

Esősúlyos törési vizsgálatok alkalmazása kőbányászati anyagokon

Application of single particle drop weight test on quarry materials

MÁRKUS Izabella Rebeka¹, RÁCZ Ádám²

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológiai Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros, C/2 I. hajó 201, tel. +3646-565-111/1989, e-mail: izabella.markus@uni-miskolc.hu

²Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, Nyersanyagelőkészítés és Környezettechnológiai Intézet, 3515 Miskolc, Egyetemváros, A/4 II. 207, tel. +3646-565-111/17-12, e-mail: adam.racz@uni-miskolc.hu

Abstract

Comminution is an energy-intensive and inefficient process, the optimisation of which constitutes a significant issue of our days. For this purpose, the better understanding the factors influencing the breakage process is vital. Single particle breakage tests, including the drop weight test, are a tool frequently used for this purpose. In the present article drop weight tests were carried out on andesites from Hungary to understand their breakage properties. The results showed that the breakage is influenced by multiple factors, like impact energy and rock properties as well.

Kulcsszavak: egyszemcse törés, esősúlyos vizsgálatok, törési energia, andezit

1. BEVEZETÉS

Az aprítás a nyersanyagelőkészítés egyik legenergiaigényesebb művelete és ezáltal az egyik legkölségesebb is, a folyamatba bevezetett összes energiának megközelítőleg az ~1%-a hasznosul a szemcsék törése során [1, 2]. Az aprítás energiaszükséglete globális szinten a villamosenergia-termelés megközelítőleg 4 %-át teszi ki [3]. A nagy energiaszükséglet és a kis hatások miatt az aprítási folyamatok optimalizálása, hatékony technológiák kialakítása a mindenkori aprítási tudományterület jelentős kérdése [4, 5]. Az aprítási műveletek energiaszükségletét két fő tényező befolyásolja: az alkalmazott aprító berendezés típusa és a feldolgozott nyersanyag minősége. A feldolgozott nyersanyag minőségét az anyag keménysége, szövet-szerkezete, repedések gyakorisága, összetétele, valamint a hibahelyek gyakorisága a kristályszerkezetben határozzák meg együttesen [6,7].

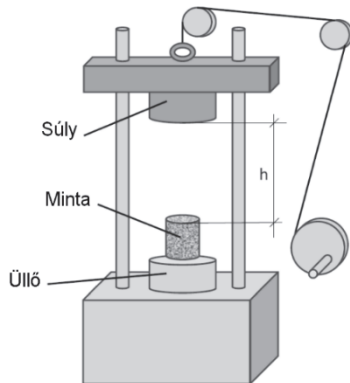
A különböző törési és őrlhetőségi vizsgálatok az aprítási folyamatok tervezésének, optimalizálásának fontos elemei. Az egyes őrlhetőségi vizsgálatok, mint a Bond-, Hardgrove- és Zeisel-módszer, gyakran és rutinszerűen alkalmazott módszerek, amely eredményei főleg az őrlés tartományára vonatkoztathatók nagyobb pontossággal [8], eltérő berendezések esetében ezen módszerekkel kapott őrlhetőségi mutatók az aprítómű méreteinek túlbecsüléséhez vezethetnek. Az aprítógépekben végzett törési kísérletek jó információt szolgáltatnak az anyag viselkedéséről és a törési folyamat energia igényéről az adott típusú törőberendezésben, viszont ez esetben maga a berendezés hatása is érvényesül az aprítás során, így az eredmények eltérő típusú berendezések esetén nem adnak kellően részletes információt. Az aprító berendezésben végbemenő aprítás elemi folyamatainak tanulmányozására a nemzetközi gyakorlatban az egyszemcse törési vizsgálatok (single particle breakage tests) gyakran alkalmazott eljárások. Leggyakrabban a törési jelenség, az energia és a szemcseméret-csökkenés kapcsolatának, valamint a törési folyamat energiafelhasználása és a különböző energiavesztességek vizsgálatára alkalmazott módszerek.

2. EGYSZEMCSE TÖRÉSI VIZSGÁLATOK

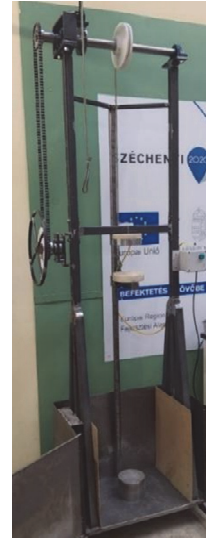
Az egyszemcse törési vizsgálatok az igénybevétel módja és az érintkezési pontok száma szerint osztályozhatók. Ennek alapján három csoport különíthető el: ütközéssel egy felületen, ütközéssel két felület között és lassú nyomás két felület között. A vizsgálati módszercsoportokhoz tartozó eljárások jelentős része a második csoportba tartozik, ilyenek például az esősúlyos, a kétingás- és az osztott Hopkinson rudas vizsgálati eljárások.

2.1. Esősúlyos vizsgálat (Drop weigh 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 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 és ejtési magasságának függvénye, a fajlagos aprítási energia a szemcse tömegének ismeretében számítható. A Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezettechnológia Intézetében a 2. ábrán látható berendezés fejlesztése történt, ahol a súly ejtési magassága 0,5 és 1,5 m között állítható, a súlyok tömege pedig 1,18 és 23,5 kg között változtatható, így lehetővé téve a törési energia 7,8 és 302 J közötti változtatását.



1. ábra. Esősúlyos vizsgálati berendezés [8]



2. ábra. Esősúlyos vizsgálati berendezés (ME_NyKI)

2.2. Minták és eljárások

A vizsgálataink során az ÉK Magyarországi régióban található Tállyai bányából származó mintákon végeztünk törési tesztek. A bányában termelt anyag típusa piroxén-andezit, amely minősége az egyes termelési szinteken eltér, ezért az egyes vizsgálati minták az eltérő minőségű andeziteket reprezentáltak (3. ábra): az Andezit_1 minta jó minőségű, finom szemcsés, sötétszürke oszlopos andezit, amely mállás és repedés nyomait nem mutatja, az Andezit_2 minta lilás-szürke finomszemcsés, hólyagüreges andezit, az Andezit_3 minta pedig gyenge minőségű, erősen mállott andezit.



(a)

(b)

(c)

3. ábra. Vizsgált minták. (a) Andezit_1, (b) Andezit_2, (c) Andezit_3

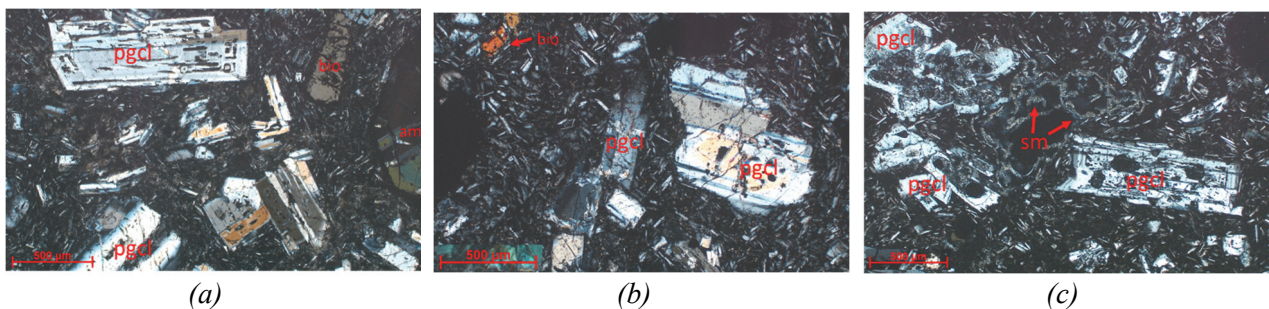
A makroszkópos szemrevételezésen túl, az egyes mintatípusok ásványos összetételének kvalitatív- és kvantitatív meghatározása is megtörtént röntgenpordiffrakciós módszerrel. Az XRD Mérések a Miskolci Egyetem Nyersanyagkutató Földtudományi Intézetében készültek. A minták ásványos összetételében nem mutattak jelentős eltérést, az egyes alkotók aránya változott mintánként (1. táblázat). Az Andezit_3 minta magasabb

szemektit tartalma is a minta nagyobb fokú mállottságát mutatja. Az amorfanyag növekedése részben a mállottsággal részben pedig a kőzet kialakulásának helyzetével magyarázható.

1. táblázat. A minták kvalitatív ásványos összetétele (wt %)

	Andezin	Kvarc	Sanidin Na0.35	Szemektit Na0.35	Diopszid	Titano- magnetit	Oligok- lász	Dolomit	Labrado- rit	Ilmenit	Mikroklin	Cristoba- lit	Enstatit	Sziderit	amorf
Andezit_1	8,1	4,2	14,4	1,4	4,1	0,3	27,8	0,6	13,2	1,2	2,6	5,8	3,4	3,2	9,7
Andezit_2	8,8	1	11,7	1,4	5	0,2	24,5	1,1	16,1	0,8	1,2	6,6	3,3	3,8	14,8
Andezit_3	33,3	0,6	0,1	5,7	1,1	0,5	22,1	0,5	8,4	0,5	0,4	1,2	4,9	0	20,7

A minták szövet-szerkezeti különbségének megfigyelése vékonycsiszolaton végzett optikai mikroszkópos megfigyelések során is beigazolódott. Annak ellenére, hogy ugyanazon piroxén andezit a minta anyaga, szöveti eltérések voltak megfigyelhetőek a minták között. Az Andezit_1 minta esetében a fenokristályok (nagy méretű kristályok) jól kifejtettek saját alakúak (idiomorf), gyakran aggregátumokat képeznek, a mállás nyomai nem mutatják, a mátrix szemcseméret tömött, aprószemcsés. Az Andezit_2 minta esetében a fenokristályok mérete csökkent, alakjuk jól felismerhető volt (anhedrális és szubhedrális), szegélyük sok esetben visszaoldódott, tehát az átalakulás jelei voltak megfigyelhetőek. A mátrix összetétele azonos, mint az Andezit_1 mintában, szemcsemérete viszont jelentősen növekedett. Az Andezit_3 minta esetében a fenokristályok mérete hasonló, mint az Andezit_2 mintában, viszont erősen mállott, alakjuk sok esetben felismerhetetlen. A szemektit sok esetben megfigyelhető a szemcsék üregeiben és a mátrixban is. A mátrix szemcsemérete hasonló, mint az Andezit_2 minta esetében, gyakran megfigyelhetőek barnás és opak foltok, amely az amorfanyag, mint a kőzetüveg és a Fe-oxi-hidroxidok jelenlétével hozható összefüggésbe.



3. ábra. Minták optikai mikroszkópos fényképe: (a) Andezit_1, (b) Andezit_2, (c) Andezit_3.

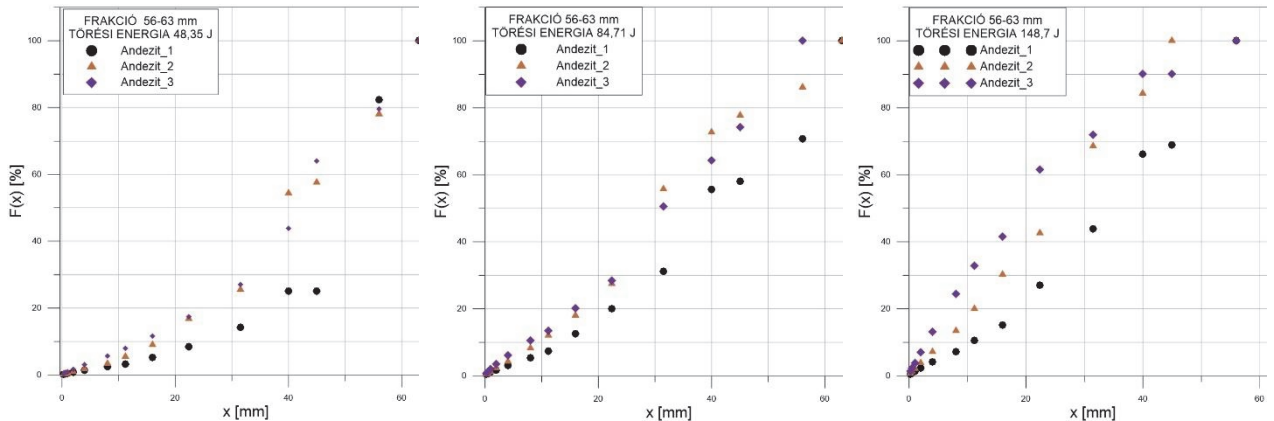
A törési tesztek során mintánként szűken osztályozott szemcse frakciókat állítottunk elő, a frakció méretének csökkenésével a tört szemcsék száma növekedett, minden egyes frakció törése három törési energia alkalmazásával történt, amelyet a 2. táblázat foglal össze. A törést követően mintánként az egyes frakciók és törési energiákhoz tartozó töreteket külön-külön kezelve meghatároztuk a töretek szemcseméret-eloszlását száraz szitaelemzéssel.

2. táblázat. Vizsgálati frakciók és a frakciókhoz tartozó törési energia

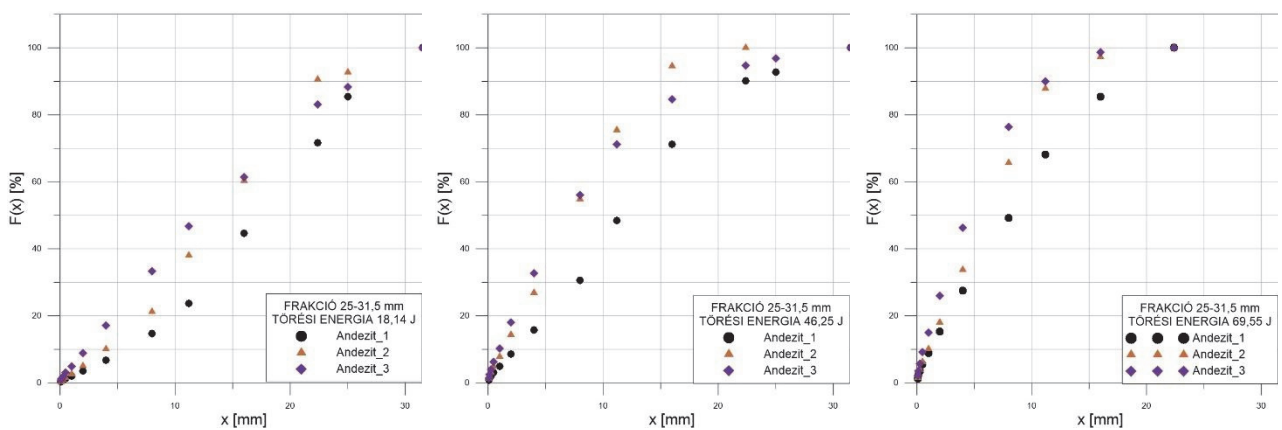
Frakció [mm]	Szemcsék száma [db]	Átlagos szemcse tömeg [g]	Törési energia [J]
56-63	10	297,37-252,10-261,7	48,35-84,71-148,70
25-31,5	40	37,98-31,12-31,58	18,14-46,25-69,55
12,5-16	53-60	4,93-4,43-4,53	19,0-34,2-50,5
8-11,2	67-70	1,65-1,47-1,37	19,1-24,9-36,6

3. EREDMÉNYEK

Az 56-63 mm-es frakciókhoz tartozó töretek szemcseméret eloszlását a 5. ábra mutatja be. Mindhárom törési energia esetében látható, hogy az Andezit_1 típusú minta aprózódik a legkevésbé. Az Andezit_2 és Andezit_3 minták esetében, az 84,71 J aprítási energia mellett az Andezit_2-es minta aprózódik nagyobb mértékben, míg a legnagyobb, 148,7 J törési energián az Andezit_3 típusú minta. A 25-31,5 mm-es frakció esetében is hasonló trend volt megfigyelhető (6. ábra), ugyanakkor a legnagyobb 148,7 J-os törési energia mellett az Andezit_2 és Andezit_3 minták aprózódása nem mutatott jelentős eltérést.

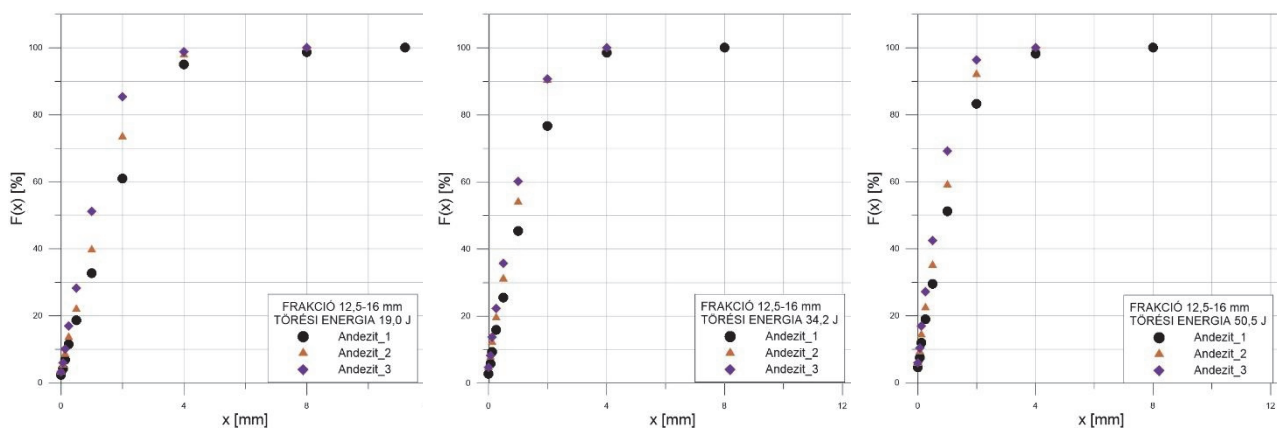


5. ábra. Az 56-63 mm-es frakció töreteinak szemcseméret-eloszlása



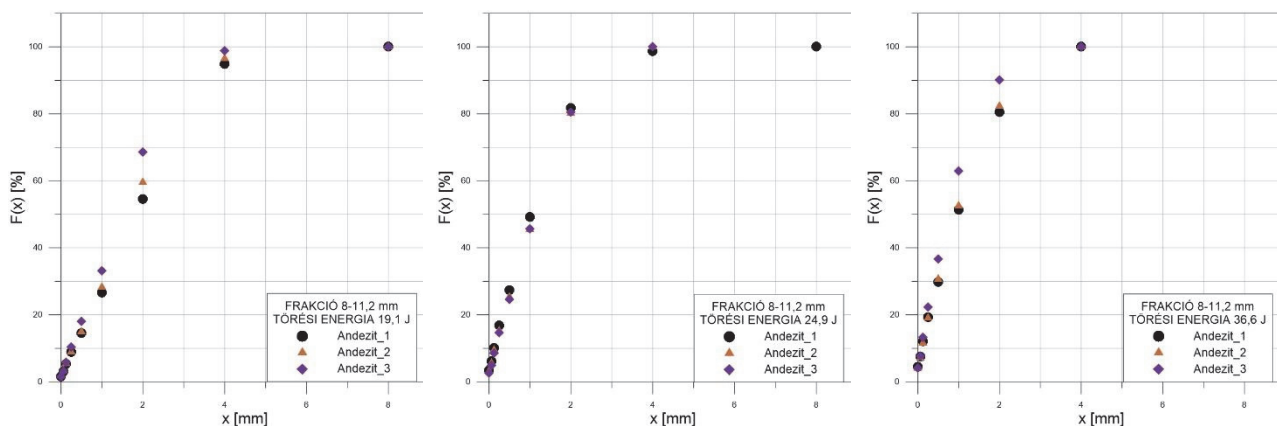
6. ábra. Az 25-31,5 mm-es frakció töreteinak szemcseméret-eloszlása

A 12,5-16 mm-es frakció esetében, a durvább frakciónál észlelt trend némileg megváltozott (7. ábra). Mindhárom törési energia mellett az Andezit_3 minta aprózódott a legnagyobb mértékben, ugyanakkor ezen frakciók esetében a második energia szinten (46,25 J) az Andezit_2 és Andezit_3 minta töreteinak szemcseméret-eloszlása közel azonos. A legnagyobb törési energia (50,5 J) esetében is a két minta töreteinak szemcseméret-eloszlásában nincs jelentős eltérés.



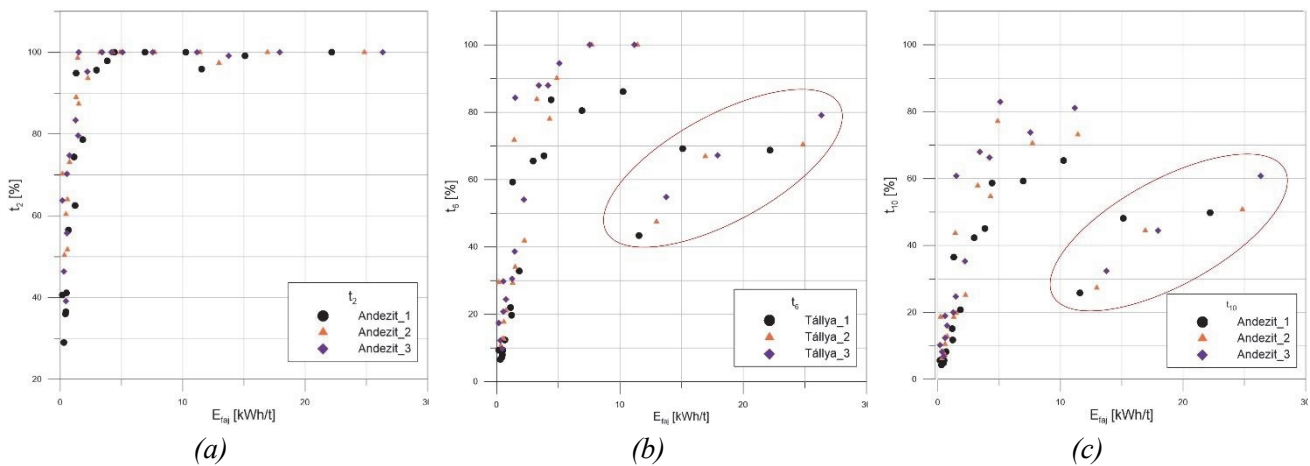
7. ábra. Az 12,5-16 mm-es frakció töreteinek szemcseméret-eloszlása

A 8-11,2 mm-es frakciók esetében (8. ábra) a második és harmadik törési energia szinteken az Andezit_1 minta, az előző frakcióktól eltérően, ugyanolyan mértékben aprózódott, mint a másik két minta. A 24,9 J törési energia esetében megfigyelhető volt, hogy a töretek mindhárom minta esetében közel azonosak. A legnagyobb törési energia (36,6 J) esetében az Andezit_3 minta aprózódott a legnagyobb mértékben, a másik két minta töreteinek szemcseméret eloszlása közel azonos.



8. ábra. Az 8-11,2 mm-es frakció töreteinek szemcseméret-eloszlása

Az egyszemcse törési vizsgálatok esetében a fajlagos aprítási energia és az aprózódás kapcsolata az úgynevezett t_n családhoz tartozó görbék segítségével vizsgálható. A szakirodalomban a legelterjedtebben a t_{10} indexet használják, ez azt az anyag mennyiséget jelöli %-ban amely a kiindulási anyag szemcseméretének az egy tizede alá aprózódik. A szakirodalomban elterjedten alkalmazott t_{10} alkalmazása nem célszerű az aprítás területén, mivel az ezzel vizsgált szemcseméret tartomány inkább az őrlésre vonatkoztatható, így célszerűbb valamelyik nagyobb hányadra vonatkoztatott indexet választani például a t_2 , t_4 , t_6 vagy t_8 . A 9. ábrán a fajlagos aprítási energia és balról jobbra haladva, a t_2 , t_6 és t_{10} kapcsolata látható. A t_2 esetében még közel exponenciális kapcsolat van a fajlagos aprítási energia és az aprózódás között, de a t_6 és a t_{10} esetében a nagy fajlagos törési energia tartományban, amely a 8-11,2 mm-es szemcsék esetében volt jellemző (9. ábra. b és c grafikonon pirossal bekeretezve), megváltozik a trend és a 10-15 kWh/t fajlagos aprítási energia tartományban kisebb mértékű aprózódás ment végbe. Ezen túl megfigyelhető, hogy a t_2 esetében a három típusú andezit aprózódása közel azonos mértékű, de a t_4 esetében már a három típus differenciálódik és a t_{10} esetében ez csak fokozódik.



9. ábra.: A fajlagos aprítási energia és t_n görbék kapcsolata: (a) t_2 , (b) t_6 , (c) t_{10} .

KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálati eredmények bizonyították, hogy az esősúlyos egyszemcse törési vizsgálat megfelelő vizsgálati módszer az eltérő ásványtani és szövet-szerkezeti tulajdonságokkal rendelkező andezitek apríthatóságának, a fajlagos aprítási energia hatásának, valamint a fajlagos aprítási energia-szemcseméret csökkenés kapcsolatának vizsgálatára.

A különböző típusú andezitek azonos szemcseméret-frakcióit különböző törési energia szinteken összehasonlítva kimutatható, hogy eltérően viselkednek a törés során. Az egyes andezit típusok törési viselkedését a törési energia jelentősen befolyásolja, egyes minták alacsonyabb törési energia hatására aprózódnak jobban, míg a más típusú andezitek nagyobb törési energia mellett, mint azt láthattuk az Andezit_2 és Andezit_3 minták durvább vizsgálati frakciói esetében. A szemcseméret csökkenésével és ezáltal a hibahelyek számának csökkenésével, az egyes minta típusok aprózódása is megváltozik, míg a nagyobb szemcseméretű vizsgálati frakciók esetén a hibahelyek és repedések a fő befolyásolói az anyagtulajdonságnak és kiinduló pontként szolgálnak a tönkremenetel során, addig a szemcseméret és ezáltal a hibahelyek csökkenésével előtérbe kerülnek a szövet-szerkezeti, valamint az ásványtani tulajdonságok hatásai. Az eredmények rámutattak, hogy a törés során befektetett fajlagos aprítási energia növekedésével nem minden esetben fog nőni a szemcseméret csökkenésének mértéke. Másrészt arra is rámutattak az eredmények, hogy az azonos típusú, de különböző minőségű kőzetek esetében kiválasztható egy olyan törési energia amellyel ha nem is teljesen azonos mértékben fognak aprózódni az eltérő minőségű kőzetek, de minimalizálható az aprított nyersanyag egyes szemcséinek túlaprózódása.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

1. JAMES DONOVAN, MARIO KARFAKIS 2004: A fracture toughness based model for the prediction of jaw crusher power consumption, *6th North America Rock Mechanics Symposium (NARMS): Rock Mechanics Across Borders and Disciplines, ARMA/NARMS 2004/04-545*, Houston, Texas.
2. TIM NAPIER-MUNN, STEVE MORELL, ROBERT .D. MORRISON, TONI KOJOVIC 1996: *Mineral Comminution Circuits: Their Operation and Optimization*, JKRC Series in Mining and Mineral Processing, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, The University of Queensland, 413, Queensland, Australia.
3. JACK JASWIET, ALEX SZEKERES 2016: Energy consumption in mining comminution, *Procedia CIRP 48-23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, **2016/48**, 140-145.
4. DANIEL LEGENDRE, RON ZEVENHOVEN 2016: Assessing the energy efficiency of a jaw crusher, *Energy*, **2014/74**, 119-130.
5. ABDURRAHMAN TOSUN, GURCAN KONAK 2015: Development of a model estimating energy consumption values of primary and secondary crushers, *Arab. J. Geosci.*, **2015/8**, 1133-1144.
6. WILLIAM PETRUK 2000: *Applied mineralogy in the mining industry*, Elsevier, 268.
7. TOMISLAV KORMAN, GORDAN BEDEKOVIC, TRPIMIR KUJUNDZIC, DALIBOR KUHINEK 2015: Impact of physical and mechanical properties of rocks on energy consumption of jaw crusher, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* **2015/51(2)**, 461–475.
8. ABDUL MWANGA, JAN ROSENKRANZ, PERTI LAMBERG 2015: Testing of ore comminution behavior in the geometallurgical context- A review, *Minerals*, **2015/5**, 276-297.