

A Bátaapáti lejtősaknákban kialakuló kőzetékek modellezése

Deák Ferenc

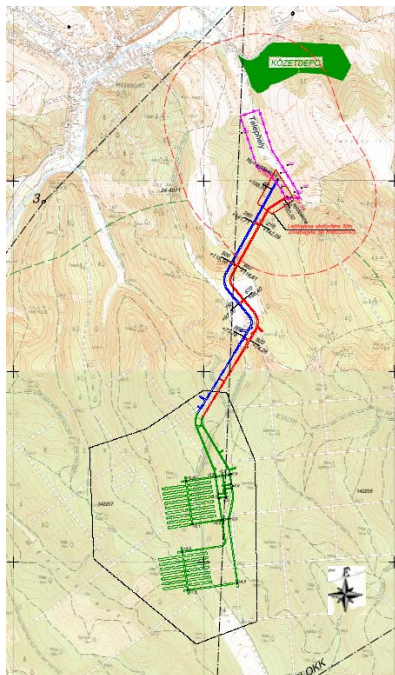
Mott MacDonald Magyarország, ferenc.deak@mottmac.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: Töredezett kőzetekben történő üregkiképzés során természetes következmény a kőzetékek kialakulása, melyek térbeli formáját és kiterjedését a kőzet törésrendszerei határolják le. A legnagyobb veszélyt a főte, majd az oldalfal kiékelődések jelentik. Fontos vizsgálni az üregkiképzés során azt, hogy a dokumentált törésrendszerek és a felszínalatti műtárgy térbeli elhelyezkedése közötti viszonyok milyen kőzetékek kialakulását teszik lehetővé. Speciális számítógépes programok lehetővé teszik a kőzetékek modellezését, ugyanakkor vizsgálhatjuk ezeket az üregnyitás pillanatában, illetve részleges és teljes üregbiztosítás feltétele mellett is. A modellszerkesztés, és validálás elsődleges feltétele egy megbízható mérnökgeológiai adatbázis használata. A továbbiakban bemutatásra kerül a modellek felépítése az elsődleges adatgyűjtéstől az adatelemzésen keresztül a megalkotott modell ellenőrzéséig bezárólag. Két esettanulmány rövid bemutatása során rámutatunk az UNWEDGE ékmodellezés érzékenységére melyet tapasztaltunk a Bátaapáti lejtősaknák kihajtása során. A Nemzeti Radioaktív Hulladék Tároló felszín alatti létesítmények beruházója a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság (RHK Kft). A modellezési munkákat a Mecsekérc Zrt. munkatársaként végeztem.

Kulcsszavak: Bátaapáti, kőzetek, Unwedge, geotechnikai vájvég dokumentálás

1 BEVEZETÉS

A Bátaapáti (Üveghuta) telephely a Mecsek-hegység keleti részén helyezkedik el, földrajzi szempontból a Geresdi dombsághoz, földtani szempontból a Mórággyi röghöz (ÉK-i része) tartozik, itt található a Mórággyi Gránit Formáció paleozoós gránitkőzetei. (1. ábra).



Földtani szempontból a felszíni fúrásokkal megkutatott perspektívikus terület uralkodóan a monzogranit összetételű Mórággyi-röghöz egy olyan ÉK-DNy-i csapású pásztájára esik, amelynek 1,7 km-es szélességében monzonittek jelennek meg. Ezek a testek a telephelyen és környékén uralkodóan ÉNy felé dőlnek és szélességük, mennyiségük lefelé nő. A $\pm 0,0$ mBf szinten már ezek képezik a 2 km-esre szélesedett pászta döntő részét. (Balla et. al. 2008). A 2005 januárjában megkezdett lejtősaknák kihajtása során négy fő kőzettípus volt jellemző: monzogranit, hibrid kőzetek, monzonitok, telérek.

A törésrendszerekről összefoglalva elmondható, hogy a kihajtott lejtősaknák térségében ezek rendszertelenül jelennek meg, csupán statisztikai módszerekkel sikerült rendszerezni és maximumokat kimutatni. A vágathajtás szempontjából nagy jelentőséggel bírnak a harántirányú törések, ám az ékek kifejlődéséhez különböző, jól elkülönülő törésrendszerek szükségesek. Dominánsak a K-Ny-i csapású törések, ugyanakkor a legtöbb törés meredek dőlésű ($> 60^\circ$). A törések többsége zárt, ám kis számban jelen vannak a nyílt törések is.

1. ábra: A megépült lejtősaknák és a tervezett tároló átnézeti térképe

A töréskitöltés lehet rendszerint karbonátos, vasoxidos, vasoxid-hidroxidos, kloritos, agyagos. A vető-agyagos töréseket a legtöbb esetben nehéz külön választani. Nagyszámban jellemző volt a vízáadó törések jelenléte.

A kutató lejtőszaknak kihajtása után a további vágathajtás az eddigi vizsgálatok eredményei alapján főleg az alapkőzet monzonit, monzogranit típusú kőzeteiben folytatódik, hagyományos fűrási és robbantási technológiák használatával. A biztosítási szerkezetek kialakítása nedves acélszál-erősítésű löttbeton és habarcsba ágyazott szisztematikus, vagy egyedi telepítésű közethorgonyok kombinációjával történik. Amennyiben a homlokon szükséges az erősen töréses zónák megtámasztása, kiegészítő előbiztosítási technológiaként, előtűző nyárssal kombinált acélszál-erősítésű löttbeton, vagy rácsos tartó használatára is sor kerülhet.

2 KÖZETÉK MODELLEZÉS

A vágathajtás során az egyik legveszélyesebb és időben gyorsan bekövetkező tönkremenetel a kőzettömbök, kőzetékek (wedges) kiékelődése és kihullása. Ezek a leváló kőzetdarabok a törésrendszerek kereszteződésénél alakulnak ki. A kőzetékek modellezéséhez a leggyakrabban használt szoftver az Unwedge, mely a Rocscience családjába tartozik.

Az Unwedge szoftverrel előzetes elemzést végeztünk, hogy megvizsgáljuk a vágat nyomvonal mentén a potenciálisan leválható kőzettömböket, illetve azok stabilitását. Ezeket a vizsgálatokat a vágatok nyomvonalának vizsgálatánál, illetve egyedi főté kiékelődések utólagos modellezésénél használtuk. Az egyedi főté kiékelődések vizsgálata azért bizonyult fontosnak, mert korrelálhatóvá vált a modell a valóságos megjelenéssel.

A modellkészítés lépései:

- a legjellemzőbb törésrendszerek dőlésszög és dőlésirány átlagának meghatározása
- a potenciális ékek meghatározása, melyek lehullhatnak, illetve az oldalfalakból kicsúszhatnak
- a kőzetékek biztonsági faktorának kiszámítása
- azon biztosítás kiszámítása, mely növeli a biztonsági faktor értékét

A modell készítésénél egyik legérzékenyebb bemenő adat a három lehatároló törés helyes meghatározása. Ehhez a tapasztalatok alapján a legjobban a geotechnikai vájvégdokumentáció használható (óriási segítséget nyújtanak a JMX rendszer 3D-s modelljei, melyek a vájvégekről készülnek). Ebben már a terepi dokumentálás során törésrendszerekbe osztják a felvett adatokat és ezek dőlésszög/dőlésirány adatai mellett egyéb más fontos mérnökgeológiai paraméter is feltüntetésre kerül.

A potenciális ékek kialakulásánál a szoftver figyelembe veszi a vágat csapásirányát, dőlését, valamint a három lehatároló törésrendszer adatait. Esetünkben az ékek térbeli helyzete volt a legfontosabb kérdés.

A Biztonsági Faktor (FS – Factor of Safety) a törések geometriai és szilárdsági adatai, a beépített biztosítási elemek, valamint a vágat nyomvonala alapján számolható.

Biztonsági faktor alatt a szerkezet által viselni képes és a várhatóan a szerkezetre kerülő teher hányadosaként képzett értéket vettük, amely a jelen esetben 1,5-nek felel meg. $FS = \text{teherbíró képesség (pl. nyíró-húzó-hajlító erő, biztosítás/ várhatóan szerkezetre ható erők)}$.

A biztonsági faktor növeléséhez először mindig a tervezett kőzetosztálynak (Q-index alapján számolt kőzetosztályozás) megfelelő biztosítási elemeket használtuk, és ha nem tűnt elégségesnek, akkor vizsgáltuk, hogy milyen egyedi biztosítás segíthetne.

3 A VÁGATOK NYOMVONALÁNAK VIZSGÁLATA

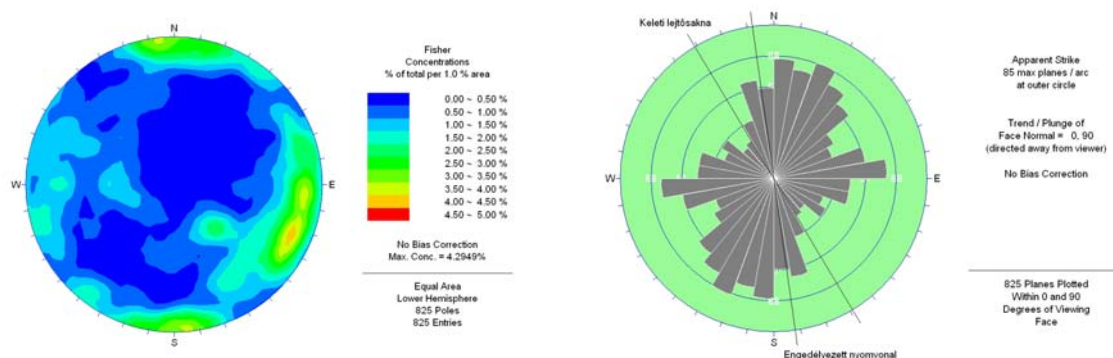
A vágatok eredetileg tervezett nyomvonalában három kanyar található. Mindegyik kanyar előtt vizsgálat folyt, amely során az adott kanyarig kihajtott vágatszakas az adatait kielemeztük. A vágat irányának esetleges változtatását a Bieniawski (1989) diszkontinuitás dőlésszögének és irányának hatása az alagútra vizsgálatai alapján, illetve az ékmodellezés figyelembe vételével rendeltük el.

Az első és harmadik kanyar esetében történt változtatás az eredeti tervekhez képest, a „design as you go” elv alapján készült. Az új vágatcsapás megadása előtt megvizsgáltuk az eredeti tervben szereplő vágatirányt, valamint újként megadtuk azt a legoptimálisabb csapás irányt, mely kedvező pozícióba helyezi el a vágatokat a diszkontinuitási zónákkal és nagy tömbök kiékelődésével szemben.

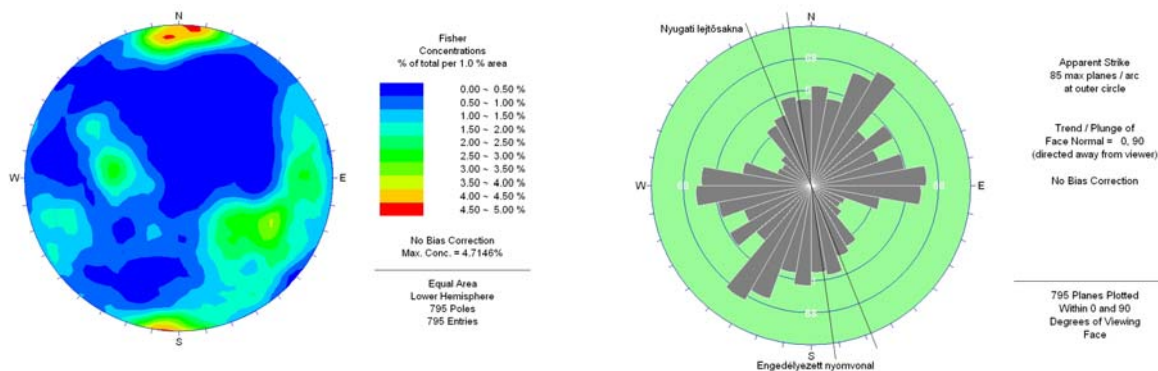
A DISZKONTINUITÁS DÖLÉSSZÖGÉNEK ÉS IRÁNYÁNAK HATÁSA AZ ALAGÚTRA			
A csapásirány merőleges az alagúttengelyre		A csapásirány párhuzamos az alagúttengellyel	
Kihajtás dőlésszöggel megfelelően, dőlésszög: 45°-90°	Kihajtás-dőlésszöggel megfelelően, dőlésszög: 20°-45°	Dőlésszög: 45°-90°	Dőlésszög: 20°-45°
<i>Nagyon kedvező</i>	<i>Kedvező</i>	<i>Nagyon kedvezőtlen</i>	<i>Elégséges</i>
Kihajtás-dőlésszöggel szemben, Dőlésszög: 45°-90°	Kihajtás-dőlésszöggel szemben, dőlésszög: 20°-45°	Dőlésszög 0-20° csapásiránytól függetlenül	
<i>Megfelelő</i>	<i>Kedvezőtlen</i>	<i>Megfelelő</i>	

1. táblázat: a törésrendszerek illetve tagoltság irányának figyelembevétele az RMR érték számításánál (Bieniawski, 1989)

Az utolsó kanyar változtatásánál figyelembe vettük az összes addig felgyűlt geotechnikai adatbázisban szereplő dőlés/dőlésirány adatot és külön megvizsgáltuk az utolsó előtti és utolsó kanyar közti szakasz adatait (2., 3. ábra). Mivel az egyedi ékek modellezésénél azt tapasztaltuk, hogy inkább a modellezett szakasz közvetlen közeléből származó törésrendszerek felhasználásával sikerült a valósághoz legjobban hasonló ékeket kiszervezni, ezért úgy ítéltük meg, hogy a teljes adatbázisból született modell használhatatlan.



2. ábra: A Keleti lejtősakna töréssík elemzéseinek összegzése (KA590_1150-KA692_1369, a Keleti lejtősakna felirattal jelölt csapásirány jelöli a megvalósult vágatirányt)

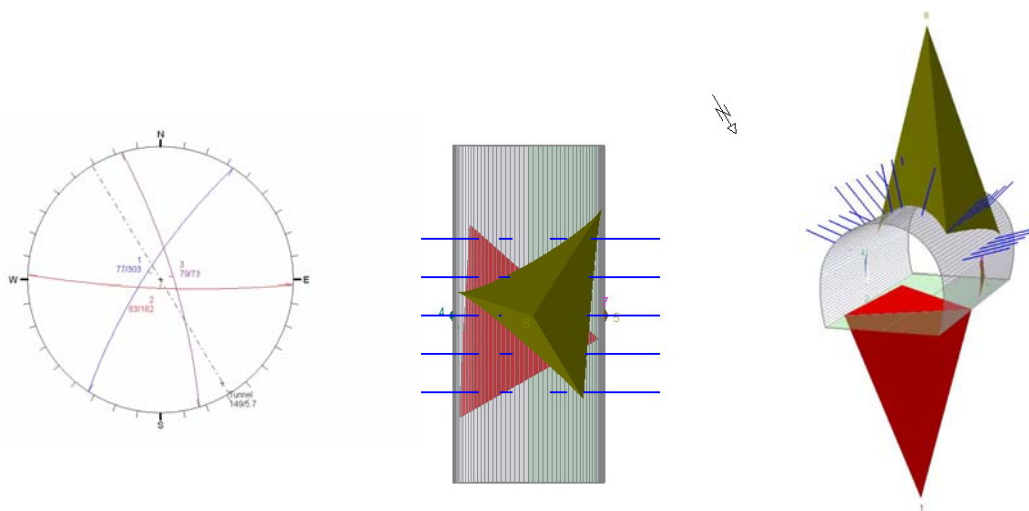


3. ábra: A Nyugati lejtősakna töréssík elemzéseinek összegzése (NA607_1202-NA706_1422, a Nyugati lejtősakna felirattal jelölt csapásirány jelöli a megvalósult vágatirányt)

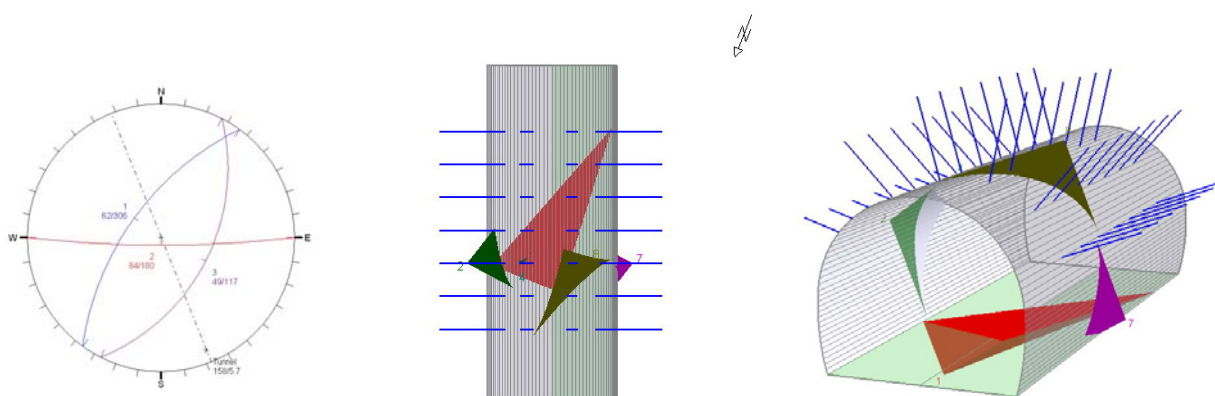
A Dips (Rocscience szoftvercsalád tagja) nevű szoftverben a statisztikai elemzések és az egyszerű megjelenítések után behúztuk a lejtősaknák csapását, majd az összesítésben (a Fisher eloszlási sztereogramon) megjelent főbb törés pólus sűrűségeket megjelöltük, mint fontos törésrendszerek, majd rangsoroltuk ezeket. Az Unwedge program segítségével mindegyik vágat esetében elkészítettük az ékmodellt az adott szakaszra, majd előrejelzésként ugyanazokat az adatokat felhasználva, a kanyar utáni szakasz esetében is megismételtük a folyamatot. Ez egy általános előrejelzés, ha adott zónát akarunk elemezni, akkor az előtte lévő kb. 5-10 fogást érdemes figyelmesen kielemezni és részletesen

megnézni, valamint az előtte lévő utolsó fogást, majd ebből kielemezni azt a három síkot, amely, lehatárolja a kialakuló ékeket.

Az Unwedge analízis eredményeit először a vágatbiztosítási elemek bevezetése nélkül vizsgáltuk, aztán a modellbe beépítettük a vágatbiztosítást és vizsgáltuk a biztonsági faktor alakulását mindenik kőzetosztály esetében. Példaként a II. kőzetbiztosítási osztály biztosítási elemeinek beépítésével kívánunk rámutatni, hogy a főtében kialakuló ékek biztonsági faktorának értéke hogyan növekszik a beépített biztosítási elemekkel (4., 5. ábra).



4. ábra: A Keleti lejtősaknában kialakuló ékek és ezek biztosítása az utolsó kanyart követő szakasz előrejelzésében



5. ábra: A Nyugati lejtősaknában kialakuló ékek és ezek biztosítása az utolsó kanyart követő szakasz előrejelzésében

A biztosítás nélküli modellekben számunkra a főte ékek vizsgálata mérvadó volt, ezek értéke $FS=0$, kőzetbiztosítás nélkül. Kőzethorgonyok használatával, végül meg a teljes, már löttbeton biztosítással (13 cm-es vastagsággal) a következő értékek jöttek ki:

Keleti lejtősakna: 1. $FS=0,36$ 2. $FS=3,70$

Nyugati lejtősakna: 1. $FS=7,33$ 2. $FS=37,9$

A kőzet nagyfokú töredezettsége miatt nagy különbségek figyelhetők meg a kőzetékek térbeli kialakulásában, a két lejtősaknában, annak ellenére, hogy egymáshoz közel vannak és párhuzamosan futnak (az utolsó kanyar kivételével, amely után nem párhuzamosak a lejtősaknák).

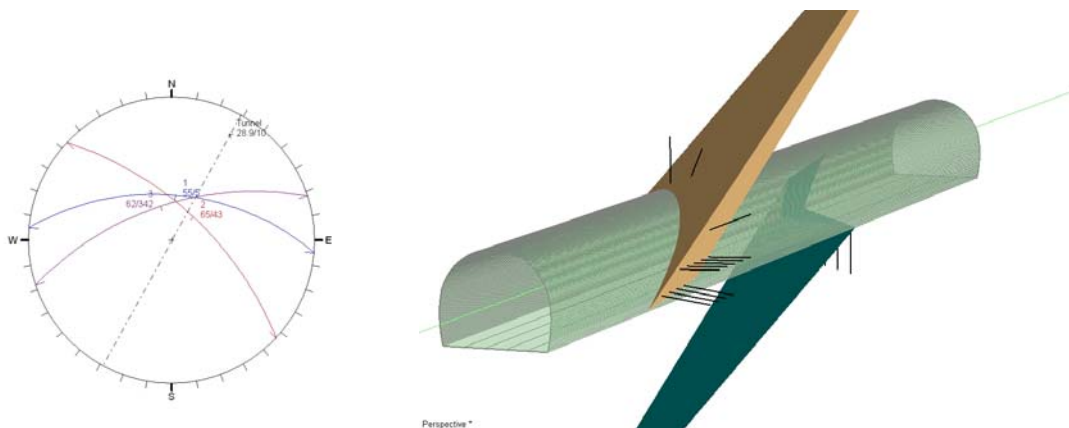
A vizsgálat sorozat azt mutatta, hogy ez a vágat irány megfelelő mind a vágatot harántoló nagy szerkezeti elemek, mint az ékkifejlődések szempontjából.

4 EGYEDI KIÉKELŐDÉSEK VIZSGÁLATA

A vágathajtás során történt néhány kiékelődés, és a gravitációnak is teret engedve a látható kihullások mind a főtéből történtek. Az első nagy kiékelődés az első összekötő vágat Keleti lejtősaknában az összekötő utáni 25 m² – es bővítésben történt. Ekkor még nem volt alaktanilag elemezhető az ék, mert az a rész még eléggé mállott kőzetben lett kialakítva. Később egy sokkal tökéletesebb kiékelődés történt a Nyugati lejtősakna NA320_0558-as fogásnál a főtéből esett ki egy kb. 3-4 tonnás ék (6. ábra). A vágatdokumentálás során a vágatszakaszcsoz száraz volt. Látható volt, hogy nem az eredeti nagy ék esett ki, hanem a robbantás hatására aktiválódott, és újonnan keletkezett törések formáltak a nagy ékből egy kisebbet, amely már újabb formájának és a fellazulásnak köszönhetően ki is esett. Így is volt három szépen látható lehatároló felülete. Mivel az azonnali modellezésre nem volt lehetőség ezért a bányamesster, a közethorgonyok egyedi kiosztásában azt az elvet alkalmazta, hogy a látható síkokra merőlegesen beépített még pár közethorgonyt. A visszamenőleg elkészített Unwedge modell tapasztalatai hasznosnak bizonyultak, hiszen a kiékelődés dokumentálása alapján ellenőrizhettük és javíthattuk a modellt. Feltűnő következtetés volt az, hogy akkor lehetett szinte méterre pontosan a vágatban meghatározni az ék helyét, amelyből kieshetett ez a tömb, ha nem az összesített általános törés adatbázisból, a pólusdiagram alapján egyszerűen és fáradságmentesen kikövetkeztetett első 3 maximumból alkottuk a lehatároló síkokat, hanem csak az adott fogás előtti maximum 5 Nyugati lejtősakna fogás adatait használtuk. Ezzel a szűréssel szinte pontosan kijött az ék valóságghú térbeli helyzete.

Másik észrevételünk volt, hogy az adott környezet mellett futó Keleti lejtősakna összes és az előtte levő 5 fogás adataiból kivett 3-3 törés információi teljesen más ékkifejlődést mutatott ugyanazzal a vágat csapásiránnyal. Tehát a törés diagramok nemcsak a vágatok folyómétereit szerint változnak, de adott szakaszok két vágat közötti eltérése is sok esetben szembe tűnő.

Fontos megjegyezni, hogy a kiékelődések eddig minden esetben az elsődleges, illetve a végleges biztosítás felkerülése előtt történtek meg, legtöbb esetben a kopogózás során sikerül ezeket kimozdítani, és ezáltal mentesíteni a főtét.



6. ábra: Az NA320_0558-as fogás Unwedge modellje

5 KÖVETKEZTETÉSEK

Az Unwedge modellezést a nagyfokú töredezettség miatt a Mórággyi gránit esetében óvatosan kell használni hosszabb szakaszok, illetve nagyobb kiterjedésű üregek esetében. A törésrendszerek adat-szűrését szakaszolni kell és a modellezéshez legmegfelelőbb geotechnikai adatbázist ajánlott használni.

Ebben a kőzetkörnyezetben lokális, nagy pontosságú ékmodellek akkor képezhetők, ha adott vágatszacsakz néhány méteres környezetének adatait használjuk fel.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Adu-Acheampong A. 2003: *Importance of geotechnical field mapping in assessing the stability of underground excavations*, SME Annual Meeting, Feb. 24-26, Cincinnati, Ohio, 6 p.
- Balla Z. et. al (2008), A felszín alatti földtani kutatás zárójelentése, RHK-K-082/08, RHK Kft. 2008. június 3.8.4. fejezet, 1040 p.
- Bieniawski Z.T. 1989: *Engineering rock mass classification* Wiley 251 p.
- Gálos M., Vásárhelyi B. 2006: *Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 144 p.
- Hoek E., Brown E. T. 2003: *Underground excavation in Rock*, Institution of Mining and Metallurgy, London and New York, 527 p.
- Hoek E., Kaiser P. K., Bawden W. F. 2005: *Support of Underground Excavations in Hard Rock*, A. A. Balkema, Rotterdam, 215 p.
- Rock Science, University of Toronto, 2003, "DIPS User's Manual, Version 5.1."
- Rock Science, University of Toronto, 2003, "UNWEDGE User's Manual, Version 3.0."
- Töyra J. 2004: *Stability of shallow seated constructions in hard rock- A pilot study*, Lulea University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Rock mechanics