

8. IPARI HULLADÉKOK ELŐKÉSZÍTÉSE ÉS HASZNOSÍTÁSA

Készítette: Prof. Dr. Csőke Barnabás

8.1. Bányameddők és hasznosításuk

Az ásványi nyersanyagok bányászata, előkészítése nagy mennyiségű meddő, ill. hulladék keletkezésével és a környezetbe való nagymértékű beavatkozással jár. Mindkét tényező arra ösztönzi a társadalmat, hogy a bányászati tevékenységet a környezetet kímélő módon folytassa, nyersanyagok hasznosítását takarékosabban valósítsa meg, és a bányameddők -mint másodlagos nyersanyagok - újrahasznosítása minél szélesebb körben megtörténjen.

A kitűzött cél elérésének lényegében három feltétele van:

- gazdasági,
- technológiai,
- jogi.

Ideális piacgazdaságban az egyes vállalati, vállalkozási érdek az egész nemzetgazdaság érdekének része, a vállalati költségek összegződése adná a nemzetgazdasági költségeket. A valóságban azonban a vállalati érdek és a nemzetgazdasági érdek annyira eltérhet egymástól, hogy egyrészt a nyersanyag pazarlására, másrészt a környezet károsítására vezet.

Ma a nyersanyagok árát a kitermelési, előállítási és a szállítási költségek határozzák meg, amelyek a lelőhelyek elszegényedése, a növekvő szállítási költségek miatt emelkednek. A kialakult nyersanyagárak ma még nem ösztönöznek a takarékosabb nyersanyag-felhasználásra és nem elégségesek a környezeti hatások ellensúlyozására fordítandó költségek elviselésére.

Egyes szerzők ezért azt javasolják, hogy a "nemzetgazdasági szempontból" helyes árnak a termelési és szállítási költségeken felül tartalmaznia kellene egy ún. szűkülési, továbbá környezeti és hulladék-komponenst. E többletnek fedeznie kell a nyersanyag szűkössé válásából következő alkalmazkodási nehézségeket, környezetbe való beavatkozásából adódó, valamint a hulladék lerakás és újrahasznosítás fejlesztésével kapcsolatos népgazdasági többletköltségeket.

A bányászatban mint iparágban alapvetően két egymástól jól elkülöníthető melléktermék, ill. hulladékcsoport különböztethető meg:

- technológiai maradék-anyagok,
- amortizációs hulladék-anyagok.

A **technológiai maradék-anyagok** a bányászati termelés során kitermelt, de nem hasznosított meddőanyagok. Ezek az anyagok részben azért nem kerülnek felhasználásra, mert nem tartalmaznak az elsődleges termelési célként megjelölt hasznosítható anyagokat (pl. szénbányászatban az éghető anyagtartalom nélküli meddők), vagy olyan meddőanyagok, amelyek ugyan tartalmaznak az elsődleges termelési cél szempontjából hasznosítható anyagot, de annak kinyerése és tényleges hasznosulása az adott kor gazdasági és technológiai feltételei mellett nem valósíthatók meg (pl. alacsony fémtartalommal kitermelt ércbányászati meddők). Hasonlóan sajátosak az előkészítés során leválasztott meddők, amelyek még tartalmaznak hasznos alkotókat. Ezek az ún. látszólagos meddők idővel a gazdasági feltételek

megváltozásával, az előkészítési és feldolgozási technológiák fejlődésével még hasznosításba vonhatók (technogén lelőhelyek). Ma is van számos példa régi ércbányászati meddőhányók újrafeldolgozására. Az **amortizációs hulladékok** a bányászati termeléshez felhasznált és alkalmazott anyagok és eszközök. Ezek részben iparág-specifikusan keletkezhetnek (pl. biztosítási anyagok, fejlámpa akkumulátorok, stb.), de nagyobb részt más iparágakban is előforduló elhasználandó technológiai anyagok (kábelek, gumihevederek szerelési anyagok). Ezen hulladékok hasznosítása független a bányászattól, de természetesen megoldandó feladat.

8.1.1. Bányameddők és környezeti hatásaik

A bányameddő bányászati olyan melléktermékek, melyek nem tartalmazzák azt az anyagot, amelyért a bányában a termelés folyik (pl. csökkent ércartalmú kőzet, nem megfelelő minőségű építőkő, széntelepbe ékelődött kőzetes, éghető anyagtartalom nélküli agyagos, agyagos-márgás kőzetréteg stb.), más szóval a meddő a külfejtéses vagy mélyművelésű bányászati tevékenység során keletkező, vagy a kőzetekből felhasználható anyagok kinyerése után megmaradó anyagok felhalmozott tömege.

A meddőhányók az ember által folytatott kutatási és bányászati tevékenység eredményeként a természetes környezetbe behelyezett mesterséges anyagok. Ennek következtében a mélységben stabil ásvány- és kőzettömegek a felszínre kerültek, ahol elveszítették stabilitásukat és kisebb-nagyobb elváltozásokat szenvedtek/szenvednek a külső tényezők (víz, levegő, napi vagy évszakos hőmérséklet-ingadozások) hatása alatt.

Környezeti hatások

A természetes kőzetek, illetve az ércek és a külső tényezők között létező kölcsönhatást a meddőhányók esetében a következőkben lehet összefoglalni:

1) A kémiai összetétel megváltozása. Egyes ásványok, mint pl. a szulfidok, egyes karbonátos ércek ill. kőzetek, valamint a szenes anyagot tartalmazó kőzetek oxidálódnak; ezen kívül az oxidálódó szulfidokból a víz hatására kénsav keletkezik. A két vegyértékű vas három vegyértékűvé válik (limonitosodás, vasoxid-képződés), a karbonátos-szilikátos mangánércben oxidok, hidroxidok képződnek, a szén begyullad stb.

2) A kémhatás (pH vagy hidrogén-ion koncentráció) megváltozik. A kénsav keletkezése az átszivárgó vizeket savassá teszi; a karbonátok hidrolízise folytán a víz kémhatása lúgossá válik. Külön kell megemlíteni a baktériumok által végbemenő oxidációs folyamatokat, amelyek eredményeként, főleg az alacsonyabban fekvő területeken, enyhébb éghajlati viszonyok között az ásványokból kioldódnak nemcsak a fő komponensek, hanem a mérgező fémek is, amelyek a kőzetek vagy az ércek járulékos, ún. mikroelemeit képezik. Mivel az oldatba jutás főleg komplexképzés útján történik, ezek az elemek a folyóvizekbe kerülve, igen messze el tudnak jutni a keletkezési helyüktől.

3) Egyes ásványok hidratációja. A kőzeteket képező földpátok, csillámok, egyes színes ásványok vagy az amorf üveg a beszivárgó víz hatására agyagásványokká, limonittá válik és ezáltal a kőzet mechanikai tulajdonságai számottevően módosulnak, a kőzet elveszíti szilárdságát, felpuhul. Az átszivárgó víz zavaros lesz, a vízfolyásokban megváltozik a víz színe és a fényáteresztő-képessége. Ezek a finomszemcsés, lebegtetett anyagok is nagy távolságra eljutnak és éreztetik negatív hatásukat a víz minőségére.

4) A felsorolt kémiai folyamatok exoterm jellegűek, ami a meddőhányó hőháztartásában jelentős változásokat okoz; ez főleg a tápláléklánc alapját képező mikroorganizmusokra gyakorol észlelhető hatást.

5) A meddőhányón tárolt kőzetanyag fizikai vagy kémiai felaprózódása (mállása) folyamán nagy mennyiségű finomszemcsés anyag keletkezik, a szemcsék alakja lemezes, szélük éles vagy fogazott, hegyük túszerű. Ezek elzárják az élő szervezetek pórusait, nedvcsatornáit, lerakódnak a lélegző felületekre, irritálják a nyálkahártyákat.

6) Az instabil rézsúk mentén, a fokozott erózió hatására a kőzettörmelék a vízfolyásokba jut. Ezáltal a vízfolyásba, a természetes törmelék-szállító kapacitást jelentősen meghaladó idegen anyag kerül, ami a meder feltöltődésével, a vízátervezető műtárgyak (csatornák, hidak) eltömődésével jár, nem beszélve arról, hogy a vízfolyás áradásakor a patak az üledéket szétszórja, sokszor művelt és lakott területeken. Az üledékbe juttatott idegen anyag megváltoz-

tatja ennek a kémhatását és a mérgező fémek felhalmozódását is elősegíti, mind a talajban, mind a vízfolyás által táplált talajvíz-rétegben.

Meddőhányók által okozott környezeti károk, egészségkárosító hatások [2.3]



A talajvíz szennyezése - A beszivárgó csapadékvíz kioldja a meddőhányóban található szennyező anyagokat, lehetővé téve ezek bemosódását a talajvízbe. Ezek a szennyező anyagok később megjelennek a források és kutak vizében, veszélyeztetve a vízfogyasztók egészségét.

8.1.1. ábra. Felhagyott tárna



Felszíni vizek szennyezése - A rajtuk átszivárgó csapadékvizet és az átfolyó patakok vizét erősen savassá teszik, és nehézfém ionokkal telítik, ezáltal veszélyes és messzire elszállítható vegyi szennyeződést hoznak létre.

8.1.2. ábra. Meddőhányó csurgaléka

Egészségkárosító hatás - A kőzetekből kioldott nehézfémek a felszín alatti és feletti vizekben terjedve eljutnak a lakott területekre is, ahol közvetlenül az ivóvízből vagy közvetve pl. szennyezett vízzel öntözött terményeken keresztül bejutnak az emberi szervezetbe. A legveszélyesebb anyagok, úgymint cink, ólom, nikkell, kadmium és a réz, különböző emberi (vagy állati) szervekben felhalmozódnak, aminek következtében súlyos mérgezéses tünetek és gyakran daganatos megbetegedések lépnek fel.

Mechanikai hatás - A meddőhalom belsejében lejátszódó vegyi és fizikai folyamatok, valamint a csapadék és az átfolyó vizek erodáló hatására a meddókat kitöltő, legtöbbször homokoszerű anyag, a patakok medrébe jut. Ezáltal a vízfolyásba a természetes törmelék-szállító kapacitást jelentősen meghaladó idegen anyag kerül, ami a meder feltöltődéséhez, a vízátervezető építmények (csatornák, hidak) eltömődésével járhat, nem beszélve arról, hogy a vízfolyás áradásakor a patak ezt az anyagot szétszórja, művelt és lakott területeken.

Esztétikai hatás - A meddőhányókat főleg lakott területek közelében előszeretettel használják hulladék tárolására. Ezen kívül visszataszító látványt nyújt a szép hegyvidéki, erdős völgyekben lerakott idegen, növényzet nélküli halom, amely kémhatása révén elpusztítja a növényzetet maga körül és a patakok vizét természetellenes színűre festi. Az a tájegység, amelyet ilyen hatások érnek jelentősen veszítenek turisztikai potenciáljukból.

Környezeti szempontból a bányameddő anyagok négy csoportra oszthatók: [2,5]

1. környezetszennyezők: toxikus hulladékot tartalmaznak, bizonyos elemek koncentrációja sokszorosán meghaladja az élő szervezetek által elviselhető értéket
2. környezetet terhelők nem tartalmaznak veszélyes anyagot, de felhasználásuk nem megoldott
3. környezetbarát: felhasználhatók talajjavításra, adalékanyagként stb.(pl. mészkő vagy dolomitbányák meddői)
4. különleges értékű hasznosítható meddők (pl. riolittufa, bizonyos salakok stb.)

8.1.2. Meddőkészletek

Az egykori Központi Földtani Hivatal (a mai Magyar Geológiai Szolgálat jogi elődje) már 1981-ben elrendelte a bányameddők országos felkutatását és készleteinek felmérését. A kutatás 1987-ig valamennyi jelentősebb bányameddőre kiterjedt (a korábbi Mecseki Ércbányák kivételével), ezért az egykori hivatal úgy határozott, hogy a készleteket 1987. év kezdetétől mérlegszerű kiadványban is célszerű közkinccsé tenni. Jelen összefoglaló tájékoztatót a bányameddők 1991. évi készlethelyzetéről ad képet.

Az 1991. évi állapot szerint Magyarország földjén öt-hatezer bányaojektum található, ezeknek mintegy 20% természetes módon "rekultiválódott" azaz beerdősödött és belesimult a környezetbe (amelyre számtalan példa van pl. Nógrád megyében) ill. program szerinti rekultiválása megtörtént vagy folyamatban van, amire jó példák találhatóak mind Baranya és mind Heves, illetve Borsod-Abaúj-Zemplén megyékben a feketekőszén és lignit egykori/mai külszíni fejtései helyén. Az elmúlt évtizedek felmérései szerint a megvizsgált meddők tömege kilotonnában kifejezve megynként az alábbi sorrendet adja:

Borsod-Abaúj-Zemplén	250 ezer kt
Heves	150 ezer kt
Baranya	120 ezer kt
Komárom-Esztergom	120 ezer kt

Veszprém	110 ezer kt
Fejér	45 ezer kt
Nógrád	40 ezer kt
Összesen:	835 ezer kt

A többi megye gyakorlatilag meddőmentes. A legértékesebb meddők sorrendben Borsod-Abaúj-Zemplén, Komárom-Esztergom, Baranya, Heves, Veszprém, Nógrád és Fejér megyékben találhatók

A felszínen deponált meddőhányók az ország termőföld-területének kb. 1-2%-át foglalják el, azonban a meddők, amint a felsorolásból is kitűnik nem elsősorban a mezőgazdasági profilú megyékben jelentősek, tehát fajlagos területük az érintett régiókban lényegesen nagyobb.

A múlt század végi kutatások alapján az országban mintegy öt-hatezer depónián fellelhető bányameddők, feldolgozás-technológiai melléktermékek és hulladékanyagok 1 Mrd tonna mennyiségének fele néhány száz objektumra koncentrálódik. Mintegy 1100-ra becsülhető az egykori országos mérleg szerint a jelentősebb, de gyakorlatilag hozzá nem férhető (természetvédelmi terület, lerakóhely, beerdősödött terület, stb.) előfordulás. E meddők energiataralmuk részben szervesanyag-tartalmuk miatt, másrészt a létrehozásukhoz befektetett ráfordításokból következően igen jelentősek. Potenciális hasznosításuk lehetősége lényegesen nagyobb a 90-es évek eleji 1000 kt/év mértéknél, de az hasznosítás mértéke pedig alig haladta meg az 5 %-ot.

8.1.3.A bányameddők előkészítése és hasznosítása (általában)

A bányászati termelési hulladékok, meddők felhasználását azok fizikai, fizikai-kémiai tulajdonságai, végső soron kőzetek- és ásványok sajátosságai határozzák meg. Az 8.1.1.táblázatban a hazai nyersanyag-előfordulások meddőként jelentkező kísérő kőzeteit (ásványait) tüntettük fel. Ebből kitűnik, hogy a kitermelés során meddőanyagként kezelt kísérő kőzetek-ásványok is hasznos alkotók - természetesen nem az elsődleges bányászati cél figyelembevételével - amelyek a gazdaságban széles körben hasznosíthatók.

8.1.1.táblázat. Meddőanyagok ásványai, kőzetei

Ásványi nyersanyag	Kísérő kőzetek, ásványok (meddőanyagok)
Feketeszén	márga, agyagmárga, homokkő, mészkő, tufásmárga, andezit
Barnaszén	mészkő, homok, agyag, dolomit, homokkő, agyagos homok andezit, kavics, riolittufa
Lignit	agyag, tengeri üledék, homok, márga, mészkő, dolomit
Vasérc	agyag, homok, homokkő, barit, mészkő, gipsz, kvarc, kalcit, szulfidos ásványok
Mangánérc	homok, homokkő, agyagmárga, agyagpala, kalcit, kvarc
Bauxit	dolomit, mészkő, agyag, kavics, homok, sziderit
Szulfidos ércek	andezit, tufa, kvarc, dolomit, opál, jáspis, hegyikristály, kalcit, gipsz, agyag, dácit, sziderit

Agyagásványok	
Bentonit	kvarc, kaolinit, illit
Kaolin	kvarc, sziderit, dolomit, kalcit, gipsz
Illit	kvarc
Üveghomok	kaolinit, nehézasványok
Perlit	andezit, tufa, trofit
Gipsz, anhidrit	dolomit, agyagpala
Dolomit	mészkö, homok
Kőbányászat	törmeléken andezit, bazalt, tufa, agyag, máltott kőanyag, humusz
Kavicsbányászat	humusz, kavics, kavicsos homok, homok

A 8.1.2.táblázatban a bányászati meddők hasznosítási lehetőségeit foglaltuk össze.

8.1.2.táblázat: Meddőhasznosítási lehetőségek

Hulladék keletkezési hely	Hasznosítás helye, módja						
	Szénipar	Vaskohászat	Szinesfémkohászat	Vegyipar	Építőipar	Atom-energetika	Mezőgazdaság
1. Szénbányászat, energetika	Éghetőanyag hasznosítása, tömédékelés	Salakképző	Al kinyerése pernyéből, Ca ritkafémek, dezoxidálók	H ₂ SO ₄	Zúzottkő, agglomerit, töltőanyagok	U, Th	Mikroműtrágya, Talajrekultiválás
2. Ércbányászat		Fe	Cu, W, Mo, Sn, stb. kinyerése meddőhányó anyagából	H ₂ SO ₄ , P, S	Mész, kaolin, homok	U, Be, Li	Mikroműtrágya, Talajrekultiválás
3. Ásványbányászat		Magnetit és titanomagnetit	Nefelinből való kinyerése, ritkafémek, fluorit	P Al meddőből, cement, szóda	Zúzottkő, cement, gipsz	Li	Műtrágya, Talajrekultiválás
4. Építőanyagok bányászata		Magnetit	Ti, ritkafémek		Zúzottkő	Zr, TR	Talajjavító mész, talajrekultiválás

Hazánkban a szén, kő- és kavicsbányászati meddők mennyisége a legjelentősebb, ezért a továbbiakban elsőként ezen anyagok előkészítéséről és hasznosítási lehetőségeiről szólnak.

8.1.4. Szénbányászati meddők

A szénbányákból származó és előkészítői meddő felhasználása lényegében két módon történhet: a nyersmeddőként közvetlenül, esetleg csekély mértékű aprítás és osztályozás után, vagy a meddőanyag kisebb-nagyobb mérvű átalakítását, előkészítését, nemesítését követően.

A fekete meddő

A szénbányák környékén nagy mennyiségű fekete vagy szürke színű meddő halmozódik fel. Ezek ásványtani összetétele: kvarc, homokköves frakciók plagioklász földpátok és átlátszatlan ásványok. Jó szervezéssel a friss fekete meddőt azonnal az utépítési munkahelyre szállítják. Gyakoribb a hányókon tárolt meddő felhasználása. Ilyenkor a hányókat kőbányászati berendezésekkel termelik ki, majd zúzással állítják elő a kívánt szemeloszlású anyagot

Az osztályozatlan fekete meddőből töltés vagy kapilláris víz hatásának ki nem tett védőréteg építhető. A 0,08 mm alatti frakció 10-20 % lehet a módosított Proctor vizsgálat szerinti legnagyobb száraz térfogatsűrűség 1,8 t/m³ körüli, a legkedvezőbb tömörítési víztartalom, pedig 12 % körüli. A töltést 30-40 cm vastag rétegekben nehéz vibrációs és gumiabroncsos hengerekkel tömörítik.

A kiégett vörös meddő /salak/

Kevésbé ismert tényezők hatására egyes hányókban öngyulladás következik be. A **kiégett vörös meddő** (vagy salak) egyes kőszenes meddőhányókban öngyulladás következtében keletkezik. A nagy hőmérsékleten a vasásványok oxidálódnak, az anyag vörössé válik, miközben a meddő geotechnikai tulajdonságai is jelentősen módosulnak és salaknak minősülnek. A vörössalak finom zúzalékának szintén puccolános tulajdonságai vannak. Salaknak minősülő vörös meddő sok /30-50 %/ SiO₂-t és Al₂O₃-at, kevesebb /7 % körüli/ Fe₂O₃-at és kevés /1,5 % körüli/ CaO-t és MgO-t tartalmaz.

Az osztályozatlan vörös /kiégett/ meddőkből építhető:

- töltés és védőréteg - kapilláris víz hatásának kitett földművön is - a tömör száraz térfogatsűrűség: 1,8-2,0 t/m³;
- megerősített föld-támfal, a szemcsés anyagának jellemzői: D_{max} = 50 mm, a 0,08 mm alatti frakció max. 5 %;
- ipartelepi, mezőgazdasági stb. tárolóterületek burkolása, - kisértelmű utak, autópálya-leállósávok burkolatalapja.

Zúzott és osztályozott vörös salakból, amely Los Angeles-i aprózódási vesztesége legfeljebb 30 %, a nedves mikro-Deval értéke 25 % körüli és 0/6 és 6/20 mm-es frakcióból áll - felhasználható, mint:

- fém-/pl. ARMCO-/ átereszek mögötti feltöltés,
- kötőanyag nélküli burkolatalap /mechanikai stabilizáció/,
- kötőanyag burkolatalapok szemcsés anyaga; tájékoztató kötőanyag-igények;
 - = 85 % salakhoz: 15 % darált granulált kohósalak + 1 % mész,
 - = 85 % salakhoz: 13 % pernye és 3 % mész,
 - = 3,5-4 % cement;
- burkolatalap puccolános kötőanyaga: 95 % vörös salak legalább 37 % finom frakcióval + 5% mész.

A vörössalak finom zúzalékának ugyanis puccolános tulajdonsága van.

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a szénbányameddőkből épített több millió m³ térfogatú töltések kedvezően viselkednek. A vörös salak, pedig egyre több területen helyettesíti a közepes és a jobb minőségű szemcsés anyagokat, még a kötőanyag alaprétegekben is.

8.1.4.1. Bányameddő tömedékanyagként való felhasználása

A bánya-meddők legismertebb, leggyakoribb felhasználási módja a meddő bányabeli tömedék anyagként való hasznosítása, ha azt az üzemi viszonyok megengedik. Jó példa erre a lotharingiai kőszénbányászat, ahol az összes meddőt felhasználják, részben fúvó tömedékelésre, részben felhagyott bányák feltöltésére. Alkalmanként kevés meszet vagy cementet kevernek a tömedékhez szilárdság növelése céljából. Hazánkban Tatabányán alkalmaztak bánya-meddőt fúvótömedékelésre, a Mecseki Szénbányákban erőműi pernyét használt tömedék-anyagként. Vannak példák a bánya-meddő és a kavics-homok keverékének tömedékként való alkalmazására is.

8.1.4.2. Útalapozás, feltöltés

A meddő tört és/vagy szitált osztályait számos országban kötőanyaggal, vagy anélkül útalapozásra, feltöltésre használják, pl. autópályák nyomvonalának feltöltésére, utak alaprétegének kialakítására. Tekintettel arra, hogy a meddő szállítási költségre érzékeny kis értékű anyag, legfeljebb a telephelytől 30 km-es körzetben építik be. Alkalmazásakor ügyelni kell, hogy a meddőben maradt szén az oxidáció következtében ne gyulladjon be és a rézsű kialakítása megfelelő legyen. Kezeletlen < 60 mm-es szemcse nagyságú előkészítőműi meddő föld- és útépítésben hordozó- és tömörítő- rétegben hasznosítható.

Korábban a meddőanyagot az útépítésben az alsó részben, azaz a fagymentes zónában, laza töltőanyagként használták, tehát csak térfogatállónak és hordozóképesnek kellett lennie. A mai meghatározott szemcseméretű meddőanyagot (< 60 mm) hidraulikusan pl. cementtel vagy bitumennel kötik. A kötőanyag -filmmel bevont szemcsék- fagyállóságot is biztosítanak a rétegnek. Az Essenben épített út ilyen meddőfelhasználással sikeres volt.

A bánya-meddő útépítési célú felhasználása csak hatósági intézkedések, esetleges gazdasági preferenciák mellett lenne lehetséges. Különösen fontos lenne megvizsgálni a tervezett M3-as és az M8-as autópálya építésénél felhasználható meddőhányókat. A borsodi és veszprémi térségben lévő meddőhányók útépítési célú felhasználásával a térség terület rehabilitációja is részben megoldható lenne.

Francia tapasztalatok [2.2]

A felhalmozódott szénbányameddők mennyisége:

Északon és Pas-de-Calais tartományban	700 millió t
Az ország középső és déli vidékein	200 millió t
Lorraine-ben /Lotharingiában/	100 millió t

Több évtizede ezeken a vidékeken számos községi és helyi út épült szénbánya-meddőből.

A szürke vagy fekete színű meddőt nagy hányókba halmozzák fel. Kevésbé ismert tényezők hatására egyes hányókban öngyulladás következik be: a magas hőmérséklet miatt a szürke vasoxid vörössé válik és közben a meddő geotechnikai tulajdonságai is jelentősen módosulnak.

A meddők jellemzői:

- kőzettani összetétel:
 - 20-40 % homokkő,
 - 50-80 % metamorf anyagok;
- ásványtani összetétel:
 - a fekete meddőkben: kvarc, homokkőves frakciókkal, fillitek, plagioklász földpátokkal, átlátszatlan ásványok;
 - a vörös salakokban: kvarc, kristobalit, mullit, illit agyagásványból keletkező korderit;
- kémiai összetétel /a vörös salakoké/:

SiO ₂	52,0 %
Al ₂ O ₃	30,0 %
Fe ₂ O ₃	7,0 %
CaO	1,5 %
MgO	1,5 %
Na ₂ O + K ₂ O	4,0 %
SO ₃	1,0 %
- szemeloszlás: a kőszénmeddők szemeloszlása folytonos, a szemcsék rendszerint 0 és 200 mm közöttiek.

A fekete meddőket általában a kitermelés helyéről szállítják az útépitési munkahelyekre. Gyakoribb a hányókon tárolt meddők felhasználása. Ilyenkor a hányókat kőbányászati berendezésekkel termelik ki, majd aprítással és osztályozással állítják elő a kívánt méretű szemcsés anyagot vagy frakciót. Az 1970 óta hasznosított meddők évi mennyisége - az útépitési programok függvényében - 4,5 és 8,5 millió tonna között változott. 1954 óta Franciaországban - főleg az északi vidékeken - több mint 80 millió tonna palát használtak fel az utak építéséhez. Az osztályozatlan meddőkből jó minőségű töltéseket és javított talajrétegeket építenek. A aprított és osztályozott palát a pályaszerkezet alaprétegeibe építik be.

Töltések és védőrétegek építése [2.2]

Az új utak és autópályák építéséhez sok töltésanyag szükséges. Az útépitési földművek építésének 1976. évi műszaki ajánlásai a töltésanyagokat 6 osztályba sorolják. A kedvező tulajdonságú anyagok között szerepelnek a fekete és a vörös meddők is. A fekete meddők a C₂ vegyes szemeloszlású alosztályba sorolhatók /a 0,08 mm alatti frakciójuk: 10-20 % /. A 30-40 cm vastag rétegben elterített meddőt vibrációs vagy gumiabroncsos hengerekkel erőteljesen tömörítik. A tömör anyag nedves térfogatsűrűsége 2 t/m³ körüli.

Az évek során fekete meddőkből a következő nagyobb töltések épültek.

- 0,5 millió tonna: az A 1 autópályán /Lilletől északra/,
- 1,0 millió tonna: az A 25 autópályán /Lille-Dunkerque/,
- 4,6 millió tonna: az A 2 autópályán /a belga határ felé/,
- 7,0 millió tonna: az A 26 autópályán /az A 1 és Lilliers között/,
- 4,6 millió tonna: a Lens-Beaumont főút 9 km-es szakaszán.

Néhány folyamatban lévő töltésépítés:

- 1,3 millió tonna: a C 27 autópályán /Lille-Valencienne/,
- 0,3 millió tonna: az A 26 autópályán /Scarpe-nél/,
- 0,7 millió tonna: Douai-tól délre /16 m magas/,

0,5 millió tonna: az A 1 autópálya Dourgos-i csomópontja,
kb. 1,0 millió tonna: a Saint-Etienne-i teherpályaudvar,
0,15 millió tonna: Provence-ban a Gardanne-i csomópont.

A vörös salakok geotechnikai jellemzői megfelelnek a D3 osztályú kőzetekének /a finom frakció kevésbé vízzérékeny/. Nedves iszap-altalajra kedvező védőréteg építhető vörös salakokból /magas talajvízszint esetében geotextília közbehelyezésével. Több millió tonna töltés épült vörös salakból - többek között - az A 2, az A 26, a C 27 autópálya egyes szakaszain. A 3-5 km/h sebességgel haladó nehéz vibrőhengerrel 1,9-2,0 t/m³ száraz térfogatsűrűség volt elérhető. A vasalt talaj /terre armée = megerősített föld-támfal/ műtárgyak szemcsés anyagaként is megfelelnek /a legnagyobb szemcseátmérő: legfeljebb 50 mm, a 0,08 mm alatti frakció felső határa: 5 %/. Az A 1 autópálya egyik felüljárója is ezzel a módszerrel készült. Vörös meddőkből épült az északi vidékek majdnem valamennyi autópályájának védőrétege, mintegy 7 millió tonna mennyiségben. Újabban az alkalmazás ezeknél is a kisebb forgalmú utakra szorul vissza. Az ilyen védőrétegeken a néhány havi forgalom után mért E_{v2} -modulus 80-150 N/mm² /a réteg vastagságától és az alatta lévő földmű anyagától függően/. Lorraine-ben is több autópálya /pl. az A 32 és az A 34/ védőrétege osztályozatlan vörös salakból épült.

Az ipartelepek tárolóterületeit is gyakran vörös salakkal burkolják. Fekete meddőkből 1955 óta építenek védőrétegeket. Újabban hasznosításuk a másodrendű utak kapilláris víznek ki nem tett szakaszaira korlátozódik.

Burkolatalapok építése [2.2]

Osztályozatlan vörös salakokból községi utak, kisebb forgalmú utak és autópálya-leállósávok burkolatalapja készült. A tört és osztályozott vörös salakok a hagyományos szemcsés adalékanyagokat helyettesíthetik. Az elsődleges 6/20 és 0/6 mm-es frakciót főleg sportpályák burkolására, továbbá fasorok, kertek stb. dekorálására használják fel.

Az aprítással javul a frakciók anyagának homogenitása. A két frakció keverékének szemeloszlása folytonos. Az anyag szemcséi szögletesek, a Los-Angeles-i aprózódási vesztesége legfeljebb 30 %, a nedves mikro-Deval-érték pedig 25 % körüli; így megfelel a hidraulikus kötőanyagú burkolatalapok szemcsés anyagaként. Az ilyen zúzalék tiszta - a 0/2 mm-es frakció finom része 10 %, homokeyenértéke, pedig 75-80 - és alig érzékeny a fagyra; a dinamikus aprózódási együtthatója - a fagyasztási felengedési ciklusok hatására - mintegy 27.

Kötőanyag nélküli aprított vörös salakból burkolatalap és a fémátereszek mögötti töltés készíthető. Az utóbbi 15 cm vastag rétegeit váltakozva terítik el és könnyű eszközökkel tömörítik

Hidraulikus kötőanyagú alaprétegek aprított vörös salakból való építését az újabb francia előírások is engedélyezik. Az első kísérleti szakasz pályaszerkezete granulált kohósalak és mészkötőanyagú burkolatalappal 1968-ban északon a 65. főúton épült.

Az alapréteg összetétele:

- 85 % zúzott vörös salak /30 % 0/6 mm-es és 55 % 6/20 mm-es frakció/,
- 15 % 0/3 mm-es granulált kohósalak /20/40-es aktivitási együtthatóval/ és 1 % mésszel.

Annak ellenére, hogy a tömörségi fok csak 91 % és a száraz térfogatűrűség $1,81 \text{ t/m}^3$ volt, az 1973-ban vett magminták nyomószilárdsága elérte a $7,5 \text{ N/mm}^2$ -t /vagyis a hagyományos szemcsés anyagú alap előírásait/; a kifűrt minták gyakorlatilag víz- és fagyállóak voltak. Azóta számos út burkolatalapja épűlt granulált kohósalakos meddőből: évi mintegy 0,5 millió tonna mennyiségben.

Lorraine-ben 1975 óta építenek ilyen alaprétegeket. A szilárdulás lefolyása: a 7. nap $1,5 \text{ N/mm}^2$, a 28. nap 2,8, a 60. nap 6,0 egy év után 10 N/mm^2 /a Freyming-i hányóból/. A 28. megyei út kísérleti szakaszán 1975-ben 6 cm vastag 0/14 mm-es aszfaltbeton alatt 20 cm vastag alapréteg épűlt: a száraz térfogatsűrűség $1,93 \text{ t/m}^3$, a 14 hónapos magminta nyomószilárdsága: $11,3 \text{ N/mm}^2$. Azóta rendszeresen építenek ilyen burkolatalapokat.

Franciaország középső részén 1976. óta a vörös salakot 3,5 ill. 4% cementtel stabilizálják és alsó, ill. felső alapréteget építenek belőle. Újabban a következő összetételű keverékek is készülnek:

- 50 % 0/200 mm-es vörös salak
- 35 % 0/ 6 mm-es vörös salak
- 15 % granulált kohósalak + 1 % mész.

A pernye és mész kötőanyagú alaprétegek a következő összetételűek voltak:

- 53 % 6/20 mm-es zűzött vörös salak
- 32 % 0/ 6 mm-es zűzött vörös salak
- 13 % pernye
- 2 % mész

Elég a 95 %-os tömörségi fok. A szilárdság - várhatóan - a 2. év végéig növekszik. A húzószilárdság értékei: a 2. hónap végén 0,9 félévkor $1,38$ egy év után $1,58 \text{ N/mm}^2$. A pályaszerkezet teherbírása folyamatosan növekszik /a behajlás csökken, a behajlás görbületi sugara kisebb mértékben csökken/.

Északon 1970. óta számos kísérleti útszakasz épűlt; később az A 1 autópálya egyik szakaszát is pernyés-meddős alapréteggel erősítették meg. Jelenleg a nehéz forgalmú utakon a felső, a nagyon nehéz forgalmú utakon, pedig az alsó alapréteg épűlhet ilyen keverékből.

Az ország keleti és középső részein szintén kedvező tapasztalatokat szereztek a pernyés meddővel. Az egyik 34 % 0/7 mm-es +51 % 8/2C mm-es vörös salak és 12 % pernye + 3 % mész összetételű keverék legnagyobb száraz térfogatsűrűsége $1,92 \text{ t/m}^3$. A tört vörös salak a víztelenítési műtárgyak és szegélyek betonalapjainak is előnyös szemcsés anyaga.

Már 1965-ben kísérleteket végeztek: a homok, granulált kohósalak és mész keverékében a granulált kohósalak egy részét 0/6 mm-es vörös meddővel helyettesítették. Újabban a Ponts et Chaussées Lille-i Regionális Laboratóriumában vizsgálták meg a finom vörös salak puccolános sajátságát: 95 % 0/6 mm-es vörös salak és 5 % mész keverékéből készített 1:2-es karcsúságú próbahengerek egy éves nyomószilárdsága elérte a 23 N/mm^2 értéket /ugyanakkorát, mint a kavicsok kötőanyagaként használt 4:1 arányú pernye és mész keverék esetében/.

A szénbánya-meddőket negyedszázada a töltésekbe és a védőrétegekbe építik be. Ezt a felhasználási területet újabban kiterjesztették a hidraulikus kötőanyagú burkolatalapok

szemcsés anyagként való hasznosításra. A vörös salakok puccolános sajátása lehetővé tette a kötőanyagként való hasznosítást is.

Elsősorban feketeszén meddők öngyulladásából visszamaradt kiegészített vörös színű anyag - a hányó közelében történő - törésével és osztályozásával értékes 5 - 15 vagy 10 - 20 mm-es szemcseosztály állítható elő. Ezeket különösen Franciaországban jól hasznosítják sétautak, járdák, parkok, parkolóhelyek kiépítésére. A 0 - 6 mm-es vörös salak meddő, pernye, mész és gipsz keverékét közepes forgalmú utak vagy járdák, parkolóhelyek, stb. alapozásának előállítására alkalmas.

A francia kísérletek igazolták, hogy az útépitésben alkalmazott háromkomponensű keverék mindig erősebb, mint a hagyományos folyami kavics. A vörös meddőről kívül meszet és pernyét adagolnak a keverékhez, ez utóbbi szemcsés salakkal is pótolható. E tömörített keverékek azonban kevésbé fagyállóak. Nyomószilárdságuk a mész + kavics + salakkal megegyező és kb. 10 %-kal olcsóbbak, mint más anyagok.

Ilyen meddők találhatók a korábbi Mecseki Szénbányák területén, de Tatabánya, Dorog és Borsod körzetében is. Ezeknek a meddőanyagoknak a hasznosítása csak gazdasági preferenciák mellett valósulhat meg, összekapcsolva tájrehabilitációval is.

8.1.4.4. Építőipari adalékanyagként való hasznosítás

A betonban és betonárkban 4 - 32 mm-es zúzalékot alkalmaznak adalékanyagként. Ebből az anyagból kötött flaszterkövek készíthetők, továbbá anyagtároló terek, parkolóhelyek építhetők, esetenként a lakóházak külsejének díszítésére alkalmazhatók.

Az agyagos-márgás meddőt a cementgyártásban adalékanyagként is használják. Az égetés folyamán a meddőben még meglévő szénanyag jelentős mennyiségű adalékhőt szolgáltat. Az előnyös alkalmazás feltétele, hogy a meddő fűtőértéke kb. 3000 ... 4000 kJ/kg legyen, és ásványi összetétele pedig - a károsodás elkerülése végett - megfeleljen a cementgyártáshoz. Több francia cementgyárban a meddő alkalmazásával elsősorban a tüzelőolaj- és gázfelhasználást csökkentik. A tatabányai meddőiszap cementipari hasznosítási kísérlete a tatabányai Cementgyárban is eredményesnek bizonyult, a meddőiszap szilikát-komponensként vett részt a portlandcement gyártásban és tüzelőanyag megtakarítással járt.

Észak-Franciaországban kidolgozott eljárás (Surschist) szerint a szénanyagot tartalmazó meddőt 900 °C hőmérsékletre hevítik, a koksizálási nyersgáz-hő hozzáadással a hőmérséklet 1050 °C-ra nő. Téglává való tökéletes kiégetéshez 1470 MJ/t hőmennyiség szükséges. Az ilyen téglát kitűnő építőanyag a lakások, nagyobb épületek, ipari épületek, sőt dekoratív jellegű művek építéséhez is. Külseje gyengén csillog, ami lehetővé teszi az öntisztulását. Az egyik téglagyárban (Hulluch) évente 150.000 t meddőt dolgoznak fel kitűnő építőanyaggá.

Ukrán szénélőkészítő-művekben keletkező 6,6 millió t/év flotációs meddő nagy részét a téglagyártásban adalékanyagként használják 10-12 % nedvesség-tartalomra szárítva. Ily módon kétszeresére emelhető a meddő részaránya a téglalapanyagában.

Eredményesek a törekvések hazánkban is a meddők téglaiipari hasznosítására. A pécsi 2 ... 3 mm-es palák, a tatabányai széntartalmú meddőiszap 15 ... 30 %-os arányban a téglá

nyersanyagához keverése mind gazdasági, mind technológiai szempontból előnyös: javítja az energiafelhasználást, a téglaporozitását. Kedvező, ha a meddőnek magas az illit és montmorillonit tartalma, káros szilárdság-csökkenés lép fel a homokos, vagy homok-márga meddő esetén, ami salak, vagy agyag megfelelő bekeverésével küszöbölhető ki.

A Berentei Szénelőkészítőmű zagyatározójában lévő előkészítési meddő hasznosítása is eredményes. A téglagyárak évente több száz tonna meddőanyagot használnak fel kímélve ezzel a primer ásványvagyont és jelentős energia-megtakarítást is elérnek.

8.1.4.5. Meddőanyag széntartalmának kinyerése

A meddőhányók széntartalmának kinyerése részben környezetvédelmi szempontból hasznos (öngyulladás során keletkező levegőszennyezés megakadályozása) részben a kitermelt éghető rész energetikai célra hasznosítható. A régebbi bányászat meddőhányói sok esetben jelentős mennyiségű szenet tartalmaznak, mivel a szénelőkészítési eljárások kevésbé voltak tökéletesek. A meddőhányók széntartalmának kinyerésére számos eljárást fejlesztettek ki. Ezen eljárások alapja a szén és meddő sűrűség szerinti szétválasztása. Magyarországon először 1959-ben született szabadalmi bejelentés "Eljárás szénbányászati meddő-hányóanyag feldolgozására szén kinyerése mellett" címmel. A HALDEX technológia lényege, hogy a szétválasztás a finomszemű (< 1 mm) meddőanyagból előállított 1,25 - 1,45 kg/dm³ sűrűségű víz-meddő keverékből álló zagyban történik. A szabadalmaztatott eljárásra több üzem létesült Magyarországon, Lengyelországban és az USA-ban is. Az üzemekben 20-50 % széntartalmú meddőhányókat dolgoztak fel. A feladott anyag maximális szemcsemérete 20 mm volt. Ma már az eljárás alkalmazhatóságának felső szemcseméret-határa 50 mm.

8.1.4.6. Szénbányák meddőinek előkészítése, a nemesített anyag hasznosítása

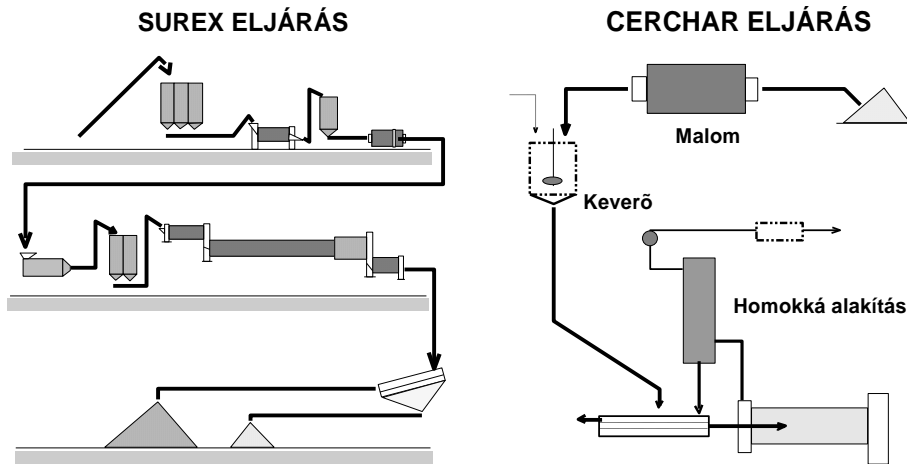
Előkészítőműi, mosási és flotációs meddő égetése, duzzasztása könnyű adalékok előállítására

A hővel kezelt meddő az öngyulladásos vörös színű meddőnél kedvezőbb alkalmazási tulajdonságokkal rendelkezik. Az égetés folyamán a még meddőben maradt szén szabaddá válik, az eredeti anyag vízzoldhatósága csökken és ezzel együtt javulnak a mechanikai tulajdonságok is.

Az angliai (National Coal Board) kísérletek során 800 °C-on kiégetett flotációs meddő szemcsemérete megnőtt (az összesülés és fűvódás következtében) és kedvezőbb mechanikai és vízzadszorpciós tulajdonságúvá vált. Ennek az égetett meddőnek bővült az alkalmazási lehetősége: könnyű homokként a betonba, mesterséges puccolánföldként a cementbe, nyersanyagként könnyű aggregátumokba egyaránt bekeverhetők.

A francia kísérletek alapján kialakított SUREX eljárással (8.1.3. ábra) is kitűnő adalékanyag készült a meddőből. A 4 - 10 % szénanyagot tartalmazó mosási-, vagy meddőhányói anyagot < 500 µm-re őrlik és az őrleményt 12 % vízzel összekeverik. A keletkező anyagot extrudálják, a különböző átmérőjű hengereket összekeverik és forgókemencékben automatikus üzemben hőkezelik, duzzasztják. Ezzel az eljárással 5 - 200 mm-es granulátumot nyernek 350 - 800

kg/m^3 -es térfogatsúllyal. Hőszükséglete 2940 MJ/t. A duzzasztási hőmérséklet 1200 - 1250 $^{\circ}\text{C}$.



8.1.3.ábra. Könnyűhomok előállítása szénbányászati meddőjéből

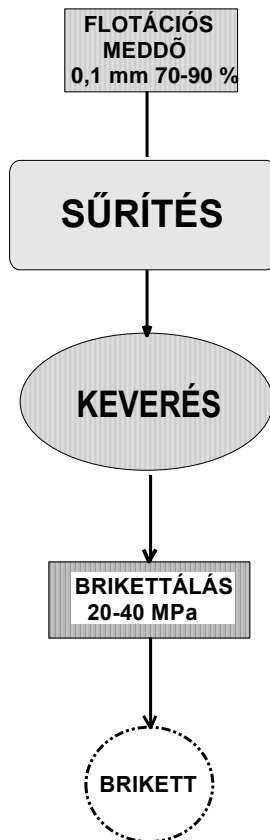
Flotálási meddők örvényágyas égetésével ún. könnyű homok keletkezik. A CERCHAR két eljárást fejlesztett ki. Az egyik eljárás 1 - 3 mm-es meddőt lángban duzzaszt. A meddőnek kis része olyan ásványi összetételű, amely olvad és fűvódik. A másik eljárás a felőrölt meddőhöz vizet kever és ezt a vizes keveréket kvarchomokból álló, 300 - 400 $^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű örvényágyban nagy cseppekben porlasztja. Cellás szerkezet alakul ki a víz hirtelen elgőzölgése következtében. Az 1050-1100 $^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten való kiégetés csillogó felületet kölcsönöz a granulátumnak (8.1.3.ábra).

A pelletformájú könnyű homokokat a hagyományos területen - a beton, a habarcs és a szórt rétegben való felhordáson - kívül újabban a víztisztításban is alkalmazzák. Az eljárás szerint előállított homok kitűnő anyag "kavics-szövet" gyártáshoz. A gázbeton előállítására ajánlott finom homok összetétele: 70-90 % SiO_2 ; 5,5-6 % Al_2O_3 és 1 % Fe_2O_3 .

Kőzetgyapot előállítása meddőből

Meddő alapanyagú kőzetgyapot előállítására is folynak kísérletek. A francia CERCHAR szerint rostos szerkezet kialakításához az olvadt meddő viszkozitásának < 20 Pa.s-nak kell lennie, a szükséges égetési hőmérséklet 1450-1500 $^{\circ}\text{C}$. A hőmérséklet csökkentése 25-30 %-nyi mész adagolásával érhető el. Kupoló kemencében égetik ki tökéletesen a meddőben levő szenet. Angliában (NCB) ciklontüzeléses technológiával érték el a meddő megolvastatását és a kívánt viszkozitást.

Szénmosási meddő briketkezése



8.1.4.ábra. Szénmosási meddő briketkezése

A meddő szélesebb körű hasznosítására - pl. kerámia gyártás és betonadalék, elégetés - nyílik lehetőség, ha a jól átlagosított meddőanyagot briketkeznek. Az előkészítési technológiát a 8.1.4.ábra mutatja be.

Meddőből geopolimer

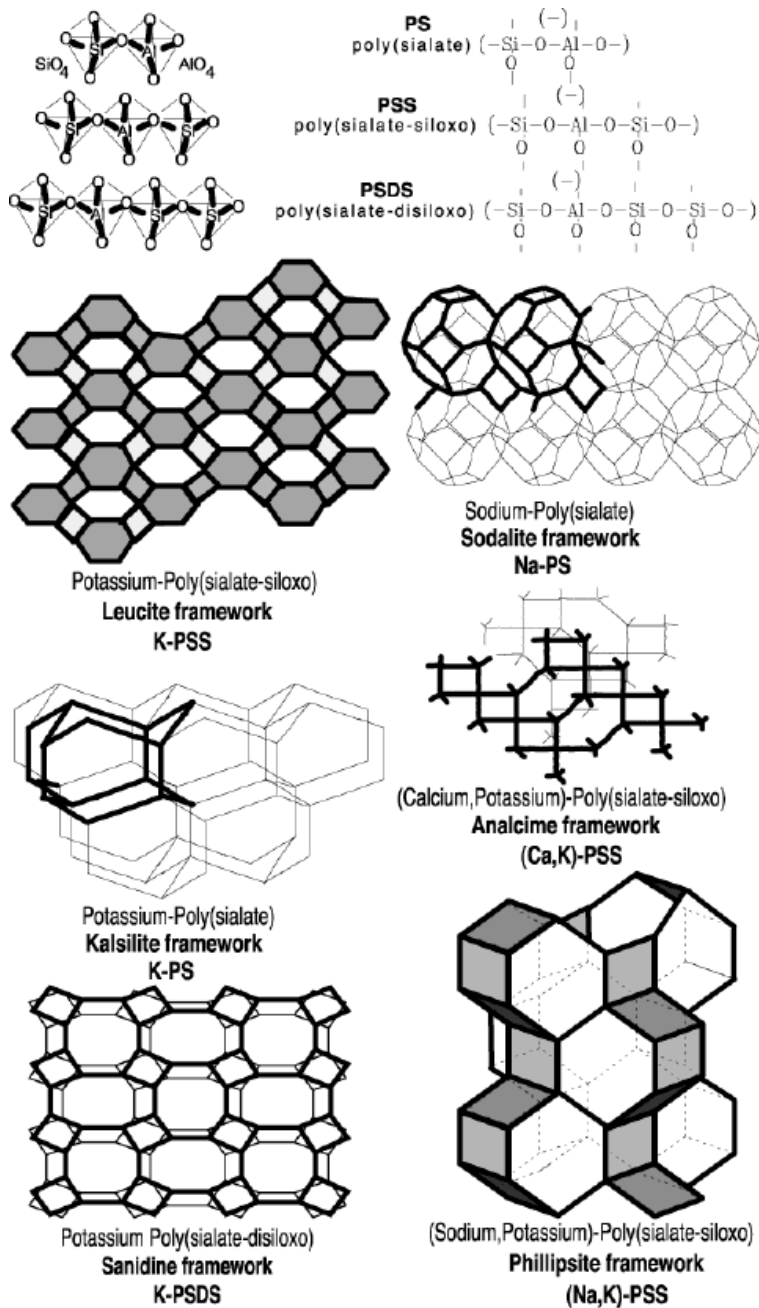
A nehéz- és építőipar hatalmas mennyiségben termel hulladékokat ill. melléktermékeket, melyek kémiai összetételüket tekintve az alumino-szilikátok közé sorolhatók. Ilyenek például a egyes bányameddők, valamint a kohósalak, a pernye, a törmelék téglá és cserép. Ezen anyagok nagymértékű újrahasznosítása egyáltalán nem megoldott, gyakran még tárolásuk is nehézséget okoz.

Az utóbbi években világszerte jelentős kutatás indult meg újfajta, környezetbarát építőanyagok kifejlesztésére mivel, mint ismeretes a Föld légkörében tapasztalható üvegházhatás jelentős részben a Portland cement előállításánál képződő szén-dioxidnak köszönhető. Ezen újfajta építőanyagok egyik típusát gyűjtőnéven öko cementnek, alkáli aktivált metakaolin cementnek, vagy geopolimernek nevezik. A geopolimerek újfajta, szervesen polimer szerkezetű anyagok, melyek agyagásványok (alumino-szilikát-oxidok) és alkáli-szilikátok lúgos közegben végbemenő reakciójával állíthatók elő. Szerkezetüket tekintve poli-szilikátok, egyszerűbben fogalmazva mesterségesen előállított kőzeteknek tekinthetők. A hagyományos Portland cementtől gyökeresen eltérő szerkezetűknél és kötési mechanizmusuknál fogva a geopolimerek különleges tulajdonságokkal rendelkeznek: rendkívül jó mechanikai tulajdonságúak, tűz- és hőállóak, kötésük során szinte alig változtatják térfogatukat, formába önthetőek, szobahőmérséklet körüli hőmérsékleteken kötnek és kötési idejük tág határokon belül változtatható. A felsoroltakból eredően az építőipartól a csúcstechnológiai alkalmazásokig nagyon sok területen helyettesíthetik a már ismert szerkezeti anyagokat.

A geopolimer kutatás kezdetei 1972-re tehetőek, ekkor alapította meg ugyanis a francia Joseph Davidovits kutató cégét, mely ma Cordi-Géopolymère néven ismeretes. Davidovits és kutatócsoportja a zeolitok már a negyvenes évek óta ismét előállításai módjai által inspirálva olyan módszereket kutattak, melyek szervesetlen polimerek előállításához vezetnek. Még 1972-ben felfedezték, hogy az agyag, egy kaolinit nevű ásvány és nátrium-hidroxid 150 °C-on reagálnak, és így olyan csempe állítható elő, melyet elegendő 450 °C alatti hőfokon kiégetni. Mint később kiderült e reakciót Olsen 1934-ben már ismerte, és az orosz Berg és csoportja 1970-ben újra felfedezte. Mégis Davidovits és csoportja tekinthető a találmány atyjának, hiszen ők voltak azok, akik végül ipari alkalmazásokba ültették át a felfedezést. A geopolimer kutatás történetéről jó áttekintést nyújt Davidovits 1994-es cikke (*J. Materials Education Vol. 16(2&3), pp 91-139*).

Érdekes megjegyeznünk, hogy ahogy a geopolimerekkel kapcsolatos ismeretek egyre bővültek, Davidovits-ékban felmerült az ötlet, hogy az ókori római cementek és az egyiptomi piramisok anyaga is egyfajta geopolimer lehet. A kísérletek tanulsága szerint egyre valószínűbb, hogy e feltevés megállja a helyét, így meg kell állapítsuk, hogy a geopolimer kutatás tulajdonképpen egy ősrégi ismert technika felelevenítése és modern eszközökkel való művelése.

A geopolimerek összetételét az $M_n (-(SiO_2)_z - AlO_2)_n, wH_2O$ összegképlettel jellemezhetjük, ahol M pozitív ionokat jelöl, mint például Na^+ , K^+ és Ca^{2+} , n a polikondenzáció foka és z=1, 2 vagy 3. A geopolimerek kémiaiilag kötött vizet is tartalmaznak. A kísérleti adatok halmozódásával és méginkább a modern szerkezetfelderítő műszeres analitikai eszközök fejlődésének köszönhetően ma már pontos képünk van arról, hogy milyen is a geopolimerek szerkezete. A Röntgen-diffrakciós vizsgálatok tanulsága szerint, a már megkötött geopolimerek a kötés körülményeitől függően kristályos vagy amorf szerkezetűek lehetnek. Nagy felbontású ^{29}Si és ^{27}Al magrezonancia spektroszkópiás vizsgálattal felderíthető, hogy lokálisan az amorf szerkezetű geopolimerek is kristályos rendezettséget mutatnak. Kiderült, hogy mint fentebb már említettük, a geopolimerek poliszialátok, azaz olyan térhálós szerkezetű polimerek, melyek láncában szilícium, oxigén és alumínium atomok sorakoznak, a geopolimer fajtájától függően különböző elrendezésben.



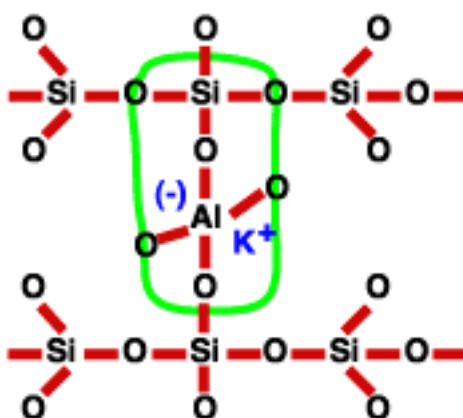
8.1.5.ábra. A három fő geopolimer kristályszerkezet típus. A Röntgen diffrakciós vizsgálatok tanulsága szerint a kristályos rendezettség többnyire csak lokálisan érvényesül, a geopolimerek általánosan amorf szerkezetűnek tekinthetők.

Három fő geopolimer típust különböztetünk meg, ezek a poli-(szialátok), a poli-(sziloxo-szialátok) és a poli-(disziloxo-szialátok). Mindhárom típusra jellemző, hogy az alumínium négyes koordinációs számmal vesz részt a kötésekben, így a lokális kristályos szerkezetet kationok kell, hogy stabilizálják. A háromféle geopolimer szerkezeti képletét és a hozzájuk tartozó kristályszerkezeteket szemlélteti az 8.1.5.ábra.

Szobahőmérsékletű kötés esetén, és általában véve is a geopolimerek amorf szerkezetűek. Egyes poli-szialát és poli-(sziloxo-szialát) típusok azonban magas hőmérsékletű kötés esetén kristályos rendezettséget mutathatnak.

Mint az 8.1.5.ábra mutatja, a geopolimerek szerkezete és kötési mechanizmusa gyökeresen eltér a hagyományos Portland cementekétől. A Portland cement kötéskor a cement fő tömegét alkotó kalcium-szilikátok, kalcium-diszilikát-hidrátta és mésszé alakulnak, tehát a kötés alapvetően hidratációs mechanizmusoknak köszönhető. Ezzel szemben a geopolimerek di- és tri-szialát oligomerek polikondenzációs reakciói során alakulnak ki.

A 8.1.6.ábra részletesebben is mutatja, hogy a poli-szialát és a poli-(sziloxo-szialát) láncok esetében hogyan alakulnak ki a keresztkötések, melyek a háromdimenziós szerkezet kialakulásáért felelősek.



8.1.6.ábra. Keresztkötések kialakulása a poli-szialát és a poli-(sziloxo-szialát) láncok esetében. A polimert felépítő, csak elméletileg létező monomer az ábrán be van karikázva.

A geopolimerek kutatása világszerte nagy lendületet vett, mára száznál is több geopolimer tárgyú publikáció jelent meg a szakirodalomban. Ennek oka az, hogy az új tudományos eredmények birtokában főként olcsó ipari hulladékanyagok felhasználásával és egyszerű gyártástechnológiával értékes, előnyös tulajdonságokkal bíró kerámia típusú anyagok állíthatók elő. A kutatás a gyors ipari alkalmazásba ültetésnek köszönhetően hamar megtérül, eredménye pedig egy újfajta környezetbarát építési technológia, mely hozzájárul a fenntartható gazdasági növekedés.

Magyarországon G.I.C. Kft. foglalkozik geopolimer kutatással. A G.I.C. Kft. az elmúlt két évben laboratóriumi alapkísérleteket végzett, melyek kifejezetten a magyar piaci sajátosságoknak megfelelő új geopolimer termékek alapanyag összetételének kifejlesztésére irányultak. A mintegy ötszáz laborkísérlet eredményeképpen a kémiai és vegyipari kutató cég számos új geopolimer anyagfajtát állított elő. Az előzetes tesztek alapján az előállított geopolimer anyagok építőipari alkalmazásokra és finomkerámiák előállítására is egyaránt alkalmasak lesznek. Az újonnan előállított geopolimerek nagy része olcsón hozzáférhető, magyarországi származású ipari hulladék újrahasznosításával állítható elő. A következő

négy fényképen példaképpen néhány geopolimer anyagot mutat be. A 8.1.7./A-D ábrákon látható mintatesteket szobahőmérsékleten állítottuk elő a kindulási masszák formába öntésével. A massa néhány órán belül megszilárdult, majd az anyag néhány hét elteltével teljesen megkötött. Hangsúlyozzuk, hogy az anyagok a geopolimerizációs reakció miatt kötnek meg és nem gipsz, cement vagy mész hozzáadásának köszönhetően.



A



B



C



D

- 8.1.7. ábra. **A** Kültéri járólapok gyártására alkalmas geopolimer anyag
B 70 % dolomit felhasználásával készült geopolimer téglá
C 70 % eröművi pernye felhasználásával készült hőszigetelő téglá
D Cellulóz golyókat tartalmazó könnyített hőszigetelő téglá

Kémiai-kohászati feldolgozás

A köszénmeddő kb. 40 elemet tartalmazhat, ezek közül nagyobb mennyiségben csak nyolc - az Si, Al, Fe, Ca, Ti, Mg, Na és K - fordul elő. Az Al és Si kivonása reálisan elképzelhető. Franciaországban kísérleteznek alumíniumoxid előállításával, melynek melléktermékeként tiszta kovaföld is keletkezik. Az égőpala U és Mo tartalma lúgzással kinyerhető, alkalmazott módszer perkolációs lúgzás, oxidáló lúgzás autoklávban, pörkölést követő kénsavas lúgzás.

8.1.5. Érc- és nemfémes ásványi nyersanyagbányászati meddők

Az érc- és az ásványbányászati hulladékok jelentősebb megjelenési formája a meddőhányók. Technológiai fejlődés, környezetvédelmi szempontok előtérbe lépése a meddőhányók ember alkotta, ún. technogén lelőhelyként való kezelését eredményezte, amikor is korábban ki nem nyert ásványok, kőzetek hasznosítására nyílik lehetőség.

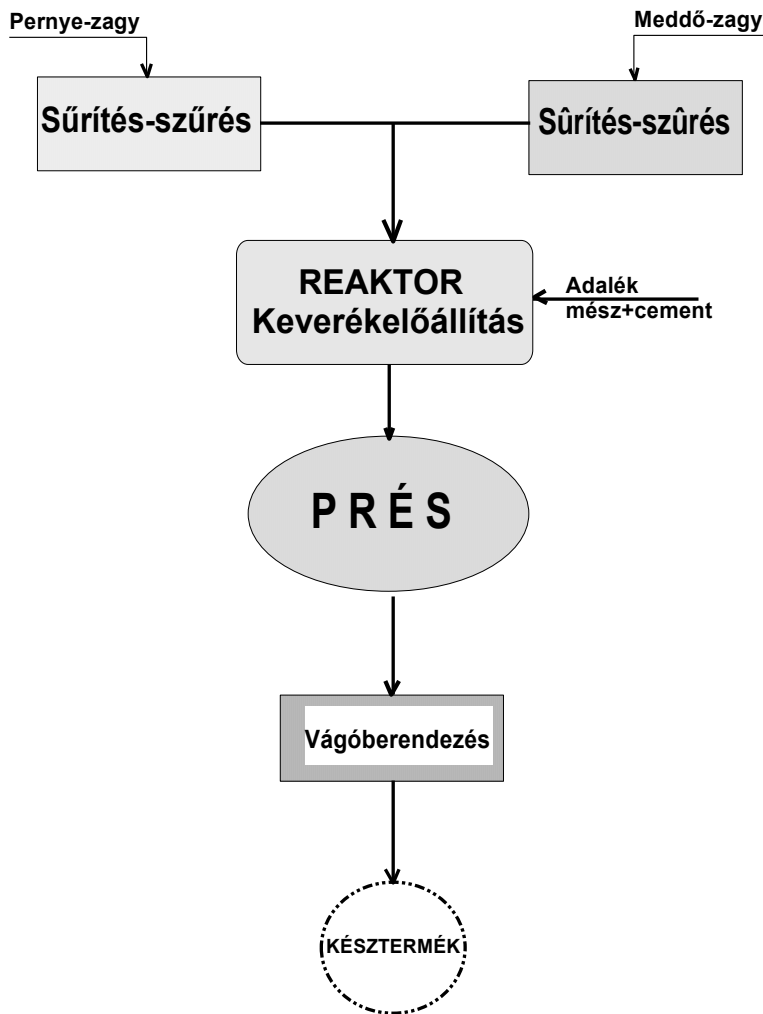
8.1.5.1. Ércbányászati meddők, építőipari és mezőgazdasági hasznosítása

A szénbányászati hulladékokhoz hasonlóan az érc- és ásványbányászat hulladékainak (meddőhányók, melléktermékek) az építőipari hasznosítása terjedt el a legjobban. Építőhomok, zúzottkő, kőliszt, kerámiai alapanyagok, mázok, töltőanyagok, burkolólapok, beton- és téglalapanyag előállítási technológia már régen elhagyta a laboratóriumok falait és iparban honosodott meg. Egy komplett technológiát szemléltet a 3. ábra ércbányászati meddő építőipari célú hasznosítására.

Az ércbányászati bányameddők téglagyártási hasznosítására számos példát találunk a szakirodalomban: így például Hindustan Copper Limited meddőjéből cement, salak és meddő felhasználásával nyomással (15 N/mm^2) állítanak elő téglát, amelyek nyomószilárdsága $2,9 \dots 6,45 \text{ N/mm}^2$ 8...15 % cementadagolás mellett. Törökországban a börtartalmú meddők téglagyártási adalékanyagként való hasznosítását vizsgálták, és megállapították, hogy 900° és 30 % börtartalmú meddő adagolása mellett még növelte a téglaszilárdságát a beadagolt börtartalmú meddő, nagyobb meddőadagolásnál romlott a téglaminősége.

t

Jelentős az érc- és ásványbányászat hulladékainak mezőgazdasági hasznosítása talajrekultiválásra, tereprendezésre, műtrágya-adalékok gyártására.

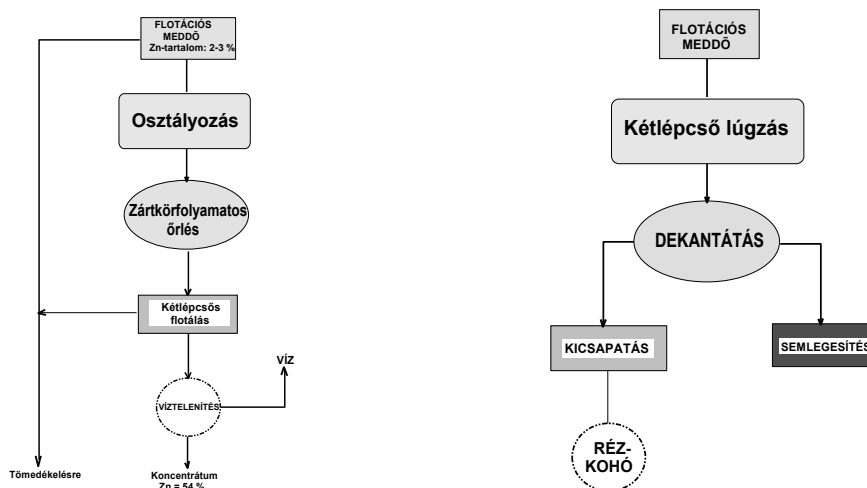


8.1.8. ábra. Ólom-/cinkérc-előkészítői meddőfeldolgozó üzem

A szénbányászati hulladékokhoz hasonlóan az érc- és ásványbányászat hulladékainak (meddőhányók, melléktermékek) az építőipari hasznosítása terjedt el a legjobban. Építőhomok, zúzottkő, köliszt, kerámiai alapanyagok, mázok, töltőanyagok, burkolólapok, beton- és téglalapanyag előállítási technológia már régen elhagyta a laboratóriumok falait és iparban honosodott meg. Egy komplett technológiát szemléltet a 3.1. ábra.

8.1.2.Fémkomponensek kinyerése

8.1.2.1.Színesfém-tartalmú hányók előkészítése



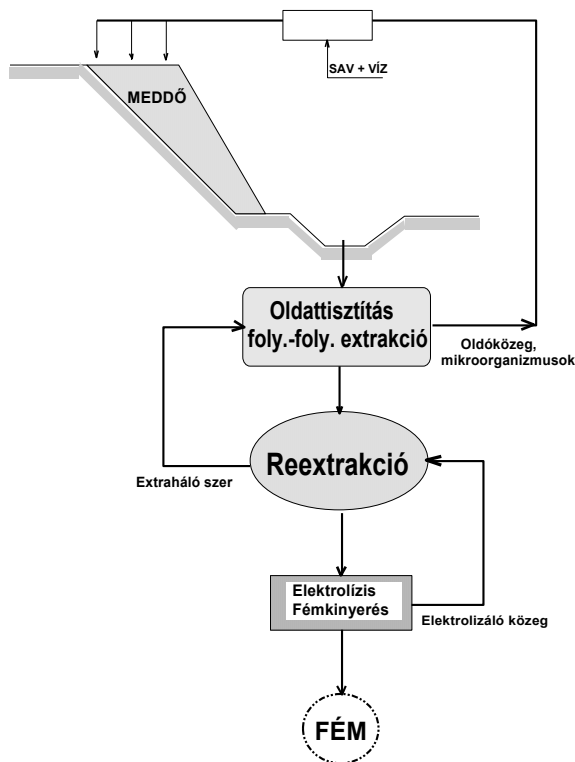
8.1.9.ábra. Meddő-előkészítőtű a 8.1.10.ábra. Meddőfeldolgozás színes fémtartalmú alkotók kinyerésére kétlépcsős lúgzási technológiával

A színesfemes ásványok technogén lelőhelyekből való kinyerésére a kutatók számos fizikai, kémiai és biológiai eljárást javasolnak. Szóbajöhető módszerek: gravitációs dúsítás, flotálás (hagyományos habflotáláson kívül ultraflotálás, vákuumflotálás, elektroflotálás, magas hőmérsékleten végzett flotálás, olajagglomerálás, flotáló oszlopokban való flotálás, stb.); mágneses szeparálás a vas, kobalt, nikkelt és a paramágneses ásványok kinyerésére; értékes kis koncentrációjú alkotórész (pl. ritkafémek) elektrolízis; extrakció; kicsapatás; ioncsere; ozmózis; lúgzás; baktériumos lúgzás.

Több évtizedes múlttal rendelkezik a színesfém-hányók hasznos alkotóinak kinyerése Németországban. A leggyakrabban alkalmazott hagyományos flotációs technológiát a 8.1.9.ábra szemlélteti. A Morenci üzemben már 15 évvel ezelőtt napi 60 t hányón tárolt flotációs réztartalmú meddőt dolgoztak fel kétlépcsős lúgzási technológia szerint. A lúgzást keverővel ellátott tartályokban végzik, az oldatot két lépcsőben dekantálják, majd a rezet kicsapatják (8.1.10.ábra).

8.1.2.2. Nemesfém-tartalmú hányók előkészítése

Leginkább a nemesfémek technogén lelőhelyekről való kinyerése terjedt el. Az USA-ban 1979-ben a platina kereslet 60-80 %-át, Cu, Mn, Ni kereslet 15 %-át, míg a Zn, Co keresletének 6 %-át fedezték hulladékokból.



8.1.11.ábra. Meddőhányók feldolgozása mikrobiológiai lúgzással

Dél-Afrikai Köztársaságban tekintélyes aranytermelés folyik a technogén lelőhelyeken. Johannesburgtól DK-re folyik a világ legnagyobb meddőhányó hasznosítási tevékenysége: évi 18 millió t meddőt dolgoznak fel. Arany mellett uránt, kénsavgyártásra alkalmas piritkoncentrátumot állítanak elő.

Gazdasági szempontból a mikrobiológiai lúgzás a legkedvezőbb. A beruházás költségek főképpen a hányók, halmok kiépítési költségei, az üzemeltetési költségek csekélyek, miután baktériumok termelik a kénsavat. Lúgzásos technológia elvi vázlatát a 8.1.11.ábra mutatja.

8.1.2.3. Hasznos kísérőásványok kinyerése

Hasznos kísérő komponensek kinyerésére is nagy figyelmet fordítanak világszerte. Kalkopirit dúsítása után az USA egyik előkészítőművében a meddő 0,7 % TiO_2 -t, 200 g/t W -t és 10-90 g/t Co -t tartalmaz. A kidolgozott technológia magában foglalja az osztályozást, iszaptalanítást, gravitációs dúsítást, flotálást és víztelenítést.

Lengyelországban intenzíven foglalkoznak a nehézasványok kinyerésével a kavics-homok előkészítési meddőjéből. Ilmenit, rutil, cirkon, monacit gravitációs, ill. gravitációs-elektromos-mágneses módszerekkel nyerhetők ki.

Magyarországon a fehárvárcsurgói üveghomok-előkészítés során keletkezett meddőben lévő ilmenit, rutil, cirkon, magnetit, hematit, turmalin és csillámok hasznosítására van lehetőség. Kidolgozott eljárások vannak már ennek megoldására, de üzemi megvalósítás még nem

történt meg. A legutóbbi időkben a korábban ledoponált meddő anyagából is visszanyerik az üveghomokot a fenti ásványoknak Humphreys spirálissal.

A közelmúltban többlépcsős Humphreys vezettek be a Rachards Bay vidéki homokdűnék ilment, rutul és cikron nehézfémásványainak kinyerésére Dél-Afrikában.

Rudabányán a vasércbányászat megszűnt, a meddőhányója értékes nyersanyagokat -barit, szulfidos ásványok- tartalmaz. A barit és szulfidos ásványok kinyerése a volt vasércdúsító üzem meddőhányójának előkészítésével megoldható. Régóta ismert az, hogy a rudabányai sziderit pörkölési meddője baritban feldúsul.

A technológiai kutatások eredménye alapján a vasércdúsítás hányóra került meddőjéből a barit-kinyerés ma már technológiailag megoldott. A barit jellemző tulajdonsága a dekrepitáció. A vasércdúsítás első lépcsőjében a feladott nyersérc mágnesező pörkölésnek volt alávetve. Hőkezelés hatására a jól dekrepitáló barit szemszerkezete megváltozik, szétporlad, így a finomabb szitafrakciókban feldúsul. Ezért a vasércdúsítás végmeddőjéből osztályozással feldúsított anyag képezi őrlés és iszaptalanítás után a flotálási feladást. A flotálás két lépcsőben történik. Az előosztályozott anyag (0-2 mm) őrlési finomsága 95 %-ban 0,1 mm alatti. Az iszaptalanított 0,1 - 0,01 mm-es zagy került a flotálás első lépcsőjébe, ahol a kollektív szulfid-flotálás történik. Az alapkonzentrátumból 4-5-szörös tisztító-flotálás után 10,5 - 13 % Cu tartalmú koncentrátum állítható elő, amely még 2 - 2, % Pb-t, 3-4 % Zn-t és 18-20 % Fe-t is tartalmaz.

A szulfidflotálás meddője képezi a flotálás 2. lépcsőjének a feladását. Az alapflotálás után 3-4 szerez tisztítóflotálással 92 %-os BaSO₄ koncentrátum állítható elő 52 %-os kihazattal.

Eredményes kísérletek folytak nagygradiensű mágneses szeparálás alkalmazására is a meddő előkészítésére, de a barit és egyéb alkotók hasznosítása ezideig gazdasági okok miatt nem valósult meg.

Magyarországon kísérletek folytak a bauxitok vastalanítására. Az eltávolított Fe₂O₃ kohászatban hasznosítható, csökken a tárolásra kényszerülő vörösiszap mennyiség.

Kínában, Japánban a szennyvizekből való fluorit-kinyerési technológiát dolgoztak ki, amely a fluorit és a magnetit koagulálásán, a koagulátum mágneses szűrésén alapul.

8.1.2.4. Vasérc-meddőhányók komplex előkészítése

Elsősorban a Szovjetunióban foglalkoznak a vasérccek technogén lelőhelyeinek komplex hasznosításával. Vastartalmú koncentrátum mellett a kísérő kőzetek kinyerését utépítésben és építőiparban hasznosítják. Például a Lebegyinszkoe lelőhely meddőhányójából 375.000 t 65 % Fe-tartalmú koncentrátum és 750.000 t építőipari homok állítható elő.

8.1.3. Kő- és kavicsbányászati meddőanyagok hasznosítása

A kő- és kavicsbányászati meddőhányók, különösen a korábbi bányászati tevékenység során létesített meddőhányók esetében jelentős mennyiségben tartalmaznak még hasznosítható anyagot. Ennek kinyerésére többlépcsős osztályozással esetleg közbülső töréssel valósítható meg. Az így kinyert osztályozott kő vagy kavics kevésbé szigorú minőséget igénylő helyekre útalap, területfeltöltés, stb. felhasználható, a keletkezett agyagos-homok föld a terület rekultivációjánál hasznosítható. Külföldön (Németország, Anglia, Lengyelország, stb.) számos példa van erre. De hazai példa is található, mert az M7 autópálya alaprétegébe a környező kőbányák meddőanyaga került beépítésre.

8.1.3.1. A kőbányameddők

A kőbányákban sok meddő keletkezik és a fel nem használt anyag az évek során nagy meddőhányókban, halmozódik fel. A meddők összetétele és iszap-agyag –tartalma a bányászott kőzet tulajdonságaitól és az időjárási viszonyoktól függ.

Nehezebben hasznosíthatók azok a hányók, amelyekben a finomabb és a durvább meddőket együtt tárolták. Az ilyen vegyes anyagokból legfeljebb töltések építhetők. A finom frakció elősegíti a meddők tömörítését. Ha a 6 mm alatti rész meghaladja a 15 %-ot, akkor esős időben nehezebb a beépítés. Korlátozottabb a lemezes palameddők felhasználási lehetősége. Ide sorolhatók az ércbányászás során keletkező meddők is. A pályaszerkezetek alaprétegeiben jó minőségű zúzottkő termékeket lehet a kőbányák különböző meddőinek szakszerű kezelésével helyettesíteni.

A kőbányaművelés és a zúzottkő előállítás különböző fázisaiban lefedési meddő, bányászati meddő és üzemtelepi meddő keletkezik. Ha a lefedési meddő jelentős hányada homok, murva vagy más hasznosítható anyag, akkor azt elkülönítve, hozzáférhető helyen indokolt tárolni. A bányászati (kőzetes) meddő többnyire kisebb szilárdságú zárványokból és üledékekből képződik. Ezt némelykor az előtörő előtt 80-150 mm-es ráccsal, gyakrabban az előtörő után kb. 80 mm-es vibrátorral választják le. Ez utóbbiból többnyire visszanyerik a 30 mm fölötti színkövet. A megmaradó 0-30 mm-es részt elkülönítve, hozzáférhető helyen indokolt tárolni. Az üzemtelepi meddő a zúzottkőtermékek előállítása során a kőzetre tapadt szennyeződésből és a gyengébb minőségű kőzet aprózódásából képződik. Mérete - a feladott kőzet minőségétől és az időjárástól függően – 0-5, 0-12 vagy 0-20 mm. Ezeket is indokolt elkülönítve és elszállításra alkalmas módon tárolni.

Az előzőekben ismertetett kőbányameddőkől útépitési hasznosíthatóság szempontjából – megfelelő elkülönítés esetében – három termék: lefedési homok, meddős zúzottkő és meddős zúzalék keletkezik. A lefedési homok a lefedési meddő legfeljebb 7 % iszaptartalmú homokja. A meddős zúzottkő az előtörő előtt vagy után leválasztott – színkövisszanyerés nélkül – 0-50 – 0-80 mm-es bányászati meddő. Ebből mechanikai stabilizáció készíthető. A meddős zúzalék a szemeloszlás és a minőség szempontjából eléggé állandó tulajdonságú, elkülönítve tárolt 0-5, 0-12 vagy 0-20 mm-es üzemtelepi meddő és 0-30 mm-es bányászati meddő. Ezek alkalmasak mind kötőanyag, mind mechanikailag stabilizált alaprétegek készítésére. Ha a 0-20 – 0-30 mm-es meddő finom része rendszertelenül és tág határok között változik, akkor kötőanyag alaprétegek céljára indokolt azt 0/6 és 6/D mm-es frakcióra szétválasztani. Ezek megfelelő arányú összekeverésével biztosítható a kívánt szemeloszlás. A meddős zúzalékból cement, hidraulikus pernye, nem hidraulikus pernye és mész, továbbá granulált kohósalak-kötőanyagú burkolatalapok gyárthatók.

8.1.3.2.A kavicsbánya meddők

A kavicsbányászás során lefedési meddő, továbbá agyagos durva leválasztási meddő, az osztályozott homokos kavics előállításakor, pedig osztályozási homok keletkezik. A lefedési meddő a kitermelendő homokos kavics fedő anyag. A vékonyabb humuszos felső réteg alatt ennek jelentős része iszapos homokos kavics és homok. Ezeket – a meddős zúzalékhoz hasonlóan – hidraulikus kötőanyagokkal lehet stabilizálni. Kötőanyag nélkül mechanikai stabilizáció és töltés is építhető belőlük. Az agyagrögös durva leválasztási meddő olyan vegyes szemeloszlású anyag, amelyet az agyagrögökkel együtt távolítanak el: 20-30 mm fölötti kavicszemekre homok és talaj tapad. Ebből az anyagból mechanikai stabilizáció készíthető.

Az osztályozási homok a túlságosan sok homokot tartalmazó homokos kavicsból kirostált 0-5 mm-es vegyes szemeloszlású anyag. Kötőanyaggal stabilizálható.

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a kő és kavicsbányák meddőit sok országban rendszeresen hasznosítják: részben mechanikai stabilizációként, részben, pedig töltésanyagként – például a hídfők mögötti háttöltések építésére. A hasznosíthatóság egyik előfeltétele: először a humuszos fedőréteget különválasztva kell letermelni és a meddőkkel nem összekeverni.

A kötőanyag hasznosítás előfeltétele: a különböző méretű és minőségű meddőket külön-külön – nem összekeverve – kell tárolni. A legfeljebb 30 mm szemcseméretű és nem túlságosan heterogén szemeloszlású meddőkől újabb hidraulikus kötőanyagú alaprétegeket is eredményesen készítenek. A lefedési és az osztályozási homok alkalmasak lehetnek bitumenes keverékek készítésére is.

8.1.3.3 A kő és kavicsbányák meddőinek hasznosításának módja az útépítésben

A mechanikai stabilizációt főleg 0/50 - 0/80 mm-es bányászati meddőből és a kavicsbányák leválasztási meddőjéből gazdaságos készíteni. Ezek ugyanis kielégítik a 0/50 mm-es alapréteg szemeloszlási előírásait. Kőbányák közelében gazdaságos lehet a 0/20 - 0/30 mm-es meddős zúzalékból mechanikai stabilizáció építése.

8.1.3.táblázat: A bányameddőkből készíthető burkolatalapok fontosabb előírásait foglalja össze

A burkolatalap		Az adalékanyag szemeloszlása			Alkalmas meddő	Tájékoztató kötőanyagigény
megnevezése	jele	egyenérték-tényezője	6 mm alatt	0,1 mm alatt		
Mechanikai stabilizáció	O/50	0,7	25-55 %	2-10 %	meddősz zuzalékból durva levál. meddő	-
	O/20	0,5	55-80 %	10-25 %	meddősz zuzalék	
Sovány beton		1,5		2-35 %	meddősz zuzalék lefedési meddő	8-13 % cement
Cementstabilizáció	CK	1,2				5- 8 % cement
	CT	1,0 0,7		5-35 %	homok	9-12 % cement
Pernye és mészkötőanyag burkolatalapok	PE	1,5	30-60 %	max. 5 %	meddősz zuzalék lefedési meddő	2- 4 % mészkötőanyag
	PK	1,2				8-16 % pernye
	PT	1,0 0,7				5-35 %
Granulált kohósalak és mészkötőanyag burkolatalapok	GE	1,5	20-45 %	max. 5 %	meddősz zuzalék lefedési meddő	2- 3 % mészkötőanyag +
	GK	1,2				10-20 % gran.
	GH	1,0 0,7				5-35 %
Meleg bitumenes alap helyi anyagból	BAIIIA	1,4		5-20 %	homok osztályoz. homok meddősz zuzalék lefedési meddő	3- 5 %
		1,6		3-20 %		B 90 - B 45

Jelmagyarázat: +/- durván őrtölt granulált kohósalak

8.1.4.táblázat: Meddősz zuzalékból készített cementstabilizáció és sovány beton néhány tájékoztató technológiai adata

Az adalékanyag	350-es cementigény kg/m ³		Legkedv. víztartalom %	A száraz testsűrűség alsó határa t/m ³
	stabilizáció	sovány beton		
Andezit:				
Szob 0/20	150	210	8,5	2,17
0/50	180	230	10,0	2,26
meddősz zuzalék	90	115	7,0	2,28
Nógrádkövesd				
0/10	120	240	10,0	2,00
Komló 0/10	150	210	9,0	1,15
Mészkő:				
Polgárdi 0/20	70	150	6,0	2,20
0/ 5	100	170	7,0	2,10
meddősz zuzalék	110	-	6,0	2,20

A KÖTUKI laboratóriumi kísérlet sorozatai és több megépült útszakasz tapasztalatai szerint a meddősz zuzalékból, a lefedési meddőből és az osztályozási homokfeleslegből a következő burkolatalapokat lehet készíteni:

- cement kötőanyaggal:

/B/70/ jelű soványbeton-alap,

CK jelű cementtel stabilizált szemcsés anyag,

CT jelű cementtel stabilizált homok;

- nem hidraulikus pernye és mészkötőanyag, illetve hidraulikus pernye kötőanyaggal:

PE jelű felső alapréteg,

PK jelű alsó alapréteg,

PT jelű stabilizált homok;

- granulált kohósalak és mészkötőanyag:

GE jelű felső alapréteg,

GK jelű alsó alapréteg,

GH jelű stabilizált homok.

- bitumen kötőanyaggal:

BAHA jelű meleg bitumenes alap helyi anyag.

Nagyobb bányák meddőhányóinál célszerű körzeti keverőtelepeket telepíteni. Különösen gazdaságosak a pernye és a granulált kohósalak kötőanyagú alapok, mert két környezetszennyező ipari melléktermék egyidejű hasznosítását teszik lehetővé. Technológiai előnyük, hogy a lassan kötő keveréket napok múlva is be lehet építeni, a friss alapréteg tömörségét pedig a gépkocsiforgalom tovább növeli. Az ilyen burkolatalappal épített útszakaszok műszaki és gazdasági szempontból egyaránt kedvezőnek bizonyultak.

Ezeket a burkolatalapokat új pályaszerkezetekben alapréteggként és a keskeny pályaszerkezetek alapszélésítéseként alkalmazzák. Alkalmassak továbbá a csatlakozó földútszakaszok, földpadkák, felvonulási utak, telepek, építőanyag-tároló terek burkolására is.

A meddők előzőek szerinti hasznosításának nagy a nemzetgazdasági jelentősége, mert:

- lehetővé teszi a jó minőségű ásványanyagokkal való takarékoskodást,
- aránylag egyszerű technológiával és csekély anyagi ráfordítással állít elő tömeges felhasználásra alkalmas útpálya-szerkezeti anyagot,
- szállítási kapacitás- és költségmegtakarítást eredményez,
- a meddők folyamatos feldolgozása

Irodalom

- [1] FABER, M. - STEPHAN, G. Volkswirtschaftliche Betrachtungen zum Materialrecycling. Müll und Abfall, 21.k. 3.sz. 198. p.98, 100-104.
- [2] Erzaufbereitungsanlagen in Westdeutschland. Springer-Verlag Berlin (Göttingen) Heidelberg, 1955.
- [3] Bureau of Mines Report of Investigations/1975: Physical Property Data on Fine Coal Refuse. RI 8062
- [4] The Treatment and Disposal of Coal Flotation Tailing. Mine and Quarry, April 1986. 46-50.
- [5] Useful materials from colliery spoil. Mine and Quarry, 4.k. 8.sz. 1975. 24-33.
- [6] DUBOS, T.A.: Consommation de terils dans les centrales electroques des BNPC. Publications Techniques des Charbonnages de France. 1977. 1.sz. 23-38.
- [7] FLOSS, R. - TOUSSAINT, A.: Abfallstoffe und industrielle Nebenprodukte im Erd- und Strassenbau.
- [8] Strasse und Autobahn, Bad Godesberg, 27.k. 8.sz. 1976. 303-313.
- [9] SING, M.M.: Mine waste embankments need same engineering attention as earth-fill dams. Coal Age, 81.k. 5.sz. 1976. 112-116.
- [10] WILLIAMS, R.E.: Waste production and disposal in mining, milling and metallurgical industries.
- [11] Miller Freeman Publications, Inc. USA, 1975.
- [12] KAULITZ, G.: Nutzung von Sekundärrohstoffen und Industrieabprodukten für die Produktion von Zuschlagstoffen. Baustoffindustrie, 1977. No.5.
- [13] PILTZ, O.G.: Großprobung von Steinkohlenwaschberge-Zusätzen in mehreren Ziegelwerken. Baustoffindustrie, 1975. No.8. 214.215.
- [14] MÁTRAI, J.: A bekevert tüzelőanyagot tartalmazó téglá égetésének műszaki-gazdasági tapasztalatai.
- [15] Építőanyag, 1963. 2-3.sz. 56-63.
- [16] ÁCS, T.: Szénelőkészítőművekben képződő iszapmeddő hasznosítási különös tekintettel a durva kerámiaipari felhasználásra. Diplomaterv, 1989. Tüzeléstani Tanszék

- [17] BÁN,M.: A talajjavítás módszerei és eredményei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1967.
- [18] GIWER,G.J.: Baustoffe aus veredelten Bergen. Glückauf, 122(1986), Nr.2. 159-162.
- [19] GUILLON,P. - CHAUVIN: Berge als Rohstoff zur Erzeugung von Zuschlagstoff Neue Verfahren zur Kohleveredlung, 122-137.
- [20] HONG,Y.S.-HARBUCK,D.: Alumina from coal wastes through the formation of aluminium nitride by carbothermal reduction under nitrogen. Industrial and Engineering Chemistry, Production, Research and Development, 1986.jun 2.sz. 367-372.
- [21] ACKERMAN,M.S.-SCHIEDER,TH.: Verwendung von Aufbereitungsabhängen des Steinkohlenbaues im Hoch-, Tief- und Strassenbau. Baumäsch. Bautech. 31.k. 10.sz. 1985. 386-388.
- [22] BALLA,L. A rudabányai lelőhelyen található ércek és ásványok előkészítési eljárásainak leírása.
- [23] Kézirat, 1988. NME Ásványelőkészítési Tanszék
- [24] STOLZE,M.: Verwendung von Aufbereitungsabhängen als Zuschlagstoffe für die Herstellung von Baustoffen.. Aufbereitungs Technik Nr.2. 1974. 77-83.
- [25] KUBITZA,K.H. - LEININGER,D.: Forschung und Entwicklung für die Aufbereitung von Steinkohlen in der Bundesrepublik Deutschland. Glückauf, 110.k. 3.sz. 1974. 90-96.
- [26] TRANBEAU,G.: Szénbányahulladék értékesítése könnyűadalékként. Silicates Industriels, 41.k. 12.sz. 1977. 547-552.
- [27] PATVAROS,J.: A jövő alapvető követelménye a természeti környezetet kímélő bányászat. BKL- BÁNYÁSZAT
- [28] BADINSZKY,P. - MÉSZÁROS,M.: Magyarországi bányameddők hasznosítását megalapozó komplex kutatások."Hulladékszegény technológiák-86" Budapest
- [29] Ásványtelepeink földtana - nyersanyag lelőhelyeink. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966. DR. JANTSKY B. SZERKESZTÉSÉBEN
- [30] LUX,A.: Szén- és ércelőkészítőművek környezetvédelme.1976.
- [31] ZÁMBÓ,J. ÉS SZERZŐTÁRSAI: Maradék nélküli bauxit-feldolgozás technológiai. Lehetősége"Hulladékszegény technológiák-86" Budapest
- [32] MOLNÁR,L.: Bauxitok komplex felhasználása timfölddé és cementipari adalékká, vastartalmának előzetes kinyerésével.
- [33] Környezettechnikai kézikönyv. SZERK.: DR. BARÁTFI I. Budapest, 1990.
- [34] Hulladékgyártózkodási kézikönyv. SZERK.: DR. ÁRVAI I. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1991.
- [35] FÖRSTNER, U.: Környezetvédelmi technika. Springer Hungarica, 1993.
- [36] Hulladékhasznosítási technológiák a fejlett országokban. SZERK.: MOLNÁR Zs.. OMIKK, MII. Fe-KV-28, Budapest, 1990. p.12-18, p.19-28, p.71-75, p.89-90, p.113-116, p.163-168, p.200-219.
- [37] BILITEWSKI, B.-HÄRDTLE, G.-MAREK, K.: Abfallwirtschaft. Springer-Verlag, Berlin, 1990.
- [38] TARJÁN, G.: Ásványelőkészítés II. Tankönyvkiadó, 1979. p.209-234.
- [39] TARJÁN, G.: Mineral Processing. Vol. II. Akadémiai Kiadó 1986.
- [40] SCHUBERT, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1978.
- [41] SME Mineral Processing Handbook, Vol.2. Editor Weiss,N.L., Society of Mining Engineers of the AIME, New York, 1985. p.13-1 ... 13-79.
- [42] BÓDI, D.-KISS, M.: A bányászatban és kohászatban keletkező kénsavas, nehézfémion tartalmú szennyvizek tisztítása. BKL-Kohászat, 1994. 6.sz. p.253-256.
- [43] SCHMIDT, I.M.: Schwermetall-Eliminierung aus Abwasser. Verfahrenstechnik, 1994. No. 3. p.60-61.
- [44] NEEBE, TH.-GROHS, H.: Fest/Flüssig-Trennung für die Entsorgung in Bodenwaschanlagen. Aufbereitungs-Technik, Nr. 6/1991. p.294-302.

- [45] MIHOK, A.E.: Mine Water Research. Plant Design and Cost Estimates for Limestone Treatment. RI. (Bureau of Mines Report of Investigations) 7368. Bureau of Mine, April, 1970.
- [46] MIHOK, A.E.: Mine Water Research. Catalytic Oxidation of Ferrous Iron in Acid Mine Water by Activated Carbon. RI 7337. Bureau of Mines, December 1968.
- [47] STYRNA, W.: A hard examination in copper metallurgy. LAROX News, Nr. 1/1993. p. 8-11.
- [48] HAYWOD, D.-BERNARD, R.: Treatment of Acid Mine Wastewaters. Word Mining Equipment. June 1994. p.36-37.
- [49] DOWN, C.G.: Problems in Vegetation Metal-toxie Mining Wastes. Minerals and the Environmental (Ed. by Jones, M.J.) The Institution of Mining and Metallurgy. 1975. England. p.395-408.
- [50] TARJÁN, G.: A recski vertikum feldolgozó művi technológiájának lehetséges módosításáról. BKL-Bányászat, 1982. 4.sz. p.235-237.
- [51] RICHELTON, W.A.-BOYLE, R.J.: The Selektive Recovery of Zinc with New Thiophosphinic Acids.
- [52] Solvent Extraction and Ion Exchange 1990, 8(6), p.783-797.
- [53] Cyanamid catalogus SPT-039, 2189 Cyanex 301 extractant Extracts zinc, cadmium and many other metals at low pH
- [54] Cyanes 272 Extractant (Solvent Extraction Reagent. - Selektive for Cobalt over Nickel from Sulfate and Chloride Media) SPT-014
- [55] Hoechts Catalog, EBR 4503E, April, 1981.
- [56] Cyanex 302 extractant (Extract metal cation at low pH). STP-041
- [57] PODÁNYI, T.: Lugzás a régi magyarországi bányaművelésben. BKL-Bányászat, 1977. 1.sz. p.60-64.
- [58] BODIN, A.P.: Ércék baktériumos oldására irányuló romániai vizsgálatok. BKL-Bányászat, 1973. 12.sz. p. 816-821.
- [59] SZABÓ, L.: Rézextrakciós eljárás szerves oldószerrel. BKL-Bányászat, 1975. 12.sz. p.830-835.
- [60] TARJÁN, G.: Nukleáris in-situ bányászat alkalmazására mélyszinti porfirós kalkopirités ércekre. BKL Bányászat, 1976. 6.sz. p.833-392.
- [61] TARJÁN, G.: Az ionflotálásról. BKL-Bányászat, 1977. 2.sz. p.78-82.
- [62] SZABÓ L.: Az ércelőkészítés jelentősége a rézérc előfordulások műszaki gazdasági megítélésénél. BKL-Bányászat, 1978. 7.sz. p.457-463.
- [63] SZABÓ, L.: Az ércelőkészítés jelentősége a rézérc előfordulások műszaki gazdasági megítélésében (kézirat)
- [64] CHING, CH.Y.-MANLOPING, E.V.-LANSON, F.: Selektive Leaching of Low Grade Middlings from Lead-Zinc Flotation. XVIII. Int. Min. Proc. Congr. Sydney, 23-25. May 1993, p.1233-1238.
- [65] ANDRE, J.A.: Producton of Elektrolitic Zinc at the Balen Plant of S.A. Vielle Montagne. AIME World Symposium on Mining and Metallurgi of Lead and Zinc, Soc. of Min. Eng. of AIME, New York, 1970. Vol.11. p.178-197.
- [66] EIFU MARIANNA: AKFTA Electrolitic Zinc Plant and Residue Treatment of Mitsubishi Metall Mining Company, Ltd.. AIME Word Symposium on Mining and Metallurgi of Lead and Zinc, Soc. of Min. Eng. of AIME, New York, 1970, Vol.11. p.198-222.
- [67] ODDE, E.: Electrolytic Zinc Plant and Residue Recovery Det Norske Zinkkompani; AIS . AIME Word Symposium on Mining and Metallurgi of Lead and Zinc Soc. of Min. Eng. of AIME, New York, 1970, Vol.11. p.223-246.

- [68] HAIGH, C.I.-PICKERING, R.W.: The Treatment of Zinc Plant Residue at the Risdon Works of the Elektrolytic Zinc Company of Australasia Limited. AIME World Symposium on Min. and Met. of Lead and Zinc, Soc. of Min. Eng. of AIME, New York, 1970, Vol.11.p.423-448.
- [69] HUGGARE, T.L.-OJANEN, A.-KUIVALA, A.: How Zinc Concentratets are Processed of the Outokumpu Zinc Plant in Kokkola. Int. Symp. on Hydrometallurgy (Chicago, 25 March, 1973), Soc. of Mining Eng. of AIME, New York, 1973. p.770-805.
- [70] HEVEDI, M.A.-ENGLE, L.F.: The NH₃-CO₂-H₂O System at Atmospheric Pressure in Nonferrous Extractive Metallurgy. Int. Symp. on Hydrometallurgy (Chicago, 25 March, 1973), Soc. of Min. Eng. of AIME, New York, 1973, p.806-854.
- [71] AZEFOR, A.-KESLER, S.-SHERGOLD, H.L.: The Hydrometallurgical Treatment of Zinc Oxide Minerals by Solvents wicth From Soluble Zinc Complexes. XIII. Int. Min. Proc. Cong. Warszawa, 1979 (Round table seminar), p.45-64.
- [72] BANSKI, H.: Verfahren zur Entsorgung von GalvanikschlÄmmen und zur RÜckgewinnung von Metallinhalten. Erzmetall Nr.12./1993. p. 696-701.
- [73] SCHRODE, E.: Aufbereitung und RÜckgewinnung von Edelmetal. Galvanotechnik. Nr.6/1988. p.1871-1876.
- [74] DRAXLER, J.-FÜRST, W.-MARR, R.: Separation of Metal Species by Emulsion liquid mebranes. Journal of Membrane Science. No.3/1988. p.281-290.
- [75] ANGELIDI, T.-FYTIONOS, K.-VASILIKIOTIS, G.: Lead Recovery from Aqueous Solution and Wastewater by Cementation Utilizing an Iron Rotating Disc. Resources, Conservation and Recycling. No. 2/1989. p.131-138.
- [76] PUSATERI, I.F.-BOUNDS, C.O.-LHERBIER, L.W.: Zinc Recovery via the Flame Reactor Process. Journal of the Metals. No.8./1988. p.31-35.
- [77] SALISBURG, H.B.-DUCHENE, L.J.-BILBREY, J.H.: Recovery of Copper and Associated. Precious Metals From Electronic Scrap. RI. 8561, Bureau of Mines Report of Investigatious / 1981.
- [78] COLLING, M.J.-MC CONAGHY, R.F.-STOUFFER, R.F.-DESROCHER, G.J.-KRYSA, B.D.: Starting up the Sherrit Zinc Pressure Leach Process at Hudson Bay. IOM. April. 1994. p.50-58.
- [79] LÄTSCH, A.-REINECKE, H.-SCHWEDT, G.: Leucht bakterientest zur Beurteilung der Toxizität von Extrakten aus Erzabraumhalden. Erzmetall. Nr.4./1991. p. 188-191.
- [80] Bureau of Mine Research on Resource Recovery. Reclamation, Utilization, Disposal and Stabilisation. IC. 8750. Bureau of Mine Information Circular/ 1977. KRAMER, M.-KOCH, P.: Zur Anwendung von Laugungstechnologien bei der Dekontamination von Böden. Neue Bergbautechnik. Heft 1. Januar, 1992. p. 13-17.
- [81] HÖRBER, G.: Naßmechanische Trenntechnik im Umweltschutz. Aufbereitungs-Technik. Nr. 4./1990. p.185-193.
- [82] BÖHNIGER, P.-HÖFFL, K.: Baustoffe wiederaufbereiten und verwerten. AVS-Institut GmbH . Verlag 82008 Unterhaching. (Deutschland), 1994.
- [83] SPRUNG, S.-RECHENBERG, S.: Schwemetallgehalte im Klinker und in Zement. Zement-Kalk-Gips, Nr.5.1994. p.258-263.
- [84] Sas, L.: A zománchulladék ártalmatlanításának lehetősége a cementgyártás során. Építőanyag, 1994. 1.sz. p.11-14.
- [85] KÁLMÁN, J.-IZSÁKI, Z.-VARGA, A.T.: Alternatív tüzelőanyagok (CEFÜ) égetése cementgyári forgókemencében. Építőanyag, 1992, 6.sz. p.222-228.
- [86] KIRSCH, I.: Umweltenlastung durch Ververtung von Sekundärbrennstoffen. Zement-Kalk-Gips, Nr.12./1991. p.605-610.
- [87] TAMÁS, F.: Hogyan segíti a cementipar a környezetvédelmet. Épít_anyag, 1992. 6.sz. p.217-222.

- [88] KROBOTH, K.-XELLER, H.: Entwicklungen beim Umweltschutz in der Zementindustrie. Zement-Kalk-Gips, Nr. 1./1986. p.1-14.
- [89] KOTSIS, LNÉ - ENISZNÉ BÓDOGH, M. - DUDÁS, I.: A MOL Rt.-nél keletkező hulladékanyag felhasználásával készült kerámiai burkolólapok. Építőanyag, 1994. 2.sz. p.30-34.
- [90] MÁTRAI (MEHL) J.: A bekevert tüzelőanyagot tartalmazó téglá égetésének műszaki gazdasági tapasztalatai. Építőanyag, 1963. 2-3.sz. p.56-63.
- [91] CSOMAI, L.: ELZETT Művek szennyvizeinek tisztítása. (Diplomaterv). Miskolc, 1978. (Miskolci Egyetem, Eljárástechnikai Tanszék)
- [92] RÖHRS, M.: Keramisierung von Sekundärrohstoffen zu Baustoffen. Keramische Zeitschrift, Nr. 1./1994. p.10-12.
- [93] LENDVAY, L. Üvegesítési módszer a veszélyes hulladék ártalmatlanítására. Építőanyag. 1992. 6.sz. p.230-231.
- [94] DEAN, K.C.-HAVENS, S.R.-VALDEZ, E.G.: Utilization and Stabilization of Solid Minerals Wastes. 16th Ontario Industrial Waste Conference, Niagara Fall, Ontario, Canada, June 15-18, 1969.
- [95] TAMÁS, F.-PATKOINE HORVÁTH, M. - TRITTHART, I.: Veszélyes hulladék megkötése cementmátrixban. Építőanyag. 1994. 2.sz. p.34-40.
- [97] LANG, E.: The Retention of Radioactive and Toxic Liquids. Zement-Kalk-Gips, No.7./1992. p.191-196.
- [98] MULAR, A.L.: Mining and Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital Cost Estimations Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 25. 1982.
- [99] LAWRENCE, E.W. - BRANION, R.M.R. - EBNER, H.G.: Fundamental and applied biohydrometallurgy. Elsevier, 1986.
- [100] KOVÁCS-FIGUEROA, C.: Morenci tailings leaching plant. Transactions of the AIME, 260, 2, 1976 June, p.170-173.
- [101] Brooks, C.: Metal recovery from industrial wastes. Journal of Metals, 38, 7, 1986. p.50-57.
- [102] BAST, R.: Klärschlamm - ein westvoller Rohstoff. Sprechsaal, 120, 2, 1987. p.1112-1114.
- [103] LUSZCZKIEWICZ, A.: Odzyk minerlow ciezkich z piasków szklarskich kopalni "Osiecznica" Fizykochem. probl. mineralurg. 1987. 19, p.309-319.
- [104] DAVIO, E.G. - SULLIVAN, G.V. - LAMONT, W.E.: Potential for recovery of rutile and other byproducts from western cooper tailings. Rept. Invest. Bur. of Mines. US Dep. Inter. 1988, No.9., 158. p.1-19.
- [105] <http://eke.ngo.ro/gyopar/gyopar.htm>: Erdélyi Gyopár 2003.1.sz.
- [106] GÁSPÁR L.: Ipari melléktermékek felhasználása az útépitésben, Budapest, 1986
- [107] www.eke.ro: Erdélyi Kárpát Egyesület, „Együtt a tisztább folyókért program”
- [108] STOLMÁR G-NÉ.: Szénbányászati meddőhányók kerámiaipari hasznosítása, OMIKK Műszaki Információ -Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása, Budapest, 1997/11 (34-37)
- [109] TOMSCHEY O.: Meddőhányók és pernyehányók rekultivációs, OMIKK Műszaki Információ – Környezetvédelmi Füzetek, Budapest, 1993/17
- [110] www.mbh.hu/03jelen1.htm : Magyar Bányászati Hivatal
- [111] GAGYI P. A.: A recski ércelefordulás környezetvédelmi összefüggései, Bányászati és Kohászati Lapok-BÁNYÁSZAT 133 évf., 1.sz. (56-63)
- [112] www.gkm.hu. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium
- [113] RALF E. K.: Stoffliche Verwertung von Rückstandshalden und Endlaugen der Kaliwerke, Glückauf 138, 2002/10 (484-488)

- [114] J. HERMANN: Haldenstrukturkonzept Saarland, Glückauf 139, 2003/11 (622-625)
- [115] T. NEU, J. HINTERHÖLZL, R. SCHERBECK, A. HAFENSTEIN Glückauf 137, 2001/10 (568-571)
- [116] TEMESI S: Szénkinyerés szén meddőhányókból, OMIKK Műszaki Információ-Hulladékok és másodnyersanyagok hasznosítása, Budapest, 1997/10 (61-68)
- [117] LICSKÓ I., LOIS L., SZEBÉNYI G., HAJDÚ A.: Meddőhányók környezetszennyező hatásának vizsgálata, Ipari szemle, 1997. 6. sz. (62-63)
- [118] SOMLAI J., KANYÁR B., LENDVAI Z., NÉMETH Cs., BODNÁR R.: Az Ajka környékén építőanyagként felhasznált szénbányameddő és szénsalak radiológiai minősítése, Magyar Kémiai Folyóirat, 103. évf. 1997. 2. sz.(84-88)
- [119] FALLER G.: A Magyar Tudományos Akadémia szakmai tájékoztatása Recskről, Bányászati és Kohászati Lapok-BÁNYÁSZAT 132 évf., 3.sz. (220-224)
- [120] BOKÁNYI LJ., CSÓKE B., TAKÁCS J., TOMPOS E: Bányászati hulladékok előkészítése. 3. Bányászati Rekultiváció és Környezetgazdálkodás Konferencia. Gyöngyös, 1990. június 4-5., 81-95
- [121] Másodlagos nyersanyagok az útépitésben. (Szerk.,: Gáspár, L.).Alföldi Nyomda, Debrecen. 2005. ISBN 963 218 976 0
- [122] KUMAR, S.-BANDOPADHYAY, A.- RAJINIKANTH, V.- ALEX, C.-KUMAR, R.: Improved processing of blended slag cement through mechanical activation. Journal of Material Science, 39 (2004) 3449-3452
- [123] Bórtartalmú hulladék felhasználása adalékanyagként a téglagyártásban. OMIKK Hulladék..., 2005/9, 54-58.
- [124] Gorzitzke, W.: Neue Fließbilder für die Nasseaufbereitung von Schwermineralen aus Sanddünen. Aufbereitungs Technik. 46 (2005).Nr.5., 14-19..
- [125] KUMAR, R.- KUMAR, S.- BADJENA, S. - MEHROTRA, S.P.: Hydratation of Mechanically Activated Granulated Béast Furnace Slag. Metallurgical and Materials Transactions B. Vol.36B. December 2005., 873-883
- [126] Morchbale, R.K.-Ramakrishnan, N.- Dindorkar, N.: Bulk Utilisation of Copper Mine Tailings in Production of Bricks. IE(I) Juornal CV.Vol.87. August 2006,13-16
- [127] KUMAR, S.- KUMAR, R.- ALEX, C.- BANDOPADHYAY, A.- MEHROTRA, S.P.: Influence of reactivityof fly ash on geoplimerisation. Advences in Applied Ceramics. 2007. Vol.106. No3. 120-127
- [128] KUMAR, S.- KUMAR, R.- BANDOPADHYAY, A.- MEHROTRA, S.P.: Novel GeopolimERIC Building Materials through Synenergistic Utilisation of Industrial Waste. International Conference Alkali Acticated Materials – Research, Production and Utilisation, 2007. Prague
- [129] Craven, P.: Hochwertiger Sand aus einem 50 Jahre alten Abfallprodukt. Aufbereitungs Technik. 49 (2008).Nr.10.26-29.

8.2. Építési hulladékok és hasznosításuk

Készítette: Prof. Dr. Csőke Barnabás

8.2.1. Az építési hulladékok hasznosításának és előkészítésének általános helyzete Európában

A kommunális hulladékok után legnagyobb mennyiségben az építési hulladékok keletkeznek. Újrahasznosításukra a műszaki lehetőségek adottak. A fejlett európai országokban a 80-as években kezdődött meg intenzíven a feldolgozásuk. Európában Németország, Hollandia és Ausztria jár az élen az építési és utépítési bontási hulladékok újrahasznosításában.

Németország: Németországban 140 Mt/év építési hulladék keletkezik. Az építési hulladékok újrahasznosítása 90-es évekre elérte 60 %-ot el. 1992-ben 405 cég végzett ilyen tevékenységet. Az építési nyersanyagokat megfelelő minőségi követelmények mellett döntően utépítésnél használják fel [1,12, 97].

Hollandia: Hollandiában 1990-ben 14 millió tonna építési és bontási hulladék keletkezett, ennek 50 %-át dolgozták fel újrahasznosítást szolgáló előkészítő üzemekben. 2000-re 80-90 %-os újrahasznosítást terveztek, amit központi intézkedéssel segítenek (a törmeléklerakási díjakat 5-6 szorosára emelték) [8,12].

Ausztria: Ausztriában 23 Mt/év építési hulladék keletkezik. 1982-ben 50 újrahasznosító létesítmény működött, számuk 1993-ra körülbelül megduplázódott. Egy üzem általában 150000 t/év feldolgozási teljesítménnyel rendelkezik [9,12].

Svájc: 1989-ben az összes hulladék egyharmada (4,1 millió tonna) az építési hulladék. A kavicsigény nagy részét újrahasznosított anyagokból fedezik. Szabványokat dolgoztak ki az építési hulladékokból származó másodlagos építőanyagok minőségbiztosítására [12].

Franciaország: 1990-ben a bontott anyagok néhány százalékát hasznosították újra. 1991-ben 20 vállalat foglalkozott ezzel a tevékenységgel. 1993-ban a betonadalékokként való újrahasznosításra dolgoztak ki programot [12].

A nyugat-európai országokban tehát erőteljesen növekszik az újrahasznosított építési hulladékok mennyisége.

Az újrahasznosítás gazdaságosságát elsősorban a deponálási díjak határozták meg: a lerakás költségeinek üteme egy nagyságrenddel meghaladja a feldolgozás költségének növekedését.

Az eredményes működést a fejlett országokban támogatják

- helyi adókedvezménnyel,
- helyi beruházási támogatással,
- nyereség- és forgalmi adómentességgel,
- a termék felhasználóit adókedvezménnyel.

Hazai helyzet: Hazánkban egy évben keletkező építési hulladék (kiemelt föld nélküli) mennyisége ma 7 Mt-ra becsülhető, amely az összes ipari hulladéknak 9-11 %-a. Mennyisége közel megegyezik a szilárd települési hulladékok mennyiségével.

Az építési törmelékanyagok újrahasznosításának első hazai gyakorlati alkalmazására Békéscsabán került sor 1990-ben [12], majd pedig Debrecenben 1991-ben. Békéscsabán az önkormányzat gondozásában egy kisteljesítményű kísérleti berendezést telepítettek. A debreceni rendszert a helyi útépítő vállalat hozta létre a saját bontási anyagainak az újrahasznosítására. Ebben a térségben a kavics és a kőbányászati termékek hiánycikkek.

A békéscsabai adatokkal 1991-ben végzett költség-elemzés szerint a feldolgozási költség átlag 340 Ft/m³, ekkor a helyi lerakási díj 50 Ft/m³, amely 17,4 %-a feldolgozási költségnek. Ugyanez az arány Németországban átlagban 81 %, Ausztriában pedig 85 %. Magyarországon a deponálási díjak emelkedésével várható az építési hulladékok újrahasznosításának szélesebb körű elterjedése. A jászberényi Aprítógépgyár Rt. 1996-ben legyártotta az építési hulladékok feldolgozását szolgáló első mobil aprítóberendezését.

Időközben a hazai útépítő vállalatok berendezkedtek az aszfalt, aszfalt és beton keverék újrahasznosítására. Az aszfalt újrahasznosítása csaknem teljes, az aszfalt-beton keverék is eléri (saját felmérés alapján - a szerző) 80 %-ot. Ez utóbbi nagy hasznosítási arány azzal is összefüggésben van, hogy a teljes útfeltöréssel járó útjavítás csekély (1-2 mobil gép képes ellátni az ország összes ilyen hulladékának az aprítását).

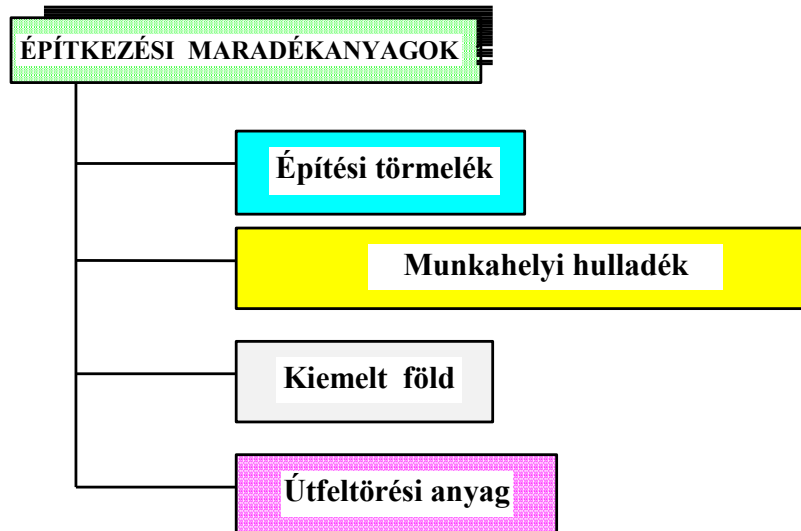
A feldolgozás-előkészítés tervezésénél - technológiai folyamat kialakításánál, a berendezési kiválasztásánál - az alábbi feladatokat kell megoldani [11]:

- Pontosán definiálni kell kiindulási nyers-hulladékanyag sajátosságait, elemezni kell a piaci helyzetet, összefüggésben az előkészített termékek minőségével és mennyiségével.
- Meg kell határozni az előállítandó termékek kívánatos (optimális) minőségét és mennyiségét.
- Ki kell választani az előkészítőmű helyét, ki kell alakítani az előkészítési technológiát és ki kell választani a berendezéseket (főméretekkel), tekintettel a feltételekre, különösképpen is a környezetvédelemre.
- Megvalósíthatósági vizsgálatok és döntés, hogy a tervezett rendszer gazdaságosan működtethető.

A továbbiakban e vizsgálatok elvégzéséhez legfontosabb ismereteket foglaljuk össze.

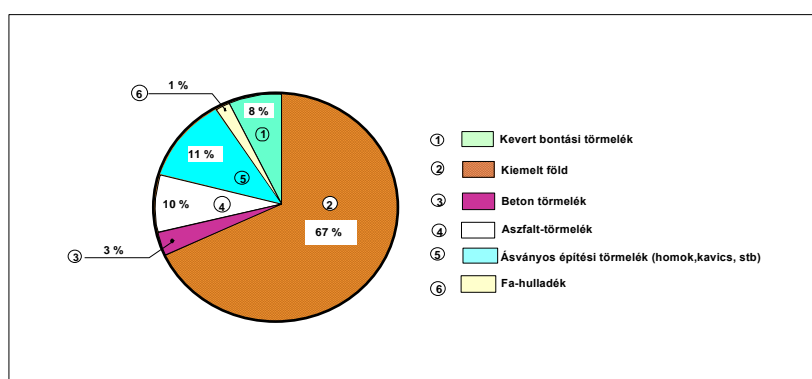
8.2.2. Építési hulladékok

Az építési hulladékoknak négy fontos csoportját különböztetjük meg [1, 6,10, 39]:

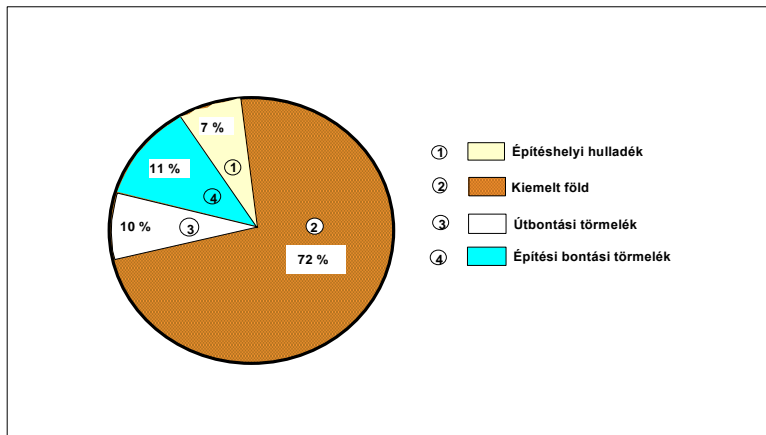


A 2. táblázatból az is kitűnik, hogy a legértékesebb másodlagos nyersanyagot az útfeltörés és az építmények bontásából származó törmelékek képezik [1,10]. A teljes építési hulladékmennyiségben belül legnagyobb részarányt - 60-80 %-ot - a kiemelt föld képviseli (1. és 2. ábra), a többi hulladékfajta - építési bontási hulladék, építéshelyi hulladék és az útbontási törmelék- hozzávetőlegesen ugyanolyan arányban keletkezik.

8.2.2.táblázat: Építési hulladékok			
Kiemelt föld	Útbontási törmelék	Bontási törmelék	Építéshelyi hulladékok
Keletkezési hely			
Mélyépítési munkák - iparban - utakon - otthon - egyéb	Utak felbontása vagy újjáépítése - forgalmi út - repülőtér - vasút	Épületek bontása - iparban - otthon - egyéb	Épületek újjáépítése vagy helyreállítása, új létesítmény Építése
Összetétel (szerkezeti anyagok)			
- Termőföld - homok - kavics - agyag - egyéb kőzet - salak	- bitumenes vagy hidraulikusan kötött építőanyag - útburkolat - szegélykő - járda - homok, kavics	- beton - vasbeton - téglá - malter - gipsz - kerámia	- beton - téglá - malter - homok - kavics - kerámia
Szennyező-anyagok			
		- fa - vas - üveg - műanyag	- fa - vas - műanyag - üveg - kábel - papír - lakk - festék



8.2.1. ábra: Építési hulladékok, Ausztria, [91]



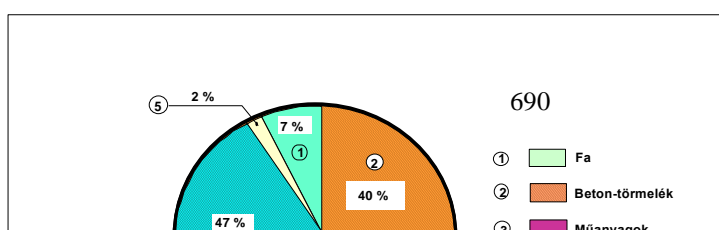
8.2.2.ábra. Építési hulladékok, Németország, [1]

A *kitermelt föld* a mélyépítésnél, útépítésnél és egyéb építőipari munkák során egyaránt keletkezik. A kiemelt föld termőföldből, homokból, kavicsból és más kőzetanyagokból, kőzetdarabokból áll.

Az *építési törmelék* a bontási műveletek során jön létre (8.2.3. és 8.2.4.ábra).

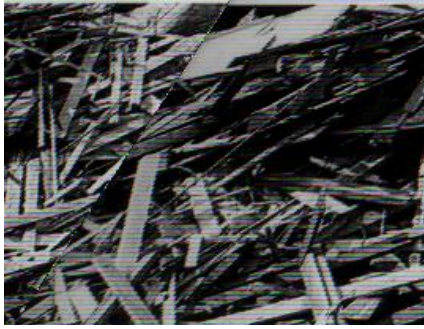


3. ábra Bontási törmelék



Fontosabb alkotóanyaga (4. ábra): a beton, vasbeton, téglá, malter, cserép, kerámia. A törmelékben szennyező-anyagok is előfordulnak, melyeket az újrahasznosítás előtt gondosan le kell választani. Ebbe a csoportba tartozik a fa, üveg, fémek, papír, műanyag.

Az építéshelyi hulladékok az új épületek építésénél, régi épületek újjáépítésénél és helyreállításánál keletkeznek (8.2.5. és 8.2.6. ábra).



Fa



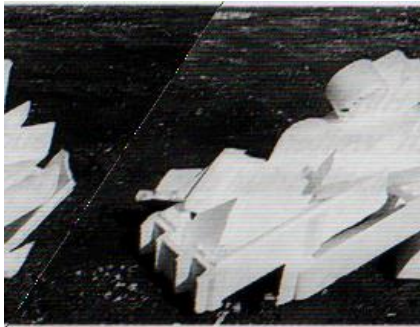
Vegyes papír



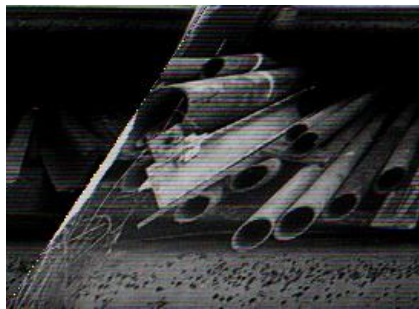
Kartonpapír



Műanyag-fólia



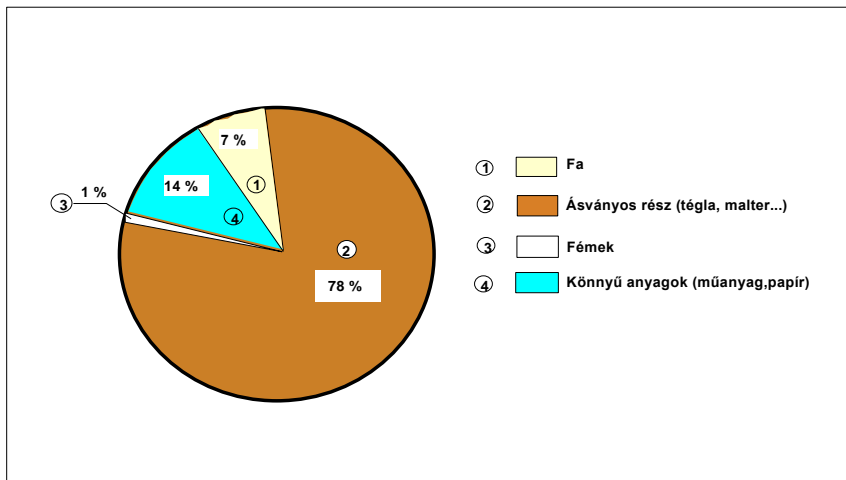
Műanyaghab



Fémek

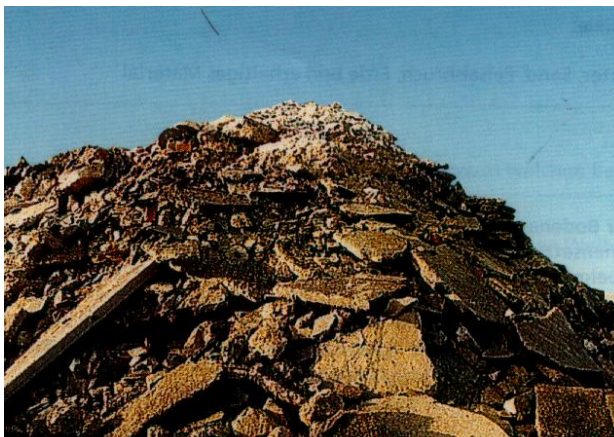
8.2.5. ábra. Építés-helyi hulladékok nem ásványi komponensei

E hulladékokat rendszerint konténerekben gyűjtik össze, ezért. építési konténerhulladéknak is nevezik. Igen heterogén összetételű hulladék, fő alkotóelemei (5. és 6. ábra) a beton, téglák, malter, homok, kavics, kerámia, fa, műanyag, kábel, üveg, vas, papír, lakk és a festékek. A 6. ábrán a komponensek tömegarányait tüntettük, térfogati arányaik ettől lényegesen eltér, és pedig ásványi rész, fémek, éghető sorrendben: 40-5-55 térfogat %.



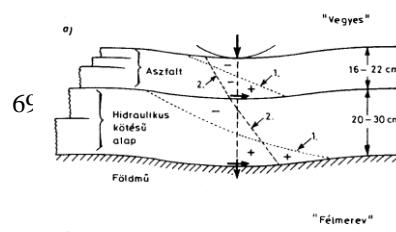
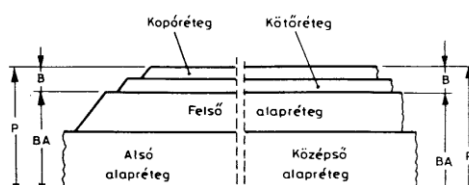
8.2.6.ábra. Építéshelyi hulladékok, Németország, [1]

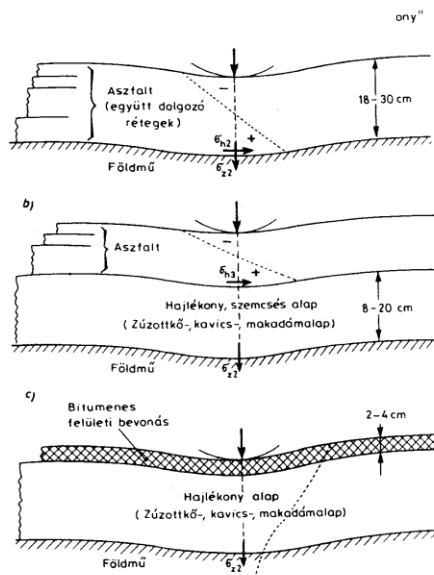
Útbontási törmelékek. Az útéptésnél keletkeznek (8.2.7.ábra) az útbontási törmelékek . Ide sorolhatók a bitumenes vagy hidraulikusan kötött építőanyagok, a beton, a szegélykő, az útburkoló-kő, a kavics, a homok, a zúzott kő.



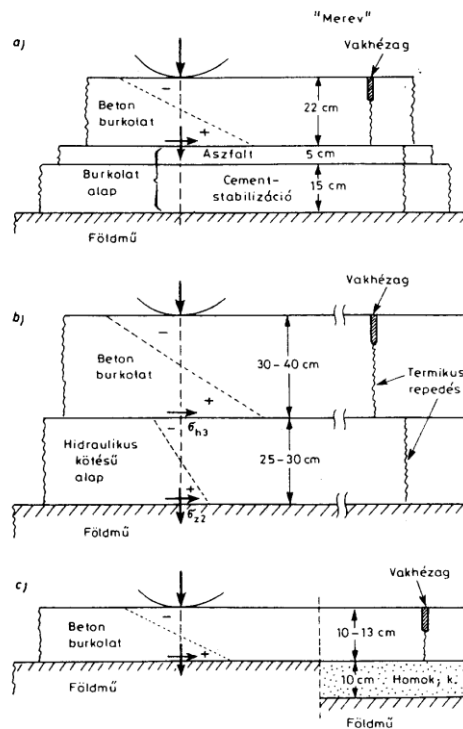
8.2.7.ábra Útéptési hulladék

Az utak felső bitumenes fedőrétegét bontás esetén közvetlenül az aszfaltkeverő berendezés segítségével dolgozzák fel. A konkrét anyagi összetétele a pályaszerkezetétől függ (8.ábra). Az útpályák lehetnek merev, fél-merev, flexibilis szerkezetűek (8.2.9., 8.2.10. és 8.2.11.ábra) [95].





8.2.10. ábra Hajlékony útpálya szerkezetek (zúzottkő, kavics, vagy aszfalt-makadám alpra aszfalt-burkolat)



8.2.11. ábra Merev útpályaszerkezetek (beton alapon és beton burkolati réteg)

A konkrét anyagi összetétele függ az útpálya forgalmától, terhelésétől, és ezzel összefüggésben az útalap és a burkolat kötőanyagától (bitumen vagy cement). Az útpálya

tervezett terhelése (nagy forgalmú főutak, autópályák, repülőterek, közepes forgalmú utak, kisforgalmú utak és mezőgazdasági utak) egyúttal meghatározza az útalap és burkolati rétegek vastagát és az alkalmazott adalék anyagi minőségét (alkalmazható kőzetfajtát) is.

Az előbbi ábrák alapján is megállapítható, hogy merev útpálya feltöréséből származó anyag beton, amelyet a földmű anyaga (< 5-10 % homok-kavics, zúzottkő vagy salak és föld) szennyezhet. A hajlékony útpálya feltöréséből származó anyag vagy tiszta aszfalt vagy aszfalt és az alából származó zúzottkő keveréke (aszfalt 20 % és zúzottkő 80 %), amelyet a földmű anyaga különböző mértékben (5-10 %) szennyezhet.

A vegyes útpálya feltöréséből származó anyag a felszedés módjától függően lehet tiszta aszfalt és beton, vagy aszfalt és beton keveréke (aszfalt 20-30 % és beton 80 -70 %), amelyet most is a földmű anyaga szennyezhet.

8.2.3. Az építési hulladékok újrahasznosítása

Az újrahasznosítás érdekében gondosan fel kell deríteni a gazdaságban azokat a területeket, ahol az előkészített hulladék-anyagból származó termékek felhasználhatók. A termékeknek meg kell felelnie a környezetvédelmi és az építési műszaki előírásoknak. Ismerni kell az anyagok tulajdonságait, amire a rendszerint a megfelelő anyagvizsgálatok és kísérletek adnak választ.

Az építési hulladék-anyagok újrahasznosítását tehát három kritérium határozza meg [6]:

- műszaki minőség,
- környezettel való összeegyeztethetőség,
- valamint a primer ásványi anyagokkal való versenyképesség

A legfontosabb vizsgálandó műszaki anyagjellemzők:

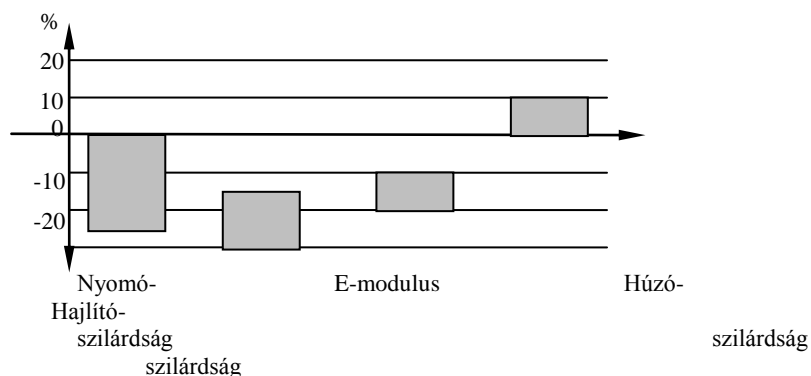
- agyagi összetétel: ásványi komponensek, szennyezők fajtái és tömegarányai,
- finom agyagos szemcsék tömegaránya,
- ásványi és nem ásványi anyagok (fém, pl vasbeton) összenövése, kapcsolata (ásványi, közetszemcsék feltártsága)
- szemcseméret-eloszlás,
- szemcsék alakja,
- fagyállósága,
- szemcseszilárdság,
- Devál kopás elleni ellenállás,
- Los Angeles ütési szilárdság,
- szemcsesűrűség, halmazsűrűség,
- tört (aprítással) szemcsék részaránya.

Az építési hulladékok újrahasznosításának lehetőségeit a 8.2.3.táblázat foglalja össze [11,1].

8.2.3.táblázat: Építési hulladékok újrahasznosítása

<i>Kiemelt föld</i>	<i>Útbontási törmelék</i>	<i>Építési és építéshelyi törmelék</i>
<ul style="list-style-type: none"> • zajvédelmi falak • földsáncok • vezetékgödrök feltöltése • építési alap javítása • épületek háttöltése • utak alapjainak szilárdítása • adalékanyag új aszfalthoz 	<ul style="list-style-type: none"> • adalékanyag új aszfalthoz • utak alapjainak szilárdítása • betonadalék-anyag • töltőanyag • sportpályák, kerékpárutak, járdák töltése • nem kötött utak építése • bitumenes fedő- és kötőréteg • zajvédelmi falak 	<ul style="list-style-type: none"> • betonadalék-anyag • utak alapjainak szilárdítása • zajvédelmi falak • építési alap javítása • épületek háttöltése • vezetékgödrök feltöltése • nem kötött utak építése • hidraulikusan kötött hordozórétegek • adalékanyag padlóburkoláshoz • építőelemek gyártása • sétányok kialakítása parkokban • sportolásra alkalmas területek fedése (téglatörmelék) • hulladékfém feldolgozása

Az építési hulladék-anyag legértékesebb részét az ásványos alkotórészek képezik. E vonatkozásban első helyen a beton áll, beton újrahasznosításának a lehetőségei széles körűek és csaknem teljes tömegében újrahasznosítható. A hasznosításuk fő területe az építési és útépitési beton-adalékanyagként (a primer kavics-homok és a zúzottkő részben vagy teljes helyettesítésével) való alkalmazás. A törtbeton másik fontos felhasználói területe az építőelemek gyártása, ahol szintén betonadalék-anyagként felhasználható fel. Az így kapott termék kisebb szilárdságú (10-20 %-kal), mint a hagyományos, a változást az alábbi ábra szemléltet [89]:



8.2.12.A hulladék-beton töretéből készített beton-próbatest tulajdonságai

A holland tapasztalatok szerint [9] ugyanolyan beton-nyomószilárdság esetén a tulajdonságok az alábbiak szint alakulnak:

	Recycling-beton	Hagyományos beton
Mechanikai tulajdonságok		
Nyomószilárdság	25 N/mm ²	25 N/mm ²
E-modul	70 %	100 %
Húzó- és hajlítószilárdság	60 %	100 %
Összetétel		
Cement	360 kg/m ³	330 kg/m ³
Kavics	-	1120 kg/m ³
Homok	300 kg/m ³	800 kg/m ³
Építési hulladék töret-kavics	975 kg/m ³	-
Építési hulladék töret-homok	400 kg/m ³	-
Plastifikátor	1 %	-

A tégla, a csempe (önmagában vagy betonnal keverve) már csak meghatározott célra való hasznosítást tesz lehetővé (pl. beltéri betonozást). A mészhomokkő, malter, finom homok munka gödrök, vezetékárkok töltőanyaga. A többi komponens (fa, fém papír, műanyagok, agyagos föld, termőtalaj) szennyezőnek tekinthető.

Útbontási törmelékek felhasználása[95]:

- 25 % részarányig pótanyagként új fedőréteghez,
- 20-30 % részarányig kötő réteghez,
- 80 % pótanyagként aszfalt-teherviselő réteghez,
- 100 %-os felhasználásként aszfalt alapozáshoz és más (beton) útalapozáshoz.

Az eltérő eredet és összetétel miatt célszerű az különböző építési hulladékokat (építési bontási törmelék, munkahelyi hulladék, útfeltörési törmelék) az előkészítőmű területén külön-külön tárolni és előkészíteni [11].

A nem veszélyes szennyezők vonatkozásában is indokolt a hulladék-anyag szennyezettségének mértékét a szállítmány beérkezésekor (előkészítés előtt) megállapítani és a különböző mértékben szennyezett szállítmányt külön-külön tárolni és előkészíteni. Fontos a finom anyagrészeire külön figyelmet fordítani, mennyiségét kémiai és ásványos összetételét megállapítani, egyrészt, mivel a legfinomabb rész gyakran magasabb káros-anyagtartalommal rendelkezik, jelenléte (pl. talaj) a előkészített termékekben a műszaki minőséget alapvetően lerontja, leválasztva nem vagy korlátozottan értékesíthető (ami a végtermék fajlagos előkészítési költségének növekedését, a teljes árbevétel csökkenését eredményezi, azaz mennyisége gazdaságosságot alapvetően meghatározza). Az előkészítés során a finom részt célszerű mielőbb, már a technológiai folyamat elején leválasztani.

A környezettel való összeegyeztethetőséget környezetvédelmi szabványokkal, előírásokkal (ld. később 8.táblázatot) szabályozzák. A környezettel való összeegyeztethetőség érdekében a veszélyes hulladék leválasztásáról és kezeléséről külön gondoskodni kell. A veszélyes hulladék-anyagok a nehézfémek, az azbesztek, az olajok, a szénhidrogének és a különböző

sók, amelyek a talajba, a talajvízbe és a levegőbe kerülve szennyezik a környezetet. Célszerű a az építési ásványos hulladék-anyagnak e káros és veszélyes anyagokkal való elszennyeződését a keletkezés helyén elkerülni, pl. építéshelyi hulladéknál a komponensek - fa, papír, műanyagok, fémek, építési ásványos anyagmaradványok (tégla, csempe, malter, stb.), valamint a veszélyes anyagok- külön-külön konténerben való gyűjtésével.

A veszélyes anyagokkal szennyezett építési hulladék-szállítmányt az előkészítőműnek vissza kell utasítania.

Az előkészítőműben leválasztott szennyező-anyagokról is gondoskodni kell. A vas újból felhasználható az acélgyártás során. A fa, papír, műanyag és egyéb éghető hulladékokat — környezetvédelmi előírások betartása mellett — erőművekben el lehet égetni. A veszélyes anyagokat veszélyes hulladékégető műben kell megsemmisíteni.

A termékek minősége

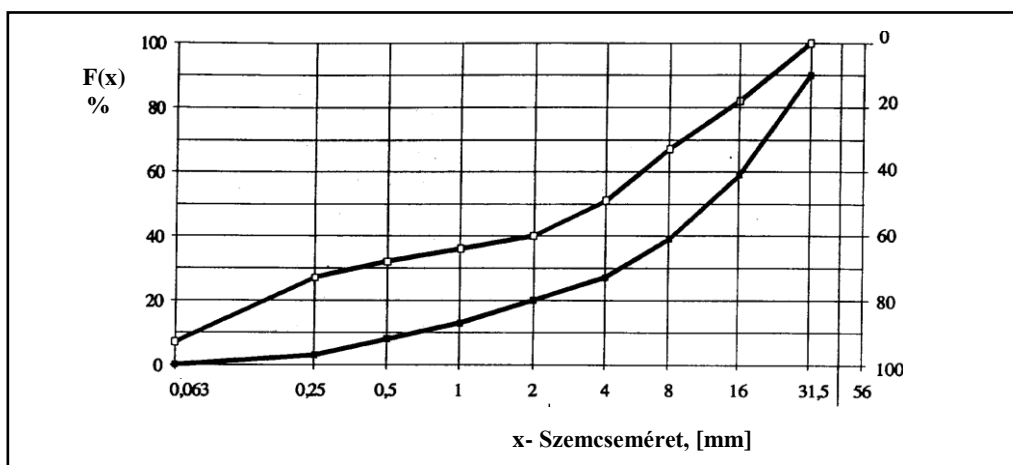
A termékminőség tervezéséhez és szabályozásához a szabvány minőség-előírásainak ismerete is szükséges. A korszerű primer (kő, kavics) és szekunder (építési hulladék) nyersanyagot feldolgozó előkészítőművek főként építési, útépítési célra állítják elő termékeiket, amelyek vagy szűken osztályozott termékek (ekkor az adalékanyagot a felhasználó keveréssel állítja elő), vagy folytonos eloszlású adott felsőhatárral rendelkező beton-, aszfalt-adalékanyagok. Mind a kettőre a hazai szabványok pontos előírásokat tartalmaznak.

A hulladékadalék-anyagból készített beton szilárdsága a nemzetközi szakirodalmi adatok szerint 20-30 %-al kisebb mint a hasonló szemcseméretű primer adalékanyagból készített betoné [89].

Az előkészítőmű a termékéről minőségtanúsítványt készít, az alábbiakban erre egy német példát mutatunk be.

8.2.4.táblázat. Minőségtanúsítvány [57]

Szemcseméret:	0/32 mm keverék
Alkalmazás jele:	F1-32
Alkalmazási terület:	adalékanyag hidraulikus alapréteghez



Műszaki tulajdonság	Vizsgálat tárgya	Vizsgálati előírás	Határérték
Anyagi összetétel	Aszfalt tömegaránya Tégla, falazat, és egyéb kőzet aránya	Mérlegelés Mérlegelés	≤30 % ≤15 %
Szemcseeloszlás	Szemcseméret-eloszlási diagram túlméretes szemek aránya	TP.6.3.1/2/3 TP.6.3.1/2/3	lásd. fenn ≤10 %
Szemcsealak	Hossz:Vastagság=3:1 szemek aránya	TP.6.3.1/2	≤50 %
Törtfelületű szemcsék	Tört felületű szemcsék aránya	TP.6.2. TP.6.2.	≤80 % ≤2 %
Tisztaság és káros anyag tartalom	durva szerves alkotó finom szerves alkotó iszapolódó alkotó	Szélesztályozozás TP.6.6. TP.6.3.1/2/3	1 % 1 % ≤1 %
Vízáteresztő - képesség	Víznyelvetés	FMPA	$k \geq 1 \cdot 10^{-3}$
Fagyállóság	Töredezés 8/16 Töredezés 16/32 Töredezés 32/45 <0,71mm szemek aránya	TP4.3.1. TP4.3.1. TP4.3.1. TP4.3.1.	≤3 % ≤3 % ≤3 % ≤1 %
Ütési ellenállás	8/12 32/45	TP5.2.1.1 TP5.2.1.4	≤26 % ≤30 %
Hőigénybevétel hatása	Töredezés hő hatásra	TP4.5.1	≤3 %

A felhasználás vonatkozásában az építési hulladék-anyagokból gyártott termékeket a környezetterhelés szempontjából is minősíteni kell. A német szabvány a korlátozottan felhasználható (RC I) és a csaknem korlátlanul felhasználható (RC II) termékekre az alábbi határértékeket írja elő [58], (5.táblázat):

8.2.5.táblázat:Környezeti határértékek építési hulladékokból készített termékekre

Eluat	RC I, korlátozottan felhasználható		RC II. korlátlanul felhasználható	
	Határérték	Tolerált határérték	Határérték	Tolerált határérték
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
*Vezetőképesség	250	263	250	263
Szulfát	6000	6300	3000	3150
klorid	1500	1650	400	440
Arzen	2,0	2,2	0,5	0,6
Kadmium	0,3	0,36	0,1	0,12
Króm VI	0,5	0,6	0,3	0,36
Réz	5,0	5,5	1,0	1,2
Nikkel	0,5	0,6	0,1	0,12
Ólom	1,0	1,2	0,4	0,48
Cink	5,0	5,5	2,0	2,2
Fenol	0,5	0,75	0,2	0,3
EOX	5,0	6,0	2,0	2,4
PAK (szilárd)	8,0	9,6	3,0	3,6

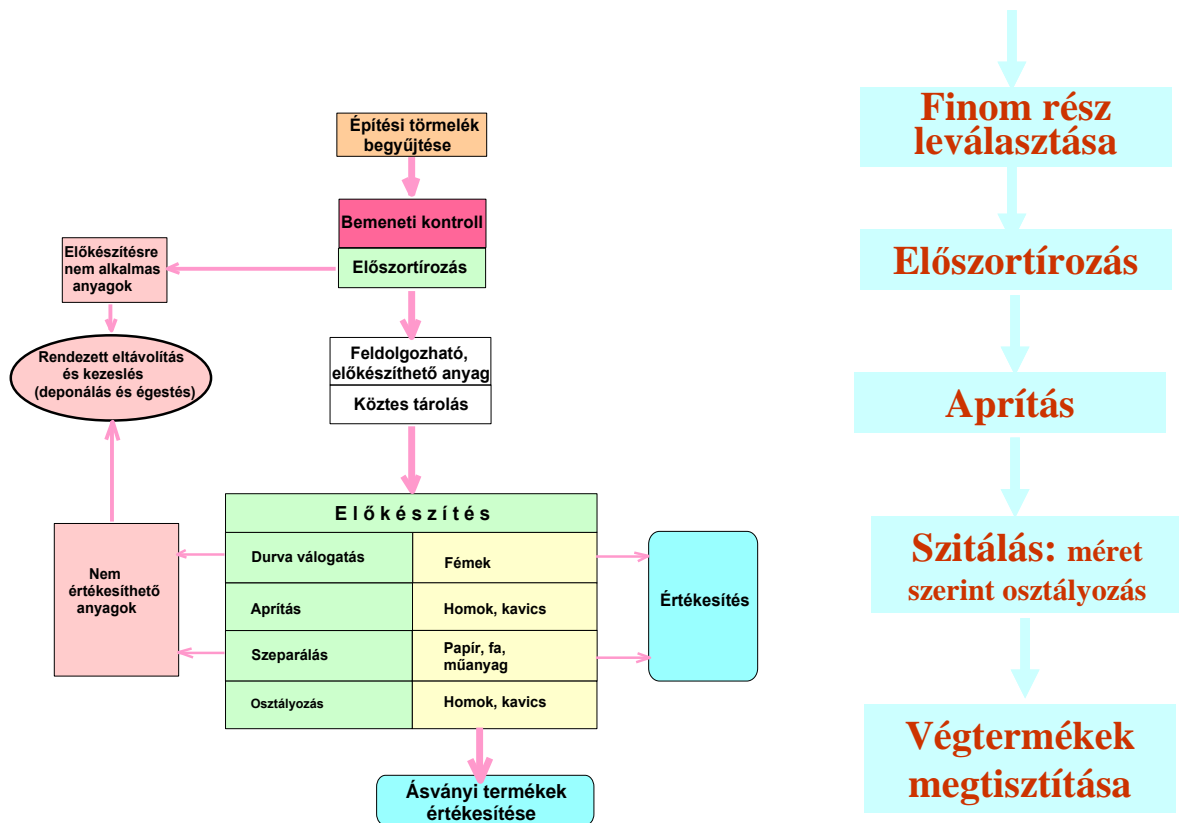
8.2.4. építési törmelék előkészítése

A feldolgozási folyamat

Az újrahasznosítást szolgáló előkészítés folyamatát - a hulladékok begyűjtésétől kezdve a végtermékek értékesítéséig- az 8.2.14.ábra tünteti fel.

A feldolgozandó építési hulladék, valamint a végtermékkel szembeni minőségi követelmények határozzák meg a technológiai kialakítását. Az előkészítési technológia lehet száraz vagy nedves, a törési fokozatok száma alapján pedig egy-, két- vagy három lépcsős.

Az építőipari hulladékokat be kell gyűjteni és megfelelő kontroll mellett - a veszélyes és a fel nem dolgozható anyagok leválasztására - előszortírozásnak kell alávetni, majd pedig az előkészítés során le kell törni, a különböző szennyező-anyagoktól fizikai tulajdonság szerint a dúsító-berendezésekkel meg kell tisztítani, és szitaberendezésekkel méret szerint frakciókra kell bontani.



8.2.14.ábra Útépítési hulladékok újrahasznosításra való előkészítése, [6]

A tervezésnél az alábbi feladatokat kell megoldani:

- a kiindulási anyag sajátosságainak meghatározása;
- piacelemzés a termékfajták és mennyiségek tekintetében;
- az előállítandó szemcsefrakciók és azok minőségének a meghatározása;
- az előkészítőmű helyének kiválasztása;
- az előkészítési technika megtervezése, tekintettel minden körülményre, különösen is a környezetvédelemre;
- megvalósíthatósági tanulmány készítése;
- döntés (abban, hogy a tervezett vállalkozás, a tervezett technikai feltételek mellett gazdaságosan megvalósítható-e, ezért el kell vetni, vagy más utat kell keresni pl. egyszerűbb megoldással gazdaságossá tenni, stb.).

A technológiai folyamatban a fő eljárástechnikai feladatok tehát:

- **Tárolás:** a nyershulladék fogadása és a végtermék tárolása.
- **Feladás:** a rendszer feldolgozandó anyaggal való táplálása.
- **Adagolás:** a rendszer feldolgozandó anyaggal való szabályozott folytonos üzemű táplálása.
- **Osztályozás:** finom szennyezők, föld, stb. leválasztása és a végtermékek előállítása.
- **Aprítás:** a szemcseméret kívánt mértékű csökkentése, a kívánt szemcseméret-összetétel előállítása, a komponensek fizikai feltárása (vasbeton törésével a beton és vas szabaddá válása, ezt követően egymástól pl. mágneses szeparálással elválaszthatók). Rendszerint durva és középaprítási fokozatot valósítanak meg.
- **Szennyező anyagok leválasztása:** száraz vagy nedves fizikai-mechanikai (főként gravitációs és mágneses) dúsítási eljárások alkalmazásával.
- **Szállítás.**
- **Rakodás.**
- **Energiaellátás.**
- **Környezet védelem:** emissziók (poros levegő, szennyezett víz, zaj kibocsátás) előírt értéken való tartása.

8.2.5. Alkalmazott előkészítési eljárások és berendezések

Technológiai berendezések

A technológiai berendezések helyes kiválasztásával biztosíthatjuk a megfelelő minőségű végtermékek előállítását, valamint a gazdaságos üzemet. A technológia legfontosabb berendezései a törőgépek, az osztályozók és a szennyezők leválasztását szolgáló dúsító-berendezések. A többi kiegészítő berendezés az anyag mozgatását, tárolását, valamint az energiaellátás és a környezetvédelmi előírások betartását szolgálja.

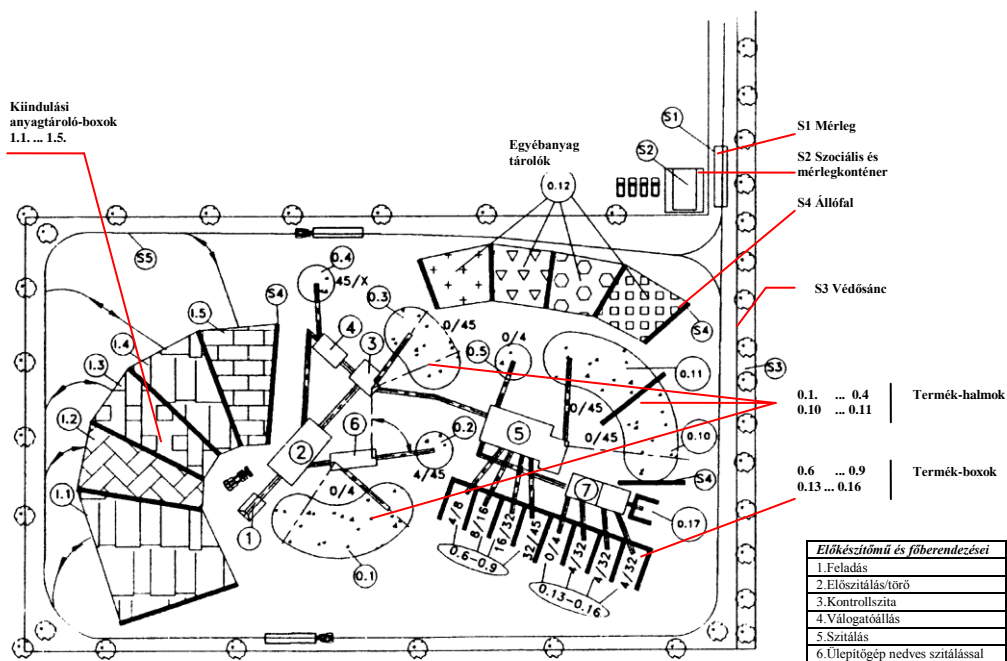
Az alkalmazott fő berendezések műveletenként:

Tárolás

- fogadó rendszer,
- silók (végtermék).

A hatékonyabb előkészítés szükségessé teszi a nyers hulladék fogadásakor történő előszelektálását és a hozzávetőlegesen azonos összetételű kiindulási anyagok külön-külön való tárolását. Ugyanígy az eltérő mélységű feldolgozott végtermékeket is célszerű külön tárolni. Minderre jó példát mutat be a 32. ábra [11].

A 17. ábra szerint megoldásban különböző kiindulási nyers hulladékokat boxokban tárolják (1.1.-1.5.), amelyeket a boxokból adnak fel a feldolgozó rendszerre. A nagyobb mennyiségben keletkező termékeket halmokban, a kisebb mennyiségben keletkező és értékesebb termékeket pedig boxokban tárolják.



8.2.15. ábra Összefüggés az anyagsajátságok, a tárolás és az előkészítéstechnika között

Anyag feladás a rendszerre

- kanalas rakodógép.

Adagolás

- láncos (vonszoló) adagoló,
- vibrációs adagoló,
- lemeztagos adagoló.

Osztályozás

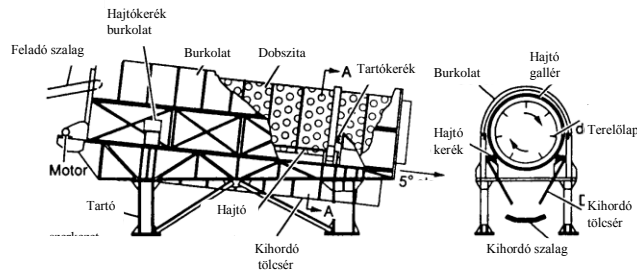
- mozgatott rácsok: finom szennyezők, föld, stb. leválasztására;
- dobszita: finom szennyezők, föld, stb. leválasztására, az apró, (<20 ... <60mm) a válogatást zavaró méretű rész leválasztása;
- vibrációs osztályozó sziták: végtermék előállítására.

– Dobszita

A dobszita felépítése a 8.2.16.ábrán látható. A dobszítát elsősorban az építészeti hulladékok előkészítésében használják.

A dobszita feladata:

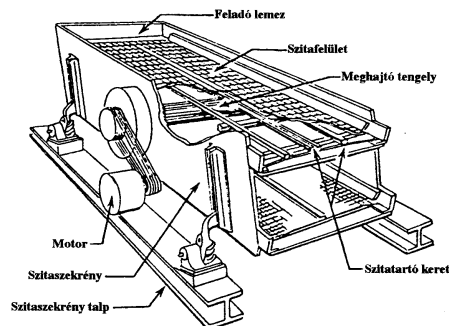
- finom szennyezők, föld, stb. leválasztására;
 - az apró, (<20-50mm) a válogatást zavaró méretű rész leválasztása, amely gyakran nehézfémekkel és/vagy szerves anyaggal szennyezett;
 - a válogatásra kerülő anyag válogatási méretosztályokra bontása (az anyag szemcseméret összetételétől függően pl. két vagy három méretosztályra);
- a válogatásra kerülő anyag fellazítása.



8.2.16.ábra A dobszita felépítése

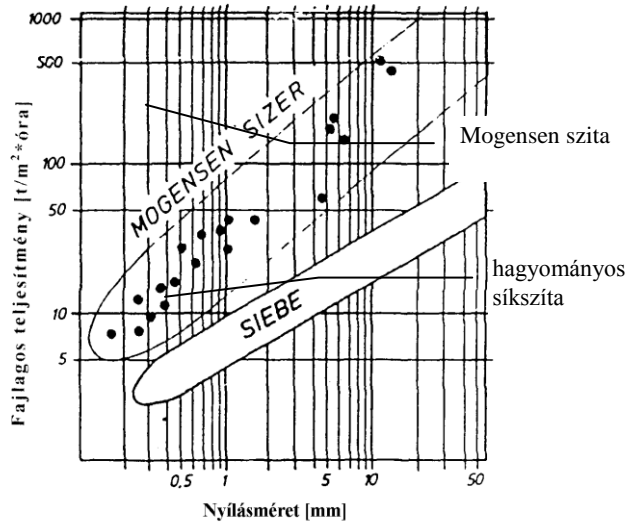
– Síkszita

A síkszita feladata az aprítógépek töretéből a végtermékek előállítás. Egy többsíkú vibrációs szita felépítését mutatja a 8.2.17. ábra mutatja.



8.2.17.ábra Síkszita (kétsíkú) felépítése

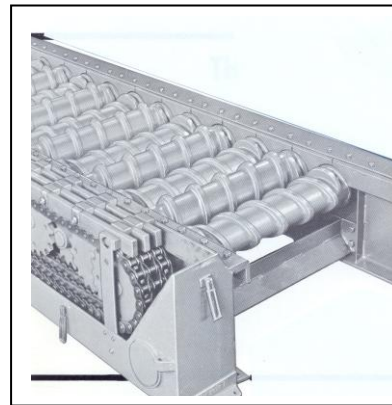
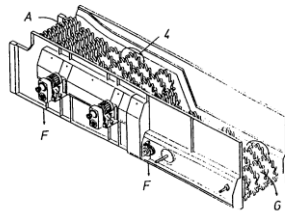
A sziták (hagyományos és Mogensen típusú) fajlagos feldolgozó képességét a 8.2.17.ábra mutatja (az ábra adataival számolva $k \sim 1$).



8.2.18.ábra Szitaberendezések fajlagos feldolgozó képessége

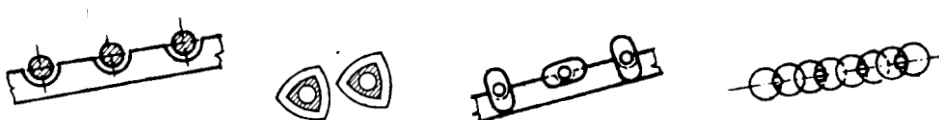
– Különleges osztályozó berendezések

- A- feladás
- F- finom frakció
- G- durvafrakció



8.2.19.ábra Mozcgatott rács: Thole-féle (csillagszita-berendezés) és hagyományos kialakítás

A rácsok párhuzamos álló vagy mozcgatott rudakból állnak (8.2.19. és 8.2.20. ábra). A durva aprításhoz kapcsolódnak, feladatuk törőgépek mentesítése a finom résztől. A rudak keresztmetszete lehet : pl. kör, trapéz, négyszög, ellipszis (37.ábra). A technológiai folyamatban vagy megelőzi az előtörőt vagy követi.



8.2.20.ábra Mozcgatott rácsprofilok

Szennyező anyagok leválasztása

A szétválasztás a száraz dúsító eljárásokkal történhet kézi válogatással, légárammal száraz áramkészülékben, a vas leválasztása pedig mágneses szeparátor alkalmazásával. Nedves technológiánál a száraz áramkészüléket nedves szalagszér, vagy nedves áramkészülék és/vagy az ülepitőgép, ritkábban nehézsuszpenziós vagy mosó-osztályozó spirális készülék váltja fel.

A száraz és nedves eljárásokkal való előkészítést veti össze a 8.2.6. és 8.2.7 táblázat [8].

8.2.6.táblázat:A száraz eljárásokkal való előkészítés jellemzői [8]

Előnyök	Hátrányok
<ul style="list-style-type: none"> • időjárástól független • a beruházási és üzemköltségek kicsik • nincs víz-körfolyamat 	<ul style="list-style-type: none"> • nem megfelelő a termékek tisztasága • ezért a beton készítésekor adalékanyagként nem vagy korlátozottan használhatók fel • a <10 mm rész nem tisztítható • nagy tömegarányban keletkezik deponálandó maradvány

8.2.7.táblázat: A nedves eljárásokkal való előkészítés jellemzői [8]

Előnyök	Hátrányok
<ul style="list-style-type: none"> • tiszta végtermék, igen jó minőség • ezért a végtermékek út- és betonépítésen felhasználhatók • a tisztítás szemcsehatára: >4 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • víztisztítás és víz-körfolyamat kiépítése szükséges és üzemeltetése • finom iszap víztelenítés szükséges • emiatt a beruházási és üzemköltség nagyobb • időjárásfüggő (téli üzemszünet)

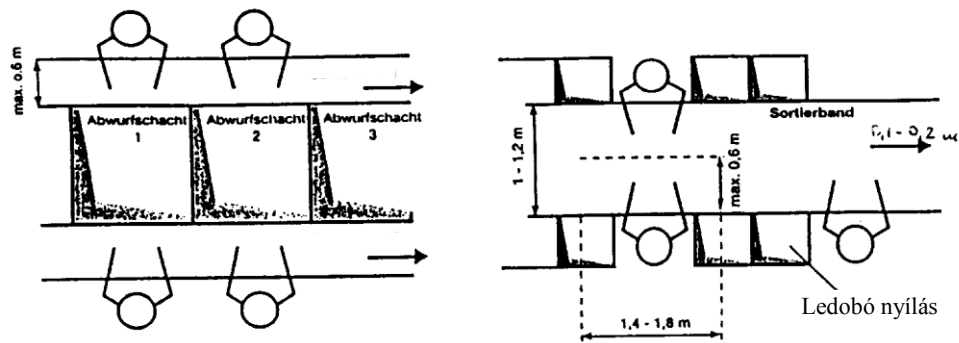
A termékminőség és költség szempontjából a mindenkori optimumot a kombinált üzemek képesek biztosítani, jövőbeni elterjedésük várható.

Száraz eljárások

Kézi válogatás

A kézi válogatásnál a hatékonyság csak a nagyobb szennyező anyagok eltávolításánál jelentkezik. Alkalmazni a törőegység előtt célszerű. A kiválogatott anyagokat (pl. fa, papír, műanyag, vas) külön konténerekbe gyűjtik. A válogatószalag alkalmazása a kevert munkahelyi építési hulladékból a szennyezők és a veszélyes anyagok kiválogatására legelterjedtebben alkalmazott megoldás.

A kéziválogató-munkahelyek kialakítását a 8.2.21. ábra mutatja be.



23. ábra Kéziválogató-munkahelyek kialakítása

Főbb műszaki és gazdasági jellemzők [48]:

- Szalagszélesség (kétoldali munkahelyekkel): 1200 mm
- Egy munkahely szélessége: 1500 mm
- Ledobó nyílás mérete 750 x 1000
- Szalagsebesség: 0,1...0,3 m/s
- Válogatási teljesítmény: 40 db/min/fő (kiemelés és bedobás a nyílásba), darabok maximális tömege 15 kg;



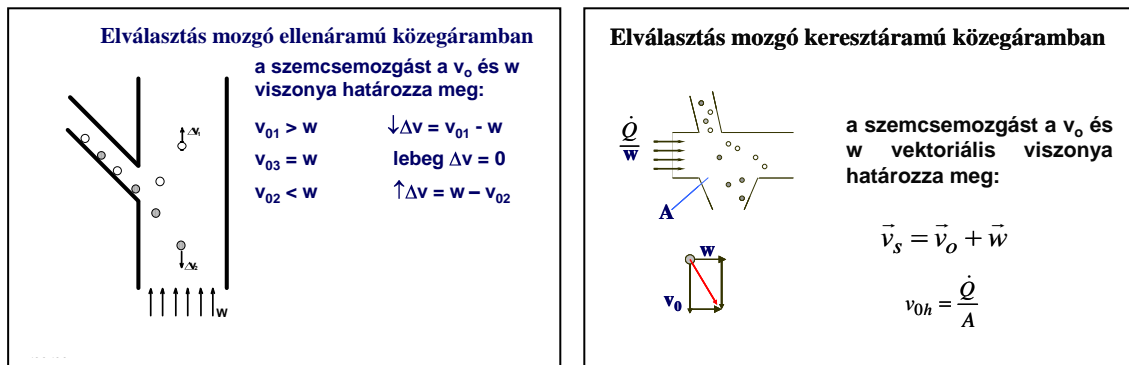
8.2.22. ábra Építés-kahelyi hulladék kéziválogató-munkahelyek (Kleemann Reiner, [98])

Légárammal történő szétválasztás

A légárammal történő szétválasztás a kisebb sűrűségű anyagokat különíti el a nagyobb sűrűségű ásványi anyagtól. Az építőipari hulladékok feldolgozásánál a fa, papír, karton, műanyag leválasztása a beton- és téglatörmelékekből történhet áramkészülékkel. Az áramkészülék alkalmas a beton és a téglaszemcsék egymástól való elválasztására is.

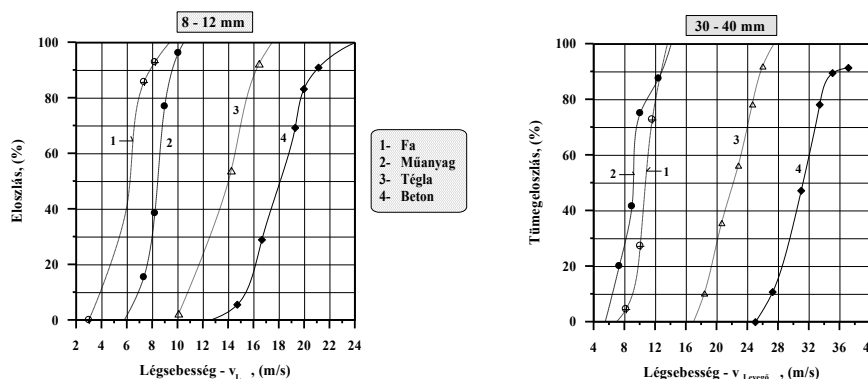
– **Berendezések légáramban történő szétválasztásra**

A légáramban történő szétválasztás elvi alapja az alkotók eltérő süllyedési sebessége, ill. közegben való eltérő mozgása. Elsősorban vegyes hulladék szétválasztására alkalmazható az eljárás. A különböző kialakítási típusokat a 8.2.23. ábrák mutatják.



8.2.23. Osztályozás áramkészülékkel ellen- és keresztáramú közeggel

A Miskolci egyetem Eljárástechnika tanszékén a dúsító légáramkészülékkel (8.2.24. ábra) elvégzett kísérletek tanúsága szerint ([96]) a légáramkészülékkel nemcsak a könnyű (fa, műanyag, papír) szennyezők választhatók el az ásványi anyagtól, hanem az ásványi komponensek egymástól.



8.2.24. ábra. Áramkészülékkel való sűrűség szerinti szétválasztás eredménye: tömeg-megoszlás a légsebesség függvényében komponensenként, [96]

A 26. ábra alapján megállapítható, hogy ellenáramú légáramkészülékkel történő szétválasztással tiszta téglaszemcsék, tiszta beton és egy keverék termék, valamint a könnyű

szennyező-frakció állítható elő a légsebesség alkalmas megválasztásával: pl. a 30-40 mm frakcióra 28-25-17 m/s légsebességek alkalmazásával.

Mágneses szeparálás

Mágneses szeparálás Az építőipari hulladékokban a vasbeton elterjedt építőipari alkalmazása miatt jelentős a vas. A vas leválasztásának leghatékonyabb módszere a *mágneses szeparálás*. A mágneses szeparálással egyrészt a törőegységre kerülő anyagokból (törőfeladás) a szabadon előforduló vasat távolítjuk el még az aprítás előtt, másrészt mivel a törőberendezésben a vasbetonban lévő vas az aprítás során szabaddá válik, így a törőgép után mód van a törethől a vas leválasztására, tovább növelve a végtermék tisztaságát.

– Mágneses szétválasztó berendezések

Az itt alkalmazott mágneses berendezéseket két nagy csoportba sorolhatjuk:

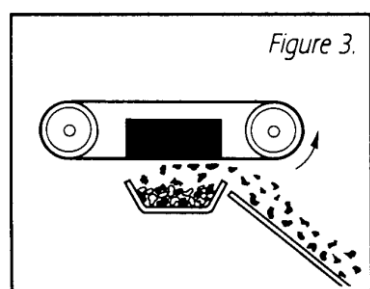
- vaskiválasztó mágnesek,
- dúsító mágneses szétválasztó berendezések.

A vaskiválasztó mágneseket a hulladék anyagban lévő ferromágneses (vashulladék, fehérbádóg, stb.) alkotók kiválasztására építik be. Az így leválasztott vasat külön gyűjtik és hasznosítják. A törőgépek előtti vaskiválasztó mágnes a berendezés védelmét is szolgálja.

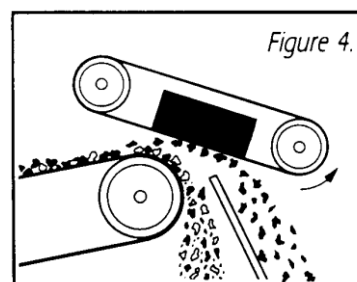
A permanens, vagy elektromágnessel üzemelő vaskiválasztó berendezések lehetnek:

- szalagos vaskiválasztók,
- vaskiválasztó dobok.

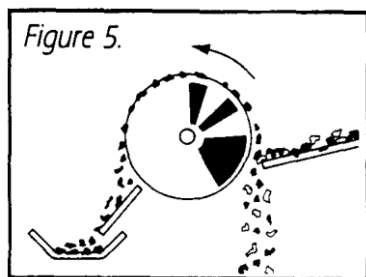
A 8.2.25. ábrán különböző vaskiválasztó berendezések láthatók.



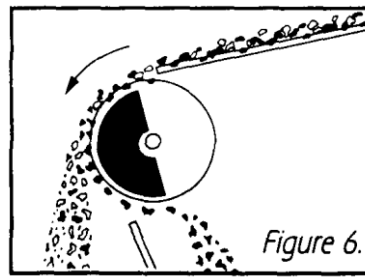
Keresztszalagos vaskiválasztó



„Párhuzamos” szalagos vaskiválasztó



Vaskiválasztó dob (alsó feladású)



Vaskiválasztó dob (felső feladású)

8.2.25. ábra Vaskiválasztó berendezések típusai

A bemutatott vaskiválasztó berendezések permanens és elektromágneses kivitelben is készülnek. Ma már inkább az erősezős permanens mágneses vaskiválasztók (szalagos és dobos) elterjedtebbek, az egyszerű kialakítás és igénytelen üzemeltetés miatt. Ezek a berendezések beruházási költségei ugyan nagyobbak, de az üzemeltetés és karbantartási költségek viszont alacsonyabbak, így a beruházási többletigény a 2-3. év alatt már megtérül. A kihordás nélküli berendezéseket csak olyan helyen alkalmazzák, ahol kevés a kiválasztandó anyag, és az időszakonkénti leállítás (tisztítás céljából) az üzemmenetet nem zavarja. A vaskiválasztók elhelyezése a szalagledobó fejnél (fellazult anyagáramból való kiválasztás) a leghatásosabb.

Nedves eljárások

A nedves eljárások alkalmazásával lehet a legjobb minőségű végterméket előállítani. Az eljárás során azonban a keletkezett szennyvíz tisztításáról és az iszap elhelyezéséről külön gondoskodni kell.

Az építkezési törmelékek feldolgozásánál az

- ülepítőgép,
- Aquamátor (szalagszér),
- nedves áramkészülék
- nehézsuszpenziós dúsító készülék nedves dúsító berendezések alkalmazhatók.

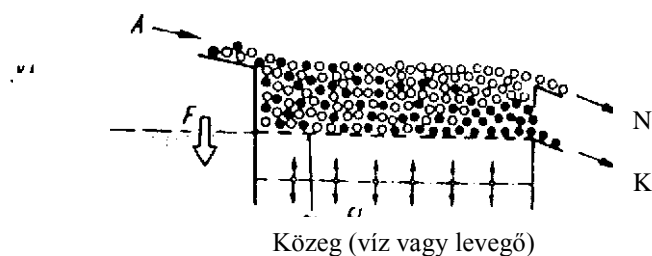
Az ülepítésben, a szérelésben, a csatornamosókban és a nehézközeges dúsításban egyaránt az ásványdarabokra ható súltyerő, a közeg felhajtóereje és a közegáramlás következtében fellépő erőhatás határozza meg az egyes szemek elhelyezkedését, ill. mozgását a dúsító készülékben, ezért az egyes eljárások alkalmazási területét a szemcseméret alapvetően meghatározza (8.táblázat).

8.2.8.táblázat: Nedves sűrűség szerint szétválasztó (dúsító) eljárások alkalmazási területe

Dúsítási eljárás	Szemcseméret, [mm]
<i>Úsztató eljárások</i>	
- Nehézközegben	
• Nehézségi erőterben	5 ... 150
• Centrifugális erőterben (ciklon)	< 50
<i>Dúsítás ülepítőgéppel</i>	
-Nedves ülepítőgép	2 ... 50
<i>Dúsítás nedves csatornában és széren</i>	< 8
<i>Dúsítás ellenáramú áramkészülékkel</i>	
- Nedves	5 ... 150

Szennyezők leválasztás ülepítéssel [7,9,18,27,48].

Az ülepítés lényege az ülepítőgép (8.2.27. ábra) szitáján levő anyagréteg szakaszos fel-fellazítása és a szitára való visszaülepítése, miáltal az anyagréteg sűrűség szerint rendeződik. A sűrűség szerinti szétrétegződés annak köszönhető, hogy az ülepítőgép ágyának fellazított állapotában is nagy a szilárd részek térfogataránya, amely a rétegek összezáródásakor még nagyobbra növekszik. Minél nagyobb szemcsék térfogataránya az ágyban, annál nagyobb az ágyat alkotó szilárd szemcsék és a köztük levő víz keverékének a sűrűsége és ezzel együtt az ágy szemcséire gyakorolt felhajtóerő. Az ágy (víz-szilárd keverék) sűrűségénél nagyobb sűrűségű szemek leülepednek az ágy aljára, a kisebb pedig felúsznak az ágy tetejére.



8.2.27. ábra. Membrános (vibrációs) ülepítőgép [7]
A - feladás; N - nagysűrűségű termék; K - kistsűrűségű termék

Az anyaghalmoz felazítása álló szitán át való vízáramoltatással, vagy álló vízben a szitának fel-le mozgatásával történhet, e szerint lehetnek állószítás vagy mozgószítás ülepítőgépek. Leggyakrabban állószítás ülepítőgépeket alkalmaznak, hol a vízszintes vagy közel vízszintes szita egyik végén folyamatosan történik az anyagfeladás, a szita túlsó végén levő részen át - ha van ilyen - ugyancsak folyamatosan távozik az alsó, nagysűrűségű réteg, és túlömlő élen át a felső, kistsűrűségű réteg. Az ülepítésnél a közeg mozgatására vagy dugattyút, vagy membránt vagy pedig sűrített levegőt használnak. Ezzel az eljárással (különös képen a légpulzációs készülékkel) nagy kapacitás és éles szétválasztás érhető el. Az üzemeltetési és beruházási költség is alacsony.

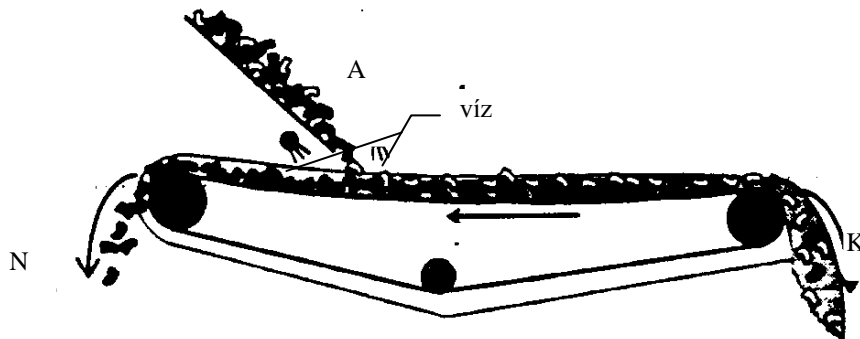
Főbb műszaki és gazdasági jellemzők építési hulladékok feldolgozására [7, 9, 27, 48]:

- Lökethossz: 14-40 mm
- Löketszám: 60-120 min⁻¹
- Kapacitás 16...25 m³/m².h
- Vízigény: 1,5...2,5 m³/h

Szétválasztás nedves szalagszérrel

Az építési hulladék-előkészítéstechnikában a finomabb szemek tisztítására a szalagszérrel (aquamator) terjedtek el [7,11,48]. Az aquamatorban (29. ábra) a szétválasztás sűrűség alapján történik, a vízszugárral fellazított vékony ágyban. Az anyagot szalagra adagolják, amelyre nagy nyomáson vizet permeteznek. A vízszugár iránya ellentétes a szalag haladási irányával, a

leülepedett nehéz szemek a szalaggal tovább haladnak, a felúszott könnyű szemcséket víz lesodorja.

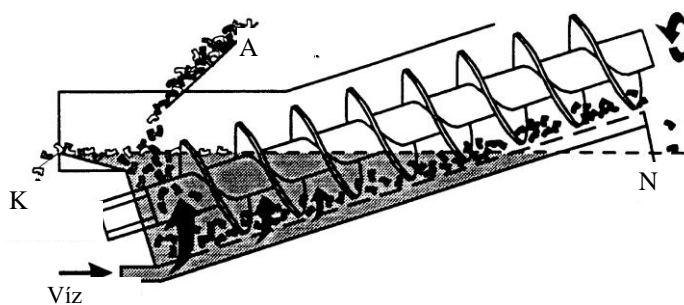


29.ábra Aquamator (szalagszér)
A - feladás; N - nagysűrűségű termék; K - kisműködésű termék

Főbb műszaki és gazdasági jellemzők [48]:

- Méret: 3500/1600 mm
- Kapacitás 60...100 m³/m².h
- A szér beruházási költség (kapacitásra vonatkoztatott): 5300...7800 DM/t , amely magába foglalja a víztisztító egység beruházási költségét is (amely 4500...6000 DM/t)

Tisztítás nedves áramkészülékben



8.2.29.ábra Spirális áramkészülék
A - feladás; N - nagysűrűségű termék; K - kisműködésű termék

Nedves áramkészülékként spirális osztályozót (8.2.29.ábra) célszerű alkalmazni, amely egy teknő alakú (ferde, a vízszintessel szöglet bezáró) tartályba helyezett spirálisból áll. Működési elve megegyezik a száraz áramkészülékekével. Az osztályozóra feladott zagyban a nagysűrűségű nagy süllyedési sebességű ásványi szemcsék, darabok leülepednek, amit a spirális kihord a teknőből. A kis sűrűségű (könnyű) kis süllyedési sebességű anyagokat a tartály túlömlésén elfolyó a folyadék magával szállítja el.

Szállítás

- szállítószalag.

Energiaellátás

- aggregátor (mobil), - hálózatra kapcsolás (stacioner).

Környezeti eljárás-technikai berendezések (a környezetvédelmi előírások betartását

szolgáló berendezések, eszközök):- porszűrő filterek, - porciklon, - vízpermetezést biztosító berendezés,

- zajcsökkentő falak, - nedves eljárásoknál víztisztító berendezések: zagysűrítő, szűrők.

Aprítás

Az építőipari hulladékok feldolgozásánál a legelterjedtebben használt törőgépek a durva aprításnál a hagyományos törőgépek (pl. pofástörő), az utótörésnél általában röpítő-törők, kevésbé elterjedt a kúpos-törő használata. Ugyanúgy, mint az ásványelőkészítésben itt is a nyomás, ütés és ütközés a fő igénybevétel, de jelentős szerephez jut az építési hulladékok esetében - különös tekintettel az alakra (szabálytalan, hosszúkás-rúd alakú) - a hajlítás is (9.táblázat).

8.2.9.táblázat: Az építési hulladékok előkészítésénél alkalmazott aprítóberendezések

Hulladék fajta	Aprítási terület	Aprítógép	Alkalmazási példa
Ásványos hulladékok ásványipari, építőanyag- ipari, építési, üveg hulladék Anyagtulajdonság Szilárd - közepes szilárdságú, kemény igen koptató	<i>Durvaaprítás</i> >50 mm	Hidraulikus bontókalapács Pofástörő Röpítő-törő Horizontális pofástörő Hengeres törő (fogazott) Ütő-hengeres törő Kalapácsos törő	beton, vasbeton beton, téglá beton, téglá, aszfalt és beton együtt, üveg vasbeton gerenda, erősen vasalt vasbetonok, rúdformájú vas-betonok, síntalpak, villanyoszlopok aszfalt, könnyűbeton, üveg vasbeton gerenda, erősen vasalt vasbetonok, rúdformájú vas-betonok, síntalpak, villanyoszlopok aszfalt, könnyűbeton, téglá, kiemelt föld
	<i>Középpaprítás</i> 5...50 mm	Kúpos törő Röpítő törő Kalapácsos törő Hengeres törő	beton, téglá beton, téglá, aszfalt és beton együtt, üveg aszfalt, könnyűbeton, téglá aszfalt, könnyűbeton
A technológiai folyamatokba a törés rendszerint több lépésben történik. Az építési hulladékok aprításában három törőberendezés játszik kiemelt szerepet: a pofástörő, az ütő-hengerestörő és a röpítő-törő. Ezek kapcsolatát az alábbi táblázat mutatja be.	<i>Finomaprítás</i> < 5 mm	Kalapácsmalmok Kúpos törő	aszfalt, könnyűbeton, téglá beton, téglá

8.2.10.táblázat: A törőberendezések egymáshoz való kapcsolata [10]

Kombináció típusa	A törőberendezés eljárás technika feladata	
	Előtörő	Utótörő (végtermék előállítás)
A	Pofástörő	Röpítőtörő
B	Ütő-hengeres törő	Röpítőtörő
C	Röpítőtörő	Röpítőtörő

A 11.táblázat az aprítógépek eljárás technikai jellemzőit együttesen tünteti fel. Az aprítógépek előnyeit és hátrányait pedig a 12.táblázat veti össze.

8.2.11.táblázat: Fontosabb aprítógépek eljárás technikai jellemzői [10]

Jellemző	Pofástörő	Ütő-hengerestörő	Röpítőtörő
Igénybevétel	nyomás	Ütés, ütközés	Ütközés, ütés
Feladás méretét meghatározó gépméret	Garatméret	Henger szélesség és a henger és szalag között távolság	Garatnyílás
Feladás mérete, [mm]	1250x1000	1400x800	1200x1000
Feladás darabjainak szilárdsága, [MPa]	500	200	300
Aprítási fok	1000/130=7,7	1000/135=7,4	1000/50=20
A töret szemcseméretét meghatározó gépjellemző / végtermék szemcseméret, [mm]	Résméret 0 ... 150	Átömlési magasság és a henger kerületi sebessége 0 ... 250	Rés a rotor és a páncélzat között, valamint a rotor kerületi sebessége 0 ... 80
Jellemző kinetikai paraméter	Löketszám 275 ... 400 min ⁻¹	Henger kerületi sebessége 23 m/s	Rotor kerületi sebessége 28 ... 42 m/s
Tömeg	50 ... 70 t	30 t	15 ... 20 t
Hajtás teljesítménye, [kW]	110 ... 115	220 ... 300	160 ... 315

8.2.12.táblázat: Előnyök és hátrányok az aprítógépek alkalmazásában [10]

Jellemző	Pofástörő (vízszintes)	Útó-hengerestörő	Röpítőtörő
Költségek	Nagy beruházási költség, kis üzemköltség és kopási költség	Kis beruházási költség, a pofástörőnél nagyobb, de a röpítőtörőnél kisebb kopási költség	Kis beruházási költség, nagy kopási költség (anyagtól is függő)
Feladási magasság	Rámpa építése szükséges	A feladás talajszinten történhet	Rámpa építése szükséges
Üzemviszonyok	érzékenység a fával és az aszfalttal szemben	esetenként érzékenység a beton acéllal szemben	érzéketlenség a szennyeződésekkel szemben
Környezetterhelés	kis zaj- és porkibocsátás	kis zaj- és porkibocsátás	kiporzás elleni védelem szükséges (vízporlasztással vagy porelszívással)
Végtermék-minőség	kis lökethosszal és nagy löketszámmal kubikus töret előállítása lehetséges	a felső szemnagyság lapos szemeknél nem lehatárolt	a töret szemcsei jó kubicitással rendelkeznek, kevés túlméretes szemcse a töretben
	<i>Kétlépcsős</i> üzemekben: mint előtörő <i>Egylépcsős</i> üzemnél: ha kisebb a minőségi követelmény	<i>Kétlépcsős</i> üzemekben: mint előtörő <i>Egylépcsős</i> üzemnél: ha durva töret kívánatos	<i>Kétlépcsős</i> üzemekben: mint előtörő és/vagy utótörő <i>Egylépcsős</i> üzemnél: ha nagyobb minőségi követelmény

8.2.6. Az infrastruktúra tervezése

Az előkészítőmű helyét meghatározó kritériumok [11]:

- ⇒ megfelelő mennyiségű nyershulladék álljon rendelkezésre max 15 ... 25 km -en belül
 - a városcentrumok előnyösebbek
- ⇒ közelség az építőanyag-igény helyéhez
 - szállítási költségek minimalizálása - központi helyzet
- ⇒ Közlekedési kapcsolat - ha lehetséges közvetlenül a távolsági utakhoz
 - lakott területek közlekedési útjai kerülendők
- ⇒ közlekedési pályák - vasúti és vízi közlekedés - a jövőben különösen fontos lehet
 - kevesebb országúti közlekedés
- ⇒ rendezési terv szerinti ipari terület
- ⇒ bejárati terület (pl. a hulladék lerakó bejárata)
 - lakossági autóállásokkal és az anyag szétválasztásával hasznosíthatóra és nem hasznosíthatóra
- ⇒ integrálódás egy nagyobb hulladék-centrumhoz, amely gyakran egykori ipari területen van (korábbi erőmű, vegyigyár, kohászati üzem,...)
- ⇒ extenzív épületbontás mint kezdeti aktivitás a telephely részére

Közlekedés

Gazdasági szempontból kedvező, ha az üzem területe nyilvános közlekedési területeken keresztül megközelíthető. Az üzemterület helyzete és geometriai kialakítása szerint egy-két be- és kijáratot alakítunk ki. Ha az üzem területéhez a közútról egy bekötő útszakaszt építenek, akkor ennek a következő követelményeknek kell megfelelnie:

- az út teherbíró képessége megfelelő legyen (közlekedési járműnél az összsúly 40 t),
- ajánlatos az utat bitumenezni (zajcsökkentés, könnyebb tisztítás miatt),
- ne legyen környezetkárosító hatása
- az út szélessége többnyire 5-6 m,
- az úttest felépítése: 35 cm kavicsréteg (Recycling anyagból 0-45 mm), kb. 15 cm bitumenréteg (0-22 mm-es szemcsefrakcióból), 4 cm bitumenezett fedőréteg (0-11 mm-es szemcsefrakcióból).

Az üzem területének előkészítése

Az építési törmelék előkészítő berendezéseinek számára egy stabil terület kialakítása szükséges. Az üzemi berendezések, járműmérlegek és konténerek kialakítási területén föld- és alapozási munkák szükségesek. Az üzem területe mellett a zaj- és szélviszonyok miatt egy kb. 3 m magas növényvel telepített gátfal építése ajánlatos.

A terület csaknem teljes bekerítése ezzel a gátfallal pótolható, kerítés csak a bejárati kapunál szükséges. Az üzemi terület ellátásának biztosítására (áram, telefon, különleges üzemanyagok) nehéz általános érvényű kijelentést tennünk. Ez mindig az adott helyzettől függ. Átlagosan egy mobil és stacioner üzemre az alábbi táblázat mutat példát [6].

8.2.13. táblázat: Szolgáltatások

Építési törmelék előkészítő berendezések		
Felvétel	mobil üzem	stacioner üzem
Technika	egyfokozatú törés két szitaberendezés segítségével	lemeztagos adagoló, előszitálás vibrátorral (45 mm, 1500x4500mm), előtörés ütőhengeres-töréssel, utótörés röpitőtörővel (1500x1340mm), szitálás (1800x6000 mm), szennyező-leválasztás válogatószalaggal és légáramkészülékkel (4 frakció: 5/8,8/16,/16/32,32/45, levegőszükséglet 120 000 m ³ /h)
Termék mennyisége	kb. 50.000 t	kb. 200.000 t
Feladásra kerülő anyag maximális szemcseméret 700 mm	bontásból származó betonanyag zavaró anyagok nélkül, magas építésből származó törmelékanyag zavaró anyagok nélkül, úttörési anyag,	betonbontásból származó anyag, magasépítési törmelék, úttörési anyag
Elektromos teljesítmény (kW)	kb. 410	kb. 750
Átlagos teljesítmény (kW)	kb. 250	kb. 450
Átlagos áramszükséglet (kWh)	kb. 125.000	kb. 500.000
Vízellátás (m ³)	kb. 6	kb. 12
Tüzelőanyag tartályok	2x5.000 liter	1x.10.000 liter 1x30.000 liter

IRODALOM

- [1] Böhringer, P.- Höff, K.: Baustoffe wiederaufbereiten und verwerten. AVS-Institut GmbH. Verlag 82008 Unterhaching. 1994.
- [2] Kellerwessel, H.: Aubereitung disperser Feststoffe: Mineralische Rohstoffe-Sekundärrohstoffe-Abfälle. VDI Verlag GmbH. Düsseldorf.1991
- [3] Brauer, H. (Hrsg.): Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik. Band.2. Springer Verlag, Berlin.1996. p.1009-1022.
- [4] Koch, E.-Schneider, U.: Flächenrecycling durch kontrollierten Rückbau. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.1997.
- [5] Abraham, L. - Piso, P: Untersuchungen über den Betrieb eines Aufstromklassierers Aufbereitungs-Technik (1997) Nr.3, p. 121-126.
- [6] Guntram, K: Technik und Management der Aufbereitung, Recyclingpraxis Baustoffe, September 1991. Verlag TÜV Rheinland. ISBN 3-8249-0001-7
- [7] Buntenbach, S - Petit, E- Hoberg, H.: Naßmechanische Aufbereitung von Bauschutt Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.3, p. 130-138.
- [8] Bakker. M.A.: 12 Jahre erfolgreiche Naßaufbereitung von Bauschutt in Rotterdam. Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.4, p. 201-210.
- [9] Jungmann, A.: Bauschutttaufbereitung mit Alljig-Setzmaschinen in Europa und USA. Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.10, p. 543-549.
- [10] Hanisch, J.: Stand und Probleme bei der Zerkleinerung von Baureststoffen. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.8, p. 423-432.
- [11] Kohler, G. - Penzel, U.: Aktuelle technische Entwicklung der Bauschutttaufbereitung mit dem Ziel der höherwertigen Verwertung. Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.3, p. 119-129.
- [12] Építési törmelékanyagok újrahasznosítása a környezetkímélés és lerakóhely takarékoság céljára. SWIETELSKY-UTVASUT Építő Kft, Dunakeszi, 1993. Zárójelentés.
- [13] Görisch, U.: Aufbereitung gebrauchter mineralischer Baustoffe -Entwicklungstendenzen. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.2, p. 67-72.
- [14] Vollpracht, A.: Fräsrecycling von Asphaltbefestigungen. Strassen und Tiefbau, 48.k.1.sz.p.6-7.
- [15] Schumacher, G.: Recycling-Baustoffe aus Deponie- und Abbruchmaterial. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.1, p. 31-42.
- [16] Leonhard, J.: Untersuchungen zum Zerkleinerungsverhalten von Wasch- und Grubenbergen im Hinblick auf die weitere Verwendung. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.2, p. 73-86.
- [17] Heimsoth, W.: Wirtschaftliche Aufbereitung von Baurestmassen. Aufbereitungs-Technik 31 (1990) Nr.10, p. 556-560.
- [18] Jungmann, A. - Neumann, Th.: Alljig^R-Setzmaschinen zur Abtrennung schädlicher Bestandteile aus Kies, Sand und Recycling-Material. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.1, p. 18-25.
- [19] Beck, K.: Der Fräsbrecher 1300 - ein Gerät zum Aufbereiten von Asphalt-Schollen zu Asphalt-Granulat. Aufbereitungs-Technik 31 (1990) Nr.8, p. 447-449.
- [20] G. Benen: Neue fahrbare Bauschutt-Recyclinganlage mit Überkornrückführung Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.5, p. 259-261.
- [21] Bauschuttrecycling mit modernster Technik durch Kombi-Konzept. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.5, p. 256-258.
- [22] Momber, A.: Ein zerkleinerungstechnischer Aspekt der Betonbearbeitung mittels Druckwasserstrahlen. Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.5, p. 252-256.

- [23] BAUMA 89 Teil 1. Aufbereitungs-Technik (1989) Nr.2.
- [24] Niermöller, F.: Neuartige Recycling-Anlage für Grabenaushub. Aufbereitungs-Technik (1989) Nr.8, p. 484-489.
- [25] Aufbereitungstechnik - umfassendes Programm für Steinbruch und Recycling, Bergbau, 44. k. 8.sz. 1993. p. 357-358.
- [26] Mesters, K. - Kurkowski, H.: Dichtesortierung von Recycling-Baustoffen mit Hilfe der Setzmaschinentchnik Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.10, p. 536-542.
- [27] Derks, Rijswijk, J. W. - Moskala, R. - Schneieder, U. -Kühn: Naßaufbereitung von Bauschutt mit Schwingsetzmaschinen. Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.3, p. 139-143.
- [28] Kohler, G. - Kirchner, R.: Hochwertige Baustoff-Recyclingprodukte aus stationären Anlagen. Aufbereitungs-Technik 36 (1995) Nr.4, p. 175-178.
- [29] Th. Bischoff: Synergieeffekte bei der Produktion von Kies und Sand sowie Recycling-Baustoffen. Aufbereitungs-Technik 36 (1995) Nr.2, p. 78-80.
- [30] Neue Perspektiven im Baustoffrecycling, Baustoffaufbereitungszentrum Dresden-Ost der Remex. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.12, p. 644-646.
- [31] Schumann, R. - Kwiasowski, R.: Hochwertige Recyclingbaustoffe durch moderne Aufbereitungstechnik. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.7, p. 349-357.
- [32] Heckötter Ch. - Ratingen: Bauschutt aufbereitung Recycling of building rubble Aufbereitungs-Technik (1987) Nr.8, p. 443-449.
- [33] Forsthoff, W.: Zur Aufbereitung von verunreinigtem Hartgestein. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9, p. 478-485.
- [34] Guntermann, P.: CRG Cottbus - eine anpassungsfähige, vielseitige Bauschutt-Recyclinganlage nach modernstem Konzept. Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.2, p. 93-98.
- [35] Schwate, W.: Reststoffverwertung im Natursteinwerk Theuma (Vogtland). Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.8, p. 425-426.
- [36] Neu Recyclinganlage in Magdeburg eingeweiht! Aufbereitungs-Technik 34 (1993) Nr.8, p. 430-431.
- [37] RZB-Recycling-Zentrum Bochum - Eine universelle Anlage zur Herstellung von hochwertigen Recycling-Baustoffen. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.8, p. 434-442.
- [38] Maurer, H.: Neuartige Brechertechniken als wirtschaftliche Problemlösung beim Bauschuttrecycling. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.1, p. 26-30.
- [39] Hanisch, J. - Jäckel, H.G. - Eibs, M.: Zu aufbereitungstechnischen Aspekten des Baustoff-Recyclings. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr.1, p. 10-17.
- [40] Kaulbarsch, R. - Hellmann, R. - Rakemann, W. - Zibulski, H.-D.: Müllschlackenbehandlung ind der MVB Hamburg-Borsigstraße. Aufbereitungs-Technik 38 (1997) Nr.10, p. 527-535.
- [41] Betonschwellen- und Geisschotteraufbereitungsanlagen Unseberg. Aufbereitungs-Technik (1997) Nr.6, p. 335-336.
- [42] Aufberetungstechnik-umfassendes Program für Steinbruch und recycling. Bergbau.1993.No.8.p.357-358
- [43] Tarján, G.: Mineral processing. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981
- [44] Müller, G.: Einsatz von Vertikal-Prallbrechern als Alternative zu herkömmlichen Zerkleinerungsverfahren. Aufbereitungs-Technik (1988) Nr.1, p. 26-31.
- [45] Willkomm, W. - Weber, H.: Beton-Recycling, Strassen- und Tiefbau, 42.k. 7/8. sz. 1988. p. 11-15.

- [46] Baustoff-Recycling beim Abbruch von großen Industrieanlagen: Beispiel Industriewerke Karlsruhe. Allgemeine Bauzeitung Wochenzeitung für das gesamte Bauwesen, Patzer Verlag, 3000 Hannover 1 Alter Flughafen 15, Ausgabe 36/88 vom 9. September, Seite 14
- [47] Die Dr.Fink-Stauf Umwelttechnik arbeitet jetzt mit einer mobilen Bauschutt- und Straßenaufbruch-Recyclinganlage Mobipact-S von KHD Humboldt Wedag. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.5, p. 276-.
- [48] Hanisch, J.: Aktueller Stand der Bauabfallsortierung Aufbereitungs-Technik 39 (1998) Nr.10, p. 485-492.
- [49] Petit, E.: Entwicklung einer Sortiereinheit zur naßmechanischen Aufbereitung von Bauschutt. Aufbereitungs-Technik 39 (1998) Nr.10, p. 493-500.
- [50] Yoast, P. A.; Halstead, J. M.: A methodology for quantifying the volume of construction waste. Waste Management and Researc, 14. k. 5. sz. 1996. okt. p. 453-461.
- [51] Sprenger, U.; Just, Ch.: Die Kontamination der Bausubstanz von ehemaligen landwirtschaftlichen Grossanlagen in den neuen Bundesländern. Müll und Abfall, 28. k. 7. sz. 1996. p. 473-482.
- [52] Walker, I.: Umgang mit gemischten Bau- und Abbruchabfällen Müll und Abfall, 12. 1998. p. 777-779.
- [53] Sindt, V.; Ruch, M.: Möglichkeiten zur Verbesserung der umweltverträglichkeit aufbereiteter Hochbaurestmassen. Müll und Abfall, 29. k.4. sz. 1997. p. 192-200.
- [54] Kolb, H.; Pollak, T.: Nassaufbereitungsverfahren zur Verwertung der Fraktion <8 mm aus dem Hochbaurestmassenrecycling. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 134. k. 4.sz. 1998. p. 133-136.
- [55] Townsed T.: What's the right choice for C&D Waste?. Waste Age, 29. k. 3.sz. p. 90-100.
- [56] Hugener, M.; Mattrel, P.; Schmid, P.; Fritz, H. W.: Recycling von Straßenbelagen - ein Umweltproblem? Chimia, 52. k. 5. sz. 1998. p. 225-229.
- [57] Nicolai, M.: Konfiguration wirtschaftlicher Bauschutt-aufbereitungsanlagen. Aufbereitungs-Technik 36 (1995) Nr.4., p. 157-168.
- [58] Tränkler, J.: Verbesserung der Produktqualität bei der Bauschutt-aufbereitung durch nasse oder trockenei Behandlung? Aufbereitungs-Technik 33 (1992) Nr.4., p. 194-201.
- [59] Kohler, G. - Kirchner, R.: Hochwertige Baustoff-Recyclingprodukte aus stationären Anlagen. Aufbereitungs-Technik 36 (1995) Nr.4., p. 175-178.
- [60] Blick, E. - Hettler, A. - Kissel, M.: Selektiver Rückbau eines Kraft-werkblocks. Müll und Abfall 12 (96) 786-790.
- [61] Willkomm, W. - Weber, H.: Beton-Recycling. Strassen- und TiefbauNo.7/8,. 1988. p.11-15.
- [62] Vollpracht, A.: Fräsrecycling von Asphaltbefestigungen. Strassen- und Tiefbau. 1996, No. 1. p.6-7.
- [63] Toussaint, A.: Zur Verwitterungsbeständigkeit von RC-Baustoffen. Straße + Autobahn 9/97. p.497-501.
- [64] Forsthoff, W.: Zur Aufbereitung von verunreinigtem Hartgestein. Aufbereitungs-Technik 35 (1994) Nr.9., p.478-485.
- [65] Glet, W.: Aspekt zu den Emissionen aus Bitumen, Asphalt und alten Straßenausbaustoffen. Gefahrstoffe - Reimhaltung der Luft 58 (1998) Nr.10., p. 397-406.
- [66] Kieslinger, R.M.: Baustoffforschung für Ökologie und Recycling. Korrespondenz Abwasser 43. (1996) 11. p. 1912-1917.
- [67] Jakob, G.: Baustellenabfallentsorgung. Müll und Abfall 3 (1997) p. 158162.

- [68] Bekcer, L.P. - Golser, J. - Kraiger, H. - Stiber, B.: Wiederverwertung und Deponierung von Ausbruchsmaterial. Felsbau 15 (1997) Nr.2. p. 108-110.
- [69] Walker, I. - Souren, R.: Die Branche der Bauabfallaufbereiter - Chancen und Risiken des Wettbewerbs auf zwei Märkten. Müll und Abfall 1 (1998) 11-18.
- [70] Böckmann, H. - Schmücker, Th.: Bauschutt- und Asphaltaufbereitung maschinentechnisch und technisch gelöst. Aufbereitungs-Technik Nr. 10. (1981) p. 550-555.
- [71] Bischof, R.: Baustoffrecycling - eine ökonomische und ökologische Perspektive. WLB Wasser, Luft und Boden 9/1996. p. 64-65.
- [72] Jakob, G.: Baustellenabfall - Entsorgungslogik. Müll und Abfall 8 (1997) p. 479-485.
- [73] Neue Bauschutt-Recyclinganlage in Breisach. Aufbereitungs-Technik 32 (1991) Nr. 3. p. 153-154.
- [74] Svájci kezdeményezések útburkoló anyagok visszanyerésére. (Aus alt mach neu.) Strasse und Verkehr, 72.k. 6.sz. 1986. p. 398-400.
- [75] Springenschmid, R. - Fleischer, W.: Zur Technologie der Wiederverwendung von altem Strassenbeton. (Elhasznált útbeton újbóli felhasználásának technológiai feltételei.) Strasse und Autobahn 44,k, 12,sz, 1993. p. 715-718.
- [76] Meade, K.: Is asphalt a sponge for recyclables?. Waste 20.k. 1.sz. 1989. p. 75-76.
- [77] Kotte, G.: Abfallvermeidung und -entsorgung im Baubetrieb. Tiefbau Ingenieurbau Strassenbau, 1992. 11.sz. p. 837-840.
- [78] Slabik, L.: Effizientes Baustoffrecycling mit mobilen Anlagen. WLB Wasser, Luft und Boden, 1993. 9.sz. p. 60-62.
- [79] Grünberg, T. - Herold, H. - Irmer, W.: Untersuchungen zur Energieeffektivität thermischer Verfahren zum Trennen von Beton. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.1-8.
- [80] Ehlers, S. - Schreier, M. - Tomas, J.: Erste Ergebnisse der Prallzerkleinerung von Beton. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.9-18.
- [81] Wachsmann, St. - Poppy, W.: Neuer Ansatz zur Analyse der Prallzerkleinerung. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.19-24.
- [82] Wollenber, G. - Scheibe, H.-P., Zange, R. - Hoyer, B.: Elektromechanische Zerkleinerung. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S. 25-32.
- [83] Friedrichs, J. - Tomas, J.: Untersuchungen zur Aerosortierung von Bauabfällen. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. 33-42.
- [84] Vorbau, B. - Ißleib, A. - Ambos, E.: Einsatz gegossener Schlagleisten aus Manganhartstahl in Baustoffrecyclinganlagen. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.43-49.
- [85] Lubojanski, I. - Friedel, A. - Ißleib, A. - Ambos, E.: Grundlagen zum Verbundgießen plattenförmiger Bauteile. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.50-55.
- [86] Popke, H. - Helmecke, H. - Emmer, Th.: Bearbeitung von Aktivelementen für Recyclinganlagen. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.56-64.
- [87] Petzold, S. - Veit, P.: Charakterisierung eines Werkstoffverbundes Chromguß - Vergütungsstahl. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S. 65-72..

- [88] Patzelt, B. - Deters, L.: Untersuchungen zum Verfestigungsverhalten von Manganhartstählen. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. 73-78.
- [89] Dora, B. - udelmann, H.: Eigenschaften von Recyclingbeton. „Baustoffrecycling“ Kolloquium der Otto von Guericke Universität Magdeburg, am 08. Februar 1996. p. S.79-86.
- [90] Holzkamp, J.: Produktrecycling im Bauwesen - Bauteilorientierter Rückbau von Gebäuden. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1997. p. 205.248.
- [91] Abfallwirtschaft am Bau. Kröpfel-Speitzer Ges.m.b.H., SRD Salzburg. Prospekt
- [92] AUBEMA.Zweiwalzen-Brecger, Prospekt
- [93] Böhlinger Ratzinger. Aufbereitungsanlagen, Prospekt
- [94] Zeppelin Brech- und Recyclingtechnik Zeppelin Baumaschinen GmbH. Prospekt
- [95] Nemesdy, E.: Útályaszerkezetek I. (Útépítéstén II.),
- [96] Csöke, B. - Böhm, J.-Tarján, I.: Separation of scrap and other wastes in air-flow. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Polska. Akademia Nauk, Kraków. 1995/4, Tom 11, p.480-491.
- [97] Umweltdaten Deutschland 1998. Umwelt Bundes Amt (Statistisches Bundesamt)
- [98] Kleemann Reiner katalógus
- [99] Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Band. I. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig. 1975
- [100] Csöke, B.: Simulation and optimization of crushing technologies. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Polska Akademia Nauk, Kraków. 1995/4, Tom 11, p.480-491.
- [101] Csöke, B.: Zerkleinerung von Abfällen. Publications of the University of Miskolc, Series A. Mining, Vol. 48(1993), Fasc.1-4., pp.75-88.
- [102] Schubert, G.: Vorlesung für ungarische Fachleuten „Aufbereitung der kommunalen Abfälle“. TU Bergakademie Freiberg. 15-19. Juli 1997.
- [103] Schulze und Noack Recycling System GmbH (INSTA) katalógus
- [104] INGAN GmbH katalógus

8.3. Szénerőműi pernyék

Készítette: Dr. Mucsi Gábor

8.3.1. Az erőműi pernye és hasznosítása

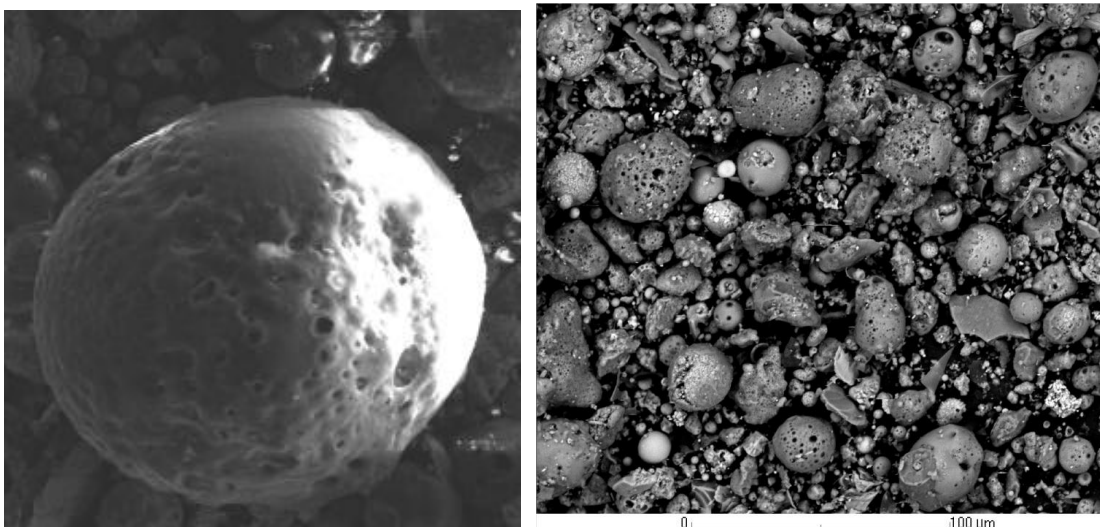
Az elsődleges nyersanyagok mennyiségének folyamatos csökkenése, és azok árának emelkedése világszerte arra ösztönzi a szakembereket, hogy a nagy tömegekben rendelkezésre álló másodlagos nyersanyagforrásokat kutassák. Ilyenek például az olyan ipari melléktermékek, mint a szénttüzelésű erőművekben keletkező szállópernye és salak vagy a kohászatból származó kohósalak. Ezen anyagok jó fizikai és kémiai tulajdonságaiknak köszönhetően kiválóan alkalmasak az építőipari hasznosításra. Jelen cikk az erőműi pernyével foglalkozik, amelyből hazánk nagy „nyersanyagvagyonnal” rendelkezik, amelynek mennyisége folyamatosan növekszik, mivel a szilárd tüzelőanyagok az energiatermelésben fontos szerepet játszanak, Magyarországon és az egész világon. Magyarország pernyetermelése 3,5 millió t, Európáé 60 millió t és Kínáé 200 millió t évente.

Pernye tulajdonságai

Az erőműi pernye szén elégetésekor keletkező, az elektrofilterekben vagy mechanikai porleválasztókban leválasztott gömbölyű, üveges szemcséjű puccolános tulajdonságokkal, ill. puccolános aktivitással rendelkező porszerű maradékanyag, amely vízzel keverve önmagában rendszerint nem, de oldott kalcium-hidroxid jelenlétében megköt, vízben gyakorlatilag oldhatatlan reakcióterméket (C-S-H) képezve megszilárdul (Opoczky, 2001). A $\text{Ca}(\text{OH})_2$ és a pernye aktív anyaga (elsősorban az SiO_2) közötti reakciót puccolános reakciónak (1) nevezik, a pernyét pedig „mesterséges puccolánnak”.



Az erőművekben leválasztott pernyét legtöbbször hidraulikus szállítás útján híg- vagy sűrűzagos technológiával (Gombkötő, 2007) zagyatárolón deponálják.



8.3.1.1. ábra: Pernye szemcse SEM felvétele

A pernyék származásukat tekintve lehetnek lignit-, barnaszén- vagy kőszénpernyék, kinyerési módjuk szerint filter vagy ciklon pernye, továbbá aktivitásuk és kémiai összetételük szerint is lehet osztályozni őket.

A leggyakoribb osztályozási mód a kémiai összetételük szerinti csoportosítás, amely szerint az egyik fajta a *savanyú pernye* (SiO_2 tartalmuk 45...60 %, CaO -tartalmuk < 15 %, ezen belül az aktív mésztartalom nem lehet több mint 10 %), amelyet a nemzetközi irodalomban szoktak F típusú pernyének is nevezni. A másik osztályba tartozik a *bázikus* - vagy más néven C osztályú - *pernye*, amely 30...40 % CaO (aktív mésztartalom több lehet mint 10 %) tartalommal és mindössze 20...25 % SiO_2 tartalommal rendelkezik. Ezek az elnevezések csak az anyag oxidos összetételére vonatkoznak, függetlenül azok kémhatásától. A pernyék kémiai összetétele elsősorban a szén meddőjét képező kőzetek összetételétől függ. További fontos alkotórész az Al_2O_3 (15 ...30 %) és az Fe_2O_3 (7...15 %).

Kötőanyagként történő hasznosítás esetében az üveges, amorf fázis a fontos, amely a puccolános reakcióhoz szükséges reakcióképes anyagokat hordozza, név szerint a kvarcot (SiO_2) és alumínium oxidot (Al_2O_3), mely anyagok mennyisége mérvadó a reakció végbemenetelében.

Ma Magyarországon a savas jellegű pernyék cementkiegészítő anyagként való hasznosítását az MSZ EN 4706-4:1998 szabvány rögzíti. A követelmények a következők:

- Izzítási veszteség: $\leq 5\%$ (m/m),
- Reakcióképes szilícium-dioxid $\geq 25\%$ (m/m),
- Reakcióképes kalcium-oxid $\leq 5\%$ (m/m),
- Szulfáttartalom (kén-trioxidban kifejezve) $\leq 3,5\%$ (m/m),
- Kloridtartalom $\leq 0,1\%$ (m/m),
- Magnézium-oxid tartalom $\leq 5\%$ (m/m).

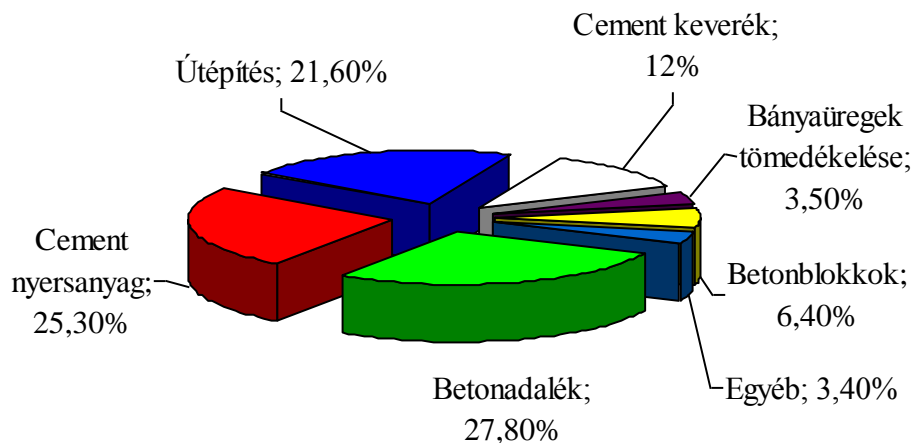
Fenti adatok közül az izzítási veszteség nagy érték esetében leronthatja a betontermék fagyállóságát, a magas szulfáttartalom pedig a cement megdermedését befolyásolhatja

Kémiai tulajdonságokon túl a pernye fontos anyagjellemzője a finomsága, amelynek mértékére a Blaine-féle fajlagos felületből vagy a szemcseméret-eloszlásból következtethetünk. Méretük legtöbbször 100 μm alatti, Blaine-finomságuk pedig 2500...5000 cm^2/g közötti. Ezen értékek nagymértékben függenek a szénőrlő malom és a kazán üzemviszonyaitól, valamint a porleválasztó berendezések hatásfokától.

Hasznosítási lehetőségek

A pernye, másodnyersanyagként való felhasználása mellett három jelentős érv szól: **az anyagtakarékosság, az energiatakarékosság és a környezetvédelem**. A szóban forgó másodlagos nyersanyag hasznosítása közös érdek, ugyanis a felhasználók mellett jelentős előnnyel jár az erőművek üzemeltetőinek (kevesebb pernyét kell kezelni és tárolni) és a lakosságnak is, nevezetesen az így felszámolt pernyehányókkal értékes földterületeket tudunk felszabadítani, és pl. mezőgazdasági célra felhasználni. További előnyként jelentkezik a primer ásványkincsekkel (mész, dolomit, agyag, homokos kavics, stb...) való racionális gazdálkodás, a lelőhelyek megőrzése és az előkészítésük során befektetett energia csökkentése, valamint a CO_2 emisszió visszaszorítása.

Az Európai Unió legjelentősebb pernyehasznosítási területeit és azok megoszlását mutatja a 2. ábra. Ezeken túlmenően perspektivikus felhasználási lehetőség a téglagyártás és a veszélyes hulladékok ártalmatlanítása az ún. stabilizálás/beágyazás (S/S) módszerével.



8.3.1.2. ábra: Pernyehasznosítási területeket az EU-ban (2002)

Ahogy azt láthatjuk a pernye útépítési hasznosítása jelentős részt képvisel. Ezen a területen alapvetően kétféle módon lehet felhasználni az erőműi pernyét. Egyrészt közvetlenül kinyerés után, amikor töltések, földművek építhetők belőlük, vagy adalékként alkalmazhatjuk betonhoz, esetleg lehet töltőanyag pl. az aszfaltgyártás során. Másrészt pedig a megfelelő technológia (nyersanyagelőkészítés) közbeiktatásával közvetett módon is hasznosíthatjuk a szóban forgó másodnyersanyagot. Ez utóbbi esetben alternatíva lehet önálló kötőanyag (bázikus pernye) előállítás, vagy pedig kötőanyag gyártása (kémiai és/vagy fizikai aktiválással), vagy hidraulikus vegyes kötőanyagok gyártása (mint kiegészítő anyag).

A pernye hasznosításával kapcsolatos előírásokat tartalmaz az „EN 450 Pernye betonhoz. Meghatározások, követelmények és minőség ellenőrzés” és az amerikai „ASTM C 618 Szabvány specifikáció szén pernyéhez és nyers vagy kalcinált természetes puccolánhoz ásványi adalékként történő felhasználására betonban” c. szabványok.

Fontos szervezet Európában az ECOBA (European Association for USE of the By-products of Coal Fired Power Stations), amely számon tartja a statisztikai adatokat és koordinálja a széntüzelésű erőművek melléktermékeinek felhasználási folyamatait.

Hazai helyzet

A hazánkban található pernyehányók javarészt savanyú pernyét tartalmaznak, és mindössze két helyen található bázikus pernye, Ajkán és Inotán. A Magyarországon található pernyehányókat és azok területigényét ill. térfogatát az 1. táblázat foglalja össze.

8.3.1.1.táblázat: Magyarországi erőművek tárolóinak pernyekészletei (Csöke és szerzőtársai, 2005)

Erőmű	Zagyter felülete [ha]	Zagyter térfogata [millió m ³]
Ajka	88,0	20,70
Berente	15,0	19,10
Várpalota (Inota)	180,0	27,00
Visonta	51,0	7,60
Oroszlány	105,0	21,00

Pécs	233,3	39,20
Komló	4,0	1,10
Bánhida	25,0	4,60
Dorog	25,0	1,20
Tatabánya	27,0	28,00
Tiszapalkonya	255,0	14,10
Győr I.	0,3	0,11
ÉDÁSZ Győr II:	0,4	0,16
Sopron	0,5	0,30
Összesen	1009,5	184,2

Hazánkban a legjelentősebb pernye felhasználási területek a betonadalékként, cementadalékként (beleértve a cementnyersanyagként) való hasznosítás, valamint az útépités. Ez utóbbi azonban a korábbi kecsegtető eredmények ellenére visszaszorult a 90-es évektől kezdődően.



8.3.1.3. ábra: Tiszaújvárosi pernyehányó kitermelés alatt

Számos kísérleti útszakasz épült hazánkban az 1970-es években összesen több millió m² felülettel (alapréteg, erősítő alapréteg, aszfaltréteg pernye töltőanyaggal) és az információk szerint a technológiai előírások betartása mellett épült szakaszok esetében nem volt minőségi kifogás az utóvizsgálatok során (Lachner, 2002). A megfelelő technológiák, tudásanyag és kutatási tapasztalat ellenére azonban a 90-es évek elejére a pernye útépitési hasznosítása teljesen megszűnt az országban. Ezzel szemben a nemzetközi gyakorlatban az eröműi pernyét - egyéb „hulladékok” mellett - nagy arányban hasznosítják különböző technológiákban, mivel ezzel **gazdasági megtakarítást** érnek el. Ilyen országok, például az Egyesült Államok, Németország, Franciaország vagy Lengyelország.

A nemzetközi és a hazai útépitési pernyehasznosítási példák egyaránt azt bizonyítják, hogy a széntüzelésű eröművekben keletkező pernyét az útépités és -fenntartás területén több technológiában is lehet alkalmazni. Fontos adat, hogy jelenleg Magyarországon a szilárd burkolat nélküli önkormányzati utak aránya kb. 40 % (Gáspár, 2005).

Szinte egyedüli példa a közelmúltból a tiszaujvárosi „régii pernyehányó” 2006-ban történt hasznosítása az M3-as és az M30-as autópályák földművének építéséhez (3. ábra), ahol közel

1 millió m³-nyi pernyét használtak fel. Ettől eltekintve azonban nem lehet további jelentős eredményről beszámolni.

Szintén előrelépést jelent a „Pernye alkalmazása útépitési kötőanyagként” című üzleti műszaki előírás (ÚT 2-3.603:2002). A termékfajták meghatározása a kémiai, a fizikai és a puccolános követelmények alapján rögzített. Ezek szerint lehet savas jellegű pernye (V), bázikus pernye (W), zagyteri salakpernye (VN), kezelt pernye (VK), mészdonorpor (MP), mészdonorfolyadék (MF).

Összegzés

Jelenleg Magyarországon számos helyen és igen jelentős mennyiségben keletkező és deponált erőműi pernye fontos szerepet tölthetne be a jövőbeli hazai infrastruktúra fejlesztésében, főleg a kis- és közepes forgalmú utak, mellékutak építésénél gazdaságos pályaszerkezetek létrehozásával.

Az országunkban eddig keletkezett pernye mennyisége, becslések szerint, kb. 184 millió m³, amely jól felhasználható másodnyersanyag forrást jelenthet. A fenntartható fejlődés biztosítása és a természeti erőforrások ésszerű felhasználása érdekében, célszerű a másodnyersanyagok, közöttük az erőműi pernye termelési folyamatokban történő hasznosítása.

Ellentmondást jelent, hogy a közel 100 %-os nyugat-európai pernyehasznosítási arány ellenére hazánkban ez az érték igen csekély, amelyet a kiküszöbölhető előkészítéstechnikai hiányosságok magyaráznak, úgymint garantált és egyenletes minőség, valamint megfelelő egyéb paraméterek (örlési finomság, izzítási veszteség és aktivitási index, szállításkor kiporzás).

Fenti hiányosságok megoldása érdekében alakult egy konzorcium, amely sikeresen megvalósította a „Pernyebázisú kötőanyag előállítását szolgáló technológiai rendszer kifejlesztése” című GVOP-3.1.1-2004-05-0113/3.0 számú projektet, amelynek fő célja egy pernyevalapú minőséggarantált önálló kötőanyag kifejlesztése volt.

8.3.2. Egy kutatás-fejlesztési projekt eredményei

Jelen fejezet egy 2005-2007 közötti időszakban sikeresen megvalósított projekt eredményeiről ad számot, nevezetesen a „Pernyebázisú kötőanyag előállítását szolgáló technológiai rendszer kifejlesztése” című GVOP-3.1.1-2004-05-0113/3.0 számú munkával kapcsolatosan. A projekt fő célja kis költségű pernyevalapú minőséggarantált különösen az útépités céljait szolgáló önálló kötőanyag kifejlesztése volt (lehetővé téve a gazdaságosabb útpályaszerkezetek építését), amely kapcsán laboratóriumi, és félüzemi méretű kísérleteket hajtottunk végre. A konzorcium tagja volt a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete, a H-TPA Innovációs és Minőségvizsgáló Kft., a Közlekedéstudományi Intézet Kht. és az Ipari Hulladékhasznosító Kht. A projekt szakmai koordinátora Prof. Dr. Csőke Barnabás volt.

A projekt tárgya :

- pernyebázisú kötőanyag-termékek előállítására alkalmas technológia kidolgozása;
- az alkalmazandó eljárások kísérleti vizsgálatokkal történő szakmai-tudományos megalapozása;
- a fejlesztő munka eredményeként, a bevezetést és a szélesebb körű elterjedést szolgáló technológiai mintarendszer kialakítása.

Anyagtulajdonságok

A kutatás I. munkaszakaszában mintákat vettünk a miocén, eocén, kréta és liász szenek égetéséből származó pernyehányókról (Tiszaújváros, Ajka, Pécs, Tatabánya). Ezt követően

megvizsgáltuk a minták oxidos kémiai összetételét. A felhasználás szempontjából legfontosabb oxidok - Al_2O_3 , CaO , SiO_2 és Fe_2O_3 - összetételéből megállapítható volt, hogy a minták minőségi jellemzői sem vertikálisan, sem pedig horizontálisan nem mutattak nagy szórást.

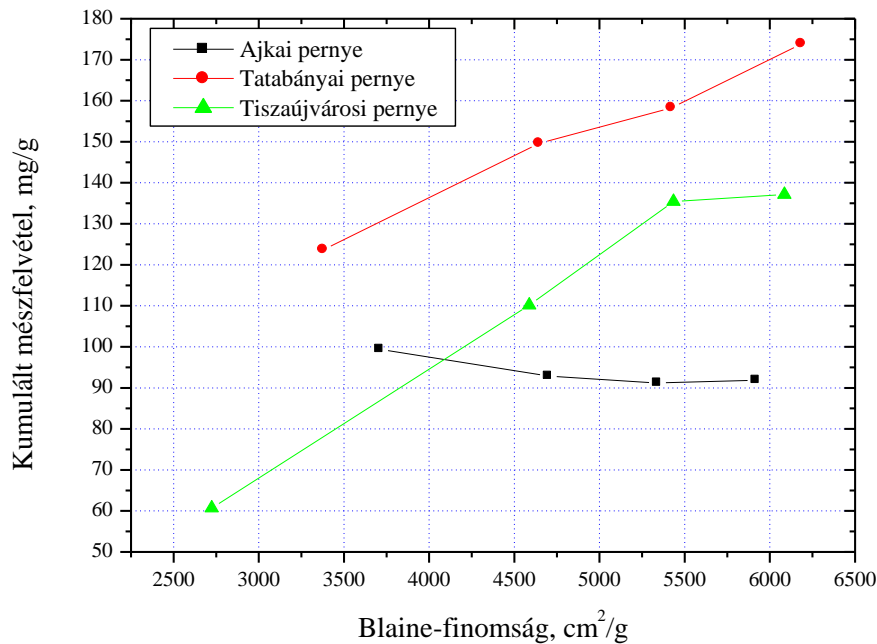
A hazai pernyekészletek mennyiségi és minőségi jellemzőinek felmérése a témaművelés első fázisának fontos feladatát képezte. Az országos körű kataszterkészítés minden egyes hazai pernyehányó vonatkozásában a következő adatok felvételére terjedt ki: a tulajdonos, a helyszín azonosítható módon történő leírása, a területi kiterjedés és a tárolt (becsült) mennyiség. Mindemellett az ipari melléktermék katasztert készítő Közlekedéstudományi Intézet Kht. szakértői javaslatot készítettek az anyag útépitési felhasználására, az ehhez szükséges laboratóriumi vizsgálatokra és a pernyehányóból történő elszállításának lehetőségeire vonatkozólag is.

A II. munkaszakasz fő célját a hazai pernyék minőségéhez igazodó gyártási technológia minőség szabályozásának tudományos megalapozása képezte. Ebben a munkaszakaszban szükségesnek láttuk a radiokémiai vizsgálatok elvégzését is. Az összesített adatok alapján megállapítható, hogy a tiszaujvárosi pernye szinte korlátlanul felhasználható építőanyag előállítására, és elfogadhatóan alacsony a pécsi és a tatabányai pernye radioaktivitása is. Ebben a munkaszakaszban határoztuk meg továbbá a pernye minták eljárás-technikai tulajdonságait, úgymint szemcseméret eloszlás, valódi- és halmazsűrűség, Blaine- és BET-féle fajlagos felület. Ezen kívül megállapítottuk az egyes nyersanyagok fajlagos őrlési energiaigényét (12...16 kWh/t), és feltártuk az őrlési finomság és őrlési munka közötti függvénykapcsolatot.

Ezeken túlmenően elvégeztük a pernyeminták nedvességtartalom, izzítási veszteség és ásványos összetétel vizsgálatát.

Puccolános aktivitás szabályozása őrléssel

Köztudott, hogy az őrléssel vagy más néven mechanikai aktiválással növelhetjük a puccolános tulajdonságokkal rendelkező anyagok reaktivitását. Az őrlés puccolános aktivitásra gyakorolt hatását alapvetően kétféle módon határozhatjuk meg. Az egyik módszert a MSZ EN 196. sz. szabvány szerint kell végrehajtani, ahol szilárdsági vizsgálatok eredményei alapján nyerjük az ún. aktivitási indexet. A másikat pedig a CK HSZ 4706-2 sz. „Cementkiegészítő anyagok. Természetes puccolános anyagok (trasszok).” c. módszert követve kell elvégezni, ahol mérjük az egységnyi tömegű pernye által felvett mész mennyiségét. Ez utóbbira mutat példát az 1. ábra.



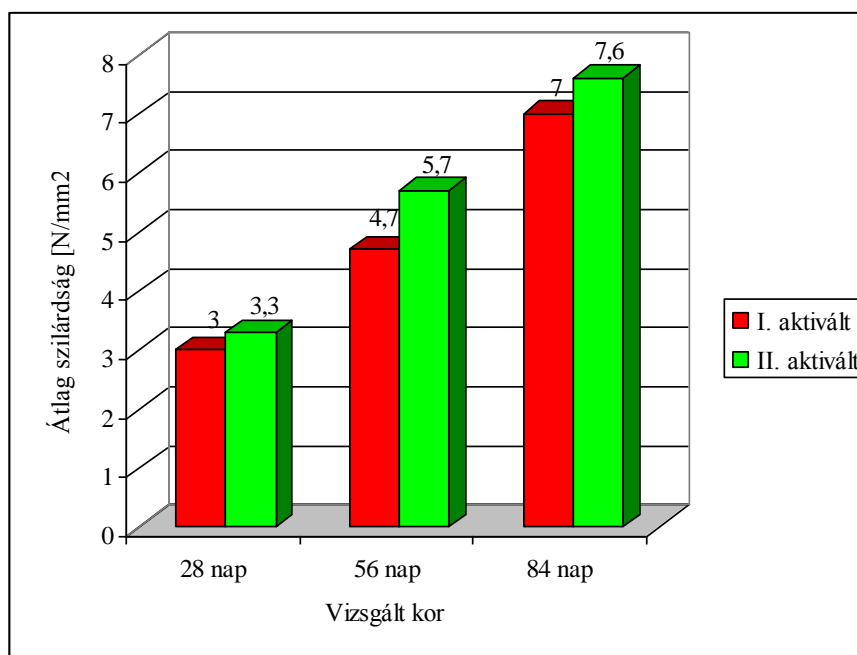
8.3.2.1. ábra: Pernye őrlemény finomsága és puccolásos aktivitása közötti kapcsolat

A kísérletek alapján megállapítottuk, hogy a mechanikai aktiválás (őrlés) jelentős hatást gyakorolt a tatabányai és tiszaujvárosi pernyék hidraulikus aktivitására (savanyú pernyetípusok), azaz ezen minták összes mészfellevő képessége (60 nap alatt) 40,6 %-kal, valamint 125,9 %-kal növekedett.

A bázikus ajkai pernye, amely eredetileg 38,96 % - os CaO tartalommal rendelkezett, mészfelvétele csekély mértékben változott (7,56 %-kal lecsökkent) az őrlési finomság növekedésével.

Pernye-mész kötőanyag-keverékek szilárdsága

E mérési sorozatban különböző kötőanyag adagolások mellett végeztünk az útpályaszerkezetek méretezéséhez használt nyomószilárdság (hengersizilárdság) vizsgálatokat az MSZ-EN 12390-3:2002 szabvány szerint, illetve ehhez kapcsolódva fagyállóság, és hasítószilárdság vizsgálatokat. Minden esetben aktiválatlan, I. aktiváltsági fokú ($t = 20$ min őrlési idő) és II. aktiváltsági fokú ($t = 30$ min őrlési idő) pernye-őrleményből készítettünk különböző pernye-CaO-keverékeket, majd e kötőanyagokkal készített beton próbatestek szilárdságát a jellemző korokban megmértük. A legkedvezőbb eredményeket a 170 kg/m^3 -es kötőanyag adagolás mellett értük el. A pontos adatokat a 2. ábrán láthatjuk. Ebben az esetben az őrlés 10...20 %-os szilárdságjavulást eredményezett.



8.3.2.2. ábra: Tiszaújvárosi pernye kötőanyagú próbatestek törési eredményei
(I.aktivált: t=20 min; II.aktivált: t=30 min őrlési idő)

A négy különböző vizsgálatba vont pernye (ajkai - bázikus, tatabányai, pécsi és tiszaújvárosi - savanyú) anyagtulajdonsága, szilárdsága és puccolános aktivitásának ismeretében megállapítottuk, hogy a további kísérleteket a tiszaújvárosi pernyehányóról származó pernyemintával célszerű lefolytatni.

Félüzemi kísérletek

A III. munkaszakasz két legfontosabb része a félüzemi kísérletek végrehajtása és az így előállított kötőanyagból kísérleti útszakasz megépítése volt. A pernyehányóról kitermelt nyers pernye előkészítésének eljárásai az alábbiak voltak: (1) a földnedves pernye szárítása, (2) durva szennyező rész (szerves anyagok, agyagos rögök,...) leválasztása 5 mm-es szitával, (3) a pernye őrlése rezgőmalomban és végül (4) mésszel történő keverése tányéros keverővel a kívánt homogén koncentráció eloszlás elérése érdekében. A gyártott 4,4 t mennyiségű kötőanyagot 50 kg-os zsákokban szállítottuk a beépítés helyszínére.

Nagyminta kísérletek: kísérleti útszakasz megépítése

A fenti jellemzőkkel gyártott 4,4 tonna tiszaújvárosi pernye-CaO kötőanyagból 30 m hosszúságú próba útszakaszt építettünk 170 kg/m³-es kötőanyag adagolással a nagyminta szilárdsági vizsgálatok elvégzése céljából. Ezáltal valós körülmények között tudtuk vizsgálni az elkészült úttest tulajdonságainak változását tényleges időjárási körülmények között. A beépítésre helyszíni keveréssel, megfelelően előkészített tükrön került sor. Minden rétegen mértük a teherbírást és a tömörséget, valamint a pernye kötőanyagú keverékből készült alapréteg tetején periódikusan méréseket végeztünk, nyomon követve a pernye kötőanyagra jellemző utószilárdulást. Az építésen készült képeket a 3. ábrán láthatjuk.



8.3.2.3. ábra: Kísérleti útszakasz építése (Csóke, Mucsi, Sík, 2008)

A helyszíni beépítés során mintát vettünk a keverékből, és azt laboratóriumi körülmények között szabványos tömörítő munkával, Proctor döngölővel tömörítettük. Mindezek mellett a tervezett kötőanyag adagolásnak megfelelően, laboratóriumi körülmények között is előállítottuk a keveréket. Az eredmények alapján 63 napos korban mind a helyszíni, mind pedig a laboratóriumi keverék teljesíti a CB1 szilárdsági osztály követelményeit ($3,7 \text{ N/mm}^2$), a laboratóriumi minták pedig a CB2 osztály kritériumait is ($5,5 \text{ N/mm}^2$) kielégítik. Megállapítottuk, hogy az így előállított kötőanyag kis- és közepes forgalmú utak (védőréteg, helyszíni stabilizáció, javítóréteg bizonyos esetekben útpályaszerkezeti alapréteg) építésére alkalmas.

A projekt részeként a Közlekedéstudományi Intézet felmérte a Tiszaújvároshoz közeli, Borsod-Abaúj-Zemplén, Szabolcs-Szatmár-Bereg és Hajdú-Bihar megyében, a következő években megépítendő utakhoz szükséges kötőanyag igényt. Ezek szerint ezeken a területeken 16.000 km kiépítetlen helyi közút található, amelyből 2.800 km belterületen van. Amennyiben ezek nagyobb forgalmának 50 %-át tekintjük, 6 m-es burkolatszélességgel és 20 cm-es rétegvastagsággal a következő 10 éves időszakban kiépítendőnek, akkor a pernyestabilizációs réteg építésére vonatkozó kötőanyag igénye (150 kg/m^3): $252.000 \text{ t}/10 \text{ év} \Rightarrow 25.200 \text{ t/év}$. Ha 240 nap/év (napi 24 h), azaz 5.760 h/év üzemórát veszünk alapul, akkor egy kb. 5 t/h feldolgozóképeségű előkészítőmű építése célszerű az igények kielégítésére.

Összegzés

A laboratóriumi kísérletek eredményei alapján megállapítható, hogy a vizsgálatba vont deponált pernyeminták puccolános aktivitása mechanikai aktiválással (örléssel) szabályozható. Továbbá a megfelelő mennyiségű mészes adagolásával olyan hidraulikus kötőanyag állítható elő, javarészt ipari másodnyersanyagot felhasználva, amelyből készített próbatestek szilárdsága az útügyi előírások ide vonatkozó követelményeit kielégíti, azaz felhasználható utak építésére, más egyéb hulladékanyagok (pl. építési- és bontási törmelék) mellett. Így a megfelelő nyersanyagelőkészítési eljárásokat (örlés, osztályozás, homogenizálás) és technológiákat helyesen alkalmazva kis költségű kötőanyag gyártható.

Vannak olyan útkategóriák, illetve funkciók, amikor nincs szükség sem a fent hivatkozott előírásrendszer, sem a hivatkozott igen magas elérendő szilárdsági eredmények figyelembe vételére. Ezekben az esetekben ez a típusú keverék az adott funkciókhoz hozzáigazított kötőanyag adagolással (a projektben szerzett kötőanyag adagolások szilárdságra való hatását figyelembe véve) versenyképes alternatívája lehet a cement kötőanyagú keverékeknek.

Az utóbbi években Magyarországon kb. 3,5 millió tonna cementet termelnek évente, amelyhez kb. 1 millió tonna import cement érkezik az országba. Egy évben a cementből kb. 2 Mt-t a betonkészítésben hasznosítanak, amelyhez 20...40 % pernye adagolható, azaz átlagban 600 000 t pernye. Mindebből kitűnik, hogy a pernye-adagolással közel a teljes cementimport gazdaságosan és versenyképesen kiváltható lenne, amely nemzetgazdasági szinten jelentős megtakarítást eredményezhet.

Irodalom

- [1] Mucsi, G., Csőke, B., Gál, A., Szabó, M.: Mechanical activation of lignite fly ash and brown coal fly ash and their use as constituents in binders. Cement International No. 4/2009 Vol7., ISSN 1610-6199 pp. 76-85.
- [2] Csőke, B., Mucsi, G., Opoczky, L., Gável, V.: Modifying the hydraulic activity of power station fly ash by grinding Cement International No. 6/2007. Vol. 5. ISSN 1610-6199 pp. 86-93.
- [3] B. Csőke, G. Mucsi, Cs. Sík, L. Gáspár: Fly ash based road construction binder. II International Conference on Environmentally Friendly Roads, Warsaw, 15-16 October 2009. CD-ROM Proceedings. 10 p.
- [4] B. Csőke, G. Mucsi and Cs. Sík: Production and practical application of mechanically activated fly ash-based binding material. VIth International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying 1-4 December 2008, Jamshedpur, India
- [5] Gáspár L.: Másodlagos nyersanyagok az útéépítésben. (2005) IHU Kht.
- [6] Csőke Barnabás, Mucsi Gábor, Karoliny Márton, Sík Csaba, Gáspár László, Erős György: Minőség-garantált őrölt pernye és mészhidrát-bázisú kötőanyag. Találmány: P0700644.
- [7] Csőke Barnabás, Mucsi Gábor, Karoliny Márton, Sík Csaba, Gáspár László, Erős György, Juhász Illés: Eljárás és berendezés minőség-garantált őrölt pernye és mészhidrát-bázisú kötőanyag előállítására. Találmány: P0700645.
- [8] Pernyebázisú kötőanyag előállítását szolgáló technológiai rendszer kifejlesztése. (2007) GVOP-3.1.1-2004-05-0113/3.0 számú projekt zárójelentése
- [9] Opoczky L.: A pernyék szilikátkémiai tulajdonságai. „Tiszta Környezetünkért” Szénerőműi pernyék hasznosításával tudományos konferencia . Miskolci Egyetem Közleményei , A sorozat . Bányászat 55. Kötet. Környezetvédelem , eljárás technika . HU ISSN 0237-6016.p. 97-108 (2001)
- [10] Gombkötő Imre: Környezetbarát meddőzagy kezelés: In Bányászati és Kohászati Lapok, 2007 140. évfolyam, 3. szám p. 20-25. HU ISSN: 0522-3512
- [11] Lachner László: Pernye útéépítési hasznosítása. (2002) Szakmai ismertető a Vértesi Erőmű Rt. Megbízásából.
- [12] Csőke B. , Kiss Á. , Szabó Cs. , Szabó M. , Záray Gy. : (2005) Erőműi pernye, kohósalak és bányameddő hasznosításának nemzetgazdasági szintű vizsgálata (Készült az IHU KHT. megbízásából)

8.4. Kohászati hulladékok

Fejezet szerzője: Prof. Dr. Csőke Barnabás, Dr. Bőhm József

A salak (ipari kőzet) az ércek meddő alkotórészeinek, valamint a fémolvadékokból eltávolítandó nem kívánatos elemeknek folyékony állapotban keletkező, majd megdermedő keveréke.

A vaskohászat az acéltermelői tevékenységhez a természettől nemcsak a vasércet veszi igénybe. A tüzi technológiák kémiai és fizikai folyamataihoz az energián kívül számos ásványi anyagra is szükség van, így pl. mészkő, dolomit, bauxit, mely sort hosszasan folytathatnánk. Ezek az ásványi anyagok az acélgyártás hőmérsékletén folyékony salakban gyűlnek össze és kerülnek kapcsolatba a fémolvadékkal, hogy a tervezett fizikai és kémiai hatásukat kifejtsék. A salak tehát összeolvasztva tartalmazza azon anyagokat, amelyeket a vaskohászat a természetből az acél előállítására érdekében „kölcsonvett” (Bartha L., 2000) .

A salak javítja az építőanyagok tulajdonságait, köztük a beton tartósságát. Különböző mérések azt bizonyítják, hogy az acélműi salak nem hulladék, mivel tulajdonságai hasonlóak, sőt, esetenként jobbak a konkurens anyagokéinál.

Kohászati salakok típusai

A vaskohászati salakok keletkezésüktől függően az alábbi módon csoportosíthatók (Az iparban és a bányászatban... 2004):

- nagyolvasztói salakok vagy kohosalakok,
- konverteres acélműi salakok,
- elektroacél-gyártási salakok
- üstmetallurgiai salakok

Hasznosítás szempontjából az első három csoport a legfontosabb; ezek teszik ki a salakok döntő mennyiségét is.

Nagyolvasztói salakok (kohosalakok) olyan Ca-Al-Mg szilikátok amelyekben a CaO tartalom lekötéséhez elegendő egyéb komponens áll rendelkezésre. Összetételük és tulajdonságaik nem sokban különbözik a bazalttól.

A konverteres acélműi salakok fő alkotói hasonlóak a kohosalakokéhoz; nagyobb CaO és kisebb SiO₂ tartalmuknál fogva azonban esetenként néhány százalék szabad CaO-t (és MgO-t) is tartalmazhatnak. A szabad CaO hidratációra képes, ami térfogati instabilitást (duzzadást) okozhat. A friss salakban 6-12 hónap alatt lejátszódhatnak a térfogatváltozást eredményező folyamatok, a salak stabil állapotba kerül és így hasznosítható. A folyamatot „hőkezeléssel” jelentősen fel lehet gyorsítani. A stabil acélműi salak mechanikai tulajdonságai igen kedvezőek: tömör szerkezete, nagy szilárdsága miatt a koptató igénybevételnek jól ellenáll; útügyi felhasználása Nyugat Európában elterjedt gyakorlat.

Az elektroacél-műi salakok ásványtani összetétele az előző kettő közé esik; hasznosítását az korlátozhatja, ha vízben oldható nehézfém szennyezőket tartalmaz. Útépítésben való felhasználása ugyancsak elterjedt. Hazánkban a Dunaferr Acélművek. Kft. alkalmazza az ún. integrált technológiát, és „termel” ily módon kohosalakot és konverteres acélgyártási salakot (Tardy P., 2002).

Tulajdonságaik, valamint különféle célokra (a fejlett országok gyakorlata alapján bizonyított) alkalmasságuk miatt a vaskohászati salakoknál tolódik el leginkább a határvonal a „hulladék” megítéléstől a „melléktermék” megnevezés irányába [4.5] (Pallag J., 2002).

Az előkészítés célja, feladata

A salakok feldolgozásánál számos esetben a fémek kinyerése a cél. Útépítési célra történő hasznosításkor a fémek kinyerése csak a további feldolgozás előtt célszerűen (fémhasznosítás, környezetszennyezés) megvalósítandó feladat. A valódi eljárás technikai cél az útépítés által igényelt szemcsefrakciók előállítása, a szemcseméret-igényekhez történő rugalmas alkalmazkodás.

Technológiai folyamat

A kohászati salakokat felhasználás előtt előkészítik. Az előkészítés mágneses szeparálást, valamint - a bazaltra és andezitre is alkalmazott - többlépcsős pofás és kúpos-törővel történő aprítást és a végtermék szemcsefrakciók előállítását szolgáló osztályozást foglalja magába.

Az alábbiakban a technológiai megoldásra egy korszerű példát mutatunk be. E technológiai rendszert a Thionville-i székhelyű Societé Lorraine d'Aggregats S. A. francia cég megrendelésére a Svedala csoport tervezte és építette meg a nagyolvasztók salakjának feldolgozására (Dangeleit, M. et al., 1998). A megvalósult üzem kapacitása 1060 t/h.

Az új technológiai rendszer működési helyén, Moyeuve-ben (Metz mellett) levő salakhányó a század eleje és a hetvenes évek között halmozódott fel az intenzív nyersvasgyártás során. A feldolgozandó salakmennyiség kb. 60 Mt-t tesz ki. A nyersanyag szemcseméret-eloszlása 0-600 mm közötti. A nyersanyag fő összetevői: CaO, SiO₂, Fe, Al₂O₃ és MgO.

A rendszer az alábbi műveleteket foglalja magába:

- mágneses szeparálás,
- előtörés,
- végtermék szemcseméretre történő aprítás (utótörés),
- végtermék szemcsefrakciók előállítása (szitálás)

A technológiai rendszer két, egymástól elkülönített, de azonos folyamatsorra oszlik, ami lehetővé teszi a helyzetváltozáshoz alkalmazkodó rugalmas működést. Egy technológiai sor feladása 700 t/h.

Az alábbi leírás ezért értelemszerűen csak egy feldolgozósora vonatkozik.

Előaprítás

Egy vibrációs adagoló választja el a betáplálendő anyag 150 mm-nél kisebb szemcséjű részét; a maradék >150 mm szemcseméretű rész - amelyből a mágneses alkotókat az aprítóberendezés védelme érdekében mágneses leválasztó segítségével már eltávolították-gumiszalagon közvetlenül a Svedala pofás törő 750x1100 mm garatnyílásába kerül. A pofástörőből kapott <220 mm szemcseméretű anyagot ezután egy homogenizáló hányóra szállítják át.

A két technológiai folyamatsorról származó előtöretet, vibrációs adagolóval elválasztott <150 mm szemcseméretű anyagrészt gyűjtő szállítózsalag viszi az előosztályozó két Svedala

vibrátorhoz (szita felület $2 \times 17,3 \text{ m}^2$, ill. $3 \times 8,6 \text{ m}^2$), amelyeket a 0-20 mm, 20-50 mm, 50-120 mm és a $>120 \text{ mm}$ szemcseméretű frakciók előállításához használnak. Egy állítható terelőlap segítségével a különböző szemcsenagyságú frakciók különböző feldolgozási utakra terelhetők:

- a 0-20 és a 0-50 mm szemcseméretű frakciók átmeneti tároló hányókon és rakodósílokon át útépítő anyagként kerülnek felhasználásra;
- a 20-50 és 50-120 mm szemcseméretű frakciók egy második végtermékhányóra kerülnek a közeli szénbányák ellátására;
- mindegyik frakciót homogenizáló hányóra juttatható az utóaprító berendezésbe történő betáplálás céljából.

Utótörés

A következő aprítási fokozatot folyamatsoronként három típusú Svedala - kúpos törővel szerelték fel, amelyek mindegyike 200 kW hajtóteljesítménnyel és különböző törőkamrákkal van ellátva. E törési lépcső további három kúpos törővel megvalósított osztályozóval zárt törési fokozatot foglal magába, amelyekkel az előtörést ($<150..200 \text{ mm}$) $< 20 \text{ mm}$ -re törik le, és végezetül szitákkal 0-2, 2-4, 4-6 és 6-10, 10-14, 14-20 mm végtermékfrakciókat állítják elő.

A durvább szemcsefrakciókat ($>10 \text{ mm}$) Svedala/CFBK CC216 III típusú körmozgású szita állítja elő.

Különösen nagy követelményeket támasztanak a finomfrakciókat előállító szitáló berendezésekkel szemben. A hagyományos osztályozó berendezések, mint pl. a körmozgású vagy a lineáris vibrációs sziták esetében nagy az eltömődési veszély, ha az anyagnak ilyen nedvességtartalma van.

E célra Liwell feszített hullámú szitákat (flip-flow) alkalmaznak, mivel a nedves kohósalak tapadása nagyon megnehezíti az anyag piaci követelményeket kielégítő, osztályozását 2-4, 4-6, 6-10 és 10-14 mm szemcseméretű frakciókra. A 0-14 mm-es beadagolt anyag szemcseméret-elemzése a különböző frakciókra mindkét soron a következő tömegáramokat adta.

0-2 mm = 120 t/h körül,
2-4 mm = 55 t/h körül,
4-6 mm = 42 t/h körül,
6-10 mm = 70 t/h körül.

A betáplálásra kerülő anyagot természetes nedvességállapotban (10 %-ig) osztályozzák még 2 mm-nél is. A megengedett osztályozási hiba a méreten felüli frakcióra 10 % (m/m), a méreten alulira pedig 15 % lehet. Továbbá a hibás szemcseméretű anyag nem lehet nagyobb az elválasztási határ 1,25 -szeres értéknél.

Az egy szitalapos változat esetében minden beépített Liwell LF 3,0-8,82/28 ED berendezés 27 m^2 szita felülettel rendelkezik. Valamennyi mérethez külön gépet építettek be, így a két folyamati soron összesen hat „flip-flow” szita berendezés van használatban.

Nagy pontosság a szitálást eredményekben

A Liwell „flip-flow” szitálógépek beépítése előtt a francia szabvánnyal összhangban, az alábbi értékekben állapodtak meg.

	Max. túlméret	Max. alulméret
0-2 mm frakció	5 % > 2 mm	-
	0 % > 3,15 mm	-
2-4 mm frakció	15 % > 4 mm	10 % < 2 mm
	0 % > 5 mm	
4-6 mm frakció	15 % > 6 mm	10 % < 4 mm
	0 % >7,5 mm	
6-10 mm frakció	-	15 % < 6 mm

A különböző szemcseméret szerinti osztályozások kölcsönös függősége miatt további követelmények támadnak a köztes termékek egyezményes értékeivel kapcsolatban, amelyeket szintén teljesíteni kellett. Így pl. a 2-4 mm-es frakcióban a 0 % 5 mm követelmény csak úgy teljesíthető, ha már a 4 mm-es szemcsék megelőző szétválasztáskor >5 mm-es szemcse nem jutott át a szitán. Az egyezményes értékekkel ellentétben, ezek a pótlólagos követelmények függenek a betáplálás sebességétől és a szemcseméret-eloszlástól.

A berendezés üzembe helyezésekor az egyes frakciókra vonatkozó komplex követelményeket messzemenően sikerült kielégíteni. A kezdeti kísérletek is már az optimális szemcseméret-értékeket eredményezték.

Adagolt silóürítés a termékek széles köre számára

Nemcsak az osztályozásra, hanem a kirakodásra is nagy súlyt fektettek az új berendezés-koncepció kifejlesztésénél. A szemcseméret szerinti frakciókat silókban tárolják, és így az ürítés szabályozható adagolószalagokon megoldható. Az adagolószalagokra beépített mérlegek, a szalaghajtás és a gyűjtőszalag mérlegei számítógépes vezérléshez csatlakoznak. Megfelelő szoftver segítségével bármiféle keverési arány beállítható a végtermék számára; a keverékarányt a rendszer automatikusan ellenőrzi. A berendezés képes a felhasználási célnak megfelelő pontos szemcseméret-eloszlású termék előállítására, ami új és fontos minőségi tulajdonságot jelent a salak, mint adalékanyag felhasználásában. A jövőbeni szabványosításra való tekintettel ez a berendezésmódul nagy műveleti rugalmasságot biztosít; így a továbbiakban nem lesz szükség a folyamat paramétereinek megváltoztatására a megrendelők követelményeihez való alkalmazkodás végett.

Irodalomjegyzék

1. Dangeleit, M. et al. (1998): Neue Aufbereitungsanlage für Hochofenschlacke. Aufbereitungs-Technik, 39.k.12.sz1998.p.624-629.
2. Bartha L. (2000): Vissza kell szolgáltatni a természetnek, Hulladéksors, 2002/5.p.3-4.
3. Pallag J. (2002): Sokoldalú melléktermékek, Hulladéksors, 2002/5.p.4-6.
4. Tardy P. (2002): Előtérben az útügyi hasznosítás, Hulladéksors, 2002/5.p.6-8.
5. Az iparban és a bányászatban keletkező melléktermékek (ásványi hulladékanyagok) útépitési és építőipari hasznosítása (Melléklet az „Erőműi pernye, kohósalak és bányameddő hasznosításának nemzetgazdasági szintű vizsgálata” tanulmányhoz). Készült

az IHU Kht. megbízásából. Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszék. 2004.
Összeállították: Csöke B., Kiss Á., Szabó Cs., Záray Gy., Szabó M.

8.5 Élelmiszeripar hulladékai

Készítette: Nagy Sándor

8.5.1 Alapanyagok

A biohulladékok fogalmkörébe tartoznak a mezőgazdasági ipar, élelmiszeripar, gyógyszeripar, vegyipar, mezőgazdaság és kereskedelem hulladékai, valamint a kommunális eredetű hulladékok bizonyos csoportja. [3] A biológiai kezelési módszerekkel a 6.3 fejezet, termikus eljárásokkal a 6.2 fejezet foglalkozik.

8.5.1.1. táblázat: *Élelmiszeripari hulladékok [3]*

ÉLELMISZERIPARI HULLADÉKOK	
Iparág	Hulladék
Malátagyártás, sörgyártás, alkoholfőzők, keményítőgyártás, étolaj és zsírgyártás, cukorgyártás, hentes üzemek, húsfeldolgozók, zöldség és gyümölcsfeldolgozók, tejüzemek, sajtüzemek, élesztőgyártás, pékségek, zselatinüzemek,	malátatörköly; komlótörköly; sörfőzdek seprője és üledéke; élesztőmaradék; zsír és olajtartalmú iszapok; répahulladék; melasz; élesztőcefre; gyomor és béltartalom; flotálási iszap; szilárd hulladékzsirok; zsírfogó tartalma; túltárolt élelmiszerek, fogyasztási cikkek.

A következő táblázat mutatja a különböző hulladékok fajlagos mennyiségét, és a legfontosabb kezelési módokat.

8.5.1.2. táblázat: *Élelmiszeripari hulladékok kezelése [9]*

Iparág	Hulladék	Fajlagos mennyiség	Kezelés, hasznosítás
Gabona feldolgozás	<i>korpa, héj, tészta maradvány</i>	0,2..0,3 kg/kg gabona	-állateledel gyártás -égetőmű -biogáz üzem -komposztálás
Zöldség, gyümölcs, krumpli feldolgozás	<i>héj, tisztítási maradékok</i>	0,1...0,35 kg/kg nyersanyag	-rothasztás -komposztálás -égetőmű -egyéb (alkoholgyártás, aromák, stb)
Cukorgyártás	<i>szeletek, melasz</i>	0,7 kg/kg cukor	-szirup és élesztőgyártás -tápszer előállítás
Növényolaj gyártás	<i>présfogácsa</i>	1...3 kg/l olaj	-tápszer előállítás -esetleg égetés
Sörgyártás	<i>törköly, élesztő</i>	0,25 kg/l sör	-tápszer előállítás (törköly) -biogáz üzem
Borgyártás	<i>törköly</i>	0,2...0,3 kg/l bor	-szeszgyártás -tápszer

			-trágya
Szeszgyártás	<i>cefre</i>	1...3 kg/l etanol	-biogáz üzem -tápszer -trágya
Tejfeldolgozó üzem	<i>savó, mosóvíz</i>	1...2 kg/l tej	-disznótáp -tejporgyártás -italok gyártása
Vágóhidak, húsüzemek	<i>állati zsiradékok, liszt, gyomortartalom</i>	15...60 kg/állat	-energetikai hasznosítás -trágya

8.5.2 Alapanyagok előkészítése a biológiai kezeléshez

A szerves anyagok hatékony biológiai kezelésének eléréséhez (komposztálás, biogázelőállítás) elengedhetetlen azok megfelelő előkészítése. Egyrészt az előkészítés során el kell tudni távolítani a zavaró anyagokat, melyek a folyamat termékének minőségét károsan befolyásolnák, másrészt a kiindulási anyagok fizikai tulajdonságait (pl. szemcseméret) a hatékony biológiai átalakítás érdekében módosítani kell. A legfontosabb előkészítési műveletek és azok berendezései láthatók a táblázatban. Mindegyik eljárást (kivéve a nedves eljárást) használják a komposztálás ill. rothasztás során is. [2]

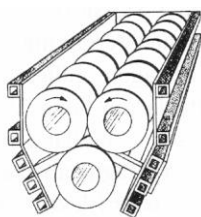
8.5.2.1. táblázat: Biológiai hulladékok előkészítésének műveletei. [2]

Eljárás	Alkalmazott berendezés
Durva aprítás	Csigás őrlőberendezés
Finomaprítás	Kalapácsos malom Ütőmalom Forgótárcsás nyíró aprító berendezés Macerátor
Osztályozás	
Száraz előkészítés	Dobszita Rudas szita Rázószalag
Nedves előkészítés	Nehézközeges szétválasztás
Fémleválasztás	
Mágneses fémek	Felső mágnes csapda Mágneses szalagszeperátor Mágnesdob
Nem mágneses fémek	Örvényáramú szeperátor

Hulladékok aprítása

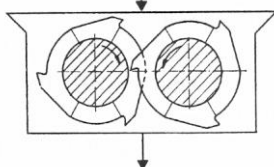
A hulladékaprítással a lebontó baktériumok számára biztosítunk nagyobb hozzáférési felületet a feldolgozandó hulladékhoz, továbbá elvégezzük a csomagolt hulladék felbontását. Az alkalmazott különböző aprítóberendezések nyíró-tépő (csigás malom, forgótárcsás nyíró aprító berendezés), ill. ütő-szakító (kalapácsos malom, forgótárcsás nyíró aprító berendezés) igénybevétellel dolgoznak.

A csigás aprító és a forgótárcsás aprítóberendezések lassan járó gépek, amiknél két tengely egymással szemben forog. A csigás aprítónál az aprítandó anyagot nyíró nyomó igénybevételnek teszik ki, az aprítás a két csiga menetei közt történik.



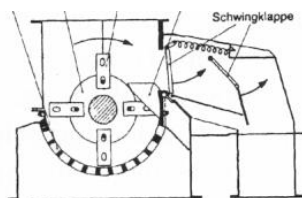
8.5.2.1. ábra: Csigas aprító [2]

A forgótárcsás berendezés a vágótárcsákkal aprítja az anyagot, a tárcsa szélességének megfelelő méretűre (előaprításra 25 mm, utóaprításra 12 mm tárcsaszélesség). Mindkét berendezés alkalmas növényi és biohulladékok aprítására.



8.5.2.2. ábra: Forgótárcsás aprító [2]

A kalapácsos malmok, és ütő-tépő malmok gyorsjárású törőberendezések, ütés a fő aprító igénybevétel.

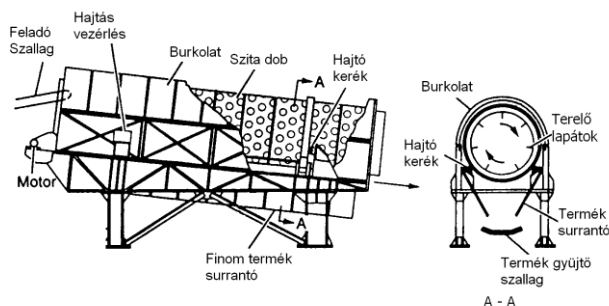


8.5.2.3. ábra: Kalapácsos törő [2]

Az ellenfésűvel ellátott kalapácsos törők alkalmasak különösen biohulladékok aprítására, azonban energiaigényük és kopásuk nagyobb, mint a relatív lassú járású csigasmalmoknak és forgótárcsás aprítóknak. [2, 5, 6]

Szétválasztás

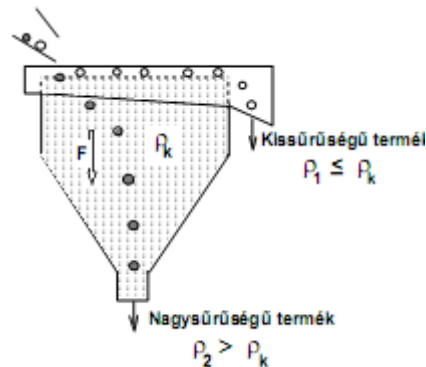
Az aprítás mellett gyakran szükséges a komposztálás és rothasztás esetén a zavaróanyagok (üveg, műanyag, kőzetek, homok) leválasztása, és a szemcseméret szerinti osztályozás. Száraz előkészítés berendezései a dobszita, rúdszita, csillagszita és rázószalagok. Az osztályozás azon alapul, hogy a zavaróanyagok gyakran más szemcseméret tartományban vannak jelen, mint a lebomló anyagok. Jelentős a szemcseméretbeli eltérés, ha előzetesen szelektív aprítást alkalmaznak, ahol a rugalmas műanyagok kitérnek az aprító eszközök elől, mialatt a biomassza szemcsemérete erősen csökken. Ezért minden egyes esetben el kell dönteni, hogy az aprítás a szétválasztás előtt vagy után történjen-e. Leggyakrabban a száraz osztályozásra dobszítát használnak, a kapacitás függ a lyukbőségtől, dobátmérőtől (dobfelület), fordulatszámától és a dőlésszögtől. Az osztályozás mellett homogenizálás is történik ezekben a berendezésekben.



8.5.2.4. ábra: Dobszita [4, 8]

A csillagrosták jellemzője, hogy a gyakorlatban pl. síkszitákkal egyébként szítálatlan anyagot is képes osztályozni, az anyag nedvességtartalmára érzéketlen, rendkívül jól kezeli az olyan szemcséket (textil ill. műanyag darabok, fóliák) amelyek nagy felületükkel letakarhatják a szitaréseket, mivel a csillagrosták esetén a forgó csillagtárcsák gyakorlatilag gyorsan elszállítják magukról ezeket a darabokat, szabaddá téve a szita felületet a többi szemcse számára.

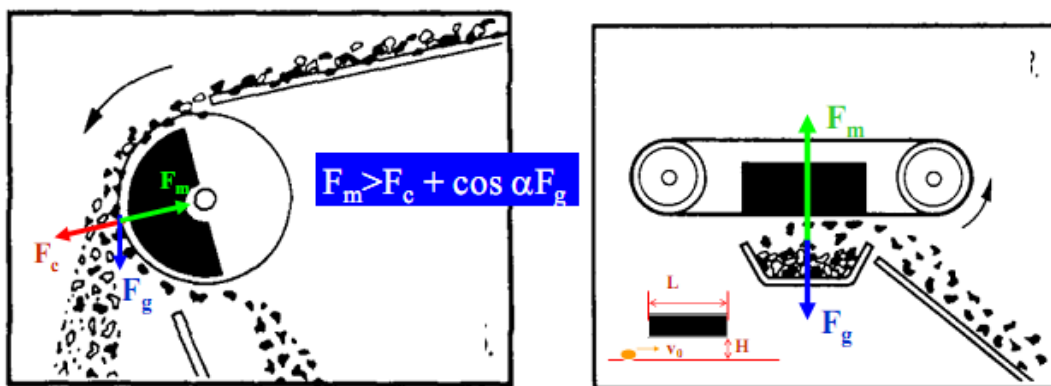
Nedves osztályozás esetén a különböző hulladék összetevők sűrűségének eltérést használjuk. A nehézközeges szétválasztáshoz a hulladékot vizes közegbe vezetik.



8.5.2.5 ábra: Nehézközeges szétválasztás elve [6]

A homogenizálás a papíriparban kifejlesztett pépesítő géppel történhet, ami egyúttal aprítja is az anyagot. A nagy sűrűségű szennyezők (homok, kő, üveg) a sűrűség szerint szétválasztó berendezés alsó részén dúsulnak, a kis sűrűségű szennyezők (műanyag, fa, stb.) a berendezés felső részén dúsulnak, így ezek leválaszthatók. A szubsztrát szárazanyag tartalmának legalább 10 %-nak kell lennie, a hatékony rothasztás céljából, a nagy viszkozitás miatt az ilyen szétválasztás nem túl hatékony.

Vastartalmú anyagok leválasztására mágneses szeparátorokat alkalmaznak: permanens ill. elektromágnesek, amik szállítószalag fölött helyezkednek el a szalagra merőlegesen vagy azzal egy irányban. Alkalmaznak dob mágneseket is szalagvégbe építve.



8.5.2.6 ábra: Dobmágnes és keresztirányú szalagos mágnes [6]

A leválasztás élessége függ a hulladék konzisztenciájától, szemcseméretétől. Az üzem védelme érdekében előnyös a technológia elejére mágneses leválasztót telepíteni, a nagyobb szemcseméretű vasak leválasztására. A kisebb vasak leválasztására az aprítás után is célszerű mágneses szeparátort telepíteni. [2, 6, 7]

Higienizálás

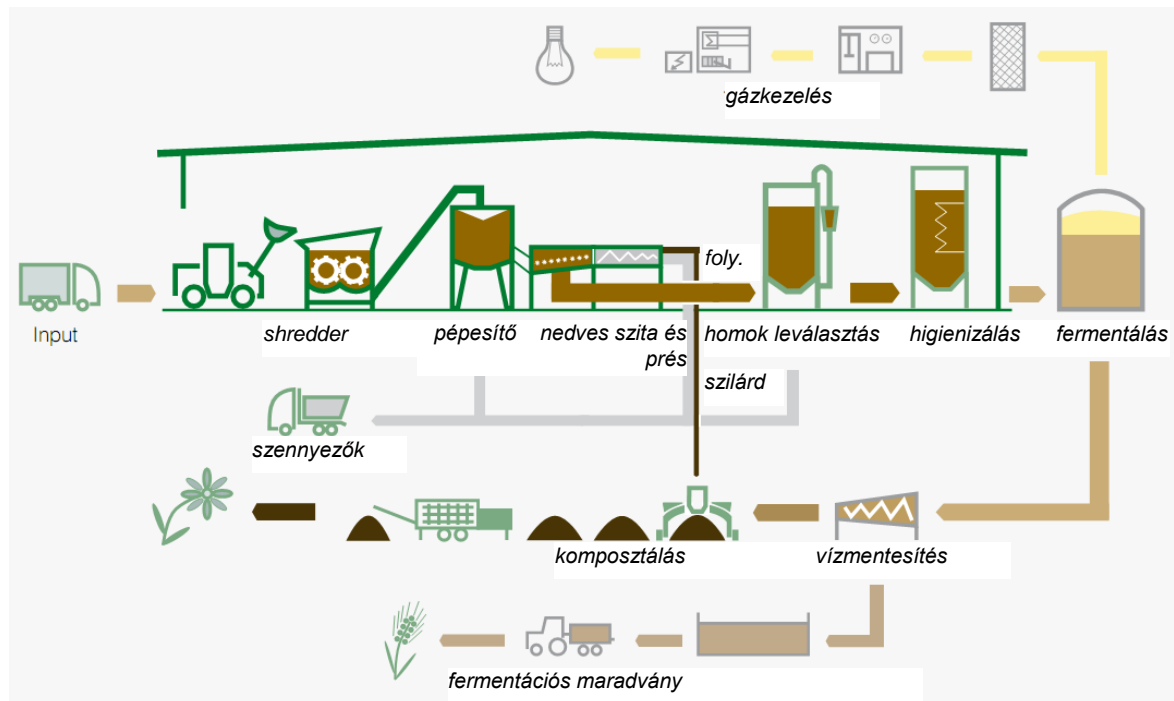
A 23/2003. (XII. 29.) KvVM rendelet szabályozza a higienizálandó hulladékok körét. Higienizálást indirekt módon fűtött keverőtartályokban végzik, amiket mechanikus keverővel láttak el. A feladás és ürítés szakaszos üzemben történik, az ürítés automatizált. 70 °C-on,

legalább 60 percig tart a folyamat. A hőkezelés előtt 10 mm-es szemcseméret alá aprítják az anyagot (71/2003. (VI.27.) FVM rendelet). A blokk fűtőmű által rendelkezésre bocsátott hőmérséklet szint elegendő a higienizáláshoz, a távozó anyag visszahűtése a kezeletlen anyaggal történik ellenáramban megfelelő hőcserélőn keresztül. Folyamatos üzemhez általában két higienizáló egység szükséges. [2]

8.5.3 Élelmiszeripari hulladékok biológiai kezelése

Az biomasszák aerob ill. anaerob kezelésével a 6. fejezet foglalkozik részletesen.

Anaerob kezelés esetén a gyakorlatban a különféle szerves anyagok egy kilogramm szárazanyagából mintegy 230-400 liter biogáz kinyerésével lehet számolni. az elméletileg lehetséges érték 590-1500 l/kg. Ezen belül a hevítő hatású trágyáknak, valamint a cukorrépa-, a kukorica- és élelmiszeripari termelés melléktermékeinek a legkedvezőbb a fajlagos biogáztermelésük. Ez még fokozható az alapanyagok keverésével. A biogáz mintegy 60 % metánt, kb. 40 % széndioxidot és minimális mennyiségben egyéb gázokat (pl.: kénhidrogén). Teljes élelmiszeripari hulladék feldolgozó technológiát mutat a következő ábra.



8.5.3.1 ábra: Élelmiszeripari hulladékok feldolgozása [5]

A csomagolt, nem homogén, vagy nagy szemcséjű hulladékok előaprítást igényelnek. A lassú shredderek használatosak. A következő lépés a szerves anyagok oldása a pépesítő gépben, és a szennyeződések szeparálása. A fermentálás előtt egyéb folyékony halmazállapotú hulladékot is hozzáadagolhatnak az anyaghoz. A pépesítő gépből távozó anyag csillagszítára kerül, ahol a folyadék a szolubilizált és szuszpendált szerves anyaggal a finom termékbe távozik, ahonnan a homokleválasztás után gyűjtőtartályba kerül, majd higienizálás után fermentálják. A durva termék a feladástól függően szennyeződések (pl. műanyag) és szerves maradáanyagot tartalmaz, ezekből egy prés segítségével a vizet eltávolítják.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Bai Attila: A biomassza felhasználása; Szaktudás Kiadó Ház, 2002
- [2] Peter Kämpfer: Biologische Behandlung organischer Abfälle. ISBN 3-540-41915-2
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2001.
- [3] Alexandra Burmeister: Energetische Nutzung von Biomasse. ISBN: 978-3-639-04883-4,
VDM Verlag Dr Müller, 2008.
- [4] DOPPSTADT CALBE GmbH honlapja: www.doppstadt.com, letöltve: 2011. június 2.
- [5] Komptech GmbH honlapja: www.komptech.com, letöltve: 2011. június 2.
- [6] Csőke B.: Előkészítéstechnika – Aprítás és osztályozás. Miskolci Egyetem,
Eljárástechnikai Tanszék, Tanszéki jegyzet
- [7] Gombkötő I.: Szétválasztási technológiák a biomassza feldolgozásban: Osztályozás.
Biohulladék, 2009, 4. évfolyam 3. szám p25-31
- [8] Tarján, G.: Mineral processing. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- [9] Martin Kaltschmitt: Energie aus Biomasse. Springer 2009, ISBN 978-3-540-85094-6

8.6. VEGYIPARI HULLADÉKOK

Fejezet szerzője: Dr. Bokányi Ljudmilla

A vegyipari hulladék: szerves és szervesetlen vegyipar által termelt gáznemű, folyékony és szilárd hulladék, amelynek összetétele vállalatonként és üzemenként sem állandó és amelynek mennyiségi korlátozása a hulladékmentes technológiák megvalósításának célja. A szerves vegyipar és kőolajipar szennyezőanyagai a szerves és szervesetlen savak, a különféle gázok (pl. kén-dioxid, klór), az oldószeres (pl. klórozott szénhidrogének), az észterek, a szénhidrogének stb.. A szervesetlen vegyiparban leggyakrabban a nyersanyag, illetve a termék előkészítése, őrlése során keletkező por, az égetési füstgázból származó pernye, a különféle gázok (pl. ammónia, nitrozus gázok, kén-dioxid, klór, sósavgáz stb.) a hulladékskála összetevői.

A vegyipar három főágazatát jellegük és struktúrájuk alapján a következőképpen csoportosíthatjuk:

I. Kőolaj-feldolgozás és kokszyártás

II. Vegyi alapanyag- és termékgyártás

- Ipari gázgyártás
- Szerves és szervesetlen alapanyagok gyártása
- Műtrágyagyártás
- Műanyagalapanyag-gyártás
- Növényvédő szerek
- Festékek, színezékek, pigmentek gyártása
- Gyógyszergyártás
- Tisztítószeres gyártása, kozmetikai ipar
- Egyéb vegyipar
- Vegyi szálak gyártása

III. Műanyag és gumitermékek gyártása

- Műanyag késztermékek

Vegyipari hulladékok kezelése

A vegyipar esetében különösen fontos a környezeti (K-) tényező fokozott figyelembe vétele. A vegyipar az anyag- és energia-intenzív iparágak közé tartozik.

Nagy tömegű és sokféle nyersanyagot és fajlagosan is jelentős energiamennyiséget használ fel termékeinek előállításakor. Emiatt mind input, mind output oldalon jelentősen terheli a környezetet. Egy további szempont: egyes korszerű vegyipari termékek (például növényvédő szerek) hatóanyag tartalma igen magas. Előállításuk és felhasználásuk esetenként fokozott környezeti kockázattal jár. E kockázatok nem megfelelő szintű kezelése súlyos problémákat okozhat. A szélesebb közvélemény a vegyipart a környezetszennyezés egyik fő okozójának tekinti, még ma is. Az utóbbi években ez a helyzet kezd megváltozni: a modern vegyipar már különleges figyelmet fordít a tevékenységéből és termékeinek használatától származó esetleges egészség és környezetkárosító hatások minimalizálására.

A *Chemistry, Europe and the Future* című tanulmány a vegyipar környezetvédelmi feladatai közé sorolja a környezeti monitoring fejlesztését, a meglévő környezeti károk felszámolását, az európai kulturális örökség megőrzésének elősegítését, a környezetterhelés csökkentését, illetve elkerülését „tisztá” technológiák kifejlesztése révén, a nyersanyagok és az energiahordozók hatékonyabb felhasználását, valamint az újrahasznosított anyagok körének folyamatos bővítését.

A vegyiparban alkalmazott hulladékcsökkentési stratégiák

A vegyipari (általában minden ipari) tevékenység elkerülhetetlen hulladékok képződésével jár együtt. Ma még nem létezik egyetlen olyan technológiai eljárás sem, amelyben csak és kizárólag a kívánt végtermék képződik. Az ipari fejlettség alacsonyabb szintjén, kevésbé szigorú környezetvédelmi előírások mellett a termelési hulladékok kezelésére elsősorban és főként az ún. csővégi megoldásokat alkalmazzák. Ekkor a hulladékok ártalmatlanítása (technológiai véggázok tisztítása, szennyvizek kezelése, szilárd hulladékok lerakása) és azok esetleges újrahasznosítása elválnak az azokat „előállító” technológiai folyamatoktól. Ez a gyakorlat jellemezte az 1970-es évek és 80-as évek első felének vegyiparát. A 80-as évek második felében, a környezetszennyezés mind súlyosabbá válásával, a hangsúly a hulladékkepződés visszaszorítása felé tolódott el. A vegyipari technológiáktól független környezetvédelmet a 90-es évekre felváltotta a technológiákhoz kapcsolt, azokba integrált környezetvédelem koncepciója.

A vegyipari technológiákba integrált környezetvédelem

- a potenciális szennyező anyagok mennyiségének a forrásoknál történő csökkentését,
- a nyersanyagok és az energia felhasználásának mérséklését és
- a termelési hulladékok, valamint az elhasznált termékek újrahasznosítását jelenti.

A környezetvédelem hangsúlyának a hulladékcsökkentés felé történő eltolódása a vegyipari folyamatok jellegének megváltoztatását igényli. A környezetvédelmi célú technológiai változtatásokat két csoportba sorolhatjuk:

- meglévő üzemek korszerűsítése, illetve
- új, a környezetvédelmet az alaptermotechnológiákba integráló üzemek tervezése.

Általános heurisztikus szabály, hogy egyszerűbb feladat a hulladékcsökkentési elveket új üzemek tervezésénél és építésénél figyelembe venni, mint meglévő üzemek korszerűsítésekor. Egy több üzemből álló vegyipari kombinát, vagy vegyigyár esetén a teljes (globális) hulladék kibocsátás csökkentéséhez nem elegendő az egyes üzemeket tanulmányozni, és működésüket optimalizálni, mert ez helyi optimumokat eredményez. Az egyes üzemek fejlesztéseit egy magasabb szinten, a vegyigyár szintjén kell ellenőrizni és összehangolni. A vegyigyár teljes kibocsátásának csökkentésére irányuló vizsgálatba, valamint az ezt követő fejlesztésekbe természetesen valamennyi üzemet be kell vonni.

Hulladék csökkentés meglévő üzemeknél

A hulladékcsökkentési elvek lényegesen nehezebben alkalmazhatók már meglévő üzemeknél, mint új üzemek tervezésekor. A meglévő üzemekben már működő berendezések és technológiák ugyanis egyfajta korlátot jelentenek a feladat megoldásakor. A működő üzemekre javasolt szisztematikus stratégia, amely a hierarchikus folyamattervezés továbbfejlesztett változata, a következő lépésekből áll:

1. *Hulladékok azonosítása és nyomon követése:* táblázatos formában meghatározzuk milyen hulladékok keletkeznek, feltüntetjük azok keletkezési helyét és okát. Egy egyszerű folyamatábrán nyomon követhető a hulladékok eredete és mozgása.
2. *Adatgyűjtés:* valamennyi hulladékfajtára meghatározzuk a mennyiségeket, a veszélyesség mértékét és a különböző hulladékkezelési módszereket. A költségek számításánál figyelembe vesszük a nyersanyagok és energia nem megfelelő használatából származó veszteséget, az egyéb általános jellegű költségeket (tárolás, szállítás, többletmunka) és a hulladékkezelési (ártalmatlanítási, lerakási) költségeket.
3. *Hulladékcsökkentési alternatívák kidolgozása:* a meglévő üzemekre kiterjesztett hierarchikus stratégiát az 1. táblázat foglalja össze. A kiterjesztett stratégia segítségével megoldási alternatívák dolgozhatók ki.

4. *Az alternatívák műszaki és gazdasági értékelése:* a kidolgozott alternatívákat több szempontból kell értékelni. A lehetséges szempontok közül néhány: a technológiai módosítások eredményeként valóban a kitűzött mértékben csökken a termelési hulladék mennyisége, a változtatás miként befolyásolja a termékek minőségét, a hulladékképződés visszaszorításához jelentősen meg kell-e változtatni a technológiát, illetve a berendezéseket, gazdaságos-e a tervezett módosítás, mennyi idő alatt vezethető be, elegendő mennyiségben állnak-e rendelkezésre a szükséges nyersanyagok, milyen a módosított technológiai változat energiaigénye?

8.6.1. táblázat: A hierarchikus stratégia kiterjesztésén alapuló hulladékcsökkentési alternatívák meglévő vegyi üzemekre

Belső anyag hulladékok	Külső hulladékok
<p>INPUT-OUTPUT struktúra</p> <ul style="list-style-type: none"> • optimális reakciókörülmények, visszavezetés, újrahasznosítás • higitók, inertek, oldószeres kerülése • katalizátorregenerálás, katalizátor csere 	<p>RENDSZERES esetek</p> <ul style="list-style-type: none"> • recirkulációs műveletek fejlesztése • tisztítási műveletek fejlesztése • jobb üzemháztartás • rendellenességekkel szembe fordított emissziók csökkentése
<p>RECIRKULÁCIÓS struktúra</p> <ul style="list-style-type: none"> • higitó, inert cseréje • hőhordozó cseréje • oldószer cseréje • kémiai változtatás, folyamatváltoztatás 	<p>ALKALOMSZERŰ esetek</p> <ul style="list-style-type: none"> • új, jobb karbantartás • megelőzés
<p>SZEPARÁCIÓS struktúra</p> <ul style="list-style-type: none"> • fázis szeparáció • gáz/gőz visszanyerő rendszer <ul style="list-style-type: none"> - oldószer csere - sztrippelő ágens cseréje - adszorpció/kondenzáció alkalmazása • folyadék visszanyerő rendszer <ul style="list-style-type: none"> - ágens cseréje - oldószercsere, <i>folyamat változtatása</i> - kihajtott víz újrahasznosítása - szennyezések eltávolítása, folyamat vizeinek újrahasznosítása, más szeparációs rendszer - más elválasztási technika alkalmazása - az adszorbens regenerálása - mosófolyadék cseréje, újrahasznosítása • szilárd visszanyerő rendszer <ul style="list-style-type: none"> - szűrés - a folyamat fejlesztése, módosítása - más technológia alkalmazása 	<p>ENERGIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • energetikai javítás <p>EGYÉB</p> <ul style="list-style-type: none"> • jobb adminisztráció • apróbb javítások a berendezéseken • hulladékok azonosítása és izolálása • műveletek ellenőrzése, egyszerűsítése, kiküszöbölése • kezelők jobb kiképzése

Megfelelő hulladékkezelési módszer kiválasztása

A különböző eredetű, eltérő tulajdonságú hulladék anyagok kezelésének legcélszerűbb módszerét minden esetben alapos kémiai, műszaki, gazdasági és környezetvédelmi megfontolások alapján lehet és kell kiválasztani. Az utóbbi időben egyre több olyan módszer válik ismertté, amelyek segítséget nyújtanak a kiválasztáshoz. Ezek egyike az ún. korlátozott életciklus elemzés (Limited Life-Cycle Analysis, LLCA) Az LLCA alkalmazásakor minden potenciális szennyező komponensre egy ún. szennyezési tényezőt (Pollution Factor, PF)

határoznak meg, mindazon környezeti elemre (levegőre, vízre, talajra), amelybe az adott komponens kijuthat. A PF meghatározásakor az érvényes környezetvédelmi határértékeket tekintik vonatkoztatási alapnak. A szennyező komponensek várható környezeti hatásait a PF-ből – itt nem ismertetett módon – származtatott dimenziómentes számokkal, a környezeti hatásegységekkel (Environmental Impact Units, EIU) fejezik ki. Utóbbiak egymással összegezhethetők, és valamennyi környezeti elemre összehasonlíthatók. Ily módon minden egyes környezetvédelmi megoldás egy EIU-val jellemezhető, ami tükrözi az adott intézkedés közvetlen (helyi) és közvetett (távoli) környezeti hatását is. A szokásosan alkalmazott, a termékek gyártásának és felhasználásának teljes időtartamára terjedő, a „bölcsőtől a sírig” tartó életciklus elemzéssel (Life-Cycle Analysis, LCA) összevetve, az LLCA szerinti értékelés az életciklus bármelyik elemére elvégezhető. Például egy adott termék előállításakor a technológia okozta légszennyezés többféle eljárással (a véggázok mosásával, kondenzációval, utóégetéssel stb.) csökkenthető. Az LLCA segítségével ezeket a változatokat mind helyi, mind globális környezeti hatás szempontjából össze lehet hasonlítani, és ki lehet választani a legkisebb környezeti hatással járó gázkezelést.

A szerves és szervetlen vegyipar által termelt gáznemű, folyékony és szilárd hulladék összetétele nem állandó. A szerves vegyipari ágazatok közül a kiemelkedőbb szerepet napjainkban a gyógyszeripar és a fogyasztói kemikáliák szektor tölti be. Hazánkban az utóbbi években a háztartás-vegyipari és kozmetikai termékek előállítása, illetve a műtrágyagyártás is nagyot fejlődött. A kőolaj-feldolgozás és a szervesvegyipar szennyezőanyagai elsősorban a szerves és szervetlensavak, a különféle gázok (pl. kén-dioxid, klór), az oldószerek (pl. klórozott szénhidrogének), az észterek és a szénhidrogének. A szervetlen vegyipar főbb termékei: kénsav és származékai, ipari gázok, nitrogénvegyületek, mészke termékek és kősó termékek. Itt többnyire a termékek előkészítése során keletkező porok, az égetési füstgázból származó pernyék és a különféle gázok (pl. ammónia, nitrozus gázok, kén-dioxid, klór, sósavgáz stb.) a jellemző hulladékfrakciók.

8.6.1. ábra: A vegyipari üzemekben képződő termelési hulladékok és jellemző kezelésük

Hulladékok megnevezése	Kezelésük
Hulladék kénsav	semlegesítés/értékesítés
Hulladék sósav	semlegesítés/értékesítés
Desztillálási maradék	égetés
Szennyezett göngyöleg	égetés
Kimerült aktív szén	égetés
Műanyag vágási hulladék	értékesítés
Fáradt olaj	értékesítés
Szennyvíztisztítói iszap	lerakás
Égetői salak	lerakás

Az égetésénél gyakran használt speciális berendezések:

- forgó dobkemencék;
- fluidágyas, vagy többlépcsős kemence iszapszerű anyagok esetén;
- rostély nélküli aknás kemence gyulladás előtt megolvadó műanyagokhoz;
- folyékony hulladékok porlasztása, vagy merülő égők alkalmazása;
- speciális tüzterek (pl. sóolvadékos kemence, plazmareaktor).

A vegyipari hulladékok sorában jelentős mennyiséget képviselnek a savhulladékok. Amennyiben lehetőség van a regenerálásukra (tisztítás, töményítés, adszorpció, desztilláció),

úgy célszerű az eredeti célra ismételten felhasználni. A kénsav hulladékot a szuperfoszfát-műtrágya gyártásban, míg a sósav hulladékot a klórgáz gyártásban lehet hasznosítani. A hulladék lúgok a savakhoz hasonlóan hulladékok semlegesítésére alkalmasak. A szerves oldószerek hasznosításának általános módja a desztillációt követő visszaforgatás a termelésbe. A timföldgyártás során keletkező vörösiszapból ritkaföldfémek kinyerésére van lehetőség.

Felhasznált irodalom

1. Fonyó Zsolt – Szépvölgyi János – Harangozó Gábor: A megelőző környezetvédelmi szemlélet térnyerése a hazai vegyiparban 15. szám, Budapest, 2002, ISBN 963 503 292 7 ISSN 1587-6586
2. Fonyó Zs, Kürüm S, Rippin DWT: Process developments for waste minimisation: the retrofitting problem. *Computers Chem. Engng*, 18, 591 (1994).
3. Alliance for Chemical Sciences and Technologies in Europe: *Chemistry, Europe and the Future*. The Royal Society of Chemistry, London, 1997.
4. Vignes RP: Use of Limited Life-Cycle Analysis for Environmental Decision-Making. *Chemical Engineering Progress*, February 2001, 40-54.
5. [Szvítacsné Marton Katalin : *Hulladékgazdálkodás* 2003)
6. Mannheim V.: Középpontban a POP-tartalmú hulladékok: vegyipari folyamatokból származó hulladékok jellemzése és ártalmatlanítása, *Hulladéksors*, (2009) 10. évf., 12. szám