

## A BARLANGI ÁLLÉKONYSÁGVIZSGÁLATOK MÓDSZERE ÉS TAPASZTALATAI

Dr. Szunyogh Gábor

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A barlangi állékonyságvizsgálatok egyrészt feltárják a balesetveszélyes területeket, megadják a veszélyelhárításhoz szükséges intézkedéseket, és megalapozzák a barlangokat felügyelő szervek jogi védelmét előre nem látható balesetek esetére. A veszély elhárítási tevékenység az állékonysági vizsgálattal kezdődik, mely magába foglalja a veszélyesnek tűnő területek felkutatását és térképi ábrázolását, a tényleges veszély fennállásának bizonyítását, valamint az omlás várható folyamatának prognosztizálását. A biztosítószerkezetek megtervezése egyedileg kell, hogy történjen, igazodva a tönkremenetelt kiváltó igénybevételekhez. Ha a kőzetmozgások még zajlanak, akkor engedékeny biztosító szerkezeteket kell alkalmazni, ha viszont már állandósultak, akkor merev biztosítási módok (ragasztás, alátámasztás, csavarozás) is szóba jöhetnek. A boltívek összeomlását kulcselemük stabilizálásával, ill. a boltívelemek közötti rés kitöltésével lehet megakadályozni. Ha a főtete megerősítése reálisan nem valósítható meg, akkor az üreget be kell tömedékelni egy, a közlekedést szolgáló járóosztály kiépítésével.*

*A cikkben a szerző beszámol 16 barlangi állékonysági- és biztosítástervezési tapasztalatáról.*

### Bevezetés

A Környezet- és Területfejlesztési Minisztérium Barlangtani Osztályának megbízásából az elmúlt tíz évben számos barlangi állékonysági vizsgálatot és biztosítási tervet készítettem. Minthogy a barlangi biztosítások sok tekintetben eltérnek a földalatti üregek szokásos megerősítési módjától, ezért alább összefoglalom az állékonyságvizsgálatok általam kidolgozott, és több esetben sikerrel alkalmazott módszereit.

### A barlangi biztosítások célja

A barlangi állékonyságvizsgálatok három különféle cél elérését szolgálják. Egyrészt feltárják az élet- és balesetveszélyes területeket a biztonság eléréséhez szükséges intézkedések meghozatala érdekében. Másrészt a természetvédelem (barlangvédelem) érdekében kijelölik a barlangok (vagy képződményeik) pusztulását előidéző veszélyforrásokat, és megadják

azok elhárítási módjait. Az állékonyságvizsgálatok harmadik feladatköre a barlangokat felügyelő szervek jogi védelmének megalapozása.

Az élet és balesetvédelem szempontja nyilvánvaló, külön magyarázatot nem igényel. A barlangvédelem azért emelendő ki, mert az — bizonyos esetekben — az elsődleges céllal ellentétes lehet: az omlásveszély felszámolása nem ritkán a védendő objektum megsemmisülését vonná maga után, ezért a hagyományos (a mélyépítési és bányászati gyakorlatban elfogadott) biztosítási módokat felül kell vizsgálni a barlangvédelem érdekeinek figyelembevételével.

Jogi védelemre azért van szükség, mert a barlangok (akárcsak a sziklafalak, szakadékok stb.) olyan természeti környezetet képeznek, melyek viselkedése előre ki nem védhető balesetekhez (földcsuszamláshoz, omláshoz, lavinákhoz stb.) vezethet. Tökéletes biztonságra csak mesterséges létesítményeknél lehet törekedni. Ilyen körülmények között a barlan-

gok kezelőjének kötelessége megfelelő gondossággal eljárni, és az ésszerűség határain belül mindent elkövetni egy esetleges baleset elhárítása érdekében. A jogi védelem előkészítése alatt tehát olyan intézkedéseket kell érteni, amelyekkel egy-egy barlang felelőse bizonyíthatja, hogy az esetleg bekövetkezett baleset valóban váratlan természeti katasztrófa volt, nem pedig emberi mulasztás vagy hanyagság eredménye. Sajnos Magyarországon e jogi szempontokat nem veszik megfelelően figyelembe: egyrészt nincs kidolgozva megfelelő kettős ellenőrzési rendszer (azaz a barlang kezelőjének és a tőle független felügyeleti szerveknek ellenőrzési rendszere) és nincs megfogalmazva a kötelező gondosság bizonyítását szolgáló naplózási rendszer sem. (Minden egyéb földalatti tevékenységgel kapcsolatban a bányahatóság szigorú naplózási kötelezettségeket ír elő.)

#### A biztosítási munkálatok főbb mozzanatai

A veszély-elhárítási tevékenység az állékonysági vizsgálattal kezdődik, mely magába foglalja a veszélyesnek tűnő területek felkutatását, a tényleges veszély (vagy veszélytelenség) fennállásának bizonyítását, és az omlás várható folyamatának prognosztizálását.

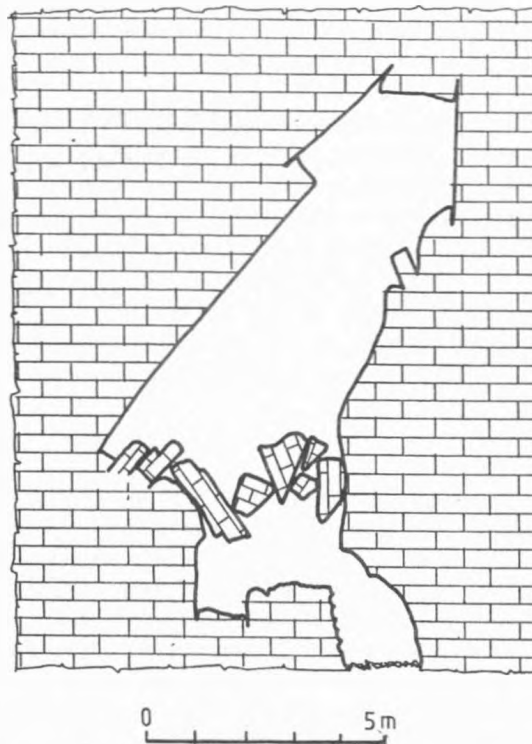
Az állékonysági vizsgálat nyomán megtervezendők a szükséges intézkedések, és azok alapján a biztosítások kivitelezendők.

Végül a tervezéssel egyidejűleg meghatározott gyakoriság szerint ellenőrzendő a biztosítás előírt működése.

#### A barlangi omlásokat kiváltó okok főbb típusai

Omlásveszélyt előidézhethet a korábban egyensúlyban lévő kőzetösszlet mesterséges megbontása (pl. feltárások során). A bontás révén bizonyos kőzetdarabok labilis állapotba kerülhetnek, vagy elvesztve alátámasztásukat leomolhatnak.

Valamely üreg főtéjének stabilitása akkor is megengülhet, ha meglazul az alátámasztását jelentő, korábban még teherviselő boltív. Ennek többféle oka lehet: a boltívelemek beágyazását képező tömítő anyag kipereg, kihullik, kimosódik, vagy a boltívhatást biztosító kulcselem kibillen, esetleg a boltozat pillérei, pl. tektonikus mozgások miatt, megsüllyednek (1. ábra).



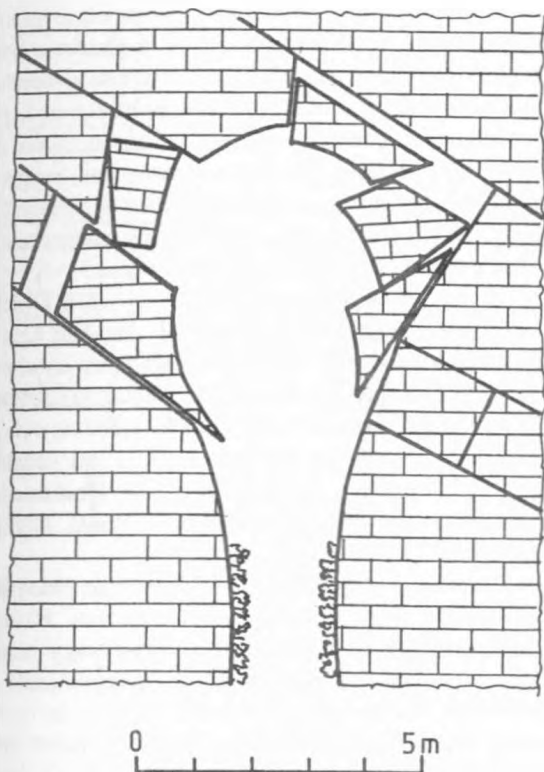
1. ábra. Omlásveszély a boltív-hatás esetleges megsérülése miatt (Béke-barlang)

Földalatti folyosók beomlása bekövetkezhet a befoglaló kőzet töredezettsége és fellazulása következtében is. Különösen jó példa erre a Ferenc-hegyi-barlang üregeinek fokozatos összeszűkülése (2. ábra).

Végül az omlások legveszélyesebb okozói a jelenkori kőzetmozgások (3. ábra). Ezek előadódhatnak a vetők ill. nagyrepedések mentén zajló tektonikus elcsúszások miatt (mint pl. a Ferenc-hegyi-barlangban), a befoglaló kőzet mechanikai igénybevételeinek következtében (pl. a lillafüredi Anna-barlangban) vagy szeizmikus hatásokra (pl. az aktív kőbánya udvarán található Beremendi-kristály-barlangban és a Siklósi-barlangban).

#### Az omlásveszélyesnek tűnő területek felkutatása

*Első lépésben* a repedések helyzetéről egy általános képet kell kialakítani. Fel kell mérni a barlangban előforduló összes repedést, feljegyezve csapás- és dőlésirányukat, dőlésszögüket, résmé-



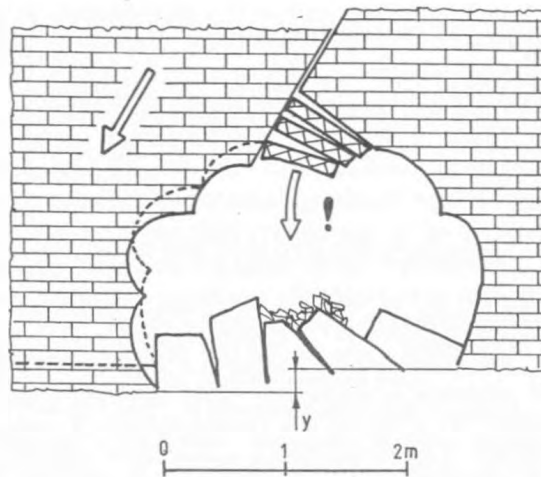
2. ábra. Omlásveszély a befoglaló töredezett kőzet fellazulása révén (Ferenc-hegyi-barlang)

tüket, valamint a repedések egyéb (geológiai, kőzetmechanikai, speleológiai stb.) jellemzőit. A felméréssel egyidejűleg térképen ábrázolandó a repedéseknek a barlangüreggel alkotott nyomvonala (csapás- és dőlésirányuk feltüntetésével). Ennek eredményeképpen egy ún. *repedéselem-térképet* kapunk, melynek alapján (már a külszínen, irodai munkafolyamatként) megszerkeszthetjük a *repedések rendszerének regionális térképét*, melynek elemzésével áttekintést kapunk a barlang egészének mechanikai állapotáról (4. ábra).

A regionális repedéstérkép felhasználásával kijelölhetők a barlang omlásveszélyes körzetei, ill. az egyes járatszakaszok osztályozhatók veszélyességi fokozatuk szerint. Ezen osztályozás szerint kell megválasztani a szükséges biztonsági intézkedések típusát.

A repedések regionális térképének elemzésével feltárható a *repedések hierarchikus rendszere*.

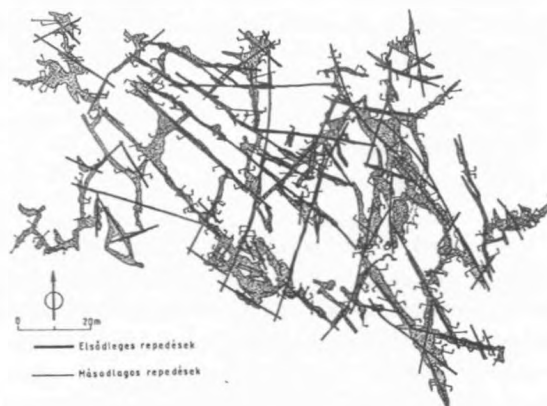
*Elsődlegesek*, azaz a legmagasabb fokozatba sorolandók a barlang tönkremeneteli arcúlatát alap-



3. ábra. Omlásveszélyhez vezető kőzettönkremenetel a repedések menti elvonszolódás következtében (Siklósi-barlang).  $\Downarrow$ : A jelenleg is zajló kőzetmozgások iránya;  $y$  — a kőzetmozgás mértéke

vetően meghatározó, a befoglaló kőzetet hosszan átvágó, viszonylag sok járat felületét megtörő repedések. Ezek gyakran egybeesnek a barlang járatainak fő szerkezeti vonalaival (mint a Ferenc-hegyi-barlang esetében) vagy igazodnak a területre jellemző regionális kőzetfeszültség-irányokhoz (pl. az Anna-barlangban).

A *másodlagos repedések* az elsődleges repedések által körülhatárolt területre terjednek ki, azaz csupán két-két, szomszédos elsődleges repedés közötti kőzettartományt érintik, és legfeljebb néhány járatot harántolnak.



4. ábra. A repedések rendszerének regionális térképe (Ferenc-hegyi-barlang)

A *harmadlagos repedések* a másodlagosaknál is kisebb körzetben foglalnak helyet, rendszerint csak egy-egy járatban figyelhetők meg. Eredetüket illetően általában összefüggnek a másodlagosakkal.

Végül a regionális repedéstérképen *izoláltan* előforduló repedéselemek vagy repedéscsoportok helyi jellegű feszültség-koncentrációkkal magyarázhatók, és ennek megfelelően értékelendők tovább.

A repedések hierarchikus rendszerének feltárása alapvető az omlásveszély megítélése és a szükséges intézkedések megtervezése szempontjából.

Az omlásveszélyes területek feltárásának *másik fő mozzanata* a barlang felületének aprólékos átvizsgálása. Ez a munkafázis magába foglalja a veszélyesnek tűnő kőzetfelületek alapos szemrevételezését és nézeteken, metszeteken történő grafikus ábrázolását, valamint a repedésekkel már körbevágott kőzetdarabok rögzítettségi állapotának értékelését, és a törések „korának” meghatározását. Ez utóbbit a repedések felületét borító por-, agyag- vagy cseppkőbevonat vastagsága, esetleg friss kőzetforgácsok jelenléte alapján ítélni lehetjük meg.

Különös figyelmet kell fordítani a harmadlagos repedésekkel megtört felületekre, mert — tapasztalatom szerint — ezek okozzák a legnagyobb veszélyt.

Adott esetben egyéb ismérvek (pl. rendszeres kőzethullás, apró kőzetpergés, friss hajszálrepedések megjelenése stb.) is felhasználhatók a veszélyességi fokozatok meghatározásához.

Mind ezen tényezők (megfelelő jelkulcs bevezetésével) a *barlang veszélyeztetettségének regionális térképén* ábrázolandók.

A repedésrendszer térképének, a veszélyeztetettség regionális térképének és a részletes felmérések eredményeinek együttes analízise nyomán dönthető el, hogy egy-egy adott helyen jelenleg fennáll-e az omlásveszély.

### A tényleges omlásveszély létének (vagy hiányának) bizonyítása

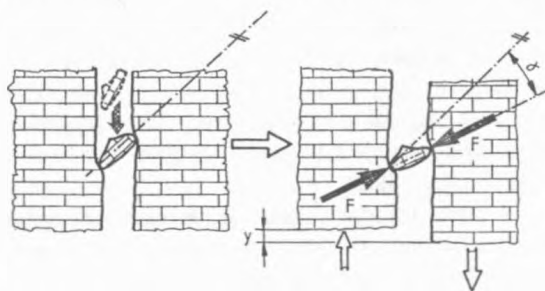
Mindenek előtt el kell döntenie, hogy jelenleg is folytatódik-e az a folyamat, amely a tönkremenetelhez vezetett. Ennek érdekében megvizsgálandó, hogy a befoglaló kőzet napjainkban is igénybe van-e káros mértékben véve (pl. viszonylag nagy sebességű, tektonikus mozgások, a befoglaló kőzetösszlet lassú csúszása, suvadása vagy közeli bányászati

robbantások révén). Különböző kísérő jelenségekre támaszkodva megállapítandó, hogy megszűnt-e már a kőzettömbök egymás melletti elcsúszása a repedések mentén vagy nem. A törések aktivitására utal, pl. a barlang felületét már korábban beborított cseppkőkéreg friss sérülése, tiszta (nem porosodott, beagyagosodott) kőzetforgács felhalmozódása a repedések alatt, vagy a tört zónából lehullott, de rendszeresen eltakarított kőzettörmelék újratermelődése.

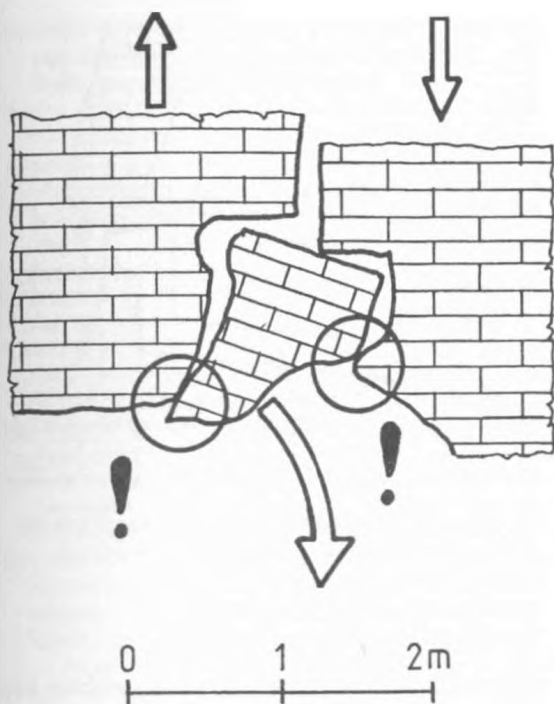
A repedések aktivitásának (és egyben a kőzetmozgások irányának) megállapítását nagyban segíti a repedések oldalai közé ékelődött kőzetdarabok helyzetvizsgálata. Ha azt találjuk, hogy a repedésekbe hullott kövek feszesen be vannak ékelődve, akkor joggal feltételezhetjük, hogy a repedés két oldalát alkotó kőzettestek egymáshoz képest elcsúsznak, mert a szóban forgó kőzetdarabot egymás között „görgetik” (5. ábra).

Ismerve a repedésmenti kőzetmozgás irányát, eldönthető, hogy a repedéssel leválasztott kőzetdarab omlásveszélyes helyzetben van-e vagy sem. Ha a további mozgás csupán eltávolítja egymástól a kőzeteket, akkor újabb törés nem várható, de ha a kőzetmozgás miatt növekszik a kőzetek belső feszültsége, akkor omlásra lehet számítani.

Gyakori veszélyforrást képeznek a *lógó kövek*. Állékonyságuk szempontjából fel kell tenni a kérdést: milyen erők biztosítják jelenlegi nyugalmi helyzetüket, (azaz miért nem omlottak le már eddig), és meg kell vizsgálni, hogy ezek az erők a jövőben (figyelembe véve a repedésmenti kőzetmozgásokat) nem fognak-e veszélyes mértékben lecsökkenni (6. ábra). Megkeresendő ezért



5. ábra. Lehullott törmelékdarab befeszülésének magyarázata.  $\uparrow, \downarrow$  — jelenleg is zajló kőzetmozgások iránya;  $y$  — a kőzet süllyedésének mértéke;  $\alpha$  — a törmelékdarab kényszerű elfordulása;  $F$  — a befeszülés miatt fellépő kényszererő



6. ábra. „Lógó kövek” egyensúlyának kritikus pontjai (lillafüredi Anna-barlang).  $\uparrow$ ,  $\downarrow$  — jelenleg is zajló közetmozgások iránya

rögzítésüknek „leggyengébb láncszeme” (kritikus pontja), amely — szükség esetén — mesterségesen megerősítendő.

Ha a repedezett kőzetösszletet a *boltívhatás* tartja egyensúlyban, akkor feltárandó a boltív kulcseleme, és eldöntendő, hogy fennáll-e a kulcselem kifordulásának veszélye. Ha igen, helyzete rögzítendő. A boltív-vizsgálatokhoz célszerű megrajzolni a boltozat szerkezetének (statikai szempontból sematizált) vázlatát, feltüntetve a ható erők irányát. Ennek alapján, mechanikai számításokkal dönthető el, hogy a boltív egyensúlya stabilis-e vagy labilis.

A jelenleg is zajló mozgások — szükség szerint — műszeres mérésekkel mutathatók ki. Erre a célra ajánlatos ezredmilliméteres leolvasási pontosságú, folyamatos regisztrálásra alkalmas (öníró) mikrométereket alkalmazni, mert csak így deríthető ki, hogy egy-egy csúszásnál-ugrásnál milyen mértékű az elmozdulás. Ismerve (a statikai vázlat alapján szerkesztett) stabilitás-tartalékokat, prognosztizálható az omlás bekövetkezésének várható időpontja, va-

lamint megtervezhető a szükséges ellenőrzések időütemezése.

Az omlásveszély jellegének és a várható omlás mechanizmusának feltárásával megtervezhetők az egyes biztosítások.

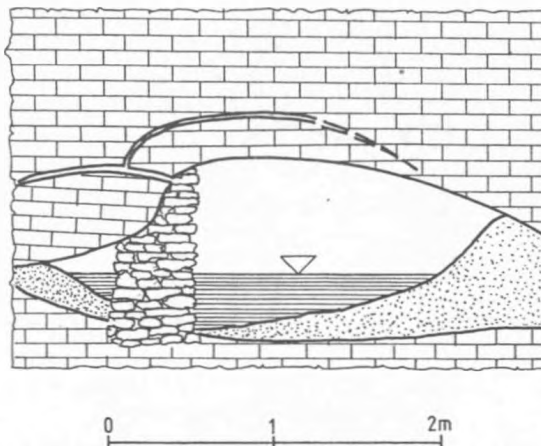
#### A barlangi biztosítások tervezési szempontjai

Tapasztalataim szerint a biztosítások tervét egyedileg, és lehetőség szerint „in situ” körülmények között (azaz a barlangban) kell elkészíteni.

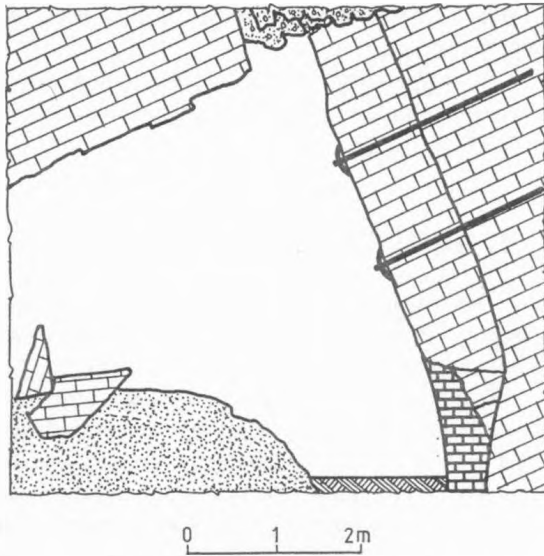
Kerülni kell a kopogózást. Egy-egy kőzettömb eltávolítása sok esetben megbontja az egész összlet egyensúlyát, ill. megváltoztathatja a barlang eredeti arculatát. Csak akkor érdemes ehhez a veszély elhárítási módhoz fordulni, ha már más ésszerű megoldás nem lehetséges. Törekedni kell az omlásveszélyes kőzetdarabok helyzetének rögzítésére.

A biztosítás igazodjon a tönkremenetelt kiváltó igénybevételekhez. Ha pl. a repedezett összlet kis mértékű fellazulása (azaz a repedések résméretének növekedése) várható, akkor engedékeny biztosító szerkezettel kell megoldani a rögzítést. Amennyiben repedésmenti elmozdulások a jövőben már nem várhatók, (de a kőzet instabil állapotban van), akkor az egyensúlyozás alátámasztással, ragasztással (7. ábra) vagy kicsiny kőzetsavarok alkalmazásával oldandó meg (8. ábra).

A boltívek összeomlásának veszélye úgy szüntethető meg, hogy kulcselemük kimozdulását me-

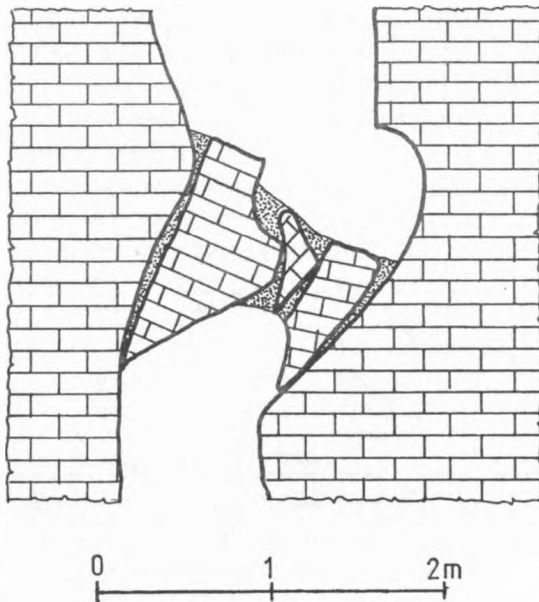


7. ábra. Rakott kőfallal biztosított, repedezett főté (Béke-barlang)

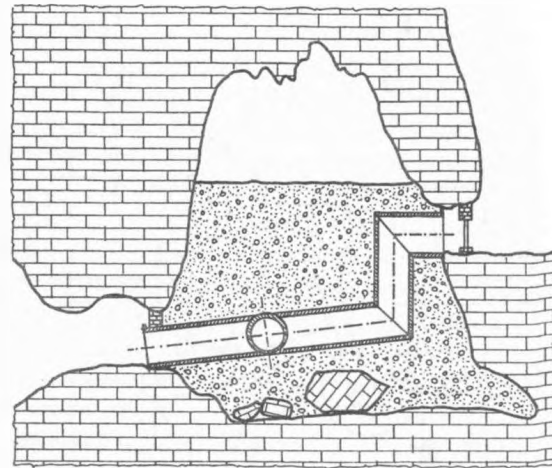


8. ábra. Idomköves támfalból és közethorgonyos megerősítésből álló biztosítás (Baradla-barlang)

chanikailag megakadályozzuk. Ha a boltív tönkremenetelét előidézhetik az elsődleges és másodlagos repedések mentén napjainkban is zajló mozgások, akkor engedékeny boltívet kell kialakítani a boltív-



9. ábra. Engedékeny boltív-szerkezet kialakítása a boltív-elemek közötti rés plasztikus, de teherviselő kitöltésével (Pál-völgyi-barlang)



10. ábra. A veszélytelen közlekedés biztosításának sémája omlásoktól nem mentesíthető teremben, védőtömedékben kialakított járósztállyal (Beremendi-kristálybarlang)

elemek közötti rés teherviselő, de ugyanakkor képlékeny alakváltozásra is képes műgyantás kitöltésével (9. ábra).

Ha valamely terem biztosítása speleológiai értékeihez viszonyítva túl költséges lenne, akkor az ilyen üreget célszerű betömedékelni, elkerülve a terem összeomlását kísérő, a barlang többi, értékes részében kárt okozó dinamikus hatásokat. A közlekedés ilyen betömedékelten egy, a tömedék anyagába ágyazott teherbíró acélcsövön keresztül oldható meg (10. ábra).

Dr. Szunyogh Gábor  
Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola, Földrajz Tanszék  
okleveles bányamérnök,  
a műszaki tudomány kandidátusa, főiskolai tanár  
9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

## IRODALOM

- SZUNYOGH G. (1984): Szakvélemény a Pál-völgyi-barlang Öt-barát szakaszának kiépítésével kapcsolatos kőzetállékonysági és biztonsági kérdéseiről. — Megbízó: Környezetvédelmi Intézet. Budapest.
- SZUNYOGH G. (1985): Szakvélemény a Beremendi-kristálybarlang állékonysági felülvizsgálatáról. — Megbízó: Barlangtani Intézet. Témaszám: 232.013.5.1120. Budapest.
- SZUNYOGH G. (1986): A Beremendi-kristálybarlang állékonysági vizsgálata. — Megbízó: Barlangtani Intézet. Témaszám: 232.017.6.1120. Budapest.

- SZUNYOGH G. (1987): A lillafüredi Anna-barlang állékony-sági felülvizsgálata. — *Megbízó: Bükki Nemzeti Park. Témazám: 232.011.6.1120. Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1987): Szakvélemény a Szemlő-hegyi-barlang Agyagos-termi fötebiztosításának felülvizgálatáról, a gyógy-idegenforgalom biztonságához szükséges műszaki tevékenység meghatározásáról, és a szükséges fémszerkezetű állvány megoldásáról. — *Megbízó: Országos Környezet-és Természetvédelmi Hivatal, Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1988): A lillafüredi Anna-barlang állékony-sági vizsgálata. — *Karszt és Barlang, p. 21–29.*
- SZUNYOGH G. (1988): Kiviteli terv a lillafüredi Anna-barlangnak a Bükki Nemzeti Park Igazgatósága kezelésében lévő járatzakaszaiiban szükséges biztosítások elvégzéséhez. — *Megbízó: Bükki Nemzeti Park. Témazám: 232.017.8.1120. Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1988): Közettönmkremeneteli folyamatok a Beremendi-kristálybarlangban. — *Megbízó: Barlangtani Intézet. Témazám: 232.010.7.1120. Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1989): Szakvélemény a CEMŰ Beremendi Kőbányájának területén elhelyezkedő, a KÖVIZIG tulajdonát képező Kristály-barlang megerősítési munkáinak tervéről és Komplex Technológiai Utasításáról. — *Megbízó: Déldunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság. Témazám: 422–8/1989.22. Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1988): Stability analysis of the Anna cave, Lillafüred. — *International Congress of Speleology. Proceedings, III. p. 769–771.*
- SZUNYOGH G. (1991): Szakvélemény a balatonfüredi Lóczy-barlang állékony-sági vizsgálatáról. — *Megbízó: Barlangtani Intézet, Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1991): Szakértői vélemény az esztramosi Rákóczi-barlang távához vezető lépcsősor felett található omlásveszélyes sziklahíd állékony-ságáról. — *Megbízó: Barlangtani Intézet, Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1992): A tihanyi Barátlakások állagmegóvási-megerősítési javaslatainak felülvizsgálata és értékelése a jelenlegi állapot figyelembevételével. — *Megbízó: Közép-dunántúli Természetvédelmi Igazgatóság. Témazám: 1266–2/92.1992. Jósvafő.*
- KISBÁN J., SZUNYOGH G. (1992): Kőzetállékony-sági és biztonsági vizsgálatok a Szemlő-hegyi- és a Pál-völgyi-barlangokban. — *Megbízó: PHARE Programiroda. Témazám: 134. Project, 2. Sub project, X/1. fejezet, Budapest.*
- KISBÁN J., SZUNYOGH G. (1992): A Ferenc-hegyi-barlang stabilitása és biztonsága. — *Megbízó: PHARE Programiroda. Témazám: 134. Project, 2. Sub project, X/2. fejezet, Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1993): Döntés-előkészítő tanulmány a Baradla-barlang biztosításának tervezéséhez. — *Megbízó: Aggteleki Nemzeti Park Igazgatósága, Jósvafő.*
- SZUNYOGH G. (1995): A Béke-barlangban előforduló mesterséges károsodások felszámolásának és az eredeti állapot rekonstrukciójának lehetőségei. — *Megbízó: KTM Barlangtani Osztály, Budapest.*
- SZUNYOGH G. (1995): A Siklói-barlang állékony-sági vizsgálata. — *Megbízó: KTM Barlangtani Osztály, Budapest.*

### METHODS AND EXPERIENCES OF CAVE STABILITY ANALYSES

Stability analyses reveal dangerous cave sections, define the necessary security measures, and provide a base for legal defence of authorities supervising the caves in case of unpredictable accidents. The first step of securing activity is the stability analysis, that involves detecting and mapping the zones seeming to be dangerous, verification of actual existence of hazard, and prognostication the expectable process of breakdown. Securing devices must be designed individually, in accordance with the forces that generate the destruction. If the movement of rocks is still active, yielding security devices must be applied, whereas in case of steady-state conditions rigid securing methods (adhesives, supports, rock anchors) can also be taken into consideration. Collapse of vaults can be avoid by stabilisation of their key element or by filling the gap between the fragments. If reinforcing of the ceiling cannot be realised, the chamber must be filled and a built-in transit passage must be created. The paper summarises the author's experiences in stability analyses and security design of 16 caves within the past ten years.