

Törésmodellezés a Bábaapáti Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló környezetében, a BN2-1-es fúrás alapján

Fracture network modeling around the Radioactive Waste Repository in Bábaapáti, based on BN2-1 pre-boring

Istovics Krisztina

Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani tanszék, isto.krisz@gmail.com

M. Tóth Tivadar

Szegedi Tudományegyetem, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani tanszék, mtoth@geo.u-szeged.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: Jelen kutatás a BN2-1 jelű fúrás magkihozatalának repedéseit vizsgálja, célja, hogy mérhető törésgeometriai paraméterek alapján generált törésmodell értékelésével jellemezze a fúrások környezetének repedezettség viszonyait. A fúrómag 142 méterének 15 megapixeles felbontású fotódokumentációja után képanalízissel megtörtént a törések azonosítása. A törés mintázat alapján háromféle megközelítéssel jellemezhető a töréshálózat 1 dimenziós metszete. A töréssűrűség (1/m), és törések közötti távolság szelvények mellett a mintázat fraktál dimenziója is használható a repedezettség intenzitásának mérőszámaként. A térbeli törés modell kialakításához a töréssűrűségeen kívül a repedések méreteloszlása is alapvető paraméter. Ennek számításához két eltérő érzékenyséű módszer mérési eredményeinek ismerete szükséges. A BN2-1 fúrásból rendelkezésre állnak BHTV adatok is, melyekre szintén elkészültek a fenti elemzések. A két mérési eredményből (képanalízis, BHTV) kapott 1/m mértékegységű töréssűrűség értékekből megfelelő matematikai eljárással a kívánt hatványfüggvény eloszlásfüggvény együtthatói (E, F) meghatározhatók. A töréssűrűség, a méreteloszlás, valamint a BHTV szelvény értelmezésével kapott orientáció adatok alapján megfelelő szimulációs környezetben (RepSim) 10 azonosan valószínű generált törésmodell alapján értelmezhető a kommunikáló törés alrendszerek térbeli helyzete, a repedezett porozitás, valamint a permeabilitás

Kulcsszavak: törésmodellezés, előfúrás, RepSim, Bábaapáti

ABSTRACT: The aim of the present study is to characterize the fracture network surrounding the BN2-1 borehole on the basis of measurable geometric parameters (length, aperture, orientation and spatial position) of fractures. A 15 megapixel resolution photo documentation of the 142 m long core was made and each single fracture was identified using digital image analysis. Based on the joint pattern the 1D sections of fracture system can be characterized by three methods. The fracture density (1/m) log, the series of distances between neighboring joints, and the fractal dimension of the pattern can be used as a measure of fracture intensity. The fracture length distribution is another fundamental parameter to simulate spatial fracture networks. In the case of the BN2-1, BHTV data are available too. Using the fracture density patterns recorded by the two independent methods, parameters of the fracture length distribution function (E, F of a power law distribution) could be calculated by an adequate mathematical algorithm. Based on the orientation data measured by the BHTV log, fracture density parameters and the length distribution ten network models with the same probability was generated using an appropriate simulation software (RepSim). As a result, the behavior of the fractured rock mass can be understood through newly calculated parameters, like the spatial position of the communicating joint sub-systems, fractured porosity, fractured permeability tensor and the

Keywords: fracture modeling, pre-boring, RepSim, Bábaapáti

1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik legfontosabb környezetföldtani feladata az atomerőművek által kibocsátott radioaktív anyagok biztonságos, és végleges tárolásának megoldása. Magyarországon, Bábaapátiban létesült kis-

és közepes-aktív radioaktív hulladékok befogadására alkalmas felszín alatti tároló. Az építés 2005-ben kezdődött, jelenleg 4 kamrával, és a hozzájuk kapcsolódó szervizvágatokkal 2012 óta üzemel.

További két kamra építése tervezett a kamramező eddig feltáratlan nyugati oldalán, ahol a Nyugati feltáró vágatból két vízszintes előfúrás mélyült BN1-1 és BN2-1 néven.

Egy ilyen jelentőséggel bíró létesítménynél, felmerülhet az igény a közetfizikai paraméterek megismerésére, és hidrodinamikai modell elkészítésére. Mindkettőhöz szükséges ismerni a kőzettestet jellemző töréshálózatot, illetve ezen belül a kommunikáló repedések arányát, lehetőleg anélkül, hogy jelentős károkat okoznánk a kőzetben, ahová később a radioaktív hulladékot elhelyezni kívánjuk.

Jelen kutatás a BN2-1 jelű fúrás magkihozatalának repedéseit vizsgálja, célja, hogy mérhető törésgeometriai paraméterek alapján generált törésmodell értékelésével jellemezze a fúrások környezetének repedezettség viszonyait.

2. ELHELYEZKEDÉS, FÖLDTANI HÁTTÉR

A Nemzeti Radioaktív Hulladék Tározó (továbbiakban NRHT) felszíni telephelynek otthont adó Bataapáti község a Kelet-Mecsekben található, a Mórággyi kristályos rög északkeleti részén. Maga az NRHT 200 m-rel a felszín alatt található, a létesítményt befogadó önálló földtani egység a Mórággyi Gránit Formáció, mely alsó-karbon korú intruzív képződmény.

A formációt korábbi megközelítés szerint négyféle kőzet építi fel, a monzonit, a monzogránit, e kettő keveredésével létrejött hibridkőzetek, valamint telérkőzetek (Peregi & Gulácsi 2007, Király & Gulácsi 2008, Gulácsi & Király 2009). A hulladéktározót befogadó kőzettest a vágathajtások során ismertebbé vált, minek következtében 2010 óta új csoportosítást alkalmaz a szakirodalom, mely a magmás fejlődés és kristályosodás menetét veszi alapul. Szabényi et al. (2012) négy fő fázist különít el.

A fő magmás fázisba tartozik a monzonit, a monzogránit, valamint a hibrid kőzet, melyeknek kialakulása geológiai értelemben azonos időre tehető. A monzogránit lehet porfíros, vagy ritka porfíros, illetve ide tartozik az olyan kontaminált monzogránit is, ahol a kontamináció mértéke nem éri el a 25%-ot. A radioaktív hulladéktározó vágatainak kihajtásakor tapasztaltak szerint a monzogránit bizonyult a legelterjedtebb kőzetnek, az első két kamra szinte teljes egészében ebben mélyült. A hibrid vagy más néven kontaminált kőzetek (Szabényi et al. 2012) közé sorolják azokat a kőzettesteket, melyekben a kontamináció mértéke meghaladja a 25%-ot (hibrid monzogránit és hibrid monzonit). A hibrid kőzetek folyamatos átmenet alkotnak a monzonitok és a monzogránitok között. A monzonitos kőzetcsoporthoz tartoznak a finom-, apró-, valamint közepes szemcsés monzonitok.

A szienitfázis kőzetei a leukokrata monzogránit előtt nyomulhattak a fő magmás fázis gránittestébe. A szemcsék ásványos összetétele alapján a kőzettípus szienitől dioritig terjed (Szabényi et al. 2012.).

A leukokrata monzogránit fázis során leukokrata monzogránitok képződtek, melyek a kristályosodó olvadék maradékfázisát képezik a kristályosodás során. A monzogránitnál savanyúbb összetételű, és általában apró szemcsés kőzet (Király 2007).

A teléres fázis a leukokrata telérkőzetek képződését jelenti, mely a fentebb említett kőzeteket mindig éles határral metszi át. Ezek közül leggyakoribb típus az aplit, emellett előfordulnak még mikrogránit- és pegmatoidtelérek is. Az egymást metsző telérek alapján legalább két generáció különíthető el.

Nagyon ritkán, de megtalálhatók tisztázatlan eredetű xenolitok is a Mórággyi Gránit összes kőzetében, így a monzogránitokban, a monzonitban, 5–40 cm-es nagyságban. (Szabényi et al. 2012.).

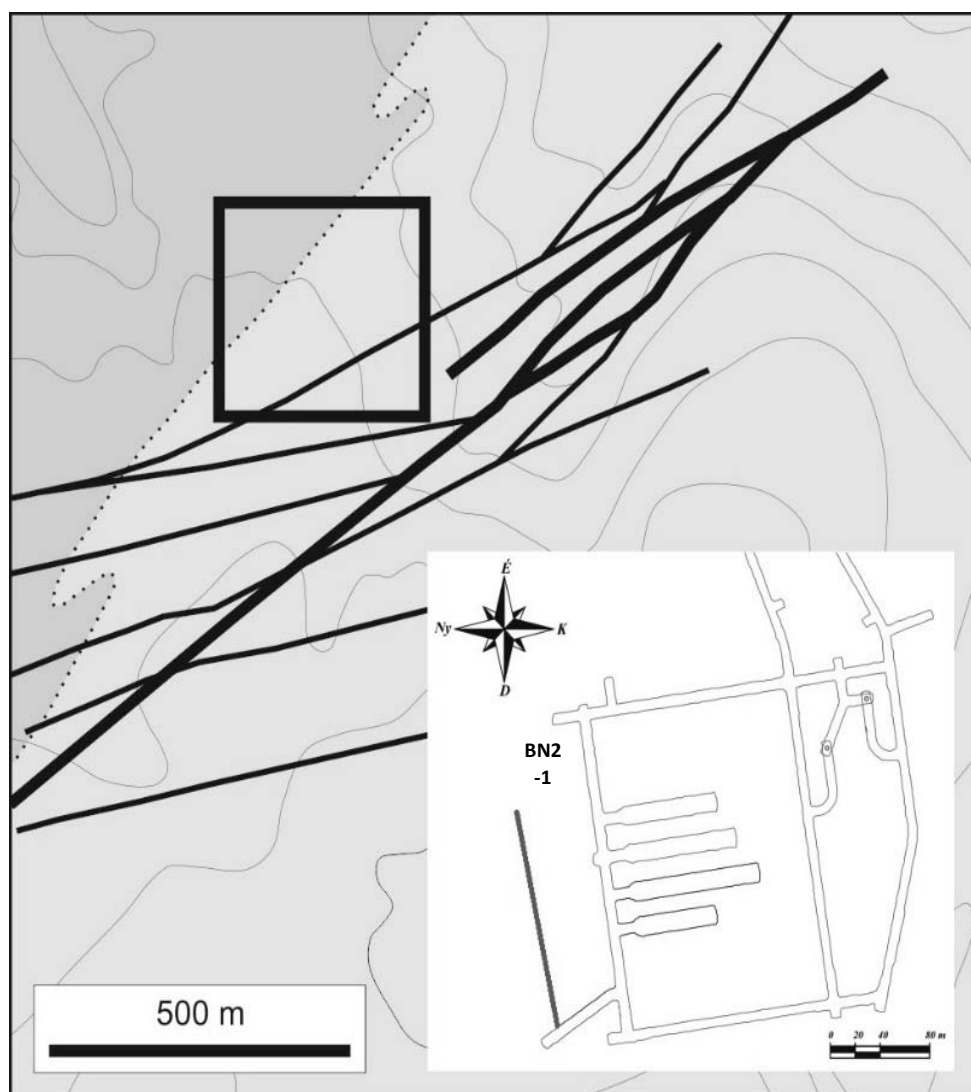
A Mórággyi Gránitban megfigyelt szerkezeti elemek két fő orogén szerkezetalakulási szakaszban jöttek létre, és összesen három deformációs stílusba sorolhatók. Bár a kutatás a töréses szerkezeti elemekre épül, fontos megemlíteni a magmás, valamint a képlékeny deformációra utaló elemeket is, mivel ezek preformálták a későbbi törések kialakulását.

Az első szerkezetalakulás a variszkuszi orogén szakaszban történt, amikor három eltérő folyamat alakított ki nagyjából megegyező irányítottságot. Az első a magmás fázis során kialakult irányítottság (ÉK-DNy), mely többek közt elnyúlt zárványokat eredményezett. Ez azt bizonyítja, hogy a magmafejlődés során aktív feszültségtér hatása alatt állt a terület. A második, a metamorf szakasz, a

korábbival azonos csapású, meredek dőlésű képlékeny szerkezeteket (palásság, milonitos zóna) hozott létre a gránittestben. Végül a variszkuszi orogenezis ÉK-DNy-i (esetleg KÉK-NyDNy) irányítottágú normálvetőket, jobbos eltolódásokat, valamint erre merőleges balos eltolódásokat eredményezett. Ezek lényegében a Mecsekalja-övvvel párhuzamos (vagy kis szöget bezáró), illetve merőleges törések, melyek a későbbi alpi szerkezet alakulás idején akár többször is felújulhattak (Balla & Gyalog 2009).

A második fő szerkezetalakulási időszak az alpi orogenezis volt, melynek során többször is töréses deformációt szenvedett a terület (Maros et al. 2011). A főleg meredek dőlésű törésekre jellemző 2 fő csapásirány szintén ÉK-DNy-inak és ÉNy-DK-inek adódik (Balla & Gyalog 2009).

A bonyolult deformáció történet során kialakult repedezettség miatt a kutatás korábbi fázisaiból származó töredezettségre vonatkozó ismeretek térbeli kiterjeszhetősége bizonytalan. Bár az NRHT meglévő vágatait környező kőzetek jól ismertek, az információ nem ültethető át a kamra-mező eddig feltáratlan nyugati oldalára, ahová a BN1-1 és a vizsgált BN2-1 jelű előfúrás mélyült.



1. ábra. A BN2-1-es fúrás helyzete az NRHT vágataihoz viszonyítva. A vágatok helyét az ábrán fekete négyzet jelöli a földtani környezetben. Sötétszürke – monzonit, világosszürke – monzogránit. A fekete vonalak a főbb vetőket reprezentálják. (The location of BN2-1 pre-boring correlated to excavations of NRHT. The black square show the place of caverns in geological background. Dark grey – monzonite, light grey – monzogranite. The black lines represent the main faults.)

3. MÓDSZEREK ÉS ADATOK

3.1 Szükséges paraméterek

Az alkalmazott töréshálózat szimulációs szoftvernek az alábbi input paraméterekre van szüksége: a törésközéppontok fraktál dimenziója (D), a törések méretét leíró eloszlás függvény paraméterei (E és F), valamint a törésorientációk

A törésmintázat fraktáldimenziójának kiszámításhoz a Hurst-kitevő (H) ismerete szükséges, melynek meghatározása Benoit 1.3 szoftver segítségével, az R/S analízis alkalmazásával történt (Kamera-M.Tóth, 2011). A H nem vehető állandónak a teljes fúrás mentén a változékony deformáltság miatt, ezért javasolt a magot egységnyi, átlapolt intervallumokra felosztani, majd a H értékét az így kapott rövidebb szakaszokra megadni. Jelen tanulmányban a H 40 m-es szakaszokra 10 m-es eltolódásokkal került kiszámításra (pl. 10-50 m, 20-60 m, 30-70 m, stb.).

A H alapján a fraktál dimenzió (D) meghatározható a H - D kalibráció segítségével, melynek módszertana részletesen M. Tóth (2009)-ben és M. Tóth (2010)-ben olvasható. A D-t megadó egyenlet paraméterértékei megegyeznek azzal, amit M. Tóth (2009) határozott meg az Üveghuta-2-es fúrás törései alapján.

Egy törés méretén a 3 dimenziós térben az öt reprezentáló korong átmérőjét értjük. A valóságban nincs információ az adott törés tényleges méretéről, mert a fúrómagon annak csak egy szelete látható. A törések hosszúsága fontos paraméter a modellalkotásban, azonban a valós hossz nem mérhető fúrómag léptékben. Ehelyett megadható a törések méreteloszlását leíró függvény. Minden léptékben igaz az az állítás, hogy a kisméretű törések száma jelentősen meghaladja a nagyméretűekét, ezt írja le az alábbi, általánosan elfogadott összefüggés (Segall & Pollard 1983, Heffner & Bevan 1992), mely szerint a törések száma és hosszúsága között sűrűségfüggvényű hatványfüggvény típusú eloszlás van:

$$N(L) = F * L^{-E} \quad (1)$$

Két eltérő érzékenységű vizsgálati módszer mérési eredményéből (képanalízis, BHTV) kapott 1/m mértékegységű töréssűrűség értékekből a kívánt hatványfüggvény eloszlásfüggvény együtthatói (E, F) meghatározhatók. Az E a (2) képlet alapján, az F pedig visszahelyettesítve az (1)-be (M.Tóth 2010).

$$-E = \frac{\log(N(L_1)) - \log(N(L_2))}{\log(L_1) - \log(L_2)} \quad (2)$$

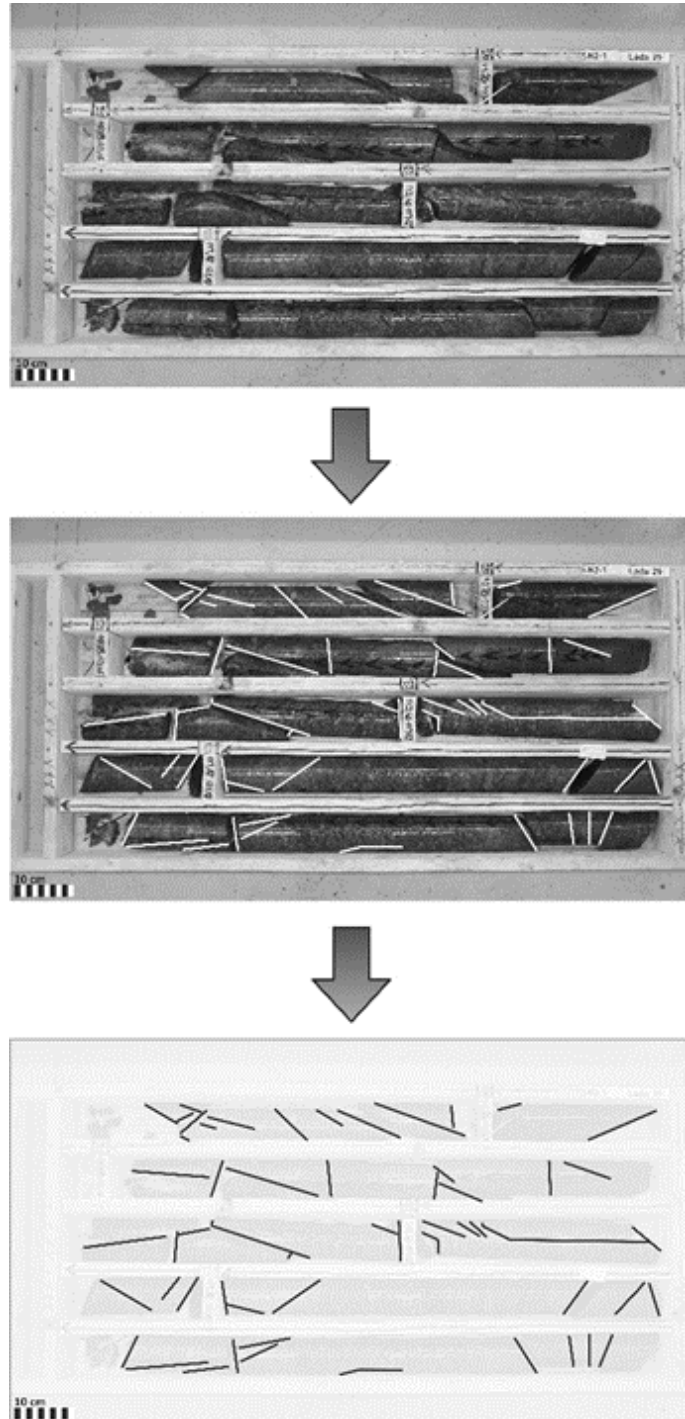
A törésorientációs adatok megfelelő formátumban beilleszthetők a BHTV felvételek értelmezéséből származó adatsorból.

1. táblázat. A modell által igényelt paraméterek. (*Parameters demanded by model.*)

Jelölés	Magyarázat
L	törés hosszúság (korong alakú törés átmérője)
L _{1,2}	különböző észlelési módszerek esetében mért töréshossz
N(L)	adott töréshosszhoz tartozó darabszám
E, F	eloszlás függvény együtthatói
H	Hurst-kitevő
D	fraktál dimenzió értéke

3.2 Képanalízis

Vizsgálatainkhoz rendelkezésre állt a BN2-1 jelű vízszintes előfűrés teljes maganyaga, melynek 142 méteréről 15 megapixeles felbontású fotódokumentáció készült. A fotózás állványról, vagyis egyenlő távolságról, és azonos fényviszonyok között, magládanként történt. A fényképek feldolgozása során az első lépés a törések azonosítása volt, melyet a köztük levő távolságok lemérése, végül adatbázisba rendezése követett. A törések közti távolság a fűrómag közepén meghúzott alkotó mentén mérhető azon törések esetében, amelyek metszik az alkotót (2. ábra).

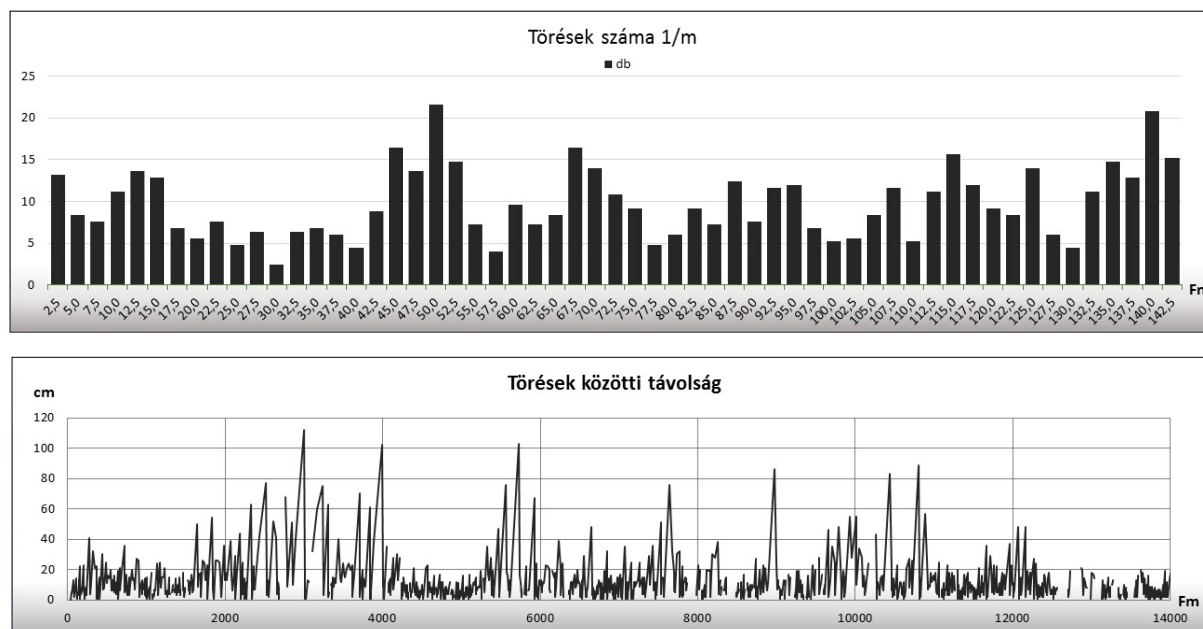


2. ábra. Képanalízis - törések azonosítása.
(*Photo analysis – identification of fractures*)

A törésmintázat alapvetően háromféle megközelítéssel jellemezhető 1 dimenziós metszeten. A töréssűrűség (1/m), és törések közötti távolság szelvények (3. ábra) mellett a mintázat fraktál dimenziója is használható a repedezettség intenzitásának mérőszámaként.

A "töréssűrűség" diagram fúrás menti szelvényen mutatja a törések számát méterenként, jelen esetben 2,5 m-ként az ábrázolhatóság érdekében. A "törések közti távolság" szelvény a képanalízis során mért szomszédos törések közötti távolság értékét ábrázolja cm-ben, a fúrás folyóméterének függvényében.

A két diagram adatsora együtt változik: ott, ahol a törések közti távolság növekszik, az 1 m-re eső törések száma csökken, a két különböző megközelítés tehát azonos törésgeometriára utal (3. ábra).



3. ábra. Töréssűrűség diagramok. A kétféle megközelítés egybevág: ahol a magas a törések száma, ott értelemszerűen lecsökken a törések közti távolság. (*Diagrams about fracture density. The two approaches coincide with each other: if the number of fractures is high, the distance between them will be less.*)

3.3 BHTV adatok

A BN2-1 fúrásból a digitális képelemzés eredményei mellett az első 90 m-en rendelkezésre állnak fúrólukfal-televízió (Borehole Television - BHTV) által meghatározott adatok, melyek megadják a felvett törések orientációját (dőlés irány, dőlés szög) is. A fúrás további szakaszán az adatszolgáltató közlése szerint nem sikerült a felvételezés.

A töréssűrűséget, valamint a törések közti távolságot jellemző elemzések elkészültek a BHTV adataira is, hogy az két különböző érzékenységű módszerrel (képanalízis, BHTV) észlelt repedések relatív mennyisége összevethető legyen (4. ábra).

3.4 A két vizsgálati módszer alkalmazásának szerepe a modellezésben

A térbeli törés modell kialakításához nemcsak a töréssűrűség adatok meghatározóak, hanem alapvető paraméter a repedések méreteloszlása is.

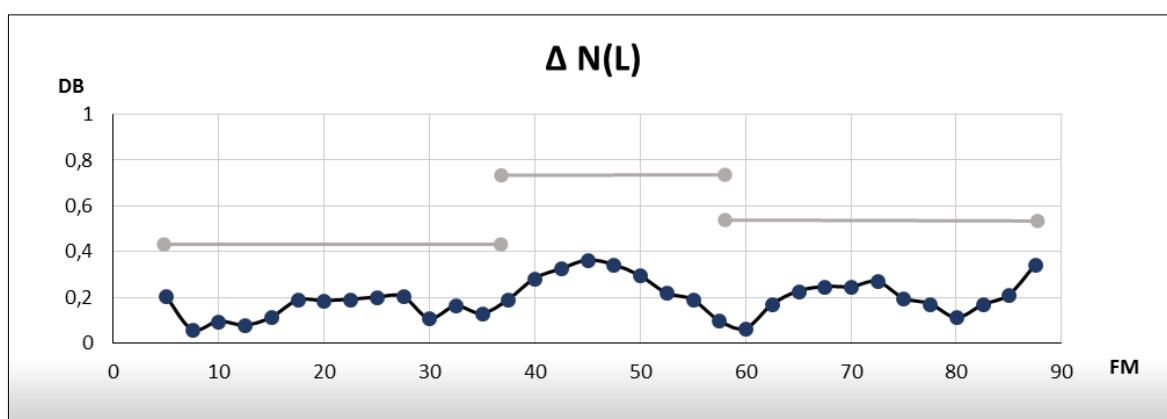
A törések méretének eloszlásfüggvénye becsülhető, amennyiben vizsgálat során két eltérő érzékenységű észlelési módszer eredményei rendelkezésre állnak (M. Tóth 2010). Jelen kutatásban e két módszer a fotódokumentáción alapuló képanalízis, valamint a fúrólukfal televízió adatainak kiértékelése.

Az digitális fotón a BHTV által nem "látott", keskenyebb töréseket is lehetséges azonosítani, mivel nagyobb a felbontása, azaz nagyobb érzékenységi küszöbvel rendelkezik. A BHTV képképzésének észlelési küszöbe ~750 μm , mely a $\frac{1}{10}$ szor érzékenységből adódik (Kömérő Kft. szóbeli közlése alapján). A képanalízis érzékenysége kiszámítható az alkalmazott digitális fénykép felbontásából, és

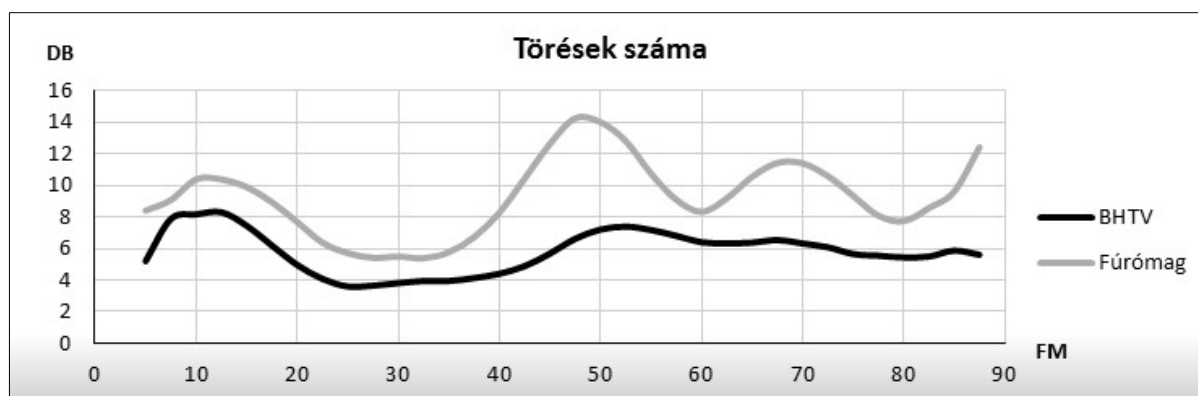
az észlelt törést alkotó pixelek számából. A tapasztalatok szerint a rendelkezésre álló 15 megapixelos felbontású fényképezőgép legoptimálisabb beállításával az 1 pixel szélességű repedések már láthatóak, ha a környezetükkel megfelelő kontrasztot alkotnak. Jelen esetben az észlelhető legkeskenyebb törés 260 μm szélességűnek adódott.

A különböző észlelési módszerek által azonosított törések számából látható (4. ábra), hogy a két adatsor lefutása azonos trendet követ. A képanalízis és a BHTV által látott törések számának különbsége két rövid szakasz kivételével megközelítőleg állandó. Ez a jelenség egyrészt azt mutatja, hogy a törések fényképről történő azonosítása konzekvens volt, másrészt igazolja a hatványfüggvény eloszlást.

A fúrás első 40 méterén együtt változik a két görbe, majd a képanalízissel észlelt törés szám hirtelen megnövekszik először kb. 40, majd kb. 62 métertől kezdve. Ennek az az oka, hogy a kisméretű törések száma ezen a két szakaszon ugrásszerűen megnő, mely egybe esik a 3. ábrán látható két intenzíven repedezett zónával.



4. ábra. A 2 eltérő érzékenységű módszer által észlelt törésszám közti különbség alakulása. (*The difference between numbers of fractures perceived by two methods.*)



5. ábra. Eltérő érzékenységű módszerekkel észlelt törések száma 1/m-ben. A két módszer által érzékelt törések száma azonosan változik. (*Number of detected fractures by two methods with different sensitivity. The two line follow same trend.*)

4. MODELLEZÉS

A törésmodell magalkotásához alkalmazott szoftver a RepSim, melyet M. Tóth és mtsai. fejlesztettek ki 2004-ben (M. Tóth et al. 2004).

4.1 Szimulációs környezet

A modellezett kőzettest a Mórági Gránit Formáció része, a már kiépült kamramezőtől nyugatra található. A BN2-1 vízszintes előfúrás első 90 m-ének 50 m-es környezetére készült szimuláció, 10 m-es azonos oldalhosszúságú cellakiosztással. Egy modell tehát 900 cellából áll, melyek tulajdonságai egyenként változtathatók.

Azonos kőzetkörnyezetet feltételezve az adott magszakasz körül, egységes adatokkal számolt a program, a bemenő paraméterek (E, F és D; az orientáció azonos) csak a fúrás mentén változtak 10 m-es közönként, azaz cellánként. A jellemző értékek a 2. táblázatban olvashatók.

2. táblázat. A fúrás mentén számolt, majd modellbe vitt paraméterek 10 m-ként. (*Parameters along boring per 10 meters.*)

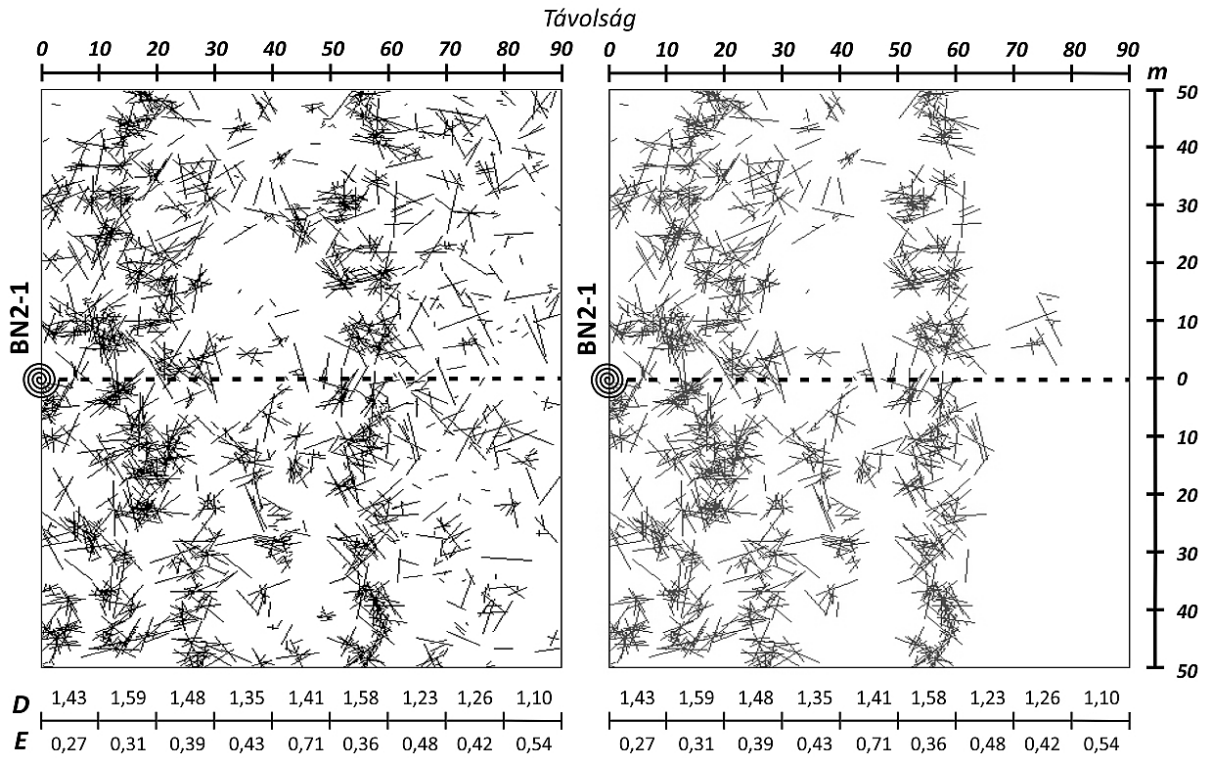
FM	D	E	F
10 m	1,43	0,27	9,81
20 m	1,59	0,31	9,12
30 m	1,48	0,39	2,45
40 m	1,35	0,43	2,5
50 m	1,41	0,71	0,56
60 m	1,58	0,36	6,74
70 m	1,23	0,48	2,81
80 m	1,26	0,42	3,33
90 m	1,10	0,54	1,2

5. EREDMÉNYEK ÉS ÖSSZEFOGLALÁS

A töréssűrűség, a méreteloszlás, valamint a BHTV szelvény értelmezésével kapott orientáció adatok alapján a RepSim által alkotott szimulációs környezetben generált 10 azonosan valószínű törésmodell nem mutatott szignifikáns különbséget. Mind a 10 létrehozott modellben egyetlen kommunikáló törésrendszer van, amely magában foglalja az egyedi törések jelentős hányadát.

A modell lehetőséget ad a szimulált kőzettest jellemzésére a kommunikáló törés alrendszerek térbeli helyzete, a repedezett porozitás, a permeabilitás anizotrópiája, valamint a reprezentatív elemi térfogat vonatkozásában.

A kapott töréshálózat összevethető a Nagyhurok területéről készült nagyobb léptékű törésmodellel (M. Tóth & Kamera 2012), így lehetőség nyílik egy egységes, új hidrodinamikai modell megalkotására.



6. ábra A RepSim által generált töréshálózat a BN2-1 jelű fúrás környezetében. Bal oldalon: A teljes törésrendszer. Jobb oldalon: Kommunikáló törések – egyetlen összefüggő rendszer. (*Generated fracture network around BN2-1 pre-boring by RepSim. Left side: the whole fracture system. Right side: communicating fractures – one coherent system.*)

7. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Köszönjük az RHK Kht.-nak, hogy rendelkezésünkre bocsátotta az adatokat, valamint engedélyezte a cikk megjelenését, és az előadás megtartását. Köszönettel tartozunk a Kómérő Kft. munkatársainak az együttműködésért, és a kutatás elősegítéséért.

8. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Balla Z., Gyalog L. szerk. (2009): *A Mórággyi-rög északkeleti részének földtana. Magyarázó a Mórággyi-rög ÉK-i részének földtani térképsorozatához (1:10 000)*. — Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 15-17., 131-149.
- Gulácsi Z., Király E. (2009): Alsó-karbon, Mórággyi Gránit Formáció. — In: Balla Z., Gyalog L. szerk., 58–68.
- Heffer, K.J., Bevan, T.G. (1992): Scaling relationships in natural fractures: Data, theory and application. *SPE* 20981, 367–376.
- Kamera R., M. Tóth T. (2012): Repedéshálózatok geometriai paramétereinek meghatározása In: Török Ákos, Vásárhelyi Balázs (szerk.) - *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2011*, Hantken Kiadó, Budapest, 193-198.
- Király E. (2007): A Keleti-lejtősakna 599,40–1254,10 és a Nyugati-lejtősakna 600,00–1309,50 m-es szakaszai mintáinak vékonycsiszolatos leírása. — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- Király E., Gulácsi Z. (2008): Mórággyi Gránit Formáció, alsó-karbon — In: Balla et al., 3.1.1.3. fejezet, 386–445.
- M. Tóth T. (2004): Adatbázis repedéshálózat fraktál geometriai alapú szimulációjához a Bátaapáti kutatási területen mélyült mélyfúrások alapján. — *Kézirat*, RHK KHT
- M. Tóth T. (2009): Repedezett, metamorf fluidumtárolók az Alföld aljzatában – *MTA Doktori értekezés*, Szeged, 42-53, 69-87.
- M. Tóth T. (2010): Determination of geometric parameters of fracture networks using 1D data. *Journal of Structural Geology*, **32**, 878-885.
- M. Tóth T., Hollós Cs., Szűcs É., Schubert F. (2004): Conceptual fracture network model of the crystalline basement of the Szeghalom Dome (Pannonian Basin, SE Hungary). *Acta Geologica Hungarica*, **47/1**, 19-34.
- M. Tóth T., Kamera R. (2012): A Nagyhurok (NRHT, Bátaapáti) törésmodellje JointMetrix adatok kiértékelése alapján. — *Kézirat*, Szeged, 1-22.
- Maros Gy., Borsody J., Fűri J., Koroknai B., Palotás K., Rálišné F. E., (2011): A Mórággyi-rög ÉK-i részének szerkezetföldtani értékelése a töréses szerkezetekre. - *Kézirat*. MÁFI Irattár, Budapest.
- Peregi Zs., Gulácsi Z. (2007): Mórággyi Gránit Formáció, alsó-karbon. — In: Balla et al. (2007), 3.1.1.3. fejezet, pp. 338–359.
- Segall, S.W., Pollard, D.D. (1983): Joint formation in granitic rocks of the Sierra Nevada. *GSA Bulletin* **94**, 563–575.
- Szebényi G., Török P., András E., Szamos I., Gyalog L., Borsody J., Fűri J., Gulácsi Z., Maros G., Deák F., Jakab A., Kovács L., Máté K., (2011): *Az NRHT I-K1 és I-K2 tárolókamra kivitelezés vágatódokumentációs jelentése*. Kézirat - Mecsekérc Zrt., RHK Kft. Irattár, RHK-K-075/11. 109-162.