

Körszimmetrikus modellezés nyújtotta lehetőségek a Bátaapátiban épülő tárolókamrák kőzetkörnyezetében

Jobaházi Vilmos

BME Építőmérnöki Kar, jobahazivilmos@gmail.com

Deák Ferenc

Kőmérő Kft., deakferenc@komero.hu

Megyeri Tamás

Mott MacDonald Magyarország Kft., tamasmegyeri@mottmac.com

Török Ákos

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

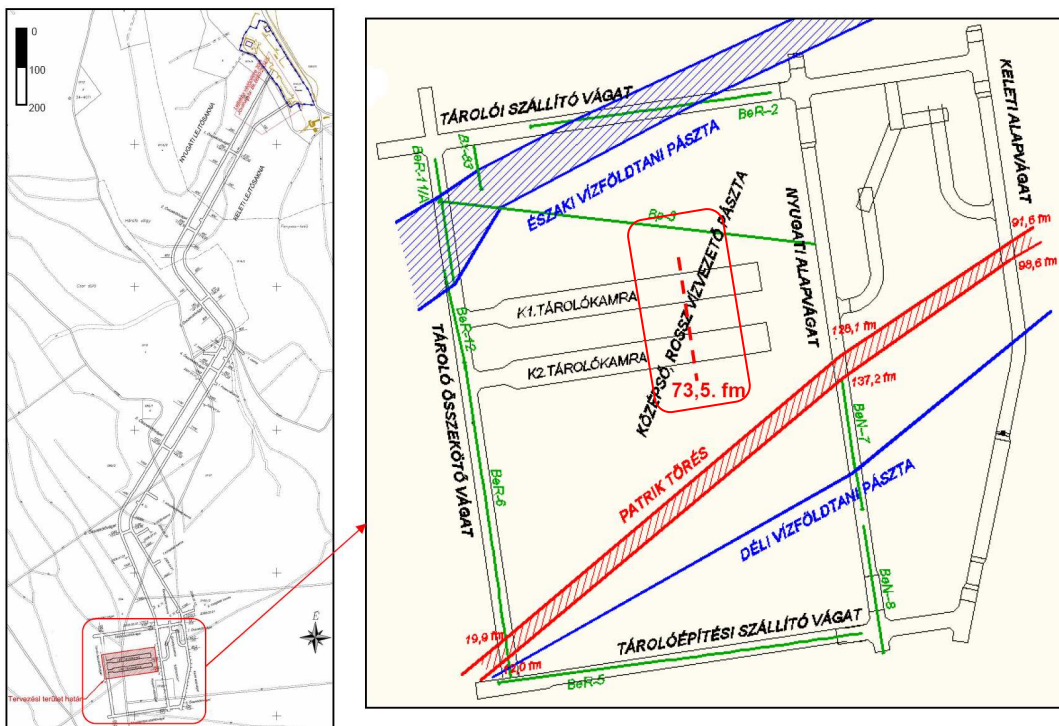
ÖSSZEFOGLALÁS: Az extenzométerek felhasználási lehetőségeit, valamint vágatok modellezési módszerei közül a Phase² végeeselemes szoftver alkalmazását mutatja be a cikk. Kiemelten elemzi az átboltozódást, a relaxációt, valamint a falazat szilárdságának változását a falazat korának függvényében, úgy hogy a törésrendszerek figyelembe vételének lehetőségeit is bemutatja. Részletesen elemeztük a teljes körű modellezés menetét, a síkbeli és a körszimmetrikus modellek kapcsolatát. A körszimmetrikus modellek vizsgálati tartományának és megtámasztási viszonyainak egyedi kialakításával vizsgáltuk az időben párhuzamosan fejtett vágatok viselkedését. Elsősorban ennek a vizsgálatnak a felépítését, az eredményeit, az előnyeit és a gyengeségeit elemzi részletesen a jelen cikk.

Kulcsszavak: Extenzométeres szelvény, Phase², körszimmetrikus modellezés.

1 BEVEZETÉS

1.1 A vizsgált szelvény elhelyezkedése

A modellezés helyszínéül szolgáló tárolókamrák a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló felszín alatti vágatrendszerének részét alkotják, melyet a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Kft. (RHK) megbízásából a Mecsekérc Környezetvédelmi Zrt. fővállalkozásával építettek meg. Ez Bátaapátiban a Mórágyi gránitos területen található. A lejtaknákkal együtt mintegy 5 km hosszú vágatrendszer készült el (1. ábra).



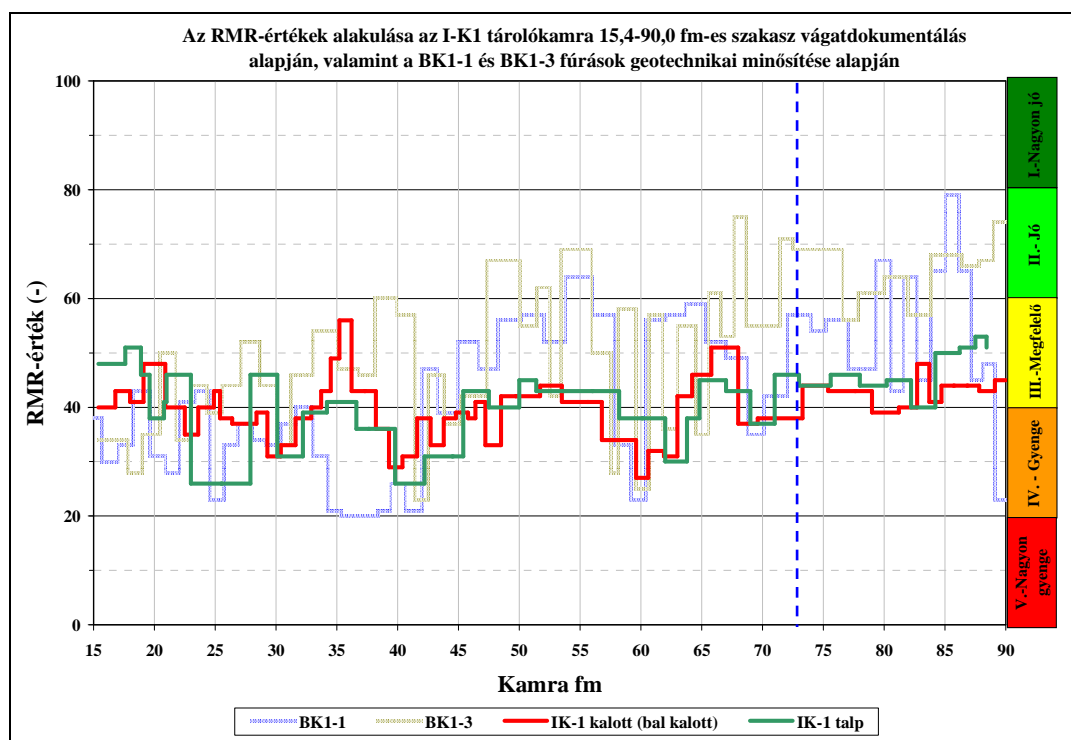
1. ábra. A vizsgált szelvény elhelyezkedése (bekeretezve: 73,5 fm) (helyszínrajz: RHK 2010)

Jelenleg az első két tárolókamra végleges technológiai kiépítése van folyamatban. Vizsgálataink elsősorban a tárolókamrák 73,5 fm-ét foglalja magába (1. ábra). Az időrendi sorrendben korábban létesített I-K2-es tárolókamra ezen fm-ében egy extenzométeres szelvény került kialakításra.

2 KÖZETKÖRNYEZET

A bemutatott mérnöki létesítmény a Mórággyi Gránit Formációban kerül kialakításra. Mind a lejtaknák, mind a kamrák közetkörnyezetének igen összetett geológiai felépítéséről számos tanulmány született. A legfrissebb mérnökgeológiai térképet az utólagos laborkísérletek alapján a Kőmérő kft. állította össze.

Az elkészített kamrák nem harántolnak jelentős vízvezető pásztát, illetve törésrendszert. A kamrák teljes hosszuk mentén III. illetve IV. kőzetosztályba sorolhatóak (2. ábra). Számításainkat mindkét kőzetosztály figyelembevételével elvégeztük.



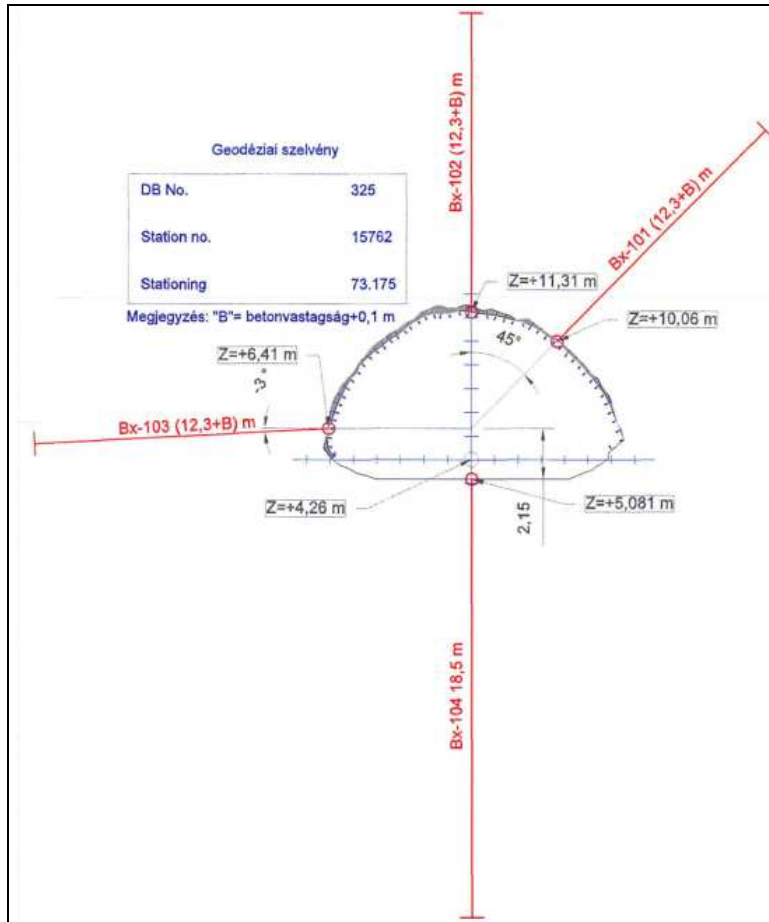
2. ábra. Az I-K1 tárolókamra 15,4-90,0. fm-ének geotechnikai minősítése a vágatdokumentáció alapján (Kőmérő 2011)

3 EXTENZOMÉTERES SZELVÉNY

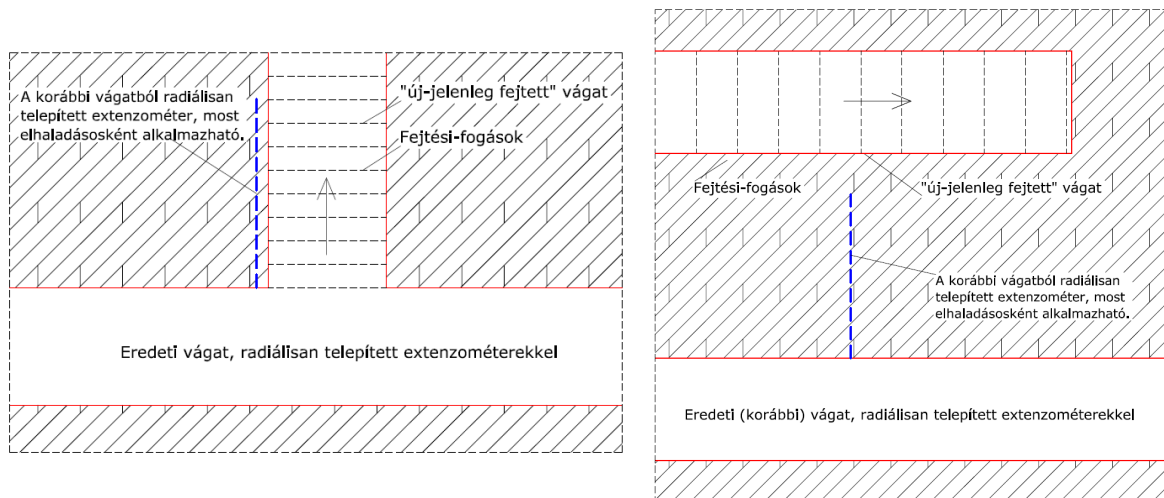
Az I-K2-es tárolókamra 73,5. fm-ében alakították ki az Ext-10 jelű extenzométeres szelvényt. A Geokon A-6, illetve A-9 típusú műszereit alkalmazták, a köpenymentén 3 darab A-6-os műszert telepítettek, míg a talpon egy darab A-9-est (3. ábra). Az adott elrendezésben a műszerek mind radiális, mind elhaladásos mérésekhez - vizsgálatokhoz is felhasználhatóak voltak.

A „radiálisan” elhelyezett műszerek segítségével vizsgálhatjuk a vágat falzatának elmozdulási-trendjeit és mértékét. A legtávolabbi ankert fixnek tekintjük (habár jelen szelvényméretnél az elméletnek megfelelő 3 vágatátmérőnyi mélység nem teljesült, Hoek et al. 1995) feltételezve, hogy a jövesztés ezt a zónát már nem befolyásolta. Azonban az elmozdulásokat a mérőműszer a fejankehez (azaz a vágathoz legközelebb esőhöz) viszonyítja, így az értékeket “vissza kell számolni”.

Az „elhaladásos” esetben általában a már korábban elkészített vágatunk közelében halad el egy új vágat, és egy korábban telepített extenzométer közelében, azzal párhuzamosan, vagy arra merőlegesen halad a fejtés. Ekkor az új üreghez közelebbi fejeket tekintjük “mozgathatóknak” és a korábbi vágat falához közel eső fejankeket fixnek, feltételezve, hogy a jelentős deformációk már lejátszódtak. Így nem kell átszámítást végeznünk. Az alábbi 4. ábra ezeket az eseteket példázza.



3. ábra. Ext-10 jelű szelvény előlnézetben (Mecsekérc 2011)



4. ábra. Radiálisan telepített extenzométerek alkalmazási példái „elhaladásosként”

4 MODELLEZÉS

4.1 Numerikus számítási eljárás (Phase²)

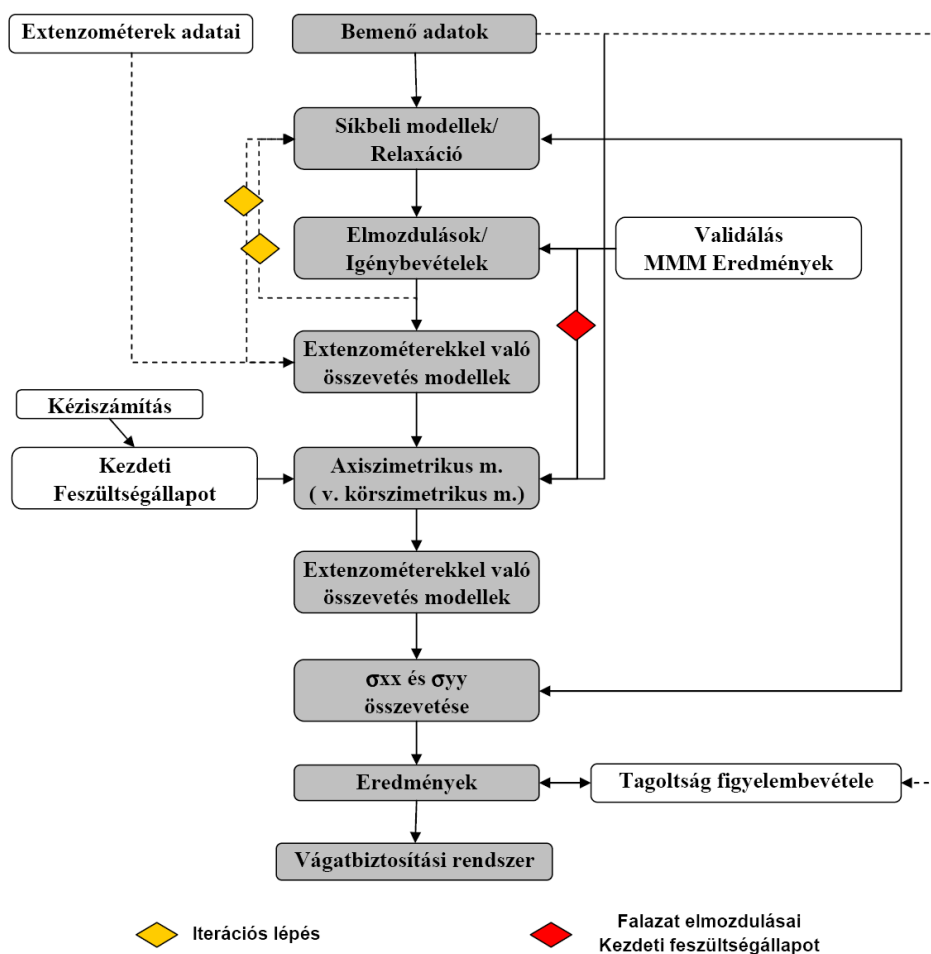
A Phase² egy hatékony 2D-ös végeleemes feszültség elemző program, elsősorban felszín alatti, vagy akár felszíni geotechnikai feladatok modellezéséhez. Kitűnően alkalmazható kőzetek illetve talajok modellezéséhez. Szilárd kőzetkörnyezetben készített modellek esetén előnyösebben alkalmazható, mint a jóval elterjedtebb hasonló felépítésű Plaxis.

4.2 A modellezés menete

Az alábbi folyamatábra egy teljes tervezés szintű modellezés menetét mutatja be (5. ábra). Kiindulási adatok az extenzométerekkel mért adatok, illetve a köztetfizikai paraméterek voltak. Első lépésként egy síkbeli modellt készült el, az eredményeket validálási céllal, összevetettük a Mott MacDonald Magyarország Kft. (MMM) által véges differenciák elvén végzett számítás adataival. Amennyiben szükséges volt visszatértünk a modell bemenő paramétereire, a relaxációra vonatkozó beállításokhoz. Miután a relaxációra és falazat viselkedésére vonatkozó beállítások megfelelőnek bizonyultak, összevetettük az eredményeket az extenzométerek által szolgáltatott adatok alapján meghatározott viselkedési trendekkel. Ezzel szintén validálva az eddigi modellezési beállításokat.

Ezt követően kezdtük el a körszimmetrikus modell felépítését. „Kézi” számítással, és a korábbi síkbeli modellek segítségével is meghatározható volt a kezdeti feszültségállapot. Figyelembe vettük az alapvető bemenő paraméterek mellett a vágathajtás következtében a síkbeli modellben keletkező elmozdulásokat. Ezen adatok felhasználásával vettük fel a modellter megtámasztásait.

A körszimmetrikus modell eredményeit szintén összevetettük az extenzométerekkel mért adatok által mutatott trendekkel, sőt a megfelelő feszültség ábrák (síkbeli modell σ_{xx} - körszimmetrikus modell σ_{yy}) összehasonlítása alapján az eredetileg feltételezett relaxáció („feszültség átrendeződési kép”) is igazolható volt, a modellek közötti átjárhatóság mellett.



5 ábra. A modellezés folyamatábrája

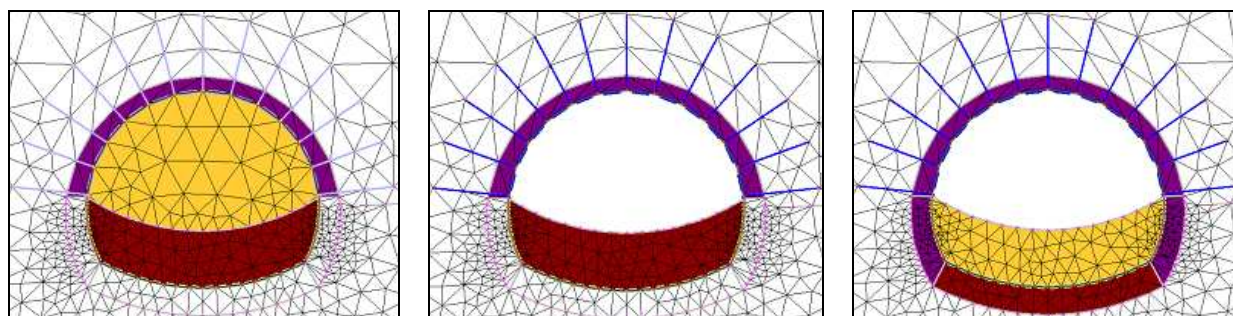
4.3 Síkbeli modellezés

A modellezni kívánt vágat geometriáját előkészítettük „dxf” kiterjesztésben, így könnyedén importálhattuk, majd felvettük „köré” a dobozmodellt. A modellter határát nem érdemes „kézzel” bevinni, hanem a fejtett vágat geometriáját figyelembe véve a program kiterjeszt egy négyzetes modellteret az általunk megadott arányszám függvényében (érdemes 3-3,5 között felvenni).

A fejtési fázisokat szintén dxf-formátumban importáltuk modellhez. Hasznos volt a köztetfizikákat és az extenzométereket is rárajzolni erre a fóliára, az ankerok hosszát és helyét is jelölve. Ennek köszönhetően biztos volt, hogy a kívánt pontokon lesznek csomópontjai a végeselemeshálóknak, amelyek jellemző értékeit könnyebb volt leolvasni, valamint a horgonyok elhelyezkedését egyszerűbb volt AutoCad-ben megszerkeszteni.

A kőzet illetve a falazat relaxációját, időbeli változását is figyelembe vettük. Az építési sorrend és az előrehaladás mértéke mellett, a falazat korát az egyes építési fázisokhoz a robbantási naplók alapján lehetett meghatározni. Az egyes fejtési részekre külön-külön falazatot kellett definiálni, hiszen adott időben eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a beépítéstől számított koruk miatt. A vágathajtásból származó relaxációt legkönnyebben a fejtett kőzet lépcsőzetes eltávolításával sikerült modellezni. Adott fejtési fázisban a fejtett térrész helyére egy alternatív kőzetet iktattunk be, amely tulajdonságait az eredeti kőzettől indulva lépésről lépésre csökkentettünk a teljesen kifejtett állapotig. Egy adott kamararész fejtését három lépésben modelleztük. Első lépésben beiktattuk az alternatív kőzetet egy csökkentő-tényezővel (0,5), és figyelembe vettük, hogy a vágat környezetének kőzetfizikai paramétereiben lecsökkennek a fejtés hatására (EDZ-zónák). A második lépésben a kőzetet teljesen eltávolítottuk, és a falazatot beiktattuk egy gyengített szilárdsági értékkel (0,1). A 0,1-es értéket közvetlenül a fejtés előrehaladásának átlagos 28 órás periódusai határozták meg a tervezők (Mott MacDonald Magyarország Kft.). Ez idő alatt ugyanis a C32/40-es anyagminőségű löttbeton az elméleti 28 napos korhoz tartozó végszilárdságának nagyságrendileg 0,1-es arányát éri el. A harmadik lépés egyben a következő fejtendő kamararész első lépése is, (azaz a gyengített alternatív kőzet elhelyezésének fázisa), amikor az első szóban forgó térrész fejtésének befejezéseként a falazat eléri „végleges” szilárdságát. Pontosabban a vizsgált esetben az egyes kamararészek fejtése között legalább 10 nap telt el, ami a modellezés során alkalmazott C32/40-es anyagminőségű falazatnak elegendő idő, hogy szilárdsága az elméleti 28 napos korhoz tartozó végszilárdságnak a 96%-át elérje.

Az aktuálisan fejtett zóna alatti térrész mindig jobban sérül, mint az oldalfalak melletti, az EDZ zónák alakja, kiterjedése természetesen ritkán szabályos, nagymértékben függ a robbantás minőségétől, az előzetes kőzet viselkedésére irányuló feltárások pontosságától és az „in-situ” primér- és szekunder feszültségtől. Az utólagos feltárófurások és EDZ vizsgálatok alapján a köpeny menti 75 cm-t, illetve a talp alatti 1,5 m-t vettünk figyelembe (6. ábra).



6. ábra. Egy kamararész fejtési fázisai a síkbeli modellekben

4.4 Körszimmetrikus modellezés

4.4.1 Módszertan

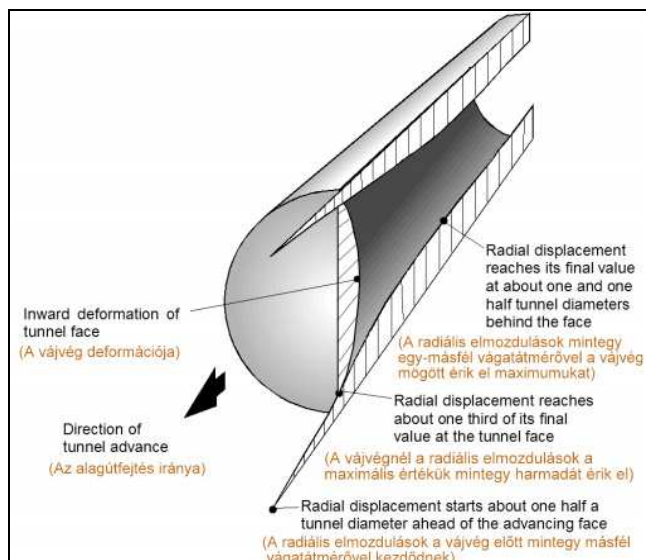
Szintén a 2D-ös program „speciális”, de egyre elterjedtebb felhasználásával vizsgáltuk a fejtés előrehaladását. Egy a vágatot magassági szempontból felező horizontálisan metsző sík modellezésével. Ebben az esetben az időrendi sorrendben később kivitelezett vágatot (az I-K1-est) vizsgáltuk, így a korábban létesített párhuzamos vágatból (az I-K2-esből) radiálisan telepített extenzométereket „elhaladásos” vizsgálatokhoz használhattuk fel. Ezzel a módszerrel habár csak közelítések árán, de a fogások előre haladása jól modellezhető a korábbi tapasztalatok szerint. Szintén érdemes AutoCad-ben előkészíteni a vizsgálati tartományt, és a fejtési lépcsőket.

A 7. ábra szemlélteti a vájvég környezetében elméletileg kialakuló elmozdulásokat. Az egyik legfontosabb információ, hogy a deformációk már a vájvég előtt, azaz a jövesztést megelőzően elkezdnek kialakulni, majd fokozatosan kifejlődve, már az üregszelvényben érik el maximális értéküket. Hoek (2000) szerint ideális esetben, azaz körszelvényű vágatot, és $K=1$ -et feltételezve a deformációs görbe kezdő pontja szintén 1,5D-re található a vájvég előtt.

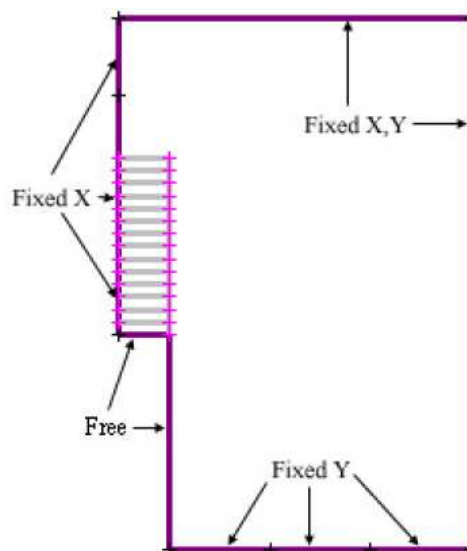
4.4.2 Az elkészített modellek bemutatása

Az I-K1-es kamrát modelleztük, ezért annak hosszanti tengelyét vettük fel a vizsgálati tartomány bal oldali határának, míg a modellt „jobb” oldali határát, a korábban fejtett I-K2-es kamra falazatának tekintettük. A hosszanti határok felvételénél azt tartottuk szem előtt, hogy a vizsgált reakciók még a

modellezési tartományon belül lecsengjenek. A fogás mélységeket a robbantási naplók alapján vettük fel, az I-K1-es 67. és 86,8. fm-e között.



7a. ábra. Elmozdulások elméleti kialakulása (Hoek, 2000)

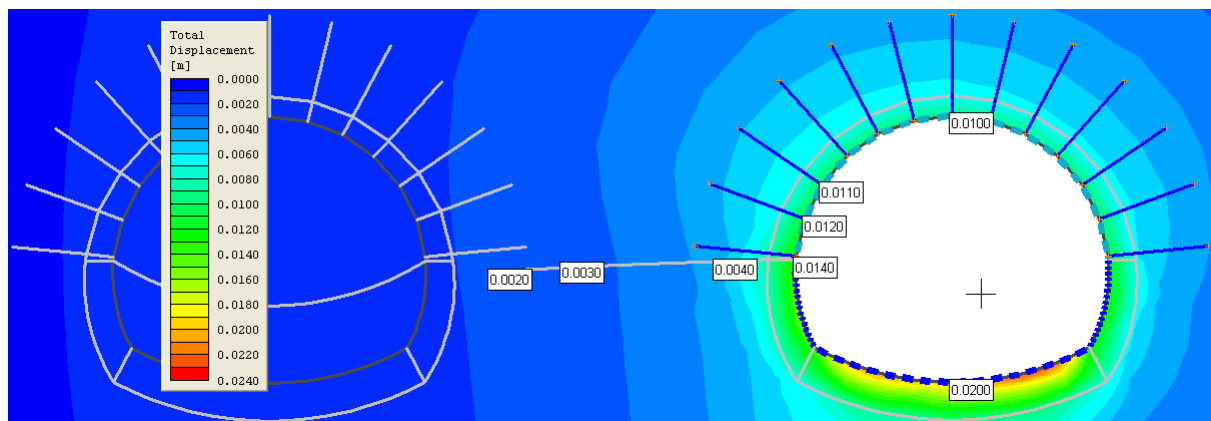


7b. ábra. 2D-ra való visszavezetésénél ajánlott megtámasztási viszonyok (Phase2 Tutorial, 2011)

Két modellt készítettünk III. kőzetosztályt feltételezve az I-K1-es fejtéséről. Az elsőben a korábban fejtett I-K2-es falazatát fixnek feltételeztük, a megtámasztási viszonyokat a 7b. ábra alapján vettük fel. Ezt a módszert akkor érdemes alkalmazni, ha a vizsgált vágat környezetében létrejövő alakváltozások (általában egyéb vágatok fejtéséből fakadóan) már lejátszódtaknak tekinthetőek. A második modellben az I-K2-es kamra fejtését is figyelembe vettük, a falazat viselkedését rugókkal és a rájuk ható erőrendszerral modelleztük. Ezt az eljárást akkor alkalmazzuk, ha a „korábbi” vágat nem sokkal a jelenlegi fejtést megelőzően készült, vagy párhuzamosan halad a vágatok fejtése. Az erőrendszert szintén fokozatosan vettük fel a vizsgált vágat fejtését megelőző építési fázisokkal, így modellezve a korábban fejtett vágat elhaladását.

Az „in-situ” primér feszültségeket a korábbi síkbeli modellek alapján határoztuk meg ($\sigma_1=7,32$ MPa). A modellezés során célunk volt a vizsgálati tartományban minél nagyobb területen és minél egységesebben a kiindulási feszültségekkel a lehető leginkább megközelíteni a 7,32 MPa-t. Ennek érdekében a megtámasztási feltételeket és a rugóállandókat kellett változtatnunk.

A körszimmetrikus modellezés során nem lehet külön figyelembe venni a kalott illetve a talp fejtését. Az adott vágatot teljes szelvényben fejtve lehet modellezni, sőt körszimmetrikusnak kell tekinteni. Az I-K1-es kamra hossz tengelyét tekintettük a vizsgálati tartomány baloldali határának, míg az I-K2-es kamra falazatát a jobb oldali határnak. A síkbeli modellek alapján meghatároztuk az I-K2-es falazatának elmozdulását az I-K1-es fejtését megelőzően. A 8. ábra a figyelembe veendő (I-K2-es kamrában keletkező) elmozdulást mutatja. A kapott eredmények alapján a körszimmetrikus modellben a rugókat és a rájuk ható erőrendszert úgy kell felvenni, hogy a jobb oldali határon az I-K1-es fejtését megelőzően 14 mm-es nagyságrendű elmozdulások keletkezzenek.

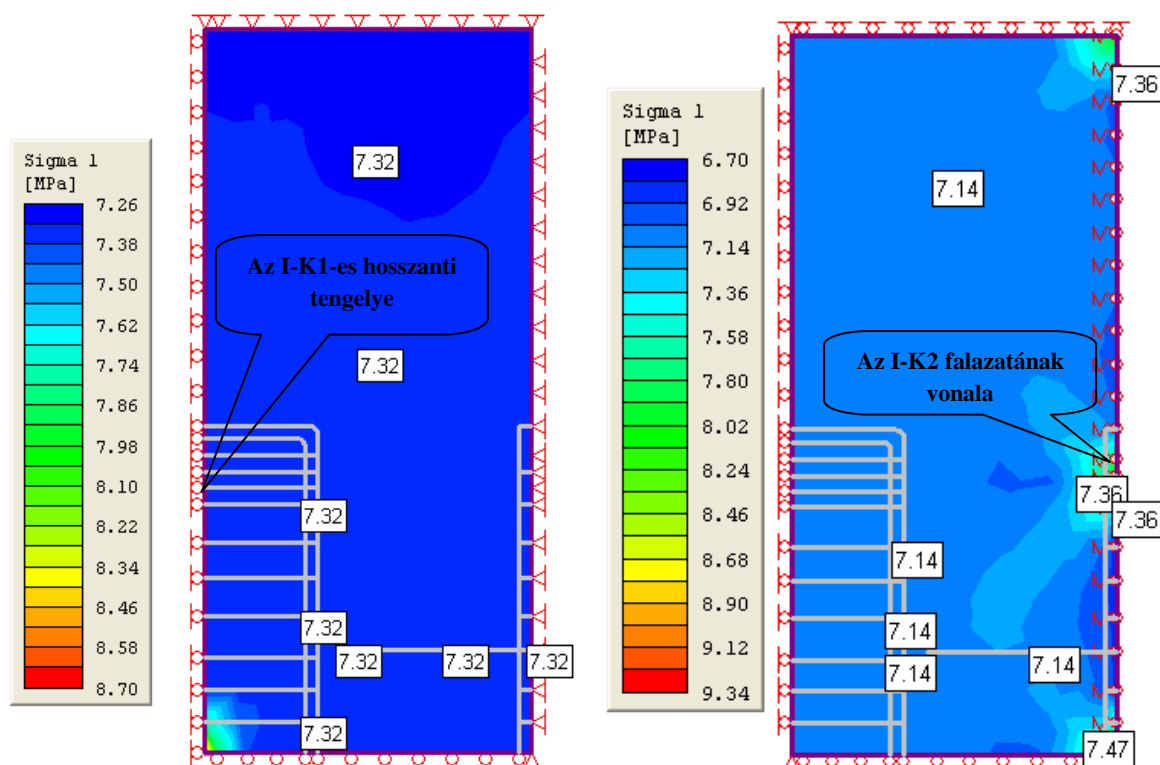


8. ábra. Az I-k2-es kamra falazatának figyelembe veendő elmozdulása

4.4.3 A modellek kiértékelése során szerzett tapasztalatok

A modellek alapvetően mindkét esetben hűen visszaadták az elmélet szerinti elmozdulásokat, és az extenzométerrel is mért trendet. A vágatok környezetében jelentkező alakváltozások fokozatosan lejtőzónák és 1,5 D távolságban már elhanyagolható mértékűek. Ezzel a modellter határainak megfelelő felvétele is igazolható volt. A nemzetközi gyakorlatban többek közt mozgásmentes kőzetkörnyezetet a vágat falazatától átlagosan 3D távolságban feltételeznek, az extenzométerek fixnek tekintett ankereit is ennek megfelelő mélységbe szokták elhelyezni.

Az első modell a kiindulási feszültség állapotot természetesen sokkal jobban közelíti, mint a második (9. ábra). Ugyanakkor a második modell gyakorlati célokra való felhasználhatósága nagyon kedvező, hiszen gyakran szükség van olyan egymásra ható vágatok modellezésére, amelyek fejtése csak kis idő eltolódással, vagy párhuzamosan történik.

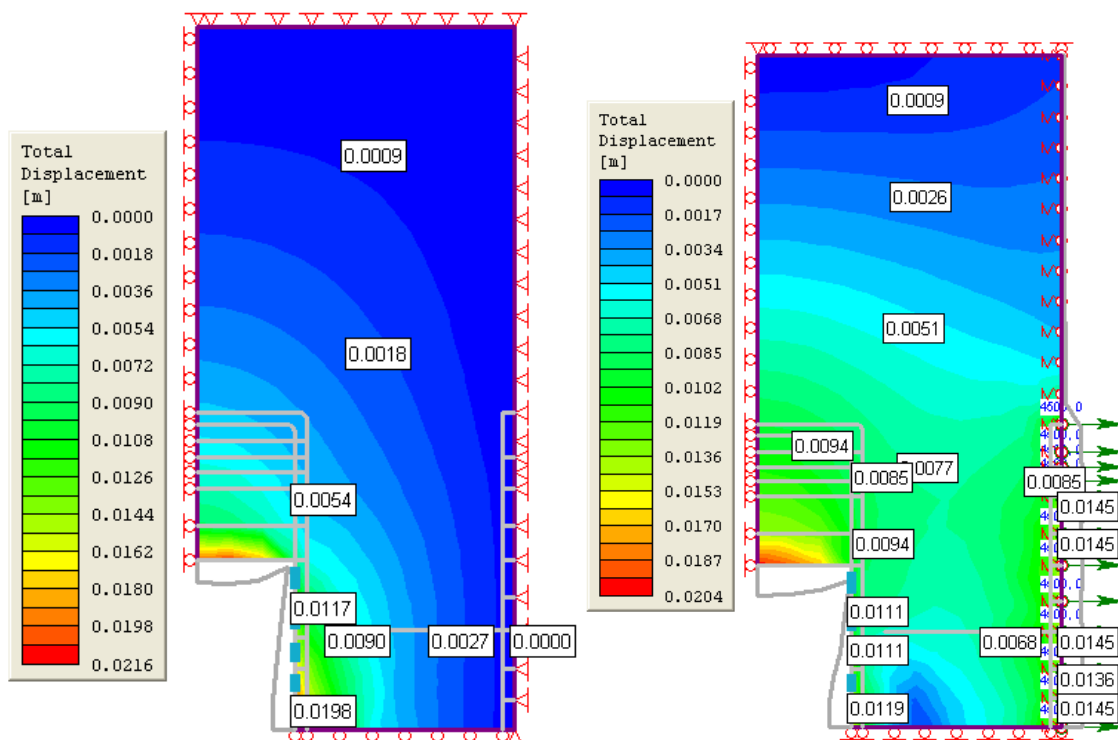


9. ábra. Kezdeti feszültség állapot („sigma I”) a két modell típus („befogott”, „rugós”) esetén

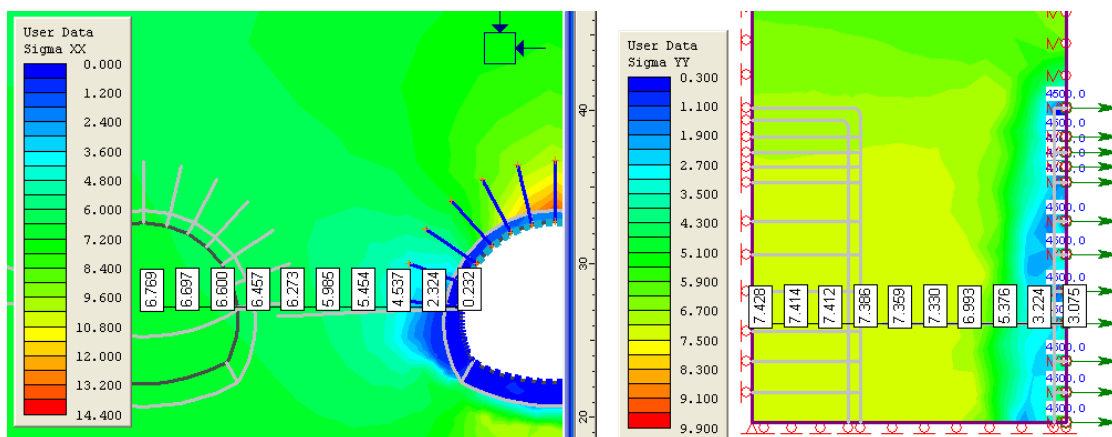
A 10. ábrán látható, hogy a vizsgált vágat (az I-K1) falazatának elmozdulása mindkét modellezési módszer mellett az elméletileg elvárt viselkedési trendet mutatja. A baloldali ábrán jól megfigyelhetően kirajzolódik hogy a vájvég előtt nagyságrendileg 1,5D-re kezdenek kialakulni a fejtés következtében létrejövő elmozdulások, amint az Hoek elméletében is szerepel.

A 10. ábra jobb oldalán látható, hogy a kívánt elmozdulásmezőt $k_x=350.000$ MN/m rugóállandójú rugókkal, illetve 4500 MN-os erőrendszerrel állítottuk elő, így a kezdeti feszültségállapot is jól közelíti a 7,32 MPa-t. Az ábra igazi érdekessége, hogy a kapott elmozdulásmező mind viselkedési trendjét illetően, mind nagyságrendileg szépen követi a síkbeli modell alapján elvárt értéket (a 14 mm-t).

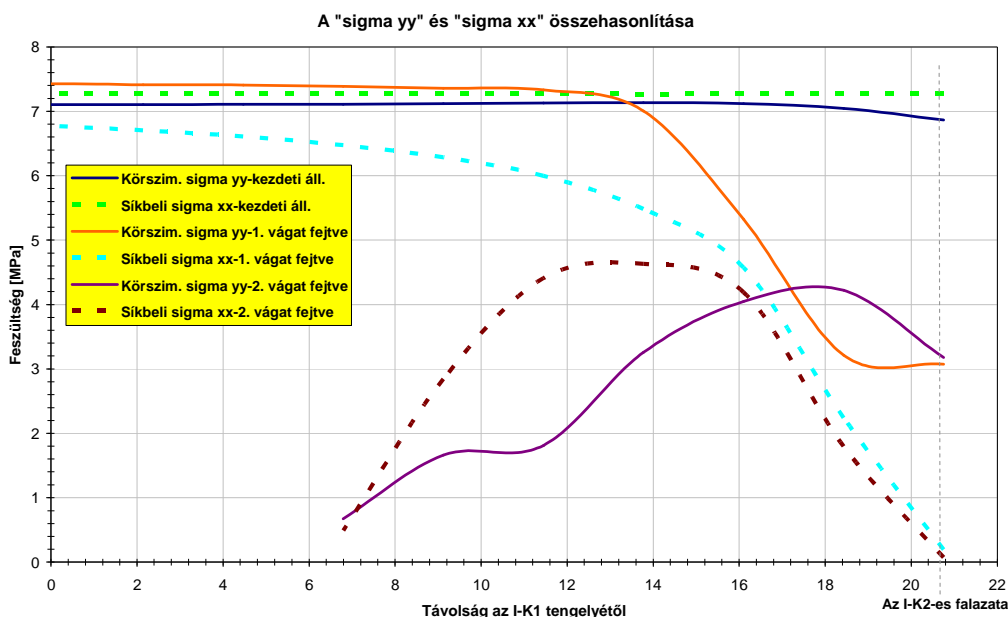
Az alábbi 11. ábra a síkbeli modell „sigma xx” ábrájának és a körszimmetrikus modell „sigma yy” feszültségeinek az összehasonlítására szolgál, amelyeknek elméletileg meg kell egyezniük. A vizsgált feszültségek közötti elnevezésbéli különbség abból fakad, hogy körszimmetrikus modellek esetén az x-irány a vizsgált vágat tengelyével párhuzamos. Az értékek összehasonlítása nem csupán a két modell közötti átjárhatóságot igazolja, hanem a relaxációval kapcsolatos korábbi feltételezéseket is bizonyította. A 12. ábrán az elhelyezett extenzométerek síkjában páronként ábrázoltam a kezdeti, az I-K2-es fejtését követő és a végleges állapothoz tartozó feszültségeket (a síkbeli „sigma xx”-et, a körszimmetrikus „sigma yy”-t). Látható, hogy a kezdeti feszültségek gyakorlatilag megegyeznek, ami többek közt a felvett megtámasztási rendszer helyességét igazolja. Az első, illetve a második vágat fejtését követően a feszültségeknek a síkbeli modell görbéi által leírt módon a fejtett vágat közelében 0-hoz kell konvergálniuk. A körszimmetrikus modellben sajnos a falazat rugókkal történő modellezése miatt egy kisebb peremzavar jelentkezik. Ugyanakkor a maximális feszültség értékek és a lefutási alakok mindkét vizsgált fázisban megegyeznek, ami jelzi a modellek közötti átjárhatóságot.



10. ábra. A két modell típus („befogott”, „rugós”) teljes elmozdulás ábrái az I-K1 80,2 m-ig fejtve



11. ábra. A két feszültségállapot („sigma xx” és „sigma yy”) egyezése a két modell típus közötti átjárhatóságot jelzi



12. ábra. A vízszintes feszültségek összehasonlítása a jellemző fázisokban

A körszimmetrikus modellek jelentős közelítéseket tartalmaznak. Már korábban is említettük, hogy a vágatokat teljes szelvénnel kell fejteni és körszimmetrikusnak tekinteni. Természetesen a kialakuló feszültségeket megfelelően kell kezelni, különös figyelemmel arra, hogy az egyes programok eltérő koordináta rendszereket alkalmaznak a körszimmetrikus modellek kezelésére. A falazat igénybevételei méretezési szempontból sokkal előnyösebben meghatározhatóak a síkbeli modellekből, mint a körszimmetrikus modellekből, hiszen az utóbbiakban sem a horgonyok pontos helyzetét, sem a szelvény geometriából adódó előnyöket nem tudjuk figyelembe venni.

5 EREDMÉNYEK

5.1 Modellezés

A falazat ellenőrzését a síkbeli modellek eredményei alapján végeztük el, teherbírasi görbével. Több adatbázis alapján vettük fel a jellemző köztetfizikai paramétereket. A teljesség igénye nélkül itt a MMM által a tervezés fázisában is figyelembe vett paraméterekkel végzett számítások eredményeit közljük. Ezek érdekessége, hogy összevethetőek voltak a MMM által véges differenciák elvén végzett számítások eredményeivel. Meg kell azonban jegyezni, hogy nem ezek a legfrissebb paraméterek, mert azóta már új laboratóriumi adatok és a vágatdokumentálás során megismert kőzetosztályozási értékek is ismertek, melyeket alapján újabb modellek is készültek (Kömérő Kft.).

A számításokat a Q szerinti III. és IV. kőzetosztályt figyelembe véve is elvégeztük, hogy ellenőrizhesük a kiviteli tervekben szereplő megállapításokat. Az építéskor tapasztalt Q értékeket (a jövesztett kamra szakaszon III és a modellezett szelvény bizonyos szakaszain II.b kőzetosztályt) mint bemenő paramétereket használva azt állapíthattuk meg, hogy kissé túlbiztosított a löttbeton vastagsága, ám az Eurocode7 szabvány tervezésre vonatkozó megállapításainak megfelelően a figyelembe veendő kőzetosztályok parametrizálása konzervatív módon történt a tervezés időszakában. Az alábbi 1. táblázat a jellemző maximális értékeket tartalmazza III. kőzetosztály esetében.

1. táblázat. III. kőzetosztály esetén a két kamra egyesített maximális eredményei

Kőzetosztály/ vizsgált vágat	Modellezési fázis / Építési fázis		Maximális			
			Szerkezeti elmozdulás [mm]	Nyomaték [kNm]	Normál erő [kN]	Horgonybeli húzóerő [kN]
III. kőzetosztály I-K1, I-K2	3-4	I-K2 Kalott fejtése	12	4,72	923,88	65,82
	5-6	I-K1 Kalott fejtése	15	5,98	2252,30	72,69
	7-8	I-K1 Talp fejtése	28	18,44	2546,60	78,07
	9-10	I-K2 Talp fejtése	28,5	45,02	2353,30	117,03

A falazat ellenőrzését teherbírasi határállapotr (ULS) végeztük el, és az Eurocode7-nek megfelelő terhelésekre vonatkozó biztonsági tényezőket vettük figyelembe.

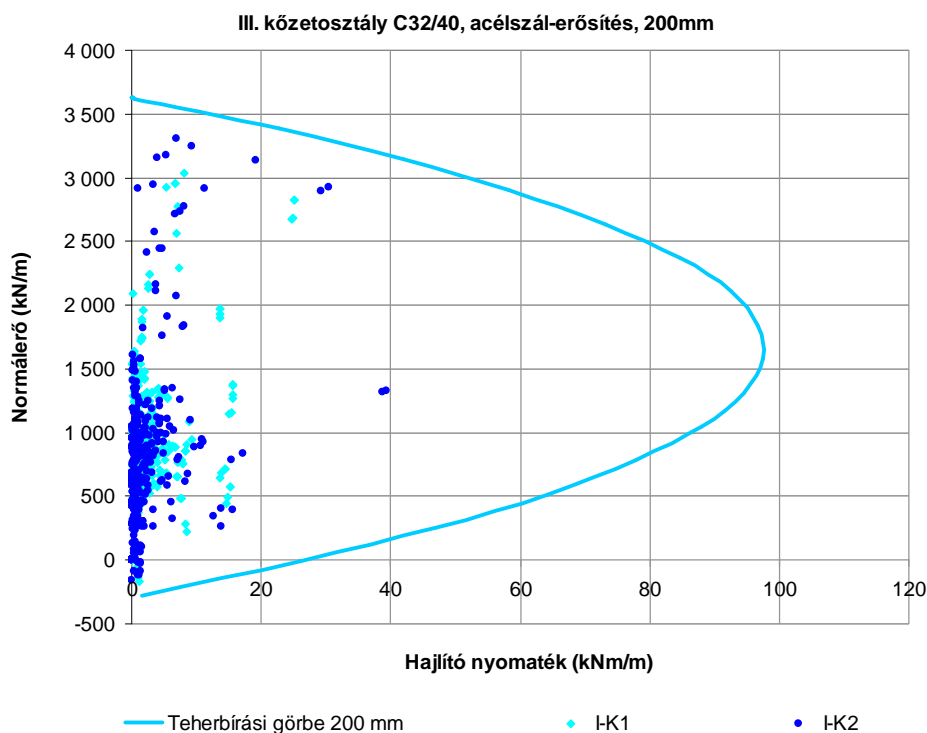
A szálerősítésű 200 mm-es falvastagságú C32/40-es anyagminőségű falazat megfelelő és a gyakorlati tapasztalatok szerint jól kivitelezhető. Az acélszál mennyisége 40 kg/m³. A IV. kőzetosztály esetén 270 mm-es szükséges falazat vastagságot határoztunk meg. Mindkét érték megegyezik a MMM által közölt eredményekkel. Az alábbi 13-14. ábrákon a III. kőzetosztályhoz tartozó teherbírasi görbéket mutatjuk be.

6 ÖSSZEFOGLALÁS

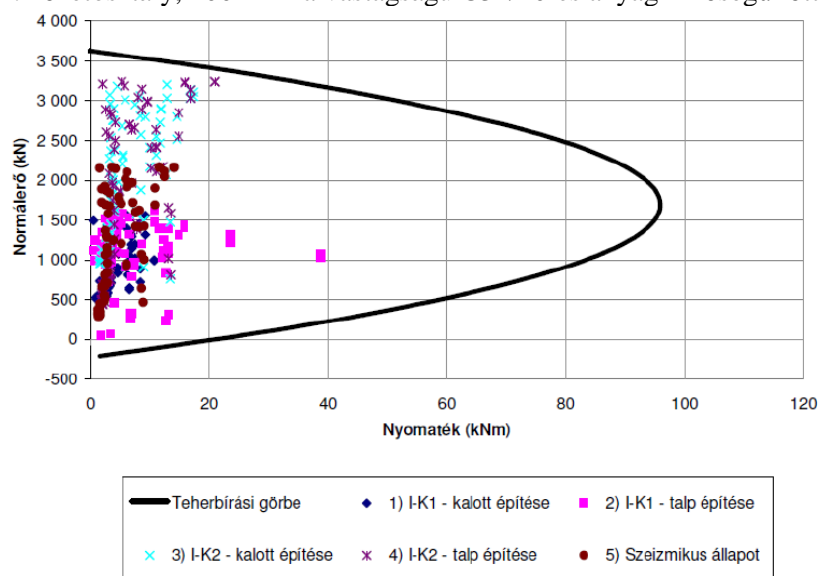
A kétdimenziós síkbeli, illetve körszimmetrikus modellekkel jól elemezhető volt a probléma, és időben gyorsan futó modelleket sikerült készíteni. A körszimmetrikus modellekkel ugyan közelítések árán, de sikerült modellezni az egyidőben fejtett vágatokat is, és azok egymásra gyakorolt hatását.

Az extenzométerek segítségével kimutatható volt a vágatok hosszú távú elmozdulásainak viselkedési trendje. A modellek és az extenzométerek eredményeinek együttes feldolgozásával sikerült pontosítani a relaxáció mértékének becslését.

Végeredményben azonos paramétereket figyelembe véve a Mott MacDonald Magyarország Kft. által közölt véges differenciák elvén számított szükséges falazat vastagságokat állapítottunk meg. Mindemmellett az alkalmazott teljes körű modellezési eljárás segítségével az egyes hatások részletes vizsgálatának is köszönhetően a jövőben a hasonló felépítésű problémák jól kezelhetőek lesznek.



13. ábra. III. kőzetosztály, 200 mm falvastagságú C32/40-es anyagminőségű löttbeton falazattal



14. ábra. Véges differenciák elvén alapuló méretezés eredménye III. kőzetosztály esetén (MMM, RHK, 2010)

IRODALOMJEGYZÉK

- Benkovics I., Barabásné Rebró K., Berta J., Csicsák J., Hogyor Z., Ropoli L., Szabényi G., Tamás P., Tóth P., Varga M., V. Miskolczi R., Vrászlai F.; Takáts F., Kulcsár L.; Thomas A., Hersvik D., Németh Gy.; Lawson A. 2011. *A Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló feltáró vágatai térképészete*. Kiviteli terv II. ütem 3. szakasz. I-K1 és I-K2 tárolókamra. Kiegészítés. Kézirat, 2011. április. RHK Kft. Adattára. RHK-K-123F/09
- Deák F., Molnos I., 2007: Vágatszkenner (JointMetriX3D) alkalmazása a Bábaapáti kutatóvágatok geotechnikai dokumentálása során. In: Török Á., Vásárhelyi B. (szerk.) *Mérnökgeológia-Közetmechanika 2007*, Műegyetem kiadó, Budapest, 11-18.
- Deák F., Kovács L. 2011: *Vágatdokumentációs jelentés geotechnikai fejezetei* (Kömérő Kft.). Kézirat
- Geokon műszerleírások: elérhető az interneten: <http://www.geokon.com/products/extensometers.php>,
- Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F. 1995. *Support of underground excavations in hard rock*, Balkema, 215 p.
- Hoek E. 2000. *Rock Engineering*. 313p
- Phase², Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. Elérhető az interneten: <http://www.roscience.com/products/Phase2.asp>,