

7.1. SZILÁRD TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK ELŐKÉSZÍTÉSI TECHNOLÓGIÁI

A fejezet szerzői: Prof.Dr. Csőke Barnabás, Dr.Bokányi Ljudmilla, Nagy Sándor

7.1. A települési szilárd hulladék hulladékok előkészítése és hasznosítása

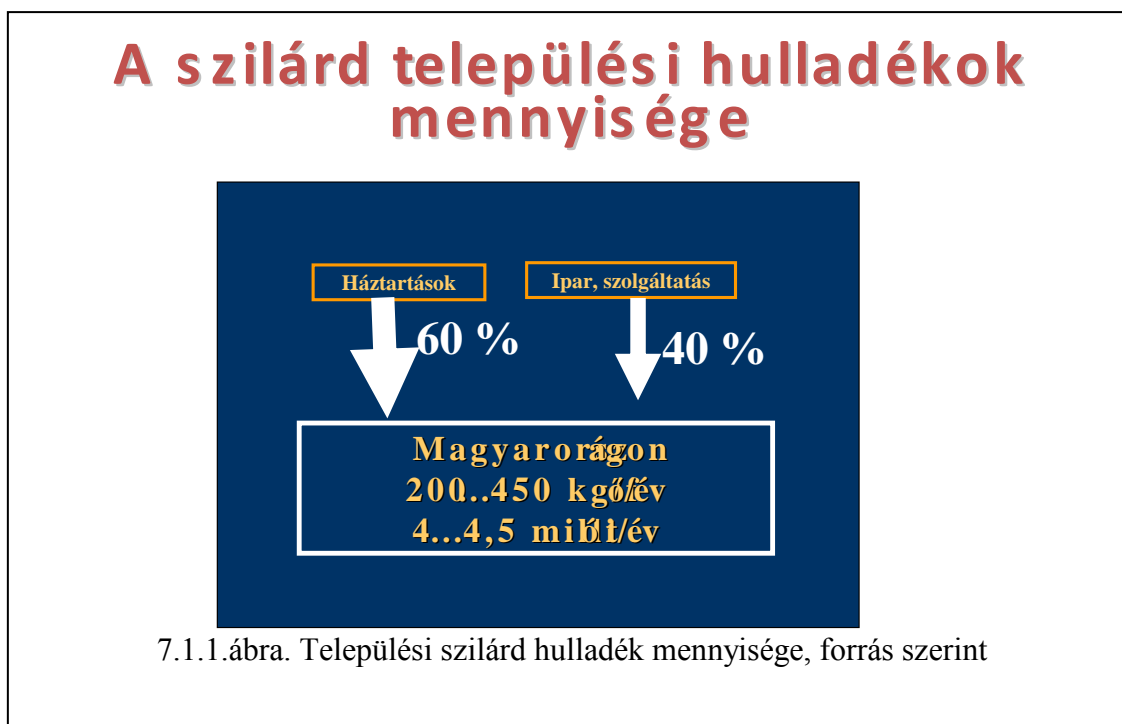
7.1.1. A települési szilárd hulladék hulladékok mennyisége, szemcsemérete és anyagi összetétele

A szilárd települési és háztartási hulladékok mennyiségére és összetételére számos adat létezik.

A haza statisztikai adatok alapján:

- **Magyarország összesen (átlagban): 358...477 kf/fő.év**
- Városok (átlagban): 409...545 kf/fő.év
- Falvak (átlagban): 241...321 kf/fő.év

A forrás oldalt a 7.1.1.ábra szemlélteti.



A nemzetközi adatokat a 7.1.1.táblázat mutatja be.

7.1.1.táblázat. Nemzetközi adatok a hulladék mennyiségéről
(Bánhid J)

Ország	települési hulladék,kg/fő
Németország	581
Hollandia	622
Svédország	515
Ausztria	601
Dánia	802
Belgium	493
Franciaország	543
Olaszország	561
Egyesült Királyság	565
Spanyolország	575
Magyarország	453
Görögország	453
Szlovákia	328
Cseh Köztársaság	306
EU 27	524
USA	cc. 800

A szilárd települési hulladékok feldolgozási-előkészítési folyamatának kialakításához nélkülözhetetlen a nyers hulladék eljárás technikai jellemzőinek megállapítása.


Ehhez a nyersmintából legalább 5 m³, 400..500 kg mintát kell venni, a szabványban előírt módon és meg kell állapítani az alábbi eljárás technika 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, másrészt forrásonként (háztartási, ipari) is, továbbá a településeken az eltérő települési környezet szerint is meg kell állapítani az anyagi összetétel. Az általunk elvégzett vizsgálatok 7.1.2.-7.1.5.táblázatokba foglaltuk.

7.1.2.táblázat.

A települési szilárd hulladék jellemző összetétele napjainkban Magyarországon (%), 2006

Hulladékalkotó	Országos átlag	Nagyváros, átlag	
Papír-karton-kompozit	10	17	 USA 48 %
Műanyag	13	15	
Textil	3	3	
Üveg	5	4	
Fém	3	4	
Bomló szerves	39	33	
Egyéb	27	24	

7.1.3.táblázat

Anyagi összetétel település szerkezet szerint

	Anyagnév	Tömegarány, %		
		Lakótelep	Családi ház	Falusi családi ház
1.	Bio	8,1	33,2	10,2
2.	Papír	17,8	10,4	8,3
3.	Textil	6,2	1,6	6,5
4.	Műanyag	15,5	12,3	15,4
5.	Üveg	3,4	1,7	3,5
6.	Fém	3,5	2,3	6,1
7.	Egyéb éghető	7,1	3,2	1,9
8.	Éghetetlen	0,2	1,1	1,1
9.	Higiéniai	3,8	4,9	4,1
10.	Veszélyes	1,2	0,5	0,2
11.	Finom	33,2	28,8	42,7
12.	Összesen	100,0	100,0	100,0

7.1.4.táblázat

**Háztartási hulladékhoz hasonló
ipari hulladék
konténeres gyűjtésével kapott anyag
összetétele**

Konténeres gyűjtés

• Papír, karton	60 %
• Fólia, műanyag	25 %
• Egyéb	15 %
	100 %

Gyűjtési hatások: 70...90 %

7.1.5.táblázat

Anyagi összetétel a szitafrakciókban

Szemcse- méret	Tömeghányad, %			
	Szemcse- farkciókban	Éghető	Nem-éghető	Biológiai úton lebomló
<50	21.1	0.8	74.5 36.5	74.5 29.3
50-100	35.5	27.0	33.9	45.2
100-500	43.4	72.2	29.6	25.5
Összesen	100.0	100.0	100.0	100.0

Az anyagi komponensek szemcseméret szerint eloszlását vizsgálva megfigyelhető:

- A biológiailag lebontható rész 75 %-a a <50 mm-es szemcsefrakcióban helyezkedik el, ezzel szemben a papír és a műanyag >90 % -a a > 50 mm-es szemcseméret-halmazban található.
- Ez a magyarázata a szitafrakciók fűtőértékének, amelyet a 7.1.5.táblázatban figyelhetünk meg.

7.1.6.táblázat

Vaskút (Hungary, 2010)		
MBH	Szemcse- méret, mm	Fűtőérték, MJ/kg
Stabilát	<40	5,46
RDF	<50	8,65
RDF	50-75	14,25
RDF	75-100	20,00
RDF	100-150	22,87
RDF	>150	21,07

Fontos jellemző a halmazsűrűség:

7.1.7.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 anyagi összetétel, fűtőérték, hamutartalom egymással összefüggő változását részletesebben a biostabilizálásról szóló fejezetben mutatjuk be.

A fentiek alapján a szilárd települési az együttkezelhetőség szempontjából hulladék három fő hulladékcsoportra bontható (7.1.8.táblázat):

7.1.8.táblázat

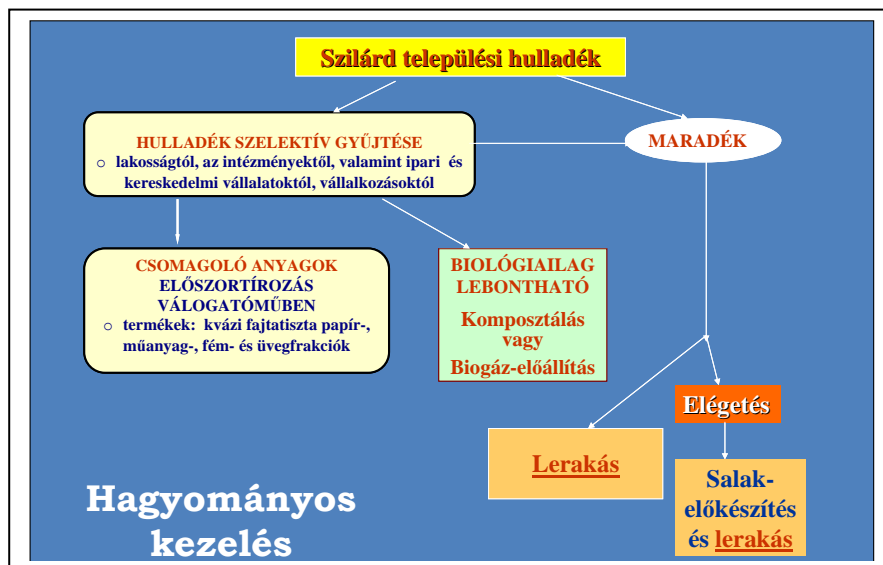
Együttkezelhető anyagcsoportok a TSZH-ban

1) Csomagoló anyagok: 30 ... 40 %; *üveg* : fehér, barna, zöld; *papír*: nyomdai termékek, karton, hullámpapír; *könnyű csomagoló anyagok*: fémek: vas és alumínium konzerves, italos és más dobozok; műanyagok.

2) Biohulladékok: 30 ... 50 %; biológiailag lebontható természetes anyagok (növényi hulladék, ételmaradék stb.).

3) Maradvány: 30 ... 10 % .

Ezek alapján az alábbi kezelési koncepció alakítható ki:



7.1.2.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.

A különböző országokban a kezelési eljárások arányai jelentősen eltérnek egymástól (7.1.9.táblázat). Mindemellett megfigyelhető, hogy a fejlett hulladékgazdálkodással rendelkező országok az egyes eljárásokat egyidejűleg fejlesztik.

7.1.9.táblázat.

Nemzetközi adatok a TSZH kezelési módokról (Bánhidó J):				
	Arány a teljes TSZH- belül, %			
Ország	Lerakás	Égetés	Komposztálás	Újrahasznosítás
Németország	1	35	17	48
Hollandia	1	39	27	32
Svédország	3	49	13	35
Ausztria	3	27	40	29
Dánia	4	54	18	24
Belgium	5	36	25	35
Luxemburg	19	36	20	25
Átlag	5	39	23	33

Természetesen a korlátozott területtel rendelkező országok gyakran az égetést előnybe részesítik (7.1.10.táblázat).

7.1.10.táblázat

Nemzetközi adatok a TSZH égetés alkalmazásáról (Bánhidó J):

ORSZÁG	ÉGETÉS ARÁNYA,%
Németország	35
Hollandia	39
Svédország	49
Ausztria	27
Dánia	54
Belgium	36
Franciaország	32
Egyesült Királyság	10
Spanyolország	9
Görögország	0
Csehország	13
Svájc	80
USA	17
Japán	90

Brema*: 100 %
Hamburg: 76 %
Első égetőmű: 1894

EU:
400 Égetőmű
Kapacitásuk: 51 Mt/y
20 % -a a teljes TSZH

Szelektív gyűjtési eljárások

A legfontosabb szelektív gyűjtési eljárásokat a 7.1.2.ábra foglalja össze. 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.



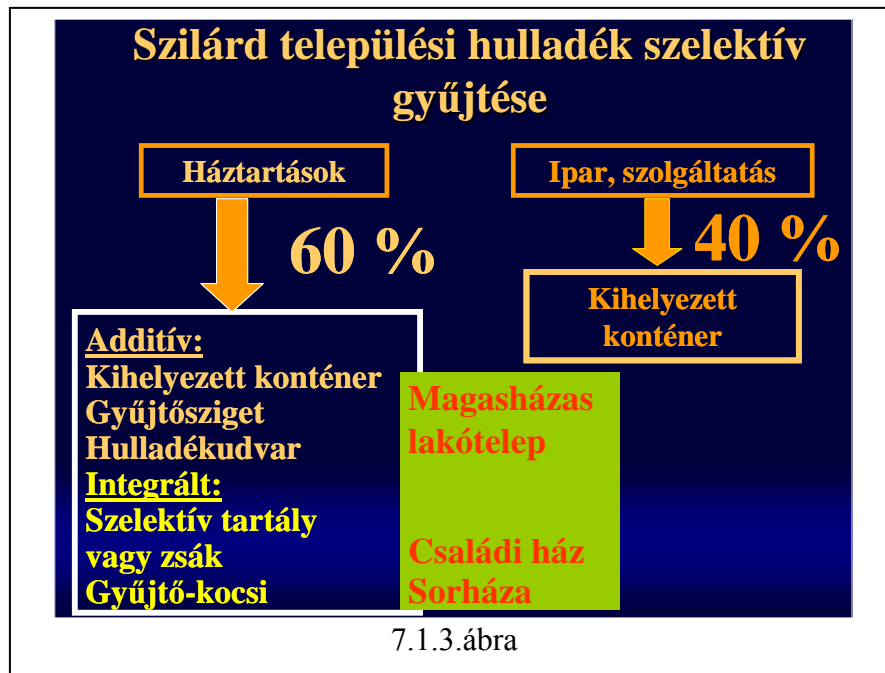
7.1.2.ábra

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
- Piaci lehetőségek

Sűrűn lakott települési környezetben hatékony megoldást jelent a kihelyezett konténerek telepítése (7.1.4.-7.1.5.ábra). A fentiekből kitűnik, hogy a háztartásokból a szelektív gyűjtés a kombinált eljárásokkal a leghatásosabb: konténérbe az üveget és a papírt, esetleg a fém-csomagolóanyagokat célszerű gyűjteni; a könnyű csomagolóanyagokat pedig vagy zsákba vagy tartályba (7.1.6.ábra). Az iparból a szelektív begyűjtést konténérrel, kisebb egységeknél vagy nagyobb könnyű csomagolóanyag-mennyiségnél (pl. kisebb étterem) tartályba. Egyedi családi házaknál zsák, vagy tartály alkalmazása, a lakosság sűrűség növekedésével pedig az

legelőnyösebb a gyűjtőszigetek alkalmazása kihelyezett üveg, papír, műanyag, esetleg fém konténerekkel (7.1.3.ábra).



Kihelyezett négytermékes konténer

Gyűjtési hatások: 10...30 %



7.1.5.ábra

Szelektívgyűjtés a lakóépületnél

Gyűjtési hatások: 40...70 %

Zsákos szelektívgyűjtés



7.1.6.ábra

7.1.2. Csomagoló-válogatóművek kialakítása, berendezései, üzemeltetése

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 értékesrésznek 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:

Válogatási teljesítmény (1 fő 1 óra alatt)

Csomagoló anyagok háztartásból zsákba gyűjtve (pl. DSD-anyag):

$$q_1 = 50-100 \text{ kg/h/fő}$$

• Csomagoló anyagok az iparból, kereskedelemből (konténer):

$$q_2 = 250-1000 \text{ kg/h/fő.}$$

7.1.7.ábra

A számítás módszerét, menetét egy példán keresztül mutatjuk be.

A létesítendő válogatómű két műszakban, évi 2500 órát üzemel, átlagos feldolgozó képessége 6 t/h, éves termelése 15 000 t.

VÁLOGATÓSZALAG-TERVEZÉS

$$q_1 X Y = Q_1 \quad \text{t/év}$$

$$q_2 (T - X) Y = Q_2 \quad \text{t/év}$$

amelyben

Q_1 - könnyű csomagolóanyag (DSD-sárga zsák anyaga)

Q_2 - iparból származó hulladék

X (DSD – re fordított munkaidő)

Y (munkások száma) ismeretlen,

T – éves üzemóra (2500 h/év)

7.1.8.ábra

Ha $q_1 = 0,075$ t/h.fő, $q_2 = 0,5$ t/h.fő és $T = 2500$ h/év,
 valamint $Q_1 = 5000$ t/év (DSD-sárga zsák anyaga) és
 $Q_2 = 20000$ t/év (iparból származó)

$$0,075 \times Y = 5000$$

$$0,5 (2500 - X) Y = 20000$$

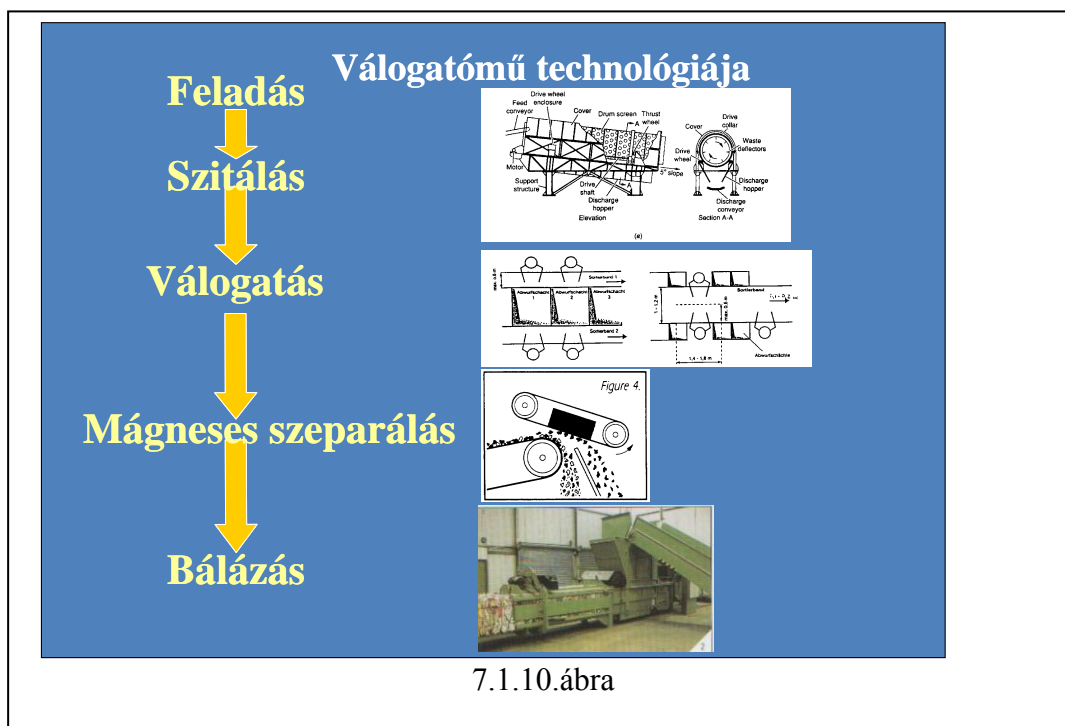
a válogató munkások száma $Y = 42$ fő;

- üzemidő $X = 1563$ h/év a DSD anyagra
- $2500 - X = 938$ h/év üzemidő az iparból származóra.

7.1.9.ábra

Technológiai folyamatok, üzemmód

A technológiai folyamat az alábbi eljárásokat, műveleteket foglalja magába (7.1.10.ábra):

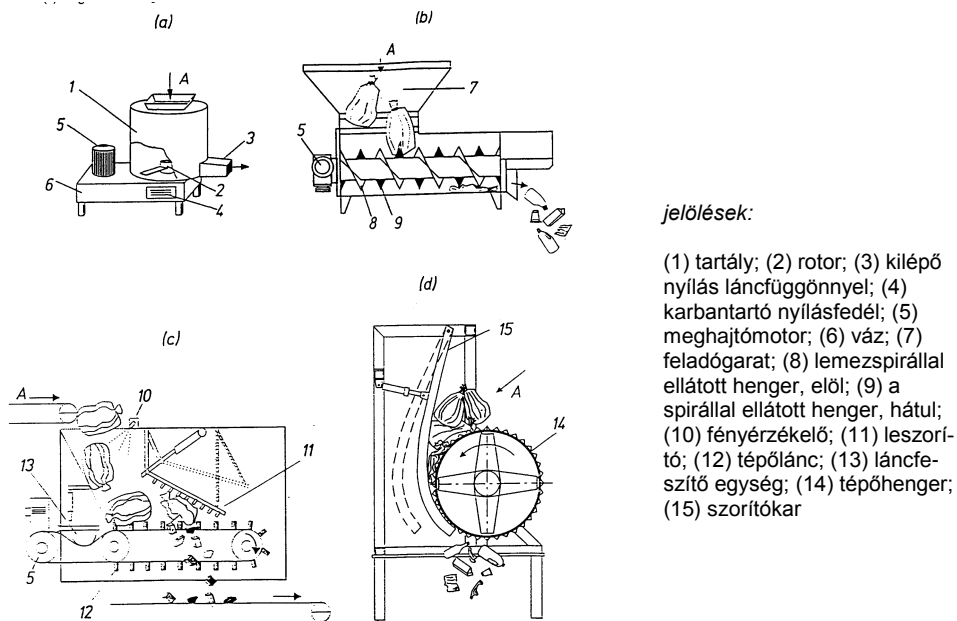


7.1.10.ábra

- 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 (7.1.11.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 hosszengelye 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.

A 7.1.11.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



7.1.11.ábra. A székfelbontás gépi megoldásai

◇ 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.

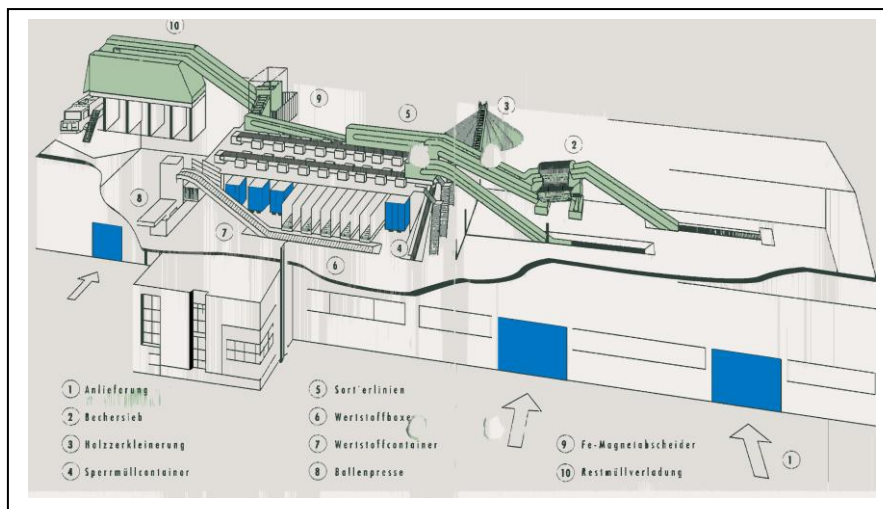
Alapvetően üzem módot különböztetünk meg:

- **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

7.1.11.táblázat:A válogatómű fő technológiai berendezései
<p>Szortírozó rendszer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Feladószalag (zsákfeltépő) 2. Dobszita (kétsíkú) 3. Vibrátor (egysíkú) 4. Mágneses szalagszeparátor 5. Mágneses dobszeparátor 6. Válogatószalag 7. Örvényáramú szeparátor
<p>Késztermék kezelése:</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Bálázó feladószalag 9. Bálázó berendezés
<p>Levegőtisztító rendszer:</p> <ol style="list-style-type: none"> 10. Ventilátor 11. Porszűrő 12. Klimatizálás

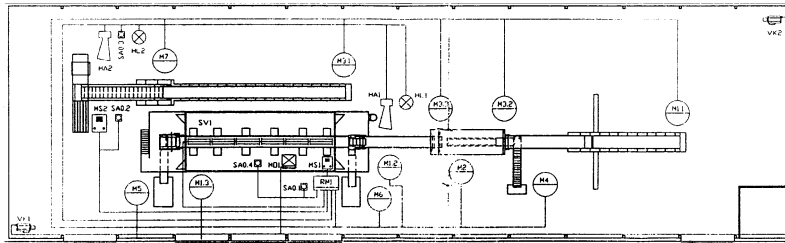
A válogató üzem kialakítására alkalmazott leggyakoribb megoldásokat a 7.1.12. – 7.1.15.ábrák mutatják be.



- | | |
|------------------|----------------------------|
| (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

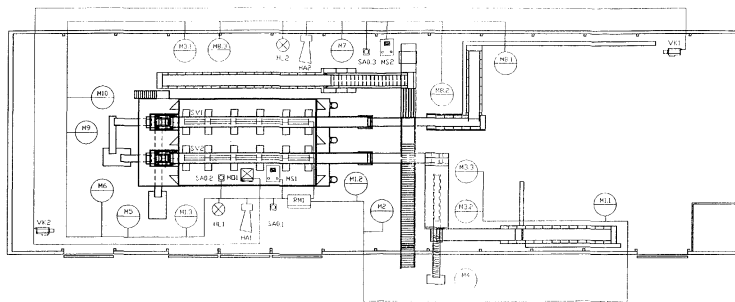
7.1.12.ábra. Linzi kétszalagos válogatómű, 55 000 t/év (A.S.A)

Egy-válogatószalagos üzem



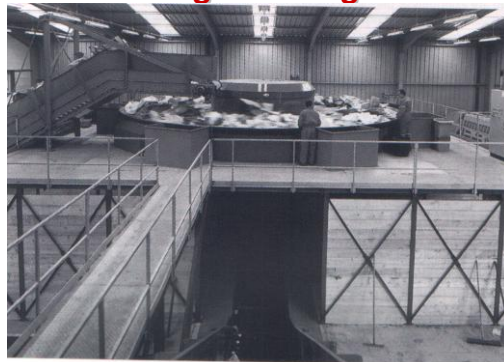
7.1.13.ábra

Két-válogatószalagos üzem



7.1.14.ábra

Kör-szalagos válogató üzem



7.1.15.ábra

7.1.3. Maradékanyag hasznosítás, kezelés mechanikai-biológiai stabilizálással (MBH). Másodtüzelőanyag-előállítás szilárd települési hulladékból

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 előbbiek 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 tüzelés-technikai 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 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 kőzetdarabok, 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.

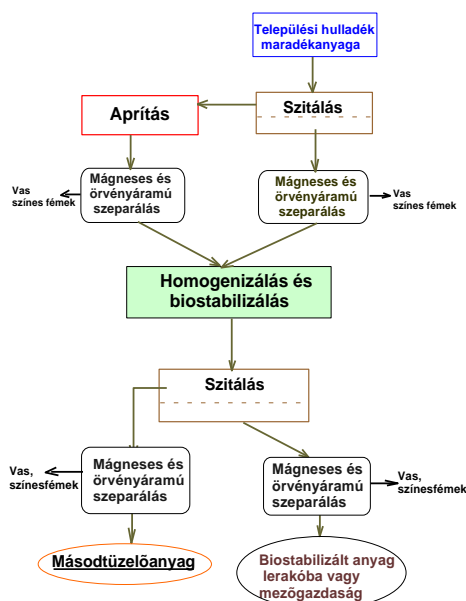
Mechanikai-biológiai stabilizálás (MBS, német rövidítése: MBA=Mechanisch-biologische Abfallbehandlung; angol rövidítés: MBT=Mechanical-biological treatment)

A mechanikai-biológiai stabilizálás általános célja:

- egy, a nagyfűtőértékű komponensekben gazdag és
- egy másik, a nagyfűtőértékű komponensekben szegény frakció előállítását, ill. ennek a terméknek lerakása: olyan lerakandó termék előállítását, 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 vigyünk (7.1.16.ábra). Ezért elsőként az anyagot biológiai úton stabilizálják és a stabilizált anyagból (a stabilátból) nyerik ki szitálással a nagyfűtőértékű komponensekben gazdag frakciót.



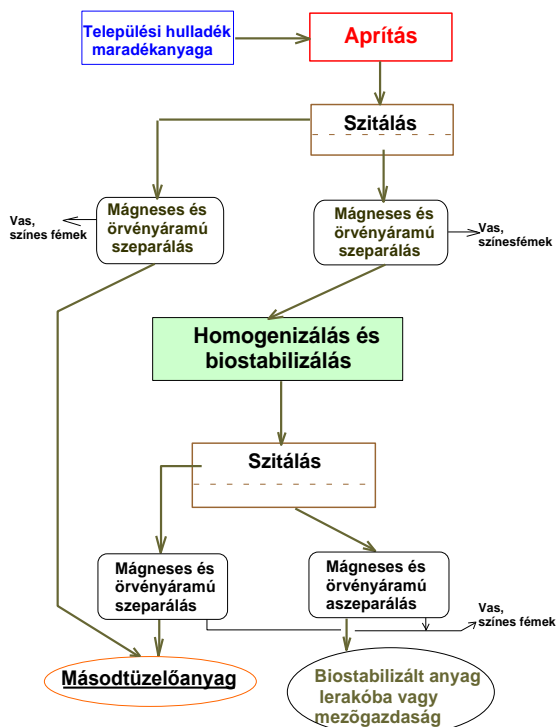
7.1.16.ábra. Mechanikai-biológiai stabilizálás. Megoldás 1

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.

2. Eljárástechnikai cél: az értékes és nagy fűtőértékű frakció a lehető legnagyobb nagymértékben történő leválasztása.

Itt az eljárástechnikai koncepció az (7.1.17.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.



7.1.17.ábra. Mechanikai biológiai stabilizálás:
Megoldás 2

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 (7.1.11. és 7.1.12.táblázat). A jól definiált termék egyik legfontosabb minőségi követelménye (7.1.12.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.

7.1.11.táblázat: Fontosabb német előírások a lerakandó stabiláttal szemben [11, 12]

Fűtőérték felsőhatár	≤ 6 000 kJ/kg _s száraz anyag
TOC (total organic carbon) száraz- anyagra	≤ 18 %
Oxigén-fogyasztás (AT ₄)	≤ 5 mg/g száraz anyag
Gázképződés (GB ₂₁)	≤ 20 NI/g száraz anyag
TOC _{eluat}	≤ 250 mg/l

7.1.12.táblázat: A másodüzelőanyag 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⁾
<i>Nehézfémek – I</i>		
Cd	mg/kg _{száraz}	4,0
Hg	mg/kg _{száraz}	0,6
Tl	mg/kg _{száraz}	1,0
<i>Nehézfémek – II</i>		
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
<i>Nehézfémek - III</i>		
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

Lényeges a környezetvédelmi 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.

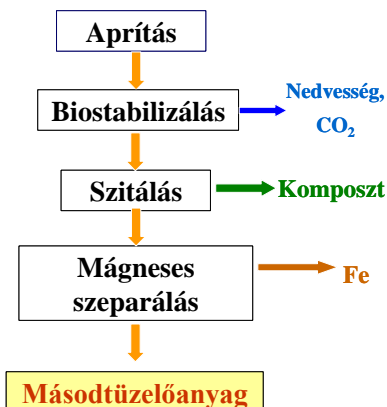
Németországban mintegy 26 **MBS**-üzem (német rövidítés: MBA) működik, összesen 1,7 millió t/év kapacitással [13].

Hazai nagyüzemi kísérleti vizsgálatok

A kísérleti vizsgálatok színhelye

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.

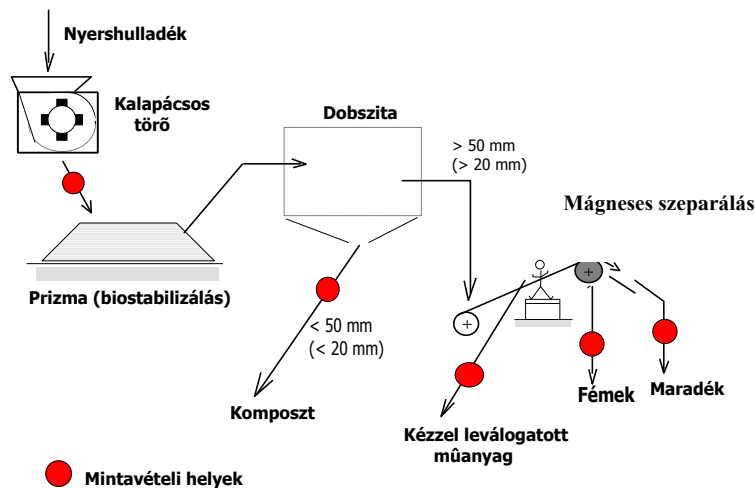
Technológiai folyamata [16]



7.1.18. ábra. A Polgárdi lerakón alkalmazott biológiai-mechanikai stabilizálás technológiai vázlatja

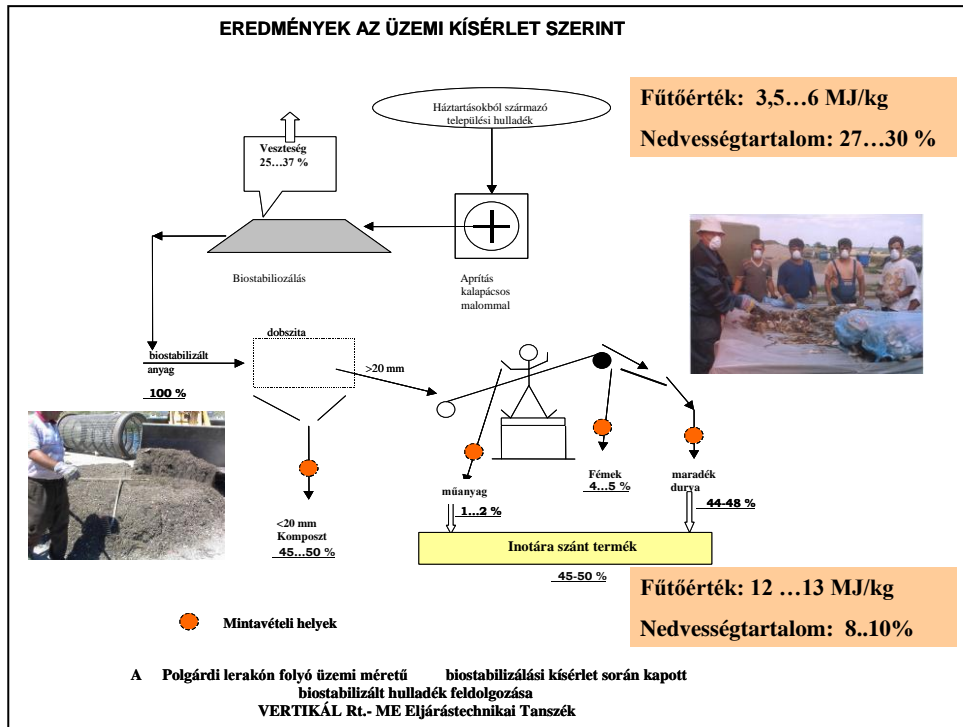
A hazai üzemi méretű mechanikai-biológiai stabilizálás eljárás technikai tapasztalatai

A technológiai folyamat valamennyi anyagáramából az ismertetett módon a 10. ábrán 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 frakciók anyagi összetételét, halmazsűrűségét, nedvességtartalmát, fűtőértékét és 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.



7.1.19. ábra: Mintavétel az üzemi mechanikai biostabilizálás során

Ezekre vonatkozó eredményt összefoglalóan a 11. ábra, valamint a 3. és 4. táblázat mutatja be.



7.1.20.ábra. A Polgárdi lerakón folyó üzemi méretű biostabilizálási kísérlet

Az adatokból megállapítható (7.1.20.ábra):

- Az aerób biológiai lebontás során 20...40 %-a csökken a hulladék mennyisége, víz és széndioxid távozik el.
- A stabilizált anyag 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.

Eljárástechnikai szempontból igen fontosak a részletek, nevezetesen a szemcsefrakciók tulajdonságai. Megállapíthatók (3. és 4.táblázat), hogy

- a fűtőérték a szemcsemérettel szignifikánsan nő (3.táblázat), miközben a hamu- és nedvességtartalom ellenkező képet mutat: a kisebb méretfrakciókban nő meg;
- mindegyik egyértelmű magyarázattal szolgál a 4.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 7.1.13. és 7.1.14.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.

7.1.13.táblázat: Szemcsefrakciók eljárástechnikai 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
NY ERS HULLADÉK				
		Fűtőérték MJ/kg	Nedvességtartalom [%]	Hamutartalom [%]
Σ mért		5,79	26,86	29,8

7.1.14.táblázat: Szemcsefrakciók anyagi összetétele

Szemcseméret [mm]	Tömeghányad [%]	2002.július 24-i mérés		
		Tömegarány, [%]		Száras anyagra vonatkoztatott fűtőérték F_o , [MJ/kg]
		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. – Grünekle, 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, Profikomp 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

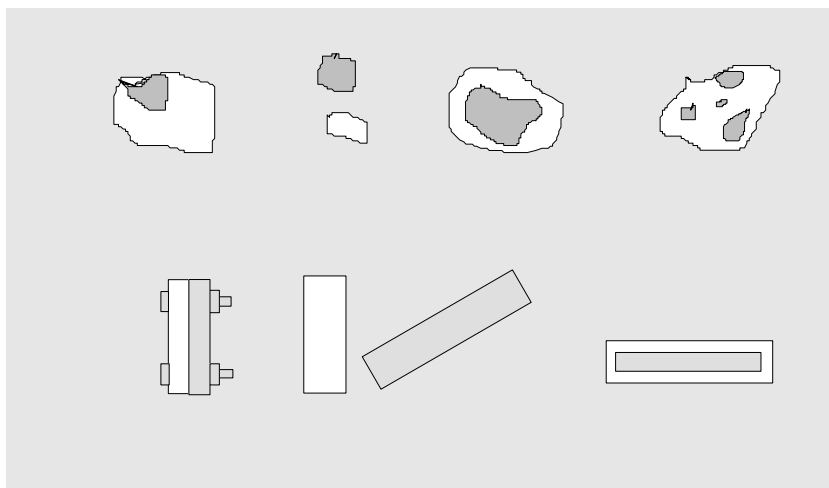
Fejezet szerzője: Prof. Dr. Csőke Barnabás, Nagy Sándor

Az elhasználadott eszközök (elektronikai készülékek, elektrotechnikai berendezések, háztartási eszközök, autók, akkumulátorok, elemek stb.) újrahasznosításának feltétele, hogy a felépítő anyagaik (fémek fajtánként, műanyagok fajtánként, papír, textil, üveg stb.) fajtatisztán egymástól elkülönítve álljanak rendelkezésre a feldolgozásra, felhasználásra. Az egyes komponensek - azaz az eszközöket felépítő anyagok, az ún. mérnöki szerkezeti anyagok- szétválasztása három módon lehetséges:

- 1 - szelektív bontás, anyagfajtákra való szétszerelés,
- 2 - aprítás után történő szelektív gépi szétválasztás,
- 3 - kombinált eljárás, bontás és gépi szétválasztás egyidejű vagy egymást követő alkalmazása.

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 részegységekre, építőelemekre szerelik szét. A szétszerelés csak előre megtervezett logisztikai rendszer alapján felépített és gyártott berendezések esetén lehetséges. 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 **mechanikai szétválasztási (azaz a komponensek fizikai, fizikai kémiai tulajdonságbeli különbségén alapuló) eljárásokat** alkalmazó megoldásnál az egymástól való gépi elválasztást megelőzően biztosítani kell az egyes anyagfajták, a komponensek egymástól való fizikai elkülönülését, azaz tehát a mechanikai szétválasztást a komponensek aprítással történő fizikai feltárásának kell megelőznie. A fémes hulladékok esetében komponensek összekapcsolódásának alaptípusait az 7.2.1. ábra, az aprítás kívánatos szemcseméretét a 7.2.1. táblázat mutatja be.



7.2.1.ábra. A Komponensek összenövésének, összekapcsolódásának jellege

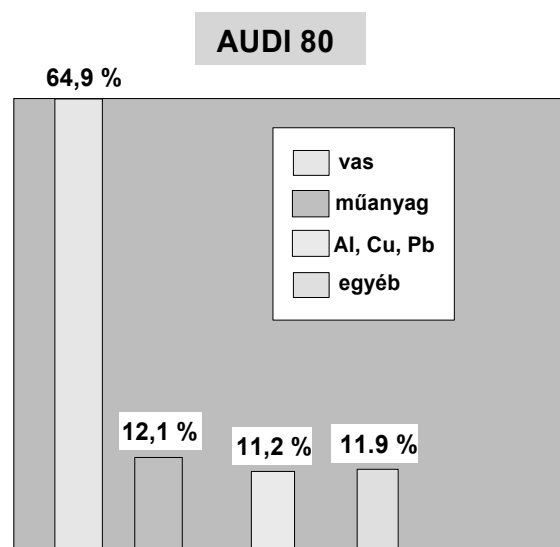
7.2.1.táblázat: Az aprítás szükséges mértéke a fizikai feltárás érdekében

Hulladékfajta	Aprítás minimális szemcsemérete ,[mm]
Személyautó	65
Akkumulátor	30
Telefon	5
Komputer	2
Chipek	1
Fémvezetővel rétegelt műanyaglapok	0,5

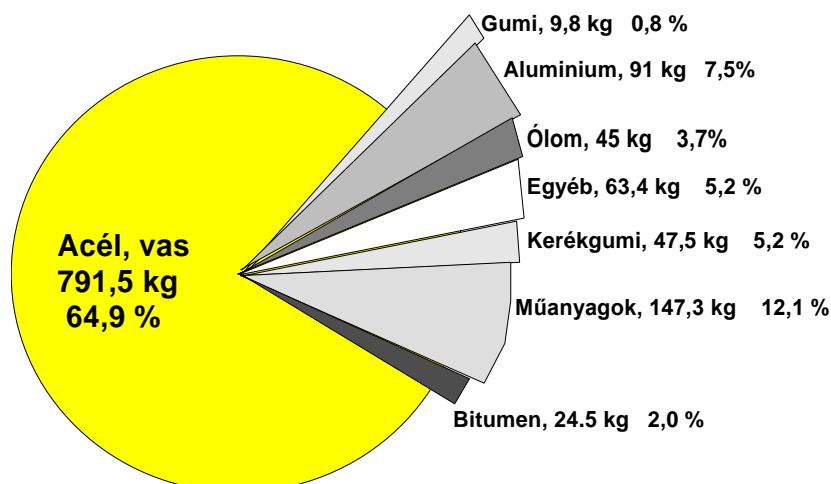
A **kombinált módszer esetén** részegységenként történik a szétbontás és ezt követően a kisserelt részegységeket, ill. építőelemeket, modulokat mechanikai eljárások alkalmazásával választják szét. Az egyes szerkezeti anyagok rendszerint további - a felhasználást és az értékesítést szolgáló- előkészítési műveleteken esnek át: pl. aprítás, szemcseméret szerint osztályozás, mosásos tisztítás, granulálás, tömörítés, bálázás, brikettezés.

7.2.1. Elhasznált autók mennyisége, részegységenkénti (alkatrészenkénti) szerkezeti és veszélyes anyagai

Az 7.2.1.-7.2.2. ábrák az autók anyagkijelölés szerinti összetételét, 7.2.2. táblázat pedig azok fizikai tulajdonságait tünteti fel. Kitérünk, 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 szeparáción túlmenően - főként sűrűség és elektromos tulajdonságbeli különbségre alapozott eljárásokból célszerű kialakítani.



7.2.2. ábra. Az autó szerkezeti anyagai



7.2.3. ábra. Az autó szerkezeti anyagai

	Vezetőképesség 10 ⁸ 1/Ω .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

7.2.2.táblázat. Az autó szerkezeti anyagainak fizikai tulajdonságaik

7.2.3.táblázat: Energia-igény fémek előállításakor

Komponens	Primer fém [GJ/t]	Sekunder fém [GJ/t]
Magnézium	400	11
Alumínium	270	14
Réz	115	19
Cink	30	10
Ólom	70	18

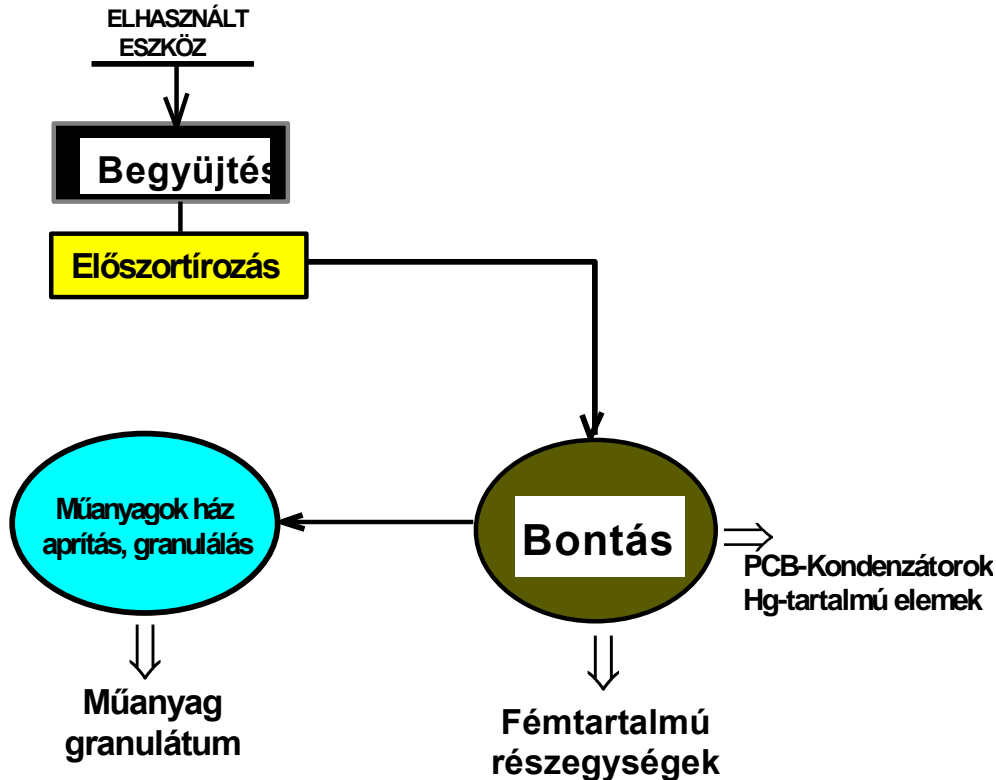
A 7.2.3.táblázat a fémeknek nyersérből és a hulladékok újrahasznosításakor a fémes termékekből való előállításához szükséges energiaigényt szemlélteti, az másodlagos fémeknél az energia-megtakarítás 35...96 % (az acélnál 62 %), amely biztosítja a gazdaságos újrahasznosítást.

7.2.2. Elhasznált autók bontási technológiája

Az elhasznált eszközök feldolgozásának komplett rendszer:

1) Begyűjtés - előszortírozás

=A folyamat decentralizált gyűjtéssel kezdődik (7.2.4.ábra).

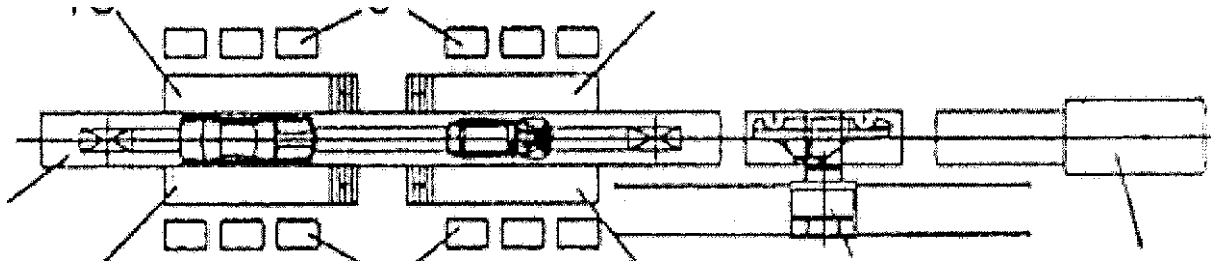


7.2.4.ábra. Elhasznált eszközök bontási technológiája

2) Bontás

A bontás többlépcsős folyamat (7.2.5.-7.2.7.ábra):

- 1.) a veszélyes anyagokat tartalmazó részegységek, (akkumulátorok, kondenzátorok, telepek), ill. a veszélyes anyagok kinyerésével (az üzemanyagok és hűtőfolyadékok) kezdődik;
- 2.) ezt követően a nagyobb részegységek kiserelése (motor, sebességváltó, szélvédő, stb.) történik;
- 3.) relatíve nagyobb elektronikai alkotórészek (indítómotor, szélvédő motor, ülések stb.) kiserelésével folytatódik;



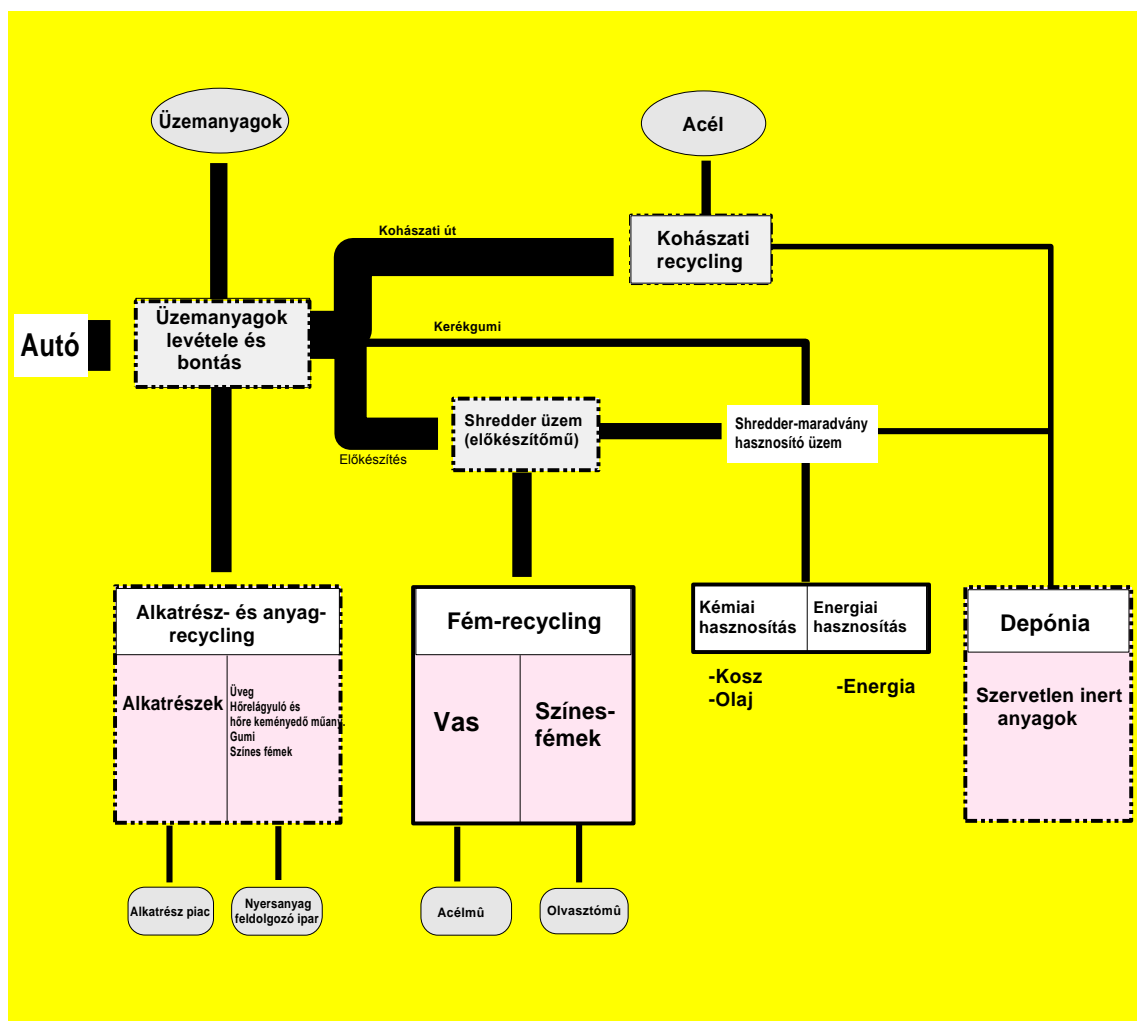
7.2.5. ábra. Autó-bontószalag (GAZ-HESE)





7.2.7.ábra.Karosszíriapréselés és használtalkatrész-tárolás az autó-bontóüzemben
(GAZ-HESE)

=Az így elkülönített, csoportosított anyagok további feldolgozása önálló mechanikai-előkészítési és/vagy, kohászati, kémiai, termikus eljárásokra technológiai folyamatokkal valósítják meg: az autók bontási és feldolgozási folyamatának rendszerét 7.2.8.ábra mutatja be..



7.2.8.ábra. Autó-recycling

7.2.3. Szedderezés technológiája, anyagmérlege, berendezései

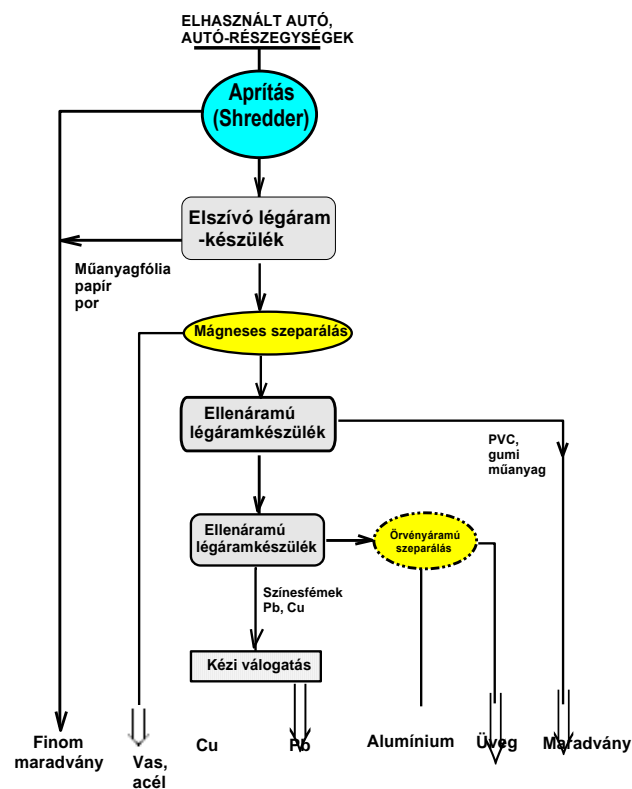
Az elhasznált autók hulladékgazdálkodási rendszerét már bemutattuk (7.2.8.ábra): bontást követően megmaradt, közvetlenül nem értékesíthető részt rendszerint mechanikai eljárásokkal ún. shredder-üzemekben készítik elő.

Az előkészítés során fajtiszta értékesíthető termékek előállítására a cél, 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.

TECHNOLÓGIAI LEHETŐSÉGEK

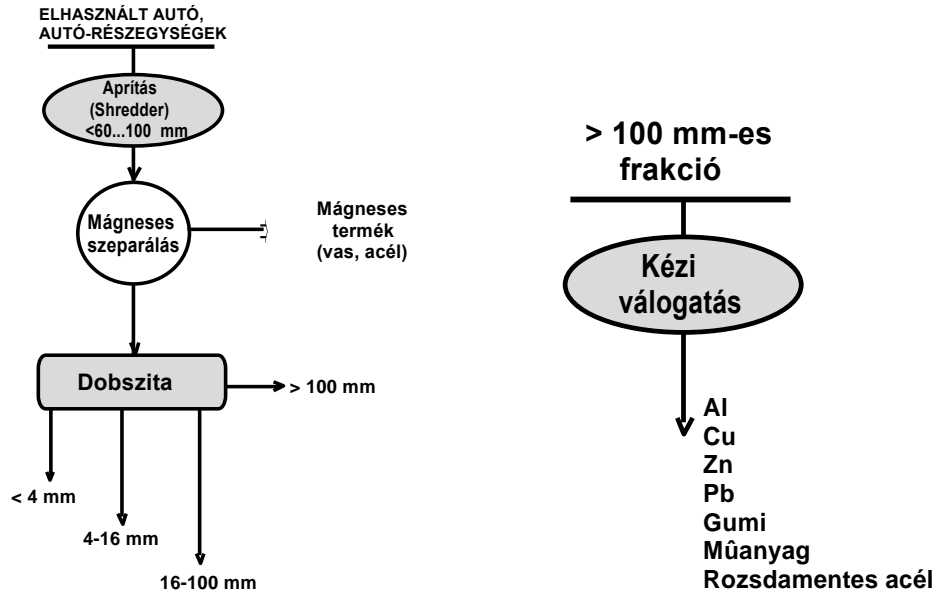
Az előkészítés technológiája az alábbi főbb folyamatokat foglalja magába:

- szétválasztást megelőző aprítás:
(kalapácsos shredderrel < 60...100 mm/re) és
- mágneses szeparálás,
- méret szerinti osztályozás (dobszitával),
- száraz vagy nedves eljárással 3 sűrűségfrakció
< 2 kg/dm³: műanyag, gumi, fa, kátrány;
2-3 kg/dm³ : üveg ,alumínium;
és > 3 kg/dm³ : nehézfémek)előállítás,
- a közepső sűrűség-frakcióból elektromos úton történő
(örvényáramú, vagy elektrosztatikus) alumínium-kinyerés.

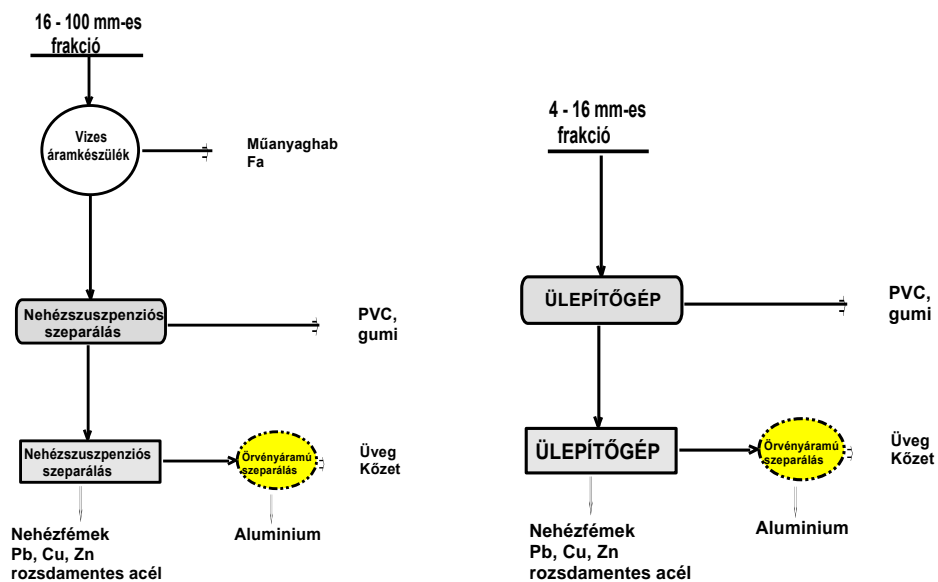


7.2.9. ábra. Autó-hulladék száraz előkészítése

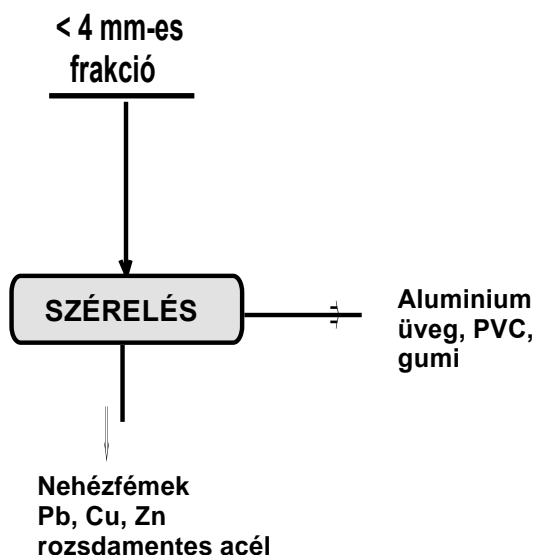
Valamennyi folyamat több eljárással (és berendezéssel) valósítható meg. A főfolyamat a fémek leválasztása, az ezt megelőző (adagolás, aprítás, méret szerinti osztályozás) és ehhez kapcsolódó (levegő- és/vagy szennyvíztisztítás) folyamatok főfolyamatot szolgálják ki, vagy a környezetet védik. Egy nedves és egy száraz technológiai folyamatot a 7.2.9., ill. a 7.2.10.– 7.2.12. ábra mutat be.



7.2.10. ábra. Autó-hulladék nedves előkészítésének száraz folyamatai



7.2.11. ábra. Autó-hulladék nedves előkészítése



7.2.12.ábra. Autó-hulladék nedves előkészítése

A száraz bontási és előkészítési feldolgozási folyamat anyagmérlege

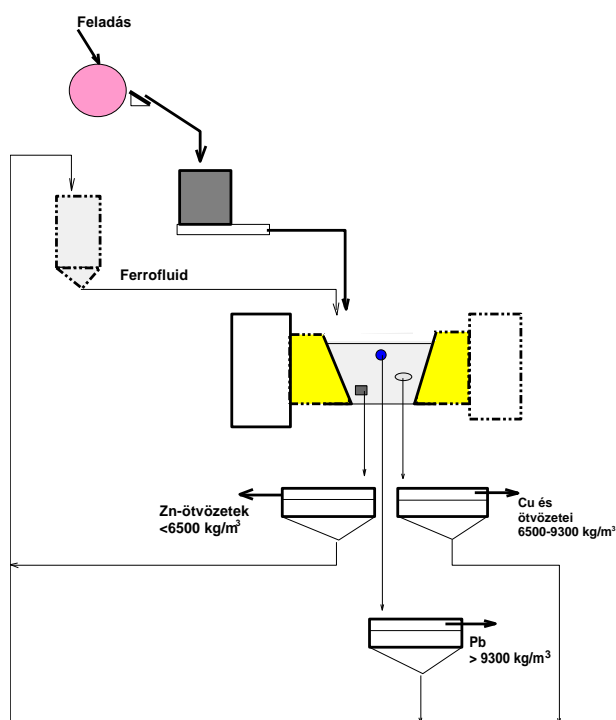
A 7.2.4.táblázat a shredder-üzem valóságos mérleg adatait szemlélteti.

7.2.4.táblázat: 90 db előkezelt hulladék-autó shredderezésnek anyagmérlege (átlagértékek)

<i>Termék elnevezés</i>	<i>Tömeg, kg/sztk</i>	<i>Tömearány, %</i>
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) igényel a.

Látható azonban, hogy a technológiai folyamatokban két kevert termék is keletkezik: a kis sűrűségű - főként műanyagokból álló- un. maradvány (shredder-üzemi könnyű maradék, ami veszélyes hulladék), amelynek feldolgozása mechanikai, termikus, vagy kémiai eljárásokkal is lehetséges., valamint a színesfémekből álló nagysűrűségű termék. Ez utóbbi további szelektálása rendszerint ma még kohászati úton, un. szelektív olvasztással (olvadékban való sűrűség szerinti elkülönülés alapján) történik. Előnyösebb azonban a mechanikai eljárások alkalmazása ez esetben is. A hagyományos nehézsuszpenziós eljárás már nem alkalmazható a nagy elválasztási sűrűség miatt, alkalmas azonban a magnetohidrosztatikus eljárás, amellyel (a magnetohidrosztatikus felhajtó erővel) a látszólagos sűrűséget akár 20 kg/dm³-ig növelhetjük. A technológiát a 7.2.13. ábra mutatja be.



7.2.13.ábra. Autó-hulladék előkészítés nehéz-
fém-termékének magnetohidrosztatikus levá-
lasztása

IRODALOM

- [1] Kellerwessel, H.: Setzmaschinen, besonders für Recyclingaufgaben - Möglichkeiten, Grenzen, Bauarten -Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.10, p. 521-530.
- [2] Terry J. -Veasey- Robert J.- Wilson: The Physical Separation and Recovery of Metals From Wastes. Copyright 1993. Amsterdam, ISSN 1066-2200; v.1.
- [3] Uhlig, D.-Dietzel, W. -Schulz, G.: Setzarbeit als Verfahrensstufe bei der Aufbereitung von Kabelplastrückständen. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.5, p. 239-247.
- [4] Koch, P. Kasper, P.: Zerlege- und Aufbereitungstechnik für Elektroaltgeräte und Elektronikschrott. Aufbereitungs-Technik 37 (1996) Nr.5, p. 211-219.
- [5] 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.
- [6] Beckmann, R. -Guderian, J.-Hoffmann. E.: Bewertung von Separationsverfahren für kommunalen Restmüll. Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.6, p. 296-304.
- [7] Schubert,G.-Warlitz.G.: Sortierung von Metall-Nichtmetall-Gemischen mittels Koronawalzenscheider. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9, p. 449-456.
- [8] Schubert, H.: Wirbelstromsortierung - Grundlagen, Scheider, Anwendungen Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.11, p. 553-562.
- [9] 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.
- [10] Spalding, B.J.: A slick new way to recover gold from scrap. Chemical Week, 142. k. 23. sz. 1988. jun. 8. p. 31-32.

- [11] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 1. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.2, p. 78-89.
- [12] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 2. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.7, p. 352-357.
- [13] 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
- [14] 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
- [15] Aluminium: A recycling success story. = Recycling Today, 26. k. 8. sz. 1988. p. 96-98, 103, 137.
- [16] Alfaro, I.: Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Entstehung und Verarbeitung von Aluminiumkrätze. = Aluminium, 62. k. 4. sz. 1986. p. 259-267.
- [17] 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.
- [18] Improved aluminium scrap recovery offers potential energy savings. = Materials Reclamation Weekly 148. k. 12. sz. 1986. aug. 9. p. 19-20.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Paul W. Gilgen: Aluminium in der Kreislaufwirtschaft. Erzmetall 44 (1991) Nr.6, p. 293-302.
- [23] Hartfeld, G.: Entwicklungsstand der Magneto-hydrostatik-Separatoren. Aufbereitungs-Technik (1995) Nr.4, p. 224-233.
- [24] Csöke B.-Egyedi Cs.: Autóhulladék-komponensek száraz szétválasztásának kísérleti vizsgálata. BKL Kohászat, (1994) 127.évf. 11-12.sz. p. 478-481.
- [25] 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.
- [26] Rohstoff Rundschau, Separatoren für Nichteisenmetalle. Werk-Verlag Dr.Edmund Banaschewski GmbH, München-Fräfelfing.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Kopp, J.: Superconducting Magnetic Separators. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 17-32.
- [30] Superconducting High Gradient Magnetic Separation Australian Mining, 1998. may . pp. 43-58.

- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Ahlness, J. K. - Kirchner, J.C.: Electronic Ore-Sorting Tests on Native Copper Ore . RI 8490 Bureau of Mines Report of Investigations/1980.
- [34] Wakeman, R.J.: Progress in filtration and separation 1. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.

7.3. Elektronikai és elektrotechnikai hulladékok feldolgozása

Fejezet szerzőse: Prof. Dr. Csőke Barnabás, Dr. Bőhm József, Dr. Mucsi Gábor

7.3.1. Elhasznált elektronikai és elektrotechnikai berendezések és eszközök csoportosítása, mennyisége, szerkezeti és veszélyes anyagai

Az elektrotechnikai és elektronikai hulladékokat származás szerinti csoportosításban a 7.3.1.táblázat tünteti fel. Kitűnik, hogy a nagyobb részt a háztartásban keletkeznek, s azon belül a háztartási nagygépek képviselik a nagyobb részt.

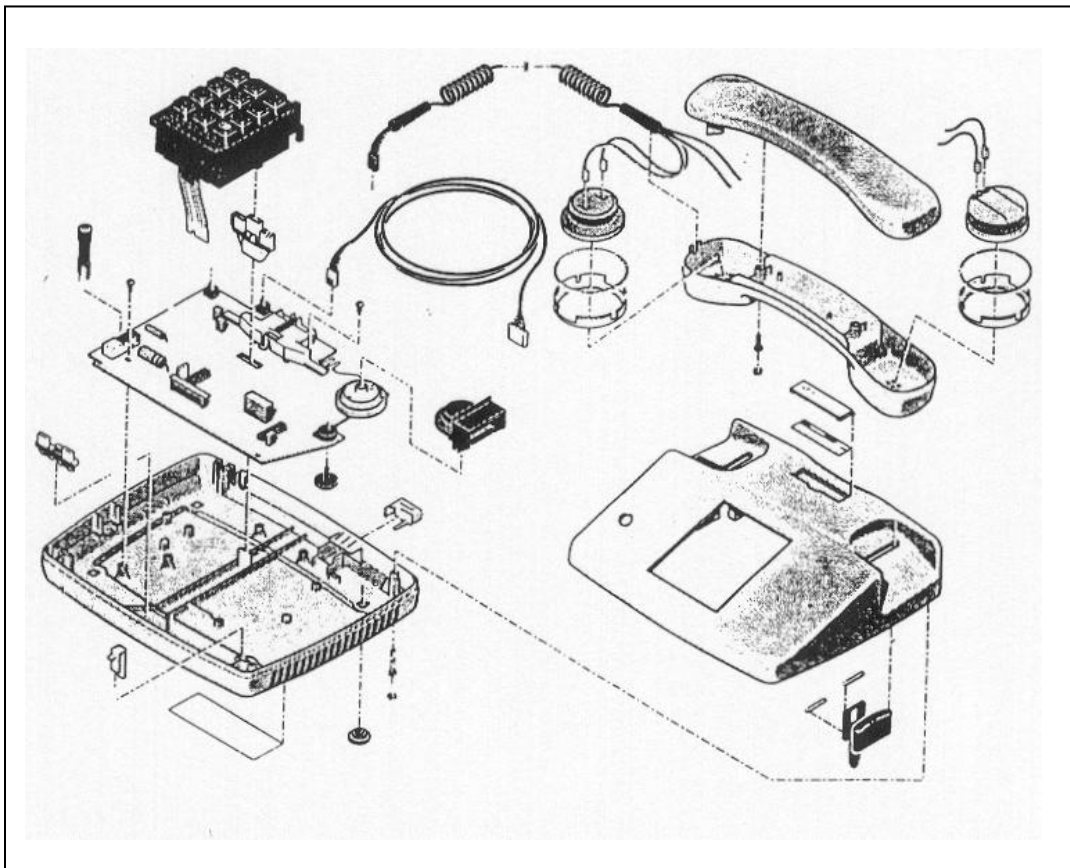
Hulladékforrás, termék Magyarország	Tömegarány %
Ipari eredetű (nagyszámítógépek, ipari elektronika, műszerek, elektromos szerszámok...)	40
Lakosságtól származó	60
Háztartási nagygépek	32
Háztartási kisgépek	7
TV-készülék	10
Szórakoztató elektronika (** videokamera, videomagnó)	2
Információ technika (*számítógép, telefon, mobiltelefon)	8
Egyéb (pl. elektromos szerszámok)	1

A megfelelő bontási technológiát 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, részegységei (pl. telefon: 7.3.1.ábra, 7.3.2.táblázat).
- 2.) A részegységekbe beépített elemek, szerkezeti anyagok (fémek, műanyagok, fa, gumi, stb.(7.3.3.-7.3.5.táblázat).
- 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 (7.3.6.-7.3.10.táblázat).

- 4.) A szerkezeti anyagok fizikai-mechanikai: (törési-apríthatósági, sűrűség, mágneses, elektromos, optikai, sugárzóképeségbeli, stb.) és fizikai-kémiai tulajdonságait. Az eszközökben leggyakrabban lévő alkotók főbb fizika, mechanikai jellemzői összefoglalva a 7.3.12.táblázatban találhatóak, amelyek alapján a legkedvezőbb szétválasztási eljárás kiválasztható (a szétválasztás rendszerint azon a tulajdonságon alapszik, amelyben a legnagyobb az eltérés a szétválasztandó komponensek között). A különböző alkotóanyagok szétválasztására elsősorban a sűrűség, a mágneses tulajdonság, az elektromos vezetőképesség eltérése alapján nyílik lehetőség (7.3.13.táblázat).



7.3.1.ábra. Telefon felépítése, részegységei

7.3.2.táblázat: Színes TV-készülékek részegységei

Fő részegységek	Tömeg, [g]
Színes képcső	20 000
Vezeték	1 000
Fém-részegységek	1 400
Elektronikai építőelemek	3 000
Ház és hátfal	1 900

7.3.3.táblázat: Főbb elektromos hulladékok szerkezeti-anyagösszetétele [36]

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

7.3.4.táblázat: Komputer hulladékok anyagi összetétele

<i>Közvetlen felhasználásra kerülő rész</i>	Tömegarány, [%] 5,0
<i>Az újrahasznosítási folyamatban hasznosuló rész</i>	
Ötvöztelen acél	48,0
Alumínium, ötvözött acél	3,4
Színesfémek	26,1
Nemesfém-tartalmú anyagok	3,0
Szortírozásra alkalmas műanyagok	0,8
<i>Deponálásra</i>	
Műanyagok, Üvegkeverék	13,4
Különleges hulladékok (Olajok, zsírok, elemek, kondenzátorok)	0,3

7.3.5.táblázat: Elhasznált elektromos és elektronikai készülékek összetétele

Tömegarány, %			
	Lakossági eszközök	Beruházási eszközök	Együtt
Acél, öntvény	43	50	45
Nemvas-fémek	6	17	9
Műanyagok	21	23	22
Elastomerek	1	-	<1
Üveg	14	2	11
Fa	4	-	3
Beton	2	-	1
egyéb nem-fém	6	5	6
Elektronikai részegységek	3	3	3
Összesen	100	100	100

7.3.7.táblázat: Színes TV-képcső összetétele

Alkotórészek	Összesen:	Tömeg, [g] 20 000
Fémrész		1 400
Egyéb		10
Világítóanyagok		7
	<i>Cinkszulfid</i>	3
	<i>Ritkaföldfém-szulfidok</i>	1,8
	<i>Kadmium-szulfid</i>	0,1
Üveg-részegység		18 700
	<i>Képernyőüveg (Ba/Sr-szilikát)</i>	6 300
	<i>Kónusz-üveg (Pb)</i>	12 300
	<i>Üvegbefuttatás (Pb-borátüveg)</i>	100

7.3.8.táblázat: Színes TV-vezetékrendszerének összetétele

Elemek	Összesen:	Tömeg, [g] 1 000
Rézdrót		450
Vas		400
Műanyag (Noryl)		130
Vezetőlap		20

7.3.9.táblázat: Színes TV-elektronikai építőelemeinek összetétele

Elemek	Összesen:	Tömeg, [g] 3 000
Arany és ötvözetei		0,1
Réz és ötvözetei		420
Al és Alumíniumoxid		100
Nikkel		2,5
Ón és ötvözetei		20
Ólom és ötvözetei		120
Vas és ötvözetei		500
Műanyagok		500
Kerámia, ferritek, ezüst, platina, Palládium		490

7.3.10.táblázat: Monitorok környeztkárosító komponensei

Káros komponens	Hordozó
Antimontrioxid	<i>PVC</i>
Arzén	<i>N.N. Tetrabrombifenol</i>
Berilium	<i>N.N. Dimetilformamid</i>
Bizmut	<i>Dimetilacetamid</i>
Kadmium és vegyületei	<i>Ón</i>
Króm és vegyületei	<i>Elektrolitok</i>
Réz és vegyületei	<i>Tantal</i>
Ólom és vegyületei	<i>Bárium</i>
Lumineszkáló anyagok: cinkszulfid, ritkaföld-fémszulfidok, kadmi- um-szulfid	<i>Nikkel Fenol-formaldehid-gyanták (bakelit)</i>

7.3.11.táblázat: Elektrotechnikai és elektronikai hulladékok környeztkárosító komponensei

Káros komponens	Hordozó (Példák)
Poliklórozott Bifenil (PCB)	- kondenzátorok a mosógépekben - Hőtűrő olajok az elektromos radiátorokban
Polibrómozott Difeniléter (gyulladásgátló-műanyagadalék)	- TV-készülék hátfala - Számítógép-ház - elektronikai építőelemek (vezetőlapok alapanyaga), kapcsolók, kiöntőmasszák
Nehézfémek, félfémek és vegyületeik	- lumineszkáló anyagok - elektronikai építőelemek - Felületi rétegfelhordás az építőelemeken és a házon

7.3.12.táblázat:Elhasznált háztartási készülékek (hűtőszekrény, vízmelegítő, stb.), autó szerkezeti anyagainak fizikai tulajdonságai

Anyag	Elektromos vezetőképesség $\sigma \cdot 10^{-6}$ $\Omega^{-1} m^{-1}$	Sűrűség $\rho \cdot 10^{-3}$ kg/m^3	Mágneses szuszeptibilitás $\chi \cdot 10^9$ $m^3 kg^{-1}$
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	-

7.3.13.táblázat. Fémes hulladékok előkészítésének mechanikai szétválasztási eljárásai

Anyagtulajdonság	Ipari eljárások
Szemcseméret	- szitálás - osztályozás közegárammal
Alak	- alakszitálás - ferdeszalagos szeparálás - ballisztikus szeparálás - közegárammal való szétválasztás
Sűrűség	- nehézközegben történő szeparálás - üleptetés - csatornamosás - szérelés - ballisztikus szeparálás - közegárammal való szétválasztás
Elektromos vezetőképesség	- elektrosztatikus szeparálás - örvényáramú szeparálás - elektromos válogatás
Mágneses szuszeptibilitás	- mágneses szeparálás - szétválasztás mágneses folyadékban
Optikai tulajdonságok	- optikai válogatás

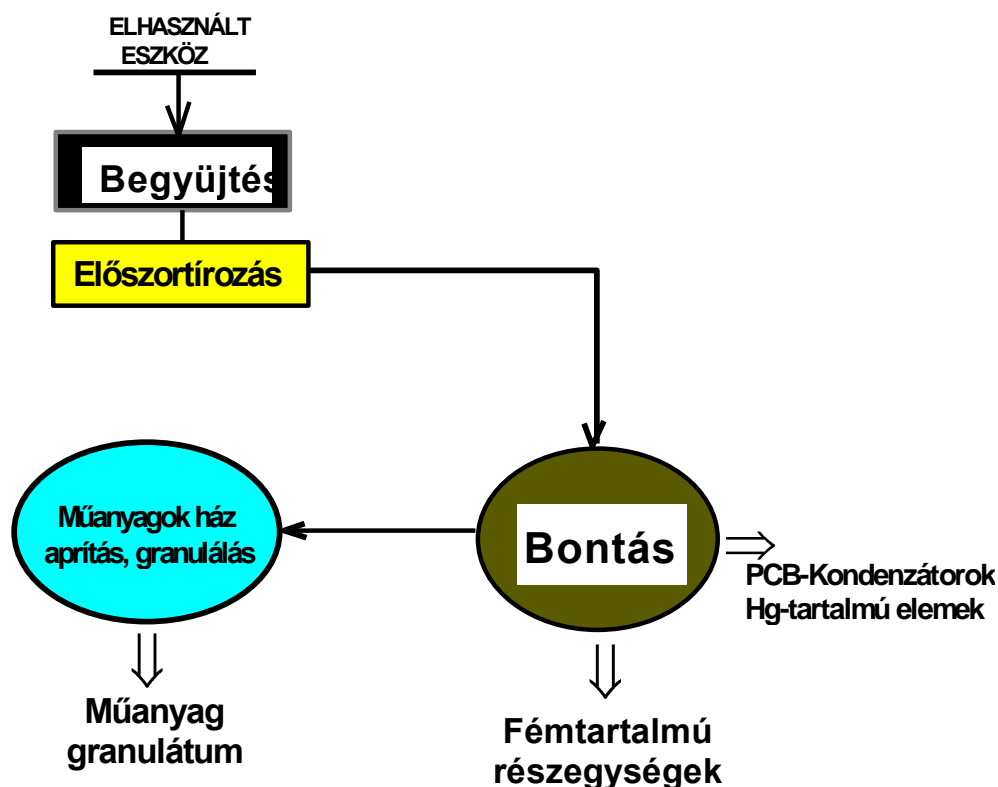
Sugárzás	- radiometrikus válogatás - infravörös válogatás - röntgensugaras válogatás
Alakváltozási tulajdonságok	- ütköztető szeparálás - formálás (pl. hengerekkel)
Szilárdsági, törésmechanikai tulajdonságok.	- szelektív aprítás (és osztályozás) - mállasztás (és osztályozás)
Adszorpciós-adhéziós tulajdonságok	- flotálás - szelektív flokkulálás - adhéziós szeparálás

7.3.2. Elhasznált eszközök bontási technológiája

Az elhasznált eszközök feldolgozásának komplett rendszer, amely az alábbi műveletekből áll:

1) *Begyűjtés - előszortírozás*

=A folyamat decentralizált gyűjtéssel kezdődik (7.3.2.ábra).



7.3.2.ábra. Elhasznált eszközök bontási technológiája

2) *Bontás*

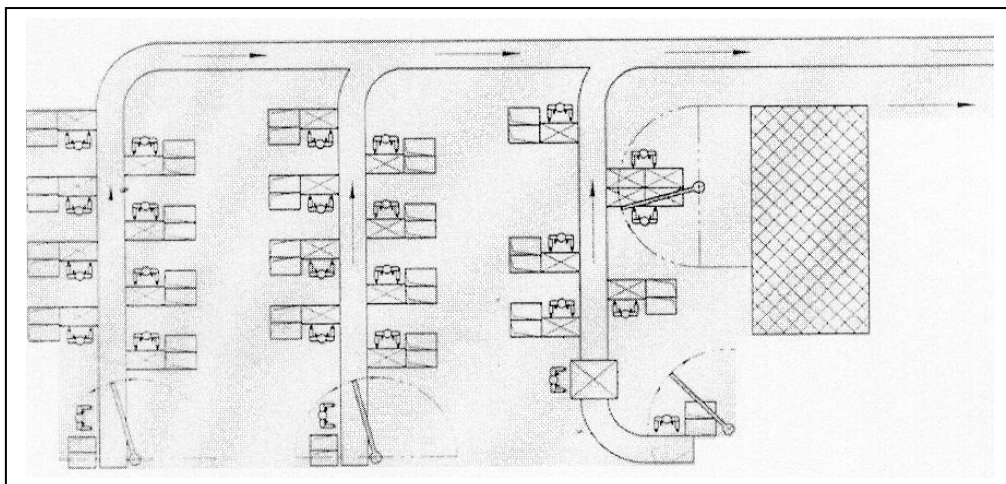
=Ezt *centralizált vagy decentralizált bontás követi*, amely során a főbb részegységek és a veszélyes anyagokat hordozó építőelemek, ill. eltérő további feldolgozást igénylő részegységek, építőelemek kiszemelése és elkülönítése történik (7.3.3. és 7.3.4. ábra).

A bontás többlépcsős folyamat:

- 4.) a veszélyes anyagokat tartalmazó részegységek, (kondenzátorok, telepek), ill. a veszélyes anyagok kinyerésével (folyadékok leszivattyúzása, ld. hűtőszekrényeknél) kezdődik;
- 5.) ezt követően a nagyobb homogén részegységek kiszerelese (elektronikai hulladékoknál pl. képernyő, műanyag- és fémház, és más nagyobb homogén építőelemek) történik;
- 6.) relatíve nagyobb elektronikai alkotórészek (fémházak, kábelek, vezetőlapok, meghajtó, transzformátor, dugasz, stb.) kiszerelésével folytatódik;

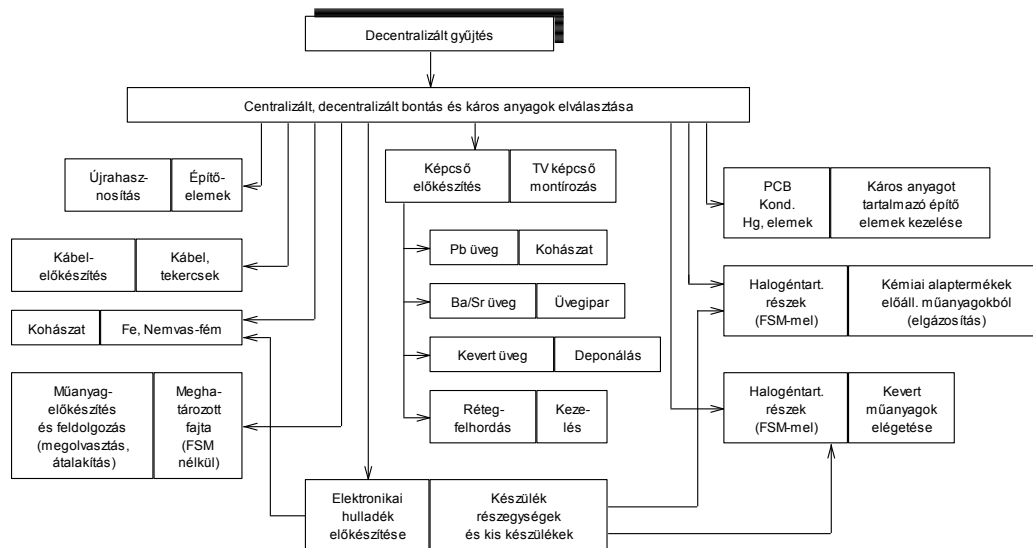


7.3.3.ábra. Bontó munkahelyek



7.3.4.ábra: Bontó szalagok a különböző tömegű eszközök bontására külön-külön

=Az így elkülönített, csoportosított anyagok további feldolgozása önálló mechanikai-előkészítési és/vagy, kohászati, kémiai, termikus eljárásokra technológiai folyamatokkal való sítják meg. A 7.3.5.ábra az elhasznált TV készülékek bontási és feldolgozási folyamatának rendszerét mutatja be.

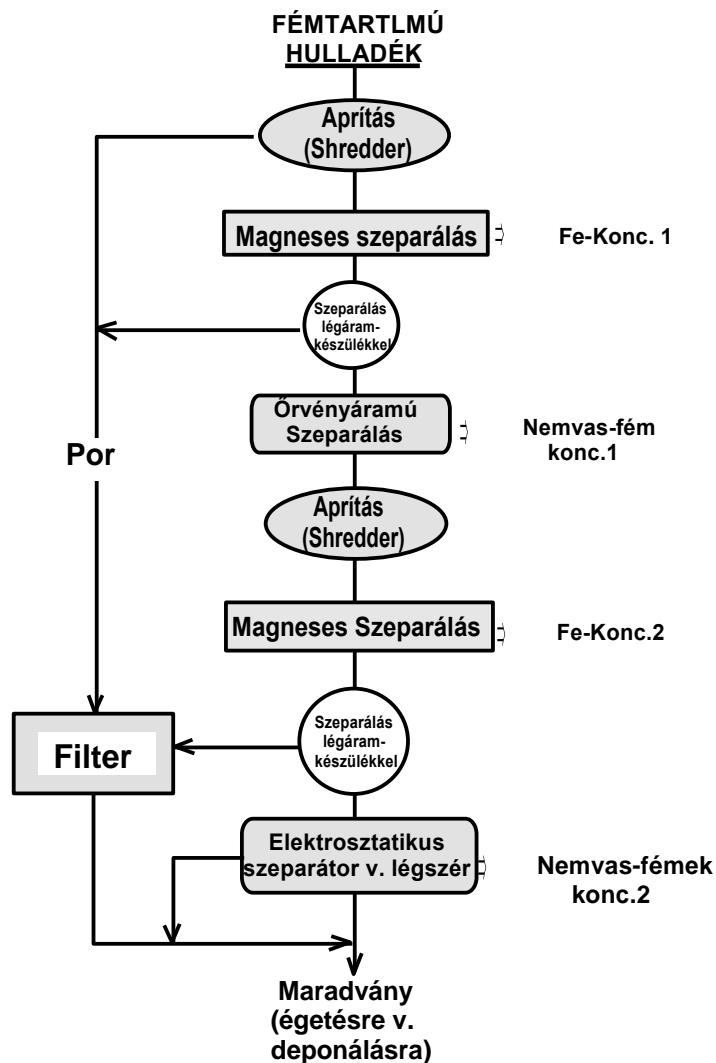


7.3.5. ábra. Elhasznált TV-készülék feldolgozási rendszere

7.3.3. mechanikai eljárásokkal történő feldolgozás (előkészítés) technológiája

Az előbbieken láttuk, hogy mechanikai eljárásokkal feldolgozható hulladékok döntő részét az jellemzi, hogy összetételükben, fizikai tulajdonságaikban igen heterogének. Ezért szilárd hulladékok hasznosítható alkotóinak visszanyerésére alkalmas technológiák minden esetben az adott hulladék anyagi tulajdonságaihoz messzemenőig illeszkednek. Komponenseinek szétválasztása csak az eljárások sorozatának célszerű alkalmazásával valósítható meg.

Legáltalánosabb esetben több egymást követő lépcsőben történik (7.3.6. ábra), amelyek a szemcseméretnek a szétválasztási eljárás élességének érdekében történő szabályozását, valamint a komponensek egymástól való szabadabbá tételét szolgáló aprításból és osztályozásból, továbbá valamely fizikai tulajdonság szerint szétválasztó dúsító eljárásból 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. hamu, vas) és/vagy a legkönnyebben kinyerhető anyagok (pl. vas, papír és műanyagfólia) leválasztása történik. A folyamat végén a legértékesebb, általában kisebb tömegű anyagok (nem-vas fémek, üveg, műanyag) kinyerése valósul meg precízebb, költségesebb eljárásokkal.



7.3.6.ábra. Fémtartalmú hulladékok tipikus előkészítési technológiája

Az elhasznált eszközök (TV, mosógép, hűtőszekrény, telefon, komputer, motorok, stb.) fémtartalmú részegységeinek, építőelemeinek (rétegelt vezetőlapok, kábelek, stb.) előkészítési mechanikai eljárásokkal való feldolgozása sok tekintetben hasonló, többlépcsős aprításból (az egyre kisebb méretű részek komponenseinek fizikai feltárása) és szelektív szétválasztásból áll. Ennek egy tipikus technológiai vázlatát az 7.3.6.ábra mutatja be: a folyamatban a többlépcsős aprítás (és osztályozás) révén a komponensek fizikailag egyre jobban feltáródnak (megszabadulnak egymástól).

Az aprítást elsőként a mágneses szeparálással történő vasleválasztás követi, majd a kis sűrűségű műanyag, papír leválasztása a nehézfémektől és az alumíniumtól, az alumínium elválasztása a nehézfémektől áramkészülékkel szintén megvalósítható, a nemvas-fém termékek elektromos eljárásokkal továbbtisztíthatók.

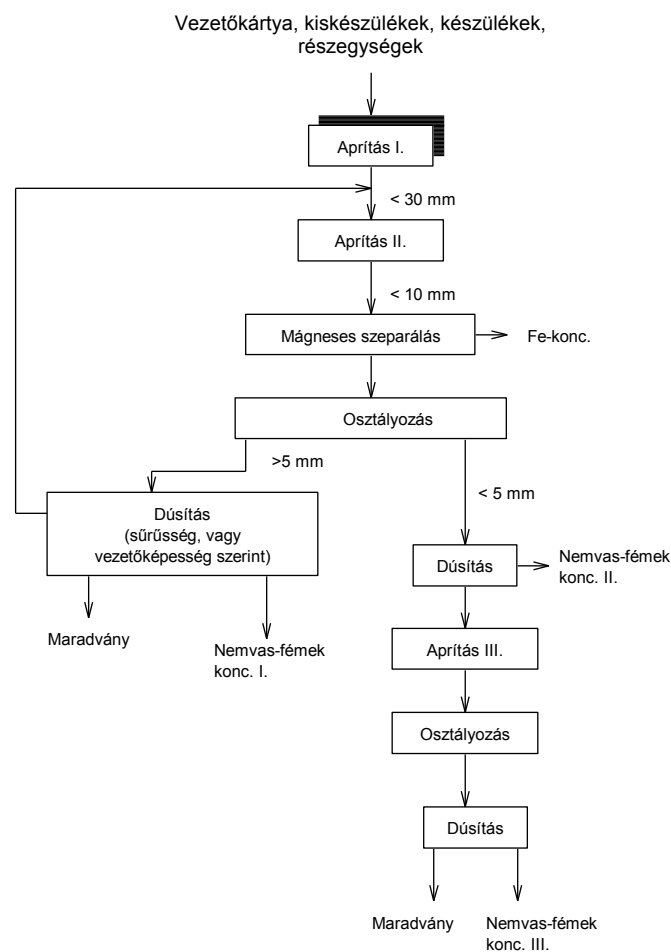
A továbbiakban néhány jellegzetes e csoportba tartozó hulladék-eszköz előkészítési technológiáját mutatjuk be.

A bontott egységek előkészítése

A vezetékkártyák, kisméretű készülékek, részegységek mechanikai eljárásokkal történő előkészítése megfelel a 7.3.6.ábrán bemutatott folyamatnak (ld. 7.3.7.ábra).

7.3.14. táblázat: A vezetőlapok anyagi összetétele

Komponens	Tömegarány, [%]	Tömegarány, [%]
Ezüst		0,03 ... 0,08
Arany	0,005 ... 0,02	0,05 ... 0,25
Palládium	0,001 ... 0,015	0,005 ... 0,02
Réz	3 ... 10	3 ... 5
Rézötövet	1 ... 3	10 ... 30
Ón		3 ... 8
Aluminium		kb. 10
Acél		1 ... 45
Nemfémes (műanyag)	> 90	10 ... 70



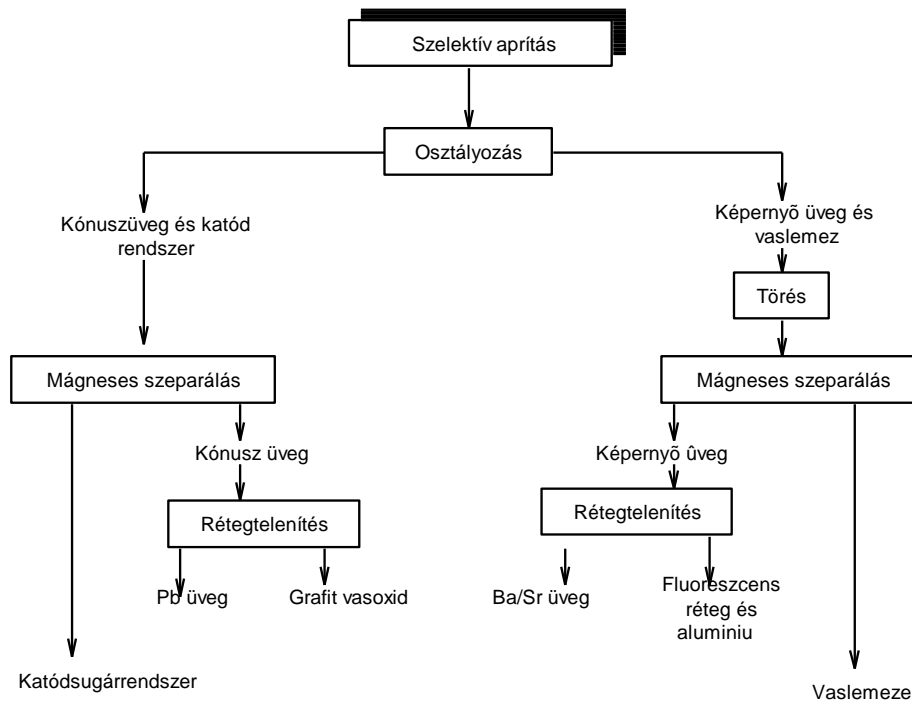
7.3.7.ábra. A bontásából származó vezetékkártyák, kisebb részegységek, készülékek előkészítése

A **képcső előkészítése** a kónusz és a képernyő üveg egymástól való elválasztással kezdődik. Ez történhet

- töréssel - pl. ütés és szitaberendezéssel való osztályozással, kezdődik (7.3.8.ábra); a szitamaradvány gyakorlatilag a képernyőüvegből és vaslemezből áll, a szitán áthullott kisebb szemcseméretű rész a kónusz-üveg és a katódrendszer. A fémeket ez esetben mágneses szeparálással nyerik ki.
- vagy drótkerettel történő helyi felmelegítést követő törés ütéssel vagy hűtéssel, a fémeket kézi úton lebontják a kónusz-üvegről.

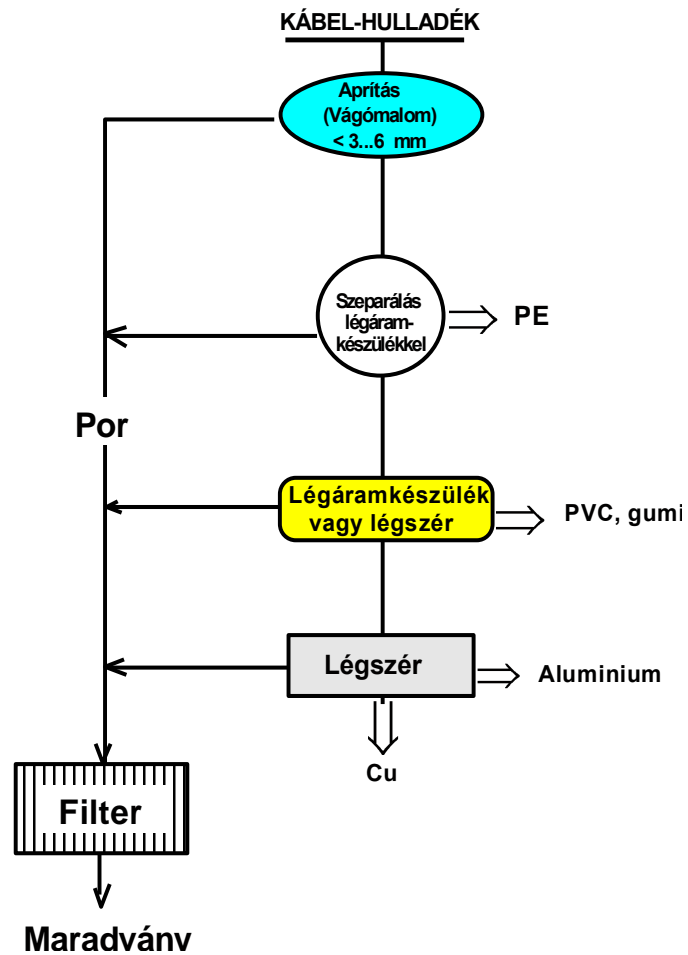
Az üvegekre felhordott vezető és fluoreszcens anyagok mechanikai, vagy kémiai, termikus úton eltávolíthatók.

A tiszta ólomüveg kohászati feldolgozásra kerül, a tiszta Ba/Sr üveg üveggyártási folyamatba vezetik vissza (ld. 7.3.5.ábrát is).

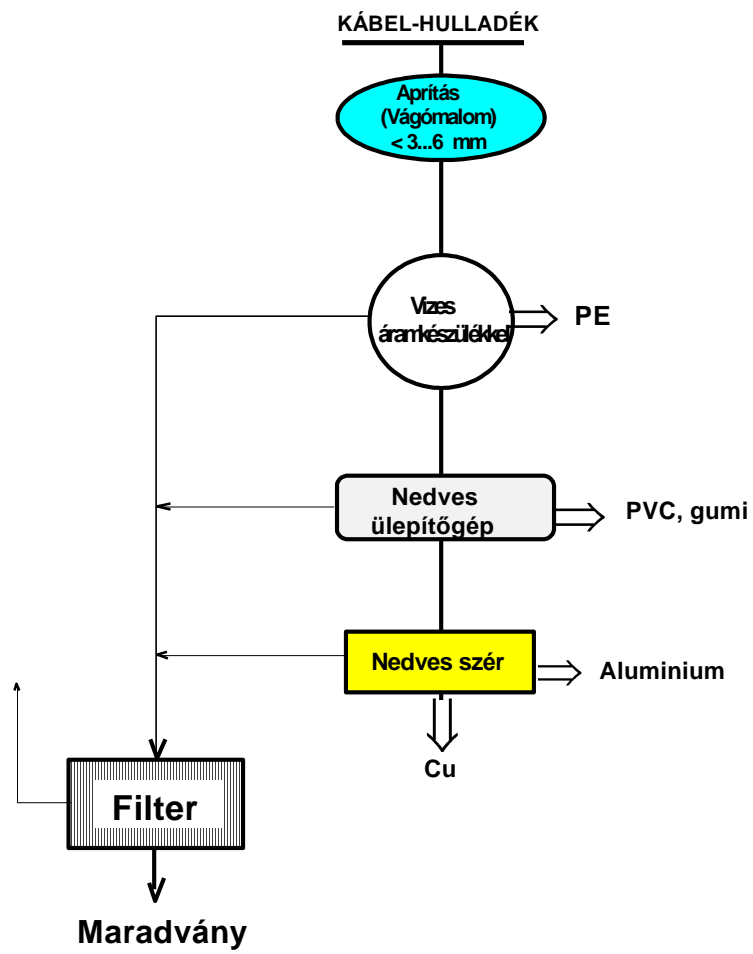


7.3.8.ábra. Színes TV-képcső előkészítési technológiája

A kábelek előkészítése aprítást követően főként száraz vagy nedves sűrűség szerinti szétválasztási eljárásokkal történik, vezető-nemvezető egymástól való elválasztására az elektrosztatikus eljárás is alkalmazható (7.3.9.-7.3.10.ábra)



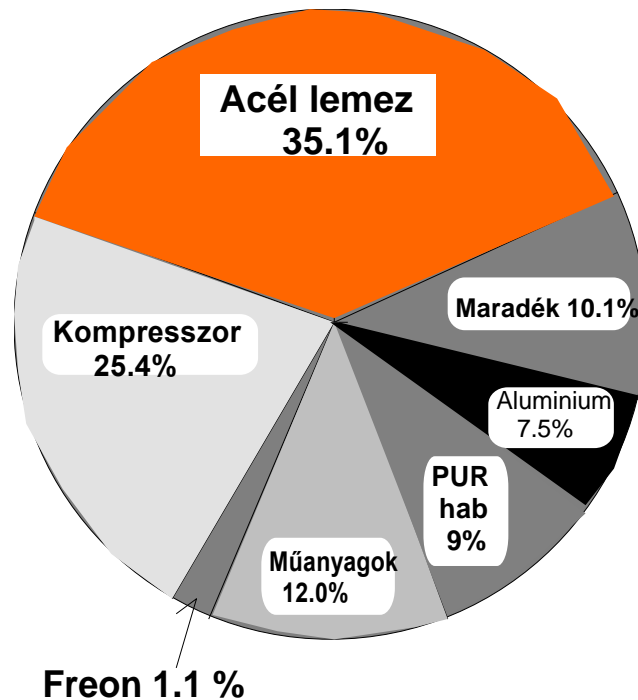
7.3.90.ábra. Kábelek száraz előkészítési technológiája



7.3.10.ábra. Kábelek nedves előkészítési technológiája

Elhasznált hűtőszekrény előkészítési technológiája

További példaként a hűtőszekrény feldolgozást célszerű kiemelni (7.3.11.ábra).

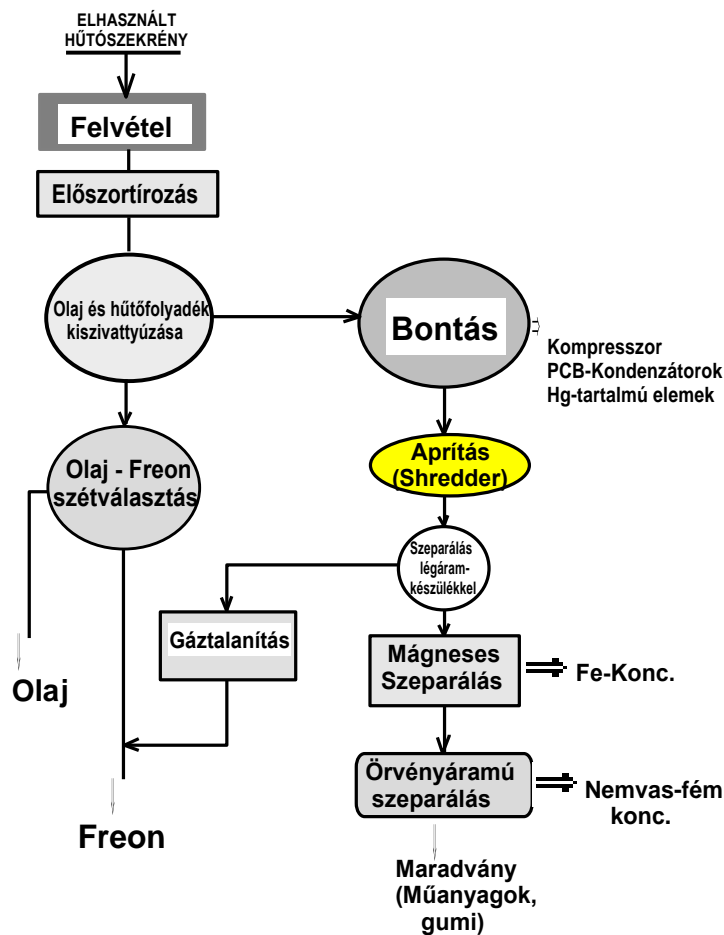


7.3.11.ábra. Hűtőszekrény összetétele

Az elhasználdott hűtőszekrények szétbontása és mechanikai eljárásokkal történő szelektív szétválasztásának technológiája alapvetően a következő fő lépésekből áll:

- Hűtőfolyadék leszívása.
- Hűtőfolyadékból a freon leválasztása.
- Bontás: kompresszor, kondenzátor kiszérése.
- Aprítás (shredderrel).
- Műanyag hulladék (PUR) leválasztása áramkészülékkel.
- Freon-visszanyerés a PUR-habból (örlés vákuum alatt).
- 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 7.12.ábra mutatja.



7.3.12. ábra. Elhasznált hűtőszekrények előkészítési technológiája

IRODALOM

- [1] Kellwessel, H.: Setzmaschinen, besonders für Recyclingaufgaben - Möglichkeiten, Grenzen, Bauarten - Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.10, p. 521-530.
- [2] Terry J. -Veasey- Robert J.- Wilson: The Physical Separation and Recovery of Metals From Wastes. Copyright 1993. Amsterdam, ISSN 1066-2200; v.1.
- [3] Uhlig, D.-Dietzel, W. -Schulz, G.: Setzarbeit als Verfahrensstufe bei der Aufbereitung von Kabelplastrückständen. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.5, p. 239-247.
- [4] Koch, P. Kasper, P.: Zerlege- und Aufbereitungstechnik für Elektroaltgeräte und Elektronikschrott. Aufbereitungs-Technik 37 (1996) Nr.5, p. 211-219.
- [5] 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.
- [6] Beckmann, R. -Guderian, J.-Hoffmann. E.: Bewertung von Separationsverfahren für kommunalen Restmüll. Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.6, p. 296-304.
- [7] Schubert, G. - Warlitz., G.: Sortierung von Metall-Nichtmetall-Gemischen mittels Koronawalzenscheider. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9, p. 449-456.
- [8] Schubert, H.: Wirbelstromsortierung - Grundlagen, Scheider, Anwendungen Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.11, p. 553-562.

- [9] 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.
- [10] Spalding, B.J.: A slick new way to recover gold from scrap. *Chemical Week*, 142. No. 23. 1988. June 8. p. 31-32.
- [11] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 1. *Aufbereitungs-Technik* 32 (1991) Nr.2, p. 78-89.
- [12] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 2. *Aufbereitungs-Technik* 32 (1991) Nr.7, p. 352-357.
- [13] 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
- [14] 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
- [15] Aluminium: A recycling success story. = *Recycling Today*, 26. k. 8. sz. 1988. p. 96-98, 103, 137.
- [16] Alfaro, I.: Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Entstehung und Verarbeitung von Aluminiumkrätze. = *Aluminium*, 62. k. 4. sz. 1986. p. 259-267.
- [17] 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.
- [18] Improved aluminium scrap recovery offers potential energy savings. = *Materials Reclamation Weekly* 148. k. 12. sz. 1986. aug. 9. p. 19-20.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Paul W. Gilgen: Aluminium in der Kreislaufwirtschaft. *Erzmetall* 44 (1991) Nr.6, p. 293-302.
- [23] Hartfeld, G.: Entwicklungsstand der Magneto hydrostatik-Separatoren . *Aufbereitungs-Technik* (1995) Nr.4, p. 224-233.
- [24] Csöke B.-Egyedi Cs.: Autóhulladék-komponensek száraz szétválasztásának kísérleti vizsgálata. *BKL Kohászat*, (1994) 127.évf. 11-12.sz. p. 478-481.
- [25] 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.
- [26] Rohstoff Rundschau, Separatoren für Nichteisenmetalle. Werk-Verlag Dr.Edmund Banaschewski GmbH, München-Frälfelting.
- [27] 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.

- [28] 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.
- [29] Kopp, J.: Superconducting Magnetic Separators. Magnetic and Electrical Separation, Vol. 3. pp. 17-32.
- [30] Superconducting High Gradient Magnetic Separation . Australian Mining, 1998. may . pp. 43-58.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Ahlness, J. K. - Kirchner, J.C.: Electronic Ore-Sorting Tests on Native Copper Ore RI 8490 Bureau of Mines Report of Investigations/1980.
- [34] Wakeman, R.J.: Progress in filtration and separation 1. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- [35] Hanke, M. – Ihrig, Ch.-Ihrig, D.F.: Stoffbelastung beim Elektronikschrott-Recycling. Iserlohn/Menden/ Dortmund 2000

7.4. Hulladék akkumulátorok és telepek előkészítése

Készítette: Prof. Dr. Csőke Barnabás

7.4.1. 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 nikkeldadmium akkumulátorok mennyisége 400-450 t/év körül becsülhető (6.táblázat).

7.4.1.táblázat: Képződő akkumulátor hulladék

	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

(Forrás: BAY-LOGI, Miskolc)

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)

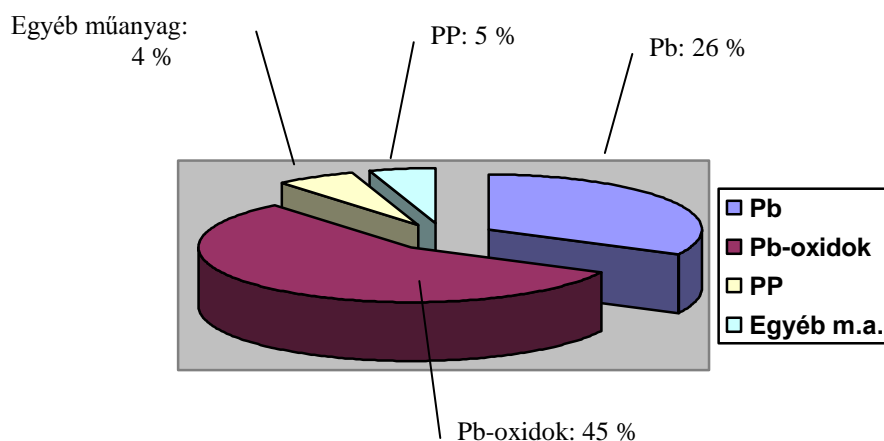
7.4.2.táblázat: Képződő akkumulátor hulladék részletezve

		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

(Forrás: BAY-LOGI, Miskolc)

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 hatásfokától is függően- évi 18000-24000 t akkumulátor hulladék kerülhet e forrásból feldolgozásra.

Használt savas akkumulátorok átlagos összetétele 7.4.1. ábra szemlélteti.



7.4.1.ábra. Használt savas akkumulátorok átlagos összetétele

7.4.2. Savas akkumulátorok előkészítése

A fejlet ipari országokban a másodlagos ólom az ólom-szükséglet 40...60 % -át fedezi. A hazai autópark életkora (várhatóan kb. 100 000 szgk./év kerül bontásra shredder-üzemekben, és ezen autókból 1200 t/év elhasznált akkumulátor kerül ki), valamint a gépkocsiállomány alapján - a begyűjtés hatásfokától is függően- évi 18 000-24 000 t akkumulátor hulladék kerülhet e forrásból feldolgozásra.

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

A technológiai jellemzése

A technológia 2 fő részből áll

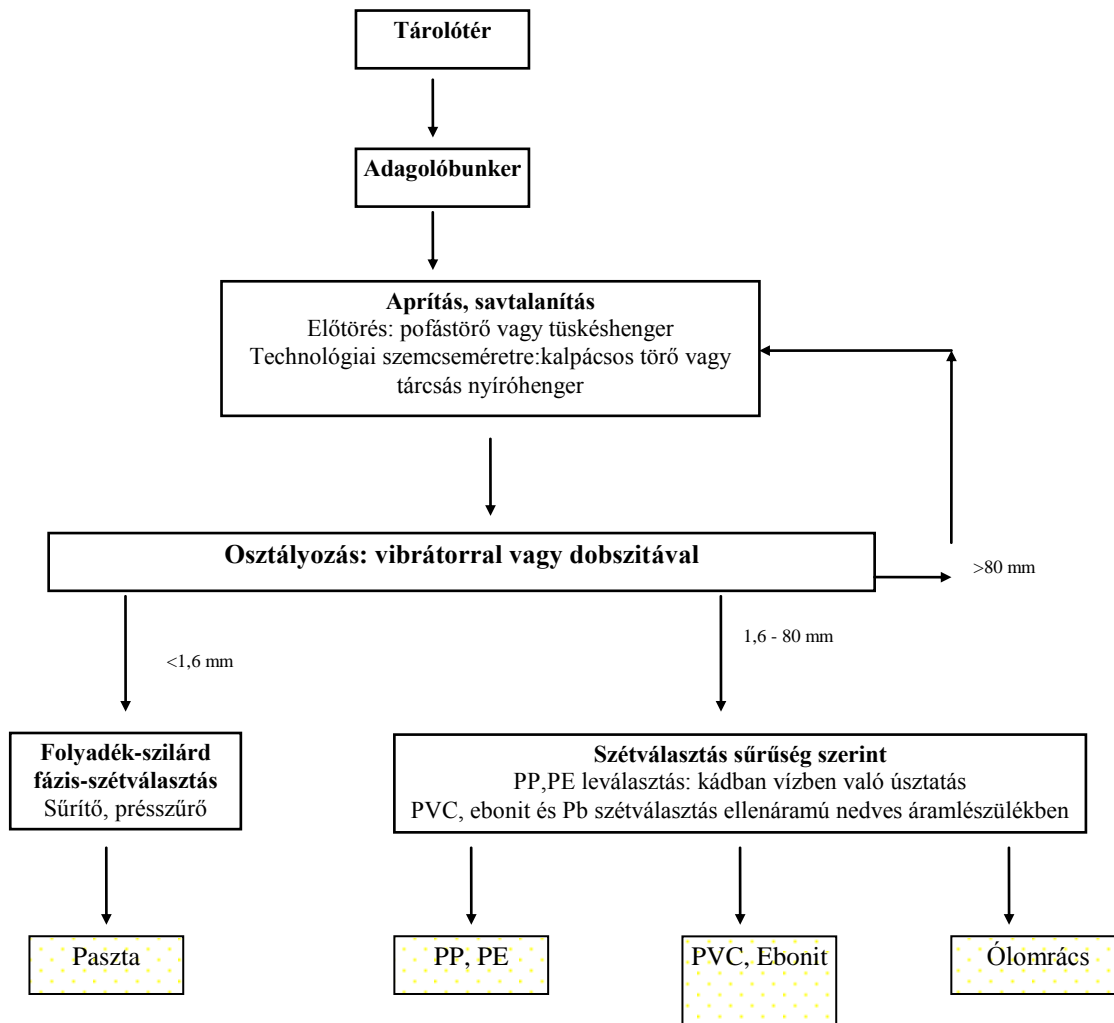
⇒ *Előkészítés:*

- Anyag fogadása és feladása a rendszerre,
- előtörés és savtalanítás,
- aprítás és a szerkezeti anyagok szétválasztása (szeperálás).

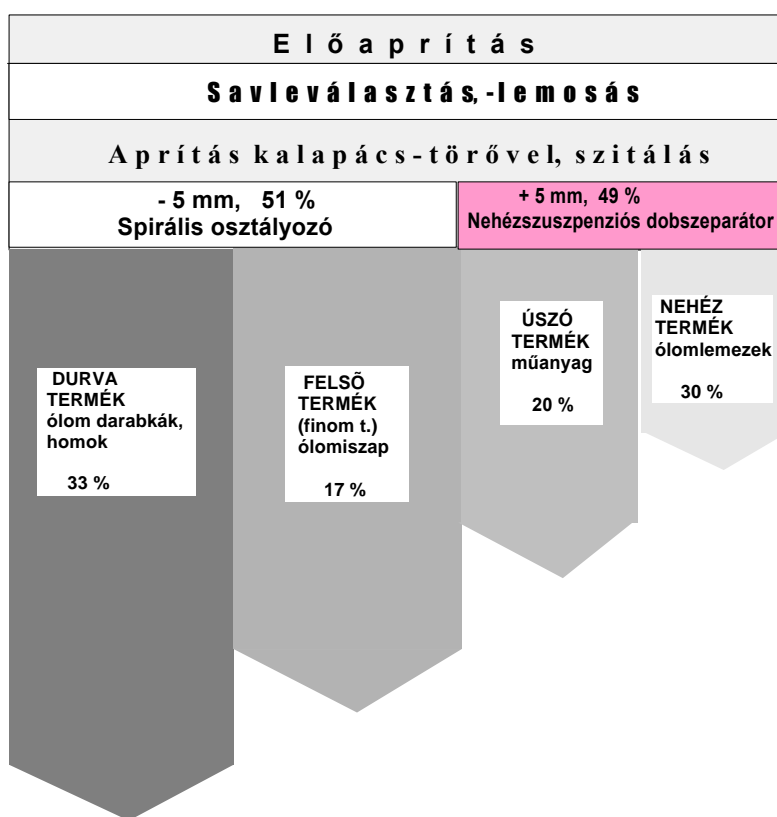
⇒ *Kohósítás:*

- olvasztás,
- finomítás és öntés.

A használt savas akkumulátorok az országos begyűjtési és szállítási láncolaton keresztül érkeznek a hasznosító műbe, ahol a feldolgozás teljesen automatizált üzemű technológiai műveletsoron történik.



7.4.2.ábra. Ólomakkumulátorok előkészítése



7.4.3.ábra. Elhasznált ólomakkumulátor előkészítési technológiája

Előkészítés (7.4.2.ábra). Az akkuhulladékot a tehergépkocsik rendszerint mélybunkerbe ürítik, amelyből markoló rakja át a tárolóba. A bunkerben az ürítés és az átrakás során az akkumulátorok széttörnek és a sav a bunker alján lévő zsombból kiszivattyúzható. A tárolóból a markoló rezgővályúra rakja a az anyagot, ahol további vízpermetezés közben mágnesekkel kiválasztják a vasat a hulladékból. Ezt követően a hulladékot két fokozatban aprítják: egy tuskéhenger a dobozokat átlyukasztja, hogy a maradék sav is kifolyjék, majd 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- hidro-szeperátorban vagy nehézsuszpenziós készülékben szétválasztják (ld.7.4.3.ábrát is). Lényeges eleme az elválasztásnak, hogy a műanyag hulladékból különválasztják a PVC-t !

Kohósítás. 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 gázégővel biztosítják. Az ólmot lecsapolják és fémkokillába öntik elszívó-ernyő alatt, majd a tömböket átszállítják a raffináláshoz.

Raffinálásra (finomításra) tömbök, valamint a leválasztott rácsok, 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 technológiai folyamat végtermékei: kívánt összetételű ólomtömbök, melléktermékként polipropilén töret, esetlegesen kinyert ötvöző-anyagok, vashulladék hasznosításra kerülnek. A kereskedelmileg nem hasznosítható és veszélyes hulladéknak minősülő melléktermékeket lerakják.

Környezet és egészségvédelem.

Levegőtisztaság-védelem. A technológiai berendezések szinte mindegyikétől elszívó-ernyőkön keresztül a levegőt elszívják, de a üzemcsarnok légterét is enyhe depresszió alatt tartják.

A technológiai gázokat és az elszívott levegőt zsákos porszűrővel tisztítják meg.

Vízkezelés. A vízkezelés kétkörös, 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.

Technológiai maradványok kezelése. A veszélyes hulladékokat - salakot, gipsziszapot, szennyezett műanyagot - a végleges veszélyes hulladék-lerakóban kell elhelyezni.

7.4.3. Elhasznált telepek előkészítése: hasznosítás mechanikai és kémiai eljárásokkal

A kisméretű elemek/telepek főbb típusai

A háztartásokban is gyakran használt gombaelemek, ceruzaelemek és a kisebb méretű tölthető áramtermelő cellák (akkumulátorok) köre egyre bővül. Ezeket összefoglaló néven akár szárazelemeknek/telepeknek is nevezhetjük, mivel a folyadék/oldat tartalmuk általában nagyon csekély, és emellett ez a folyadék-tartalom a telepben „rögzítetten” található, alkalmas szilárd nedvszívó hordozóban felitatta - szemben például a régtől használt, hagyományos ólomakkumulátorokkal, amelyek töltőfolyadéka jelentős mennyiségű tömény kénsavas vizes oldat.

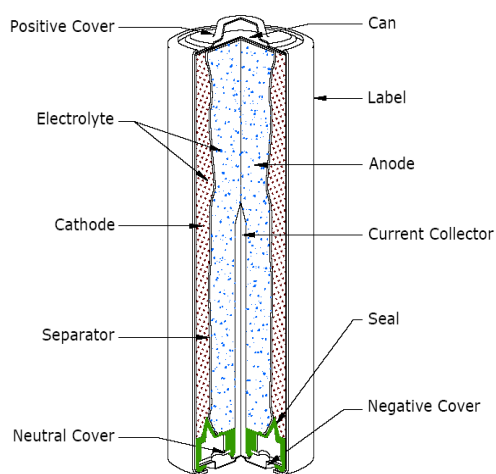
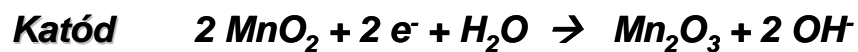
A háztartási szárazelemek/telepek közül az **egyszer használatosak** (nem újratölthető elemek) főbb típusai az alábbiak:

- **Szén - cink**, amelyeket kisebb méretű és teljesítményigényű eszközökben, például elemlámpákban, órákban, borotvákban és rádiókban használnak.
- **Cink-kloridos**, amelyek felhasználása az előbbihez hasonló.
- **Lúgos mangán**, amelyeket kazettás magnetofonokban, walkman-ekben használnak. Kevésbé hajlamos a kilyukadásra, szivárgásra, mint az előző két típus, és hosszabb az élettartama.
- **Gombelemek:**
 - **Higany-oxidos**, ilyeneket a hallókészülékekben, pacemaker-ekben és fényképezőgépekben használnak.
 - **Cink – levegő**, a higany-oxidos gombelemek egyik változata. Hallókészülékekben és személyhívókban alkalmazzák.
 - **Ezüst-oxidos** – elektronikus karórákban és számológépekben használatosak.
 - **Lítiumos** – karórákban és fényképezőgépekben használják.

A tölthető szárazelemek/telepek általános célú felhasználása a fentiekhez hasonló. A felsorolást folytatni lehet a *nikkel - kadmiumos*, a *nikkel - fémhidrides* és a *lítiumionos* kicsiny akkumulátorokkal, amelyeket nagyobb teljesítményű szerszámokban, vezeték nélküli készülékekben és mobil telefonokban stb. használnak. Ez utóbbiak néhány jellemzőjét alább felsoroljuk:

- **Nikkel - kadmium (NiCd)** elemek jelentették sokáig az újratölthető telepek piacának az egyik leggyorsabban növekvő típusát. Vezeték nélküli nagyteljesítményű szerszámokban, walkman-ekben, hordozható telefonokban, laptopokban, borotvákban, motorizált játékokban stb. használatosak, az élettartamuk pedig 4-5 év.
- **Nikkel - fémhidrid (NiMH)** elemek a környezetre kevésbé veszélyesek, mint a NiCd és az élettartamuk is hosszabb.
- **Lítiumion (Li-Ion)** elemeknek nagyobb az energiatároló kapacitása, mint a NiCd és a NiMH elemeké.

Primer elemek



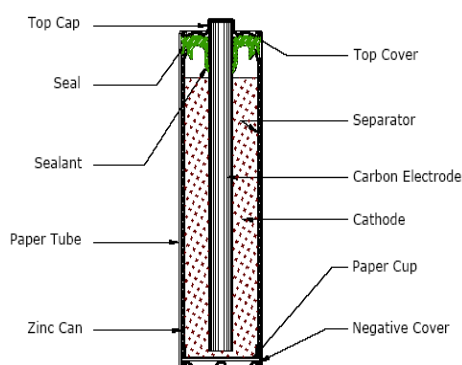
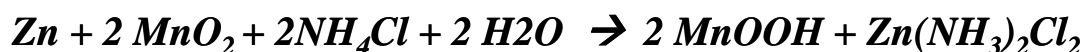
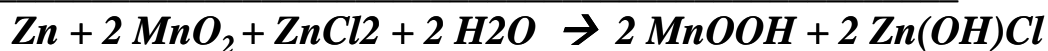
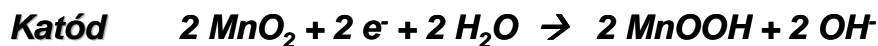
Elektrolit: 35% KOH



F. Ferella et al.

7.4.4.ábra. A **lúgos cink-mangán** (cinkporos pasztás anóddal és mangándioxidos katóddal) nem újratölthető, egyszer használatos elemek egy változata

Cink – szén elem



Elektrolit: $\text{NH}_4\text{Cl} - \text{ZnCl}_2$ paszta

(előbbi sorrendben: 26 % és 8,8 %)



7.4.5.ábra. A **szén-cink** (középen a szénrúddal) nem újratölthető, egyszer használatos egy változata /szemléltető rajzok

Használt elemek/telepek újrahasznosítása Európában

A használt elemek/telepek újrahasznosításával Európában már régebb óta foglalkoznak. Néhány nagyobb, erre szakosodott üzemet alább megemlítünk.

Batrec AG (Svájc) – Sokféle telepet fel tudnak dolgozni. eprocessing of a wide range of batteries. A Batrec volt az első olyan vállalat, amely telepek újrahasznosításával és feldolgozásával foglalkozott (max. 2.00 tonna/év). Az újrafeldolgozási eljárásuk egy, a *Sumitomo Heavy Industries* által kifejlesztett rendszeren alapszik, amely segítségével a telepek anyagának/alkotóelemeinek 95 %-a újra felhasználható. Az általuk kinyert anyagok közé tartozik a ferromangán, a fémcink, cink-oxidok és a higany.

Citron (Franciaország) – Főleg a szén-cink, cink-levegő és lúgos mangán (és higany-tartalmú) telepek pirometallurgiai feldolgozását végzik, de foglalkoznak a NiMH, a Li-Ion, a NiCd és a savas ólomakkumulátorokkal is.

Recupyl (Franciaország) – A telepek minden típusát fel tudják dolgozni hidrometallurgiai műveletekkel, melyek révén és a bennük található fémek visszanyerhetők.

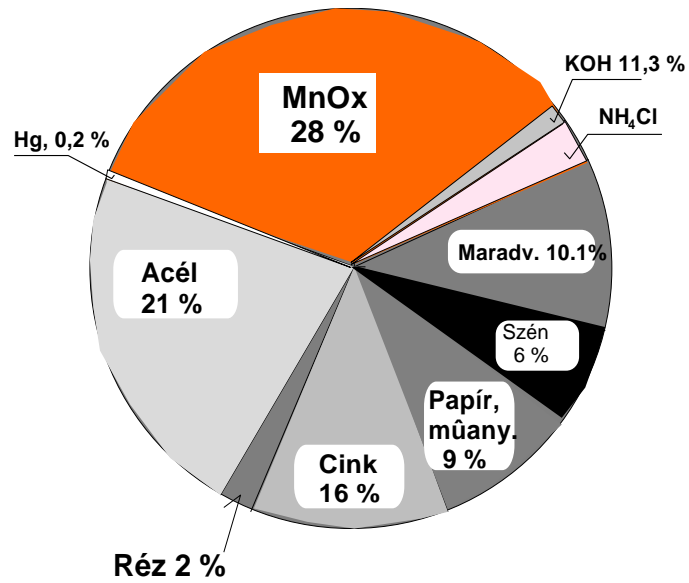
SAFT-NIFE (Svédország) – Ipari NiCd telepek újrafeldolgozásával foglalkoznak.

SNAM (Societe Nouvelle d’Affinage des Metaux) (Franciaország) – Tölthető NiCd, Li-Ion és nikkél-hidrid akkumulátorok mechanikai újrahasznosítását végzik.

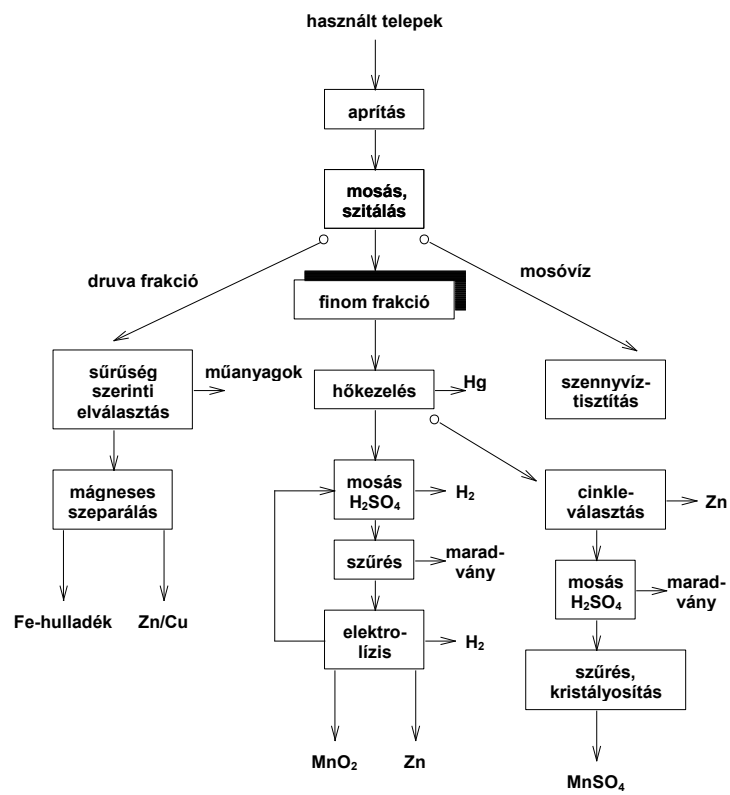
Valdi/Tredi (Franciaország) – Szén-cink, alumínium-mangán és NiCd elemek pirolízissel (hőkezelés útján visszanyerhető a cink, kadmium, ólom, stb.) történő feldolgozását végzik.

A felsoroltak közül sok cég tagja az Elemeket Újrahasznosítók Európai Szövetségének (**European Battery Recycling Association, EBRA**). A brüsszeli-párizsi központú EBRA egyik patronálója volt a legutóbbi, e tárgykörrel foglalkozó nemzetközi konferenciának is, melyet Svájcban tartottak 2009. szeptember 16-18. között. Ez utóbbi rendezvény keretében a résztvevők a fentebb felsoroltak közül az **AFE Valdi** (Feurs, Franciaország) és a **S.N.A.M.** (St. Quentin-Fallvier, Franciaország) üzemét látogathatták meg, és még egy továbbit is, nevezetesen az MTB Recycling üzemét Treptben (Franciaország) / Egyébként az EBRA szövetség elnöke 2007-ben Budapesten is tartott előadást a témában, mely az [2] Internet címen érhető el: [http://www.ebrarecycling.org/docs/activities/EBRA_PRESENTATION/SpeechBudapest\(H\)20june2007.pdf](http://www.ebrarecycling.org/docs/activities/EBRA_PRESENTATION/SpeechBudapest(H)20june2007.pdf) /

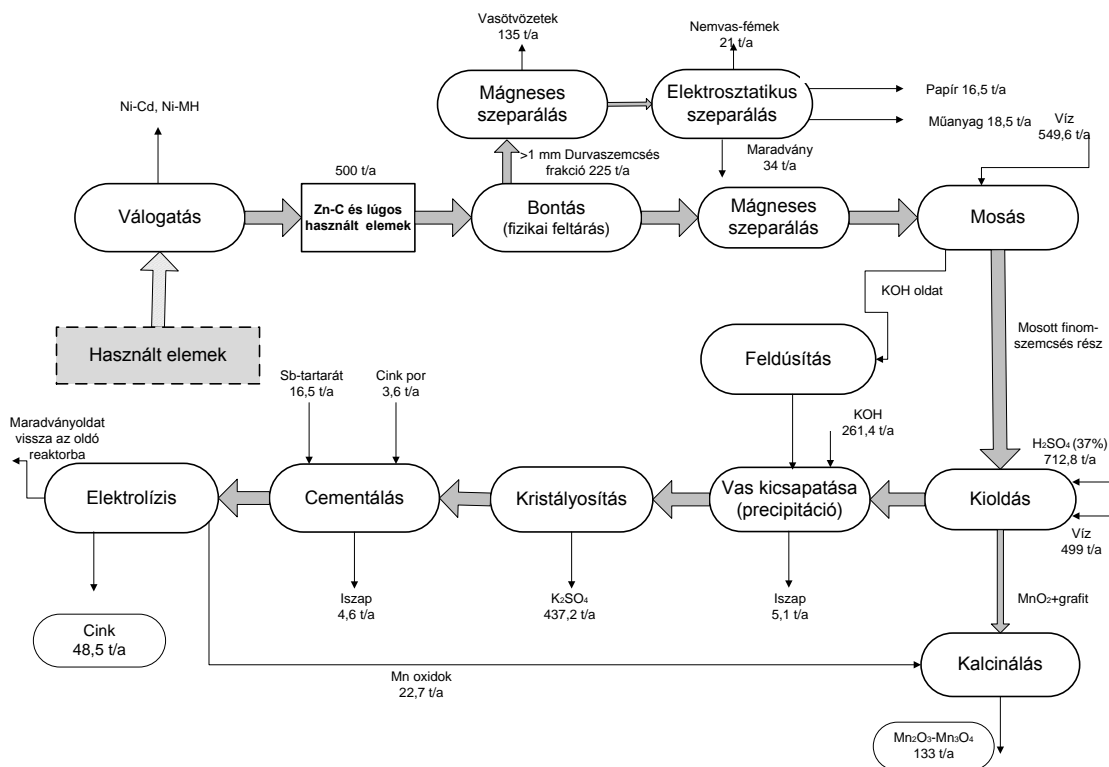
Láttuk a savas ólomakkumulátorok mechanikai előkészítési technológiájában a sűrűség szerint szétválasztás dominál, a lúgos (pl. Cd-Ni) akkumulátor esetében a sűrűség szerinti szétválasztást a mágneses szeparálás egészíti ki, a Cd visszanyerése termikus úton is történhet. Az elhasznált telepek feldolgozási-előkészítési technológiája rendszerint mechanikai és kémiai, valamint termikus eljárások kombinációjára épül (7.4.7. és 7.4.8. ábra).



7.4.6. ábra. Elemek összetétele



7.4.7. ábra. Elhasznált telepek előkészítési technológiája-1



7.4.8.ábra. Elhasznált telepek előkészítési technológiája -2

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] Lindroos, J.B.- Stout, M.E.: The separation of mixed non-ferrous metals using thermal gravity classification (TGC). Conservati and Recycling, 10.k. 2/3. sz. 1987. p. 77-82.
- [3] Schubert. G.: Aufbereitung der metallischer Sekundärrohstoffe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983
- [4] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 1 Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.2, p. 78-89.
- [5] Schubert. G.: Aufbereitung der NE-Metallschrotte und NE-metallhaltigen Abfälle - Teil 2 Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.7, p. 352-357.
- [6] 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.
- [7] Rohstoff Rundschau, Separatoren für Nichteisenmetalle. Werk-Verlag Dr.Edmund Banaschewski GmbH, München-Fröfelfing.
- [8] Peters M.D.: Secondary lead gets mixed reviews. Recycling Today. 1987.No.10.p.64.
- [9] Szentimreyné H. O.-Harrach W.: Stratégiai anyagok- stratégiai anyaggazdálkodás. BKL. Kohászat. 1997.8.-9.sz. p.297
- [10] Medhat. A. el Fotouh: Használt ólomakkumulátorok feldolgozása. BKL. Kohászat. 1997.2.-3.sz. p.77
- [11] Szabó G. : Használtakku-üzlet. HVG.Gazdaság.1997. November. p.125.
- [12] M.L.Deelo.: Lead. Engineering & Mining Journal 1997. No.3. p.WW-17
- [13] Plant for Recycling of Spent Batteries 20-25 000 ton/year. SE.R.I. (81016 Piedimonte Matese)

7.4.3. Hulladékelemek és akkumulátorok: HASZNOSÍTÁS KÉMIAI ELJÁRÁSOKKAL

Fejezet szerzője: Dr. Bokányi Ljudmilla

A kisméretű elemek/telepek főbb típusai

A háztartásokban is gyakran használt gombaelemek, ceruzaelemek és a kisebb méretű tölthető áramtermelő cellák (akkumulátorok) köre egyre bővül. Ezeket összefoglaló néven akár szárazelemeknek/telepeknek is nevezhetjük, mivel a folyadék/oldat tartalmuk általában nagyon csekély, és emellett ez a folyadék-tartalom a telepben „rögzítetten” található, alkalmas szilárd nedvszívó hordozóban felitatta - szemben például a régtől használt, hagyományos ólomakkumulátorokkal, amelyek töltőfolyadékja jelentős mennyiségű tömény kénsavas vizes oldat.

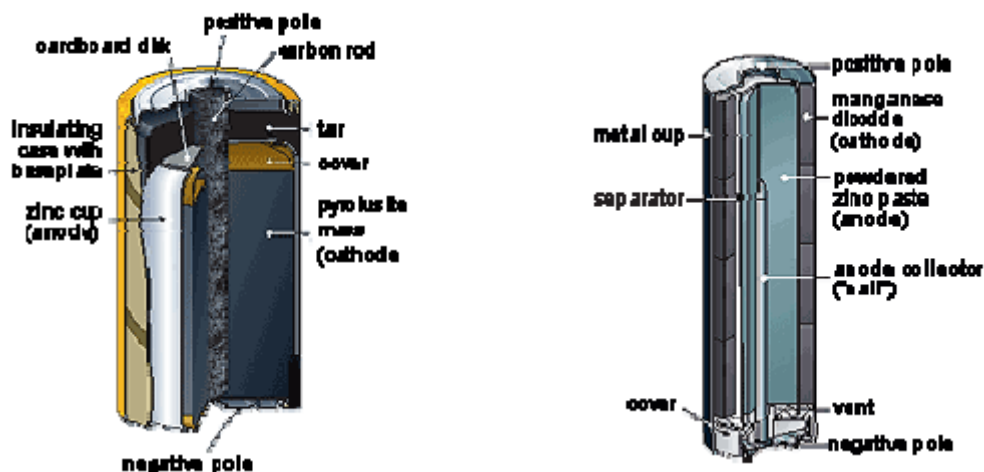
A háztartási szárazelemek/telepek közül az **egyszer használatosak** (nem újratölthető elemek) főbb típusai az alábbiak:

- **Szén - cink**, amelyeket kisebb méretű és teljesítményigényű eszközökben, például elemlámpákban, órákban, borotvákban és rádiókban használnak.
- **Cink-kloridos**, amelyek felhasználása az előbbihez hasonló.
- **Lúgos mangán**, amelyeket kazettás magnetofonokban, walkman-ekben használnak. Kevésbé hajlamos a kilyukadásra, szivárgásra, mint az előző két típus, és hosszabb az élettartama.
- **Gombaelemek:**
 - **Higany-oxidos**, ilyeneket a hallókészülékekben, pacemaker-ekben és fényképezőgépekben használnak.
 - **Cink – levegő**, a higany-oxidos gombaelemek egyik változata. Hallókészülékekben és személyhívókban alkalmazzák.
 - **Ezüst-oxidos** – elektronikus karórákban és számológépekben használatosak.
 - **Lítiumos** – karórákban és fényképezőgépekben használják.

A tölthető szárazelemek/telepek általános célú felhasználása a fentiekhez hasonló. A felsorolást folytatni lehet a *nikkel - kadmiumos*, a *nikkel - fémhidrides* és a *lítiumionos* kicsiny akkumulátorokkal, amelyeket nagyobb teljesítményű szerszámokban, vezeték nélküli készülékekben és mobil telefonokban stb. használnak. Ez utóbbiak néhány jellemzőjét alább felsoroljuk:

- **Nikkel - kadmium (NiCd)** elemek jelentették sokáig az újratölthető telepek piacának az egyik leggyorsabban növekvő típusát. Vezeték nélküli nagyteljesítményű szerszámokban, walkman-ekben, hordozható telefonokban, laptopokban, borotvákban, motorizált játékokban stb. használják, az élettartamuk pedig 4-5 év.
- **Nikkel - fémhidrid (NiMH)** elemek a környezetre kevésbé veszélyesek, mint a NiCd és az élettartamuk is hosszabb.

- **Lítiumion (Li-Ion)** elemeknek nagyobb az energiatároló kapacitása, mint a NiCd és a NiMH elemeké.



7.4.3.1. ábra A szén-cink (középen a szénrúddal) és a lúgos cink-mangán (cinkporos pasztás anóddal és mangándioxidos katóddal) /nem újratölthető, egyszer használatos/ elemek egy-egy változata /szemléltető rajzok [[1]Stibat, 2007]/

Használt elemek/telepek újrahasznosítása Európában

A használt elemek/telepek újrahasznosításával Európában már régebb óta foglalkoznak. Néhány nagyobb, erre szakosodott üzemet alább megemlítünk.

Batrec AG (Svájc) – Sokféle telepet fel tudnak dolgozni. eprocessing of a wide range of batteries. A Batrec volt az első olyan vállalat, amely telepek újrahasznosításával és feldolgozásával foglalkozott (**max. 2.00 tonna/év**). Az újrafeldolgozási eljárásuk egy, a *Sumitomo Heavy Industries* által kifejlesztett rendszeren alapszik, amely segítségével a telepek anyagának/alkotóelemeinek 95 %-a újra felhasználható. Az általuk kinyert anyagok közé tartozik a ferromangán, a fémcink, cink-oxidok és a higany.

Citron (Franciaország) – Főleg a szén-cink, cink-levegő és lúgos mangán (és higany-tartalmú) telepek pirometallurgiai feldolgozását végzik, de foglalkoznak a NiMH, a Li-Ion, a NiCd és a savas ólomakkumulátorokkal is.

Recupyl (Franciaország) – A telepek minden típusát fel tudják dolgozni hidrometallurgiai műveletekkel, melyek révén és a bennük található fémek visszanyerhetők.

SAFT-NIFE (Svédország) – Ipari NiCd telepek újrafeldolgozásával foglalkoznak.

SNAM (Societe Nouvelle d'Affinage des Metaux) (Franciaország) – Tölthető NiCd, Li-Ion és nikkél-hidrid akkumulátorok mechanikai újrahasznosítását végzik.

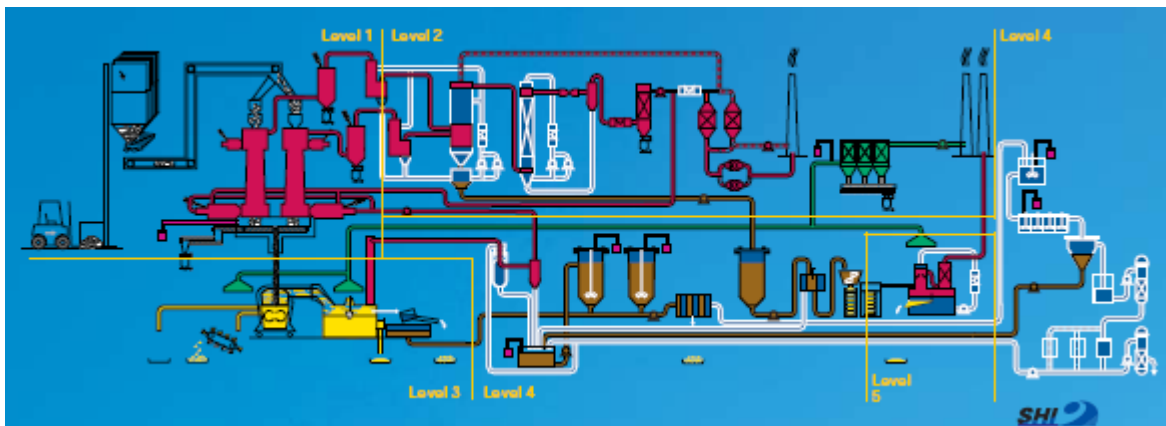
Valdi/Tredi (Franciaország) – Szén-cink, alumínium-mangán és NiCd elemek pirolízissel (hőkezelés útján visszanyerhető a cink, kadmium, ólom, stb.) történő feldolgozását végzik.

A felsoroltak közül sok cég tagja az Elemeket Újrahasznosítók Európai Szövetségének (**European Battery Recycling Association, EBRA**). A brüsszeli-párizsi központú EBRA egyik patronálója volt a legutóbbi, e tárgykörrel foglalkozó nemzetközi konferenciának is, melyet Svájcban tartottak 2009. szeptember 16-18. között. Ez utóbbi rendezvény keretében a résztvevők a fentebb felsoroltak közül az **AFE Valdi** (Feurs, Franciaország) és a **S.N.A.M.** (St. Quentin-Fallvier, Franciaország) üzemét látogathatták meg, és még egy további is, nevezetesen az MTB Recycling üzemét Treptben (Franciaország) / Egyébként az EBRA szövetség elnöke 2007-ben Budapesten is tartott előadást a témában, mely az [2] Internet címen érhető el: [http://www.ebrarecycling.org/docs/activities/EBRA_PRESENTATION/SpeechBudapest\(H\)20june2007.pdf](http://www.ebrarecycling.org/docs/activities/EBRA_PRESENTATION/SpeechBudapest(H)20june2007.pdf) /

Egy világszínvonalú újrahasznosító üzem (Batrec AG, Svájc)

A Wimmis székhelyű svájci cégnél 1992 óta foglalkoznak veszélyeshulladék-feldolgozással. A mérgező anyagok és a nehézfémek kezelésében világviszonylatban is úttörő tevékenységet végeztek.

Az ún. Sumitomo-eljárás szerinti feldolgozó üzemükben először kézzel kiválogatják a használt elemek/telepek közül az ólom- és kadmium-tartalmú elemeket, melyeket egy erre szakosodott partner cégnek adnak tovább feldolgozásra. A válogatás után kapott többi elem/telep feldolgozása pedig az 2. ábra szerinti folyamatokon (5 főbb lépésen) keresztül történik.



7.4.3.2.ábra A Batrec AG feldolgozási technológiájának folyamatvázlata, az ötszintű kezelési technológiái szemléltetése. **Level 1:** Pirometallurgiai (termikus kémiai) kezelés; **Level 2:** Elszívott kemencegázok, füstgázok tisztítása; **Level 3:** Fémek vissza-, illetve kinyerése; **Level 4:** Hulladékokat kezelése, ártalmatlanítása; **Level 5:** Higanyszűrése, visszanyerése

A termikus, pirometallurgiai kezelés során az elemeket legalább 700 °C-ra hevítik. Eközben a víztartalmuk és a higany elgőzölög és az illékony szerves anyagok (papír, karton, műanyagok, stb.) az utóégetőbe távoznak, ahol a füstgáz dioxin és furán tartalma is elroncsolódik az 1000 Celsius-foknál is magasabb hőmérsékleten, és csak ezt követően távoznak a füstgázok a füstgázkezelő/tisztító berendezésbe.

A füstgáztisztító berendezésben keringtetett mosóvízzel nedveskémiai úton tisztítják a gázokat, amelyeket 4 °C-ra lehűtenek. A szilárdanyag-tartalom eközben kimosódik és a higany-tartalom pedig fémhigany formájában kondenzálódik. Az itt keletkezett iszapot pedig a higanydesztilláló üzemben dolgozzák fel.

Az elemek fémtartalmát az 1500 °C-on üzemeltetett indukciós kemencében redukálják és olvasztják meg. A vas és a mangán olvadékelegye adja az ún. ferromangán ötvözet terméket, míg a cink elpárolog és a kondenzátorban fogják fel. A ferromangán olvadékot és a slakolvadékot négy óránként csapolják a kemencéből.

A gázmosóban keletkező hulladékoldatot (szennyvizet) szűrik és megtisztítják a szennyező cianid-, fluorid- és nehézfém-tartalmától. A szilárd anyagokat visszajáratják a pirolitikus lépcsőbe. A megfelelően tisztított és ellenőrzött minőségű vizes oldat végül a csatornába kerül.

A higanydesztilláló berendezésben a higanytartalmú anyagokból a higany gőze 360 °C-ra hevítve eltávozik, és a tiszta higanyt a kondenzációs oszlopon választják le. Ebből az oszlopból távozó gázokat még egy aktívszenes szűrőn is tisztítják, mellyel a higanynak a nyomait is el lehet távolítani a gázból.

Egy kisebb feldolgozó üzem a közelben (Fernwärme Wien GmbH)

Ausztriában, a bécsi *FERNWÄRME WIEN GmbH* telephelyén a használt elemek esetleges higanytartalmára tekintet nélkül vesznek át válogatott és ömlesztett (nem válogatott) használt primer elemeket. Az üzem kapacitása: 3000 t/a

A feldolgozási technológiájuk főbb jellemzői/lépései:

1. Először forgatott (dob)kemencében és növelt hőmérsékleten hevítik a beadagolt hulladékot (termikus kezelés), majd
2. méretcsökkentés (aprítás, shredderezés) után
3. méret szerint, illetve mágneses szeparátoron osztályozzák a hulladékot.

A jól mágnesezhető frakciót közvetlenül vas-acélgyártási felhasználásra szállítják.

A másik frakció (cink és mangán tartalmú poros rész) pedig cinkhulladék-feldolgozó üzembe kerül.

A hulladék termikus kezelése során keletkező füstgázok kezelésének és a vizes hulladékoldatok ártalmatlanításának technológiai problematikáját a cég a maximális biztonságra törekedve és a lehető legoptimálisabb módon úgy oldotta meg, hogy a használt elemek/telepek feldolgozását végző üzemét a Simmeringer Haide veszélyeshulladék-égetővel integráltan működteti.

Cinktartalmú elemek újrahasznosítása/feldolgozása hidrometallurgiai módszerekkel

E. Sayilgan és társai [3] összefoglaló tanulmányukban sok szempont szerint elemezték a nem újratölthető cinktartalmú használt szén-cink és a lúgos (cink-mangán) elemek feldolgozási lehetőségeiről megjelent közleményeket. Tanulmányukban idézik Rabah és társai közlését [3], miszerint az elhasználódott, kimerült szén-cink szárazelemek általuk vizsgált mintáiban az alábbi főbb összetevőket tudták meghatározni (1. táblázat)

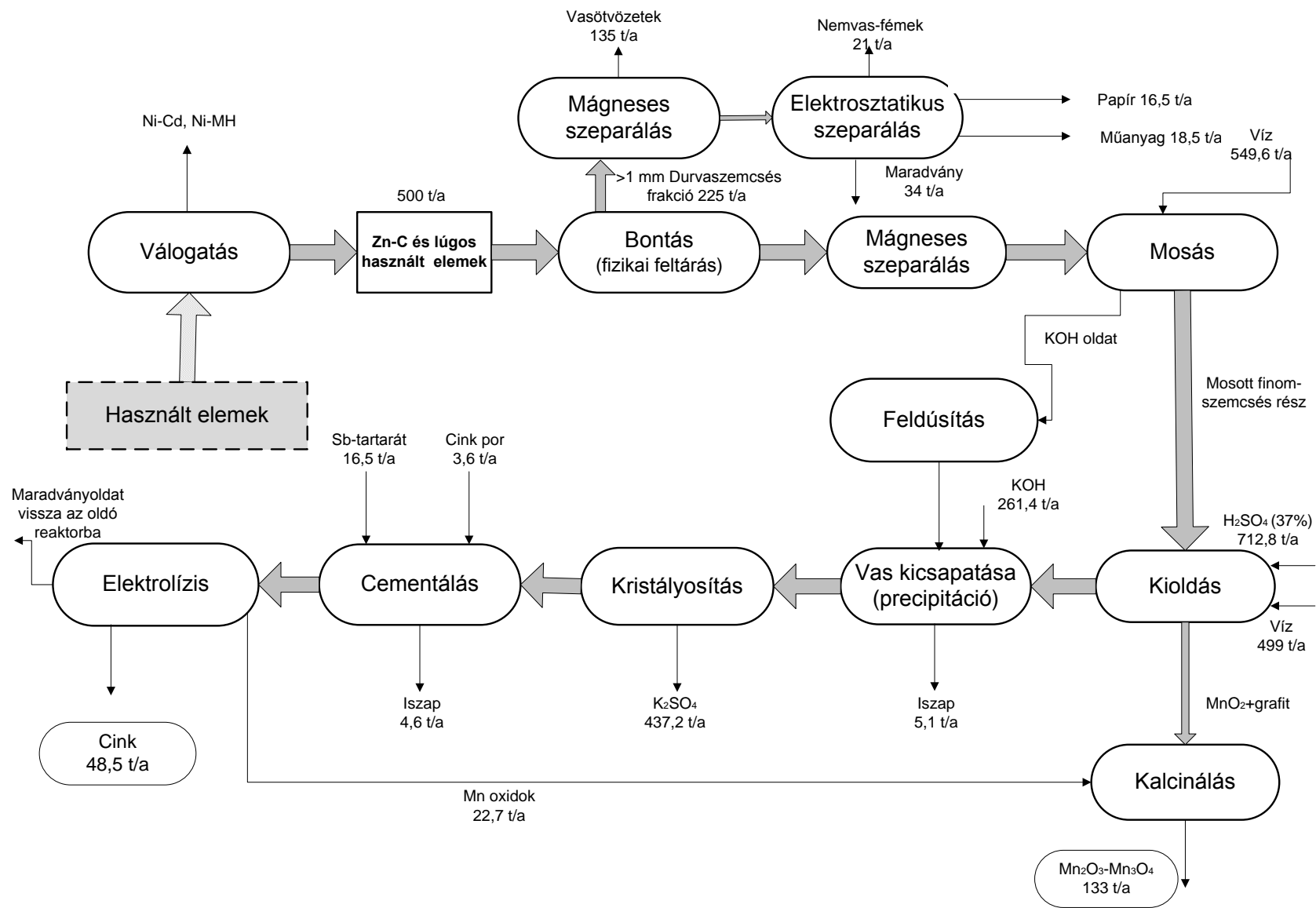
7.4.3.1. táblázat Használt szén-cink szárazelemek főbb hulladék-anyag összetevői [4] szerint

Összetétel cella egységenként	A típusú elem				B típusú elem			
	D méret		AA méret		D méret		C méret	
	(g)	%	(g)	%	(g)	(%)	(g)	(%)
Elem egészben	81.6	100	15.7	100	97.0	100	46.7	100
Veszteség, aprítási	0.07	0.99	0.03	0.18	0.06	0.06	0.50	0.11
Papír	3.85	4.72	0.66	4.2	12.7	13.1	8.03	17.2
Acél	3.87	4.75	0.53	3.4	3.49	3.6	1.82	3.9
Cink (fehér)	11.7	14.3	4.52	28.0	16.2	16.7	7.75	16.6
C rúd	4.57	5.6	4.00	6.4	4.75	4.9	2.20	4.7
Fehér massa	4.65	5.7	0.89	5.7	5.51	5.68	2.1	4.5
Fekete massa	38.6	47.3	5.39	34.3	37.8	39.0	15.9	34.1
Nedvességtartalom	14.4	17.6	2.83	18.0	16.5	17.0	8.4	18.0

7.4.3.1. táblázat A lúgos (mangán-cink) és a szén-cink elemek fémtartalma

Összetétel	Lúgos elemek hulladéka	Lúgos elemek hulladéka	Lúgos elemek hulladéka	Lúgos elemek hulladéka	Cink-mangán szárazelemek hulladéka	Vegyes hulladék
	(tömeg%)	(tömeg%)	(tömeg%)	(tömeg%)	(tömeg%)	(tömeg%)
Zn	21	12-21	19.56	17.05	28.3	15.46
Mn	45	26-33	31.10	36.53	26.3	33.59
K	4.7	5.5-7.3	7.25	4.53	-	3.26
Fe	0.36	0.17	0.174	0.07	3.4	0.50
Pb	0.03	0.005	0.005	-	-	-

Hg	1	-	0.015	<0.002	-	-
Cr	-	-	-	-	-	0.19
Cd	0.06	-	-	-	-	-
Na	-	-	0.10	0.13	-	-
Al	-	-	-	-	-	0.36
Cl	-	-	-	-	-	3.38
Ti	-	-	-	-	-	0.27
Si	-	-	-	-	-	0.49
Ni	-	0.010	-	-	-	-
Egyéb	30		41.80	41.69	21.6	
Adatok forrása	[De Souza and Tenorio (2004)]	[De Souza et al. (2001)]	[Salgado et al. (2003)]	[Veloso et al. (2005)]	[Peng et al. (2008)]	[De Michaelis et al. (2007)]



7.4.3.2. ábra Használt cinktartalmú szén-cink és lúgos (mangán-cink) elemek feldolgozásának folyamat-vázlata, a fontosabb anyagmennyiségek feltüntetésével, kénsavas kioldásra [5]

F. Ferella és tsai több tanulmányukban [F1, F2, stb.] is foglalkoznak a cinktartalmú (szén-cink, illetve a lúgos mangán) használt elemek hidrometallurgiai újrahasznosítási lehetőségeivel, és az 2. ábrán elsődlegesen ezekre a munkákra alapozva mutatunk be egy olyan eljárás-vázlatot, melynek révén a kézi válogatás után nyert és évenkénti mintegy 500 t/a feldolgozási kapacitásra számolva tüntettük fel az egyes műveletekhez szükséges vegyszermennyiségeket, valamint a visszanyerhető anyagmennyiségeket. Egy ilyen feldolgozási séma szerint tehát az anyagfolyam főbb tételei a következők:

Bemenő tételek:

1. Szén-cink és lúgos (cink-mangán) használt elemek /vegyesen/
(kézi válogatás után): 500 t/a
2. Vegyszerigény:
 - 2.1. Víz (mosáshoz): 550 t/a
 - 2.2. Kénsav (37%-os) az oldáshoz: 710 t/a
 - 2.3. Víz a kénsav hígításához, ill. az oldáshoz: 500 t/a
 - 2.4. Kálium-hidroxid a vas-hidroxid kicsapásához: 260 t/a
 - 2.5. Cinkpor a cink-szulfátos oldat tisztításához: 4 t/a
 - 2.5. Antimon-tartarát a cink-szulfátos oldat tisztításához: 17 t/a

Kinyerhető és újrahasznosítható anyagok:

1. Vashulladék (mágneses szeparálásból): 135 t/a
2. Nemvasfémek hulladéka (elektrosztatikus szeparálásból): 21 t/a
3. Papírhulladék: 16 t/a
4. Műanyag hulladék: 18 t/a
5. Mangán-oxidok (a nem oldódott mangán-dioxidos, szenes (grafitos) maradvány kalcinálása után): 130 t/a
6. Kristályosított kálium-szulfát só: 430 t/a
7. Katód-cink (az elektrolízis katódterméke): 45 t/a

Egyéb maradvány-anyagok:

1. A fizikai feltárás (bontás, aprítás) és a fizikai szeparáló műveletek (szitálás, mágneses és elektrosztatikus szétválasztás) maradványai
2. A kicsapítás (precipitációs vastalanítás) hidroxidos iszapja
3. Az elektrolízis előtti oldattisztítás (cementálás) iszapja

4. Vissza nem forgatott oldatmaradványok, felfogott hulladékoldatok

Viszonylag kicsiny éves feldolgozandó cinktartalmú elemhulladék mennyiségeknél ugyanakkor érdemes megfontolni, hogy a fentebbinél egyszerűbb, kevesebb műveleti lépésből álló feldolgozási séma szerint milyen és mennyi újrahasznosítható anyag lenne visszanyerhető, továbbá mely pontokon lehetne, az anyagfolyam egészét tekintve, már létező magyarországi hulladék-feldolgozó üzemekkel kooperációban megvalósítani a feldolgozást. Ehhez az alábbiak mérlegelését, megfontolását látjuk szükségesnek:

1. Nem lenne-e célszerű olyan, már létező hulladék-feldolgozó telephelyén megvalósítani a kézi válogatást és a cinktartalmú elemhulladékok fizikai feltárását (erre alkalmas újonnan megtervezendő és megépítendő berendezésekkel), ahol a ferromágneses és az egyéb fémek törmelékeinek a mágneses, illetve elektrosztatikus szétválasztására alkalmas berendezések már üzemelnek és ehhez szükséges szabad kapacitásuk is rendelkezésre áll.
2. A fizikai/mechanikai feltárás és a fizikai szeparálás utáni cinkoxidos-mangánoxidos-kálium-hidroxidos finomszemcsés nedves maradvány vizes mosása által visszanyerhető káliumtartalmú szennyezett oldat későbbi hasznosíthatóságát illetően is szükséges megfontolni, hogy a vizes mosás után ülepitett és szétválasztott cinkoxidos-mangánoxidos iszapot kénsavas vagy sósavas oldással célszerűbb-e továbbfeldolgozni. A szakirodalmi hivatkozások - sokféle, többé-kevésbé szelektív oldó reagens /pl. ammónium-(hidrogén)karbonát; ecetsav; oxálsav/ említése mellett - zömében a kénsavas oldást említik, mellyel akár a cink- és mangán-tartalom együtt (alkalmas redukálószer jelenlétében!), akár csak a cinktartalom nagyobb része (mangánnal szennyezett oldatot nyerve) vizes szulfátos oldatokba vihető. Elvileg a sósavas oldással is hasonló eredményre lehet számítani, de ez utóbbiról kevesebb irodalmi adatot lehetett találni az anyagáramok/mérlegek megbízható becsléséhez.
3. Amennyiben a savas kioldás utáni mangánoxidos maradvány anyagnak a vaskohászati alapanyaggyártásban (pl. a zsugorítvány gyártásban) történő továbbfeldolgozására - akár Magyarországon belül is - nyílna lehetőség, akkor inkább a sósavas kioldás lehetne a preferált, mivel ezáltal nincs veszélye ennek a mangántartalmú, most már kohászati másodnyersanyagnak, a kénnel (szulfátokkal) történő elszennyezésének. Ugyanakkor a sósavas kioldásnál törekedni kell a mangánoxidos maradvány legalább olyan mértékű cinktelenítésére, ami a kohászati alapanyaggyártó átvételi előírásainak megfelel, és ebből a szempontból a mangánoxidos iszap víztartalma is fontos szempont lehet.
4. A kioldással nyert cink-kloridos (és többek között vas-kloriddal és mangán-kloriddal is szennyezett) sósavas oldatból cinktartalmú és alkalmas célra újrahasznosítható termék legkönnyebben szelektív kicsapással (pH gondos szabályozása melletti precipitációval) nyerhető. Ennek a terméke cink-hidroxidos és/vagy cink-karbonátos besűrített iszap lehet. A precipitációs reaktorból emellett szennyezett vashidroxidos iszap és szennyezett mangán-klorid tartalmú maradványoldat kerül ki. Ezeknek a kezeléséről és elhelyezéséről ugyancsak gondoskodni kell.
5. Az oldhatatlan cinkvegyületek kicsapásához részben felhasználható a mosásból származó KOH-os lúgos oldat, amihez akár a KOH-nál jóval olcsóbb NaOH is használható.

tó, mint semlegesítő szer, így végül a rendszerbe (elsősorban a sósavval) bevitt klorid következtében Na-K-Cl-os (szennyezett) sós maradványoldat is keletkezik. Ennek hasznosításáról, illetve elhelyezéséről ugyancsak gondoskodni kell

Ez utóbbi feldolgozási folyamatvázlat szerint műveleti lépések megvalósításához szükséges legfontosabb berendezések (az anyagok mozgatásához szükséges egységek, szivattyúk nélkül):

- Ad 1. A **fizikai feltáráshoz** megfelelő aprító berendezés (kalapácsos malom vagy nyíróvágó mechanikai behatással aprózó /késes/ aprítóberendezés); rázószita a két frakció (durva, ill. finom) méret szerinti elkülönítésére.
- Ad 2. **Vizes mosáshoz** keverős tartály vízadagolóval; továbbá ülepítő berendezés az oldatlanul maradt mangánoxidos iszap elválasztására. Tároló tartályok a lúgos (KOH-os) oldat átmeneti tárolására.

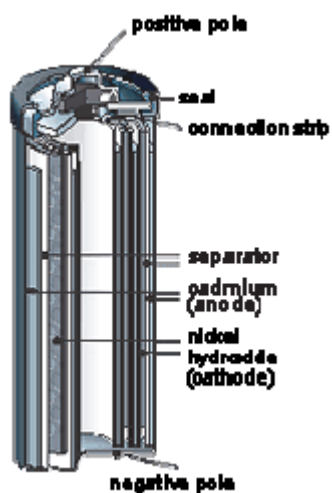
Zárt rendszerű, keverős **kémiai oldó reaktor**, megfelelő savadagoló és szabályozó kiegészítő egységekkel.
- Ad 3. Az oldó reaktorból ürített mangánoxidos iszap szikasztására, szárítására és átmeneti tárolására szolgáló berendezések;

továbbá átmeneti tároló tartályok az oldó reaktorból ürített cink-kloridos oldat felfogására.
- Ad 4. **Keverős precipitációs reaktor** a vas(III)-hidroxid, majd a cink-hidroxidos termék kicsapatásához és egymás utáni lépcsőkben történő ürítéséhez külön felfogó tartályokba.
- Ad 5. A kloridos szennyezett maradékoldat (sós lé) átmeneti tárolására tartályok.

Amennyiben ezen egyszerűsített folyamatvázlat szerint és kloridos rendszerben dolgozunk, akkor a használt elemek cinktartalmát zömében cinkvegyület (cink-hidroxid) formájában nyerhetjük vissza, és a kénsav helyett felhasználandó tömény sósav (~33%-os) tömege 710 t/a helyett mintegy 600 t/a lenne. Első közelítésben tehát nagyságrendileg közel hasonló anyagmennyiségekkel számolhatunk, mint a fentebb részletezett kénsavas kioldásra felvázolt anyagfolyam esetében.

A hidrometallurgiai feldolgozáshoz szükséges berendezések jellemző méreteinek a megválasztásához – első közelítésként – tehát kiindulhatunk a fentebbi mennyiségi adatokból. A kénsavas, ill. sósavas oldáshoz közelítőleg azonos savkoncentrációjú (0,5...4 mol/l) oldatokkal lehet dolgozni, a kioldás során a tartózkodási idők pedig – a reaktorjellemzőktől és a hőmérséklettől is erősen függően –, de nagyságrendileg 20...200 perc közöttinek vehetők az irodalmi adatok alapján.

NIKKEL-KADMIUMOS BATTERIÁK



y... ábra Az újratöltető nikkell-kadmium elemek egyik változatának vázlatos szemléltetése [Stibat, 2007]

A használt nikkell-kadmium elemek feldolgozása

A begyűjtött és válogatott használt Ni-Cd telepek feldolgozásának elsődleges célja a hulladék toxikus nehézfém-tartalmának (különösen a kadmiumnak) a kinyerése, továbbá az egyéb hasznosítható komponenseknek az elkülönítése és visszanyerése. Ez utóbbiak közül különösen a nikkell, illetve nikkelvegyületek képviselnek jelentősebb értéket.

A használt Ni-Cd telepek feldolgozásának hidrometallurgiai módszereit is már többen vizsgálták laboratóriumi körülmények között. A Ni-Cd telepek elektrokémiailag aktív anyagai a nikkell és a kadmium oxid-hidroxid vegyületei. Ezek 1-2 mol/L-es vizes kénsavas vagy sósavas oldatban is oldhatók. A Ni-Cd telepek fém Ni tartalmát már nehezebb feloldani, s ehhez általában magasabb hőmérséklet (85...95°C) és akár több órás kioldási idők alkalmazása szükséges.

A kadmium elválasztására - sósavas oldás után - többnyire oldószeres extrakciós módszereket javasoltak [Reddy] (például Cyanex 923 és 272 reagensekkel kerozinban oldva), de tömönyebb sósavas oldatokból a kadmiumnak az anioncserés elválasztása (ioncserélő gyantán) is szóba jöhet, melyre viszont eddig nem találtunk irodalmi hivatkozást, tehát ezt az újszerű lehetőséget feltétlenül laboratóriumi kísérleti vizsgálatokkal kellene feltárni és részleteiben is tisztázni.

A hagyományos hidrometallurgiai elválasztási módszereket illetően a legegyszerűbben kivitelezhetőnek az alábbi kettőt találtuk:

- a. Kénsavas oldás után cinkporos cementálása a kadmiumnak és a nikkellnek, két lépcsőben először hidegen, majd melegen, például Dokic et al. tanulmányában [D] leírtak szerint eljárva.

- b. Kénsavas oldás után elektrolitikus (katódos) leválasztása először a kadmiumnak (savas oldatból), majd a nikkelnak lúgos ammóniás oldatból, például Rudnik és Nikiel tanulmányában [RN] leírtak szerint eljárva.

Rudnik és Nikiel a javasolt feldolgozási eljárásuk alapján egy közelítő költségbeclést is végeztek, miszerint a 2007. évben érvényes árak alapján az alábbi tételekkel számoltak:

Használt Ni-Cd telepek hulladéka (input): 1,5 t
Ebből kioldással feltárható anyagmennyiség: ~ 1 t

Az előkészített hulladék fémtartalmai: 34% Cd, 25% Ni
A laboratóriumi kísérleteknél talált kihozatalok: 92% Cd és 67% Ni,

azaz a visszanyerhető fémmennyiségek: ~ 315 kg Cd és ~ 165 kg Ni

Kénsav szükséglet (25 m³ 20%-os töménységű H₂SO₄)
/1 t kioldandó anyagra számítva/ ára: 300 USD
Egyéb vegyszerigényt (+ammónia, +nátrium-hidroxid)
is számolva ez lehet akár: 1000 USD

Az elektrolízis elektromos energia szükséglete (50...100 kWh/kg fajlagos
energia igénnyel és 0,07 USD/kWh áramdíjjal számolva): 1500...3000 USD

Ezeket összegezve, a fentebbi mennyiségű Cd és Ni fémek kinyerésének költsége legalább 2500...4000 USD 1.5 t használt (és kioldásra előkészített !) Ni-Cd hulladékra számítva.

A katódos leválasztással a laboratóriumi kísérletek során nyert tisztaságú fémek akkori (LME 2007) áraival számolva (5 USD/kg Cd, ill. 45 USD/kg Ni) a visszanyert fémek (315 kg Cd + 165 kg Ni) ára összesen mintegy

9000 USD.

Ezeket a költség adatokat és fémárakat tekintve – nem véve számításba sok egyéb költséget (például a válogatását, a bontását, a veszélyes maradványanyagok elhelyezését) – a szerzők akkor bíztatónak ítélték.

Hivatkozások jegyzéke

1.

Stibat 2007. <http://www.stibat.nl/en/tabalgemeen/werking.aspx?m=422> *The Composition of Rechargeable and Non-rechargeable Batteries*. Stichting Batterijen. Consulted at 13-03-2007, illus.

2. Bertrand Schutz, az EBRA elnöke budapesti előadásának (2007) vázlata:
[http://www.ebrarecycling.org/docs/activities/EBRA_PRESENTATION/SpeechBudapest\(H\)20june2007.pdf/](http://www.ebrarecycling.org/docs/activities/EBRA_PRESENTATION/SpeechBudapest(H)20june2007.pdf/)
3. E. Sayilgan, T. Kukrer, G. Civelekoglu, F. Ferella, A. Akcil, F. Veglio, M. Kitis: *A review of technologies for the recovery of metals from spent alkaline and zinc-carbon batteries* Hydrometallurgy 97 (2009) 158-166.
4. M.A. Rabah, M.A. Barakat, Y.Sh. Mahrous: *Recovering metal values hydrometallurgically from spent dry battery cells. General Hydrometallurgy. Research Summary.* JOM 1999 41-43.
- 5.

[Reddy] B. R. Reddy, D. N. Priya, S. V. Rao, P. Radhika: *Solvent extraction and separation of Cd(II), Ni(II) and Co(II) from chloride leach liquors of spent Ni-Cd batteries using commercial organo-phosphorous extractants* Hydrometallurgy 77 (2005) 2553-261.

[Đ] Dokic J., Kamberovic Z., Korac M.: *Hydrometallurgy recycling process of Ni-Cd batteries* Recyklácia použitých prenosných batérií a akumulátorov Equilibria s.r.o. (2009) 37-43.

[RN] Rudnik E., Nikiel M.: *Hydrometallurgical recovery of cadmium and nickel from spent Ni-Cd batteries* Hydrometallurgy 89 (2007) 61-71.

7.5. Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása és hasznosítása

7.5.1. A keletkező hulladék gumi mennyiségi, minőségi jellemzése, a hasznosítás lehetőségei

Fejezet szerzője: Prof. Dr. Csőke Barnabás, Dr. Gombkötő Imre

Nemzetközi tendenciák

Az USA-ban 1990-ben több mint 264 M gumiabroncsot adtak el, 242 M-t pedig kiselejtezték. Az abroncsok 77,6%-át, 188 M db-ot szemétkerakó helyekre, csak abroncsok tárolására kijelölt helyekre vagy illegális lerakóhelyekre szállították. 26 M abroncsot (10,7%) elégettek, 16 M (6,7%) anyagát újrahasznosították, 12 M-t (5%) exportáltak. További 33,5 M abroncsot újrafutózás után ismét abroncsként adtak el, 10 M-t pedig abroncsként egyéb célra alkalmaztak. A különféle lerakóhelyeken tárolt abroncsok számát az USA-ban 2-4 Mrd-ra becsülik. A használt abroncsok lerakása tároló helyeken a jövőben nem lesz járható út. A sűrűn lakott ipari országokban elfognak az erre alkalmas területek és a szemétkerakás költségei is nőnek. Az USA néhány államában máris tiltják a használt abroncsok lerakókba helyezését és 2000-ig az Európai Unióban is meg fogják tiltani azt. A vázolt nehézségek miatt napjainkban világszerte keresik azokat a kezelési módokat, amelyekkel az abroncs-hulladék mennyiségét mérsékelni, a keletkező hulladékot pedig hasznosítani lehetne.

A fő irányzatok a következők:

- az abroncsgyártáshoz felhasznált anyagok mennyiségének csökkentése,
- a kiselejteztett abroncsok hasznosítása a gumijelleg megőrzésével,
- a kiselejteztett abroncsok hasznosítása a gumimolekulák lebontása után,
- az abroncsok elégetése hőenergiájuk hasznosításával.

Nyugat-Európában jelenleg kb. 1,82 Mt autógumi kerül évente hulladékba és nagyjából ugyanennyi egyéb gumi-hulladékkal lehet számolni. A hulladékkezelés %-os megoszlása 1997-ben:

energiatermelés erőművekben	7 %
fűtőanyagpótlás cementgyárakban	12 %
granulátum előállítása	9 %
lerakás	40 %
újrafutózás	22 %
meghatározatlan kezelés	10 %

Az Európai Unió – előzetes ajánlásában – különböző célokat jelölt meg, amelyek között a használt gumiabroncsok 100%-os begyűjtése is szerepel. E célokat a 7.5.1.2.1.1. táblázat foglalja össze.

7.5.1.táblázat: EU ajánlások a gumiabroncsok hasznosítására

Használt abroncsok	1990	2000
Tömeg, Mt	0,975	2,500
Tömegének csökkentése, %	0	<5
Újrafutózás, %	20	25
Anyagának vagy energiataralmának hasznosítása a fokozatosság elvének betartásával, %	30	65
Lerakás, %	50	0

7.5.2.táblázat: Gumiabroncs-hulladék hasznosítás Németországban (ezer tonna) [3]:

Megnevezés	1997	2000
Gumiabroncs-hulladék	670	690
Újrafutózás	130	140
Őrletfelhasználás	70	80
Depolimerizáció	200	300
Energiatermelés	50	100
Cementipar	250	200
Mezőgazdaság	10	10
Egyéb	-	-
Összes felhasználás	580	690
Deponálás	90	-

Magyarországi helyzet

Az 1995-ben elfogadott termékdíj törvény a gumiabroncs hulladékok problémakörének megoldására is kiterjed. Az elhasznált gumiabroncsok nem veszélyesnek minősülő hulladékok. A gumiabroncs hulladékokkal kapcsolatos tevékenységekre direkt szabályozás Magyarországon jelenleg nincs.

A forgalomba hozott gumiabroncsok 1993. évi darabszámát a 7.5.3. táblázat tartalmazza.

7.5.3. táblázat: A gumiabroncsok forgalomba hozott mennyisége Magyarországon

Személygépkocsi, ezer db	
új import	1121
használt import	635
felújított	130
összesen	1886
Tehergépkocsi és egyéb jármű, ezer db	
új import	195
belföldi új	132
felújított hazai	122
összesen	449
felújított személy és teher együtt	38,3
Mindösszesen:	2373,3

Az évente keletkező gumiabroncs hulladék mennyisége kb. 40-42e t.

7.5.4.táblázat: A gumiabroncsok mennyisége Magyarországon

Gumiabroncs típusa	A lecserélt gumiabroncsok száma egy évben (ezer db)	Átlagos végső tömeg (kg)	Az évente termelődő gumiabroncs hulladék tömege (tonna)
Tehergépkocsi	486	50	24300
Személygépkocsi	2291	6	13746
Mezőgazdasági jármű	52	50	2600
Egyéb jármű			920
Összesen			41566

A gumiabroncs hulladék mennyisége mellett fontos a hasznosítás kapcsán szóba jöhető kapacitások

7.5.5.táblázat: Hazai termékdíjjal létrehozott gumiabroncs-kapacitások beruházási költsége

Megnevezés	Darab-szám	Egy egység beru-házási költsége (EFt)	Összesen (EFt)
Gyűjtőhely (2000 t kapacitás, 15000 m ²)	60	10000	600000
Őrlő technológia (10000 t/év, épületekkel együtt)	5	350000	1750000
Cementgyári égetés			
• meglévő (Beremend fejlesztése, 13000 t/év)	1	270000	270000
• új (Hejőcsaba, 10000 t/év)	1	300000	300000
Pirolízis	1	nincs adat	
Termék előállítás			
• gumitégla, lap, stb. (10000 t/év)	1	45000	45000
• cipőtalp (10000 t/év)	3	56000	168000

7.5.6 táblázat: Gumiabroncs feldolgozásának fajlagos üzemköltsége

Megnevezés	Beruházás (Ft/kg)	Működtetés (Ft/kg)	Bevétel (Ft/kg)
Gyűjtés	7,5	7,7	7,5
Őrlés berendezés	35	11,2	22,7
Égetés (cementgyár)			
• meglévő	22,5	6,1	-
• új	30,0	7,5	-
Termék előállítás	5,0	187	200
INFO	0,5	0,5	
PR	0,5	0,2	

Figyelembe véve a felhalmozódott abroncshulladék mennyiségét, a továbbiakban várhatóan még két, - egy égetési és egy őrlési – egyenként 15000 t/év feldolgozási kapacitás további bővítésére van szükség, továbbá meg kell teremteni 30000 t/év kapacitást végtermék (tégla, szőnyeg, különleges finom őrlemény) előállítására.

Gumiabroncs-hulladék hasznosítás lehetőségei

A gumiipari, -ezen belül a legnagyobb volument képviselő gumiabroncs- hulladékok hasznosításának problémája egyidős a gumitermékek tömeges gyártásával.

Magyarországon évtizedekig foglalkoztak gumihulladék hasznosításával és a hasznosítás lehetőségeinek fejlesztésével, ui. a gumiipari szakemberek törekvése az volt, hogy ezt az alapjában véve még elhasználtan is értékes anyagot visszanyerjék új termék gyártása számára, pl. regenerátum formájában. Ez azonban a termékekkel szembeni igények növekedése miatt egyre kevésbé megoldható.

Az újrahasznosítás Magyarországon az újrafutózást kivéve az 1970-es évektől megállt, sőt visszafejlődött. Ennek oka az olcsó és jó tulajdonságú műkaucsukok megjelenése, aminek a hatására rendkívül visszaesett a regenerátum felhasználás.

A fejlett ipari országokban ma már a komplex hasznosítás (újrafutózás, őrlés, hőhasznosítás) kerül előtérbe, amely szervezett gyűjtőhálózatra épül .

A hasznosítás területei

- **újrafutózás**, amelyet 10-15%-ban a legtöbb országban alkalmaznak. A sebességkorlátozás miatt azonban elsősorban a teherabroncsok futófelületét újítják fel hideg újrafutózással.
- **őrletgyártás**, a legősibb hasznosítási eljárás a gumi anyagában való hasznosítása.
 - Kétféle technológia terjedt el:
 - mechanikai őrlés környezeti (normál) hőmérsékleten,
 - mechanikai őrlés mélyhűtéssel kombinálva.(kriogénes technológia)

A gumiőrletet regenerálva vagy közvetlen őrlésként használják fel részben néhány %-ban (5-10%) az új gumiipari termékekhez, részben kötőanyag hozzáadásával tisztán őrlétből állítanak elő új terméket, mint pl. gumitégla, járólap, stb. részben pedig az útépítésnél az út alapba vagy az aszfaltba viszik be. Magyarországon jelenleg három üzemben van normál hőmérsékletű őrlés előállítás (kriogénes technológia nincs). A jelenlegi technológiák csak fém- és textilmentes gumi őrlésére alkalmasak, gumiabroncs feldolgozására nem.

A gumiabroncsból kinyerhető gumi mennyisége általában 60-65%. Magyarországon, ahol az üzemeletetők jobban elkoptatják a futófelületet, 55-60%-kal lehet számolni. A fennmaradó rész acél-, ill. textilvázas abroncs esetén 25% textil és 10% acél. Az őrléskénti hasznosítás aránya a világban 10-30% között van. Az őrlés ára a szemcsefinomságtól függően 200-250 EUR/t. A teljes gumiabroncs feldolgozása, ill. hasznosítása.

Energetikai hasznosítás

A gumihulladék jelenleg alkalmazott leggazdaságosabb hasznosítási módja az égetés, ez egyben a hulladék teljes megsemmisítésének egyetlen végleges megoldása is.

A gumitermékek magas szénhidrogén-tartalma miatt nagy a fűtőértéke, azonos vagy magasabb, mint a fosszilis tüzelőanyagoké, és ez alkalmassá teszi arra, hogy tüzelőanyagként kerüljön felhasználásra.

Az emisszió sem okoz nagyobb problémát, mint pl. a szén elégetése esetén. Amíg az őrlégyártásnak igen nagy az energiaigénye, ill. az energiaköltsége, addig az energetikai hasznosításnál külső energia befektetése nélkül a gumi fűtőértéke hasznosul, azaz energiát nyerünk.

7.5.8.táblázat: Átlagos gumiabroncs elemi (vegyi) összetétele

összetevő	súlyszázalék
Szén	70-77
Hidrogén	7-7,5
Kén	1,3-1,7
Oxigén	5
Nitrogén	1,5
Cink	1,1-2,1
Vas	5-15
Egyéb	5

A hulladék gumi hőhasznosítására három módszer terjedt el:

- -cementipari klinkerégetőben történő elégetés,
- -tüzelőberendezésekben való elégetés (gőz- vagy villamos energia előállítására),
- -hőbontás (pirólízis, lepárlás), amikor vegyi anyagokat, ill. gázt, fűtőolajat állítanak elő, a két utóbbi anyagot tüzelőanyagként értékesítik, a kormot egyéb célra hasznosítják.

A cementipari égetés a legelterjedtebb módszer. A gumiabroncs a kialakított adagolórendszerrel függően egészben vagy darabolva, a cementművek klinker-kemencéibe beadagolva 1300-1500 °C-on elég és beépül a késztermékbe. A gumiabroncs fűtőanyag helyettesítőkénti alkalmazása azért is előnyös, mert alacsony a víztartalma (1% alatt van), ezáltal is kevesebb fűtőanyagra van szükség. Hazai tapasztalat, hogy a kibocsátott szennyező anyagok emissziója is a megengedett határérték alatt marad.

A felhasználást mégis korlátozza, hogy a gumi kéntartalma és a nem teljesen tökéletes égés következtében a gumi égetése bár határérték alatti, de mindenképpen mérhető környezeti terhelést jelent.

7.5.9.táblázat: Különböző cementipari fűtőanyagok összetétele összehasonlítva a gumiabroncs összetételével

Megnevezés	Fűtőolaj	Kőszén	Használt gumiabroncs
Fűtőérték MJ	39-40	24-29	27-33
Hamutartalom s%-1	0,1	10-30	12-19
Alkáli tartalom	>0,015	-	>0,1
Nyomelek s%	>0,13	>0,4	>2,0

A cementiparban való felhasználást tovább korlátozza, hogy a tüzelőanyagok 20-25%-át tudják csak helyettesíteni gumiabroncs-tüzelőanyaggal a magas Zn-tartalom miatt, amely adott szinten túl csökkenti a cement szilárdulási idejét.

Erőművekben történő elégetése a hulladék gumiabroncsoknak egyre jobban terjed az utóbbi időben, a használt abroncs ui. értékes és tiszta tüzelőanyag, jobb, mint a szén. Egy 8 kg-os személykocsi abroncs energiataralma kb. 4-6 kg tüzelőolajával egyenlő.

Az erőművi égetés elégetés egyik nagy előnye, hogy az abroncs minden alkotóeleme "hasznosul", vagyis energia állítható elő belőle. Az erőművek környezetkímélő módon üzemeltethetők, ui. a tüzelőanyag, azaz az abroncs vegyi összetétele -nagyon kis eltéréssel- azonos, így a felszabaduló anyagok összetétele a füstgáz tisztítása is jól tervezhető.

A gumi elégetésére a legkülönbözőbb méretű és kapacitású (50-1500 db/óra) berendezéseket gyártanak ma már a legkülönbözőbb rendszerű kivitelben, amelyekben 6-120 kg tömegig, 0,5-1,8 m átmérőig adagolhatók be abroncsok kézi, félautomata, automata adagolókkal ellátva. Tehát az égető-berendezések széles választéka beszerezhető ma már igény szerint. Villamos energia előállításához szükséges gumitüzelésű berendezés -8 MW teljesítmény esetén- 2000-2200 MFT körül van. Gőzelőállító berendezések ára méretétől függően 1000--1300 M Ft, 10-13 et/év gumi elégetésére alkalmas.

Az erőművi hasznosítás hátrányaként jelentkezik, hogy a gumiabroncsnak a jelenlegi szerves erőművekben történő elégetése technikailag nem megoldható, önálló gumi elégetésére szolgáló égetők megépítése pedig, a jelenlegi jogszabályi és hatósági eljárás következtében, különös tekintettel az érintett lakosságra, megvalósíthatatlan feladat.

Pirolízis, elgázosítás

A gumi őrlet újabb jelentős felhasználási területe az ún. pirolízis eljárás, amely tulajdonképpen többféle eljárás összefoglaló megnevezése. Lényegében a pirolízis széntartalmú anyagok hőkezelés oxigén vagy levegő kizárásával, zárt térben nyomás alatt, ahol egy depolimerizációs folyamat zajlik le. Nemcsak gumitermékek lebontására de többféle szervesanyag pl. polimerek újrahasznosítására is alkalmas. A technológiai körülmények megválasztásával irányítható a képződött termékek aránya és összetétele.

7.5.10.táblázat: A pirolízis során különböző hőmérsékleten végbemenő kémiai folyamatok

100-120 C ⁰	termikus szárítás
250 C ⁰ -	depolimerizáció,deoxidáció, széndioxid és kénhidrogén képződés
340 C ⁰	alifás kötések felbomlása, metán képződés
380 C ⁰	szenesedési fázis
400 -450C ⁰	szén-oxigén,szén-nitrogén kötések felbomlása bitumen anyagok átalakulása kátránnyá
600 -800 C ⁰	gáznemű és rövidláncú szénhidrogének krakkolódásának kezdete aromás vegyületek lebomlása, fokozott krakkolódás
>800 C ⁰	dién-reakciók, magasabb szénatomszámú aromás vegyületek képződése, rövid láncú szénhidrogének (pl. metán) képződése

7.5.11.táblázat: A pirolízis során a gumihulladékból a termikus lebontással képződő termékek

nehézolajok, kátrány	20-30 % (400-600 C ⁰)
könnyűolajok, egyenes és zárt szénláncu szénhidrogének	7-10% (600-800 C ⁰)
korom	30-40% (380 C ⁰)
gáznemű termékek	10-20% (800-1100 C ⁰)
salak (acél	13-20% (1100-1700 C ⁰)

A pirolízis eljárás szélesebb körű gyakorlati alkalmazását behatárolja, hogy a gyakorlatban a komplikált technikai beruházási igény és a végtermékek változó összetétele miatt a gumiabroncs feldolgozás nem gazdaságos, a végtermék energiatartalma a kiinduló anyag energiatartalmát sem éri el.

7.5.2. Gumi hulladékok feldolgozása mechanikai, kémiai és termikus eljárásokkal

A hulladékabroncsból visszanyerhető anyag *újrahasznosítása* a környezetvédelem elsődleges fontosságú kérdésévé vált. A hulladékgumik visszadolgozását változatlan, ill. kémiailag módosított formában régóta sikerrel alkalmazzák.

Visszanyerésen, a használaton kívül kerülése után egyébként lerakóhelyen elhelyezésre kerülő, kidobott termékekből ismételten felhasználható, értékes anyag előállítását értjük, amely történhet:

- elsődleges újrafeldolgozással (aprítás, őrlés),
- másodlagos újrafeldolgozással (öntés, extrudálás),
- harmadlagos újrafeldolgozással (kémiai lebontás, depolimerizáció) és
- égetéssel.

A gumiban történő újrahasznosítás szempontjából fontos kérdés, hogy ezek a visszanyert, feldolgozott anyagok, hogyan módosítják a gumi eredeti tulajdonságait.

Gumiabroncsok összetétele:

Anyagok:

Természetes gumi	23,0	%
Szintetikus gumi	24,0	%
Korom	25,0	%
Acélbetét	14,0	%
Textil betét	4,0	%
Egyéb	10,0	%
Összesen	100,0	%

Elemek:

szén	73,00	%
hidrogén	6,00	%
oxigén	4,00	%
nitrogén	1,40	%
kén	1,30	%
klór	0,07	%
cink	1,50	%
vas	13,50	%

A gumiabroncs-hulladék komoly értéket képvisel, amely kifejeződik:

- a gumiabroncs egyes alkatrészeinek eltérő élettartamában,
- a gumiabroncs alkatrészeinek energiatartalmában,
- a gumi maga szénhidrogén tartalmában és
- a gumiabroncsot alkotó egyes alkatrészek újrafelhasználásában (gumi, textil, acél).

Sokéves kutatómunka révén különböző eljárások alakultak ki, amelyek lehetővé teszik ezeknek az értékeknek a megmentését, nevezetesen:

- gumiabroncs felújítás, újrafutózás;
- energetikai hasznosítás a cementiparban vagy hő- illetve, villamos energia termelés;
- pirolízissel különféle szénhidrogéngázok, olajok, szén, acél és salak nyerhető;
- mechanikai aprítással (darabolás, őrlés) nyert gumiőrlemény továbbfeldolgozása gumiregeneráltá, vagy közvetlen felhasználása új termékek előállításához.

A hazai gazdasági környezet az utóbbi években nem kedvezett a járműállomány, ill. a gumiabroncs piac, és ebből adódóan a gumiabroncs-hulladék felhasználás fejlődésének.

Mechanikai módszerrel finomra őrlött gumi hasznosítási lehetőségei:

- útépitésben történő hasznosítás;
- fűtőanyagként hulladékégetőben, cement- és papírgyárban, iszapműben, távfűtőműben;
- zajcsökkentés;
- töltőanyagként új gumitermékekben finom szemcseméretűre granulálva. minél finomabb a szemcse mérete, annál nagyobb mennyiségben adagolható a tiszta nyersanyaghoz a végtermék tulajdonságainak a romlása nélkül;
- az őrlött anyag devulkanizációjával kapott anyag bekeverése a tiszta nyersanyagba. ebben az esetben a devulkanizált termék sokkal nagyobb mennyiségben keverhető be, mint a módosított vagy a felszínén módosított őrlemény;
- töltések és gátak készítése;
- talajtakarás és;
- pirolízis.

7.5.2.1. Hasznosítás az útépitésben

Az évi aszfaltszükséglet az évente képződő abroncshulladéknak a tízszerese.

Az aszfalt egyike a visszanyeréssel foglalkozók által kedvelt anyagoknak, mivel utak építésekor vagy javításakor visszanyerhető és más hulladékok, pl. autógumik és üveg hasznosíthatók benne. Ilyen módon csökkenthetők a költségek és a tiszta aszfaltnál jobb minőségű burkolatok is előállíthatók. A gumi növeli a rugalmasságot, a változó hőmérsékletek és a terhelések iránti tűrőképességet az aszfaltban.

Kiválóan alkalmas repülőtéri pályák kialakítására (Kanada). Az anyag előállításakor 25 % használt autógumiból őrlött anyagot kevernek nagyon forró aszfalthoz. A viszkozitást keveréssel csökkentik, a gumidarabok ülepedését keverőlapátokkal gátolják. A keveréket közvetlenül a régi burkolatra szórják, közúzalékkal borítják, amelyet aztán az aszfaltgumiba hengerelnek. Az ilyen burkolat rugalmasabb, tartósabb, mérsékli a zajt és a csúszást és költségkímélőbb más anyagúaknál.

A gumiőrlemény útburkolatokban való felhasználását törvények szabályozzák az USA-ban. A jóváhagyás előtt álló törvény célja a várható ár- és viszkozitás-növekedés mellett a repedés, rezgés és a kopás csökkentése, a vízáteresztés mérsékelése és nagyobb élettartam biztosítása. Természetes gumit (latex) kevernek a betonhoz. Így nincs hő okozta feszültség a rugalmas részecskéken.

7.5.2.2. Hasznosítás fűtőanyagként

A hulladék gumiköpeny mint tüzelőanyag egyenértékű, vagy éppen jobb a jó minőségű szénénél. A gumiabroncs fűtőértéke 28-32 MJ /kg.

A hulladék köpenyek égetése cementkemencékben manapság gyakori módszerré vált, a tüzelőanyag-igény 10-20 %-át tudják helyettesíteni. Környezeti szempontból ez a módszer kipróbáltnak és előnyösnek tekintett (energetikai visszaforgatás, alacsony kibocsátás). Az eljárás folyamán az abroncsok maradéktalanul elégnak, az acél és a kén pedig megkötődik a nyerscementben. Az acélra, mint adalékanyagra egyébként is szükség van a cementgyártásnál. Ily módon ez a felhasználási mód egyidejűleg energetikai és anyagi formában való hasznosítást jelent. Az égés során további kezelést igénylő maradékok nem keletkeznek.

Elméletileg az örölt köpeny (<5 mm) az ideális tüzelőanyag bármely primer tüzelésnél, de az örölt gumi, mint granulátum túl drága tüzelőanyag. Ennek ellenére Németországban tervezik az ilyen köpenyből készült granulátum használatát.

A hulladék köpenyek égetésének sajátos hatásai:

- Az NO_x 10-30 %-kal csökken (a másodlagos égés hatása miatt),
- Az SO₂-re nincs jellemző befolyás, ha elegendő alkália található a nyersanyagban,
- A nehézfémek a hulladék köpenyekből nem kritikusak. A hulladék köpenyek nagy mennyiségben tartalmaznak Zn-t, de ezt a kemence felfogja jobb, mint 99,99 %-os határfokkal, és nem termel kritikus emissziót. Hasonló következtetés vonható le a többi elemről (Cr, Ni, Pb, Cd) is.
- Nyomokban se lehet dioxint és furánt észlelni,
- A CO és az összes szénhidrogén a növekedés felé tendál,
- A cement minősége lényegesen nem változik, csak a színe válhat enyhén sötétebbé a vas befolyása miatt.

A hulladék köpenyeket 1980 óta használják a cementkemencékben. Jelenleg Nyugat-Európában 20 gyár használ hulladékköpenyt. Az alkalmazás elsősorban Németországra és Ausztriára koncentrálódik.

Németországban 18 cementműben évi 200 000 t elhasználódott gumiabroncsot tüzelnek el. Ausztriában 35 000 t, Svájcban pedig 18 000 t az évi cementipari felhasználás. Franciaországban 1992-ben alakították át az első cementgyárat abroncsokkal való tüzelésre, jelenleg már négy cementmű használja ezt a technológiát.

Az alábbiak alapján levonható az a következtetés, hogy a használt gumiabroncsot nem hulladéknak, hanem teljes értékű fűtőanyagnak kell tekinteni, mivel

- energiatartalma meghaladja a szénét,
- homogénebb és
- olcsóbb a szénénél.

7.5.2.3. Zajcsökkentés

A gumit zajcsökkentésre sokféleképp használják. Így pl. vasúti személygépkocsik padlójának bevonására, amikor is a padló felére, vagy két falap közé gumit ragasztanak. Gumihulladékot hengerléssel jól kötő lapokká alakítanak úgy, hogy a gumihulladékhoz kis mennyiségű vulkanizálatlan vagy gyengébb minőségű gumit kevernek és lapokká hengerlik. A gumilapba fémhálót nyomva, jól hajlítható lemezeket kapunk, amelyek hővezető-képessége kicsi és a korrózió elleni védelem is szükségtelen [4].

7.5.2.4. Hasznosítás töltőanyagként

Az észak-karolinai ENVIROTIRE cég gépi úton dolgozza fel a használt autógumit 99,97 % tisztaságú gumiőrleménnyé. A gumiőrleményen kívül a gyár a melléktermékként keletkező acélt és szövetrostot is forgalmazza.

A gumiőrlemény itt háromféle méretben készül:

- finom (fémeket nem tartalmaz, a gumírozott aszfalt és a gumiköpenygyártás fontos nyersanyaga),
- közepes és
- durva őrlemény (játszótér- és parképítésben használatos).

Az őrleményt a cég egy amerikai autógumigyár németországi gyáranak és Kínának szállítja, ahol kevés a használt autógumi.

Az őrleményt minősége, tisztasága folytán 15-20 %-ban lehet az új gumi anyagához adni.

A felületén módosított (oxidálószerrel kezelt, műanyaggal bevont) őrleményből nagyobb mennyiség keverhető be a tiszta nyersanyagba, mint a nem módosított őrleményből,

7.5.2.5. Devulkanizáció

A gumiiparban ismeretes regenerálási eljárások:

- *devulkanizátoros eljárás,*
- mechanikus eljárás és
- regenerálás szabad gőzben.

De-Link (DL) devulkanizálási folyamat

A hidegen vagy környezeti hőmérsékleten őrölt gumiőrleményt hagyományos gumifeldolgozó gépekkel (kéthengeres őrleő, belső keverő) devulkanizálják. A gumiabroncsok megőrleése előtt a szálal erősítő anyagokat el kell távolítani. A granulálás végtermékének szemcsemérete általában 0,6 cm vagy ennél kisebb.

Kéthengeres őrleők esetében 100 őrleményt kevernek el 2-6 rész DL reagenssel, a szükséges mennyiség függ a devulkanizálásra kerülő gumi típusától. A DL folyamat 8 percnél kevesebb idő alatt végbemegy. A devulkanizálás után az anyagot hagyhatják devulkanizált őrlemény formájában, vagy táblákat készíthetnek belőle.

Vizsgálták környezeti hőmérsékleten, ill. a hűtve őrölt anyag tulajdonságai közötti különbséget. A környezeti hőmérsékleten őrölt anyag felszíne egyenetlen, míg a hűtve őrölt anyag felülete sima volt, helyenként egyenes törésvonalakkal. Megállapították, hogy a devulkanizálás során mind a kéttípusú őrlemény nagyon hasonlóan viselkedett, ezért a technológia megválasztását elsősorban gazdasági tényezők befolyásolják

A devulkanizált gumi (DV-DeVulk keverék) és a tiszta nyersanyagból készült termékek összehasonlítása:

- A keverékbe történő DV-adagolás DV növeli a Mooney-viszkozitás értékét,
- A devulkanizált hulladék jelenléte a keverékben csökkenti a szakítószilárdságot a természetes gumi esetén,
- A DV terméket tartalmazó gumi hőállósága kisebb a tiszta nyersanyagból készült termékénél,
- A DV keverékek és a tiszta nyersanyagból készült termékek repedésállósága közel azonos. Nincs számottevő különbség a két termék üvegesedési hőmérséklete között sem.

Mindezek alapján nyilvánvaló, hogy a gumihulladék újrafeldolgozásának egyik legalkalmasabb technológiája a devulkanizáció.

Megjegyzés:

Előnyösnek találták diaril-diszulfidok használatát szintetikus gumivulkanizátumok regenerálásához. Ez lehetővé teszi a lehető legalacsonyabb technológiai hőmérsékletet és a nagy regenerálási sebességet. A regenerálást célszerű 180 és 250 °C között végezni. Az eljárás során célszerű őrölt hulladékot használni és ezt legalább 12 órán át duzzadni hagyni a diaril-diszulfid és a regeneráló olaj hozzáadása után [8].

7.5.2.6. Töltések, gátak készítése

Töltések és gátak készítéséhez az őrölt gumin az alábbi vizsgálatokat kell elvégezni [9]:

- szemcseméret-eloszlás elemzése szitálással,
- tömörítési próba,
- hidraulikai permeabilitás és
- nyíróellenállás meghatározása.

Az őrölt gumival alapozott és alátámasztott falnak a stabilitása nagyobb, mint homokkal való feltöltés esetén. Ugyanakkor az őrölt gumi használatával az anyagköltség 81-85 %-a is megtakarítható.

7.5.2.7. Talajtakarás

Gumiőrleményből olyan talajtakarás készíthető (ún. mulcs), amely visszaszorítja a gyomokat, csökkenti a talajból történő párolgást, és erősíti az alatta elhelyezkedő gyökerek szerkezetét. Erre egyényári növényeknél szénát, szalmát, lenyírt fűvet szokás használni, fás növényeknél leginkább fakérget.

Az autógumi-morzsa nem bomlik le, ellentétben a fakéreg-darával, amelyet két évente cserélni kell a lebomlás miatt. Hogy a gumimorzsa valóban veszélytelen-e a környezetre, az csak legalább 3-5 éves próbaidőszak után tudható bizonyosan. Ennyi idő után az is látszik majd, hogy valóban hatékonyan javítja-e a fák növekedési hajlamát, mint a fakéregdara. (Ezt a jelenséget

jelenleg egy kis karácsonyfa-termesztő farmon Concodeban, Georgia államban vizsgálják). A mulcsként alkalmazható autógumi-morzsa ma még drágább, mint a fakéregdara. Ha azonban beválik, akkor a tömeges alkalmazás kellően olcsóvá teheti az előállítását.

7.5.2.8. Pirolízis

A gumihulladékból pirolízis, hidrálás, nagy hőmérsékleten való elgázosítás útján éghető gáz, olajos fázis, valamint szénpor és piroliziskoksz nyerhető. A gumiabroncsokat felépítő nyersanyagok ugyanis 70 %-ban szén- és szénhidrogén vegyületekből állnak. A fluidágyas pirolízissel folytonos, jól szabályozható folyamatban nyerhető vissza az abroncs fűtőértékének nagy része.

A hulladék abroncsokat 1,4-2,3 mm-es szemcsenagysáig aprítják az acélkord és textília eltávolítására. Az aprított abroncsot forgó adagolóval táplálják be a fluidágyas reaktorba. A fluidizáló közeg homok, a fluidizáló sebesség 0.1 m/s. A reaktor a gumihulladék betáplálás után 30 perccel stacionáris üzemmódban dolgozik, 700-800 °C-os hőmérsékleten.

A pirolízisgáz és -olaj keverékéből kondenzálással választják le az olajat, majd kormot állítanak elő belőle, ugyanúgy, mint a kőolajtermékekből kiinduló technológiákkal. A nagy fűtőértékű pirolízisgáz a folyamathoz szükséges energiát szolgáltatja.

Az új eljárás végeredményben három piacképes terméké:

- aktív széné,
- finom szénporrá (korommá) és
- ugyancsak finom „Boudouard-széné”

alakítja át a vulkanizált gumit.

1992-ben a VEBA GmbH telephelyén kísérleteket folytattak abroncsőrlemény nagy nyomáson és hőmérsékleten (1300 °C) való hidrálásával. Az ily módon kapott szintetikus olaj minősége megfelelő finomítás után alkalmas volt benzin, fűtőolaj vagy kenőanyagok előállítására. Ennek azonban előfeltétele a gumiőrleményeknek minden fémhulladéktól való megtisztítása.

A kísérlet eredményei alapján megállapították, hogy

- az eljárás elvileg kivitelezhető,
- a kapott fűtőolaj sokkal drágább, mint az ásványolajból gyártott,
- mivel az eljárás során a dioxinok és furánok képződését megfelelő módszerek alkalmazásával megakadályozzák, segítségével halogénezett és más szennyező anyagokat is tartalmazó gumihulladék hasznosítása is lehetővé válik,
- észszerűbb a gumihulladékot közvetlenül fűtőanyagként felhasználni, mint költséges eljárásokkal átalakítani.

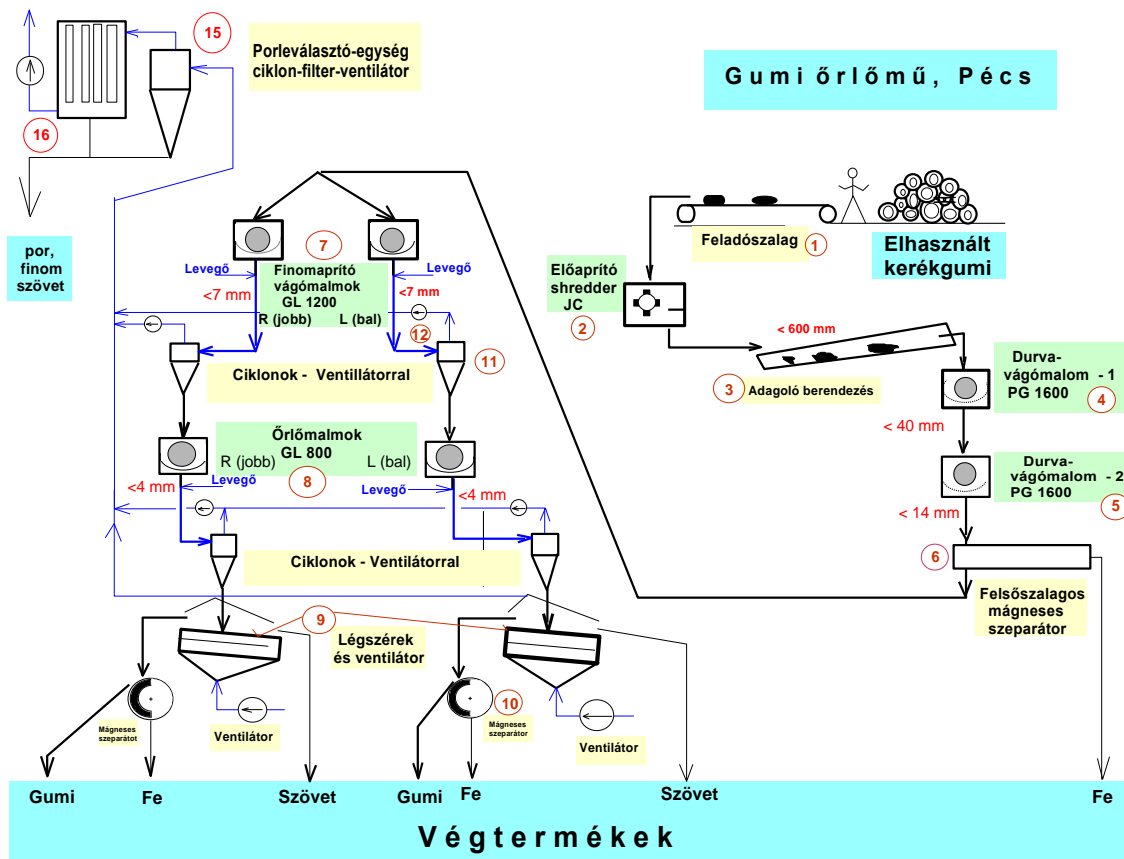
7.5.2.4. A TECHNOLÓGIA ÉS BERENDEZÉSEI

7.5.2.4.1 A technológia kialakítása

Az gyakorlatban kialakított aprítási technológiai folyamat 3...5 lépcsős aprításból áll.

Normál hőmérsékletű őrlés

Példaként a pécsi Gumill Kft. őrlőüzemében a tépő-nyíró aprítógéppel történő előaprítást követő négy őrlési lépcsőben a használt autógumit 2-3 mm-re őrlik le, az őrleményből a vasat mágneses szeparálással nyerik ki, a vasmentes gumi-granulátumból a textilt légszéken választják le (7.5.2.4.1. ábra).



7.5.2.4.1. ábra. A pécsi gumi-őrlőüzem technológiai folyamatvázlata

Az őrlőüzemben a tépő-nyíró aprítógéppel (2) történik az elődarabolás, amellyel néhány darabra aprítják le a nyers hulladékot. Az előaprítást követően az anyag az adagolóberendezésbe (3) kerül, amellyel az őrlőművet folyamatosan táplálják. A továbbiakban az autógumit négy őrlési lépcsőben aprítják le. Az első két lépcsőben az anyag durva aprítása történik 40, ill. 14 mm-re 1600 mm átmérőjű sorba kapcsolt vágómalmokkal. Ebben a folyamatban az acél nagy része feltáródik (kiszabadul a gumi-mátrixból), ez lehetővé teszi a vas jó részének mág-

neses szeparálással való leválasztását, amelyet a felső-szalagos mágneses szeparátorral (6) valósítanak meg. A nem mágneses anyagot a két párhuzamosan üzemelő rendszerben dolgozzák fel: 1200 mm (7) és 800 mm (8) átmérőjű malmokkal <7 mm, ill. <4 mm-re aprítják le. Az őrleményt légszéreken (9) sűrűség szerint tisztítják meg a szövettől, mágneses dobszeparátoron (10) pedig a még benne maradt vastól.

E párhuzamos rendszerben a berendezések közötti anyagszállítás is megváltozik: az eddigi gumiszalagos szállítást (14) pneumatikus szállítás váltja fel - összefüggésben a finomabb szemcsemérettel. A pneumatikus rendszer csővezetékéből (13), ciklonokból (11) és ventilátorból (12) áll. A légszér fluidizáló légáramát pedig a vele távozó portól és finom szövettől porciklon (15) és porszűrő (16) tisztítja meg. A durva vágómalmok és az átadási pontok kiporzás elleni védelméről elszívó-torok, csővezeték és porszűrő gondoskodik.

Hasonló technológiát mutat be a 7.5.2.4.2. ábra is.



7.5.2.4.2. ábra. A MeWa Recycling Maschinen und Anlagebau (Freiberg, BRD) GmbH gumiörlőüzeme

Kriogén-aprítás

A kishőmérsékletű vagy hidegaprítás (kriogén-aprítás) egyre nagyobb jelentőségre tesz szert egyes hulladékfélések feldolgozásában. Főként olyan anyagok aprítására használják, amelyek a normális hőmérsékleten nem, vagy nehezen apríthatók, illetve amelyek minőségére kedvezőtlenül hat az őrlés során keletkező felmelegedés. Hidegaprítást elsősorban gumi és műanyag hulladékok feldolgozásakor alkalmazzák.

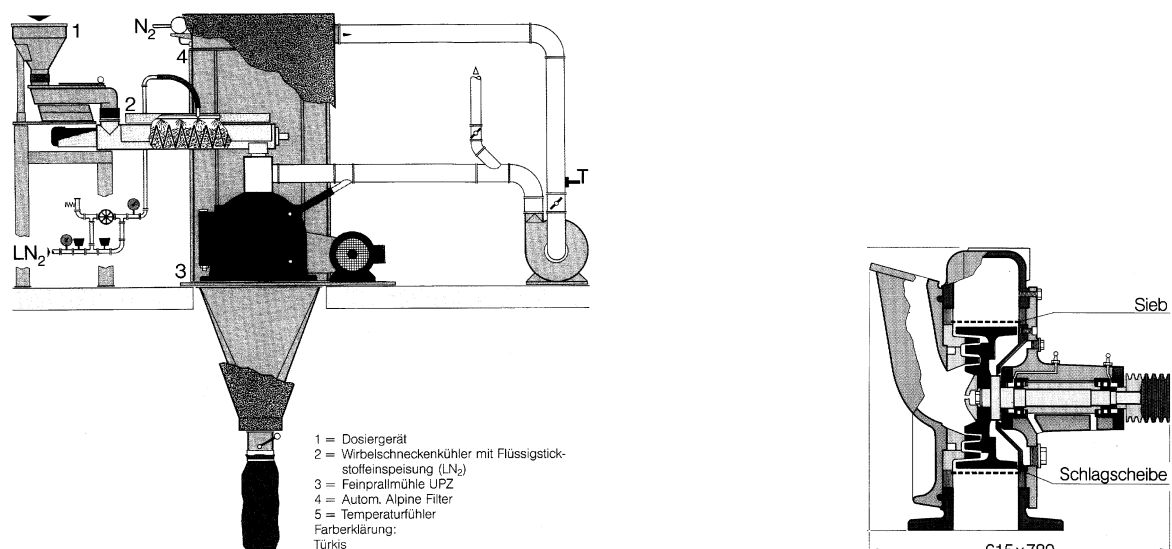
A hidegaprítás, mint korábban láttuk, azon alapszik, hogy a műanyagok mechanikai tulajdonságainak a hőmérséklet-változásra bekövetkező megváltozása igen jellegzetes. A hőre lágyuló műanyagok rugalmassági modulusa a hőmérsékletemelkedés hatására határozottan lecsökken, miközben először alacsony hőmérsékleten ridegek (üvegállapot), majd egy széles hőmérséklet intervallumban az anyag lágyul, majd fokozatosan megolvad. Egyes polimerek alacsony hőmérsékleten ridegek, majd egy viszonylag széles hőmérsékletintervallumban alig változó kicsi rugalmassági modulusuk van, ezek a gumik.

A hidegaprítással a lág, rugalmas, szívós és hőre érzékeny műanyagok jó hatásfokkal, könnyen és gazdaságosan őrlhetők finom szemcseméretre. Hűtőközegként folyékony széndioxidot, illetve folyékony nitrogént használnak. Gazdaságosabbak és jobban szabályozhatók a folyékony nitrogénnel dolgozó eljárások. A folyékony nitrogén $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os forráspontja következtében igen kis őrlési hőmérsékletet tesz lehetővé, és minden esetben - figyelembe véve a veszteségeket és az őrléskor létrejövő hőfejlődést is - legalább $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti üzemi hőmérséklet érhető el vele. A folyékony nitrogénfogyasztás az aprított termék elérendő szemcsefinomságtól függően $0,5\text{...}2\text{ kg}$ 1 kg hulladékra számítva.

Alkalmos hűtőrendszerként hűtőalagutak (forgócsöves-, és dobhűtők, valamint kihordó-hevederes hűtőalagutak) jöhetnek számításba, amelyekben a folyékony nitrogént a hulladékra porlasztják, és gáz fázisban ellen- vagy köráramban a még kevésbé hűtött anyagrészek fele vezeti át. A folyékony nitrogénfürdőbe merítéses módszereket, nagy fajlagos nitrogénfogyasztás miatt csak ritkán alkalmazzák.

A cseppfolyós nitrogénnel hűtött aprításhoz alkalmazzák még az őrlőkamrába közvetlen nitrogén-befecskendezéses hűtési rendszert, és az adagológaratban való előhűtési rendszert is.

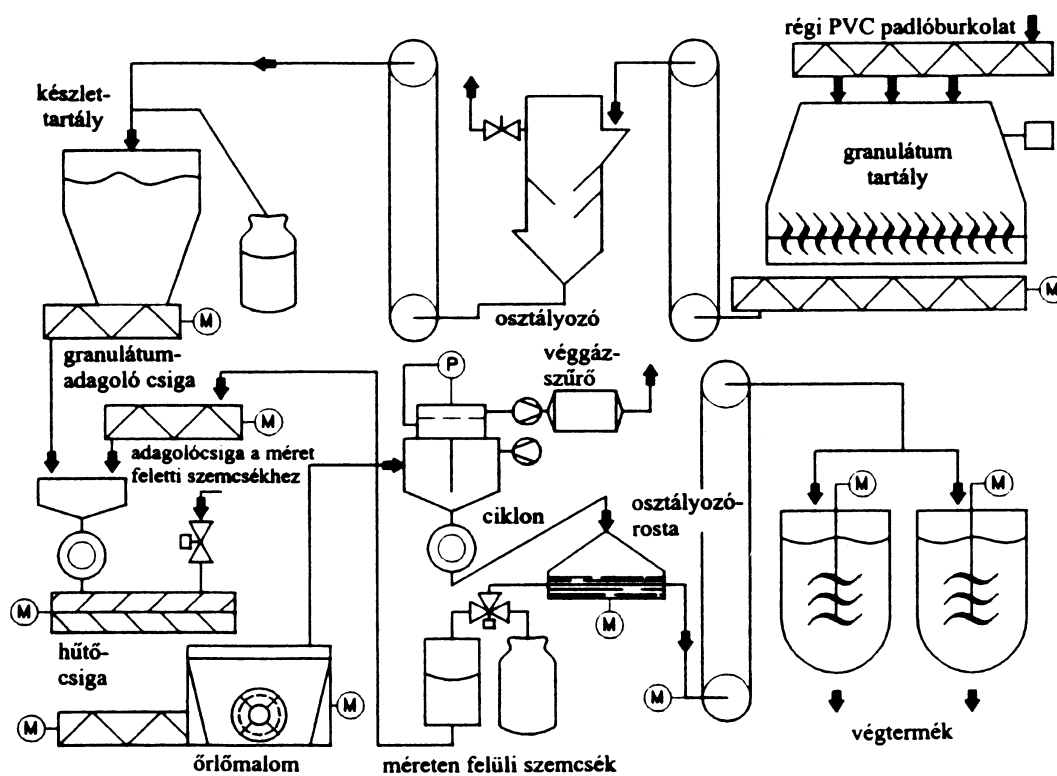
Az 7.5.2.4.3. ábra Alpine-rendszerű hidegaprító berendezést szemléltet. Az anyagot a csigás hűtőbe -80°C -ra hűtik le, majd onnan folyamatosan juttatják az aprítógépbe (ütőcsapos- vagy röpítő-malomba). Az őrlött anyag gyűjtőtartályba, majd onnan folyamatosan osztályozásra kerül. A malmok levegőjét a porleválasztón keresztül a malom adagolónyílásához vezetik vissza.



7.5.2.4.3. ábra. Kriogén őrlés technológiai rendszere és őrlőmalma

Hasonló eljárást fejlesztett ki a Linde cég is, elsősorban műanyag hulladékok hidegaprítására, amely hűtőaknával üzemel: az előaprítással előkészített műanyag hulladékokat a hűtőaknába adagolják, és ott az anyagot az akna alján bevezetett hűtőközeg ellenáramában lehűtik. A felmelegedett gázt lefűvatják. A gázáram másik részét a malmon keresztül szívják a malom lehűtésére és megfelelő hőmérsékleten való tartása céljából. A hideg gázzal az őrlőberendezésben keletkező meleget kompenzálják, a szigetelési veszteségeket fedezik. A folyékony nitrogén elpárolgató fűvókán keresztül éri el a szükséges belépő hőmérsékletet.

A 7.5.2.4.4. ábra ehhez hasonló Csehországban megvalósított rendszer PVC őrlésére.



7.5.2.4.4. ábra. PVC kriogén őrlési technológiája

Irodalom

- [1] Rader, C. P., Lemieux, M. A.: The recycle of plastics and rubber –a contrast
Rubber World, 216.k. 2.sz. 1997. p. 24-29
- [2] Schnecko, H.: Rubber recycling
Kautschuk, Gummi, Kunststoffe, 47.k. 12.sz. 1994. p. 885-890
- [3] László G.: A gumiabroncs-hulladék képződés és az újrahasznosítás helyzete a fejlett ipari országokban és hazánkban
Műanyag és gumi, 1995. 32. évfolyam, 1. szám
- [4] Hulladékhasznosítási technológiák a fejlett tőkés országokban
OMIKK, Budapest 1990.
- [5] Malloy, M.: Rolling tires into rubber
Waste Age, 28.k. 6.sz. 1997.p. 85-89
- [6] Dr. Balogh G., Dr. Samay G.: Abroncs hulladék újrahasznosítási lehetősége
Műanyag és gumi, 1996. 33. évfolyam, 10. szám
- [7] Kohler, R., O'Neill, J.: New technology for the devulcanization of sulfur-cured scrap elastomers
Rubber World, 216.k. 2.sz. 1997.p. 32-36
- [8] Knörr, K.: Reclaim from natural and synthetic rubber scrap for technical rubber goods
Kautschuk, Gummi, Kunststoffe, 47.k. 1.sz. 1994. p. 54-57
- [9] Cerich, V., Gonzales, L.: Use of shredded tires as lightweight backfill material for retaining structures
Waste Management and Research, 14.k. 5.sz. 1996. p. 433-451
- [10] Jong, M. L., Jung, S. L.: Pyrolysis of waste tires with partial oxidation in a fluidized-bed reactor
Energy, 20.k. 10.sz. 1995.p. 969-976
- [11] Wąjtowicz, M. A., Serio, M. A.: Pyrolysis of scrap tires, can it be profitable?
Chemtech, 26.k. 10.sz. 1996. p. 48-53
- [12] Gotzmann, G.: Recycling ohne Zwischenschritte
Kunststoffe, 86.k. 8.sz. 1996. p. 1126-1130
- [13] Schubert, G.: Zerkleinerungstechnik für das Recycling von Abfällen und Schrotten. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.12-32
- [14] Jackel,H.-Schubert, G.: Die Zerkleinerung der Abfälle mittels Rotorscheren. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.82-98
- [15] Göll, G.: Zum Zerkleinerungsverhalten zäher Rohstoffe in mechanischen Feinprallmühlen. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.183-203.
- [16] Csöke, B.-Kovács, T.: Experimentelle Untersuchungen zur Ausschlußzerkleinerung von Leiterplatten. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.264-271.
- [17] Csöke, B.-Papp,G.-Sárvári, J.-Antal,G.-Nyitrai,S.: Entwicklung einer Rotorscherenfamilie in der Jászberényer Zerkleinerungsmaschinenfabrik AG. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.111-121.

- [18] Göll, G.: Zum Zerkleinerungsverhalten zäher Rohstoffe in mechanischen Feinprallmühlen. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.183-203.
- [19] Schubert, G.: Aufbereitung metallischer Sekundärrohstoffe.Band.I.VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.1983
- [20] Tarján, G.: Mineral processing. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981
- [21] Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe.Band.I.VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.1975
- [22] Csőke B.-István Zs- Bőhm B.: Termékdíjas termékekkel való hulladék-gazdálkodás, (Kézirat, Készült a BIOKOM Kft. megbízásából) Miskolc, 2000. április
- [22] Mannheim V.: Gumiőrlemények újrahasznosítása (Kézirat), Miskolc, 1998.július

7.5.3. A MŰANYAGHULLADÉKOK FELDOLGOZÁSA

Fejezet szerzője: Dr. Bokányi Ljudmilla - Csőke Éva

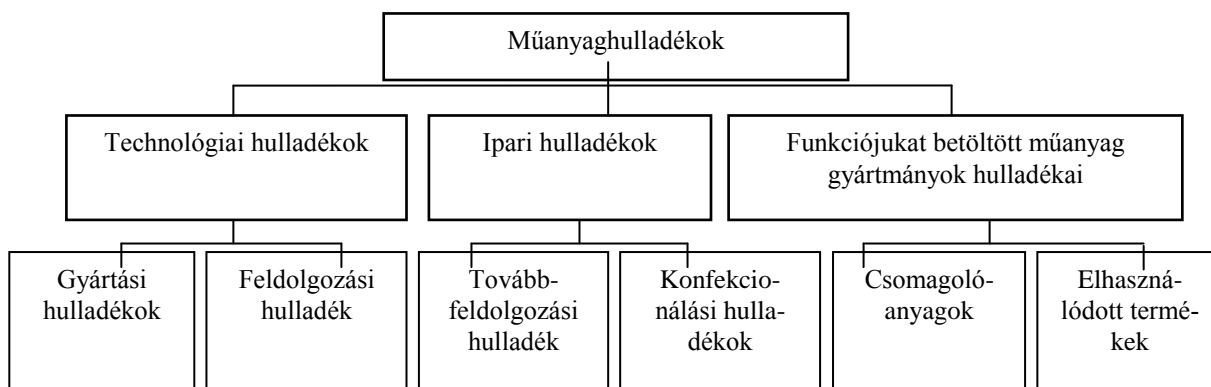
A hulladék műanyagok problémaköre

Hétköznapjaink egymásutánjában talán fel sem tűnik, milyen sokféle műanyag tárggyal van dolgunk nap, mint nap. A műanyagok használata könnyebbé, egyszerűbbé tette az életünket. A műanyagtárgyak azonban funkciójuk betöltése vagy elhasználódásuk után hulladékká válnak. Ezek a hulladékok egyrészt (összetételüknek köszönhetően) nem bomlanak le a természetben, másrészt a primer előállításuk fosszilis energiahordozókból indul ki, emiatt a kezelésük (hasznosításuk, újrahasznosításuk) elengedhetlenné vált. A probléma súlyosságának megértése érdekében először tisztáznunk kell a műanyag fogalmát.

A műanyag definíció a szakirodalomban ellentmondásos (Pukánszky, 2003). A polimer és műanyag kifejezést gyakran tévesen szinonimaként használják. Polimereknek (makromolekuláknak) azokat a vegyületeket nevezik, amelyek nagyszámú, azonos típusú építőegységekből (monomer egységekből) épülnek fel, s ezeket az építőelemeket elsődleges kémiai kötések kapcsolják össze. A műanyagok a nagymolekulájú szintetikus és természetes vegyületek (makromolekulák) legfontosabb képviselői (Berecz és társai, 2002). A polimer és műanyag fogalma közötti eltérés leginkább a polimerizációs eljárásban előállított polimer és a felhasznált anyag összetétele, szerkezete és tulajdonságai közötti különbséggel érzékeltethető. A polimerizáció eredményeként egy jól definiált moltömegű és kémiai összetételű anyagot kapunk. Ezt az anyagot azonban ilyen formában nem használják fel. A gyakorlatban szinte minden esetben egyéb anyagokat, adalék- vagy társító anyagokat adnak hozzájuk. Tehát a legtöbb esetben a műanyag csak a legfőbb alkotórésze valamely polimer, és azon kívül egyéb adalékanyagokat (stabilizátort, csúsztatóanyagot, színezőanyagot, lágyítót, töltőt- és vázanyagot) tartalmaz (Pukánszky, 2003.)

Napjainkban a műanyagok termelése és fogyasztása drasztikusan megnőtt, amely következtében a műanyag hulladékok megfelelő kezelése komoly szociális és környezeti problémává vált. A települési szilárd hulladék műanyag tartalma 9,5 % az Európai Unióban és 11,7 % az Amerika Egyesült Államokban, azaz a fogyasztási hulladékok döntő hányadát teszik ki (Chunfei Wu, 2009). Az éves műanyagfogyasztás Nyugat-Európában kb. 60 millió tonna, ennek 40 %-át csomagolási célokra használják fel, amely rövid időn belül hulladékká válik, s ezáltal 15 millió tonna ilyen jellegű hulladékot eredményez évente. Jelenleg Európában az évente keletkező műanyag hulladékok 50%-át hasznosítják, ebből 60 %-ot égetéssel energia kinyerés céljából, 40 %-ot pedig újrahasznosítással. Az újrahasznosított műanyagok döntő része mechanikai úton újrahasznosított, míg kevesebb, mint 1 %-uk kémiai úton újrahasznosított (A. López és társai, 2009).

A műanyagok élettartama rendkívül változó, néhány napos használattól több évtizedig terjedhet. Hulladékképződéssel számolni kell a műanyagok gyártása, feldolgozása és felhasználása során: hulladékká válnak a funkciójukat betöltött, minőségileg nem csökkent csomagolóeszközök, továbbá az elhasználódott, cseréire szoruló műanyaggyártmányok, valamint a műanyag félkész termékek hőformázása, konfekcionálása során keletkező hulladékokat sem hagyhatjuk ki a sorból (Farkas, 2000). A műanyag hulladékok csoportosításának egy lehetséges módját mutatja a következő ábra:



7.5.3.1. ábra: Műanyag hulladékok csoportosítása (Farkas, 2000)

Az utóbbi években egyre többet hallani a lebomló műanyagokról, amelyeknek két csoportját különböztetik meg: a fény hatására, illetve a biológiailag úton lebomló műanyagokat (Farkas, 2000). Az ilyen típusú műanyagok még nem jelentek meg nagy volumenben a hulladékáramban, de kibocsátásuk évről évre szignifikánsan nő. Ezen műanyagok megjelenése újabb problémákat vet föl. Toronyi Zoltánt, a Holofon Zrt. vezérigazgatóját idézve: „a lebomló műanyagok megjelenése azt a negatív üzenetet hordozza, hogy a lebomló anyagból készült termékeket kár szelektálni, nyugodtan szét lehet dobálni, a természet úgyis elvégez mindent” (Németh I. G., 2010). Véleményem szerint a fenntartható fejlődési törekvéssel nem egyeztethető össze a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló fosszilis alapanyagokból előállított termékek pusztá lebontása szén-dioxiddá és vízzé. Az ilyen jellegű lebontás vétek, mivel a műanyagok – ha nem hasznosíthatók anyagukban – számottevő fűtőértékkel rendelkeznek, azaz energetikailag széles körben hasznosíthatók.

A megoldást tehát elsősorban a hulladék műanyagok kezelése és hasznosítása jelenti. A továbbiakban a műanyag hulladékok kezelési és hasznosítási lehetőségeit taglalom.

A hulladék műanyagok kezelése, hasznosítása

Annak ellenére, hogy műanyaggyártásra a kőolaj termékek mindössze 4 %-át használják fel, a műanyagok, illetve a belőlük készült termékek előállításához jelentős mennyiségű energiát igényel (Pukánszky, 2003). Mivel a műanyagokat kőolaj és földgáz felhasználásával állítják elő, így a műanyagok maguk is energiahordozók, átalakított formában. Ez az energiamennyiség a műanyag hulladékok lerakásakor egyáltalán nem hasznosítható, teljesen elvész (Műszaki információ, 1996/9. szám). A műanyaggyártási iparág nyersanyag- és energiafüggőségét csökkentheti a műanyag hulladékok energetikai hasznosítása, újrahasznosítása, vagy újbóli feldolgozása. Továbbá a fokozatosan szigorodó környezetvédelmi előírások, a negatív társadalmi visszhang is „kikényszeríti” e hulladékok megfelelő kezelését. A műanyag hulladékok kezelésének, hasznosításának fontossági sorrendje az alábbi:

- A hulladék keletkezésének megelőzése, minimalizálása. A hulladék mennyiségének csökkentése tervezéssel. A műanyaganyagokat úgy tervezik, hogy biztonságosan betöltsék a funkciójukat, de minél kevesebb anyagot tartalmazzanak. Tervezésnél az újrahasznosítás szempontjait is figyelembe kell venni
- Ha lehetséges a hulladékot újra fel kell dolgozni. Az újrafeldolgozás a mechanikai úton történő hasznosítást jelenti. Ahhoz, hogy ez a megoldás alkalmazható legyen, az újrafeldolgozásnak gazdasági és környezetvédelmi szempontból kedvezőbbnek kell lennie, mint ha új terméket gyártanának.
- A hulladék anyagában történő hasznosítása kémiai lebontással.

- A műanyag energetikai hasznosítása termikus úton.
- Csak végső megoldás lehet a hulladék lerakása. Az égetési maradék egy részét azonban minden körülmények között hulladéklerakóba kell elhelyezni (2000. évi XLIII. törvény).

A műanyag-hulladék-hasznosítás módja műanyag fajtánként és a hulladék megjelenési formái szerint változó, de amíg a mechanikai hasznosítás és a termikus hasznosítás technológiai lépéseinek lényege a műanyag típustól függetlenül azonos, a kémiai hasznosítás általában műanyag-specifikus. A hulladék hasznosítás módjait az elérendő cél függvényében is lehet tárgyalni. Eszerint a hasznosítás célja lehet: termék-, gyártmány-előállítás, nyersanyag előállítás, energia visszanyerés (Farkas, 2000).

Műanyag hulladékok keletkezésének megakadályozása, minimalizálása tervezéssel

A fenti megoldások közül nyilvánvalóan ez a legfontosabb. Ez a megoldás gazdasági szempontból is előnyös mind a termék gyártója, mind pedig a vevő számára. Németországban például 2005-ben a felhasználást követően 3,45 millió tonna műanyag hulladékot gyűjtöttek össze, melynek 26,7 %-a csomagolási célú termék volt (Szabó, 2007). A hulladék mennyiségének tervezéssel történő csökkentésére a következő lehetőségek állnak rendelkezésre:

- A csomagolóanyagok falvastagsága, anyagtartalma csökkenthető megfelelő tervezéssel és anyagkiválasztással. Például egy joghurtos pohár tömege 1970-ben 11 gramm, 1985-ben már csak 5 gramm volt. Egy PET palacké 1977-ben 68 g, míg 1999-ben 51 g volt.
- A csomagolóanyagok relatív mennyiségét csökkentik a nagyobb kiserelési méretek. A nagy mosószergyártó cégek sikerrel alkalmazzák ezt a módszert.
- A visszatérő csomagolás különösen ipari csomagolásoknál jelentősen csökkentheti a hulladék mennyiségét, ez a módszer azonban bizonyos mosási és szállítási infrastruktúrát igényel. A DuPont cég például a növényvédő szereit úgynevezett „zsák a zsákban” módon szerelte ki. Az elszennyeződő belső zsákot polivinilalkoholból készítették, ami vízben oldódik, míg a szilárdságot biztosító külső zsákot visszavették és újra felhasználták (Ódor, 1993).
- Az utántöltő csomagolások egyre jobban terjednek, elsősorban mosószerek esetén. A csomagolóanyag megtakarítás így elérheti a 60 - 70 %-ot is (Pukánszky, 2003).

Műanyag hulladékok újrafeldolgozása

A műanyag hulladékok újrafeldolgozása mechanikai műveletek sorozata, ahol az egyes technológiai lépések sorrendje, továbbá a felhasznált berendezések típusa műanyag fajtánként és hulladéktípusonként változhat. A folyamat maga azonban általánosan tárgyalható. A mechanikai hasznosítás célja a műanyag anyagában történő hasznosítása. A mechanikai hasznosítás fő technológiai lépései: válogatás, aprítás, mosás, szortírozás, szárítás, darabosítás (Farkas, 2000).

A mechanikai hasznosítás végezhető vegyesen vagy fajtaazonosan. Ha fajtaazonos hasznosítás a cél, a vegyes műanyag-hulladékot feldolgozás előtt szét kell válogatni. Nagyobb műanyag-hulladékok esetén a válogatás legegyszerűbb módja a kézi válogatás. A finom műanyagok szétválasztása sűrűség szerinti eljárásokkal megvalósítható. Az azonos szemcseméretű, de kémiaiilag különböző (pl.: PE, PP, PVC) műanyagokat rendszerint aprítást és mosást követően választják szét. Vegyes műanyag hulladékok szétválasztására alkalmas a flotálás (Bokányi, 1993). A flotálás az anyagok felületi adhéziós sajátosságainak eltérésén alapuló dúsítási eljárás, amely különböző anyagok felületének a levegőhöz és vízhez való eltérő tapadásán alapul. A víz vagy levegő megtapadását a szilárd szemek felületén, a megfelelő reagensek hozzáadásával, módosítani: fokozni vagy mérsékelni lehet, sőt a szilárd szem felületének a

vízhez vagy levegőhöz tapadására való hajlamát ellenkezőre is meg lehet változtatni. Légbuborékokat diszpergálva a zagyba, ezekhez hozzátapadnak a levegőhöz vonzó (aerofil, hidrofób) anyagszemcsék és a zagy felszínére felszállnak a buborékokkal. Alkalmas reagensek hozzáadásával a buborékok nem pattannak azonnal szét, hanem hosszabb-rövidebb ideig megmaradnak a zagy felszínén, ott többé-kevésbé tartós habot képezve. E habba gyűjthetők szelektíven az egymásután hidrofóbbá változtatott anyagszemcsék, míg a vízhez tapadó (aerofób, hidrofíli) szemek a zagyban diszpergálva maradnak .

A vegyes műanyagok szétválaszthatók még – speciális felületi kezelés után vagy anélkül - elektrosztatikus szeparálással is (Kamptner és társai, 1997). Az elektrosztatikus szeparálás különböző vezetőképességű anyagok szétválasztására alkalmas, mint például az alumínium, ami nagyon jó vezető és a műanyagok, amelyek szigetelők. Egy elektrosztatikus szeparálási folyamatban három tényezőt kell figyelembe venni: a részecskék töltését, a szeparációt, ami a földelt felszínen következik be és a szeparációt, amit a részecskék eltérő pályája okoz **(In an electrostatic separation process, three distinct stages must be considered: the charging of the particles, the separation that occurs at a grounded surface and the separation caused by the trajectory of the particles)**. A részecskék felületi töltést szerezhetnek különböző részecskékkel kapcsolatba lépve, ionbombázás és indukció következtében. **(Particles can acquire a surface charge by contacting dissimilar particles, ion bombardment and induction)**. Az elektrosztatikus szeparáció az elektromos, centrifugális és gravitációs erők kombinációjából ered **(The electrostatic separation results from the combination of the electrical, centrifugal and gravity forces)** (Vincenzo Gente, 2002).

Az aprítást két lépcsőben célszerű megoldani. Az első lépcső a durva aprítás, míg a második a tisztítást, szárítást követő finomaprítás. A műanyagfajtától és a feldolgozásra kerülő tárgytól függően más-más aprító és őrlőberendezés használható. Az aprítás végezhető szárazon vagy nedvesen, szobahőmérsékleten vagy hűtve. Nagyobb méretű műanyag hulladékok aprítására alkalmas a kalapácsos törő. Kemény (duroplaszt) műanyag tárgyak aprítására a hengeres őrlőgépek használhatók. Műanyag technológiai hulladékok őrlésére a vágómalom, kemény, törékeny műanyag tárgyak őrlésére a golyósmalom alkalmazható (Csóke B., 2007).

A mosás a szilárd műanyag hulladékok felületére tapadt szennyeződések eltávolítására szolgál. A mosófolyadék általában felületaktív anyag tartalmú víz, de a szennyeződés fajtájától függően lehet szerves oldószer is. Fajtaazonos műanyag hulladékok mosására egy egyszerű, keverővel ellátott, fűthető mosó duplikátor is alkalmas. Fajtaazonos, szeparáltan gyűjtött hulladékok (pl.: PET palack) folytonos üzemű, ipari célgépeken is tisztíthatók. A lebegtetőkádas mosás a műanyagok szortírozására is alkalmas. A lebegtetőkádas mosásnál jobb szétválasztási hatásokkal működnek a hidrociklonok. A hidrociklonnal történő szeparálás előtt a hulladékot átmosják mosófolyadékkal. Hatékony tisztítás és jó szétválasztás érhető el az úgynevezett frikciós mosó-szeparáló berendezésekben (Farkas, 2000).

A szortírozást és mosást a víztelenítés és szárítás lépcsője követi. A műanyagok zöme nem higroszkópos, vízfelvételük csekély, emiatt a mosást követően a felületen maradt víz zöme mechanikai úton eltávolítható. A mechanikai víztelenítés legegyszerűbb módja a nedves műanyagalmaz szűkülő görgősor közé vezetése. Hatékony víztelenítés érhető el a centrifugákkal. A műanyagdarabkák felületén adhézióval megkötött víz mechanikai úton nem, csak szárítással távolítható el. Szárításra a ciklonos szárítás, valamint a légcirkulációs szárító alagutak alkalmazhatóak (Farkas, 2000).

Az aprított, mosott, szárított műanyag hulladék túl laza, nagy fajlagos térfogatú, ily módon feldolgozásra alkalmatlan, ezért tömöríteni, darabosítani kell. Ennek legegyszerűbb és legtöbbször alkalmazott módja az extrúziós granulálás (Farkas, 2000). A típusazonosra szelektált műanyag hulladék a hagyományos műanyag-feldolgozó gépekkel már feldolgozható, erre a fröccsöntés a leginkább alkalmazott eljárás (Szabó, 1974).

Kémiai újrahasznosítás

A kémiai hulladékhasznosítás célja a nyersanyag előállítás, a műanyagok lebontás monomereikre, vagy legalábbis kis móltömegű, újrahasznosítható anyagokra. A kémiai hasznosítást ott célszerű alkalmazni, ahol gazdaságos, könnyen kivitelezhető, a mechanikai hasznosítás nem célravezető, illetve a hulladék fajtaazonos és tiszta (Farkas, 2000). Bár már létezik néhány kémiai hasznosítási eljárás, a legtöbb még csak kísérleti stádiumban van, nagy mennyiségű hulladékot még nem hasznosítanak ilyen módon (Pukánszky, 2003). Kémiai úton a hulladékok különböző módszerekkel hasznosíthatók. A legfontosabb módszereket az alábbiakban ismertetem.

A koksizálás olyan eljárás, mikor magas hőmérsékletű finomítóban szakaszos eljárással bontják le a polimert. A hulladékot szénhidrogénekké alakítják (Pukánszky, 2003).

A krakkolás során a finomítóban katalitikusan, folyamatos eljárásban bontják le a műanyag hulladékot, amelyből szénhidrogéneket, vagy nyersolajat állítanak elő (Pukánszky, 2003).

A depolimerizáció, vagy másképpen dekomponálás a polimerizáció ellentétes folyamata. A nagy molekulatömegű polimer hulladékot rövidebb, kisebb móltömegű komponensekre, esetleg monomerre bontják le, a terméket végül ismét polimerizációra használják (Pukánszky, 2003). A gyökös polimerizációval készülő műanyagok lebonthatóság szempontjából három csoportba sorolhatók:

- könnyen dekomponálódó polimerek, például: POM, PS,
- a körülmények megválasztásával dekomponálható műanyagok: PMMA,
- nem dekomponálható, csak gyökös lánc-tördelődéssel bontható polimerek: PP, PE, PVC (Farkas, 2000).

Az elektrokinetikus bontás során nagyfeszültségű elektromos ív segítségével a műanyagot ipari gázokká bontják le (Pukánszky, 2003).

A vegyes, töltő- vagy társítóanyagokat tartalmazó, valamint szennyezett műanyag hulladékok feldolgozására alkalmas a hidrogénezés. A hasznosítás folyamata három technológiai szakaszra bontható: degradálás, hidrogénezés, utókezelés. A hidrogénezés során a műanyag-hulladékot hidrogénezik különböző vegyületeket állítva elő belőlük. Az eljárás folyékony fázisban történik, 50 - 250 bar nyomáson, 350 - 490 °C-on, hidrogénatmoszférában. A telítetlen bomlástermékek hidrogénnel telítődnek, a klórmaradék sósavvá alakul (Farkas, 2000).

Az átészterezést a polikondenzációval előállított műanyagok lebontására használják. Az iparban ez a leggyakrabban alkalmazott technológia. Az eljárásokat a lebontásra és átészterezésre használt anyagoknak megfelelően osztályozzák. A legfontosabb módszerek a következők: glikolízis, hidrolízis, metanolízis. Az ilyen módszerrel leggyakrabban feldolgozott anyag a PET és a poliuretánok (Pukánszky, 2003).

Az olvadt fémfüldős lebontás során a polimer olvadékot fémfüldőbe fecskendezik és a keletkezett gázokat nyerik vissza. A gázok mellett vegyi anyagokat és ötvözeteket is előállíthatnak ezzel a módszerrel (Pukánszky, 2003).

Az oldás: vegyes műanyag hulladék szelektív oldása különböző oldószerekben, majd az egyes polimerek visszanyerése. A módszer alkalmazható polimerek szeparálására vegyes hulladékból. Az oldószeres eljárás az ipari gyakorlatban nem kedvelt, mert drága és veszélyes. A polimerek visszanyerése sem könnyű, a kicsapáshoz további oldószer szükséges, a polimer oldószer-mentesítése pedig nehéz (Pukánszky, 2003).

Műanyag hulladékok termikus hasznosítása

A termikus hasznosítás legrégebbi módja az égetés, melynek eredetileg egyetlen célja a hulladék ártalmatlanítása, később az energianyerés volt. Napjainkban az égetés mellett több termikus hasznosítási eljárás ismert: pirolízis, elgázosítás, kohászati hasznosítás, cementipari hasznosítás (Farkas, 2003).

Az égetés egy kézenfekvő és hasznos eljárás a hulladék ártalmatlanítására és az egyidejű energiatermelésre. Az égetés egyik fő oka a műanyagok nagy energiataralma: egyes műanyagok (pl.: PE, PP, PS) nagyobb fűtőértékkel rendelkeznek, mint a kőolaj. Felmérések szerint egy megfelelően tervezett és működtetett égetőműben a műanyagok hőtartalmának 70 - 80 %-a visszanyerhető. A tiszta műanyag hulladék égetése azonban problémát is okozhat, a nagy fűtőérték miatt a hőmérséklet nagyon magas az égetés során, ez károsítja a hagyományos égetőműveket. A háztartási, vegyes hulladék égetésénél nem lép fel ilyen probléma. Az égetés fő problémája nem a magas fűtőérték, hanem az égés során keletkező gázok, különösen a sósav és a dioxin esetleges egészség – és környezetkárosító hatása. A dioxinok a világ legveszélyesebb vegyületei közé tartoznak. Ezek a problémák azonban az égetőmű megfelelő konstrukciójával és egy kellő kapacitású elnyelő beépítésével orvosolhatóak (Pukánszky, 2003).

A pirolízis a hulladékok termikus bontási eljárása oxigénszegény atmoszférában. A pirolízissel amellet, hogy csökkentjük a műanyag hulladékok mennyiségét, értékes motorbenzin szénhidrogéneket nyerünk vissza. A pirolízis során a polimereket magas hőmérsékleten hevítik, így a makromolekuláris szerkezetük lebomlik kisebb molekulákká és szénhidrogének széles köre keletkezik (Ayhan Demirbas, 2004). A műanyagok pirolízise során két ellentétes irányú folyamat megy végbe:

- primer bomlás: a polimertől függően depolimerizáció, oldalcsoportok leszakadás, vagy lánctördelődés,
- szekunder folyamatok: a primer bomlástermékek egymás közötti reakciói.

A pirolízis hőmérsékletétől függően három eljárást különböztetünk meg:

- alacsony hőmérsékletű pirolízis (< 550 °C): olaj és kátrány képződik,
- közepes hőmérsékletű pirolízis (550 - 800 °C): nagy fűtőértékű gázok, kevés olaj és kátrány keletkezik,
- magas hőmérsékletű pirolízis (800 - 1000 °C): főleg kis fűtőértékű gázok képződnek (Farkas, 2000).

A pirolízis termékeket három frakcióra bonthatjuk: gáz, folyadék, amely paraffinokból, olefinokból, naftánokból és aromás vegyületekből áll, és szilárd maradékanyag (Ayhan Demirbas, 2004). A nyersanyagok összetétele fontos szerepet játszik a pirolízis termékek eloszlásában és minőségében. A pirolízis folyékony terméke organikus összetevők komplex keveréke, olyan értékes kemikáliákat tartalmaz, mint a sztirol, etil-benzol, toluol. Frakcionált desztilláció javasolt a termék szétválasztására a gázolaj-típusú szénhidrogének kinyerésére a pirolízis olajból. A pirolízis szilárd termékei a nyersanyagban lévő szerves anyagokból keletkeznek, beleértve a pirolízis eljárás során keletkező szenet. A pirolízis gázok főként szénhidrogénekből állnak valamennyi szén-monoxiddal és szén-dioxiddal, és nagyon magas a fűtőértékük (A. López és társai, 2009).

Az elgázosítás a műanyagok magas hőmérsékletű lebontása úgynevezett gázosítószerk jelenlétében. Gázosítószerként általában oxigén, levegő, füstgázok, vízgőz és szén-dioxid, valamint ezek keverékei használhatóak. Az elgázosításhoz a műanyagot aprítani, szárítani kell. Az elgázosítás során kezdetben pirolitikus folyamatok is lejátszódnak (Farkas, 2000).

A kohászati hasznosítás során a műanyagokból, mivel nagy a szén és hidrogén tartalmuk, szintézisgázt állítanak elő. A fejlődő szintézisgáz alkalmas a vasérc redukálására (Farkas, 2000).

A műanyag hulladékok, gumik cementipari hasznosítása (együttégetéssel) napjainkban egyre elterjedtebb. A szigorú cementipari előírások miatt azonban gondot okoznak a klórtartalmú műanyagok.

Irodalom

1. Farkas F. (2000): A műanyagok és a környezet. Környezetterhelés,

- környezetszennyezés-elhárítás, hulladékhasznosítás (Akadémiai Kiadó, Budapest, 2000)
2. Fonyó Zs., Fábry Gy.(1998): Vegyipari műveletti alapismeretek (Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998)
 3. . G. A. Maques, J. A. Soares, TenoÂ rio (1999): Use of froth flotation to separate PVC/PET mixtures
 - 4.. Huiting Shen, R. J. Pugh and E. Forssberg (2001): Floatability, selectivity and flotation separation of plastics by using a surfactant (www.sciencedirect.com)
 5. Műszaki Információ. Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása. 1996, 9. szám Különbféle műanyag hulladék-hasznosító eljárások ökológiai értékelése
 6. Németh I. G. (2010): Befagyott a regnulatum piac. Hulladéksors, 2010, 11. évfolyam 1. szám. 8-9.
 - 7.. Ódor G. (1993): Műanyag hulladékok újrahasznosításának fő irányai és technológiái. Műanyag és gumi, 1993, 30. évfolyam, 11. szám.
 8. Pukánszky B. (2003): Műanyagok, BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék, 2003.
 9. Proceedings of the XX. International Mineral Processing Congress, Aachen, Germany, september 21-26, 1997. Szerk.: Heinz Hoberg, Harro von Blottnitz. Andre Kamptner, O. Mientkewitz and G. Schubert, The electrostatic separation of PVC containing waste, 403-413.
 10. Proceedings of the XX. International Mineral Processing Congress, Aachen, Germany, september 21-26, 1997. Szerk.: Heinz Hoberg, Harro von Blottnitz. Norbert Fraunholz, Wijnand L. Dalmijn, Wetting mechanisms in the flotation of plastics. 329-339
 11. Proceedings of the XX. International Mineral Processing Congress, Aachen, Germany, september 21-26, 1997. Szerk.: Heinz Hoberg, Harro von Blottnitz. Cécile Le Guern, Pierre Conil, Robert Houot Physico-chemical separation (flotation) of plastic waste, 319-327
 12. R. Buchan, B. Yazar: Recovering plastics for recycling by mineral processing techniques JOM 47 (2) (1995) 52–55
 13. Tetsuji Okuda, Keisuke Kurose, Wataru Nishijima, Mitsumasa Okada (2007): Separation of Polyvinyl Chloride from Plastic Mixture by Froth Flotation after Surface Modification with Ozone (www.sciencedirect.com)
 14. Thongchai Takoungsakdakun and Sangobtip Pongstabodee (2006): Separation of mixed post-consumer PET–POM–PVC plastic waste using selective flotation (www.sciencedirect.com)
 15. Szabó F. (2007): Műanyag hulladékok sorsa Németországban. Műanyagipariszemle 2007. 3. szám.
 16. Szabó L. (1974): A műanyag hulladékok hasznosításáról. Műanyag és gumi, 1974, 11. szám
 17. www.hulladeksors.hu, Európában hasznosul a magyar műanyag hulladék 2008. 2011. 10. 25.
 18. www.statinfo.ksh.hu 2010. 11.12.
 19. www.tankonyvtar.hu/konyvek/polimerteknikaalapai/polimerteknika-alapai 2010. 11. 05.

7.6. Üveghulladékok előkészítése és hasznosítása

Készítette: Dr. Mucsi Gábor

7.6.1. A keletkező üveghulladék mennyisége, minősége, hasznosítása

Az Európai Csomagolóüveg Szövetség (FEVE, European Container Glass Federation) adatai szerint 2006-ban Magyarországon 25000 t csomagolóüveget gyűjtöttek be, 2007-ben ez 34000 t-ra növekedett, melynek 20%-át hasznosították újra [8].

Míg az Európai Unióban az újrahasznosítás meghaladja az 50%-ot (ezen belül Németországban és Hollandiában a 80%-ot), az Egyesült Királyságban ez csak 26%-ot tesz ki. Magyarország jelenleg csekély mennyiséget hasznosít, annak ellenére, hogy a terület ígéretes: hőszigetelés, utépítés és egyes betonokban való alkalmazás, pl. habüveggént könnyűbetonban [6, 7].

Az Európai Unió tagállamainak – így Magyarországnak is – 2020-ig végre kell hajtaniuk az Európai Parlament által elfogadott hulladékgazdálkodási irányelvben leírt célkitűzéseket. A tagállamoknak meg kell tenniük a megfelelő lépéseket ahhoz, hogy 2020-ig elérjék a háztartási hulladékokból és más forrásból származó üveghulladékok 50 %-ának újrahasznosítását [9].

Nyugat-Európában az üvegviszaváltás rendszerét gyakorlatilag felváltotta a konténeres begyűjtés és újraolvasztás, részint egyszerűsége, részint az üvegmosással járó nagyobb környezeti terhelés miatt. Fontos szempont, hogy a lakosság együttműködési készsége is megfelelő.

A begyűjtött üveghulladék elvben teljes mértékben felhasználható az üveggyártásban, gyakorlatban pedig nagyon fontos minőségi követelményeknek kell teljesülni ahhoz, hogy valamelyik üveggyárban, technológiai alapanyagaként felhasználható legyen. Az üveg az egyetlen olyan újra olvasható anyag, amelyet a késztermék minőségének romlása nélkül korlátlanul újrahasználhatunk [3].

Az üvegcserep fontos üveggyártási alapanyag. Rendszeres használatának számos előnye van: fokozza a gyártás gazdaságosságát és meggyorsítja az üvegolvasztás folyamatát. Az üvegcserepet is tartalmazó nyersanyagkeverék gyorsabban olvasható meg, mert az üvegcserep megolvasztása nem jár vegyi folyamatokkal. A gyorsan olvadó üvegcserep aktív szerepet játszik a vele együtt beadagolt nyersanyagok (kvarchomok, dolomit, mészkő, földpát, timföldhidrát, szóda, ...) feltárásában is. A helyesen megválasztott méretű üvegcserep alkalmazása esetén az üvegolvadék tisztulása is gyorsabban játszódik le, mert kevesebb gázzárványt tartalmaz, mint a nyersanyagok elbomlása után keletkező olvadék [4]. Az alacsonyabb olvasztási hőmérséklet, alacsonyabb olvasztási energiaszükségletet jelent, ami egyben a kemence élettartam növekedésében is megjelenik.

Az üveghulladék hasznosításával a természet kincseinek megóvása, a bányászattal járó energiafelhasználás és környezetszennyezés, környezetterhelés csökkenthető.

Az üvegek összetétele rendkívül változatos, sokféle anyag és anyagkeverék hozható üveges állapotba. Viszonylag „kevés” azonban a műszakilag is alkalmazható üvegféleség, mert ehhez számos, egymásnak gyakran ellentmondó feltételt kell kielégíteni: gyártástechnológiai, felhasználási és nem utolsósorban gazdaságossági feltételeket. A gépi és különösen az automa-

tikus üvegyártás már igen kis összetétel eltérésre is érzékeny, ezért rendkívül fontos az üvegösszetétel állandósága [5].

Az üvegeket a felhasználásuk szempontjából az alábbi csoportokra bonthatjuk [3]:

1) Kereskedelmi üvegek:

- öblösüvegek - csomagolóüvegek, asztali üvegáruk (mész-alkáli vagy mésznátron üveg)
- síküvegek - építészeti üveg, autó és bútorüveg (mész-alkáli vagy mésznátron üveg)
- kristályüvegek (káli- és ólomkristályüveg)

2) Műszaki üvegek:

- lámpaüveg (a sokféleség ezen belül is jellemző: mésznátronüveg, boroszilikát üveg, ólom és ólommentes üveg)
- ampulla (boroszilikát üveg)
- üvegszál (üveggyapot)
- optikai üvegek.

Az üveg színe is az üvegalkotó oxidok mennyiségétől függ. A színező oxidok (vasoxidok: FeO, Fe₂O₃, sárgától a zöldön keresztül a barnáig színez, mennyiségtől oxidációs állapottól függően; szelénvegyületek, mangán-oxid, kobalt-oxid, réz-oxid, króm-oxid, ...) jelenléte az egyik alapkérdés a felhasználhatóság szempontjából.

A különböző típusú üveghulladékokat és azok EWC kódjait az 1. táblázat foglalja össze.

<i>Sorsz.</i>	<i>Hulladék megnevezése</i>	<i>EWC kód</i>
<i>1</i>	<i>Üveg és üvegtermékek termeléséből származó hulladékok</i>	<i>10 11 12</i>
<i>2</i>	<i>Öblösüveg csomagolási hulladék</i>	<i>15 01 07</i>
<i>3</i>	<i>Közelebbről meg nem határozott hulladék üveg</i>	<i>16 01 20</i>
<i>4</i>	<i>Építési bontási hulladék üveg</i>	<i>17 02 02</i>
<i>5</i>	<i>Hulladékkezelő létesítményből származó üveg hulladék</i>	<i>19 12 05</i>
<i>6</i>	<i>Települési, háztartási hulladékokból származó üveg</i>	<i>20 01 02</i>

7.6.1. táblázat: Üveg hulladékok EWC kódjai [3]

Az üvegyártásban gazdaságosan fel nem használható üvegcserepet is fel kell használni. Ennek lehetséges módjai [10]:

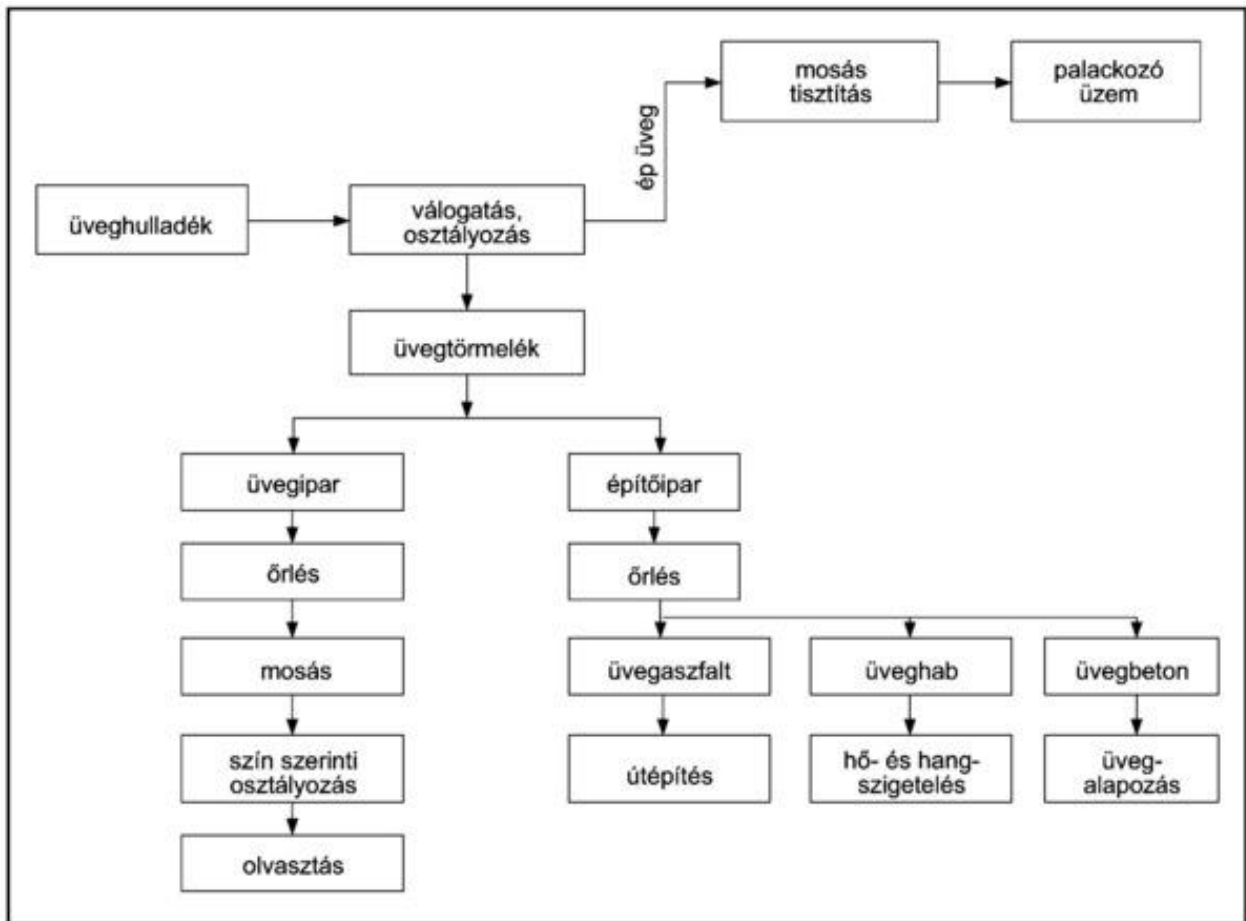
- 25 mm-nél nagyobb szemcseméretű hulladéküveg töret felhasználása mosható felületű betonburkoló lapok előállítására. A különböző színű vagy felületileg színezett üvegőrlemény a beton vagy épületpanelek díszítésére is használható.
- Kb. 50 %-ban 25-5 mm-es aprított üveghulladék aszfaltba történő keverésével kiváló minőségű, vízzáró és fagyálló útépítő anyag nyerhető. Az üveg egyúttal megnöveli az útburkolat súrlódási tényezőjét is.

- Hulladéküvegből és egyes kiegészítő nyersanyagok keverékéből olvasztás útján üvegyapot állítható elő, amelyből jó hő- és hangszigetelő szerkezeti elemek készíthetők.
- Az örölt és osztályozott üvegszemcsékből speciálisan szerkesztett gázegő segítségével - ún. lebegtetés elven - üvegyöngy készíthető. A hőközlés és a felületi feszültség hatására rövid idő alatt megolvad, és összetapadás nélkül gömbölyödik az üvegszemcse. Hasznosítható útjelző táblák fényvisszaverő felületéhez, ipari fémformák polírozó, acélszerkezetek mikro-kovácsoló anyagaként, színezék hordozóként, műanyagok töltőanyagaként, ipari vizek tisztítására.
- Az örölt és megfelelő méretre osztályozott üvegcserep hasznosítható agyagos, márgás, homoktalajok javítására. Segíti a talajban az oxigén diffúzióját a növényekhez, valamint segítségével szabályozható a talaj vízvisszatartása is.
- Hulladéküveg töretből (0,5 - 7 mm) és 5-10 % kristályosító anyag keverékéből szinterezési eljárással (préseléses formázással, hőkezeléssel) alagútkemencében táblaszerű, márvány mintázatú új építőanyag állítható elő, amely nagy szilárdságú, dörzsölésnek, időjárásnak jól ellenáll.
- 125 µm alatti üvegporkor alkalmas súrolóporkként, valamint víztisztító szerként történő felhasználásra. Az üvegpork szerkezeti üregei és a víz, a zsírsavak, az olajsavak között könnyen lejátszódó ioncserek mennek végbe és létrejön egy szűrési-tisztítási folyamat.
- A <125 µm-es üvegpork agyaghoz történő adagolásával, a porcelán három főkomponensű rendszerét kétkomponensűvé tehetjük. Az így készült kerámiai termékek jól szárazíthatók, kis hőmérsékleten hő-kezelhetők, jó zsugorodással és kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek.
- az építőiparban beton adalékanyagként vagy beton kiegészítő anyagként történő felhasználás, amely azonban nem problémamentes (pl. lehetséges alkáli-szilika reakció okozta minőség romlás).

7.6.2. Üveghulladék előkészítés technológiája és berendezései

Gyakran előfordul, hogy az üveghulladék gyűjtő konténerbe kavics, kő, fém kerül az üvegek közé. Az üvegyárak elvárása, hogy az üvegcserep mentes legyen egyrészt a szerves anyagoktól, másrészt a szervesetlen anyagoktól (kő, kavics, porcelán, tégl, beton, ..), illetve a fémektől (mind a mágnesezhető, mind a nem mágnesezhető fémektől). Minimálisra kell csökkenteni az egyéb színű és típusú üvegek jelenlétét is. Ezért a feldolgozandó üvegféleségek anyagfajtájuk, színösszetételük szerint szétválogatásra és mechanikai tisztításra kerülnek. Ez manuálisan és gépekkel is megvalósulhat. Hazánkban a tisztítás manuálisan történik, részben gépi anyagmozgatással. Fejlettebb EU országokban, például Németországban csak a nagyobb szennyeződések kiszedésére használnak kézi válogatást, minden más anyagot géppel távolítanak el az üveg közül.

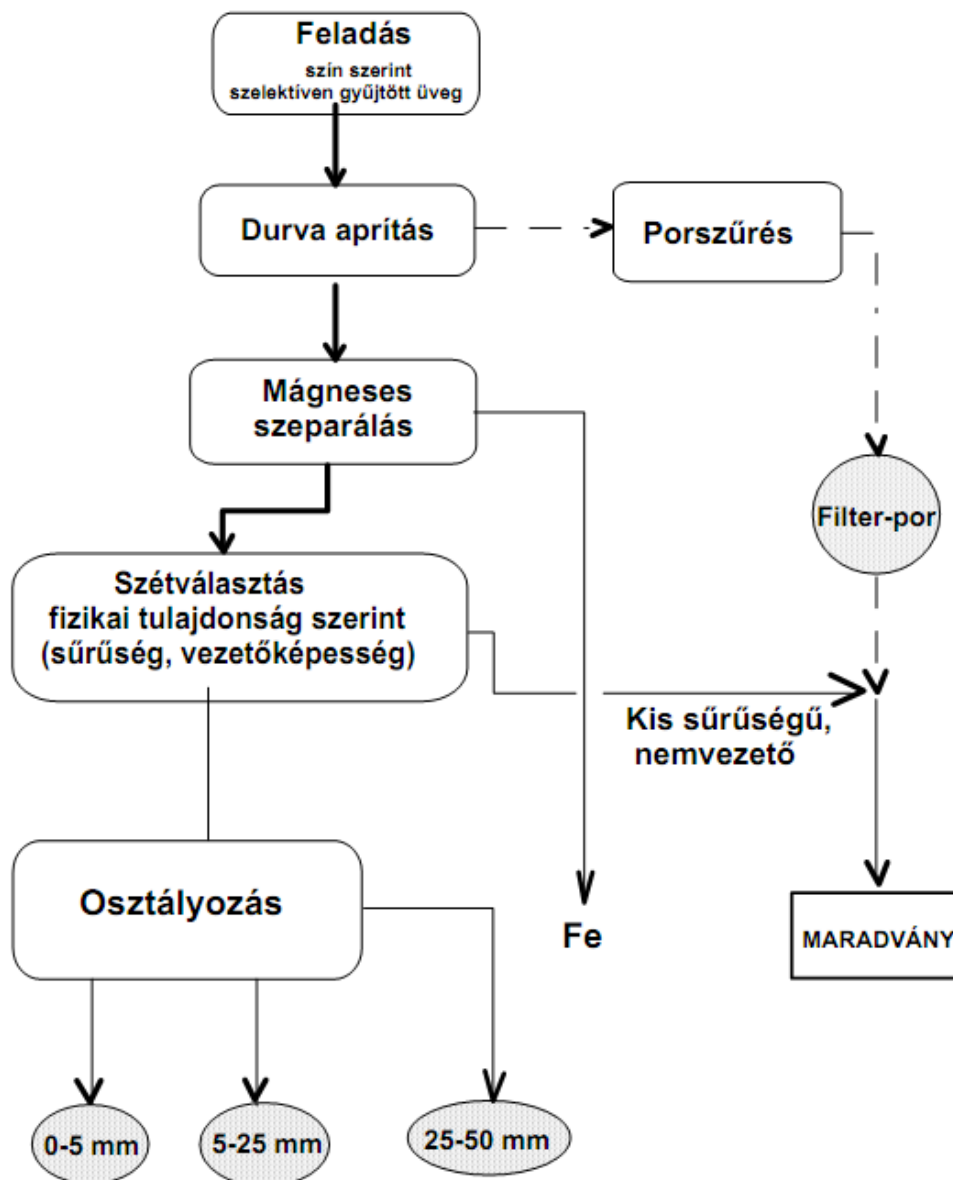
A hulladéküvegek újrahasznosítása kétirányú folyamat: visszairányítás az üvegyiparba beolvasztásra, illetve az egyéb célú hasznosítás.



7.6.1. ábra: Üveghulladék újrahasznosításának lehetőségei [11]

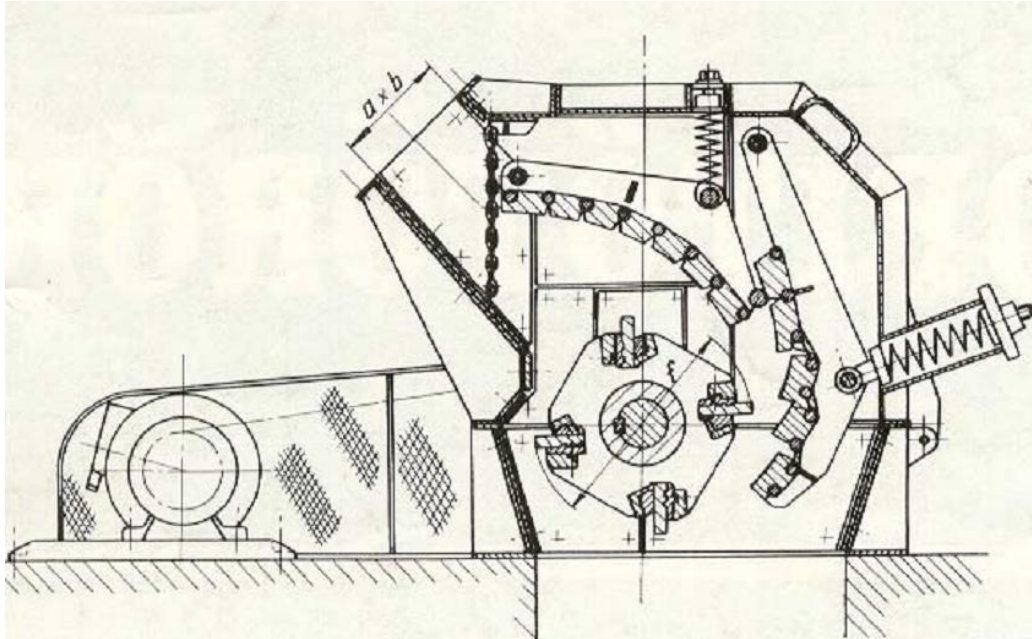
A használt üvegek újrahasznosításának előfeltétele az üvegek tiszta állapota. A tisztítást vizes mosással forgódobban végzik. A hulladéküvegeket beolvasztás után eddig főleg palackok és ipari üvegtáblák készítésére használták fel. Az üvegipar mellett újabban az örölt üveget aszfalttal keverve útépítésre is alkalmazhatják. Az üvegaszfalt tartóssága és érdekessége a szokásos forgalmi feltételek mellett a legtöbb esetben a hagyományos aszfaltnál jobbnak vagy azzal egyenértékűnek bizonyult.

Az üvegcserepet felhasználás előtt meg kell törni, erre a célra legtöbbször röpítő törőt használnak (7.6.3. ábra). A megfelelő, feldolgozható méret 5-30 mm. Ezt követően a vas szennyezők leválasztása történik. A mágneses szeparálás történhet szalag vagy dobszeparátorral.



7.6.2. ábra: Üveghulladék feldolgozás általános technológiai törzsfája

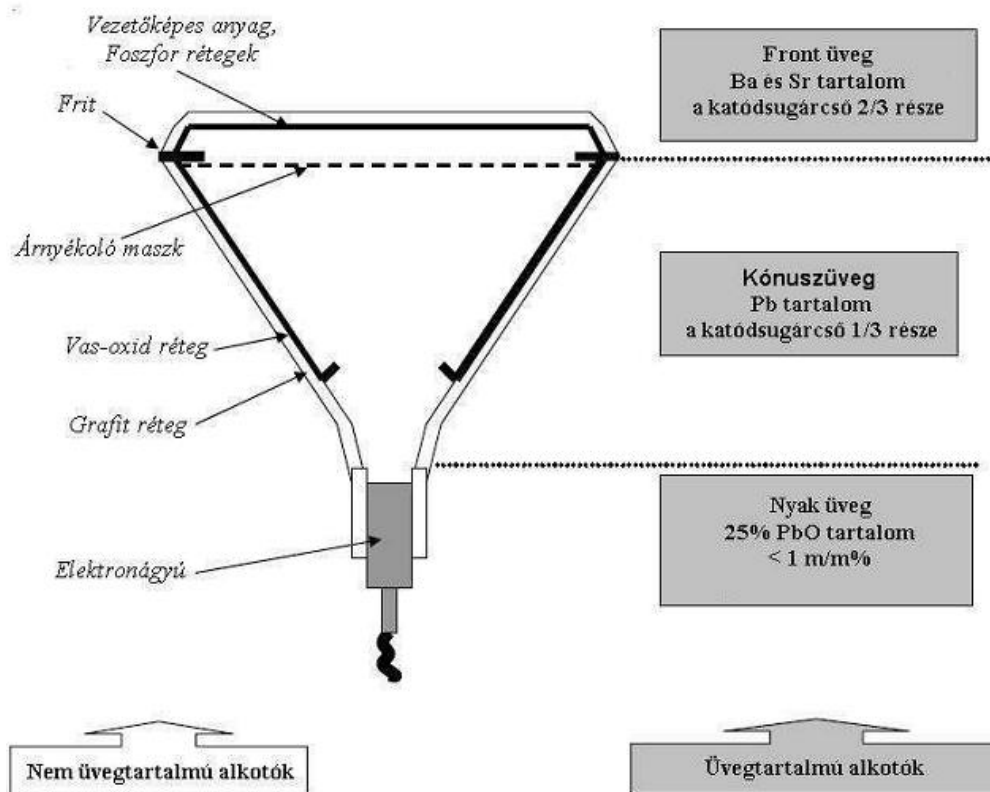
Az osztályozást vibrátorral végzik, a nemvas fémek leválasztása pedig örvényáramú szeparátorral, légáramkészülékkel vagy légszérrel történhet.



7.6.3. ábra: üveghulladék feldolgozására alkalmas röpitő törő

A hulladék üveget – szemcseméretét tekintve – **cementkomponensként, töltőanyagként és homokként** alkalmazhatjuk betonban. Jellemzően 15% körüli alkáliatartalma miatt bizonyos szemcseméret (300 μm) felett számolni kell az alkáli-szilika reakcióval (ASR), melynek során kovasavgél keletkezik opálos kvarcot tartalmazó adalékanyag jelenlétében. Ez a gél víz hatására megduzzad, és komoly károkat okozhat a betonban. Finomra őrölt üveg hozzáadása viszont javítja a beton tulajdonságait friss és megszilárdult állapotban egyaránt. Kovasavgél ekkor is keletkezik, de a finom eloszlás miatt a helyi feszültségek sokkal kisebbek, a cementkő szilárdsági határán belüliek, illetve portlandittal részben C-S-H géllé alakulhat, mely már nem okoz duzzadást vízfelvétel esetén [1].

Jelentős ólomtartalma miatt nagy környezetvédelmi problémát okozhat a nem megfelelő kezelésnek alávetett **katódsugárcső üveghulladék**. Kétféle katódsugárcső létezik: fekete-fehér (monokróm) és színes [12]. Ezeket a katódsugárcsőveket különböző üvegekből gyártják, amint azt az 1. ábra mutatja [13]. A nyak- (~1 m/m%) és a kónusz üveg (~33 m/m%) alkotja a sugárcső hátsó részét (a monitor, illetve TV készülék belső fele). A front üveg (~66 m/m%) Ba-Sr tartalmú üvegből készül, amely 1995 óta ólommentes [14], nagyon homogén és vastag. Ezt a három alkotót rendszerint egymáshoz forrasztják előolvasztott üveggel (frit), amely 85%-a ólom.



7.6.4. ábra: Katódsugárcső részei [13]

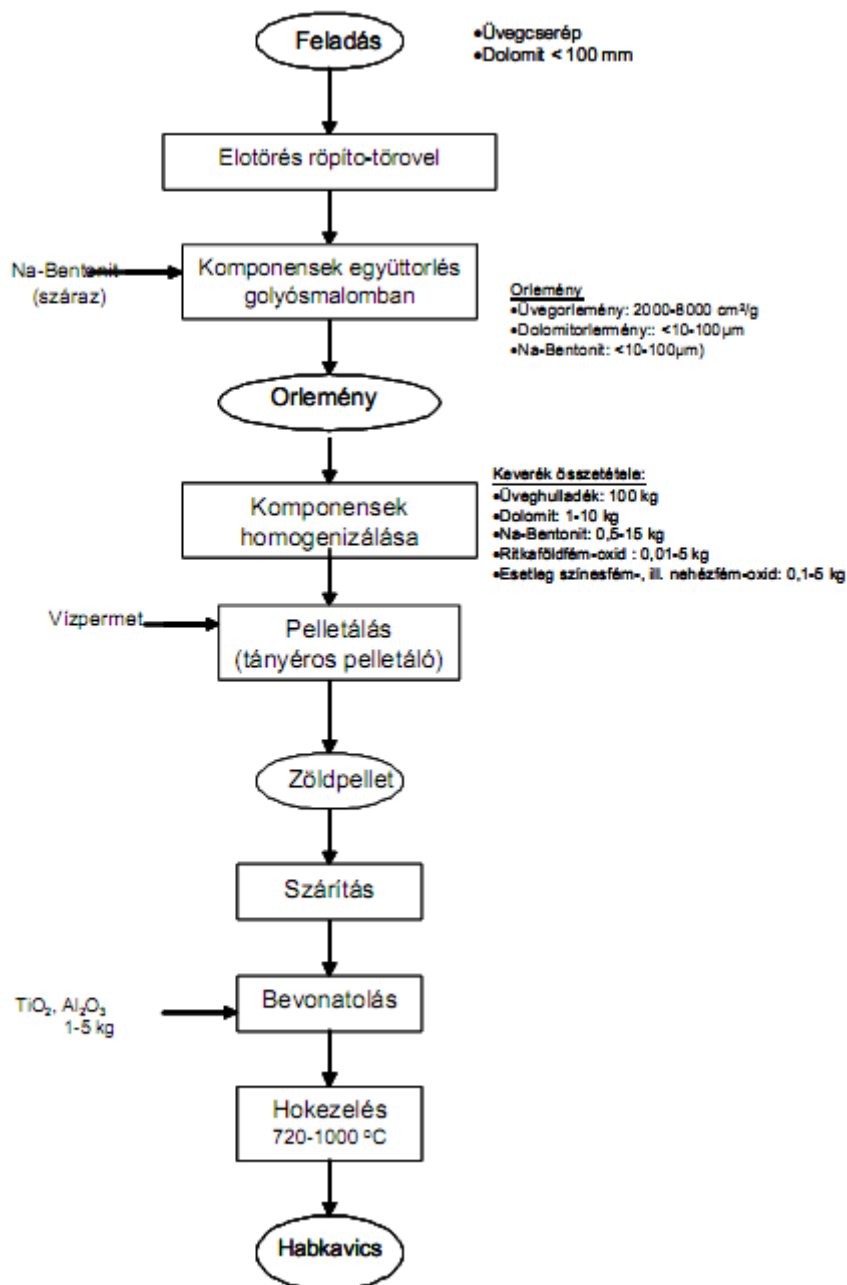
A nyaküveg ólomban gazdag szilikát-üveg tartalmú, mintegy 20 m/m%-a PbO, amely bevonja az elektronágyút. A kónusz üveg ólomtartalma alacsonyabb, mint a nyaküvegnek (~20 m/m% PbO). Az ólom adalék nélkülözhetetlen az UV és röntgensugár elnyelése miatt, ezért a kónusz- és nyaküvegnél is ólomot használnak erre a célra, alacsony ára miatt is. Habár Ba-ot és Sr-ot használnak az ólom helyett a színes katódsugárcsőves monitorok front üvegénél, az üvegnek színtelennek kell lennie. Az ólom-szilikát üveg barna színű, amíg a Ba-Sr szilikát üveg átlátszó marad röntgensugár alatt (azaz amikor elektronok érik a panelt). Ólomot csak a fekete-fehér CRT monitorok front üvegénél használnak.

Az amerikai Florida Center TCLP /kioldódási/ tesztet [15] végzett és a rendelkezésre álló adatok szerint a színes kónusz üvegnél 5 mg/l kioldódást tapasztalt az ólomra, ami már környezeti problémát jelent. Az Európai Unióban veszélyes anyagokat nem lehet lerakóba tenni kioldódási vizsgálatok elvégzése nélkül. A kioldódás határértékét L/S, folyadék/szilárd aránnyal adták meg, ami inert hulladékokra 10 l/kg (azaz 10 l folyadék/1kg szilárd anyag), ahol az összes ólom kioldás határkoncentrációja 50 mg/kg [16]. A CRT üvegekre vonatkozó kioldódási vizsgálatot az X 31-210 AFNOR eljárással határozták meg [17], ahol 13 mg/kg lett a végeredmény, ami az elfogadható határ alatt van veszélyes anyagok hulladéklerakóban való tárolásához [18]. Így ezeket az üvegeket lehet ugyan hulladéklerakóban tárolni, ám nagy környezeti kockázatot jelentenek annak ellenére is, hogy kémiaiailag szinte inert üvegek.

A szétszerelt katódsugárcsővek legnehezebben újrahasznosítható része a front üveg, amit már üveg és CaCO_3 keverékéből szinterezéssel előállított **üveghabként** sikerült felhasználni az iparban **hő- és hangszigeteléshez**.

A katódsugárcsővek problémája elsősorban az, hogy az elektronikai hulladékok lerakása nem megoldott és ebben a témában kulcsfontosságú az ólom-tartalmú kónusz üveg ártalmatlanítása és újrahasznosítása. Chen és Szerzőtársai tanulmányukban egy hatékony eljárást mutatnak be a kónusz üvegekre. Az eljárás kulcspontja az ólom kinyerése és ezzel egyidejűleg üveghab előállítás. A kísérletek eredményei azt mutatták, hogy az ólom kinyerésének az aránya először nőtt a hőmérséklet, szén mennyiségének és a tartózkodási idő növekedésével, majd egyenletessé vált, de a nyomás ellenkezőleg viselkedett. Az ólom kinyerésére az optimális hőmérséklet 1000 °C, nyomás 10 MPa, szénmennyiség 5% és tartózkodási idő 4 óra volt, így maximálisan 98,6 % a visszanyert ólom aránya. A **pyrovákuumos** eljárás során a kónusz üvegben lévő ólom először elkülönül és átalakul ólom-oxidá, majd redukálódik és elpárolog. A kinyert fém 99,3 %-ban tiszta. Az eljárásból visszamaradt porózus üveg további felhasználásra alkalmas, környezetre nem veszélyes [19].

A kereskedelemben kaphatók xantan- és guar gumi mikrobiális **biopolimereket** használtak CRT hulladékok „betokozására”, az ólom kilúgzása így lecsökken. Ebben a vizsgálatban a keresztműködéses reakciók együttműködésének hatásait figyelték meg két különböző biopolimer egyesítésekor vagy keresztműködéses közeget a biopolimer oldathoz adva. Az ilyen CRT-biopolimer-beton (CBC) kompozitok nagyobb nyomószilárdságot mutatnak, mint az átlagos beton és számottevően csökken az ólom kioldódása is. A kompozitokat az alapanyagok különböző keverékében állították elő. A víz és biopolimer oldatok mennyiségét változtatták gyártáskor, a CRT üveg, homok és cement mennyisége állandó maradt [20].



7.6.5. ábra: Üveghab kavics gyártási technológia (Hoffmann-féle szabadalom alapján) [21]

A **geofil bubbles** nevezetű termék is a CRT üveghulladékok újrahasznosítására jelent megoldást. A keveréket olvadáspont csökkentő- és az olvadék viszkozitását optimalizáló vegyületeket tartalmazó oldat felhasználásával granuláljuk, majd a felületére vízfellevő képességet szabályzó anyagot viszünk fel. Szárítás után forgókemencében hőkezeljük az anyagot, majd hirtelen hűtjük.



7.6.6. ábra: Geofil üveg habkavics

A HU 224 808 B1 lajstromszámú (Eljárás, előnyösen hulladék anyagokból, zárt pórus szerkezetű szilikáthab előállítására, és az eljárással előállított termék) szabadalom alapján a habkavicsot előállító technológia eljárás technikai törzsfája az xx. ábrán látható. Az így előállított üveg habkavics (yy. ábra) bezárja az ólmot, és több területen is alkalmazható; többek között könnyűbeton, önterülő beton, hang- és hőszigetelő anyag készíthető belőle.

Irodalom

[1] Apagyi Zsolt, Csetényi László: Hulladék üveg kölcsönhatásai cementkő pórusfolyadékában. Építőanyag 55. évf. 2003. 2. szám pp. 74-78.

[2]

[3] Tóthné Kiss Klára: Üveghulladék, mint alapanyag az üvegyárak hulladékgazdálkodásában. Építőanyag 59. évf. 2007. 4. szám, pp. 114-117.

[4] Dr. Knapp Oszkár, Dr. Korányi György: Üvegipari Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.

[5] Dr. Tamás Ferenc: Szilikátipari Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.

[6] Hoffman L., Józsa Zs., Nemes R.: Üveghulladékból könnyűbeton adalékanyag, Építőanyag, 55. évf., 1. szám, 2003, pp 13-17.

[7] Coventry, S., Woolveridge, C., Hillier, S.: The reclaimed and recycled construction materials handbook, CIRIA, 1999, pp 94-98.

[8] FEVE – European Container Glass Federation

<http://www.feve.org/index.php?option=content&task=view&id=104&Itemid=134>

[9] Hulladéksors internetes hulladékgazdálkodási szakmai folyóirat, 2008. július 1.

<http://hulladeksors.hu/hu/koetelezo-hasznositas-es-ujrafeldolgozas-2020-ig>

[10] Dr. Csőke Barnabás - Üveghulladékok előkészítése és hasznosítása c. oktatási segédlet

[11] Barótfi István: Környezettechnika. 2000 Mezőgazda Kiadó

[12] Desgeorges, J.P. (1994): Recycling of end of life cathode-ray tubes, Report for the french Ministère de l'environnement, Paris

[13] Lee, C.H., Chang, S.L., Wang, K.M., Wen, L.C. (2000): Management of scrap computer recycling in Taiwan, Journal of Hazardous Materials 73, 209-220

- [14] Corcoran (2001): Communication in Western Electronic Product Stewardship Initiative (WEPSI) Multi-Stakeholder Meeting #3, December 12, 2001 Portland, Oregon
- [15] Tonwsend, T.G., Musson, S., Jang, Y.C., Chung, I.H. (1999): Characterization of lead leachability from cathode ray tubes using the toxicity characteristic leaching procedure, Report #99-5, Florida center for solid and hazardous waste management, Gainesville, Florida, USA
- [16] EU Council (2003) Council decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC (2003/33/EC), Official Journal of the European Communities, L 011, 16/01/2003, 27-49
- [17] AFNOR (1998): Norme XP X 31-210, Waste – Leaching test, Association Francaise de Normalisation, Paris, France
- [18] Méar, F. (2004): Study of foam glass elaborated from waste cathode-ray tubes (CRT) lead oxide containing glasses: elaboration, physical and chemical characterizations and applications, Ph.D. Thesis, Université Montpellier II, Montpellier, France
- [19] Mengjun Chen, Fu-Shen Zhang, Jianxin Zhu (2009): Lead recovery and the feasibility of foam glass production from funnel glass of dismantled cathode ray tube through pyrovacuum process, Journal of Hazardous Materials 161, 1109-1113
- [20] Daeik Kim, Michael Quinlan, Teh Fu Yen (2009): Encapsulation of lead from hazardous CRT glass wastes using biopolymer cross-linked concrete systems, Waste Management 29, 321-328
- [21] Hoffmann L.: Eljárás, előnyösen hulladék anyagokból, zárt pórus szerkezetű szilikáthab előállítására, és az eljárással előállított termék. (HU 224 808 B1 lajstromszám)

