

Tagoltsági felületek mérnökgeológiai elemzése a Bábaapáti kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladék-tároló kőzetkörnyezetében

Quantitative roughness profiling of fracture surfaces of granitic host rock of a radioactive waste disposal site

Krupa Ágnes

BME, Építőmérnöki Kar, krupa.agica@gmail.com

Deák Ferenc

MVM Paks II Atomerőműfejlesztő Zrt., deakf@mvmpaks2.hu

Görög Péter

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, gorog.peter@gmail.com

Török Ákos

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, torokakos@mail.bem.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A Bábaapáti épülő Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló (NRHT) építésénél a kőzetbiztosítás tervezéséhez elengedhetetlenül szükséges a kőzet tagoltságának megismerése. A tagoltsági felületek érdességének vizsgálata Barton ajánlásával (1973, 2012) az empirikusan meghatározható *JRC* (= *Joint Roughness Coefficient*) érdességi mérőszámmal lehetséges. A kutatás célja ennek az érdességi mérőszámnak a meghatározása az értékelőtől független, kvantitatív módon, valamint ebből az NRHT felszín alatti tárolótérben a túlnyomórészt monzogranit és monzonit kőzetek tagoltsági nyírószilárdságának számított, vagy kvantitatív meghatározása. Az NRHT építését az RHK Kft. vezeti.

ABSTRACT: At the construction of the Bábaapáti National Radioactive Waste Repository (NRHT) project the knowledge of the rock's fracture surface is necessary. The fracture surface's roughness can be predicted with the empirical determined *Joint Roughness Coefficient* (*JRC*) value recommended by Barton (1973, 2012). The aim of this research was to develop a simple and quantitative approach to predict the *JRC* value and to determine the fracture shear strength numerically, or quantitatively of the mainly monzogranite and monzonite rocks in the NRHT's underground storage. The construction of the NRHT is directed by the Public Limited Company for Radioactive Waste Management (RHK Kft.).

Kulcsszavak: felületi érdesség, nyírószilárdság, *JRC*, gránit

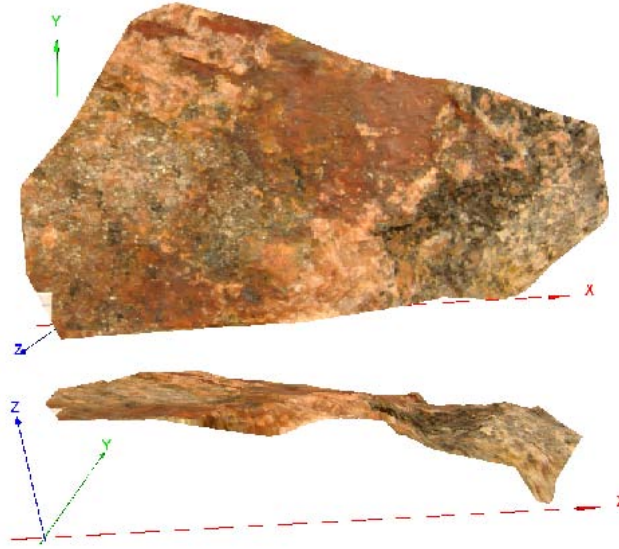
Keywords: surface roughness, shear strength, *JRC*, granite

1 BEVEZETÉS

A kutatás során a *Mórággyi Gránit Formáció* gránitos származó mintadarabokat elemeztünk. Az ilyen jellegű kőzetek nyírószilárdsági vizsgálatát már korábban is ismertették (Buocz et al. 2010), a jelen cikk a felületi érdesség szerepével foglalkozik.

A vizsgált minták monzogranitos kőzetekből származnak és ezen belül olyanokat is elemeztünk, melyek törési felülete megegyezik, így egyben párhuzamosan vizsgálhatóak és nyíródobozos vizsgálat alá vethetőek. A minták vizsgált felülete átlagosan 73 cm^2 (1. ábra). A vágathajtás során felmért vágathomlok 3D-s modelljeiből is választottunk ki 5 nagy tagoltsági felületet további elemzésre, ezek átlagos mérete 12 m^2 . Előző vizsgálatok nyíródobozos nyírószilárdsági vizsgálat eredményei is felhasználásra kerültek a számítás során, ezen vizsgált minták nyírt felülete átlagosan 26 cm^2 .

A *JRC* (= *Joint Roughness Coefficient*) érték meghatározásához használt Barton & Choubey (1973) által előállított 10 profil meghatározásához nem lehet matematikai képleteket, függvényeket használni. Több kísérlet után is, nem használható egy modell sem olyan könnyen, mint az eredeti profilok, melyek segítségével csak empirikus módon lehet a *JRC* értéket meghatározni. Hátránya, hogy a *JRC* érték meghatározása mind terepen, mind irodai vagy laboratóriumi körülmények között mindig a vizsgálatot végző személytől függ, aki tapasztalata és szubjektivitása alapján dönt.



1. ábra. Egy minta 3D felülete és metszete a JointMetriX3D rendszer fotorealistikus leképezése után
(A sample's surface and segment after the JointMetriX3D system's photorealistic imaging)

2 ELŐZMÉNYEK

A kutatás során több fontosabb összefüggést használtunk, melyek részben kvantitatív módon segítik a *JRC* értékek meghatározását, valamint az ebből következő a nyírószilárdság kifejezését.

A *JRC* értékét felhasználva, nyíródobozos kísérlettel a nyírószilárdság (τ) számítható lesz *Barton & Choubey* (1977, 2012) modellje alapján:

$$\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + JRC \log_{10}(JCS / \sigma_n)) \quad (1)$$

Ahol: σ_n : a normál feszültség

ϕ_b : a felületen mért súrlódási szög

JRC: tagoltság érdességi mérőszáma

JCS (= *Joint Compressive Strength*): a tagoltság anyagának nyomószilárdsága

Tse & Cruden (1979) több paramétert vizsgálva, arra jutottak, hogy a *JRC* a legjobban a négyzetgyökös összefüggéssel, a (Z_2) értékkel korrelál, mely összefüggésre a következő számítási módot ajánlották:

$$JRC = 32,2 + 32,47 \log Z_2 \quad (2)$$

$$\text{Ahol: } Z_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (z_i - z_{i+1})^2}{(N-1)\Delta s^2}} \quad (3)$$

z : a felszín pontjainak magassága egy referencia vonal felett

Δs : a mért pontok közötti távolság (állandó értékű)

N : a mért pontok száma

Maerz *et al* (1990) szerint a profil érdességi jelzőszáma (R_p) szintén jó kapcsolatban áll a *JRC* értékkel és megjelöltetett egy empirikus összefüggést:

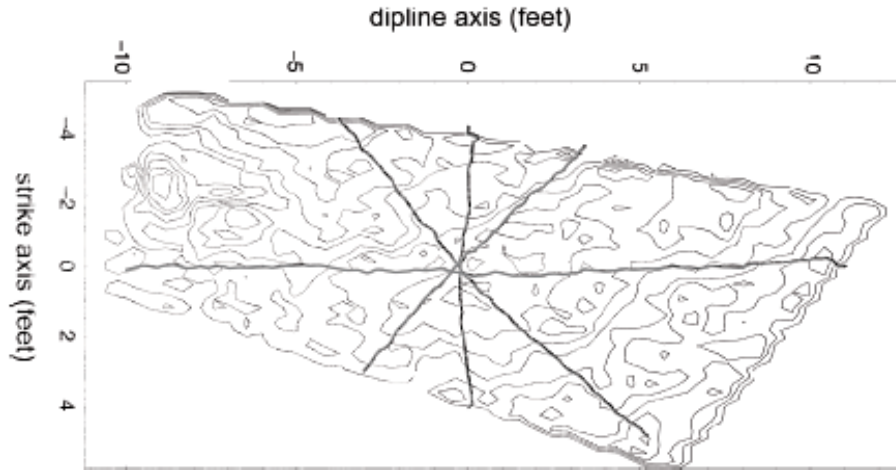
$$JRC = c(R_p - 1) \quad (4)$$

Ahol: c : értékére empirikusan meghatározott, *Maerz et al* ajánlása alapján a $c = 401$ valamint $c=411$ értékek

R_p (más forrásokban R_L): a profil érdességi jelzőszáma, amely a felületen mért hossz (L) és a vetületi hossz (L_0) hányadosa:

$$R_p = \frac{L}{L_0} \approx \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{\Delta s^2 + (z_i - z_{i+1})^2}}{\Delta s(N-1)} \quad (5)$$

Haneberg (2007) szerint a felületről készített fotogrammetrikus vagy lézeres 3D-s modellekből meghatározható a felületi érdesség. A felületen négy metszetet jelölt be – vertikálisan, horizontálisan és ezek között a két átló mentén – (2. ábra), melyek érdességét vizsgálta.



2. ábra. Haneberg kijelölt profiljai (Haneberg's profiles), Haneberg, 2007

Egy 2004-es, szöuli egyetemeken kidolgozott vizsgálat szerint (Lee et al, 2004) a tagoló felületek nyírószilárdsága kifejezhető a felületi érdességi jelzőszámból (R_s), a JRC érték empirikus meghatározása nélkül. Ezt a felületi érdességi jelzőszámot a kutatás során öt metszet felvételéből számították. A teljes felületre érvényes R_s számítható a profil érdességi számához hasonlóan (R_p), a vizsgált valódi felület területe (A_s) és a hozzá tartozó vetületi terület (A_0) hányadosaként:

$$R_s = \frac{A_s}{A_0} \quad (6)$$

A vizsgálat során nyíródobozos kísérleteket végeztek, ahol a nyíró-, és normálfeszültségi eredményeket hasonlították az R_s értékekhez. A nyírófeszültség kifejezésére a korábban már bemutatott Barton (1977) összefüggést (1) használták fel:

$$JRC = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{\tau_b}{\sigma_n}\right) - \phi_b}{\log\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)} \quad (7)$$

Ezt a kapott JRC értéket viszonyítva az R_s értékhez, egy természetes logaritmikus alapú egyenlet írható fel:

$$JRC = a \ln(R_s) + b \quad (8)$$

A cél az volt, hogy a kísérleti eredmények alapján egy, az adott közetre vonatkozó „a” és „b” értékpárt találjanak, majd ezt behelyettesítve az eredeti Barton-féle nyírófeszültség képletébe a JRC érték helyére, egy jó korrelációt kapjanak, mely kísérleti és kvantitatív módon meghatározott és nem függ a szubjektív JRC érték választásától:

$$\tau_b = \sigma_n \tan\left(\phi_b + (a \ln(R_s) + b) \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)\right) \quad (9)$$

Grasselli (2001) a laboratóriumi nyírókísérletek során bebizonyította, hogy az érdes felületen először mindig a legmélyebb pontok vesznek részt a nyírásban, melyeknek a legnagyobb felületük van a nyírás vonalában. A nagyobb érdességi kiemelkedések után jönnek folyamatosan a kisebbek, melyek később kapcsolódnak be a nyírásba. Ennek következtében a feladat, a nagy felületen a nyírás vonalában fekvő felületrészek vizsgálata, melyek elég mélyek a nyírásban való részvételhez. A módszert GG - nyírószilárdsági kritériumnak nevezik.

3 A KUTATÁS FŐ LÉPÉSEI

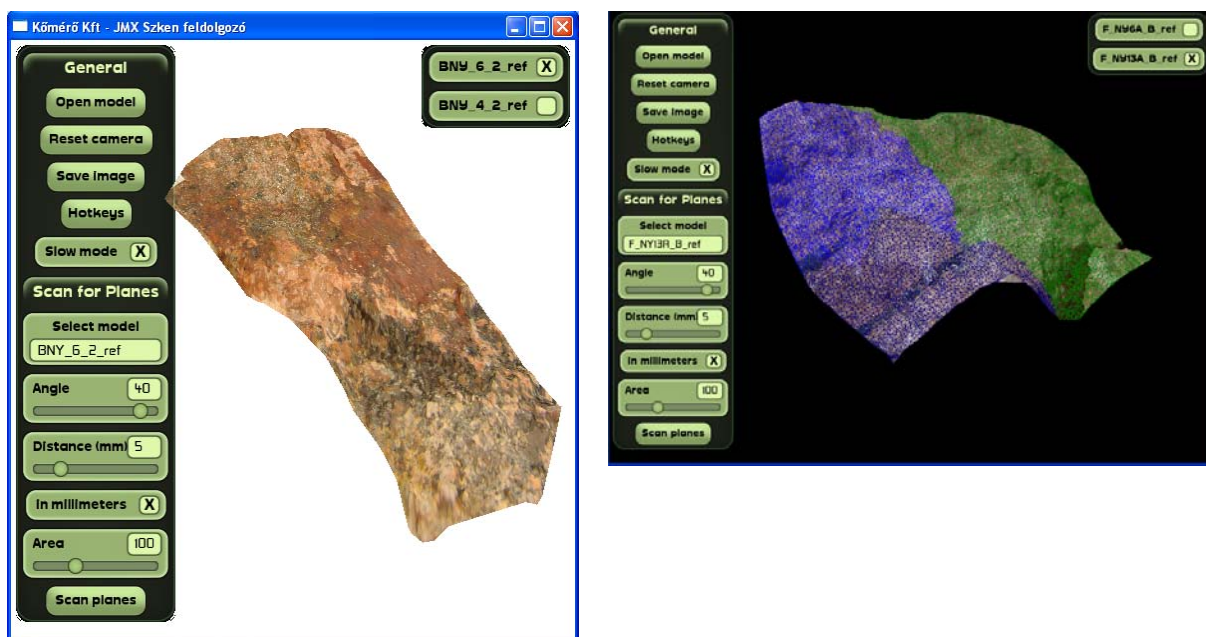
3.1 Az alkalmazott szoftverek bemutatása

A kutatás során két 3D-s programmal dolgoztunk, melyek a *JointMetriX3D* és az *Ogreproject* szoftverek. A *JointMetriX3D* szoftverben (későbbiekben *JMX*) a hozzá tartozó fényképezőgép által készített

nagy felbontású képeket lehet kezelni, melyeket a programban összeillesztve egy pontos valóságű fotorealistikus 3D-s modell keletkezik (ld. 1. ábra). Ilyen modelleket készítettünk a mintákról is. Az *Ogreproject* egy olyan programozást tesz lehetővé, mely a grafikai alkalmazások feldolgozásában segít egy saját programozási nyelvet felhasználva. A Kőmérő Kft. megbízásából, e programozási nyelv segítségével olyan saját felhasználási felület készült, amely tudja kezelni a *JMX* és *SMX* (ShapeMetriX3D) által generált modelleket, melyeket különböző megközelítésekkel vizsgálni is képes (3. ábra). Az *Ogreproject* program használatával az azonnali, teljes felületre jellemző érdekesség meghatározása volt a cél. Három lekérdezési adatot kell megadni a programban, melyek segítségével a rendszer megkeresi azokat a közelítő síkokat a felületen, melyekkel minél jobban le lehet fedni a vizsgált területet. A program a felületet és annak területét még a *JMX*-ben generált felületi háló háromszög elemeivel kezeli, ezért fontos, hogy a *JMX*-ben a háló sűrűségét még az exportálás előtt ehhez igazítottan kell megadni.

Az említett három paraméter az *Ogre*-ben:

- a háló elemeinek a leendő síkkal bezárt maximális szöge
- a felületnek a síktól való maximális eltérése mm-ben vagy cm-ben (választás alapján)
- a síkok egyenkénti minimális mérete (háromszögek számának megadásával)



3. ábra. Felhasználói felület az Orgeproject-ben, és a program által generált felületek egy mintán (*Users' surface in Ogreproject, and the generated areas on the sample*)

3.2 Barton profilok digitalizálása, 2D profil- és 3D felületelemzés

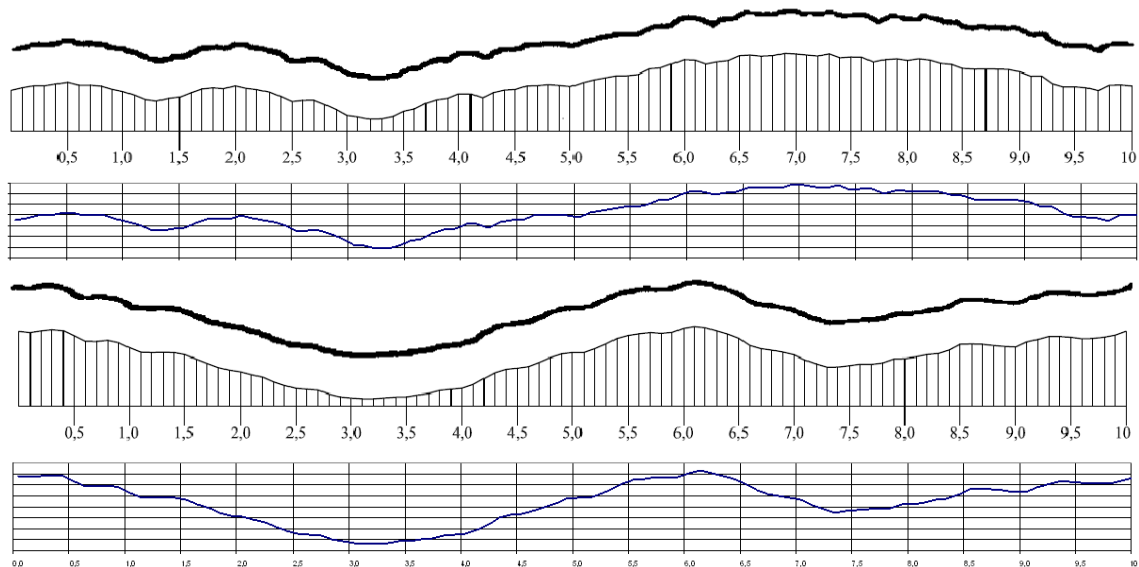
A kutatás első pontja a 2D és 3D elemzéshez az eredeti JRC profilok digitalizálása volt. A 3D programban (*Ogreproject*) különböző paramétereket kell megadni a lekérdezésekhez, így szükség volt arra, hogy a JRC profilokból a kívánt értékek ismertek legyenek (szög, távolság). A Barton által adott 10 darab érdekességi profil felnagyított ábraként az *AutoCAD*-ben olyan vonalláncként megrajzolható, ami teljesen követi a profil vonalát (4. ábra), és így pontos hosszukat, magassági értékeiket digitális alakban lehet kezelni.

A felületek elemzését 2D-ben a *JMX* programban végeztük, ahol a feszíni területük alapján a 3D-s pontfelhő sűrűsége 200 000 pont/m² kiosztást kapott (5. ábra). Ezután minden felületen 4-6 profil lett kiválasztva *Haneberg* (2007) ajánlása alapján. Mivel az inhomogenitások erősen befolyásolják a nyírószilárdsági értéket, így ha a felületen az arra jellemző általános felszíntől valamilyen eltérés is megjelent, akkor azon keresztül és mellette is felvettünk egy-egy profilt (6. ábra).

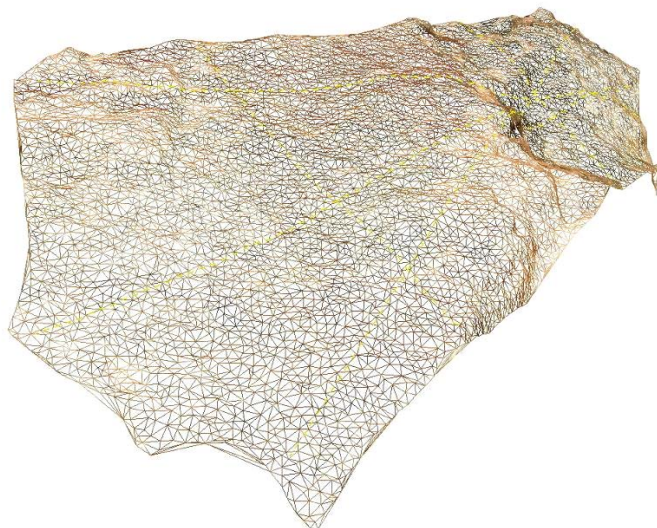
A profilok a *JMX* rendszerből kiexportálhatóak egy adatfájlba, amiben a távolságok és a hozzájuk tartozó magasságok századmilliméter pontosságra adóttak. A profilokon meghatározható a maximális és minimális magasság közötti eltérés, így ezt felhasználva javasoltunk JRC értéket (ez így részben már kvantitatív meghatározás). Mind a JRC, mind a magasságkülönbségi értékeket átlagolni lehet a felületekre.

3D-ban, az *Ogreproject* programban az *AutoCad*-es rajzokon kapott maximális és átlagos magasságkülönbségekből, valamint az azokhoz igazodó JRC profilokból leolvasott fokokból választottuk ki a paramétereket. Egy-egy felületen átlagosan 30 lekérdezés készült, de az eredmények szórása és még

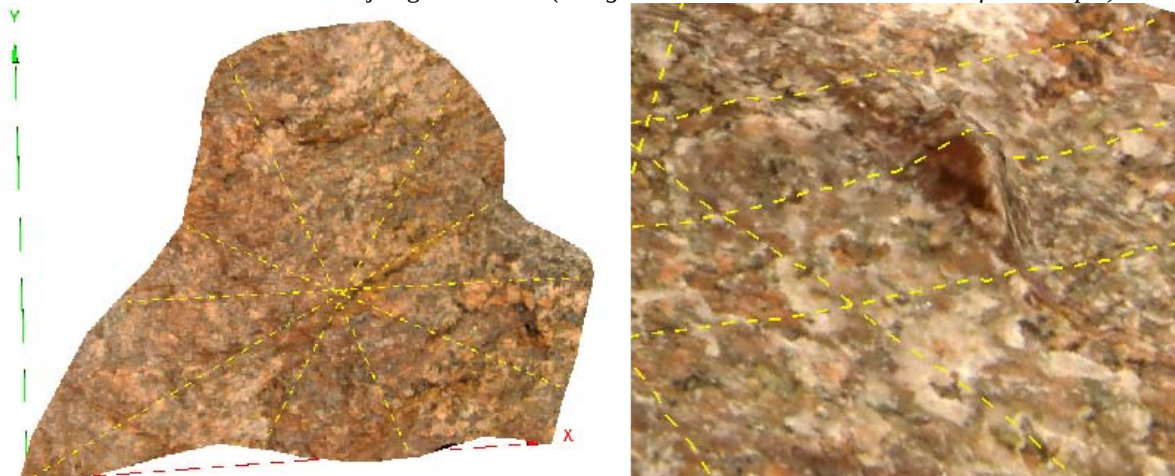
nem elegendő minta vizsgálata miatt az algoritmust finomítani kell, hogy a későbbiekben ez a módszer alkalmazható legyen.



4. ábra. A 12-14 és a 14-16 JRC értékű profilok eredeti, AutoCAD és Microsoft Excel változata
(The 12-14 and 14-16 JRC profile's original, later in AutoCAD and finally in Microsoft Excel)



5. ábra. A felület 3D modelljén generált háló (The generated mesh on the 3D model of the sample)



6. ábra. Egy átlagos és egy attól eltérő felület profiljainak kijelölése (An average and a different surface's designated profiles)

3.3 A szakirodalmi képletek alkalmazási módszere a JRC értékek kiszámítására

A 2D profilok elemzéséhez először az összes eredmény egy táblázatban összesítettük, hogy könnyebben áttekinthetőek és összehasonlíthatóak legyenek. Maerz *et al* (1990) által közzétett képletet (5) az adatsorokra alakítva, R_p értéke számítható:

$$R_p \approx \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{\Delta s^2 + (z_i - z_{i+1})^2}}{\Delta s(N-1)} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{(s_{i+1} - s_i)^2 + (z_i - z_{i+1})^2}}{\sum_{i=1}^{N-1} (s_{i+1} - s_i)} \quad (10)$$

Az R_p értékekből számítottuk a JRC értékeket Maerz *et al* ajánlása alapján, majd a felületekre mind az R_p és mind a JRC értékek átlagát használva jellemeztük a felületeket.

A Tse & Cruden (1979) által ajánlott képletet (3) szintén alakítva számítható Z_2 értéke, majd JRC is.

$$Z_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (z_i - z_{i+1})^2}{(N-1)\Delta s^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (z_i - z_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{N-1} (s_{i+1} - s_i)^2}} \quad (11)$$

3.4 Nyírófeszültség meghatározása a nyírt felületek profiljai alapján

A nyíródobozos vizsgálatok a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén készültek (Török *et al*, 2010). A mintákból a gránitos felületeket elemeztük részletesen. A minták számított és mért eredményeit összevetve lehet behelyettesíteni a Barton-féle (1977, 2012) nyírófeszültségi képletbe, és meghatározni az „a” és „b” értékeket Lee *et al* (2004) alapján.

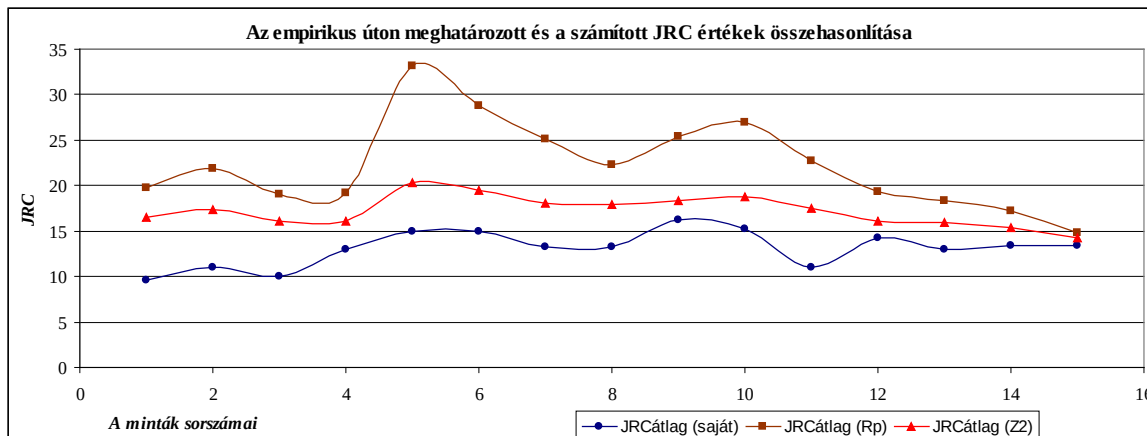
A későbbiekben, a további építési fázisokban ajánlott több hasonló minta vételezése különböző közetekből és közetosztályokból, és azok hasonló, nyíródobozos vizsgálata, valamint az azokból készített 3D-s modellek jellemzése és a két helyről kapott eredmények együttes elemzése.

4 EREDMÉNYEK

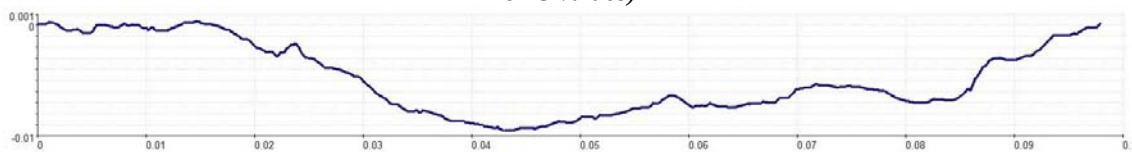
A digitalizált JRC profilok esetében a minimális és maximális magasság közötti eltéréseket összevetve a 0-2 JRC érték esetében volt a legkisebb, míg a 14-16 JRC profilnál adódott a legnagyobb 6,5 mm-re a 10 cm-en. A megrajzolt vonallánc hossza egyenlő az L értékkel, miközben az L_0 minden esetben a 10 cm, így könnyen számítható volt R_p értéke az összes, eredeti JRC profilra. Ez a 0-2 JRC esetében 1,001, mely a 18-20 JRC értékig folyamatosan emelkedik, ahol az értéke 1,061.

Az általunk „félíg” kvantitatívan meghatározott és számított JRC értékeket összehasonlítva megállapítható, hogy minden esetben a legkisebb JRC érték az általunk félíg kvantitatívan és empirikusan meghatározott, míg a legnagyobb az R_p -ből számított (7. ábra). A legjobb alapul vehető eredmények, hogy az összetartozó párokra kapott JRC értékek mindhárom esetben hasonlóak, így ez egy megbízható mérési visszajelzés. A legnagyobb eltérés a minta párok számított JRC értékei között az R_p -ből számított JRC értékek esetén 33,2 és 28,8, vagyis az eltérés 4,4. Ez az értékek nagyságát is tekintve nem kiemelkedő eltérés (legnagyobb számított JRC eredmények, a felület egyik profilját mutatja a 8. ábra). A legkisebb különbség a párok értékei között szintén R_p -ből számítva, a 19,4 és 18,3 (1,1 az eltérés), valamint Z_2 -ből számítva 16,2 és 16,0 (0,2 az eltérés).

A JRC értékeket, a nyírószilárdsági vizsgálat eredményeit felhasználva, a maximális és a reziduális nyírószilárdsági értékekből is kiszámoltuk. A számított és mért JRC értékeket összehasonlítva átlagosan összevethető az eredmény, a kisebb számított értékhez kisebb mért érték is tartozik. A számított legkisebb értékek 17-20 közötti JRC lett, melyekhez a mérési eredmények 2-6 közötti JRC értéket adtak. A legnagyobb számított JRC értékek 30 körüli átlagot mutatnak, az ezekhez tartozó mérési JRC értékek pedig 13-14 közöttiek. A kapott JRC értékekből a meghatározott „a” és „b” értékek, valamint az „ R^2 ” értékei az 1. táblázatban találhatóak.



7. ábra. Az empirikus úton meghatározott és a számított JRC értékek összehasonlítása (The three compared JRC values)



8. ábra. A legnagyobb JRC értékű profil, meghatározott JRC értékei 16,42 és 22. A profil hossza 9,8 cm, legnagyobb magasságkülönbsége 9,9 mm. (The profile with the highest JRC results (16.42 and 22). The length of the profile is 9.8 cm, the maximal height difference is 9.9 mm)

1. táblázat. A nyírószilárdság vizsgálat eredményeiből számolt értékek (The calculated values from the shear strength test's results)

	JRC (τ)	JRC (τ_{rez})
"a"	93,63	90,16
"b"	2,20	1,39
R ²	0,315	0,326

5 KÖVETKEZTETÉSEK

Az AutoCAD-es rajzokból kapott R_p értékekből és a hozzájuk tartozó eredeti JRC számból kiszámíthatók a vonatkozó lehetséges c értékek, ami alapján a Maerz által ajánlott $c = 401$ abban az esetben közelíti jól az eredeti JRC értéket, ha az 10-18 közötti. Ellenkező esetben egy túl kicsi (JRC 0-10 esetében) vagy egy túl nagy (JRC 18-20 esetében) értéket kaphatunk. Ez a magas JRC értékek között nem probléma, mert egyértelmű a megoldás, viszont alacsonyabb JRC érték esetében nagyon eltérhet a valóditól.

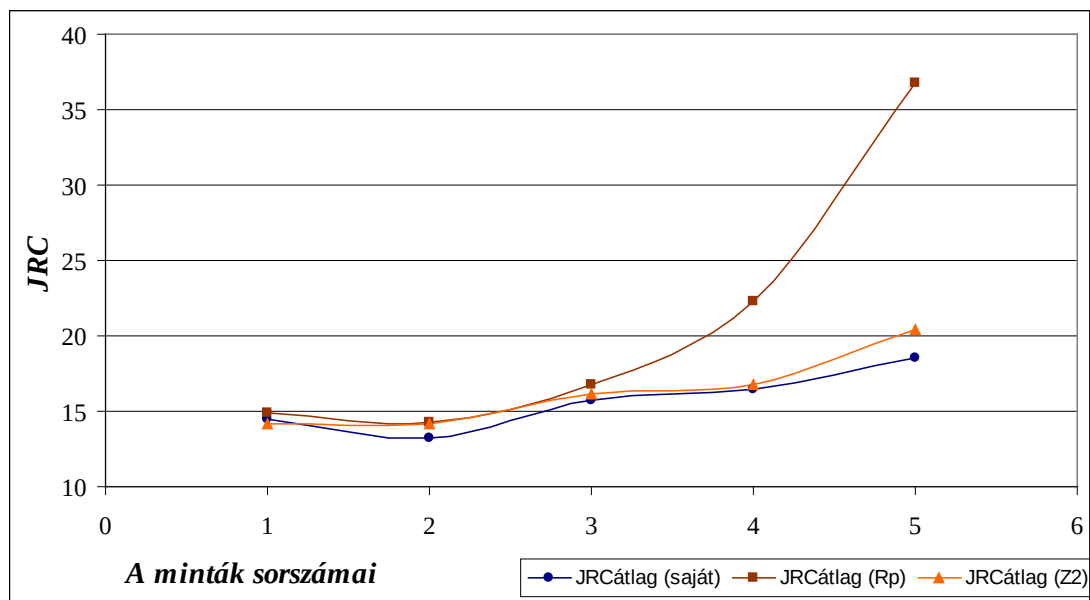
Az AutoCAD-ben kapott maximális R_p érték 1,061, amelynél a profilok R_p értékei 32 %-ban nagyobbak – a maximális $R_p = 1,105$. Ha megnézzük a 18-20-as JRC és R_p értékekhez tartozó c számot, akkor látható, hogy amennyiben az 1,061-nél nagyobb R_p értéket egy $c = 401$ -es vagy a $c = 411$ -es szorzóval szorozzuk (a 300 körüli érték helyett), akkor a kapott JRC érték a valódinál lényegesen nagyobb lesz. Ez áll fenn 7 db mintánál is, ahol a maximális JRC érték a felületre átlagolva 33,2 ($c = 401$ esetében) az 1,083-es átlag R_p érték mellett. Ezen JRC értékek a $c = 314$ -es szorzó esetében kevésbé kiugróak lennének, például ugyanezen minta esetében 26.

A Z_2 -es részerérték felhasználása segítségével számolt JRC érték estén a profilok csupán 10 %-a ért el 20-as JRC érték felett. Átlagolva az értékeket a felületre, egyetlen felület JRC értéke haladja meg csak a 20-at, így ez egy realisabban használható számítás.

A három JRC értékcsoport összehasonlítása látható a 7. ábrán. A diagrammon jól kivehető, hogy a legmagasabb értékek az R_p -ből számítottak, míg a legalacsonyabbak az empirikus úton meghatározottak és a Z_2 -ből származtatott értékek az átlagot képviselik. Elmondható, hogy arányaiban egymáshoz viszonyítva az empirikusan meghatározott értékek hasonlítanak a számítottakra, némely esetben elég közel állnak egymáshoz. Az előnye annak, hogy az empirikusan meghatározott értékek kisebbek, hogy ez által az ezen JRC értékekből számolt nyírószilárdsági értékek alacsonyabbak lesznek, ami így a biztonság javára szolgál. Viszont emiatt ugyanúgy előfordulhat, hogy a tervezett közbiztosítások túl konzervatívak lesznek. Ezért célszerű megtalálni azt a számítási módot, amely a legpontosabb ered-

ményt biztosítja. Ennek érdekében mindegyik számítási mód vizsgálatát ki kellene terjeszteni egy ennél nagyobb mennyiségű minta és adathalmazra.

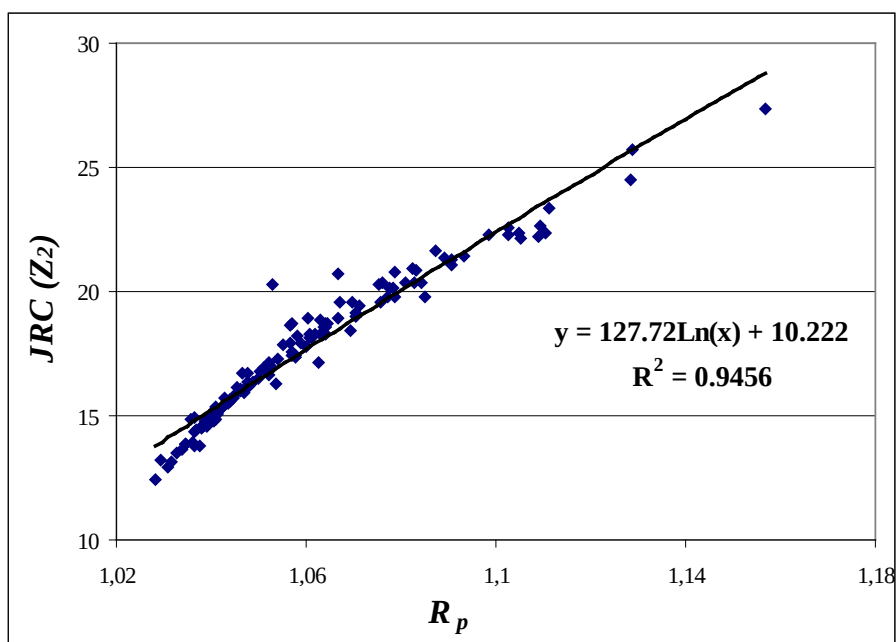
A vizsgált öt nagy, vágathajtás során a JMX modellekből felmért felület közül az első négy viszonylag egyenletesebb felületű, míg az utolsó szándékosan egy szemmel láthatóan is érdekesebb felület. A számítási eredményeken ez hiánytalanul megjelent, mindhárom meghatározás JRC értéke az 5. felületre kimagasló értékű (9. ábra). Ami itt is észrevehető - ahogyan a kis felületek JRC értékeinél is -, hogy amennyiben az R_p értéke nagyobb, mint a maximális JRC értékhez tartozó, akkor az abból számított JRC kiugróan magas lesz.



9. ábra. A nagy felületekre meghatározott JRC értékek összehasonlítása (*Comparing the JRC values, measured on the big surfaces*)

Ahogy korábban is javasoltuk, célszerű ezt a vizsgálatot a jövőben folytatni, nem csak kis, hanem nagyobb, terepen felmért felületeken is.

Az R_s -t és a Z_2 -ből származtatott JRC értékeket összehasonlítottuk az összes minta eredményeivel. Az összefüggésük jól közelíthető (10. ábra), valamint a két JRC érték akár egymásból is kifejezhető (11. ábra), így a két módszer által meghatározott JRC értékekhez elegendő lehet csak az R_p számítása, majd a JRC értékek meghatározása és az éppen szükséges JRC értéket lehet a további számításokhoz felhasználni. A kapott összefüggések a következő oldalon találhatók.



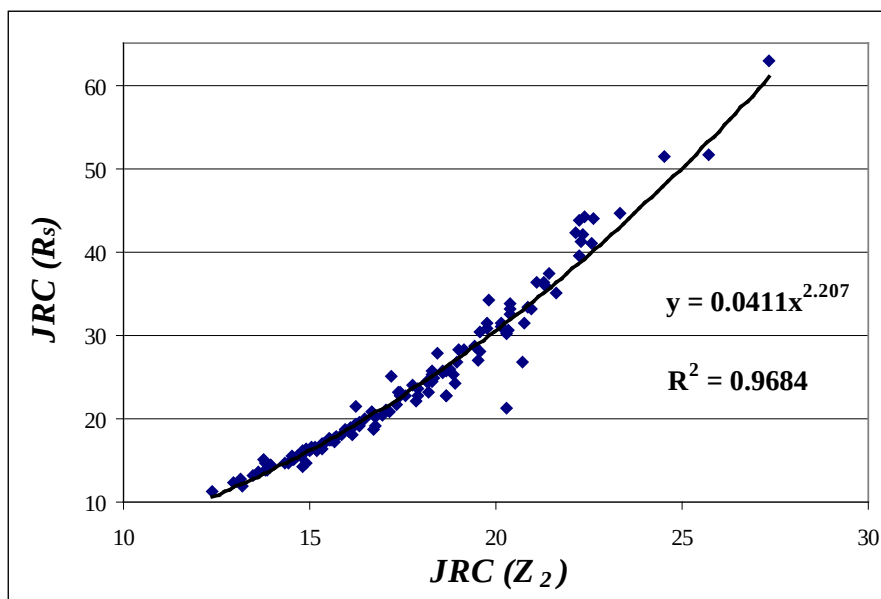
10. ábra. Összefüggés az R_p és a Z_2 -ből származtatott JRC értékek között (*Correlation between the R_p values and the JRC values from Z_2*)

Az R_p és a Z_2 -ből származtatott JRC érték esetén:

$$JRC = 127,09 \ln(R_p) + 10,21 \quad (12)$$

Az R_p -ből és a Z_2 -ből származtatott JRC értékek esetén:

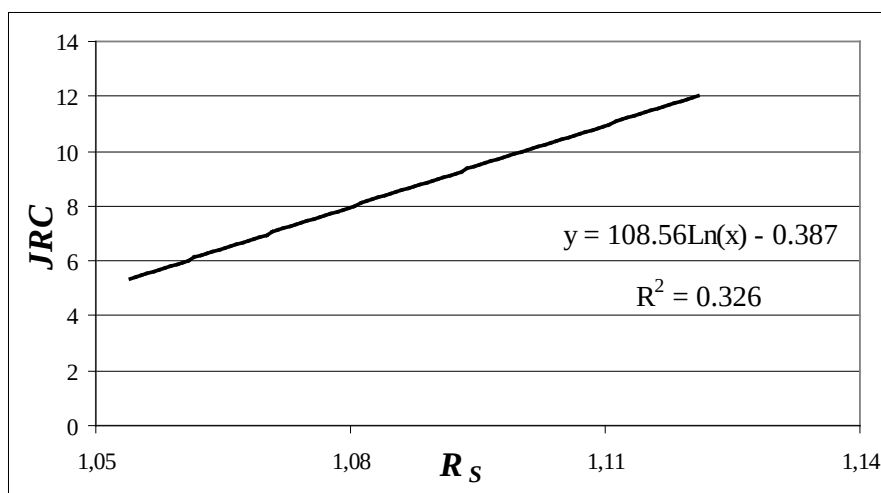
$$JRC(R_p) = 0,0454x^{2,1717} \quad (13)$$



11. ábra. Összefüggés az R_p -ből és a Z_2 -ből származtatott JRC értékek között
(Correlation between the R_p values and the JRC values from Z_2)

A nyírószilárdsági számítások során a felületre átlagolt R_s értéket használtuk, az „a” és „b” értékek meghatározásához (maximális és a reziduális nyírószilárdsági értékekhez is). Amennyiben a nyírószilárdsági képletet függetlenné szeretnénk tenni az empirikusan meghatározott JRC értéktől, akkor a módszernek a hátránya, hogy először rendelkezni kell a nyíróvizsgálat eredményeivel. Ezután ezeket a JRC értékeket kell összevetni a felületre számított R_s értékkel.

A minták eredményeire illesztve a logaritmus alapú közelítő vonalat, az eredmény a következő (12. ábra):



12. ábra. Összefüggés az R_s és a nyírószilárdsági vizsgálat eredményéből származtatott JRC értékek között
(Correlation between JRC (counted from the shear strength tests results) and R_s)

6 ÖSSZEFOGLALÁS

Terveink szerint további minták vizsgálatával, egy sokkal pontosabb korrelációs eredményt lehet kialakítani. A jövőbeni előnye ennek az lehet, ha a fő közöttitípusokra rendelkezésre állnak ilyen adatok (az R_s -ből számított „a” és „b” értékek), mert annak segítségével könnyen és egyszerűen és megbízha-

tóan becsülhető lesz a kőzetek nyírószilárdsága a *JRC* érték ismeretében. Ez meggyorsítaná a számításokat és pontosítaná a jelenleg kvalitatívan meghatározott értékeket. Amennyiben modellezni szeretnénk a tárolóteret befogadó kőzettestet, az állékonyság számítására, a tagoltságok vagy diszkontinuitások parametrizálását a bemutatott módszerrel nagyban lehetne pontosítani.

7 IRODALOM

- Barton, N.; Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice, *Rock Mechanics*, Vol. (10): 1-65.
- Barton, N. 2012. Shear strength criteria for rock, rock joints, rockfill, interfaces and rock masses. *Proc. of 2nd Int. Symp. On Constitutive Modeling of Geomaterials: Advances and New Applications (IS-Model 2012)*, Springer, Beijing, p. 1-15
- Buocz I., Rozgonyi-Boissinot N., Görög P., Török Á. 2010. Laboratory determination of direct shear strength of granitoid rocks; examples from host rock of the nuclear waste storage facility of Bataapáti (Hungary). *Central European Geology*, 53/4, 405–417
- Grasselli G. 2001. *Shear Strength of Rock Joints based on Quantified Surface Description*, Summary of the Ph. D. thesis, EPF-Lausanne, Switzerland
- Haneberg W. C. 2007. Directional roughness profiles from three-dimensional photogrammetric or laser scanner point clouds, *E. Eberhardt, D. Stead, and T. Morrison, editors, Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands: Proceedings, 1st Canada-U.S. Rock Mechanics Symposium, Vancouver, May 27-31, 2007*, 101-106.
- Maerz, N.H., Franklin, J.A., Bennett, C.P. 1990. Joint roughness measurement using shadow profilometry, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, Vol. (27): 329-343.
- Lee, Seok-Won, Hong, Eun-Soo, Bae, Seok-Il, Lee In-Mo. 2004. *Modelling of rock joint shear strength using surface roughness parameter, R_s* , Konkuk University, Proceedings of the World Tunnel Congress and 32nd ITA Assembly, Seoul, Korea, 22–27 April 2006, 6
- Tse, R.; Cruden, D.M. 1979: Estimating joint roughness coefficients, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, Vol. (16): 303-307.