

A nyersanyagelőkészítés területén alkalmazott egyszemcse törési vizsgálatok kritikai áttekintése

MÁRKUS IZABELLA REBEKA PhD hallgató

DR. RÁCZ ÁDÁM egyetemi docens

DR. MUCSI GÁBOR egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, Miskolc, Egyetemváros



Bevezetés

Az aprítás a nyersanyagelőkészítés egyik legenergiaigényesebb művelete és ezáltal az egyik legköltségesebb is. A folyamatba bevezetett összes energiának nagyságrendileg az ~1%-a hasznosul a szemcsék törése során [1]. Az aprítási műveletek energiaszükségletét a feldolgozott nyersanyag típusa, keménysége, szövetszerkezete, repedések gyakorisága, összetétele, a hibahelyek gyakorisága a kristályszerkezetben együttesen határozza meg. Egy ipari törőberendezés energiaszükséglete jellemzően 180 kW és 1200 kW között változhat, őrlés esetében tágabb határok között mozog. Egy bányászati beruházás energiaszükségletének nagyjából 30-50%-a, de egyes nagyon kemény ércek esetében akár 70%-a, az aprítás energiaszükséglete [2]. Az aprítás energiaszükséglete globális szinten a villamosenergia-termelés megközelítőleg 4%-át teszi ki [1] [3]. A nagy energiaszükséglet és a kis hatásfok miatt az aprítási folyamatok optimalizálása, hatékony technológiák kialakítása napjainkban is jelentős kérdés, részben a CO₂ kibocsátás csökkentés miatt, részben pedig az anyagi vonzata miatt [4] [5].

A különböző törési és őrölhetőségi vizsgálatok az aprítási folyamatok tervezésének, optimalizálásának nélkülözhetetlen elemei. Az egyes őrölhetőségi vizsgálatok, mint a Bond-, Hardgrove- és Zeisel-módszer, jó információt szolgáltatnak az anyag őrölhetőségéről, gyakran és rutinszerűen alkalmazott módszerek a 20. század első felétől. Ugyanakkor ezen módszerekkel kapott eredmények elsősorban a különböző típusú malmok esetében alkalmazhatók legnagyobb pontossággal [6]. Eltérő berendezések esetében ezen módszerrel kapott őrölhetőségi értékek esetenként az aprítómű méreteinek túlbecsüléséhez vezethetnek. Ezen vizsgálatok továbbfejlesztésére számos törekvés is született a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán [7] [8] [9], amelyek nagyobb mértékben figyelembe veszik az őrlés üzemi körülményeit, (pl. emelt hőmérséklet, heterogén feladás), amellet hogy relati-

ve gyorsan szolgáltat eredményt. Az aprítógépekben végzett törési kísérletek jó információt szolgáltatnak az anyag viselkedéséről az adott típusú törőberendezésben, viszont ez esetben maga a berendezés hatása is érvényesül az aprítás során. Ha csak maga az anyag eltöréséhez szükséges minimális energiát, illetve az aprító berendezésben végbemenő aprítás elemi folyamatait szeretnénk tanulmányozni az egyszemcse törési kísérletek alkalmazása elengedhetetlen [10]. Az egyszemcse törési kísérletek eredményei napjainkban a folyamat optimalizálás elsődleges eszközeként szolgáló modellezések szempontjából is nélkülözhetetlen információval szolgálnak [11] [12].

Az egyszemcse törési kísérletek az aprítás során végbemenő számos jelenség felfedezésére, tisztázására alkalmazott vizsgálati módszer. Leggyakrabban a törési jelenség, az energia és a szemcseméret-csökkenés kapcsolatának, valamint a törési folyamat energiafelhasználása és a különböző energiaveszteségek vizsgálatára alkalmazzák. Ezen túl gyakran alkalmazott módszer a szemcseméret, szemcsealak, az anyag fizikai tulajdonságainak és az igénybevételi mód törési folyamatra gyakorolt hatásának vizsgálatára. A törési folyamat és tönkremenetel modellezéshez szükséges törési jellemzők meghatározásához szintén alkalmazhatók a módszercsoportokhoz tartozó egyes vizsgálatok [13].

Az egyszemcséken végzett törési kísérletek a nemzetközi angol nyelvű szakirodalomban igen elterjedt, gyakran alkalmazott és kutatott módszercsoport, ugyanakkor a magyar nyelvű szakirodalma a témának hiányos, ezért célunk jelen tanulmánnyal, hogy a vizsgálatcsoportokhoz tartozó elterjedtebb eljárásokat magyar nyelven is ismertessük és összefoglaljuk.

Egyszemcse törési vizsgálatok osztályozása

Az egyszemcse törési vizsgálat igénybevételi mechanizmusa a törőberendezés igénybevételi mechanizmusát kell reprezentálja az eredmények kor-

relálhatósága érdekében [14] [15]. Az egyszemcse törési kísérleteket az igénybevétel módja és az érintkezési pontok száma szerint osztályozhatók, ennek alapján három csoport különíthető el: ütközéssel egy felületen, ütközéssel két felület között és lassú nyomás két felület között. Az első csoportba tartozó vizsgálatok esetében az ütközés egy szilárd felülettel történik, ami általában valamilyen nagy szilárdságú acéllemez. A szemcse mozgási sebessége, illetve mozgásba hozása alapján megkülönböztetünk nagy ütközési sebességű (high-impact velocity) és kis ütközési sebességű (low-impact velocity) eljárásokat. A kis ütközési sebességű eljárások esetében a szemcse mozgásba hozása a gravitáció hatására történik, míg a nagy ütközési sebességű eljárások esetében vagy sűrített-levegővel vagy centrifugális erő alkalmazásával történik a szemcse felgyorsítása. Ezen eljárás csoporthoz egy kivétellel, nem kapcsolódnak konkrét kifejlesztett vizsgálati berendezések vagy eljárások. Az egyetlen kivétel a forgó együtöközéses vizsgálóberendezés (angolul: rotary impact tester) képezi. A vizsgálati módszercsoportozáshoz tartozó eljárások és vizsgálati berendezések jelentős része a második csoportba tartozik, vagyis az ütközéssel történő igénybevétel két felület között játszódik le. Ebben a csoportba tartozik: az esősúlyos, a kétingás az osztott Hopkinson rudas vizsgálat. A harmadik csoportba tartozó eljárások kivitelezés egytengelyű nyomószilárdság átadására alkalmas berendezésben vagy rögzített tengelyű hengeres törővel történik, de ezek alkalmazása kevésbé elterjedt.

Esősúlyos vizsgálat (Drop weight test)

Az egyszemcse törési vizsgálatok egyik legegyszerűbb és gyakran alkalmazott módszere az esősúlyos vizsgálat. A 20. század második felében számos berendezés látott napvilágot, amelyek működési elve nagyjából azonos volt: különböző nyersanyagok törési függvényét és a töréshez szükséges energia kapcsolatát vizsgálta. A vizsgálat elvégezhető egyedi mintadarabokon, mint fűrőmagok, kőzet darabok, illetve szemcsehalmazon, utóbbi esetben viszont csak a halmaz viselkedéséről kapunk információt, a halmazt alkotó egyes szemcsékről nem.

A vizsgálati berendezés elvi rajzát az 1. ábra mutatja be. A tetszőleges méretű és tömegű súlyt egy csörlőberendezés pontosan meghatározott magassáig emeli és ott megtartja, majd a vizsgálat során egy kioldó szerkezet elengedi a súlyt, amely az ülőn elhelyezett mintára esik. Az aprítási energia a súly tömegének, ejtési magasságának változtatásával módosítható, amely a következő összefüggéssel adható meg:

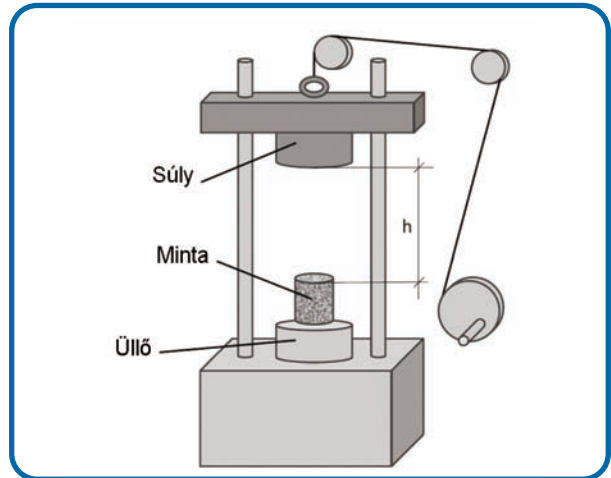
$$E_a = m_b \cdot g \cdot (h_k - h_v) \text{ [m}^2 \text{ kg/sec}^2\text{]}$$

ahol m_b a súly tömege [kg] és h_k a súly aljának magassága az ejtést megelőzően [m] és h_v a súly aljának magassága az ejtést követően [m]. Ebből a fajlagos

aprítási energia számítható a szemcse tömegének ismeretében:

$$E_{faj} = E_a / m_{sz} \text{ [kWh/t]}$$

ahol m_{sz} a szemcsék átlagos tömege [g].



1. ábra: Esősúlyos vizsgálati berendezés [6]

A törést követően a keletkezett töret szemcseméret eloszlásának meghatározása szitaelemzéssel történik. A kiindulási anyag 1/n-ed részénél kisebb szemcseméretű töret és az aprítási energia között a következő összefüggés írható fel:

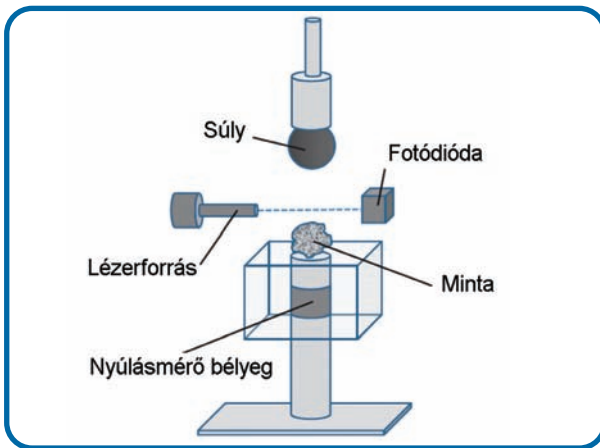
$$t_n = A \cdot (1 - e^{-b \cdot E_{faj}})$$

ahol E_{faj} fajlagos aprítási energia [kWh/t], A és b a kőzetre jellemző paraméterek, amelyek függvény illesztéssel kaphatók meg. Leggyakrabban a t_{10} indexet szokták csak számolni. A módszer előnye, hogy a berendezés egyszerű, ezért a hitelesített mérőberendezéseken túl számos kutatólaboratórium épített saját berendezést, a törési energia széles tartománya, a széles szemcseméret tartomány, rövid kivitelezési idő miatt, illetve abból kifolyólag, hogy végezhető vele szemcsehalmazok törési vizsgálata is. A módszer hátránya, hogy az egyes törési fázisok, illetve a törést megelőző deformáció energia szükséglete nem mérhető. Hátrányként szintén megemlíthető a kiindulási anyag szemcseméretének és alakjának hatása a törésre [16] [17].

Műszerezett esősúlyos vizsgálat (Instrumented drop weight test)

Legelterjedtebb változata a gyors terheléses erőmérő cellával (ultrafast load cell device – UFLC) szerelt esősúlyos berendezés. A módszer elve hasonló, mint az előzőekben bemutatott esősúlyos módszeré. A berendezés alkalmas a szemcse törése során elnyelt energia pontos meghatározására. A berendezés mintatartója egy hosszú, függőleges acélrúd, amelyre egy pár nyúlásmérő bélyeget helyeznek el (2. ábra). A vizsgálati anyagot, amely lehet egyedi szemcse vagy szemcsehalmaz, a rúd tetejére helyezik. Az igénybe-

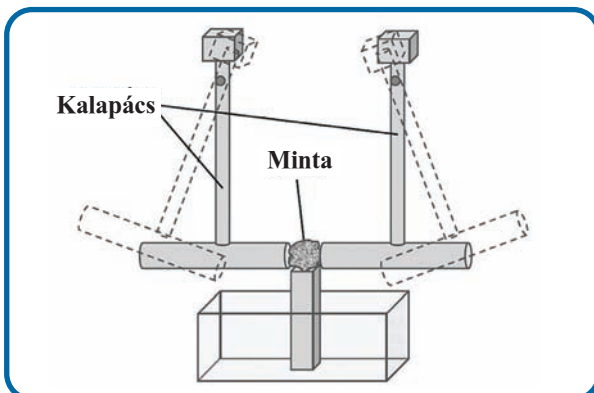
vétel egy gömb alakú súly ráejtésével történik. A berendezés kiegészül egy lézer forrással és fotodiódával, amely az eső súly sebességének meghatározását szolgálja. A súly ejtését követően a mintatartóban terjedő lökeshullámokat a nyúlásmérő bélyegek érzékelik és az ezekhez csatlakoztatott Wheatstone hidban feszültség változást idéz elő, amelyet az erre alkalmas digitális eszközök rögzítenek az idő függvényeként. A szemcse vagy szemcsék által elszorított nyomás nem direkt módon mérhető, hanem számítható az eső súly sebességéből és a mintatartó deformációjából/összenyomódásából. További részletek a mérés kiértékelésével kapcsolatosan Tavares és King [10] munkájában olvashatók.



2. ábra: Gyors terheléses erőmérő cellával szerelt esősúlyos berendezés [6]

Kétingás vizsgálat (Twin pendulum test)

A módszer kidolgozásának alapötlete az volt, hogy a már fent leírt ejtési vizsgálatok során a minta által a mintatartónak átadott energia és ezáltal az energiavesztesség kiküszöbölhető legyen [19]. A vizsgálati berendezés egy mintatartóból és két ingára szerelt kalapácsból áll. A mintatartóra rögzített egyedi szemcse törése a meghatározott magasságból elengedett két ingára szerelt kalapács között történik. A kalapácsok ejtését addig kell ismételni, amíg a szemcse tönkremegy, miközben a kalapácsok szögkitérését folyamatosan növekedik.



3. ábra: Kétingás vizsgáló berendezés [6]

A törési munkaindex a következő összefüggéssel adható meg [16]:

$$CW_i = \frac{(53,5 * C_B)}{\rho_p} \text{ [kWh/t]}$$

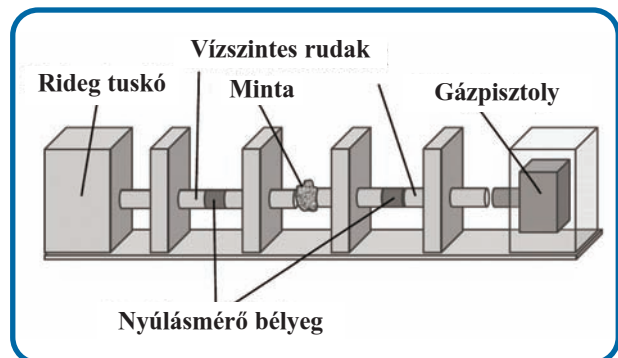
ahol ρ_p a szemcse sűrűsége [g/cm^3], C_B a becsapódási energia, amely a következő összefüggéssel számolható:

$$C_B = \frac{117 * (I - \theta)}{d_p} \text{ [J/mm]}$$

ahol d_p a szemcse vastagsága [mm] és θ az utolsó kalapácslendítés szögkitérése.

Osztott Hopkinson rudas vizsgálat (Split Hopkinson pressure bar test)

A módszer az anyagvizsgálatban, közetmechanikában gyakran alkalmazott eljárás a feszültség terjedés okozta deformáció vizsgálatára. A kísérleti berendezés két hosszú vízszintes rúdból áll, ezek csak rugalmas alakváltozást szenvedhetnek a vizsgálat során. A két rúd közé kerül elhelyezésre a vizsgálati minta, amely keménysége kisebb, mint a rudaké. A mechanikus igénybevétel generálása többféle módon történhet, de a leggyakoribb a gázipisztoly. A gázipisztolyból kilőtt lövedék becsapódik az ütést átadó rúdba, amely a maga rendjén az első vízszintes vizsgálati rúdnak ütközik. Az ütközés hatására az első rúdban feszültség hullámok keletkeznek, amelyek egy része eléri a második vízszintes rudat, míg egy része vissza verődik és ismét eléri az első rudat. A deformációs hullámok terjedése nyúlásmérő bélyegekkel mérhető. A mintának átadott impulzus egyenesen arányos a mintában fellépő feszültséggel, a minta töréséhez szükséges energia számolható ebből. Az első rúdnak átadott energia ismert, a második rúdnak átadott és a visszaverődött feszültség-hullámok energiájának összege is, a kettő különbségét feltételezhetően a minta nyeli el, ez fedezi az alakváltozáshoz és tönkremenetelhez szükséges energiát. A feszültség-hullámok többszörös oda vissza terjedését és a minta ismételt igénybevételét egy impulzusblokkoló szerkezet akadályozza meg [20].



4. ábra: Osztott Hopkinson rudas vizsgálati berendezés vázlatos rajza [6]

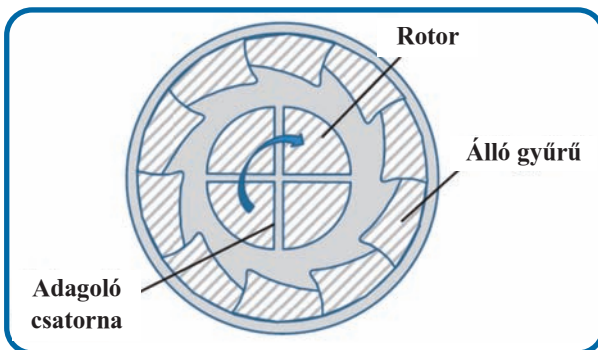
Forgó együttözéses vizsgálóberendezés (Rotary single impact tester)

Az egyszemcse törési vizsgálatcsoporthoz tartozó, előzőekben leírtakhoz viszonyítva új eljárás a forgó együttözéses vizsgálati módszer. Előnye, hogy egy vizsgálat során több egyedi szemcse törési vizsgálata is elvégezhető, kevésbé időigényes, széles szemcseméret tartományra alkalmazható (1,4–45 mm), pontosan beállítható a törési energia és az eredmények könnyen reprodukálhatók [21]. A kör keresztmetszetű vizsgálati berendezés tengelye körül egy adagoló csatornával ellátott rotor helyezkedik el. A vizsgálati anyag feladása a zárt berendezésbe egy külső adagoló csatornán keresztül történik. Az anyag felgyorsítása az adott fordulatszámra forgó rotor által történik a centrifugális erő hatására. A rotort elhagyva a szemcse a fűrészfog szerű kialakítású álló gyűrűnek csapódik. A fűrészfogszerű kialakítás lehetővé teszi a szemcsék merőleges becsapódását.

Az egyes szemcsék ütözésének fajlagos energiája a következő összefüggéssel adható meg:

$$E_{cs} = \frac{E_k}{m} = \frac{0,5 \cdot m \cdot V_i^2}{m} = 0,5 \cdot V_i^2 \text{ [J/kg]}$$

ahol m a szemcse tömege [kg] és V_i^2 az ütözés sebessége [m/s].



5. ábra: Forgó együttözéses vizsgálóberendezés vázlatos rajza [6]

Az egyszemcse törési vizsgálatok gyakorlati alkalmazása:

Az egyszemcse törési vizsgálatok eredményeinek felhasználása a gyakorlatban igen szerteágazó, a teljesség igénye nélkül a továbbiakban néhány alkalmazást mutatunk be. Az esősúlyos vizsgálatok eredményeit úttörőként Narayanan és White [22] alkalmazta, a törési energia és a töret szemcseméret eloszlás kapcsolatának vizsgálatára. Eredményeiket a golyósmalomban végbemenő folyamatok, a törési függvény és a berendezés energiaszükségletének modellezésére alkalmazták. Genc és munkatársai [23], Umucu és munkatársai [24] ezt továbbfejlesztve a módszerrel a törési energia, valamint a törési index (t_n) közötti összefüggéseket vizsgálták a kiindulási anyag szemcseméretének figyelembevételével, ezzel fókuszálva a

szemcsemérettől függő törési viselkedésre, amely a golyós- és autogénmalom modellezése esetén pontosabb modellek megalkotásához elengedhetetlen. Tavares és King [10] a gyors terheléses erőmérő cellával a fajlagos törési energiát és a szemcse törést megelőző deformációjához szükséges energiát mérte, utóbbi a szemcse szilárdsággal hozható összefüggésbe. A módszer segítségével egy vasérc aprítómű anyagáramain végeztek méréseket, arra a következtetésre jutva, hogy a nagyobb szilárdságú szemcsék a zárt körfolyamatosan üzemelő golyósmalom termékében dúsult, mivel a nagyobb szilárdságnak köszönhetően ezen szemcsék törési valószínűsége kisebb. Kvarcdús érc esetében az aprítást megelőző hőkezelés hatását vizsgálták a törési energiára, igazolva, hogy a módszer alkalmas a robbantás, hőkezelés és előaprítás által okozott szerkezetkárosítás számszerűsítésére. A kétingás vizsgálatot Weedon és Wilson [25] a különböző vasérc rakodása során bekövetkező aprózódás előrejelzéshez használta, Shoo és munkatársai [26] a szén rakodása során bekövetkezett aprózódás vizsgálatára alkalmazta a módszert. A módszerrel kapott eredmények a különböző nyersanyagok rakodása során bekövetkező aprózódás modellezéséhez elengedhetetlen [13]. Bbosa és munkatársai [20] az osztott Hopkinson rudas vizsgálatot alkalmazta a szemcsék törésének vizsgálatára. Egyrészt a szemcse alak hatását vizsgálva, arra a következtetésre jutottak, hogy a gömbölyű szemcsék könnyebben törnek, mint a szögletes szemcsék, mivel nagyobb mennyiségű energia elnyerésére képesek. Vizsgálataik során bebizonyították továbbá azt is, hogy a szemcse törési energiájánál kisebb energiájú igénybevételek esetén az ismételt igénybevételek hatására is bekövetkezhet a szemcse törése, ugyanakkor ez esetben a törés bekövetkeztéhez szükséges energia jelentősen nagyobb lesz, mint egyetlen igénybevétel esetén. A forgó együttözéses vizsgálati berendezést számos nemzetközi bányászati cég alkalmazza a gyakorlatban, ugyanis az eljárással gyorsan kapható pontos információ az anyag törési jellemzőiről és ezáltal valós időben optimalizálható a törési folyamat [27].

Összefoglaló

Az egyszemcse törési vizsgálatok a nemzetközi gyakorlatban gyakran alkalmazott vizsgálati eljárások, melyek jelentősége az aprítási folyamatok hatékonyságának javítására tett törekvések fokozódásával egyre nagyobb jelentőséget nyernek. A bemutatott eljárások esetében a műszerezettség jellemzően nem összetett, a mérések kiértékelése egyszerű összefüggésekkel elvégezhető. A bemutatott vizsgálati eljárások, az esősúlyos vizsgálat, a műszerezett esősúlyos vizsgálat, kétingás vizsgálat, osztott Hopkinson rudas vizsgálat a két felület között történő igénybevételek, míg a forgó együttözéses vizsgálat az egy felületen történő igénybevételek anyagra gyakorolt hatásának vizsgálatára alkalmas berendezések. A vizsgálatok

során kapott eredmények számos kérdés feltárására alkalmazhatók, mint azt a bemutatott gyakorlati alkalmazások is alátámasztják. Ilyen kérdések a törési jelenség, az energia és a szemcseméret-csökkenés kapcsolata, a törési folyamat energiafelhasználása és az energiavesztességek vizsgálata, a szemcse mérete és fizikai tulajdonságainak hatása a törési jelenségre. Mindezek a vizsgálatok hozzájárulnak az energiain-tenzív aprítási folyamatok mélyebb megértéséhez, fejlesztéséhez és optimalizálásához.

Köszönetnyilvánítás

„A kutatómunka a Miskolci Egyetem „Felszín alatti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása” című projektjének részeként, az Innovációs és Technológia Minisztérium támogatásával zajló Tématerületi Kiválósági Program keretében valósult meg. (Támogatói Okirat ikt. szám: NKFIH-846-8/2019)”

IRODALOM

- [1] J. Donovan, M. Karfakis: „A fracture toughness based model for the prediction of jaw crusher power consumption”, Paper presented at the Gulf Rocks 2004, the 6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS): Rock Mechanics Across Borders and Disciplines, ARMA/NARMS 04-545
- [2] T.J. Napier-Munn, S. Morell, R.D. Morrison, T. Kojovic: „Mineral Comminution Circuits: Their Operation and Optimization”, JKRC Series in Mining and Mineral Processing, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, The University of Queensland, 1996, p. 413
- [3] J. Jeswiet, A. Szekeres: „Energy consumption in mining comminution”, 23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Procedia CIRP 48, p. 140 – 145, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.03.250
- [4] D. Legendre, R. Zevenhoven: „Assesing the energy efficiency of a jaw crusher”, Energy 74, 2014, pp. 119-130, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.036
- [5] A. Tosun, G. Konak: „Development of a model estimating energy consumption values of primary and secondary crushers”, Arab. J. Geosci (2015) 8, 2015, p. 1133-1144, doi: 10.1007/s12517-013-1260-3
- [6] A. Mwanga, J. Rosenkranz, P. Lamberg: „Testing of ore comminution behavior in the geometallurgical context-A review”, Minerals 2015, 5, p. 276-297, doi:10.3390/min5020276
- [7] B. Csőke, Á. Rác, G. Mucsi: „Determination of the Bond work index of binary mixtures by different methods”. International Journal of Mineral Processing 123, 2013, p. 78-86, doi: DOI:10.1016/j.minpro.2013.05.004
- [8] G. Mucsi, Á. Rác, G. Mag, G. Antal, B. Csőke: „Volume based closed-cycle Hardgrove grindability method”. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 34 (4), 2019, p. 9-17, doi: 10.17794/rgn.2019.4.2
- [9] G. Mucsi: „Fast test method for the determination of the grindability of fine materials”, Chemical engineering research and design 86 (4), 2008, p. 395-400, doi: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2007.10.015
- [10] L. M. Tavares, R. P. King: „Single-particle fracture under impact loading”, Int. J. Miner. Process. 54, 1998, p. 1–28, doi: https://doi.org/10.1016/S0301-7516(98)00005-2
- [11] B. Bonflis, G.R. Ballantyne, M.S. Powell: „Developments in incremental rock breakage testing methodologies and modelling”, International Journal of Mineral Processing 152, 2016, p. 16–25
- [12] F. Saeidi, L. M. Tavares, M. Yahyaeei, M. Powell: „A phenomenological model of single particle breakage as a multi-stage process”, Minerals Engineering, Volume 98, 2016, p. 90-100, doi: https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.07.006.
- [13] L. M. Tavares: „Chapter 1 Breakage of Single Particles: Quasi-Static”, A. D. Salman, M. Ghadiri, M. J. Hounslow (szerk), Handbook of Powder Technology, Elsevier Science B.V., Volume 12, 2007, p. 3-68, doi:
- [14] S. R. Krogh: „Crushing characteristics” Powder Technology, volume 27, 1980, p. 171-18, doi: https://doi.org/10.1016/0032-5910(80)85019-4
- [15] M.M. Bwalya, N. Chimwani: „Development of a More Descriptive Particle Breakage Probability Model”, Minerals 2020, 10, 710, doi: https://doi.org/10.3390/min10080710
- [16] D. Gan, F. Gao, Y. Zhang, J. Zhang, F. Niu, Z. Gan: „Effects of the Shape and Size of Irregular Particles on Specific Breakage Energy under Drop Weight Impact”, Shock and Vibration, vol. 2019, Article ID 2318571, 2019, doi: https://doi.org/10.1155/2019/2318571
- [17] F. Shi: „A review of the applications of the JK size-dependent breakage model: Part 1: Ore and coal breakage characterisation”, International Journal of Mineral Processing, Volume 155, 2016, p. 118-129, doi: https://doi.org/10.1016/j.minpro.2016.08.012.
- [18] L. M Tavares, R.P King: „Single-particle fracture under impact loading”, International Journal of Mineral Processing, Volume 54, Issue 1, 1998, p. 1-28, doi: https://doi.org/10.1016/S0301-7516(98)00005-2.
- [19] F. C. Bond: „Crushing tests by pressure and impact”, Mining Technology, Technical Publication No. 1895. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 169, 1946, p. 58-65
- [20] L. Bbosa, M.S. Powell, T.J. Cloete: „An investigation of impact breakage of rocks using the split Hopkinson pressure bar”, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 106, 2006, p. 291-296
- [21] T. Kojovic, F. Shi: „Update on the JKRB (JKMRC Rotary Breakage Tester)”, CSRP'08: Delivering Sustainable Solutions to the Minerals and Metals Industries: 2nd Annual Conference, Brisbane, Australia, 2008, p. 43-46
- [22] S. S. Narayanan, W.J. Whiten: „Breakage characteristics for ores for ball mill modelling”, Proc. Australas. Inst. Min. Metall. No. 286, June, 1983, p. 31-39
- [23] Ö. Genc, L. Ergün, H. Benzer: „Single particle impact breakage characterization of materials by drop weight testin”, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 38, 2004, p. 241-255

- [24] Y. Umucu, V. Deniz, N. Unal: „An evaluation of modified product size distribution model based on t-family curves for three different crusher”, Physicochem. Probl. Miner. Process. 49(2), 2013, p. 473–480, doi: <https://doi.org/10.5277/ppmp130209>
- [25] D. M. Weedon, F. Wilson: „Modelling iron ore degradation using a twin pendulum breakage device”, International Journal of Mineral Processing, Volume 59, Issue 3, 2000, p. 195-213, doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(99\)00066-6](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(99)00066-6)
- [26] R.K. Sahoo, D.M. Weedon, D. Roach.: „Degradation model of Gladstone Port Authority's coal using a twin-pendulum apparatus”, Advanced Powder Technology. 15, 2004, p. 459-475, doi: [10.1163/1568552041270545](https://doi.org/10.1163/1568552041270545)
- [27] F. Shi, T. Kojovic, S. Larbi-Bram, E. Manlapig: „Development of a rapid particle breakage characterisation device-The JKRBT”, Minerals Engineering 22, 2009, p. 602–612, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.05.001>

MÁRKUS IZABELLA 2012-ben szerzett geológus BSc oklevelet a kolozsvári Babes-Bolyai Egyetemen, majd 2014-ben geológusmérnök MSc valamint 2021-ben bányá- és geotechnikai mérnök MSc okleveleket a Miskolci Egyetemen. Jelenleg a Miskolci Egyetem Mikoviny Sámuel Doktori Iskolájának PhD-hallgatója, kapcsolódva a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti EljárásTechnikai Intézetben folyó kutató és oktató munkához.

DR. RÁCZ ÁDÁM előkészítéstechnikai mérnök (2008), a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti EljárásTechnikai Intézetének egyetemi docense. PhD fokozatát 2014-ben szerezte a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolában. Fő kutatási területe a mechanikai eljárásTechnika, azon belül is kiemelten foglalkozik a finomörlés és a nem-rideg anyagok aprítása területeivel. Oktatási területei a hulladékElőkészítés, ásványElőkészítés, előkészítéstechnikai gépek és berendezések. Eddig összesen 84 tudományos közleménye jelent meg.

DR. MUCSI GÁBOR előkészítéstechnikai mérnökként szerzett diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán 2002-ben, majd 2009-ben védte meg PhD disszertációját. A ranglétra minden fokozatát végigjárva jelenleg a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti EljárásTechnikai Intézet egyetemi tanára. Ezidáig 113 TDK dolgozat, szakdolgozat, diplomatervezés és disszertáció készült szakmai vezetése mellett. Eddig összesen 67 ipari K+F+I munkában és 33 pályázati projektben tevékenykedett, sok esetben vezetői szerepben. 14 alkalommal vett részt külföldi egyetemen vendégoktatóként. 2019-ben habilitált a Miskolci Egyetemen. Kutatási területe a finomörlés, a szilárd hulladékok előkészítése és hasznosítása, különös tekintettel az ipari hulladékok mechanikai aktiválása reaktivitásuk szabályozása érdekében, geopolimer, hulladékok szinergikus hasznosítása. 2013-tól a Műszaki Földtudományi Kar tudományos ügyekért felelős dékánhelyettese, majd 2020-tól a kar dékánja.

Grönland betiltja az uránbányászatot, blokkolva a ritkaföldfémekkel kapcsolatos hatalmas projektet

A Greenland Minerals beszünteti részvételét a ritkaföldfémekkel kapcsolatos grönlandi kutatásokról zajló konzultációkban, miután a grönlandi parlament elfogadta azt a törvényjavaslatot, amely betiltja az uránbányászatot és -kutatást a területén, ami gyakorlatilag megakadályozza a Kvanefjeld ritkaföldfém-projekt további fejlesztését, amely a világ egyik legnagyobb érckutató programja. A projektet az ausztrál Greenland Minerals szorgalmazza. 2020-ban megkapta az előzetes jóváhagyást, és jó úton haladt az előző kormány végleges jóváhagyása felé. Bár a bányavállalat nem adott ki közleményt az ügyben, részvényeivel 2021 november 10-én leállították a kereskedést, amely „*felfüggesztve marad a társaság közleményének megjelenéséig*” – áll az Ausztrál Értéktőzsdének küldött közleményben.

Az uránbányászat és -kutatás betiltására vonatkozó döntés az áprilisban megválasztott párt kampányígéretének eredménye. A parlament által 2021. november 9-én elfogadott jogszabály, ami tiltja a 100 ppm-nél magasabb koncentrációjú uránérc feltárását, összhangban van az új koalíciós kormány stratégiájával, amely arra irányul, hogy Grönlandot környezetbarát, környezettudatos úticéllé jelenítse meg. Az új szabályozás tartalmazza azt a lehető-

séget is, hogy megtilthassák más radioaktív ásványok, például a tórium feltárását.

A jégborítottság fokozatos csökkenése Grönlandon azt idézte elő, hogy a bányavállalatok egyre nagyobb érdeklődést mutattak az ásványokban gazdag sziget iránt. Réztől és a titántól a platináig és a ritkaföldfémekig mindent kutatnak Grönlandon, mivel az elektromos járművek motorjaihoz és az úgynevezett zöld forradalomhoz szükségesek ezek a nyersanyagok. Grönland jelenleg két bányának ad otthont: anortozitbázisú titánércet, valamint nemeskorundot (rubint és rózsaszín zafírt) termelnek ki. Az áprilisi választások előtt a sziget számos kutatási és bányászati engedélyt adott ki, hogy diverzifikálja gazdaságát, és végül megvalósítsa hosszú távú célját, a Dániától való függetlenséget.

Az Egyesült Államok kormánya a közelmúltban gazdasági segélycsomagot terjesztett ki Grönlandra a Joe Biden-kormányzat azon erőfeszítéseinek részeként, hogy biztosítsa a kritikus ásványok, különösen a ritkaföldfémek Kinán kívülről történő szállítását. Donald Trump volt elnök felajánlotta a sarkvidéki sziget megvásárlását, hogy segítsen kezelni a kínai dominanciát a ritkaföldfémek piacán.

mining.com híryangya alapján VT