



**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM**
Építésmérnöki Kar
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

REPEDEZETT SZIKLAFELSZÍN MORFOLÓGIAI ELEMZÉSE

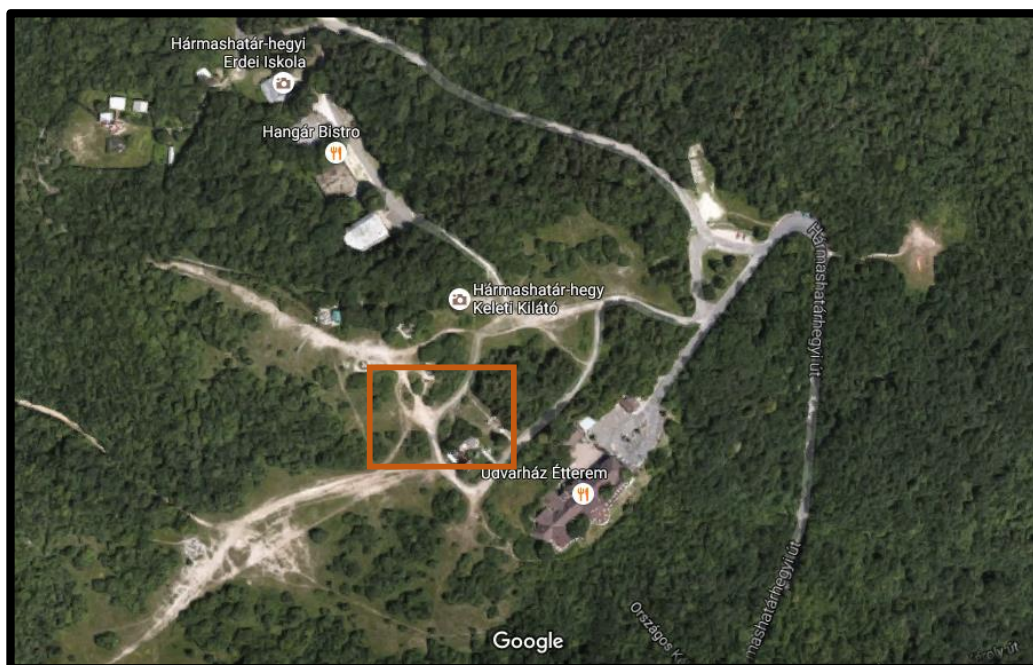
KEREKES ADRIA FLÓRA, PEITL PÉTER
KONZULENSEK: DR. DOMOKOS GÁBOR, DR. SIPOS ANDRÁS
Tudományos Diákköri Konferencia 2016

Tartalomjegyzék

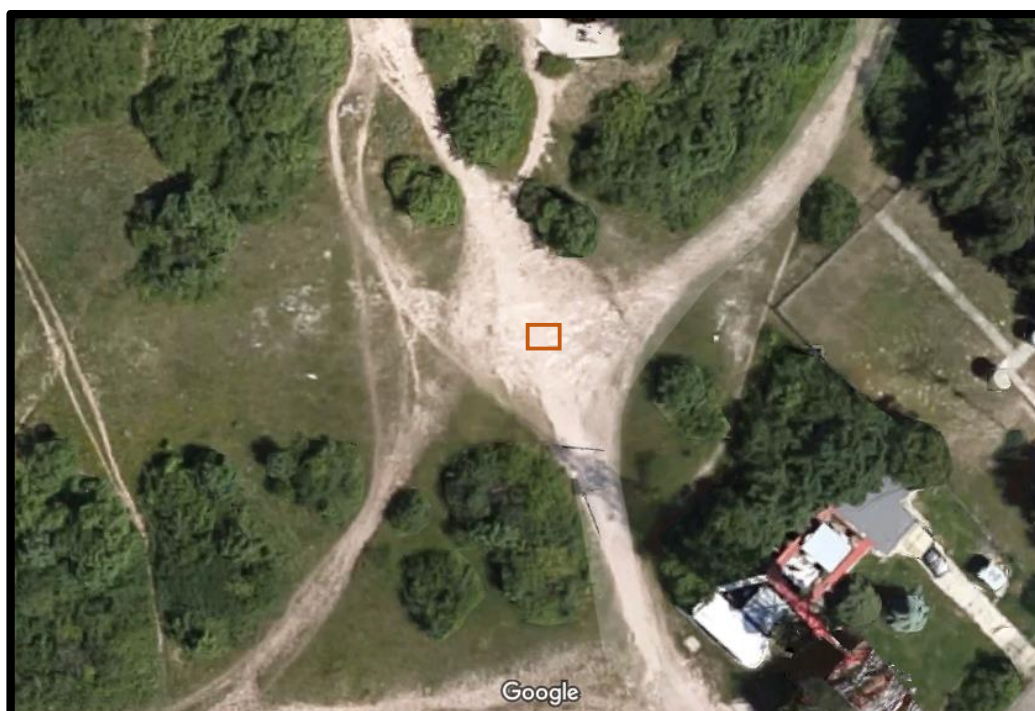
I. Bevezetés	2
II. Vizsgálat	5
II.1 Dokumentáció	5
II.2 Digitális feldolgozás	6
III. Adatok elemzése	10
III.1 Adatok	10
III.2 Tömeg-gyakoriság	12
III.3 Elnyúltság-terület	14
IV. Összefoglalás	16
Köszönetnyilvánítás	17
Irodalomjegyzék	17

I. Bevezetés

A budai Hármashatár-hegy tetején szép természeti jelenség figyelhető meg (1. ábra, 2. ábra).



1. ábra: A Hármashatár-hegy egész területe madártávlatból [6]



2. ábra: A teljes sziklafelület madártávlatból [6]

A hegy dolomit szikláit egy területen, ahol a felszínre bukkantak, erózió hatására repedeztek, jellegzetes repedésképet mutatnak. Ez a repedéskép szubjektív és objektív szempontból is érdekes. Szubjektív szempontból azért, mert a kialakuló mintázat rendkívül különleges, szuggesztív. Objektív szempontból azért, mert viszonylag nagy, emberi beavatkozás által alig érintett területen láthatunk egy olyan szikladarabot, amelyben a töredezés folyamata már elkezdődött, a szikla azonban még mindig egy darabban van. Így az egyes fragmenseket eredeti helyzetükben, a töredezési folyamat köztes fázisában figyelhetjük meg (3. ábra).



3. ábra: Repedezett sziklafelszín a Hármashatár-hegyen

Munkánkat azzal a kíváncsisággal kezdtük meg, vajon mit mond a fragmentáció folyamatáról ez a jelenség. A fragmentáció szerteágazó jelenség, amely széleskörű irodalommal rendelkezik. Számos érdekes és gyakorlati szempontból is fontos jelenség megértésében van döntő szerepe, mint például domborzati formák létrejötte és folyamatos változása, vagy például az űrszemét felhalmozódása [3] [4] [5].

Korábbi kutatások különböző törési folyamatok (mállás, robbanás, ütközés) által létrejövő fragmensek méretét és formáját is vizsgálták már [1] [2]. Az eltérő folyamatok által létrejött fragmenshalmazokon végzett vizsgálatok mind a fragmensek méretét, mind formáját illetően feltártak univerzális törvényszerűségeket.

A kutatások legjellemzőbb vizsgálata a fragmensek tömeg/nagyság szerinti statisztikai elemzése. Ezen vizsgálatok alapján kis fragmensek esetén a tömegeloszlást $p(m) \sim m^{-\tau}$ hatványfüggvény írja le [1] [2], ahol a τ kitevő elsősorban a rendszer kiterjedtségétől, másrészt az anyag ridegségétől és duktilitásától függ.

Felszíni repedéskép egyedi geometriai elemzését korábban még nem végezték el. Ilyen típusú, az egyedi geometriai jellemzőket feltáró vizsgálatok azonban már évek óta folynak a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszéken. Kutatásunk célja tehát ezen eszköztár alkalmazása a felszíni repedéskép geometriájának leírására [1].

II. Vizsgálat

II.1 Dokumentáció

Munkák legelső fázisa a helyszín pontos megismerése és a vizsgálni kívánt terület fényképes dokumentálása volt.

A helyszínre látogattunk, ahol beazonosítottuk a szikla pontos helyét. A repedések a hegytetőn található kilátótól délre, egy déli lejtőn helyezkednek el, közel 7x7 méteres területen (GPS koordináták: 47.554898, 18.998563).

Konzultáció nyomán megállapítottuk [7], hogy a szikla anyaga tűzköves dolomit, és megbizonyosodtunk róla, hogy a repedések természetes úton jöttek létre.

Ezután kiválasztottunk egy vizsgálatra igen alkalmas, sok repedést tartalmazó, síkkal legjobban közelíthető, körülbelül 4x4 méteres területet. Ezt mérőszalaggal megjelöltük, majd nagyfelbontású fényképezőgéppel 3x3-as négyzethálóra bontva, szakaszosan, közel ortogonális felvételeket készítettünk róla (4. ábra). A biztonság okán ezt a műveletet kétszer is elvégeztük.



4. ábra: Közel ortogonális fotó a repedéskép egy részéről (bal alsó sarokban az egyik szerző árnyékával)

Végül a kutatás egy későbbi fázisához kavicsmintát gyűjtöttünk. A mintát olyan kavicsok képezik, amelyek már szabadon elmozdultak eredeti helyükről, de feltételezhető, hogy

korábban a repedéskép részei voltak (5. ábra). Méret szerint két különböző, egyenként 150-200 darab kavicsot tartalmazó mintát vettünk.



5. ábra: A kavicsgyűjtés helyszíne

II.2 Digitális feldolgozás

Vizsgálatunk második lépéseként a helyszíni dokumentáció eredményeit (nyers, nagyfelbontású fotókat) képszerkesztő programmal letisztult, könnyen elemezhető digitális információvá alakítottuk [8].

Először a kilenc darab különálló képet – a négyzethálóban elfoglalt helyüket figyelembe véve – a terepre elhelyezett színes jelölők segítségével széleik mentén összeillesztettük. Így a vizsgált területről egy 8423 x 9082 pixel nagyságú, közel ortogonális képet kaptunk (6. ábra). Az illesztés és az ortogonalitás pontatlansága olyan kicsi, hogy az eredményeket vélhetően számottevően nem befolyásolja.



6. ábra: Összeillesztett kép

A digitális feldolgozás során ezután az így létrehozott képen végeztünk műveleteket.

A repedéskép rajzolatának pontos meghatározásához a felszínen látszó fragmenskontúrokat egyenként, a program szabadkézi kijelölő eszközével kijelöltük. Ezeket a kijelöléseket egymáshoz adtuk úgy, hogy eredményül a kijelöléshalmaz az összes fragmenst tartalmazta.

A kijelölés kitöltésével egy olyan kép jön létre, amely kétféle pixelt tartalmaz: olyat, amely része valamely fragmensnek, és olyat, amely fragmensek közötti terület. Így a töredékek testszerűen jelennek meg (7. ábra).



7. ábra: Testszerűen ábrázolt fragmensek

A kijelölés útvonallá alakításával pedig olyan adathalmaz jön létre, amely csak görbéket tartalmaz. Ezzel a módszerrel tudjuk csak a fragmenskontúrokat megjeleníteni (8. ábra).



8. ábra: *Fragmenskontúrok ábrázolása görbékkel*

A kontúrokat későbbi geometriai vizsgálatainkhoz egyenként le kellett választani a nagy képről. A kitöltött kijelöléseket külön-külön, koordinátaik szerint beazonosítható módon külön képfájlokként mentettük el. A fájl neve x-y.jpeg formátumú, ahol x és y az adott kontúr súlypontjának koordinátáit jelentik. Így egy, mind a 3619 darab különálló kontúrt tartalmazó adathalmaz állt a rendelkezésünkre (9. ábra).



9. ábra: Leválasztott kontúrok, narancssárgával jelölve a leggyakoribb méret

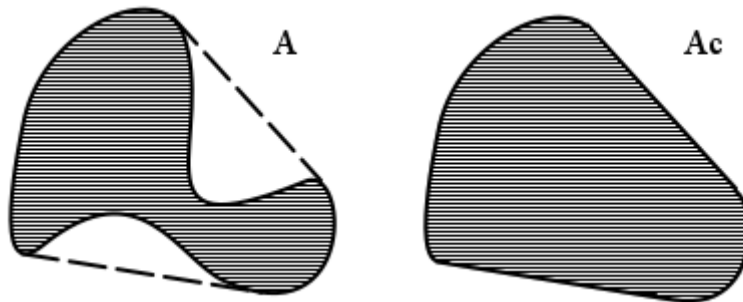
III. Adatok elemzése

III.1 Adatok

A 3619 képfájlból konzulensünk program segítségével geometriai adatokat nyert ki. Az alábbi adathalmazokat bocsátotta rendelkezésünkre:

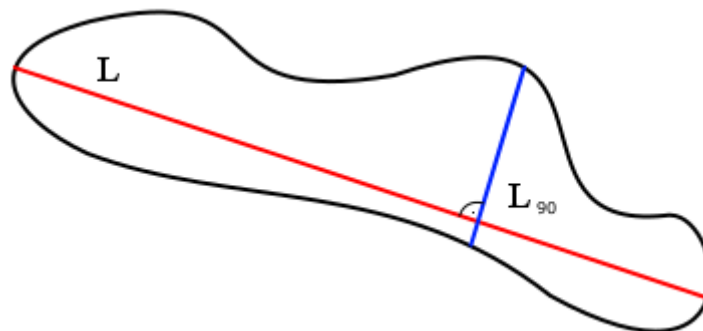
- a kontúrok területe (A);

- a kontúrok izoperimetrikus aránya (I): $I = \frac{4\pi A}{P^2}$; ahol 'A' a síkidom területe, 'P' a síkidom kerülete $I_{kör} = 1$; $I_{négyzet} = 0,7853981634$;
- a kontúrok konvexitása (C): $C = \frac{A_c - A}{A_c}$, ahol A_c a síkidom konvex burkának területe, A a síkidom területe (10. ábra);



10. ábra: Konvexitás

- a kontúrok elnyúltsága (D): $D = \frac{L}{L_{90}}$, ahol L a síkidom leghosszabb átmérője, L_{90} a legnagyobb átmérőre merőleges átmérők közül a leghosszabb átmérő (11. ábra).



11. ábra: Elnyúltság

A kontúrok méretkülönbsége miatt a kisebb kontúrok kevesebb pixelből álltak, ami azzal járt, hogy a határoló vonalaik töredezettebbek voltak, mint a nagyobb kontúrok esetén. Ez a különbség a konvexitásvizsgálat során torzult adatokat eredményezett volna, ezért konzulensünk a kontúrokat a vizsgálat előtt egy programmal azonos pixelfelbontására konvertálta.

A kinyert adatokból két grafikont készítettünk.

III.2 Tömeg-gyakoriság

Az első grafikon egy tömeg-gyakoriság diagram. Kétdimenziós adathalmazról lévén szó, tömeg helyett a kontúr által határolt területet használtuk fel a diagram elkészítéséhez.

A grafikon vízszintes tengelyén az $a = \log \frac{A}{A_{max}}$ változó van, amely $(-\infty, 0]$ intervallumon vehet fel értékeket. Azután ezekből az értékekből vettük a legnagyobbat $a_{max} = \log(1) = 0$ és a legkisebbet $a_{min} = \log(0,126780294) = -0,896948245$

Az így kapott logaritmikus tartományt osztottuk 20 egyenlő részre a következő osztópontok kijelölésével:

$$\gamma_i = \frac{a_{max} - a_{min}}{20} \cdot (i - 1) + a_{min} \quad i = 1, 2 \dots 21$$

A rekeszhatárokat ezután a 10-es logaritmus függvény inverzével kaptuk meg, azaz i -edik rekesz alsó határa $h_i = 10^{\gamma_i}$, felső határa pedig $h_{i+1} = 10^{\gamma_{i+1}}$.

Ezután megvizsgáltuk, hogy az összes adatból hány darabra igaz, hogy belesznek egy-egy meghatározott tartományba.

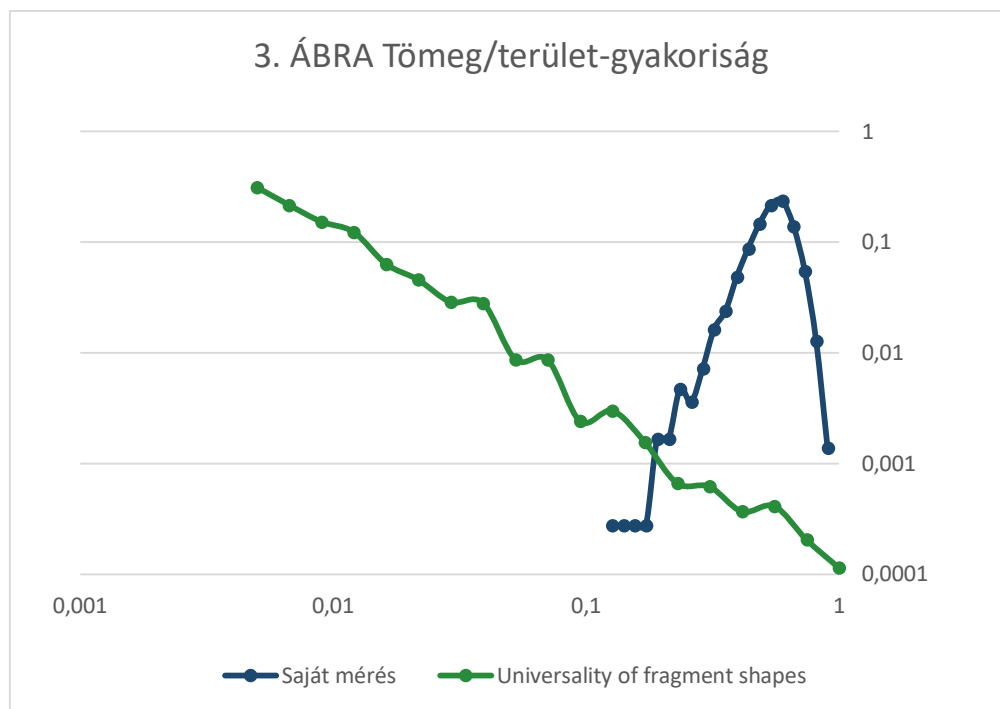
$$h_i \leq \frac{A}{A_{max}} < h_{i+1}$$

A kapott darabszámokat leosztottuk a kontúrok darabszámával, azaz 3619-cel. Az így kapott relatív gyakoriságokat egy diagramon ábrázoltuk. Az ábrázolt sűrűségfüggvénynek van egy karakterisztikus értéke (0,575460009).

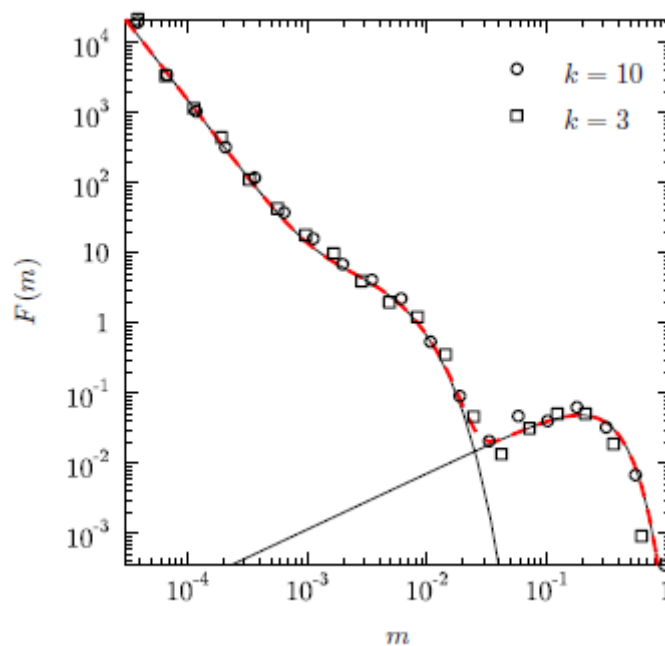
A saját méréseinkből kapott diagramot összehasonlítottuk egy másik, kavicsok tömegarány-eloszlásával foglalkozó méréssel [1]. Az összehasonlítást azért tehetjük meg, mert a mi terület-gyakoriság grafikonunk ugyanazzal az eljárással készült, mint a cikkben [1] szereplő tömeg-gyakoriság grafikon.

A megmért kavicsok [1] esetében a legkisebb tömegű kavicsokból van a legtöbb, és ahogy nő a kavicsok tömege, egyre kevesebb kavics sorolható be az egyes tömeg-osztályokba. A két grafikon összehasonlítva megállapítottuk, hogy a repedések által közrefogott kontúrok térfogat-gyakorisága egészen más eloszlást mutat, mint a kavicsok tömeg-gyakorisága.

A két grafikon egymásra téve jól látható a tendenciájukban fellépő különbség (14. ábra).



14. ábra: A tömegeloszlások összehasonlítása (saját mérés-másik mérés [1])



15. ábra: Másik mérést leíró cikk 11. ábrája [2]. Széttört gömb fragmenseinek tömegeloszlása $v=122.5$ m/s sebeség esetén

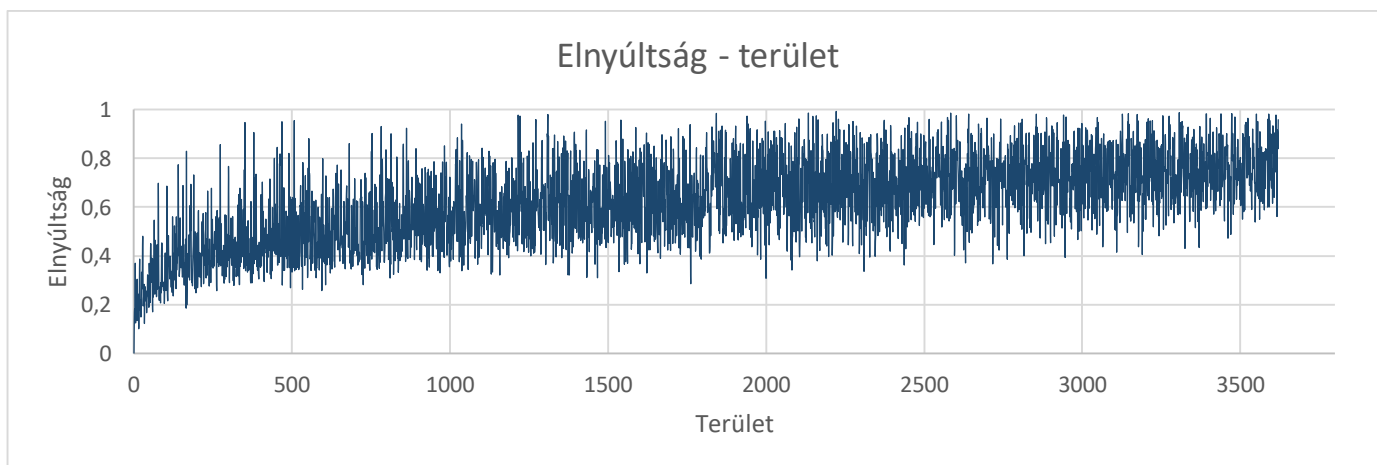
A 13. ábrát érdemes összevetni a [2] cikk 11. ábrájával, melyet könnyebb összehasonlítás végett közlünk (15. ábra). A [2] cikk 11. ábráján két vonal látható: az első (közel

hatványfüggvény szerint haladó) vonal a kis fragmensekhez, a karakterisztikus értéket (maximumot) mutató vonal a nagy fragmensekhez tartozik. Megállapíthatjuk, hogy az [1]-ben közölt statisztika az előbbi, hatványfüggvény szerinti viselkedést, míg saját méréseink az utóbbi, karakterisztikus értékkel rendelkező viselkedést mutatják.

Ez arra enged következtetni, hogy az általunk vizsgált repedezett sziklafelszínen látható kontúrok a fragmentáció egy kezdeti fázisát mutatják.

III.3 Elnyúltság-terület

A második grafikon egy elnyúltság-terület grafikon, melyhez területnagyság alapján sorba állítottuk az adatokat, majd pedig ábrázoltuk őket. Ha a 3619 darab kontúrhoz tartozó adatot külön pontonként ábrázoljuk egy grafikonon, akkor a tendencia kevésbé látszik tisztán, mivel nagy az adatok szórása (16. ábra), azonban egy emelkedő trend már ezen a grafikonon is érzékelhető.



16. ábra: Az egyes kontúrok elnyúltságának ábrázolása a területük függvényében

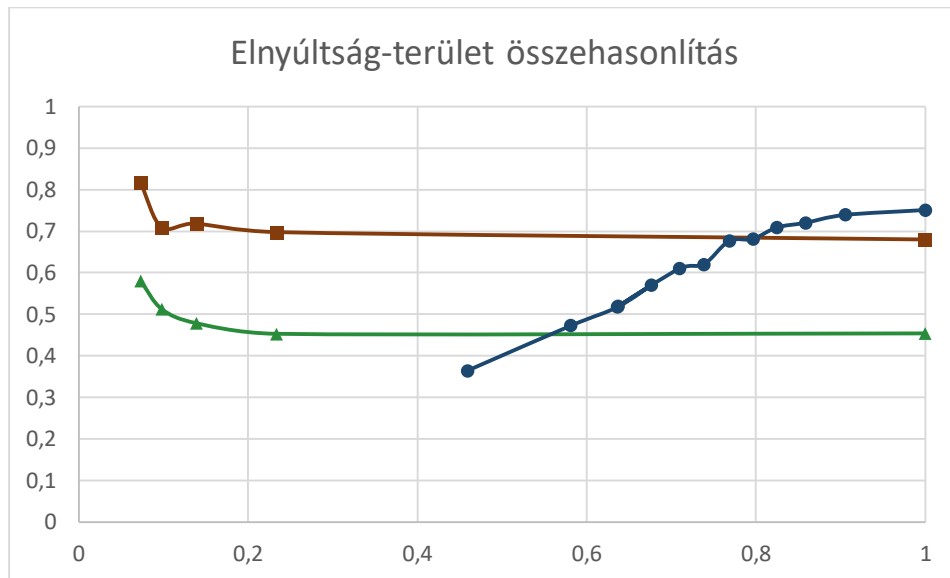
A jobb átláthatóság érdekében, terület szerinti sorba rendezés után (ha $i < j$, akkor $A_i < A_j$) mind a területeket, mind az elnyúltságokat 300 darabonként kiátlagoltuk.

$$d_k = \frac{1}{300} \sum_{i=300(k-1)}^{300k} D_i \quad k = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 3600$$

$$a_k = \frac{1}{300} \sum_{i=300(k-1)}^{300k} A_i \quad k = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 3600$$

Megfigyelhetjük, hogy az így létrehozott grafikon szigorúan monoton növekvő, és deriváltja csökken. A kapott grafikont összehasonlítottuk egy másik mérés eredményével [1]. Az utóbbi

grafikon szigorúan monoton csökkenő, a deriváltja növekszik, azonban abszolút értékben csökken. A két grafikon ellentétes tendenciát mutat (17. ábra).



17. ábra: Saját mérés és másik mérés [1] adatai által készített grafikonok egymásra illesztve

IV. Összefoglalás

Mérési adataink vizsgálata során a teljesen lezajlott, befejeződött fragmentációtól merőben eltérő eredményeket kaptunk. A tömegeloszlás-függvény (14. ábra) nem csökkenő hatványfüggvény jellegű, hanem maximuma van. A görbe ezen tulajdonsága egy másik kísérlet eredményével [2] hordoz hasonlóságot. Ebben a mérésben egy széttört gömb nagy fragmenseinek tömegeloszlása szintén karakterisztikus értéket mutat (15. ábra). Ez alapján azt feltételezzük, hogy a vizsgált repedezett sziklafelszín a mérés pillanatában a fragmentáció kezdeti szakaszában van.

Az elnyúltság-terület függvény korábbi mérésekkel ellentétben [1] monoton növekvő (17. ábra). Ez az eltérés szintén rámutat, hogy az általunk vizsgált jelenség különbözik a már teljesen lezajlott fragmentációs folyamatoktól.

Köszönetnyilvánítás

A munkánk során nyújtott segítségért köszönetünket fejezzük ki konzulenseinknek, dr. Domokos Gábornak és dr. Sipos András Árpádnak, továbbá köszönjük a geológiai szakmai segítséget dr. Török Ákosnak.

Irodalomjegyzék

- [1] G. Domokos, F. Kun, A. Á. Sipos és T. Szabó *Universality of fragment shapes* Nature, Scientific Reports 5, Article number: 9147, doi:10.1038/srep09147, 2015
- [2] H. A. Carmona, F. K. Wittel, F. Kun, és H. J. Herrmann, *Fragmentation processes in impact of spheres* PHYSICAL REVIEW E 77, 051302, 2008
- [3] Liou, J. C. & Johnson, N. L. *Risks in Space from Orbiting Debris* Science 311, 340–341, 2006
- [4] Johnson, N. L., Krisko, P. H., Liou, J. C. & Anz-Meador, P. D. *NASA's new breakup model of evolve 4.0*. Adv. Space Res. 28, 1377–1384, 2001
- [5] Turcotte, D. L. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics* Cambridge University Press, Cambridge, 1997
- [6] Google Earth
- [7] Török Ákos szóbeli közlése
- [8] GNU Image Manipulation Program
- [9] Adobe Photoshop CS6