

A budavári Nagy Labirintus Mamutfogas termének állékonyságvizsgálata



Készítette: Karay Gyöngyi MSc építőmérnök hallgató

Konzulensek: Dr. Görög Péter, adjunktus
Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
Dr. Hajnal Géza, egyetemi docens
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

2011. november

Tartalomjegyzék

1.Bevezetés.....	3
1.1.Barangok a Várhegy alatt.....	3
1.2.Kutatásom indítékai.....	5
1.3.Célkitűzések.....	6
1.4.Vizsgálati módszerek.....	7
1.4.1.A szakirodalom áttekintése.....	7
1.4.2.Helyszíni vizsgálatok.....	7
2.A hegy földtana.....	9
2.1.Földtani felépítés.....	9
2.1.1.Rétegtani felépítés.....	10
Mészkő.....	10
Településviszonyok.....	10
Litológiai jellemzők.....	12
2.2.Tektonika.....	13
2.3.Üreg- és barlangképződés.....	13
2.4.A konkrét üreg bemutatása.....	14
2.5.A mészkő kőzetfizikai leírása.....	16
2.5.1.Irodalmakból.....	16
Az 1994-es kőzetmechanikai vizsgálatok eredményei (BME 1994):.....	16
A 2006-os talaj- és kőzetmechanikai vizsgálatok eredményei (BME 2006):.....	20
2.5.2.A kőzetfizikai paraméterek összevetése.....	21
2.5.3.A földtani szelvény összeállítása.....	22
3.Modellezés, tervezés.....	22
3.1.Szoftver bemutatása.....	22
3.2.Modellezés a Phase2-vel.....	24
A modellalkotás.....	24
Számítás.....	27
Eredmények.....	28
Kezdeti vizsgálatok.....	28
Kitöltött repedések repedésként való vizsgálata (joint).....	30
Munkagödör kiemelés.....	32
Főtegyengítés figyelembevétele.....	33

Kimosás vizsgálata.....	35
Eredmények összesítése.....	36
4.Összefoglalás, értékelés.....	38
5.Köszönetnyilvánítás.....	39
6.Irodalom.....	40
6.1.Felhasznált irodalom.....	40
6.2.Tervek, szakvélemények.....	41
BME:.....	41
FŐMTERV:	41
6.3.Programismertetőik.....	41

1. Bevezetés

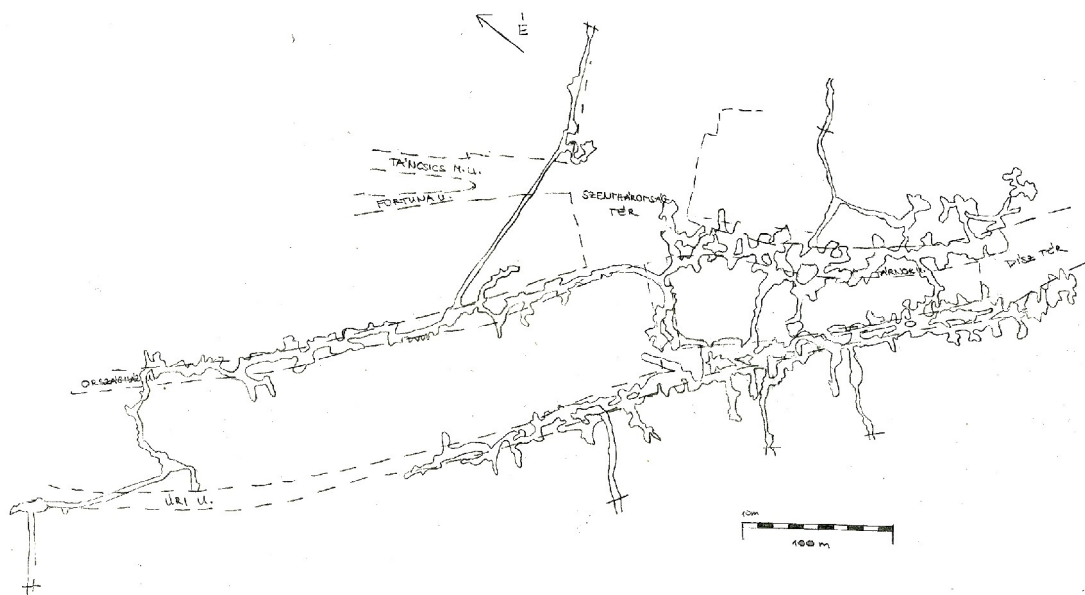
1.1. Barlangok a Várhegy alatt

Kevés olyan ember van, akinek a budai Várhegy említéséről azonnal a felszíne alatt húzódó különálló üregekből és összefüggő járatokból álló barlangrendszer jutna eszébe. Talán nem túlzás azt állítani, hogy a Budapestre érkező külföldi turisták jobban tudják, mi rejtőzik a Várhegy alatt, mint a főváros lakói. Pedig az eredetileg természetes kialakulású üregek az évszázadok alatt sokféle módon kapcsolódtak az ittlakók életéhez. A XIII. században kútásáskor felfedezett barlangokat eleinte raktározási és hadi célokra használták. Az idők folyamán fokozatosan bővítették, mélyítették, illetve járatokkal összekötötték az üregeket (ilyen összeépítési munkák eredményezték a természetes és mesterséges szakaszokból álló Nagy Labirintus kialakulását is). E föld alatti menedékhelyen találtak oltalomra a lakók az 1723-as tűzvészben, majd a huszadik században is segítségére volt a fővárosnak: kórházként, illetve egyes részei légoltalmi bázisként működtek. A harmincas években és az ezredforduló környékén idegenforgalmi célokra is hasznosították.



1. kép. Boltív a Nagy Labirintusban

A dicső múlt mellett a barlangok történelmének és jelenének is voltak és vannak sötét korszakai: 1882-ben a főváros úgy határozott, hogy az üregeket fel kell tölteni, és a rendelkezés értelmében egy 1908-as térkép tanúsága szerint egy részüket valóban fel is töltötték. A másik sötét korszak a nyolcvanas évektől napjainkig tartó beszakadásokkal, útkárosodásokkal tarkított időszak. A megnövekvő járműforgalom által okozott dinamikus terhelés itt is, ott is problémákat eredményezett a barlangok állékonyságában (pl.:1994. Táncsics Mihály utca, 1994. és 2010. Szentháromság tér, 2004. Bécsi kapu tér, 2005. Szent György tér). Az ily módon nemcsak az emberi életre, de az itt található műemlék épületekre is veszélyessé vált üregrendszer védelmében ugyan korlátozták a Várhegyre menő forgalmat, ám az egyre sürgetőbb állagmegóvó, állékonyságnövelő beavatkozások szakszerű elvégzése egyre csak váratott magára. E páratlan földalatti kincs mostoha sorsát csak fokozza az a bonyolult jogi helyzet, ami a Labirintus és az üregek tulajdoni- és kezelői-, fenntartói viszonyait szabályozza.



1. ábra. A Nagy Labirintus alaprajza (Hajnal 2003 nyomán)

A károsodásokat általában megerősítési munkálatok követték, ám ezeknek a dúcolatoknak az állapota is egyre romlik. Sajnálatos tény, hogy e munkáknak mindig a felszín feletti értékek megóvása volt a fő szempontja, és a felszín alatti értékek védelme általában elsikkadt. Ez a szemlélet is eredményezhette a részletes közetfizikai és statikai vizsgálatokat, számításokat mellőző megerősítések építését, amelyekre a rendszerváltástól 2004-ig 410 millió forint állami és önkormányzati pénzt költöttek el. Még érthetlenebbé teszi a helyzetet, hogy mindeközben készültek vizsgálatok a mészkövek közetfizikai, közetmechanikai tulajdonságairól

(például a BME Mérnökgeológiai Tanszéke 1994-ben a Várhegy több pontjáról vett minták alapján készített átfogó szakvéleményeket). 2010 nyarán sikerült egy EU-s pályázaton 370 millió forintnyi támogatást nyerni a Várhegy alatti üregek állagmegóvására. Az üregek nagy száma és kiterjedése miatt (a Nagy Labirintus alapterülete 18000m², a körülbelül 60 különálló barlang összterülete 4000 m²-t tesz ki) ez a pénz egyáltalán nem számít soknak, így valószínű, hogy ismét a geotechnikai vizsgálatokon és tervezésen fognak spórolni.

1.2. Kutatásom indítékai

Diplomamunkámban a várhegyi Táncsics Mihály utca 15–23. alatti üregek állékonyságvizsgálatával foglalkoztam. Az egész Polgárvárost érintő barlangállékonyság kérdésének csak egy kis szelete a Táncsics utcai, de új távlatokat nyitott meg a szemem előtt. A diplomamunka készítésekor megszerzett ismereteket tovább bővítve jelen munkámat a Nagy Labirintus Mamutfogas termének vizsgálatának szenteltem. A korábban az irodalomkutatás, helyszíni- és laborvizsgálatok, valamint a számítógépes modellezés terén szerzett tapasztalataimat egy sok újdonságot hozó területen szeretném kamatoztatni. A Mamutfogas terem egyedülálló geológiai viszonyai miatt egyike a Nagy Labirintus leglátványosabb, ám egyben legveszélyeztetettebb részének is. A főtét kicsipkéző oldásformák különlegessége miatt itt elképzelhetetlen lenne a Táncsics Mihály utcában előszeretettel alkalmazott bányaidomkő boltozatokkal és pillérekkel való megerősítés, elfalazás. Ezen kívül a mintavétel sem lehetséges e helyen, hiszen a főtén kívül nincs más szabadon álló mészkőfelület. E területről korábban sem készült szakvélemény.

Megszerzett alapjaimra építkezve a Várhegy egy újabb területének megismerésével és megismertetésével szeretném kiszélesíteni a területről alkotott képet mind magam, mind az érdeklődők számára.

1.3. Célkitűzések

Munkám fő célja a Mamutfogas terem bemutatása, statikai és közetfizikai jellemzése és ezeken keresztül a megerősítési munkákat segítő alternatív módszerek ismertetése és használata. E cél eléréséhez szükséges a környékről fellelhető irodalmak ismerete. Mint már említettem, a teremről nincs korábban készült szakvélemény és mintavételre sincs mód, így az irodalmak megismerésére a korábbinál nagyobb hangsúly került. Az így szerzett információkat a helyszíni bejárások során szerzett tapasztalatokkal összevetve, kibővítve már elegendő adat áll rendelkezésre a számítógépes modellezéshez. A számítás eredményeképpen megismerhetjük a várható tönkremenetel helyét, ami komoly támpontja lehet a megerősítés tervezésének. Nagyon fontosnak tartom, hogy a huszonegyedik században tudományos felkészültségünkhöz méltó építési munkák készüljenek itt is, ahol erre korábban nem volt példa. Ennek a szemléletnek e konkrét barlangtermen keresztüli bemutatása, valamint a Mamutfogas teremnek, mint különleges értéknek a vizsgálata egyaránt célja az elvégzendő munkának.



2. kép. A Mamutfogas terem háttérben a Mamutfogas kúttal

1.4. Vizsgálati módszerek

1.4.1. A szakirodalom áttekintése

A környékről fellelhető szakvélemények, geológiai leírások és korábbi kutatási eredmények képezték az irodalomkutatás alapját. Ezeket konzulenseim, illetve Dr. Gálos Miklós és Emszt Gyula bocsátották rendelkezésemre. A Mamutfogas-teremről nem álltak rendelkezésemre irodalmak, így a környező területekről összegyűjtött információk segítségével tudtam következtetni a rétegződési, kőzetfizikai adottságokra.

1.4.2. Helyszíni vizsgálatok

Konzulenseimmal többször jártunk a Mamutfogas-teremben. Felmértük a terem geometriai méreteit, metszeteket jelöltünk ki, több szabadkézi vázlatot, térképet készítettem. A kőzetekből mintát venni nem volt lehetőségünk, csak helyszíni



3. kép. Tagoltságok vizsgálata geológus kompasszal

szemrevételezéssel tudtuk vizsgálni. A felfedezett repedések csapását és dőlését geológus kompasz segítségével mértük és a térképen rögzítettük. A repedések tágasságát is mértük, a nagyobbakban kavicsos agyag kitöltőanyagot figyelhettünk meg. A főtéről folyamatos vízcsepegést észleltünk minden alkalommal.

A helyszíni adatrögzítéskor igyekeztünk minél pontosabb, precízebb munkát végezni, de szűkös eszközkészletünkkel sokszor csak közelítő becsléseket tudtunk adni. Ma már rendelkezésre állnak olyan geodéziai és geofizikai módszerek, amelyek a geometria pontosabb felvételét, és a kőzetek roncsolásmentes vizsgálatát, a repedések tényleges orientációjának megismerését lehetővé teszik, ám ezek alkalmazása a területen még csak részleges (készült lézerscanneres geodéziai felmérés, más azonban még nem).

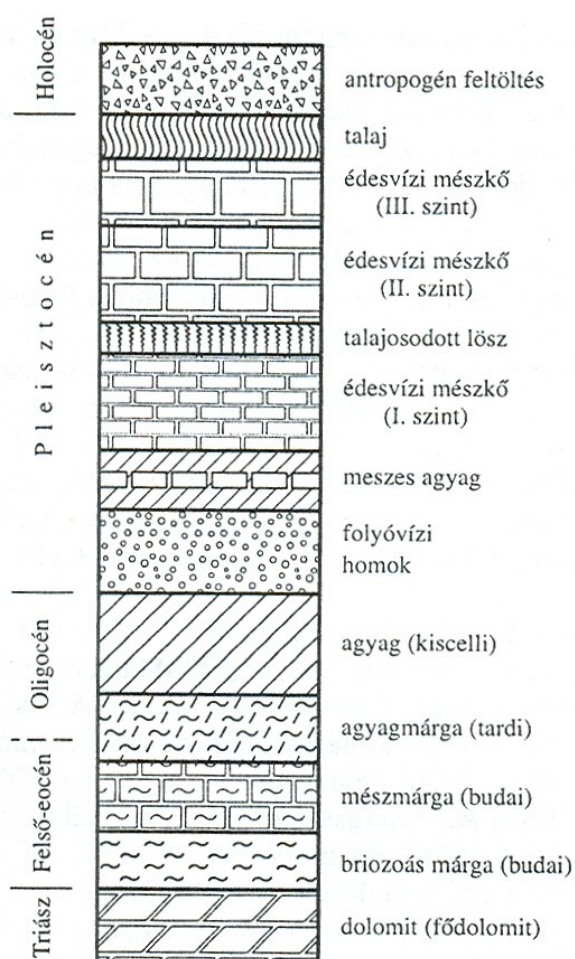


4. kép. A Mamutfogas terem főtéje vízcseppekkel

2. A hegy földtana

2.1. Földtani felépítés

A Várhegy rétegtani és földtani felépítéséről az 1938-ban a hegy DK-i szélén mélyített 261 méteres fúrás (Várkerti fúrás) adataiból vehetünk információkat (Horusitzky H. 1939).



2. ábra. A budai Várhegy rétegsora
(Horusitzky 1939 és Török et al. 1998 nyomán
Hajnal 2003)

2.1.1. Rétegtani felépítés

A fúrás 238 méternél érte el a felső-triász dolomitot, ez az alaphegység alkotókőzete (ez a kőzet építi fel a közelben található Gellért-hegyet is). Erre a felső eocénban települt vékony réteg bryozoás márga, majd körülbelül 200 méter vastagságban a budai márga. Az oligocénben a területet ellepő tengerből sötétszürke tardi agyag, majd világosszürke, agyagmárgás megjelenésű kiscelli agyag üledékek települtek a területre. Az oligocén agyagrétegek vastagsága a lejtőkön több 10 m-t is elérhet (Lovas út – Hajnal/FŐMTERV 1997), a platón maximum 5-10 m vastag lehet (Horusitzky 1939).

A tengeri elöntést követő intenzív szerkezeti mozgások során kibillent budai márga és kiscelli agyag rétegek egy ÉÉK-DDNy-i csapású tektonikus sík mentén érintkeznek egymással.

Az alsó-pleisztocén korban az agyagrétegekre 0,5-1,5 m vastag folyóvízi hordalék rakódott. A kavicsok anyaga nagyrészt triász mészkő és hárshegyi homokkő, csak kis részben fordulnak elő kvarc és kvarcit kavicsok. A folyóvízi hordalék ásvány-kőzettani vizsgálata alapján megállapítást nyert, hogy ez nem a Duna teraszüledéke (Kadič, Kéz 1933), hanem az Ördögárok vizének lerakódott hordaléka (Krolopp et al. 1976, Scheuer 1986). A platót összefüggő görgeteges kavics, homokos kavics és agyagos kavics réteg borítja (Hajnal megállapítása szerint csak a Polgár város északi részén található meg az Ördögárok terasz kavicsa. (Hajnal 2003)).

A pleisztocén korban hosszú szárazulati és lepusztulási időszak után rakódott a folyóvízi hordalékra a hegyet sapkaként fedő édesvízi mészkő. Ebben a rétegben alakultak ki a minket foglalkoztató üregek, ezért a mészkő- és üregkeletkezésre nagyobb figyelmet fordítunk.

Mészkő

Településviszonyok

Az Ördögárok bevágódása és eróziós tevékenysége és a tektonikai mozgások hatására a területen hévforrások törtek föl. Ezek a források eleinte az Ördögárok-patak árterületére rakták üledéküket. Ekkor mészszipa és taviagyag rétegek jöttek létre, majd amikor a folyó már nem tudta elönteni a források területét, megindult az édesvízi mészkő lerakódása. A források az első pliocéntól kezdve rakták le édesvízi

mészköüledéküket a területre, amely az egész Plató területén megtalálható (Hajnal 2003). A mészköösszlet két egymástól jól elkülöníthető szakaszának határát a Dísz térnél húzták meg (Krolopp et al. 1976), ám az újabb vizsgálatok kimutatták, hogy az északi terület is két részre osztható, a Bécsi kapu tértől a Szentháromság térig, valamint az utóbbitól a Szent György térig (Török et al. 1998).

A mészkö az első területen egységesebb, a második területen lencsés mésziszap betelepülések jelennek meg. Az északi rész breccsás vezérszintjének megfelelően a déli részen egy zöld agyagos betelepülés jelenik meg (Török et al. 1998). A kőzet tengerszint feletti legmagasabb pontja a Szentháromság tér környékén van (kb. 166 m A. f.), ahonnan mind északi mind déli irányban lejt 160-164 m A. f. szintig. A Palota területén még egy 10 m-rel mélyebben fekvő mészköfelszín csatlakozik (Dénes 1975).

A Várlejtő K-i, DK-i részén felfedezhető forrásvízi mészköttömbök feltehetőleg a hegy kiemelkedésekor csúsztak le az összetöredezett mészkösapka pereméről (Hajnal 2003). Ilyen tömbök láthatóak többek között a Halászbástya déli lépcsőjénél, a Ponty utca 1. számnál, a Szalag utca 6. számnál, a Francia Intézet alatt, a Corvin téren és a Moszkva tér felett.

Az édesvízi mészkö vastagságát a szakirodalom átlagosan 10 m-re teszi (Cholnoky 1937, Kerekes 1940, Krolopp et al. 1976, FŐMTERV 1993), és legnagyobb vastagságát, 13-15 m-t a Szentháromság tér környékén éri el. A Plató déli részén gyakran 8-10 m vastag a mészköpaplan (Dénes 1975). Hajnal szerint a kőzet átlagos vastagsága a szakirodalom adatainál kevesebb, 5 m körüli, és a Szentháromság tér környezetében is csak 10 m-es a legnagyobb vastagság. Ezt a Platón mélyített fúrások és az óvóhelyek főtéje fölötti takarások rendelkezésre álló adataiból készített metszetek segítségével határozta meg (Hajnal 2003).

A kőzetfelszín meglehetősen egyenetlen, néhány négyzetméteren belül több méteres különbségek is lehetnek (FŐMTERV 1965). A régészeti feltárások rávilágítottak, hogy ebben az is közrejátszik, hogy a mészkövet több helyen építőkönek fejtették.

A mészkö fekszik tavi jellegű agyag és mésziszap. A mészkö alatt közvetlenül általában egy változó vastagságú, barna talajos zóna található, amely egy szárazföldi periódust jelez a képződésben (Török et al. 1998.). A mészkö fedőrétege leginkább változó vastagságú antropogén feltöltés, de helyenként lösz is fellelhető.

Litológiai jellemzők

Az édesvízi mészkő színe jellemzően fehér, szürkésfehér, szennyes sárga vagy világosszürke, általában kristályos szerkezetű. Közel párhuzamosan rétegződött, néhol pados vagy vékonyrétegzett kifejlődésű, de előfordulnak tömör, rétegmentes szakaszok is. A botanikai vizsgálatok azt mutatták ki, hogy a mészkő alsó szakasza atlantikus, csapadékos és hűvös éghajlat mellett keletkezett, míg a felsőbb részek képződésekor kontinentálisabb éghajlat uralkodott (Skoflek in Krolopp et al. 1976).



5. kép. Édesvízi mészkő tömb a Nagy Labirintusban

A mészkövet lerakó melegforrások hőmérsékletére a faunavizsgálatokból lehet következtetni: a molluscafauna jelenléte 30-35 fokos vízhőfokot feltételez. A mészkőben fellelhető csigák meleg, száraz éghajlatra engednek következtetni. A déli rész mészköve enyhe, csapadékos klímában keletkezhetett. A kőzet keletkezésének kora a belőle előkerülő aprógerincesek miatt a középső-pleisztocénre tehető (Jánossy in Krolopp et al. 1976). A kavicsban és a mésziszapban is találtak megmunkáltkán tűnő kvarcdarabokat, illetve a Nagy Labirintus főtéjében – a nevét erről kapó Mamutfogas teremben – mamutfoglenyomatot is felfedeztek (Barátosi 1970, Moran 1970).

A Németországban végzett abszolút kormeghatározás a mészkő korát a Polgárváros területén 350 ezer évre, a palotai részen 160-190 ezer évre tette. Ebből

számítható, hogy a források, amelyek a mészkövet lerakták, kisebb-nagyobb megszakításokkal 150-200 ezer éven keresztül működtek (Scheuer 1986).

Más felfogás szerint a különböző tengerszint feletti édesvízi mészkő szintek közel egykorúak, és azonos idejű forrástevékenységből származnak (Török et al. 1998). Ezt látszanak alátámasztani a fekvő üledékeinek azonos típusai, a közel párhuzamos rétegződésű település (Szontagh 1908), és a vezető szintek hosszúsága is. Ebből az a következtetés vonható le, hogy a mészkőpaplan uralkodóan tavi kifejlődésű, és a tetarítás kifejlődésre csak a Palota alatti területen találhatunk nyomokat (Török et al. 1998).

2.2. Tektonika

A Várhegynél megfigyelhető szerkezeti viszonyok jól beilleszthetők a Budai-hegységre jellemző tektonikai adottságok közé (Hajnal 2003). Minket most csak a mészkő- és üregképződés szempontjából jelentős mozgások érdekelnek.

A felső-triász – alsó-eocénig tartó időszakban kialakult uralkodóan ÉNy-DK-i, egymással közel párhuzamos törésrendszer mentén történt horizontális elmozdulások alakították ki a Budai-hegység mai szerkezetét (Wein 1974).

A Várhegy mészkősapkáját átjáró ÉNy-DK és ÉK-DNy-i irányú repedések mentén nem történt elvetődés (Scheuer in Krolopp et al. 1976), de kiemelten jelentősek voltak az üregek kialakulásában (Kordos 1969). A litoklázisok uralkodó iránya ÉNy-DK-i, az ÉK-DNy-i irány nem annyira jellemző (Hajnal 2003).

2.3. Üreg- és barlangképződés

A várhegyi barlangok keletkezéséről többféle elképzelés született. Cholnoky J. szerint a Várheggyel közvetlenül összefüggő Szabadság-hegyről lerohanó patakok mélyítették a forrásvízi mészkő alatti üregeket az oligocénben (Cholnoky 1936). A barlangok falán megfigyelhető korróziós nyomok arra utalnak, hogy a saját üledéke miatt felszínre jutni nem tudó forrásvíz a budai márga határán keresett magának utat, kivájva ezzel a mészkő alsó rétegeit és az alatta lévő lazább rétegeket (Horusitzky H. 1939, Kerekes 1940). Ismét egy másik elképzelés szerint a

csapadékból keletkezett felszíni víz a mészkő repedésein és hézagain leszivároghatva oldotta ki ezeket az üregeket (Kadič 1942). Többen egyetértettek Cholnokyval abban, hogy a járatok egyidősek a mésztufával.

Ezek ismeretében látható, hogy a tudósok az üregrendszert vagy elsődlegesnek, a kőzettel egyidősnek tekintették (Láng 1958), vagy utólagos kifejlődésűnek. E két felfogást egyesíti a máig uralkodó vélemény, miszerint a Várhegyen az elsődleges mésztufa-üregek mellett megtalálhatók a mészkő repedései mentén feltört vizek által kioldott barlangok is (Kordos 1969, Kordos in Krolopp et al. 1976).

Az üregek elhelyezkedése feltehetőleg követi a mészkőben keletkezett tektonikus repedést az ÉNy-DK és ÉK-DNy- i irányú fekvéssel, bár ez a járatok kibővítése miatt már nehezen megállapítható. Az viszont egyértelmű, hogy a Polgár város településhálózata követi az üregrendszer elhelyezkedését (Hajnal 2003).



6. kép. Vízcseppek a Labirintus falán

2.4. A konkrét üreg bemutatása

A Nagy Labirintus nyugati oldalán található a Mamutfogas terem. A Labirintus természete miatt több irányból megközelíthető, de a legegyszerűbben a Lovas út felől érhető el. A barlang alja tíz-tizenegy méterrel van a terepszint alatt, belmagassága nagyjából másfél és három méter között van. A Mamutfogas terem

különösen a melegvizes oldásformákkal kicsipkézett főtéje miatt értékes. Ez az üreges forma a jelenleg dolgozó kivitelezők szerint helyenként egy méternyi is belenyúlhat a tömör kőzetbe. A teremterméskőből épített falak határolják, melyeken két kijáratot nyitottak: egyet ÉÉNY-i, egyet DDK-i irányban. A járószintet ismeretlen vastagságú beton borítja.



7. kép. Íves megerősítő szerkezet

Az évek során két megtámasztó szerkezet is készült a teremben: az egyik a helységet ÉNY-DK irányban átszelő íves vasbeton megtámasztó szerkezet, a másik az déli sarok közelében található terméskő oszlop. A nyugati sarokban található a Mamutfogas kút, szintén terméskővel felfalazva.

Az oldásformákkal tagolt főtét minden irányban repedések, tagoltságok hálózának be. Ezek között vannak olyanok, amelyek természetes eredetűek lehetnek, akár 20 cm-es repedéstágassággal, a hézagban aprókavicsos agyag kitöltő anyaggal. A barlangtermet ismerők egyértelműen meg tudják mondani, melyek az utóbbi időben az emberi felelőtlenség miatt keletkezett repedések: ezek csak 1-2 cm-nyire megnyíltak, kitöltő anyag nélkül (tudomásunk szerint körülbelül 2 éve a felszínen közműcseréhez létesült munkagödörben Hiltivel fejtették az anyagot). A helyszíni megfigyeléssel jól elkülöníthető közettömböknél előfordul, hogy repedés fut mellettük körbe.

2.5. A mészkő közetfizikai leírása

2.5.1. Irodalmakból

A Mamutfogas teremben korábban nem történt közetfizikai vizsgálatokhoz szükséges mintavétel. Ez nem is nagyon lehetséges, hiszen „szabad” mészkőfelületet csak az oldásos főte ad, abból viszont maradandó károsodás nélkül nem lehetne mintát venni. A Budapesti Műszaki Egyetem Mérnökgeológiai Tanszéke 1994-ben a teremtől 50-100 méterre vett mintákat a mészkőből. További hasznos közetfizikai adatokat szolgáltat a Tanszék által 2006-ban készített, a Szentháromság téren mélyített két fúrás eredményeit feldolgozó szakvélemény (ezek 400-500 méterre voltak a barlangteremtől). Ezen felül a teremnél lévő szelvény megszerkesztéséhez felhasználtam a Szentháromság téri szelvény geológiai leírását (Török et al. 1998), és közművezetékek fektetéséhez készített fúrások adatait használtam fel. Közetfizikai adatokat csak a két szakvélemény szolgáltatott, ezeket mutatom be a következőkben:

Az 1994-es közetmechanikai vizsgálatok eredményei (BME 1994):

A szakvélemény három különböző forrásvízi mészkő mintacsoportot vizsgált:

Az L-1-es típus mintáit a Mamutfogas teremtől körülbelül 50 méterre gyűjtötték. A kőzet itt tömött szerkezetű, barnásszürke színű, kissé porózus, karbonátos szövetű forrásvízi mészkő. A törési felületek enyhén pikkelyesek, éles határfelületűek. A finomszemű, mikrites alapanyagban hintetten tizedmilliméter körüli szemnagyságú kalcitkristályok vannak. A kőzet pórusszerkezete változó nagyságú (3-5 mm-t is elért) pórusokból áll, melyek pórusrendszert alkotnak. Alakjuk kerekded, de gyakran megnyúltak, illetve a járatok irányában elvékonyodóan összeszűkülnek. E megnyúlás a kőzetszövet irányítottságának, lamináltságának megfelelő. A pórusok helyenként kristályos kalcittal bekérgeztettek, illetve gyakran limonitos finomszemű anyaggal kitöltöttek. A kőzetet a szakvélemény az MSZ 18283 szabvány szerint a kissé mállott, m_2 mállottsági fokozatú csoportba sorolja.

Az L-3-as típust a Mamutfogas teremtől távolabb, légvonalban körülbelül 100 méterre vették. A kőzet tömött szerkezetű, barna, barnás-szürke színű, kissé

porózus, erősen irányított, karbonátos szövetű forrásvízi mészkő. Az irányítottságot az algás bekérgezés laminációja okozza. Törési felülete erősen érdes, a mikrites csomók milliméter nagyságúak. A kőzet alapanyagában karbonátosodott növénytöredékek találhatók, amelyek egy-két milliméteresek. A pórusok a lamináltság irányában pórusrendszert alkotnak, helyenként oldódási nyomot mutatnak, összenyíltak. Az összenyílt pórusok a centiméteres nagyságrendet is elérik. A kisebb pórusok cementált karbonátos anyaggal kitöltöttek, határoló faluk nem éles, és mállott alapanyag szegélyezi. A nagyobbak üresek, egy részük kalcitkristályokkal bekérgezett, illetve kitöltött. A kőzet az MSZ 18283 szabvány szerinti kissé mállott, m₂ mállottsági fokozatú csoportba sorolható.



8. kép. Mintavételi helyek a Labirintusban

Az L-4-es mintacsoport közvetlenül az L-3 mellől származik. Itt a kőzet tömött szerkezetű, szürkés-barna, foltosan őzbarna színű, karbonátos szövetű forrásvízi mészkő. A törési felülete egyenletes, csak a pórusoknál érdes. A finomszemű, mikrites alapanyagban a lamináltság irányában megnyúlt pórusrendszerek vannak, melyek összemetsződéseiknél bekérgezettek. A pórusrendszerek közel párhuzamosak, a hosszabb oldaluk 3-5 mm. A pórusok alakja kerekded, de az összemetsződések miatt gyakran hullámos falúak. Nagy részük nem kitöltött, nyitott, de előfordulnak pórusfalra tapadó limonitos karbonátos bontott kőzetanyaggal

részben kitöltöttek. A kőzet falában a kalcitosodott növénymaradványok elnyúló térelemeket alkotnak, amelyek határfelületénél elszíneződött mikrokristályos kalcit fordul elő. A kalcitkristályok mm szemnagyság alatti méretben hintetten vannak jelen. A kőzettípust az MSZ 18283 szabvány alapján a kissé mállott, m₂ mállottsági fokozatú csoportba lehet sorolni.

A minták nagy valószínűséggel 50 mm névleges átmérővel készültek, ezért a szilárdsági értékek korrekciót nem igényelnek. A szakvéleményben külön mintasorozatokot vizsgáltak páratelített állapotban, és a végén még egyszer felhívják rá a figyelmet, hogy az eredmények alapján ezt külön fizikai állapotnak lehet és kell tekinteni.

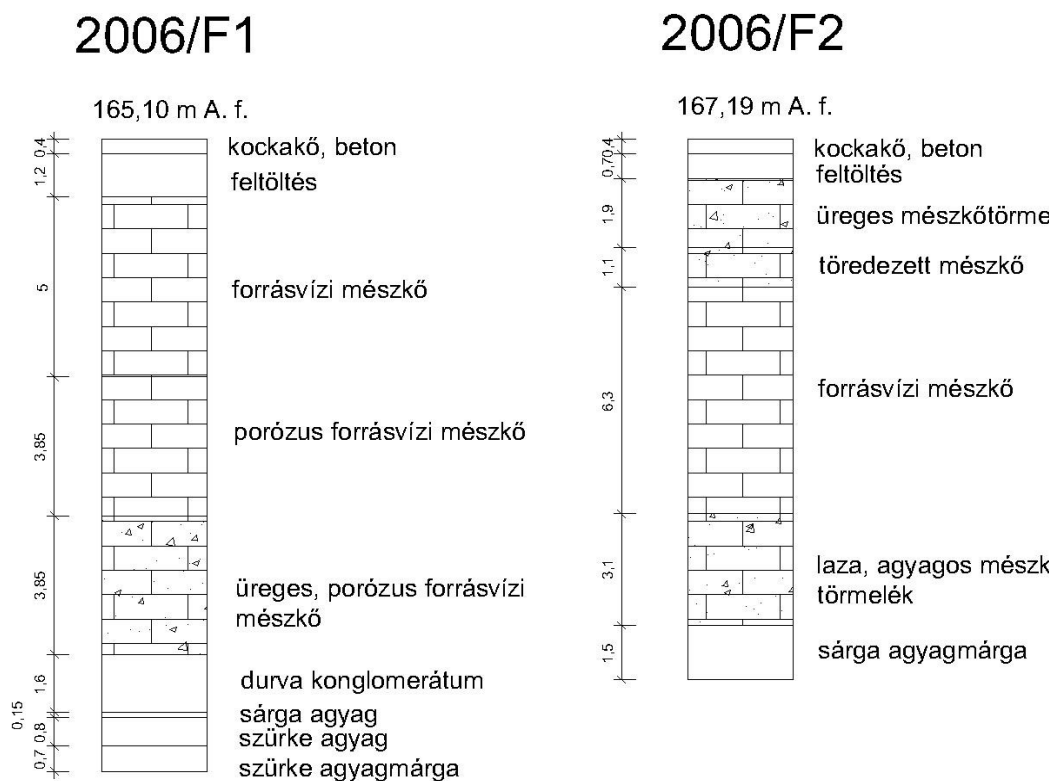
A szakvélemény ismerteti egy mészszipa minta vizsgálatát is, ezt azonban külön nem ismertetem, mert a későbbiekben ezt nem használom fel.

	Testsűrűség (kg/m³)				Víztartalom (V%)			Longitudinális ultrahanghullám terjedési sebessége (km/s)				Nyomószilárdság (MPa)				Kőzetfizikai rugalmassági modulus (GPa)				Húzószilárdság (MPa)			
	légszáraz	telített	száritott	páratelített	alap	vízfelvétel	páratelítés	légszáraz	telített	száritott	páratelített	légszáraz	telített	száritott	páratelített	légszáraz	telített	száritott	páratelített	légszáraz	telített	száritott	páratelített
L-1-es típusjelű minta																							
Átlag	2479	2545	2438	2487	0,36	4,06	1,01	4,688	5,271	3,872	4,472	37,86	41,24	28,15	31,18	10,65	13,40	10,12	11,28	6,45	5,38	4,92	3,73
Szórás	109	43	146	123	0,32	0,99	0,51	0,377	0,182	0,360	0,282	14,21	11,42	8,37	8,05	6,41	3,81	5,24	4,42	2,06	2,16	0,64	0,56
Minták száma	27	7	9	7	9	7	7	27	7	3	7	4	4	3	4	4	4	2	4	3	3	3	3
L-3-as típusjelű minta																							
Átlag	2421	2474	2418	2424	0,28	5,27	0,38	4,754	5,224	3,856	4,712	41,12	37,66	40,57	32,97	13,23	15,01	14,10	12,28	5,27	3,63	6,09	4,53
Szórás	35	14	45	37	0,18	0,61	0,20	0,208	0,110	0,357	0,221	8,93	5,31	13,65	6,86	0,87	1,25	3,24	5,04	0,86	0,95	0,72	1,24
Minták száma	41	10	16	10	16	10	10	41	10	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5
L-4-es típusjelű minta																							
Átlag	2423	2480	2416	2395	0,40	4,35	0,13	4,567	5,076	3,082	4,563	23,38	31,14	31,94	26,61	9,22	9,04	9,20	9,37	5,83	4,41	5,32	4,04
Szórás	84	61	102	94	0,25	1,03	0,07	0,347	0,218	0,317	0,392	5,96	6,18	13,67	6,88	0,91	4,69	3,11	4,46	1,41	0,73	2,24	1,28
Minták száma	34	9	11	9	11	9	9	34	9	3	9	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	3	4

1. táblázat. A Labirintus-szakvélemény kőzetfizikai eredményei

A 2006-os talaj- és kőzetmechanikai vizsgálatok eredményei (BME 2006):

Ez a szakvélemény egy 17,55 méter és egy 15 méter mélységű fúrás maganyagából vett mintákat dolgozta fel. A vizsgált kőzet- és talajtípusokról szöveges leírás nincs. E hiányáért bőségesen kárpótolnak a kimerítő laborvizsgálatok, és az azok alapján számított, nagy mennyiségben közölt talaj- és kőzetfizikai paraméterek. A mészkőből körülbelül méteres szakaszokat határoltak el, és ezeket két-két minta nyomó- és húzószilárdság-vizsgálatával értékelték. Talajokból kétféle agyagot és egy agyagmárgát vizsgáltak részletesebben. Értékes információ a mészkő tagoltságát leíró fajlagos tagoltság-érték és az RQD tényező szakaszokra való számítása.



3. ábra. Fúrási szelvények (BME 2006 nyomán)

A szakvélemény a mészkő-mintákból fúrásonként egy átlagos értéket számít, ám a fúrásszelvényekben megadott egy-egy szavas jellemzés és a kőzettípusok fúrásmagban elkülönített és jelölt határai alapján jól elkülöníthetők a töredezett,

üreges szakaszok és a tömörebb mészkő-előfordulások. Ezt az ismeretet felhasználtam a szelvény készítésénél.

Sorszám	Mélységköz (m)	Testsűrűség (kg/m³)	Longitudinális ultrahanghullám terjedési sebessége (km/s)	Nyomószilárdság (MPa)	Kőzetfizikai rugalmassági modulus (GPa)	Poisson tényező (-)	Húzószilárdság (MPa)
1. Fúrás							
1/94	1,60-2,70	2521	5,549	42,92	18,50	0,35	
1/93		2465	4,455				3,64
1/96	2,70-3,70	2404	5,391	13,29			
1/95		2411	6,220				2,38
1/92	3,70-4,70	2568	6,411	34,53	28,83	0,20	
1/91		2597	6,771				5,64
1/90	4,70-5,80	2506	5,660	36,75	21,58	0,21	
1/89		2453	5,487				3,11
1/88	5,80-6,60	2584	5,799	30,66	38,91	0,23	
1/87		2485	6,364				3,72
7/86	7,70-9,15	2474	4,925	27,46	17,35	0,26	
1/85		2358	5,040				3,76
1/84	9,15-10,45	2452	5,310	5,45	3,11		
1/83		2455	5,452				4,54
1/82	10,45-14,3	2490	4,265	25,4			
1/81		2528	4,795				4,64
2. Fúrás							
2/98	1,60-2,70	2412	4,790	27,64	11,12	0,14	
2/97		2428	4,423				3,33
2/100	2,70-3,70	2514	5,778	48,92	60,24	0,22	
2/99		2462	5,806				4,85
2/102	3,70-4,70	2514	5,980	28,83	16,16	0,36	
2/101		2494	4,617				4,64
1/104	4,70-5,80	2482	6,061	34,26	25,49	0,24	
2/103		2494	6,196				4,71

2. táblázat. Fúrási adatsorok (az 1. fúrásban a piros vonal a fúrásszelvényben feltüntetett és a kőzetfizikai jellemzőkön is észrevehető anyaghatárt jelöli)

2.5.2. A kőzetfizikai paraméterek összevetése

A Labirintusból származó minták kőzetfizikai paraméterei között nincs nagy eltérés, de ehhez képest a két fúrásból származó minták jelentősen különböző értékeket mutatnak. A természetes víztartalmi állapotukban vizsgált próbatestek nyomó- és húzószilárdsága kisebbre, rugalmassági modulusa sokkal nagyobbra adódott, mint az L-jelű mintáké. A testsűrűségben, ultrahang terjedési sebességben a két adatsorozat hasonló eredményeket ad.

2.5.3. A földtani szelvény összeállítása

A fúrásszelvényeket, a szentháromság-téri kürtő szelvényét, és a közművezeték-fektetés miatt készített fúrások eredményeit összevetve megalkotható a barlang környékének közelítő földtani szelvénye. A geológus és mérnöki leírás összevetésével sikerült hasonló rétegeket elkülöníteni. Így kirajzolódott a rétegsor, mely a feltöltés alatti mészkövet három különböző részre osztja: a középső, tömör, kevésbé tagolt mészkőréteget gyengébb, porózus, töredezett rétegek fogják közre. Az édesvízi mészkő fekszik a fúrás tapasztalatait a Hajnal által készített szelvénnel összevetve (Hajnal 2003) márgát feltételeztem. E leírt rétegződést a helyszíni bejárás megfigyelt viszonyokkal összevetve (az oldalfalakat terméskő burkolat fedi, a fötte viszont tömör kőzet, a talajt pedig beton borítja) extrapoláltam a Mamutfogas-terem környékére. Ebből nyertem a modellezéshez a rétegsort. A szelvény a mellékletben található meg.

3. Modellezés, tervezés

3.1. Szoftver bemutatása

Munkám során a Rocscience szoftvercsomag Phase² és RocLab programját használtam.

A Phase² kétdimenziós végeselemes program, amely földalatti nyílások (üregek, alagutak stb.) és rézsűk feszültségi, elmozdulási jellemzőinek kiszámítására alkalmas. Sokféle geotechnikai, bányászati és építőmérnöki feladat megoldására használható, így például lehet vele kőbe és talajba készült kiemeléseket modellezni több lépésben, rugalmas és képlékeny anyagmodelleket is alkalmazhatunk, egy modellben több anyagot is definiálhatunk. Figyelembe tudja venni a talajvíz hatását, a pórusvíznyomást, a kőzettest repedéseit, tud rézsűállékonyságot számolni, és megadhatunk vele horgonyokat, megtámasztásokat (pl. lőttbeton, beton burkolatokat, cölöpfalat) stb.

A program három modulból épül fel: egy modellező, egy számító és egy a

számítás eredményeit bemutató része van. A modellező („model”) rész segítségével elkészíthetjük és módosíthatjuk a kívánt modellt. Az alapvető beállítások között megadhatjuk a feladat számításával kapcsolatos legfontosabb adatokat, így a modellezendő építési fázisok számát, talajvíz-adatokat, és a feszültségszámítási és az általános számítási eljárásokat. Ezután beadhatjuk a kívánt geometriát, vagy dxf rajzfájlokból importálhatjuk is. A modellezőben kell elkészíteni a végelemekre való felosztást és a peremfeltétel-beállítást. Itt adhatjuk be az anyagjellemzőket, különböző vonalelemeket, megtámasztásokat készíthetünk, repedéseket és repedéshálózatokat, valamint vonalmenti és felületi megoszló terheket és földrengésterheket is megadhatunk. Itt kell a föld- és víznyomással kapcsolatos beállításokat is elvégezni.

Mikor a modellünk elkészült, a geometria, az anyagjellemzők, a peremfeltételek beállítása és a háló készen van, egy gombnyomással áttérhetünk a számító („compute”) modulra. A program a valós feszültség-alakváltozás számítás mellett biztonsági tényező számítására is alkalmas.

A számítások elvégzése után a modulablak bezárja magát. A kapott eredményeket a harmadik modul megnyitásával hívhatjuk elő. Ez a modul („interpret”) különféle eredmények bemutatását hivatott szolgálni. A hagyományos feszültségi és elmozdulási mezők felrajzolása mellett nagyon hasznos a szilárdsági faktor funkció, ami a közettest kihasználtságát mutatja meg annak minden egyes pontjában. A bemutatás nagyon látványos színskálák segítségével történik, de kérhető az eredmények ábrázolása nyilak, trajektóriák vagy éppen diagramok segítségével is. Ebből a modulból könnyen és közérthető formában lehet előhívni az eredményeket. Hogy éppen mit akarunk megmutatni, az oly mértékben ránk van bízva, hogy például a hálót, terheket, megtámasztásokat is lehet ki-be kapcsolni.

A Phase² bemutató moduljának egy hasznos funkciója, hogy az anyag szilárdságának és a keletkező feszültségnek arányát is ábrázoltathatjuk vele a felvett szelvényben. Ez a „strenght factor”, teherbírási tényező tulajdonképpen minden pontban megadja az ott lévő anyag kihasználtságát. Ha ez az érték egy pontban egynél kisebb, akkor a feszültségek ott meghaladják a teherbírást (Phase² Help).

A RocLab az általánosított Hoek-Brown törési feltétel alapján határozza meg a közet szilárdsági paramétereit. A bemenő adatok: a próbatestek nyomószilárdsága és rugalmassági modulusa, a Geológiai Szilárdsági Index (GSI), egy közettípustól függő állandó (mi), és az építés során jelentkező zavarás mértékétől függő tényező

(D). A program ezután kiszámolja a kőzettest szilárdsági adatait, megrajzolja a tönkremeneteli határgörbét, és ehhez kapcsolódóan meghatározza a Mohr-Coulomb törési feltételhez tartozó kohéziót és belső súrlódási szöget. Figyelembe lehet azt is venni, hogy a kőzet lejtőn vagy alagútban van-e. Így módon a program képes megalkotni a bemenő adatokból a kőzet modelljét. Ezt a segédprogramot a Phase mellett használva egyszerűbbé válik az anyagjellemzők megadása (RocLab User's Guide).

3.2. Modellezés a Phase²-vel

A modellek felépítése gondolatban már a helyszíni bejárások alkalmával elkezdődött. Ekkor vettük fel a szükséges geometriai adatokat, metszeteket rajzoltunk, és feljegyeztük a repedések adatait. Munkánkat a teljességre törekvés jellemezte, de nem álltak rendelkezésünkre olyan eszközök, amelyek használata indokolt lenne (pl. geodéziai és geofizikai műszerek). A fentebb bemutatott adatokból nyert közelítő információk azonban elégnak bizonyultak a modellezéshez.

A modellalkotás

A geometriai adatokat a helyszínen készített térkép és metszetek számítógéppel való megrajzolása után az AutoCAD-ből importáltam a modellbe. A jóval nagyobb geometriai eszköztár pontosabb szerkesztést tett lehetővé, mint a Phase² rajzolófelülete. Az anyagok rétegződését a korábban már ismertetett szelvényről vettem át. A repedéseket a helyszíni bejárás alapján rajzoltam meg, ezen felül további repedéseket nem tettem a modellbe, bár feltételezhető, hogy van még az általunk leírtakon kívül is. A nagyobb tágasságú, kavicsos agyaggal kitöltött repedéseket külön anyagréteggént vittem be a modellbe, illetve vizsgáltam repedésként, melynek paramétereit a későbbiekben ismertetett módon vettem fel.

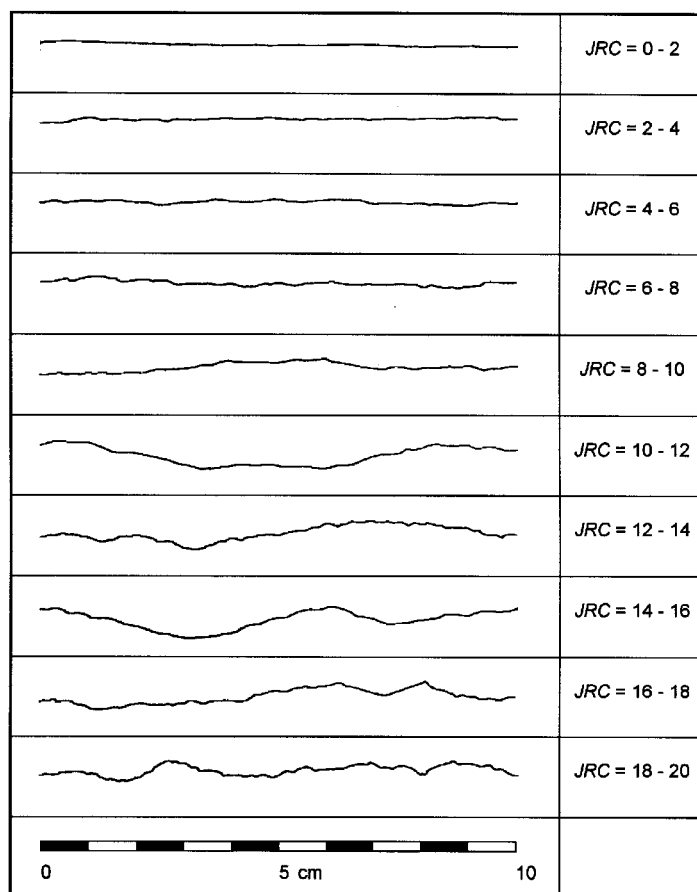
A kőzettestek szilárdsági jellemzőit a korábban ismertetett kőzetfizikai adatok felhasználásával a RocLab segítségével határoztam meg. A hiányzó, de szükséges paramétereket a következők alapján vettem fel:

- a GSI értékét a fúrások tagoltság-jellemzői és a helyszínen megfigyelt repedések alapján számított RMR értékből számítottam ($GSI=RMR-5$),

- az m_i értékét irodalomból vettem fel, mészkőre az $m_i=8,4$ (Hoek et al. 1992),
- a D itt 0, mert nincs építés, tehát ebből fakadó zavarás sem,
- a Phase²-ben még szükség volt a Poisson-tényezőre, amely az L-es mintáknál nem állt rendelkezésre, ezért ehhez irodalmi adatok alapján 0,25-ös értéket vettem fel.

A mészkő mellett a feltöltés, a márga, és az agyag paramétereit is meg kellett adni, ezeket a fúrási és irodalmi adatokból vettem (Görög 2008.).

A repedéseknél a Barton-Bandis elcsúszási kritériumot vettem alapul, mivel jól illeszthető helyszíni megfigyelésekhez és a rendelkezésünkre álló adatokhoz. A JCS értékét a kőzet nyomószilárdságával lehet egyenlőnek venni, a reziduális súrlódási szöget a belső súrlódási szöggel lehet figyelembe venni (Lianyang Zhang, 2005). A JRC értéke a felület profilja alapján vehető fel:



4. ábra. A JRC értékek meghatározása (Barton, Choubey 1977)

A repedéseknél szükséges merevségi paramétereket a kőzettömb és a kőzettest

rugalmassági és nyírási modulusából lehet számítani a következő képletek segítségével:

$$k_n = \frac{E_i E_m}{L(E_i - E_m)} \quad k_s = \frac{G_i G_m}{L(G_i - G_m)}$$

ahol k_n a tagoltság normál- és

k_s a tagoltság nyírási merevsége,

E_i a kőzetminták laborban megállapított rugalmassági modulusa,

E_m a kőzettest rugalmassági modulusa,

L a repedések közti távolság,

G_i a kőzetminták laborban megállapított nyírási modulusa,

G_m a kőzettest nyírási modulusa (Phase 2 Help).

Az E_m értékeket a RocLab programból vettem ki, a G_i és G_m értékeit a rugalmassági modulusából és a Poisson-tényezőből szilárdságtani alapösszefüggéssel számoltam.



9. kép. 1 cm tágasságú repedés



10. kép. Kitöltött repedés

Ezek az összefüggések csak akkor alkalmazhatóak, ha a repedésekben nincsen kitöltő anyag. A helyszínen megfigyelt tagoltságoknak azonban ez csak egy részére igaz, a többi nagyobb tágasságú és kavicsos agyaggal kitöltött. Ezeket kétféle módon vettem figyelembe:

1. Először a kitöltött repedéseket külön anyagréteggént tettem bele a modellbe. Itt tehát nem repedésként, hanem agyagcsíkokként lettek figyelembe véve.
2. A második vizsgálatsorozathoz minden tagoltságot repedésként (joint) építettem be a modellbe. A kitöltött repedéseknél a Mohr-Coulomb elcsúszási feltételt használtam, a szükséges szilárdsági paramétereket irodalmi adatokból vettem fel (Barton et al. 1974.).

A merevségi értékeket a következő képletekkel számítottam:

$$k_n = \frac{E_0}{h} \quad k_s = \frac{G_0}{h}$$

ahol E_0 a kitöltő anyag rugalmassági-,

G_0 a kitöltő anyag nyírási modulusa,

h a kitöltés vastagsága.

Felszíni terhet ott alkalmaztam, ahol a Várhegyről készült térkép alapján épület van, értékét 200 kN/m-re vettem. A legveszélyesebb felszíni terhet, a dinamikus terhelést a program nem tudja külön figyelembe venni, ezért a járműterhet az úttesti szakaszon egy 100 kN/m-es megoszló teherrel modelleztem (amit a valós adatok dinamikus hatás miatti növelésével kaptam).

A betonalj vastagságát 20 cm-re vettem fel, a megerősítések paramétereit az anyagok szokványos értékeivel adtam meg.

Számítás

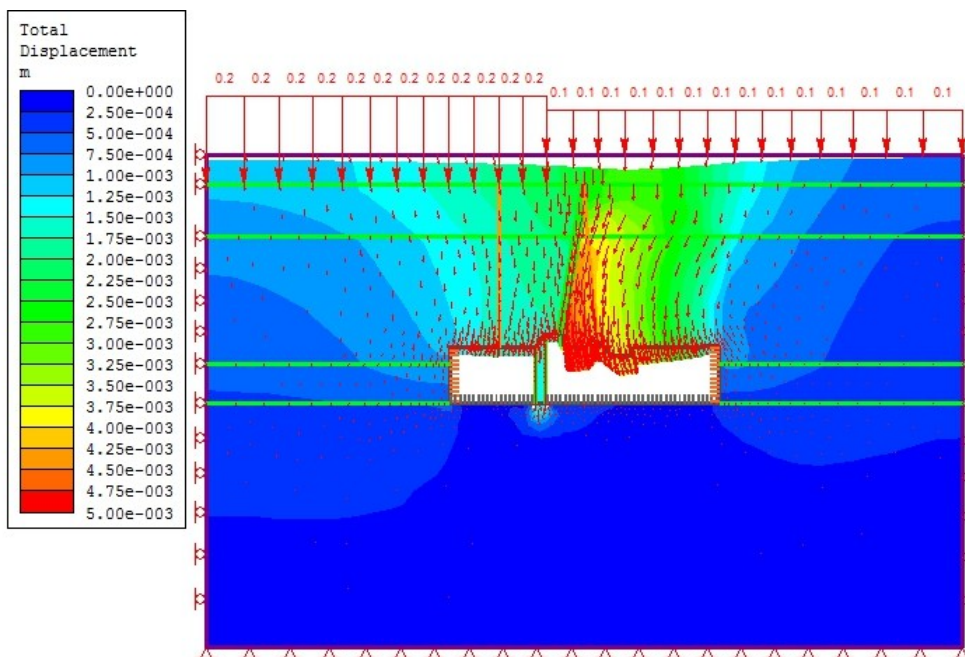
A szükséges paraméterek megadása után következett a számítás. A számításhoz a mészke adatsorokból választottam ki a mértékadó eseteket – az L-1 mintacsoportból – ami összességében a legmagasabb közetfizikai paraméterekkel rendelkezik – a telített adatsort vizsgáltam, az L-3 mintacsoportból átlagos esetként vizsgáltam a légszáraz állapotot, az L-4-esből pedig a páratelített, mint legkisebb

értékekkel rendelkező adatsort (későbbiekben L-1, L-3, L-4 néven hivatkozom rá). Száritott állapotú eredményeket nem használtam fel, ez ugyanis elég kis valószínűséggel fordul elő. Emellett a fúrásokból vett minták eredményeivel is végeztem vizsgálatot (F1 és F2 valamint a kettő átlagából kapott F1+F2 nevű anyagmodellek. Az F1 fúrásból csak a nem töredezett szakasról vett értékeket vettem figyelembe – piros vonal feletti rész). A feltöltés, töredezett mészkő és márga paramétereit változatlanul hagytam minden esetben. A többféle anyagmodell mellett külön vizsgálatokat jelentett a kitöltött repedések két különböző módon történő figyelembevétele (lsd. fentebb), a főte oldásformáinak gyengítéssel való figyelembevétele és a felszíni munkagödör kiemelésének vizsgálata. A valós számítások mellett a biztonsági tényező vizsgálatát is elvégeztem a programmal.

Eredmények

Kezdeti vizsgálatok

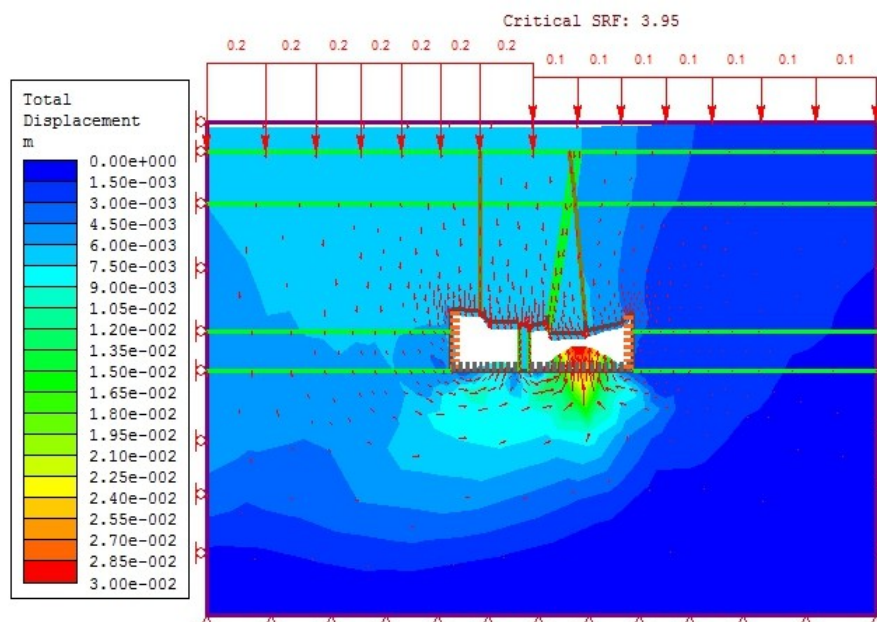
Az első futtatás-sorozat a hat anyagmodell három metszetben (AA, BB és CC) történő vizsgálata volt. Ebben a számításban a kitöltött repedéseket külön rétegeként vittem be a modellbe. A legnagyobb elmozdulások 1,3-6,4 mm között mozogtak, minden alkalommal a repedések által közrefogott köztömb akart kicsúszni. Ezek az elmozdulás-értékek kicsinek mondhatók, ám figyelembe véve a tönkremenetel



5. ábra. AA metszet elmozdulásábrája (max: 4,9 mm, L-1 anyagmodell)

helyét és a helyszíni adottságokat, előfordulhat, hogy a tömbnek ilyen mértékű elmozdulása az oldásformák komolyabb károsodáshoz, kisebb kőzettömbök kihullásához vezethet. Az elmozdulások átlagosan a BB metszetben voltak a legkisebbek, míg a legnagyobb átlagot a CC metszet vizsgálatánál kaptam.

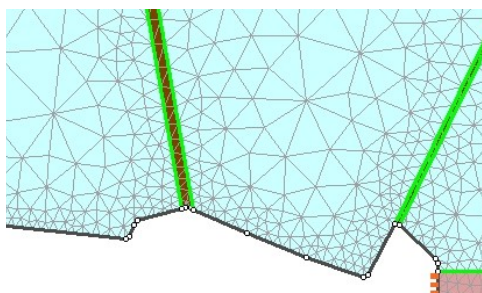
A vizsgált modellekre biztonsági számításokat is végeztem. Itt jegyezném meg, hogy a program a biztonság számításához használt redukciós módszert nem tudta alkalmazni a repedéseknél megadott Barton-Bandis elcsúszási kritérium paramétereire. A számítás során a Phase² fokozatosan csökkentette az anyagi paramétereket, de a repedéseknél megadott értékeket nem változtatta, így a tönkremenetelek legtöbbször nem is a tagoltságok mentén adódtak. A programnak ez a hiányossága kiküszöbölhető lett volna Mohr-Coulomb elcsúszási feltétel alkalmazásával. Az ehhez szükséges paraméterek felvételére azonban csak irodalmi adatok alapján nyílt lehetőségem. Az így készített próbafuttatások eredményei azonban a valós vizsgálatoknál is nagyon eltérő eredményt mutattak, így megmaradtam a tényleges állapotokat jobban leíró Barton-Bandis feltételnél. Ez a kompromisszum a biztonság értékét növeli, amelyek így ennél a futtatás-sorozatnál 2,2 és 3,95 közé adódtak. Az AA metszetről a tönkremenetel nagy kiterjedésű lett, az egész főte és az épület alatti tömb is jelentősen elmozdult. A BB metszetről a tönkremenetel a padlóban, a repedések alatti területen adódott, ez az



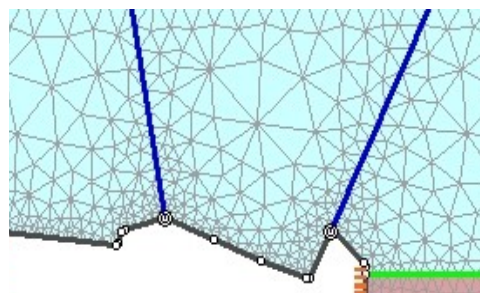
6. ábra. A BB metszet biztonsága és ahhoz tartozó tönkremenetel (L-3 anyagmodell)

eredmény egyáltalán nem reális, és mivel a fekü anyagát csak feltételeztük, nem vonhatunk le ebből komoly következtetéseket. A CC metszetben a kitöltött repedések mentén történt elnyíródás, a trapéz alakú közettömb csúszott el, emellett a padló szenvedett nagyobb alakváltozásokat.

Kitöltött repedések repedésként való vizsgálata (joint)

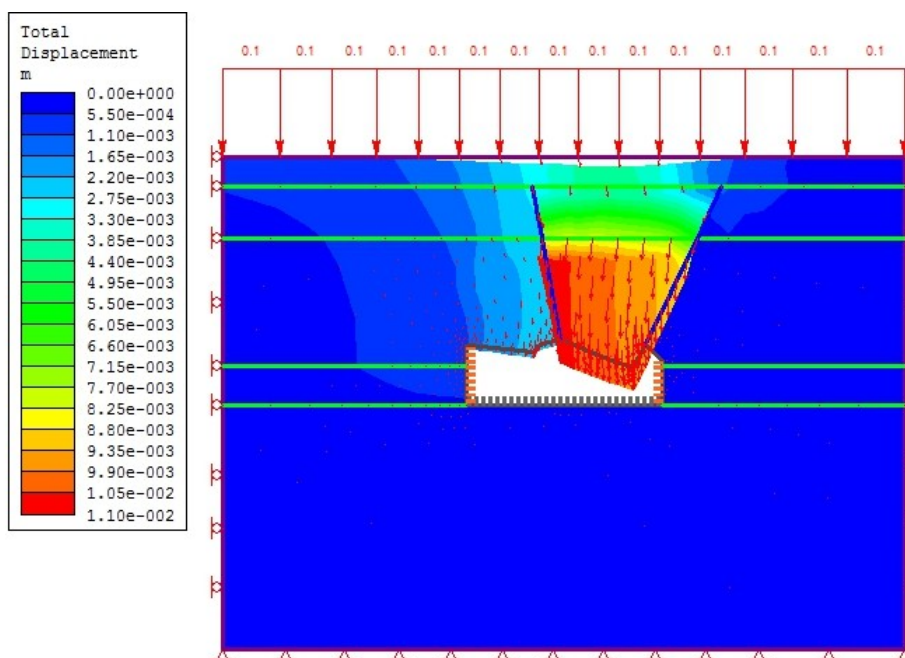


7. ábra. Kitöltött repedések



8. ábra. Repedésként való vizsgálat

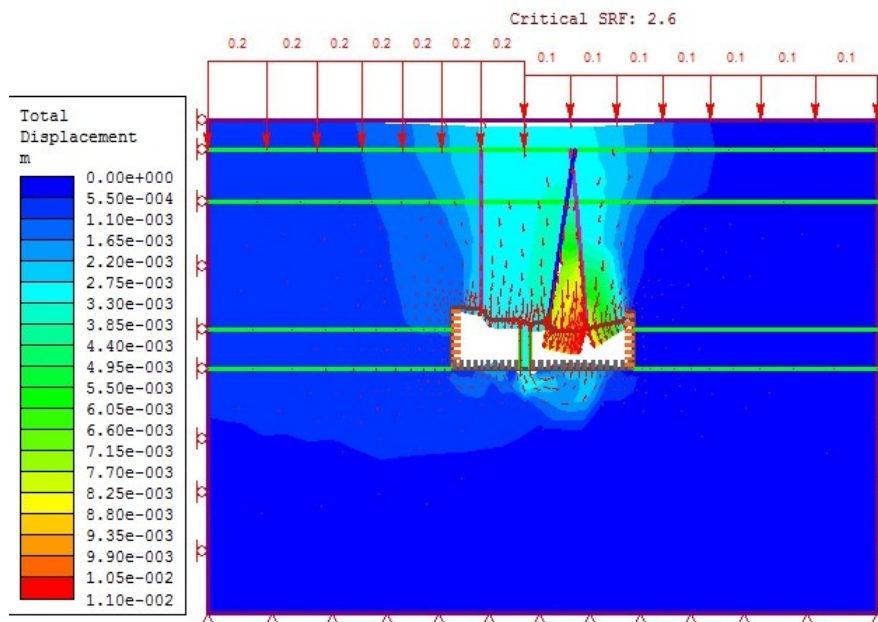
A második sorozatban a kitöltött repedéseket repedés-elem segítségével modelleztem, a tönkremeneteli paramétereket a helyszínen megfigyelt anyag alapján irodalmi adatok segítségével vettem fel. Az elmozdulás értékek jelentősen



9. ábra. CC metszet elmozdulásábrája (max: 10,7 mm, F2 anyagmodell)

növekedtek, 2,9-13,8 mm közöttire adódtak. A tendenciák az előző vizsgálattal megegyezően alakultak: a legnagyobb átlagos elmozdulást a CC metszetről, a legkisebbet a BB-nél kaptam. A legnagyobb mozgások itt is a repedésekkel közrefogott tömbök kicsúszásából adódtak, tagoltság menti elnyíródással.

A biztonsági értékek nem változtak jelentősen, értékük 2,39 és 4,84 közé adódott. A tönkremenetek változatos formákat mutattak: az AA metszetben kiterjedt területet érintett, egyes anyagmodelleknél a padlóban, illetve a közrefogott kötémbnél voltak komolyabb elmozdulások. A BB és CC metszetben általában a padló ment szét, de a BB-nél L-4-es anyagmodellben a repedések határolta tömb elmozdulás okozott tönkremenetet (ez az eltérés a biztonságokban is látszik, ez a modell jóval alatta marad a metszet többi vizsgálatból kapott biztonság-értékeknek).



10. ábra. A BB metszet biztonsága és a hozzá tartozó tönkremeneteli ábra (L-4 anyagmodell)

Ennél a vizsgálatsorozathoz alkalmam nyílt a biztonsági számítás repedés-redukciójának hatását vizsgálni, a CC metszetben ugyanis csak kitöltött repedések jelennek meg, melyek paramétereit irodalmi adatok segítségével vettük fel. Itt az elcsúszási kritérium a Mohr-Coulomb-féle, így készítettem egy biztonsági futtatást a repedések redukciójával és annak figyelembevétele nélkül is. Egyértelmű tendenciát nem mutattak a kapott eredmények, átlagosan viszont elmondható, hogy a biztonságok 0,5-tel csökkentek.

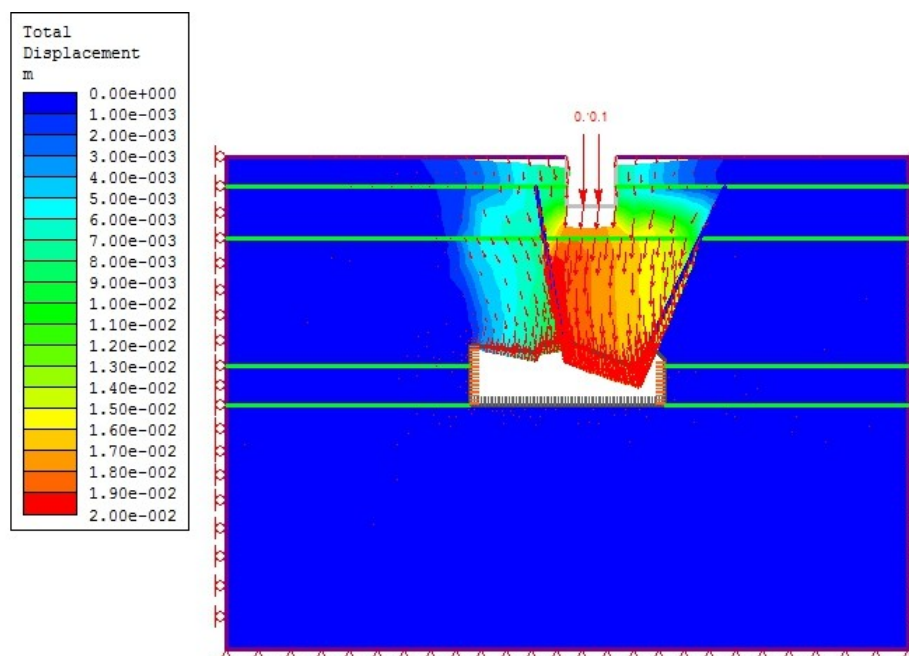
Látható, hogy a repedéseknek komoly szerepük van a tönkremenetel alakulásában, különféle figyelembevételük pedig nagy eltéréseket eredményezhet. A továbbiakban emiatt célszerű lenne a repedések vizsgálatára még nagyobb figyelmet fordítani.

Munkagödör kiemelés

A felszínen kedvezőtlen helyen elhelyezett 2x2 méteres és 2x4 méteres munkagödör kiemelésével és a munkagödörben elhelyezett két 100 kN-os koncentrált teher elhelyezésével modelleztem az esetleges közműmunkálatokat. A 2x4-es egy nem valós, szélső helyzetet modellez. Itt már nem vizsgáltam az össze anyagmodellt, az AA metszet F1+F2 anyagmodelljét vizsgáltam kétféle repedés felvétellel, a CC-ből pedig az F1-et.

A 2x2-es esetben az elmozdulások 5,0 és 19,6 mm közé, a biztonságok 2,62 és 3,46 közé adódtak, a legnagyobb elmozdulás helye és a tönkremenetel oka többnyire a tagoltságok által kimetszett rész lecsúszása volt (kivéve az AA egyik biztonsági számításakor, ami az egész üreg feletti rész tönkremenetelét adta).

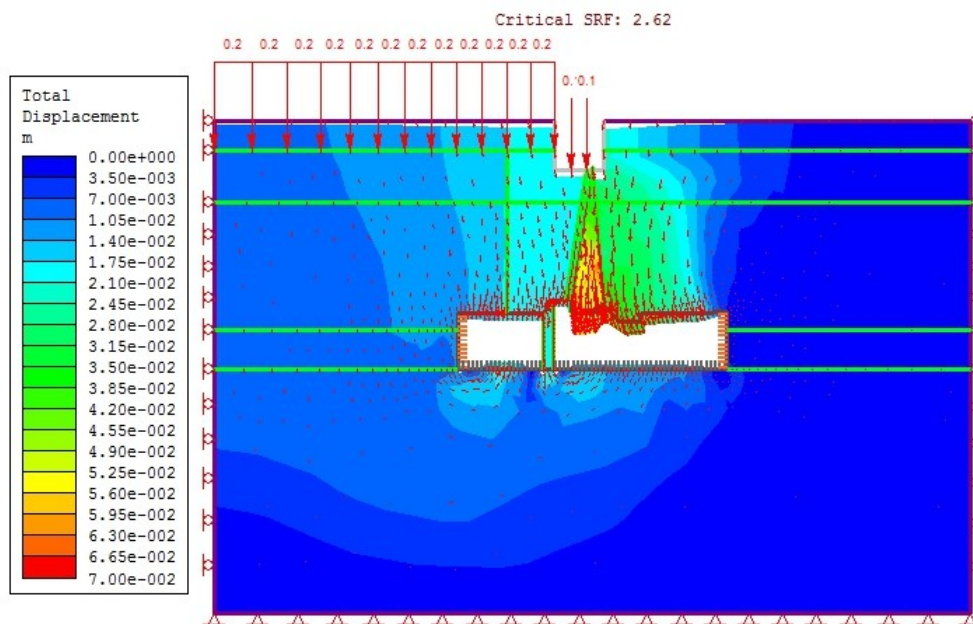
A 2x4-es sorozatnál az elmozdulások maximális értékei 5,8-19 mm-re, a biztonságok 2,33-3,5 közöttre jöttek ki. A legnagyobb elmozdulások és



11. ábra. CC metszet munkagödör kiemelés esetén (max elmozdulás: 19,6 mm, F1 anyagmodell)

tönkremenetelek hasonlóképpen alakultak, mint az előző esetben, azzal az eltéréssel, hogy a CC-ben a bal oldali repedés bal oldalán is történtek nagyobb elmozdulások.

Általánosan elmondható, hogy az elmozdulások már önmagukban is jelentős mértékűre növekedtek, a biztonságok pedig csökkentek. A munkagödör kiemelés szemléletből sejtett káros hatását tehát a számítások is igazolták. Az is nagyon fontos körülmény, hogy a munkagödört milyen eszközökkel fejtik, hiszen éppen egy közműépítés során hasadt végig a Mamutfogas-terem főtéje.

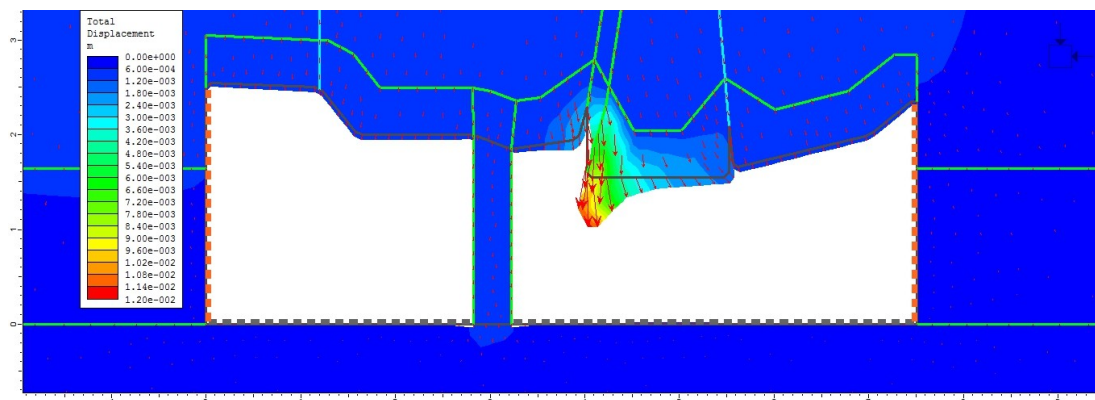


12. ábra. Az AA metszet tönkremenetele munkagödörrel (F1+F2 anyagmodell)

Főtegyengítés figyelembevétele

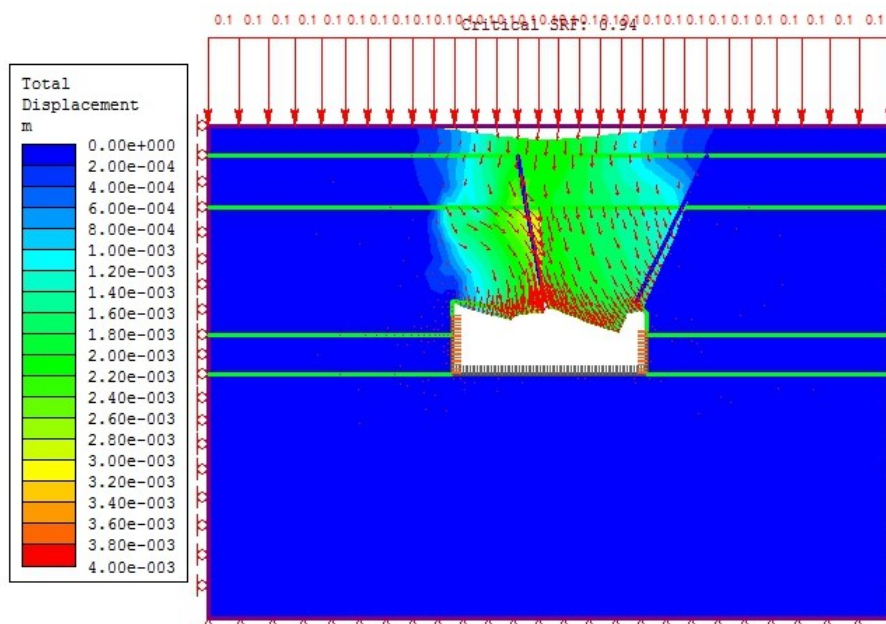
Az oldásformák jelenlétét a főte gyengítésével próbáltam modellezni. Ennél a sorozatnál a BB metszet F2-es modelljét és a CC L3-asát vizsgáltam mindkét repedésvizsgálat móddal. Első lépésben a főtet egy méteres szakaszon gyengébb anyaggal vettem figyelembe (az adott anyagok paramétereinek a felét vettem fel, illetve a GSI-t 30-ra vettem), majd másodszorra kivettem az egész gyengített anyagot, azt feltételezve, hogy a teherviselésben nincsen szerepe. Az eredmények rendkívül változatosra adódtak, ez is jelzi, hogy itt voltaképpen csak találgatásról van szó. Az elmozdulások 1,9 és 11,8 mm közötti értékek lettek, a biztonságok 0,42 és 3,05 közé adódtak. A legnagyobb elmozdulások a repedések közötti tömb elmozdulásából adódtak, kivéve az AA sima (kitöltött repedéseket rétegeként

figyelembe vevő) vizsgálatánál: itt a gyengített főtéből kiesett egy tömb, a kifejtett esetben pedig az egész üreg feletti rész megmozdult. A biztonsági számításoknál a tönkremenetel többnyire a padlóban volt, de előfordultak általános elmozdulást, illetve tömbkicsúszást eredményező esetek.



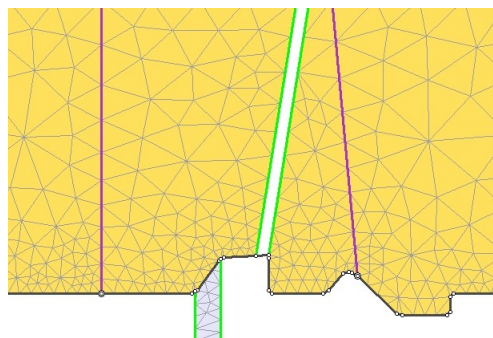
13. ábra. Kisebb tömb kihullása gyengített főtéből (BB metszet, F2 anyagmodell)

Ennek a számítás sorozatnak az a tanulsága, hogy a főte figyelembevételénél igen is figyelmet kell szentelni az oldásformák jelenlétének. Ezt a legegyszerűbben pontosabb geometria segítségével lehetne megtenni.



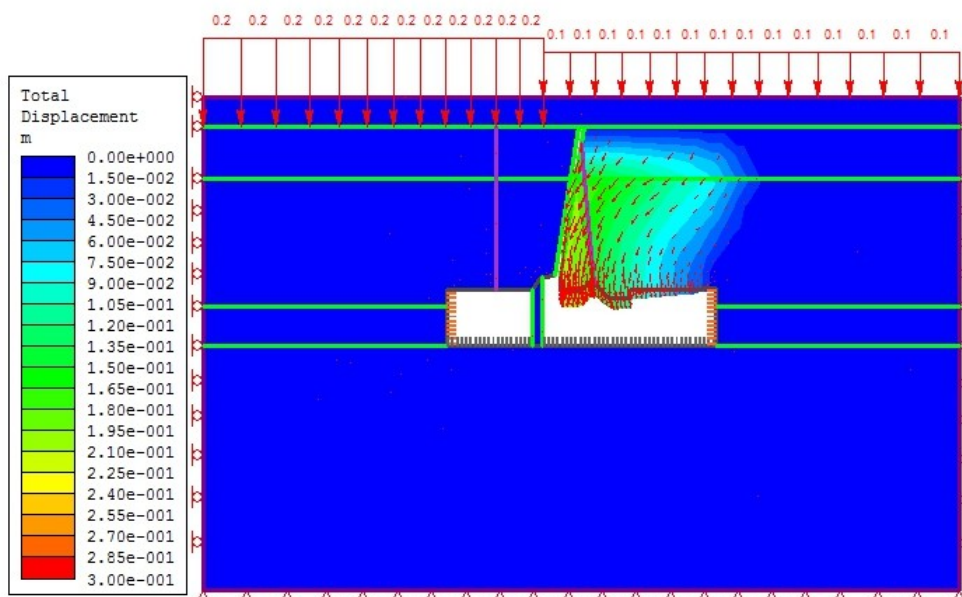
14. ábra. Oldásformák "kifejtésével" kapott biztonság és tönkremeneteli ábra (CC metszet, L-3 anyagmodell)

Kimosás vizsgálata



15. ábra. Kitöltött repedés
kimosódás után

Az utolsó futtatás-sorozat a vizsgálatok során leggyengébbnek adódott L4-es anyagmodellel készült mindhárom metszetben. Itt a repedésekből kivettem az agyagot, azt az esetet feltételezve, hogy a barlangba bejutó víz kimossa ezt a gyenge anyagot. Az elmozdulások: AA: 21,3 cm, BB: 3,6 cm, CC: 20,7 cm. Ezek rendre a repedések közötti tömbön jelentkeztek. A biztonsági számításokból egyedül a CC metszeté vezetett eredményre: itt a közrefogott tömb kiesése mellett 0,13 a biztonság. A másik két metszetben a biztonság olyan kicsiny, hogy nem tudunk a



16. ábra. Kimosódás hatása AA metszetben (max elmozdulás: 21,3 cm, L-4 anyagmodell)

számításból értelmes eredményeket megkapni. Az így számított értékek nagyságrendileg térnek el az eddigiektől. A tökéletes kimosódásnak ez az esete nyilvánvalóan fikció, ám az eredmények okot adnak az elgondolkodásra.

Eredmények összesítése

A sok futtatás során anyagmodellből az L-4-es bizonyult a leggyengébbnek. Egyértelműen legerősebb nincs, általában az L-3, az F2 és az F1+F2 adta a legnagyobb biztonságokat és a legkisebb elmozdulásokat. A többi modell átlagosnak mondható.

A repedések kétféle vizsgálata rávilágít a tagoltságok nagy jelentőségére. Pontosabb modellezésre és ezáltal pontosabb eredmények számítására úgy lenne mód, ha a kitöltő anyagok talajmechanikai vizsgálatnak vetnénk alá, illetve a tagoltságok menti nyírószilárdságot laborvizsgálatok segítségével jellemeznénk.

Munkagödör kiemelésekor figyelembe kell venni a felhasznált szerszámokat, a nem megfelelő gondosságú kivitelezés és eszközhasználat ugyanis veszélybe sodorhatja nemcsak a barlangot, de még a felszínen dolgozó munkásokat és az épületeket is.

Az oldásformák jelenléte miatti speciális körülményeket nem szabad figyelmen kívül hagyni. A különféle futtatások során nagy elmozdulásokat és kritikus biztonsági értékeket kaptam, ami felhívja a figyelmet erre a területre. Az oldásformák nagyon érzékenyek, a repedések lokális problémákat, tömbkihullásokat is eredményezhetnek, ami a barlang állékonysága szempontjából ugyan nem számottevő, de annál nagyobb probléma, ha ez a tömb például ráesik valakire, és a barlang geológiai értékeit pusztítja.

A kimosódásvizsgálat során kapott azonnali tönkremenetek azt jelzik, hogy a víz komoly veszélyt jelenthet az üreg állékonyságára. A megfigyelt kitöltő anyagokat szemrevételezéssel agyagnak vettük, de már akkor kiderült, hogy egy lazább, nem annyira vízzáró rétegről van szó, tehát a kimosódás igenis valós veszély, még ha nem is ilyen mértékben.

Alkalmazott anyagmodellek			L1-telített	L3-légszáraz	L4-páratelített	F1	F2	F1+F2
AA-metszet	sima	elmozdulás	4,9	4,5	6,4	5,2	4,3	5,1
		biztonság	2,74	2,69	2,28	2,7	2,75	2,61
	repedés	elmozdulás	8,2	6,9	9,5	7,9	7,5	8,0
		biztonság	2,7	2,74	2,39	2,75	2,69	2,75
	főtegyengítés, munkagödör sima	elmozdulás					munkagödör(2/4):	5 5,8
		biztonság						2,62 2,33
	főtegyengítés, munkagödör rep.	elmozdulás						9,9 9,5
		biztonság						2,62 2,61
BB-metszet	sima	elmozdulás	1,8	1,7	2,4	1,4	1,3	1,3
		biztonság	3,90	3,95	3,87	3,86	3,92	3,88
	repedés	elmozdulás	3,3	4,3	2,9	3,5	2,5	3,6
		biztonság	4,59	4,84	2,60	3,80	4,61	4,60
	főtegyengítés, munkagödör sima	elmozdulás				főtegyengítés:	11,30 1,90	
		biztonság					3,05 0,56	
	főtegyengítés, munkagödör rep.	elmozdulás					3,6 3,6	
		biztonság					2,88 2,71	
CC-metszet	sima	elmozdulás	5,7	5,5	5,7	5,3	5,3	5,3
		biztonság	3,51	3,66	2,2	3,54	3,47	3,45
	repedés	elmozdulás	11,1	10,6	13,8	10,9	10,7	10,7
		biztonság	3,05	3,10	3,05	2,97	2,99	3,06
		biztonság (SSR)	3,06	3,09	2,14	2,20	3,03	1,14
	főtegyengítés, munkagödör sima	elmozdulás	főtegyengítés:	7,2 5,2	munkagödör(2/4):	6,1 6,1		
		biztonság		2,84 0,97		2,73 2,6		
	főtegyengítés, munkagödör rep.	elmozdulás		11,8 15,0		19,6 19		
		biztonság		2,85 0,94		3,46 3,5		

3. táblázat. Futtatási eredmények (az elmozdulások mm-ben értendők)

4. Összefoglalás, értékelés

A Mamutfogas-terem a Nagy Labirintus egyik legérdekesebb és legveszélyeztetettebb terme, ennek vizsgálatával foglalkoztam jelen munkámban. A természetes keletkezésű, oldásformákkal gazdagon díszített főtájú barlangot már többször megerősítették, de az emberi gondatlanság újabb és újabb problémákat eredményezett az üreg állékonyságában. Az irodalmi adatok minél szélesebb körű vizsgálatával és a helyszíni bejárások és mérések tapasztalatait alapul véve egy olyan modellezés elkészítésére törekedtem, amely tudományos alapokra helyezi a megerősítések tervezésének előkészítő munkálatait, valamint választ ad a barlanggal kapcsolatban felmerült állékonysági kérdésekre.

A helyszínen geometriai felmérést végeztünk, illetve megvizsgáltuk a tagoltságok helyzetét és állapotát. A szakvéleményekben fellelhető közetfizikai paramétereket irodalmi adatokkal kiegészítve modellezésre alkalmas szelvényt és anyagmodellt készítettem. Ezután különböző hatások és modellezési lehetőségek segítségével összesen 58 futtatást végeztem a Phase² vége-selemes programmal. Figyelembe vettem kétféle repedésvizsgálati módszert, a főtén lévő oldásformák hatását, felszíni munkagödör kiemelését és a tagoltságkitöltő anyagok kimosódását.

A modellezés általános eredménye szerint, ha mindenféle veszélyeztető és zavaró hatást kizárunk és nem vesszük figyelembe az oldásformák jelenlétét, akkor az üreg globálisan állékony, a kapott kis elmozdulások csak lokális gondokat okozhatnak. Ezeket azonban nem szabad lebecsülni: egy kisebb tömb kiesése is pótolhatatlan kár ebben a páratlan geológiai képződményben. Különböző állékonyságot befolyásoló szempontokat is megvizsgálva az üreg biztonsága már nem ilyen egyértelmű. A pontosabb képalkotáshoz részletes geometriai felmérésre, a repedéshálózat alapos vizsgálatára (esetleg geofizikai módszerekkel való felderítésére), a kitöltő anyagok talajmechanikai értékelésére lenne szükség. Ezen kívül érdekes lenne megvizsgálni, hogy honnan és milyen úton jut víz a terembe, mert ez is befolyásolhatja az állékonyságot.

Figyelemreméltó, hogy közelítő modellezést a már rendelkezésre álló és a helyszínen hagyományos módszerekkel gyűjtött adatok alapján is lehet készíteni. Ennek ellenére a tudományos szempontokat figyelmen kívül hagyva készültek és készülnek a megerősítő szerkezetek. Sajnálatos, hogy a Nagy Labirintus és a

budavári barlangok inkább megoldandó problémát jelentenek, mintsem megőrizendő értéket. A közetfizikai, geológiai viszonyokat figyelmen kívül hagyó megerősítési próbálkozások is ezt a szemléletet tükrözik. A barlangok szerepének ártértékelése elvezethetne a megfelelő és tudományosan is megalapozott értékmentéshez. A természet és eleink csodálatos kincset hagytak ránk a Vár alatt, már csak rajtunk áll, hogy valóban így tekintünk-e rá.



11. kép. Oldásformák a Mamutfogas-teremben

5. Köszönetnyilvánítás

Munkám elvégzése során nagy segítséget kaptam konzulenseimtől, Dr. Görög Pétertől és Dr. Hajnal Gézától. Rajtuk kívül köszönöm Rády Gábornak és Kovács Richárdnak, hogy lehetővé tették a barlang többszöri bejárását. A Szentháromság téri fúrás szakvélemény felhasználásához nyújtott segítségével hálával gondolok Dr. Gálos Miklósról és Emszt Gyulára.

6. Irodalom

6.1. Felhasznált irodalom

BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. Rock. Engng. 7:183-236.

BARTON, N., CHOUBEY, V. (1977): The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech. 10(1-2), 1-54.

CHOLNOKY J. (1936): A budai várhegyi barlangok. Barlangvilág, 6. 12., 10-18.

DÉNES GY. (1975): A budai Várhegy forrásmészke takarójának kiterjedése déli irányban. MKBT, előadás. Kézirat.

HAJNAL G. (1997): Talajmechanikai szakvélemény az I. ker. Lovas úti mélygarázs kiviteli tervéhez. FŐMTERV Rt. (31.91.191)

HAJNAL G. (2003): A budai Várhegy hidrogeológiája. Akadémiai Kiadó, Budapest.129.

HORUSITZKY H. (1939): Budapest Duna – jobbparti részének geológiai viszonyai. Hidrológiai Közöny, 18 (1938), 404.

GÁLOS M. – VÁSÁRHELYI B. (2006): Közettegek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban. Műszaki Egyetemi Kiadó, Budapest. 144.

KADIČ, O. (1933): Beszámoló a várbeli pincebarlangok kutatásáról. Barlangvilág, 3 (1), 14-20.

KADIČ, O. (1942): A budavári barlangpincék, a várhegyi barlang és a Barlangtani Gyűjtemény ismertetése. Barlangvilág, 12 (3-4), 49-75.

KEREKES J. (1940): A budavári barlangpincék. Természettudományi közöny, 72, 129-133.

KÉZ A. (1993): A budai Várhegy teraszkaicsa. Földrajzi Közlemények, 61, 266-268.

KORDOS L. (1969): A budai Várhegy és a Várbarlang földtani viszonyai. Karszt és Barlang.,1969 (2), 47-50.

KROLOPP E. et al. (1976): A budai Várhegy negyedkori képződményei. Földtani Közöny, 106 (3), 198-228.

LÁNG S. (1958): Karsztjelenségek. Budapest természeti képe. Akadémiai Kiadó, Budapest, 744.

LIANYANG ZHANG (2005): Engineering properties of rocks. Elsevier Ltd, Oxford, 525.

MORAN F. (1970): Óskori kemping a Várhegyen. Delta, 4. évf., 9-11.

SCHEUER GY. (1986): A budai Vár-barlang geológiai vizsgálata, geológiai állapotfelvétel. Kézirat, Bp., 67.

SZONTAGH T. (1908): A budai várhegyi Alagút hidrogeológiai viszonyai – Jelentés a Várhegyi Alagút vizesedésének okairól. Bp., 7.

TÖRÖK Á. et al. (1998): A Gerecse és a Budai hegység édesvízi mészkő összleteinek komplex földtani vizsgálata. Ifjúsági OTKA jelentés, 71.

WEIN GY. (1974): A Budai-hegység tektonikája. Földrajzi Közlemények, 22 (2), 97-111.

6.2. Tervek, szakvélemények

BME:

Szakértői értékelés a Labirintusban (Budapest, Várhegy) előforduló forrásvízi mészkövek kőzetfizikai, kőzetmechanikai tulajdonságairól (204.008/1994-b) Résztvevő szakértők: KLEB B., GÁLOS M., MAREK I., TÖRÖK Á.

Szakértői értékelés a Budavári Nagyboldogasszony (Mátyás) templom rekonstrukciós munkáihoz készített fúrások magmintáinak talaj- és kőzetmechanikai vizsgálatairól (32898-003-MG-041/2006) Résztvevő szakértők: GÁLOS M., VÁSÁRHELYI B., EMSZT GY., ÁRPÁS E.

FŐMTERV:

Vízivárosi támfalak, 1965

Tanulmány a csatornahálózat állapotáról, 1993

6.3. Programismertető

Phase² 7.0 Help

RocLab Uses's Guide