

A SZEMLŐ-HEGYI-BARLANG CSEPEGŐVIZEINEK VIZSGÁLATA A BUDAI MÁRGA TÖRMELEKTAKARÓN ÁT TÖRTENŐ BESZIVÁRGÁS ÉRTÉKELESE CÉLJÁBÓL

MÁDLNÉ SZÖNYI JUDIT¹ – VIRÁG MAGDOLNA – ERŐSS ANITA

INVESTIGATION OF DRIPPING WATER IN THE SZEMLŐ HILL CAVE IN ORDER
TO ASSESS INFILTRATION THROUGH THE BUDA MARL DEBRIS MANTLE

Abstract

In the Rózsadomb area above the karstic carbonate rock an extensive detrital blanket was formed by periglacial processes. Where the carbonate debris directly overlies the solid carbonate bedrock without any matrix or with only 20–30% clay-loess matrix it functions like an epikarst. Where the carbonate rocks are exposed on the surface, faults, shafts and bedding planes serve as channelways for the infiltrating water. Since the original soil and vegetation acted as natural filters retaining pollution, in the lack of them the epikarst became the only protective layer. In October 2005 nine measuring points were installed for drip-water measurements in the Szemlő-hegy Cave. Since that with weekly sampling frequency in situ measurements (specific electric conductivity, temperature and pH) have been carried out and the collected drip water was recorded. In the laboratory the major cation- and anion contents were measured. Simultaneously the precipitation was recorded. The investigation of dripping waters in the Szemlő-hegy provides information about the protective function of the epikarst. This epikarst plays a crucial role in the regulation of recharge and hereby influences not only the protection of caves, but indirectly also the springs at the foothills.

Keywords: epikarst, cave, dripping water

Bevezetés

A rózsadombi Szemlő-hegyi-barlangban megkezdett szisztematikus csepegésmérésekkel és a gyűjtött vízminták kémiai elemzésével a barlang fölötti zóna beszivárgás-közvetítő hatását vizsgáljuk. A Budai Termálkarszt egyik fontos alrendszer a felszínnel közvetlenül érintkező epikarszt. Ez szabályozza a felszínre hulló csapadék beszivárgásának folyamatát, ezáltal a telítetlen zónába történő vízbejutást, közvetetten a karsztvízhez érkező utánpótlást. A Rózsadomb száraz barlangjai – a telítetlen zóna feltárásával – lehetőséget nyújtanak az epikarsztot elhagyó csepegővíz helyenkénti mennyiségi és minőségi elemzésére. A csepegés- és csapadékadatok összevetése információval szolgál az epikarszton át történő beszivárgási folyamatok jobb megértéséhez.

A természetes környezetben előforduló epikarsztokkal szemben azonban itt emberi – elsődlegesen építési, közműfektetési – tevékenységgel megzavart állapotot találunk. FEHÉR K. (in: MARI L. – FEHÉR K. 1999) csaknem két évtizede kezdett csepegővíz-méréseivel rámutatni arra, hogy a kémiai komponenseket tekintve a természetes hatásokon kívül az emberi felszínátalakító tevékenység és a szennyező források (feltöltés, útsózás stb.) következményeivel is számolnunk kell.

¹ A szerzők az ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék munkatársai. 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C. (szjudit@ludens.elte.hu; virag.magdi@gmail.com; anita.eross@geology.elte.hu)

A jelenlegi kutatás az alábbi témakörökben nyújthat új eredményeket a korábbi Szemlő-hegyi-barlangbeli mérésekhez képest:

- 1) a csepegővizek kémiai összetételét a vízmennyiséggel és a csapadékkal együtt értéke-
li; ebből adódóan
- 2) adatokkal szolgál a Budai Márgában kialakuló törmelékes fedőn vagy epikarszton át
történő beszivárgás időbeli folyamatára és a továbbított víz mennyiségére.

A Szemlő-hegyi-barlangban a beszivárgás csepegésmérésekkel történő vizsgálata alap-
kutatási jelentőségén túl várhatóan barlangvédelmi és felszín alatti vizek védelme céljá-
ból is használható eredményeket nyújt majd.

E munkának a kezdeti lépéseinél tartunk. Jelenleg egy éves csepegésmérési adatsor
áll rendelkezésre, aminek feldolgozási módszereit teszteljük. Tanulmányunkban tehát –
a teljesség igénye nélkül – a feldolgozási módszerek alkalmazásából kapott első rész-
eredményeket tudjuk bemutatni.

Földtani és hidrogeológiai viszonyok, beépítettség

A Szemlő-hegyi-barlang tanulmányozásának földrajzi keretet a Rózsadomb ad, amely
földrajzilag a Hármashatár-hegy-csoport DK-i elvégződése. A terület legmagasabb pont-
ja a Látó-hegy (376 m), erózióbázisa pedig a 104 m tszf-i magasságban elhelyezkedő
Duna, amely egyúttal a langyos és melegforrások fakadási szintje is.

A Budai Termálkarszton a Dunához közeli beszivárgási területeken lehulló csapadék-
vízből származó deszcendens vizek az aszcendens termálvizekkel jutnak felszínre a Du-
na vonalában (VENDEL M. – KISHÁZI P. 1964; ALFÖLDI L. 1978; KOVÁCS J. – MÜLLER P.
1980 stb.). A szárazra került fosszilis barlangok uralkodóan termálkarsztos eredetűek,
kialakulásuk a keveredési korrózióknak köszönhető (FORD, D. C. – TAKÁCSNÉ BOLNER K.
1991; NÁDOR A. 1994). Képződésük idején a beszivárgó hideg vizek szerepe alárendelt
volt (BENKOVICS L. et al. 1995).

A Szemlő-hegyi-barlang befoglaló kőzete a felsőeocén Szépvölgyi Mészke, a felsőbb
járatok a felsőeocén, alsóoligocén bryozoás Budai Márgában alakultak ki (BENKOVICS L.
et al. 1995). A barlang két, szinte párhuzamos fő hasadéka ÉK–DNy-i irányú, amelyek-
hez néhány kisebb mellékág csatlakozik (LEÉL-ÖSSY SZ. 1995). A barlang járatai követik
a kőzetrétegek 20°-os dőlését. A fő járatszint 160, az egykori felfedező bejárata 206 m
tszf-i magasságban helyezkedik el (BENKOVICS L. et al. 1995).

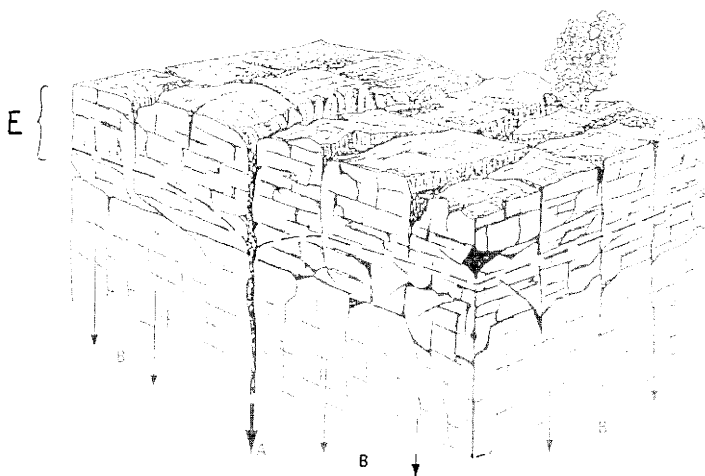
A barlangot fedő Budai Marga átlagos vastagsága 20 m (LEÉL-ÖSSY SZ. szakvélemé-
nye alapján). A száraz barlangoknál – így a Szemlő-hegyi-barlangnál is – a felszínről be-
szivárgó vizek szerepe a jelenlegi hidrogeológiai környezeti viszonyok között számotte-
vő. A felszínről oldott állapotban migráló ionok bejutnak a barlangjáratokba, módosítják
a szilárd kitöltést és a képződményeket. Hatnak a barlangi klímára is, ugyanis a lecsep-
penő és szétporló víz alapvetően meghatározza az aeroszol összetételét. A beszivárgó,
csepegő vizek minősége a Szemlő-hegyi-barlangban 1991 óta működő barlangterápia
légzőkúrái szempontjából is fontos. A tovább mozgó víz pedig a karsztvízszinthez lejut-
va hozzájárul a karsztforrások utánpótlásához és befolyásolja a vízminőséget.

A beszivárgást a Rózsadombon a földtani adottságokon kívül az utóbbi kétszáz évben
jelentősen átalakult területhasználat, valamint az 1985-re 85,3%-ossá vált (MARI L. –
FEHÉR K. 1999) és azóta tovább növekvő beépítettség is befolyásolja. Az építkezések
révén nő a burkolt felületek aránya, csökken a beszivárgási terület. A beszivárgó vizekre
hatást gyakorol a csatornázás hiánya vagy a meghibásodásából adódó szennyvízbefo-
lyás. Szintén érintik a beszivárgást a csőtörések okozta intenzív vízbetörések, ill. az utak

sózásából származó szennyező anyagok (MARI L. – FEHÉR K. 1999; TAKÁCSNÉ BOLNER K. – TARDY J. 2003).

A rózsadombi törmelékfedő (epikarszt) sajátosságai

Az epikarszt a karsztrendszer legfelső zónája. Hidraulikai funkciója kettős: tározó-képessége révén folyamatos utánpótlódást biztosít a karsztrendszer számára; ugyanakkor – szerkezetiileg meghatározott járatok mentén – koncentráltan is juttat vizet a karsztrendszer mélyebb zónáiba (MANGIN, A. 1975; WILLIAMS, P. W. 1983; GUNN, J. 1986; MANGIN, A. – BAKALOWICZ, M. 1989; FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 1989; KLIMCHOUK, A. 1995) (1. ábra).



1. ábra Az epikarszt sematikus ábrázolása MANGIN A. (1975) nyomán.

A – koncentrált beáramlás; B – diffúz beáramlás; E – epikarszt

Figure 1 Schematic representation of the epikarst after MANGIN A. (1975).

A – concentrate recharge; B – diffuse recharge; E – epikarst

A szennyezők kiküszöbölése szempontjából a vízviisszatartás kedvez a tisztulási folyamatoknak, míg a közvetlen vízközvetítés segíti a felszíni eredetű szennyezők gyors mélybejutását.

SCHEUER GY. – SCHWEITZER F. (1971) nyomán ismert a fagyaprózódási jelenségek hatására kialakuló törmeléktakarók szerepe a karsztok vízháztartásában. TYC, A. (1996) vizsgálatai rámutattak a karbonátos kőzetekben a felszínközeli kialakuló periglaciális formák hidraulikai szerepére.

A Rózsadomb területén a törmeléktakarónak avagy az epikarsztnak speciális kifejlődését találjuk. A Budai Termálkarszt – a szingenetikus karszt–nyitott karszt–fedett karszt fejlődési folyamaton keresztül – a késő pliocéntól kezdve a feltáródott karszt állapotába került. A periglaciális folyamatok hatására felaprózódott, fellazult kőzetek hatalmas mennyiségű törmelékanyagot szolgáltatottak. Ugyanakkor a lerakódó lösz a törmelékhez hozzákeveredve, a lejtős tömegmozgások által változatos megjelenésű, durvább-finomabb törmelékes fedőösszetlet hozott létre a karsztos kőzetek felszínén. Megállapítható, hogy a Rózsadomb területén a fellazult karbonátos szálkőzet és a törmeléktakaró bizonyos

helyzetekben epikarsztként funkcionál és beszivárgás-, valamint szennyezőbejutás-szabályozó szereppel bír (ERŐSS A. 2001; MÁDLNÉ SZÖNYI J. et al. 2001). Ezek a rózsadombi törmelékes sorozatok tehát csak részben viselkednek – a korábbi feltételezéseknek megfelelően – vízviszatarató fedőként.

Építési feltárásokban és archív fotódokumentációs anyagokon elvégzett földtani és karsztmorfológiai vizsgálatok alapján az alábbi típushelyzeteket sikerült azonosítani a fedőre vonatkozóan (ERŐSS A. 2001; MÁDLNÉ SZÖNYI J. et al. 2001):

1. *típus:* a karbonátos kőzet a felszínen található, törmelékes fedő nélkül;
2. *típus:* a szálkőzet fölött az alapkőzet törmeléke található, mátrix nélkül;
3. *típus:* az alapkőzet törmeléke agyagos-lössös mátrixban úszik;
4. *típus:* az alapkőzet törmeléke felett a szelvény jelentős részét lösz és részben vagy egészen áthalmazott vörösgyagyas talaj teszi ki.

Az első csoportba tartozó kőzetsorozatokat fagyhatásra kihangsúlyozott elválási felületek és erős tektonizáltság jellemzi. Az epikarszt és a blokk-zóna között fokozatos az átmenet, ugyanakkor megfigyelhetők vertikális elemek, nyitott hasadékok, amelyek továbbbíthatják a vizet a szálkőzet felé.

A másodiktól a negyedik típushelyzetig a szálkőzet fölött kialakult törmelékes sorozat permeabilitása fokozatosan csökken. A második csoportba tartozó sorozatok permeabilis víztartóként funkcionálnak, míg a negyedik sorozat agyagos-lössös rétegei vízfogóként hatnak. Tényleges epikarsztként a második sorozatba tartozó összletek működnek, ugyanakkor jelentős csapadék esetén a harmadik csoportba tartozó sorozatok is tárolhatnak vizet.

Arra nézve, hogy e törmelékes sorozatok ténylegesen milyen hidraulikai, azaz víz-továbbító funkcióval bírnak – kivételes természeti laboratóriumként – az epikarszt bázisát feltáró barlangok szolgálhatnak információval. Ennek jegyében tettünk kísérletet a barlangi csepegések vizsgálatára a Szemlő-hegyi-barlangban.

Kutatási hipotézis, célkitűzések

Kutatásaink során a rózsadombi törmelékfedő vagy epikarszt hidraulikai hatását vizsgáltuk a Szemlő-hegyi-barlangban végzett csepegésmérések révén.

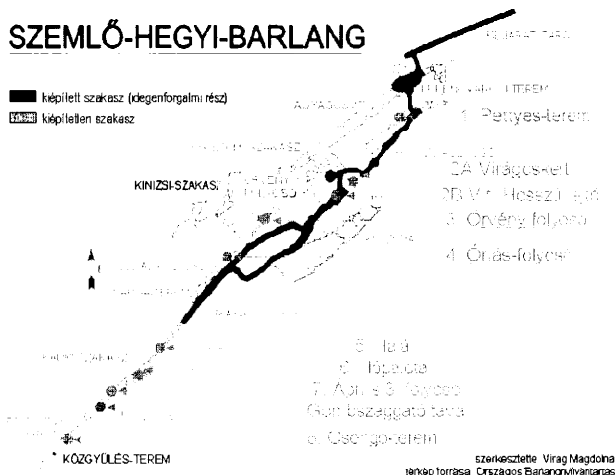
Ehhez elsőként képet kellett formálnunk a törmelékfedőről a felszín felől, a földtani jegyek oldaláról. Kutatási hipotézisünk szerint a felszínközeli geológiai viszonyok, a törmelékzónából való vízkijutás tükröződik az egyes csepegőhelyek között mérhető intenzitás- és összetételbeli különbségekben.

Az elemzések értékelésekor figyelemmel kellett lennünk a mesterséges feltöltések, vízvezeték- és csatornakárosodások valamint a szennyezőforrások lehetséges hatására, mint arra FEHÉR K. (in: MARI L. – FEHÉR K. 1999) is rámutatott. Ezek a hatások ugyanis befolyásolják a természetes folyamatokból adódó hatásokat és az egyes csepegőhelyek között mérhető mennyiségi és minőségi különbségeket okozhatnak.

Elsőként a mérőhelyek közötti különbségeket értékeltük a teljes vizsgálati idősorra vonatkozóan. Másodsorban az egy mérőhelyen belüli időbeli változékonyságot elemeztük. A felszínközeli epikarsztos vagy törmelékzóna hidraulikai hatását hosszú (éves) és rövid (egy-egy csapadékesemény hatása, hóolvadás) időintervallumban vizsgáltuk. A vízmin-tákon végzett kémiai elemzések elsődlegesen azt a célt szolgálták, hogy belőlük megtudjuk, a fedőösszlet hidraulikai viselkedése mennyire tükröződik a kémiai komponensek ugyanilyen skálán történő időbeli változásaiban.

Barlangi vizgálatok, laboratóriumi elemzések, az adatok megjelenítése

A rendszeres csepegésméréseket 2005. november 1-jén kezdtük és jelenleg is folytatjuk. A barlangban 8 csepegővíz-mintázó helyet alakítottunk ki, ezek számát később – a 2B jelű hely kialakításával – kilencre bővítettük (2. ábra). Az összegyűlt víz mennyiségét heti gyakorisággal olvassuk le, egyidejűleg helyszíni fizikai és kémiai (víz- és lég hőmérséklet, pH, elektromos vezetőképesség) méréseket is végzünk (3. ábra). Az összegyűlt vízből vett mintákat a helyszínen HCO_3^- -ra titráljuk, majd a hideg, sötét helyen tárolt mintákat Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} és Mg^{2+} -ionokra elemezzük. A vizsgálatok megkezdése óta 160 mintát értékeltünk mennyiségileg és minőségileg.

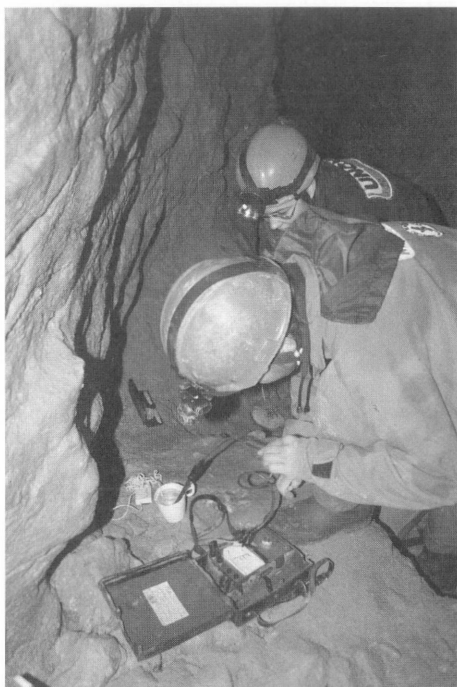


2. ábra Csepegésmérési helyek a Szemlő-hegyi-barlangban
Figure 2 Measurement points of dripping waters in the Szemlő-hegy Cave

A mintavételi pontok kiválasztásakor figyelembe vettük, hogy (1) a vízbeszivárgás mérhető mennyiségű legyen; (2) az intenzitáshoz méretezett űrtartalmú edények a csepegőhelyek alá egyszerűen, fixen beépíthetők legyenek; (3) a mérési, csepegési pontok nagyjából egyenletes elrendezésben reprezentálják a barlang ismert járatait.

Az edényeket közvetlenül a repedések alá helyezve, a víz azonnal bejut az edénybe, ez a helyzet a Virágoskert-Hosszú-lejtőnél. A Halál és az Április 3. folyosó csepegésmérő helyei esetében a főhasadék tetejéről csepegő vizet mintázzuk. Az Örvény-folyosó, az Óriás-folyosó és Csengő-terem esetében a repedésből szivárgó víz első lecseppenési helye alá helyeztük az edényt. A Hópalotánál, a Virágoskertnél és a Pettyes-teremnél a szivárgó víz nem közvetlenül a hasadékból jön, hanem az omladékon, apró repedéseken is átszivárog. A Pettyes-teremnél ez a jelenség a járatok elszűkülése miatt közvetlenül nem észlelhető.

Az előzetes értékelés céljából a csapadék–csepegés-intenzitás, a csepegésintenzitás–elektromos vezetőképesség idősorait, valamint kördiagramon a mérőhelyenként átlagolt kémiai összetételt (meq/l; %) (fő kationok és anionok) jelenítettük meg. Az elemzés során a 2005. november 1. és 2006. július 29. között regisztrált észleléseinkre szorítkoztunk. A csepegésintenzitást az összegyűlési napokra vonatkozóan egyenletesen elosztva ábrázoltuk. Az észlelések kimaradását, sikertelenségét adathiány jelzi az idősorokon.



3a. ábra Helyszíni fizikai és kémiai mérések 3b. ábra A Pettyes-terem csepegésmérő helye
Figure 3a On site measurements of physico-chemical parameters Figure 3b Dripping water collection site at the Pettyes-hall

A Budai Márga törmeléktakaró értékelése a felszíni jegyek és a földtani adatok alapján

A Szemlő-hegyi-barlang fedőképződménye, a Budai Márga a barlanghoz legközelebb a Pusztaszeri út és a Barlang utca sarkán 2001-ben épült lakópark alapkiásása idején volt tanulmányozható. A szálban álló, kemény, tömör, pados megjelenésű, $140/20^\circ$ rétegdőlésű Budai Márga felső része fellazult, agyaggal kevert durva közettörmelékes vagy agyagos löszös alapanyagba ágyazott, néhány cm-es törmelékekből felépülő zóna. A törmelékzóna megjelenése gyakran töbörkitöltés vagy beszakadás jellegű, ami kedvez a vízelvezetésnek. A munkagödörben 6 m átmérőjű és 5 m mély, vöröses kőzetliszttel, ill. törmelékkel kitöltött képződmény is megfigyelhető volt, amely paleo-víznyelőként értékelhető (ERÖSS A. 2001; MÁDLNÉ SZÖNYI J. et al. 2001) (4. ábra). Földtani analógiák alapján ez a fedőjelleg várható a Szemlő-hegyi-barlang fölött is.

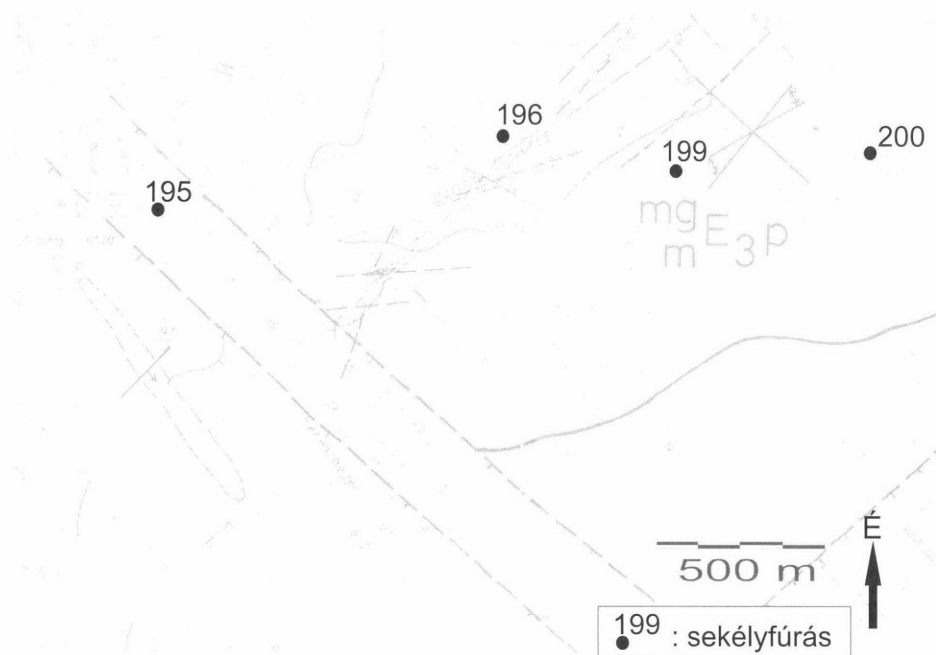
A fedő térbeli jegyei ugyan nem, de anyaga a barlangjáratok közelében mélyült sekélyfúrásokból pontszerűen ismert (VÉGH S.-NÉ 1985) (5. ábra). A járatoktól É–ÉK-i irányban mélyült 195. és 196. sz. fúrás 3,5–3,7 m mélységig szoliflukciós eredetű, vegyes anyagú lejtőtörmeléklet harántolt. A barlangtól DK-re 0,3–0,5 m mélységig feltöltés, alatta pedig szálban álló bryozoás márga húzódik a 199. és a 200. sz. fúrás szerint. A felszíni jegyek alapján a törmelékfedő a második és a harmadik kategóriába sorolható (ERÖSS A. 2001; MÁDLNÉ SZÖNYI J. et al. 2001). Az előbbi epikarsztnak minősíthető.

A telítetlen zónában zajló beszívárgást segítik a szerkezeti elemek. Ezek a Szemlő-hegyi-barlangra jellemzően ÉK–DNY-i csapásirányúak; ez a barlangjáratok tektonikus



4. ábra „Paleo-víznyelő” a Pusztaszeri úti lakópark építési feltárásában
Figure 4 „Paleo-sinkhole” in a constructional outcrop at the Pusztaszeri Street

főiránya. Emellett ÉNy–DK-i törések és É–D-i, továbbá K–Ny-i szerkezetek is befolyásolják a beszivárgó vizek elvezetését. A Szemlő-hegyi-barlangtól ÉK-re nyíló Zsindely utcai-barlangot egy ÉK-i irányú vető választja el az általunk vizsgált területtől. Ez a vető a Szemlő-hegyi-barlang jelenleg ismert szakaszaiban nem jelenik meg, de túloldalán a triász Mátyáshegyi Mészkő Formáció 6 m-re megközelíti a felszínt úgy, hogy a Budai Márga teljesen hiányzik a rétegsorból (LEÉL-ŐSSY Sz. szakvéleménye alapján).



5. ábra Földtani térképvázlat (VÉGH S.-NÉ 1985)
Figure 5 Geological sketch (VÉGH S.-NÉ 1985)

A szerkezetek beszívargási folyamatokban betöltött fontosságát támasztja alá az 1992-ben elvégzett szivárgási kísérlet eredménye (SÁRVÁRY I. et al. 1992), amely szerint a Budai Márga vízáteresztésében a függőleges hasadékok szerepe meghatározó. FEHÉR K. (in: MARI L. – FEHÉR K. 1999) véleménye szerint ugyanakkor a Szemlő-hegyi-barlang egyes szakaszain a víztovábbítást lényegében a Szépvölgyi Mésző és Budai Márga 20°-os dőlésű határa befolyásolja. Az Óriás-folyosónál tapasztalható folyamatos, intenzív csepegést is e réteghatár vízvezetésének tulajdonítja. A dőlésviszonyokat, valamint a Szemlő-hegyi-barlang felszín alatti térbeli elhelyezkedését számításba véve, a fő járatszintekre (~160 m B. f.) vonatkozóan a járatok és a felszín között ÉK-ról DNY-i irányban nő a fedővastagság. Minden bizonnyal a réteghatár menti vízmozgás mellett a fedő vastagsága is befolyásolja a függőleges átszivárgást.

Végül nem hanyagolható el a törmelékfedő jellemzésekor az emberi tevékenység hatása sem. A Szemlő-hegyi-barlang bejárati részének felszíni védőterülete a bejárati létesítmények építéskor mesterséges felszín átalakításon ment át, felszínlenyesés, rézsűzés történt. Ezen túlmenően az építési és a korábbi mezőgazdasági munkák is érinthették a felső talajszelvényt (ZÁMBÓ L. et al. 1992).

A csepegőhelyekre vonatkozó értékelés

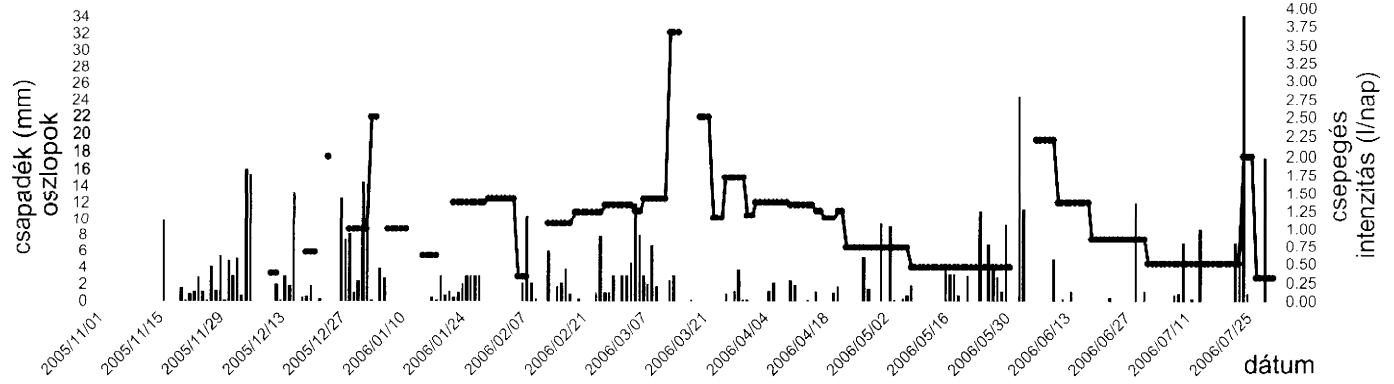
Elsőként az egyes mérőhelyek a csepegésmintái elektromos vezetőképességének szélső értékeit vizsgáltuk. A legmagasabb értékűnek (1800–2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a Pettyes-teremben (6. ábra) vett minták elektromos vezetőképessége bizonyult.

Itt a víz apró repedéseken, a törmeléken átszivárogyva jut a mérőedénybe. Hasonló a mérőhely elrendezése a Virágoskertenél, ahol mégis mindössze 600–700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ közötti értéket kaptunk. A Hópalota (7. ábra) vízmintáinak elektromos vezetőképessége 700–1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között ingadozik; az előző két hely közötti átmenetet mutatja. A közvetlenül a főhasadékból érkező vízminták – Virágoskert-Hosszú-lejtő (8. ábra), a Halál- és az Április 3.-folyosó – vezetőképessége viszonylag alacsony: 450–750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A repedésből érkező, a barlang falán szivárgó, majd lecseppenő vízminták – Örvény-folyosó, Óriás-folyosó (9. ábra), Csengő-terem (10. ábra) – elektromos vezetőképessége akár 1200–1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re is növekedhet, az Óriás-folyosónál eléri a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -t is. Összehasonlításképpen, a budai csapvíz elektromos vezetőképessége méréseink szerint átlagosan 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ami a vízvezetékéből közvetlenül a barlangba jutó vizek kimutatása szempontjából érdekes.

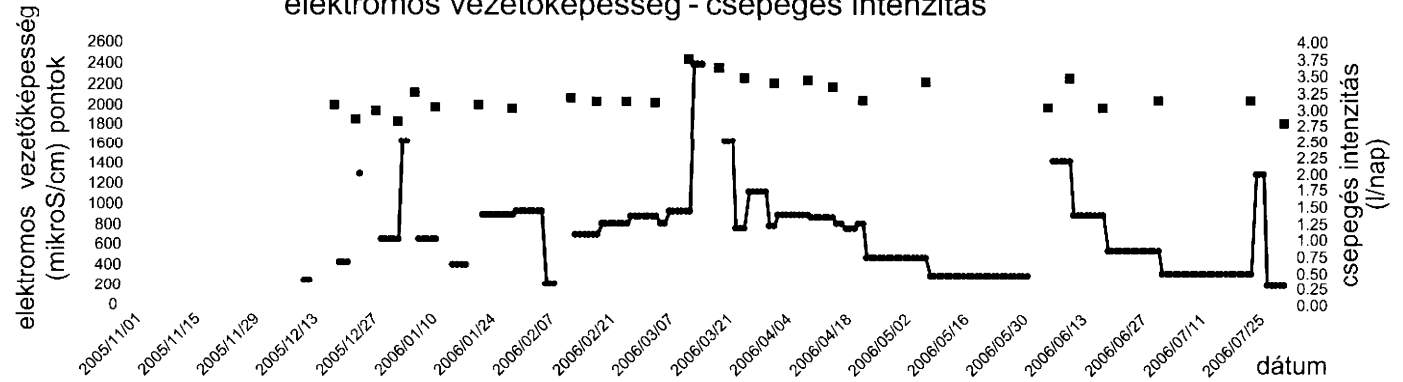
A fajlagos elektromos vezetőképesség értékei egy mérőhelyen belül mindössze 50–300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ingadozást mutatnak – a Pettyes-terem (6. ábra) és az Óriás-folyosó (9. ábra) kivételével, ahol az ingadozás tartománya 600, ill. 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Második lépésben a csepegésintenzitás és az elektromos vezetőképesség összefüggéseit vizsgáltuk. A legnagyobb csepegésintenzitást az Óriás-folyosóban észleltük: maximális értéke 8,7 l/nap volt, 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ elektromos vezetőképességgel. Mint már utaltunk rá, itt az elektromos vezetőképesség maximuma 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. A repedésből érkező, a barlang falán szivárgó, majd lecseppenő vízmintákat gyűjtő többi mérőhelyen – Örvény-folyosó, Csengő-terem – a maximális 2 l/nap hozamnál 1300–1400, ill. 1,1 liter/nap hozam esetén szintén 1300–1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ értéket mértünk. A közvetlenül a főhasadékból érkező vízminták – Virágoskert-Hosszú-lejtő (8. ábra), Halál- és Április 3.-folyosó – maximális csepegésintenzitás- és az elektromos vezetőképesség értékei rendre a következők voltak: maximális 1,2 l/napnál 550–600, 0,6 l/napnál 750–800, 0,72 l/napnál 650–700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A nem közvetlenül a főhasadékból jövő, átszivárgó vizekben – Hópalota

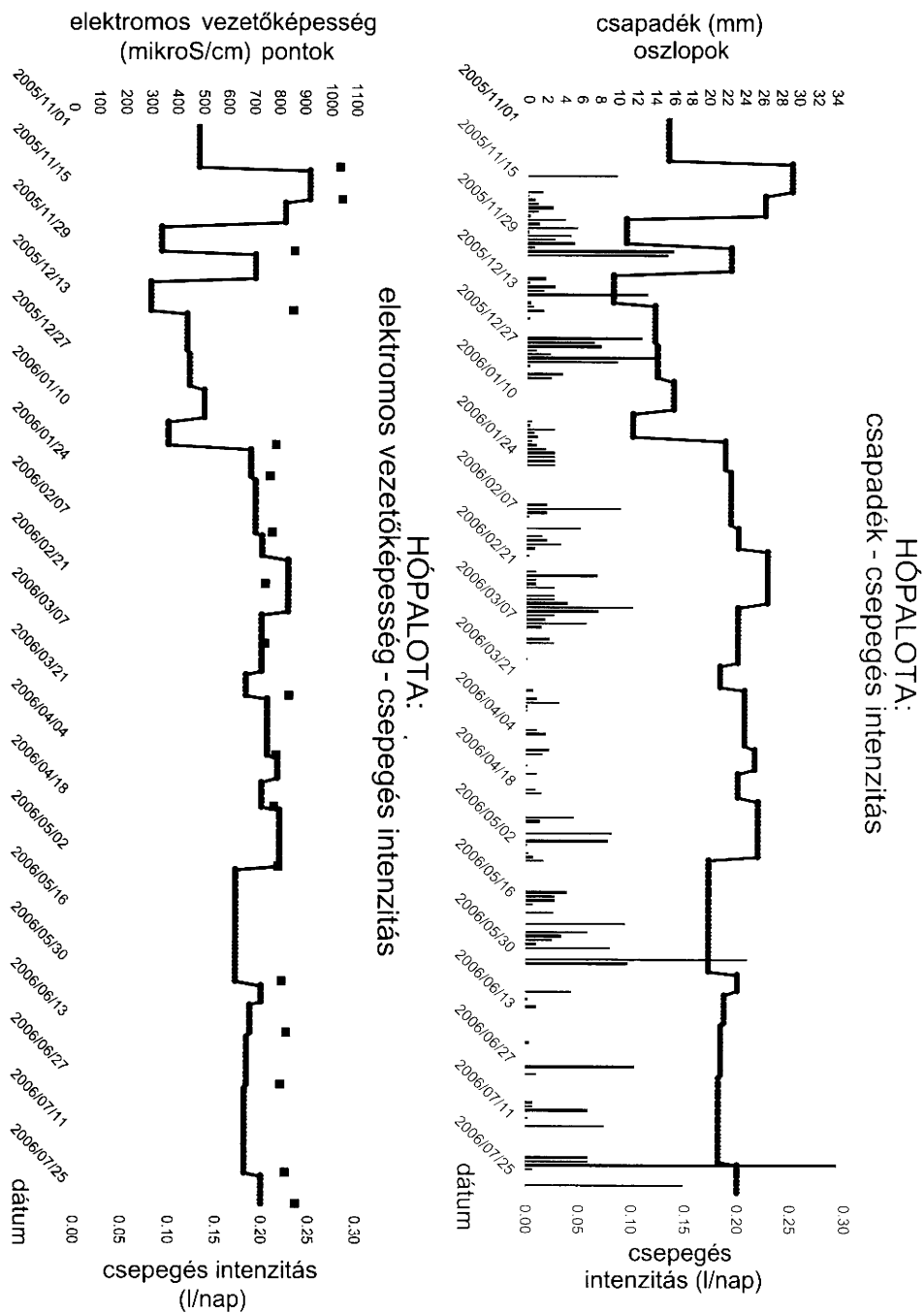
PETTYES-TEREM: csapadék - csepegés intenzitás



PETTYES-TEREM: elektromos vezetőképesség - csepegés intenzitás

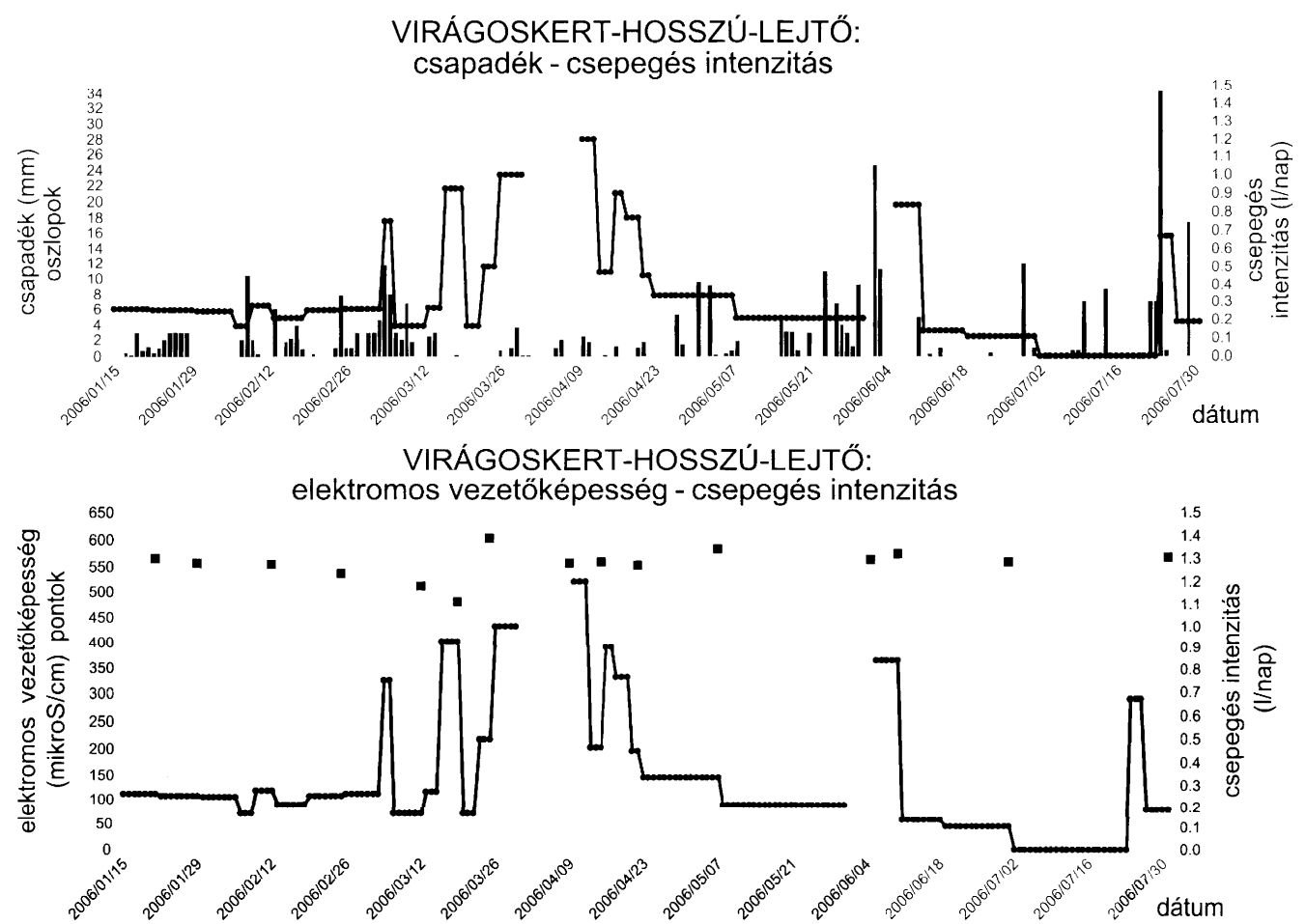


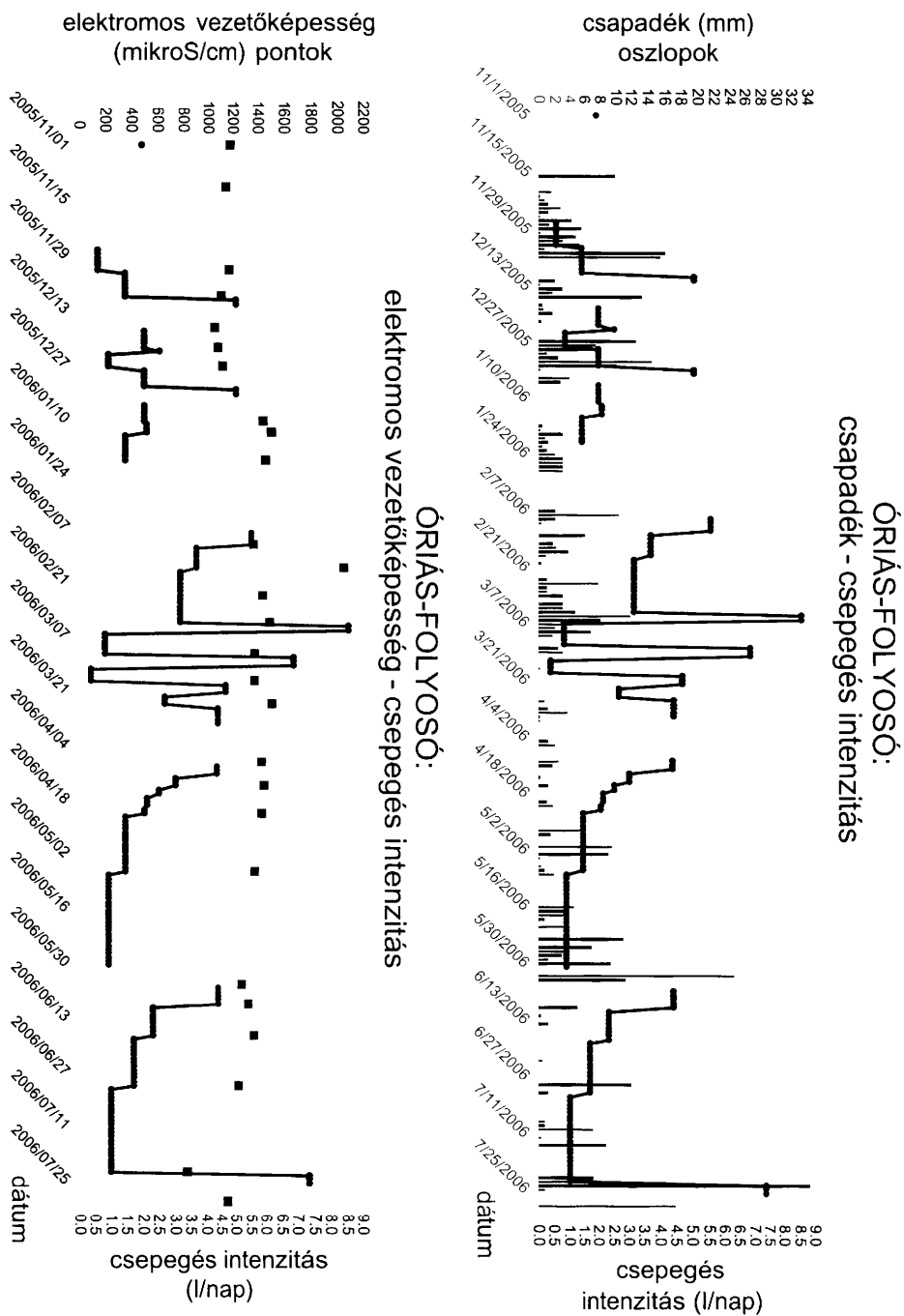
6. ábra A Pettyes-terem csepegésmérési időszaka
Figure 6 Dripping water time series from the Pettyes-hall site



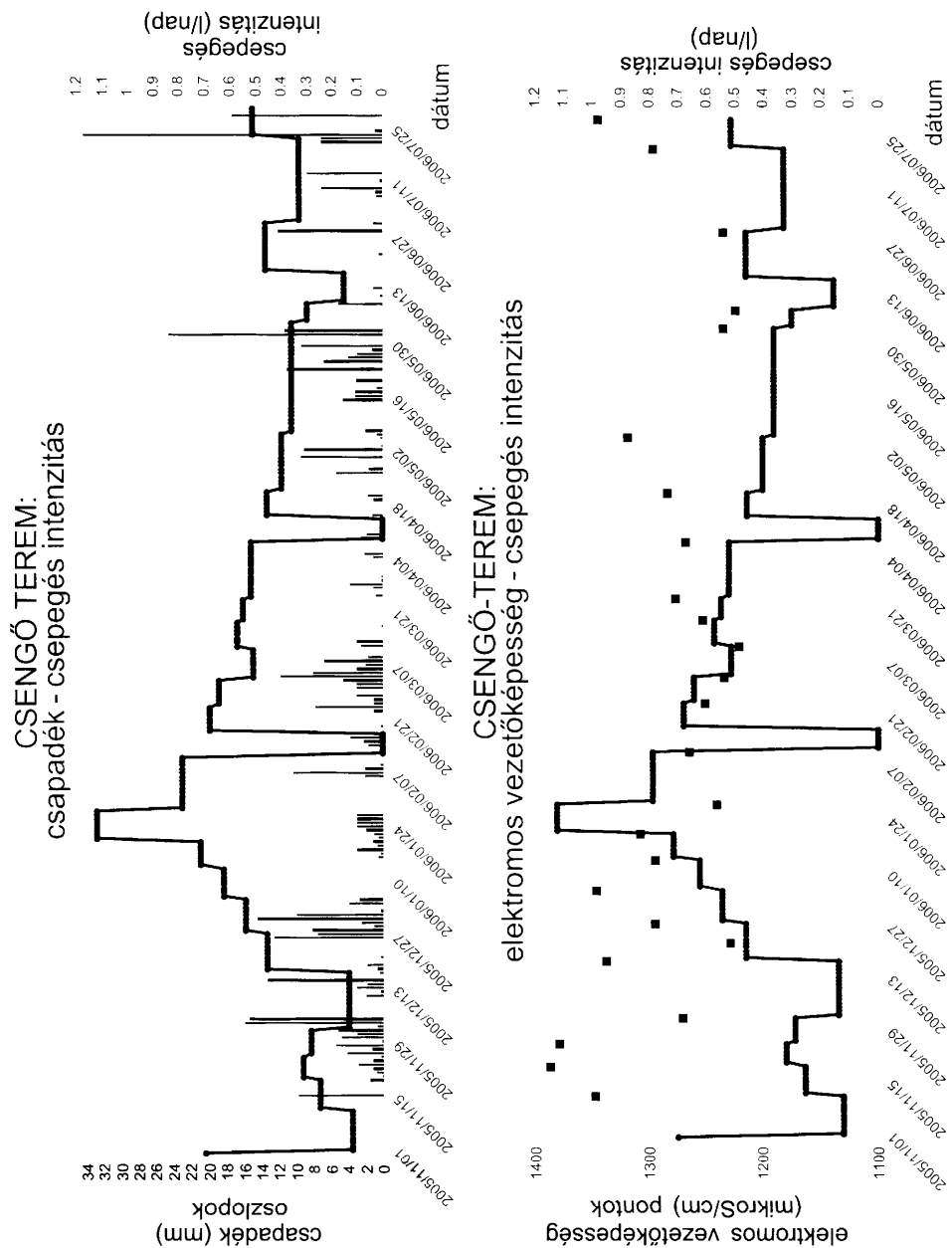
7. ábra A Hópalota csepegésmérési időszora
Figure 7 Dripping water time series from the Hópalota site

8. ábra A Virágoskert-Hosszú-lejtő csepegésmérési időszaka
Figure 8 Dripping water time series from the Virágoskert-Hosszú-lejtő site





9. ábra Az Óriás-folyosó csepegésmérési időszora
Figure 9 Dripping water time series from the Óriás-folyosó site



10. ábra A Csengő-terem csepegésmérési idősora
Figure 10 Dripping water time series from the Csengő-hall site

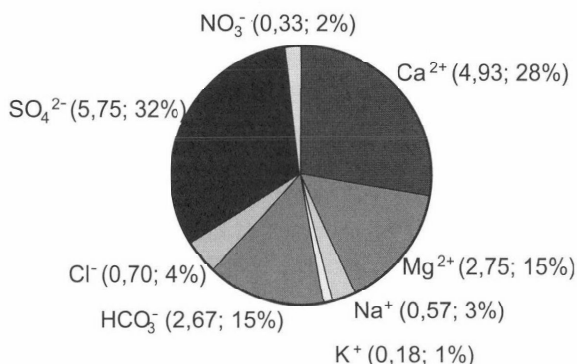
ta (7. ábra), Virágoskert – a mindössze 0,2 liter/nap maximális intenzitásnál 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt mérhető. A Pettyes-terem (6. ábra) csepegővizeinél a maximális hozam, 3,75 liter/nap idején volt maximális a fajlagos elektromos vezetőképesség, 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Az Óriás-

folyosón kívül itt mértük a legnagyobb hozamot. Leszögezhető, hogy a nagyobb intenzitással csepegő vizek mérési helyein általában nagyobb a fajlagos elektromos vezetőképesség.

A fajlagos elektromos vezetőképesség és a csepegési hozam mért értékeinek helyszíni eltérései tükrözik a mérőhelyek elhelyezkedéséből, a földtani különbségekből és az emberi tevékenységből adódó hatások eredőjét. Arról, hogy ezek közül melyiket, egyelőre csak előzetes elképzeléseink vannak.

A Hópalota (7. ábra) esetében a 2005. november 1-jén mért 0,55 l/nap értéktől eltekintve kiegyenlített, ~0,2 l/nap intenzitású a csepegés. A vízminiták átlagos összetételét bemutató kördiagram (11. ábra) alapján a magas szulfát-értékek a márgában levő piritből való feldúsulást valószínűsítik. A szulfát antropogén eredetű is lehetne, de ennek elmentmondanak a nitrát és a klorid alacsony értékei. Ezt erősíti meg a viszonylag alacsony elektromos vezetőképesség is: 700–800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A víz magas szulfáttartalmát jelzik a barlangban egyedülállóan nagy mennyiségben előforduló gipszkiválások is.

Hópalota: ionok (meq/l; %)



11. ábra A csepegővizek átlagos kémiai összetétele a Hópalotában
Figure 11 Average chemical composition of dripping waters from the Hópalota site

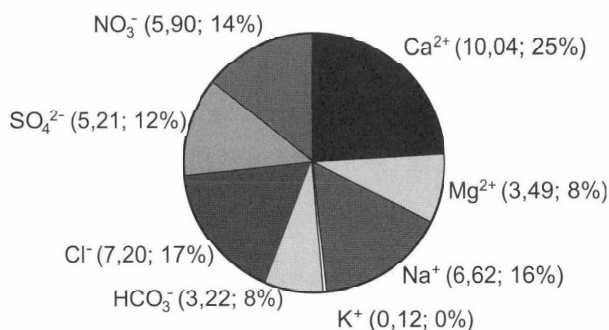
A Pettyes-terem feletti térszínen mélyült sekélyfúrások kb. fél méteres feltöltést jeleznek (200. fúrás: 0–0,5 m feltöltés). A csepegővizek kémiai paramétereit antropogén hatások is befolyásolják. Erre utal, hogy a legnagyobb arányban jelenlévő anionok a klorid, a nitrát és a szulfát (12. ábra), továbbá az összességében nagyon magas, 1800–2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -es elektromos vezetőképesség.

A beépítetlen terület alatt található Virágoskert-Hosszú-lejtő (13. ábra) csepegővizében a HCO_3^- a domináns anion, s a vezetőképesség alacsony értéke (500–600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) is jelzi, hogy minimális az antropogén befolyásoltság.

Beépített terület alatt található a Csengő-terem is. Itt azonban az elektromos vezetőképesség – valószínűleg az emberi tevékenységnek tulajdoníthatóan – több mint kétszerese az előző helyen tapasztaltnak: 1300–1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A kördiagramból (14. ábra) kiolvasható, hogy nagyon magas a nitrát mennyisége (17%), ami a kiskertekben történő műtrágyahasználatból is adódhat, de sokkal valószínűbb, hogy szennyvíz-hozzászívárgásból származik.

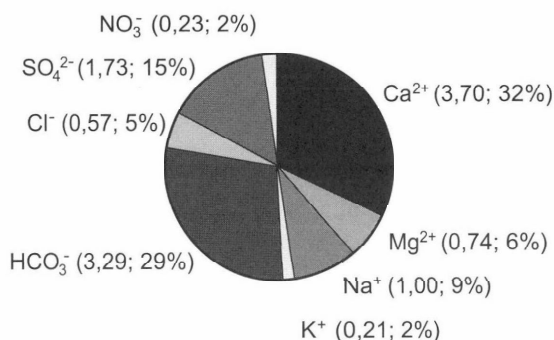
Az Óriás-folyosó csepegővizeinek átlagos kémiai összetétele (15. ábra) szintén antropogén befolyásoltságot tükröz. Mint láttuk, az Óriás-folyosóban a legnagyobb a csepegés

Pettyes-terem: ionok (meq/l; %)



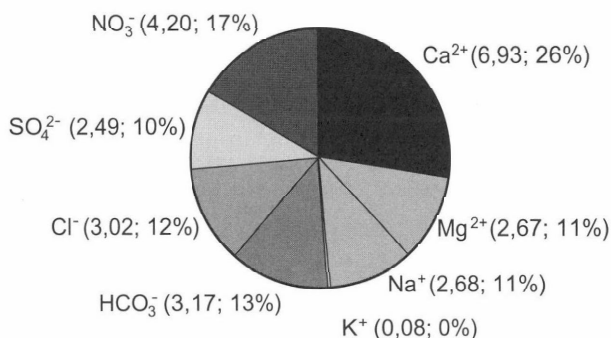
12. ábra A csepegővizek átlagos kémiai összetétele a Pettyes-teremben
Figure 12 Average chemical composition of dripping waters from the Pettyes-terem site

Virágoskert-Hosszú-lejtő: ionok (meq/l; %)



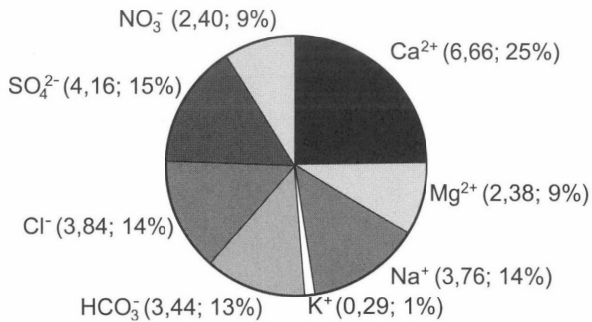
13. ábra A csepegővizek átlagos kémiai összetétele a Virágoskert-Hosszú-lejtőben
Figure 13 Average chemical composition of dripping waters from the Virágoskert-Hosszú-lejtő site

Csengő-terem: ionok (meq/l; %)



14. ábra A csepegővizek átlagos kémiai összetétele a Csengő-teremben
Figure 14 Average chemical composition of dripping waters from the Csengő-terem site

Óriás-folyosó: ionok (meq/l; %)



15. ábra A csepegővizek átlagos kémiai összetétele az Óriás-folyosóban
Figure 15 Average chemical composition of dripping waters from the Óriás-folyosó site

intenzitása, ami a 22 l/hét értéket is elérheti. Ez FEHÉR K. szerint (in: MARI L. – FEHÉR K. 1999) külső vízhozzárfolyásra, leginkább valószínűsíthetően folyamatos csővezeték-szivárgásra utal. Az elektromos vezetőképesség ugyanakkor változó: 1100–2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ami a természetes és a hozzáfolyó víz különböző arányú keveredéséből, továbbá az emberi hatásokból származó nitrát, klorid évszakonként eltérő érvényesüléséből adódhat.

Az egyes mérőhelyeken belül a csepegésintenzitás és a fajlagos elektromos vezetőképesség értékeinek a csapadékhullással való időbeli összefüggését is elemeztük. A későbbiekben ezt az elemzést az egyes kémiai komponensek változásaira is ki kívánjuk terjeszteni. A diagramokat a 2005. november és 2006. július közötti időszakra megvizsgálva látható, hogy a fedőrétegek képesek a csapadék tározására. Ezt bizonyítják a fedőréteg feltöltődésével párhuzamosan tapasztalható növekvő, majd a leürüléssel együttjáró monoton csökkenő csepegésintenzitás-értékek. A tározási funkció kívül a fedőréteg közvetlen átjárhatóságát jelzik az intenzív csapadékhullást követő – az előbbi trendre rátevődő – hozamkiugrások.

A természetes beszivárgásának minősített helyeken, mint pl. a Virágoskert-Hosszú-lejtőnél, októbertől márciusig tartó lassú feltöltődés és leürülés figyelhető meg, egyedi intenzív csapadék hatására bekövetkező relatív vízhozam-csúcsokkal. A hozamkiugrások márciusban a hóolvadás, júniusban és július végén esőzések (VI. 5–20., ill. VII. 24–25.) miatt következtek be. A kiugrásokkal egyidőben a törmeléken fedőben korábbról tározódott víz kiürülésére utal a relatíve magasabb elektromos vezetőképesség.

Az erősen bolygatott felszínű helyeken, pl. a Pettyes-terem felett a feltöltési és leürülési görbéken közvetlen víztovábbító hatás nyoma jelentkezik, amit az intenzív csapadékot követő időszakok kiugróan magas elektromosvezetőképesség-értékei mutatnak.

Eltérő a helyzet a beépített területek alatt, a Csengő-terem esetében. Az általánosan megfigyelhető lassú feltöltődés és leürülés látszik ugyan a diagramon, de hozamkiugrások – feltehetően a lefedettség miatt – csak kevésbé jelentkeznek.

Összegezés, következtetések

A Szemlő-hegyi-barlang közvetlen környezetében értékelt felszínközeli földtani adatok alapján a Budai Márga törmelékfedő részben epikarsztnak minősíthető. A víz átszivár-

gása ott sem zárható ki, ahol az alapkőzet törmeléke agyagos, löszös mátrixban úszik. A beszivárgást segíti, ha a törmelékzóna töbrökített vagy beszakadás jellegű. A szálban álló Budai Márga réteglapjai mentén is lehetséges a vízbejutás, de az ÉK–DNY-i, az ÉNy–DK-i és az É–D-i és a K–Ny-i szerkezeteknek is lehet szerepe a vízközvetítésben.

A 2005 novembere óta összegyűlt barlangi csepegéss adatok feldolgozásának kezdeti fázisában elmondhatjuk, hogy a Szemlő-hegyi-barlang feletti törmelékzóna beszivárgástovábbító funkcióját alapvetően a lassú feltöltődés-leürülés, bizonyos helyeken a közvetlen átjárhatóság jellemzi. Az is egyértelműen látszik, hogy ez a zóna nem homogén, az egyes csepegési helyek eltérően viselkednek. Ezek a hatások a csepegés intenzitásában és a fajlagos elektromos vezetőképesség értékeiben is megmutatkoznak. A csepegővizek kémiai összetételét sok helyen erős antropogén terheltség jellemzi, ami csővezeték-szivárgásra, a csatornázottság hiányára, műtrágyázásra, útsózásra, ill. a különböző anyagú feltöltésekre vezethető vissza.

A szisztematikus barlangi észleléseket, valamint az adatok feldolgozását tovább folytatjuk. A jövőben az ionok értékelésén kívül a radon- és izotópadatok elemzésére is sor kerül. Mindezen túl a barlangi, valamint a felszínborítás- és közműterképek térinformatikai feldolgozását is célul tűztük ki.

Úgy gondoljuk, hogy a kutatás folytatása alapvető fontosságú a Budai Termálkarszt, ezen belül a Rózsadombi utánpótlódás minél jobb megismerése érdekében. Az áramlási rendszerek e lokális ága azonban a világváros befolyása alatt áll. Fontos tehát az epikarszt antropogén körülmények között működő, beszivárgás-szabályzó funkciójának megértése. Ez a rózsadombi fosszilis barlangok és a jelenleg is aktív Molnár János barlang, továbbá – mivel a szennyező anyagok a karsztvizeket is veszélyeztetik – a hévforrások védelme szempontjából is kiemelkedő jelentőséggel bír.

Köszönetnyilvánítás

Munkánkat az ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszékén működő Erdélyi Mihály Alapítvány támogatta. Az analitikai laboratóriumi elemzésekért PERÉNYI KATALINNAK és VARGA ANDRÁSNAK (ELTE TTK), a barlangi észlelések kivitelezéséért HEGEDŰS ANDRÁS és FARKAS ROMÁN kutatásvezetőnek, – továbbá valamennyi közreműködőnek – köztük kiemelten KISS KLAUDIÁNAK és BURGHARDT EDWARDNAK mondunk köszönetet. FEHÉR KATALINNAK, MARI LÁSZLÓNAK, TELBISZ TAMÁSNAK és MÓGA JÁNOSNAK megköszönjük értékes észrevételeiket, LEÉL-ÖSSY SZABOLCSNAK pedig a kézirat áttanulmányozását és építő javaslatait.

IRODALOM

- ALFÖLDI L. 1978: Budapest Hévízei. – Kandidátusi értekezés. 156 p.
BENKOVICS L. – TÖRÖK Á. – NÁDOR A. 1995: A Ferenc-hegyi vonulat barlangjainak geológiája. – Karszt- és barlangkutatás X. MKBT, Budapest. pp. 193–196; pp. 200–207.
ERŐSS A. 2001: Az epikarszt megjelenésének és jelentőségének vizsgálata a Rózsadomb (s. I.) terület példáján. – Diplomamunka. ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék. 69 p. + mellékletkötet.
FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 1989: Karst Geomorphology and Hydrology. – Unwin Hyman, London. 601 p.
FORD, D. C. – TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1991: Abszolút kormeghatározás és stabil izotóp vizsgálatok budai barlangi kalcitmintákon. – Karszt és Barlang, I–II. pp. 11–18.
GUNN, J. 1986: Solute Processes and Karst Landforms. – In: TRUDGILL, S. T. (ed.): Solute Processes. – John Wiley & Sons Ltd., Chichester. pp. 363–437.
KLIMCHOUK, A. 1995: Karst Morphogenesis in the Epikarstic Zone. – Cave and Karst Science, 21. 2. pp. 45–50.

- KOVÁCS J. – MÜLLER P. 1980: A budai-hegyek hévizes tevékenységének kialakulása és nyomai. – Karszt és Barlang, II. pp. 93–98.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 1995: A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai. – Földt. Közlöny, 125. 3–4. Budapest. pp. 363–432.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 1997: A József-hegyi-barlang (Budapest) geológiai viszonyai, fejlődéstörténete és a Rózsadomb környéki termálkarsztos barlangok genetikája. – Kandidátusi értekezés. ELTE TTK Általános és Történeti Földtani Tanszék. pp. 47–51.
- MÁDLNÉ SZÖNYI J. – ERÖSS A. – PETHŐ S. L. 2001: A Budai Termálkarszt területén feltételezhető epikarszt vizsgálata. – Zárójelentés a KAC Pályázat keretében 2000–2001. évben végzett munkáról a Környezetvédelmi Minisztérium megbízásából. Kézirat. 50 p. + mellékletek.
- MANGIN, A. 1975: Contribution a l'etude hydrodynamique des aquifere karstiques. These de Doctorat d'Etat Dijon. – Annales Speleo. 29/3. pp. 283–332.; 29/4. pp. 495–601.; 30/1 pp. 21–124.
- MANGIN, A. – BAKALOWICZ, M. 1989: Orientation s de la recherche scientifique sur le milieu karstique. Influences et perceptibles en matiere de protection. – Spelunca, 35, Protection des cavernes et du milieu karstique, Paris. pp. 71–79.
- MARI, L. – FEHÉR, K. 1999: The impacts of land use change on the Budapest hydrothermal-karst: a study of Szemlő-hegy cave. – Essays in the Ecology and Conservation of Karst, IGU Comission Sustainable Development and Management of Karst Terrains. Acta Geographica Tom. XXXVI. Szeged. pp. 104–111.
- NÁDOR, A. 1994: Paleokarstic features in Triassic-Eocene carbonates: Multiple unconformities of a 200 million year karst evolution, Buda Mountain, Hungary. – Zbl. Geol. Palaeont. Stuttgart, Teil I. 1992 (11/12.) pp. 1317–1329.
- SÁRVÁRY I. – MAUCHA L. – IZÁPY G. 1992: Szivárgási vizsgálatok, szivárgási sebesség meghatározása. — Phare/III. III. feladat. Kézirat. 13 p., 9 tábl., 8 ábra.
- SCHEUER GY. – SCHWEITZER F. 1971: A negyedkori fagyaprózódási folyamatok hatása a karsztforrásokra. – Földr. Ért. 20/4. pp. 465–468.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. – TARDY J. 2003: A budai termálkarszt barlangvilága. – A Földgömb, XXI. 5. pp. 18–29.
- TYC, A. 1996: The nature of epikarst and its role in dispersed pollution of carbonate aquifers. – International Conference on Karst-fractured Aquifer – Vulnerability and Sustainability. Katowice-Ustron, Poland, June 10–13., 1996. pp. 270–281.
- VENDEL M. – KISHÁZI P. 1964: Összefüggések melegforrások és karsztvizek között a Dunántúli-középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. – MTA Műszaki Tud. Oszt. Közl. pp. 97–119.
- VÉGH S.-NÉ 1985: A József-hegyi barlangrendszer kutatásához kapcsolódó földtani térképezés eredményei – Kézirat. ELTE Alkalmazott és Műszaki Földtani Tanszék, Budapest.
- WILLIAMS, P. W. 1983: The Role of the Subcutaneous Zone in Karst Hydrology. – Journal of Hydrology, 61. pp. 45–67.
- ZÁMBÓ L. – ZSIGÓ F. – DARABOS G. – ZÁMBÓ A. 1992: Infiltrációs folyamatok és kisérvjelenségeinek folyamatos mérése. — Phare/III. IV. feladat. Kézirat, 25 p., 34 tábl., 80 ábra.