vasarhelyi.balazs_467_26

MTA doktori értekezés

ÉP KŐZET ÉS KŐZETTESTEK POISSON-TÉNYEZŐJÉNEK SZÁMÍTÁSA

Vásárhelyi Balázs

okl. építőmérnök, PhD., dr. Habil.

Budapest, 2026. május

Bevezetés

A mérnöki (mind az építő, mind a bányamérnöki) feladatoknál fontos a kőzet-szerkezet kölcsönhatásának vizsgálata, pontos elemzése. A bányászati, geotechnikai gyakorlatban sok esetben lineárisan rugalmasnak, homogénnek és izotrópnak tételezzük fel a mérnöki létesítmény (bányajárat, alagút, épület, gát stb.) környezetében lévő talajt vagy kőzetet. A kőzetmechanikai feladatok megoldásánál lineárisan rugalmas állapot feltételezése esetén a kőzettestben vagy kőzettesten lévő mérnöki létesítmények, szerkezetek tervezésénél elengedhetetlenül fontos a rugalmassági modulus (E) értéke mellett a Poisson-tényező (ν) pontos ismerete is[1]. Ez a haránt-kontrakciós tényező a keresztirányú fajlagos alakváltozás és a hosszirányú fajlagos alakváltozás hányadosa, melynek ismeretében lehetőség van a várható elmozdulások, alakváltozások számítására.

Összehasonlítva a többi rugalmasságtani állandóval, ennek pontos meghatározására, ezen tényező kimérése (mind laborvizsgálatokkal, mind helyszíni, azaz in situ körülmények között) általában nem történik meg, annak ellenére, hogy ennek az anyagállandónak az értéke jelentős mértékben befolyásolja/befolyásolhatja a kapott eredményt.

A dolgozat célja ezért kettős:

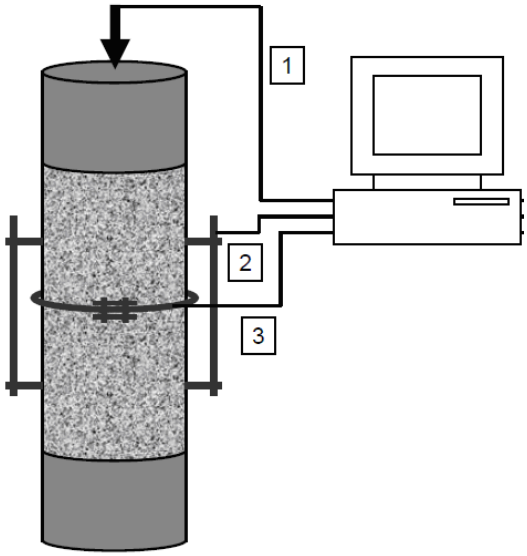
- *Először ép kőzetek* Poisson-tényezőjét vizsgáltuk meg és elemeztük:
    - hogyan van összefüggésben annak ridegségével (azaz a nyomó és húzószilárdság hányadosával),
    - Hogyan változik annak értéke a környezeti nyomás hatására
    - Hogyan befolyásolhatja annak értékét a víz jelenléte
    - Valamint értéke milyen kapcsolatban van a nyomófeszültség nagyságához képest

- *Másodszor a kőzettest* Poisson tényezőjét elemeztük a klasszikus kőzettest osztályozásokat[2] figyelembe véve:
    - Hogyan határozható meg a kőzettest Poisson tényezője abban az esetben, ha az ép kőzet Poisson tényezője ismert
    - Hogyan becsülhető ennek értéke, ha nem ismert az ép kőzet Poisson tényezője.

[1] A Young féle rugalmassági modulus Poisson tényező történeti bemutatását lásd: Bojtár et al (2008)
[2] Úgy mint RMR, Q és GSI módszerek. Ezek hazai bemutatása: Gálos és Vásárhelyi (2006), Vásárhelyi (2016)

1. Ép kőzet Poisson tényezőjének meghatározása

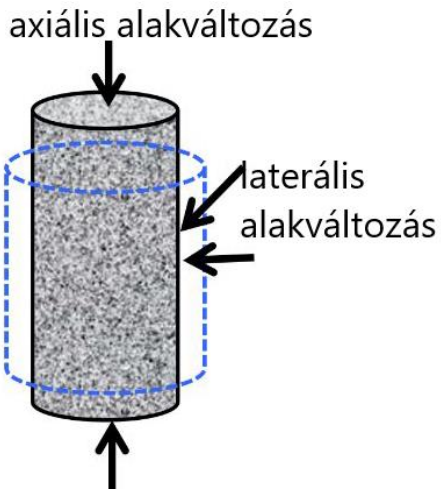
Az ép kőzet Poisson-tényezőjének laboratóriumi kimérése roncsolás-mentes, vagy roncsolásos vizsgálatokkal lehetséges. Jelen dolgozatban kizárólag a statikus (egyirányú nyomószilárdsági vizsgálattal mért, azaz roncsolásos vizsgálattal kapott) Poisson-tényező értékét, ill. annak változását elemezzük[3]. A Nemzetközi Kőzetmechanikai Szövetség (ISRM, 1979) javaslata alapján végrehajtott egyirányú nyomószilárdsági vizsgálatánál a henger alakú próbatestnél a tengelyirányú feszültség mellett mérjük mind a tengelyirányú (axiális - ε_a), mind a tengelyre merőleges, azaz sugárirányú (laterális - ε_l) alakváltozást. Az egyirányú nyomószilárdsági vizsgálat sematikus elrendezését mutatja az **1. ábra**. ISRM javaslata alapján a henger magasság-átmérőjének aránya 2:1 körüli kell, hogy legyen ahhoz, hogy a mérés pontos eredményt adjon (Vásárhelyi, 2003a).



1 ábra. Egyirányú nyomóvizsgálat sematikus elrendezése
(1): erőmérő, (2) axiális elmozdulás-mérő, (3) horizontális (laterális) elmozdulás-mérő

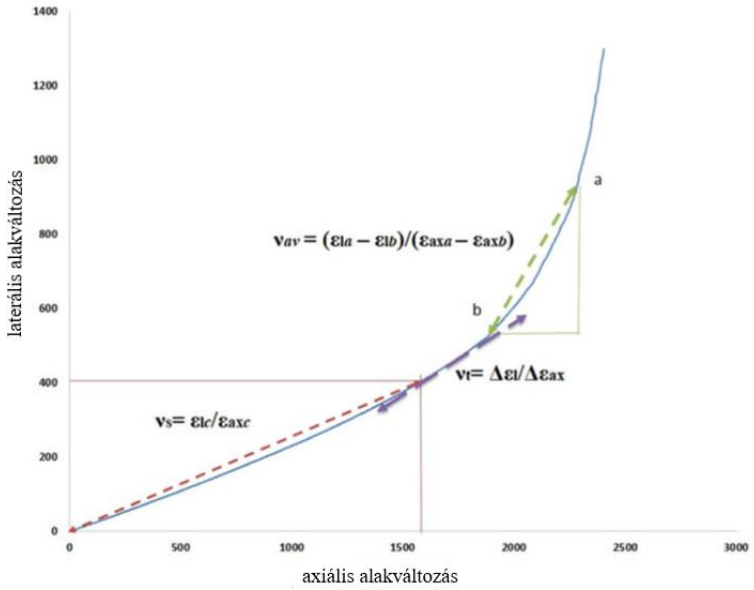
Amint azt a fentebb már bemutatott elemzésekben jól látszik, az axiális és a laterális alakváltozásoknak fontos szerepük van a különböző anyagi tulajdonsággal rendelkező tartományok meghatározásánál. A statikus Poisson-tényező, mint harántkontrakció, a tengelyirányú (axiális - ε_a), és a tengelyre merőleges (laterális - ε_l) értékek hányadosa, ahogyan azt a **2. ábra** is mutatja.

[3] Davarpanah et al (2020a) részletesen bemutatja a két tényező közötti különbséget, míg Ausztrál kőzeteket elemezve Davarpanah et al (2020b) ezen tényezők kapcsolatát más mechanikai paraméterekkel elemzi.



2 ábra. Axiális és laterális alakváltozás henger alakú próbatest esetén

A harántkontrakció meghatározására, kiszámolására három módszer lehetséges, amelyek (ha kismértékben is, de) eltérő eredményt adnak. Ezen tényezők meghatározására magyarázatként lásd **3 ábrát**:



3 ábra. A különböző Poisson-tényezők meghatározása az axiális és laterális alakváltozások ismeretében

- <u>*Szekant Poisson-tényező*</u> (ν_s) alatt azt az értéket értjük, amikor a vizsgált alakváltozási állapot és az origó közötti értékből határozzuk meg ezt a tényezőt (azaz az origóból a vizsgált ponthoz húzott egyenes meredeksége – az ábrán a piros szaggatott vonal):

$$\nu_s = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a}. \qquad (1)$$

- <u>*Tangens Poisson-tényező*</u> (ν_t) esetén az axiális és laterális alakváltozási görbe deriváltját értjük, azaz az adott, vizsgált pontra illesztett érintő meredekségét számoljuk ki (az ábrán a kék szaggatott vonal):

$$\nu_t = \frac{\Delta\varepsilon_l}{\Delta\varepsilon_a}. \quad (2)$$

- *Átlag Poisson-tényező* (ν_{av}), amely egy vizsgált szakaszra (tetszőlegesen felvett a és b pontok közötti) felállított egyenes meredekségéből számolható ki. A gyakorlatban ±5 %-os értéket szoktak figyelembe venni (lásd az ábrán a zöld szaggatott vonal):

$$\nu_{av} = \frac{\varepsilon_{la}-\varepsilon_{lb}}{\varepsilon_{aa}-\varepsilon_{ab}}. \quad (3)$$

Mivel a laterális alakváltozás nem lineárisan függ az axiális alakváltozástól, ezért a fentebb definiált Poisson-tényező értékek a nyomófeszültség függvényében folyamatosan változnak (ld. a **3 ábrát)**. Ebből következik, hogy a Poisson-tényező értéke nem lehet állandó, hanem egy feszültségtől függő érték kell, hogy legyen.

2 Kőzet ridegsége és a Hoek-Brown törési határfeltétel

A kőzetmechanikában az egyik legelterjedtebb a Hoek-Brown törési határfeltétel[4], mivel az nem csak ép kőzet esetére, hanem kőzettestekre is alkalmazható.

Kőzettest esetén az általánosított Hoek-Brown törési határfeltétel (Hoek és Brown, 1980, 2019):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c\left(m_b\frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s\right)^a, \quad (4)$$

ahol

σ_1 és σ_3: a maximális és minimális főfeszültségek

σ_c: ép kőzet nyomószilárdsága

m_b, s és a állandók, melyek a kőzettest minőségétől függnek.

A Geológiai Szilárdsági Index (*GSI*) egy olyan tényező, mely a kőzettest töredezettségét számszerűsíti: teljesen ép kőzet esetén 100, míg talajjá mállott esetben 0 értékű[5].

Ezen GSI érték ismeretében lehetőség van az ép kőzetre meghatározott Hoek-Brown állandó (m_i) kőzettestre (m_b) történő átszámítására:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28}\right). \quad (5)$$

[4] Hazai bevezetése: Vásárhelyi (2001, 2003b)

[5] Ván és Vásárhelyi (2010a, 2010b) a GSI értékét mint töredezettségi mérőszámot vezették be, melynek segítségével általánosítható összefüggéseket kaptak

Valamint s és a értékeinek meghatározására:

- Jó minőségű kőzettest esetén, ha *GSI* > 25:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) \quad (6)$$

$$a = 0{,}5. \quad (7)$$

- Nagyon rossz minőségű kőzettest esetén (*GSI* < 25):

$$s = 0, \quad (7)$$

$$a = 0{,}65 - GSI/200. \quad (8)$$

Meg kell jegyezni, hogy nincs egyértelmű kapcsolat a Hoek-Brown törési határfeltétel és a geotechnikában általánosságban használt Mohr-Coulomb törési határfeltétel között, de közelítő megoldások ismertek.

A ridegség meghatározására számos definíció létezik (összefoglalást lásd: Török és Vásárhelyi, 2015, 2016). A ridegség egyik leggyakrabban használt mérőszáma az egyirányú nyomószilárdság (σ_c) és a húzószilárdság (σ_t) hányadosa. Ezt a hányadost a hazai szakirodalom Brinke számként (*B*) ismeri:

$$B = \frac{\sigma_c}{|\sigma_t|}. \quad (10)$$

Cai (2010) cikkében bebizonyította, hogy amennyiben a rideg ép kőzet Brinke száma (*B*) 8-nál nagyobb, annak értéke az közelítőleg megegyezik (1,6%-os hibahatáron belül) a Hoek-Brown törési határfeltételben szereplő un. Hoek-Brown anyagállandóval, azaz m_i-vel (Hoek és Brown, 1980; 2019). Ebből következik, hogy:

$$m_i = B = \frac{\sigma_c}{|\sigma_t|}. \quad (11)$$

A dolgozat új tudományos eredményei az alábbiak:

1. **<u>Tézis: Ép kőzet Poisson-tényezője meghatározható a kőzet Hoek-Brown anyagállandójának ismeretében</u>**

Feltételezve, hogy a nyugalmi földnyomási szorzó értéke a talajmechanikában használatos Jáky (1944) képlet és a kőzetmechanikában bevett Terzaghi (1952) képlet azonos eredményt kell adjon, a belső súrlódási szög és a Poisson tényező között a következő összefüggés adható meg:

$$\frac{\nu}{1-\nu} = 1 - \sin \phi. \qquad (11)$$

Ismert, hogy a belső súrlódási szög (ϕ) a Hoek-Brown anyagállandó (m_i) ismeretében kiszámolható. Ebből kiindulva, az ép kőzet esetére mind lineáris, mind nem-lineáris közelítéssel lehet a Hoek-Brown anyagállandó (m_i) ismeretében a Poisson-tényezőre (ν) következtetni:

1.1 Tézis: Lineáris közelítés alkalmazása

Az ép kőzet Poisson-tényezője (ν) és a ridegséget jellemző Hoek-Brown (m_i) anyagállandó között az alábbi lineáris kapcsolat adható meg abban az esetben, ha a nyomó és húzószilárdság hányadosa 8-nál nagyobb:

$$\nu = 0{,}257 - 0{,}003\, m_i. \qquad \textbf{(T.1)}$$

Publikáció: Vásárhelyi, (2008, 2009)

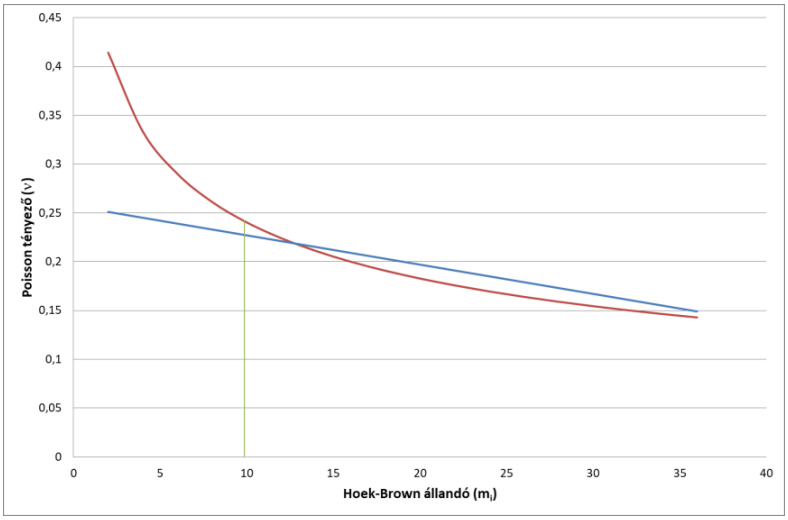
1.2 Tézis: Nem-lineáris közelítés alkalmazása

Nem-lineáris közelítéssel a Poisson-tényező (ν) és a Hoek-Brown (m_i) anyagállandó közötti kapcsolat:

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{m_i}+1}. \qquad \textbf{(T.2)}$$

Publikáció: Lógó és Vásárhelyi (2019)

Vásárhelyi (2009) lineáris, és a Lógó és Vásárhelyi (2019) által javasolt nem-lineáris egyenletek eredményeit a 4. **ábrán** hasonlítottuk össze. Mint jól látható, amennyiben a Hoek-Brown anyagállandó értéke meghaladja a 10-et, a két érték közötti eltérés nem jelentős. Amennyiben a Hoek-Brown anyagállandó 10-nél kisebb, a nem-lineáris egyenlet jóval érzékenyebb a kőzet ridegségének a változására, azaz a lineáris egyenlet itt már nem használható. Mindkét egyenlet alapján a rideg kőzet Poisson-tényezője nem lehet 0,15-nél kisebb.



4 ábra. A lineáris és nem-lineáris összefüggések összehasonlítása

2. Tézis: a környezeti nyomás növekedésével a Poisson tényező lineárisan növekszik

A környezeti feszültség (p) hatására a statikus Poisson-tényező értéke is megváltozik. Ezen változás meghatározásánál az alábbi feltételekkel éltünk:

F1 Az ép kőzet lineárisan rugalmas homogén izotróp anyag;
F2 0 környezeti nyomás esetén a statikus Poisson-tényező értéke: ν_i
F3 Rideg-képlékeny átmeneti feszültségnél (σ_{tr}) a kőzet képlékennyé válik, azaz értéke 0,5.
F4 Xu et al. (2015) mérései alapján a statikus Poisson-tényező változása lineárisan függ a környezeti nyomástól,

Elfogadva F1…F4 feltételezéseket, a Hoek-Brown törési határfeltételt felhasználva az alábbi összefüggés adható meg[6]:

$$\boldsymbol{\nu_{(\sigma)} = p \cdot \frac{1}{\sigma_c} \frac{11{,}56 - 23{,}12\nu_i}{m_i + \sqrt{m_i^2 + 46{,}24}} + \nu_i.} \qquad \textbf{(T.3)}$$

Ahol σ_c a kőzet egyirányú nyomószilárdsága, m_i az ép kőzeten mért Hoek-Brown anyagállandó, ν_i az ép kőzeten, környezeti nyomás nélkül mért Poisson tényező.

Publikáció: Lógó és Vásárhelyi (2022)

[6] A rideg-képlékeny átmentet Davarpanah et al (2023) részletesen elemzi.

3. Tézis: A víztartalom nem befolyásolja a kőzet Poisson-tényezőjét

Nagyszámú mérési eredmények statisztikai vizsgálat kimutatta, hogy a vízzel való telítettség hatására a Hoek-Brown anyagállandó nem változik, annak értéke telítettségtől függetlenül állandó[7]. Amint az a T1 és T2 tézisek kimondják, a Poisson tényező értéke a Hoek-Brown anyagállandó ismeretében meghatározható.

Kijelenthető: mivel víz hatására a Hoek-Brown anyagállandó értéke nem változik, ebből következik, hogy vízzel való telítés hatására a Poisson-tényező értéke sem változik, az állandó értékű kell legyen.

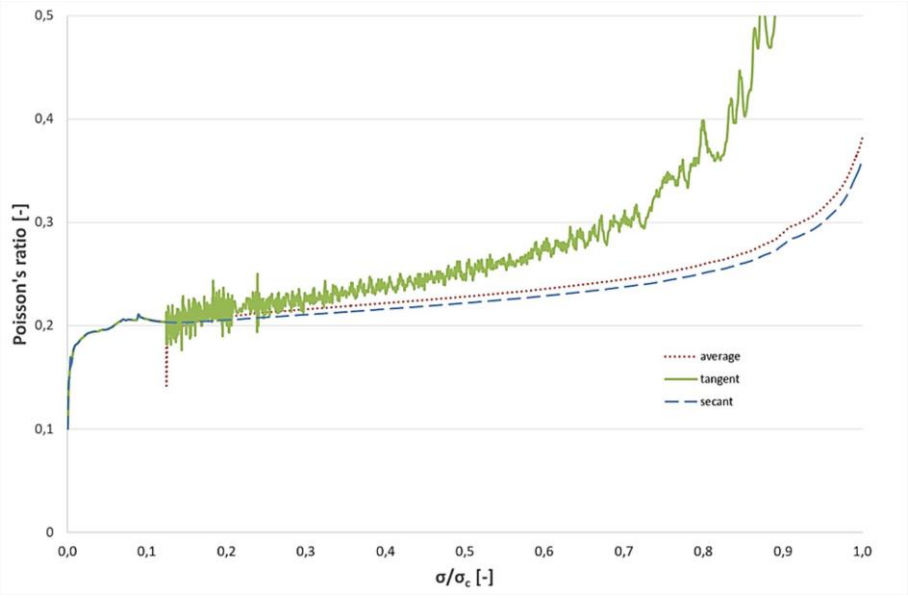
$$\nu_{(w)} = \nu_i. \qquad \textbf{(T.4)}$$

Ahol $\nu_{(w)}$ a vízzel telített Poisson tényező, míg ν_i a telítetlen állapotban mért Poisson tényező.

Publikáció: Vásárhelyi és Davarpanah, (2018)

4. Tézis: A Poisson-tényező értéke függ a nyomófeszültség nagyságától – annak értéke folyamatosan növekszik

Az ép kőzet Poisson-tényezője függ a nyomófeszültség (σ) és a nyomószilárdság (σ_c) hányadosának értékétől. Az 5. ábra egy jellemző mérési eredményt mutat be gránit próbatest esetén.



5 ábra. Különböző Poisson-tényezők változásai a nyomószilárdsággal (σ_c) normált feszültség (σ) függvényében (Narimani et al., 2025)

[7] Jelent kutatások ebben a témában: Vásárhelyi (2003c, 2003d, 2003e, 2005), Kleb és Vásárhelyi (2003); Vásárhelyi és Ván (2006a, 2006b)

A mérési eredményekre alkalmazott legjobb közelítést az alábbi egyenlettel kapjuk meg $0{,}1\ \sigma/\sigma_c$ (azaz a repedés-záródási feszültség) és $0{,}8\ \sigma/\sigma_c$ (instabil repedés-terjedés kezdeti feszültség) értékek között:

$$\nu_i = A_i + \frac{tan\left(160\frac{\sigma}{\sigma_c} - 80\right)}{B_i}, \qquad \textbf{(T.5)}$$

ahol A_i és B_i tényezők kőzettől függő anyagállandók – értékük függ attól, melyik Poisson-tényezőre határoztuk meg (*i*: szekant, tangens vagy átlag értékre)

Publikáció: Narimani et al., (2025), Narimani és Vásárhelyi,(2026):

5. Tézis: Kőzettestek esetén a Poisson tényező meghatározható

Jelenleg a legelterjedtebb kőzettest osztályozási (minősítési) módszer a Bieniawski által bevezetett RMR módszer, a Barton vezetésével készült Q-módszer, valamint a Hoek-Brown egyenletnél használt GSI érték[8]. Az RMR és a GSI érték egymással megfeleltethető. Felhasználva a nagyszámú mérési eredményt, az RMR és a Q tényező között kapcsolat adható meg[9].

Az ép kőzethez hasonlóan itt is abból indultunk ki, hogy a kőzettestek esetén is igaz, hogy a belső súrlódási szög és a Poisson tényező között egyértelmű összefüggés van (lásd (11) egyenletet). A kőzettest belső súrlódási szöge meghatározható az általánosított Hoek-Brown törési határfeltétel ismeretében. Ezen határfeltételt felhasználva a GSI(RMR) értéke és a Poisson tényező között kapcsolat adtató meg. A kőzettest Poisson tényezője kétféle módon határozható meg:

- Amennyiben ismert az ép kőzet Poisson tényezője, annak függvényeként
- Az ép kőzet Poisson tényezőjétől függetlenül, csak a kőzettest minősítésétől függően.

5.1 tézis: Abban az esetben, ha az ép kőzet Poisson-tényezője ismert:

Javasolt számítási módok a kőzettest Poisson-tényezőjének meghatározására a kőzettest minőségének ismeretében:

a) GSI/RMR módszer alkalmazása esetén:

$$\nu_{rm} = -0{,}002\ GSI + \nu_i + 0{,}2 \qquad \textbf{(T.6)}$$

[8] Ezekről bővebben: Gálos és Vásárhelyi (2006), Vásárhelyi (2016)

[9] A Bátaapátiban létesülő radioaktív hulladékok elhelyezésére szolgáló alagutak és kamrák vizsgálatát ebből a szempontból Deák és Vásárhelyi (2014) készítette el.

Publikáció: Vásárhelyi (2009); Vásárhelyi és Kovács (2017); Narimani et al, (2024)

b) Q-módszer alkalmazása esetén

$$\frac{\nu_{rm}}{\nu_i} = -0,135\ln(Q) + 1,84 \quad \textbf{(T.7)}$$

Publikáció: Narimani et al, (2024)

5.2 tézis: Abban az esetben, ha az ép kőzet Poisson-tényezője nem ismert:

a) GSI/RMR módszer alkalmazása esetén:

$$\nu_{rm} = -0,002\,GSI + 0,454 \quad \textbf{(T.6)}$$

Publikáció: Vásárhelyi (2009); Vásárhelyi és Kovács (2017); Narimani et al, (2024)

b) Q-módszer alkalmazása esetén

$$\nu_{rm} = 0.5 - \frac{1.8\ln(Q)+8.8}{7.2\ln(Q)+55,2} \quad \textbf{(T.7)}$$

Publikáció: Narimani et al, (2024)

Irodalomjegyzék

Saját publikációk a disszertáció témájában

Bojtár I., **Vásárhelyi B.**, Asszonyi Cs. (2008): *A Young féle rugalmassági modulus és a Poisson-tényező*. Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Konferencia, 101-120.

Davarpanah, M., Ván P., **Vásárhelyi, B**. (2020a): Investigation of the relationship between dynamic and static deformation moduli of rocks. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour.* **6**: 29

Davarpanah, S.M., Bar, N., Török, Á., Tarifard, A., **Vásárhelyi B**. (2020b): Determination of Young's modulus and Poisson's ratio for intact stratified rocks and their relationship with uniaxial compressive strength. *Australian Geomechanics,* **55**(4): 101-118.

Davarpanah, S.M., Sharghi, M., Narimani, S., Török, Á., **Vásárhelyi, B**. (2023): Brittle-ductile transition stress of different rock types and its relationship with uniaxial compressive strength and Hoek–Brown material constant (mi). *Scientific Report*, **13**, 1186

Deák, F., Kovács, L., **Vásárhelyi, B**. (2014): Geotechnical rock mass documentation in the Bátaapáti radioactive waste repository. *Central Eur. Geol*. **57**(2): 193-207.

Gálos M., **Vásárhelyi B**. (2006): *Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban* Műegyetemi Kiadó, 144 p. (Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár; 1.)

Kleb, B.; **Vásárhelyi, B**. (2003): Test results and empirical formulas of rock mechanical parameters of rhiolitic tuff samples from Eger's cellars. *Acta Geol. Hung*. **46**(3): 301-312.

Lógó, B.A., **Vásárhelyi, B**. (2019): Estimation of the Poisson's rate of the intact rock in the function of the rigidity. *Periodica Polytechnica Civil Engng.* **63**: 1030-1037.

Lógó, B.A., **Vásárhelyi, B**. (2022): Theoretical Relationship between the Confining Pressure and Poisson's Ratio of Intact Rock, *Periodica Polytechnica Civil Engng*, **66**(4): 1114–1121.

Narimani, S., Davarpanah, S.M., **Vásárhelyi, B**. (2024): Estimation of the Poisson's Ratio of the Rock Mass, *Periodica Polytechnica Civil Engng*, **68**(1): 274–288

Narimani, S.; Kovács, L.; **Vásárhelyi, B.** (2025): An innovative method to determine the stress-dependency of Poisson's ratio of granitic rocks. *Scientific Reports*. 15: 16111.

Narimani, S.; **Vásárhelyi, B.** (2026): New Insights into Poisson's Ratio Variability in Rocks under Load. *Int. J. Num. Analyt. Meth. Geomech*. 50(2): 854-869.

Török, Á.; **Vásárhelyi, B**. (2015): *Homokkövek ridegségének változása magas hőmérsélet hatására*. Mérnökgeológia-Kőzetmehanika 2015, 181-186.

Török, Á.; **Vásárhelyi, B**. (2016): *Rigidity of sandstone at elevated temperatures*. Proc. Rock Mech. Rock Engng: from the past to the future. Eurock2016, 345-348.

Ván P.; **Vásárhelyi B.** (2010a): *A kőzettestek minőségi jellemzésének és károsodottságának viszonyától*. In: Fülöp T. (szerk.) Idő- és térderiváltak anyagtörvényekben. Budapest: Műegyetemi Kiadó, (Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár; 10.) 85-98.

Ván, P.; **Vásárhelyi, B.** (2010b): *Relation of rock mass characterization and damage*. Rock Engineering in Difficult Ground Conditions – Soft Rocks and Karst, Eurock2009. Vrkljan (ed.), Taylor & Francis Group, 399-404.

Vásárhelyi B. (2001): Új eredmények a kőzet- és talajmechanikában: a Hoek-Brown törési határállapot és a Geológiai Szilárdsági Index (GSI) bemutatása. *Közúti és Mélyépítéstudományi Szemle,* **51**(11): 424-431.

Vásárhelyi B. (2003b): A módosított Hoek-Brown törési kritérium. *Bányászati és Kohászati Lapok*, **136**(5): 276-283.

Vásárhelyi B. (2003c): *Homokkövek szilárdságának víz hatására bekövetkező változásának statisztikus vizsgálata* In: Török Á. (szerk.) Mérnökgeológiai Jub. Konf.: Gálos M., Kertész P. és Kleb B. tanár urak tiszteletére. Műegyetemi K., 303-311.

Vásárhelyi B. (2003a): Kőzetek szilárdságának meghatározása és osztályba sorolása Közúti és *Mélyépítési Szemle* **53**(11): 28-32.

Vásárhelyi B. (2003d): Some observation regarding the strength and deformability of sandstones in case of dry and saturated conditions *Bull. Engng. Geol. & Env*. **62**(3): 245-249.

Vásárhelyi B. (2003e): Víz hatása a durva mészkő szilárdságára. *Közúti és Mélyépítési Szemle*. **53**(2): 64-69.

Vásárhelyi B.; Ván P. (2006a): *Víztartalom hatása a kőzetek szilárdságára* In: Török Á., Vásárhelyi B. (szerk.) Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2006. Műegyetemi K.: 245-252.

Vásárhelyi, B. (2005): Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the Miocene limestone. *Rock Mech. Rock Engng*. **38**(1): 69-76.

Vásárhelyi, B. (2008): *Estimating the Poisson's rate values of the rock masses* In: Majdi A, Ghazvinian A. (szerk.) New Horizons in Rock Mechanics – Developments and Applications: Asian Rock Mechanics Symposium 5. Teherán, Irán, 533-536

Vásárhelyi, B. (2009): A possible method for estimating the Poisson's rate values of the rock masses *Acta Geod. Geoph. Hung*. **44**(3): 312-322.

Vásárhelyi, B. (2016): *Az alkalmazott kőzetmechanika alapjai*. Hantken kiadó, p. 300.

Vásárhelyi, B., Davarpanah M. (2018): Influence of water content on the mechanical parameters of intact rock and rock mass. *Periodica Polytechnica Civil Engng*, **62**(4): 1060-1066.

Vásárhelyi, B., Kovács, D. (2017): Empirical methods of calculating the mechanical parameters of the rock mass. *Periodica Polytechnica Civil Engng*. **61**(1): 39-50.

Vásárhelyi, B.; Ván, P. (2006b): Influence of water content on the strength of rock. *Engng. Geol*. **84**(1): 70-74.

A tézisfüzetben felhasznált irodalom:

Cai, M. (2010): Practical estimates of tensile strength and Hoek-Brown strength parameter mi of brittle rocks, *Rock Mech. Rock Engng.*, 43(2): 167–184.

Hoek, E., Brown, E.T. (1980): *Underground excavations in rock*. London, Inst. Min. Metal.

Hoek, E., Brown, E.T. (2019) The Hoek-Brown Failure criterion and GSI – 2018 edition. *J Rock Mech Geotechn Engng* 11:445-463

Jáky J (1944): A nyugalmi földnyomás tényezője. *Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közleménye*, 78(22), 355–358.

Terzaghi, K.; Richart, R.E. (1952): Stresses in rock about cavities. *Geotéchnique*. 3:57-90.