

Mechanikai eljárások a meddők előkészítésére

Gombkötő Imre

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
ejtimreg@uni-miskolc.hu

Nagy Sándor

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
ejtmagys@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A bányászati és előkészítéstechnikai meddő feldolgozása során gyakran előfordul, hogy az alkalmazás szempontjából lényegtelen esetenként káros alkotókat (nehézasványok, agyag ásványok) el kell távolítani az anyagáramból. Bizonyos esetekben az is előfordulhat, hogy egyes ásványok, mint néhány nehézasvány (ilmenit, rutil, cirkon, stb.) vagy a természetes olyan mennyiségben fordul elő az összletben, hogy azok kinyerése akár gazdasági érdek is lehet. Ezekben az esetekben a legolcsóbb olyan mechanikai eljárások alkalmazása, amelyek a meglévő technológiába építve választják le a kívánt ásványokat azok eltérő fizikai tulajdonságai (sűrűség, mágneses és elektromos tulajdonságok) alapján. Sok esetben más, kémiai és biológiai eljárások alkalmazása igényli a mechanikai előkészítés meglétét a jobb eredmény érdekében. Ezen eljárásokat foglaltuk jelen cikkben össze.

Kulcsszavak: meddő előkészítés, mechanikai eljárások, nehézasványok

1 BEVEZETÉS

A bányászati meddők sok esetben tartalmaznak valamilyen haszon ásványt, ez lehet az eredeti ásványi anyag, vagy olyan ásvány is, amely az eredeti bányászati tevékenység során még nem mint haszonásvány szerepelt, így meddőbe került. A technológiai és gazdasági környezet fejlődése során azonban ezen ásványok, amelyek jellemzően kis koncentrációban vannak jelen a meddőben és esetenként nem is a legkedvezőbb formában – pl. nagyon kis szemcseméret a hatékony mechanikai dúsításához – idővel újból a látótérbe kerülhetnek, mint gazdaságosan kitermelhető haszonanyag. Jó példa erre a Romániai Nagy Bányán üzemeltetett arany előkészítő mű, amely korábbi előkészítési technológiából származó meddőt dolgoz fel arany kinyerése céljából. Fontos lehet a környezeti szempontok figyelembe vétele is, amikor nem feltétlenül a nyersanyag miatt, hanem környezetvédelmi okokból kell feldolgozni valamely korábban lerakott bányászati meddő anyagot. Ebből a bányászati termékéből az ásványelőkészítés dúsítási művelete kiemeli azt az egy-két, néha több hasznos ásványt, amelyből a kohászat a fémét előállítja. Más szóval, a dúsítással a kis fémkoncentrációjú anyagból egy magasabb fémtartalmú anyagot állítanak elő azáltal, hogy kigyűjtik a fém hordozó ásványt (vagy vegyületét, más esetekben ionját, molekuláját) anélkül, hogy az anyagot tovább bontanák kohászati (és kémiai) értelemben.

Milyen eljárásokat alkalmazhatunk a nehézasványok dúsítására, kinyerésére? A választható megoldás függ:

- a hasznos és kísérőásványok fizikai tulajdonságaitól: sűrűség, szilárdság, mágneses-, elektromos-termikus-, és felületi sajátosságok, szín, stb.;
- a hasznos és kísérőásványok közetben előforduló mennyiségétől és méretétől, amelyben már önálló ásványokként jelentkeznek;
- az előkészítés technikai, technológiai fejlettségétől a kérdéses időben.

Jó közelítéssel azt mondhatjuk, hogy az egyes ásványokat (vagy a meddő ásványt, vagy ásványokat) azon tulajdonságok alapján választhatjuk el a kísérőásványoktól, amely sajátosságukban a legnagyobb

eltérés mutatkozik a hasznos és a meddő ásványok között. A lehetőségek közül azt a megoldást emeljük ki, amelynek az adott méreténél a legnagyobb realitása van technikai-technológiai megoldhatóság és gazdaságosság szempontjából.

2 GRAVITÁCIÓS DÚSÍTÁS

Az ásványi nyersanyagok gravitációs dúsítása a kis költségvetésű és környezetbarát szeparálás hagyományos módja (Richards & Palmer 1997).

A feldolgozandó nyersanyagok minimum két, de leggyakrabban több anyag vagy ásvány különböző keverékei, melyek gravitációs dúsíthatóságának alapvető feltétele, hogy a komponensek sűrűsége között relatíve nagy különbség legyen. Minél nagyobb a sűrűség különbség, annál jobb a technológia szétválasztási hatásfoka. Elterjedt módszer pl. olyan nehéz ércek, ásványok, mint az arany, platina, kassziterit, ilmenit, cirkon, gyémánt, stb. dúsítására tengeri, folyami homokokból, torlatokból (Gupta 2003).

Mivel a szétválasztás általában valamilyen közegben történik (levegő, folyadék, szuszpenzió) az eljárás hatásossága nem csak a sűrűség, hanem a szemcseméret, valamint alak jellemzők függvénye is, ugyanis az együtt ülepedés elve alapján a kisméretű, de nagy sűrűségű, valamint a nagyméretű, de kis sűrűségű szemcsék süllyedési vagy emelkedési végsebessége akár azonos is lehet. Ezért elsődleges szempont, hogy a dúsítani kívánt nyersanyag szemcséi közel azonos méretűek legyenek (Csőke 2004, Tarján 1997). Amennyiben az ún. együttülepedési hányados $r' < 1,25$, a termékek sűrűség szerinti szétválasztása hagyományos gravitációs ülepítéssel nem megoldható (Böhm et al. 1984).

2.1 *Hagyományos gravitációs eljárások*

A korábbi évtizedekben (1970-90-es évek) a gravitációs dúsítás leggyakrabban alkalmazott módszerei nedves eljárások: az ülepítés, a szérelés, a csatornamosás, valamint a nehéz szuszpenziós dúsítási eljárások voltak. Ezen módszerek szétválasztási hatásfoka 60-90% körüli (Böhm et al. 1972). A flotációs eljárások bevezetésével ezek az eljárások vesztek népszerűségükből, azonban egyes nem-szulfid (pl. kassziterit, wolframit, kromit) és nemfémes ásványok dúsítása esetén a gazdaságtalan flotálás miatt a hagyományos módszer megmaradt (Gupta 2003). A finom szemcseméretű meddő anyagokban az alapvetően durva szemcseméret tartományban jól működő nehézközegezes dúsítás valamint az ülepítés nem elterjedt megoldás. Ebben az esetben a hagyományos gravitációs eljárások közül a csatornamosás és az ún. vékony film koncentrátorok alkalmazása elterjedtebb.

A szérelés a szétválasztás közege alapján nedves illetve száraz eljárás is lehet. A technológiaválasztás egyik fő szempontja a szétválasztani kívánt anyagok minősége és tulajdonságai. A leggyakrabban alkalmazott technológia a mozgatott vagy álló, bordázott, vagy sima lejtős, síkfelületen, vékony folyadékfilmben történő dúsítás. A szemcsék a rájuk ható hidrodinamikai, súrlódási és tömegerők hatására szemcseméretük és sűrűségük alapján szeparálódnak a szérlapon. A berendezésre 4-0,05 mm szemcseméretű anyag adható fel. Sima felületű szérlapra feladható anyag maximális szemnagysága általában nagyobb, mint a bordázott lapon. A leggyakrabban használt szérek bordáinak elrendezése párhuzamos a felület hosszával. Bár a szérelés az ércdúsítás egyik legrégebbi eljárása, és számos fejlődési szakaszon esett keresztül, kis teljesítménye és nagy helyigénye miatt elődúsításra nem, inkább utókoncentrációra vagy tisztításra használták (pl. aranymosásnál).

A jobb helykihasználás érdekében emeletes széreket használtak, a kopás elkerülése miatt rugalmas anyag borítással (gumi, fa, stb.) (Böhm et al. 1972, Luttrell et al. 2000, Burt & Ottley 1974, Sivamohan & Forssberg 1985). A szérek és ülepítők az 1,5/1,6 ill. 1,8/1,9 g/cm³ tartományba eső anyagok esetén hatékony gravitációs szétválasztási technológiának bizonyulnak, ám 1,4 kg/dm³ ill. ettől kisebb sűrűségű anyagoknál már a szemcseméretnek kis függvénye a hatékony szétválasztás. A szérelés hatásfoka abban az esetben nagy, ha az értékes anyag és meddő közti relatív sűrűségkülönbség kb. 3 kg/dm³. Barit, vasszulfid, cirkon és ilmenit kvarctól való elválasztása esetén kis sűrűségkülönbségnél is jó eredmények kaphatók. Pneumatikus széreket használnak kvarc és cirkonból szétválasztására valamint monacit kinyerésére nemvezető ásványokból (Sivamohan & Forssberg 1998).

Gyenge minőségű ércek, torlatok vastag vízáramban történő dúsításának eljárása a csatornamosás. Kialakítása szerint fenéklapja bordázott vagy sima, üzeme szerint ennek megfelelően szakaszos vagy folyamatos lehet. A leülepedést éppen még meggátló, nagy hajlásfokú csatornák ($\alpha = 16 - 20^\circ$) keresztmetszete lefelé szűkül, így a zagymélység folyamatosan nő. Az optimális zagysűrűség 20-40% (Tarján, 1974). A folyamatos üzemi berendezései a legyezős (Cannon koncentrátor, York-féle szeparátor – USA; Tupegmen szeparátor - Szovjetunió) és a spirális (Humphreys – Ausztrália; CDM-1200, CB-750 A - Szovjetunió) szeparátorok. Feladható szemcseméret: kb. 0,05-2 (3) mm (Böhm et al. 1972,

Dolgunin 2000). Az ércdúsítás egyik legköltséghatékonyabb módszere, már amennyiben alkalmazható a spirálisok alkalmazása. Spirálisan körbefutó sima fenekű csatorna, mely kisebb helyfoglalása és más gravitációs berendezéssel szembeni számos előnye miatt széles körben alkalmazott eljárás volt a tenger- és folyóparti homokok és torlatok cirkon, titán, ilmenit, RFF, stb. tartalmának kinyerésére. Léteznek mosóvíz nélküli, mosóvízes és szén/csilámdúsító spirálok. Legismertebb típusa a Humphrey-spirál, melyet 1950-ben vasérc és kromitos homokok dúsítására fejlesztettek ki.

A feladott anyag belép és végigfolyik a spirál felületén, ahol az elsődleges (lefelé haladó) és másodlagos (belső) áramlás következtében megindul a szemcsék méret és sűrűség szerinti szétválasztódása. A szétválasztandó termékek közti sűrűségkülönbség legalább $1,0 \text{ kg/dm}^3$ kell, hogy legyen. A kisebb sűrűségű szemcsék a nagyobb vízáramlattal a spirál külső szélén gyorsan haladnak, míg a nagyobb sűrűségű szemcséket a másodlagos áramlás befelé szállítja. Felületük a kopás csökkentése miatt neoprén, gumival, stb. borított. Hatékony dúsítás érhető el $0,074\text{-}2 \text{ mm}$ tartományban, durvább szemcsék ($0\text{-}6 \text{ mm}$) esetén dúsítási foka $5\text{-}6$, kihozatala akár $90\text{-}97\%$ lehet (Böhm et al. 1972, Gupta 2003).

1997-ben Richards és Palmer (Richards & Palmer 1997) a kónusz koncentrátor mellett vizsgálta a spirális szeparátorok dúsítási hatékonyságát és összehasonlította a különböző típusok teljesítményét, kezelhetőségét, gazdaságosságát.

2.2 További gravitációs eljárások

A fent ismertetett eljárásoktól eltérően vannak olyan eljárások, amelyek a gyakorlatban kevésbé ismertek. A Bartles-Mozley koncentrátor (tulajdonképpen több szintes szér) egy viszonylag egyszerű folyadékfilm-típusú dúsító berendezés, melyet $5\text{-}100 \text{ }\mu\text{m}$ szemnagyságú nehézfémek, sőt arany vagy platina esetén akár $1 \text{ }\mu\text{m}$ nagyságú szemcsék elődúsítására alkalmazták. A '60 -'70-es években kifejlesztett új berendezések, mint a Bartles-Mozley koncentrátor vagy a Bartles keresztzalagos koncentrátor, az addigi $20 \text{ }\mu\text{m}$ mikrométeres kinyerhetőségi határról $15 \text{ }\mu\text{m}$ mikronra csökkentette a legkisebb kinyerhető szemcsék méretét (Burt et al. 1995).

Kialakítása tekintetében $40 \text{ db } 1,2 \times 1,5 \text{ m}$ -es, 2 mm vastagságú üvegszál-lapból álló szerkezet, mely egy állványra van felfüggesztve. A negyven lap két, egyenként 20 lapot tartalmazó „szendvics” szerkezetbe van rendezve, ahol minden lap között $1,3 \text{ cm}$ távolság van. A lapok közti hézag műanyag távtartókkal rögzítve van, mely egyúttal biztosítja a feladott zagy áramlási csatornáját is (Burt & Ottley 1974). Az egész szerkezet két felfüggesztő kábelon szabadon mozog a kereten. A feladott zagy az egyenletes eloszlás érdekében egy egyszerű csőrendszeren kerül be a lapok közé, laponként négy helyen. Az anyagminőségtől függően kb. 35 percenként kerül feladásra újabb anyag. A berendezés fél-folyamatos. A feladást az asztal egyidejű megdöntésével egy pneumatikus szelep szakítja meg. A kiülepedett termék kisnyomású vízzel távolítható el a berendezésből.

Burt és Ottley (1974) írta le a berendezéssel kapcsolatban összegyűjtött kísérleti tapasztalatokat, kb. $0\text{-}53 \text{ }\mu\text{m}$ mikrométeres kassziterit, sheelit, tantalit, ónérc, valamint flotációs meddőből származó wolframit és dúsíthatóságának vizsgálatáról. A wolframit dúsításánál 62% -os W tartalomból $82,5\%$ -ot nyertek vissza (Burt & Ottley 1974).

A Bartles keresztzalagos (CrossBelt) koncentrátort $5\text{-}100 \text{ }\mu\text{m}$ szemnagyságú anyagok gravitációs dúsítására fejlesztették ki. A berendezés tulajdonképpen egy $1,2 \text{ m}$ széles, keresztirányban megdöntött, de lényegében vízszintesen mozgó, végtelenített PVC szalag, melynek sebessége változtatható. A forgó öv változó orbitális nyíró mozgást idéz elő $0,75 \text{ m}$ -re a berendezés elején található görgőtől. Az egész szalag-szerkezet fel van függesztve egy állványra, melyen négy állítható hosszúságú kábel segítségével szabadon mozoghat.

A feladott anyag a felső résznek kb. a felénél lép a berendezésre. A nehéz szemcsék elkezdnek lerakódni a szalag felületén, míg a könnyű szemcsék a megdöntés függvényében gyorsabban vagy lassabban tovább folynak a vízzel.

A koncentrátum így több zónából áll: feladási, középső és tisztító zóna a haladásnak megfelelően. Ebben az utolsó zónában az orbitális nyírás sebessége megnő, az anyag hígul, kimosódnak a megmaradt finom szemcsék. A szalagon maradt nehéz szemcsék a „fej részénél” távoznak el, miután további mosóvíz tereli át őket a szalag szélességén. A termékek közt nincs éles átmenet, így a közép termék is tartalmaz értékes nehéz és könnyű meddő szemcséket, ezért további kezelést igényel (Burt & Ottley 1974, Burt et al. 1995).

Burt és munkatársai (Burt et al. 1995) tantál bányászati iszap kezeléssel kapcsolatos kísérletek során alkalmazták a $0\text{-}30 \text{ }\mu\text{m}$ szemnagyságú értékes Ta_2O_5 kinyerésére, azonban $15 \text{ }\mu\text{m}$ mikrométer alá menni nem tudtak vele, ezért új, centrifugális elven működő berendezéseket vizsgáltak tovább.

A hagyományos gravitációs dúsítási eljárások problémája, hogy finom szemcseméret-tartományban nem alkalmazhatók megfelelő hatásokkal. Átmenetet jelent a hagyományos és az „új” dúsítási mód-szerek között Richards és társainak (Richards 2000) kísérleti FM1 finomszemcsés dúsító spirálja, mellyel különböző, 100-150 µm szemcseméretű érceket és homokokat vizsgálva kb. 90%-os hatásokkal nyerték ki az értékes anyagot. Kromit másodlagos őrlése után, finomszemcsés (kb. 100µm) UG2 (Upper Group 2) platina ércek kromittól való elválasztásánál használt spirál koncentrátort Maharaj és munkatársai (Maharaj 2012) is.

3 CENTRIFUGÁLIS ERŐTÉRBE TÖRTÉNŐ SZÉTVÁLASZTÁS

Luttrell és munkatársai szerint a hagyományos, sűrűség elvén működő szeparációs eljárások a finomszemcsés kompozit anyagok esetén rosszabb hatásfokúak, mint más dúsítási eljárások, pl. a flotálás (Luttrell et al. 2000).

A hagyományos (1 G melletti) gravitációs dúsítás problémája, hogy a szemcseméret csökkenésével a szemcsére ható gravitációs erő csökken, így a felhajtó, ill. közegellenállási erő egyre dominánsabbá válik, melynek következtében a nagyon finom szemcsés anyagok süllyedési végsebessége olyannyira lecsökkenhet, hogy adott esetben a szemcse ülepedési ideje akár végtelen hosszú is lehet, azaz a szemcse lebegni fog. Ekkor a szemcsék gravitációsan már nem ülepedhetnek.

Centrifugális erőterben azonban a szemcsére ható erő a normál gravitációs erőnek több százszorosa lehet. Minél nagyobb a szemcse sűrűsége, annál nagyobb lesz a tehetetlensége a középpontból kifelé ható centrifugális erővel szemben, így a berendezés falához kényszerül, ahonnan kihull, vagy eltávolítható.

A finomszemcsés ($x = 0-150 \mu\text{m}$) ásványi eredetű anyagok felület-alapú dúsítási technológiái – mint pl. a flotálás vagy az olaj-agglomeráció – az ipari gyakorlatban hagyományosan alkalmazott eljárások. Az utóbbi évtizedekben azonban számos kutatás igazolta, hogy az olyan fejlett gravitációs, és centrifugális elven működő dúsító berendezések, mint a Knelson- és Falcon-koncentrátor (1. ábra), a Mozley multi-gravitációs szeparátor (MGS), vagy a Kelsey-ülepítőgép (jig) – különösen anyagkeverékek esetén – szintén nagy hatásokkal alkalmazhatók a finom szemcseméretű anyagok – esetenként kritikus nyersanyagokat is tartalmazó anyagok – sűrűség szerinti szétválasztásában (Honaker & Reed 1995, Luttrell et al. 2000). Előnyük, hogy viszonylag kis sűrűségkülönbség esetén is jó hatásfokú szétválasztás érhető el, akár kisebb, mint 10 µm elválasztási szemcseméretnél.



1. ábra. Knelson koncentrátor (Miskolci Egyetem, NyKE Intézet)

Egyik legfőbb előnyük, hogy keverék szemcsék esetén sokkal hatékonyabban, és kevesebb előkészítéssel választhatók szét a különböző termékek.

Guy és munkatársai, valamint Özbayoğlu és munkatársai 2000-ben beszámoltak a fent említett új típusú, ultrafinom-koncentrátorok ausztrál és törökországi sikeres alkalmazásáról <math>< \mu\text{m}</math> szemnagyságú ritkaföldfém bastnasitból történő dúsításáról (Guy et al. 2000, Özbayoğlu & Atalay 2000). Ebben az esetben a szemcseméret már olyan kicsi, hogy a „veszteségek nélküli” értékes anyag kinyerés miatti megfelelő feltárás az őrlési technológia átalakítását igényli.

Ritkaföldfémek gravitációs dúsíthatóságának különleges előkészítési módszerét írja le Kasey, aki 1956-ban kifejlesztett szabadalma szerint RFF-karbonát ércek 1000 °C-ra történő hevítésével a karbonátokat oxidokká alakította, és az így elért sűrűség és szuszceptibilitás növekedésével javította a dúsíthatóságot (Jordens et al. 2013, Kasey 1956).

4 MÁGNESES DÚSÍTÁSI ELJÁRÁSOK

A sűrűség után egyes ásványok, főleg azok, amelyek ferro-, vagy erősen paramágneses tulajdonságokkal bírnak (mint például az ilmenit vagy magnetit) (1. táblázat) amelyeket kis szemcseméret tartományban is lehet dúsítani nedves közegben állandó mágnesekkel szerelt dobszeperatorokkal. Igen kis szemcseméret tartományban vagy gyengén paramágneses tulajdonságú ásványok esetén azonban a nagy intenzitású, nagy gradiensű mágneses szeperatorok használata terjedt el. Az elválasztó mátrix bevezetésével bekövetkezett a szeperatorok drámai fejlődése. Így már alkalmasak voltak a gyengén mágneses anyagok szeperálására is. Jones kombinálta 1960-ban Frantz ötletét (felmágnesezőző mátrix) az új erős mágneses mezővel (Svoboda 2004).

1. táblázat. Néhány nehézásvány jellemző eljárás technikai tulajdonságai (Nagy et al. 2013)

Ásvány	Kémiai összetétel, %	Sűrűség ρ [kg/dm ³]	Mágnesezhetőség	Vezetőképesség
<i>Nehézásványok: $\rho = 4...7$ kg/dm³</i>				
Magnetit	Fe ₃ O ₄	5,5...6,5	EM	JV
Ilmenit	FeTiO ₃	4,5...5,5	EM, M	JV
Monacit	(Ce,La,Th)PO ₄	4,9-5,4	M	NV
Rutil	TiO ₂	4,2	NM*	JV
Cirkon	ZrSiO ₄	4,6-4,7	NM	NV
<i>Közepesen nehéz ásványok: $\rho = 3...4$ kg/dm³</i>				
Gránátok	Ca ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ (pl. Grosszulár) (Kationok lehetnek: Fe ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , ill Fe ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺)	3,4...3,7	KM, GyM	FV
Epidot	Ca(Fe ³⁺ ,Al)Al ₂ [SiO ₄ .Si ₂ O ₇ .OH]	3,5	GyM	NV
Turmalin	Na(Li,Al,Mn,Mg,Fe) bór szilikát	3,2...3,3	GyM	NV
<i>Könnyű ásványok: $\rho < 3$kg/dm³</i>				
Kvarc	SiO ₂	2,65	NM	NV
Földpátok	KAlSi ₃ O ₈ (pl. Ortoklász)	2,6	NM	NV
Jelölések: EM-erősen mágneses, M-mágneses, KM-közepesen mágneses NM-nem-mágneses, GyM-gyengén mágneses, JV-jóvezető, FV-félvezető, NV-nemvezető; *500 °C-on való pörköléssel (valamint Fe beépülésével) mágnesesezhetővé válik				

Az egyik legfejlettebb koncepciója a SALA HGMS berendezés volt. Számos ciklikus, és folyamatos, nedves nagy intenzitású és nagy gradiensű mágneses szeperatorot (VHIMS vagy HGMS) terveztek, ill. építettek meg, de ezek közül csak néhány felelt meg az ipar számára. A berendezéseket főleg kaolintisztításra, vasérc-és homok dúsítására használták sikeresen. A HGMS hanyatlását a gyenge elválasztás, és mátrix eltömődésének folyamatos hibái okozták. Ezt a problémát sikeresen megoldották a VMS szeperatorral (Cibulka et al. 1985). Ahol hagyományos vízszintes rotort felváltotta a függőlegesen forgó gyűrű és fordított öblítés került bevezetésre.

Ennek a koncepciónak a továbbfejlesztéséből született meg a SLON szeperator (Xiong 1994). Miközben a szuszpenziót átvezetik a mátrixon maga a mátrix pulzációs mozgást végez, ezzel javul az elválasztás. Ennek a típusnak a fejlesztése még napjainkban is zajlik és sok esetben már jóval túlszárnyalta az alapokat adó VHIMS és HGMS berendezések hatásfokát. Szintén továbbfejlesztésből született meg a TVMS azaz örvénycsapdás mágneses szeperator, ami a mágneses térben kialakuló örvényjelenések vizsgálatából született meg (Li & Watson 2000).

5 DÚSÍTÁS AZ ÁSVÁNYOK ELTÉRŐ ELEKTROMOS TULAJDONSÁGAI ALAPJÁN

Az egyes szemcsék eltérő elektromos tulajdonságai alapján a nehézásványok előkészítésében igen fontos eljárások. A módszer az egyes szemcsék eltérő elektromos tulajdonságait használja ki, így egyrészt jól szétválaszthatóak egymástól a nem és a jól vezető, de alapvetően szinte minden ásvány esetében van némi eltérés annak elektromos tulajdonságaiban. Az ásványelőkészítésben, sajátos korlátai miatt – a torlatokban feldúsuló egyes nehézásványok szeparálására használható. Ebből következően az eltérő elektromos tulajdonságok elvén működő szeparátorok alkalmazhatóak nehézásványok szeparálásakor torlatokban, ahol a ritkaföldfémek dúsulnak egyes ásványokban, mint bastnasit, monacit vagy szamarszkit (Dance & Morrison 1992).

A felületi töltések mennyiségének – függetlenül a feltöltés módjától – eltérésén alapuló eljárások nagy hiányossága, hogy a feladott anyagnak teljesen száraznak kell lennie, valamint az anyagáram gyakorlatilag egy részecske mélységű lehet, ami az ezen elven működő berendezések kapacitását jelentősen lehatárolja, főképp a kis – néhány 10, vagy 100 mikron - szemcseméret tartományokban.

A legelső elektrosztatikus szeparátorok tényleges elektrosztatikus szeparátorok voltak, amelyekben két elektródával létrehozott mezőben mozogtak a szemcsék. Az egyes szemcsék, amelyek egy adott típusú töltést hordoznak az ellentétes töltésű elektróda felé mozdulnak el. Ha az egyes szemcsék hajlamosak az egyik, ill. másik típusú töltést felvenni, akkor egymástól szétválaszthatóak, még akkor is, ha a vezetőképeségük nagyjából azonos. Az ásványelőkészítési gyakorlatban a jobb hatásfokú magas feszültséggel operáló ún. elektrodinamikusan szeparátorok szolgálnak.

A vezető-nemvezető szemcsék szétválasztását szolgáló, koronaelektrodás dobszeparátorok működése, a szemcsék eltérő koronafeltöltődése (elektronok megtapadása a szemcsék felületén a korona elektróda által ionizált térben) és eltérő töltésvesztésén (áttöltődésén) alapszik, amelynek eredményeként felépő eltérő elektrosztatikus (főként Coulomb-) erők révén a vezető szemcsék a dobbal érintkezve vele azonos töltésre tesznek szert, és a dobról eltaszítódnak. A szigetelő szemcsék megtartván töltésüket a dobhoz tapadnak, amely magával szállítja őket. Az elektrosztatikus koronaelektrodás dobszeparátorok elektromos tere 5...50 kV, fajlagos feldolgozó képessége 0,1...1 t/h.m (1 m dobszélességre).

Az elektródarendszer kialakítása olyan, hogy a földelt dob és a negatív töltésű szóró elektróda között a levegő ionizációja következik be, amely a két elektróda között intenzív töltésvándorlást okoz. Áram ekkor nem folyik, azonban ha a feszültség túl nagy vagy az elektródák túl közel kerülnek egymáshoz, esetleg a levegő páratartalma a szokásostól magasabb, akkor ún. koronakisülés következik be (áthúzás), amely jelenség az elektrodinamikusan szeparálás közben kerülendő.

A modern elektrodinamikusan szeparátorokban elterjedten alkalmaznak dupla elektródát. Az egyik elektróda – a szóró elektróda – kialakításából adódóan (vékony, hegyes vezető szálak irányulnak a földelt dob felé) létrehozzák az ionizált légtömeget, elektromos „szelet” generálva két elektróda között, ahol a szemcsék áthaladnak. A második elektróda általában ovális, nagy felülettel ellátott – ún. segéd – elektróda, amely nem szór, hanem sztatikus teret hoz létre. Míg a szóró elektróda segítségével el lehet érni, hogy a nem vagy gyengébben vezető szemcsék a földelt dobhoz tapadjanak, addig a sztatikus segéd elektróda hatására a dobról eldobódó – vezető – szemcsék, amelyek a segéd elektróda nélkül nagyjából olyan pályán mozognának, melyet egy töltés nélküli szemcsére a forgó dob által generált centrifugális erő határoz meg, az elektróda felé elmozdulnak. Olyan szeparátorokkal, amelyekben mindkét elektróda típus ki van építve, könnyen szétválaszthatóak egymástól a vezető – nemvezető szemcsék.

Az egyes üzempáraméterek, mint a dob sebessége, tápfeszültség, az elektródák helye és pozíciója, az elválasztó lap távolsága és pozíciója mellett a feladott anyag fűtése is fontos sok esetben, mivel a szétválasztás teljesen száraz szemcsék esetén a leghatékonyabb. Egyes kutatások arról számolnak be, hogy a szétválasztás hatásfokát jelentősen növelni lehet klímakamrában (ahol a hőmérséklet és a páratartalom teljesen szabályozható) (Oberanuer & Flachberger 2012). A megfelelően tiszta terméket – tekintettel a kevert féltermékekre – rendszerint többlépcsős szeparálással érhetjük el. Az elektrodinamikusan szeparátorok néhány tíz - száz mikrométer tartományba alkalmazhatóak ásványi nyersanyagok esetében (ennél nagyobb szemcseméret esetén a feltártság nem biztosított megfelelően. Az elektrodinamikusan szeparátorok termékeinek tisztítására általában hagyományos vagy szitálás elektrosztatikus szeparátort alkalmaznak. A hagyományos szeparátorokat akkor alkalmazzák, amikor kis mennyiségű nem vezetőt kell kiválasztani az alapvetően vezető feladásból.

Az elektrosztatikus és dinamikus szeparátorok az elmúlt 50 évben igen csekély mértékben fejlődtek. Ennek ellenére az elmúlt években egyre másra jelennek meg újabb fejlesztések az ásványelőkészítési piacon ezen szeparátorokból. Az OreKinetics cég előállt az ún. Corona Stat és UltraStat típusú berendezéseivel (Wills & Napier-Munn 2006), amelyekben további sztatikus elektródákat helyeztek el a szétválasztás hatásfokának növelésére. Roche Mining olyan berendezést kezdett forgalmazni, amely-

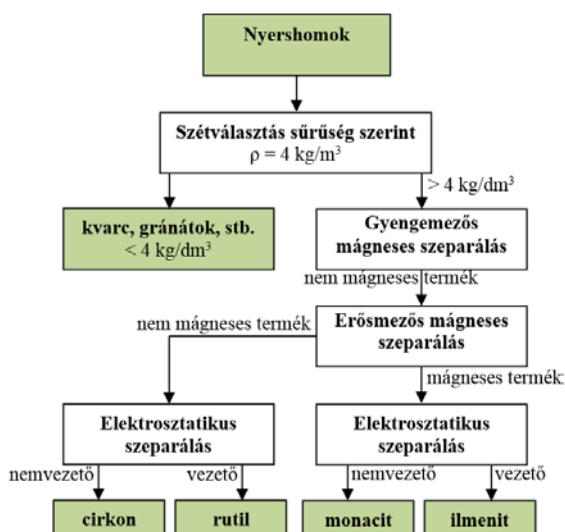
ben egy elszigetelt hagyományos elektrosztatikus szeparátort épített (Germain et al. 2003). Az Outokumpu Technology egy olyan berendezést vezetett a piacra (eForce HTR), amely egy további segédelektrodát tartalmaz és egy elektrosztatikus szítás szeparátort alkalmaz a feladásnál (Elder & Yan 2003). Speciális kialakítású radiális koronakisüléssel operáló szeparátort mutat be Mesenyashin és Kravets (Mesenyashin & Kravets 2002) amelyet kvarc és csillám szeparálásával sikeresen teszteltek.

Két lengyel szerző (Boroń & Grodzicki 1977) 3 lengyelországi mintán elvégzett kísérlet után azt állapították meg, hogy a szétválaszthatóság szempontjából a szeparátor üzempáramétere, a levegő páratartalma és a feladás hőmérséklete volt meghatározó jelentőségű. Más szerzők (Ashr et al. 1989) úgy találták, hogy az ásványokban lévő kis mennyiségű szennyező atom is nagymértékben befolyásolja az ásványok vezetőképességét.

Az elektrodinamikus szeparátorok működését jól működő és validált matematikai modellel írta le Dance és Morison (Dance & Morrison 1992), amely alkalmazható nehézasványok, köztük monacit szeparálás tervezésére is. Alapvetően titán tartalmú ásványok elektrodinamikus szeparátorral való dúsítására alkalmazható modellt alkotott Tripathy, Ramamurthy és Kumar (Tripathy et al. 2010), amely a feladás hőmérsékletét, a földelt dob sebességét és a feladás tömegáramának figyelembevételével.

6 NEHÉZÁSVÁNYOK LEVÁLASZTÁSÁNAK TECHNOLOGIÁJA

Az 1. táblázat alapján megállapítható, hogy a nehézasványok leválasztásának alapja a meddőásványoktól a sűrűség, míg egymástól való elválasztásuk pedig a mágneses és vezetőképesség szerinti eljárásokkal oldható meg. Ezen eljárások kombinációjára épülő, a monacitos torlat-homokokra gyakorlatban is alkalmazott technológiai törzsfát szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra. Monacitos torlat-homokokra alkalmazott technológiai törzsfá (Gupta 2003 és Böhm et al. 1972 nyomán)

A 2. ábra szerint technológiában a sűrűség szerinti elődúsítást elsőként rendszerint a nagy tömegarány képviselő magnetit és ilmenit leválasztását szolgáló gyengemezős mágneses szeparálás követi. Ezután a rutil, a monacit és a cirkon, két módon is elválasztható egymástól, az ábrán a kedvezőbb megoldást mutatjuk be. Elsőként a monacitot választjuk le erősmezejű mágneses szeparálással, majd a maradékból a vezető rutilt választjuk el a nemvezető cirkontól elektrosztatikus szeparálással. Az első megoldás a kedvezőbb tekintettel arra, hogy mágneses szeparálást nedvesen célszerű elvégezni, az elektrosztatikus szeparálás előtt pedig az anyagot ki kell szárítani. Az ilmenit összetételétől függően lehet erősen, közepesen, esetleg gyengén mágnesezhető, így továbbiakban esetleg a monacitot az ilmenittől is meg kell tisztítani elektrosztatikus szeparálással (2. ábra).

7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV -2012-0005 jelű projekt részeként, a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ tevékenységének részeként az Új Széchenyi Terv keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

8 IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Ashr H.A., Soliman F.A.S., Khazbak A.E. 1989. Influence of the elemental composition of zircon and colophonite minerals on their electrical conductivity. *Journal of Electrostatics*, 23, 197-206.
- Boroń K., Grodzicki A. 1977. The application of an electrostatic method to the concentration of heavy minerals in some polish sands. *Journal of Electrostatics*, 2, 331-339.
- Böhm J., Csöke B., Párkányi I. 1972. A ritkafémek dúsításának külföldi tapasztalata és hazai lehetőségei. I. Országos Ritkafém Konferencia, 129-160.
- Böhm J., Schulcz Gy., Csöke B., Tompos E. 1984. *Ásványelőkészítési mérések és laboratóriumi gyakorlatok*. Tankönyvkiadó, Budapest
- Burt R.O., Korinek G., Young S.R., Deveau C. 1995. Ultrafine tantalum recovery strategies. *Minerals Engineering*, 8(8), 859-870.
- Burt R.O., Ottley D.J. 1974. Fine gravity concentration using the Bartles-Mozley concentrator. *Int. Journal of Mineral Processing*, 1, 347-366.
- Cibulka et al. 1985. A new concept of high-gradient magnetic separators. 15th Int. Miner. Proc. Congress, Cannes, France, 363.
- Csóke B. 2004. *Előkészítéstechnika – Aprítás és osztályozás*. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Előkészítéstechnika Tanszék, Miskolc
- Dance A.D., Morrison R.D. 1992. Quantifying a black art: the electrostatic separation of mineral sands. *Minerals Engineering*, 5(7), 751-765.
- Dolgunin V., Ukolov A., Romanov A., Kudy A., Klimov A. 2000. Separation technology based on segregation effects in fast gravity flows. Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress, 2000, Rome, C7-44-49.
- Elder J., Yan E. 2003. eForce... Newest generation of electrostatic separator for the minerals sands industry. *Heavy Minerals*, 63.
- Germain M., Lawson T., Henderson D.K., MacHunter D.M. 2003. The application of new design concepts in high tension electrostatic separation to the processing of mineral sands concentrates. *Heavy Minerals*, 100.
- Gupta C.K. 2003. *Chemical Metallurgy: Principles and Practice* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Weinheim
- Guy P.J., Bruckard W.J., Vaisey, M.J. 2000. Beneficiation of Mt weld rare earth oxides by gravity concentration, flotation, and magnetic separation. Seventh Mill Operators' Conference, AusIMM, Kalgoorlie, 197-205.
- Honaker R.Q., Reed S. 1995. A fine coal circuitry study using column flotation and gravity separation *Technical report, ICCI Project Number:94-1/1.1A-1P*, Department of Mining Engineering Southern Illinois University, <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/207072-MnXEzQ/webviewable/207072.pdf>
- Jordens A., Cheng Y. P., Waters K. E. 2013. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering*, 41, 97-114.
- Kasey J.B. 1956. *Method of Treating Rare Earth Ores*. Office, U.S.P., 2735747. 1-5.
- Li Z., Watson J.H.P. 2000. Trapped Vortex Magnetic Separation (TVMS). Proceedings of the XXI. International Mineral Processing Congress
- Luttrell G.H., Honaker, R.Q., Phillips, D.I. 2000. Enhanced Gravity Separators: New Alternatives for Fine Coal Cleaning. Department of Mining Engineering Southern Illinois University, <http://www.seprosystems.com/images/stories/falcon/pdf/egs.pdf>
- Maharaj L., Loveday B.K., Pocock, J. 2012. Gravity separation of a UG-2 ore secondary sample for the reduction of cromite minerals. *Minerals Engineering*, 30, 99-101.
- Mesenyashin A.I., Kravets, I.M. 2002. Radial electrostatic separator. *Minerals Engineering*, 15, 193-196.
- Nagy S, Csöke B, Zajzon N, Kristály F, Pap Z, Kaliczne-Papp K, Szép L, Márkus I. 2013. Fehérvárcsurgói üveghomok előkészítési meddőjének alapvizsgálata a kritikus elemek kinyerése érdekében. *Bányászati És Kohászati Lapok-Bányászat*, 146(5-6), 58-66.
- Oberanuer A., Flachberger H. New developments on electrostatic separation of fines. Proceedings of XXVIth International Mineral Processing Congress, Paper No. 362.

- Özbayoğlu G., Atalay Ü.M. 2000. Beneficiation of bastnaesite by a multi-gravity separator. *Journal of Alloys and Compounds*, 303-304, 520-523.
- Richards R. G., Machunter, D. M., Gates, P. J., Palmer, M. K. 2000. Gravity separation of ultra-fine (-0.1 mm) minerals using spiral separators. *Minerals Engineering*, 13(1), 65-77.
- Richards R. G., Palmer M. K. 1997. High capacity gravity separators: A review of current status. *Minerals Engineering*, 10(9), 973-982.
- Sivamohan R., Forssberg E. 1985. Principles of tabling *Int. J. of Mineral Processing*, 15, 281-295.
- Svoboda J. 2004. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*. Kluwer Academic Publishers
- Tarján G. 1974. *Ásványelőkészítés I*. Tankönyvkiadó, Budapest
- Tarján I. 1997. *A mechanikai eljárás technika alapjai* Miskolci Egyetemi Kiadó
- Tripathy S.K., Ramamurthy, Y., Kumar, C. R. 2010. Modeling of high-tension roll separator for separation of titanium bearing minerals. *Powder Technology*, 201, 181-186.
- Wills B.A., Napier-Munn T. 2006. *Mineral Processing Technology An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier Science & Technology Books
- Xiong Da-he 1994. New development of the SLON vertical ring and pulsating HGMS separator. *Magn. Electr.* 5, 211.

Építések anyagának kezelése, hasznosítása

Szántó András

Magyar Díszítőkö Kft.
szantoa@karmacsko.hu

Összefoglalás

Az építési-bontási anyagok másodlagos felhasználásának lehetőségeit vizsgálom egy konkrét eset tapasztalataiból kiindulva. Az ide vonatkozó Uniós direktíva és a hazai Hulladékgazdálkodási törvény alapelveként kezeli a hulladékok minél nagyobb arányban való hasznosításának kérdését. A megfelelően kiválogatott építési törmelékből aprítással előállított téglá és/vagy beton daralék különböző célra felhasználható építőanyag. Ahhoz, hogy a termék kikerüljön a hulladék törvény hatálya alól alapvetően három feltételnek kell teljesülnie. Nem szabad, hogy a környezetre káros anyagot tartalmazzon, valamilyen célra felhasználhatónak kell lennie és a felhasználhatóságot az építőanyagokhoz hasonlóan megfelelő teljesítmény igazolással kell tanúsítani. Az épület bontási tevékenységnek nem elsődleges célja a felhasználható építőanyagok kinyerése, de ezek felhasználásával értékesítésével az építési terület visszanyerésének költségei csökkenthetőek. A szabályozás szelleme szerint felhasználható anyag pedig nem is kerülhet lerakóra. Az újrahasznosításnak vannak még piaci feltételei. Kérdéses, hogy az adott térségben vannak-e alternatív elsődleges aggregátum források, ezek mellett fontos a kinyert nyersanyag minősége is. A Hulladéktörvény végrehajtása tekintetében úgy tűnik a Környezetvédelmi Felügyelőségnek kialakult gyakorlata van, de a Bányahatóság hozzáállása a kérdéshez még ellentmondásos.

Kulcsszavak: másodlagos építőanyag, beton daralék, hulladék újrahasznosítás