Eltérő őrlhetőségű anyagok együttőrlésének alapvizsgálata univerzális Hardgrove malomban

GREGUS ÉVA • Miskolci Egyetem • ejtgrege@uni-miskolc.hu

RÁCZ ÁDÁM • Miskolci Egyetem • ejtracz@uni-miskolc.hu

CSŐKE BARNABÁS • Miskolci Egyetem • ejtcsoba@uni-miskolc.hu

Érkezett: 2018. 01. 17. • Received: 17. 01. 2018. • <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2018.17>

Intergrinding of materials with different grindability in Universal Hardgrove mill

The most energy and price consuming process in a mineral processing technology is grinding. In this study materials with different grindability were prepared and used for separate and intergrinding experiments. Quartz and limestone were used for the two components intergrinding, where the quartz is hard to grind and non-adhesive, but the limestone is easy to grind and adhesive. The grinding experiments were carried out in a Universal Hardgrove Mill. The ground material was examined in laser particle size distribution analyser and optical microscope to determine the particle size distribution and investigate the particle shape as well. During the grinding experiments grinding work was measured based on torque measurement. In case of intergrinding the material composition in different size fractions were determined by loss on ignition measurement. The Bond work index of the materials were calculated from the torque measurement results. Based on the measurement results the different grinding behaviour of the quartz and limestone can be seen. The limestone was fractured easily at the beginning of grinding, while at longer grinding times sticking and agglomeration of the particles occurred, while the efficiency of the grinding was significantly decreased. Contrary, quartz was fractured slightly in the grinding chamber, only attrition of the particles surface occurs and not body breakage. This can be traced back to the spherical shape of the quartz particles. Based on the results of the intergrinding it can be conclude that the increasing limestone content in the feed resulted in ground material with lower particle size and higher specific surface at a constant specific grinding work. The material composition of the ground materials in different size fractions showed that the limestone was enriched in the fine (<20 µm) fraction at the intergrinding. The quartz particles participate in the grinding like a grinding media. From the intergrinding of different size fractions of one material it can be conclude that the grinding of quartz resulted in high amount of fine, less than 1 µm product. So, in this case as well mainly the attrition of the quartz particles was carried out.

Keywords: Two components intergrinding, Universal Hardgrove mill

Kulcsszavak: Kétkomponensű együttőrlés, Universal Hardgrove malom

1. Bevezetés

Az egyik legnagyobb energiaigényű nyersanyag-előkészítési folyamat az aprítás, őrlés [1,2] és ennek köszönhetően jelentős költséghányadot képvisel egy ásványelőkészítési technológia üzemeltetésében. Annak érdekében, hogy az energiafelhasználást minimalizálni tudjuk az üzemi és gépi paraméterek optimalása az őrlendő anyagok tulajdonságainak ismeretében kiemelt fontosságú feladat. Az eltérő őrlhetőségű anyagok együttőrlésére számos alkalmazást találunk az iparban, kiemelt példája a cementiparban a klinker egyéb hidraulikus kötőanyagokkal és töltőanyagokkal keverékként való őrlése. A folyamatok megértéséhez ki kell emelni, hogy az együttőrlés során a különböző őrlhetőségű szemcsék hatással vannak egymásra, a nagyobb méretű és nehezebben őrlhető anyag szemcséi kvázi őrlőtestként működhetnek vagy a finomabb anyag bevonatot képezhet a nagyméretű és nehezebben őrlhető szemcsék felületén. Csőke és társai [3] különböző őrlhetőségű anyagok Bond és Hardgrove malomban való együttőrlésével foglalkoztak, a különböző módon meghatározott Bond-indexek eltérését vizsgálták. Méréseiket összekapcsolták az alkotórészek tö-

megarányának meghatározásával az őrlményben, az őrléseket nem az őrlhetőségi koefficiens állandósult állapotáig hajtották végre, hanem az alkotórészek összetételbeli kémiai egyensúlyáig folytatták le. Ipek [4] szerint a lágyabb komponenst tartalmazó keverékek Bond munkaindexei nagyobbak, mint az egyedi alkotók munkaindexének súlyozott átlaga a keverékekben. Öner [5] a Bond mérést klinker és kohósalak keverékén végezte el. Megmutatta, hogy a keverékek Bond őrlhetősége alacsonyabb, mint az összetevők őrlésének súlyozott átlaga az összes salak hozzáadása esetén. Együttőrlésnél az alacsonyabb őrlhetőségű salak a durvább frakcióban halmozódik fel, míg a klinker a nagyobb őrlhetőség miatt a finomabb frakcióban dúsul. Abouzeid és Fuerstenau [6] a nagy nyomású őrlőhengereket (HPGR) vizsgálták. Rávilágítottak, hogy a nagy keménységű ásványi részecskék energiatranszferként működnek a hengerek réseiben és fokozzák a puhább ásványi részecskék őrlését a kevert feladásban. Tavares [7] szerint a durvább szemcsék által a HPGR-ben tapasztalt nagyobb gyengülés csökkenti az energia-megtakarítást és a termék további őrlésének finomabb méretét. Ellerbrock és munkatársainak [8] eredményei alapján a cementkomponensek részecskeméret-eloszlása függ az őrlő-

GREGUS Éva

2018-ban szerzett Bsc diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán, műszaki földtudományi alapszakon, nyersanyagelőkészítési specializáción. Jelenleg tanszéki mérnökként dolgozik az Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt keretében.

RÁCZ Ádám

2008-ban végzett a Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Karán, előkészítőtechnikai mérnök szakon. Doktori (PhD) fokozatát 2014-ben szerezte őrlés tématerületén. Jelenleg a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének adjunktusa. Fő kutatási és oktatási területe a mechanikai eljárás technika és az aprítás, őrlés.

CSŐKE Barnabás

A Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Karának Professzor Emeritusza. Okleveles bányamérnökként végzett 1969-ben a Miskolci Egyetem, Bányamérnöki Karán. Műszaki tudomány kandidátusa címet 1976-ban, PhD fokozatát 1986-ban szerezte. 1997-ben Habilitációs fokozatot szerzett. 1998-2016 között egyetemi tanár a Miskolci Egyetemen. Fő kutatási és oktatási területei a mechanikai eljárás technika, aprítás, őrlés, hulladékelőkészítés.

rendszer típusától és működési módjától, valamint a cement-komponensek őrlhetőségétől. *Faitli és munkatársai* [9] üzemi vizsgálatokat hajtottak végre az őrlési energiaigény optimalizálása érdekében egy vertikális görgős malomban, melyhez léces szélosztályozó kapcsolódik. Kifejlesztésre került egy finomítási és három szétválasztási szakasz a minőségi termék előállítás céljából. Több mintavételi pont és modellezés segítségével állapították meg az optimalizáláshoz szükséges anyagáramokat és a légszeparátor fordulatszámát. Az üzemi adatokból Bond munkaindex került számításra. A fentiekkel összefüggésben a kutatómunka célja a kétkomponensű rendszerek együttőrlésének vizsgálata univerzális Hardgrove malomban és az őrlés során lejátszódó szemcse kölcsönhatásoknak a vizsgálata.

2. Anyagok és eljárások

A méréseket és vizsgálatokat a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet laboratóriumaiban és eszközein végeztük el. A kétkomponensű őrlési kísérletekhez kvarcot és mészkövet használtunk. Első lépésként előállítottuk a méréshez megfelelő kiindulási alapanyagokat. Laboratóriumi szitákat használva 106-250 μm és 32-106 μm közötti frakciókat hoztunk létre nedves szitálással, majd szárítószekrényben 105 °C-on kiszárítottuk a frakciókat. Az őrlési kísérletekhez univerzális Hardgrove malmot alkalmaztunk. Univerzalitása abban található, hogy nem csak az őrlési körülmények, hanem a hőmérséklete is változtatható 20–300 °C között, illetve képes az őrléshez szükséges munka direkt mérésére nyomaték-mérés segítségével. A berendezés fejlesztés egyik célja az volt, hogy az üzemi viszonyokat jobban megközelítő, magasabb hőmérsékleteken is el lehessen végezni az őrlhetőségi vizsgálatokat. Ezért a malmot (az őrlőtégelyt) a fűtést szolgáló téglakemencével vették körül [2, 11]. Az őrlések során a szabványos Hardgrove őrlés körülményeit alkalmaztuk (8 db őrlőgolyó, $F=290\text{ N}$, fordulatszám 20 1/perc). Minden őrlési kísérlet során az univerzális Hardgrove malomra $V_H=58\text{ cm}^3$ -nek megfelelő tömegű anyag került feladásra [10].

A fajlagos őrlési munka (W_f) értékek a nyomaték-mérésen alapuló mérési eredményekből ($W_{f,\text{mért}}$) kerültek meghatározásra minden őrlési kísérlet során. A kiindulási anyagok és az őrlémények empirikus szemcseméret eloszlását és a számított fajlagos felületet Horiba LA-950 típusú lézeres szemcseméret elemző segítségével határoztuk meg. A különőrlési vizsgálatok során a kvarcot és mészkövet 3, 5, 10, 15, 30, 60 percig őrltük. A kétkomponensű együttőrlési vizsgálatok során különböző arányú (25-75, 50-50, 75-25) feladásokat állítottunk elő, majd különböző ideig ($t=5, 30, 60\text{ min}$) őrltük őket az univerzális Hardgrove malomban. Ezen felül végeztünk még kísérleteket arra irányulón is, hogy hogyan viselkedik a mészkő és a kvarc együtt- és különőrlés során, ha saját anyagából kisebb szemcseméretű frakcióval őrljük együtt. Esetünkben mind a kvarc, mind a mészkő 106-250 μm -es frakciójához 32-106 μm -es anyagot kevertünk és együttőrlésnél szintén 5, 30 és 60 percig, különőrlésnél 5, 15, 30, 45 és 60 percig végeztünk rajtuk őrlést 25-75, 50-50, 75-25 arányban keverve a frakciókat. Az együttőrlési kísérletek után az egyes őrléményeken izzítási veszteség mérést is végeztünk. Ehhez az anyagot először frakcionáltuk: $250 > x > 106\mu\text{m}$, $x > 63\mu\text{m}$, $x > 20\mu\text{m}$ és $0 < x < 20\mu\text{m}$. Az izzítási veszteség vizsgálatánál analitikai mérleggel mértük a porcelán csónakok tömegét, bemértünk 1 g anyagot, majd szobahőmérsékletű kemencébe helyeztük a mintákat. A kemence 1,5 óra alatt érte el a 950 °C hőmérsékletet, majd további 1 órát volt még benn az anyag. Kihűlés után mértük a tömegeket és meghatároztuk az izzítási veszteségeket.

3. Mérési eredmények

3.1 Különőrlési eredmények

A vizsgálatok során elvégeztük a mészkő és kvarc szemcsék külön őrlését, majd eltérő összetételek mellett vizsgáltuk az őrlémények diszperzitás jellemzőinek változását és az anyagok őrlés közben egymásra gyakorolt hatását. Az 1. ábrán a kvarc és mészkő két különböző frakciójának különőrlési eredménye ta-

1. ábra Mészkő és kvarc mediánjának változása a fajlagos őrlési munka függvényében különőrlés esetén

Fig. 1 Median particle size of limestone and quartz as a function of the specific grinding work in case of separate grinding

2. ábra Kvarc szemcseméretének eloszlásfüggvénye különőrlés esetén

Fig. 2 Cumulative undersize of quartz in case of separate grinding

3. ábra Kvarc szemcsék mikroszkópi felvételei (a, kiindulási; b, 60perc)
Fig. 3 Microscopic picture of quartz particles, a-feed, b -60 min grinding

lálható, ahol a medián változása látható a fajlagos őrlési munka függvényében. A kvarc kiindulási medián szemcsemérete 106-250 µm-es frakciónál 147,6 µm-ről 133,9 µm-re csökkent 25 kWh/t fajlagos őrlési munka befektetése után. Mészke esetén az anyag jelentős szemcseméret csökkenésen esett át, a kiindulási medián szemcseméret 169,4 µm-ről 12,23 µm-re csökkent 24 kWh/t fajlagos őrlési munka hatására. A kisebb, 32-106 µm-es kvarc frakció csak kismértékű szemcseméret változás következett be, 91 µm-ről 66 µm-re mérséklődik a szemcseméret 21 kWh/t fajlagos őrlési munka következtében, a mészke-nél a nagyobb frakcióhoz hasonlóan jelentős a változás, 80 µm-ről 9,3 µm-re csökkent a medián szemcseméret 25 kWh/t fajlagos őrlési munka után. A kvarc esetén a medián szemcseméret változása és a fajlagos őrlési munka között lineáris összefüggést figyelhetünk meg. Ezzel ellentétben a mészke 106-250 µm-es frakció esetében 11 kWh/t munka és 13 µm eléréséig lineárisan csökken a szemcseméret, míg ezután 24 kWh/t fajlagos őrlési munka esetén sem csökken jelentősen tovább a szemcseméret. A finomabb mészke frakció esetében a szemcseméret csökkenése lineáris a fajlagos őrlési munkával. A kvarc-szemcsék a befektetett őrlési munka és a közölt – a Hardgrove malomban kialakuló – igénybevételek hatására nem, vagy csak alig törtek, a medián szemcseméret kismértékű csökkenése figyelhető meg a befektetett fajlagos őrlési munka függvényében. Megvizsgálva a kvarc 106-250 µm-es frakciójának szemcseméret-eloszlás változását az őrlési idő függvényében (2. ábra), azt láthatjuk, hogy habár a medián szemcseméret alig változott, a finomabb (<50 µm) szemcseméret tartományban az anyag jelentősen finomodott, a <50 µm-es rész tömeghányada jelentősen megnőtt 7 %-ról 28 %-ra. Az 1 µm alatti szemcsék mennyisége a kvarc-örleményben szintén jelentősen növekedett ~ 1 %-ról

4. ábra Mészke szemcsék mikroszkópi felvételei (a, kiindulási; b, 60perc)
Fig. 4 Microscopic picture of limestone particles, a-feed, b -60 min grinding

10-13%-ra (2. ábra). Mindeközben a fajlagos felület is erőteljesen növekedett, kvarc esetén 326 cm²/g-ról 8054 cm²/g-ra a 106-250 µm-es frakciónál és 1085 cm²/g-ról 8971 cm²/g-ra a 32-106 µm-es frakció esetében. Mészke vizsgálatánál a 106-250 µm-es frakciónál 907 cm²/g-ról 2673 cm²/g-ra, a 32-106 µm-es frakciónál pedig 1242 cm²/g-ról 11297 cm²/g-ra növekedett. Ennek magyarázatára azt mondhatjuk, hogy a fellépő dörzsoló igénybevétel csak koptatta a szemcsék felületét, miközben a kvarcszemcsék nagy része megőrzi az eredeti méretét, tehát teljes szemcsetörés nem következett be az őrlés során. A 3. ábrán a kvarc kiindulási és 60 perces őrlés utáni állapotának Zeiss mikroszkópos felvétele látható. A szemcsék lekerekítettek, kevés törési felület, éles rész észlelhető rajtuk. A felületi koptatás hatására kialakult kerekded szemcsealak a jellemző. A 60 perces őrlés után a szemcséken lényeges változásként csak az tapasztalható, hogy még lekerekettebb formát nyertek a kezdetihez képest. A mészke-örlemény mikroszkópi felvételén látszik, hogy az őrlemény szemcséi inkább szögletesebbnek mutatkoznak, mint a kvarc-örlemény szemcséi. A 4. ábrán a mészke kiindulási és 60 perces őrleményének mikroszkópos felvételei láthatóak. A szemcsék alapvetően szabálytalan alakúak, sok törési felülettel. A 60 perces őrlés követően a nagyobb méretű szemcsék felülete simább lett, az alakjuk lekerekítetté, gömbszerűbbé vált. A kvarc szemcsék nehezebb őrlhetőségét vizsgálva Mucsi [2] munkássága alapján, arra következtünk, hogy a szferikus alakkal rendelkező kvarc, hasonlóan az általa vizsgált klinkerhez kisebb őrlési ellenállást fejt ki, mint a kubikusabb szemcsealakkal rendelkező mészke, ezért nem szenved megfelelő mértékben törést a szemcse. Valószínűleg a kvarc szemcsék behúzása az őrlőtest által csak részben történik meg. Az anyagok őrlés során eltérő viselkedésének bemutatá-

5. ábra Mészke őrlése – jelentős feltapadás
Fig. 5 Limestone grinding – significant adhesion

6. ábra Kvarc őrlése – nincs feltapadás
Fig. 6 Quartz grinding – no adhesion

sára a betapadást is vizsgáltuk (5. ábra), mely alapján megállapítható hogy a kvarc esetén nem tapasztalható feltapadás az őrlőtestekre és a malom falazatára, míg, a mészkőnél viszont ez több grammnyi mennyiségű anyagréteg is felrakódott, elsősorban az őrlőtestek felületére. Az őrlőtestek felületén keletkező bevonat rontja az őrlési hatékonyságot, mely magyarázza a medián szemcseméret és a fajlagos őrlési munka közötti nem linearitást a 106-250 μm -es frakció őrlése során. A tiszta mészkő őrlésénél keletkező finom töretrész az őrlési idő hosszabbodásával az őrlőtesten bevonatot képez (5. és 6. ábra).

3.2 Kvarc és mészkő együttőrlési eredményei

Együttőrlés során a 25, 50, és 75 térfogatszázalékos keverékek szemcseméret változásait vizsgáltuk. A mészkőtartalom növekedésével a feladási anyagban egyre finomabb őrléményt kapunk adott fajlagos őrlési munka befektetése mellett. A 7. ábrán látható, hogy a magasabb mészkőtartalmú keverékek (50 és 75%) medián szemcsemérete alacsonyabb adott fajlagos őrlési munka mellett, mint a 100%-os mészkő őrlése esetén. Az utol-

só mérési pontban (60 perces őrlés) a medián szemcsemérete az 50 és 75%-os mészkőtartalmú keveréknek kisebb 5,75 μm és 3,12 μm , mint a tiszta mészkőé, 12,23 μm . A 25% mészkövet tartalmazó őrlési görbe a tiszta kvarccal közel megegyező, de a kis mészkőtartalomnak köszönhetően simább lefutású, kis-mértékű szemcseméret csökkenéssel (114,9 μm) (7. ábra).

A 8. ábrán a 60 perces őrlést követően vizsgáltuk az anyagok szemcseméretsűrűség függvényét 106-250 μm -es frakció esetén. Az értékek bimodális görbéknek írhatók le. A 100%-os mészkő tartalomnál a módusz a durvább szemcseméret nagyság felé tolódik el. A 75%-os mészkőtartalom esetén a gyakoriság értéke felcserélődik az 50 és a 100%-os görbékhez képest, itt a módusz értéke a finomabb szemcseméret frakcióban van. A csúcserőteléknél a szemcseméret alakulása: 50% mészkőtartalom esetén 152,45 μm ; 75% mészkőtartalom esetén 2,27 μm ; 100% mészkőtartalom esetén 152,45 μm . A 9. ábrán a 106-250 μm -es frakciójú kvarc-mészkő együttőrlés medián szemcseméretei kerültek feltüntetésre a kvarc tartalom függvényében 10 és 20 kWh/t fajlagos munkaszükséglet mellett. A feladott anyag kvarc tartalmának növelésével a medián

7. ábra A medián változása a fajlagos őrlési munkaszükséglet függvényében mészkő-kvarc együttőrlése során
Fig. 7 The median particle size as a function of the specific grinding work in case of limestone-quartz intergrinding

8. ábra 106-250 μm -es frakció szemcseméret-sűrűségfüggvénye 60 perces mészkő-kvarc együttőrlésnél
Fig. 8 Particle size density function of 106-250 μm fraction at 60 min limestone-quartz intergrinding

9. ábra Medián szemcseméret változása a kvarc tartalom függvényében
Fig. 9 Median particle size as a function of the quartz content

a,

b,

c

10. ábra Az őrlemény anyagi összetétele kvarc-mészkő együttőrlés esetén
Fig. 10 Material composition of the ground material in case of quartz-limestone intergrinding

szemcseméret a durvább szemcsenagyságok felé tolódik el. Az együttőrlés 25%-os kvarc tartalom mellett a legideálisabb, ekkor a legkisebbek az 50%-os szemcsemérethez tartozó értékek. 10 és 20 kWh/t fajlagos őrlési munka befektetésénél is az 50%-os kvarc adagolás alacsonyabb medián szemcseméretet eredményezett az őrleményben, mint a tiszta mészkő esetén. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a kvarc jelenléte az őrleményben csökkentette a finom szemcsék összetapadásának mértékét, illetve a kvarc szemcsék kvázi őrlőtestként részt vettek az őrlési folyamatban. A kvarc-mészkő együttőrlési kísérleteket követően a különböző őrlési időknél kapott őrleményeket szemcseméret frakciókra bontottuk, majd anyagi összetételét határoztunk meg az egyes frakciókon, hogy lássuk a mészkő és kvarc frakciónkénti eloszlását. Az összetétel eredményeket a 10. ábra mutatja. A vizsgálatból megállapítható, hogy a mészkő a <20 μm-es tartományban feldúsul, míg a kvarc inkább a durva szemcseméret tartományban dúsul fel (10. ábra). A 25%-os mészkő-tartalom esetén a legdurvább >106 μm-es frakcióban a mészkő tömeghányada jelentősen lecsökken, 14%-ra már 5 perces őrlést követően, majd tovább csökken az őrlési idővel, ebben a frakcióban párhuzamosan ezzel a kvarc tömeghányada 86%-ra nő, majd folyamatosan nő az őrlési idővel. A 63-106 μm-es frakcióban ugyanez a tendencia figyelhető meg, habár ebben a frakcióban a mészkő-tartalom közelebb áll a kiindulási 25%-hoz, értéke 20% körül változik az őrlési idővel. A 20-63 μm-es frakcióban a kiindulási állapothoz képest 5 perces őrlési időnél több a mészkő 35%, majd folyamatosan csökken az őrlési idővel 18%-ra. A <20 μm-es részben a mészkő-tartalom jelentősen eltér az eredeti 25%-os értékről. 5 perces őrlésnél 49% a mészkő-tartalom, majd az őrlési idővel tovább nő egészen 78%-ig. Az 50%-os mészkő-tartalom esetén a > 106 μm-es tartományban a mészkő tömeghányada hasonlóan alakul a 25%-os őrléséhez, értéke 25%-ra csökken 60 perc őrlést követően. A kvarc tömeghányada itt is nő 75%-ra. A 63-106 μm-es frakcióban a mészkő- és kvarctartalom lényegében nem változik, a 20-63 μm-es tartományban pedig a kiindulási értékhez áll közel, ~50% a mészkő-tartalom. A < 20 μm-es frakcióban a mészkő a 30 perces őrlés után feldúsul. Értéke nagymértékben eltér a kiindulástól, közel 80% lesz. A 75%-os mészkő-tartalomnál a > 106 μm-es tartományban a mészkő tömeghányada 62%-ról 51%-ra csökken az őrléseket követően, míg a kvarc értékei 49%-ra nőnek. A 63-106 μm-es frakcióban a mérés eredményeiben nagy ingadozás nem jelentkezik, a mészkő-tartalom 60% körül alakul. A 20-63 μm-es szemcseméret tartomány esetében a 75%-os mészkő-tartalom jelentősen lecsökken, 60 perc elteltével csak 59% lesz, a kvarc értéke 41%-ra nő a kiindulási 25%-ról. A legkisebb szemcseméret frakcióban itt is a mészkő feldúsulása figyelhető meg. Legnagyobb értéket a 30 perces őrlés után veszi fel, itt a dúsulás mértéke 90%, majd kis mértékben csökken.

3.3 Különböző szemcseméretű együttőrlések eredményei

A további vizsgálatok során mindkét anyagnál a saját, de eltérő szemcseméretű (106-250 μm és 32-106 μm) minták keveréke került feladásra. A kvarc eltérő szemcseméret frakciójának őrléséből származó medián értékeket a fajlagos őrlési munka függvényében a 11. ábrán láthatjuk. Az őrlemény medián szemcsemérete lineáris csökkenést mutat a befektetett munka függvényében. Az eltérő frakciók együttőrlésénél a medián

11. ábra Az őrlés mediánjának alakulása különböző szemcseméretű kvarc frakciók együttőrlésénél
Fig. 11 Median particle size at the intergrinding of quartz with different size fractions

12. ábra Medián változása különböző méretű mészkő frakciók együttőrlésekor
Fig. 12 Median particle size at the intergrinding of limestone with different size fractions

szemcseméret közel azonos mértékben csökken a fajlagos őrlési munka befektetésének függvényében. Megállapítható, hogy minél inkább a 32-106 μm -es frakciójú anyag mennyisége növekszik a keverékben, annál jobban közelítik a görbék ennek a frakciónak a tiszta őrlési eredményeit. A mészkő különböző frakcióinak együttőrlése eredményét a 12. ábrán mutatjuk be. A medián vizsgálata során látható, hogy minden anyagi összetételnél jelentősen csökken a medián szemcseméret a fajlagos őrlési munka függvényében (12. ábra). Mindhárom keverék esetében a 25 kWh/t fajlagos őrlési munka befektetés hatására 20 μm közeli őrlési medián értéket kapunk. A 13. ábrán az eltérő szemcsefrakciók együttőrlésének medián szemcseméret értékei láthatók 10 és 20 kWh/t befektetett fajlagos munka mellett a kisebb, 32-106 μm -es frakció függvényében vizsgálva. Kvarc együttőrlése során, minél több a feladás finomrész tartalma, annál kisebb lesz a medián szemcseméret is. Mészkőnél azt tapasztaltuk, hogy 0 és 100% finomrész tartalomnál is ugyan az a medián szemcseméret a vizsgált fajlagos munkáknál.

4. Összefoglalás

A kutatómunka során különböző őrlhetőségű anyagok együttőrlési vizsgálatát végeztük el univerzális Hardgrove malomban. A kétkomponensű együttőrléshez kvarcot és mészkövet alkalmaztunk, a kvarc nehezen őrlhető, de tapadásra nem hajlamos, míg a mészkő könnyen őrlhető és aggregációra, tapadásra hajlamos anyag. A különőrlési mérési eredményeink bemutatták a mészkő és a kvarc eltérő viselkedését az őrlés során. A mészkő az őrlési folyamat kezdetén könnyen aprózódott, majd az őrlés előrehaladtával jelentős betapadás volt megfigyelhető az őrlőtérben, miközben az őrlés hatékonysága jelentősen csökkent. Ezzel szemben a kvarc csak kis mértékben aprózódott az őrlőtérben, jellemzően csak felületi koptatás történt a teljes szemcsetörés helyett, mely visszavezethető a kvarc szemcsék gömbszerű szemalakjára. Az együttőrlési mérési eredményeink alapján megállapítható, hogy a mészkő-tartalom növelésével a feladásban egyre finomabb őrlésményt

13. ábra Medián szemcseméret változása a 32-106 μm -es frakció részaránya szerint kvarc és mészkő különböző méretű frakcióinak együttőrlésekor
Fig. 13 Median particle size as a function of the mass percent of 32-106 μm fraction at the intergrinding of quartz and limestone with different size fractions

kaptunk adott fajlagos őrlési energia befektetés esetén. Az őrlési eredmények anyagi összetételének frakciónkénti meghatározásából megállapítható, hogy a finomabb mészkő feldúsul a kvarccal történő együttőrlés során a finom, <20 μm -es tartományban. Méréseink alapján megállapítható, hogy a keményebb anyag az együttőrlés során elősegíti az őrlést, egyrésztől az adhéziós erők lekötésével, más részről az őrlési folyamatban kvázi őrlőtestként való részvételként.

5. Köszönetnyilvánítás

A kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Hivatkozások

- [1] Csőke B. (2005): Előkészítéstechnika: Aprítás és osztályozás, *Miskolci Egyetem, Eljárástechnika Tanszék*
- [2] Mucsi G. (2009): Vizsgálati eljárások fejlesztése finom szemcseméretű anyagok őrlhetőségének, valamint különleges körülmények mellett történő őrlés energiaszükségletének meghatározása, Doktori értekezés, *Miskolci Egyetem*
- [3] Csőke B. – Rácz Á. – Mucsi G. (2013): Determination of the Bond work index of binary mixtures by different methods, *International Journal of Mineral Processing*, 123 78–86, <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2013.05.004>
- [4] Ipek, H. – Ucbas, Y. – Hosten, C. (2005 a): The bond work index of mixtures of ceramic raw materials. *Miner. Eng.* 18, 981 983 (1), <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.12.014>
- [5] Öner, M., (2000): A study of intergrinding and separate grinding of blast furnace slag cement. *Cem. Concr. Res.* 30, 473-480, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00197-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00197-6)
- [6] Abouzeid, A.-Z. M. – Fuerstenau, D. W. (2009): Grinding of mineral mixtures in high-pressure grinding rolls. *Int. J. Miner. Process.* 93, 59, 65, <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2009.05.008> Get rights a
- [7] Tavares, L. M. (2005): Particle weakening in high-pressure roll grinding. *Miner. Eng.* 18 (7), 651-657, <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.012>
- [8] Ellerbrock, H. G. – Sprung, S. – Kuhlmann, K. (1990): Particle size distribution and properties of cement, Part III: influence of the grinding process. *Zement-Kalk-Gips* 3/1990, Edition B. 13 19,
- [9] Fajtli József – Czél Péter (2014): Matrix modell simulation of a Vertical Roller Mill with High-Efficiency Slat Classifier, *Chem. Eng. Technol.* 37, No. 5, 1–9, <https://doi.org/10.1002/ceat.201300665>
- [10] Mag G. A. (2015) Térfigati alapú körfolyamatos őrlhetőségi vizsgálati módszerellenőrzése, *Miskolci Egyetem, Szakdolgozat*
- [11] Mucsi G. (2008) Fast test method for the determination of the grindability of fine materials, *Chemical Engineering Research and Design*, 86:(4) pp. 395-400, <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2007.10.015>

Ref.:

Gregus, Éva – Rácz, Ádám – Csőke, Barnabás: *Intergrinding of materials with different grindability in Universal Hardgrove mill*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials,
Vol. 70, No. 3 (2018), 90–96. p.
<https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2018.17>

About CEES

CEES is the organisation representing the European Silicate Industry. It brings together Western European Producers of Soluble Silicates. CEES is a Sector Group of Cefic.

CEES members manufacture more than 700,000 tonnes (1998 figures) of soluble silicates (calculated as SiO₂) representing more than 90% of total West European production. More than half this production is used as a feedstock raw material for further chemical manufacture, mostly silicas and aluminosilicates. Overall, the silicate industry makes a valuable contribution to the Western European economy.

CEES members operate modern, fuel-efficient plants maintaining the highest standards of health and safety to protect both the workforce and the environment. All CEES members full support and implement the Europe-wide Cefic Responsible Care initiative.

www.cees-silicates.org