

A BÁTAAPÁTI NRHT VÁGATAINAK VÁGATSTATIKAI TERVEZÉSE

Váró Ágnes, Benő Botond, Benkovics István, Eck József

Mott MacDonald Magyarország Kft., Mecsekérc Zrt.

KIVONAT: A vágatstatikai tervecsomag részletezi a tervezési koncepció kiválasztását és alkalmasságát és az elméleti hátteret, azaz a tervezői módszertant. A kiviteli terv legfontosabb szerepe a részletek gondos kidolgozása, olyanoké, mint a tervezést megalapozó paraméterek meghatározása, a vágatbiztosítás specializálása a kőzetkörnyezetet és a tervezési élettartamot figyelembe véve, a vízmentesítő injektálás és a kőzetkímélő jövesztés a radioaktív hulladék tárolásához szükséges kritériumok betartásával. A terv tartalmazza az építés alatti, a teljes élettartamra szolgáló és további vágatok tervezését elősegítő vizsgálatok, monitoring jellegű mérések rendszerének kiépítését és a gyűjtött adatok ajánlott közvetlen felhasználási lehetőségeit.

Kulcsszavak: Geotechnikai Értelmező Jelentés, alagúttervezés, numerikus modellezés, löttbeton, összetett tervezés, vizsgálati program, geotechnika, vágatstatika

BEVEZETÉS

A tervezés alapadatait „A Bátaapátiban létesülő Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja” című anyagban, illetve annak első és második módosításában leírtak szolgáltatják.

Az RHK Kft. megbízásai alapján készített kiviteli terv szerint elkészültek az I. ütem vágatai, és a II. ütem engedélyezési terv módosítást nem igénylő 1. szakaszának vágatai. Ezt követően a Mecsekérc Zrt. megbízásából a Fábián & Fábián Kft. elkészítette a létesítési engedély módosítására benyújtandó „A Bátaapátiban létesülő nemzeti radioaktív hulladék-tároló felszín alatti létesítményeinek műszaki tervdokumentációja. Módosítás” című dokumentációját (RHK szám: RHK-K-027C/07, azonosító kód: AJEFF00001D000C), és azt az ÁNTSZ 3446-25/2009 számon jóváhagyta. Ez alapján elkészültek a tervmódosítást igénylő 2. szakasz vágatai is.

Tervezési adatok

A vágatstatikai tervezés első lépése a számításokhoz szükséges tervezési paraméterek definiálása, melyeknek a lehető legnagyobb hányadát mért adatokból közvetlenül kell meghatározni. Természetesen mindig marad olyan paraméter, amelyet ezekből az adatokból kell származtatni, tapasztalati vagy elméleti módszerekkel. Számba kell venni azt a lehetőséget is, hogy bár létezik mért adat, nem elég nagy számban ahhoz, hogy abból közvetlenül, nagy biztonsággal meg lehessen határozni a tervezési alapadatok pontos értékét. Ekkor viszont a származtatott adatokat mindenképp ellenőrizni kell a mért adatokkal.

A tárolókamrák tervezésekor nagy mennyiségű mért adat állt rendelkezésünkre, így a tervezési adatok nagy részét mért adatokból kaptuk, amelyeket statisztikai módon is feldolgoztak, ezzel szűrve a kiugró, szélsőséges értékeket. Kiemelném a kőzet alakváltozási modulusát, amelynek közvetlen mérésére történt helyszíni nagyléptékű plate jacking vizsgálatot végeztünk, de csak kis számban. Így a tervezési adatként használt értékeket a rugalmassági modulusból számítottuk, de azokat ellenőrizni tudtuk a plate jacking mérésekkel. Mivel ezek egyezést mutattak, biztonsággal kijelenthetjük a származtatott értékek használhatóságát.

A tervezési adatok meghatározásával részletesebben a Geotechnikai Értelmező Jelentés foglalkozik, de a teljesség kedvéért az ép kőzet és a legsűrűbben előforduló III. kőzetosztály paramétereit ismertetik az 1. és 2. táblázatok.

1. táblázat: Az ép kőzet kőzetmechanikai paraméterei

| | | |
|---|------------------|-------------------|
| Egyirányú nyomószilárdság (σ_c , átlagérték) | 101,92 | MPa |
| Poisson tényező | 0,17 | |
| Testsűrűség | 2710 | kg/m ³ |
| Porozitás | 3 | Vol. % |
| A horizontális és vertikális in situ feszültségek hányadosa ($K=\sigma_h/\sigma_v$) | 1,0 | |
| Hoek-Brown állandó (m_i) | 15,9 | |
| Rugalmasági modulus (E) | 45,87 | GPa |
| Permeabilitás | 10 ⁻⁹ | m/s |

2. táblázat: Hoek-Brown paraméterek különböző D-értékek esetén (III. kőzetosztály)

| Kőzetosztály | D | E_m | m_b | s | a |
|--------------|-----|-------|-------|----------|-------|
| | [-] | [Gpa] | [-] | [-] | [-] |
| III. | 0,0 | 6,385 | 1,741 | 0,001019 | 0,513 |
| | 0,5 | 3,121 | 0,832 | 0,000257 | 0,513 |

Geotechnikai kritériumok

Radioaktív hulladék-tároló építéséből kifolyólag a vágatstatikai tervezés is bizonyos kritériumok alapján történt. A legszigorúbb kritériumok a tárolókamrák tervezésekor léptek életbe. Ezek között található geotechnikai és vízföldtani kritérium is. A vágatstatikai számítások folyamán a geotechnikai kritériumokat kellett szem előtt tartani, bár a vízföldtani kritériumok betartásában is segítséget jelent a gondos tervezés.

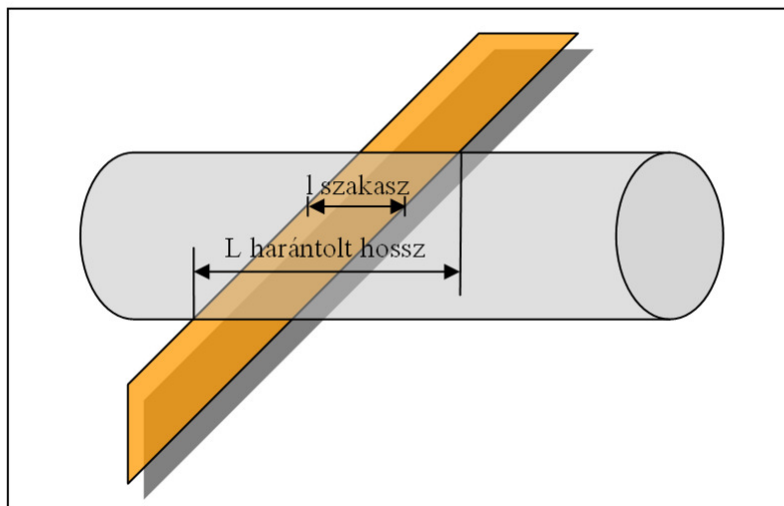
Az 1. geotechnikai kritérium megfogalmazása:

A tárolókamra legfeljebb 40 m hosszan harántolhat olyan tektonikai zónát, amelyben a képződmények Q-rendszer szerint meghatározott minősítési értéke kisebb, mint 0,025, ami az V. kőzetosztályt fedi le. A tárolókamra legfeljebb 60 m hosszan harántolhat olyan tektonikai zónát, amelyben a képződmények Q-rendszer szerint meghatározott minősítési értéke kisebb, mint 0,1, ami a IV. és V. kőzetosztályt fedi le.

A 2. geotechnikai kritérium megfogalmazása:

A tárolókamra vájvége nem alakítható ki olyan képződményekben, amelyek Q-rendszer szerint meghatározott minősítési értéke kisebb, mint 0,025, ami az V. kőzetosztályt fedi le.

Az 1. ábra a harántolt kőzetanyag hosszának számítását mutatja be és így az első geotechnikai kritérium értelmezését könnyíti meg.



1. ábra: A harántolt kőzetanyag hosszát definiáló vázlat

A két kritériumot az 1. ábra segítségével értelmezve a következőképpen kapjuk meg:

A tárolókamra legfeljebb 5 m hosszan ("l" távolság az 1. ábrán) haladhat olyan tektonikai zónában, amelyben a képződmények Q-rendszer szerint meghatározott minősítési értéke folyamatosan kisebb, mint 0,025. A tárolókamra legfeljebb 20 m hosszan ("L" távolság az 1. ábrán) haladhat olyan tektonikai zónában, amelyben a képződmények Q-rendszer szerint meghatározott minősítési értéke folyamatosan kisebb, mint 0,1.

Nagyon rossz minőségű kőzetben rövid távolságok esetében akkor érvényesül az átboltozódási hatás járulékos megtámasztó hatása, ha a jobb minőségű kőzetek közötti rosszabb minőségű kőzetszakasz pl. előtűző nyársak segítségével áthidalható. Ekkor a vágat stabil marad. Ha például olyan, viszonylag hosszú szakasz fordul elő, ahol a kőzetanyag minősége alapján az V. kőzetosztályba sorolandó, a vágat instabillá válhat. Ugyanezen elv érvényes a jobb minőségű kőzetanyagra, amikor is azonos körülmények között hosszabb szakaszok maradnak stabilak.

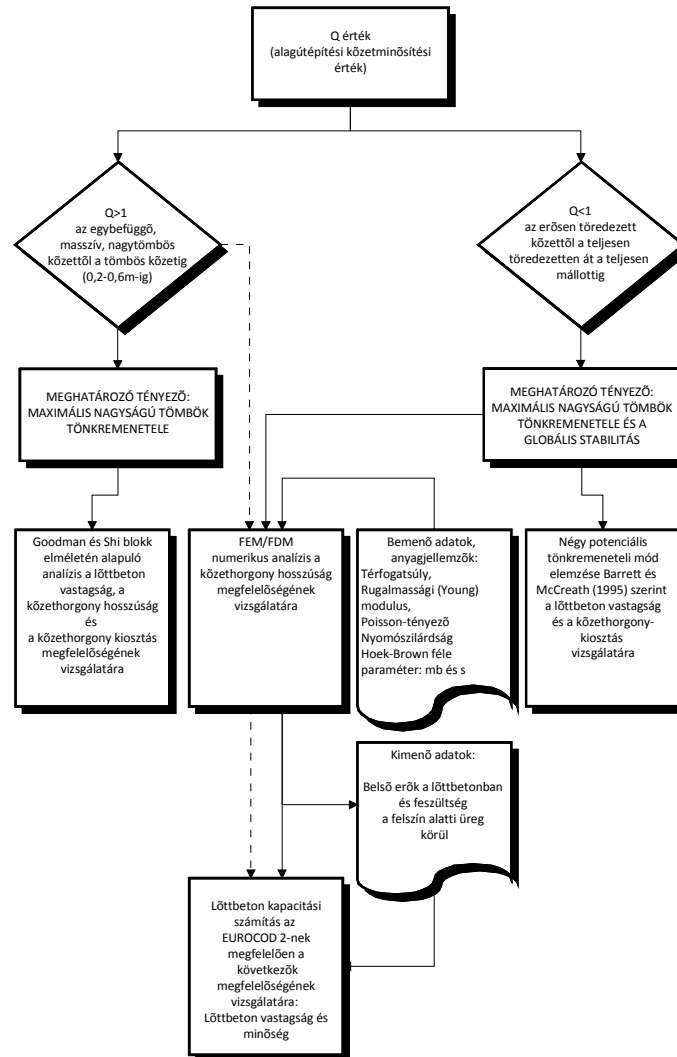
A fenti kritériumok betartása végett kellett meghatároznunk korlátozásokat a tárolókamrák fejtésének tervezésekor. Ilyen korlátozás például, hogy összekötő elágazást nem javasolt olyan képződményekben kialakítani, amelyek Q-rendszerben meghatározott minősítési értéke kisebb, mint 0,1, ami a IV. és V. kőzetosztálynak felel meg.

A 2. geotechnikai kritérium alapján a homlokfal vágatbiztosítását úgy határoztuk meg, hogy a könnyen kivitelezhető legyen. A vágatbiztosítását két esetre határoztuk meg. Arra az esetre, amikor a homlok I-III. kőzetosztályban kerül kialakításra, a III. vágatbiztosítási osztálynak megfelelő löttbeton vastagságot és kőzethorgony kiosztást kell alkalmazni, míg IV. kőzetosztály esetén egy ennél robosztusabb, a IV. vágatbiztosítási osztálynak megfelelő biztosítást kell alkalmazni. A homlokfalnál alkalmazott kőzethorgonyok kiosztásának és hosszának meghatározásakor figyelembe vettük a homlok esetleges injektálásának szükségességét. A horgonyok hosszát annyival csökkentettük, hogy az injektáláshoz szükséges fúrt lyukak ne közelítsék meg sem a Nyugati alapvágatot, sem a kamra és az alapvágat között húzódó vízvezető pásztát annyira, hogy vízáramlás alakulhasson ki a tárolókamra felé.

A geotechnikai kritériumok pontosításakor számos síkbeli és térbeli numerikus modell készült a kritériumok alátámasztása érdekében. Ezek a modellek a geotechnikai dokumentációknak a kritérium pontosításakor meglévő legfrissebb adatai alapján történtek, helyspecifikusan a tervezendő kamrákra.

Tervezői módszertan a vágatstatikához

Az adatok meghatározásához szükségünk van a számítás menetének ismeretéhez. A vágatstatikai tervezés számítások sorozatából áll. A legalkalmasabb geometriai kialakítás és a vágatbiztosítás meghatározása, méretezése így több lépésből tevődik össze. Ez a folyamat, a mérnöki tervezések legtöbbjéhez hasonlóan egy közelítő érték felvételével kezdődik, amit további ellenőrző számításokkal lehet pontosítani. Az ellenőrző számítások kiindulási adata a közelítő számítás eredménye. Tehát az egész méretezés egy iterációs folyamat. Ez természetesen nem mindig tükröződik a tervdokumentációkon, hiszen ott a végeredmény és annak megfelelőségének bemutatása a fontos. A 2. ábra ismerteti a tervezés menetét, a számítási lépések sorrendjével a közet minőségének függvényében.



2. ábra: Modellezési folyamat

A méretezés első, közelítő számítása a Bátaapáti vágatok és tárolókamrák tervezésekor Barton Q kőzetosztályozási rendszerén (Grimstad és Barton, 1993 és Barton és társai, 1974) alapul.

A Q-módszer a vágat méretét, a kőzet minőségét és a vágatok funkcióját veszi figyelembe. A vágatokban a vágatbiztosítást a domináns kőzettípusokra, a legkisebb szilárdságú kőzettömeg figyelembevételével tervezzük. A folyamatos vágathajtás mellett lehetőségünk volt az elvégzett geotechnikai vágat- és magdokumentálási ismereteket is figyelembe venni a tervezéskor. Továbbá, a vágatok méretének megadásakor a hosszú távú biztonság érdekében figyelembe vettük a geodéziai mérésekből, konvergenciából, és esetleges többlet-vágatbiztosításból adódóan megnövelt vágatszélvényméreteket.

A Q-módszer alapján meghatározott kőzetosztályokat ismerteti a 3. táblázat.

3. táblázat: Kőzetosztályok

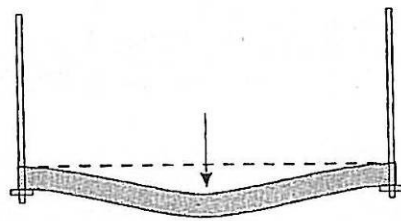
| Kőzetosztály | Kőzetjellemzők | Q-érték |
|--------------|--|-------------|
| I. | Egybefüggő masszív nagytömbös, üde | $Q > 10$ |
| II-A | Nagytömbös 0,6-2,0 m, üde | 10 - 4 |
| II-B | Tömbös 0,2-0,6 m; kissé bontott/mállott | 4 - 1 |
| III. | Kistömbös, blokkos <0,2 m, közepesen mállott/bontott | 1 – 0,10 |
| IV. | Erősen töredezett, erősen mállott/bontott | 0,10 – 0,02 |
| V. | Teljesen töredezett; teljesen bontott/mállott | $Q < 0,02$ |

Ahogy azt a 2. ábra is ismerteti, a kőzethorgonyok méretezésekor külön kell vizsgálni a nagy tömbös és a kis tömbös – erősen töredezett kőzetosztályokat. A nagy tömbös kőzeteknél a vágatbiztosítás domináns részét a kőzethorgonyok viszik, hiszen ott a legnagyobb veszélyt a becsúszó ékek vagy leváló koporsófedelek jelentik. Az egyedi vagy szisztematikusan kiosztott kőzethorgonyokkal ezeknek az elmozdulását kell megakadályozni.

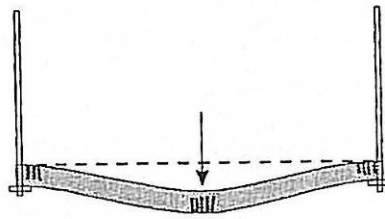
Az UnWedge szoftverrel a vágat nyomvonala mentén potenciálisan leváló kőzetdarabok (ékek és koporsófedelek) stabilitását elemeztük. A biztonság értékét (Factor of Safety = FoS) a repedések geometriai és szilárdsági adatai, a beépített biztosítási elemek, valamint a vágat nyomvonala alapján számítottuk. Az elemzés a legrosszabb eshetőségek figyelembe vételén alapszik. A kőzethorgony kiosztás akkor felel meg, ha a biztonság értéke legalább 1,5 a lehetséges legrosszabb esetben. Természetesen a program felhasználásakor figyelni kell a valószerűtlen esetek kiszűrésére – ilyen például a repedésrendszer oly módon való kialakítása, hogy a magas keskeny, közel függőleges ékek jönnék létre.

A kis tömbös kőzeteknél a kőzethorgony kiosztásának, hosszának és a löttbeton vastagságnak az ellenőrzése együttesen, a Barrett és McCreath (1995) által készített determinisztikus tervezési modell alapján történik. Ezen elmélet szerint a repedezett kőzetben a vágat körül elhelyezkedő tömbök egymás után történő beomlásából következne be a vágat tönkremenetele. Az egymást is támasztó tömbök rendszerében kisebb „kulcs tömbök” alakulnak ki, amelyek stabilitásvesztése teljes beomláshoz vezet. Ennél a módszernél értelmezhetjük tehát úgy, hogy a biztosítás ezeknek a tömböknek a megtámasztására hivatott. Az egyenletes horgonykiosztás közé eső (ezért horgonyok által nem biztosított) tömböket az acélszál-erősítésű löttbeton tartja helyén.

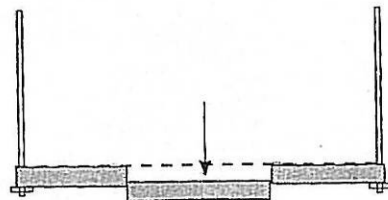
Az acélszál-erősítésű löttbetonra négy lehetséges tönkremeneteli módot vizsgáltunk meg, amelyek a tapadásból, a közvetlen nyírásból, a hajlítás okozta, valamint a palástnyomás miatti nyírásból adódnak. Ezek azok a jellemző tönkremenetelek, amelyek leginkább előfordulhatnak töredezett kőzetben. Az acélszál-erősítésű löttbeton réteg és a kőzettest felülete közötti tapadásnak kulcsszerepe van a tönkremeneteli folyamatban. Az acélszál-erősítésű löttbetonban közvetlen nyírási tönkremenetel akkor következik be, amikor a kőzettömeghez való tapadás jó. A húzó-hajlító és a palástnyomásból eredő nyírási tönkremenetel akkor következik be, amikor a tapadás gyengébb és a felületek elválnak egymástól. Ezért a löttbeton réteg és a kőzetfelület közötti jó tapadás elérésére meghatározó jelentőségű, hogy a löttbeton felhordása előtt nagynyomású tisztítást alkalmazzanak a kőzet felszínén. A löttbeton tönkremeneteli módjait a 3. ábra szemlélteti.



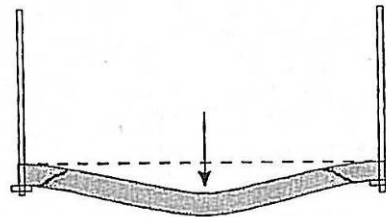
Tapadó nyírási tönkremenetel



Hajlító nyírási tönkremenetel



Közvetlen nyírási tönkremenetel



Palástnyomási tönkremenetel

3. ábra: A löttbeton nyírási tönkrementeleinek modelljei (Barratt és McCreath, 1995)

Numerikus modellezés

A vágatstatikai tervezés utolsó lépését a numerikus modellezés alkotja. E fent ismertetett kézi/empirikus számítások az egyes vágatbiztosítási elemek, vagy azok együttdolgozását vizsgálja kis területen, azaz lokális tönkremenetelre ellenőriznek. Numerikus modellezéssel lehetőségünk van a vágatok teljes keresztmetszetét, vagy akár közeli és/vagy kereszteződő vágatok egymásra hatását vizsgálni. Azaz a numerikus modellezés a vágatok kialakítását és a biztosítást globális tönkremenetelre egyidejűleg vizsgálja.

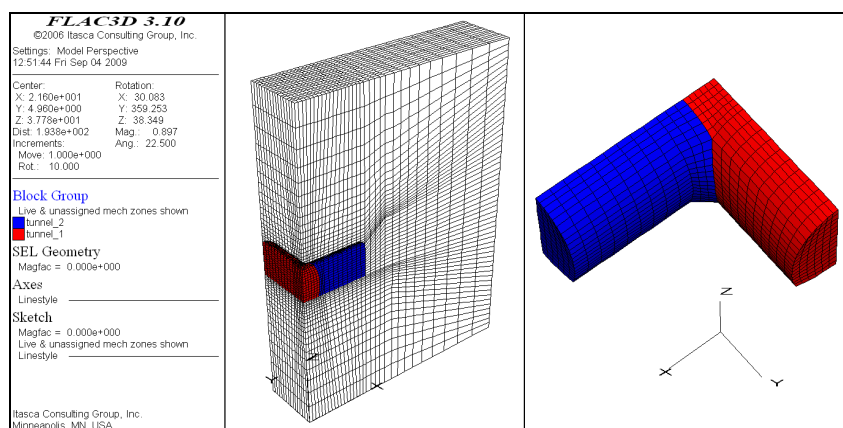
Bár a korábban ismertetett UnWedge szoftver használata során is numerikus modellek létrehozásával ellenőrizzük a nagytömbös kőzetet, azt az előző fejezetben ismertetettük, mert az ékek lokális tönkremenetelét vizsgálja.

A Bátaapáti NRHT vágatainak tervezésekor több numerikus számítási módszeren alapuló szoftvert is felhasználtunk, többek között a Phase2 végeselemek módszerén alapuló szoftvert, a FLAC véges differenciák módszerén alapuló szoftver mind a síkbeli és a térbeli (2D és 3D) változatát, és kisebb kalibrálási modellezéseket végeztünk a UDEC diszkrét elemes módszeren alapuló szoftverrel is. A végeselemes és a véges differenciákkal számoló programok kontinuumként kezelték a kőzetet, így itt különös figyelemmel kellett lenni a kőzet paramétereinek meghatározásakor és a megfelelő törési feltételt felhasználó anyagmodell kiválasztásakor.

A töredezett kőzetek tulajdonságainak figyelembe vételére a világszerte alkalmazott Hoek-Brown törési feltétel a legalkalmasabb. Ennek a törési feltételnek a felhasználásával létrehozott anyagmodell beépített elemként megvan mind a két említett kontinuum modellező szoftverben. Továbbá a Hoek-Brown állandó (mi) értékét mérési eredmények alapján meg tudtuk határozni, így az alapvágatok (Kishurok) tervezésekor a Phase2, majd a vízkezelő műtárgyak, a tárolói szállítóvágatok (Nagyhurok) és a tárolókamrák tervezésekor a FLAC szoftverekkel történt meg a méretezés utolsó lépése.

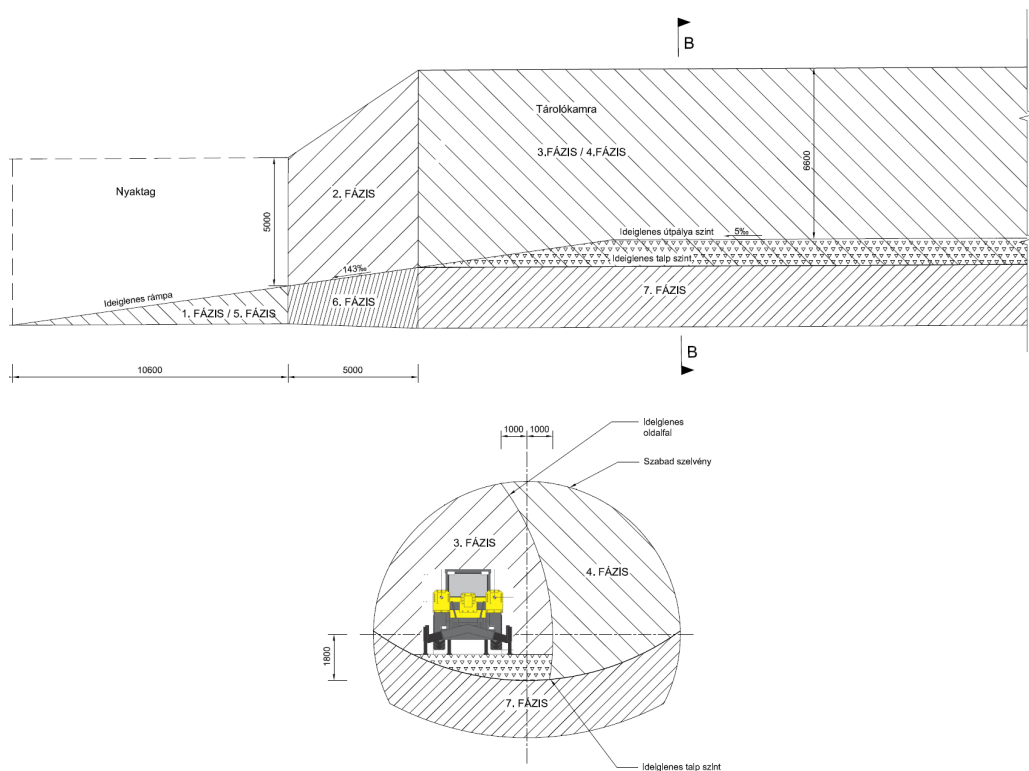
Az állandó keresztmetszetű vágatszakaszok (vonalalagút) keresztaszelvényeinek méretezése/ellenőrzése, továbbá a párhuzamosan futó alagutak egymásra gyakorolt hatásának vizsgálata síkbeli modellekkel megoldható. Megemlítendő, hogy bár a 2D-s programokban felépített modell síkbeli alakváltozást feltételez, a hosszirányú feszültségátrendeződést (azaz a harmadik dimenziót) a relaxációs lépésekkel figyelembe vettük. A síkbeli modelleknél továbbá az időtényezőt is figyelembe vettük a paraméterek változtatásával, például úgy, hogy a különböző relaxálási lépésekben növeltük a löttbeton szilárdsági értékét az öregedés mértékével arányosan. A löttbeton szilárdsági értéke a fejtési sorrendtől, a fogásmélységtől és a szelvény méretétől függ. Ezek alapján minden egyes modellhez külön a Chang és Stille (1993) elmélete alapján határozzuk meg.

A térbeli modellezés – például a FLAC 3D szoftver használata – akkor szükséges, ha a vizsgált vágatok nem párhuzamosak. Ilyenkor ugyanis a hosszirányú feszültségek átrendeződése nem jellemezhető a relaxációs lépésekkel. Ilyen például az egymást keresztező (4. ábra), vagy egymást szögben megközelítő (zsompok és a szivattyú kamra) vágatok esete, vagy az alapvágat és a tárolókamrák vágvégeinek egymásrahatása. Egy másik jellemző példa a homlokstabilitás vizsgálata, amikor a hosszirányú (vágattengellyel párhuzamos) feszültségek és elmozdulások modellezése nehézséget okozhat. A térbeli modelleknél a fejtési sorrend 3 dimenziós ábrázolása mellett a relaxáció, azaz a feszültségátrendeződés mértékének meghatározásával, és a hosszú távú viselkedés modellezésének lehetőségével az időtényezőt is figyelembe tudjuk venni.



4. ábra: A FLAC3D modell felépítése

A numerikus modellekkel a fejtési sorrend is vizsgálható. Erre jó példa a tárolókamrák síkbeli modellezése, ahol a modell több változatára való lefuttatásával vizsgáltuk a különböző fejtési sorrendeket. A modellekben kapott terhelési értékek alapján, a megrendelői követelményeknek és az építési programnak megfelelően lehetett kiválasztani az ideális fejtési sorrendet – lásd 5. ábra.



5. ábra: A tárolókamrák építési sorrendje IV-V. kőzetosztályban

Részletek kidolgozása

A számítások végeredményeképpen a vágatbiztosítás és a fejtés menetének tervét kapjuk. A 4. táblázat a leggyakrabban előforduló III. vágatbiztosítási osztály előírt vágatbiztosítását ismerteti.

4. táblázat: Tárolókamrák vágatbiztosítási követelményei, a III. vágatbiztosítási osztályban

| Kőzetosztály | Lőttbeton | | Közethorgony | Ívtám | Kiegészítő biztosítás (szükség esetén) | Előtűző nyárs | Fogáshossz [m] |
|--------------|-----------|----------------|----------------|-------|--|----------------------------|----------------|
| | típus | vastagság [mm] | | | | hossz [m] kiosztás [mm] | |
| III. | SFRS | 200 | 4,0 1,0×1,0 | – | Homlok biztosítása SFRS-sel | – | 1,0–1,5 |

SFRS: Acélszál-erősítésű lőttbeton

A végső vágatbiztosítás a kőzetosztálynak megfelelően kétféle lehet. A jobb minőségű vagy csak kevésbé töredezett kőzetbe acélszállal erősített lőttbetont terveztünk, míg a mállott, erősen töredezett kőzetben acélhálós lőttbeton falazatot megerősíteni. A tárolókamrák esetében a nagy szelvényméret miatt a IV. és V. kőzetosztályban is szükséges az acélháló használata.

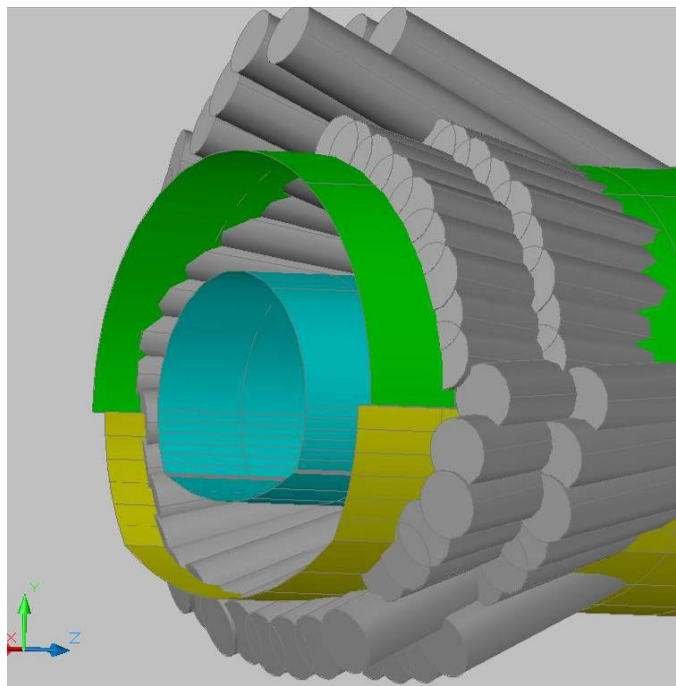
Kőzetkímélő jövesztés

A vágatstatikai tervezés része az építési és jövesztési sorrend meghatározása. Ekkor számos tényező mellett, figyelembe kell venni a jövesztés közet állapotára gyakorolt hatását is. Kiemelt helyeken különösen óvatosan kell eljárni, kőzetkímélő jövesztési módot kell alkalmazni. Ilyen eset például a nyaktag hajtása, ami a későbbi esetleges kamralezárás vízmentes kialakításának lehetősége miatt fontos. Emiatt a nyaktag és a kónuszosan bővülő rész hajtását közetoszálytól függetlenül 1 méteres fogáshosszal határoztuk meg, ezzel biztosítva a kőzetkímélő robbantás lehetőségét. A nyaktag vízbeáramlásának csökkentése érdekében alulról injektálható típusú IBO horgonyok használata lett előírva, megelőzve így, hogy a fúrt lyukak esetlegesen vizet vezessenek a kifejtett térrészbe.

Vízmentesítő injektálás

Az injektálás elsődleges célja a tároló hosszú távú radiológiai biztonsága érdekében a felszín alatti létesítményektől a felszínre vezető gyors áramlási pályák elszigetelése, a gazdaságos és biztonságos vágatállapotok kialakítása, a vágathajtás környezetre gyakorolt hatásának csökkentése. A megrendelő által meghatározott követelmény erre vonatkozólag 5 l/min/100 m a vágatokra és a 5 l/min a tárolókamrákra.

A hosszú távú radiológiai biztonság követelményeit figyelembe véve az előinjektálási technológia tervezésénél arra törekedtünk, hogy a beépített vágatbiztosítási rendszer ne csökkentse az elvégzett előinjektálás hatékonyságát. Az injektálási zónát úgy határoztuk meg, hogy kellő átfedés legyen, a vágatbiztosítás közethorgonyai ne lyukasszák azt át. A 6. ábra a tárolókamrák injektálásának tervezésekor felmerülő lehetőségek egyik háromdimenziós kidolgozását mutatja. A kék felület a tárolókamra szelvénye, míg a zöld a tervezett közethorgony-hosszokkal plusz egy méterrel eltolt felület, amelyen túl kell, lógjon az injektált zóna (szürke hengerek), a teljes injektálási szakaszon. Ezzel biztosítva, hogy az alkalmazott vágatbiztosítás nem károsítja vízmentesítő injektálást.



6. ábra: Tárolókamrák injektálása több lépésben

A homlok injektálásának tervezésekor a lyukak kiosztásakor figyelembe kellett venni a homlokban elhelyezett közethorgonyokat is.

A hosszú távú radiológiai biztonság követelményei miatt a vágat környezetében az injektálást csak olyan anyaggal terveztük, amelynek hosszú távú kémiai stabilitása bizonyított, azaz nem tartalmaznak szerves- és kolloidképző anyagot, nem gázképzők.

Lötbeton technológia meghatározása

A vágatbiztosítás tervezésekor a fent említett tényezőkhöz kívül továbbiakat is figyelembe kellett venni. Ezek közül a legfontosabb a gyors/azonnali teherbírás, a szabálytalan formára könnyen alkalmazhatóság és a tartósság. Ezeknek lötbeton falazat mind megfelel. A lejtősaknáknál még poliészterszál-erősítést írtunk elő, de az alapvágatoknál, a tárolói szállító vágatoknál és különös figyelemmel a tárolókamráknál már acélszál-erősítésű lötbeton falazatot terveztünk.

A 5. táblázat ismerteti a lötbetonnal szemben támasztott követelményeket.

5. táblázat: A lötbetonnal szemben támasztott követelmények

| | |
|---|--|
| Beton minősége | C32/40 |
| Cementminőség | Min. CEM I 42,5 |
| Cementmennyiség | Min. 400 kg/m ³ |
| Adalékanyag | Osztályozott és mosott kvarctartalmú természetes vagy tört adalékanyag |
| Szemnagyság | A maximális nominális méret: d _{max} = 8 mm |
| Víz / cement tényező | <0,45 |
| Az acélszál-erősítésű lötbeton előírt acélszál tartalma az épített szerkezetben | Min. 40 kg/m ³ |
| Konzisztencia | F5 (56-62 cm) |
| Beton hőmérséklete fellövéskor | 15-30 °C |
| Az előírt korai nyomószilárdságok – J2 görbe az MSZ EN 14487 alapján | |
| 1 órás | >0,5 MPa |
| 3 órás | >1 MPa |
| 6 órás | >1,7 MPa |
| 12 órás | >2,5 MPa |

Monitoring és észlelési értékek

A vágatstatikai terv része volt a vágatok állapotfelmérésének, illetve építés alatti és hosszú távú megfigyelésének (monitoring) terve is. A monitoring jellegű mérések, mind építési állapotra, mind hosszú távra a tárolókamráknál volt kritikus. Az összes vágatnál figyelembe kellett venni, hogy olyan méréseket írjunk elő, amikkel a lehető legtöbb információt szerezhetünk meg a további tervezési folyamatokhoz.

Az építés alatt bizonyos mérések az építés biztonságosságát is ellenőrzik. Ezekhez a mérésekhez a tervezés során észlelési értékeket határoztunk meg.

Építés előrehaladása

Az I. ütem keretében elkészültek a kishurok vágatai:

- Keleti alapvágat,
- Nyugati alapvágat (7. ábra),
- 7. összekötővágat,
- 8. összekötővágat,
- valamint a szállítóvágatok kezdő szakaszai.

Az I. ütem keretében kihajtott összes vágathossz 642,90 m.

A II. ütem 1. szakaszában épültek az alábbi vágatok:

- tárolói szállítóvágat
- tárolóépítési szállítóvágat
- tárolóösszekötő vágat
- kompresszorkamra
- szivattyúkamra (tervmódosítást nem igénylő szakasza)

A II. ütem 1. szakaszában összesen 621,19 m vágat készült. A tárolói szállítóvágatokat 2010. május 6-án a tárolói összekötővágat áttörésével fejezték be.

A II. ütem 2. szakaszában kihajtott vízkezelő, vízmentesítő műtárgyak vágathossza 214,97 m. A vízkezelő műtárgyakat 2010 márciusában fejezték be.



7. ábra: Nyugati alapvágat

Összefoglalás

A Bátaapáti NRHT vágatainak vágatstatikai tervezése a tervezési alapadatok meghatározásával kezdődik. Az adatok definiálása után a tervezői módszertannak megfelelően több közelítő és részletes számítás elvégzésével jutunk el a végleges tervhez. A számítások egymásra épülnek, különböző eseteket, különböző módon vizsgálnak.

Az alagútépítés elterjedt több empirikus módszer, amelyek közül a Barton módszert és a Barrett és McCreath módszert alkalmaztuk. Részletesebb számítások közé tartoznak a numerikus modellezések, amelyek közül az UnWedge szoftvert alkalmaztuk a lokális tönkremenetel vizsgálatára és a bonyolultabb modellek lehetőségét nyújtó szoftvereket alkalmaztunk egyes vágatok és a vágatbiztosítás globális stabilitásának, vagy több vágat egymásra hatásának vizsgálatára.

Az egész tervezési folyamat alatt, így a számításokban is figyelembe kellett venni bizonyos kritériumokat és tényezőket. Ilyenek például a geotechnikai és vízföldtani kritériumok, a tárolókamrák előírt 100 éves élettartama, a megadott maximális vízbeáramlás és a tárolókamrák lezárásának lehetősége. Ezeket figyelembe véve kellett meghatározni a jövesztés módját és az építési sorrendet, a vízmentesítő injektálásnál és a vágatbiztosításnál alkalmazott anyagokat. Ezeket figyelembe véve folyt a vágatok és a kamrák vágatstatikai tervezése.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők hálás köszönetüket fejezik ki a Mott MacDonald Magyarország Kft. és a Mecsekérc Zrt. minden munkatársának mind a Bátaapáti projektben, mind jelen cikkben nyújtott segítségükért. Továbbá köszönetüket nyilváníttják az RHK Kft.-nek a cikk megjelenéséhez nyújtott hozzájárulásukért.

Irodalomjegyzék

- [1] Barrett S.V.L., McCreath D.R., 1995: Shotcrete Design in Blocky Ground: Towards A Deterministic Approach – Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 10. No. 1. pp. 79-89
- [2] Barton N., Grimstad E., 1993. Updating the Q-system for NMT. Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete – Modern use of wet mix sprayed concrete for underground support. Norwegian Concrete Association, Oslo.
- [3] Barton N; Lien, R.; Lunde, J., 1974: Engineering classification of rock masses for the design of the tunnel support. —Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 6. No. 4. pp. 189–236.
- [4] Chang, Y. & Stille, H. (1993): Influence of early-age properties of shotcrete on tunnel construction sequences, Shotcrete for Underground Support VI, American Society of Civil Engineers, Reston, pp. 110–117.
- [5] Forgó L. Kandi E. (2009): Geotechnikai kritérium alkalmazásának alátámasztása, Mott MacDonald Magyarország Kft., Budapest. RHK-K-171/09M01
- [6] Goodman, R. E., Shi, G.-H. (1985): Block Theory and its application to rock engineering. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 338 p.
- [7] Váró Á., Benő B., Czeglédi Á. (2009): Tervezői módszertan, Kézirat RevD 2009. szeptember, Mott MacDonald Magyarország Kft., Budapest. RHK-K-100/09