilárdanyag-tartalom, pH, továbbá speciális tulajdonságok (pl. korrozív tulajdonságok, stb.). Lerakáskor pedig a szivárgási tulajdonságok tanulmányozása fontos. Ekkor elvégzik az áramoltatásos oszloptesztet alulról felfelé [9], továbbá a szemcsés hulladékok és iszapok szivárgási tulajdonságainak szabványosított vizsgálatát. A szivárgási tulajdonságok ellenőrzésekor a keletkező csurgalékra írják elő a kritériumokat, így szerepelnek a DOC (oldott szerves szén), a TDS (összes beoldódott szilárd anyag), valamint a következő komponensek határértékei: As, Ba, Cd, Cr (összes), Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, Cl⁻, F⁻, SO₄²⁻.

A 101. táblázat és a 102. táblázata gyakorlatban alkalmazott legfontosabb vegyipari hulladékjellemzőket és vizsgálati módszereiket mutatja be.

101. táblázat. Szilárd és iszapszerű vegyipari hulladékok vizsgálati módszerei ([7] alapján)

Hulladékból vett minta					
Eredeti minta vizsgálata		Szárított minta vizsgálata		Vízzel kioldott minta vizsgálata	
Jellemző	Vizsgálati módszer	Jellemző	Vizsgálati módszer	Jellemző	Vizsgálati módszer
Szemcseméret-eloszlás	Szitaelemzés	Nedvességtartalom	Szárítás	Külső megjelenés	Vizuális értékelés
Szag	Organoleptikus kiértékelés	Fűtőérték	Fűtőérték meghatározás Barthelot-szerint	Szag	Organoleptikus kiértékelés
Szűrhetőség	Szűrés	Elemanalízis	Röntgen-fluoreszcencia	Zavarosság	Turbidimetria, nefelometria
Szárazanyag-tartalom	Szárítás, szárítómérleg	CHN-analízis	Égetés	Bepárlási maradék	Gravimetria
Lobbanáspont	Lobbanáspont vizsgálat nyitott vagy zárt tégelyben	Szervesanyag-tartalom	Izzítási veszteség alapján	Vezetőképesség	Konduktometria
pH	Elektrokémiai vizsgálat vagy kalorimetriás mérés	Anionok meghatározása	Titrimetria	pH	Elektrokémiai vizsgálat vagy kalorimetriás mérés
Reakció vízzel, savval, lúggal	Oldás vízben, 10 %-os sósavban, illetve nátrium-hidroxidban	Kationok-meghatározása	Feltárás, ICP-OES, AAS, titrimetria	Lúgosság	Titrimetria
Oxidálóképesség	Titrimetria	Extrahálható komponensek	Extrakció szerves oldószerekkel, GC, GC-MS, UV-VIS fotometria	Anionok meghatározása	Titrimetria
		IR-spektroszkópiás analízis	IR-spektroszkópia	Kationok-meghatározása	Feltárás, ICP-OES, AAS, titrimetria
Termikus analízis	Termogravimetria, derivatív termogravimetria, Differenciál termikus analízis	Pirolízisanalízis	Pirolízis, Gázkromatográfia	Oxidálóképesség	Vegyszeres kezelés, fotometria, autoanalízis
Gőztéranalízis	Gázkromatográfia, IR-	-	-	TOC/TOD	TOC analizátor

Hulladékból vett minta					
Eredeti minta vizsgálata		Szárított minta vizsgálata		Vízzel kioldott minta vizsgálata	
Jellemző	Vizsgálati módszer	Jellemző	Vizsgálati módszer	Jellemző	Vizsgálati módszer
	spektroszkópia, GC-MS				
Erjeszhető rész	Erjedési próba, salakmaradék, szervesanyag-próba	-	-	Oldott szerves anyag	Extrakció szerves oldószerekkel, GC, GC-MS, UV-VIS fotometria
Toxicitás	TTC-teszt, baktériumteszt	-	-	Biológiai oxigénigény	BOI-mérés
		-	-	Toxicitás	TTC-teszt, halteszt

102. táblázat. Folyékony vegyipari hulladékok vizsgálati módszerei ([7] alapján)

Szerves hulladék		Szervetlen hulladék	
Jellemző	Vizsgálati módszer	Jellemző	Vizsgálati módszer
Fűtőérték	Fűtőérték meghatározás Barthelot-szerint, izzítási vesztéségből számítással	Vezetőképesség	Konduktometria
Lobbanáspont	Kalorimetria	pH	Elektrokémiai vizsgálat vagy kalorimetriás mérés
Idegenanyag	Szűrés, xilolos desztilláció	Ülepíthető, nem oldott anyagok	Ülepítés, gravimetria
Szerves rész összetétele	Titrimetria, IR- spektroszkópia, GC-MS	Bepárlási maradék	Desztilláció, gravimetria
Forrásgörbe	Desztilláció, GC	Oldott szerves anyagok	Extrakció szerves oldószerekkel, GC, GC- MS, UV-VIS fotometria
Desztillációs maradék	Gravimetria	Kationok	Feltárás, ICP-OES, AAS,
Toxicitás	TTC-teszt, halteszt	Anionok	Titrimetria
-	-	Toxicitás	TTC-teszt, halteszt

7.8.3 A vegyipari hulladékok feldolgozása és hasznosítása

A továbbiakban a jegyzet az IPPC direktíva felosztása alapján mutatja be az egyes részterületekre vonatkozó konkrét hulladékforrásokat, hulladéktípusokat és kezelésük, illetve hasznosításuk lehetőségeit.

1. Szerves kémiai alapanyagok gyártása és hulladékai

A szerves kémiai alapanyagok csoportjába elsősorban a különböző szénhidrogének, oxigén-, kén-, nitrogén- és halogénatom tartalmú szénhidrogének csoportja tartozik, valamint egyéb szerves oldószerek, szerves fémvegyületek, műanyagok és gumik, festékek és színezékek, illetve a felületaktív anyagok csoportja [2]. Látható, hogy a fenti csoportok nagyon változatos anyagfajták jelentenek, így ezen anyagok gyártásakor keletkező, vagy használatuk után visszamaradó hulladékaik is rendkívül sokfélék lehetnek. Kezelésük, hasznosításuk ennek megfelelően eltér egymástól.

A vegyipar területén elsődleges hulladékforrásként magát a kőolaj-feldolgozó ipart szokták emlegetni. A hulladékok nagy része ebben az esetben a berendezésekből kikerülő olajos emulzió, mely szennyvíz formájában keletkezik. Kezelésére meglehetősen összetett eljárásokat alkalmaznak. Népszerű az olajok adszorpciós úton történő megkötése, mely további hulladékot eredményez, ezek ún. szennyezett derítőföldek, melyek olajtartalma 5-6 %. Biztonságos kezelésük égetéssel oldható meg. Szintén égetéssel ártalmatlanítják a desztillációs maradékokat, melyek nagy része alacsony dermedéspontú polimereket tartalmazó anyag. A kőolaj-feldolgozó üzemek jelentős veszélyes hulladéka a kénsavas kezelés során keletkező savgyanta-hulladék. Ezeket semlegesítés után ugyancsak égetik [5, 6]. A fenti anyagok mellett a hulladékok jelentős része gázhalmazállapotú, ami főleg hidrogént, szén-monoxidot, kénhidrogént, merkaptánokat és bizonyos szénhidrogéneket jelent. Ezek általában kis koncentrációban vannak jelen, így gazdaságos feldolgozásuk nem megoldott. Természetesen a környezetbe nem lehet kivezetni ezeket az anyagokat, így leggyakrabban égetéssel ártalmatlanítják az ilyen típusú hulladékokat. Üzemanyagtartályok meghibásodásakor vagy szabálytalan használatkor a különféle szénhidrogének gőzei a levegőbe juthatnak, melyet szükség szerint el kell kerülni [6].

Hulladékként jelentkeznek az elhasznált motorolajok és üzemanyagok, melyek mennyisége akár több tíz millió tonna is lehet. A gépjárművek üzemelésekor, vagy olajipari vezetékek, tárolótartályok meghibásodásakor keletkező fáradt olajok szennyezőanyagai főleg szénhidrogénekből keletkező oxidációs termékek, adalékanyagok bomlástermékei, korom, víz. Ezek az anyagok a vizeket és a talajt is szennyezhetik, így kezelésük rendkívül fontos. A fáradt olajat egyszerűen el lehet égetni, de ma már elterjedtebb a hasznosítás, mely regenerálás útján lehetséges. Ennek hatékony megvalósításához ezeket a hulladékokat elkülönítve be kell gyűjteni, hogy gazdaságosan és biztonságosan vissza tudják forgatni. Ezt követően vízmentesítik a fenti hulladékokat, majd adszorpciós és extrakciós kezelés után vákuumdesztillációval regenerálhatók.

A szerves vegyipar hulladékainak további részét a szerves oldószer hulladék jelenti, melyek kapcsán legfontosabb a megelőzés és a recirkuláció, azaz a desztilláció utáni újrahasználat. Más kezelés hiányában az oldószer hulladékokat is égetéssel lehet ártalmatlanítani [6].

2. Szervetlen kémiai alapanyagok gyártása és hulladékai

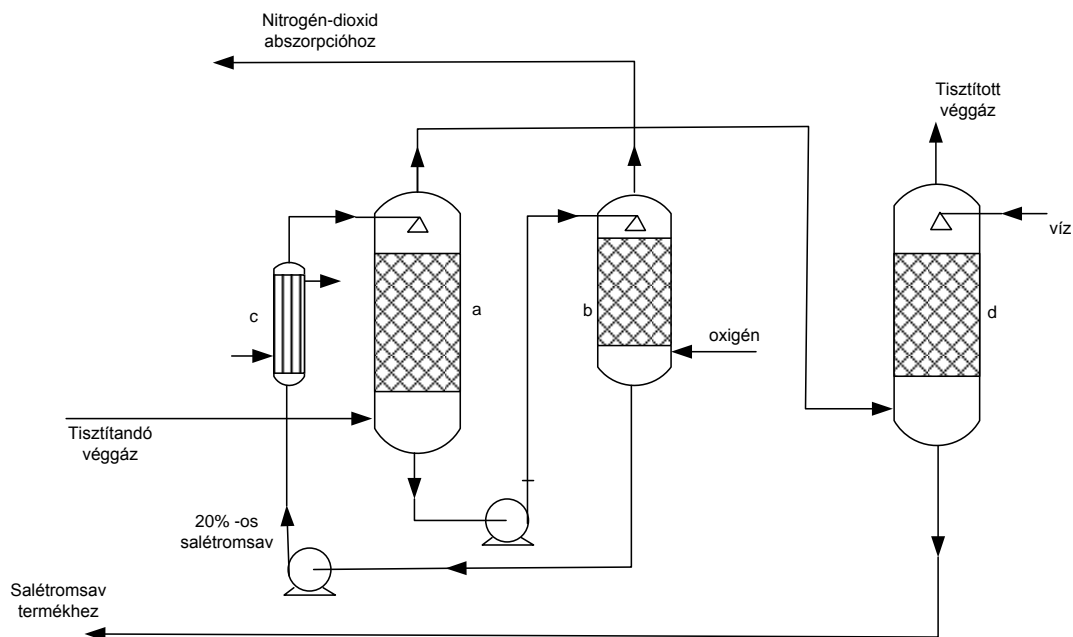
A szervetlen alapanyagok közé különféle gázok (ammónia, klór, hidrogén-klorid, szén-oxidok, kénvegyületek, hidrogén, foszgén), savak (sósav, salétromsav, kénsav, foszforsav, stb.) és lúgok (kálium- és nátrium-hidroxid, ammónium-hidroxid), sók (ammónium-klorid, kálium-karbonát, ezüst-nitrát, stb.), nemfémek, fémoxidok és egyéb szervetlen vegyületek sorolhatók (ólom, kadmium, higany, cianvegyületek stb.) [2, 5].

A szervetlen alapanyagok gyártása is rendkívül változatos hulladékokat eredményez. Halmazállapot szerint lehetnek gáz (gőz), folyékony illetve szilárd halmazállapotúak.

A kénsavgyártás például kén-dioxidot és kén-trioxidot jutat a levegőbe, melyek kibocsátást természetesen EU-s előírások szabályoznak. Ezeket a gázokat illetve gőzöket a kibocsátás helyén ártalmatlanítani kell. Megoldást jelenthet a kondenzáció, mely általában hűtéssel választja le a gázokban megtalálható gőzöket és alakítja folyadékká. Előnyös megoldás lehet még a cseppeválasztás, az adszorpció, az abszorpció vagy az oxidatív kezelés is. A cseppeválasztás nehézségi erő, ütköztetés vagy centrifugális erő által valósítható meg, melynek kedvez az áramlási sebesség csökkentése illetve a gáz-folyadék sűrűségkülönbsége. A gázhalmazállapotú hulladékokat folyadékban elnyelve is kezelhetjük, mely esetén az ellenáram alkalmazása növeli a hatékonyságot. Erre az abszorberek alkalmasak, a technológia terméke pedig több területen is hasznosítható. Gázok megkötésére adszorbenseket (szilikagél,

aktív szén, zeolitik, stb.) is használhatunk, de ez az eljárás a többihez képest drágább. Az adszorbeált hulladék deszorpció után újrahasznosítható [6]. Megoldást a szennyezés csökkentésére a technológia módosítása is jelenthet, mely lényege az ún. kettős kontaktozás, illetve a véggázok hatékonyabb tisztítása.

Hasonló a helyzet a salétromsav előállításánál, ahol főleg nitrozus gázok (NO_x) keletkeznek hulladékként. Ezek mennyiségének csökkentése nyomás alatti gázabszorpció révén valósulhat meg (**232. ábra**). Ez azonban csak nitrogén-dioxid kezelése esetén jelent hatékony módszert, nitrogén-monoxidot tehát oxidálni kell, hogy kezelhető legyen.

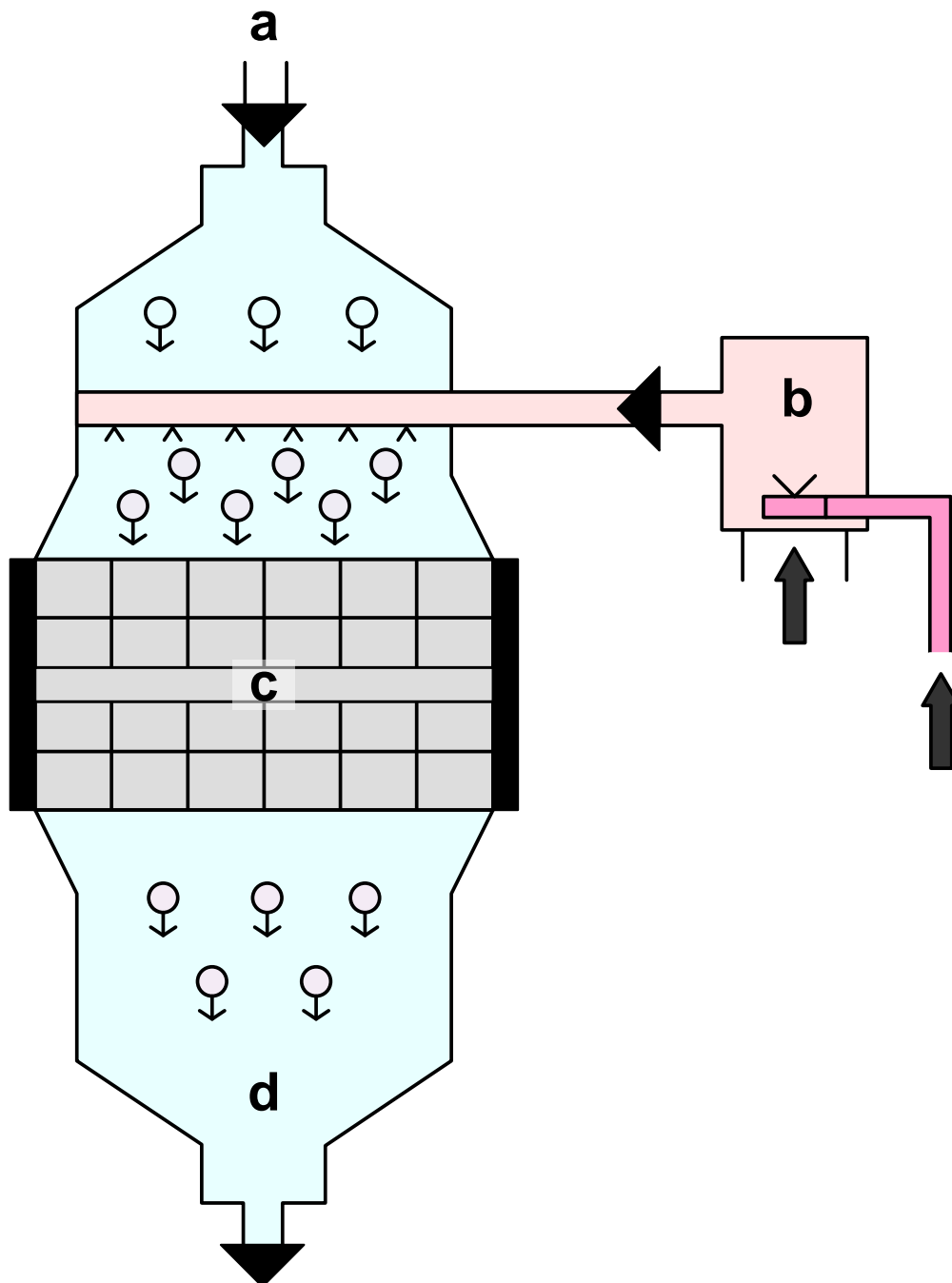


232. ábra. Salétromsavgyári véggáz nitroz-tartalmának kinyerése [6], (a: kiegészítő abszorber, b: regeneráló torony, c: hígsvahűtő, d: végabszorber)

A nitrogén-oxidok kezelésére nemcsak az abszorpció, hanem az adszorpció is megoldást jelenthet, melyhez adszorbensként aktív szenet, szilikagélt, illetve zeolitokat használhatnak. Előnyös megoldás lehet a katalitikus redukció is (**233. ábra**), ahol redukálószerként hidrogént, metánt vagy ammóniát használnak. A leggyakoribb katalizátorok a palládium, a platina és a ródium, esetlegesen fémek oxidjai [6].

Klór-gáz keletkezik a nátrium-klorid oldat higanykatódos elektrolízise során, melyet nátrium-hidroxid oldattal vagy más lúgoldattal lehet átalakítani, vagy akár a gáz sósav előállítására is használható, mely hulladékgazdálkodási szempontból előnyös megoldást jelent. A fenti eljárásnak veszélyes hulladéka lehet az esetlegesen kikerülő higany, mely az üzem különböző

részein lehet jelent, így a szigorú kezelési illetve technológiai utasításokat nagyon pontosan be kell tartani. Az egyes technológiai lépések esetén többféle védekezési lehetőség használatos, melyek egyik lehetősége az aktívszenes vagy egyéb adszorpciós eljárás. A technológia szempontjából a legkézenfekvőbb megoldást a membráncellás szintézis alkalmazása jelenti [6].



233. ábra. Katalizátoros berendezés nitrogén-oxidok mennyiségének csökkentésére [6], (a: tisztítatlan füstgáz, b: ammónia-levegő keverék, c: katalizátor szintek, d: tisztított füstgáz)

A legolcsóbb erős ásványi sav a kénsav, így a kikerülő savhulladékok nagy része elterjedt használatából adódóan ezt jelenti. A hulladék savak híg oldat formájában kerülnek ki és gyakran szennyezettek. Ártalmatlanításuk semlegesítéssel történhet, amelyre olcsó mésztejet vagy ammóniát használnak. A semlegesítés során ebben az esetben kalcium- illetve ammónium-szulfát keletkezik, amit a mezőgazdaságban talajjavításra lehet felhasználni. A szennyeződést nem tartalmazó hulladékot természetesen semlegesítésre is lehet más területeken használni. Előnyös alkalmazás lehet a híg savak akkumulátorsavként, illetve töményítés után műtrágyagyártásban történő alkalmazása. A kénsav mellett a hulladék sósav kezelése is fontos, melynél a sósavgáz melegítéssel történő kihajtása után vízben újra elnyelve regenerálható és újrahasználható. A sósavat elektrokémiai úton értékes klórgázzá is lehet alakítani, mely szintén hasznosítható.

A sókat tartalmazó hulladék oldatok is nagy mennyiségben keletkeznek a vegyipar különböző területein, melyek közvetlen hasznosítása nem megoldott, így bepárlás után főleg hulladéklerakókban helyezik el ezeket az anyagokat vagy elégetik. A nátrium-klorid oldat elektrolízissel hasznosítható, így belőle értékes nyersanyagok állíthatók elő [6].

Redukáló fémek, katalizátorok használatakor gyakran nehézfémű hulladék is marad vissza, melyek veszélyes részét az oldható sók jelentik. Ezek bekerülését a vízforgalomba szigorúan meg kell akadályozni. A galvánipar szennyvizeinek fémtartalma ioncserés eljárással visszanyerhető, majd az oszlop regenerálása után a gyanta ismét használható.

3. Foszfor, nitrogén, kálium alapú műtrágyák gyártása és hulladékai

A növénytermeléshez elengedhetetlenül szükségesek a műtrágyák és a kártevők elleni szerek. Ezen anyagok pótolják a talajból elvont növényi tápanyagokat, valamint növelik is azt, így használatukkal köztudottan jelentős hozamnövekedést lehet elérni. A műtrágyák használata - a szerves trágyázással szemben - jól gépesíthető is, csökkentve az élőlomb-igényt, melynek eredményeképpen a műtrágyázás hatására a termés növekedés közvetlenül az adott évben jelentkezhet.

A növények nitrogénszükségletét különböző nitrogénvegyületekkel lehet kielégíteni. A természetes nitrát-készletek nem elegendőek, ezért volt rendkívüli jelentőségű Haber

felfedezése az ammónia szintézisére, melyből a műtrágyázásra használható ammónium-nitrátot illetve karbamidot lehet előállítani.

A műtrágyák nem megfelelő használata illetve a helytelen hulladékkezelés azonban nagyon sok problémát jelent. Túladagolásuk ugyanis szennyezi vizeinket és a talajt. Környezetünkre főleg a talajból kimosódott és a talajvízbe vándorló nitrogén hat károsan, egyrészt a felszíni vizek eutrofizálása miatt, másrészt a kutak és az ivóvízbázis nitrát-tartalmának növekedése által. A túlzott mértékű műtrágyázás a kalcium kilúgozásának fokozásával hosszú távon elsavanyítja a talajt, mely a meszesett talajoknál csökkenti a talajjavítás tartamhatását. A növények minőségében is jelentkehetnek kedvezőtlen hatások, melyek szintén a műtrágyázással kapcsolatosak, erre példa, hogy a spenótban a műtrágyázás miatt nő a nitrát-tartalom. Az említett problémák mellett a talaj mikroelem-tartalma is változhat, illetve kedvezőtlen tapasztalat az is, hogy a gyomnövények is jobban fejlődnek a műtrágyázott területeken, mely mechanikus vagy kémiai úton kompenzálható. A fenti példák is bizonyítják, hogy a helyes műtrágya használat elengedhetetlen a környezet védelme érdekében, továbbá az is fontos, hogy a gyártás során keletkező hulladékokat is megfelelően kezeljük.

A szuperfoszfát műtrágyagyártás során gázhalmazállapotú szennyezőanyagok is kikerülhetnek a természeti környezetbe, melyek nagy része hidrogén-fluorid és szilícium-fluorid. Ezek szintén feldúsulhatnak a növényekben, a takarmányban, így az emberre is veszélyt jelentenek. Megkötésükről és kezelésükről gondoskodni kell. A fenti gázok vízben elég jól oldódva abszorpciós úton kezelhetők, miközben szilikofluorid (H_2SiF_6)-oldat keletkezik. Ez az oldat az alumíniumgyártásban a kriolit előállítására alkalmazható.

Az ammónium-nitrát műtrágya gyártása során főleg légszennyező anyagok kerülhetnek ki, mely savcseppeket, esetleg ammóniát jelentenek. Ezek felfogásáról, megkötéséről gondoskodni kell. A granulátum előállításakor is jelentős szennyezőanyag mennyiség juthat a környezetbe, ami ammónium-nitrát és vízgőz keveréke vagy por. Ezeket az anyagok a többi technológiai egységben keletkező egyéb gázokkal együtt tisztításra kerülnek. A szórótorony technológiai átalakítása jelenthet még megoldást, melynek során ún. porlasztókúp alkalmazásával a keletkező szennyezőanyagok mennyisége csökkenthető.

Ammóniából szén-dioxiddal karbamidot lehet előállítani, mely szintén elterjedt műtrágya. Ebben a technológiai folyamatban gázhalmazállapotú szennyezőanyagként ammónia, illetve

szén-dioxid kerülhet a levegőbe, melyeket célszerű vízben elnyeletni vagy az ammóniát közömbösíteni. A granulálásnál hasonló problémák jelentkeznek, mint az ammónium-klorid előállításánál [6, 8].

4. Növényvédőszer gyártása és hulladékai

Mezőgazdasági területen rendkívüli a jelentősége a különböző növényvédőszer, azaz peszticidek alkalmazásának. Ebbe a fogalomkörbe sorolható minden olyan anyag, mely alkalmas a mezőgazdasági haszonnövények, termények károsodásának gátlására. A károsodást előidéző élőlény alapján, illetve attól függően, hogy milyen károkozóra hat a növényvédőszer lehet:

- Víruspusztító (viricid)
- Baktériumölő (baktericid)
- Gombaölő (fungicid)
- Állati kártevőt irtó (zooicid)
- Rovarirtó (insecticid)
- Gyomirtó (herbicid) növényvédő szer.

A peszticidek a kereskedelemben különféle segédanyagokkal együtt találhatók meg, így a hatóanyag és a szer megkülönböztetése rendkívül fontos. A hatóanyag az a kémiai vegyület, mely a kárt okozó élőlényt elpusztítja, a szer pedig a késztermék, amely a felhasználóhoz eljut. A segédanyagok elsősorban a hatóanyag oldékonyságát, tapadó képességét, nedvesítő képességét, stb. segítik elő. Ezek tehát nem ártalmatlan szerek, de helyes mértékű használatuk nem jár veszéllyel. Igen nagy számú növényvédőszer van kereskedelmi forgalomban, melyek maguk is és hulladékaik is rendkívül veszélyesek, sok esetben a bomlástermékeik mérgezőek. A peszticidek szennyezhetik a talajt, a kimosódás által pedig a hidroszférát is. Gyakran a legnagyobb veszélyt az jelenti, hogy esetlegesen nemcsak a kárt okozókat pusztítják el, hanem más élőlényekre is veszélyt jelenthetnek. A peszticidek használatával akár ritka növények vagy állatfajok is kipusztulhatnak vagy éppen esetlegesen túlszaporodhatnak, ami további nem várt természeti következményekkel járhat. Ezért fontos kritérium, hogy a peszticidek szelektívek legyenek, azaz az élőlények csupán kisebb csoportjára fejtsenek ki mérgező hatást és így kímélik a hasznos vagy közömbös élőlényeket.

A növényvédő szerek esetén a toxikusság vizsgálata mellett nagyon fontos elvárás, hogy a természeti környezetben ezen vegyületek rövidéletűek legyenek, vagyis gyorsan lebomoljanak, ugyanakkor ezen rövid idő alatt fejtsék is ki a peszticid hatást. Ez a probléma világviszonylatban először a DDT {1,1,1-triklór-2,2-bisz(4-klórfenil)etán} esetén merült fel, ami nem volt túl toxikus, de a természetben sokáig megmaradt, ugyanis a melegvérűek zsírszövetében felhalmozódott. Ma már ezt a növényvédőszert különféle paration-származékokkal helyettesítik, mely anyagok könnyebben bomlanak, de emlősökre mérgezőbbek. Fontos a helyes dózis megállapítása és használata is, melyhez különféle biológiai és kémiai eljárásokat hívnak segítségül, s így az optimális és a természet egyensúlyát védő növényvédőszereket fejlesztenek ki [4, 6].

A növényvédőszerek esetén alkalmazott gyártási folyamat mindenképpen zárt rendszerű technológia kell, hogy legyen, mert a keletkező hatóanyagok többsége nagyon veszélyes mérge. A felhasználásra nem került szereket mindenképpen kémiai úton ártalmatlanítani kell (hidrolízis, oxidáció). Nagyon gyakori kezelési forma az égetés, melyet elsősorban a szerves növényvédőszereknél és a göngyölegeknél alkalmaznak. Ebben az esetben az égetés melléktermékeit is nagy gonddal kell kezelni. A növényvédőszer gyártás során gázhalmazállapotú hulladékok is keletkeznek, melyeket alkalmas mosóberendezésekben lehet ártalmatlanítani [6, 8].

5. Gyógyszeripar és hulladékai

A gyógyszeripar is sokfajta veszélyes hulladékot, pl. a gyógyszergyártáskor keletkező szennyezett oldószert, gyártási anyalúgot, üstmaradékot bocsát ki.

A legnagyobb mennyiségben az oldószerek jelentkeznek, melyek főleg kristályosítási, extrakciós vagy valamilyen mosási folyamatban keletkeznek. Bizonyos részüket desztillációs úton regenerálni lehet, de a szigorú gyógyszerkönyvi előírások szabályozzák az újbóli használatukat. Használható eljárás az adszorpció is, akkor ha pl. a desztilláció hatékonyan nem valósítható meg. Ezzel a módszerrel a szerves oldószergőzők szintén visszanyerhetők. A leggyakrabban alkalmazott adszorbensek: zeolitok, alkáliföldfém-alumínium-szilikátok, molekulasziták. Az adszorpció mellett a hulladékkezelés abszorpció útján vagy kondenzációval is megoldható. A tisztított oldószerek más területeken hasonló célra

felhasználhatók vagy ártalmatlanításuk égetéssel oldható meg. A használt oldószerek egy része halogénezett, melyek élettanilag rendkívül veszélyesek, ugyanis az élő szervezetben akumulálódhatnak és mérgező hatásúak. Az égetésnél gyakran jelentenek problémát ezek a halogén- vagy kéntartalmú oldószerek, ebben az esetben az ezekből keletkező veszélyes (rákkeltő) anyagokat kezelni kell. Ma már a legtöbb alkalmazási területen próbálják kiváltani ezeket az anyagokat.

A gyártási maradékok rendkívül változatosak, tulajdonságaikban, veszélyességükben is jelentősen különböznek. Többségük desztillációs maradék, használt adszorbens, extrakciós maradék vagy valamilyen szennyezett göngyöleg. Ezeket össze kell gyűjteni, átmenetileg tárolni, majd ezt követően égetéssel ártalmatlanítani.

A gyógyszergyártás fermentációs folyamatai gyakran rendkívül bűzösek, így a keletkező véggázokat kezelni kell. A kezelés általában a kellemetlen szagot okozó kémiai anyagok abszorpciós vagy adszorpciós úton történő töményítésével kezdődik, majd a koncentrált anyagok deszorpció után tökéletes égetéssel ártalmatlaníthatók. Előfordul, hogy a szaganyagokat elfedik, maszkírozzák, de ez környezetvédelmi szempontból helytelen megoldást jelent, így a fenti művelet alkalmazását kerülni kell.

A gyógyszergyártás során a tabletták, keverékek előállítására esetlegesen por-szennyezéssel is járhat, ami zárt rendszerek alkalmazása mellett visszaszorítható. Biztonsági okokból a por felfogása megfelelő porleválasztó rendszerek és berendezések segítségével biztonságosan megoldható. Erre a célra zsákos vagy ciklonos porleválasztókat illetve elektrosztatikus elven működő berendezéseket alkalmazhatunk [5, 6].

6. Robbanószerszámok és hulladékaik

A szakirodalom megkülönböztet robbanóanyagokat és robbanásra képes anyagokat. Az előbbiek polgári vagy katonai célra alkalmazott robbanásra képes anyagok, melyek hatása jól kiszámítható, és megfelelő használatuk biztonságos, míg utóbbiak egy vagy többkomponensű kémiai anyagokat jelentenek és gyakran instabilak, kezelésük veszélyes.

A robbanóanyagok működésükkor a metastabil állapotból megfelelő aktiválás (termikus, mechanikai hatás vagy lökeshullám) után zökkenhetnek ki, kémiai reakciók által működnek, akár oxigén nélkül. Ezen anyagokat gyakran békés célokra alkalmazzuk, így fontos szerepük

van a bányászatban, épület-bontásokban, roncsok eltávolításában is. Érdekes alkalmazási területeik még a porhegesztés, a felületi edzés, olajfúrások, átkristályosítás, fémmegmunkálás.

A végbemenő folyamat lehet égés vagy robbanás, ez utóbbi pedig deflagráció, ahol a robbanási sebesség a nyomás növekedésével nő, illetve lehet detonáció, mely esetén a robbanás sebessége független a környezeti nyomástól.

Kémiai összetételük alapján a robbanásra képes anyagok lehetnek: nitro-vegyületek, nitrátok (salétromsav-észterek, alifás- és aromás nitro-vegyületek), klorátok, perklorátok, peroxidok, azidok, acetilidek. Kevésbé elterjedt robbanásra képes kémiai anyagok még a nitronátok, nitrozo-vegyületek, stb. Természetesen a felhasználási területek alapján is lehet csoportosítani a fenti anyagokat:

- brizáns (ipari és katonai robbanóanyagok, pl: TNT, paxit, dinamitok) robbanóanyagokra,
- iniciáló robbanóanyagokra (ólom-azid, tetrazén),
- tolóhatású robbanóanyagokra (lőporok),
- illetve pirotechnikai elegyekre (hang-, fény-, füst- és világító elegyek).

A robbanóanyagok rendkívül változatos összetételűek, így kezelésük nagy körültekintést igényel. A robbanóanyagok gyártása és használata után ezen anyagok is hulladékként maradnak vissza. A keletkező hulladéktípusokat a keletkezés helye alapján bontják csoportokra és ezeket eltérő módon kezelik. A robbanóanyagok gyártása során keletkező hulladékot leggyakrabban égetéssel ártalmatlanítják, míg a tárolás során a hatóanyagok nagy része instabillá válva könnyebben kezelhető. Ez utóbbi csoportot szintén égetéssel vagy felszíni robbantással ártalmatlanítják [5, 9].

Irodalomjegyzék

[<http://www.kfki.hu/chemonet/osztaly/50/z2.html>, (SZÉPVÖLGYI J.: Környezeti kémia-feladatok és lehetőségek; 2001; Budapest)

193/2001. (X. 19.) Kormányrendelet: Az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás részletes szabályairól

Council Directive 96/61/EC (1996. szept. 24.): IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control – Integrált szennyezés-megelőzés és -ellenőrzés):

98/2001. (VI. 15.) Kormányrendelet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről

Vonyó A., de Jonge J.: Hulladékgazdálkodás, jegyzet a posztgraduális környezetmenedzser képzéshez; 1996; Veszprém, Veszprémi Egyetem, kézirat.

16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet a hulladékok jegyzékéről

22/2004. KvVM rendelet a hulladékok jegyzékéről szóló 16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet módosításáról

Országos Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Főigazgatóság Környezetvédelmi és Természetvédelmi Igazgatósága (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium megbízásából): Adatok hazánk környezeti állapotáról; 2005; Budapest

2000. évi XLIII. törvény a hulladékgazdálkodásról

44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet a veszélyes anyagokkal és a veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól

BORDA J., LAKATOS GY., SZÁSZ T.: Környezeti kémia II., Ipari környezetvédelem (egyetemi jegyzet); 1994; Debrecen; KLTE, TTK, 125: 2-44.

KÖRVÉLYESSY GY.: Az EU új vegyi anyag-szabályozása, A REACH-ről másképpen: mindenkinek; 2006; Magyar Kémikusok Lapja 8, 265-268.

164/2003. (X. 18.) Kormányrendelet a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről

313/2005. (XII. 25.) Kormányrendelet

VERMES L.: Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás; 1998; Budapest; Mezőgazda Kiadó, 201: 21-23.

192/2003. (XI. 26.) Kormányrendelet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről szóló 98/2001. (VI. 15.) Kormányrendelet módosításáról

<http://www.matud.iif.hu/02dec/beck.html> : A kémia haszna és kora

LÁZÁR I.: Különleges és veszélyes anyagok (egyetemi jegyzet); 1995; Debrecen; Kossuth Egyetemi Kiadó, 204:127-183.

EN 13137 TOC meghatározása a hulladékban, iszapban és üledékekben.

prEN 14346 Szárazanyag-tartalom számítása a száraz maradék vagy a víztartalom alapján.

EN 13657:2002 Characterization of waste - Digestion for subsequent determination of aqua regia soluble portion of elements.

EN 12506:2003 Characterization of waste - Analysis of eluates - Determination of pH, As, Ba, Cd, Cl⁻, Co, Cr, Cr VI, Cu, Mo, Ni, NO₂⁻, Pb, total S, SO₄²⁻, V and Zn

EN 13370:2003 Characterization of waste - Analysis of eluates - Determination of Ammonium, AOX, conductivity, Hg, phenol index, TOC, easily liberatable CN⁻, F⁻

EN 13656:2002 Characterization of waste - Microwave assisted digestion with hydrofluoric (HF), nitric (HNO₃) and hydrochloric (HCl) acid mixture for subsequent determination of elements.

prEN 14039 A C10-C40 tartományba eső szénhidrogén-tartalom meghatározása gázkromatográfiával

prEN 14405 Szivárgási tulajdonságok vizsgálata az alulról felfelé végzett áramoltatásos oszlopteszt alapján.

EN 12457/1-4 Szivárgás – Szemcsés hulladékok és iszapok szivárgási tesztje

MSZ 21978-6:1985 Veszélyes hulladékok vizsgálata. Szárazanyag-tartalom, izzítási maradék és veszteség meghatározása.

MSZ 21978-9:1998 Veszélyes hulladékok vizsgálata. Hulladékkivonatok készítése fizikai-kémiai vizsgálatokhoz.

MSZ 21978-15:1999 Veszélyes hulladékok vizsgálata. A biokémiai oxigénigény (BOI) meghatározása.

MSZ 21978-5:1984 Veszélyes hulladékok vizsgálata. Hidrogénion-koncentráció (pH) meghatározása.

MSZ 21976-9:1982 Települési szilárd hulladékok vizsgálata. Elektromos vezetés meghatározása.

MSZ 21978-12:1991 Veszélyes hulladékok vizsgálata. A villamos vezetés meghatározása.

MSZ 21978-41:1999 Veszélyes hulladékok vizsgálata. A PCB-tartalom meghatározása.

MSZ 21978-40:1999 Veszélyes hulladékok vizsgálata. A PAH-tartalom meghatározása.

MSZ 21978-37:1989 Veszélyes hulladékok vizsgálata. A szerves oldószerextrakt meghatározása.

7.9 Az egészségügyi hulladékok kezelése

Dr. Molnár Károly

Magyarországon évente mintegy 80.000 tonna hulladék keletkezik az egészségügyben. Ennek mintegy 10%-a sorolható a veszélyes hulladékok körébe, a többi hulladék a lakossági hulladékkal együtt kezelhető. Az Egyesült nemzetek Egészségügyi Világszervezete, a WHO állásfoglalása szerint az egészségügyi hulladékok nem megfelelő kezelésének következtében világszerte, 2000-ben elsősorban a fertőzött injekciós tűk és fecskendők használata következtében:

21 millió hepatítisz B vírus fertőzést,
2 millió hepatítisz C vírus fertőzést és
260 000 HIV fertőzést okozott.

Az oltási fertőzések kockázata mellett a nem megfelelő hulladékártalmatlanítás, a kis kapacitású, megfelelő füstgáztisztítás nélküli égető berendezésekben történő ártalmatlanítás szintén egészségügyi kockázatot jelent. A kockázatot elsősorban az alacsony hőmérsékleten, füstgáztisztítás nélkül történő égetésnél a levegőbe kerülő tetra-klór-dibenz-dioxinok (TCDD) és tetra-klór-dibenz-furánok (TCDF), mérgező nehézfémek, toxikus és karcinogén hatása okozza.

A WHO által javasolt stratégia a kockázatok csökkentésére

Rövidtávra

- Az összes fecskendőt azonos műanyagból készíteni az újrahasznosítás érdekében;
- PVC-mentes eszközök használata;
- Újrahasznosítás fejlesztése (műanyag, üveg, fém stb.);
- Kutatás a kis kapacitású hulladékégető berendezések emissziójának csökkentésére.

Középtávra

- További erőfeszítések a szükségtelen injekciózás és így a hulladékok csökkentésére;
- Az alacsony koncentrációjú TCDD/TCDF emisszió egészségkárosító hatásának kutatása;
- Kockázatelemzés az egészségügyi hulladékok és az égetés hatásainak elemzésére.

Hosszú távra

- Nem-égetéses eljárások fejlesztése az egészségügyi hulladékok ártalmatlanítására, a nem megfelelő hulladékkezelés és a TCDD/F karcinogén hatása kockázatának csökkentésére.

7.9.1 Az egészségügyi hulladékok kezelésének célja, típusai, gyűjtése és szállítása

7.9.1.1 A hulladékkezelés feladata

Az egészségügyi személyzet a lakosság és a környezet károsítása kockázatának csökkentése;

A hulladék mennyiségének csökkentése;

A hulladékok elkülönített gyűjtésének biztosítása;

A megfelelő hulladék gyűjtőhely kialakítása az osztályon és a kórházban;

A megfelelő belső szállítási útvonal kialakítása;

A hulladékok lehetőség szerinti hasznosítása;

A hulladékok környezet-, és egészségkímélő módon történő ártalmatlanítása.

7.9.1.2 Az egészségügyi hulladékok típusai.

Az egészségügyi ellátásban keletkező hulladékokat két nagy csoportra oszthatjuk, az egyik a települési hulladékok csoportja, a másik csoport az emberek és állatok egészségügyi ellátásából vagy azzal kapcsolatos kutatásból származó hulladékok:

EWC kód

Egyéb települési hulladék	20 03 01
Éles, hegyes hulladékok	18 01 01
Testrészek szervek	18 01 02
Fertőző hulladékok	18 01 03*
Vegy-, gyógyszerhulladékok	18 01 06*
Citotoxikus, citosztatikus szerek	18 01 08*
Gyógyszerek, melyek nem veszélyesek	18 01 09
Fogászati amalgám	18 01 10*

* jelölés a veszélyes hulladékokat jelöli

A hulladékok gyűjtésének egyik alapszabálya, hogy az elkülönített gyűjtésüket a kezelésüknek megfelelően kell végezni az előírt gyűjtőeszközökbe.

7.9.1.3 Az egyes hulladéktípusok javasolt kezelési eljárásai és gyűjtőeszközei.

AZ EGÉSZSÉGÜGYI HULLADÉKOK TÍPUSAI	A JAVASOLT KEZELÉSI ELJÁRÁSOK	GYŰJTŐESZKÖZÖK
Fertőző hulladékok 18 01 03* (beleértve a fertőző biológiai és éles hulladékokat is.)	Veszélyes-hulladék égető. Alternatív eljárások: gőzös fertőtlenítés, száraz hőkezeléses, vegyi kezeléssel eljárások	Zsák polietilén, 0,06 mm vastag, sárga, megfelelő jelöléssel. Az éles eszközök részére szűrásálló műanyag vagy papírdoboz.
Biológiai hulladékok (nem fertőző) 18 01 02	Temetés Lakossági hulladékégető (speciális kialakítás esetén.) Krematórium	Folyadék-tömören záró műanyag edény (badella).
Éles (nem fertőző) 18 01 0 1	Gőzös fertőtlenítést követő hasznosítás Lakossági hulladékégető (speciális kialakítás esetén.)	Műanyagból vagy fémből készült szűrásálló-, többször-használatos gyűjtőedény
Vegyi, mérgező, citotoxikus szerek 18 01 08*	Veszélyes-hulladék égető.	A hulladék halmazállapotának megfelelő gyűjtőedény
Radioaktív hulladékok (kis aktivitású, rövid felezési idejű)	Megfelelő tárolás az aktivitás csökkentése a megengedett sugárzási értékig, majd egyéb veszélyessége alapján ártalmatlanítás	Az aktivitás lecsökkentését követően a halmazállapotnak megfelelő gyűjtőedényben
Egyéb veszélyes hulladék	Veszélyes-hulladék ártalmatlanítási módszerek	a halmazállapotnak megfelelő gyűjtőedényben
A lakossági hulladékkal megegyező részek	Lakossági hulladék elhelyezési eljárások	1,1m ³ -es konténerben

7.9.1.4 Az egészségügyi hulladékok kezelésének legjobb környezetvédelmi gyakorlata (BEP).

A keletkező hulladékok típusának meghatározása és elkülönített gyűjtése.

A hulladékok mennyiségének és veszélyességének csökkentése.

A megfelelő gyűjtőeszközök, gyűjtőhelyek alkalmazása, kialakítása.

A felelősök munkájának leírása.

Az egyes hulladék frakciók legmegfelelőbb kezelésének meghatározása.


A hulladékkezelés előírás szerinti dokumentálása.

A hulladékkezelés költségeinek számítása és lehetőség szerinti csökkentése.

A személyzet rendszeres oktatása.

7.9.1.5 Az egészségügyi hulladékok gyűjtőeszközeivel szemben támasztott követelmények.

7.9.1.5.1 Zsákok

anyaga	Műanyag, nem PVC
vastagsága	0,06 mm
térfogat	Maximum 60 liter
színe	sárga
tartozék	Záró-szalag
Jelölés	Nemzetközi bioveszély jel: 
címke	A hulladék termelőjének neve, hulladék fajtája, keletkezés helye, dátuma, zsákot lezáró neve, aláírása
felirat	Fertőző hulladék

7.9.1.5.2 Dobozok, badellák

anyaga	Műanyag, nem PVC, vagy impregnált ill. műanyag betéttel ellátott
Ejtési próba	1 m magasságból
Szűrőpróba	Injekciós tű 30 cm magasságból beejtve ne szűrje ki.
Szivárgási próba	5%-ig vízzel töltve 24 órás állásnál ne ázzon át
Térfogat	Maximum 60 liter
színe	sárga
zárás	Lezárást követően roncsolás nélkül nem nyitható
Jelölés	Nemzetközi bioveszély jel
címke	A hulladék termelőjének neve, hulladék fajtája, keletkezés helye, dátuma, zsákot lezáró neve, aláírása
Felirat	Fertőző hulladék
Bedobónyílás biztonsági csapózárral éles eszközök gyűjtődobozainál	Max: 20 x 5 cm

7.9.1.6 A fertőző hulladékok gyűjtése.

Az egészségügyi hulladékokat hűtés nélkül legfeljebb 48 óráig szabad gyűjteni az ártalmatlanításig.

Hűtve 0-5 °C hőmérsékleten legfeljebb 30 napig tárolható a hulladék.

A már megtelt és lezárt gyűjtőeszközt nem szabad kinyitni.

A fertőző hulladékokhoz a gyűjtés során illetéktelenek ne férhessenek hozzá.

7.9.1.7 Az „SZ” és „K” kísérőjegyek használata.

Az „SZ” kísérőjegy veszélyes hulladék szállításához szükséges dokumentum. Az „SZ” kísérőjegyet a veszélyes hulladék termelője állítja ki 4 példányban, melyből az 1. 2. és 3. példányt átadja a szállítónak (vagy 2. példányt az ártalmatlanítónak, ha a termelő maga szállít) a 4. példány a termelőnél marad. A szállító a 2. példányt megőrzi 1. és 3. példányt a kezelőnek átadja. A 3. példányt a kezelő (ártalmatlanító, hasznosító) visszajuttatja a termelőhöz.

„K” kísérőjegyet tölt ki a veszélyes hulladék begyűjtője, amennyiben az esetenként átvett hulladék mennyisége a 200 kg-ot nem haladja meg. A „K” jegyen a hulladék termelőjének aláírásával igazolnia kell az átadott hulladék mennyiségét és típusát.

Az SZ és K kísérőjegyek a 98/2001. (VI. 11) Korm. Rendelet 2. számú mellékletében megtalálhatók.

7.9.1.8 A veszélyes hulladékok szállítására vonatkozó előírások.

A hulladék termelőjének a veszélyes árúk közúti szállítására (ADR) vonatkozó előírások szerint kell csomagolni és feliratozni a veszélyes hulladékokat. A gépkocsi vezetőjének ADR vizsgálattal kell rendelkeznie a gépkocsinak meg kell felelni az ADR műszaki és alaki előírásainak.

Felmentés ad az ADR a kis mennyiségben keletkező hulladékok esetében.

2 kg-os tűzoltó készülékkel felszerelt gépkocsival legfeljebb 300 kg, 18 01 03* kódszámú hulladék szállítható.

A 18 01 10 kódszámú fogászati célokra használt amalgám hulladék, mint szilárd higany vegyület az UN 2025 szám alá tartozik, ADR kategória 6.1 osztály II. csomagolási csoport.

1 kg-nál kisebb tömegű amalgám, bruttó tömeg: 4 kg. Amelynél nem kell alkalmazni az ADR előírásait.

7.9.2 Hulladékkezelési technikák.

A hulladékok kezelésénél a cél lehet a hasznosítás vagy ártalmatlanítás. Az ártalmatlanítás során csökkenteni kell a hulladék veszélyességét, tömegét vagy mindkettőt. A hulladékok kezelésénél be kell tartani a következő feltételeket.

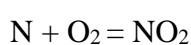
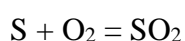
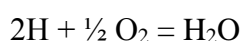
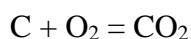
7.9.2.1 A hulladék hasznosításának ill. ártalmatlanításának feltételei.

- a) az emberi egészség veszélyeztetése nélkül történjen;
- b) olyan folyamatok vagy módszerek alkalmazása nélkül kell végezni, amelyek károsíthatják a környezetet;
- c) a vízre, a levegőre, a talajra és a növény- és állatvilágra jelentett kockázat nélkül;
- d) kellemetlen zaj vagy szag okozása nélkül;
- e) a tájképre vagy a különleges érdeklődésre számot tartó helyekre gyakorolt kedvezőtlen hatás nélkül;
- f) a legjobb elérhető technikák (BAT) alkalmazása.

7.9.2.2 Az egészségügyi hulladékok égetéssel történő ártalmatlanítása

Az égetés az egészségügyi hulladékok ártalmatlanításának fontos módszere. Az égetés magas hőmérsékletű (850-1100 °C) oxidáció, melynek során a hulladékok égethető komponensei elsősorban füstgázzá, az egyéb nem éghető összetevők égetési maradékká alakulnak. Az égetési maradékok mind térfogatukban mind tömegükben jelentősen kisebbek, mint az égetett hulladék.

Az égetés hő-termelő folyamat, melynek során a hulladék szerves anyag tartalma gázokká és vízgőzzé ég el, majd füstgáz formájában távozik a tüztérből.



A szerves klórtartalom döntően HCl és kismértékben Cl₂ formában jelenik meg az égés után a füstgázban.

Az éghetetlen szerves anyagok salak és pernye formájában, szilárd alakban távoznak a rendszerből. A távozó anyagok minőségét az égetésre kerülő anyagok összetétele, valamint az égetési körülmények (hőmérséklet, áramlási viszonyok, tartózkodási idő, légfelesleg stb.) együttesen befolyásolják. A tökéletlen égés következtében CO és elégetlen szénhidrogének is maradnak a füstgázban.

Az egészségügyi hulladékok égetéssel történő ártalmatlanításának technológiája a következő részfolyamatokra tagolódik: átvétel, szállítás, tárolás, adagolás, égetés és hő-hasznosítás, füstgázhűtés és -tisztítás, salak és pernyekezelés.

Égetési jellemzők

Hőmérséklet

Égetés során a kívánt hőmérséklet az utóégetőben legalább 850 °C, amennyiben a hulladék klórtartalma 1 m/m% alatt van. Amennyiben a hulladék klórtartalma meghaladja az 1m/m %-ot úgy az utóégetőben a füstgáz hőmérsékletét 1100 °C hőmérsékleten kell tartani. Ha az égetést magasabb hőmérsékleten 1200-1700 °C-on végzik, akkor a szerves maradványok olvadékok formájában távoznak a rendszerből, ez az ún. salakolvasztásos módszer.

Tartózkodási idő

A füstgázok kívánatos tartózkodási ideje az utóégetőben legalább 2 s.

Légfelesleg tényező

A hulladékégető berendezésekben a szükséges égéslevegő mennyisége átlagosan 50-150 %-kal nagyobb, mint az égéshez elméletileg szükséges levegő mennyisége. A füstgázban lévő O₂ tartalom általában 8-12 v/v % között változik, szilárd anyagoknál nagyobb, folyadékok égetésénél kisebb és gáznemű anyagok égetésénél a legkisebb. Az elméleti levegőszükségletet az égetendő anyag éghető komponensei és oxigéntartalma tartalma alapján számolható ki. A tényleges levegőszükséglet mennyisége függ még az égető berendezés konstrukciójától, a levegő bevezetés módjától. Az égéslevegő mennyiségét úgy kell szabályozni, hogy a távozó füstgáz oxigéntartalma legalább 6 % legyen.

Áramlási viszonyok

A megfelelő áramlási viszonyok mechanikai eszközökkel (mozgó rostélyok, forgó kemence, bolygató szerkezetek) illetve aerodinamikai módszerekkel (gázáramok irányított mozgatása) érhetőek el.

Az égetés szilárd maradékának mennyisége függ az elégetett hulladékok minőségétől. Szilárd hulladékok égetésekor a salak mennyisége 25....40 m/m %, iszapok és folyadékok égetése során átlagosan 2...10 %.

Ahhoz, hogy egy hulladék égetéssel történő ártalmatlanítását meg tudjuk tervezni és az égetési paramétereket ideális értékre tudjuk beállítani feltétlenül szükséges a hulladék tulajdonságainak ismerete.

Ezek:

- halmazállapot (folyékony, iszap, paszta ,szilárd, vegyes)
- elemi összetétel(C, H, O, N, S, Cl, víz és hamutartalom)
- fűtőérték
- sűrűség
- hamu olvadási jellemzői
- szilárd hulladék: szemcseméret eloszlás, darabméret, szerinti összetétel.
- folyékony hulladékoknál: viszkozitás, gyulladás- és lobbanáspont, szilárd szennyező anyagtartalom -szemcseméret, kémhatás.
- halogéntartalom, nehézfém-tartalom, egyéb mérgező anyagtartalom (pl. PCB).
- egyéb speciális tulajdonságok (pl. fertőző, vízzel hevesen reagáló, hőmérséklet)

7.9.2.3 Hulladékégető berendezések

A hulladékégetőket úgy kell üzemeltetni, hogy az égési folyamat végén a salak és a tüztéri hamu összes szerves szén (a továbbiakban: TOC) tartalma kisebb legyen, mint 3%, vagy az izzítási veszteség kevesebb legyen, mint az említett maradékanyag száraz súlyának 5%-a. Ennek érdekében, ahol szükséges, a megfelelő hulladék előkezelési eljárást kell alkalmazni.

A hulladékégetőket úgy kell megtervezni, kialakítani, megépíteni és üzemeltetni, hogy a keletkező füstgázok legalább 2 mp tartózkodási ideig tartózkodjanak az utóégetőben 850 °C-on. Több mint 1% szerves kötésben lévő halogént (klórban kifejezve) tartalmazó hulladék égetése esetében a hőmérsékletnek el kell érni az 1100 °C-ot.

A hulladékégetőket fel kell szerelni legalább egy támasztó égővel. Ennek az égőnek automatikusan be kell kapcsolnia, ha a füstgáz hőmérséklete az utolsó égéslevegő hozzávezetés

után, a halogéntartalomtól függően 850 °C alá, illetőleg 1100 °C alá csökken. Az égőt működtetni kell az égetőegység indítási és leállítási szakaszában is, annak érdekében, hogy legalább 850 °C, illetőleg legalább 1100 °C hőmérséklet biztosítva legyen az említett szakaszok teljes időtartama alatt, valamint a leállítási szakaszban egészen addig, amíg elégetlen hulladék található a tüztérben.

Az indítási és leállítási szakaszban, vagy amikor a füstgáz hőmérséklete 850 °C alá, illetőleg 1100 °C alá csökken, a támasztó égőt nem szabad olyan tüzelőanyaggal üzemeltetni, amelynek szennyezőanyag-kibocsátása nagyobb, mint a külön jogszabályban előírt összetételű anyag, propán-bután gáz vagy földgáz elégetése esetében.

Az együttegő művet úgy kell tervezni, kialakítani, megépíteni és üzemeltetni, hogy a hulladék együttegése során keletkező gáz hőmérséklete megfelelő szabályozás és homogenizálás alkalmazásával, még a legkedvezőtlenebb körülmények között is elérje a 850 °C-ot legalább 2 mp tartózkodási ideig. Több mint 1% szerves kötésben lévő halogént (klórban kifejezve) tartalmazó hulladék együttegése esetében a hőmérsékletnek legalább 2 mp tartózkodási időig el kell érni az 1100 °C-ot.

Az égető- és együttegő műnek üzemeltetnie kell egy olyan módon kialakított automatikus rendszert, amely megakadályozza a hulladék beadagolását a következő esetekben:

- a) minden olyan alkalommal, ha a füstgáz hőmérséklete nem éri el a 850 °C-ot, illetőleg az 1100 °C-ot;
- b) minden olyan esetben, mikor az e rendelet által előírt folyamatos mérés szerint a füstgáztisztító rendszer működési zavara vagy hibája miatt, két félórás mérés alapján, túllépik a kibocsátási határértékeket.

Az égető-, együttegő művekben keletkező hőt a lehető legnagyobb mértékben hasznosítani kell.

A fertőző kórházi hulladékot egyenesen a tüztérbe kell adagolni anélkül, hogy előzőleg összekevernék más hulladékfajtaival, vagy azt bármilyen közvetlen kezelésnek vetnék alá.

7.9.2.4 Az egészségügyi hulladékok égetésére használt berendezések

Az egészségügyi veszélyes hulladékok égetésénél a rostély nélküli tüzelőberendezések terjedtek el.

Rostély nélküli tüzelőberendezések fajtái: forgódobos kemencék, égetőkamrák, emeletes kemencék, fluidizációs kemencék, egyéb speciális tűzterek.

Magyarországon a legelterjedtebb típusa az ún. forgódobos kemence, mely tűzálló falazattal kibélelt hengeres tüztér. A vízszinteshez képest enyhén lejt és lassan forog, (0,3 - 2 min⁻¹).

A fordulatszám és a dőlésszög változtatásával lehet a hulladék tartózkodási idejét változtatni a kemencében.

A forgókemencében a hulladék és a füstgázok egyenáramban haladnak. A hulladék a henger palástjával együtt a tengelyirányra merőlegesen is mozog, így megnő az ún. égéságy aktív felülete. A forgódobos kemencékhez az esetek többségében utóégető kamra csatlakozik, amelyben a forgódobból távozó még kiégetlen füstgáz összetevők égnek ki. A távozó salak általában nedves salakkihordón keresztül hagyja el a berendezés. A Magyarországon üzemelő nagyobb hulladékégetők forgódobos kemencével rendelkeznek. (Dorogi Égető, Györi Égető, Nitrokémia, Fűzfő, Százhalombattai Finomító égetője).

Magyarországon a kizárólag-, ill. főként egészségügyi hulladékok égetésére használatosak az égetőkamrák, melyek vagy szakaszosan üzemelnek, vagy folyamatos üzemvitel esetén biztosítani kell a hulladékok mozgását, továbbítását és keverését. (Septox Kft. égetője, Hajdukomm Kft. égetője, megoldás Kft égetője.)

7.9.2.5 Füstgázhűtés, hő-hasznosítás

Az utóégetőből távozó füstgázok hőmérséklete 850- 1100 °C -os, ezt a füstgáztisztítás előtt 250 - 350 °C-ra le kell hűteni. A hűtés történhet közvetlen és közvetett úton.

Közvetlen hűtés: víz vagy levegő beporlasztása a füstgázáramba. Ennek az eljárásnak hátránya a viszonylag nagy levegőszükséglete, valamint, hogy a turbulencia miatt a szilárd részecskéket a füstgáz tovább viszi magával. Vízbepermetezésnél pedig korrózió léphet fel a füstgáz csatornában.

Közvetett hűtés: hőcserélők, rekuperátorok, hő-hasznosító kazánok alkalmazása.

Az, hogy melyik típusú hűtést alkalmazzuk, függ a hő-hasznosítási lehetőségtől (van-e igény melegvízre, gőzre, villamos energiára), a hulladék fűtőértékétől és az égető hő-teljesítményétől, a beruházási és üzemeltetési költségektől. A nagyobb teljesítményű égetőknél gyakran alkalmazzák a gőzkazánokat. A hő-hasznosító kazán által termelt gőzt többféle módon lehet hasznosítani. Lehet a gőzt átadni a távhőszolgáltatásnak, vagy ipari gőzfelhasználóknak, illetve lehet a gőzzel villamos energiát termelni. Kondenzátorokat is építenek be arra az esetre, ha valamilyen meghibásodás, vagy karbantartás miatt a hő-hasznosítás nem megoldható. A kondenzáltatott gőzt, tápvízként visszavezetik a kazánba.

7.9.2.6 Füstgáztisztítás

A környezet és emberi egészség védelme érdekében a füstgázokkal a levegőbe távozó szennyező anyagok mennyiségét csökkenteni kell

A hulladékégetés során az utóégetőben biztosítani kell az elégetlen komponensek (CO, CH) megfelelő koncentrációját, a többi szennyezőanyagot füstgáztisztítóval csökkentjük. Az egyes szennyező komponensek kibocsátását a következő módszerekkel lehet csökkenteni.

Por, pernye,	zsákos porszűrővel, elektrosztatikus leválasztóval;
HCl, HF, SO₂,	nedves mosóval vagy szárazon alkalmazott reagenssel
Hg	aktív szén adagolással;
NO_x	katalitikus vagy nem katalitikus reaktorban ammónia vagy karbamid adagolással.
Dioxinok	elsődleges intézkedésekkel, mint utóégető,

De Novo szintézis csökkentése gyors hűtéssel ill.

csővégi eljárásokkal, mint aktív szénen történő adszorpcióval, vagy katalitikus reaktorban történő bontással.

7.9.2.6.1 A füstgáztisztítók fő típusai

Nedves füstgáztisztítót nagyobb halogén-, és kén tartalmú hulladékok égetésénél alkalmazzák. Nátrium-hidroxidot vagy kalcium-hidroxidot használnak az tányéros vagy töltött mosótornyokban a savas komponensek megkötésére. Felépítésüket tekintve gyakrabban alkalmaznak külön mosót a sósavra, pH 1 körüli savassággal és külön mosót a kén-dioxidra pH 7-es savassággal.

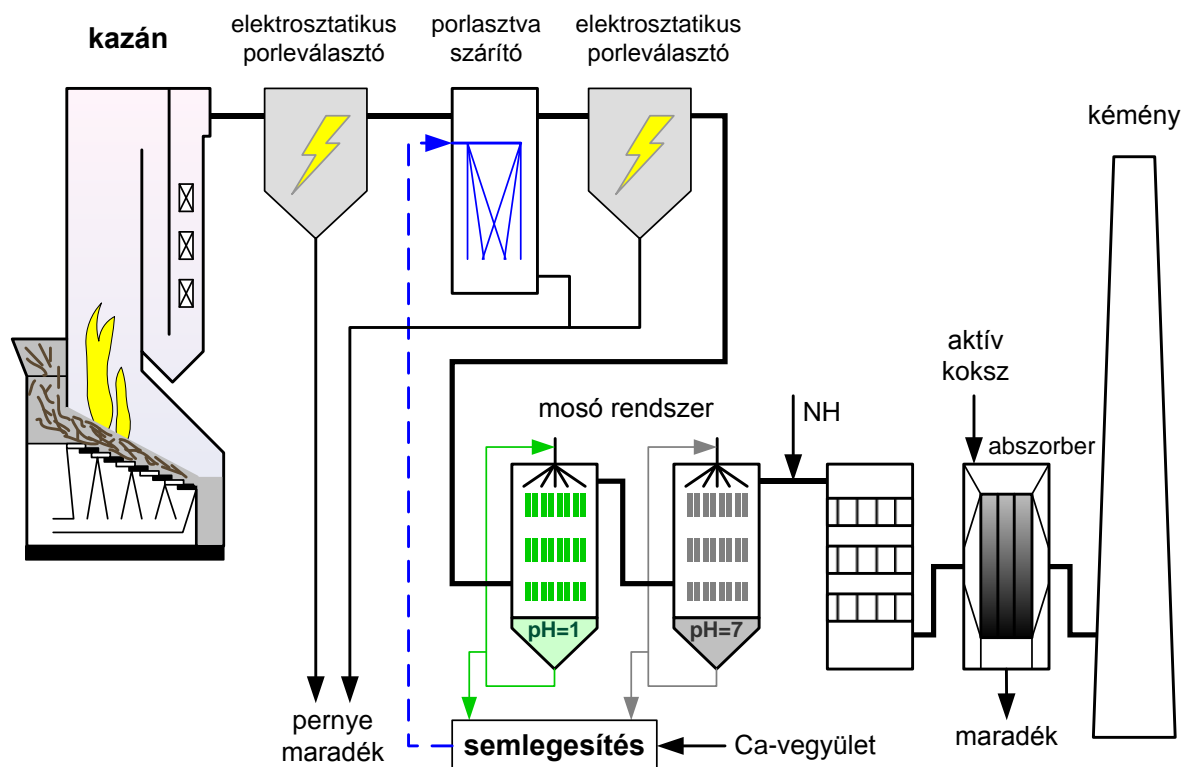
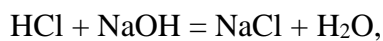
A nedves füstgáztisztítók alkalmazásánál a füstgázban lévő port el kell távolítani a mosók előtt és a füstgázt le kell hűteni a mosás hőmérsékletére, 60-70 °C –ra. A hűtést rendszerint a mosóba vezetés előtt folyadékpermetes gyors hűtővel végzik.

A nedves mosók alkalmazása esetén a dioxinokat aktív koksztöltetű adszorberen kötik meg. Amennyiben a nitrogén oxidok csökkentésére is szükség van, úgy azt a mosók után a füstgázt 300-320 °C-ra melegítve ammóniaadagolással, katalitikus reaktorban végzik. Vannak olyan katalizátorok, melyek alkalmasak a nitrogénoxidok és a dioxinok egyidejű csökkentésére.

A nedves füstgáztisztítás során keletkező szennyvizet kezelni kell. Az egyik módszer a szennyvíznek porlasztva szárítóba történő porlasztása, ahol a víz elpárolog, a vízben lévő oldott sók pedig szilárd fázisban visszamaradnak, melyeket porleválasztóval szűrnék ki a füstgázáramból.

A másik szennyvíztisztítási módszer a víz szennyezőanyagainak kezelése, a toxikus fémek kicsapítása és kiszűrése, a szerves szennyezők aktív szénen történő megkötése. Ezzel a módszerrel a semlegesített szennyvíz oldott sótartalma megmarad. A nedves füstgáztisztító technológia vázlatát a **234. ábra** mutatjuk be.

A nedves füstgáztisztítás során lejátszódó fontosabb reakciók a következők:

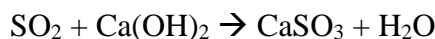
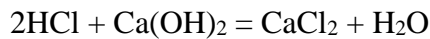


234. ábra. A nedves füstgáztisztítási technológia vázlatja.

Félszáraz füstgáztisztítókat közepes, a *Száraz füstgáztisztítókat* kisebb halogén-, és kéntartalmú hulladékok égetése során keletkező füstgázok tisztításánál alkalmazzuk.

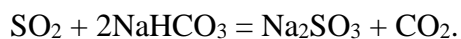
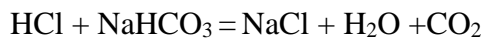
A savas komponensek csökkentésére használhatunk kalcium hidroxidot vagy nátrium hidrogén karbonátot.

A savas komponensek és a kalcium hidroxid reakciója a következő egyenletekkel jellemezhető:



A kalcium hidroxid és a savas komponensek reakcióját a füstgáz harmatpontja körüli hőmérsékleten (130-140°C) célszerű megvalósítani.

A savas komponensek és a nátrium hidrogén-karbonát reakciója a következő egyenletekkel jellemezhető:



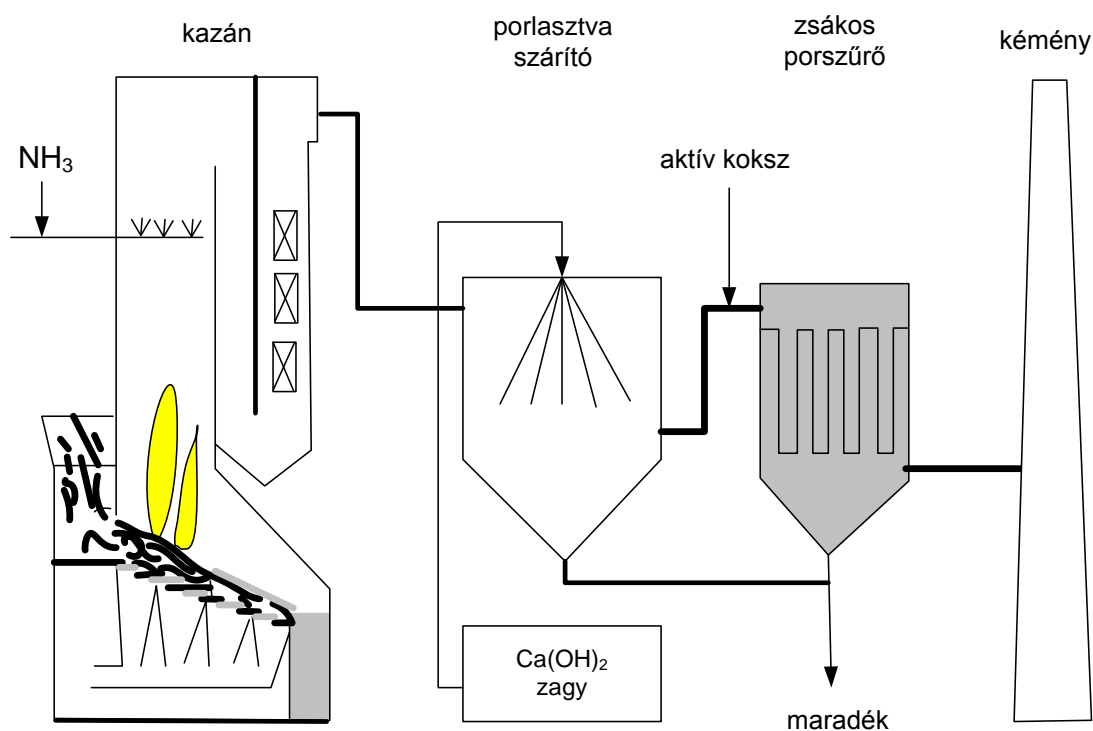
A nátrium hidrogén-karbonát reakcióit a nagy fajlagos felület kialakítása érdekében 180 -210 °C hőmérsékleten valósítjuk meg.

A félszáraz füstgáztisztítás során a reagenseket vizes oldatban ill. szuszpenzióban adagoljuk a reaktorba, az elpárolgó vízzel biztosítjuk a reakció hőmérsékletét. A kalcium hidroxid oldhatósága vízben 1 g/dm³, ezért a nagyobb kalcium hidroxid koncentrációkat csak szuszpenzió formájában adagolhatjuk.

A száraz füstgáztisztítás során a füstgázt először lehűtjük vízzel, majd száraz por formájában adagoljuk a reagenseket egy reaktortérbe, ahol 0,5-1 sec tartózkodási időt biztosítunk a reakcióra. A por alakú reakció termékeket rendszerint zsákos porszűrőn választjuk le. A szűrőzsákon kialakuló porrétegben a savas komponensek tovább reagálnak.

A félszáraz-, és száraz füstgáztisztítás során a szűrő előtt adagolunk még aktív szenet vagy aktív kokszt a dioxinok és a higany adszorptív megkötésére.

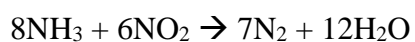
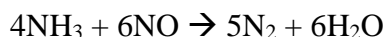
A tapasztalat szerint a kémiai reakciók nagyobb része a szűrő előtti reaktorban játszódik le és kisebb rész a szűrő felületén. Az adszortív folyamatok jelentősebb része viszont a szűrő felületén játszódik le, ezért fontos, hogy a szűrő felületén a porból megfelelő rétegvastagság alakuljon ki. Ezért a szűrő tisztítását sűrített levegő sugárral a kialakult porréteg ellenállásáról vezéreljük. A jellemző tisztítási nyomásesés a szűrőn 1500-2000 Pa.



235. ábra. A fűlszár az fűstgáztisztítás technológiai vázlat

Nitrogén-oxidok csökkentése szelektív nem katalitikus reaktorban (SNCR) és szelektív katalitikus reaktorban (SCR) hasonló reakciókkal jellemezhető. A legnagyobb különbség a reakció hőmérsékletében van. Az SNCR eljárásnál a reakció optimális hőmérséklete 920 °C. Ezért az ammónia adagolását az égető kemence és a hő-hasznosító közötti 900-940 °C hőmérsékletű részben végzik ammónia, vagy karbamid adagolással.

Az ammónia reagál a nitrogén-oxidokkal, a reakció során nitrogén és víz keletkezik.



7.9.2.6.2 *A dioxinok emissziójának csökkentése a legjobb elérhető technikával (BAT).*

Elsődleges intézkedések

A hulladékokat 850 °C –nál alacsonyabb hőmérsékleten nem szabad az adagolni.

Az égetőnek automatikus berendezésre van szüksége az adagolás megakadályozására 850 °C alatti hőmérsékleten.

Az utóégetőben támasztó égőt kell üzemeltetni a felfűtés és leállítás segítésére.

Kerülni kell a gyakori felfűtést és leállást.

Biztosítani kell az utóégetőben a legalább 6 v/v % oxigéntartalmat.

Biztosítani kell az utóégetőben a legalább 2 sec tartózkodási időt 1 % szerves klórnál kisebb koncentrációjú hulladékok esetében 850 °C-on, időt 1 % szerves klórnál nagyobb koncentrációjú hulladékok esetében 1100 °C-on.

A füstgázok és a levegő jó elkeveredését biztosítani kell az utóégetőben.

Az égetés paraméterei közül folyamatosan mérni kell a hőmérsékletet, oxigéntartalmat, CO-, oxigén-, és portartalmat.

Másodlagos intézkedések

Csökkenteni kell a hulladékégető hő-hasznosító kazánjában és a csővezetékben a porlerakódást.

Szelektív katalitikus reaktor beépítése a dioxinok csökkentésére. (nagy hatásfok < 0,1ng I-TEQ/Nm³). Nagy beruházási költség, kis üzemeltetési költség.

Aktív szén adagolás a zsákos porszűrő előtt, kis beruházás, nagy üzemeltetési költség

A füstgáz gyors lehűtése (quench), nem gyakori az alkalmazása hulladékégetőknél.

Katalitikus bevonattal ellátott, PTFE anyagú zsákos porszűrő. (nagy hatásfok < 0,1ng I-TEQ/Nm³).

Különböző adszorpciós módszerek, aktív szén, aktív koksz, mészhidráttal keverékeknek fluidizációs-, vagy mozgó ágyban történő megvalósítása.

Fix (lassan mozgó) adszorber aktív szénrel, koksszal, vagy aktív szén-mészhidráttal keverékkel (Sorbalit[®] nagy hatásfok < 0,1ng I-TEQ/Nm³). Nagy beruházási költség, közepes üzemeltetési költség.

Recirkulációs fluidizált ágyas reaktor, aktív szén/mészhidráttal keverékkel és ezt követő zsákos porszűrő. Közepes beruházási költség, közepes üzemeltetési költség.

- Szervezési intézkedések
- Jól képzett üzemeltetők
- A fontosabb paraméterek nyomon-követése
- Rendszeres karbantartás
- Az előírt emissziós adatok folyamatos mérése
- Rendszeres audit és jelentési rendszer kialakítása és működtetése.

A környezet szennyezésének csökkentése érdekében kezelni kell a salakot, pernyét és filter-por (beágyazás, üvegesítés)

A hulladékégetőből távozó szennyvizet is kezelni kell (toxikus fémek kicsapata, szerves szennyezők elroncsolása vagy adszorpciója).

7.9.2.7 Salak-, és pernyekezelés

A hulladékégetés maradékai a salak, pernye és a filter-por. Ezen hulladékok alapvetően veszélyes hulladékok, melyeket a környezet szennyezését kizáró módon kell elhelyezni. Veszélyes hulladéklerakón történő elhelyezés a leggyakoribb megoldás, de a maradékok cementbe történő ágyazása ill. azok vitrifikálását (nagy hőmérsékleten, adalékanyaggal történő üvegesítése) követező elhelyezés vagy hasznosítás is terjed. Az üvegesítés történhet plazmatechnológiával megvalósított üvegesítéssel is.

Alkalmazzák az égetési szilárd maradékok extraktív kezelését is, melynek során a nehézfém szennyező anyagokat savval kioldják a maradékokból, így azok veszélyességét megszüntetik.

7.9.2.8 Nedves mosók szennyvizének kezelése

A nedves mosók szennyvizének kezelésére alkalmazott módszerek a porlasztva szárítás, bepárlás, lúgos kicsapata, semlegesítés, ioncsere és a fordított ozmózis.

Ezeket a módszereket részletesen a szennyvíztisztítás fejezetben találhatók meg.

7.9.3 Az egészségügyi hulladékok nem égetéses ártalmatlanítási eljárásai.

7.9.3.1 Gőzös fertőtlenítés

A fertőzésveszélyes hulladékok (EWC 18 01 03*) fertőtlenítésére a legelterjedtebben használt módszer a gőzzel történő kezelés.

Magyarországon néhány éve működnek gőzös fertőtlenítő berendezések. Két típus terjedt el a Lajtos TDS típusú berendezés és a Tuttnauer típusú berendezés.

A Lajtos berendezésben a hulladékok aprítása ugyanabban a zárt térben történik ahol a nyomásalatti gőzös fertőtlenítés, az aprítás a fertőtlenítést megelőző művelet. Tuttnauer típusú berendezésben a hulladékokból vákuummal kiszívják a levegőt, mielőtt a gőzt a hulladékra engednék.

7.9.3.1.1 A Lajtos TDS berendezés műszaki jellemzői és működése:

A hulladékártalmatlanítás technológiája:

A berendezéshez háromfázisú elektromos, gőz-, víz, valamint csatorna csatlakozás szükséges. A fertőzött egészségügyi hulladék egy nagy keménységű és ellenállású aprítóval ellátott autokláv felső tartályába kerül. A hulladék az aprítás után az alsó tartályba kerül. Az aprítást követően az autokláv belsejében vízgőz beáramoltatásával, a belső nyomás fokozásával (3,8 bár) a hőmérséklet 138 °C-ra emelkedik. A folyamat teljesen automatikus, és 50-60 perces ciklusban zajlik le. A végeredmény egy fertőtlenített aprított hulladék, mely a kommunális hulladékkal együtt kezelhető (KTM 1004/103/97 sz. határozata alapján). A hulladék térfogata az eredetinel 80%-kal kisebb. A készüléket számítógép vezérli, a ciklus minden fázisa automatikusan regisztrálódik és kinyomtatható.

A technológiai lépések ismertetése:

Betöltés

A készülék felső fedelének kinyitása automatikusan történik. A veszélyes hulladékot tartalmazó konténereket emelőlift segítségével, emberi kéz érintése nélkül ürítik a berendezés belsejébe. Feltöltés után a program indításával a fedél automatikusan záródik.

Aprítás

A felső fedél bezárása után kezdődik az aprítás. Az aprító a keményebb tárgyakat is képes 2*2 cm-es darabokra darálni. A felső kamrába helyezett terelő váltakozó mozgásával a daráló egyenletes táplálását biztosítja.

Fűtés

A fűtés közvetlen gőz beáramoltatásával történik, mely a készülékben lévő hőmérsékletet 138 °C-ra, a nyomást 3,8 bar-ra emeli. A hőmérsékletet egy az alsó kamrában, a hulladék közepén elhelyezett hőmérő méri. A hőmérséklet és a nyomás az alsó és a felső kamrában teljesen megegyezik.

Fertőtlenítés

A fertőtlenítést 138 °C/3,8 bar 10 percen keresztül történő fenntartása biztosítja. A hőmérséklet és tartózkodási idő lehetővé teszi a fertőzöttségi szint 10^{-8} értékre történő csökkentését. A fenti paraméterek betartása mellett az Országos Közegészségügyi Intézet 1996 decemberében elvégezte a Lajtos TDS berendezésre vonatkozó sterilizációs határfok vizsgálatokat, melyek eredményei igazolják a berendezés fertőtlenítő képességét.

Hűtés

A hűtés teszi lehetővé a kezelt hulladék hőmérsékletének 50-60 °C-ra való csökkentését. A berendezés kettős fala közé – a hulladék benedvesítése nélkül – hideg vizet áramoltatnak. A hűtéssel egyidejűleg a berendezésben a nyomást gőzkilépő szelepen keresztül csökkentik.

Üres fázis

Ez a fázis teszi lehetővé a készülék belsejében lévő maradék vízgőz kicsapódását az alsó ajtó kinyitása, illetve az ürítés előtt.

Ürítés

Ebben a fázisban a következő lépések mennek végbe:

- Az alsó fedél kinyitása
- A kommunális hulladék tároló konténer elhelyezése a fedél alá
- Az alsó kamra ajtók kinyitása
- A konténer eltávolítása

- Az ürítő ajtók fedelének zárása

A Lajtos TDS típusú berendezésben hermetikusan zárt térben történik, a biztonságos üzemeltetés érdekében biztonsági szeleppel látják el. A biztonsági szelep olyan nagyteljesítményű szűrővel van ellátva, ami vészhelyzet esetében is megakadályozza a káros anyag levegőbe kerülését.

A fertőtlenítési folyamat befejeztével a tartály alján ürítik ki az immár veszélytelen, 40-50 °C-ra lehűtött, kommunális hulladékkal együtt kezelhető, aprított hulladékot.

A hűtővizet, illetve a berendezésből kikerülő szennyvizet teljesen zárt rendszerrel vezetik a közcsatornába. A hűtő- illetve a kondenzvíz veszélytelen, az előírt normáknak megfelelő fizikai és kémiai paraméterekkel bír, így a közcsatornába engedhető.

Biztonsági rendszer:

A gyártó által készített rendszerleírás néhány lényeges eleme:

- A készüléket számítógép vezérli. Bármilyen meghibásodást fény és hangjelzés jelez. A berendezés minden műveletet és eseményt a kezelő részéről nem módosítható és később visszakereshető módon regisztrál.
- A vészleállás esetére meghosszabbított fertőtlenítési program van beépítve.

A Lajtos TDS 1000 berendezés kapacitása:

Típus	Térfogat	Hulladék mennyiség / Ciklus	Ciklusidő	Hulladék mennyiség
TDS 1000	1m ³	100-150 kg	50-60 perc	800-1250 t/év

Alapadatok: 1 műszak = 8 óra
3 műszak / nap
1 év = 340 munkanap.

7.9.3.1.2 *A Tuttnauer berendezés leírása*

A sterilizáló autoklávban egy automatizált mikroprocesszor által vezérelt egység végzi a folyamat irányítását. A berendezés a 10 program valamelyikének segítségével alkalmas kórházakban, laboratóriumokban, orvosi és állatorvosi rendelőkben keletkező fertőzésveszélyes hulladékok ártalmatlanítására.

A programok sterilizációs hőmérséklete 105-134°C között változnak.

A berendezés képes megfelelni a sterilizálás szigorú előírásainak. A berendezést úgy alakították ki, hogy abból fertőzésveszélyes anyag, víz illetve levegő ne kerülhessen ki a szabadba.

Az autokláv elő és utó-vákuum szakaszokkal működik. A berendezés egy olyan rendszerrel rendelkezik, amely sterilizálja a kilépő levegőt, amelyet az elő-vákuum és a sterilizációs szakaszok során kiszivattyúznak a kezelő kamrából. Az autokláv továbbá fel van szerelve egy nagy teljesítményű hőcserélővel, amely 40°C-ra hűti a rendszerből kikerülő forró levegőt és kondenzvizet, mielőtt az a csatornába kerülne.

A kezelő kamra 4209 liter térfogatú.

A gőzellátást külső forrás biztosítja a berendezés számára. A gőz 5 bar nyomáson érkező maximum 740 kg/h kapacitású túltelített kell legyen.

A köpeny térben és a kezelő kamrában két nyomásmérő műszer van elhelyezve, amely folyamatosan mutatja a nyomásértékeket, valamint az adatgyűjtő nyomtatón is megjelennek ezek az értékek.

A berendezés egy oldalra mozgó csúszó ajtóval van felszerelve, amelyet egy hidraulikus rendszer mozgat az ajtó tetejére szerelt munkahengeren keresztül. A vezérlő szelepből érkező sűrített levegő az olajat tartalmazó szabályzó hengerekbe érkezik, amelyek átalakítják azt hidraulikai nyomássá, amely a dugattyút működteti.

Biztonsági berendezések

Az ajtón számos egymástól független, mechanikai és szabályzó rendszer van, amely az ajtó biztonságos működtetéséért felel. A biztonsági rendszerekből több is van, hogy amennyiben valamelyik meghibásodik, a többi tovább szavatolja a biztonságos működést.

- Az ajtó megáll, amennyiben valamilyen akadállyal érintkezik
- A ciklus addig nem indul el, amíg az ajtó nincs hermetikusan bezárva
- Az ajtót nem lehet kinyitni, amíg a ciklus nem fejeződött be
- Az ajtón nem lehetnek tömítetlenségek (a tömítő tömlő addig nyomás alatt van), amíg a kezelő kamra, nyomás, vagy vákuum alatt van.

A kamra és a köpeny szigetelt 50 mm-es ásványgyapot szigeteléssel, és a szigetelést 304-es típusú rozsdamentes lemezzel van beborítva.

A berendezésben a hűtést egy hőcserélővel oldják meg, amely a kezelőtérből kiszívott levegőt és a rendszerből távozó kondenzvizet hűti

A rendszerben a tartózkodási idő a sterilizációs szakaszban a kamrában a legfontosabb, amelyet a számítógép folyamatosan mér. Csak akkor megfelelő a tartózkodási idő. Amennyiben a hőmérséklet végig 134°C-on vagy felette volt. A tartózkodási időt és a kamrahőmérsékletet a memóriában tárolja a berendezés, illetve a kinyomtatott ciklus-összesítőn is látható.

A kezelő kamra alján egy rozsdamentes acélból készült szűrő található, a nagyobb mechanikai szennyeződések kiszűrésére.

Szabályozás

A kezelő panelen egy klaviatúra található, valamint egy LCD kijelző, ez egy interfészként szolgál a számítógéphez.

A mikroszámítógép a berendezés oldalára szerelt oldal falon kapott helyett, távolabb a berendezéstől a hőhatások miatt. A számítógép ezen kívül kapott egy védő burkolatot.

A nyomásmérők teljes vákuumtól 5 bar-ig mérnek amit egy jelátalakító megjelenít a képernyőn.

A kezelőpanel kijelzőjén a ciklusra vonatkozó jellemző információk jelennek meg, ciklus számáról, a ciklus állása, a kamra hőmérsékletéről, a kamra és a köpeny nyomásáról, illetve egy billentyű benyomásával további információk a ciklusról.

Miután elindítottuk a rendszert az LCD kijelző bekapcsol. A ciklus kiválasztását és beállításait ezen a képernyőn keresztül a klaviatúra segítségével állíthatjuk be.

A ciklus folyamatáról szóló információk (beleértve a hibaüzeneteket is) valós időben jelennek meg a kijelzőn. A nyomtató a ciklus végén egy a ciklus „rövid történetét” bemutató, a jellemző információkat tartalmazó jegyzőkönyvet nyomtat, melyet le lehet fűzni.

Miután kiválasztottuk a sterilizálási programot és az ajtó bezáródott, a ciklus elindul. A kezelő elbírálása alapján minden ciklust menet közben is be lehet fejezni, egy törlő szekvencia használatával, amely a ciklust a megfelelő kiürítési fázisba váltja.

A szabályzó rendszerbe, óvintézkedésként be van építve egy 4 számjegyű biztonsági belépési kód. A biztonsági kód használatával a beírást követő 10 cikluson keresztül a ciklusok fajtája és egyéb beállításai csak akkor változtathatók meg, ha a kezelő újra beírja a helyes 4 jegyű biztonsági kódot. A biztonsági kódot a kezelő panel billentyűin kell begépelni. A kezelőnek és a rendszert felügyelő és a beállításokat változtató személynek külön kódszáma van.

A nyomtatott jegyzőkönyv az alábbi információkat tartalmazza:

- A ciklus kezdés időpontját és dátumát
- A sterilizálási időtartamot
- A fő fázis átmeneti pontokat
- A kamra nyomását
- A ciklus típusát
- A sterilizációs fázis hőmérsékletét
- A kamra hőmérsékletét
- A sterilizáló típusát
- A ciklus számot

A szoftver lehetővé teszi az adatok valósidejű megjelenítését és vezérlését egy számítógép segítségével.

7.9.3.1.3 *Elő és utó-vákuum (váltakozó) ciklus:*

A porózus kórházi hulladékok, éles-szűrős tárgyak, hő és folyadékálló tárgyak kezeléséhez használjuk ezt a ciklust 121-138°C közötti sterilizációs hőmérsékleti tartományban. A vákuum alkalmazása a ciklus során egy részről a fertőzés veszélyes levegő eltávolítása miatt szükséges, más részről a gőz penetrációjának elősegítése végett, mivel a vákuumozott kamrába bejutó túltelített gőz sokkal hatékonyabban tudja átjárni a fertőzésveszélyes töltet egész felületét. Ebben a ciklus típusban a kiszívott levegőt szintén sterilizáljuk 138 °C-os gőz segítségével, így a ciklus során semmi sem távozik a berendezésből, ami később fertőzést okozhat. Az utó vákuum azért szükséges, hogy a sterilizált közeg már a kamrában kiszáradjon, csökkentve ezzel a később kezelendő hulladék víztartalmát és súlyát .

7.9.3.1.4 *Nagy vákuum*

Ezt a ciklus típust azért használjuk, hogy felgyorsítja a ciklus idejét a gyors levegő kiszívás és a gyors szárítás miatt. Alkalmas konténerben (badella) lévő tárgyak és hulladékok, valamint hő és folyadékálló tárgyak kezelésére.

7.9.3.1.5 *Elő-vákuum, szivárgás teszt ciklus:*

A berendezésben lehetőség van, hogy a kezelő által beállított szivárgás tesztet futasson végig az üzemeltető. A ciklus paramétereit a gyárban állították be, amelyek olyan körülményeket teremtenek, amelyek megfelelően biztosítják a tömítések és a nyomás alatt lévő csővezetékek ellenőrzését. Az elfogadható szivárgás mértéke 1,3 kPa/10 min. A szivárgási teszt eredményeiről a nyomtató jegyzőkönyvet nyomtat.

7.9.3.1.6 *Töltő kocsi*

A töltő kocsi 316 L típusú rozsdamentes acélból készül, amely felületét elektrolitos polírozással kezelik.

7.9.3.1.7 *A mozgató kocsik*

A mozgató kocsi 316 L típusú rozsdamentes acélból készül, amely felületét elektrolitos polírozással kezelik.

7.9.3.1.8 *Sínek*

A kezelő kamra alján lévő síneket 316 L típusú rozsdamentes acélból készítik, amelyeknek pontosan illeszkedni kell a töltő kocsikra szerelt kerekkel.

7.9.3.1.9 *Az üzemeltetéshez szükséges infrastruktúra*

Elektromos áram

Három fázisú 380 Volt feszültségű 50 Hz frekvenciájú 22 A erősségű áram szükséges az üzemeltetéshez.

Vezetékes vízellátás

A vezetéknek 1"-osnak kell lennie, a nyomás 4-6 bar, a víz keménység 0,7-2,0 mmol/l, a hőmérséklet 15 °C, a csúcs fogyasztás 56 l/min az átlag fogyasztás 2040 l/h

Gőz ellátás

A vezeték 1¼"-os, a nyomás 5 bar, a csúcsfogyasztás 710kg/h, az átlagfogyasztás 410kg/h, a túltelített gőzt külső forrás biztosítja a berendezés számára.

Csatornázás

A csatorna nyílásokat úgy kell kialakítani, hogy 1¼"-os elvezető csövek beférjenek. A távozó szennyvíz csatornázható.

A sűrített levegő ellátás

A berendezésbe 3/8"-os csavaros menettel ellátott csatlakozáson érkezik, nyomása 6-8 bar, átlagfogyasztása 100 l/min.

A gőzös fertőtlenítéssel ártalmatlanítható hulladékok.

Baktérium, vírus és gomba tenyészetek ill. ezekkel szennyezett anyagok.

Vérrel és testnedvekkel szennyezett anyagok.

Szennyezett kötszerek, géz, kesztyű, ágynemű stb.

Sebészeti hulladékok

Laboratóriumi hulladékok (vegyi hulladékokat kivéve)

A gőzös fertőtlenítéssel nem ártalmatlanítható hulladékok

Illékony-, és kissé illékony szerves vegyületek.

Kemoterápiás hulladékok.

Humán testrészek.

Higany.

Veszélyes vegyi hulladékok.

Nagy állattetemek.

Sugár-veszélyes hulladékok.

Szigetelt hőálló edények (palackok).

7.9.3.2 A gőzös fertőtlenítés előnyei és hátrányai.

Előnyök	Hátrányok
Hosszú ideje bevált technológia	A technológia a hulladékot nem teszi felismerhetetlenné (kivéve Lajtos, Ecodas)
Könnyen érhető és és elfogadott a kórházi személyzet és a lakosság körében is	Nagyobb fém darabok tönkreteszik az aprítót.
A legtöbb országban elfogadott és engedélyezett technológia a fertőzésveszélyes hulladékok kezelésére.	Kellemetlen szaghatást eredményezhet, amit szagesökkentővel mérsékelhetünk.
A nagy hatásfokú fertőtlenítés eléréséhez szükséges hőmérséklet idő összefüggés jól ismert.	Veszélyes anyagoknak (formaldehid, fenol, citotoxikus anyagok, higany), a hulladékba kerülésével a fertőtlenített hulladék veszélyes marad és szennyezheti a levegőt vizet és a talajt.
Autoklávok igen változatos méretben kaphatók, a néhány literes térfogattól a több köbméteres térfogatig.	Ha a technológiának nem része a szárítás, a fertőtlenített hulladék nehezebb mint a kiindulási (a rákondenzálódott gőz miatt).
A szelektív gyűjtéssel kizárható veszélyes anyagok kizárásával a fertőtlenítést követően lakossági jellegű nem veszélyes hulladékot kapunk.	A közvetlen hőátadást gátló körülmények rontják a fertőtlenítés hatásfokát (nem megfelelő vákuumozás, nagyobb darab hulladék kis hővezetéssel, szigetelt edények).
A beruházási költsége az égetéshez képest kicsi.	
Az autoklávokhoz a gyártók szállítanak programozható számítógépes vezérlést, folyamatos hőmérséklet regisztrációt, aprítót, emelőt stb.	

7.9.3.3 A mikrohullámú fertőtlenítő működése.

Alapvetően gőzös fertőtlenítő, de a gőzt mikrohullám energiája fejleszti.

Magnetron segítségével a nagyfeszültségű energiát mikrohullámú (Nagy frekvenciájú UHF) energiává alakítja, mely a hulladékot felmelegíti, a benne lévő vizet gőzzé alakítja.

7.9.3.3.1 Technológia lépések:

- a) **Hulladék betöltés** (indikátor behelyezése a fertőtlenítés ellenőrzésére)
- b) **Vákuumozás** a dobozok felnyitására és a levegő eltávolítására a berendezésből (egyszeri vagy többszöri) HEPA filteren keresztül..
- c) **Belső aprítás** is alkalmazható a gőzös fertőtlenítő térben.
- d) **Mikrohullámú kezelés** a kívánt 95-100 °C hőmérséklet eléréséig ill. a hőmérséklet tartására a megadott ideig.
- e) **Hulladék kivétele** a készülékből.
- f) **Mechanikai kezelés** (másodlagos aprítás, tömörítés) a hulladék felismerhetetlensége érdekében.

7.9.3.4 A fontosabb fertőtlenítő eljárások, gyártók ill. forgalmazók.

Technológia, forgalmazó neve	Technológia típusa	Technológiai alapadatok	Kapacitás	Beruházási költség EURO (Ft)
Tuttnauer	Autokláv vagy retorta	148-155 °C, 2,27 bar, 20 perc.	Max 680 kg/h	85.000-170.000 EUR 21,2 –42.5 MFt
Ecodas	Aprítás-gőzölés-keverés-szárítás	138 °C, 3,8 bar, 10 perc	25 (0,3 m ³) 80 (1 m ³) 190 kg/h (2 m ³)	145.000 EUR-tól 36,25 MFt
Hydroclave System Corp.	Gőr-keverés-fragmentálás-szárítás	132 °C, 15 perc	90-900 kg/h	170.000-420.000 EUR 42,5-105 MFt

Technológia, forgalmazó neve	Technológia típusa	Technológiai alapadatok	Kapacitás	Beruházási költség EURO (Ft)
Steriflash, T.E.M.	Aprítás-gőzölés- keverés-szárítás, vegyszer	134 °C, 2,3 bar, 20 perc	16 kg/ciklus (0,38 m ³)	30.000 EUR 7,5 MFt
Sterival, Sterifant Vetriebs GmbH	Vakuum- gőz/szárítás/aprítás	136 °C, 2,1 bar, 30 perc	21-84 kg/h	98.100-200.400 EUR 24,5 –50,1 MFt
STI Chem-Clav	Aprítás- gőzölés/szárítás, vegyszer adagolás	118-128 °C,	270-1800 kg/h	305.000 EUR-tól 76,2 MFt-tól
STS, Erdwich	Aprítás-gőzölés- keverés/kompaktálás	124-150 °C, 2,4 bar, 20 perc	250-300 kg/h	550.000 EUR 137,5 MFt
Drauschke, GÖK	Vakuum- gőz/szárítás/aprítás	121 oC, 2,5 bar, 30 perc	140-1450 kg/h	500-600.000 EUR 125 –150 MFt
ZDA-M3	Gőz-fragmentálás/ szárítás	105 °C., 5 bar,	90 kg/h	Nincs
Ecosteryl, AMB S.A.	Mikrohullámú kezelés	100 °C, 60 perc,	250 t/év	500.000 EUR 125 MFt
Medister, Meteka	Mikrohullámú kezelés	110/121/134 °C 45 perc	6-60 l/ciklus	10-70.000 EUR 2,5 –17,5 MFt
Sanitec	Mikrohullámú kezelés	90-100 °C, 30 perc	100-480 kg/h	420-500.000 EUR 105-125 MFt
Sintion, CMB	Mikrohullámú kezelés	121/134 °C, 0,5 bar, 10-20 perc	Max 35 kg/h	50.000 EUR 12,5 MFt
Sterifant	Vakuum-gőz/ Mikrohullám/ szárítás/aprítás	95-105 °C, 70 perc	125 kg/h	391.400 EUR 97,85 MFt

7.9.4 A hulladékok végső elhelyezése

A rendezett hulladéklerakás a különleges kezelést nem igénylő települési szilárd és termelési hulladék közegészségügyi-, vízügyi, valamint környezetvédelmi előírások szerint megszabott technológiával és műszaki védelemmel végzett végső elhelyezése. A hulladéklerakók fontos kritériuma, hogy azok sem művelésük alatt, sem feltöltésük után nem válhatnak egészségügyi vagy környezeti veszélyforrássá.

7.9.4.1 A hulladéklerakó tervezése, létesítése, a hulladéklerakás általános szabályai

Hulladéklerakó az Országos Hulladékgazdálkodási Tervben, valamint a létesítés telephelye szerinti területi, helyi hulladékgazdálkodási tervekben foglalt célokkal és feladatokkal összhangban, az alábbi követelmények betartásával létesíthető és üzemeltethető.

A hulladéklerakó helyének kiválasztásánál, a külön jogszabályokban megállapított terület- és településrendezési, természetvédelmi, kulturális örökségvédelmi, tájvédelmi, vízvédelmi, levegőtisztaság-védelmi feltételek mellett, a következő szempontokat kell figyelembe venni és mérlegelni:

- a) a terület földtani és hidrogeológiai tulajdonságait,
- b) a földtani közeg, különösen a termőföld védelmét,
- c) a hulladéklerakó határának a lakó- és az üdülőterülettől, a vízi utaktól, a felszíni vizektől és a mezőgazdaságilag művelt területektől való távolságát.

Hulladéklerakó nem létesíthető:

- a) erózió-veszélyes területen,
- b) a földtani közeg mozgása által veszélyeztetett területen,
- c) külön jogszabály szerint kiemelten érzékeny felszín alatti vízminőség-védelmi területen,
- d) külön jogszabályban rögzített előírás alapján a mezőgazdasági művelésre alkalmas közepes vagy annál jobb minőségű területen,
- e) árvíz- és belvízveszélyes, továbbá ármentesítéssel nem rendelkező területen,
- f) külön jogszabály szerinti természeti területen, védett és fokozottan védett természeti területen, valamint az Európai Közösségi jelentőségű területen,
- g) védetté nyilvánított régészeti lelőhelyen, műemléki ingatlanon, műemléki környezetben és műemléki jelentőségű területen,

- h)* energiaszállító vezetékek védősávjában,
- i)* működő, illetve felhagyott mélyművelésű bányá felszakadási területén, ha a földtani közeg mozgása még nem konszolidálódott, továbbá bányaművelésre, távlati művelés céljából kijelölt területen,
- j)* azon a földrengésveszélyes területen, ahol a földrengés várható erőssége az Európai Makroszeizmikus Skálán (EMS) elérheti a VI. fokozatot,
- k)* olyan területen, ahol nem teljesül az a feltétel, hogy a felszín alatti víz maximális nyugalmi, illetve nyomás szintje legalább 1,0 m-rel mélyebben van, mint a lerakó szigetelőrendszerének fenékszintje,
- l)* a külön jogszabályban megállapított területen.

A hulladéklerakó telekhatára és összefüggő lakóterület, lakóépület, valamint más, védendő területek, létesítmények között a védőtávolságot a területileg illetékes Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (továbbiakban Felügyelőség) állapítja meg, amely - ha egyéb jogszabály eltérően nem rendelkezik, akkor - nem lehet kevesebb, mint:

- a)* veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó esetén: 1000 m,
- b)* nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó esetén: 500 m,
- c)* inert hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó esetén: 300 m.

A lerakásra kerülő hulladék összetételétől, a helyszín természeti adottságaitól és a tervezett műszaki feltételektől függően a hulladéklerakó lehet:

- a)* inert hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó (A kategória);
- b)* nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó (B kategória),
 - ba)* szerves, nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó (B1b alkategória),
 - bb)* vegyes összetételű (jelentős szerves és szerves anyagtartalommal egyaránt rendelkező), nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó (B3 alkategória);
- c)* veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakó (C kategória).

A hulladéklerakóban a következő csoportokba tartozó hulladékok lerakása végezhető, ha a hulladék megfelel az adott hulladéklerakó-kategóriára megállapított átvételi követelményeknek:

- a)* „A” kategóriájú hulladéklerakóban kizárólag inert hulladék,
- b)* „B1b” alkategóriájú hulladéklerakóban

- ba)* szerves, nem veszélyes hulladék, beleértve az „A” kategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is,
- bb)* előkezelt, stabil, nem reakcióképes és nem veszélyes hulladékként kezelhető, eredetileg veszélyes hulladék,
„B3” alkategóriájú hulladéklerakóban
- bc)* vegyesen gyűjtött települési szilárd hulladék,
- bd)* előkezelt szennyvíziszap,
- be)* egyéb nem veszélyes hulladék, beleértve a „B1b” alkategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is,
- c)* „C” kategóriájú hulladéklerakóban veszélyes hulladék.

Lerakással kizárólag előkezelt hulladék ártalmatlanítható, illetve az inert hulladékot, valamint azt a hulladékot, amelynek előkezelés nélkül történő lerakását a Felügyelőség engedélyezte.

Tilos a hulladék keverése, hígítása abból a célból, hogy az így nyert hulladék megfeleljen a hulladéklerakóban való ártalmatlanítás átvételi követelményeinek.

Tilos hulladéklerakóban lerakni folyékony hulladékot, nyomás alatt lévő gázt, robbanásveszélyes (H1), oxidáló (H2), tűzveszélyes (H3-A és H3-B), maró, korrozív (H8), kórházi vagy más humán-egészségügyi, illetve állat-egészségügyi intézményből származó fertőző (H9) hulladékot. *Hulladékká vált gumiabroncsot (kivéve a kerékpár-gumiabroncsot és az 1400 mm külső átmérőnél nagyobb gumiabroncsot), aprított hulladék gumiabroncsot, előkezelés nélküli szennyvíziszapot és bármely hulladékot, amely nem felel meg a rendelet 2. számú mellékletében meghatározott átvételi követelményeknek.*

7.9.4.1.1 *Hatósági hatáskörök, a hulladéklerakó engedélyezése*

A hulladéklerakással összefüggő elsőfokú hatósági hatáskört a területileg illetékes Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (Felügyelőség) gyakorolja.

A hulladéklerakó létesítésére vonatkozó engedély iránti kérelemnek a következőket kell tartalmaznia:

- a) a kérelmező és az üzemeltető (ha az nem azonos a kérelmezővel) nevét, címét és KSH azonosító kódját;
- b) abban az esetben, ha a hulladéklerakó termőföld területén létesül, a földhivatalnak a termőföld más célú hasznosítását lehetővé tevő határozatát;
- c) a hulladéklerakó helyének a Hgt. 22. § (4) bekezdése szerinti kijelölésre vonatkozó dokumentumot;
- d) a lerakásra kerülő hulladékfajtáknak, a hulladékok jegyzékéről szóló külön jogszabály szerinti megnevezését, kódszámát és tervezett összes mennyiségét;
- e) a lerakás során alkalmazandó műszaki védelem és technológia leírását, a környezetszennyezés megelőzésére és csökkentésére alkalmazandó leghatékonyabb megoldások figyelembevételével;
- f) a hulladéklerakó tervezett teljes kapacitását a tartalékterületek figyelembevételével, valamint a medencék kiépítésének tervezett térfogatát és ütemét;
- g) a helyszín hidrogeológiai és geológiai leírását;
- h) üzemeltetési tervet, az e rendelet 9. § (2) bekezdésében meghatározott tartalommal;
- i) települési hulladék lerakása esetén a biológiailag lebomló szervesanyag-tartalom csökkentésére vonatkozó tervet;
- j) rendkívüli esemény miatt a környezeti elemekben bekövetkező szennyezés esetén a keletkező károk megelőzésére, elhárítására, illetőleg mérséklésére irányuló tevékenységre vonatkozó kárelhárítási tervet;
- k) a hulladéklerakó biztonságát ellenőrző monitoring-rendszer kialakításának és működtetésének tervét;
- l) a lezárással és az utógondozással kapcsolatos tervet;
- m) a rendkívüli események által okozott szennyezés felszámolására, továbbá a hulladéklerakó lezárására és utógondozására szolgáló pénzügyi források bemutatását;
- n) a hulladéklerakó létesítésére vonatkozó valamennyi tervdokumentációt.

A hulladéklerakó üzembe helyezése előtt a Felügyelőség - az érintett szakhatóságok bevonásával - köteles ellenőrizni, hogy a hulladéklerakó kiépítettsége, felszereltsége, az ott foglalkoztatottak felkészültsége megfelel-e a létesítési engedélyben előírt feltételeknek.

7.9.4.2 Hulladéklerakó létesítésének és üzemeltetésének követelményei

7.9.4.2.1 A hulladéklerakó szigetelése

A hulladéklerakót olyan műszaki védelemmel kell megtervezni és megépíteni, amely biztosítja a hulladéklerakó teljes élettartama során a környezeti elemek, különösen a közvetlen környezetében lévő felszíni és felszín alatti vizek, a földtani közeg és a levegő szennyeződés elleni védelmét.

A hulladéklerakó medencéjének alját és oldalait úgy kell kialakítani, hogy azok szigetelőrétege megfeleljen az alábbi követelményeknek:

Hulladéklerakó kategória	Szivárgási tényező (m/s)	Vastagság (m)
Inert hulladék-lerakó (A kategória)	$k \leq 1,0 \times 10^{-7}$	≥ 1
Nem veszélyeshulladék-lerakó (B1b és B3 alkategória)	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$	≥ 1
Veszélyeshulladék-lerakó (C kategória)	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$	≥ 5

Ha a fenti tulajdonságokkal rendelkező természetes szigetelő réteg nem áll rendelkezésre, úgy ezzel egyenértékű szivárgási tényező értéket biztosító, minimum 0,5 méter vastagságú kiegészítő épített szigetelő réteg kialakítása szükséges. A szigetelő réteg természetes és/vagy mesterségesen előállított anyagokból egyaránt kialakítható.

Az egyes hulladéklerakó kategóriák esetében a medencékben kialakítandó oldalfal- és aljzatszigetelés rétegrendjét a következő táblázat tartalmazza:

	Inert	Nem veszélyes		Veszélyes
		Szervetlen	Vegyes összetételű	
	(A kategória)	(B1b alkategória)	(B3 alkategória)	(C kategória)
Épített szigetelőréteg	nem előírt	előírt	előírt	előírt
Geofizikai monitoring rendszer	nem előírt	nem előírt	előírt	előírt
Szivárgó réteg	előírt	előírt	előírt	előírt

Épített szigetelőréteg

Minimális vastagsága 0,5 m, amely szükség szerint több szigetelőanyag-réteg kombinációjával is elérhető. A hulladéklerakó szigetelőrendszerének fenékszintje és a felszín alatti víz szintjének, illetve víznyomásszintjének maximuma között legalább 1 méter távolságot kell tartani.

Szigetelőrétegek meghibásodásának monitoring-rendszere (geofizikai monitoring-rendszer)

Meghibásodást ellenőrző geofizikai monitoring-rendszert kell kiépíteni a C kategóriájú, valamint a B3 alkategóriájú hulladéklerakón, míg a B1b alkategóriájú hulladéklerakó esetében nem kötelező, az A kategóriájú hulladéklerakón pedig nem szükséges.

A geofizikai monitoring rendszert az épített szigetelőréteg, leginkább a geo-membrán fólia/lemez alá kell telepíteni, míg a C kategóriájú hulladéklerakónál az alsó geo-membrán alá kell kerülnie, mert a felsőt a két membrán közötti szivárgó-ellenőrző rendszer figyeli.

Csurgalékvízgyűjtő réteg (szivárgóréteg)

A csurgalékvízgyűjtő rendszer a csurgalékvizek gyűjtésére, elvezetésére és ellenőrzésére szolgáló hatékony szivárgórendszer összefoglaló neve. A csurgalékvízgyűjtő réteg vastagsága általában 0,5 méter, amely indokolt esetben legfeljebb 0,3 méter vastagságra csökkenthető.

A hulladék és az első szigetelőréteg közé kerülő szivárgó-rendszernek (szivárgópaplan) legalább két rétegből kell állnia. A szigetelőrétegre kerül a csurgalékvízgyűjtő és elvezető rendszer, majd e réteg és a hulladék közé egy szűrő-védő réteg beépítése szükséges, amely egyrészt elősegíti a csurgalékvíz bejutását a gyűjtő-elvezető rendszerbe, másrészt védi azt a hulladékból bemosódó finom szemcsék bejutásától, megakadályozva eltömődését. A csurgalékvíz felszíne mindig a szivárgórétegen belül kell, hogy maradjon, nem emelkedhet fel a hulladékraéteg szintjéig.

A szivárgóréteg - veszélyeshulladék-lerakónál mindkét szivárgóréteg - alján legalább $d \geq 2,5$ mm vastagságú mesterséges anyagú szigetelőréteg, műanyag lemez, geomembrán beépítése szükséges.

C kategóriájú hulladéklerakó esetében a második szivárgóréteg az első szigetelőréteg alá kerül, és szintén kettős célt szolgál: elsődleges az ellenőrzési funkció (jelzi a szigetelőrendszer meghibásodását) és másodlagos a gyűjtő-elvezető funkció.

A hulladéklerakó deformáció és elcsúszás elleni védelme; a lerakó-aljzat rétegeinek mechanikai stabilitása

A lerakás technológiáját az üzemeltetési tervben úgy kell megtervezni, hogy biztosítsa a hulladéklerakó (oldal és függőleges irányú) mechanikai stabilitását, valamint a szerkezeti elemek épségét és rögzítésük helyzetét.

7.9.4.2.2 *A hulladéklerakó fontosabb kiegészítő építményei*

A beszállított hulladék tömegének meghatározására a hulladéklerakón hídmérleget kell üzemeltetni. A hulladék tömegét a lerakóra érkezett, illetve a kiürített szállító jármű tömegkülönbségéből kell megállapítani.

A hulladéklerakó területét be kell keríteni. A kerítésen kívül olyan véderdőt szükséges létesíteni, amely - különösen települési hulladéklerakó esetében - megakadályozza a hulladéknak széllel való elhordását. A véderdő kialakításakor gondoskodni kell arról, hogy a telepített lombos fák és bokrok elegendően magas, sűrű struktúrájú, zöld sávot alkossanak.

A hulladéklerakó területén ki kell alakítani az ügyvitel, a laboratóriumi feladatok és a szociális funkciók ellátására alkalmas infrastruktúrát.

A hulladéklerakó területén gondoskodni kell elektromos energiaellátásról, a térvilágításról, a vízellátásról, továbbá a kommunális szennyvíz elvezetéséről és kezeléséről.

7.9.4.3 A csurgalékvíz és a csapadékvíz kezelése

A csurgalékvíz és a csapadékvíz gyűjtésére és kezelésére külön-külön, önálló kezelési rendszert kell létesíteni.

A hulladéklerakóból eltávolított csurgalékvizet külön, szigetelt, megfelelő puffer kapacitással rendelkező tározó medencében kell összegyűjteni, majd összetétele ismeretében és függvényében kell kezelni, hogy a befogadóba (itt: felszíni folyó- vagy állóvíz) lehessen juttatni. Amennyiben szükséges, a medencéből a csurgalékvizet - zárt rendszeren keresztül - a hulladékárteleg felületére vissza lehet juttatni.

A csapadékvizeket a hulladéklerakótól el kell vezetni, a hulladéklerakó területéről pedig össze kell gyűjteni, és összetétele ismeretében és függvényében kezelni. Kezelésének szükségességét a befogadó terhelhetősége, valamint a befogadóra vonatkozó vízminőségi határértékek szabják meg.

7.9.4.4 A hulladéklerakó-gáz ellenőrzése

Ha a lerakómedencében a lerakott hulladékból gázképződés lehetséges, gondoskodni kell a keletkező hulladéklerakó-gázok rendszeres eltávolításáról, gyűjtéséről és kezeléséről. A B3 kategóriájú hulladéklerakón a biológiailag bomló összetevőkből képződő gázok kezelésére minden esetben ki kell alakítani a gázkezelő rendszert.

A B3 kategóriájú hulladéklerakón nemcsak a gáz elvezetéséről, hanem gazdaságos hasznosításáról, vagy biztonságos ártalmatlanításáról (pl. fáklyázással történő elégetéséről) is kell gondoskodni.

A hulladéklerakó működéséből származó környezeti veszélyek

A hulladéklerakó üzemeltetésekor el kell kerülni: a légszennyezést (pl. a kiporzásból származó szállópor és aeroszolok képződése), valamint a bűzhatásokat, a hulladéknak széllel való elhordását, a forgalom okozta káros zaj- és rezgésterhelést, a madarak, a kártékony kisemlősök és rovarok elszaporodásából származó károkat, a tüzesetek bekövetkezését.

7.9.4.5 A hulladéklerakó őrzése

Biztosítani kell a hulladéklerakó folyamatos őrzését. A kapukat munkaidőn túl zárva kell tartani, biztosítani kell, hogy ne történjék illegális lerakás, illetéktelen bejutás a hulladéklerakó területére.

7.9.4.6 A hulladéklerakó üzemeltetése, a hulladék átadása és átvétele

A hulladéklerakó üzemeltetését az üzemeltetési terv szerint kell végezni. Az üzemeltetési tervnek tartalmaznia kell a hulladék átvételi szabályait és nyilvántartásának rendjét, a hulladéklerakás technológiai rendjét, a hulladéklerakó-gáz, a csurgalékvíz, a kommunális szennyvíz és a szennyvíziszap, valamint a csapadékvíz kezelésének rendjét, a biztonsági létesítmények és intézkedések ellenőrzésének, valamint a környezeti monitoringrendszer üzemeltetésének és az észlelt adatok nyilvántartásának rendjét, a hulladéklerakó üzemeltetéséhez szükséges létszámot és eszközöket. Az üzemeltetési tervhez csatolni kell a kárelhárítási tervet, tűz-védelmi szabályzatot. Az üzemeltetőnek a hulladéklerakó működtetéséhez a külön jogszabályban meghatározott szakképzettséggel rendelkező környezetvédelmi megbízottat kell alkalmaznia, és biztosítania kell a hulladéklerakó dolgozói számára a szakmai tovább-képzést, oktatást.

A hulladék átvételi követelményeinek való megfelelés bizonyítása a lerakásra szánt hulladéknak a hulladék alapjellemezésé, megfeleléségi vizsgálata és a helyszíni ellenőrző vizsgálatából áll.

Az alapjellemezés, valamint a megfeleléségi vizsgálat elvégzéséről, továbbá azok eredményeinek jegyzőkönyvben történő rögzítéséről a termelő, amennyiben a termelő nem ismert, a hulladék tulajdonosa, birtokosa (együtt: a hulladék átadója) köteles gondoskodni. Az alapjellemezésben, megfeleléségi vizsgálatban rögzített adatok helytállóságáért a hulladék átadója felelős, amit a jegyzőkönyv cégszerű aláírásával igazol. A jegyzőkönyv egy példányát a hulladék átadója köteles a hulladék átvevőjének átadni, illetve a jogszabályban rögzített információk kivételével a hulladék előkezelését végző gazdálkodó szervezetnek átadni. A jegyzőkönyvet a külön jogszabály szerinti nyilvántartás részeként kell kezelni.

Az alapjellemezést a jogszabályban felsorolt kivételekkel és eltérésekkel a lerakásra szánt valamennyi hulladékfajtára el kell készíteni.

A megfelelés bizonyításához szükséges mintavételt és laboratóriumi vizsgálatokat erre akkreditált laboratórium (a Nemzeti Akkreditáló Testület - NAT - által jóváhagyott szabályozási és ellenőrzési háttérrendszerrel bíró laboratórium) meghatározott módszerekkel végezheti.

A hulladék átadója a hulladéknak a hulladéklerakón való átvételét megelőzően - illetve ugyanazon típusú hulladék rendszeres átadása esetén a szerződéskötéskor - az alapjellemezéssel, azt követően megfelelési vizsgálattal igazolja az üzemeltető számára, hogy a hulladék az adott hulladéklerakón átvehető.

A hulladéklerakó üzemeltetője az engedélyében előírt feltételek mellett azt a hulladékot veheti át, amely megfelel az alapjellemezésnek, rendszeresen keletkező hulladék esetén a megfelelési vizsgálatnak.

Több létesítményben rendszeresen keletkező hulladék esetében is átvehető a hulladék megfelelési vizsgálattal, ha a megfelelés jellemzésére használandó kritikus paramétereknek az egyes létesítményekben keletkező hulladék esetében mért értékei - az ezekből számított átlagértékhez képest - legfeljebb $\pm 20\%$ -kal térnek el.

A hulladéklerakó üzemeltetője a telephelyének beléptető pontján és a lerakás helyén helyszíni ellenőrző vizsgálatot köteles végezni annak megállapítása érdekében, hogy a lerakásra szánt hulladék azonos-e az alapjellemezésben, megfelelési vizsgálatban, egyéb kísérő dokumentumban leírt hulladékkal.

Ha az alapjellemezés, a megfelelési vizsgálat alapján, továbbá a helyszíni ellenőrző vizsgálat alapján a hulladék eleget tesz a hulladéklerakó átvételi követelményeinek, a hulladék az adott hulladéklerakóban lerakható. Ellenkező esetben a hulladék átvételét a hulladéklerakó üzemeltetőjének meg kell tagadnia.

Az üzemeltető a hulladék átvételének megtagadását - az indoklást alátámasztó adatokat, információkat, valamint a szükség szerint elvégzett mérések eredményeit is tartalmazó -

jegyzőkönyvben köteles rögzíteni, a jegyzőkönyv egy példányát a hulladék átadójának, valamint a hulladéklerakó helye szerint illetékes Felügyelőségnek megküldeni.

Ha a hulladéklerakó üzemeltetője a hulladék átvételét annak nem megfelelőség alapján megtagadja, a hulladék átadója köteles a hulladékot a hulladék tulajdonságainak megfelelő hulladéklerakóba, illetve más hulladékkezelő létesítménybe vagy a saját telephelyére szállítani.

7.9.4.7 Nyilvántartás

Az üzemeltető köteles az általa átvett hulladékról meghatározott nyilvántartás részeként az alapjellemezés, valamint a megfelelőségi vizsgálat jegyzőkönyvét megőrizni.

Veszélyes hulladék átvétele esetén a hulladéklerakó üzemeltetője köteles nyilvántartani a hulladéklerakón belül a lerakott hulladék pontos helyét.

A hulladéklerakó üzemeltetője köteles ellenőrizni és nyilvántartani az engedélyben és az üzemeltetési tervben foglaltak betartását, továbbá köteles elvégezni előírt ellenőrzési és megfigyelési programot.

A mintavételezéseket és a minták elemzését erre akkreditált laboratórium végezheti.

Az ellenőrzési és megfigyelési eljárások során észlelt környezetszennyezésről az üzemeltető köteles a Felügyelőséget 8 napon belül értesíteni.

7.9.4.8 A hulladéklerakó bezárása

Az üzemeltető a hulladéklerakó ideiglenes vagy végleges bezárására irányuló döntését a hulladék átvételi tevékenységének megszüntetését megelőző 30 nappal köteles bejelenteni a Felügyelőségnek. Az üzemeltető döntése alapján ideiglenesen bezárt hulladéklerakó üzemeltetője a tevékenységét akkor folytathatja tovább, ha a Felügyelőség - helyszíni ellenőrzést követően - a hulladéklerakó további működését jóváhagyta.

Engedély nélkül vagy az engedélytől eltérően működtetett hulladéklerakó üzemeltetőjét a Felügyelőség a hulladéklerakó bezárására kötelezi. A hulladéklerakó üzemeltetője a

tevékenységét akkor folytathatja tovább, ha a bezárás okait megszüntette, és ez alapján a Felügyelőség a hulladéklerakó további működését engedélyezte.

Ha az üzemeltető a bezárás okait a kiadott határozat jogerőre emelkedésétől számított 1 éven belül nem szünteti meg, a Felügyelőség az üzemeltetőt a hulladéklerakó lezárására és utógondozására, illetve rekultivációjára kötelezi.

7.9.4.9 A hulladéklerakó lezárása, utógondozása, rekultivációja

A hulladéklerakó egészének vagy egy részének lezárása a Felügyelőség engedélyével végezhető. Az engedély iránti kérelemnek tartalmaznia kell a tevékenység felhagyására vonatkozóan külön jogszabályban előírt teljes körű környezeti felülvizsgálati dokumentációt, a felülvizsgálat alapján a környezet védelme érdekében szükséges intézkedéseket, a lezárásra és az utógondozásra vonatkozó tervdokumentációt.

A hulladéklerakó lezárására a lerakott hulladék szervesanyag-tartalmától függően két ütemben kerülhet sor, ha a hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlásának meggyorsítása és a hulladéktest stabilizálódása érdekében átmeneti felső záróréteg rendszer alkalmazása indokolt. A végleges felső záróréteg rendszer kialakítására a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött.

A hulladéklerakó lezárására vonatkozó határozatban (a hulladéklerakó esetleges veszélyt jelentő időtartamát figyelembe véve) a Felügyelőség utógondozási időszakot határoz meg. A lezárt hulladéklerakó karbantartásáért, megfigyeléséért és ellenőrzéséért az utógondozási időszakban az üzemeltető felelős: köteles az utógondozás időszakában észlelt környezetszennyezésről a Felügyelőséget - az észleléstől számított 8 napon belül - értesíteni.

Nem rekultivált hulladéklerakó, illetve hulladék elhelyezésére használt terület rekultivációja a Felügyelőség engedélyével végezhető, melyhez engedély kérelemnek az alábbiakat kell tartalmaznia. Az engedély iránti kérelemnek tartalmaznia kell: a tevékenység felhagyására vonatkozóan külön jogszabályban előírt teljes körű környezeti felülvizsgálati dokumentációt, a felülvizsgálat alapján a környezet védelme érdekében szükséges intézkedéseket, a rekultivációra vonatkozó tervdokumentációt.

A hulladéklerakó rekultivációjára a lerakott hulladék szervesanyag-tartalmától függően kettő ütemben kerülhet sor. Az első ütemben átmeneti felső záróréteg rendszerrel kell lezárni a hulladéklerakót a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek biológiai stabilizálódásáig, de legfeljebb 10 évig. Ezt követően végleges felső záróréteg rendszer kialakítására követően kerülhet sor.

A Felügyelőség az utógondozási időszak meghatározásakor figyelembe veszi azt az időtartamot, ameddig a hulladéklerakó még veszélyt jelenthet a környezetre. A rekultiváció időszakában a hulladéklerakó karbantartásáért, megfigyeléséért és ellenőrzéséért a Felügyelőség határozatában (engedélyben, illetve kötelezésben) meghatározott üzemeltető vagy a terület tulajdonosa a felelős.

Az engedélyes vagy kötelezett köteles az utógondozási időszakban észlelt környezetszennyezésről a Felügyelőséget - az észleléstől számított 8 napon belül - értesíteni.

7.9.4.10 Jelentéskészítés és adatszolgáltatás

A hulladéklerakó üzemeltetése és utógondozása alatt végzett ellenőrzésekről, megfigyelésekről, valamint a gyűjtött vizsgálati eredményekről az üzemeltetőnek az engedélyben előírt gyakorisággal, de legalább évenként egyszer összefoglaló jelentést kell készítenie, mely összefoglaló jelentést legkésőbb a tárgyévet követő év április 30-áig a Felügyelőségnek meg kell küldenie.

7.9.4.11 Monitoring-rendszer a hulladéklerakó üzemeltetési és az utógondozási időszakában

1. Meteorológiai adatok gyűjtése

A hulladéklerakó vízháztartásának megfelelő értékeléséhez, a vízmérleg elkészítéséhez szükséges annak megállapítása, hogy a csurgalékvíz felhalmozódik-e a hulladéklerakóban vagy elszivárog meghatározott jellemzőket a megadott gyakorisággal kell gyűjteni a Felügyelőség határozatában megállapított ideig.

2. A csapadékvíz, a csurgalékvíz, a felszíni víz és a hulladéklerakó-gáz ellenőrzése

A vizsgálandó paramétereket a lerakott hulladék összetétele és a hulladéklerakó helyének hidrogeológiai tulajdonságai alapján a Felügyelőség határozatban állapítja meg.

3. A felszín alatti víz ellenőrzése

A felszín alatti vízáramlás szempontjából a hulladéklerakó feletti területen legalább egy, a hulladéklerakó alatti területen legalább két monitoring kutat (mérési pontot) kell kialakítani a hulladéklerakó hatásterületén belül. Referenciaértékeknek a felső monitoring kútból vett vízminta vizsgálata során mért értékeket kell tekinteni. A hulladéklerakóból származó szennyezettség jellemzésére az alsó monitoring kutakból vett vízminták vizsgálata során mért értékeket a referenciaértékekhez kell viszonyítani. A monitoring kutak helyét és számát - a tervezőnek a hulladéklerakó hatásterületére készített hidrogeológiai szakvéleményen alapuló javaslata figyelembevételével - a Felügyelőség határozatban állapítja meg.

7.9.4.12 A hulladéklerakó lezárásával, utógondozásával, rekultivációjával kapcsolatos követelmények

A hulladéklerakó lezárásával és utógondozásával kapcsolatos követelmények

- a) a lezárásra és utógondozásra vonatkozó tervdokumentáció elkészítése és engedélyeztetése,*
- b) a hulladéklerakó felső záróréteg rendszerének átmeneti és/vagy végleges kialakítása,*
- c) a hulladéklerakó-gáz gyűjtési és kezelési rendszerének kialakítása és működtetése,*
- d) a csurgalékvíz kezelési rendszerének kialakítása és működtetése,*
- e) az utógondozási időszakban szükséges monitoring-rendszer kialakítása és működtetése,*
- f) a hulladéktest formálása, felszíni rétegeinek tömörítése, rézsűk kialakítása, tájba illesztés, a terület további használatának figyelembevételével,*
- g) a további felhasználásra nem tervezett berendezések és építmények elbontása, az általuk elfoglalt terület tájba illesztése,*
- h) a fenntartási és állagmegóvási munkák elvégzése az utógondozás teljes időszakában,*
- i) az utógondozás befejezése,*
- j) a jelentéskészítési kötelezettség teljesítése.*

A rekultivációra vonatkozó terv elkészítésekor figyelembe kell venni az alábbiakat is:

- a) a végleges felső záróréteg rendszer kialakítását zavaró növényzet (bokrok, fák) eltávolításának szükségességét,*
- b) a lerakó felszínén a szükséges mértékű kiegyenlítő réteg kiépítését,*
- c) a szigetelő réteg kialakításánál a csapadékvíz levezetésének segítségét.*

7.9.5 Az egészségügyi hulladékok kezelésével kapcsolatos fontosabb törvényi előírások.

Jogszabály		Tartalmi követelmény
Száma	Címe	
1995. évi LIII. törvény	A környezet védelmének általános szabályairól	Kerettörvény, amely a hulladékkezelés csökkenését tűzi ki célként illetve meghatározza az önkormányzatok feladatait.
2000. évi XLIII. törvény	A hulladékgazdálkodásról	Felhatalmazást tartalmaz a részletes jogszabályok megalkotására. IV. fejezete szabályozza az önkormányzatokra vonatkozó kötelezettségeket.
22/2001. (X. 10.) KöM rendelet	A hulladéklerakás valamint a hulladéklerakók lezárásának és utógondozásának szabályairól és egyes feltételeiről	A rendelet részletesen meghatározza a hulladéklerakók létesítésével és üzemelésével, a hulladékátvétel követelményeivel, valamint az ellenőrzési és megfigyelési eljárásokkal kapcsolatos, minden hulladéklerakó kategóriára vonatkozó általános műszaki előírásokat.
3/2002. (II. 22.) KöM rendelet	A hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről	A rendelet szabályozza az engedélyezési eljárás sajátos szabályait, a hulladék fogadását és átvételét, az üzemeltetés sajátos feltételeit, a légszennyező anyagok kibocsátási határértékeit, előírásokat a füstgáztisztító egységből származó szennyvízkibocsátásokra és az égetési tevékenység során keletkező hulladékokra.
98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet	A veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről	A veszélyes hulladék kezelését gyűjtését, tárolását, szállítását, a hulladékgyűjtő helyek, illetve a hulladéktároló udvar műszaki követelményeit, az engedélyezés rendjét is tartalmazza a rendelet.
16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet	A hulladékok jegyzékéről	A rendelet tartalmazza a veszélyes és nem veszélyes hulladékok jegyzékét, illetve a veszélyes hulladékká minősítés feltételeit.
1/2002. (I. 11.) EüM rendelet	Az egészségügyi intézményekben keletkező hulladékok kezeléséről.	A rendelet szabályozza az egészségügyi intézményekben keletkező hulladékok kezelését, nyilvántartását.

Jogsabály		Tartalmi követelmény
Száma	Címe	
164/2003. (X. 18.) Korm. rendelet	A hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről	A rendelet meghatározza a nyilvántartás és adatszolgáltatás feltételeit, tartalmát, a termelők, birtokosok és kezelők kötelezettségeit.
85/2004. (X. 1.) ESzCsM rendelet	az egészségügyi intézményekben keletkező hulladék kezeléséről szóló 1/2002. (I. 11.) EüM rendelet módosításáról	Az egészségügyi hulladékok fertőtlenítésekor alkalmazható technológiák pontosítása.

7.10 A szerves hulladékok (a biomassza) hasznosítása energetikai célokra

7.10.1 Magyarország energiaellátottsága, biomassza-potenciálja.

A hazai helyzet jellemzésébe „bele kell férjen” néhány csak globálisan tárgyalható tendencia, ill. jellemző számadat-, amelyek összehasonlításában sokkal világosabb kép alakulhat ki a számunkra fontos hazai lehetőségekről.

A világ primer energiafogyasztása jelenleg kereken 450 EJ (ExaJoule; 10^{18} Joule), 2020-ra ez 600, majd 2050-re 850 EJ-ra növekedhet.

E rendkívül dinamikus növekedés fő okozója a Föld néhány gyorsan növekvő térsége (Afrika, Közép-Kelet, Dél-Ázsia), ahol a növekedési ütem 4-5%/év között van, míg a fejlett ipari országokra (ebben kissé más okok miatt Oroszország és Kelet-Európa is benne van) elég pontosan ráillik az 1,3%/év adat.

Mindemellett a Föld lakosságának kb. 80%-a számára reménytelen a jólétet (is) jelentő magasabb szintű energiaellátottság.

Ennek egyik oka a közismerten rövid időre elegendő fosszilis energiavagyon, de a környezet korlátozott teherbíró-képessége is (főleg CO₂ kibocsátás.)

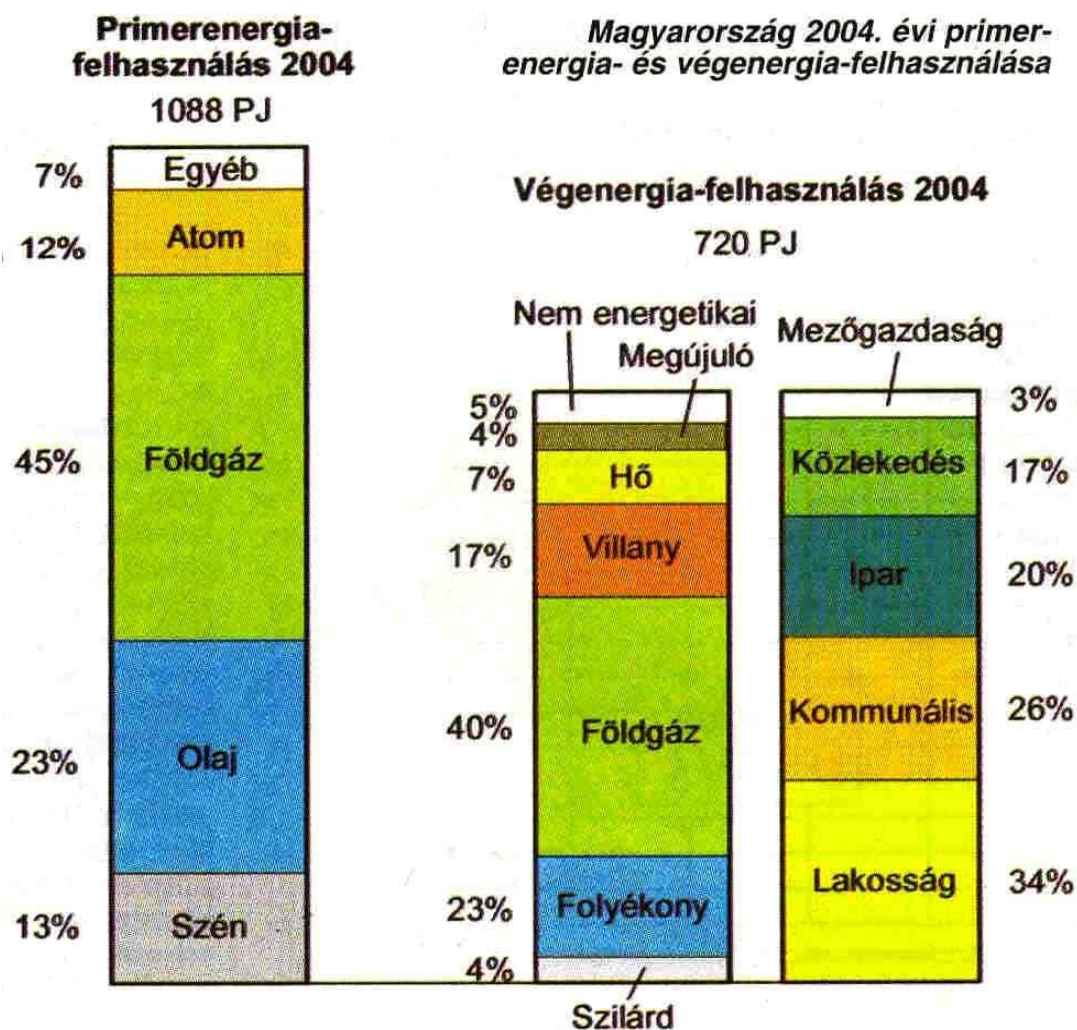
A félévszázados prognózis szerint e téren kevés történik:

- a kőolaj felhasználás abszolút értéke változatlan, csak %-os aránya csökken kb. felére
- a megújuló energiaforrások részaránya nem igen lesz több a jelenlegi kétszeresénél.

Természetesen ugyanilyen irányban hat az is, hogy a kilencvenes évekre jellemző közel stabil 15-20 \$/hordó kőolajár – bár az olajválság előttinek kb. ötszöröse – napjainkra már 60 \$ körül látszik ingadozni.

Mindennek pedig elvileg a megújuló energiatermelés – köztük a biomassza alapú – gyors fejlődése irányába kéne mutatni.

Magyarország viszonylatában az alábbi ábra mutatja mind a primer, mind a végenergia felhasználás jelen helyzetét energiatípusok és fogyasztási szektorok tekintetében is.



236. ábra. Magyarország primer- és végenergia felhasználásának megoszlása 2004-ben

Ami ebből fontos:

- a) Hazánk a globális felhasználás kb. ¼%-át igényli.
- b) Primer energiahordozókban import függőségünk több, mint 70% (hasadóanyaggal együtt), amiből a földgáz 40%-a szinte példátlanul nagy érték
- c) Az energiaellátás (országos) hatásfoka (720/1088) 66%-os
- d) Három hasonló nagyságú tétel összevetéséből több következtetés is származtatható:
 - A villanyáram termelés és közlekedés (utóbbi a folyékony energiahordozók túlnyomó részének -23-ból 17%- felhasználója) kitűnik a többihez képest legrosszabb és együttesen 30-35% közötti energetikai hatásfokával.

Ez a szűk tartomány jellemző ugyanis mind a turbinás/generátoros gőz körfolyamatra és a robbanómotorokra.

- Könnyen belátható, hogy a kg CO₂ kibocsátás/termelt kWh formájában normált környezetkárosító hatás pontosan fordítottan arányos a hatásfokkal.

Ennek másik befolyásoló tényezője pedig a tüzelő-, vagy üzemanyag összetétele; pontosabban C/H aránya (metánnál ez a fajlagos a barnaszénének, vagy n-dekánénak kb. a fele).

Világos tehát, hogy nemcsak a természeti forrásokkal való gazdálkodás, de a környezetterhelés csökkentése szempontjából is létfontosságú a (meglévő) rendszerek hatásfokának növelése.

- Ez a villamos energia termelés esetén főleg a nagyhőfokú gázturbinás körfolyamattal történő „fejelés” (gőzkazán fűtése a még megfelelő fokú expandált füstgázzal) és kisebb mértékben a kapcsolt hő- és villanytermelés („kogeneráció”, CHP) segítségével lehetséges. Ennek mértéke megközelítheti a klasszikus 30%-os hatásfok kétszeresét.
- Robbanómotoroknál a hatásfok növelés lehetőségei jóval szerényebbek (dízelesítés, hibrid hajtások) – amelynek hatását gyakorlatilag kioltja az a tendencia, miszerint pl. a Nyugat-Európában eladott autók motorteljesítménye 1990-től napjainkig közel másfélszeres; 61-ről 83 kW-ra nőtt átlagosan.

Mindezekből a tendenciákból jelen tárgyunk számára igen fontos következtetés adódik: e két fontos és legdinamikusabban növekvő végenergia felhasználásra együttesen igaz, hogy: **csak folyadék- és gázhalmazállapotú tüzelőanyaggal működhetnek, ill. adnak jobb hatásfokot.**

Olyan konverziós útvonalakra van tehát szükségünk a biomassza potenciál energetikai hasznosításához, amelynek terméke e feltételt kielégíti.

Elvileg persze lehetséges visszatérni a szén-elgázosítás mára gazdaságtalan és nehéz útjára, valamint:

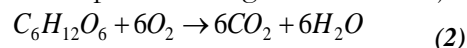
A lakossági/kommunális energiaigény számottevő és kevésbé növekvő részének, az alacsony hőfokszintű fűtésigénynek kielégítése lehetséges a biomassa direkt eltüzelésével, de ennek az egyébként fontos lépésnek megtétele kevésbé, szolgálja a legégetőbb problémák megoldásához való hozzájárulást.

7.10.2 A szervesanyag-lebomlás energiatermelésének elvei és számítási lehetőségei

Ismert dolog a kémiai termodinamikából, hogy egy adott reakciót kísérő hőváltozás úgy kapható meg, ha a reakciótermékek entalpiáinak összegéből kivonjuk a kiindulási anyagok entalpiáinak összegét, azaz:

$$\Delta H_R^0 = \sum_j H_{termék}^0 - \sum_i H_{kiind.anyag}^0 \quad (1)$$

Tekintsük példaként a glükóz oxidációját:

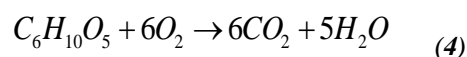


A reakcióhő ebben az esetben:

$$\Delta H_R^0 = 6 \cdot (-94.05) + 6 \cdot (-57.80) - (-238.10) = -2817 \text{ kJ/mol} \quad (3)$$

A reakcióhő (égéshő) negatív érték, azaz 2817 kJ hő szabadul fel a reakció során minden egyes mol eloxidált glükózból.

A fenti példa különlegesen fontos a **hulladéktechnológia gyakorlatában** is, hiszen a legnagyobb volumenű biomasszahulladék főleg cellulóz-anyagú – amely viszont majdnem pontosan glükózmolekulák (monoszacharid) sokszorozásából származtatható (oligoszacharid), és közvetlen alkalmazása a biomassza- **(dendromassa- ill. fa-) tüzelés:**



A keletkező reakcióhő ebben az esetben a tömegegységre vonatkoztatott égéshőként írva:

$$-17.5 \text{ MJ/kg}$$

Ugyanazt az égési reakciót kétféle entalpiaváltozás kísérheti, attól függően, hogy a keletkező víz gőz állapotban marad-e, vagy kondenzálódik. Az első esetben bekövetkező entalpiaváltozást hívják fűtőértéknek, míg a másikat, hiszen a keletkező vízgőz kondenzálása során energiatöbblet keletkezik az első esethez képest a második esetet kísérő entalpiaváltozás neve égéshő. Az égéshő

mindig magasabb a fűtőértékst. (A tüzeléstechnikai gyakorlatban az elégetett anyag nedvességtartalmának elpárologtatásához szükséges hőmennyiség további levonása is csökkenti a hőértéket:

$$F = \acute{E} - 24,5(9H\% + W\%) \quad (5)$$

ahol

F = fűtőérték, kJ/kg

É = égéshő, kJ/kg

H% = a vizsgált anyag hidrogéntartalma, tömeg%

W% = a vizsgált anyag nedvességtartalma, tömeg%

Fontos világosan látni, hogy mikrobiális reakciók esetén az összes kiindulási anyag és termék vízben oldottnak tekinthető, hiszen a mikroorganizmusok összes energiatermelő reakciója a sejt citoplazmájában játszódik le.

Ennek megfelelően a keletkező víz is folyadékállapotban jelenik meg, tehát az előbbiektől értelmében a **mikrobiális rendszerek az égés során elméletileg a mindenkor magasabb égéshő kinyerésére képesek.**

Minden szerves anyag égéshője tekintélyes érték, és minden esetben negatív előjelű. A szerves molekulák tehát energiát tárolnak az őket felépítő kémiai kötésekben, és ez az energia felszabadul a molekula egyszerűbbé (CO₂, H₂O) bomlása során.

Néhány szerves anyag égéshőjét gyűjtöttük ki a 103. táblázatban. Vegyük észre, hogy az 1 grammnyi anyagra vonatkoztatott reakcióhő jelentősen különbözik a három fő tápanyagcsoport (fehérjék, szénhidrátok, zsírok(lipidek)) esetén. A lipidek több, mint kétszer annyi energiát tartalmaznak grammonként, mint a fehérjék vagy a szénhidrátok, ideértve a keményítőt és a cellulózt is. Mivel a legtöbb szerves hulladék e három nagy csoportból felépülő keveréknek tekinthető, égéshőjük jó közelítéssel a 8,8-38,9 kJ/g tartományba esik.

Nagyon gyakran nem egyszerű megbecsülni a szerves hulladékok reakcióhőit közvetlenül a standardentalpia-értékekből, hiszen általában nem ismert a hulladékok pontos összetétele. Ilyen esetekben a standardentalpia-értékek csupán a várható égéshő durva becslésére alkalmasak. Létezik azonban néhány kísérleti, illetve empirikus megközelítés a reakcióhő megállapítására.

103. táblázat. Néhány szerves anyag égéshője

név	képlet	molekula-tömeg (g/mol)	ΔH^0_R (kJ/mol)	g KOI /mol	g KOI ^a /g szerves anyag	kJ/g	kJ/g KOI
szénhidrátok							
glükóz	C ₆ H ₁₂ O ₆	180	-2 817	192	1.067	15,66	14,69
tejsav	CH ₃ CH(OH)COOH	90	-1 365	96	1.067	15,15	14,23
poliszacharidok							
(pl. keményítő és cellulóz)	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _x				1.185		
lipidek							
palmitinsav	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	256	-10 038	736	2.87	39,22	13,63
tripalmitin	(CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COO) ₃ (C ₃ H ₅)	809	-31 437	2 320	2.87	38,85	13,56
fehérjék							
glicin (aminosav)	CH ₂ (NH ₂)COOH	75	-683	48	0.64	9,13	14,27
szénhidrogének							
n- dekán	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₃	142	-6 739	496	3.49	47,47	13,60
metán	CH ₄	16	-882	64	4.00	55,12	13,77

^a: kémiai oxigénigény

Az egyik megoldás a kalorimetrikus mérések alkalmazása. A mérések során felszabadult hőmennyiség azonban függ attól, hogy milyen módon történik a minta oxidációja. Az egyik lehetséges út a nyitott kaloriméter alkalmazása, melyben a nyomást konstans, 1 atm értéken tartják. Az állandó nyomáson felszabadult hő megegyezik a reakció entalpiaváltozásával. A kaloriméterek másik típusa a bombakaloriméter, melyben a reakció állandó térfogaton zajlik. Ekkor a mért hőváltozás némileg különbözni fog a nyitott kaloriméterben mérttől, szerencsére azonban ezek a különbségek rendszerint kicsinyek a szerves anyagok oxidációja során felszabaduló tetemes energiamennyiséghez képest. Ismeretesek olyan korrekciós eljárások is, melyek segítségével átszámolhatjuk a bombakaloriméterben mért eredményeinket állandó nyomású esetre.

Kétségtelen, hogy a kalorimetrikus megközelítés a legpontosabb módszer a mi esetünkben, azonban a legtöbb laboratóriumban a kalorimetrikus mérések nem tartoznak a rutin eljárások közé. Ez az oka a számos elméleti illetve kísérleti alapokon nyugvó közelítő eljárás létrejöttének. Fair et al. víztelenített szennyvíziszapok égéshőjének meghatározásával jutottak a következő empirikus formulához:

$$Q = a[P_V(100)/(100 - P_C) - b][(100 - P_C)/100] \quad (6)$$

ahol

Q = égéshő, kg/kg szárazanyag

a = empirikus együttható, melynek értéke 3,04 eredeti állapotú és rothasztott nyersiszapra, illetve 2,49 eredeti állapotú fölősiszapra

b = empirikus együttható, melynek értéke 10 eredeti állapotú és rothasztott nyersiszapra, illetve 5 eredeti állapotú fölősiszapra

P_V = az iszap illó szárazanyag-tartalma (IS) százalékban

P_C = az iszap szervesetlen kondicionálóanyag-tartalma százalékban

A fenti képletet bombakaloriméterrel végzett mérésekből kapták, és feltételezték, hogy a mért értékek nem térnek el jelentősen az állandó nyomáson mérhető megfelelőiktől.

Spoehr és Milner formulája kapcsolatot keres az égéshő és a szerves anyag redukciós foka közt. Előttük kimutatták már, hogy a szénhidrátok égéshője jóval alacsonyabb, mint a náluk redukáltabb lipideké és szénhidrogéneké. Feltételezték, hogy az égés termékei gázhalmazállapotú szén-dioxid, folyékony víz, és nitrogéngáz. A redukció foka bármely szerves anyagra a következő módon számolható:

$$R = 100[2.66(C) + 7.94(H) - (O)]/389.9 \quad (7)$$

ahol C, H, és O a szén, hidrogén és oxigén tömegszázalékos aránya hamumentes anyagban.

Az égéshő ezek után a

$$Q = 532R + 1674 \quad (8)$$

képlettel számolható, ahol Q az égéshő (kJ/kg hamumentes anyag).

Az 1.3 táblázat kommunális iszapok és hulladékok tipikus elemi összetételét mutatja.

Szintén használatos közelítés a Dulong-képlet, mely nagyban hasonlít a fent bemutatotthoz:

$$Q = 3.38(C) + 14.4[H - (O/8)] + 0.952(S) \quad (9)$$

ahol

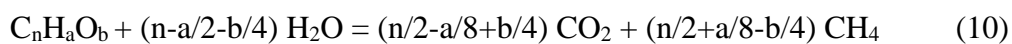
Q = égéshő, kJ/kg hamumentes anyag

S = kéntartalom tömegszázalékban, hamumentes anyagra vonatkoztatva

A fent bemutatott két módszer a hulladék elemanalízisét igényli, amely szintén nem számít rutinvizsgálatnak a legtöbb laboratóriumban. Az először tárgyalt, Fair et al. által javasolt módszer csak az illékony szárazanyag (VS) meghatározását igényli, amely könnyűszerrel elvégezhető, azonban az összefüggés csak kommunális szennyvíziszapra érvényes, más szerves hulladékokra nem.

Az 1.3.-1.5. kifejezések, illetve az eddig tárgyaltak a komplexebb szerves anyagok **teljes** elégésének illetve lebomlásának (CO₂-dá és vízzé, kén esetén kén-dioxiddá) hőtermelését jellemzik. E folyamat –vagy ennek analógja— a **biodegradációnál távolról sem teljes, a gyakorlatban tipikusan 40-60%-ban megy végbe**. Ezért azután tárgyunk szempontjából jobb megközelítés közvetlenül pl. a metanogén lebomlás két fontos termékének (metán, szén-dioxid) mennyiségét közvetlenül számítani a nyersanyag elemösszetételéből.

A képződött szén-dioxid és metán mennyisége elméletileg a következő egyenlet sztöchiometriai együtthatóiból számítható, amennyiben a disszimilált szerves molekula kizárólag szén, hidrogén és oxigénatomokból épül fel:



Új megközelítés lehetőségét rejtik a 103. táblázat utolsó sorának meglepően állandó értékei, amelyek oka az (10-ből is származtatható) arányszám az utolsó sorban:

Ennek megfelelően létezik egy, bárminemű szervesbomlás az energiavetületére érvényes ökölszabály, miszerint az égés során 14.2 ± 0.84 kJ energia szabadul fel 1 gramm KOI-nak megfelelő szerves hulladékból.

Avagy: 4g KOI-ból 1g metán képződik.

Ezek a megállapítások a legtöbb szerves anyagra igazak, és mivel a KOI-mérés a legtöbb laboratóriumban könnyedén elvégezhető, a fenti szabály alapján könnyen becsülhető az égéshő.

A fenti megfontolások tükrében érthető, hogy az anyagok széles spektrumára igaz, hogy a **KOI az aerob oxidáció során felszabaduló energiamennyiséggel arányos** (ez a hő fűti fel a

komposztálódó hulladéktömeget, vagy folyadékfázisú eljárásváltozatánál az ún. ATAD reaktor töltetét) .

7.10.3 Magyarország biomasszapotenciáljának jellemzése

7.10.3.1 Lignocellulóz összetételű mező-erdőgazdasági és feldolgozóipari hulladékok jellemzői, alkalmasságuk megítélése

Fontosnak látszik a biomasszahasznosítás / energiatermelés általános ismereteinek illusztrálásaként hazai realitásainak áttekintése, így röviden , de számszerűen bemutatni a különböző anyagfajtákat.

Az OHGT értelmezésében ezeknek az anyagoknak a 2008-ra prognosztizált mennyisége 32 Mt/év.

A fejezetcím szűkítő értelmezése szerint vett adat nem tartalmazza sem az élelmezésipar, sem pedig az állati trágyák mennyiségét – ez utóbbi külön fejezetben, energetikai hasznosítást tekintve az anaerob lebontó folyamatok nyersanyagaként később szerepel.

Kifejezetten hulladéknak tekinthető mezőgazdasági melléktermék e mennyiség mintegy 2/3-a (kukoricaszár 12 Mt/év, szalma 6 Mt/év, napraforgóhulladék és szőlő-gyümölcsstermesztés hulladékai együttesen 2-2,5 Mt/év).

Az erdőgazdálkodás összes fahozama jelenleg mintegy 9 Mt/év értékűre tehető.

Nemcsak az adatszolgáltatás – dokumentálás tekintetében, de a hasznosítás (főleg begyűjtés) szempontjából is különös nehézséggel jár képződésük rendkívüli szétszórtsága mind területi vonatkozásban, mind pedig abból eredően, hogy végletesen különböző üzemnagyságú gazdaságokból származnak.

Hasznosításuk (a szállítástól – tüzeléstechnológiákig terjedő értelemben) nehézségét gyakran jellemzik az ún. **Energiasűrűség kiszámításával, ami a fűtőérték és az anyaghalmazsűrűségnek szorzata [MJ/m³]**. Míg az általánosan használt fosszilis tüzelőanyagokra (szén fűtőolaj) a 30-50 MJ/m³ tartomány a jellemző, ennek töredéke a szalmáé: ~2 MJ/m³, vagy még a nagyüzemi tüzelésre használt faapríték-hasábfá jellemzője is: 4-6 MJ/m³.

A lignocellulóz alapú hulladékokra szűk tartományban jó közelítéssel megadható energiataralom átlagérték légszáraz (15-25, a hivatalos faátvételi kritériumként 20% víztartalom) állapotban 14-15 MJ/kg (fűtőértékben).

Ebből az a következtetés is származtatható, hogy az **energiapotenciáljuk: 450 PJ/év igen tekintélyes szám**; az előző fejezetben szereplő országos primer energiafelhasználás mintegy 40%-a – ez azonban éppen a röviden felsorolt nehézségek miatt csak töredékében hasznosul.

Egy 1999-es OMFB felmérés szerint ez az erdőgazdasági hulladékoknál 53 PJ/év, míg a mezőgazdaságinál 38 PJ/év értékű.

Nem tekinthetők hulladékoknak az ún. energianövények.

Most a lignocellulóz alapú; a szélesebb értelemben vett **olaj-cukor-keményítő tartalmú haszonnövények nélküli kultúrákat tekintjük**: Kínai nád, Szudáni fű, rostkender, „szarvasi” energiafűfajták, amelyek hazai körülmények között is igen nagy hozamot: 8-22 t szá/ha.év produkálnak.

Elterjedésüket gazdaságpolitikai-támogatási-piaci körülmények befolyásolják, hasonlóan a „klasszikus” hulladék biomassza-félék hasznosításához – tekintettel főleg az mezőgazdasági élelemtermeléshez fűződő viszonyukra.

Megnőtt a mezőgazdasági szektor polarizációja, emelkedett az exportorientált tömegtermelésre (főleg búzára) szakosodott nagygazdaságok szerepe, és megnőtt az önfenntartó gazdálkodást folytató, vagy legfeljebb a helyi piacra termelő kisgazdaságok száma. A magyar mezőgazdasági termékek kínálata jelenleg meghaladja a keresletet, és sok mezőgazdasági importtermék olcsóbb, mint a hazai. Az intenzív szántóföldi növénytermesztésre, vagy kertészeti termelésre kevésbé alkalmas területeken történő energiacélú növénytermesztés a gazdálkodóknak biztosabb és kiszámíthatóbb jövedelmet jelenthetne. Az energiaültetvény, illetve az erdősítés másodlagos előnyökkel is járna a talajvédelem és a vízmegtartó képesség szempontjából. Az EU csatlakozás óta a gazdák pénzügyi támogatást kapnak mezőgazdasági területek erdősítésére. Az energiaültetvények és az energiaerdő létesítésének legfőbb akadálya az, hogy az energiaültetvények számára felhasználható földek (az élelmiszer-termelés számára kedvezőtlenebbek) a kisgazdák tulajdonában és használatában vannak, akik nem érdekeltek az erdősítésben, hanem földjüket lehetőségeikhez képest maximális mértékben meg akarják művelni, hiszen legtöbb esetben ez az egyetlen megélhetési forrásuk.

A környezetvédelem és a természeti erőforrások fenntartható kihasználása és kezelése az Országos Területfejlesztési Koncepciónak is egyik fő célkitűzése. A Nemzeti Környezetvédelmi Program intézkedési terve, vagy a Nemzeti Környezetvédelmi Program intézkedési terve kiemelten foglalkozik a biomassza termeléséből származó várható egyéb

előnyökkel is, nevezetesen, hogy az hozzájárulhat a művelésből kivont mezőgazdasági területek csökkentéséhez és új munkahelyek teremtéséhez.

Az energiatakarékossági program a biomassza felhasználását mind rövid, mind hosszú távon ajánlja. Ezzel a javaslattal viszont nincs összhangban több országos stratégiai elképzelés

A biomassza piaca eléggé kialakulatlan, mivel a biomassza energetikai felhasználása Magyarországon embrionális állapotban van. Eltekintve néhány működő biomasszás energia projektől, a biomassza többnyire mint nem szándékosan termelt melléktermék keletkezik, és amennyiben energiatermelésre használják, a biomasszát többnyire maga a termelő hasznosítja. A fafeldolgozó cégeknél például általános gyakorlat, hogy hőszükségletüket saját fahulladékok felhasználásával maguk fedezik.

A biomassza két formájának van csak rendszeres piaca, ez a szalma és a faapríték. Az értékesített szalmát azonban főleg az állattartó telepeken alomként, a cellulózzgyártásban nyersanyagként használják fel, nem pedig energiatermelésre. A faapríték esetében a piac labilis és nem eléggé szervezett. A biomassza néhány fajtáját, pl. a nyárkérget és fahulladékot nehéz eladni. A viszonylag olcsó fosszilis tüzelőanyagokkal (különösen a földgázzal és fűtőolajjal) fennálló versenyhelyzet miatt a biomassza termékek kereslete kisebb a kínálatnál.

A biomassza ára nem szabályozott, ezeket alapvetően a kereslet-kínálat határozza meg. A piacot jelenleg a vevők uralják, a biomassza viszonylag olcsó. Például, a szalma ára mintegy 8000 Ft/t az évszaktól, a szalma minőségétől és a bálamérettől függően. 12,0-14,2 GJ/t fűtőértéket véve figyelembe ez az ár 615 Ft/GJ-nak felel meg. A vastag tűzifa fűtőértékre vetített ára közel 1000 Ft/GJ, a biopelleté kb. 1500 Ft/GJ. Összehasonlításként, a gáz átlagos ára 2400 Ft/GJ.

Jelentős tűzifa áremelkedés várható azonban 2010-ig az államilag támogatott, igen kedvező áramátvételi árral dotált erőművek növekvő kereslete miatt.

A bio-tüzelőanyagok használatával elérhető károsanyag-emissziócsökkenés pénzbeli értéke a különböző források alapadatai szerint jelentősen eltér. A Környezettudományi Központ számításai szerint a környezetvédelmi jellegű externáris költségek szén esetében 40-60 %-ot képviselnek a teljes költségekben (főleg kéndioxid mentesítésre), míg ez biomasszatüzelésnél elhanyagolható.

7.10.3.2 Állati trágyák jellemzői, alkalmasságuk megítélése, energiapotenciáljuk.

Magyarországon a szakosított állattartó telepeken az elmúlt évtizedekben széles körben bevezetett, almozást nem alkalmazó technológiák melléktermékeként óriási mennyiségben jelentek meg a hígtrágyák. Ezek a gazdaságok számára súlyos tehertételként jelentkeznek,

mivel a hagyományos módszerekkel nem hasznosíthatók. A nehézségeket fokozza azok gyakran igen alacsony, egy korábbi állapotban jellemzően 1% körüli szárazanyag tartalma.

Ez az energianyerés esélyeire hátrányos körülmény hatása azonban visszaszorulóban van, még a korábbi nagyüzemek folytatódó működtetésében is, elsősorban vízgazdálkodási (vízárnövekedés) és környezetvédelmi megfontolások érvényesülésével.

A hígtrágya, amely az állati széklet, vizelet, takarmány, valamint a belekerülő homok, szőr, stb., vízzel felhígított keveréke, jó nyersanyaga az eljárásnak, mert tartalmazza a szénforráson kívül a folyamathoz szükséges összes ásványi anyagot is

A szarvasmarhatrágyák tekintetében – különösen a vágóállattenyésztésben, de a tejelőtehéntartásnál is - jelentős töményedés látható ill. nagyobb telepnagyságnál is egyre több az úgynevezett mélyalmos tartás, ahol a trágyák szárazanyagtartalom értéke eléri, vagy megközelíti a 20 %-ot. **Összefoglalva legfontosabb jellemzőjük tehát a szárazanyag tartalmuk. Magyarországon ez átlagosan, illetve a belátható, évtizedes távlatban 4.5 -7%-ot elérő érték már igen kedvezőnek számít. A szervesanyag, mely a szárazanyag kb. 80 %-a viszont nagyjából oldhatatlan formában van jelen.**

Látható az is, hogy a KOI/szervesanyag arány jó közelítéssel 1.05-1.2 értékű.

Igen sok adat látott napvilágot arról, hogy a legkülönbözőbb mezőgazdasági, ipari és kommunális hulladékok rothasztása elvileg milyen biogáz, vagy metánmennyiség képződéséhez vezet. Ezek az adatok **félrevezető hatásúak lehetnek** azzal, hogy a biokémiai bonthatóság által meghatározott technikai realizálhatóságra nem hívják fel a figyelmet. Igen jellemző, hogy e hulladékok felsorolása mellett egy helyen jellemzően (8-tól) 100 napig terjedt rothasztási időtartam szerepel, ami a viszonylag bonyolult, fűtött reaktorok beruházási költsége tekintetében irrealitásával önmagáért beszél.

Az ürülékben a meg nem emésztett rostanyag baktériumtömegeből álló mátrixba ágyazódik be. A rostos részek hányada meghaladhatja az 50% -ot.

A biogázosítás nyersanyaga tehát **elsősorban nem a szilárd fázis**, hiszen az elúszó részben a könnyen bomló komponensek jórészt bennmaradnak

Az eddigiekből megállapítható műszaki-technológiai követelmények:

A telepek takarékos vízfelhasználása (már működőknél a technológiai fegyelem megszilárdításával is) bármiféle gazdaságos feldolgozásuk előfeltétele.

Véleményünk szerint a hígtrágyák gazdaságos biogázosításának kulcsa

szervesanyagtartalmuk erre legalkalmasabb, és hatékonyságban optimális eredményt hozó hányadának igénybevételén, és (részben) ebből eredően az eljárás intenzifikálásában rejlik.

Általában követelményként állítható fel, hogy korszerű, fejlett eljárás képes legyen arra, hogy a tartózkodási időt lerövidítse, a szervesanyag konverzió változatlan magas szinten tartása mellett. Ez a beruházásokban fő tételként jelentkező rothasztótér lecsökkentését jelenti.

Az országos potenciál megközelítését négy egymásra épülő mennyiségi elemzés szolgáltatja:

- Az állatállomány jelenlegi és rövidtávú várható változása
- A fajlagos trágyatermelés jellemzése
- Az állattartó telep nagyságokra vonatkozó ismeretek értékelése
- Az energetikai potenciál számítása a technológiai fajlagosok segítségével.

104. táblázat. Az állatállomány és összes élősúly adatai a hasznos trágyakompones hozamokkal

	Jelen állapot			Rövid távú becslés, 2006		Trágya (T/d)	
	ezer db	átlagélősúly (kg)	állomány (ezer t)	ezer db	állomány (ezer t)	szerves anyag	KOI
Hízósértés	5088	45	229	9286	418	2006	2383
Anyakoca	391	(135)	53	714	96	461	547
Összesen	5479	(51,4)	282	10.000	514	2467	2930
Vágómarha	46,6	275	128		128	755	845
Tehén	407	550	224		224	1926	2038
Összesen	873	-	352		352	2681	2883
Mindösszesen			634		866	5148	5813

Az országos biogázpotenciál ($0,26 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$. bemenő szervesag) 492 M Nm^3 metán/év, ill az ennek megfelelő $17,23 \text{ PJ/év}$ energiamennyiség.

Az állattartó telepnagyságok méreteire, de főleg megoszlásukra viszonylag kevés adat ismeretes.

Az elmúlt időszak tanulságai arra utalnak, hogy viszonyaink között a minimális méret a komplex árutermelő sertéstelepek esetében 300-400, a maximális mérete pedig 900-1000 anyakocában és szaporulatában határozható meg. Az állattartó teleppel integrálható biogázfejlesztő és hasznosítómű **technológiai gazdasági alsó kapacitás határa.**

7.10.3.3 A szennyvíziszapok képződése, technológiai környezete, biogáz potenciálja

A szennyvíztisztítási eljárások eredeti **leszűkített értelmű célkitűzése** (a vízfázis szennyezőinek eltávolítása) **mellett** mára egyértelművé vált az álláspont, hogy a tisztítás melléktermékeként képződő **iszapok elhelyezésének problémája az előzőekhez hasonló súlyú.**

Egyre nehezebb emiatt az iszapok termőföldi elhelyezése, amely egyedül biztosíthatná a természetes megoldást a biogeokémiai ciklusokba történő bekapcsolódással.

A viszonylag kevésbé költséges lerakást (a szintén óriási volumenű kommunális hulladékkal együtt) a rendelkezésre álló lerakóhelyek gyors telítődésén túl az egyre inkább felismert környezetszennyezés (talaj- és ivóvízkárok) is rohamosan korlátozza.

Különleges biológiai instabilitásuk miatt első helyen kell vonatkozzon az iszapokra a 2000/43 sz. Hulladékgazdálkodási Törvény, amely (EU minta alapján) rendkívül szigorú „menetrendet” irányoz elő a legolcsóbb megoldás, a hulladéklerakóba kerülő biológiailag lebomló szervesanyag mennyiség korlátozására:

- 2007-ig 50%-ára és 2014-ig 35%-ára kell csökkenjen.

A legújabb, és igen részletes mennyiségi adatokkal dokumentált adatbázis a 25/2002 (II.27)

Kormányrendelet a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és tisztítási programról.

105. táblázat. A települési szennyvízkezelésből keletkezett iszap elhelyezése és hasznosítása

Év	Hasznosított iszap		Elhelyezett iszap			
	Talaj és mezőgazdasági művelés		Lerakók		Égetés	
	Mennyiség*	Költségek**	Mennyiség	Költségek	Mennyiség	Költségek
1998	55000	-	101000	-	-	-
2000	96000	4769231	127000	1175000	-	-
2005	172000	30850000	175000	13100000	-	-
2010	305000	37000000	205000	16000000	-	-
2015	345000	5800000	172000	-	-	-

* Adott évben.

** Adott időszakban

Érdemes egy szerényebb előirányzatot is szerepeltetni a fentiek 60 %-aként:

0,177 Mt szá/év illetve 0,124 Mt szervesanyag/év.

A metánhozammal ($0,28 \text{ Nm}^3 / \text{kg}$ bemenő szervesag.) az ennek megfelelő **biogáz-metánpotenciál $34,7 \text{ MNm}^3/\text{év}$, illetve $1,21 \text{ PJ}/\text{év}$**

7.10.3.4 Települési hulladék jellemzői, mennyisége energetikai potenciálja

A települési hulladék definíciója Magyarországon is főleg a szervezett begyűjtéshez kötődik, valamivel szélesebb körű anyagfajtákat fed, mint a házi szemét.

Az OHGT előírányszava szerint mennyisége 2008 –ban 5.2 Mt lesz

106. táblázat. FKFV budapesti szemétegetőjébe kerülő települési szilárd hulladékok elemzési eredményei.

Ezek után az FKFV által üzemeltetett fővárosi hulladékégetőmű jelentősebb számú mintából üzemszerűen végzett elemzéseire célszerű alapozni a települési hulladékok energiatartalmának megítélést - amelynek adatai az alábbi táblázaton szerepelnek.Év	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Nedvesség tartalom	42,6	42,2	34,8	37,5	41,5	40,6	41,5	45
Hamu, izzítási maradék %	26,1	28,5	35,5	31	29,6	30,4	25,9	36,7
Izzítási veszteség (szerves)	31,3	29,3	29,8	31,1	28,9	29	32,6	18,3
Összes szerves C	17,2	18,4	19,2	17,7	19,6	19,2	20,4	17,5
É égéshő KJ/kg	7250	7770	8120	7450	7699	7780	8577	7510
F Fűtőérték KJ/kg	6150	6340	6860	6340	6849	6799	7120	5900
Vizsgált minták száma	111	141	160	95	101	117	78	60

Mindezek alapján indokolt közelítésnek látszik a vizes közegben játszódó biogáz energiaképződést leíró $E = 7770 \text{ kJ/ kg}$ égéshőből kiindulni különös tekintettel arra, hogy az irodalmi adatok e fölött helyezkednek el.

A számításba vehető biogázosításra rendelkezésre állható anyagmennyiség az országos adat 66,8 %-aként 3.4 Mt/év, illetve $26,8 \cdot 10^9$ MJ/év azaz 26,8 PJ/év energiapotenciál.

A számításokhoz a biogázosítás paramétereit használva (25.5 % szervesanyagtartalom, valamint $0.25 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ bemenő IS metánhozam) összesen $216 \text{ Mm}^3/\text{év}$ metántermelő kapacitás, és 7,54 PJ/év biogázenergiapotenciál adódik

7.10.4 Nyersanyagspecifikus eljárások és berendezések, fejlesztési irányok

7.10.4.1 Lignocellulóz alapú hulladékok energetikai hasznosítása

A kérdéskör szélsőséges végletek között változó megítélésű.

Ennek mindenekelőtt indoka, hogy vitathatatlanul legnagyobb elméleti biomassa-energiapotenciál frakcióról van szó. Az előző fejezet szerint ez **mintegy 450 PJ/év; az országos primer energiafelhasználás mintegy 40%-a – és ehhez képest igen kis része kerül hasznosításra** – az ugyanott említett nehézségek miatt és a közel teljes hasznosításra a jövőben is kicsi az esély. Ennél az anyagcsoportnál érvényesül az **elméleti-technikai – gazdasági hasznosíthatóság közötti különösen markáns eltérés** – ami hasonlóképpen fennáll az energianyerési technológiák között is.

A közvetlen eltüzeléstől az elvileg magas hozzáadott értékű tárolható motorhajtóanyagig terjedő termékű megoldások az alábbiakban külön-külön részletezett okokból e tárgyban még nem érdemesek kiterjedtebb tárgyalásra.

Ennek másik általános oka, hogy e hulladékfajta instabilitása kicsi, így az **energianyerő hulladéktechnológia környezetszennyezést csökkentő hatása csekély** – természetesen a CO_2 kibocsátás csökkenésén túl, amiben viszont nincs különbség egyéb anyagok feldolgozási útvonalaihoz képest.

Az instabil ezért célszerűen biogázosítás nyersanyagaként szereplő hulladékok kezelése egy másik környezeti szempontból is sürgetőbb feladat. Metanogén spontán **lebomlásuk ugyanis természetes körülmények között is viszonylag gyorsan beindul, és termékük a CO_2 -hoz képest 25-ször nagyobb üvegházhatás okozó hatékonyságú**. Ezért azután a mesterségesen irányított és metánégetéssel végződő folyamat környezeti előnye is sokszoros.

A biomassa közvetlen égetése

Egyrészt a legősibb energiatermelő folyamat (fatüzelés), másrészt a hulladékégetés egyik, némileg különleges esete (minimális emisszióval), amely utóbbi viszont jelen jegyzet más fejezetének tárgya.

Hazánkban is dinamikus fejlődésnek indult a nagyléptékű, villamos energiatermelést célzó klasszikus gőz körfolyamatot (gőzturbina – generátor aggregát, legtöbbször hőhasznosítás nélküli permetező, vagy fejlettebb léghűtésű Heller-Forgó f. hűtőtornyokkal működő hűtővíz-visszahűtéssel) alkalmazó erőművek kialakítása.

Az esetek többségében meglévő széntüzelésű erőművek, átalakításáról van szó. A fűtőanyag túlnyomórészt rönkfából aprított faapríték (amelyet lehet „elegánsan” dendromasszának is hívni).

Az erdészeti szakmában elfogadott térfogati mennyiségi egység a m^3 tulajdonképpen $1 \times 1 \times 1,7$ m-es befoglaló méretű rönkfa rakatot jelent. Ennek ún. „élőnedves” állapotban 8,5-9q fatömeg felel meg. Az erőművi átvételkor alapul vett 20%-nyi légszáraz állapotot jelző nedvességtartalom 25-30%, tehát a mértékadó lombosfa sűrűség átlagosan $0,634 \text{ t/m}^3$. Megjegyzendő, hogy az erőművek állami támogatásán alapuló keresletnövekedése jelenleg (2006) máris 13-18 eFt/ m^3 , azaz légszáraz állapotban 8,25-11,4 eFt/t értékre növelte a tűzifa árát.

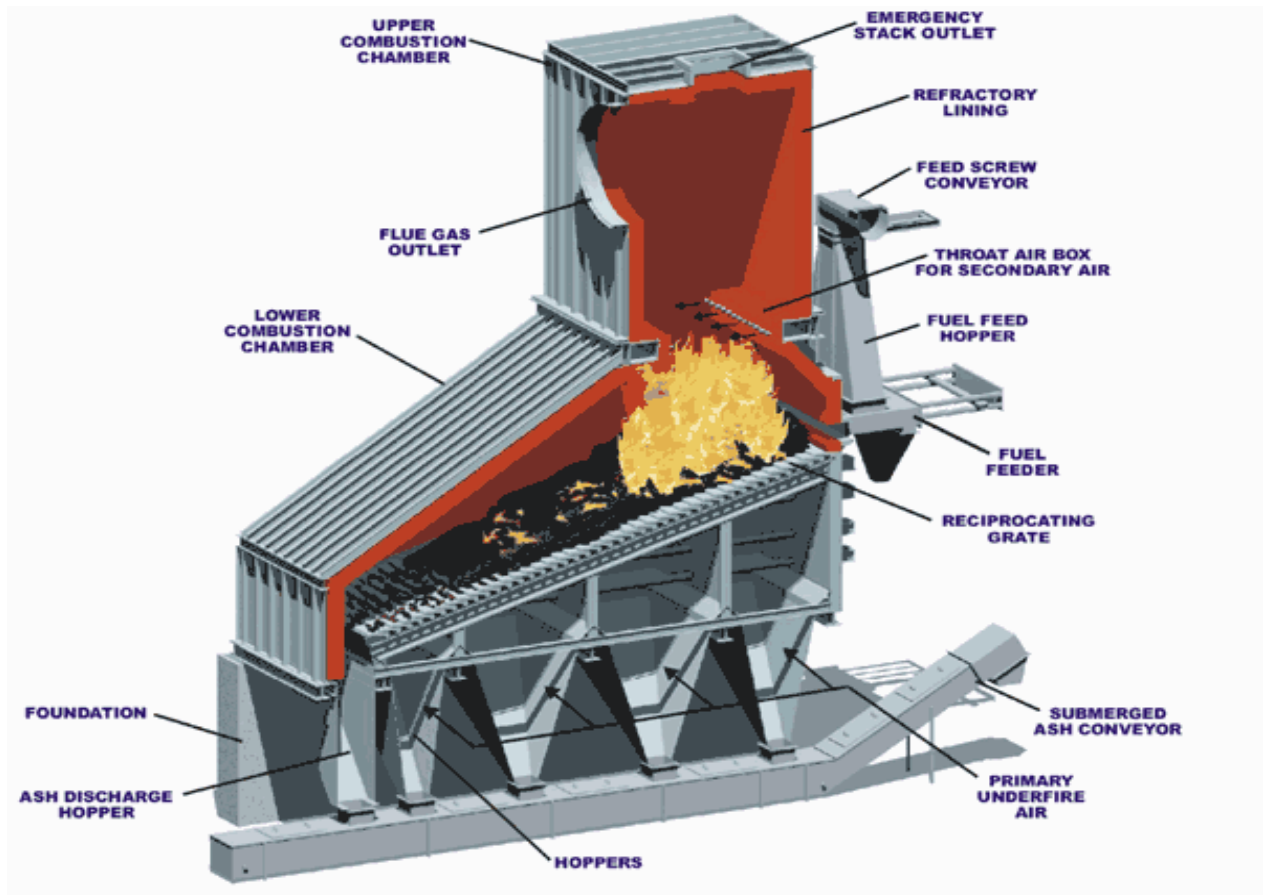
A tulajdonképpeni hulladék-biomassza égetése igen kismértékű. Némileg specifikus jellegű a légszáraz faapríték kiégetésének fázisai:

- a) felmelegedés és a 15-25% nedvesség elpárolgása
- b) illékony gázok – gőzök (puhafánál 75%, keményfánál 80%) felszabadulása, kidesztillálódása 180-530 °C között
- c) az illékony termékek elégeése 630-730 °C között
- d) a szerves szilárd maradék kiégetése

A **237. ábra** az esetek túlnyomó részében használt rostélyos tüzelésű rendszer vázlata látható.

Az 1,1-1,3 közötti légefelesleg tényező mellett jó kiégés, viszonylag kismennyiségű, jó olvadási tulajdonságú, de főleg hasznosítható alkáli tartalmú (Na_2O , K_2O) fahamu képződik.

Hazánkban ezidőszerint három nagyteljesítményű, Ajka , Borsodi, Pécsi hőerőmű működik így.



237. ábra. Rostélyos fatüzelésű rendszer vázlatja.

A másodlagos égési levegő hozzávezetése az illékony termékek égetéséhez szükséges.

A biomassza hőbontása, elgázosítása

Korábban igyekeztünk világos kritériumként felállítani az energiatermelési alternatívák közötti döntéshez szükséges szempontokat.

Jelen fejezetben ebből fontos:

- a közvetlen eltüzeléshez képest előnyt élvez a tárolható energiahordozóvá alakítás; ezen belül:
- a folyékony és gáz halmazállapotú termékek lehetővé teszik nagyléptékű erőművi hasznosításnál a kombinált „gázturbinás fejlesztésű” gőz-körfolyamatok használatát
- robbanómotor-hajtóanyagként is megfelelő folyékony (későbbi fejlesztések birtokában esetleg gázalakú) üzemanyag a legszűkösebben rendelkezésre álló legdrágább kőolajszármazékok kiváltására is alkalmasak.

A lignocellulóz biomasszák hőbontása jelenleg a talán leginkább perspektivikus eljárás csoport:

- amelyek közös jellemzője, hogy oxigén mentes, ill. gyakrabban oxigénszegény atmoszférában zajlanak (0,2-0,5 légszázalékos tartományban)
- hőfokuk jelentősen az égetés alatt van
- termékeik: a szilárd „kokszt”

a **pirolízis olaj** (viszonylag nagy O₂ tartalmú szénhidrogénkeverék)

a **pirolízisgáz** (H₂, CO, CO₂ és rövidebb szénláncú szénhidrogénekből)

- e termékek összetételét és egymás közötti mennyiségi arányát alapvetően meghatározza:
 - o az alkalmazott hőmérséklet
 - o a nyersanyag kezelési/tartózkodási ideje, és ezzel együtt felfűtésének sebessége
- termékek visszahűtésének sebessége (a nem kívánt tovább-bomlás elkerülésére)

A fentiekből következően a biomassza hőbontásával leggyakrabban párhuzamosan használt neve a pirolízis mint gyűjtőfogalom.

A „**karbonizáció**” általános megjelölés mellett a különlegesen lassú és alacsony hőfokú eljárás változat tulajdonképpen az ősi **faszéngyártási** folyamat értendő, amelynek csak szilárd végtermékét hasznosítják, de az egyszerű eszközökkel szabályozott légszázalékos melletti fagázképződés csak az endoterm folyamat hőigényének fedezését szolgálja. A kevésbé jól tárolható gáztermék ilyen felhasználása a korszerűbb változatoknál is gyakori.

A **termikus elfolyósítás (liquefaction)** fő terméke a pirolízis olaj és változataira az alacsonyabb hőfoktartomány (400-600 °C) jellemző.

Az **elgázosítás (gasification)** hőfoktartománya a legmagasabb 900-1000 °C, ill. ennél lényegesen magasabb is lehet.

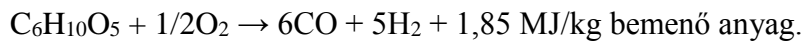
A pirolitikus termékképződésre jellemző mechanizmus szerint először primer gőz képződik, amelyből szekunder gáz, ill. kátrány keletkezik, a kondenzáció útján összegyűlő folyadék termék; olaj mellett.

A bonyolult egyidejűleg több részfolyamatból összetevődő átalakulás termékei egyenlőre kevésbé gazdaságos extra gyors külső hőközléssel, ill. elvonással terelhetők a kívánt arányok felé.

Problematikus – különösen a pirolízis olaj tekintetében – ennek összetétele, ill. egyes tulajdonságai is. Mindenekelőtt (nyersanyag- és reakcióvíz eredetű) víztartalma okoz instabilitást, korróziót, nehézkes elválasztást lehetővé tevő emulzióképződést. Gyorsan előrehalad sokszor a jelentős használati érték csökkentő polimerizáció is.

Mindezek miatt e termék továbbkezelése (upgrading) legtöbbször elkerülhetetlen. Leggyakrabban a (katalitikus) hidrogénezést, ill. zeolitos kezelést használják. Nagymértékben e nehézségek miatt alakult ki a (klasszikus fagázgyártás továbbfejlesztéseként) a maximális gáztermék-képzést célzó eljárások csoportja.

A lignocellulóz biomasszára érvényes összefoglaló **reakciósémája:**



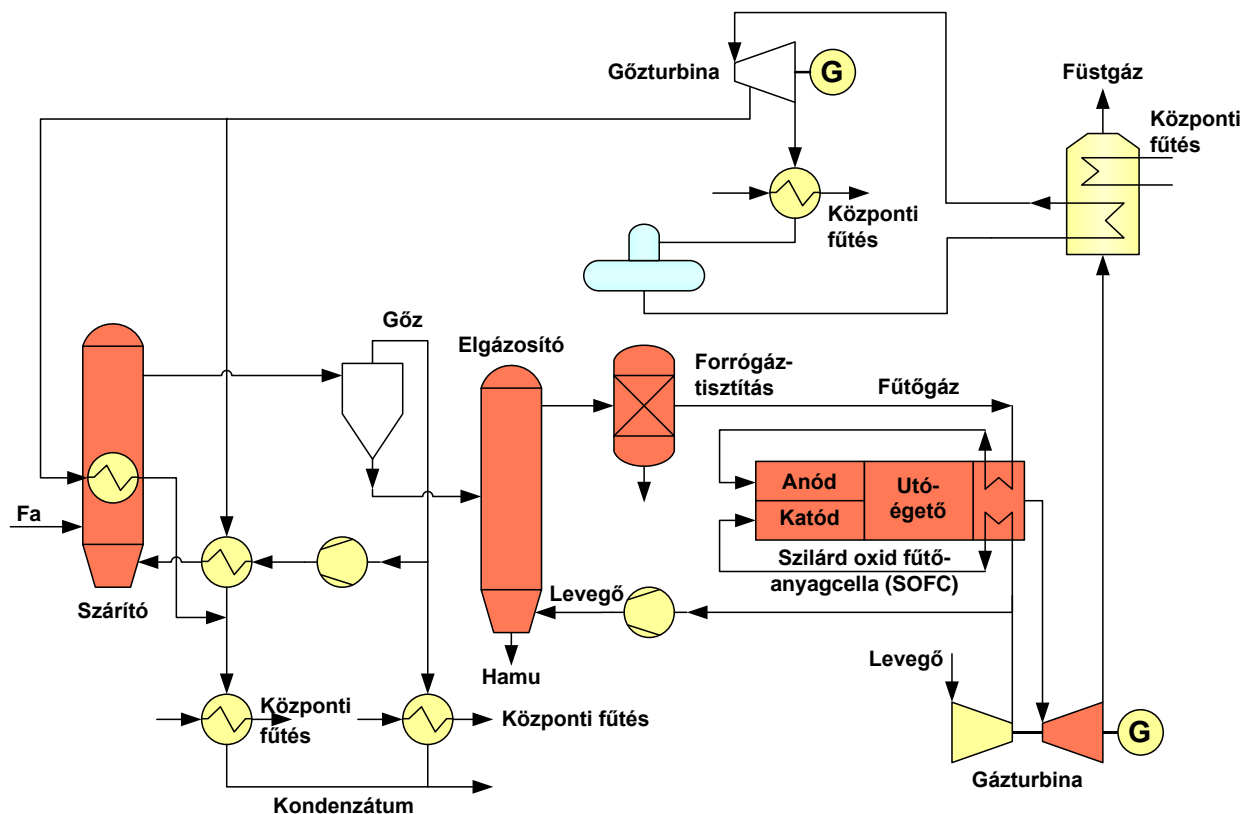
Jellemzői a különlegesen nagy hőfok (1000-2200 °C) a néhány tizedmilliméteres méretűre aprított fűrészpor igen rövid tartózkodási ideje villamos fűtésű (grafit) csőreaktorban (0,4-1,2 s).

A megfelelően gyors visszahűtést folyékony N₂ befecskendezésével történő ún. quencheléssel érik el, amivel a kátrányképződés gyakorlatilag elkerülhető. A gáz fő összetevői 11-13% CO, 14-17% H₂ és mintegy 70% N₂ – 3,2-3,5 MJ/Nm³ fűtőérték mellett. Ez csak félüzemi fejlesztésként működő, nagyon gazdaságtalan eljárás, de létezik emellett bizonyos tekintetben hátrányosabb, de ipari alkalmazásra érett megoldás. amelynek kulcs berendezése a **cirkulációs fluidágyas elgázosító**.

Kiemelkedő összeteljesítményét meglehetősen bonyolult körfolyamatba foglalt (**238. ábra**) sokféle, minden lehetséges energiahasznosítási lehetőséget kiaknázó részfolyamat, ill. berendezés összekapcsolása eredményez e finn terv szerint.

A többféle alacsony hőfok szintű külön hasznosító távhőellátás, nyersanyag előmelegítés, és szárítás mellett fontos eleme a két lépcsős; gázturbinás, ill. gőzkörfolyamatos villamos energiatermelés, amelynek eredményét a korszerű szilárd oxidos tüzelőanyag-cella beiktatása fokozza.

Ezzel legmagasabb energiaszintű (1,0 energia minőségi tényező) villanytermelésre az energetikai hatásfok 58% (!!!)-ra növelhető, jellegzetesen távhőellátás rendeltetésű hőre ez további 38% a végeredmény pedig a szinte hihetetlen 96%-os összhatalásfok. (200 MW bemenő tüzelőanyag energiaárammal kifejezett kapacitás mellett).



238. ábra. Cirkulációs fluidágyas elgázosító körfolyamat

7.10.4.1.1 A motorhajtóanyagelőállítás technológiai lehetőségei

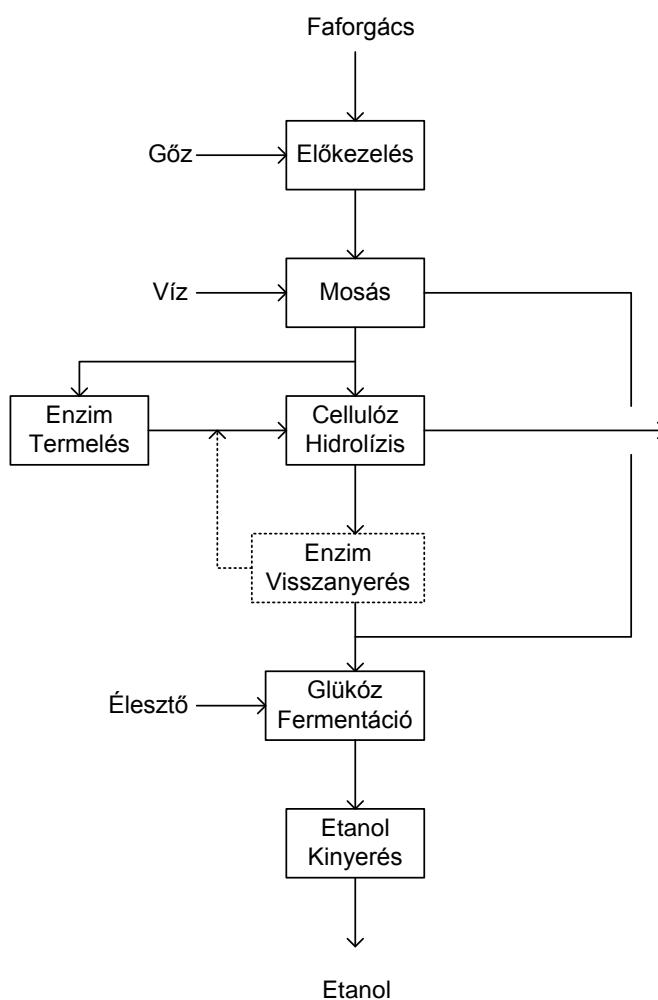
Az ún. **bioetanol** motorhajtóanyagelőállítás rendkívül perspektivikusnak mondott alternatívájának fő nehézségét a cellulóz igen nehezen „támadható”, kristályos szerkezete, a felületrét bevonó ligninburok, nagy fajlagos felület finom aprítással is nehezen biztosítható előállítása okozza.

A lignocellulóz biomassza szénhidrát tartalma alapvetően három úton alakítható át fermentálható cukrokká. Egylépcsős tömény savas, kétlépcsős híg savas hidrolízissel, valamint enzimes hidrolízissel.

Az egylépcsős tömény savas hidrolízis során a biomassza cellulóz és hemicellulóz tartalmának lebomlása koncentrált ásványi sav pl. kénsav, sósav, fluorsav hatására alacsony hőmérsékleten (<100°C), egyetlen technológiai lépésben történik. Az eljárás legfőbb hátránya, hogy jó minőségű rozsdamentes acél berendezéseket igényel, ami jelentősen megnöveli a beruházási

költségeket. A hemicellulóz frakció jellemzően gyorsabban hidrolizálódik, mint a cellulóz, ezért a hemicellulózból származó monoszaccharidok a szükségesnél hosszabb ideig vannak kitéve a katalizátorként használt sav hatásának, minek következtében a cukrokból különféle degradációs termékek keletkeznek, melyek anyagvesztéget jelentenek. Gazdasági és környezeti szempontból szükséges a felhasznált sav visszanyerése. A kétlépcsős híg savas eljárásban a cellulóz és a hemicellulóz frakciót külön-külön hidrolizálják. A hemicellulóz hidrolizátumot elválasztják az első hidrolízist követően. Ezzel a módszerrel mindkét frakció hidrolízise optimálható. Mivel a második lépcsőben jóval magasabb hőmérsékletet alkalmaznak (200°C körül), jelentős mennyiségű cukor és lignin degradációs termék keletkezik.

A korszerűbbnek tekinthető **enzimes hidrolízis** első lépéseként a lignocellulóz biomasszát előkezelik, ezzel növelve a hozzáférhetőséget a cellulózbontó enzimek számára.



239. ábra. A folyamat vázlatja

Egy svédországi fejlesztés szerinti megoldásban az **előkezelés** lényege kéndioxiddal történő impregnálás után **nagy nyomáson kivitelezett gőzrobbantás**, melynek hatására a cellulóz-lignin kötések egy része felszakad és a hemicellulózok nagy része hidrolizálódik. A mosási lépésben az előkezelés során keletkező cökrokat (elsősorban pentózek) választják el a rostos anyagtól. Általánosnak tekinthető vélekedés szerint a vásárolt enzimmel történő cukrosításetanolelőállítás teljes vertikumának önköltségéből mintegy 40%-ot képvisel az enzimár, ezért a nagy cellulolitikus aktivitású penészekkel „helyben „ termelt enzimekkel végzik a bontást.

Az előkezelt anyagnak egy része (max. 25%) az enzimtermelésre fordítódik. A celluláz enzimrendszer előállítását *Trichoderma reesei* szaporításával valósul meg. Az előkezelt fa fennmaradó része (kb. 75%) az enzimes hidrolízis folyamatába kerül. Ebben a lépésben a nyersanyag cellulóztartalma glükózzá hidrolizálódik a cellulázok segítségével. Hidrolízis után a folyadék-fázis és a szilárd maradék elválasztása következik, melyet még vízzel mosnak, hogy a szilárd rostokon kötött glükózt is hasznosítani lehessen. A glükózt tartalmazó hidrolizátum az etanol fermentációra kerül, míg a mosott szilárd maradék (főleg lignin) a szárítóba kerül. A cukros lé erjesztéséhez közönséges pékélesztőt használnak. Az előállított etanolt kétlépéses desztilláció segítségével töményítik be. A desztilláció maradéka tartalmaz szerves komponenseket, melyek még hasznosíthatók, pl. pentózek, glicerin és egyéb nem illékony anyagok. Ezek hasznosítása anaerob módon történik anaerob metánosítással. A metán és a szilárd szárított maradék elégetésével nyert energiát az előkezeléshez szükséges gőz előállításához használják fel.

A technológiai sor első lépése az őrlés, miáltal a kisebb szemcseméretű fakorpa nagyobb fajlagos felülettel rendelkezik, így nagyobb sebességgel játszódik le a kéndioxid és a gőz transzportja a fa rostjaiba.

A továbbkezelés (**gőzrobbantás**) első lépésében csak 1 bar-os telített gőzt használnak. Ennek a lépésnek a célja a fa-szemcsék gőzzel való átitatása és a levegő-tartalom eltávolítása. Ebben a lépésben történik meg a kéndioxiddal történő telítés is, mely hatására a nyersanyag hemicellulóz tartalma könnyebben eltávolítható. A hozzáadott kéndioxid mennyisége 2,6% szárazanyagra számítva. Az első lépés után az anyagot egy reaktorba táplálják, ahol megtörténik a gőzrobbantás. Itt az anyag 19 bar-os (210 °C) telített gőzzel találkozik. A tartózkodási idő kb. 5 perc. A kondenzálatlan gőzt és a szilárd nyersanyagot nem kötött kéndioxidot a reaktor végén eltávolítják. A reaktort követő hőcserélőben a SO₂ elválasztásra kerül és kompresszió után visszavezetik a folyamat elejére.

A szilárd rostos anyag a reaktorból kikerülve egy nyomáscsökkentőbe kerül, ahol egy lépésben a nyomást 1 bar-ra csökkentik. A távozó gőzöket elvezetik, és az előnedvesítésnél hasznosítják.

A jó előkezelés következtében jobb átalakítási hatásfokot kapunk az enzimes hidrolízis lépésben. Ugyanis az előkezelés során a nyersanyag struktúrája nagymértékben megváltozik. A ligninszemcsék csomóssá válnak, a rostok viszont elkülönülnek, minek következtében a hidrolizáló enzimek könnyebben bejutnak a rostok közé és nagyobb hatásfokkal alakítható át a cellulóztartalom glükózzá.

Az előkezelést követő mosási lépést egymással sorba kötött két görgőt tartalmazó prés segítségével valósítják meg, melyekben a mosóvíz és a rostos anyag ellenáramban halad. A kilépő fakorpa szárazanyag tartalma 30%. A mosóvizet, mely a rostok közül az előkezelés során keletkezett cukrokat és egyéb melléktermékeket tartalmazza, fermentációra használják.

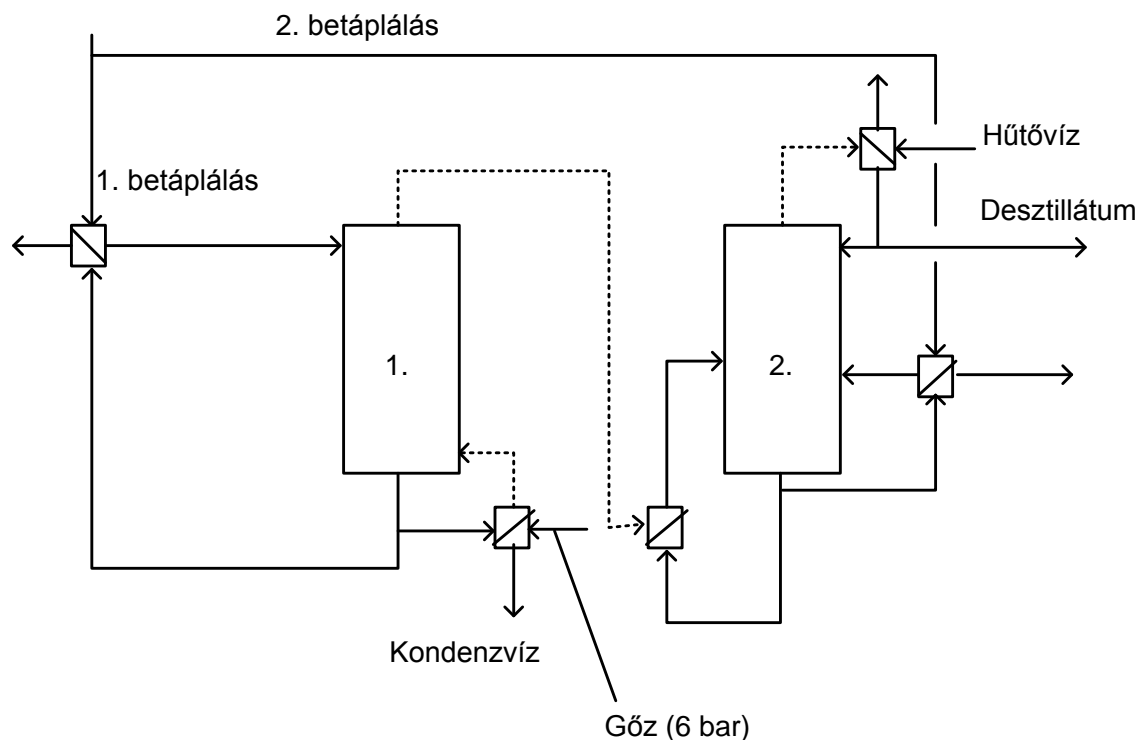
Az enzim termelés célja a hidrolízishez szükséges enzimmennyiség előállítása, amelyet enzimes **hidrolízis követ**

A celluláz enzimrendszer összetétele igen változatos. Legfontosabbak az endo-glükanázok és a cellobiohidrolázok. Ezekon kívül a *Trichoderma reesei* extracelluláris enzimei között a β -glükozidáz is megtalálható, melynek igen fontos szerepe van a hidrolízisben, hiszen ez az enzim bontja le az előző két enzim által előállított cellobiózt glükózzá. A hidrolízist szakaszos üzemben hajtják végre 12 reaktorban. A hidrolízis ideje 72 óra. Az átalakítási hatásfok 96%-os a fakorpa cellulóztartalmára nézve. A reaktorok ürítése, tisztítása (gőzzel) és újra töltése 10 órát vesz igénybe. Hidrolízis után a szilárd maradékot szűrőprés segítségével választják el a cukor tartalmú létől, és vízzel mossák. A cukortartalmú levet **alkoholos fermentációra** táplálják. A szűrőkön elválasztott és mosott szilárd anyag, mely nagy részben lignint tartalmaz, 30% szárazanyag tartalommal rendelkezik.

Az enzimes hidrolízis során nyert cukoroldatot a glükóztartalmú mosóvízzel együtt erjesztik. A pH-t először 5,5-re állítják mésszel. Ezután történik meg a beoltás élesztő (*Saccharomyces cerevisiae*) szuszpenzióval az előfermentorban, ahol aerob körülmények között **szaporítják el az élesztőt**. A főfermentációt két egymással sorba kötött fermentorban valósítják meg. A tartózkodási idő mindkét fermentorban hat óra. Az elérhető sejtsűrűség a fermentorokban 5 g/l. Fermentáció után a sejtömeget három centrifugában választják el, melyek párhuzamosan vannak kötve. Egy része az elválasztott élesztőnek visszakerül az előfermentorba, ahol megkezdődik az előszaporítás. A feleslegessé vált sejtömeg a desztillációs maradékkal együtt metánosításra kerül.

A keletkező széndioxidot, mely főleg az első fermentorban keletkezik, a fermentor tetején vezetik el, tisztítás céljából gázmosón keresztül, majd eladásra kerül.

A szeszdesztillációs egység két oszlopot tartalmaz.



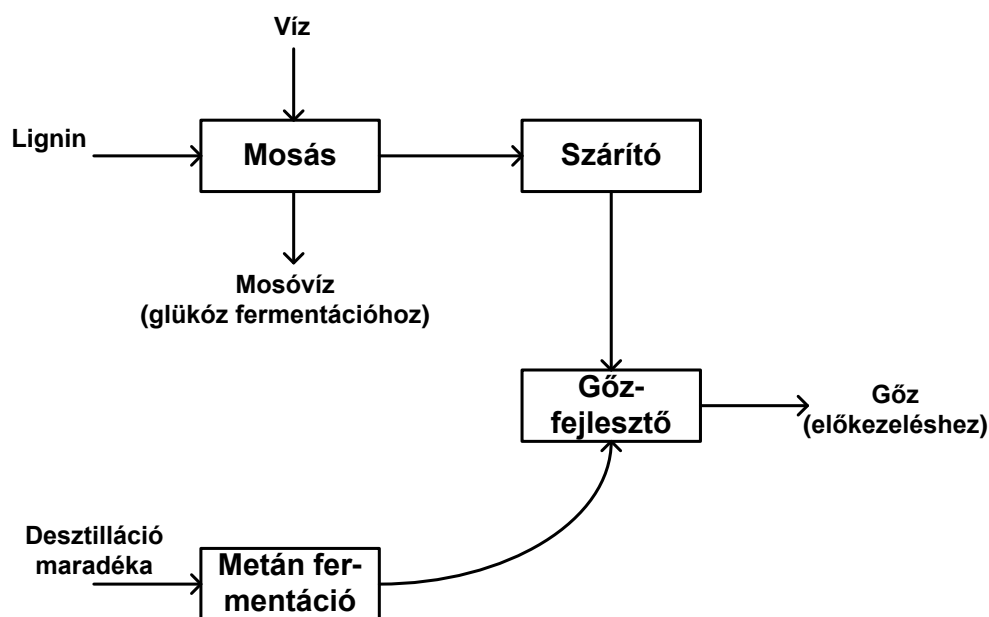
240. ábra. A szeszdesztillációs egység

Az első oszlop egy kihajtó oszlop, mely 3,5 bar nyomáson dolgozik. A második oszlop, rektifikáló oszlop és atmoszférikus nyomáson dolgozik. A fermentlevet két részre osztják és a fermentlének 59%-a az első oszlopra kerül rá. Az első oszlopot egy előforralóval szerelték fel, melyet 6 bar nyomású friss gőzzel melegítenek. Az oszlop tetején távozó gőzöket egy másik előmelegítőben kondenzálják, mely a második oszlop forralója. A reflux arány a rektifikálóban 3:1. A desztillátum 94%-os etanol.

A folyamat energiamérlegét jelentősen javító két mellékága a hulladékok metánosítása, és a lignin szárítás- eltüzelés.

A technológia egyes részeiből származó szennyvizet tartályban gyűjtik össze. A pH-t mész adagolással 7-re állítják be. A szervesanyag tartalmát a szennyvíznek metánná alakítják fermentorban, metanogén baktériumokat használva anaerob körülmények között. A fermentor hőmérséklete kb. 35-40 °C. A fermentort elhagyó biogázt a gőzkazánba táplálják. A fermentorból kilépő folyadékot, mely nagyrésztben vizet tartalmaz, zagy szeparátorba vezetik. Az elválasztott anyagok a következők: metanogén baktériumokat tartalmazó sejt tömeg, melyet

visszatáplálnak a metánosítóhoz, sűrített iszap, mely újabb sűrítés és további kezelés után eltávozik a , tisztított víz, melyet aerob szennyvíztisztítón vezetnek keresztül. Az enzimes hidrolízist követő mosási lépésből származó szilárd anyagot ellennyomásos szárítóban szárítják, mely négy csőből és kagyló-hőcserélőből áll. 12 bar-os telített gőzt használnak melegítésre a csövek külső oldalán. A szárítandó ligninhez ezen kívül még túlhevített gőzt is adnak. A szárítót elhagyó anyag ciklonba kerül, ahol elválik a gőztől. A lignin egy részét a gőzkazánban elégetik, a fennmaradó részt pedig brikettezés után értékesítik. A ciklonból távozó gőzt túlhevítik és visszavezetik a szárítóba.



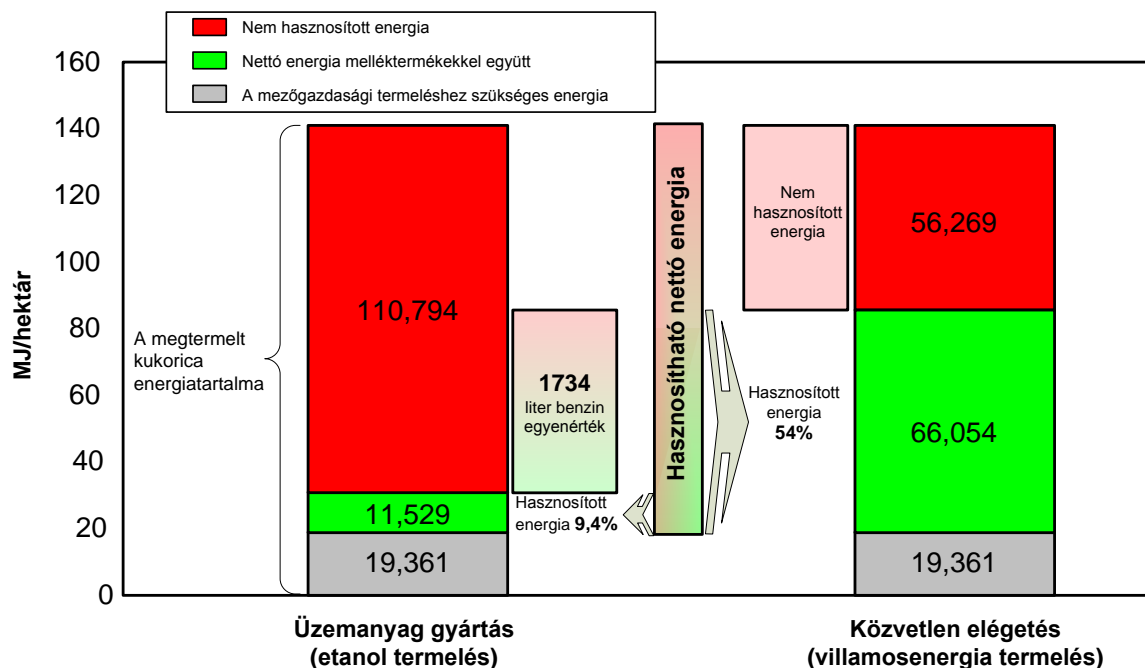
241. ábra. A hulladékhasznosítási megoldások vázlatja

A gőzkazánban kb. 20 bar túlnyomású telített gőzt állítanak elő. Tüzelőanyagként szárított lignint és metánt használnak. A keletkező gőzt az előkezelésnél, a desztillációnál és a gőztúlhevítőben használják fel

Az ún. bioetanolgyártást célzó fejlesztéseknek nagy lökést adott a **2003/30/EK direktíva** amely előírja az országonként **5,75 % bioetanolhányad** elérését **2010-ig** az üzemanyagokban. Az előírányzott, ill. szóbajövő nyersanyagok között viszont **nem szerepel a lignocellulóz biomasszahulladék**, csak a keményítő ill cukoralapu haszonnövények, így az eljárás a fent leirt folyamat második része

Így viszont rendkívül előnytelemé válik –Rác és Mizsey újkeletű igen szemléletes összehasonlítása szerint - a kukorica közvetlen elégetéséhez hasonlított energiamélege:

Mint látható utóbbinál 54%, míg a bioetanolnál mindössze 9,4% az energiahasznosítás mértéke.



242. ábra. Kukoricaalapú etanolgyártás és égetés-villamosenergiaelőkészítés összehasonlítása

E fejezet alpontjaiban írjuk le a három nyersanyagfajta biogázosításában kulcsszerepet játszó fejlődési irányzatokat, amelyekből legalább egy fontos következtetés fog adódni:

- a trágya biogázosítás műszaki-technológiai eszközeiben kevés az előrehaladás - ezért is érdemes újabb eredményeinket összefoglalni.
- A háztartási hulladékok kezelésében látszik megvalósulni (BIOCEL szakaszos rendszer UASB reaktorral kapcsolatosan) az a.) pont szerinti törekvés.
- Az iszaprohasztás módszertana egészen új eszközökkel keresi a konzervatív 20-30 napos kezelési idők (és beruházási költség) csökkentésének útját, de gyökereiben azonos alap gondolatból kiindulva: a biogázosítást megelőzően mechanikai vagy termikus előkezeléssel kell feltárni az iszapot a gyorsabb lebontás érdekében.

E tendenciák összevetéséből valószínűleg indokolt azt a következtetést levonni, hogy egyrészt **várható az egyes nyersanyag-specifikus fejlesztési eredmények átvétele** más anyagok kezelésére, másrészt **törekedni célszerű** hasonló „keresztirányban megtermékenyítő hatású” fejlesztési információátvitelre.

7.10.4.2 A trágyák biogázosításának területe

Az iszaprothasztók tapasztalatai alapján, valamint az önálló fejlesztések révén számos cég épít különböző méretű és technológiájú készülékeket. A berendezéseket jellemezhetjük a következő mutatók alapján:

- A reaktor fajlagos volumetrikus gáztermelése az egységnyi reaktortérfogatra jutó biogáztermelés napi mennyisége. Trágyarothasztóknál az $Y_v = 1 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ nap}$ érték már jónak számít.
- A szubsztrátlebontási hatásfok az elfolyó és a betáplált szubsztrátmennyiség aránya. A működő berendezések a különféle trágyák szervesanyag tartalmának mintegy 35 -50 %-t képesek gázzá alakítani. Sertétrágya-rothasztásnál 1 kg bemenő szárazanyagból 0,28-0,39 m^3 biogáz nyerhető ki maximálisan, valós viszonyok között üzemelve. A folyamat során a berendezés jó kihasználása miatti cél a reaktor nagy fajlagos volumetrikus gáztermelése mellett a minél magasabb szubsztrátlebontási hatásfok elérése.
- A t_{th} hidraulikus tartózkodási idő a folyadék tartózkodási ideje a reaktorban. Ennek elvi határát a kritikus tartózkodási idő jelenti, amelyet a leglassabban növekvő mikroba-csoport kimosódási sebessége határoz meg. A reaktor fajlagos gáztermelése a kritikus tartózkodási időn túl a tartózkodási idővel először nő, majd egy maximum után csökkenni kezd. Mivel a szubsztrátlebontási hatásfok az idővel csak egyre gyengébben emelkedik, így egy bizonyos pont után már nem tudja kompenzálni a reaktor fajlagos volumetrikus gáztermelésének csökkenését. A feleslegesen hosszú tartózkodási idők rontják a folyamat gazdaságosságát. A legtöbb működő sertétrágya-rothasztó 15-40 nap tartózkodási idővel üzemel.
- A szubsztrátterhelés az egységnyi reaktortérfogatra jutó napi betáplált szubsztrát mennyisége: Célszerű ezt legalább $2,5 \text{ kg szárazanyag}/\text{m}^3 \text{ nap}$ értéken tartani.
- A kiindulási szárazanyagtartalom a szárazanyag összkoncentrációja a befolyóban. 10-12% felett már komoly műveleti problémák merülnek fel. A legtöbb technológia számára optimális a 7-8 %-os érték. Amennyiben a kiindulási szárazanyagtartalom alacsonyabb, a megfelelő szubsztrátterhelésekhez kis tartózkodási időket kell alkalmazni. Ez a kritikus tartózkodási idő közelségének veszélyén túl a felmelegítés energiaszükségletét is megnöveli, kérdésessé téve ezzel az egész folyamat gazdaságosságát.

A rothasztás eredményeképpen 50-65%, sok adat megbízható átlagaként 62% metánt és 35-50 % CO_2 -t tartalmazó biogáz keletkezik, mely szennyeződésként 1 % alatti koncentrációkban H_2S -t, N_2 -t és vízgőzt tartalmaz.

A magas tárolási költségek miatt törekedni kell a folyamatos felhasználásra. Ez napjainkban elsősorban (fűtést, robbanómotorokban mechanikai energiává alakítást és elektromos áram fejlesztését) jelenti. A biogáz felhasználás körültekintő megvalósítása ezért fontos, mert a szabadrendelkezésszerű gázmennyiség évszakos ingadozásának minimuma, legtöbbször az igények maximumával esik egybe.

Fontos technológiai következtetések megalapozására is alkalmas adatok.

Eszerint mértékadó gázhozam a betáplált szervesanyag mennyiségére $0,35-0,49 \frac{\text{Nm}^3 \text{biogáz}}{\text{kg/S}}$

átlagos $0,42 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg/S}}$, $0,22-0,30 \frac{\text{Nm}^3 \text{metán}}{\text{kg/S}}$ átlagos $0,26 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg/S}}$.

Számításunkhoz részben e fejezetben, részben az 1.2. pontban rögzített kiindulási adatok:

- A tárgyak (IS/TS) szárazanyagra vonatkoztatott szervesanyagaránya 80 %.
- A klasszikus eljárások szervesanyaglebontási hatásfoka átlagosan 50 %.
- A biogáz metántartalma 62 % tf.

Megjegyzés: Egy nemrég készült korszerű tervezési módszereket alkalmazó trágya biogázosító telep kiviteli terve (Biogenezis Kft.) $0,445 \text{ Nm}^3 \text{ biogáz/kg/S}$ hozamon alapul.

AGIP GIZA RESTITAL (Olaszország) SULZER AG Svájc

MEYER AG Svájc megvalósult telepei a klasszikus utat járják, míg

A BIOLOGISCHE VERFAHRENSTECHNIK /BVT/ Ausztria ún. BIMA reaktortípusa az egyetlen amely mechanikus keverés nélkül, két reaktortér közötti gáznyomás változtatásából eredő szintlengetéssel oldja meg a homogenizálást. Nyilván emiatt a tartózkodási idő (22,7 d) is magasabb az előzőekben megadott sertés és marhatrágya keverékére. Gáztermelés fajlagos értéke $0,91 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$.

Hasonló rendszerű telep épült Szécsényben $53 \text{ m}^3/\text{d}$ mennyiségű marhatrágya feldolgozására (10% sz.a. tartalom). Az 1800 m^3 -es vasbeton reaktorban a tartózkodási idő 34 d, fajlagos gáztermelés $0,92 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$, az alapanyag miatt kissé alacsonyabb működési tényezőkkel: szervesanyaglebontási hatásfok 46 %, gázhozam $0,3 \text{ Nm}^3/\text{kg bemenő / S}$ (ennek mintegy 11 %-a fedezi a reaktor fűtési hőigényét).

Kevésbé ismert, - és sokszor, csak megépült telepek fajlagos villamos, energia költségének elemzésekor kiderülő tény, hogy **milyen súlyos teher forrása a keverés**. A gyakorlatban reaktornagyságtól és kivittől függően $5-30 \text{ W/m}^3$ közötti teljesítménysűrűség egy köbméter trágya kezelési költségeit **önmagában is 3-15 kWh villamos energiaigénnyel terheli**.

Ez az a két meghatározó költségtétel, amelyet azomban az anaerob szennyvíztisztázás megoldásainak adaptálásával lehetséges, akár a töredékére csökkenteni.

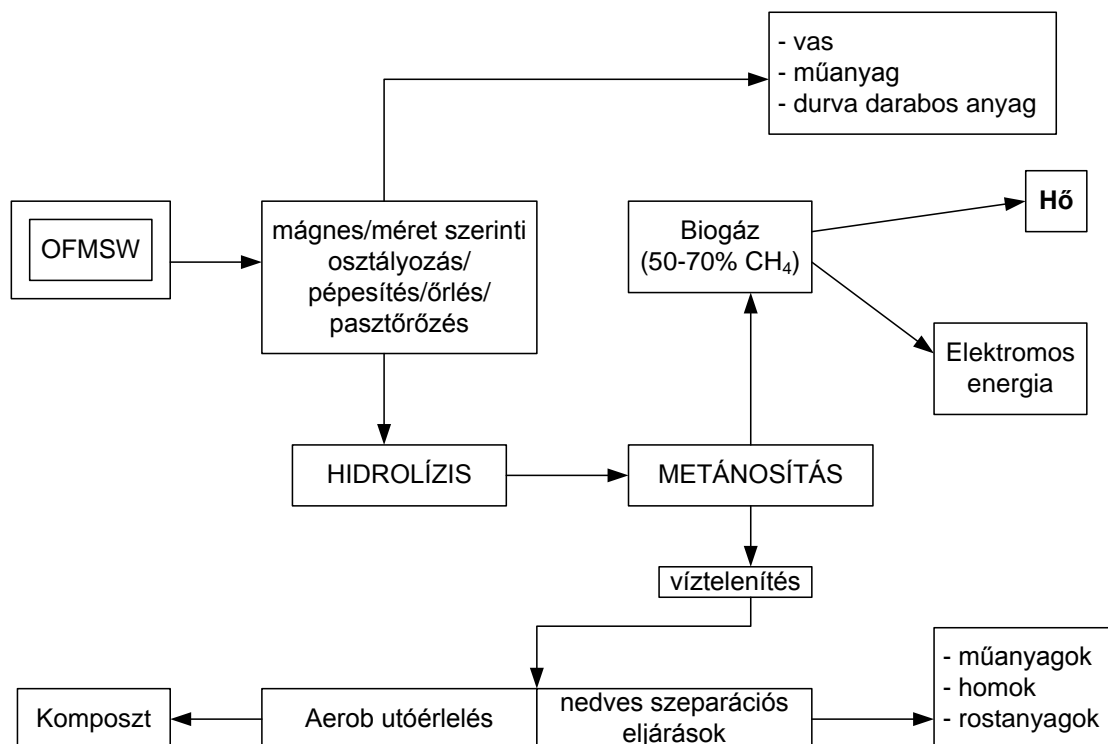
7.10.4.3 A települési hulladékok biogázosítása

A régóta gyakorolt és mindmáig igen konzervatív technikát alkalmazó –következésképpen egységes képet mutató iszaprothasztás, valamint a bizonytalanul (néha talán kampányszerűen nekilendülve majd megtorpanva) fejlődő trágyabiogázosítás mellett a hulladékokra vonatkozó eljárások nagyon határozottan fejlődnek. Egy európai országokra vonatkozó felmérés szerint az utóbbi öt évben (1996-tól 2001-ig) az összes feldolgozó-kapacitás közel megnégyszereződött, és most 1,3 Mt/év körül van, miközben a tipikus telepkapacitás csak kissé növekedett, 16 000 t/évről 23 000 t/évre. Lényegében kiegyenlítően oszlik meg és növekszik a termofil és a mezofil, valamint az ún. „nedves” és „száraz” eljárások (utóbbi a bevezetésben előrebocsátott klasszikus szárazanyagkoncentrációknál néha jelentősen nagyobbal működik). Talán amiatt, hogy a technológiák fejlődésének és alkalmazásának súlypontja Belgium és Hollandia (ezen kívül sok alkalmazás mellett egy jelentős német és egy francia eljárás ismert) elég jól áttekinthető a folyamat. Az eljárás módokat tipizálása könnyen megtehető, különösen, ha kereskedelmi márkanéveket rendelünk az ismertetéshez.

Fontos megjegyezni, hogy az USA –ellentétben például a komposztálási technológiákkal- e téren kevésbé haladt előre; ottani kézikönyvek is főleg az európai példák idézésével mutatják be a technika állását.

Az alább következő rész célja a technikai és biológiai teljesítmény tárgyalása, illetve az, hogy rávilágítson néhány környezeti és gazdasági vonatkozásra, célszerűen a reaktorrendszerek szerinti csoportosításban.

Csak a kommunális szilárd hulladékok szerves frakciójával foglalkozunk (biohulladékok, az angol **Organic Fraction of Municipal Solid Wastes** elnevezésből ered a gyakran használt OFMSW betűszó). Ezek elválasztása a hulladékok egyéb frakcióitól megtörténhet már közvetlenül a keletkezés helyszínén, illetve erre specializálódott üzemekben. Nyersanyagtól függően szükség lehet az előkezelés során a következő műveletekre: mágneses szeparálás, aprítás, szitálás, őrlés, pépesítés, gravitációs szeparálás (száraz) vagy pasztörözés. A rothasztás utáni kezelés tipikusan mechanikai víztelenítésből, aerob utókezelésből és az elválasztott víz tisztításából áll, azonban léteznek egyéb alternatívák is, melyek kapcsolódását a **243. ábra** mutatja.



243. ábra. Az OFMSW potenciális elő- és utókezelési technológiáinak áttekintése

A reaktorban uralkodó szárazanyag-koncentráció és a fokozatok száma a reaktorkialakítás jellemzésére leginkább alkalmas paraméterek, mivel ezeknek van számottevő hatása a rothasztás teljesítményére, megbízhatóságára és költségeire.

Minden tárgyalt reaktorrendszer esetén először rövid általános áttekintést adunk, majd gyakorlati vonatkozások következnek, a reaktorteljesítmény szem előtt tartásával, végül a kommunális szilárd hulladékok kezelésének jövőbeni perspektíváit vesszük számba, különös tekintettel a technológia szürke háztartási hulladékok integrált kezelésében betöltendő szerepére.

Egyfokozatú rendszerek

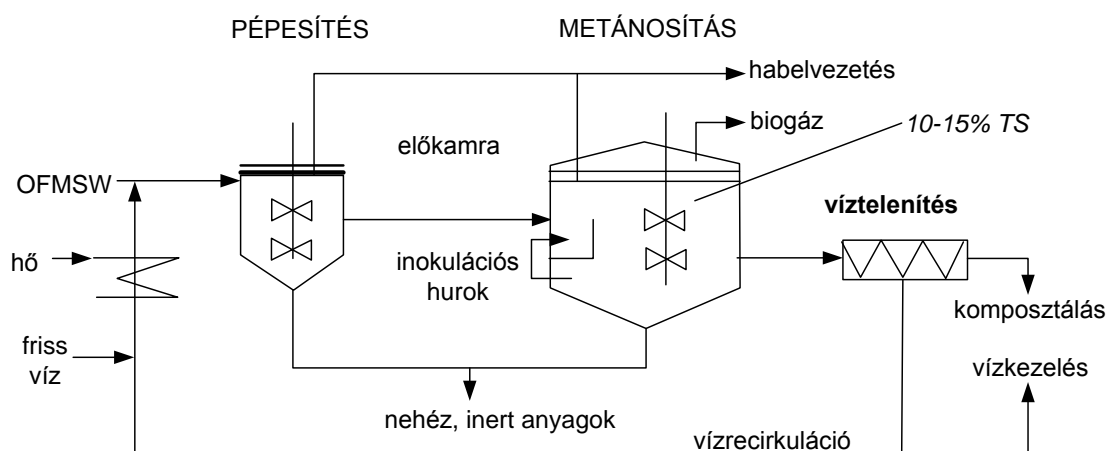
A szerves hulladékok biometánosítása során egész sor biokémiai átalakulás játszódik le. A folyamat maga durván két lépésre osztható: az első lépés során a hidrolízis, a savtermelés és a tápanyagok elfolyósítása a domináns folyamatok, a második lépésben a keletkezett acetát, hidrogén és szén-dioxid alakul metánná. Egyfokozatú rendszerekben ezek a folyamatok szimultán játszódnak le ugyanabban a reaktorban, míg a két, illetve többfokozatú rendszerekben ezek a reakciók fizikailag is elkülönítve, egymás után zajlanak.

Az Európában jelenleg használt anaerob szilárdhulladék-rothasztók kb. 90%-a egyfokozatú, ezen belül kb. fele-fele arányban működnek nedves- és szárazüzemű reaktorok (l. később). Az

egyfokozatú rendszerek ilyen magas aránya a kétfokozatúakhoz képest viszonyítva valószínűleg az alacsonyabb költségeknek tudható be.

Egyfokozatú, nedves üzemű, tökéletesen kevert rendszerek

A „szilárd hulladék” kifejezés alatt általában olyan szerves, biodegradálható hulladékot értünk, melynek szárazanyagtartalma nagyobb, mint 15%. A nedves üzemű kevert rendszerekben a szilárd szerves hulladékot víz hozzáadásával pépesítik, iszapolják, így a szárazanyagtartalma 15% alá kerül. Ennek következtében ezt a technológiáját CSTR-típusú rothasztókban valósítják meg (tökéletesen kevert tartályreaktor), a **244. ábra** bemutatott módon.



244. ábra. Egyfokozatú nedves üzemű rendszer tipikus kialakítása

Az első, ipari léptékű, szilárd hulladék kezelésére alkalmas üzem, mely Finnország Waasa nevű városában épült 1989-ben, ezen az elven működik.

Három, függőleges tengelyű csigás keverővel ellátott pépesítőt használnak a hulladék aprítására, homogenizálására és hígítására, szakaszos üzemben. Friss és a folyamatból visszaforgatott víz keverékét használják a 10-15% TS-tartalom elérésére. Az így kapott iszapszerű terméket a továbbiakban nagy, függőleges tengelyű keverőkkel ellátott reaktorokban rothasztják.

Számos technikai problémát meg kell oldani a kielégítő folyamatteljesítmény elérésének érdekében. Mindenekelőtt meg kell jegyeznünk, hogy a hulladék eredete és összetétele nagyban befolyásolja a biodegradálhatóságot, következésképpen a biogázhozamot. Egészen más például egy mechanikailag osztályozott OFMSW biodegradálhatósága, mint a szelektív gyűjtésű hulladékoké (az utóbbiak rothasztása jobb eredményekkel jár).

A durva, darabos szennyezők eltávolítása nehezen valósítható meg, bonyolult gépeket (szűrők, pépesítők, prések, flotáló egységek...) igényel, legyen szó akár mechanikailag osztályozott, akár szelektíven gyűjtött hulladékokról, és óhatatlanul együtt jár mintegy 10-15%-nyi szervesanyag (IS) veszteséggel, ami pedig ugyanilyen arányú biogázhozam-csökkenéssel jár.

Másodsorban, a feliszapolt szilárd hulladék nem képez minden esetben homogén elegyet, mivel egyrészt a nehezebb darabok lesüllyedhetnek, másrészt a massa tetején a lebontás során habréteg képződhet, azaz három, különböző sűrűségű réteg képződik a reaktorban. A nehezebb részek a reaktor alján gyűlnek össze, és akár a keverőelemeket is tönkreteszhetik, míg a habréteg, mely akár több méter vastag is lehet, a felső régiókban halmozódik fel, és gátolja a hatékony keverést. Gondoskodni kell tehát e két frakció rendszeres eltávolításáról a reaktorból. Mivel a nagyobb darabok a szivattyúkat is károsítják, ezért törekedni kell arra, hogy minél tökéletesebben eltávolítsuk ezt a frakciót, még mielőtt a reaktorba kerül. Ez megoldható speciális kialakítású hidrociklonokkal, vagy ülepitőzónával is ellátott pépesítő-berendezéssel. További nagy hátránya a kevert reaktoros kialakításnak az „áramlási rövidzár” kialakulásának lehetősége, azaz előfordulhat, hogy betáplált anyag egy része az átlagos tartózkodási időnél sokkal rövidebb időt tölt a reaktorban. Ez általában csökkenő biogáz-termelést és gyenge hatásfokú patogénmentesítést von maga után.

A **biológiai teljesítmény** jellemzésére a maximális fenntartható reakciósebesség, illetve a termékképződési sebesség használatos. Előbbi tulajdonképpen a **térfogati szervesanyag-terhelést (a szervesanyag-betáplálás sebességét) (B_v) kg IS / (m³ reaktor · d)**-ben kifejezve, utóbbi pedig **az időegység alatt egységnyi reaktortérfogatban keletkező biogáz** (helyesebben metán-) mennyiséget (standard nyomáson és hőmérsékleten) (Y_v m³ CH₄/m³ reaktor · d) jelenti. A lebontási sebesség jellemzésére használatos a tartózkodási idő is, mely durván B_v reciproka, ha B_v -t nem IS-ben, hanem a teljes nedves szubsztrát tömegével fejezzük ki. Ha azonban különböző reaktorkialakítások biológiai teljesítményét akarjuk összehasonlítani, akkor járunk a legjobban, ha mindhárom paramétert figyelembe vesszük. B_v a rendszer lebontási kapacitását jellemzi, a biogázhozam a konverziós hatásfokot. A 100%-os konverzióhoz tartozó biogázhozamot optimális körülmények között végrehajtott laboratóriumi kísérletekkel kell megállapítani. Ha B_v nem ismert, a biogázhozamot továbbra is használhatjuk összehasonlításra olyan esetekben, amikor azonos eredetű és összetételű hulladékok kezelését végezzük különböző kialakítású reaktorokban. A biogázhozam szilárd hulladékok rothasztása során sokkal jobban függ a hulladék összetételétől, mint a reaktorkialakítástól. Az egyfázisú,

nedves üzemű OFMSW-rothasztás B_v értékei jellemzően az 5-10 kg IS/m³·d tartományba esnek. Ezek az értékek nagyban függenek a bi hulladék eredetétől és összetételétől. Az eljárásról egészében elmondható, hogy a szilárd hulladék pépesítése tökéletesebb hidrolízist és homogenizálást tesz lehetővé, minek következtében ettől az eljárástól magasabb biogázhozamokat várhatunk az egyfázisú, száraz üzemű módszerhez képest, egyszerűen azért, mert a mikroorganizmusok jobban hozzáférnek a szubsztráthoz. A korábban felsorolt hátrányok miatt (szubsztrátvesztés a nagyobb darabos anyagok eltávolítása során, a habréteg okozta problémák, stb.) azonban a gyakorlatban megvalósítható hozamok alatta maradnak a száraz eljárásból nyerhető hozamoknak.

Gazdasági és környezeti vonatkozások: A szilárd hulladék feliszapolása lehetővé teszi a klasszikus szilárdhulladék-kezelésnél alkalmazott eszközöknél olcsóbbak (szivattyúk, csővezetékek) használatát. Ez az előny azonban semmivé foszlik a nagyobb reaktorokhoz szükséges nagyobb beruházási költségek, a víztelenítés költségei, és a szükséges elő- és utókezelés költségei miatt. Általánosságban elmondható, hogy a beruházási költségek nagyjából összemérhetők az egyfokozatú, száraz üzem megvalósító műtárgyakkal.

További fontos hátrány a hulladék tökéletlen biogázosítása (a fent felsorolt okok miatt), továbbá az eljárás viszonylag nagy vízszükséglete (kb. 1 m³ víz egy tonna hulladékra vonatkoztatva).

Egyfokozatú száraz rendszerek

A nyolcvanas évek során folytatott kutatások kimutatták, hogy a biogázhozam és a folyamatsebesség legalább akkora a száraz, azaz vízzel nem hígított hulladékot kezelő rendszerek esetén, mint az ún. nedves rendszerekben. Ennél a technikánál az igazi kihívást nem is a biokémiai reakciók jelentették, hanem az, hogy hogyan lehet a szilárd hulladékot kezelni, mozgatni, esetleg átkeverni. A legutóbbi évtized során létesített üzemek közt már kb. fele-fele arányban vannak képviselve a száraz üzemű technológiák.

A száraz rendszerekben a reaktorban található anyagot mintegy 20-40%-nyi szárazanyagtartalom jellemzi. Ebben az esetben csak a nagyon száraz (TS >60%) nyersanyagok esetén van szükség hígításra. Az ilyen nagy szárazanyagtartalmú hulladékok kezelése során teljesen más technológiai megközelítésre van szükség, mint a nedves alkalmazások esetében. A hulladék mozgatása szállítószalaggal, csigákkal, és speciális, viszkózus anyagokhoz tervezett

szivattyúkkal történik. Ezek a gépek jóval drágábbak, mint a nedves technológiánál használt centrifugálszivattyúk, azonban rugalmasabbak és robusztusabbak is annál, mivel itt 20 és 50% TS-tartalom közt bármilyen anyag kezelhető, és a nagyobb darabok, például kövek, fadarabok, üvegcserepek sem jelentenek problémát. Egyetlen előkezelési lépésre van szükség, mielőtt a hulladékot a reaktorba tápláljuk: el kell távolítani a kb. 40mm-nél nagyobb darabos szennyezőket. A száraz technológiánál alkalmazott előkezelési lépések tehát egyszerűbbek, mint a nedves technológia esetén, és különösen alkalmassá teszik a technológiát olyan hulladékok biogázosítására, melyek 25 tömeg%-nál több darabos, nehéz inert anyagot tartalmaznak. A hulladék a reaktorban a nagy viszkozitás miatt megközelítőleg dugóáramban mozog, ami miatt nincs szükség mozgó alkatrészekre. Legkevesebb háromra tehető azoknak a technológiáknak a száma, melyek hatékonyan mutatkoztak a szilárd hulladékok ipari léptékben történő keverésére. **(245. ábra)**

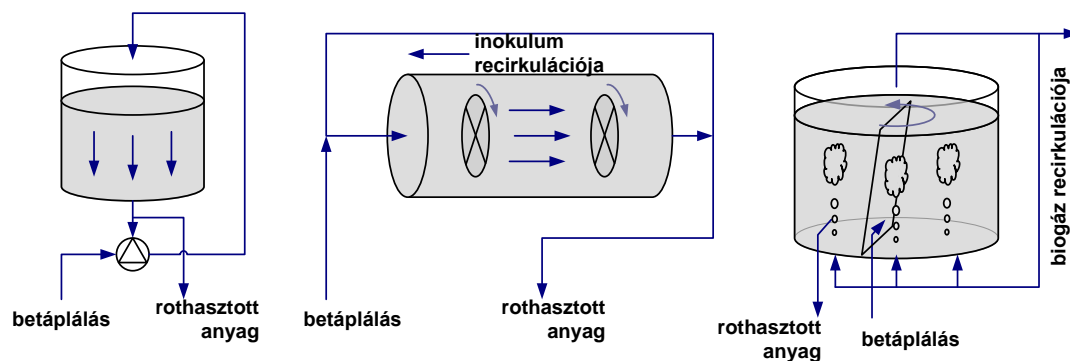
A Dranco eljárás során a reaktor alján elvett anyag egy részét recirkuláltatják, és hozzákeverik a reaktor tetjén beadagolt friss hulladékhoz, ez biztosítja a megfelelő keveredést (általában egy rész friss anyagot kevernek hat rész már kezelt hulladékhoz). Ez az egyszerű eljárás hatékonyan bizonyult a 20-50% TS-tartalmú hulladékok kezelése során.

A Kompogas ill. BRV eljárás hasonlóan működik, annyi eltéréssel, hogy a dugóáram vízszintesen valósul meg a hengeres reaktorokban. A vízszintes dugóáramot a reaktortérben elhelyezett, lassan forgó keverőkkel segítik, melyek szerepe a homogenizálás és a gáztalanítás mellett a nehezebb, esetleg kiüledő részek visszakeverése. Ez a technológia a hulladék szárazanyagtartalmának pontos beállítását igényli kb 23%-ra. Ha ennél hígabb a betáplált hulladék, a nehezebb részek kiüledése zavaróvá válik, ha pedig számottevően töményebb, akkor az áramási ellenállás lesz túlságosan nagy.

A Valorga rendszer abban tér el az előbbiektől, hogy a vízszintes áramlás körkörösön jön létre az álló henger alakú reaktorban, és a keverést a reaktor alján, mintegy 15 percenként beinjektált nagynyomású biogáz biztosítja.

Mechanikai okok miatt a Kompogas reaktor töltetértfogata rögzített, tehát egy ilyen reaktorokból álló üzem kapacitása csak a reaktorok üzembe állításával/leállításával szabályozható. A reaktorokat párhuzamosan kötik be, és oly módon építik meg, hogy a kapacitásuk kb. 15 000 vagy 25 000 tonna/év legyen. A rendszer lehetséges hátrányai közé tartozik a gázbevezető csövek eltömődésének veszélye, illetve az ebből következő gyakori

karbantartás.



245. ábra. A száraz rendszereknél használatos reaktorkialakítások (balról jobbra: Dranco-rendszer, Komposas- (BRV-) rendszer, Valorga-rendszer.)

Biológiai teljesítmény: Az IS-lebontás fokát tekintve a fent részletezett három eljárás hasonlóan teljesít, $90\text{m}^3/\text{tonna}$ friss kerti hulladék, illetve $150\text{m}^3/\text{tonna}$ friss élelmiszeripari hulladék biogázhozamokkal. Ezek megfelelnek $Y_C=210\text{-}300\text{m}^3\text{CH}_4/\text{tonna IS}$ -nek, azaz 50-70%-os IS-redukciónak.

A száraz technológia különböző megvalósításai közt már jóval jelentősebb különbségek vannak a fenntartható legnagyobb terhelés tekintetében. A hollandiai Tilburgban működő Valorga üzem heti 1000 tonna növényi hulladékot kezel két 3000m^3 -es reaktorban, 40°C -on. Ez $5\text{kgIS}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ terhelésnek felel meg, ami nagyjából egyezik a nedves technológiákra jellemző terhelésekkel. Megfelelően üzemeltetett száraz rendszerek azonban sokkal nagyobb terhelésekkel is működhetnek, mint azt a Brechtben (Belgium) működő Dranco üzem példája is mutatja, ahol $15\text{kgIS}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ átlagos terheléssel működött a rendszer egy éven keresztül.

Ha össze akarjuk hasonlítani a száraz és a nedves rendszerek biológiai teljesítményét, akkor mind a maximális terhelést, mind a biogázhozamot figyelembe kell vennünk. OFMSW rothasztása során a maximális terhelést nagyrészt a savtermelő és hidrolízist végző, illetve a metántermelő mikroorganizmusok növekedési sebessége szabja meg. Ez különösen igaz a növényi élelmiszerhulladék-frakcióra, hiszen ennek a résznek a jó biodegradálhatósága jelentős savtermeléssel és magas biogázhozammal párosul.

Egészében véve mind kísérleti, mind üzemi léptékben nagyobb terhelhetőséget sikerült elérni a száraz rendszerekben, mint a nedves üzemű technológiáknál. Továbbá némileg magasabb gázhozamot várhatunk a száraz technológiától a nedveshez viszonyítva, hiszen ebben az esetben nincs szükség sem a nehezebb inert anyagok, sem hab eltávolítására. Ez a különbség (max. 10%-nyi IS-különbség) az irodalom szerint is létezik.

Mivel gyakran korlátozzák inhibitorok a maximális teljesítményt (OFMSW esetén főleg az ammónia), nagyon fontos szempont a különböző reaktortípusok érzékenysége az inhibícióra. Az egyfokozatú nedves üzemű reaktoroknak ebből a szempontból van egy hátrányuk, mert a tökéletes keveredés miatt sehol nincs a reaktorban olyan zug, ahol a lebontást végző mikroorganizmusok védve lennének a nagy inhibitor koncentrációtól. Másrészt a hulladék feliszapolása fokozza a szerves nitrogénfrakciók oldódását, ami hozzájárul a reaktorban uralkodó magasabb ammóniakoncentrációhoz, viszont a hozzáadott víz némileg meghigítja azt, azaz a hígítás alkalmas az ammóniainhibíció mérséklésére. Általánosságban elmondható, hogy olyan anyagok esetén, ahol a C/N arány 20 fölött van, az ammónia- és egyéb inhibíciók kompenzálhatók a hígítással.

Gazdasági és környezeti vonatkozások: Gazdasági szempontból kevés különbség van a száraz és a nedves rendszerek közt, legyen szó akár beruházási, akár üzemeltetési költségekről. A száraz technológiához szükséges drágább csigák, szalagok, szivattyúk többletköltségét nagyjából kompenzálja az, hogy ebben az esetben jóval egyszerűbb előkezelési eljárások elegendőek, illetve a szükséges reaktorméret is kisebb. A száraz rendszerek kisebb hőszükséglete nem jelent feltétlenül gazdasági előnyt, hiszen ritkán kerül sor a gázmotorok hulladékhőjének technológián kívüli hasznosítására.

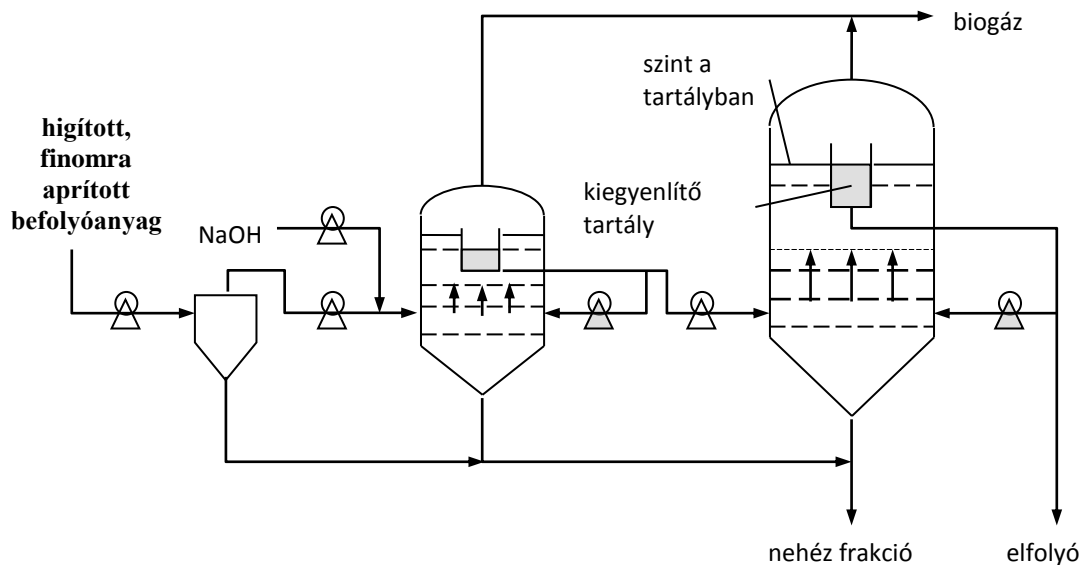
Sokkal alapvetőbb különbségek mutatkoznak a két technológia között környezeti szempontból. Míg a nedves rendszerek tipikusan 1 m³ vizet igényelnek minden tonna hulladékhoz, addig a száraz technológia szükséglete ennek mintegy csak a tizede. A termofil, dugóáramú száraz rendszerek emellett jobb patogéneltávolítási hatásfokkal is rendelkeznek.

Kétfokozatú rendszerek

A kétfokozatú rendszerek létjogosultságát az a már rögzített tény biztosítja, hogy a biogázosítás folyamata több egymást követő lépésből áll, és ezek optimális működési körülményei nem egyeznek meg. Ha ezeket a reakciókat külön fokozatokban, külön reaktorokban valósítjuk meg, akkor nagyobb reakciósebességet, illetve magasabb

biogázhozamot érhetünk el. Lehetséges kialakítás két dugóáramú reaktor sorbakötése, melyek üzemelhetnek száraz-száraz, illetve nedves-nedves módban. Az előbbi megvalósítást Schwarting-Uhde, az utóbbit BRV-eljárásnak hívja a szakirodalom. Mindkét fermentor hengeres kialakítású, bennük alulról felfelé vezetett dugóáramot létesítenek. Ezt segítő perforált lemezeket építenek a reaktorokba, így jól definiálható tartózkodási időket lehet elérni.

Az. ábrán szürkével jelzett recirkulációs szivattyúk időszakos gyors járatásával leszívják a középső kiegyenlítő tartályokat, ami a képződött gázbuborékok eltávozását segíti. A nehéz, inert, darabos anyagok a reaktorfenéken gyűlnek össze, és onnan leereszthetők.



246. ábra. Szelektíven gyűjtött hulladék kezelésére alkalmas kétfokozatú, „nedves-nedves” üzemű rendszer

(Schwaring-Uhde eljárás). Aprított (kb. 1 mm szemeseátmérőjű), 12% TS-tartalmúra hígított szuszpenziót fogad

A BRV-eljárás során a szelektíven gyűjtött hulladék, 34% szárazanyagtartalmúra állítva kerül egy aerob előfokozatba, melyben alulról felfelé menő áramban a szerves anyagok hidrolízise részben végbemegy, illetve mintegy 2%-a a mikroorganizmusok légzésére használódik fel. Azért érdemes mikroaerofil körülményeket biztosítani a hidrolízishez, mert maga a folyamat gyorsabb, mint tisztán anaerob körülmények közt, és a tökéletesebben lezajló reakciók bőven kompenzálják a légzésből fakadó anyagvesztést. Mintegy kétnapos tartózkodási idő után a hidrolízisen átesett hulladék átkerül a metanogén reaktorba, ahol mintegy 25 nap alatt, 55°C-on lezajlik a biogázosítás (22% TS-tartalmat beállítva).

Biológiai teljesítmény: Mint arról korábban már szó esett, a kétfokozatú rendszerek fő előnye az egyfokozatú rendszerekhez képest a stabilitás, még olyan könnyen bontható szubsztrátok esetén is, mint a gyümölcsök és a zöldségek. Egy kétfokozatú rendszer például jobban ki tudja egyenlíteni az olyan terhelésbeli lökéseket, amelyeket például a nagyon gyorsan biodegradálható konyhai hulladékok okoznak. Mindazonáltal azokban az esetekben, amikor különös gondot fordítanak a betáplálásra szánt hulladék megfelelő átkeverésének, és ügyelnek

az egyenletes terhelést biztosító adagolásra, az egyfokozatú nedves rendszerek éppen olyan megbízhatóak, mint a kétfokozatúak, még nagyon gyorsan biodegradálható szubsztrátok esetén is.

A biogázhozam és a maximális terhelés tekintetében csekély különbség mutatkozik az egy- és kétfokozatú rendszerek közt, legalábbis olyan kétfokozatú rendszerekre nézve, ahol a biomassza visszatartása nem megoldott. Példaként felhozható a Heppenheimben felépített BRV-üzem, amely $8.0 \text{ kgIS/m}^3\text{-d}$ terheléssel üzemel, míg a Schwarting-Uhde-eljárással $6 \text{ kgIS/m}^3\text{-d}$ terhelés érhető el. A BRV- és a Schwarting-Uhde-eljárás biogázhozamai sem térnek el egymástól jelentősen.

A fenti áttekintésen túl –nyilván az eljárás perspektivikusan növekvő alkalmazása miatt– bőséges szakirodalom tárgyalja a megvalósult üzemi méretű berendezések jellemzőit. Gyakorlati értelemben könnyen használható adatok a száraz eljárások (nedves, eredeti betáplált állapotú) nyers szeméttömegre vonatkoztatott biogázhozamai:

Valorga eljárás Franciaországban $0,092\text{-}0,145 \text{ m}^3/\text{kg}$, osztrák, német, belga telepek: $0,103\text{-}0,147 \text{ m}^3/\text{kg}$ (22-41 % TS tartalmú, ezen belül 55% szerves (IS) hányadú hulladékra).

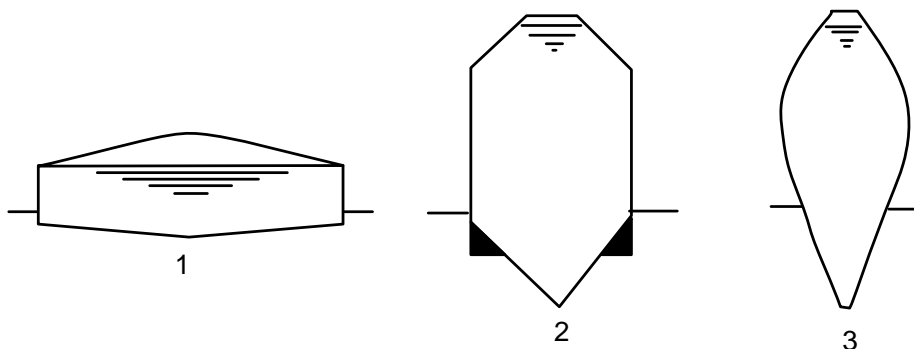
Magyarországi viszonyokra történő adaptálás tekintetében viszont körültekintően kell eljárni, hiszen nálunk egyelőre nem működik (számottevő mértékben) a szelektív hulladékgyűjtés, melynek Nyugat-Európában is többféle változata van (a „szürke hulladék” pl. eléggé definiálatlan, alacsony szintű szelektív gyűjtés esetén képződik.).

A **betáplált szerves anyagra vonatkozó metánhozam** megbízható (és adaptálható) tartománya $0,21\text{-}0,3 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgIS}_{\text{be}}$, ill. **átlaga $0,25 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgIS}_{\text{be}}$** nem meglepő módon korrelál a trágyákra a korábbi fejezetben rögzített értékkel. Értelmezéséhez tartozó adat: a szervesanyag-lebomlás hatásfoka 50-70% közötti érték, amiből a lebomlott szervesanyagra számítható hozam már szűkebb tartományban helyezkedik el: $0,4\text{-}0,428 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg}$ lebomlott IS.

7.10.4.4 A szennyvíziszapok rothasztása

A szennyvíziszapok anaerob kezelésére - kevés, fejlesztést célzó kísérleti munkától eltekintve - a kevert, fűtött rothasztótartályok alkalmazása terjedt el. Viszonylag régóta építenek kapcsolt reaktort, azonban ezek nem, vagy csak kis részben használják a folyamat két fázisának külön megvalósításából eredő előnyöket. Általában a két berendezést elő- és utórothasztónak nevezik, és a másodikban már (keverés nélkül, vagy annak leállításával) az üleptett iszap és a felülúszó

iszapvíz külön elvételét végzik, ill. gyakran gáztároló funkciója is van a tartály felső részében. Elégge eltérő tartályformák terjedtek el a gyakorlatban, amelynek típusait az alábbi ábra szemlélteti.



247. ábra. Iszaprohasztó építési formák. (1. hagyományos amerikai, 2. európai(német), 3. tojásformájú)

A bemutatott alakok egyben a fejlődés irányát is mutatják - egyre több áramvonalas tojásformájú tartály épül (már az USA-ban is), aminek oka a csekély keverési teljesítményigény. Ha ugyanis a (gyakran túllépett) 30 napos tartózkodási idővel és a kedvezőtlenebb tartályalaknál szükséges $15-20 \text{ W/m}^3$ fajlagos keverési teljesítménnyel összevetjük 1 m^3 betáplált iszap keverési villamosenergiaigényét ($10-15 \text{ kWh/m}^3$) a biogázhozamból kinyerhető energiával (gázmotor-generátor használatával), akkor ez megközelíti annak egyharmad részét.

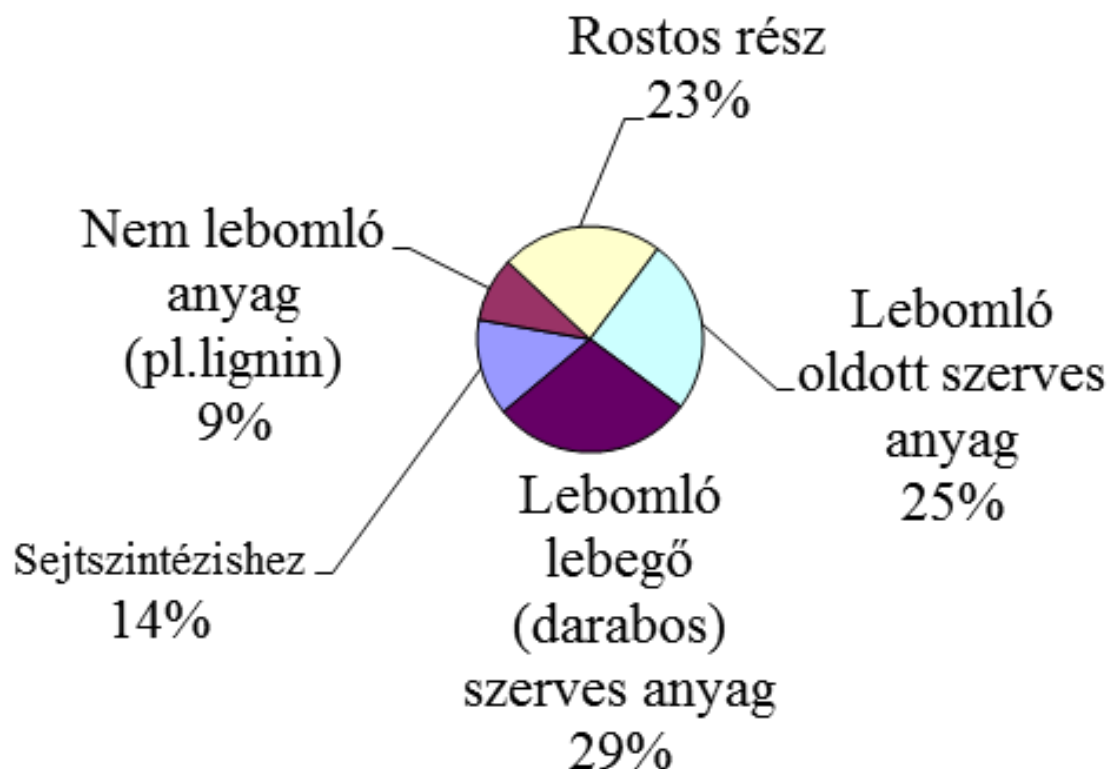
Az iszap előkezelés fejlődési irányai

A korábbi fejezetben is előrebocsátott megállapítás azt jelenti, **hogy a szennyvíziszap lebegő, nagyobb részt sejtes szerkezetének feltárását, oldott állapotba vitelét** tekinti a szakma az utóbbi évek legfontosabb fejlesztési feladatának. A cél több - esetenként kombinált - mechanikai, termikus kémiai és biológiai előkezelési módszerrel megközelíthető - ezeket hatékonyságuk és költségráfordítás igényük viszonya jellemzi. Hatásukat közvetlenül az iszap lebegő szervesanyag tartalmából (IS, de gyakran KOI kémiai oxigénigényben kifejezve) oldott állapotba vitt anyaghányad arányával fejezik ki (legtöbbször oldott KOI-ban).

Az előkezelés gyakorlati eredménye az előkezelés nélküli iszap esetéhez viszonyított biogázképződés, ennek időbeli megoszlása és összes mennyisége nyilvánvalóan a folyamat (kísérlet) paramétereinek változatossága miatt értékelhető kevésbé egyértelműen.

A **mechanikai iszapfeltárás** viszonylag régi megoldása a prágai szennyvíztisztító telepen kísérletileg bevezetett megoldás, amely nagysebességű vágókésekkel ellátott sűrítőcentrifugát alkalmaz, amivel a rohasztó gáztermelésének szerény mértékű, mintegy 5-10 % között ingadozó többletbiogáztermelést eredményez.

Nagynyomású homogenizáló berendezésben 300-700 bar nyomásnövelés hatására történő folyadék sugárgyorsítás, ill. ütköztetés segítségével, valamint az iszapmintának az eszközön történő többszöri átbocsátásával széles tartományban változtatható és mennyiségileg jellemezhető a feltáráshatás intenzitása. Hígított iszapmintán nagyobb mértékű; 50 %-ig terjedő oldott KOI növekedés érhető el, mint az eredeti 4 % szárazanyagtartalmú anyaggal (30 %-ig). Érdekes módon **sertétrágya kirothadásának** javítására alkalmaztak egy dán ipari méretű biogáztelepen 2-5 kW teljesítménnyel működő ipari macerátort, amely szitafelület mentén folyó 4 kés segítségével aprította főleg a trágya rostos alkotóit. A kezelés energiaigényét 0,1-1,3 kWh/m³ trágya tartományban változtatva a metánhozam eredeti 0,22 Nm³CH₄/kg betáplált IS értékről kiindulva megközelítette a 0,3 Nm³/kg értéket. Az eredmény nagymértékben megerősíti az korábbi fejezetekben e trágyakomponens által okozott nehézségekről írottakat, de jól áttekinthető és értelmezhető magyarázatot is ad a kezelés hatására bekövetkező változás okáról: hogyan válik a metanogenezis számára hozzáférhetővé az egyébként nem hasznosítható rostos rész (**248. ábra**)



248. ábra. A szervesanyag frakciók sorsa trágya biogázosításánál

A hőkezelés önmagában viszonylag mérsékelt oldott KOI növekedést okoz; a 120 °C-ig terjedő tartományban ez legfeljebb 20%.

A 200 °C-ig folytatott kezelés (túlnyomásos !) ezt mintegy 40 %-ig javítja.

A hővel kombinált oxidációs eljárások már hatékonyabbak: a 300 °C-ig folytatott u.n. nedves oxidációs kezeléssel 80 % érhető el, a különleges szuperkritikus állapotú nedves oxidációval pedig 400-450 °C között megközelíthető a teljes (90 % fölötti) szervesanyag-elfolyósítás.

Ilyen eredményt találtak ózon alkalmazásával is, viszont a hidrogénperoxidos kezelés legfeljebb 20 %-ban bizonyult eredményesnek. Több megoldás igyekszik kombinálni a hőkezelés hatását a közeg lúgosításával (ez egyébként klasszikus cellulózhidrolízist előkészítő művelet, és legtöbbször NaOH-t használnak a pH = 12 eléréséig, de néha meglepően nagy adagban, ami a szervesanyag 30 %-áig terjed).

Az eredmények igen változatosak: japán kutatók 38-57 %-os KOI elfolyósításról, ill. a biogázképződés háromszoros értékre történt növekedéséről számolnak be (130 °C-on történt kezelés után). Réalisabbnak tűnik egy francia közlés, amely szerint 140 °C.-on történt lúgosítással a KOI érték 70 %-a elfolyósodott ugyan, de ebből csak 40 %-nyi bizonyult metánosíthatónak.

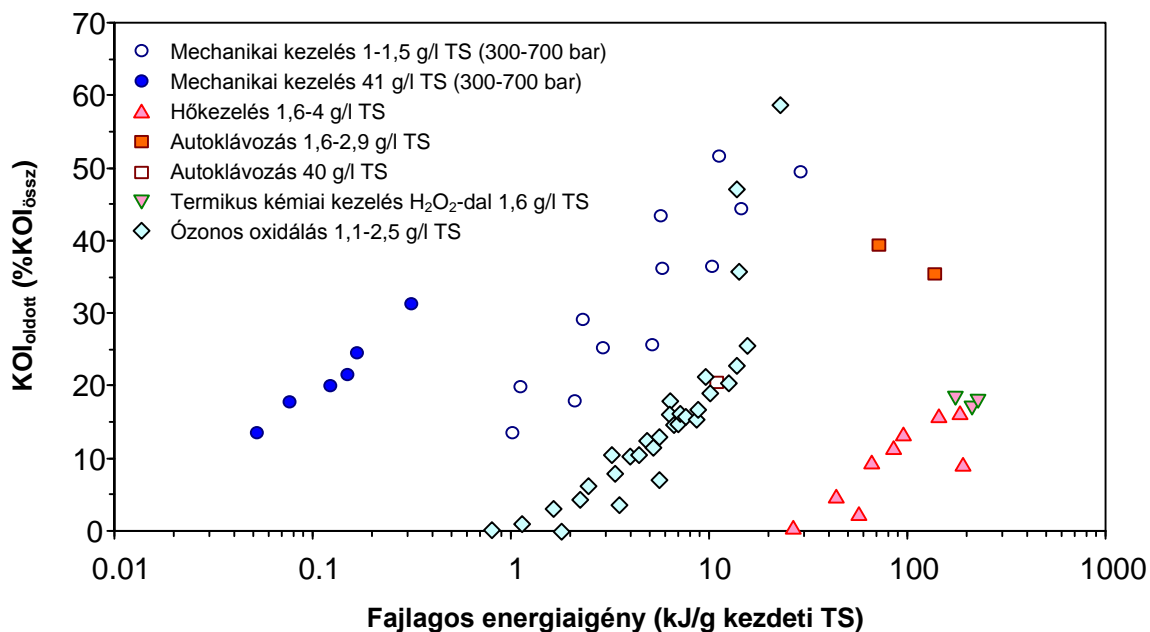
A **biológiai** előkezelés érdekes példája, amikor a szennyvíziszap stabilizálás rothasztással versengő (költségében vitathatatlanul előnyösebb, de energia termelést nem eredményező) termofil önhevíto aerob kezelés rövidített 1 napos előkészítő fázisát iktatják a folyamatba (60-70 °C között) amivel a rothasztás gázhozamának 50 %-os növekedését értek el.

Francia multinacionális szennyvíztechnológiai szolgáltató cég kutatókkal együttműködve rendszeres összehasonlító vizsgálatot végzett a meglehetősen ellentmondó eredmények tisztázása érdekében. Egészen friss közleményükből összehasonlító energetikai értékelés érdemel külön figyelmet.

A párhuzamosan vizsgált megoldások KOI elfolyósítási hatásfokát a kezelés fajlagos energiaigényével veti össze a 249. ábra közölt összesítő diagramon.

Az eredmények gyakorlati realitásának megítéléséhez egyetlen adat is elég: egyes termikus, ill. oxidációval kombinált eljárásvariánsok az **iszap** szárazanyag tartalmának **fűtőértékével összemérhető, ill. azt jelentősen meghaladó energiaigénnyel** működnek.

Nem lehet azonban eléggé hangsúlyozni, hogy **környezetvédelmileg elfogadható**, leginkább az ártalommentes mezőgazdasági elhelyezésre alkalmas **stabilizált iszapminőség**, egyrészt a természeti erőforrás kímélés tekintetében **hasznos termék potenciál** célja **most irreálisnak tűnő ráfordításokat igényelhet a jövőben**.



249. ábra. Különböző iszap előkezelési módszerek KOI elfolyósítási hatásfoka a fajlagos energiaigény függvényében [kJ/g TS].

Jelölések:

- Mechanikai kezelés 1-1,5 g/l TS (300-700 bar)
- " " 41 g/l TS " "
- Hőkezelés 1,6-4 g/l TS
- ▲ Autoklávozás 1,6-2,9 g/l TS
- △ " " 40 g/l TS
- × Kémiai + hőkezelés H₂O₂-vel 1,6 g/l TS
- ◆ Ózonos oxidálás 1,1-2,5 g/l TS

Mindezek mellett a **rövidtávú és magyarországi szennyvíziszap energiapotenciál** meghatározásához a jelen technikai szinten kikristályosodott fajlagos adatokkal számolunk. Megjegyzendő egyébként, hogy az új fejlesztések a gázhozamot sokkal kevésbé, inkább a gazdaságosságot befolyásoló tartózkodási idő jövőbeli alakulását befolyásolják.

A számításba vehető összefoglaló művek, kézikönyv és tervezési irányelvek alapján a biogázhozam lebontott (IS) szervesanyagra vonatkoztatott értéke 0,76-1,0 Nm³/kgIS között van.

A folyamat hatékonyságra vonatkozó (48-50 % lebontás) előbbieken indokolt szűk tartománya miatt megtehetjük, hogy **a bemenő anyagra számított hozam** gyakorlatban sokkal könnyebben kezelhető értékeit adjuk meg.

Azonos források szerint ez még szűkebb, 0,45-0,50 Nm³ biogáz/kg bemenő IS tartományban van, de legtöbb adat a 0,45-0,46 közötti.

Az eredő (kerekített metánhozam **0,28 Nm³ CH₄/kg bemenő IS**

az energia potenciálhoz használható alapadat pedig veszteség nélküli energiahasznosítással, de reális (fűtőérték) adattal:

9,8 MJ/ kg bemenő IS.

7.10.4.5 A biogáz jellemzői, hasznosításának kérdései

A biogáz összetételére általános esetben érvényes a jellegzetesen 60 (- ritkábban 80% -ig terjedő) CH₄ (metán) tartalom.

A 60% CH₄ tartalmú gáz tájékoztató adatai:

Sűrűség: 1,200 kg/m³ Fűtőérték: 21 MJ/m³

Robbanási elegy koncentrációhatárai levegőben: 6-12 % v/v (metánra 5-15 %)

Gyújtási hőmérséklet: 650-750 °C

Égési sebesség: kb. 0,4 m/s

A gáz a reaktor hőmérsékletére vonatkoztatott 100%-os relatív páratartalommal keletkezik. Mennyisége számítható azon az alapon, hogy az adott hőfokhoz tartozó vízgőznyomás/összes gáznyomás hányados egyenlő az adott állapotú pára térfogatrészével a biogázban.

Hőfokcsökkenés hatására gyors kondenzáció történik, gondoskodni kell tehát az elvezetés során a kondenzvíz gyűjtéséről, elvezetéséről.

7.11 Szerves hulladékok hasznosítása talaj-növény rendszerekben

Dr. Simon Miklós, Rózsáné Szűcs Beatrix

Napjaink hulladékgazdálkodásának nagy kihívása a lerakásra kerülő települési hulladék mennyiségének csökkentése. Ez a cél a keletkező hulladék mennyiségének minimalizálása

mellett elsősorban a hasznosítható frakciók leválasztásával és újrahasznosításával érhető el. A települési hulladék országonként eltérő, de jelentős hányadát (30-50%) teszi ki a szerves hulladék, amely szelektív begyűjtés után mezőgazdasági vagy erdészeti célra újrahasznosítható.

A hulladékgazdálkodási törvény hatályba lépésével új előírás a bomló szervesanyag-tartalmú hulladékok lerakásának korlátozása. Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv [\(OHT, 2002\)](#) a települési szilárd hulladékkal kapcsolatban célul tűzi ki, hogy a lerakott hulladék szervesanyag-tartalmát fokozatosan csökkenteni szükséges 5% végső értékig. A Környezeti Operatív Program szerint, az 1995. évi helyzethez képest 2014-re 65%-kal kell csökkenteni a lerakásra kerülő hulladék biológiai úton lebomló szerves anyag tartalmát. Ez mintegy 1,5 millió tonna biológiailag lebomló szerves hulladék elkülönített gyűjtését, kezelési és hasznosítási igényét jelenti. A cél az, hogy a települési szilárd hulladék-áram veszélyes és hasznosítható alkotói minél kisebb arányban kerüljenek a lerakókra, történjék meg az előbbieket ártalmatlanítása és az utóbbiak hasznosítása.

A települési szilárd hulladékoknak évenkénti becsült mennyisége Magyarországon 4,8-5,2 millió tonna, ehhez adódik még mintegy 6,3-7,2 millió t/év folyékony települési hulladék [\(OHT, 2002\)](#). A települési hulladék két főbb alkotója a „zöld” hulladék (konyhai és kerti hulladék) és a papír. A konyhai és kerti hulladék aránya egyes országokban, mint Hollandia, Olaszország, Portugália, Belgium, Németország eléri a 45-60%-ot, de máshol is 15% felett van. A települési hulladék összetételére rendelkezésre álló adatok szerint, a bomló szerves frakció aránya 35-40%, a papír aránya pedig 15–17% között változik Magyarországon [\(KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003\)](#).

A települési szerves hulladék körébe tartozik a szennyvíztisztítás melléktermékeként keletkező szennyvíziszap. A szennyvíztisztítás leegyszerűsítve sűrítési folyamatnak tekinthető, amelynek eredménye a tisztított víz és a besűrített formában leválasztott szennyezőanyag a szennyvíziszap. A keletkező szennyvíziszap mennyisége arányos a kezelt szennyvíz mennyiségével, biológiai tisztítás esetén annak mintegy század része, átlagosan 2% szárazanyag-tartalom mellett [\(VERMES, 1996\)](#). [\(JUHÁSZ \(1997\)\)](#) szerint, a Magyarországon 1996-ban keletkezett iszap átlagos mennyisége 6666 m³/d, szárazanyag tartalma átlag 75%-os nedvesség mellett 730 t/d. Az EU irányelvei alapján a tagországokban a 2000. év végére a 15000-nél, a 2005. év végére a 2000-nél nagyobb lakosegyenértékű településeken meg kell

oldani a szennyvízelvezetést és a tisztítást. Ezeket a feladatokat a jelentős elmaradás ellenére Magyarországon 2010-ig kell teljesíteni (www.kvvm.hu). Ennek eredményeként a tisztítóberendezések számával és a technológiai eljárások hatékonyságának növelésével az iszap mennyisége várhatóan 2-3 szorosára növekszik ([JUHÁSZ, 1997](#)).

A jelenlegi hulladékkezelési gyakorlat szerint, az esetek többségében a szennyvíziszap a települési hulladékokkal együtt vagy külön rendezett vagy még gyakrabban rendezetlen depóniába kerül lerakásra. [JUHÁSZ \(1997\)](#) szerint, a depóniákban tárolásra kerülő iszapmennyiség Magyarországon az összes mennyiség 52%-a.

A települési hulladék magas szervesanyag-tartalma, amelyhez a deponálás során hozzáadódik a szennyvíziszap - a tárolási folyamat közben lejátszódó anaerob folyamatok miatt - kedvezőtlenül hat ki a hulladéklerakón keletkező csurgalékvíz minőségére ([SZABÓ, 1999](#)). A káros környezeti hatások miatt csökkenteni kell a lerakásra kerülő települési szerves hulladékok mennyiségét, a lerakás helyett más módon kell megoldani e hulladékok hasznosítását. Ezek a hulladékok a földi biomassza részét képezik és a jelenlegi gyakorlattal ellentétben, amikor az ember ezek megsemmisítésével vagy depóniába helyezésével igyekszik megszabadulni e hulladékoktól, meg kell valósítani a feleslegessé váló biomassza minél nagyobb mértékű hasznosítását és a természetes körforgásba történő visszaforgatását ([VERMES, 1996](#)).

A mezőgazdasági túltermelés és a növekvő energiaárak miatt érdeklődés jelentkezett a biomassza-termelés iránt. A szerves hulladékok mezőgazdasági hasznosítása mellett új lehetőséget kínál a biomassza-termelő ültetvényeken történő felhasználás. Az utóbbi években széleskörű kutatás indult az olyan gyorsan növvő fafajok, mint például a fűz mezőgazdasági módszerekhez hasonló, rövid vágásfordulójú termelése terén. A biomassza-termelő ültetvények környezeti szempontból előnyös alternatívát nyújtanak a szerves hulladékok újrahasznosítására, mivel magas a tápanyagigényük és nem állnak közvetlen kapcsolatban az emberi tápláléklánccal.

7.11.1 Szerves hulladékok mezőgazdasági és erdészeti hasznosítása

Hasznosítási lehetőségek és tapasztalatok

A természetes eredetű szerves hulladékok hasznosításának legkorábbi és legelterjedtebb módja a trágyázásra és talajerő visszapótlásra történő felhasználás. A természetes tápanyagforgalomnak a modelljét próbálja követni az a törekvés, amely a szerves hulladékok természetes körfolyamatokba történő visszavezetésével próbálja elhárítani ezen anyagok felhalmozódásából származó környezeti problémákat.

A szerves hulladékok és melléktermékek talaj – növény rendszerekben alkalmazott kezelésnek és hasznosításának legelterjedtebb és széles körben használt példái a következők [\(VERMES, 1996\)](#):

- almos trágya és hígrágya valamint annak növényi maradványokkal készült keverékének a talajba forgatása,
- mezőgazdasági hulladékok aprítása és talajba forgatása,
- szennyvizek és szennyvíziszapok trágyázási célú mezőgazdasági hasznosítása.

A szennyvíziszapot és korábbi formáját, a fekáliát évszázadok óta hasznosítják mezőgazdasági területeken Európában és Ázsiában [\(BATES, 1972\)](#). A szennyvizek és iszapjai öntözésre, illetve trágyaként való felhasználása az ókorig visszavezethető múlttal rendelkezik. Az ebben rejlő előnyöket az ipari forradalmak korában előbb Angliában, majd Nyugat-Európában igyekeztek kihasználni [\(TAMÁS, 1998\)](#).

Az erdészeti célú hasznosítás csak az utóbbi évtizedekben került előtérbe és intenzív tanulmányozásra. A legrégebbi szennyvízöntözési nyárfaültetvény Magyarországon a Debreceni Kísérleti Szennyvízöntöző Telepen létesült 1960-ban, majd azt követte a szennyvízelhelyezés komplex vizsgálatát célzó modelltelep létesítése Gyulán 1968-ban [\(TIHANYI, 1980b\)](#). Az 1975-ben indult hazai intenzív iszaphasznosítási kutatások eredményeként a folyékony iszapok nyárfaültetvényen történő mélybarázdás elhelyezése is előtérbe került [\(VERMES, 1989\)](#). A fás növények hozamai egyértelműen igazolják, hogy a szennyvíz és a szennyvíziszap elhelyezés jelentős mértékű hasznosulással is együtt járhat, ami gazdasági eredményt is hozhat [\(SZLÁVIK et al., 1984\)](#). A különböző fafajok azonban eltérően

reagálnak a szennyvíziszap-hasznosításra. A hazai felmérések szerint, az iszaptrágyázást legjobban a nyárfajták és azon belül is az 'I-214' olasz nyár tűri, illetve hálálja meg ([GÁL, 1984](#)), és a fűzek közül a *Salix alba* L. cv. 'bédai egyenes' fehér fűz alkalmazása is javasolható ([TIHANYI, 1980b](#)). [TIHANYI \(1984\)](#) szerint, azonban a normál vágásfordulójú faültetvényeken a faanyaggal eltávolított tápanyag mennyisége a szennyvízzel általában bevitt tápanyaghoz képest jelentéktelen. Számításai szerint, egy III. fatermési osztályú 273 m³/ha véghasználati fatömegű olasz nyár állomány faanyaga 667 kg nitrogént, 177 kg P₂O₅-nak és 256 kg K₂O-nak megfelelő tápanyagot tartalmaz.

[VERMES \(1996\)](#) szerint, a faültetvények intenzívebb hasznosítására irányuló törekvések jó lehetőséget kínálnak az iszapelhelyezésre és hasznosításra. Az úgynevezett mini (2-3 év) és midi (3-5 év) vágásfordulójú, nagy biomassza-termelő képességű nyár- és fűzültetvények magas tápanyagigénye jól pótolható folyékony hulladékokkal. [JUHÁSZ et al. \(2000\)](#) szintén hangsúlyozza, hogy a lakossági szennyvízből eltávolított, károsan nem szennyezett, szennyvíziszap közvetlenül vagy közvetve felhasználható mind az ipari hasznosítást célzó erdőtelepítési, mind a Magyarországon is bevezetésre tervezett „bioenergia” előállítási programban.

[BROCKWAY et al. \(1984\)](#) szerint, a szennyvíziszap-adagolás remediálja a természetes tápanyaghiányt, növeli a lomb tömegét és hatékonyságát, felgyorsítja a lombkorona záródását és lerövidíti a vágásfordulót. Nagyobb adagú szennyvíziszap hasznosítása esetén egyéb járulékos előnyökkel is lehet számolni. Javul a talaj vízgazdálkodása, a tápanyagok körforgalma, amely a termelékenység tartós növekedését eredményezi ([ZASOSKI et al., 1983](#)).

A szerves hulladékok talajba juttatásával kettős célt érhetünk el: a szennyező anyagok ártalommentes elhelyezését és a talaj termelékenységének növelését. A szerves anyag bevitelle főképp humuszanyagok szolgáltatásával kedvezően hat a talajra. A humuszanyagok jelentős szerepet játszanak:

- a talajok szerkezetének,
- tápanyag-szolgáltató képességének,
- valamint hő- és vízgazdálkodásának kialakításában.

A szerves anyagok biológiai tényezők közvetítésével részt vesznek a talajszerkezet kialakításában. A szerves anyagok lebontását végző mikroszervezetek nyálkaanyagai és a lebontás melléktermékei ragasztóanyagként szerepelhetnek ([FILEP, 1995a](#)). A szerves anyag javítja a talajaggregátumok stabilitását, a talajszerkezetet és csökkenti az erózió hatását ([TISDALL et al., 1982](#)). [VERMES \(1994\)](#) szerint, a biológiai eredetű szerves hulladékok nagyadagú alkalmazása különösen homoktalajok javításában lehet eredményes, vetekszik a hagyományos istállótrágya szerkezetjavító hatásával. Rendszeres használatuk a laza talajokat kötöttebbé, a kötött agyagtalajokat lazábbá teszi.

A szerves anyag növeli a talaj kationcserélő kapacitását (CEC), amely fontos a talajtermékenység szempontjából. [SWIFT et al. \(1977\)](#) megállapítása szerint, a humuszsavak magas oxidációs állapotához magas CEC értékek tartoznak. A komposztálás hozzásegít a szerves anyag CEC értékének emeléséhez ([HARADA et al., 1981](#)). Szabadföldi tartamkísérletek a szerves trágyák pozitív hatását igazolják, ami a talaj fizikai állapotában, mikroelem-tartalmában, a biokémiai folyamatok és a kémhatás szabályozásában nyilvánul meg ([KISMÁNYOKI, 1993](#)).

A szerves anyag kedvezően befolyásolja a talaj vízgazdálkodási tulajdonságait. [TIHANYI \(1981a; 1981b\)](#) szerint, a nyári szárazságnak kitett homokos talajok esetében a szennyvíziszap hasznosítása különösen kedvezően befolyásolja a talaj hasznosítható víztározó képességét.

Kockázatok

Szerves hulladékok mezőgazdasági és erdészeti hasznosítása különböző veszélyekkel járhat; fertőzőképes anyagok, életképes növényi magvak szétszórása és toxikus anyagok talajba juttatása a leggyakrabban említett probléma ([TAMÁS, 1998](#)).

Fertőző anyagok

A települési szerves hulladékban megtalálható patogén kórokozók; a baktériumok, a vírusok és a paraziták (bélférges és protozoák). Az előbbi kategóriákon belül a különböző szervezetek száza található meg a települési szennyvízben. A szennyvíziszapban mindazok a kórokozók megtalálhatók, mint ami a szennyvízben, és ez potenciális veszélyként jelentkezik a szennyvíziszap felhasználása során ([TAMÁS, 1998](#)). A szennyvíziszap hasznosításánál számolni kell a Szalmonellával, a *Cystrus bovis* petéjével, valamint az embert és szarvasmarhát egyaránt

fertőző *Taenia saginita*val ([SORBER et al., 1975](#)). A szennyvíziszap hasznosításának egészségügyi problémáival számos tanulmány foglalkozik.

A települési szilárd hulladék is tartalmaz patogén szennyezést, amelynek két fő forrása a házi állatok hulladékai és az elhasznált pelenka ([EPSTEIN, 1997](#)). A szennyezést tovább növelik egyéb háztartási eredetű egészségügyi hulladékok és a hulladékot fertőző legyek, rágcsálók, rovarok. [DONELLY et al. \(1984\)](#) nagyszámú patogén indikátor szervezetet talált a települési hulladékban, amely a szennyvíziszappal megegyező vagy esetenként azt meghaladó szennyezettségre utal, amit véleménye szerint a házi állatok hulladékai okoznak. A fertőzés veszélye eredményesen csökkenthető a mezőgazdasági és az erdészeti hasznosítás során alkalmazott védekezési módszerekkel és intézkedésekkel ([VERMES, 1996](#)).

Szervetlen szennyező anyagok

A szerves hulladékokban található nyomelemek lehetnek toxikusak, de akár hasznosak is az élő szervezetek számára. A nehézfém kategória számtalan elemet foglal magában, amelyeket általában toxikusnak tekintenek ([EPSTEIN, 1997](#)). A szerves hulladékokkal a környezetbe vitt nehézfém-terhelés a szerves hulladékok hasznosításának egyik legexponáltabb kérdése napjainkban ([TAMÁS, 1998](#)). A kutatókat és a gyakorlati szakembereket egyaránt foglalkoztatja az a kérdés, hogy ezek az elemek a talaj – növény – állat – ember biológiai láncolatban milyen mértékben vesznek részt ([KÁDÁR, 1991](#)), és hol a határ, ahol ezek a fémek még tolerálhatók. [OLÁH et al. \(1984\)](#) szerint, a magyarországi szennyvíziszapok nehézfém-szennyezettsége nem olyan magas, hogy az egy-két kiugró eredmény ellenére gátolná a hasznosíthatóságot. Az elmúlt évek ipari eredetű szennyvízkibocsátás csökkenésének eredményeként a helyzet még tovább javult.

A szilárd települési szerves hulladékok szennyezettségét nagyban befolyásolja a begyűjtés és az esetleges későbbi osztályozás módja, az hogy a szerves frakció milyen mértékben szennyeződik a más hulladékfrakciók által. [EPSTEIN \(1997\)](#) vizsgálatai szerint, a kevert települési hulladék Zn, Cu, Cd és Pb szennyezése szignifikánsan magasabb, mint a leválasztott komposztálható frakcióé.

Szerves szennyező anyagok

A településekről származó szerves hulladékok toxikus szerves szennyeződések is tartalmazhatnak. Peszticid és herbicid szennyeződés lehet a kerti és a konyhai hulladékokban. A szennyvíziszapok gyakran tartalmaznak toxikus szerves szennyeződések a háztartásokból és az ipari üzemekből származó kibocsátások miatt **(EPSTEIN, 1997)**. Korábbiakban kizárólag a nehézfém-szennyezést vizsgálták és tartották problematikusnak a szerves hulladékok hasznosítása szempontjából, ma azonban egyre több szerves káros anyagot határoznak meg a szerves hulladékokban, a talajban és a növényekben, amelyek legfontosabb csoportjai **(BUTZKAMM-ERKER, 1991)**:

- poliklórozott dibenzodioxid és –furan (PCDD / PCDF),
- poliklórozott bifenilek (PCB),
- poliklórozott aromás szénhidrogének (PAH),
- nehezen illó inszekticidok és fungicidok.

Ezek a káros anyagok a települési hulladékokban általában csak kis koncentrációban találhatók meg, hasznosításukat általában nem korlátozzák **(NATIONAL AUDUBON SOCIETY, 1993)**. A talaj terhelése elsősorban légszennyezésnek és növényvédő szerek használatának köszönhető, a szerves hulladékok hasznosítása ezzel szemben csak kis mértékű terhelést okoz. Átlagos szennyvíziszap terhelés mellett nem találtak összefüggést a szennyvíziszap használata és a növények szennyezettsége között.

Stabilizálatlan szerves anyag

A stabilizálatlan szerves hulladék használata gondot jelent mind a szállítás és tárolás, mind a „talaj-növény” rendszeren belüli hasznosítás során. A friss szerves hulladék talajba helyezését lehetőség szerint el kell kerülni, mert változásokat eredményez a természetett növény ökoszisztémájában. Ismert hatás, hogy a zöldtrágya és a növényi maradványok beszántása fékezheti a növények növekedését **(KONONOVA et al., 1966)**. Szántóföldi kísérletek szerint, 1-3 hét szükséges a szerves anyag megfelelő mértékű degradációjához, ami után a szerves anyag bevitelének pozitív hatásai már jelentkeznek **(DE BERTOLDI et al., 1983)**. A szerves hulladékok talajban bekövetkező lebontása fitotoxikus anyagok termelésével járhat együtt, ami a növények növekedését gátolja **(ZUCCONI et al., 1990)**. Az anaerob vagy anoxikus körülmények között termelődő ecetsav felelős elsősorban a fitotoxikus hatásért **(DE VLEESCHAUWER et al., 1981)**. Fitotoxikus anyagok a szerves hulladékok talajba történő helyezése előtti kezelés, komposztálása során is keletkezhetnek. Nem megfelelő levegőztetés esetén ecetsav, vajsav és propionsav keletkezhet anaerob vagy anoxikus körülmények miatt. Megfelelő oxigénbevitel

melletti komposztálással a fitotoxikus anyagok felhalmozódása csökkenthető [\(ZUCCONI et al., 1981\)](#).

Fitotoxikus hatás hiánya önmagában még nem elegendő indikátora a jó szerves anyagnak. A „talaj–növény” rendszerbe kerülő szerves anyag C/N aránya is igen lényeges paraméter. A nyers szerves anyag C/N aránya befolyásolja a biológiai degradáció sebességét, de talajba kerülve befolyásolja a növények tápanyagellátását. Ha a talajba kerülő szerves anyag C/N aránya magas (>20), a lebontás végző mikroorganizmusok a talajból és így a növényektől vonják el a nitrogént. Ha viszont stabilizálatlan és alacsony C/N arányú szerves anyag kerül a talajba, ammónia keletkezésével kell számolni, amely fitotoxikus hatású [\(EPSTEIN, 1997\)](#).

Szerves hulladékok hasznosításával járó kockázatok csökkentési lehetőségei

A szakirodalmi utalások szerint, a szerves hulladékok hasznosításával járó kockázatok csökkentése a felhasznált nyersanyagok körének megválasztásával, a forráshelyen és a gyűjtés - szállítás során bekövetkező szennyeződés megakadályozásával, a felhasználás előtti kezeléssel, valamint a hasznosítás korlátozásával érhető el.

Forráskontroll

A települési szilárd szerves hulladékból előállított komposzt esetében a nehézfém szennyezettség mértéke szorosan összefügg a hulladékbegyűjtés és az azt követő kezelés módjával [\(VAN ROOSMALEN et al., 1986\)](#). Holland tapasztalatok szerint, csak a szelektív gyűjtés utáni komposztálás eredményezheti a szennyezőanyag-tartalom csökkentését [\(LUSTENHOUWER et al., 1987\)](#). Mindezek alapján Hollandiában 1995-től kötelező jelleggel előírták a települési szerves hulladék forráshelyi szelektív gyűjtését. A szelektív gyűjtés szükségességét felismerve Magyarország hulladékgazdálkodási célkitűzései között is szerepel a települési szilárd hulladék bomló szerves frakciójának szelektív gyűjtése [\(OHT, 2002\)](#).

A települési szennyvíziszap toxikus anyag tartalmának limitálása szempontjából is elsőrendű feladat a forráskontroll. Az iszapelhelyezéssel kapcsolatos problémák megoldását nagymértékben elősegíti a csatornába vezethető ipari és egyéb nem kommunális jellegű szennyvizek minőségének szigorúbb (az EEC direktívák szerint is megkövetelt) szabályozása [\(RÁTH, 1995\)](#). Ezt célozza az úgynevezett szennyvíz-előkezelési akcióprogram bevezetése,

amely értelmében minden településen, ahol olyan ipari tevékenységet folytatnak, amelynek a hulladécai mérgezőek vagy egyéb szempontból veszélyesek, és az ipari szennyvizet közcsatornára kötve kívánják elvezetni, ipari szennyvíz-előkezelés keretében kötelesek csökkenteni vagy megszüntetni a káros anyag kibocsátást ([JUHÁSZ, 1997](#)).

Stabilizálás és hőkezelés

A szerves hulladékok aerob és anaerob stabilizálása hozzájárul a hasznosításhoz kapcsolódó környezeti kockázat csökkentéséhez. Az aerob stabilizálás és így a komposztálás hőtermeléssel járó folyamat, amely elősegíti a patogén anyagok és növényi magvak szennyező hatásának csökkentését. Szakirodalmi utalások szerint, minimum 30 percig tartó 65 °C hőmérséklet a növényi kórokozók elpusztítását eredményezi ([BOLLEN et al., 1989](#)). Az emberi kórokozókra ugyancsak végzetes lehet a magas hőmérséklet ([BURGE, 1983](#)). Az [EPA \(1981\)](#) ajánlás szerint, 5 napon keresztül érvényesülő 55 °C hőmérséklet elegendő a kórokozók elpusztításához, [DE BERTOLDI et al. \(1988\)](#) szerint viszont, 3 nap időtartamú 65 °C hőmérsékletű kezelés szükséges nedves környezeti körülmények fenntartása mellett. A 65 °C feletti hőmérséklet lecsökkenti a degradációs folyamatokat, amelynek eredményeként a végtermék kevésbé lesz stabil és kedvező feltételeket nyújt egyes kórokozók, mint például a Szalmonella elszaporodásához ([LOPEZ-REAL, 1990](#)). Így a komposztálás során a „minél melegebb, annál jobb” szemlélet csak 65 °C hőmérséklet alatt igaz.

A növényi magvak csírázási állapotban a legérzékenyebbek a hőterhelésre. Szakirodalmi utalások szerint, 60-75 °C közötti hőmérséklet elegendő a leggyakoribb gyommagvak elpusztításához ([GRIFFIS et al., 1978](#)). A hasznosítással együtt járó kockázatok stabilizált és kellően érett komposzt használatával csökkenthetők ([EPSTEIN, 1997](#)). A stabilitás és az érettség hasonló, de nem szinonim fogalmak. A stabilitás a szerves anyag degradáltságának mértékét fejezi ki a lebontás biológiai aktivitásának függvényében. Az érettség szerves kémiai jellemző, amely a fitotoxikus szerves savak jelenlétére vagy hiányára utalnak. A szakirodalmi utalások szerint, a komposzt stabilitás és érettség meghatározására egységes univerzális módszerek nem állnak rendelkezésre ([EPSTEIN, 1997; ALEXA et al., 1998](#)).

Az anaerob hulladékkezelés egészségügyi kockázatcsökkentő hatásával kapcsolatban ellentmondásos információk találhatók a szakirodalomban. Az ellentmondások azzal magyarázhatók, hogy a kezelés különböző hőmérsékleti tartományban történhet. Termofil kezelés esetén (55 °C) az aerob kezeléshez hasonló kedvező hatással lehet számolni. A

gyakorlatban legelterjedtebb mezofil (30–35 °C) kezelés esetén a hatás kevésbé kedvező. A fertőzőképesség csökkentését alapvetően meghatározza az is, hogy folyamatos vagy szakaszos üzemű, teljes elkeverésű vagy csőreaktor kerül alkalmazásra. A gyakorlatban elterjedt folyamatos üzemű, teljes elkeverésű reaktorok nem csökkentik jelentősen az egészségügyi kockázatot. Az anaerob hulladékkezelést általában nem alkalmazzák önállóan, hanem csak előkezelésként, amelyet komposztálás követ ([KROGMANN, 1995](#)). A két szervesanyag-stabilizálási technológia együttes alkalmazása eredményezheti a kockázati tényezők csökkentését.

Hasznosítás korlátozása és szabályozása

A kockázatok csökkentésének további lehetősége a felhasználás korlátozása, szabályozása. Ez kiterjedhet a növénykultúrára, a felhasználás idejére, a várakozási idő előírására, a kihelyezés technológiájára és a terület megválasztására ([OVH, 1982](#); [MÉM, 1990](#); [EPA, 1993](#); [Korm. rendelet, 2001](#); [KVVM rendelet, 2003](#)). [VERMES \(1990\)](#) szerint, az elvégzett kísérletek, valamint a termesztési ismeretek és követelmények egyaránt azt indokolják, hogy iszaphasznosításra elsősorban ne az élelmiszerláncba tartozó növények termesztésében kerüljön sor, mert így az esetleges veszélyek jobban elkerülhetők. A kockázat csökkentésének hatékony módja lehet az erdőterületen és a faültetvényeken történő hasznosítás.

Hazánkban több évtizedes tapasztalat halmozódott fel a szennyvizek, a szennyvíziszapok és a hígtrágyák mezőgazdasági területen és faültetvényeken történő elhelyezése valamint hasznosítása terén. A kezdeti kísérleti tapasztalatok alapján több üzemi méretű, kedvező eredményeket hozó nyárfás szennyvíz és hígtrágya elhelyező telep létesült az országban. Kidolgozásra került a folyékony hulladékok faültetvényen történő elhelyezésének, hasznosításának technológiája ([CSABA et al., 1978](#)). Az 1977-ben kezdődött intenzív kutatómunka és kiterjedt kísérletek eredményeként kialakultak azok az iszapelhelyezési technológiák, amelyek referenciahelyek tapasztalatai alapján ajánlhatók a gyakorlat számára ([VERMES, 1990](#)). Ezek között szerepel a mélybarázdás elhelyezés nyárfaultetvényen és a komposztálás utáni elhelyezés különböző művelési ágú területeken.

A tapasztalatok arról tanúskodtak, hogy a talaj közömbösítő, adszorbeáló tulajdonsága és az erdő gazdag baktériumflórája a nagy szervesanyag-tartalmú folyékony hulladékokat lebontja, és a benne lévő tápanyagokat bizonyos mértékig hasznosítja ([GÁL, 1980](#)). A faültetvények

előnyös alternatívát nyújtanak a szerves hulladékok hasznosítása terén. A mezőgazdasági hasznosításhoz viszonyítva előnyt jelent, hogy nem kapcsolódnak közvetlenül az emberi tápláléklánchoz, továbbá a szerves anyag mineralizációja során fokozatosan feltáródó tápanyag jobban megfelel a fás kultúrák tápanyagpótlási igényének [\(RIHA et al., 1983\)](#). A biomassza-termelő faültetvények további előnye, hogy őszelel tovább tart a tápanyagfelvétel, mint a mezőgazdasági területeken, csökkentve a tápanyagok talajvízbe mosódását [\(NIELSEN, 1994\)](#).

Szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának szabályai

A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának módját az [50/2001. \(IV. 3.\) Korm. rendelet](#) szabályozza. Ennek megfelelően a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása engedélyhez kötött tevékenység, amit talajtani szakvélemény alapján, az érintett szakhatóságok hozzájárulásával, a talajvédelmi hatóság engedélyezhet. A mezőgazdasági felhasználás adott mezőgazdasági területre legfeljebb ötéves időtartamra engedélyezhető. A mezőgazdasági felhasználás, megalapozásához vizsgálni kell a hasznosító terület talajának és talajvizének tulajdonságait és a szennyvíziszapnak a jellemzőit.

A rendelet szerint kezeletlen települési folyékony hulladék vagy más kezeletlen iszap a mezőgazdaságban nem használható fel. A kezelés célja a fertőzőképesség csökkentése, amelynek eredményeként a fekal streptococcus szám ml-ben mért mennyisége az eredeti érték 10 százaléka alá csökken. A felhasználásra kijelölt területre csak az azonnal bedolgozható iszapmennyiség szállítható ki. Az anyagot a talaj felszíne alá kell kijuttatni, vagy kihelyezés után haladéktalanul be kell dolgozni.

Szennyvíziszap csak a tenyészidőszakon kívüli időben helyezhető ki és csak közvetlen emberi fogyasztásra nem kerülő növényekre. Nem használható fel olyan talajon, amely határérték felett tartalmaz toxikus elemeket, pH értéke 5,5-nél alacsonyabb, durva homok vagy nehéz agyag, sekély termőrétegű, talajvizének évi átlagos szintje 150 cm-nél magasabb, fagyott vagy vízzel telített, 12%-nál nagyobb lejtőhajlású. Tilos a felhasználás védett természeti területeken, rét legelő művelési ágban, vízjárta területeken, ivóvízbázisok területén, érzékeny (karsztos) területeken.

A felhasználni kívánt mennyiséget a talaj tulajdonságai valamint a természeteni kívánt növény tápanyagigénye (elsősorban nitrogén) alapján kell meghatározni. Nitrátérzékenynek minősülő területre kijuttatott összes nitrogénmennyiség nem haladhatja meg évente a 170 kg/ha értéket.

Tilos a felhasználás a rendeletben meghatározott határérték felett toxikus anyagot tartalmazó iszapok esetén. A felhasználás módját, gyakoriságát, a felhasználható szennyvíziszappal kiadható mérgező (toxikus) elem és károsanyag mennyiségét a talaj legfeljebb 25 cm-es művelési mélységére elvégzett terhelhetőségi számítások alapján határozzák meg. A szennyvíziszappal kijuttatott mérgező (toxikus) elemek és károsanyagok mennyisége évente, hektáronként nem haladhatja meg a jogszabályban megadott határértékeket, valamint a talajban és a felszín alatti vízben nem eredményezhet a jogszabályban [\(10/2000. \(VI. 2.\) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendelet\)](#) meghatározott (B) szennyezettségi határértéknél kedvezőtlenebb állapotot.

Biohulladékok kezelésének és felhasználásának szabályai

A biohulladékok kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről szól a [23/2003. \(XII. 29.\) KvVM rendelet](#). A rendelet hatálya kiterjed a kezeletlen és kezelt biohulladéokra, a stabilizált biohulladéokra, valamint azokra a tevékenységekre, amelyek során biohulladékot kezelnek mező-, erdőgazdasági és kertészeti felhasználás érdekében. A jogszabály szerint a biohulladék minden olyan növényi és állati eredetű szerves hulladék, amely aerob vagy anaerob úton biológiailag lebomlik vagy lebontható.

7.11.2 Szerves hulladékok biomassa-termelési célú hasznosítása energiatermelő ültetvényeken

Megújuló energiát szolgáltató biomassa-termelő ültetvények

A legtöbb energiafelhasználási forgatókönyv jelentős szerepet tulajdonít a bioenergiának a föld jövőbeni energiaellátásában. Kutatások folynak olyan növényfajták és klónok azonosítására, menedzsment technológiák fejlesztésére, amelyekkel a gazdaságilag fenntartható biomassa-termelés és így a fosszilis energia helyettesítése elérhető. Napjainkban már gazdasági céllal létesítenek biomassa-termelő fűzültetvényeket Svédországban ([ARRONSON et al., 2002](#)) és hazánkban is hasonló kezdeményezéseket figyelhetünk meg.

Az energiapolitikai elvárások szerint a megújuló energiaforrások arányát 2010-re a jelenlegi 3,6%-ról duplájára kell emelnünk. További elvárás a megújuló energiaforrásból előállított villamos energia mennyiségének növelése 2010-re 6,5%, 2013-ra 11,4%. A magyarországi

megújuló energiaforrásokat tekintve a legnagyobb előre lépési lehetőséggel a biomassza-hasznosítás, ezen belül az energetikai növénytermesztés területén számolhatunk [\(BOHOCZKY, 2003\)](#).

Az EU villamos energetikai és szigorodó környezetvédelmi követelményei miatt a meglévő széntüzelésű erőművek egy részét fabázisúra alakítják át Magyarországon. Az elvárás teljesítéséhez összességében mintegy 1-1,3 millió tonna biomassza szükséges, amely a meglévő erdőterületről kitermelhető [\(BOHOCZKY, 2003\)](#). A fenntarthatóság szempontjából azonban előnyösebb lenne, ha ez az EU csatlakozás után ugaroltatásra ítélt termőföld egy részén (mintegy százezer ha) létesített fás szárú energiaültetvényen kerülne megtermelésre. Hazai kísérleti eredmények szerint a 3-4 éves vágásfordulóval kezelt nyárültetvényeken 1,6-5,2 t/ha/év, a fűzültetvényeken 2,7-6,9 t/ha/év olajegyenérték hozamnak megfelelő energiatermelés érhető el [\(MAROSVÖLGYI, 2000\)](#).

Biomassza-termelő ültetvények szerepe a szennyezőanyagok kezelésében és hasznosításában

Az energiatermelő ültetvények gazdaságosságának fontos eleme a tápanyagpótlás költsége, amely különböző szerzők szerint eléri az összköltség 20-30%-át. A tápanyagpótlás előnyös alternatíváját nyújthatják a magas szerves- és tápanyagtartalmú hulladékok a települési és ipari szennyvizek, szennyvíziszapok, a hulladéklerakóról származó csurgalékvizek és a hígtrágyák hasznosítási, kezelési célú felhasználásai.

A kezeletlen települési szennyvíz tápanyag-összetétele jól illeszkedik a fűzek igényéhez **(107. táblázat)**. A harmadfokú kezeléssel előtisztított szennyvíz, a szennyvíziszap és a hulladéklerakók csurgalékvize kiegyenlített tápanyagforrás, amelyen javítani a hiányzó tápanyag pótlásával lehet. Energiatermelési célú faültetvényeknél az égetés során keletkező hamu iszaphoz történő keverése nyújt olcsó alternatívát az iszap káliumtartalmának kiegyensúlyozására [\(PERTTU, 1993\)](#).

107. táblázat. Makroelem koncentrációk összehasonlítása különböző települési hulladékokban és fűzekben a nitrogénhez viszonyítva (N=100) (ARRONSON et al., 2002)

Makroelem	Fűzek igénye	Kezeletlen szennyvíz	Harmadfokú tisztított szennyvíz	Szennyvíz-iszap	Csurgalék-víz
Nitrogén	100	100	100	100	100
Foszfor	14	64	≈60	73	54
Kálium	72	17,5	≈4,5	9	0

Svédországban az első üzemi méretű, szennyvíztisztítási funkciót ellátó, rövid vágásfordulójú fűzültetvényt 1997-ben létesítették. A biomassza-termelő fűzültetvények „vegetációs szűrő” kapacitását üzemi méretű területeken több EU tagországban vizsgálták. A tapasztalatok ugyan kedvezőek, de az is tény, hogy a hulladékhasznosító energiatermelő fűzültetvények esetén nagyobb előny származik az alacsony hulladékkezelési költségből, mint a fahozam mennyiségének növekedéséből (MILJOMINISTERIET, 2003). Az eredmények igazolták, hogy a fűzültetvények hatékony megoldást nyújtanak a környezet szervesanyag-terheléséből származó tápanyagterhelésének csökkentésére.

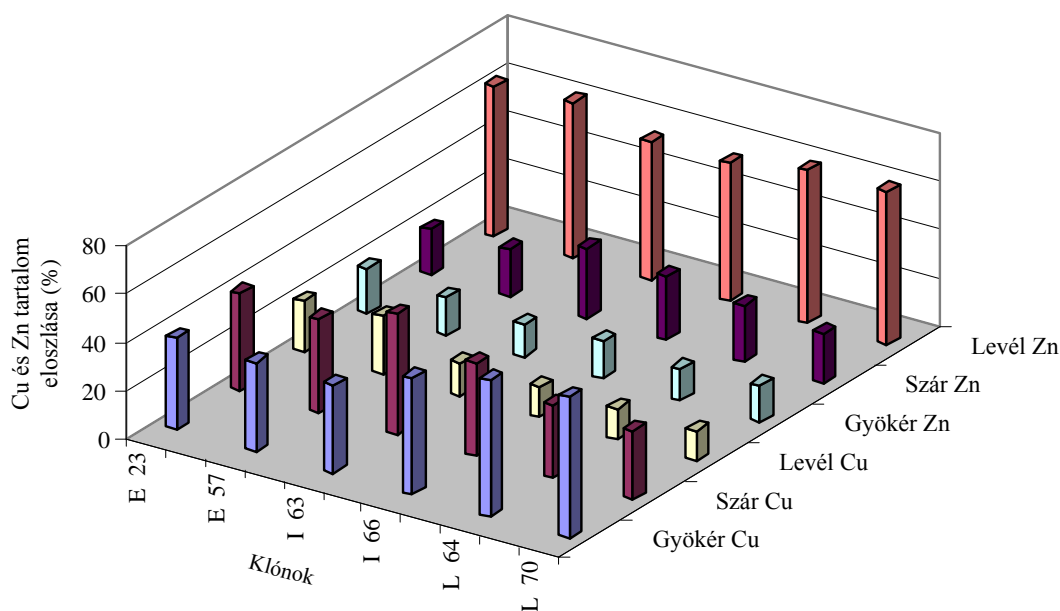
A nehézfém tartalom a szerves hulladékok hasznosításának egyik legexponáltabb kérdése lett napjainkban. A kutatókat és a gyakorlati szakembereket egyaránt foglalkoztatja az a kérdés, hogy ezek az elemek a talaj-növény-állat-ember biológiai láncolatában milyen mértékben vesznek részt, és hol az a határ, ahol ezek a fémek még károsodás nélkül tolerálhatók.

Szerves hulladékok hasznosítása esetén kérdésként merül fel, hogy a szerves anyaggal kihelyezésre kerülő nehézfémekből mennyi kerül beépítésre a megtermelt növényi biomasszába. DICKINSON et al. (1994) szerint, a magas nehézfémfelvétel és transzlokáció a föld feletti biomasszába előnyt jelenthet a nehézfémmel szennyezett hulladékok esetén. Megfelelő klónok alkalmazása mellett elképzelhető, hogy a betakarított biomasszával a kiadott vagy annál több nehézfémet távolítunk el a területről. Kezdeti kutatási eredmények szerint, jelentős variancia mutatható ki a különböző fajok, fajták, hibridek és klónok nehézfémfelvételében (RIDDELL-BLACK, 1994).

A szennyezőanyagokkal kihelyezésre kerülő nehézfémek környezeti hatásának és a fás növények hulladékkezelő szerepének értékelése szempontjából lényeges kérdés a növényi

felvétel alakulása és a felvett nehézfémek eloszlása a különböző növényi részekben. Megfigyelések szerint, a nehézfém-felhalmozódás általában legmagasabb a fűzek gyökerében, alacsonyabb a levelekben és legalacsonyabb a fás részben. A növényi részek közötti felhalmozódás aránya azonban függ a nehézfém fajtájától, és a fafajták valamint a klónjaik is szignifikáns mértékben befolyásolják a nehézfém felvételét (**250. ábra**).

A szerves hulladékok hasznosítását célzó biomassza-termelő ültetvények jelentős szerepet vállalhatnak a különböző környezeti problémák kezelésében és a szerves hulladékok hasznosításában, hozzájárulhatnak a roncsolt területek és a hulladéklerakó-helyek rekultivációjához, és elősegíthetik a parlagterületek hasznosítását.



E = S. eriocephala, I = S. exigua, L = S. lucida

250. ábra. Fűzklónok Cu- és Zn-tartalmának eloszlása a növényi részekben az összes Cu- és Zn-tartalom százalékában ([SIMON, 2001](#))

Demonstrációs projektek igazolták, hogy a gazdálkodók előnyhöz juthatnak az élelmiszer- és bioenergia-termelés kombinációjával. További előny, hogy a rövid vágásfordulóban termesztett fás növények kevésbé terhelik a környezetet, mint a mezőgazdasági művelés. A szerves hulladék hasznosításával együtt csökkentik az erózió veszélyét, meliorálják a talajt, és alacsonyabb lesz a terület a tápanyagpótlási és növényvédő szer felhasználási igénye ([WILSTRAND et al., 2002](#)).

A szerves hulladékhasznosítással összekapcsolt energiaültetvények környezeti szempontból előnyös, fenntartható és alkalmas lehetőséget nyújtanak a rekultivált roncsolt területek és hulladéklerakók hasznosítására. Erdészeti kutatások indultak a rekultivált területek speciális adottságaihoz alkalmazkodó fajok és termeléstecnológiák kiválasztásának céljából.

7.11.3 Szerves hulladékok rekultivációs és egyéb célú hasznosítása

A talaj – növény rendszerekben történő hulladékhasznosítástól legnagyobb eredmény a rekultivációs célú hasznosítás esetén várható, amely hatékony alternatívát nyújt a szerves hulladékok elhelyezésére a környezeti állapot javítása mellett ([WALLACE et al., 1985](#)). Rekultiválandó területek alatt értjük az emberi beavatkozás eredményeként megromlott termőképességű területeket, amelyeknek a természeti környezetbe történő sokszor csak korlátozott mértékű visszahelyezése érdekében a termőképesség helyreállítása és rekultivációja szükséges. Ebbe a körbe tartoznak a meddőhányók, a külszíni fejtések, a nagyarányú tereprendezések és a hulladéklerakó-helyek. Ezen területek rekultivációjához olyan melioratív beavatkozásokra van szükség amely keretében jelentős helyet foglal el a szerves anyagok nagyarányú bevitelével együtt a tápanyagtartalom jelentős mértékű növelése ([VERMES, 1996](#)).

A rekultiválandó területeken általános az altalaj felszínre kerülése vagy fedőréteggént alkalmazása, amelyre jellemző a szervesanyag- és tápanyaghiány. A humuszhiány eredményeként nem megfelelő a kationcserélő képessége talajnak és a vízoldható tápanyagokat nem tudja visszatartani, azok kimosódnak a gyökérszónából ([BACHE et al., 1984](#)).

A rekultivált területek jó minőségű növénytakarójának kialakítása hasonló követelményeket támaszt mint a lakóterületek körüli területrendezés vagy a mezőgazdasági növénytermesztés. A talajtakarót úgy kell kialakítani, hogy az elősegítse a növények optimális növekedését, ennek megfelelően kell megválasztani vagy befolyásolni a fedőréteg vastagságát, fizikai, kémiai jellemzőit, tápanyag-szolgáltató képességét. Az altalajból készített fedőrétegbe szerves anyagot és tápanyagot kell pótolni a természetes talajképződési folyamatok elősegítése érdekében ([WALLACE et al., 1985](#)). A talajkondicionálóként szolgáló hulladékok kedvezően befolyásolhatják a talaj vízgazdálkodását, levegőztetését, pH-értékét, szerkezetét és hozzájárulhatnak a tápanyagellátás növeléséhez.

A rekultivációs hasznosításhoz hasonló célú lehetőséget nyújt a szerves hulladékok talajjavítást célzó elhelyezése, amely a rossz vízgazdálkodású, szerves anyagban szegény, alacsony biológiai aktivitású, leromlott talajokon alkalmazható.

Hazai homoktalajaink vízgazdálkodása kedvezőtlen, jó vízvezető, de rossz víztartó képességűek. Hasonlóan kedvezőtlen a tápanyag-gazdálkodásuk, mert a tápanyagok könnyen a talajvízbe mosódnak. Alacsony a szerves anyag és agyagtartalom is, így az adszorpciós kapacitás készségük nagyon kicsi. A talaj termőképességét csökkentő negatív adottságok csökkentésére használható fel a szerves hulladékokkal elérhető szervesanyag-bevitel. A javítás sajátos módja a réteges homokjavítás, amikor szennyvíziszap-injektálással hoznak létre a gyökérszóna alatt egy összefüggő alacsonyabb vízvezető képességű réteget. Ennek eredményeként javul a feltalaj víztartó képessége és a tápanyag-ellátottsága ([FILEP, 1995b](#)).

Kötött talajok javítására is alkalmazható a szerves anyag, amely a túl tömör szerkezet lazításával hat előnyösen. A talajjavító hatás eredményeként javul a talaj vízgazdálkodása, és dombvidéki területen csökken az erózió mértéke. A szerves anyag granulátum képzőként szerepel a talajban és hozzájárul az aggregátumok stabilitásához ([Vermes, 1996](#)).

Irodalomjegyzék

- ALEXA L., DÉR S.: A komposztálás elméleti és gyakorlati alapjai; 1998; Gödöllő; Bio-Szaktanácsadó Bt;
- BACHE D. H., MACASKIL I. A.: Vegetation in civil and landscape engineering; 1984; London; Granada Technical Books, Granada Publishing Ltd.;
- BATES T. E.: Land application of sewage sludge; 1972; Canada; Environment Canada and Ontario Ministry of Environment, Research Report No.1.;
- BOHOCZKY F.: Megújuló energiaforrások helyzete az EU-ban és Magyarországon; 2003; http://212.108.197.140/dokk/main/gkm/energetika/kornyezetved/meguj_energ1.html
- BOLLEN G. J., VOLKER D., WIJNEN A. P.: Inactivation of soil-borne plant pathogens during small scale composting of crop residues; 1989; Netherlands Journal of Plant Pathology. 95. Supplement 1. 19.
- BROCKWAY D. G., URIE D. H., NGUYEN P. V., HART J. B.: Wastewater and sludge Nutrient utilization in forest ecosystems; Cole D. W., Charles, H. and Nutter W. L. (eds.), The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastes; 1984; Seattle and London; University of Washington Press; 221;
- BURGE W. D.: Monitoring pathogen destruction; 1983; BioCycle. 24; 48:2;
- BUTZKAMM-ERKER R.: Organische Schadstoffen im Klarschlamm, Bodem und in Pflanzen; 1991; Wasser + Boden; 295:5;
- CSABA L., KISS O., SZINAY M., VERMES L.: Hígtrágya-hasznosítás; 1978; Budapest; Mezőgazdasági Kiadó;
- DE BERTOLDI M., VALLINI G., PERA A.: The biology of composting: A review; 1983; Waste Management & Research; 57:1.;
- DE BERTOLDI M., ZUCCONI F., CIVILINI M.: Temperature, pathogen control and product quality; 1988; BioCycle 29; 45:2;
- DE VLEESCHAUWER D., VERDONCK O., VAN ASSCHE P.: Phytotoxicity of refuse compost; 1981; BioCycle 22; 44;
- DICKINSON N. M., PUNSHON T., HODKINSON R. B., LEPP N. M.: Metal tolerance and accumulation in willows. In: Aronsson P. and Perttu K. (eds.), Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges, A biological purification system. Proceedings of a study tour, conference and workshop in Sweden; 1994; Uppsala; Swedish University of Agricultural Sciences Research Report 50.; 121;

DONNELLY J. A., SCARPINO P. V.: Isolation, characterization, and identification of microorganism from laboratory and full scale landfills; 1984; Cincinnati; Municipal Environmental Research Laboratory; EPA-600/2-84-119;

EPA: Technical Bulletin: Composting process to stabilize and disinfect municipal sewage sludges; 1981; Washington D.C.; Office of water program operations; EPA 430/9-81-011.

EPA: Standards for the use or disposal of sewage sludge, Final Rules; 1993; 40 CFR Parts 257, 403 and 503; Federal Register 58(32). 9248;

EPSTEIN E.: The science of composting; 1997; Pennsylvania; Technomic Publishing Company Inc.;

FILEP GY.: Talajtani alapismeretek I. Általános talajtan; 1995a; Debrecen; Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar; Jegyzet;

FILEP GY.: Talajtani alapismeretek II. Talajrendszertan és alkalmazott talajtan; 1995b; Debrecen; Debreceni Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar; Jegyzet;

GÁL J.: A faültetvények szerepe a szennyvizek elhelyezésében és hasznosításban. In: Soproni Nyári Egyetem; 1980; Sopron; EFE Sopron. 21.

GÁL J.: Sludge utilization by trees in Hungary; 1984; Waste Management & Research 2; 359;

GRIFFIS C. L., MOTE C. R.: Weed seed viability as affected by the composting of cotton gin trash; 1978; Arkansas Farm Research. 27(5); 8;

HARADA Y. A., INOKO A., TDAKI M., IZAWA T.: Maturing process of city refuse compost during pilling; 1981; Soil Science Plant Nutrition. 27(3); 357;

JUHÁSZ E., KÁRPÁTI Á.: Szennyvíziszap hosszú távú kezelése és biztonságos elhelyezése; 2000; Vízügyi Közlemények LXXXII. évfolyam 1. füzet; 107;

JUHÁSZ E.: Magyarország szennyvíz-elvezetési keretterve; 1997; Vízügyi Közlemények LXXIX. évfolyam 2 füzet; 141;

KÁDÁR I.: A talajok és növények nehézfém tartalmának vizsgálata. Környezet és természetvédelmi kutatások; 1991; Budapest; KTM-MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete;

KISMÁNYOKY T.: Trágyázás. In: Nyíri László (szerk.) Földműveléstan; 1993; Budapest; Mezőgazda Kiadó; 203;

KONONOVA M. M., NOWAKOWSKI T. Z., NEWMAN A. C. D.: Soil organic matter; 1966; Oxford, U.K.; Pergamon Press;

Korm. rendelet: 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésnek szabályairól; 2001;

KÖZTISTASÁGI EGYESÜLÉS: A hulladékgazdálkodás általános kérdései, alapelvei, Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 1.; 2003; Budapest; Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Hulladékgazdálkodási és Technológiai Főosztály;

KROGMANN U.: Anaerobic digestion or composting for waste pretreatment. In: Proceedings Sardinia 95. Fifth International Landfill Symposium S. Margherita di Pula; 1995; Cagliari, Italy; CISA Environmental Sanitary Engineering Centre; 937;

KVVM rendelet: 23/2003. (XII. 29.) Rendelet a biohulladékok kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről; 2003;

LOPEZ-REAL J.: Agro-industrial waste composting and its agricultural significance; 1990; Proceeding of the Fertiliser Society. 04. 3.;

LUSTENHOUWER J. W. A., REIJENGA F. A., VAN WEENEN H. C.: Source separation and collection of household compostables; 1987; Biocycle. 28; 33:7;

MAROSVÖLGYI B.: Energetikai faültetvények mezőgazdasági művelésből kivont területen; 2000; Megújuló Energiaforrások a Magyar Biomassza Társaság hírlevele I. 4. 5-6.

MÉM: Szennyvizek és szennyvíziszapok termőföldön történő elhelyezése; 1990; Budapest; MI-08-1735-1990; Ágazati Műszaki Irányelv;

MILJOMINISTERIET: Short-rotation willow biomass plantation irrigated and fertilised with wastewaters; 2003; Sustainable urban renewal and wastewater treatment No. 37.; Danish Environmental Protection Agency;

NATIONAL AUDUBON SOCIETY: Wet bag composting demonstration project; 1993; National Audubon Society, Procter & Gamble, International Process Systems, Waste management, McDonalds, Greenwich Audubon Society, Town of Fairfield, CT, Connecticut Agricultural Experiment Station, USA;

NIELSEN K. H.: Sludge fertilization in willow plantation. Proceedings of a study tour, conference and workshop in Sweden; 1994; Uppsala; Swedish University of Agricultural Sciences. Report 50.; 19;

OLÁH J., SZLÁVIK I., SZÓNYI I.: Települési szennyvíziszap-kezelési technológia fejlesztése; 1984; Budapest; Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató. 145.; Vízgazdálkodási Intézet;

OHT: Országos Hulladékgazdálkodási Terv, Általános kötet 2003-2008; 2002; A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium kiadványa; Alföldi Nyomda Rt.;

OVH.: Szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése és hasznosítása; 1982; Budapest; MI-10.421-82. Ágazati Műszaki Irányelv; Országos Vízügyi Főigazgatóság,

- PERTTU K. L.: Biomass Production and nutrient removal from municipal wastes using willow vegetation filters; 1993; Journal of Sustainable Forestry. 1.(3); 57;
- RÁTH I.: Magyarország szennyvízelvezetési keretterve; 1995; Ö.K.O Ökológia Környezetgazdálkodás Társadalom VI. évf. 1-2. szám; 58;
- RIHA S. J., NAYLOR L., SENESAC G. P.: Hybrid poplar production using municipal sewage sludge as a fertilizer resource; 1983; New York; New York State Energy Research and Development Activity;
- SIMON M. : Települési szerves hulladékok kezelése és hasznosítása; 2001; PhD értekezés; Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum;
- SORBER C. A., GUTER K. J.: Health and Hygiene Aspects of Spray Irrigation; 1975; American Journal of Public Health. 65. No.1.; 235;
- SWIFT R. S., POSNER A. M.: Humification of plant materials. In: Soil organic material studies; 1977; Proceedings of a Symposium on Soil Organic Mater Studies held in Brauschweig, 6-10 September 1976; International Atomic Agency, Vienna; 170.
- SZABÓ I.: Hulladék-elhelyezés; 1999; Miskolc; Miskolci Egyetemi Kiadó;
- SZLÁVIK I., OLÁH J., SZŐNY I.: Települési szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése és hasznosítása; 1984; Budapest; Vízügyi Műszaki Gazdasági Tájékoztató 148.; Vízügyi Dokumentációs és Továbbképző Intézet;
- TAMÁS, J.: Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés; 1998; Debrecen; Debreceni Agrártudományi Egyetem jegyzete;
- TIHANYI Z.: A faültvényeken történő szennyvíz-, szennyvíziszap- és hígtrágya-elhelyezés érdekében folyó kutatás magyarországi helyzetének áttekintése. In: Vermes L. (szerk.), Hígtrágya, szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági és erdőgazdasági hasznosítása, 1980b; VITUKI Közlemények 26; 13;
- TIHANYI Z.: A faültvényeken történő szennyvíz-, szennyvíziszap- és hígtrágya-elhelyezés érdekében folyó kutatás magyarországi helyzetének áttekintése. In: Vermes L. (szerk.), Hígtrágya, szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági és erdőgazdasági hasznosítása; 1980b; VITUKI Közlemények 26; 13;
- TIHANYI Z.: Gyorsan növő fafajok és a szennyvízhasznosítás összefüggései; 1984; Sopron; Kandidátusi értekezés; Erdészeti és Faipari Egyetem;
- TISDALL J. M., OADES J. M.: Organic matter and water stables aggregates in soils; 1982; Journal of Soil Science 33; 141;
- TOMPA K.: A fűzek termesztése; 1988; Sopron; MTA doktori értekezés;

VAN ROOSMALEN G. R., LUSTENHOUWER J. W. A., OOSTHOEK J., SENDEN M. M. G.: Heavy metal sources and contamination mechanism in compost production. In: Buekens A., Tels M. (eds.), Material and energy from refuse; 1986; Antwerpen; KVIV; 321.

VERMES L.: A szennyvizek, a szennyvíziszapok és a hígtrágyák hasznosítással egybekötött elhelyezése. In: Szalai Gy. (szerk.), Az öntözés gyakorlati kézikönyve; 1989; Budapest; Mezőgazdasági Kiadó; 367;

VERMES L.: A szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezésének / hasznosításának feltételrendszere. In: Orbán V. (szerk.), Iszapkezelés és elhelyezés szimpózium; 1990; Baja; PMMF Vízgazdálkodási Intézet; 25;

VERMES L.: Hulladékgazdálkodás a növénytermesztésben és az állattenyésztésben. In: III. Országos agrár-környezetvédelmi konferencia; 1994; Budapest; Környezetvédelmi Információs Klub; 46;

VERMES L.: Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás; 1996; Budapest; Mezőgazda Kiadó;
WALLACE H., FULLER A., WARRICK W.: Soils in waste treatment and utilization; 1985; Boca Raton; Florida; CRC Press, Inc. ;

WILSTRAND M., LINDQVIST R., WILSTRAND I.: EkokraftTM-program In: IEA, Bioenergy: Task 17, Short –rotation crops for energy purpose; 2002; Uppsala; Swedish University of Agricultural Sciences; Raport 70. 60-70.

ZASOSKI R. J., COLE, D. W., BLEDSOE C. S.: Municipal sewage sludge use in forest of the Pacific Northwest, U.S.A.: Growth responses; 1983; Waste Management and Research 1; 103;

ZUCCONI F., DE BERTOLDI M.: R&D programme recycling of urban and industrial waste, compost specifications, draft proposal; 1990; Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development;

ZUCCONI F., FORTE M., MONACO A., DE BERTOLDI M.: Biological evaluation of compost maturity; 1981; BioCycle 22. 4.; 27;

www.kvvm.hu Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium honlapja

8 A hulladékgazdálkodás és hasznosítás jogi környezete

8.1 A jogi szabályozás felépítése az Európai Unióban

8.1.1 Jogforrások

Az Unióban elsődleges jogforrásnak az Alapszerződéseket, másodlagos jogforrásnak pedig, a felhatalmazás alapján az EU intézményei által alkotott joganyagot tekintjük. A másodlagos jogforrások hierarchiájában a legmagasabb helyen a rendelet (*regulation*) áll, amely olyan általános hatályú közösségi jogi norma, ami teljes egészében, minden tagállamban kötelező és közvetlenül alkalmazandó, azaz a tagállamoktól nem igényli külön jogszabály kibocsátását, hatályba lépésétől minden további aktus nélkül, minden részletében (ugyanazzal a szöveggel) alkalmazandóvá válik a tagállamok jogrendszerében. A hulladékgazdálkodás területén csak két rendelet van, az egyik hulladékok szállítását, a másik a hulladék statisztikát szabályozza.

Az irányelv (*directive*) olyan közösségi jogszabály, amely az elérendő célokat illetően kötelezi a tagállamokat, de a cél megvalósításának formáját, az eljárások és eszközök megválasztását és saját jogrendszerbe illesztését átengedi a nemzeti hatóságoknak. A rendeletekkel ellentétben tehát, a tagállamok kötelesek nemzeti jogalkotás útján az irányelvnek megfelelő jogszabályt kibocsátani meghatározott határidőn belül. A hulladékgazdálkodásban ez a legjellemzőbb jogforrás.

A határozat (*decision*) meghatározott címzettekhez szóló, konkrét ügyekre vonatkozó közösségi jogi aktus, ami teljes egészében kötelezi címzettjeit. A címzett lehet tagállam, de természetes vagy jogi személy is. A hulladékgazdálkodásban általában valamely direktíva végrehajtásával összefüggő konkrét intézkedésekhez használják, mint pl. a jelentési kötelezettségek végrehajtási szabályainak, alkalmazandó mérési módszereknek a közzétételére.

A közösségi döntéshozatalban lehetőség van ajánlások (*recommendation*) és vélemények (*opinion*) kibocsátására is, ezek nem kötelező jogforrások.

8.1.2 Egy kis áttekintés - történelmi háttérrel

A hulladéktól való megszabadulás (annak elhelyezése, tárolása) mindig is gondot okozott. Ezek a gondok elsősorban a tulajdonosnál jelentkeznek, de a mennyiség - és egyre inkább a veszélyesség - növekedésével konfliktusokat okoznak a társadalmi és a természeti környezetben is. E konfliktusok feloldásának szüksége hozta létre a hulladékokkal kapcsolatos viselkedési normák rögzítésének igényét, amely magában foglalja a hulladékgazdálkodás teljes rendszerét, ide értve a nemzetközi elvek és prioritások megállapítását, valamint a szakterület jogi és műszaki szabályozási rendszerének kidolgozását.

Az elmúlt 30 évben a hulladékgazdálkodás az EU környezetvédelmi politikájának középpontjában volt, és lényeges fejlődés ment végbe ezen a területen. A hulladékgazdálkodásra vonatkozóan az Unió joganyaga közel 60 rendeletet, irányelvet, határozatot, állásfoglalást vagy ajánlást tartalmaz. Tekintettel erre a nagy számra, illetve a szabályozók gyors változására, itt csak a legfontosabbakat említjük, azonban az olvasó figyelmébe ajánljuk az EU hivatalos internetes honlapját, ahol valamennyi anyag megtalálható az EU hivatalos nyelvein, 2004-től magyarul is².

A hulladékgazdálkodás elveinek és főbb szabályainak legelső és alapvető jogforrása az 1975-től hatályos, idő közben jelentősen módosított *hulladék keretirányelv* volt, amelyet 2006-ban hatályon kívül helyeztek, és az áttekinthetőség valamint az érthetőség érdekében fölváltottak egy kodifikált változattal³.

A hulladék keretirányelven kívül a stratégiai felfogást alátámasztó jogi keretbe tartozik még a *hulladékszállítási rendelet*⁴ - amelynek első változata egy 1975-ben megjelent irányelv volt, legújabb változatát pedig 2007. július 12-től kell alkalmazni -, valamint a *veszélyes hulladékokról szóló irányelv*⁵, amelynek első változatát még 1978-ban alkották meg. A

² <http://eur-lex.europa.eu/en/repert/1510.htm#15103030>

³ Directive 2006/12/EC of 5 April 2006 on waste

⁴ Regulation 259/93 of 1 February 1993 on the supervision and control of shipments of waste within, into and out of the European Community

⁵ Directive 91/689/EEC of 12 December 1991 on hazardous waste

szakpolitikában jelentős szerepük van a hulladék kezelésére és ártalmatlanítására vonatkozó részletes jogi szabályoknak, ide tartozik a *lerakókról*⁶ és a *hulladékégetésről*⁷ szóló irányelv. Az előbbire 1993-ban ugyan már elkészült egy javaslat, de ez soha nem vált hatályossá, az égetős irányelvnek az első változata azonban már 1989-ben megjelent. A hulladékok kezelésére vonatkozó sorozatból azonban még mindig hiányzik a hasznosítást, újrafeldolgozást szabályozó, önálló jogi elem.

A következő nagy csoportot az egyes hulladék áramokra vonatkozó szabályozások alkotják, mint pl. a *poliklórozott bifenilek (PCB)* és *poliklórozott terfenilek (PCT)* kezelését⁸, a *szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználását*⁹, a *titán-dioxid iparból származó hulladékok*¹⁰ vagy az *azbeszt tartalmú hulladékok*¹¹ kezelésének szabályait tartalmazó irányelvek. Az itt felsorolt direktívákat már többször megújították, de első változataik főként a 70-es évek végén, valamint a 80-as évek elején keletkeztek. A szintén ebbe a csoportba tartozó *hulladékolaj* direktíva¹² pedig 1975-ben készült, amelyet rögtön a keretirányelv után adtak ki, másodikként a hulladékgazdálkodási szabályok sorában.

Egyes hulladékok begyűjtését, kezelését a gyártói felelősség alapján kell végezni úgy, hogy néhány meghatározó hulladékáramra már megtörtént az újrafeldolgozási és energetikai hasznosítási célok kitűzése is, pl. az *akkumulátorokra és elemekre*¹³, (ez a legújabb jogszabály, már hatályos, nemzeti jogba való átvételére 2008. szeptember 26-ig kaptak határidőt a

⁶ Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste

⁷ Directive 2000/76/EC of 4 December 2000 on the incineration of waste

⁸ Council Directive 96/59/EC of 16 September 1996 on the disposal of polychlorinated biphenyls and polychlorinated terphenyls (PCB/PCT)

⁹ Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture

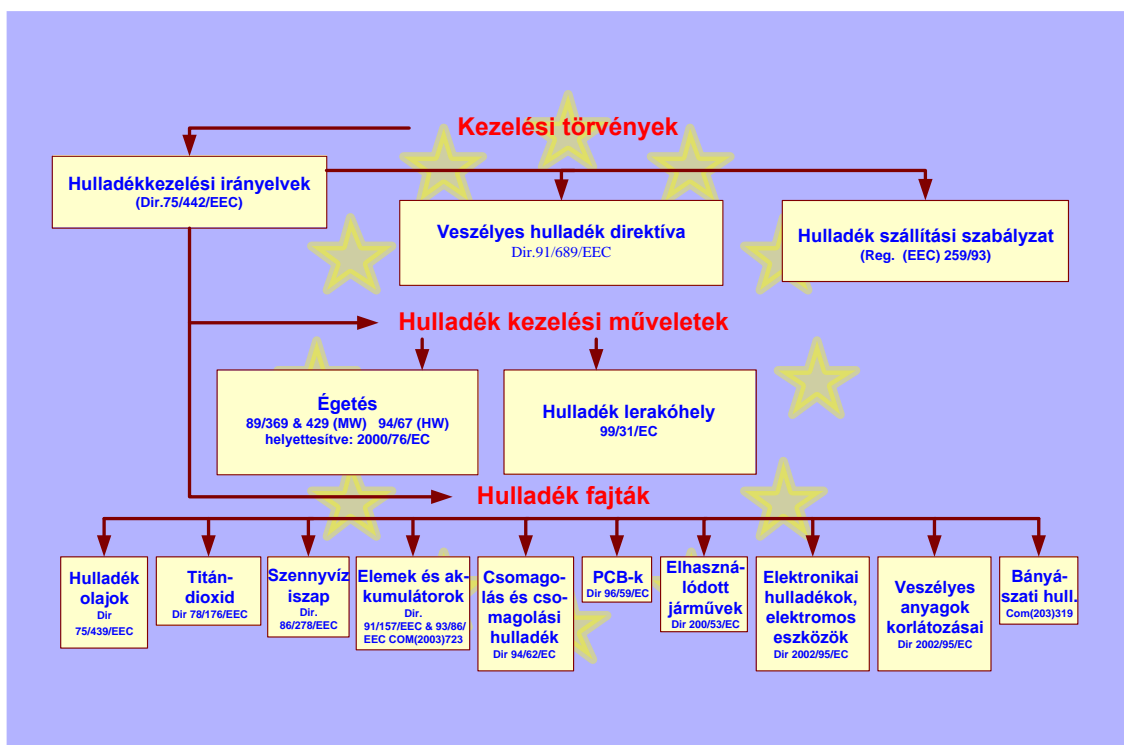
¹⁰ Council Directive 78/176/EEC of 20 February 1978 on waste from the titanium dioxide industry

¹¹ Council Directive 87/217/EEC of 19 March 1987 on the prevention and reduction of environmental pollution by asbestos

¹² Directive 75/439/EEC of 16 June 1975 on the disposal of waste oils

¹³ Directive 2006/66/EC of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators

tagországok), a *csomagolóanyagokra*¹⁴, az *elhasználódott járművekre*¹⁵ (ELV), valamint az elektromos és elektronikus berendezések hulladékaira^{16,17} (WEEE). Ez a csoport már a „modern” jogszabályokat foglalja magában, amelyek főleg a 2000-es években készültek, de meg kell említeni, hogy az első, papírhasznosításról szóló ajánlás még 1981-ben kelt, az első elem-akkumulátor szabályozás 1991-ben. A felvázolt rendszert mutatja a **251. ábra**.



251. ábra. Az EU hulladékgazdálkodási jogi szabályozásának rendszere

A bemutatott jogszabályi rendszeren túl a hulladékgazdálkodásban van még néhány horizontális terület, amely a joganyagban jelentős részt foglal el. Az Európai Unió nagy figyelmet szentel a végrehajtás ellenőrzésének, amelyhez bekéri a tagállamok rendszeres jelentéseit. Irányelvek, és Bizottsági Határozatok széles köre foglalkozik a különböző *jelentési kötelezettségekkel*. A közösségi hulladékgazdálkodási helyzet változásainak nyomon követése érdekében a tagországok kötelesek továbbá hulladékgazdálkodásukról rendszeresen *statisztikai*

¹⁴ Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste

¹⁵ Directive 2000/53/EC of 18 September 2000 on end-of life vehicles

¹⁶ Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)

¹⁷ Directive 2002/95/EC of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment

adatokat is küldeni az Unió statisztikai intézetéhez, az EUROSTAT-hoz. Az adatszolgáltatások fontosságát jelzi, hogy ezt a területet rendelettel¹⁸ szabályozták. Ez érthető is, hiszen az összeurópai statisztika alapján lehet kimutatni a megkívánt, vagy káros tendenciákat, ellenőrizni, hogy teljesülnek-e a jogszabályokban meghatározott célok, illetve milyen további intézkedések szükségesek a jövőben.

Fontos megemlíteni még, hogy az Unióban egységes *hulladék katalógust* adtak ki, amely tartalmazza mind a veszélyes, mind a nem veszélyes hulladékok listáját, ezen túlmenően lefekteti a veszélyessé minősítés kritériumait.

Az Unió egyes joganyagainak főbb tartalmi elemeit a magyar szabályozással összefüggésben mutatjuk be a **8.2.**

8.1.3 Közösségi hulladék stratégiák

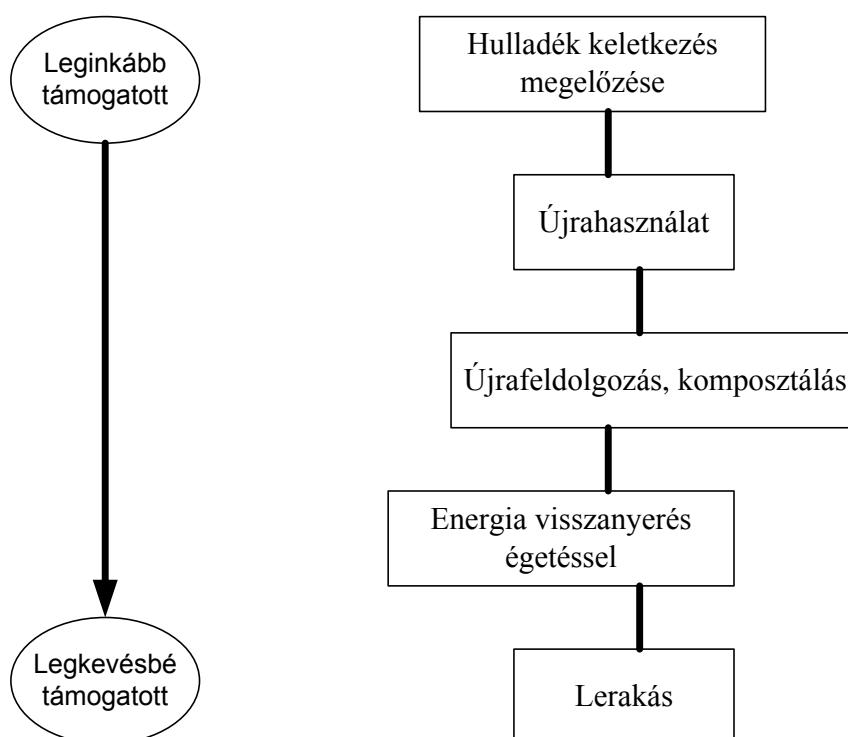
A folyamatosan bővülő szabályozás, valamint az egyértelműen kimutatható sikerek ellenére a hulladék továbbra is jelentős problémát jelentett és jelent még ma is, mivel mennyisége folyamatosan nő, a nem megfelelő kezelés pedig többször súlyos környezeti szennyezést eredményezett. Emellett a jogalkalmazás is sok kívánnivalót hagy maga után, mivel jelentős különbségeket lehet kimutatni az egyes tagállamok között mind a jogszabályok értelmezése, mind azok végrehajtása terén.

Az elmúlt 30 év során jelentős jogértelmezési perekre is sor került, ami világossá tette, hogy a hulladékokra vonatkozó közösségi jog sok ponton nem egyértelmű. A nem egyértelmű jogértelmezés szabályozási átfedéseket hoz létre, ez a hulladékgyártás, és az illetékes hatóságok elbizonytalanodásához vezet, de ellene hat a szükséges befektetéseknek is. Az Európai Bizottság a problémát már viszonylag korán fölismerte, ezért egységes közösségi hulladék stratégiát dolgozott ki 1989-ben, majd 1996-ban, végül a legutóbbit 2005-ben fogadták el.

¹⁸ Regulation (EC) No 2150/2002 of 25 November 2002 on waste statistics

A stratégiák nem jogforrások. Szerepük, hogy meghatározzák valamely szakterület működésének alapelveit, célkitűzéseit, fejlesztési irányait. A megelőző, hosszú távú időszak tendenciáinak elemzésével feltárják a nem kívánatos, vagy nem hatékony folyamatokat, illetve a szakterület szélesebb gazdasági és társadalmi összefüggéseit. Az elfogadott stratégiák ilyen módon azonban azt is meghatározzák, hogy hogyan kell kialakítani, illetve átalakítani a jogforrások szabályozási területeit, tárgyi, alanyi és időbeli hatályát.

Az 1989-ben kiadott hulladék stratégia¹⁹ célja az volt, hogy lefektesse a hulladékgazdálkodás hosszú távú elveit és prioritásait, ugyanakkor nem titkolt szándék volt a belső piac kialakulásának segítése is.



252. ábra. A hulladékgazdálkodás hierarchiája

A hulladék politika alapelvekén kimondták, hogy elsődleges feladat a hulladék keletkezésének megelőzése, ugyanakkor szorgalmazni kell a már keletkezett hulladék újrahasználatát, anyagának vagy energia tartalmának minél nagyobb arányú hasznosítását. Kizárólag a másként nem hasznosítható hulladékok kerüljenek ártalmatlanításra (lerakóba vagy elégetésre),

¹⁹ Community Strategy for Waste Management of 1989 (SEC(89) 934 Final 1989)

miközben e létesítményeket - a környezetvédelmi igényeket magas szinten kielégítő - egységes követelményeknek megfelelő színvonalon kell működtetni. Ezeket a szabályokat nevezzük hulladékgazdálkodási alapelveknek, vagy a hulladékgazdálkodás hierarchiájának (lásd **252. ábra**).

A dokumentum továbbá kimondta, hogy erősíteni kell a hulladékok szállítására vonatkozó szabályozást, valamint meg kell tisztítani a hulladékok által elszennyezett területeket. Az 1989-es hulladék stratégiában megfogalmazottak alapvetően a 90-es évek módosításai során épültek be a jogszabályokba.

Az Európai Uniót megalapító, 1992-es Maastricht-i Szerződés nyomán a Bizottság 1996-ban új, 2001-ig szóló hulladék stratégiát²⁰ dolgozott ki és fogadott el. Ebben megerősítette az 1989-ben lefektetett hulladékgazdálkodási hierarchiát, ugyanakkor hangsúlyozta, hogy a megfelelő kezelési mód kiválasztásakor a környezetvédelmi szempontok mellett a gazdasági és társadalmi hatásokat is figyelembe kell venni. Ennek eredményeként egyes esetekben pl. az étetéssel történő energia visszanyerés elsőbbséget kaphat az újrafeldolgozással szemben. A hulladékok tüzelőanyagként történő felhasználásával kapcsolatos megoldásokra a Bizottság kiemelt figyelmet kíván fordítani.

A dokumentum megerősítette a „szennyező fizet” elvet, és új elemként jelenítette meg a gyártói-forgalmazói felelősséget, amely kijelöli a visszavételi és hasznosítási előírások kötelezettjeit. Ez után vált lehetővé, hogy egyes hulladék áramok esetén visszagyűjtési, illetve hasznosítási arányokat határozzanak meg (lásd **8.1.2**). A cél az volt, hogy azokra a hulladék áramokra legyenek kötelező visszagyűjtési és hasznosítási előírások, amelyeknél a szabad piacon ez a tevékenység egyébként nem nyereséges, ugyanakkor mennyisége, vagy veszélyessége miatt a hulladék jelentős környezet terhelést okoz.

A javaslat továbbá tartalmazta a lerakó irányelv megalkotásának sürgető igényét. A dokumentum előrevetítette a termékek teljes életciklus-elemzésének szükségességét, amely meghatározza valamely termék hulladékká válásának körülményeit és idejét, lehetőséget adva

²⁰ Community Strategy for Waste Management COM(96) 399

arra, hogy a gyártó a termék árában figyelembe vehesse a hulladékká váláskor felmerülő költségeket, valamint hogy már a termék forgalomba kerülésekor meg lehessen ítélni, hogy az mikor, és mennyi hulladék formájában terheli majd a hulladékkezelő létesítményeket.

Az 1996-os hulladék stratégia megállapításai a jogszabályok nagy részének módosítását, illetve új, a gyártói-forgalmazói felelősségen alapuló jogszabályok megalkotását eredményezték, ezért főleg a 2000-es évek elején egy újabb jogalkotási hullám volt a hulladékgazdálkodásban.

Mindezekkel párhuzamosan a Bizottság már a továbblépésen dolgozott. Az elemzésekből kiderült, hogy a hulladék keletkezésének megelőzéséhez rendelkezésre álló eszközök nem hatékonyak, de a hulladékgazdálkodási alapelvek más elemei sem hozták meg a várt eredményt. Az Agenda 21 hatására a világ kezdett egyre inkább a fenntartható fejlődés stratégiájának irányába fordulni. A Tanács 2001. júniusi göteborgi ülésén megfogalmazták, hogy szoros kapcsolat van a gazdasági növekedés, a természeti erőforrások felhasználása és a hulladék keletkezés között. A fenntartható természeti erőforrás gazdálkodás érdekében tehát minimalizálni kell a hulladék keletkezését, maximálni kell a termelésbe való visszaforgatást.

Ezt a gondolatot fejlesztette tovább a 2002-2012 időszakot átfogó 6. Környezetvédelmi Cselekvési Program²¹, amely az egységes természeti erőforrás-, termék- és hulladék-politika képét festette meg. Ezzel párhuzamosan felszólította a Bizottságot hét tematikus stratégia kidolgozására. Ezek egyike a *hulladékkeletkezés megelőzésére és a hulladékok újrafeldolgozására irányuló tematikus stratégia*²², amelyet az erőforrások fenntartható felhasználásának stratégiájával szoros összefüggésben alkottak meg.

A hulladék tematikus stratégia 5 fő célt tűz ki, amelyek a következők:

- A hulladék környezeti hatásainak csökkentése
- A keletkező mennyiség csökkentése
- Az újrafeldolgozás kiterjesztése

²¹ Decision 1600/2002/EC of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environment Action Programme

²² Communication COM(2005)666 on the Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste

- A szabályozás modernizálása és egyszerűsítése
- A jogszabályok maradéktalan végrehajtása

A *negatív környezeti hatások csökkentése* érdekében hulladékgazdálkodási politikában be kell vezetni az életciklus-szemléletet, kapcsolódva ezzel az erőforrásokról szóló tematikus stratégia, valamint az integrált termékpolitika által használt előrejelző és modellező rendszerekhez.

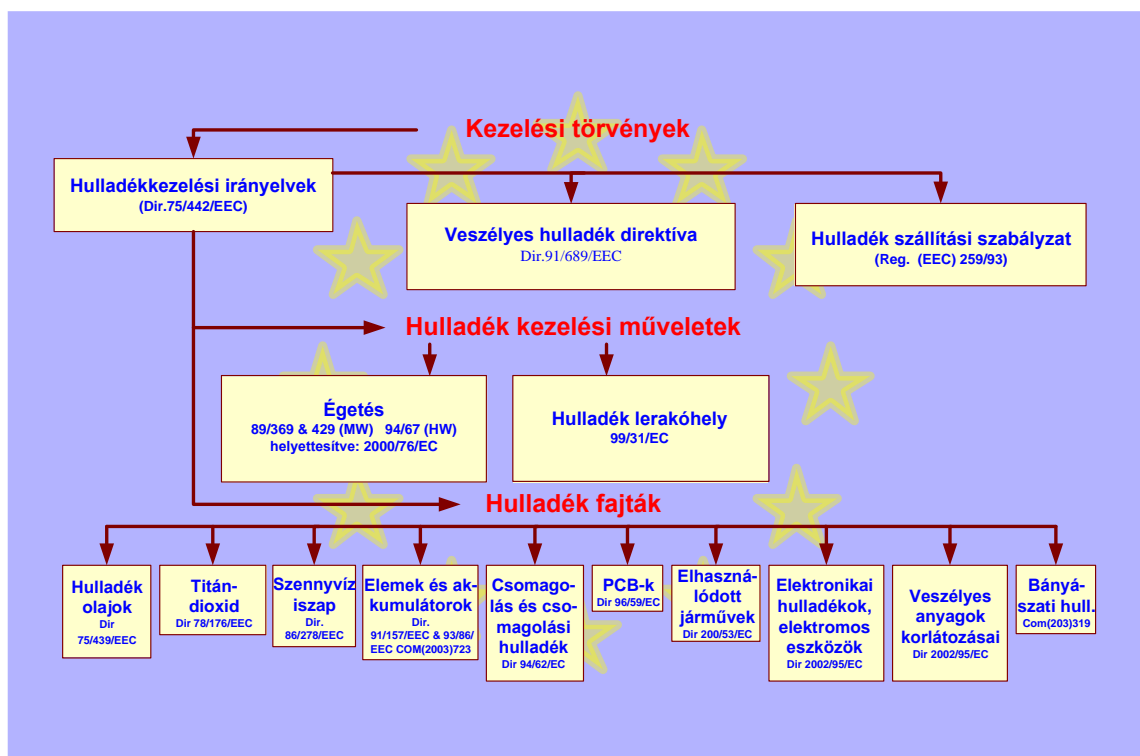
A *hulladékkeletkezés megelőzésére* vonatkozóan a stratégia támogatja a környezetszennyezés integrált megelőzéséről és csökkentéséről szóló (IPPC) irányelv²³, az integrált termékpolitika és más eszközök használatát, ugyanakkor a szükséges kötelezettségek pontosítása mellett a tagállamokra kívánja bízni a nemzeti politikák és programok kidolgozását.

Az *újrafeldolgozás kiszélesítése* érdekében ösztönzi kívánja a feldolgozói kapacitás növelését, a létesítmények egységes követelményeken alapuló működtetését, a feldolgozott anyagokra vonatkozó, közösségi szintű szabványok megalkotását, valamint biztosítani kívánja az EU ipara számára a feldolgozható anyagokhoz való jobb hozzáférést a belső piacon.

Mindezen célok megvalósulása érdekében pontosítani kell a jelenlegi jogi keretet, emellett szükség van a szabályozó rendszer lényeges egyszerűsítésére is, összhangban az EU jobb jogi szabályozásra vonatkozó célkitűzéseivel. A *jogi eszközök felülvizsgálatával* kapcsolatban a stratégia pontos menetrendet tartalmaz a 2006-2008 közötti időszakra, és kijelöli, hogy mely fogalmakat, tevékenységeket és hasznosítási célokat kell felülvizsgálni, illetve mely jogszabályok között kell az összhangot megteremteni. A jogi rendszer tervezett átalakítását szemlélteti a **253. ábra**.

Az egyes joganyagok tervezett változásának főbb tartalmi elemeit a magyar szabályozással összefüggésben mutatjuk be a **8.2**.

²³ Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control



253. ábra. Az EU hulladékgazdálkodási jogi szabályozásának átalakítási terve

Végül, a stratégia megállapítja, hogy a tagállamok általi *maradék-talan és hatékony jogalkalmazás* a feltétele annak, hogy előrelépés történjen a stratégiában megfogalmazott célok irányába. A Bizottság 2010-ben fogja áttekinteni a stratégia célkitűzéseinek megvalósításában elért fejlődést. Ez a vizsgálat főleg a hulladékkezelés megelőzéséről szóló szakpolitikák hatékonyságának, az életciklus-szemlélet alkalmazásának, és az európai újrahasznosító társadalom irányában elért fejlődésnek a felmérését jelenti, és a 6. Környezetvédelmi Cselekvési Program végleges értékelésének egyik alkotóeleme lesz.

8.2 A jogi szabályozás Magyarországon - múlt, jelen és jövő

Mint azt az előbbi fejezetekben bemutattuk, az Európai Unió a hulladékgazdálkodás terén jelentős koncepcionális változtatásokra készül. Ennek jelentős hatása lesz a hazai szabályozásra is, mert tagállamként a megszabott határidőn belül eleget kell tennünk jogharmonizációs kötelezettségünknek. Ebben a fejezetben a 2007. elején hatályos magyar hulladékgazdálkodási joganyagot mutatjuk be, de eközben igyekszünk rávilágítani arra is, hogy a jövőben milyen

változások várhatóak. A magyar jogszabályok megtalálhatók a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium hivatalos honlapján a Hulladékgyűjtés - Jogszabályok címszó alatt²⁴.

8.2.1 A hulladékgyűjtési törvény²⁵

Magyarországon a hulladékokra vonatkozó legelső szabályozás a veszélyes hulladékok keletkezésének ellenőrzéséről és az azok ártalmatlanításával kapcsolatos tevékenységekről szóló 56/1981. (XI. 18.) MT rendelet volt. Ez a rendelet átfogóan szabályozta a veszélyes hulladékok kezelésének kérdéseit, de ekkor még nem voltak részletes szabályok a nem veszélyes hulladékokra vonatkozóan.

A hulladékgyűjtést érintő első törvényi szintű keret a környezetvédelmi törvény²⁶ (Kt) volt. Ez a törvény adott fölhatalmazást néhány, a hulladékgyűjtést érintő végrehajtási szabály megalkotására^{27,28,29}.

A magyar hulladékgyűjtés EU-konform szabályozását a *hulladékgyűjtési törvény* (Hgt) alapozta meg, amely lényegében a 75/442/EEC uniós hulladék keretirányelv³⁰ átvételét is jelentette, és 2001. január 1-től hatályos. A törvény az uniós normáknak megfelelően tartalmazza a hulladékgyűjtési elveket és fogalmi meghatározásokat, a hulladék termelőjének és birtokosának felelősségét, illetve a termék gyártóinak (és importálóinak) hulladékgyűjtési felelősségét. Meghatározza az egyes hulladékkezelési eljárások és tevékenységek végzésének általános feltételeit, a települési és a veszélyes hulladékok speciális kezelési szabályait, a hulladékgyűjtés tervezési feladatait. Megállapítja a

²⁴ <http://www.kvvm.hu/szakmai/hulladeggyujt/>

²⁵ 2000. évi XLIII. Törvény a hulladékgyűjtésről

²⁶ 1995. évi LIII. Törvény a környezet védelmének általános szabályairól

²⁷ 20/2001. (II.14.) Korm. r. a környezeti hatásvizsgálatról

²⁸ 193/2001. (X. 19.) Korm. r. az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás részletes szabályairól

²⁹ 80/1999.(VI.11.) Korm. r. a telepengedélyezésről

³⁰ Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste, amended by Directive 91/156/EEC of 18 March 1991

hulladékgazdálkodási igazgatás szervezeteit és ezek hatáskörét, valamint hulladékgazdálkodás résztvevőinek általános jogi, és pénzügyi felelősségi viszonyait. Foglalkozik a törvény a hulladékgazdálkodási információk nyilvánosságával, az adatok nyilvántartási és bejelentési kötelezettségével, illetve a mulasztások szankcionálásával. Végül meghatározza a végrehajtással kapcsolatos kormányzati és tárcafeladatokat, illetve az egyes konkrét intézkedések végrehajtási határidőit.

A Hgt 2007. elején hatályos változata azonban hamarosan fölülvizsgálatra szorul. Legelsőként össze kell vetni a 2006. májusában hatályba lépett, kodifikált EU keretirányelvvel. Ugyanakkor a hulladék tematikus stratégiában elfogadottaknak megfelelően a keretirányelv a jövőben várhatóan jelentősen módosul majd, miközben a rendelkezéseknek a hulladék keretirányelvbe való beemelésével hatályon kívül helyezik a 91/689/EEC veszélyes hulladék irányelvet, illetve a hulladék olajokra vonatkozó 75/439/EEC irányelvet.

A hulladék tematikus stratégiában elfogadottaknak megfelelően a keretirányelv várható főbb módosításai a következő pontokon érintik majd a Hgt-t:

- A környezetvédelmi célkitűzés bevezetése a hulladékgazdálkodásban
- A hasznosítás és az ártalmatlanítás fogalmának tisztázása
- A veszélyes hulladék keverésére vonatkozó feltételek pontosítása
- Eljárás bevezetése annak meghatározására, hogy egy adott hulladékáramba tartozó hulladék mikortól nem számít hulladéknak
- Egyes hulladékgazdálkodási műveletekkel kapcsolatos minimumszabályok vagy a minimumszabályok meghatározását célzó eljárás bevezetése.
- A nemzeti hulladékkezelés megelőzési programok kötelező kidolgozásának előírása a tagországok számára.

A leendő hulladék keretirányelv a hulladékkal kapcsolatos összes további EU jogszabályhoz megadja majd a fogalom meghatározásokat és az alapszabályokat, ezért tehát közvetlen vagy közvetett hatást gyakorol azok mindegyikére, valamint a magyar jogszabályokra is. Ezen kívül a hulladékkezelő létesítmények engedélyezése területén az IPPC irányelvvel összhangban működik majd. A két szóban forgó irányelv között jelenleg átfedések vannak, amely kettős engedélyezést, a szabályozási és adminisztratív terhek szükségtelen növekedését eredményezi. Változni fognak a hulladékgazdálkodási tervezés szabályai is, és a hulladék jegyzék módosítása is várható. A tervezett változások átvezetéséhez szükséges fölkészülésre lehetőséget ad, hogy

az új keretirányelv szövegének javaslatát, az indoklást és a hatástanulmányt a Bizottság már 2005-ben közzé tette.

8.2.2 A veszélyes hulladék rendelet³¹

Mint említettük, Magyarországon az első veszélyes hulladékokra vonatkozó szabályozás az 56/1981. (XI. 18.) MT rendelet volt. Ezt a rendeletet a veszélyes hulladékokról szóló 102/1996. (VII. 12.) Korm. rendelet váltotta fel, amely – lévén abban az időben egyedüli hulladékos jogszabály - rendkívül komplex és részletes volt. Szabályozta a veszélyes hulladékok keletkezésének, gyűjtésének, szállításának és kezelésének kérdéseit, ugyanakkor elkezdődött a veszélyes hulladékok keletkezésére és kezelésére vonatkozó adatgyűjtés, valamint a bejelentések számítógépes földolgozása a HAWIS program segítségével.

Az EU csatlakozást megelőző felkészülési időszakban azonban hatályba lépett a Hgt, majd sorban kerültek kiadásra az EU-konform végrehajtási szabályok, és mivel ezek átvették a 102/1996. Korm. rendelet szabályozási területeit, ezért ez 2002-től kezdve - több fokozatban - hatályát veszítette.

Jelenleg a *veszélyes hulladékok* hazai szabályozása több pilléren nyugszik. A Hgt tartalmazza a veszélyes hulladék birtokosának kötelezettségeit, valamint felsorolja a hulladék veszélyességi jellemzőit. (Csak zárójeliesen jegyezzük meg, hogy a hulladék tematikus stratégiában lefektetettek alapján az Unió is arra készül, hogy a veszélyességi jellemzőket a keretirányelvbe emelje.) A veszélyes hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek végzésének szabályait a 98/2001. Kormányrendelet tartalmazza, amely az EU 91/689/EEC veszélyes hulladék irányelvét vette át. Ugyanakkor egyes veszélyes hulladék áramokra, mint pl. hulladék olajokra, PCB-kre egyedi szabályok vannak, a veszélyes hulladékok nemzetközi szállításával pedig külön jogszabály csoport foglalkozik. A veszélyes hulladék lerakása és égetése további más rendeleteken belül van szabályozva.

³¹ 98/2001. (VI. 15.) Korm. r. veszélyes hulladékokkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről

A 98/2001. Kormányrendelet kijelöli a veszélyesség megállapításának eljárását, ám Európában egyedi módon egy hivatalos testületre, a Hulladékminősítő Bizottságra ruházta azt a jogot, hogy a *hulladékjegyzékben*³² nem szereplő, illetve oda be nem sorolható, valamint ismeretlen összetételű hulladékok veszélyességi besorolásának megállapítására minősítő eljárást folytasson le. (Érdekes, hogy a keretirányelv módosítására vonatkozó javaslat szintén tartalmazza, hogy a tagország az Európai Hulladék Katalógusban³³ feltüntetett veszélyes vagy nem veszélyes besorolást szakmai indokok alapján megváltoztathatja.) A Kormányrendelet szabályozza a veszélyes hulladékok kezelésének általános szabályait, beleértve a gyűjtést, begyűjtést, tárolást, a belföldi szállítást, az előkezelést, hasznosítást és az ártalmatlanítást. A rendelet minden veszélyes hulladékokkal történő tevékenység végzését engedélyhez köti, és részletesen foglalkozik a szankciók kérdésével.

A veszélyes hulladék rendelet sorsát a jövőben nyilván befolyásolja majd az, hogy az EU a megfelelő irányelvet hatályon kívül kívánja helyezni, miután a főbb szabályok átkerülnek a keretirányelvbe, míg a többi elemét megfelelően lefedik majd más közösségi jogszabályok, például a hulladékok égetéséről szóló irányelv vagy a PCB irányelv.

8.2.3 A hulladékok nemzetközi szállítása

A *hulladékok nemzetközi szállítását* az Európai Unióban 2007. elején még a 259/93/EEC tanácsi rendelet szabályozza. Ez a rendelet közvetlenül a Bázeli Egyezményben foglaltakat, valamint az OECD hasznosításra történő hulladékszálítási listáit vette át. A szállítás engedélyezési eljárásának menete alapvetően attól függ, hogy:

- milyen célból szállítják a hulladékot (hasznosítás vagy ártalmatlanítás),
- melyik hulladéklistában található (zöld, sárga vagy vörös lista - a listákat a hulladék veszélyességi tulajdonságai alapján állították föl),
- az EU-n belülre vagy kívülre irányul-e a hulladékszállítás.

A szállítási engedélyt az EU-n belül az indító, vagy a fogadó illetékes hatóságnál lehet kérni. A jelenlegi szabályozás rengeteg papírmunkával jár, számos dokumentum benyújtását,

³² 16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet a hulladékok jegyzékéről

³³ Commission Decision 2000/532/EC of 3 May 2000 establishing a list of wastes

küldözgetését követeli meg, lassítja az engedélyezési eljárást, végső soron gazdasági veszteséget okoz a Közösségnek. Ugyanakkor az elmúlt 12 évben sok nemzetközi egyezmény született, amelyek a hulladékok besorolását, szállítását, kezelését alapvetően befolyásolták. A változásokat 2000-ig igyekeztek átvezetni a rendeletbe, de az egyre áttekinthetlenebbé, ellentmondásosabbá vált. Ezért új rendeletet³⁴ dolgoztak ki, amelyet 2007. július 12-től kell alkalmazni.

A hazai szabályozásra vonatkozóan fontos kiemelni, hogy a Hgt foglalkozik a hulladékok behozatalával, kivitelével valamint tranzit-szállításával, és kimondja, hogy az ország területére hulladékot csak hasznosítás céljából lehet behozni. Ez azt jelenti, hogy sem az EU-ból, sem az EU-n kívüli országokból lerakásra, vagy egyéb módon történő ártalmatlanításra hulladékot Magyarországra nem lehet behozni. Ez a tilalom várhatóan az új uniós rendelet hatálybalépése után is megmarad.

8.2.4 Hulladék lerakás

A *lerakókról* szóló jogszabály mind Magyarországon, mind az EU-ban sokáig váratott magára, és feltehetően ez az a jogszabály, amelynek végrehajtása a legnagyobb erőfeszítéseket követeli meg. A sok vitát kiváltó Landfill Direktíva előírásait 2001-től kell a tagállamoknak alkalmazni, így 2001-ben elkészült a megfelelő magyar miniszteri rendelet³⁵. Ebben kijelölték a három lerakó kategóriát (inert hulladék lerakó, nem veszélyes hulladék lerakó, illetve veszélyes hulladék lerakó), ugyanakkor meghatározzák a lerakók létesítésének műszaki, engedélyezési és üzemeltetési feltételeit is. Az 1999-ben kiadott lerakó irányelvet az EU később kiegészítette a *hulladékok elfogadási követelményeiről* szóló melléklettel³⁶, amelyet a 20/2006. miniszteri rendelet³⁷ épített be, és fölváltotta az előző lerakó rendeletet. A 2006-os miniszteri rendelet új elemként tartalmazza a lerakók bezárásának és rekultivációjának szabályait is. Erre a Hgt azon

³⁴ Regulation 1013/2006/EC of 14 June 2006 on shipments of waste

³⁵ 22/2001. (X. 10.) KöM rendelet a hulladéklerakás, valamint a hulladéklerakók lezárásának és utógondozásának szabályairól és egyes feltételeiről

³⁶ Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills

³⁷ 20/2006. (IV. 5.) KvVM r. a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról

előírása miatt volt szükség, amely szerint a működő lerakók felülvizsgálata után a környezetvédelmi előírásoknak nem megfelelőeket be kell zárni, erre 2009-ig kaptunk az Uniótól haladékot. Az EU rendelkezéseivel ugyancsak összhangban 2006. július 1-től tilos lerakni gumiabroncsot annak valamennyi formájában. Ez a rendelkezés kiváltotta, hogy Magyarországon jelentős gumiabroncs hasznosító, feldolgozó kapacitás alakult ki.

A lerakók létesítésére és bezárására ma igen szigorú rendelkezések vannak, amelyek nagyfokú környezeti biztonságot garantálnak. Azzal, hogy 2001-ben már rendelkezünk a lerakókra vonatkozó részletes szabályokkal, sikerült biztosítani, hogy az előcsatlakozási alapokból (ISPA) támogatott regionális hulladékgazdálkodási rendszerek keretében megépülő új lerakók szigetelési védelme, illetve csurgalékvíz és depógáz kezelő rendszere a legmagasabb környezetvédelmi igényeknek is megfeleljen. Ugyanakkor el kell mondani, hogy ezek a feltételek csak magas költséggel biztosíthatók. Ez várhatóan segíti a hulladékgazdálkodási hierarchia helyes irányba fordulását. Egyes országok ezt még a lerakásra kirótt adóval is próbálják előmozdítani.

A lerakásra kerülő hulladék mennyiségének, és a felszabaduló biogázok klímára gyakorolt káros hatásának csökkentése érdekében a Hgt előírást tartalmaz a lerakással ártalmatlanított hulladékok biológiailag lebomló szervesanyag tartalmára vonatkozóan. A helyi hulladékgazdálkodási terveknek tartalmaznia kell a lerakásra kerülő települési hulladék összetételét, és ehhez viszonyítva a biológiailag lebomló szervesanyag tartalmát – összhangban az EU követelményekkel - a következők szerint kell csökkenteni:

- 2004. július 1. napjáig 75%-ra,
- 2007. július 1. napjáig 50%-ra,
- 2014. július 1. napjáig 35%-ra

Mindez azt jelentette, hogy meg kellett alkotni a lerakóktól eltérített *biohulladékok* kezelésének szabályait. Erre magyar rendelet³⁸ született, uniós azonban még a mai napig sem. Ugyanakkor

³⁸ 23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet a biohulladék kezeléséről és a komposztálás műszaki követelményeiről

gondoskodni kellett a gyűjtő és kezelő hálózat kialakításáról is, valamint az előállított komposzt megfelelő minősítési rendszeréről, illetve a felvevő piacról. Magyarországon az ISPA támogatásból kialakított regionális hulladékkezelő rendszerek jelentős kapacitással járulnak hozzá a szükséges begyűjtési és komposztáló kapacitás biztosításához.

A Bizottság úgy gondolja, hogy a biohulladék tipikusan az a hulladék áram, amely modellje lehet az életciklus-szemlélet hulladékkezelésre való alkalmazásának, és útmutatásokat kíván kidolgozni a tagországok számára a biológiai hulladék környezetvédelmi szempontból legjobb kezelési alternatívájának kiválasztásához.

Magyarországon a legtöbb lerakó *települési hulladékot* fogad. Ezzel kapcsolatban a Hgt a települési önkormányzatoknak ad kiemelt feladatot, mivel ezek felelősek a szilárd és a folyékony települési hulladék begyűjtésének és kezelésének teljes körű kialakításáért, valamint üzemeltetéséért. Az EU ezekkel a kérdésekkel a keretirányelven belül foglalkozik, ugyanakkor Magyarországon a Hgt-n kívül több rendelet is szabályozza a kérdést^{39,40,41,42}.

8.2.5 Hulladékégetés⁴³

A hulladékégetést Magyarországon miniszteri rendelet szabályozza, amely a hulladékok égetéséről szóló 2000/76/EC, valamint a hulladék olajok ártalmatlanításáról szóló 75/439/EEC irányelvek szabályait vette át. A rendelt elsősorban levegő tisztaságvédelmi szempontból közelíti meg a hulladékégetést, megadva a légszennyező anyagok kibocsátási határértékeit, mérési módszereket, a füstgáztisztításból származó szennyvíz kibocsátási határértékeit. A rendelet meghatározza az engedélyezés és az üzemeltetés feltételeit, valamint az ellenőrzés körülményeit. Az Unió előírásainak megfelelően 2005-től csak a jogszabály követelményeinek

³⁹ 213/2001. (XI. 14.) Korm. r. a települési hulladékkal kapcsolatos tevékenységek végzésének feltételeiről

⁴⁰ 224/2004. (VII. 22.) K. r. a hulladékkezelési közszolgáltató kiválasztásáról és a közszolgáltatási szerződésről

⁴¹ 241/2001. (XII.10.) Korm. r. a jegyző hulladékgazdálkodási feladat- és hatásköréről

⁴² 242/2000. (XII. 23.) Korm. r. a települési hulladékkezelési közszolgáltatási díj megállapításáról

⁴³ 3/2002. (II. 22.) KöM r. a hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről

megfelelő hulladékégetők működhetnek, ezért Magyarországon megtörtént az égetők felülvizsgálata, a nem megfelelőek bezárása.

Tekintve, hogy a hulladék tematikus stratégia nem jelöli ki az égetős irányelv fölülvizsgálatát, gyökeres változások ezen a területen a közeljövőben nem várhatók. Ugyanakkor a keretirányelv tervezett módosítása során foglalkozni kívánnak a hasznosítás és ártalmatlanítás fogalmak közötti pontosítással, amely során hatékonysági küszöbérték használatának bevezetésében gondolkodnak. Ennek hatására a hulladékégetők, illetve együttégetők besorolása változhat.

8.2.6 Kiemelt hulladék áramok

Az egyes speciális hulladék áramokra vonatkozó szabályozások között kell említenünk a *PCB-k és PCT-k* kezelését szabályozó rendeletet⁴⁴, amely a 96/59/EC direktíva jogharmonizált megfelelője. Legfontosabb rendelkezése, hogy a PCB-t tartalmazó berendezések csak 2010. június 30-ig üzemeltethetők, a hulladékká vált berendezések megtisztítását és az eltávolított PCB-k ártalmatlanítását legkésőbb 2010. december 31-ig el kell végezni. Ez azt is jelenti, hogy a nagy környezeti kockázatú, igen mérgező PCB-k és PCT-k használata 2010. végére egész Európában megszűnik, a hulladékká vált anyagok a rendeletnek megfelelően ártalmatlanításra kerülnek. Magyarországon elkészültek azok a felmérések és nyilvántartások, amelyek alapján tervezhető a PCB-k hulladékká válásának üteme és mennyisége, illetve a szükséges kezelési kapacitás.

A *szennyvizek, és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználását* kormányrendelet⁴⁵ szabályozza, amely a 86/278/EGK irányelv rendelkezéseit vette át. A rendelet elsősorban a talaj védelmének szempontjait figyelembe véve határozza meg a termőföldön történő elhelyezés szabályait, az engedélyezési és ellenőrzési eljárást, valamint a vonatkozó határértékeket. A

⁴⁴ 5/2001. (II. 23.) KöM r. a poliklórozott bifénilek és a poliklórozott terfenilek és az azokat tartalmazó berendezések kezelésének részletes szabályairól

⁴⁵ 50/2001. (IV. 3.) K. r. a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

Bizottság által kidolgozott talaj tematikus stratégiával összefüggésben 2007-ben várható az irányelv fölülvizsgálata.

A *hulladék olajok* kezelésének szabályait miniszteri rendelet⁴⁶ tartalmazza, amely a 75/439/ECC irányelv rendelkezéseit vette át. Ez a jogszabály előtérbe helyezi a hulladék olajok regenerálását. A hulladék tematikus stratégia azonban kimutatta, hogy az életciklus-alapú elemzések alapján nem indokolható a regenerálás előtérbe helyezése a fűtőanyagként való felhasználással szemben. Ugyanakkor fény derült arra is, hogy a begyűjtési arány túl alacsony maradt a tagországokban. Ezért a jövőben várható az irányelv hatályon kívül helyezése, míg a szükséges rendelkezések az új keretirányelvben jelennek majd meg, a gyűjtésre vonatkozó kötelezettségek rögzítése mellett.

A jogharmonizációs kötelezettségünk miatt a *titán-dioxid iparból származó hulladékok* kezelésére van ugyan hazai jogszabály, de Magyarországnak egyrészt nincs ilyen ipara, másrészt ezt az irányelvet az Unió is meg kívánja szüntetni, ezért ezt a szabályozást itt nem tárgyaljuk.

8.2.7 Visszavételi kötelezettség, hasznosítási előírások

Mielőtt az Unióban, illetve Magyarországon érvényes visszavételi és hasznosítási előírásokat bemutatnánk, el kell mondani, hogy az ebben a fejezetben tárgyalt hulladék áramokra vonatkozó előírások talán még a többitől is gyakrabban változnak, két fő ok miatt. Egyrészt a Bizottság rendszeresen fölülvizsgálja, ha szükséges, módosítja a hasznosítási célokat, másrészt nagy figyelmet fordít a termékek toxikus anyag tartalmának korlátozására (pl. nehézfémek, PCB). Az ennek eredményeként megjelenő összes módosítást nem áll módunkban bemutatni, csak a fontosakra szorítkozhatunk.

A gyártói-forgalmazói felelősséget a Hgt általánosságban állapítja meg, megteremtve ezzel az egyes hulladékká vált termékek visszavételének lehetőségét, illetve visszagyűjtési és

⁴⁶ 4/2001. (II. 23.) KöM rendelet a hulladék olajok kezelésének részletes szabályairól

hasznosítási előírások lefektetését. Míg az általános felelősséget a Hgt mondja ki, a visszagyűjtési és hasznosítási előírásokat az egyes hulladék áramokra vonatkozó külön jogszabályok – kormányrendeletek - állapítják meg, a hulladékokkal kapcsolatos kezelési és egyéb szabályokat ágazati miniszteri rendeletek tartalmazzák. A visszagyűjtési, illetve a hasznosítási kötelezettséget a gyártó-forgalmazó maga teljesítheti, vagy ún. koordináló szervezetre ruházhatja át, amely szerződés alapján több kötelezett nevében végzi el a szükséges tevékenységet. Mind a gyártót, mind a koordináló szervezetet a teljesítéssel kapcsolatban szigorú jelentési kötelezettség terheli.

A *csomagolásról és a csomagolási hulladékról* kormányrendelet⁴⁷ van életben Magyarországon, amely a többször módosított 94/62/EC irányelv előírásait követi. A hasznosítási célokat a hazai rendelet a következőképpen határozza meg:

2012. december 31-ig a csomagolási hulladék

- legalább 60%-át hasznosítják, vagy égetik el energetikai hasznosítás mellett
- legalább 55 és legfeljebb 80%-át dolgozzák fel újra.

A hulladékot alkotó anyagok tekintetében a következő minimális, újrafeldolgozási célokat kell elérni: üveg 60%, papír és karton 60%, fémek 50%, műanyagok 22,5%, fa 15%.

A fenti irányszámokat az Unió 2008. végére írta elő, de Magyarország felmentést kapott a teljesítés alól 2012. végéig.

Az *akkumulátorokra és elemekre* jelenleg két hazai jogszabály van, a visszavételi köteleiséget megállapító kormányrendelet⁴⁸, valamint a hulladékok kezelését szabályozó miniszteri rendelet⁴⁹. Ez utóbbi a 91/157/ECC irányelv rendelkezéseit vette át, és a technikai hozzáigazítások hatására életbe léptek a nehézfém tartalomra vonatkozó korlátozások is. Idő közben a Bizottság konkrét begyűjtési célokat fogalmazott meg, a 2006-ban megjelent új

⁴⁷ 94/2002. (V. 5.) Korm. rendelet a csomagolásról és a csomagolási hulladék kezelésének részletes szabályairól

⁴⁸ 109/2005. (VI. 23.) Korm. rendelet az elemek és akkumulátorok hulladékainak visszavételéről

⁴⁹ 9/2001. (IV. 9.) KöM r. az elemek és akkumulátorok, illetve hulladékaik kezelésének részletes szabályairól

irányelv 2012. szeptember 26-ig 25 %, 2016. szeptember 26-ig. 45 %-os visszagyűjtést ír elő. Ez a jogszabály már hatályos, nemzeti jogba való átvételére 2008. szeptember 26-ig kaptak határidőt a tagországok. Magyarország azonban - a fokozatosság biztosítása érdekében - a 2005-ben kiadott kormányrendeletben a gyártó begyűjtési kötelezettségét az általa a tárgyévvel megelőző évben forgalomba hozott elem, illetve akkumulátor tömegének %-ában a következőképpen határozta meg:

- 2005. évben legalább 7%
- 2006. évben legalább 10%
- 2007. évben legalább 13%

Az *elhasználódott járművek* hulladékainak kezelését (ELV) szintén kormányrendelet szabályozza⁵⁰, amely a 2000/53/EC irányelvvel összhangban a gyártót kötelezi, hogy az általa gyártott, hulladékká vált járművek visszavételét pl. átvevőhálózattal kötött szerződés alapján biztosítsa, és gondoskodjon arról, hogy az átvett járművek kezelése során az átlagos gépjárműtömeget alapul véve a következő hasznosítási arányok teljesüljenek:

- 2006. január 1-től az újrahasználat, újrafeldolgozás és visszanyerés együttesen legalább évi 85%, az újrafeldolgozás és visszanyerés együttesen legalább évi 80 %
- 2015. január 1-től az újrahasználat, újrafeldolgozás és visszanyerés együttesen legalább évi 95%, az újrafeldolgozás és visszanyerés együttesen legalább évi 85 %
- Az 1980. január 1. előtt gyártott gépjárművekre az újrahasználat, újrafeldolgozás és visszanyerés együttesen legalább évi 75%, az újrafeldolgozás és visszanyerés együttesen legalább évi 70%

A Bizottság a közeljövőben fölül kívánja vizsgálni a 2000/53/EC irányelvben rögzített célokat.

Az *elektromos és elektronikus berendezések hulladékainak* (WEEE) kezeléséről az Unióban a 2002/96/EC irányelv rendelkezik, amelyet kiegészít az egyes veszélyes anyagok elektromos és elektronikai berendezésekben való alkalmazásának korlátozásáról szóló 2002/95/EC irányelv. A hazai hulladék jogban a gyártóra-forgalmazóra vonatkozó visszavételi kötelezettséget

⁵⁰ 267/2004. (IX. 23.) Korm. rendelet a hulladékká vált gépjárművekről

kormányrendelet⁵¹ állapítja meg, míg a hulladékok kezelését⁵², és az egyes veszélyes anyagok használatának korlátozását⁵³ miniszteri rendeletek szabályozzák. A kormányrendelet 10 berendezési kategóriát állít föl, ezek mindegyikéhez táblázatosan megadja a begyűjtési és hasznosítási célokat. Részletezés nélkül, összefoglalóan annyit lehet elmondani, hogy a 2008-ra előírt visszagyűjtési arány a nagyméretű berendezések legtöbb kategóriájában meghaladja a 30%-ot, míg a kis méretűeknél 10% alatti. A hasznosítási arányok pedig a begyűjtött mennyiségekre vonatkoznak, a hasznosítási cél valamennyi kategóriában 70-80% között van, de ezen belül az újrafeldolgozásnak el kell érnie kategóriától függően az 50-80%-ot.

8.2.8 Egyéb hulladékgazdálkodási szabályok

A szűkös keretek miatt nincs lehetőség a magyar hulladékos joganyag teljes áttekintésére, hiszen számos olyan hulladék csoportra van jogszabályunk, amely nem az uniós kötelezettségek miatt született, hanem a hazai, korszerű hulladékgazdálkodás igénye hozta létre. Ilyenek pl. a humán gyógyszerek és csomagolásuk, az állati hulladékok, az építési-bontási hulladékok kezeléséről szóló szabályok, és még nincs befejezve a sor. Az olvasónak ajánljuk, hogy rendszeresen tájékozódjon a jogszabályokról, és azok változásairól.

⁵¹ 264/2004. (IX. 23.) Korm. rendelet az elektromos és elektronikai berendezések hulladékainak visszavételéről

⁵² 15/2004. (X. 8.) KvVM r. az elektromos és elektronikai berendezések hulladékai kezelésének szabályairól

⁵³ 16/2004. (X. 8.) KvVM rendelet az egyes veszélyes anyagok elektromos és elektronikai berendezésekben való alkalmazásának korlátozásáról

9 Mérnöki feladatok a vállalati hulladék gazdálkodásban

Dr. Nagy Géza

9.1 Üzemi hulladéklogisztika

A logisztika célja az általánosan elfogadott definíció szerint annak biztosítása, hogy a megfelelő termékek a Megfelelő Mennyiségben és Megfelelő Minőségben, a Megfelelő időben a Megfelelő helyen rendelkezésre álljanak a lehető legalacsonyabb költségszint mellett (7M-elv). Más megfogalmazásban a logisztika a vállalati folyamatok zavartalanságát biztosító funkció, mely átfogja a vállalaton kívüli és belüli anyagok, szolgáltatások és információk áramlását.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

9.1.1 A logisztikai alapfunkciók

Szállítás

Az áruszállítási rendszerek feladata az alap-, segéd-, és nyersanyagok, félkész- és késztermékek, valamint az alapfolyamatok melléktermékeként keletkező anyagok helyváltoztatásának biztosítása a termelés (források) és a felhasználás (nyelők) illetőleg a hulladékkeletkezés- és feldolgozás (ártalmatlanítás) helye között.

Raktározás

A beszerzés és a termelés, valamint a termelés és a fogyasztás közötti időbeli (ütembeli) eltérés kiegyenlítését szolgáló logisztikai funkció.

Tárolás (beleértve az anyag- és készletgazdálkodást is)

A termelési alapanyagok (alkatrészek) jelentős részének felhasználása készletekből történik, mert az igények és a lehetőségek közötti eltérés kiegyenlítést igényel. Készletek nélküli gyártás (pl. JIT-elvű anyagellátás) viszonylag szűk keretek között, csak bizonyos alkatrészek esetében, körültekintő vizsgálatok után (ABC- illetve XYZ-analízis) válhat alternatívává, erre ehelyütt részleteiben nem térünk ki. A raktári szükséges és elégséges készletszint meghatározása, a termelési rendszerek folyamatos, zökkenőmentes ellátásának biztosítása a lehető legalacsonyabb költségszint (lekötött tőke) mellett, alapvető készletgazdálkodási feladatok.

Csomagolás

A csomagolás feladata az alapanyagok, félkész -és késztermékek piaci és használati értékének megóvása, esetlegesen növelése (marketing funkció), valamint azok alkalmassá tétele logisztikai folyamatokban (raktározás, szállítás, tárolás) történő részvételre (egységgrakomány-képzés).

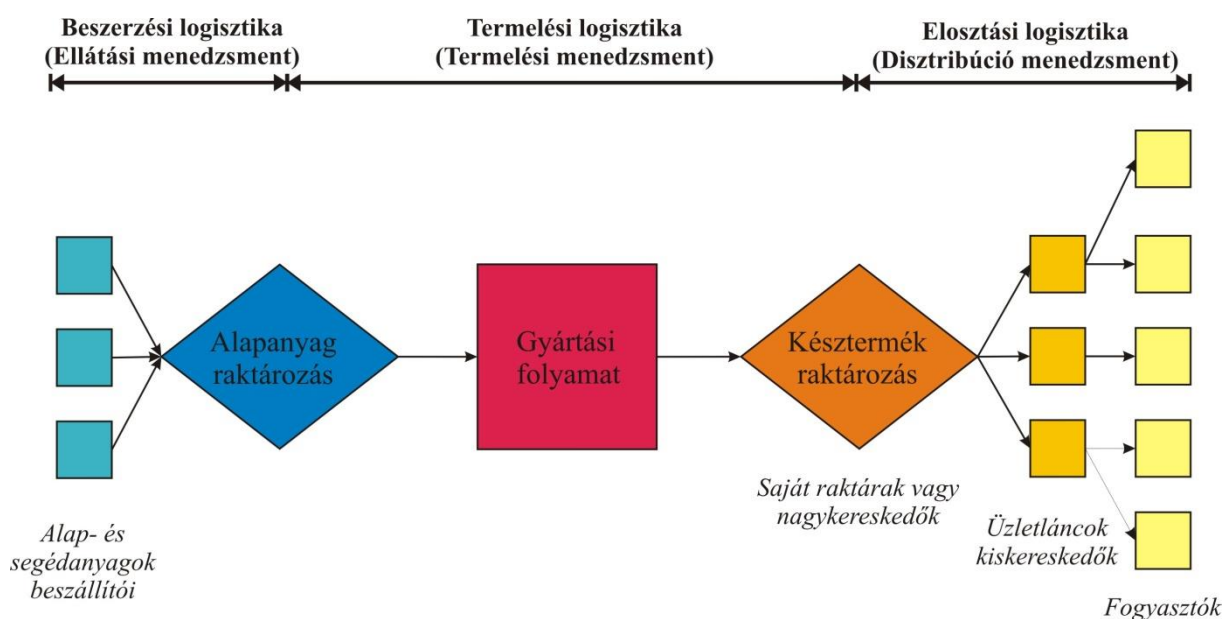
Hulladékgazdálkodás (tágabb értelemben vett logisztikai alapfunkció)

A termelési folyamatok melléktermékeként keletkező, illetve egyéb, az eredeti funkciójukban, a továbbiakban fel nem használható anyagok gazdasági és környezetvédelmi szempontok figyelembe vételével történő gyűjtése és szállítása, illetve esetleges újrahasznosításában, kezelésében történő közreműködés.

9.1.2 A logisztikai lánc

A logisztikai alapfunkciók végső soron a logisztikai lánc (ellátási lánc) elemeiként biztosítják a **9.1.1**alatt megfogalmazott célkitűzések megvalósulását, valamint összekapcsolják a folyamatrendszer egyéb elemét (a logisztika integráló funkciója).

A logisztikai lánc egyszerűsített modelljét a **254. ábra** szemlélteti. A későbbiekben a folyamatrendszer egyik fő elemét, mint a hulladékgazdálkodási menedzsment szempontjából az egyik legtöbb potenciált kínáló részrendszert, a termelési logisztika területét vizsgáljuk meg részletesebben.



254. ábra. A logisztikai lánc egyszerűsített modellje [Nagy et al. 2001]

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

9.1.3 A környezetvédelem és a logisztika kapcsolata

A fenntarthatóság alapvető kritériuma a természeti környezet megóvása, a káros hatások csökkentése, valamint a szűkösen rendelkezésre álló természetes erőforrásokkal történő hatékony, takarékos gazdálkodás, úgy, hogy mindemellett az emberi társadalom és az élővilág további fejlődése biztosított legyen. A logisztikai folyamatok által kiváltott környezeti hatások az előbbieken felvázolt logisztikai lánc különböző pontjain eltérően jelentkeznek. A potenciális környezeti hatások az egyes láncelemeken a következők:

Szállítás

- füstgáz emissziók a belsőégésű motorokból,
- zajhatás,
- energiafogyasztás.

Raktározás

- füstgáz emissziók a belsőégésű motorral szerelt anyagmozgató eszközökből,
- egyéb emissziók, pl. savkibocsátás elektromos hajtású motorral szerelt anyagmozgató eszközök esetén,
- zajhatás,
- energiafogyasztás.

Csomagolás

- egyutas csomagolóanyagok (fa, karton, papír, műanyagok),
- kiegészítő csomagolások (köztes elválasztók, védőfóliák stb.),
- ragasztóanyagok,
- árukísérő nyomtatványok keletkezése,
- energiafogyasztás.

Termelés

A termék-előállítás során a technológiai folyamattól függő mértékű környezetterheléssel kell számolnunk:

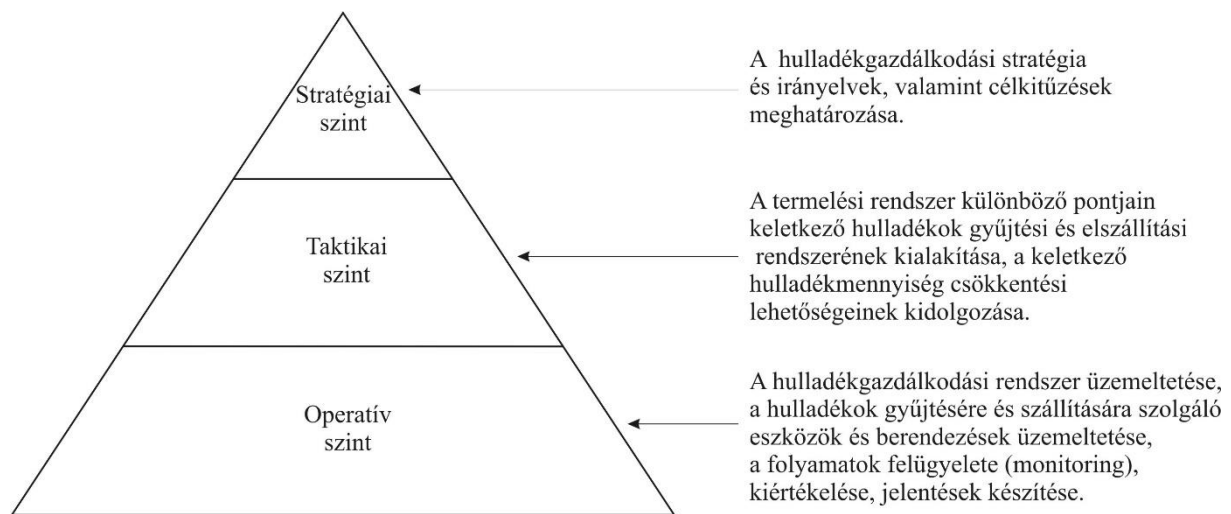
- hulladékok, szennyvizek keletkezése,
- emissziók,
- zajhatás,
- energiafogyasztás.

9.1.4 A termelési (üzemi) logisztika és a hulladékgazdálkodás speciális kérdései

A termelési logisztika a termelő vállalat belső anyaggazdálkodási rendszerének működtetéséért és a külső kapcsolatok biztosításáért felelős mikrologisztikai rendszer. Fő feladatai:

- a beérkező alapanyagok (alkatrészek), nyersanyagok és segédanyagok átvétele, beraktározása,
- anyag -és készletgazdálkodás,
- a termelő rendszer (gyártó területek) igényének 7M-elv szerinti kielégítése,
- a technológiai folyamat melléktermékeként keletkező anyagok illetve egyéb hulladékok termelési és logisztikai területeken történő gyűjtése, és elszállítása, valamint a termelő vállalat területéről történő kiszállításának szervezése, lebonyolítása.

A logisztikai menedzsment funkcióit a különböző irányítási szinteken a hulladékgazdálkodás tekintetében a **255. ábra** szemlélteti.



255. ábra A hulladékgazdálkodás menedzsment feladatai a különböző irányítási szinteken [Nagy et al. 2001]
NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002;
Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

Termelő vállalat esetében a logisztikai rendszer működtetése szempontjából elsődleges feladat a gyártóterületek igényeinek zavarmentes kielégítése, hiszen a telepített gyártókapacitások (gépek, berendezések) csak működésük esetén termelik ki beruházásuk értékét, egy idő eltelte után nyereséget. Az álló gép a legdrágább. A vállalati logisztikai rendszer prioritást élvező feladata mellett lebonyolítandó minden egyéb tevékenységet ennek kell alárendelni, azokat úgy

kell megtervezni és üzemeltetni, hogy az anyagellátás zavartalan működését ne veszélyeztessék.

Egy termelő vállalat belső anyagáramlási rendszerének egyszerűsített modelljét a **256. ábra** szemlélteti.



256. ábra Termelő vállalat belső anyagáramlásának egyszerűsített modellje

A körfolyamatot ellátó anyagmozgató eszköz az alapanyagraktárból a termelő terület igényeinek megfelelő ütemben, valamilyen anyagellátó rendszer támogatásával végzi az anyagok gyártó területre történő kiszállítását. Célszerű ehhez a körjáráshoz a termelő területen keletkező göngyölegek (üres anyagtartók) gyűjtésének funkcióját is hozzárendelni, amelyet a kijelölt göngyölegátrakó pályaudvaron kell leadni, majd újabb megrendelések kielégítésére vissza kell térni az alapanyagraktárba, így a körfolyamat újraindul. Az alapanyagraktárakból a termelő területekre kiszállított anyagtartók részben a korábbiakban említett, a továbbiakban fel nem használható csomagolóanyagokat, kiegészítő csomagolásokat is tartalmaznak, illetve adott esetben maga a gyűjtőcsomagolás is egyutas. Ezeknek az anyagoknak a gyűjtése az alapanyagok (alkatrészek) beépítése után elvileg megoldható lenne az eredeti egységcsomagolóeszközben is. Ebben az esetben azonban a fenti folyamatot végigkövetve az összegyűjtött üres göngyöleget a hulladékokkal együtt kellene a göngyöleggyűjtő területen leadni, vagy a gyártóterület kiszolgálását végző (adott esetben szigorú útvonal- és időköttiségek mellett közlekedő) ellátó körnek érintenie kellene a (adott esetben távolabb fekvő) központi hulladékgyűjtő -és átrakó állomást (a **256. ábra** jobb felső sarkában látható).

Mindezek figyelembe vételével, gyakorlati tapasztalatok alapján két megoldás megvalósítása képzelhető el (optimálisan):

- a) az üres göngyölegek gyűjtésére és szortírozására kijelölt területen a hulladékok anyagtartókból történő eltávolítását és szelektív gyűjtését, illetve maguknak az egyutas csomagolóanyagoknak a kezelését is meg kell oldani,
- b) a mindenkori keletkezés helyén (tehát ebben az esetben a gyártóterületeken is) meg kell oldani a hulladékok szelektív gyűjtését (az anyagtartókból történő eltávolítását), valamint az önálló elszállítását.

Az ellátó –és a hulladékkezelő folyamatok szétválasztásával a gyártóterület mellett, valamint a termelő vállalat egyéb területein keletkező különböző eredetű és összetételű hulladékok, illetve selejtanyagok típusok szerint szétválasztva gyűjthetők már a keletkezés helyén, speciálisan erre a célra kifejlesztett eszközökben. A hulladékgyűjtő tartók, a telítődési ciklusidők figyelembe vételével önálló gyűjtő-elszállító körökbe szervezhetők, melyek a korábban említett anyagellátó köröktől szeparáltan, saját útvonalon és menetrend szerint, az ellátó körök elsőbbségét figyelembe véve, azok minimális zavarása mellett biztosíthatják a hulladékok szakszerű, rendezett kezelését. A gyártóterületeken és a termelő vállalat egyéb területein a keletkező hulladék -és selejtanyagok gyűjtésére rendszeresített speciális tartók átrakó-pályaudvarra kerülnek, ahol nagyobb méretű gyűjtőtartókba üríthetők, melyek a termelő vállalat területéről külső szállítóeszközzel (tehergépkocsi) történő kiszállításra alkalmasak.

A szétválasztás lehetőséget ad a termelő területek anyagellátását végző kihordó körök optimalizálására az útvonal (minimalizálva a bejárando utat) és a szállítandó anyagmennyiségek tekintetében, hiszen az üres göngyölegek (egységakomány-képző eszközök) a gyártósorok mellől közvetlenül a szortírozó-átrakó állomásra kerülhetnek, a hulladékok – és egyutas csomagolóanyagok gyűjtése és elszállítása alól pedig a fent ismertetett módon mentesülnek.

A különböző rendeltetésű folyamatok szétválasztása eredményeképpen lehetőség nyílik az eltérő paraméterekkel rendelkező tevékenységek (ciklusidők és frekvenciák, valamint mozgató anyagmennyiség, illetve a feladó és leadó helyek elhelyezkedése stb. szempontjából) önálló kezelésére és vizsgálatára, hiszen azok diszkrét mikrorendszerként hatékonyabban működtethetők, a kapacitások jobban kihasználhatók, a folyamatok áttekinthetőbbek. Természetesen nem szabad megfeledkeznünk a logisztika egy másik fontos alapvetéséről, a rendszerszemléletű gondolkodásmódról sem. Ennek megfelelően mindig meg kell vizsgálni a részrendszerek kapcsolódási pontjait, a felépített rendszer működését, mert végső soron a komplex rendszer hatékony működése a cél és nem a szuboptimumok keresése. Fentiek figyelembe vételével megvalósulhatnak az alábbi, a gyakorlat szempontjából fontos, a rendszer hatékony működését támogató célkitűzések:

- szétválasztott anyagellátás és hulladékkezelés,
- szelektív hulladékgyűjtés a keletkezés helyén,
- optimalizált körjáratok,
- optimális szállítóeszköz-kapacitás kihasználás,

- rendezett, átlátható folyamatok, felelősségi körök,
- lehetőség részfolyamatok, tevékenységek leválasztására, esetlegesen kiszervezésére (outsourcing), szakértő (speciális know-how-al rendelkező) cég kezébe adására.

9.1.5 A logisztikai rendszer környezetvédelmi szempontú fejlesztésének lehetőségei, céljai

A logisztikai rendszer fejlesztése, állandó optimalizálása fontos mérnöki feladat. A környezetvédelmi szempontú optimalizálás lehetőségeit az alábbiakban foglaljuk össze:

A szállítás tekintetében

- korszerű, gazdaságos, környezetkímélő szállítóeszközök alkalmazása,
- vasúti áruszállítás volumenének növelése,
- kombinált áruszállítás volumenének növelése,
- szállítási útvonalak (járatok) optimalizálása,
- szállítási kapacitások minél jobb kihasználása.

A raktározás tekintetében

- elektromos hajtású motorral szerelt anyagmozgató eszközök alkalmazása,
- anyagmozgató eszközök megfelelő karbantartása, ellenőrzése,
- fáradt akkumulátorok elhelyezésének környezetbarát megvalósítása.

A termelési rendszerek tekintetében

- többutas (többször felhasználható) csomagolóanyagok, egységgraviméter-képző eszközök előnyben részesítése,
- egyutas csomagolóanyagok környezetbarát anyagválasztása, újrahasznosításuk megoldása,
- környezetbarát gyártási technológia kialakítása, a környezetterhelés csökkentése érdekében,
- korszerű minőségbiztosítási rendszer bevezetése a kisebb hulladék- és selejtarány elérése érdekében,
- termékek életciklus végi kezelésének, újrahasznosításának megoldása, lehetőleg a termelő vállalat felelősségi körében.

9.2 Üzemi hulladékgazdálkodási koncepció

Sokszor később jövünk rá, hogy a hulladékok anyag- és/vagy energiatartalma értékes számunkra. A lakossági fogyasztásból származó üveghulladék például napjaink egyik fontos bitumenadaléka. A fémek megmunkálásából származó, magas fémtartalmú olajszármazékkal terhelt, s ennek okán veszélyesnek minősített köszörűiszapok előkezelés után kiválóan kohósíthatók. Jó példa a papírhulladék, mely fontos papírgyári alapanyag, illetve az öntödei technológiákból visszamaradt maghomok, mely átfogó vizsgálat után talajjavító anyagként használható. Számos hulladékot energiatartalma tesz értékessé. Ilyen a faiparban nem hasznosítható fahulladék (pl. egyutas raklap), vagy az anyagában hasznosíthatatlan, ezért termikus hasznosításra kerülő fáradt olaj. A sor végtelen. Ez az oka annak, hogy az Európai Unió szabályozásában nagyon finoman fogalmaz a hulladékok definícióit illetően, ösztönözve ezzel a mérnöki, s természetesen gazdaságilag is jól átgondolt zárt technológiákat (prevenció) valamint az újrahasznosítás csővégi (end of pipe) kombinációját az ipari ökológia alkalmazását.

A legfontosabb mérnöki feladatok közé tartozik a technológiák minél zártabbá tétele. Ilyen módon kerülhető el a hulladékok keletkezése, mely a legfontosabb elérendő cél. Amennyiben a hulladékkeletkezés elkerülhetetlen, törekedni kell a minél kevesebb mennyiségre, illetve a minél kisebb veszélyességre, valamint arra, hogy az újrahasznosítás minél magasabb fokon és hatékonysággal valósulhasson meg. A hasznosítás legmagasabb foka a - lehetőleg technológián belül történő - újrahasználat (pl.: többutas csomagolóanyagok), ezt követi az anyagában történő újrahasznosítás (pl.: fémforgácsok kohósítása), majd a termikus hasznosítás (pl.: fűtőértékkel bíró hulladékok égetéséből származó hő hasznosítása fűtési célra). Fontos szempont továbbá a hasznosítás minél magasabb aránya. Ez azt jelenti, hogy a hasznosított hulladékok mennyiségét maximálni kell az ártalmatlanításra (pl.: alacsony fűtőértékű hulladékok égetése, deponálás) kerülő hulladékokhoz képest. A felvázolt megelőzés → (mennyiségi)csökkentés → hasznosítás logikai lánc a német nyelvterületen a **3V-elvként** (vermeiden → vermindern → verwerten) ismert.

[SZAMOS P., TORMA A., VAGDALT L., NAGY G.: Mérnöki feladatok a vállalati hulladékgazdálkodásban \(egyetemi oktatási segédlet\); 2006; Győr; Széchenyi István Egyetem Környezetmérnöki Tanszék. Szamos et al. 2006](#)

Amennyiben a hulladékok keletkezése elkerülhetetlen, az ökológiai- és ökonómiai-alapú üzemi hulladékgazdálkodás megtervezése, kialakítása-bevezetése, felügyelete és – a folyamatosan javuló környezetteljesítmény jegyében – permanens optimalizálása a mérnökök feladata.

Az üzemi hulladékgazdálkodási koncepció tervezése szempontjából kulcsfontosságú az, hogy az üzemi környezetvédelem szervezeti egysége már a gyár technológiai tervezésébe bevonásra kerüljön. A tervezéshez ugyanis minden információra szükség van, illetve a technológiai tervezés fázisában van mód az ökológiai és ökonómiai elvárásoknak leginkább megfelelő hulladékgazdálkodási rendszer kialakítására. Egy jól működő hulladékgazdálkodási koncepció nem más, mint az összes létező információ ismerete, azok közül a környezetvédelmi szempontból relevánsak kiválasztása és mérnöki súlyozása. Abban az esetben, ha a technológiák beüzemelése, azaz a gyártás beindítása után merülnek fel a „Mit kezdünk a keletkező hulladékokkal?”, vagy a „Van-e elegendő hely a konténerek kihelyezésére?” típusú kérdések, akkor sokkal kisebb a mérnök mozgásteré, mint, ha a berendezések, gépek nyers telepítési rajzán tervezheti meg a hulladék- utakat, gyűjtőhelyeket, hulladékgazdálkodási berendezéseket. Ebben az esetben minden költségesebb, hiszen a helyszükségletek nem lettek figyelembe véve, nem lehet szabványos eszközöket alkalmazni.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

Az üzemi hulladékgazdálkodási koncepció tervezése – már működő üzem esetén – az alábbi fázisokból áll:

- 1) az üzemi termelési és hulladékgazdálkodási technológiák, folyamatok részletes átvizsgálása (alapállapot-felvétel);
- 2) műszaki-gazdasági tervezés;
- 3) koncepció dokumentálása, prezentálása;
- 4) koncepció bevezetése, oktatás, monitoring.

9.2.1 Alapállapot-felvétel

Egy átfogó terv készítéséhez az üzem minden egyes termelési szegmensének, összes munkahelyét részletesen át kell világítani. E dokumentált átvilágítást, alapállapot-felvételnek hívjuk. A tájékozódásban meg kell találni a segítő partnert, aki pontosan ismeri az adott technológiát. Legjobb, ha egy előre megadott kapcsolattartó-lista segítségével kezdődik el az

alapállapot-felvétel, melyen az adott területek felső vezetése által kiválasztott kapcsolattartóinak lajstroma van, telefonszámmal kiegészítve. Az egyes interjúk rögzítése célszerű. Erre az egyik legjobb módszer az előre elkészített ún. kérdéslista, melyen a fontosnak tartott kérdések szerepelnek. Lényeges, hogy minél bővebb információhalmaz kerüljön rögzítésre. A checklisták kérdéseit következetesen minden illetékesnek fel kell tenni. A technológiák működését, illetve a termelési és hulladékgazdálkodási folyamatokat az interjúk során fel kell térképezni.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

Néhány fontos szempont a kérdéslista összeállításához:

- gyártás/működés pontos leírása;
- felhasznált anyagok, veszélyes anyagok mennyisége, minősége;
- megmunkálendő termék mennyisége időegységben, tömege, vagy térfogata;
- médium- és energiafelhasználás;
- keletkező hulladékok mennyisége, minősége;
- hulladékok jelenlegi gyűjtése, edényzete;
- edények ürítési módja, gyakorisága (frekvenciája), ki üríti?;
- feliratozás módja, megjelenése, gyűjtési szelektivitás hatékonysága.

A későbbi hasznosítás vagy ártalmatlanítás módjának vizsgálata érdekében célszerű a keletkező hulladékokból és/vagy a felhasznált anyagokból vett minta laboratóriumi analízise. Itt is fontos a pontos megjelölés, címkézés, hogy később azonosíthatóak legyenek a vett minták.

A hulladékgyűjtőkben talált állapotok képet adnak a hulladékgyűjtés szabályainak – ha van ilyen – betartásáról, munkahelyi gyűjtési kultúráról, melyekből később intézkedések következhetnek (pl.: oktatás a gyűjtés hatékonyságának növelése érdekében).

Az üzem egyes szegmenseiről készített felméréseket egységes egészbe, áttekinthető formába kell hozni. Az állapotfelvétel összegzése és ábrázolása során nagy jelentősége van a mérnöki kreatitásnak, valamint a számítógépes felhasználói (Excel, PowerPoint) ismereteknek. Az alapállapot-felvételből származó, összegzett és (grafikusan) ábrázolt adatbázisok nagyban segítik a hulladékgazdálkodási koncepció egyes alternatíváinak meghatározását és értékelését.

9.2.2 Műszaki-gazdasági tervezés

A műszaki-gazdasági tervezés szakasza a hasznosítás/ártalmatlanítás vizsgálatából, a gyűjtőedények kiválasztásából, az üzemi belső hulladéklogisztika és a központi (veszélyes)hulladékgyűjtő hely tervezéséből, valamint a személyi kompetenciák és eszközigény kérdéseinek tisztázásából áll.

Hasznosítás/ártalmatlanítás vizsgálata

Az alapállapot-felvétel során ismertté váltak a keletkező hulladékok mind kvalitatív, mind kvantitatív viszonylatban. Ennek ismeretében célszerű megvizsgálni azt, hogy a keletkező hulladékok a megismert minőségi és mennyiségi paramétereikkel milyen módon kezelhetők, azok hasznosítására, illetve ártalmatlanítására milyen műszaki, piacon elérhető lehetőségek kínálóznak. E vizsgálat során törekedni kell a korábban tárgyalt célok elérésére, tehát minél magasabb fokú és arányú hasznosítást kell célul kitűzni. Mindezek mellett lényegi szempont a keletkező hulladékok hasznosításából/ártalmatlanításából származó pénzügyi mérleg minél pozitívabb volta.

A tervezés e fázisában nyílik lehetőség a különböző hulladéktípusok (együtt gyűjtendő) frakciókba szervezésére. Az együtt gyűjtendő hulladékfrakciók meghatározását ökológiai-egészségügyi-ökonómiai-műszaki számításokkal, vizsgálatokkal kell megalapozni. Az ökológiai és egészségügyi-törvényi szempontoknak nem szabad sérülniük.

Célszerű lehet például az egy helyen égetésre kerülő olajos göngyöleg-hulladékokat (olajos dobozok, törülközők, stb.) egy frakcióba szervezni. A különböző minőségű csomagolóanyag-hulladékok (karton, fólia, hungarocell, stb.) csoportosítása, gyűjtése és kiszállítása annak ellenére is célszerű lehet, hogy így alacsonyabb az átvételi ár. A teljes szelektivitás eléréséhez szükséges üzemi gyűjtőedények elhelyezése oly mértékben megnövelheti ugyanis a hulladékgazdálkodásra fordított területet, hogy az adott esetben zavarhatja az értékteremtő folyamatokat (termelés, logisztika). A termelési folyamatok hátráltatása termelékiesést, minőségromlást eredményezhet, melynek gazdasági kára meghaladhatja a teljes tisztaságú és az ömlesztve gyűjtött csomagolóanyag átvételi árkülönbségéből adódó költségelőnyt.

A hulladékok együtt gyűjtendő frakciókba szervezése a gyűjtés, valamint az üzemben belüli és kívüli hulladéklogisztika eszközrendszerében szinergiák (pl.: kevesebb típusú és számú gyűjtőedény, egy szállítással megoldható hulladékfészeségek) kihasználását teszi lehetővé, mely sok esetben jelentős költségmegtakarítással jár. Az együtt gyűjtendő frakciókba történő szervezés, egyszerűsítést jelent az üzemi termelési és hulladékkezelési folyamatokban és ilyen módon nagyobb hulladékszelektivitás érhető el.

Gyűjtőedények kiválasztása

A fent leírtak szerint meghatározásra került a hulladékok hasznosítási/ártalmatlanítási módja és az együtt gyűjtendő hulladékfrakciók. Mindezekből explicit módon ismertek az üzemi hulladékgazdálkodási koncepcióval szemben támasztott követelmények, mely a gyűjtés és

üzemen belüli hulladéklogisztika folyamatai segítségével biztosítja, hogy a keletkező hulladékok a fentiek szerint meghatározott mennyiségben és hulladékfrakciókban álljanak az átvevők (hasznosító/ártalmatlanító) rendelkezésére. Ennek szellemében kerül megtervezésre a gyűjtési és belső hulladéklogisztikai folyamatrendszer.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

A hulladékgyűjtési folyamat esetében kiemelt jelentőségű az eszközrendszer kiválasztása. A gyűjtőedény legfontosabb jellemzője a gyűjtött anyaggal szembeni ellenálló képesség. A környezeti szennyezés kockázatát a lehető legkisebbre kell csökkenteni. Fontos szempont az, hogy a hulladék könnyen bedobható legyen. Lényeges az elégséges befogadóképesség, mely alapvetően meghatározza a belső hulladéklogisztikát. Amennyiben egy hulladékgyűjtő sokszor telik meg, sokszor is kell üríteni, illetve tartalmát elszállítani. Ez időt, energiát, tehát környezetterhelést és költséget jelent. A gyűjtőedény méretével alkalmazkodjon a termeléshez, illetve a külső megjelenési, optikai szempontok sem elhanyagolhatóak.

Sok esetben helyszűkös állapotok jellemzik a termelő üzemeket, ezért nehezen teljesíthető az alapállapot-felvételből következő kívánatos űrtartalom. Ilyenkor célszerű lehet a kisebb alapterületű magasabb edény alkalmazása.

A különböző hulladékfajták számára kiválasztott gyűjtőedények vizuális megjelenése (vizuálmenedzsment) kiemelt jelentőségű. A hulladékgyűjtők színe, címkézése, egységes megjelenése ugyanis nagyban támogatja a tudatformálást, illetve az elérni kívánt hulladékszelektivitást.

A fenti szempontok és az alapállapot-felvétel hulladékokra vonatkozó kvalitatív és kvantitatív adatainak ismeretében határozható meg, hogy mely technológiánál, munkahelynél milyen gyűjtési módszer, illetve milyen (típusú, űrtartalmú) gyűjtőedény alkalmazása célszerű. A technológiákhoz, munkahelyekhez rendelt hulladékgyűjtő edényeket helyszínrajzon célszerű ábrázolni.

Üzemi belső hulladéklogisztika tervezése

A technológiák, munkahelyek gyűjtőedényeinek űrtartalma, illetve az alapállapot-felvétel során világossá vált minőségi és mennyiségi hulladékadatok ismeretében a hulladékgyűjtőkhöz tartozó ürítési gyakoriság (frekvencia) számítható. Az ürítési frekvencia, valamint a hulladékgyűjtő edény és az esetleges decentralizált, több hulladékgyűjtő tartalmát befogadó gyűjtőkonténer, illetve a központi hulladékgyűjtő centrum közötti távolság ismeretében a belső hulladéklogisztika tervezhető.

Az üzemi belső hulladéklogisztika tervezése során figyelembe kell venni az egyéb (pl.: termelést ellátó) logisztikai folyamatokat. Műszaki-gazdaságossági vizsgálat tárgyát képezi az, hogy a már meglévő logisztikai folyamatok segítségével valósul meg az üzemi belső hulladéklogisztika, vagy külön (hulladék)logisztikai rendszer installálása kívánatos.

Központi (veszélyes)hulladékgyűjtő hely

A szigetszerű, több hulladékgyűjtő hulladékát befogadó konténer léte opcionális, alkalmazásának célszerűségét az üzemi távolságok nagysága határozza meg. Kisebb üzemek, kisebb távolságok esetén célszerű a munkahelyi gyűjtők központi üzemi (veszélyes)hulladékgyűjtő helyre történő direkt beszállítása.

Üzemi nagyságtól függetlenül célszerű a hulladékok egy központi helyen történő gyűjtése. A veszélyes hulladékok központi gyűjtésére is alkalmas üzemi hulladékgyűjtő helyen kerülnek kialakításra az előírt műszaki védelmi infrastruktúrák, mint a tömített, a gyűjtött hulladékoknak ellenálló padlóburkolat. Itt kerülnek telepítésre a kármentők és az ellenőrző szivárgó. A hulladékgyűjtő központban fel kell készülni az esetlegesen bekövetkező haváriák elháríthatására. A központ működése hatóság által jóváhagyott szabályzatban kerül rögzítésre. A központi gyűjtőhelyen célszerű a hatóságilag előírt előkezeléseket (pl.: olajos papír bálázása, fénycső veszélyes hulladék kénezése, fémiszapok folyadékmentesítése, stb.) elvégezni. Itt kerülnek telepítésre a – szállítási optimalizációs szempontokat támogató – (tömörítő) nagy gyűjtőkonténerek.

A kiszállításokat minden esetben optimalizálni szükséges. Optimalizálást jelent a minél nagyobb konténer alkalmazása, illetve a minél tömörebb állapotban történő szállítás.

Személyi kompetenciák és eszközigeny

Lényeges kérdés, hogy ki milyen szerepet vállal a fentiek szerint megtervezett hulladékgazdálkodási rendszer operatív végrehajtásban. Gazdasági analízis segítségével kerül eldöntésre, hogy saját munkatársak révén, szolgáltató bevonásával, vagy a kettő szintézisével valósuljon meg a hulladékgazdálkodási koncepció. Multinacionális vállalatoknál jellemző a szolgáltatók bevonása, így a saját munkaerő kizárólag a vállalat profiljába tartozó kompetenciákkal (értékteremtő folyamat) foglalkozik.

A hulladékgazdálkodási rendszer eszközigenye (gyűjtők, konténerek, belső szállító járművek) tekintetében újfent gazdasági döntés, hogy a berendezések investíciós, vagy bérleti költségterheket rójanak a gazdálkodó szervezetre.

9.2.3 Konceptió dokumentálása, prezentálása

A fenti lépések befejeztével a hulladékgazdálkodási rendszer részleteiben kész. A kialakult, ökológiailag és ökonómiailag egyaránt az elvárásoknak megfelelő tervezetet érthető, kultúrált megjelenési formába kell hozni. Célszerű tanulmány formájában az alábbiak összefoglalása:

- alapadatok (megbízó, tervekészítő, tervezés időtartama, helye, stb.);
- célmeghatározás;
- alapállapot összefoglalása (bemutatva az erényeket, feltárva a javítási potenciálokat);
- különböző megoldási alternatívák bemutatása, előny-hátrány analízise;
- tervezet bemutatása (folyamatok, hulladékáramok, emberi és materiális erőforrások);
- tervezet ökológiai értékelése (hasznosítási/ártalmatlanítási ráták);
- tervezet ökonómiai értékelése.

A hulladékgazdálkodási rendszer tervezetének fenti módon történő dokumentálása mellett célszerű egy rövidített vizuális összefoglaló a döntéshozók számára.

9.2.4 Koncepció bevezetése, oktatás, monitoring

Miután a hulladékgazdálkodási koncepció a döntéshozók által is elfogadásra került, következik az eszközök beszerzése, esetleges bérlete, telepítése-kihelyezése, a gyűjtési és logisztikai folyamatok kialakítása. Az új hulladékgazdálkodási rendszer operatív lebonyolításában résztvevőket, illetve a rendszerrel bármilyen módon kapcsolatba kerülőket oktatni szükséges. Az oktatásokhoz célszerű vizuális segédleteket készíteni, melyek segítik a könnyebb megértést. A hulladékgazdálkodási koncepcióban szervesen résztvevőket nem elegendő oktatni, hanem munkakörüket, feladataikat írásos folyamatleírás vagy munkautasítás keretében szabályozni is szükséges. Az ilyen írásos szabályozások részei a vállalati környezetmenedzsment rendszernek (KMR).

A termelés volumenének és komplexitásának változása és a munkatársi létszám ingadozása nagyban módosíthatja a hulladékgazdálkodási rendszert, folyamatos korrekcióra van tehát szükség. Ebből adódóan a rendszer működését folyamatosan figyelni, monitorozni kell, s a feltárt hiányosságokat ki kell küszöbölni. A folyamatos optimalás nagyon gyakran újabb környezeti és költségelőnyöket jelent (optimáltabb logisztika → alacsonyabb energiafelhasználás → kisebb környezetterhelés). Szakmai kötelesség a vállalati környezeti teljesítmény folyamatos javítása. Ennek elérése érdekében a termelési technológiákat mind zártabbá, környezetkímélőbbé (tisztább termelés) kell tenni, illetve mind újabb, környezetbarátabb és költséghatékonyabb csővégi technikákat szükséges alkalmazni.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

9.3 Üzemi hulladékgazdálkodás dokumentálása

A vonatkozó jogszabályok a hulladékokkal kapcsolatosan átfogó dokumentációs követelményeket határoznak meg. A dokumentáció egy része a környezetvédelmi hatóságnak nyújtandó adatszolgáltatás, másik része pedig a hulladékgazdálkodás segédiratai, melyek egy esetleges hatósági ellenőrzés során kerülhetnek felülvizsgálatra.

9.3.1 Egyedi Hulladékgazdálkodási Terv

Az Egyedi Hulladékgazdálkodási Terv tartalmi követelményeit a hulladékgazdálkodási törvény (2000. évi XLIII.tv.), valamint végrehajtási rendelete (126/2003. (VIII. 15.) Korm. Rendelet) szabályozza. A hat évre vonatkozó hulladékgazdálkodási terv az üzem hulladékgazdálkodásnak jövőre vonatkozó tervezése a folyamatosan csökkenő környezetterhelés, tehát növekvő környezeti teljesítmény jegyében. A terv illeszkedik a különböző szintű (országos, regionális, települési) hulladékgazdálkodási tervekhez, hulladékgazdálkodási célkitűzésekhez.

A terv tartalmi követelményei az alábbiak:

- a tervkészítés általános adatai;
- a hasznosítandó vagy ártalmatlanítandó hulladékok típusai, mennyisége és eredete;
- a hulladékkezeléssel kapcsolatos alapvető műszaki követelmények;
- az egyes hulladéktípusokra vonatkozó speciális intézkedések;
- a hulladékok kezelésére alkalmas kezelőtelepek és létesítmények, a kezelésre felhatalmazott vállalkozások;
- a korábbi tervben vállalt kötelezettségek teljesülése;
- az elérendő hulladékgazdálkodási célok meghatározása;
- a kijelölt célok elérését, illetve megvalósítását szolgáló cselekvési program.

A terv elkészítéséhez szükséges ismerni a gazdálkodó szervezet fejlődését az elkövetkező hat évben. Meg kell becsülni a vállalat fejlődésének a hulladékgazdálkodásra gyakorolt hatását, illetve intézkedések megfogalmazása és foganatosítása szükséges a környezeti teljesítmény javítása (kevesebb keletkező hulladék, magasabb fokú és arányú hasznosítás) érdekében. Az Egyedi Hulladékgazdálkodási Tervet az elsőfokú környezetvédelmi hatóság hagyja jóvá. A jóváhagyott terv egy másolatát el kell juttatni a területileg illetékes jegyzőhöz.

NAGY G., BULLA M., HORNÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

NAGY G.: Az AUDI HUNGARIA MOTOR Kft. Egyedi Hulladékgazdálkodási Terve; 2006; Győr; Universitas Győr Kht. Nagy 2006

9.3.2 Anyagmérleg

A veszélyes hulladékokról szóló 98/2001. (VI. 15.) kormányrendelet értelmében az üzem köteles minden, veszélyes hulladékot eredményező tevékenységéről anyagmérleget készíteni. Az anyagmérleg tartalmazza az adott termelési technológiába bemenő anyagok minőségét, mennyiségét és összetételét, a keletkező termékek minőségét, mennyiségét és összetételét, valamint a keletkező veszélyes hulladékok minőségét, mennyiségét és összetételét. Az anyagmérleg a gyakorlatban nem más, mint egy Input-Output táblázat.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

9.3.3 Veszélyes hulladék üzemnapló

A veszélyes hulladékokról szóló (98/2001. (VI. 15.)) kormányrendelet előírja az üzemi veszélyes hulladék gyűjtőhely működéséről történő nyilvántartás vezetését. Az üzemnaplóban fel kell tüntetni gyűjtött veszélyes hulladékok minőségére, mennyiségére és összetételére vonatkozó adatokat, a gyűjtőhelyre került és a gyűjtőhelyről kezelésre átadott veszélyes hulladékok minőségét, mennyiségét és összetételét, a kezelők adatait, továbbá az üzemvitellel kapcsolatos rendkívüli eseményeket. A hatósági ellenőrzések megállapításai és az ezek hatására tett intézkedések szintén a napló alapelemeihez tartoznak. Az üzemnapló a hatósági ellenőrzés során felülvizsgálatra kerül.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

9.3.4 Üzemi (veszélyes) hulladék gyűjtőhely szabályzata

A működési szabályzatot a veszélyes hulladékokról szóló (98/2001. (VI. 15.)) kormányrendelet írja elő. A szabályzat tartalmazza az üzemi gyűjtőhelyen található környezetvédelmi berendezések (edények, konténerek, bálázók, prések, tömörítő konténerek, stb.) lajstromát, az ellenőrzési és működési szabályokat. Az ellenőrzési szabályok a környezetszennyezés kizárását szolgálják. Ilyen például a padozat tömítettségének szivárgóknából való mintavétellel történő ellenőrzése, vagy a tárolóedények tömítettségének vizsgálata.

A hulladékgazdálkodás, illetve az összes, környezetvédelmi aspektusból releváns berendezés tekintetében érdemes bevezetni egy karbantartási és felülvizsgálati rendszert. A rendszeresen elvégzett és dokumentált karbantartások jelentősen megnövelik a berendezések üzembiztonságát, s így a környezetvédelmi hatékonyságukat, valamint jelentős költségek kiadásától kímélik meg a szervezetet.

Az üzemi szabályzat egy példányát jóváhagyásra be kell nyújtani a környezetvédelmi felügyelőséghez, végrehajtására felelős személyt (pl.: környezetvédelmi megbízott) szükséges kinevezni.

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft. Nagy et al. 2002

9.3.5 Hulladék-nyilvántartás, bevallás

A 164/2003. (X. 18.) kormányrendelet értelmében a gazdálkodó szervezetek egy jelentős részének hulladék-nyilvántartást kell vezetnie. A napi nyilvántartás során, többek között vezetni szükséges bizonyos általános adatokat (telephelyen folyó tevékenységek felsorolása, TEÁOR kód), a hulladék eredetére, megnevezésére, kódjára vonatkozó adatokat. Vezetni kell az üzemi gyűjtőhelyre szállítás gyakoriságával kapcsolatos adatokat, a csomagolási módra, fizikai megjelenésre, veszélyességi jellemzőkre, komponensek tömegkoncentrációira, az összetevők kémiai megnevezésére, veszélyes reakciókra vonatkozó adatokat. A nyilvántartásban fel kell tüntetni a keletkező hulladék mennyiségét, az üzemi gyűjtőhelyen tárolt (göngyölített) összmennyiséget, a kezelésre kiadott mennyiséget, az átvevő nevét. Minden hulladékmozgáshoz rögzíteni szükséges annak időpontját.

A gyakran számítógéppel támogatott napi nyilvántartás összegzése jelenti az éves hulladékforgalmat, mely a vonatkozó kormányrendeletben kötelezően előírt hulladékbevallás alapja. A bevallás részletezi a tárgyévben keletkező hulladékokat, meghatározza az egyes hulladékok fizikai és kémiai jellemzőit, összesíti a keletkező hulladékmennyiségeket és éves mérleget von az egyes hulladékfajtákról a tárgyévi nyitóegyenleg (előző évről az üzemi gyűjtőhelyen visszamaradt mennyiség) illetve az elszállításra került hulladékmennyiség ismeretében. A részletes dokumentációt minden évben meg kell küldeni a környezetvédelmi felügyelőségnek.

9.4 Környezeti teljesítmény, környezeti kontrolling

Egy adott gazdasági szektor, régió, ország környezetterhelésének mértéke döntő módon a rendszert alkotó ipari vállalatok környezeti teljesítményének függvénye. Ennek oka, hogy egy adott rendszer anyag- és energiaáramai – melyek a rendszer és az azt körülvevő környezet, jelen esetben az emberi gazdaság és a környezet, vagy más néven az ún. ipari metabolizmus közötti terhelő folyamatokért felelősek – a rendszert alkotó egyes alrendszerek fizikai áramlásainak összegeként értelmezhetőek.

A társadalmi-gazdasági rendszer egyik legfontosabb és épp ezért környezeti szempontból legjelentősebb alrendszere az ipari rendszer. Vagyis, ha a cél az ipari metabolizmus környezetterhelő voltának csökkentése – tágabb értelemben a fenntartható fejlődés elősegítése – a legfontosabb beavatkozási terület az ipari szféra esetében definiálható. Ezen alrendszer egyik szignifikáns területe az ipari hulladékgazdálkodás környezeti teljesítményre gyakorolt hatása.

Ezen ok-okozati összefüggés felismeréséből születtek meg a környezetmenedzsment rendszerek (KMR, Pl.: EMAS, ISO 14001), melyek legfőbb célkitűzése a vállalati környezeti teljesítmény folyamatos, ellenőrzött javítása.

Mit is értünk környezeti teljesítmény (KT) alatt? Az MSZ EN ISO 14001:2005-ös szabvány megfogalmazása szerint: „Egy szervezet irányításának mérhető eredményei, a környezeti tényezők tekintetében”. Ez a gyakorlatban nem más, mint a szervezetnek a környezetterhelések mérséklésére tett lépései és azok mérhető eredményei a szervezet egyes környezeti tényezői vonatkozásában. Vagyis egyaránt beszélhetünk szervezeti- (a bevezetett környezetvédelmi intézkedések, a KMR folyamatainak hatékonysága), illetve fizikai környezeti teljesítményről (a vállalat tényleges, mérhető kibocsátásai az egyes környezeti elemek irányába). Egy vállalat környezeti teljesítményének javulása a fizikai és/vagy szervezeti környezeti teljesítménye változásának függvénye.

VAGDALT L.: Egyszerűsített környezetvédelmi nyilatkozat; 2004; Győr; AUDI HUNGARIA MOTOR Kft. Vagdalt 2004

TORMA A., VAGDALT L.: Környezetvédelmi nyilatkozat; 2006; Győr. Torma & Vagdalt

A változás irányának (értsd alatta: pozitív, vagy negatív) megítéléséhez szükséges a környezeti teljesítmény folyamatos ellenőrzése, monitorozása, mely az MSZ EN ISO 14031:2001 megfogalmazása szerint: „Olyan folyamat, amelynek célja a szervezet környezeti teljesítményével kapcsolatos irányítási döntések megkönnyítése mérőszámok kiválasztásával,

adatok gyűjtésével és elemzésével, az információknak a környezeti teljesítmény kritériumaival való összehasonlító értékelésével, jelentéssel és közléssel, valamint e folyamat időszakonkénti átvizsgálásával és fejlesztésével.”

E területtel foglalkozik a környezeti kontrollig, vagy más néven öko-kontrollig, mely a vállalati vezetés azon alrendszere, amely a környezetvédelmi szempontú tervezési, irányítási, ellenőrzési és információszolgáltatási folyamatokat fogja rendszerbe.

VAGDALT L.: Környezetvédelmi kézikönyv; 2006; Győr; AUDI HUNGARIA MOTOR Kft. Vagdalt 2006

KÓSI K., VALKÓ L.: Környezetgazdaságtan és –menedzsment; 1999; Baja; Eötvös József Műszaki Főiskola. Kósi & Valkó 1999

A környezeti teljesítmény mérésére számtalan módszertan ismeretes a legegyszerűbb grafikus módszerektől a jóval pontosabb indikátor rendszereken (Pl.: ISO 14031) keresztül a környezeti mérőszámokat már környezeti problémákba, problémacsoportokba átszámoló ún. szintetizáló módszerekig. Az egyes módszerek közötti választás mindig az adott szervezet nagyságának, folyamatai bonyolultságának, illetve az elvárt eredményeknek a függvénye.

TÓTH G.: Környezeti teljesítményértékelés; 2001; Budapest; KÖVET. Tóth 2001

Általánosságban elmondható, hogy a leggyakrabban alkalmazott módszerek az ún. indikátor rendszerek, melyek adott jellemzőkre vonatkozó mérőszámok képzésével és folyamatos nyomon követésével mérik a környezeti teljesítmény alakulását. A mérni kívánt jellemzők kiválasztásának a szervezet környezeti tényező és hatás analízis során megállapított jelentős környezeti tényezőihez kell alkalmazkodnia. A környezeti teljesítmény változásának megállapítása az egyes mérőszámok idősor menti (Pl.: bizonyos KT javítását célzó intézkedés bevezetése előtt és után – amikor az intézkedés már várhatóan érezteti a hatását – történő mérés) összehasonlításával történik.

A környezeti teljesítménymérő rendszer kialakításakor az alábbi két alapelvet kell mindig szem előtt tartani:

- Folyamatközpontúság: ahhoz, hogy az értékelő rendszer a kívánt és megfelelő információkat nyújtsa pontosan ismerni kell a szervezet folyamatait, hiszen csak így lehetséges azon mérendő paraméterek kiválasztása, melyek segítségével valós képet kaphatunk a KT tényleges alakulásáról
- Környezeti tényezők és hatások ismerete: a releváns információk megszerzésének elengedhetetlen feltétele a szervezet környezeti tényezőinek pontos ismerete, mely a

mérni kívánt indikátorok kiválasztásának alapja. A cél, hogy minden szignifikáns környezeti tényező esetében tudjunk megfelelő mérőszámokat definiálni.

A vizsgált indikátorok lehetnek abszolút és relatív (tehát valamire vonatkoztatott) mennyiségek. A **108. táblázat** néhány példát mutat az abszolút és relatív indikátorokra a hulladékgazdálkodás területéről:

108. táblázat *Példák abszolút és relatív indikátorokra*

Mérőszám	Abszolút	Relatív
Veszélyes hulladék mennyisége	kg/év	kg/termék
Termelési hulladék mennyisége	kg/év	kg/termék
Kommunális hulladék mennyisége	kg/év	kg/termék
Összes veszélyes hulladék	kg/év	kg/termék
Összes termelési hulladék	kg/év	kg/termék
Összes kommunális hulladék	kg/év	kg/termék
Összes újrahasznosított veszélyes hulladék	kg/év	kg/termék
Összes újrahasznosított termelési hulladék	kg/év	kg/termék
Összes hulladék	kg/év	kg/termék
Összes újrahasznosított hulladék	kg/év	kg/termék

Külön területe a környezeti teljesítménymérő indikátoroknak az ún. arányszámok kérdésköre. Arányszámokkal lehet bizonyos jellemzők más jellemzőkhöz/állapothoz való viszonyát kifejezni. Jó példa erre a hulladékgazdálkodás területéről az újrahasznosítási kvóta, mely az újrahasznosított hulladék mennyiségét viszonyítja az összes hulladék mennyiségéhez.

Mivel a hulladékgazdálkodás területe általában adott szervezet környezeti teljesítményének igen jelentős összetevője (részint a keletkezett mennyiségek, részint azok veszélyessége okán), a vállalati működés e szegmensének megfelelő integrálása a környezeti kontrolling rendszerbe kiemelten fontos és nagy körültekintést igényel. A megfelelő indikátorok kiválasztása, azok konzekvens mérése és kiértékelése azonban jelentős mértékben hozzájárulhat a vállalat környezetvédelmi célkitűzéseinek és programjainak megalapozásához és ily módon a környezeti teljesítmény folyamatos javításához, kicsit globálisabban szemlélve pedig – a fejezet elején vázolt ok-okozati összefüggés alapján – a fenntartható fejlődés előmozdításához.

Felhasznált irodalom

NAGY G., BULLA M., HORNYÁK M. VAGDALT L.: Hulladékgazdálkodás (egyetemi jegyzet); 2002; Győr; SZIF-UNIVERSITAS Kft.

SZAMOS P., TORMA A., VAGDALT L., NAGY G.: Mérnöki feladatok a vállalati hulladékgazdálkodásban (egyetemi oktatási segédlet); 2006; Győr; Széchenyi István Egyetem Környezetmérnöki Tanszék.

NAGY G.: Az AUDI HUNGARIA MOTOR Kft. Egyedi Hulladékgazdálkodási Terve; 2006; Győr; Universitas Győr Kft.

VAGDALT L.: Egyszerűsített környezetvédelmi nyilatkozat; 2004; Győr; AUDI HUNGARIA MOTOR Kft.

TORMA A., VAGDALT L.: Környezetvédelmi nyilatkozat; 2006; Győr.

VAGDALT L.: Környezetvédelmi kézikönyv; 2006; Győr; AUDI HUNGARIA MOTOR Kft.

KÓSI K., VALKÓ L.: Környezetgazdaságtan és –menedzsment; 1999; Baja; Eötvös József Műszaki Főiskola.

TÓTH G.: Környezeti teljesítményértékelés; 2001; Budapest; KÖVET.

Ábrajegyzék

1. ábra A hulladékok környezetbe jutásának útjai.....	31
2. ábra A hulladékkezelés szintjei [Szeder 2000]	35
3. ábra A zárt rendszer modellje [Nagy 2001]	37
4. ábra A körforgási modell [Nagy & P. Rácz].....	38
5. ábra A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. [Zilahy 2001].....	43
6. ábra Hulladékgazdálkodási tervek rendszere [OKTVF]	48
7. ábra. MOLOK gyűjtőedényzet részei.....	56
8. ábra. A hulladékudvar feladatai, a beszállított hulladék sorsa (KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2004)	64
9. ábra. Hulladékudvar helyszínrajza (KÖZTISZTASÁGI EGYESÜLÉS, 2003)	67
10. ábra. Az Envac pneumatikus felszínalatti gyűjtőrendszer (www.envac.net).....	73
11. ábra. Veszélyességi bárca 3-as osztály: Gyúlékony folyékony anyag, a jelkép (láng): fekete vagy fehér; a háttér: vörös; '3' számjegy az alsó sarokban.....	81
12. ábra. Kezelési bárca: Nedvességtől óvni!	82
13. ábra. Veszélyt jelző tábla, a szegély és a veszélyt jelölő szám: fekete, a háttér: narancssárga	82
14. ábra. Átrakóállomás helyszínrajza (ASA KFT., 2007).....	87
15. ábra. A területkiválasztás folyamata	94
16. ábra. A környezeti elemek állapotában bekövetkező változások értékelése	100
17. ábra. Feltöltéssel épített hulladéklerakó típusok (BRANDL, 1989.)	102
18. ábra. A rendezett lerakó lehetséges modellje (THOME - KOZMIENSKY, 1987.).....	103
19. ábra. Hulladékdepónia szigetelőrendszerének az elemei	104
20. ábra. Az aljzatszigetelő-rendszer felépítése az 1999/31/EK irányelv alapján	105
21. ábra. A hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere felépítésének szabályozása	106
22. ábra. Példák ideiglenes zárószigetelési megoldásokra	110
23. ábra. Az inert hulladékok lerakójának felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása	112
24. ábra. A nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása.....	112
25. ábra. A nem veszélyes hulladékok lerakója (B3 kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása.....	112
26. ábra. A veszélyeshulladék-lerakó (C kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása	113

27. ábra. A csurgalékvízgyűjtő rendszer felépítése (RAMKE, 1991.).....	117
28. ábra. Csurgalékvízgyűjtő rendszer: a peremi rész metszete (RAMKE, 1991.).....	117
29. ábra. A dréncső beépítése.....	118
30. ábra. A depóniagáz és csurgalékvíz összetevőinek alakulása a lebomlási fázisban	122
31. ábra. A metánképződés fő abiotikus tényezői (CHRISTENSEN - KJELDSEN, 1989.)	124
32. ábra. A depóniagáz fő összetevői koncentrációjának alakulása a hulladék lebomlása során (RETTENBERGER, 1992. in. K. U. HEYER, 2003).....	127
33. ábra. A passzív gáz ellenőrző-mentesítő rendszer vázlata (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.).....	130
34. ábra. Aktív gázgyűjtő rendszer függőleges kutakkal (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993.)	131
35. ábra. A gázgyűjtő kutak kialakítása és a zárószigetelésen való átvezetése (JESSBERGER, 1994)	132
36. ábra. A gázkút fejkiképzése	132
37. ábra. A hulladéklerakó vízháztartása	133
38. ábra. A hulladéklerakó megfigyelőrendszerének elemei	136
39. ábra. A műszaki védelemmel rendelkező régi hulladéklerakók végső lezárásának rekultivációjakor alkalmazandó szigetelőrendszere.....	139
40. ábra. A hulladék égetés technológiai blokkvázlata	151
41. ábra. A rostélytüzelés szerkezeti vázlata.....	154
42. ábra. Hulladékégetők rostély típusai	154
43. ábra. Forgó csőkemencés égető rendszer vázlata.....	156
44. ábra. A forgódobos kemence hőmérsékleti szakaszai	157
45. ábra. A fluidizációs kemence vázlata	159
46. ábra. Tüztér után kapcsolt kazántípusok	162
47. ábra. Porleválasztó ciklon működési elve és részei.....	166
48. ábra. Multiciklon kialakítások.....	167
49. ábra. Az elektrosztatikus leválasztó elvi felépítése	168
50. ábra. Nagynyomású levegősugárral működő porleválasztó szűrő	170
51. ábra. A permetező mosó felépítése	172
52. ábra. Ventur-mosó kialakítás és elvi működési vázlat	172
53. ábra. Két egységből álló adszorber elvi vázlata	174
54. ábra. Kommunális hulladékégetés füstgáztisztító rendszere.....	175

55. ábra. Hulladékégető füstgáztisztító rendszere adszorbens injektálással	176
56. ábra. Száraz salakkezelési eljárás vázlata	178
57. ábra. A Schwel-Brenn eljárás technológiai vázlata.....	180
58. ábra. A Babcock-pirolízises eljárás vázlata.....	181
59. ábra. A Thermoselect eljárás főbb egységei.....	182
60. ábra. A plazmasugaras égetés vázlata	184
61. ábra. A Noell-féle konverziós eljárás vázlata.....	185
62. ábra. Hulladék együttégetés klinkerkemencében	187
63. ábra. Baktériumok szaporodási görbéje	198
64. ábra. A komposztálás általános folyamatábrája.	201
65. ábra. A komposzt termikus tulajdonságai	207
66. ábra. Forgatott prizmák jellemző méretei	209
67. ábra. Levegőztetett prizma tipikus méretei	210
68. ábra. Függőleges átfolyású folytonos komposztálóreaktor-megoldások	211
69. ábra. A metánfermentáció háromlépéses modelljének egyszerűsített sémája, az elektronáramlás százalékos megoszlásával.	215
70. ábra. A gáztermelés hőmérsékletfüggése metános fermentáció során.....	217
71. ábra. Egy depóniában keletkező depóniagáz mennyisége	225
72. ábra. Hulladéktechnológiai dilemmák.....	227
73. ábra. Gyors vízszűrő.....	231
74. ábra. Szűrőnuccsok.....	232
75. ábra. Gyertyás szűrő	233
76. ábra. Keretes szűrőprés	234
77. ábra. Vákuum-szalagszűrő	235
78. ábra. Vákuum-dobszűrő	235
79. ábra. Szakasos üzemű ülepitőtartály.....	237
80. ábra. Hosszanti átfolyású ülepitőmedence	237
81. ábra. Dorr-típusú, radiális áramlású ülepitő	238
82. ábra. Dortmundi-típusú ülepitő medence	239
83. ábra. A flokkulálás mechanizmusa.....	240
84. ábra. Függő centrifuga.....	242
85. ábra. Csigás centrifuga	243
86. ábra. A felúszó levegőbuborék felülete.....	244
87. ábra. Folyamatos rektifikáló-kolonna	247

88. ábra. Abszorpciós-deszorpciós ciklus kapcsolása, melegítéssel	249
89. ábra. Elkülönített adszorpciós/deszorpciós ciklusú állóágyas adszorber	250
90. ábra. Áramlás membránberendezésben	254
91. ábra. A membránszeparációs műveletek jellemző mérettartományai	255
92. ábra. Néhány fém-hidroxid oldhatósága a pH függvényében	257
93. ábra. Néhány fém-szulfid oldhatósága a pH függvényében	258
94. ábra. A csapadékképzés folyamatábrája	261
95. ábra. A víz fázisdiagramja	266
96. ábra. Kútban végrehajtott nedves oxidáció kivitelezése	267
97. ábra. A víz tulajdonságainak változása a hőmérséklet függvényében 25,3 MPa nyomáson	268
98. ábra. A szuperkritikus nedves oxidáció megvalósításának egyszerűsített vázlata	269
99. ábra. Fémvisszanyerés elektrolízis segítségével	273
100. ábra. Az elektrodialízis megvalósításának folyamata	274
101. ábra. Kéziszitálás	275
102. ábra. A szitálás eljárásai	276
103. ábra. Szemcsék áthullása a szitanyíláson	276
104. ábra. Szitálás anyagmérlege	277
105. ábra. Szitalap kialakítása, szabad szitafelülete	279
106. ábra. Mozgatott rácsprofilok	280
107. ábra. Keresztrudak hajtása	280
108. ábra. Keresztrudak hajtása kúpos	280
109. ábra. Dobszita	281
110. ábra. Sík rezgősziták felépítése	282
111. ábra. Szemcsére ható erők rezgő szitálásnál	283
112. ábra. Szitálás valószínűsége	283
113. ábra. Rezgősziták mozgatása	284
114. ábra. Gömbszemcse mozgása nyugvó közegben	285
115. ábra. Süllyedési végsebesség függése a közegeellenállási tényezőtől, szemcse alaktól és szilárdanyag-koncentrációtól	285
116. ábra. Együttülepedés	286
117. ábra. Osztályozás áramkészülékkel ellen- és keresztáramú közeggel	286
118. ábra. Hátráltatott ülepedésű keresztáramú mechanikus és mozgóalkatrész nélküli áramkészülékek	287

119. ábra. Szabad és hátráltatott ülepedésű ellenáramú mozgóalkatrész nélküli áramkészülékek	288
120. ábra. Száraz áramkészülékek.....	288
121. ábra. Kéziválogató-munkahelyek kialakítása.....	291
122. ábra. Automatikus válogatás folyamata	292
123. ábra. Automatikus válogató berendezés elvi vázlata	293
124. ábra. Légáramban történő szétválasztás módja	295
125. ábra. Keresztáramú áramkészülék kialakítási	295
126. ábra. Elszívó áramkészülék a kis sűrűségű anyagok leválasztására.....	296
127. ábra. Ellenáramú légáramkészülék sűrűség szerinti száraz szétválasztásra (Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék által tervezett).....	296
128. ábra. Áramkészülékkel való sűrűség szerinti szétválasztás eredménye: tömeg-eloszlás a légsebesség függvényében építésihulladék-komponensenként.....	297
129. ábra. Légszér	298
130. ábra. Vaskiválasztó berendezések típusai	299
131. ábra. Elektrosztatikus szeparátor.....	300
132. ábra. Örvényáramú szeparátor.....	300
133. ábra. Membrános (vibrációs) ülepítőgép [7].....	303
134. ábra. Álló (a) - és mozgósítás (b) ülepítőgép vázlata	303
135. ábra. Nedves lökött szér	304
136. ábra. Nedves áramkészülékek	305
137. ábra. Nehézsuszpenziós készülékek	306
138. ábra. A nyers hulladék-minta főbb alkotóinak eloszlása szemcseméret szerint (Pécs, 2006)	318
139. ábra. A nyers hulladék-minta éghető és neméghető alkotóinak együttes eloszlása szemcseméret szerint (Pécs, 2006).....	318
140. ábra. A hagyományos hulladékkezelés rendszere	320
141. ábra. Szelektív gyűjtési eljárások	321
142. ábra. Szervezeti rendszer.....	326
143. ábra. Gyűjtési és előkészítési rendszer	327
144. ábra. Válogatómű technológiai vázlata	332
145. ábra. A szárfelbontás gépi megoldásai	332
146. ábra. Linzi kétszalagos válogatómű, 55 000 t/év (A.S.A)	335
147. ábra. Mechanikai-biológiai stabilizálás. Megoldás 1	338

148. ábra. Mechanikai biológiai stabilizálás: Megoldás 2	338
149. ábra. A Polgárdi lerakón alkalmazott biológiai-mechanikai stabilizálás technológiai vázlatá.....	341
150. ábra. Mintavétel az üzemi mechanikai biostabilizálás során	341
151. ábra. A polgárdi lerakón folyó üzemi méretű biostabilizálási kísérlet.....	342
152. ábra. Autó-recycling.....	349
153. ábra. Autó-bontóüzem (GAZ-HESE): száraz állapotba hozás (folyadékok leszívása)..	350
154. ábra. Autó-bontóüzem:bontószalag(GAZ-HESE)	350
155. ábra. A kisserelt használt alkatrészek az autó-bontóüzemben (GAZ-HESE).....	350
156. ábra. Maradék-karosszéria préselése.....	350
157. ábra. Az autó szerkezeti anyagai	352
158. ábra. Az autó szerkezeti anyagainak fizikai tulajdonságai.....	352
159. ábra. Száraz előkészítési technológia (Lindemann Maschinenfabrik GmbH).....	353
160. ábra. Autó-hulladék nedves előkészítés (Newell Industries Ltd)	354
161. ábra. Száraz előkészítési technológia	355
162. ábra. A kalácsos shredder alsó szitaráccsal	357
163. ábra. A kalácsos shredder felső szitaráccsal.....	357
164. ábra. A kalácsos shredder kialakítása és táplálása billenő adagolással.....	358
165. ábra. A kalácsos shredder kialakítása és táplálása surrantó-adagolással.....	358
166. ábra. A kalácsos shredder adagoló és felhordó lemeztagos szalagja	358
167. ábra. Ellenáramú légáramkészülék és a komponensek kihozatalának alakulása a légsebesség függvényében e felső termékben.....	359
168. ábra. Mágneses szeparátorok.....	360
169. ábra. Örvényáramú szeparátor.....	361
170. ábra. Elektronikai hulladékok feldolgozása	371
171. ábra. Elhasznált eszközök bontási technológiája	373
172. ábra. Bontó munkahelyek (GAZ-HESE), [P.9].....	374
173. ábra. Bontószalag (GAZ-HESE) , [P.9], [75]	375
174. ábra. Ellenáramú áramkészülék a kis sűrűségű anyagok leválasztására	378
175. ábra. ALPINE cikk-cakk légáramkészülék kábelseparálásra	379
176. ábra. Kisháztartási gépek légáramkészülékkel történő szeparálásának kihozatal-légsebesség függvénygörbéi.....	379
177. ábra. Légszér	380
178. ábra. ALPINEI légülepítőgép.....	381

179. ábra. Vaskiválasztó berendezések típusai	381
180. ábra. Fémtartalmú hulladékok tipikus előkészítési technológiája.....	383
181. ábra. Goslari (Electrorecycling GmbH., Németország) előkészítési technológia, [4]	384
182. ábra. A képcsőüveg leválasztása a goslari üzemben	385
183. ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája (Budapesti Intermetall Kft. technológiája)	387
184. ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája (ALPINE GmbH, Augsburg), [P.14.]	388
185. ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája (ALPINE GmbH, Augsburg), [P.14., 50] nagy sodrott kábel arányú feladásra	389
186. ábra. Elhasznált hűtőszekrények előkészítési technológiája	390
187. ábra. Kaldo-kemence működési elve	392
188. ábra. Fejlett ipari országok ólomtermelése	401
189. ábra. Használt savas akkumulátorok átlagos összetétele	406
190. ábra. Ólomakkumulátorok előkészítése	408
191. ábra. Elhasznált ólomakkumulátor előkészítési technológiája.....	409
192. ábra. A vekerdi üzem, előkészítési részleg szilárd anyagánakanyagmérlege	410
193. ábra. A vekerdi üzem kohászati részlegének törzsfája.....	412
194. ábra. Reciklálási technológia [1].....	423
195. ábra. Késes őrlő [1]	424
196. ábra. Hengeres őrlőgép (a: hulladék, b: őrlemény, c: törőhenger pár, d: hajtómű, e: rugóköteg) [1].....	425
197. ábra. Mosóduplikátor [1].....	426
198. ábra. Hidrociklon [1].....	427
199. ábra. Extrúziós granulálás folyamatábrája	427
200. ábra. PA-6 hidrolízise [1]	432
201. ábra. A pirolízis technológiai folyamatábrája [1].....	434
202. ábra. Biológiailag lebontható műanyagok körforgalma	440
203. ábra. Építési hulladékok, Ausztria, [4].....	452
204. ábra. Építési hulladékok	453
205. ábra. Építési bontási hulladékok összetétele, Németország, [5]	454
206. ábra. Építéshelyi hulladékok, Németország, [2]	456
207. ábra. A hulladék-beton töretéből készített beton-próbatest tulajdonsága	459

208. ábra. Útépítési hulladékok újrahasonosításra való előkészítése	464
209. ábra. Száraz technológiai[12, 13]	467
210. ábra. Szalagszéres nedves rendszer technológiai rendszer[12, 13]	467
211. ábra. Összefüggés az anyagsajátságok és az előkészítéstechnika között	469
212. ábra. A Waelz-eljárás sémája	472
213. ábra. A Primus-eljárás sémája	475
214. ábra. A Primus etázskemence anyagáramlása és a fő reakciók.....	476
215. ábra. Az Oxyfines-eljárás sémája	479
216. ábra. Egy 32 kt/év kapacitású CONTOP üzem folyamatábrája	481
217. ábra. A Contop reaktor képe	482
218. ábra. Az OxyCup –eljárás sémája	484
219. ábra. A plazmás üvegesítő olvasztás jellemző berendezései.....	488
220. ábra. A Scandust-eljárás folyamatábrája	491
221. ábra. A hidrometallurgiai műveletek általános törzsfája.....	492
222. ábra. Az Ezinex-eljárás törzsfája	495
223. ábra. Katódon leválasztott dendrites cinkpor fotója.....	495
224. ábra. Ezinex–Indutec-eljárás törzsfája	496
225. ábra. Az EZINEX-eljárás törzsfája	497
226. ábra. A Fastmet-eljárás sémája.....	502
227. ábra. A Fastmet-eljárás forgófenékű kemencéjének metszete és felülnézete	502
228. ábra. A forgófenékű kemencében lejátszódó redukciós folyamatok.....	503
229. ábra. Az SL/RN-eljárás törzsfája	507
230. ábra. Hulladék-minimalizálási technikák	510
231. ábra. Termelésbe integrált környezetvédelem blokksémája [6].....	515
232. ábra. Salétromsavgyári véggáz nitróz-tartalmának kinyerése [6], (a: kiegészítő abszorber, b: regeneráló torony, c: hígsavhűtő, d: végabszorber)	522
233. ábra. Katalizátoros berendezés nitrogén-oxidok mennyiségének csökkentésére [6], (a: tisztítatlan füstgáz, b: ammónia-levegő keverék, c: katalizátor szintek, d: tisztított füstgáz)	523
234. ábra. A nedves füstgáztisztítási technológia vázlata.	544
235. ábra. A félszáraz füstgáztisztítás technológiai vázlata	546
236. ábra. Magyarország primer- és végenergia felhasználásának megoszlása 2004-ben....	577
237. ábra. Rostélyos fatüzelésű rendszer vázlata.	593
238. ábra. Cirkulációs fluidágyas elgázosító körfolyamat	596
239. ábra. A folyamat vázlata.....	597

240. ábra. A szeszdesztillációs egység.....	600
241. ábra. A hulladékhasznosítási megoldások vázlata	601
242. ábra. Kukoricaalapú etanolgyártás és égetés-villamosenergiaelőállítás összehasonlítása	602
243. ábra. Az OFMSW potenciális elő- és utókezelési technológiáinak áttekintése	606
244. ábra. Egyfokozatú nedves üzemű rendszer tipikus kialakítása	607
245. ábra. A száraz rendszereknél használatos reaktorkialakítások (balról jobbra: Dranco- rendszer, Kompogas- (BRV-) rendszer, Valorga-rendszer.).....	611
246. ábra. Szelektíven gyűjtött hulladék kezelésére alkalmas kétfokozatú, „nedves-nedves” üzemű rendszer.....	613
247. ábra. Iszaprohasztó építési formák. (1. hagyományos amerikai, 2. európai(német),3. tojásformájú)	615
248. ábra. A szervesanyag frakciók sorsa trágya biogázosításánál.....	616
249. ábra. Különböző iszap előkezelési módszerek KOI elfolyósítási hatásfoka a fajlagos energiaigény függvényében [kJ/g TS].....	618
250. ábra. Fűzklónok Cu- és Zn-tartalmának eloszlása a növényi részekben az összes Cu- és Zn-tartalom százalékában (SIMON, 2001).....	634
251. ábra. Az EU hulladékgazdálkodási jogi szabályozásának rendszere	645
252. ábra. A hulladékgazdálkodás hierarchiája.....	647
253. ábra. Az EU hulladékgazdálkodási jogi szabályozásának átalakítási terve	651
254. ábra. A logisztikai lánc egyszerűsített modellje [Nagy et al. 2001].....	665
255. ábra. A hulladékgazdálkodás menedzsment feladatai a különböző irányítási szinteken [Nagy et al. 2001].....	667
256. ábra Termelő vállalat belső anyagáramlásának egyszerűsített modellje.....	668

Táblázatjegyzék

1. táblázat. A főbb hulladékokból évente keletkező mennyiség Magyarországon (BAY-LOGI, Miskolc)	15
2. táblázat. A hulladékkezelő és hulladékhasznosító művek száma és kapacitása Ausztriában [Forrás: Umweltbundesamt,Anlagendatenbank,1998].....	16
3. táblázat. A hulladékjegyzék alcsoportjai (példa)	28
4. táblázat. A hulladékok csoportosítása [Ágostházi et al. 2001]	29
5. táblázat. A települési hulladékok csoportosítása [Ágostházi et al. 2001]	29
6. táblázat A Magyarországon évente keletkező hulladék mennyisége (Mt) [Bulla 2001]	33
7. táblázat Az utólagos (reaktív) és megelőző (preventív) környezetvédelem összehasonlítása [Tóth 1999].....	40
8. táblázat. 123/1997. (VII.18.) sz. Korm. rendelet korlátozásai	97
9. táblázat. A környezetföldtani kutatás különböző fázisai.....	98
10. táblázat. Hulladéklerakó-telepek kutatása során elvégzendő vizsgálatok fázisai és a vizsgálandó problémák köre (JÓZSA-HETÉNYI-RAINCSÁK, 1990.)	99
11. táblázat. A csurgalékvíz gyűjtésre és aljzatszigetelésre vonatkozó előírások.....	107
12. táblázat. csurgalékvízgyűjtő kialakítására vonatkozó előírásokat.....	114
13. táblázat. A depóniában lejátszódó folyamatok követelményei és következményei (KISS, 1992.).....	124
14. táblázat. A depóniagáz összetétele és az egyes komponensek koncentrációjának jellemző értékei (BILITEWSKI et al., 1990.).....	125
15. táblázat. 1 ha depóniafelület esetén várható csurgalékvíz mennyiség (m ³ /hó)	134
16. táblázat. A csurgalékvíz összetételének szélső értékei irodalmi adatok alapján (RAY-CHAN, 1986.).....	135
17. táblázat. Rekultivációs rétegeként leginkább ajánlott talajok	141
18. táblázat. A rekultivációs rétegben megengedhető szennyezőanyag-, valamint eluátumkoncentrációk (Deponieverordnung, Németország, 2002.)	142
19. táblázat. Különböző növények gyökérzetének lehatolási mélysége	142
20. táblázat. A lerakható biohulladékok csökkentési üteme	192
21. táblázat. Az aerob és az anaerob mikrobiológiai lebontás szén- és energiamérlegének összehasonlítása	197
22. táblázat. A komposztálás intenzív és érési szakaszának összehasonlítása.....	202

23. táblázat. A komposztálás során a 23/2003 (XII. 29.) KvVM rendeletben meghatározott minimális hőmérséklet-tartózkodási idő követelmények.....	204
24. táblázat. Különböző szervesanyag-fajták általános közelítő összetétele	205
25. táblázat. A komposzt levegőztetési igényének hőmérsékletfüggése.....	208
26. táblázat. A lerakott hulladékból keletkező depóniagáz mennyisége.....	225
27. táblázat. A szitálást befolyásoló tényezők.....	278
28. táblázat. Szerkezeti anyagok főbb fizikai tulajdonságai	290
29. táblázat. A hulladék-előkészítés mechanikai dúsítási	290
30. táblázat. Detektálási rendszerek automatikus válogatás céljára.....	294
31. táblázat. Elektromos szétválasztási eljárások.....	301
32. táblázat. Nedves sűrűség szerint szétválasztó (nedves gravitációs dúsító) eljárások alkalmazási területe	302
33. táblázat. A Magyarországon begyűjtött települési szilárd hulladék éves teljes és fajlagos (egy lakosra vonatkoztatott) mennyisége megyénként	311
34. táblázat A fővárosi települési szilárd hulladék összetétele az 1992-2002 években [15]	313
35. táblázat. A Baranya, Tolna és Somogy megyei vizsgálatok: összes begyűjtött.....	314
36. táblázat. A szitafrakciók anyagi összetétele (Pécs, 2006).....	316
37. táblázat. Az anyagi komponensek megoszlása a szitafrakciókban(Pécs,2006)	317
38. táblázat. A keletkező települési szilárd hulladékok anyagi összetétele (nedves tömeg) (Pécs, 2006).....	319
39. táblázat. Nyershulladék halmazsűrűsége (Polgárdi, 2002)	319
40. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének	322
41. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének	323
42. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének és	323
43. táblázat. Szelektív gyűjtési eljárások eredményességének	324
44. táblázat. Gyűjtési, válogatási és hasznosítási részarányok (előírás) a DSD bevezetésekor	325
45. táblázat. A válogatómű fő technológiai berendezései	334
46. táblázat. Fontosabb német előírások a lerakandó stabiláttal szemben [11, 12].....	339
47. táblázat. A másod-tüzelőanyaggal szemben támasztott (német) követelmények [11] és [12] szerint	339
48. táblázat. Szemcsefrakciók eljárástechnikai jellemzői (2002 július 24).....	343
49. táblázat. Szemcsefrakciók anyagi összetétele	344
50. táblázat. Statisztikai adatok az a forgalomból kivont személygépkocsikról	347

51. táblázat. Részegység-összetétel (elméleti adat)	348
52. táblázat. 30 db hulladékautó bontásának anyagmérlege (átlagértékek).	351
53. táblázat. 90 db előkezelt hulladék-autó shredderezésnek anyagmérlege (átlagértékek).	356
54. táblázat. Shredderezési maradványok kémiai összetétele	356
55. táblázat. Elektronikai és elektrotechnikai eszközök [12, 48]	365
56. táblázat. Az évente kidobásra kerülő HEEB mennyisége (tonna) Magyarországon.....	367
57. táblázat. A főbb elektromos hulladékok tömegarányai Magyarországon (becsült)	368
58. táblázat. Főbb elektromos hulladékok szerkezeti-anyagösszetétele [12].....	369
59. táblázat. Színes TV-k anyagi összetétele [12].....	369
60. táblázat. Színes képcső felépítése [12].....	370
61. táblázat. Színes képcső világító réteganyag összetétele [12]	370
62. táblázat. NYÁK anyag-összetétele [12]	370
63. táblázat. Az aprítás szükséges mértéke a fizikai feltárás érdekében	375
64. táblázat. Az aprítóberendezések alkalmazása a hulladékaprításban területe: nyíró- aprítógépek	376
65. táblázat. Az aprítóberendezések alkalmazása a hulladékaprításban területe: nyíró- aprítógépek	376
66. táblázat. Elhasznált elektronikai - elektrotechnikai készülékek szerkezeti anyagainak fizikai tulajdonságai.....	377
67. táblázat. Elektronikai hulladék előkészítés legfontosabb mechanikai szétválasztási (dúsítási) eljárásai.....	377
68. táblázat. Ólom árának alakulása	402
69. táblázat. Ólomtermelés a 90-es években	402
70. táblázat. Ólom-felhasználás összetétele a fejlett ipari országokban	403
71. táblázat. Energia-igény fémek előállításakor	403
72. táblázat. Ólom újrahasznosítása	404
73. táblázat. Képződő akkumulátor hulladék (Forrás: BAY-LOGI, Miskolc)	405
74. táblázat. Képződő akkumulátor hulladék részletezve (Forrás: BAY-LOGI, Miskolc) ..	405
75. táblázat. A legfontosabb műanyagok és jelölési rendszerük	420
76. táblázat. Építési hulladékok.....	455
77. táblázat. Az újrahasznosított termékek felhasználási lehetőségei	458
78. táblázat. Beton-nyomószilárdsága recycling és hagyományos adalékanyagból készített beton esetén	459
79. táblázat. Vizsgálati lépcsők feldolgozó létesítményben a hulladék átvételekor	462

80. táblázat. A törőberendezések egymáshoz való kapcsolata.....	466
81. táblázat. A hulladékok előkészítésénél alkalmazott aprítóberendezések.....	466
82. táblázat. Input és output adatok.....	472
83. táblázat. A 60 millió t elektroacélt termelő európai üzemekben képződő hulladék összetétele.....	473
84. táblázat. A technológia termékének, a nagy fémesítettségű fokú vasszivacs összetétele	475
85. táblázat. A jellemző szennyező eltávolítási hatások; EAF por és reveiszap esetén...	475
86. táblázat. Az ívkemencében gyártott nyersvas fő mutatói.....	475
87. táblázat. A fajlagos anyagfelhasználási mutatók 1 tonna nyersvasra* és 1 tonna porra** számítva.....	476
88. táblázat. A kísérletileg meghatározott eltávolítási hatások (%).....	478
89. táblázat. Egy 20 kt/év kapacitású contop-reaktor adatai	481
90. táblázat. Az eljárás anyagmérlege	482
91. táblázat. Néhány műszaki adat a Japánban üzembe helyezett plazmakemencéről	487
92. táblázat. Az ívkemencében gyártott szénacélok filterporainak összetétele különböző szerzők szerint	489
93. táblázat. Az ívkemencében gyártott saválló acélok filterporainak összetétele különböző szerzők szerint.....	489
94. táblázat. Az oldás után kapott dús oldat tipikus összetétele g/l-ben	493
95. táblázat. A kapott szűrt, szárított ferritpor %-os összetétele	499
96. táblázat. Műszaki adatok egy demonstrációs és két ipari üzemről	503
97. táblázat. A kakogawai példa alapján a betét és a termékek összetétele %-osan	504
98. táblázat. A különböző helyszíneken megvalósított eljárásokban használt szenek összetétele	507
99. táblázat. Veszélyességi jellemzők (forrás: Hgt. 2. sz. melléklet).....	511
100. táblázat. Méregerősség szerinti osztályozás (forrás: 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet 1. sz. melléklet), [5b]	513
101. táblázat. Szilárd és iszapszerű vegyipari hulladékok vizsgálati módszerei ([7] alapján)	518
102. táblázat. Folyékony vegyipari hulladékok vizsgálati módszerei ([7] alapján).....	519
103. táblázat. Néhány szerves anyag égéshője.....	581
104. táblázat. Az állatállomány és összes élősúly adatai a hasznos trágyakomponens hozamokkal	588

105. táblázat. A települési szennyvízkezelésből keletkezett iszap elhelyezése és hasznosítása	589
106. táblázat. FKFV budapesti szeméttégetőjébe kerülő települési szilárd hulladékok elemzési eredményei	590
107. táblázat. Makroelem koncentrációk összehasonlítása különböző települési hulladékokban és fűzekben a nitrogénhez viszonyítva (N=100) (ARRONSON et al., 2002)	633
108. táblázat Példák abszolút és relatív indikátorokra	684