

# SZEMLŐ-HEGYI-BARLANG

## KUTATÁS ZÁRÓJELENTÉS

Megbízók:

Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi  
és Vízügyi Felügyelőség,  
Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság,  
KvVM Barlangtani és Földtani Osztály

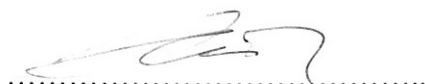
Készült: az ELTE-TTK FFI Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékén  
(tanszékvezető: Dr. Mindszenty Andrea)

Készítették: Virág Magdolna és Mádlné Dr. Szőnyi Judit

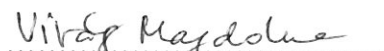
Kutatásvezető: Hegedűs András  
Kut.vez.helyettes: Farkas Román

Budapest, 2009

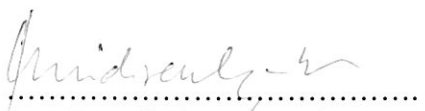
A jelentésben foglalt adatok a kutatók (Virág Magdolna, Mádlné Dr. Szőnyi Judit) szellemi tulajdonát képezik. Felhasználásuk, publikálásuk (részben vagy egészben) csak a kutatók és az ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszéke közös írásos hozzájárulásával lehetséges!



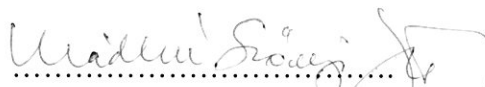
Hegedűs András  
kutatásvezető



Virág Magdolna  
kutató



Dr. Mindszenty Andrea  
tanszékvezető egyetemi tanár



Mádlné Dr. Szőnyi Judit  
egyetemi docens, témavezető



*A Szemlő-hegyi-barlang csepegő vizeinek gyűjtésére és kémiai vizsgálatára az ELTE-TTK Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszéke (később ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék) 2005. április 15-én kapott kutatási engedélyt (engedély szám: KTVF: 4168-3/2005).*

*A kutatás célja a termálkarsztos barlang fölötti antropogén hatásnak is kitett, telítetlen zónában elhelyezkedő, részben epikarsztként viselkedő törmelékta-  
karó beszivárgást módosító, szennyező kiszűrő szerepének kimutatása, telítődési-leürülési folyamatainak a csapadékeseményekkel való időbeli összefüggésének vizsgálata. További cél a terület beépítettségének következtében a nagyváros környezetátalakító tevékenységeiből (pl. feltöltés, beépítés, vegyszerhasználat, útsózás, közműszivárgás) adódó módosító hatások kimutatása.*

## **1. BARLANGBAN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK**

Az engedély kiadását követően – 2005. július 25-től, ideiglenes edények behelyezésével – megfigyeléseket és próbaméréseket végeztünk a végleges edények pontos elhelyezésének és a mérés/leolvasás gyakoriságának optimalizálásához. A mintavételi pontok kiválasztásánál figyelembe vettük, hogy (1) mérhető mennyiségű legyen a vízbeszivárgás, (2) a csepegő helyek alá egyszerűen, fixen beépíthetők legyenek az intenzitáshoz méretezett űrtartalmú edények, illetve (3) a mérési pontok nagyjából egyenletes elrendezésben reprezentálják a barlang ismert járatait.

**A heti rendszerességű méréseket 2005. október 31-én kezdtük meg és 2008. április 13-án fejeztük be.**

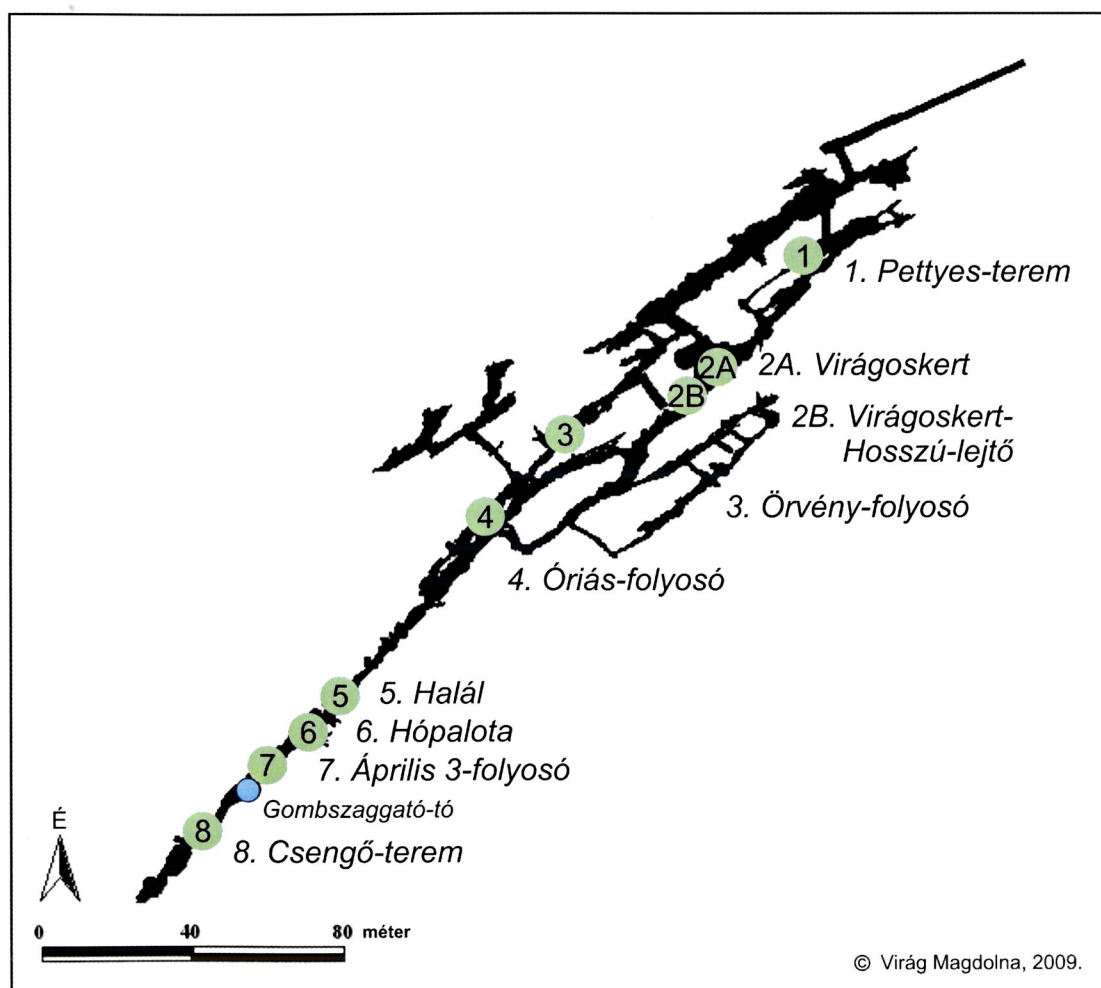
### **1.1 Vízmintavételi mérőhelyek kialakítása, elrendezése**

**Nyolc csepegővíz-mintázó helyet alakítottunk ki, melyek számát a vizsgálatok megkezdése után két hónappal kilencre bővítettük (1. térkép).** A bővítést a 2. számú Virágoskert mérőhelyen tapasztalt nagyon alacsony csepegés intenzitás (1,5 liter/3 hónap) indokolta. Ettől 10 méterrel DK-re alakítottuk ki a Virágoskert-Hosszú-lejtő mérőhelyet, melyet 2B jelzéssel láttunk el, 2A jelzéssel összehasonlítás céljából megtartva az eredeti beépítést is.

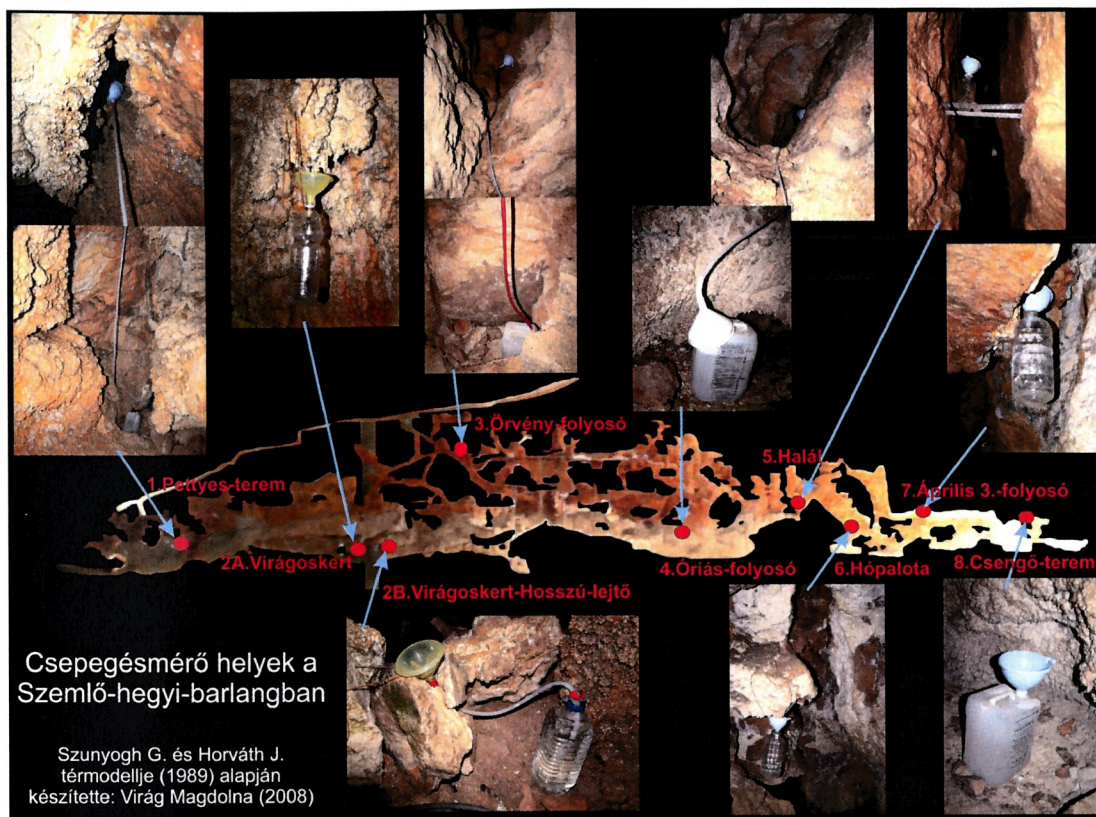
A csepegőhelyek egy részénél a műanyag vízminta-gyűjtő edényt vékony zsinór segítségével kötöttük stabil sziklaélekre, illetve kiszögellésekre. Az egyik mérőhelyen („Halál”) egy már beépített fém alátámasztásra helyeztük az edényt, majd később néhány méterrel távolabb saját alumínium alátámasztást alakítottunk ki. A későbbi gyakorlati mintázás indokolta több helyszínen is a tölcser közvetlen csepegőhely alatti rögzítését, ahonnan műanyag csövön keresztül vezettük le a vizet a mérőedénybe.

**A végső kialakításban (1. kép)** a Virágoskert edénye 2 literes, és vékony zsinór segítségével felfüggesztve, a tölcserrel együtt közvetlenül a csepegés helye alatt lóg. A borsóköves falszakaszon szivárgó és csepegő, relatíve nagyon kis mennyiségű vizet gyűjti össze. A Virágoskert-Hosszú-lejtő és Halál 5 literes edényébe közvetlenül a főhasadék tetejéről, magasból cseppen le a víz. Az egymáshoz közeli Április 3.-folyosó és a Csengő-terem mérőhelyek esetében a járat kovás főtéjéről csepegő vizet gyűjtöttük: az előbbi 5 literes edényét a repedés alá zsinórral rögzítettük, az utóbbinál használt 10 literes marmonkannát pedig fél méterrel a csepegőhely alá, az aljzatra

tettük. A Hópalota 5 literes edényét egy kiszögelő perem alatti kisebb intenzitású csepegés alá rögzítettük: a víz itt nem közvetlenül a hasadék főtéjéről, hanem az apró repedéseken, illetve a törmeléken keresztül szivárog. Az Örvény-folyosóban egy magasba nyúló kürtő oldalfalának kisebb kiszögelléséről a tölcsérbe csepegő víz műanyag csövön keresztül jut a járat aljzatán elhelyezett 10 literes kannába. A csepegőhelyek a felszín alatt általában 30-40 méter mélyen találhatóak, azonban ez a mérési pont a többi helyszínhez képest jobban megközelíti a felszínt. Az Óriás-folyosó nagy intenzitású csepegésénél a járat főtéjének repedése alá rögzített és műanyag csövön levezetett víz gyűjtőedénye 20 literes marmonkanna. Azonban az egy hét alatt összegyűlő mennyiség tekintetében még ennek a térfogata is kevésnek bizonyult. E vízmintavételi hely vizsgált szakasza fölött még egy másik, felső járatszint húzódik. A Pettyes-terem 10 literes edényébe a főte felé elszűkülő hasadékba helyezett tölcséren és csövön keresztül jut a víz. A képződményekkel gazdagon borított, keskeny hasadék elszűkülése és szeszélyesen változó oldásformái miatt nem nyilvánvaló, hogy a magasabb részekben, törmeléken átszivárgás vagy a főtéről közvetlen csepegés útján jut le a víz.



1. térkép: Csepegésmérési helyek a Szemlő-hegyi-barlangban



1. kép: Csepegésmérési helyek és vízmintagyűjtő edények beépítési módja

## 1.2 Vízmintavétel és a barlangi mérések menete

A vízmintavételezések és helyszíni mérések – a barlang és az elvégzendő feladatok jellegéből adódóan – csapatmunkában történtek (minimum 3 fős csoport). A csoport gyakorlott barlangkutatókból és lelkes érdeklődőkből állt. A barlangi mérésekkel a helyszínen összességében 97 alkalommal 224 munkaórát töltöttünk el.

A **terepi bejárások, vízminták begyűjtése** (2. kép) és helyszíni mérése általában heti egy alkalommal, hétvégi napokon történt. A kiépített részen ezen kívül hetente több alkalommal, eltérő gyakorisággal is történtek bejárások. Ilyenkor csak a csepegő víz térfogatának leolvasása és az esetleges helyszíni mérések történtek. A bejárások során a laboratóriumi vizsgálatokhoz azokat a mintákat gyűjtöttük be, amelyek edényei minimum 1,5 liter vizet tartalmaztak. Ha nem gyűlt össze a megfelelő mennyiség, csak leolvasás történt, amit a későbbiekben, a folyamatos adatsor érdekében helyszíni mérésekkel is kiegészítettünk.

A barlangban a vízmintavétellel egyidejűleg a következő **helyszíni fizikai és kémiai** (víz- és léghőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség) **méréseket** (3. kép) végeztük el.

*A közel 3 éves vizsgálati időszak alatt összesen 558 mintát gyűjtöttünk be és elemeztünk.*





**2. kép: Vízmintavétel**



**3. kép: Helyszíni mérések**  
(víz hőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség)

A barlangban elvégzett vizsgálatokról **éves kutatási jelentéseket** készítettünk: a mintavételi alkalmak adatlapjai és az elvégzett helyszíni mérések is e jelentésekben részletesen megtalálhatók (**Szemlő-hegyi-barlang – Tájékoztató kutatási jelentés 2006, 2007, 2008**). A kutatás idején (2005-2008) rendkívüli esemény nem történt.

## **2. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK**

A begyűjtött vízminták további laboratóriumi elemzése az **ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékén** (Varga András, Virág Magdolna) történt. A mérések egy része ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ionok) az **ELTE-TTK Analitikai Kémiai Tanszék Speciációs-Gyógyszerész-Nyomanalitikai Laboratóriumában** (Zihné Dr. Perényi Katalin) készült. Az alkalmazott módszerek (MSZ alapján): titrimetria ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), lángfotometria ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) és spektrofotometria ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) voltak. A vízminták bomlékony komponenseinek a mintavételt követő gyors lemérése érdekében a  $\text{HCO}_3^-$  mellett a  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{Mg}^{2+}$  ionok (utóbbiak esetében 2007. december 8-tól) titrálását a barlang fogadóépületében végeztük.

Vizsgálatainkkal párhuzamosan havonta egy alkalommal a barlangból begyűjtött mintákon az **MTA Geokémiai Kutatóintézet Stabilizotóp Laboratóriumában** Siklósy Zoltán hidrogén- és oxigénizotóp méréseket (Finnigan delta plus XP vivőgázás tömegspektrométer) végeztük.

A barlangjáratok felett elhelyezkedő **Barlang utca 12/B** telken naponta helyszíni csapadék és hó mérés történt 2005. november eleje és 2006. május vége között (Medvegné Máthé Krisztina és Medvegy Iván). A csapadékesemények nyomon követéséhez az **Országos Meteorológiai Szolgálat a KMI Torony** (Kitaibel Pál utca) mérőállomásról kértünk adatokat a teljes vizsgált időszakra.

A kutatás az **ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék** és az Erdélyi **Mihály Alapítvány támogatásával** valósult meg (helyszíni mérésekhez műszerkölszönzés, laboratóriumi mérések elvégzése, publikációk, jelentések elkészítése).

## **3. KUTATÁSSAL ÖSSZEFÜGGŐ PUBLIKÁCIÓK**

### **Cikk:**

ERŐSS, A.–MÁDLNÉ SZÖNYI, J.–MÜLLER, I.–VIRÁG, M. (2006): Hydrogeological investigations in the Rózsadomb area for the protection of the thermal karst system (Budapest, Hungary). – Proceedings of the 8th Conference on Limestones Hydrogeology Neuchâtel, Switzerland, 21-23 September 2006 pp. 105-108.

MÁDLNÉ SZÖNYI J.–VIRÁG M.–ERŐSS A. (2007): A Szemlő-hegyi-barlang csepegővizeinek vizsgálata a Budai Márga törmeléktakarón át történő beszívargás értékelése céljából. – Földrajzi Közlemények CXXXI. (LV.) kötet, 4. szám, pp. 371-388.

VIRÁG M.–MÁDLNÉ SZÖNYI J.–MINDSZENTY A.–ZIHNE PERÉNYI K.–LEÉL-ÖSSY SZ.–ERŐSS A.–SIKLÓSY Z. (2009): Az urbanizáció hatása a budai barlangok csepegő vizeire a Szemlő-hegyi-barlang példáján.– Karsztfejlődés XIV. Szombathely (*in press*)

**Konferencia, abstract:**

2006. szeptember 21-23. Neuchâtel (8th Conference on Limestones Hydrogeology):

ERŐSS, A.–MÁDLNÉ SZÖNYI, J.– MÜLLER, I.–VIRÁG, M. (2006): Hydrogeological investigations in the Rózsadomb area for the protection of the thermal karst system (Budapest, Hungary). – Proceedings of the 8th Conference on Limestones Hydrogeology Neuchâtel, Switzerland, 21-23 September 2006, pp. 105-108.

2007. március 23-24. Szombathely, Karsztfejlődés X. Konferencia:

VIRÁG M.–MÁDLNÉ SZÖNYI J.–ERŐSS A. (2007): A Szemlő-hegyi-barlang csepegő vizeinek vizsgálata. – Karsztfejlődés X., Szombathely, p.13.

2008. augusztus 6-14. Oslo (33rd International Geological Congress):

SIKLÓSY, Z.– DEMÉNY, A.– PILET, S.– LEÉL-ÖSSY, SZ.– VIRÁG, M. (2008): Monitoring environmental changes by investigation of stalagmites and drip waters in caves, 33 International Geological Congress, Oslo, abstract volume, <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1338477.html>

2009. március 20-21. Szombathely, Karsztfejlődés XII. Konferencia:

VIRÁG M.–MÁDLNÉ SZÖNYI J.–LEÉL-ÖSSY SZ.–ERŐSS A.–ZIHNE PERÉNYI K.–MINDSZENTY A. (2009): Az urbanizáció hatásai a budai barlangok csepegő vizeire a Szemlő-hegyi-barlang példáján. – Karsztfejlődés XII., Szombathely, pp. 42-43.

2009. szeptember 2-6. Nápoly (13th Congress RCMNS):

VIRÁG, M. – MÁDL-SZÖNYI, J. – LEÉL-ÖSSY, SZ. – ERŐSS, A. – ZIH-PERÉNYI, K. – MINDSZENTY, A. (2009): The effects of urbanization on the underlying thermal karst as reflected by drip-waters in a cave (Buda Hills, Hungary). – 13th Congress RCMNS - 2nd -6th September 2009, Naples, Italy (*in press abstract volume*)

**Diplomamunka:**

VIRÁG M. (2008): A Szemlő-hegyi-barlang csepegő vizeinek vizsgálata a rózsadombi törmeléktakarón át történő beszivárgás értékelése céljából. – diplomamunka, ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 153 p.

*Témavezető:* Mádlné Dr. Szőnyi Judit egyetemi docens, ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

## **4. KUTATÁSI EREDMÉNYEK**

*A kutatás eredményeit Virág M. et al. (2009) cikke nyomán az alábbiakban ismertetjük.*



# AZ URBANIZÁCIÓ HATÁSA A BUDAI BARLANGOK CSEPEGŐ VIZEIRE A SZEMLŐ-HEGYI-BARLANG PÉLDÁJÁN

## 1. Bevezetés

A Budai Termálkarszt egyik fontos alrendszere a felszínnel közvetlenül érintkező rózsadombi törmeléktakaró, helyenként epikarszt. Ez szabályozza a felszínre hulló csapadék beszivárgását, ezáltal a telítetlen zónába történő vízbejutást, ebből következően pedig közvetetten a karsztvízszinthez érkező utánpótlást. Megismerése tehát barlang- és forrásvédelmi szempontból is alapvető fontosságú.

A Rózsadomb száraz barlangjai feltárják a telítetlen zónát, ezáltal „természetes kutató-laboratóriumként” lehetőséget biztosítanak a törmelékfedő, vagy epikarszt hidraulikai viselkedésének tanulmányozására. A csepegés- és csapadék adatok összevetése információval szolgál az epikarszton át történő beszivárgási folyamatok jobb megértéséhez. A természetes környezetben előforduló epikarsztokkal szemben azonban Budapesten, a világváros speciális helyzetéből adódóan emberi tevékenység - elsődlegesen építési, közműfektetési munkák - által megzavart állapot jellemző. FEHÉR K. (In MARI L.–FEHÉR K. 1999) közel két évtizede kezdett méréseivel rámutatott, hogy a csepegővizek kémiai komponenseiben a természetes hatások mellett az emberi felszínátalakító tevékenység és a szennyező források (feltöltés, útsózás, stb.) következményeivel is számolnunk kell.

Kutatásunk elsődleges célja a Szemlő-hegyi barlangban végzett szisztematikus csepegésmérésekkel - a korábbi méréseken túlmenően - a barlang fölötti törmelékzóna, illetve epikarszt beszivárgás közvetítő hatásának, valamint térbeli és időbeli folyamatainak megértése volt. Ezt az összegyűjtött csepegővizek kémiai elemzésével, valamint az eredményeknek a csapadékkal és a csepegési hely földtani környezetével való összehasonlítása révén értük el. Ezekkel összefüggésben kiemelt figyelmet fordítottunk a barlangi csepegésben megjelenő antropogén hatásokra és az azokat előidéző okok kimutatására, eredményeinket ezért összevetettük a felszíni területhasználattal.

Jelen tanulmányunkban általános áttekintést kívánunk nyújtani a kutatás során alkalmazott módszerekről és a belőlük levonható következtetésekből (ERŐSS A. et al. 2006; MÁDLNÉ SZŐNYI J. et al. 2007; VIRÁG M. 2008).

## 2. Szeleológiai és hidrogeológiai viszonyok, antropogén hatások

A Szemlő-hegyi-barlang tanulmányozásának földrajzi keretet a Rózsadomb ad, amely földrajzilag a Hármashatár-hegy csoport DK-i elvégződése. A terület legmagasabb pontja a Látó-hegy (376 m), erózióbázisa pedig a 104 m tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő Duna, amely egyben a langyos és meleg források fakadási szintje is.

A Budai Termálkarszton a Dunához közeli beszivárgási területeken lehulló csapadékvízből származó deszcendens vizek a Duna vonalában az aszcendens

termálvizekkel együtt jutnak felszínre (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 korróziónak 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).

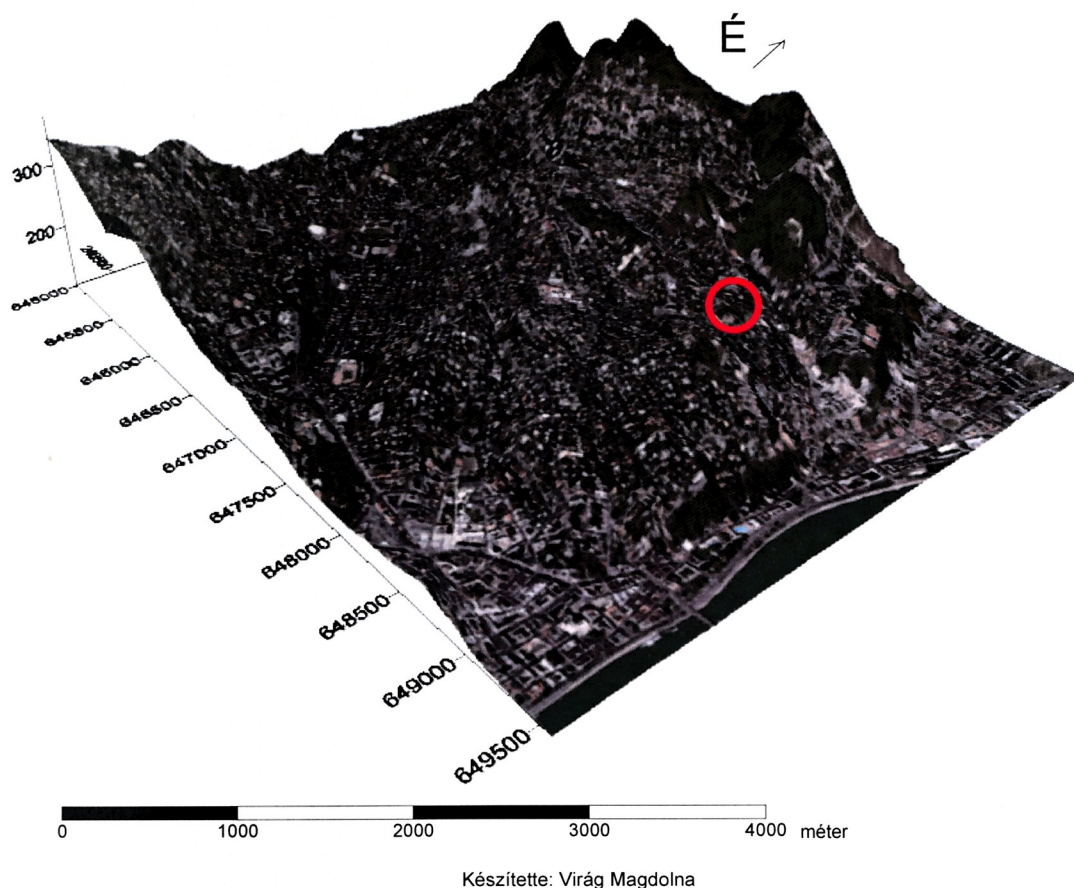
A Rózsadombon és környékén a triász, illetve jelentősebb mértékben az eocén karbonátos kőzetekben (mészköben, márgában) számos barlang és barlangindikáció található (LEÉL-ŐSSY SZ. 1995). Termálkarsztos keletkezésükből adódóan nem jellemző a felszínre nyíló természetes bejárat, vagyis felfedezésük és megismerésük a XIX. század végén – XX. század elején megindult és napjainkban is zajló, a felszín megbontásával járó emberi tevékenységeknek: többnyire kőbányászatnak, építkezések során létesített alapozó gödröknek, vagy csatornafektetési munkálatoknak köszönhető (HAZSLINSZKY et al. 1993). Jelenleg körülbelül 150 darab, több mint 46 kilométer összhosszúságú barlangjárat ismert (ORSZÁGOS BARLANGNYILVÁNTARTÁS). A legtöbb közülük csak barlangindikáció, vagy néhány 10 méteres hosszúságú, azonban 5 barlang (Pálvölgyi-Mátyáshegyi-barlangrendszer, Ferenc-hegyi-barlang, József-hegyi-barlang, Szemlő-hegyi-barlang és Molnár János-barlang) jelentős méretekkel rendelkezik. Ezek a világviszonylatban is jelentős hévizes barlangjáratok – a Ferenc-hegyi-barlang kivételével – szinte teljesen beépített felszín alatt húzódnak. Kutatási területünk a részben idegenforgalmi célra kiépített, könnyen megközelíthető szakaszokkal rendelkező, a felszínen szinte teljesen beépített terület alatt található – ezáltal az antropogén hatásoknak fokozottan kitétt – Szemlő-hegyi-barlang.

A Szemlő-hegyi-barlang befoglaló kőzete a felső-eocén Szépvölgyi Mészke, a felsőbb járatok a felső-eocén, alsó-oligocén bryozoás, ill. Budai Márgában alakultak ki (BENKOVICS L. et al. 1995). A barlang két, szinte párhuzamos fő hasadéka ÉK-DNy-i irányú, melyekhez néhány kisebb mellékág csatlakozik (LEÉL-ŐSSY SZ. 1995). A barlang járatai követik a kőzetrétegek 20°-os dőlését. A fő járatszint 160 m tszf. magasságban, az egykori felfedező bejárat 206 m magasságban helyezkedik el (BENKOVICS L. et al. 1995). A barlangot fedő rétegek vastagsága átlagosan 20 m. A Szemlő-hegyi-barlang a többi száraz barlanghoz hasonlóan a Budai Termálkarszt áramlási rendszerén belül a leszálló hideg ág telítetlen zónájában található, ahol jelenleg a beszivárgó vizek hatása jellemző. A felszínről oldott állapotban migráló ionok, bejutva a barlangjáratokba, módosítják a szilárd kitöltést, a képződményeket. Hatnak a barlangi klímára is, ugyanis a lecseppenő és szétporló víz alapvetően meghatározza az aeroszol összetételét. A Szemlő-hegyi-barlangban 1991-óta működő barlangterápia légzőkúrái szempontjából is lényeges a beszivárgó, csepegő vizek minősége. A tovább mozgó víz pedig a karsztvízszinthez lejutva, hozzájárul a karsztforrások utánpótlásához és befolyásolja vízminőségüket.

A beszivárgást a Rózsadombon a földtani adottságok mellett az utóbbi kétszáz évben jelentősen átalakult területhasználat, valamint az 1985-re 85,3%-ossá vált (MARI L.–FEHÉR K. 1999) és az azóta tovább növekvő beépítettség is befolyásolja (1. ábra). Az építkezések révén nő a burkolt felületek aránya, csökken a beszivárgási terület. A beszivárgó vizekre hatást gyakorol a csatornázás hiánya vagy a meghibásodásából adódó szennyvízbefolyás. Szintén érintik a beszivárgást a csőtörések okozta intenzív vízbeáramlások, illetve az utak sózásából származó



szennyezők (TAKÁCSNÉ BOLNER K. et al. 1989; MARI L.–FEHÉR K. 1999; TAKÁCSNÉ BOLNER K.–TARDY J. 2003).

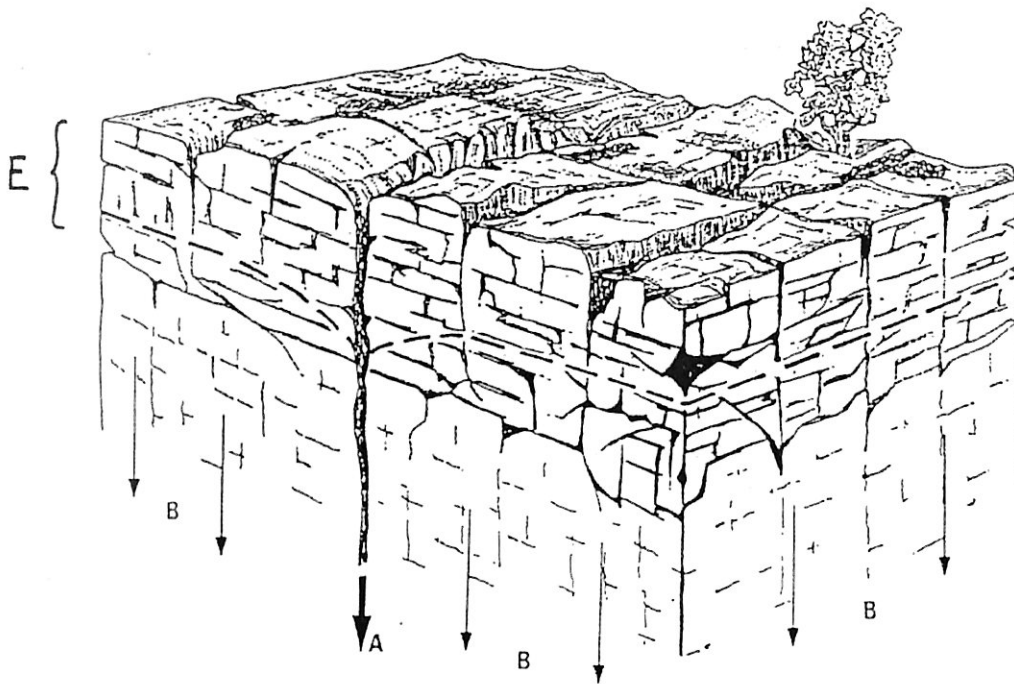


1. ábra: A tágabb értelemben vett Rózsadomb jelenlegi felszínborítása (forrás: Google Earth)

### 3. Rózsadombi törmelékfedő, epikarszt sajátosságai

Az epikarszt a karsztrendszer legfelső, összetöredezett, repedésekkel sűrűn átjárt zónája. Hidraulikai funkciója kettős (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): tározóképesége folytán folyamatos utánpótlódást biztosít a karsztrendszer mélyebb zónái számára; ugyanakkor szerkezetiileg meghatározott járatok mentén koncentráltan is juttathat be vizet a karsztrendszerbe (2. ábra).

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



2. ábra: Az epikarszt sematikus ábrázolása MANGIN, A. (1975) nyomán.  
A: koncentrált beáramlás, B: diffúz beáramlás, E: epikarszt

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 egy speciális kifejlődését találjuk. A Budai Termálkarszt – a nyitott karszt–fedett karszt fejlődési folyamatain 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 fedő összletet hozott létre a karsztos kőzetek felszínén. Megállapítható, hogy a Rózsadomb területén a fellazult karbonátos szálkőzet és a törmeléktakaró bizonyos helyzetekben epikarsztként funkcionál és a beszivárgást, valamint a szennyezők bejutását szabályozó szereppel bír (ERŐSS A. 2001; MÁDLNÉ SZŐNYI J. et al. 2001). Ezek a rózsadombi törmelékes sorozatok tehát csak részben viselkednek – a korábbi feltételezéseknek megfelelően – vízvisszatartó fedőként.

Építési feltárásokban és archív fotódokumentációs anyagokon elvégzett földtani és karsztmorfológiai vizsgálatok alapján a következő típushelyzeteket sikerült azonosítani a fedőre vonatkozóan (ERŐSS A. 2001; MÁDLNÉ SZŐNYI 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 egészben áthalmazott vörös-agyagos talaj teszi ki.

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

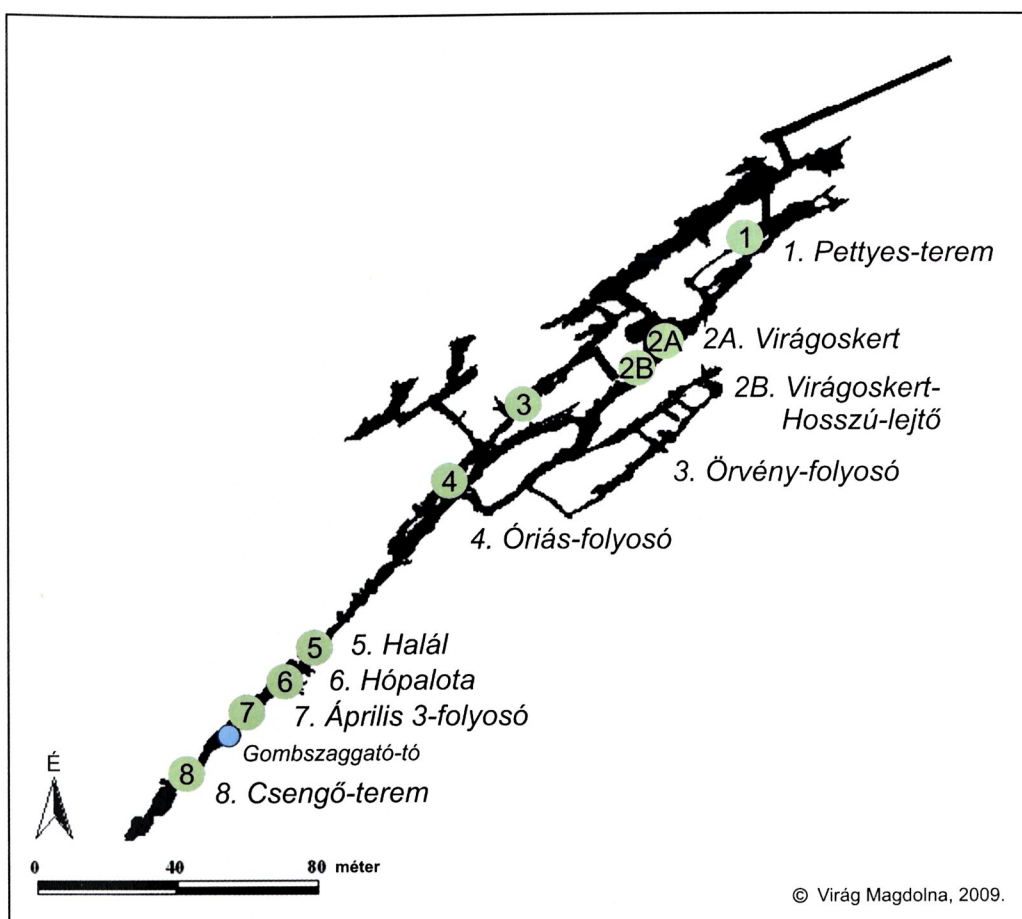
A másodiktól a negyedik típushelyzetig a szálkőzet fölött kialakult törmelékes sorozat permeabilitása fokozatosan csökken. A második csoportba tartozó sorozatok permeábilis víztartóként funkcionálnak, míg a negyedik sorozatnál az agyagos-lössös rétegek vízfogóként hatnak. Tényleges epikarsztként a második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

#### **4. Barlangi és felszíni vizsgálati módszerek**

A kutatás keretein belül a rendszeres csepegés-méréseket 2005. november 1-én kezdtük meg, és 2008. április 13-ig végeztük. A barlangban 8 csepegővíz mintázó helyet alakítottunk ki, melyet később kilencre bővítettünk (2B helyszíni) (3. ábra).

A mintavételi pontok kiválasztásánál figyelembe vettük, hogy mérhető mennyiségű legyen a vízbeszivárgás, a csepegő helyek alá egyszerűen, fixen beépíthetők legyenek az intenzitáshoz méretezett ürtartalmú edények, ill. a mérési, csepegési pontok nagyjából egyenletes elrendezésben reprezentálják a barlang ismert járatait. A csepegőhelyek általában a felszín alatt 30-40 méter mélyen találhatóak. Általában jellemző, hogy a bejárattól a végpont felé nő a főté vastagsága. Az Örvény-folyosó a többi mérési helyszínhez képest jobban megközelíti a felszínt. Az Óriás-folyosó vizsgált szakasza fölött még egy másik, felső járatszint húzódik. Az edények egy része közvetlenül a hasadékból gyűjti a vizet (pl. Virágoskert-Hosszú-lejtő, Halál, Április 3.-folyosó, Csengő-terem), más részükbe apró repedéseken keresztül szivárog a víz (pl. Hópalota).

A barlangjáratok felett elhelyezkedő Barlang utca 12/B telken naponta helyszíni csapadék és hó mérés történt 2005. november eleje és 2006. május vége között. Az Országos Meteorológiai Szolgálattól a teljes időszakra megkaptuk a barlanghoz legközelebbi helyszíni, a KMI Torony adatait.



3. ábra: Csepegés-mérési helyek a Szemlő-hegyi-barlangban

Heti gyakorisággal olvastuk le az összegyűlt víz mennyiségét, és egyidejűleg helyszíni fizikai és kémiai (víz- és léghőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség) méréseket is végeztünk (ZIHNE PERÉNYI K. 2008).

A begyűjtött vízminták további kémiai elemzése az ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékén (Varga András) és az Analitikai Kémiai Tanszék Speciációs-Gyógyszerész-Nyomanalitikai laboratóriumában történt. Az alkalmazott módszerek: titrimetria ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ), lángfotometria ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) és spektrofotometria ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) voltak. A közel 3 éves vizsgálati időszak alatt összesen 558 mintát gyűjtöttünk be és elemeztünk.

Vizsgálatainkkal párhuzamosan a havonta egy alkalommal begyűjtött mintákon az MTA Geokémiai Kutatóintézetben stabil oxigénizotóp mérések készültek.

Az értékelés során a csepegőhelyek kémiai komponenseinek mediánjait kör- és oszlopdiagramon összehasonlítva, továbbá a csapadék–csepegés intenzitás, a csepegés intenzitás–elektromos vezetőképesség idősorokat, valamint mérőhelyenként az átlagos (medián) kémiai összetételt (meq/l; %) (fő kationok és anionok) jelenítettük meg. Idősoros vizsgálatokat is végeztünk. A napi csapadékatokat a csepegés intenzitással - az összegyűlési napokra vonatkozóan



egyenletesen elosztva - ábrázoltuk. Az észlelések kimaradását, sikertelenségét adathiány jelzi az idősorokon.

A felszíni antropogén hatások térbeli vizsgálatához térinformatikai módszereket alkalmaztunk. Georeferált alaptérképek segítségével megvizsgáltuk a barlangjáratok pontos elhelyezkedését a felszínhez képest, és a rendelkezésre álló fixpontok felhasználásával elkészítettük a barlang 3D polygonhálózatát. A területhasználat elemzésével meghatároztuk a felszíni és felszínközeli szennyező veszélyforrásokat, valamint a burkolt és beszivárgási felületek arányát. Felhasznált szoftverek: ERDAS IMAGINE 8.5, ER Mapper 7.0, ArcView GIS 3.3, Surfer 8, POLYGON barlangtérképező program

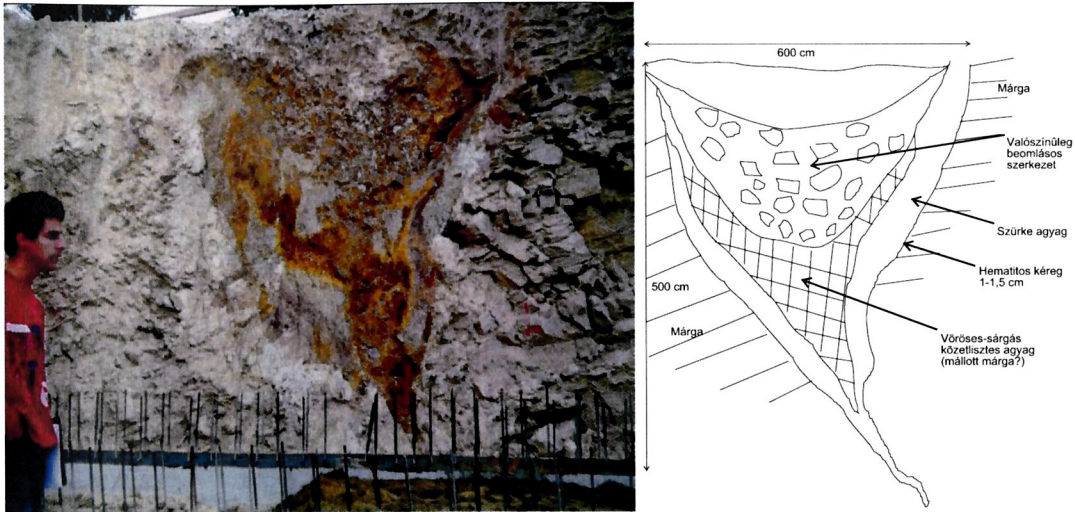
## 5. A barlangi törmeléktakaró földtani és morfológiai sajátosságai

A vizsgálatok szempontjából fontos volt a barlang és közvetlen környezete földtani viszonyainak feltárása. A lokális földtani kérdések megválaszolásához WEIN GY. (1977) térképe jelentette a kiindulási alapot, amelyet a fellelhető adatokkal: archív sekélyfúrások, feltárásban végzett megfigyelések és az azóta megtalált, felszínre nyíló barlangjáratok adataival sikerült pontosítani. Mindezek alapján megállapítható, hogy a felszínen és felszínközeli a Szemlő-hegyi-barlangtól DK-re egyre nagyobb vastagságban Budai Márga Formáció jellemző. A barlang É-ÉNy-i környezetében már csak a Szépvölgyi Mészke Formáció jelenik meg, és hiányzik a Budai Márga. A barlangtól ÉNy-ra húzódó vető túloldalán pedig a Szépvölgyi Mészke alatt 6 méterrel már a triász tüzköves mészke (Mátyáshegyi Formáció) található. A barlang környezetében törmelékfedő a Szépvölgyi Mészke és a Budai Márga felszínén alakulhatott ki.

A Szemlő-hegyi-barlang és a tőle ÉNy-ra nyíló Zsindely utcai-barlang között WEIN GY. (1977) egy ÉK-i irányú vetőt feltételezett. Ez a vető a Szemlő-hegyi-barlang jelenleg ismert szakaszaiban nem jelenik meg. A túloldalon azonban a Zsindely utcai-barlangban a felső-eocén Szépvölgyi Mészke fekéjében már a triász Mátyáshegyi Formáció 6 méterre megközelíti a felszínt, ugyanakkor a Budai Márga teljesen hiányzik a rétegsorból (LEÉL-ŐSSY SZ. 1995). A Barlang utca 6. (jelenleg 6-8.) telken 2007-ben építkezés közben feltárt Pünkösdi-barlang járata 12 méter mélységig végig Szépvölgyi Mészkeben húzódik, a Szemlő-hegyi-barlang Agyagos-szakasza mellett, azaz itt a rétegsorból teljesen hiányzik a Budai Márga (LEÉL-ŐSSY SZ. 2007). Az Örvény-folyosó bejáratánál (a Raktár részen) azonban már kis vastagságban megjelenik a márga. A Pusztaszeri út – Barlang utca sarkán (ma Barlang utca 6-8.) pedig egy 2000-ben létesített alapozó-gödörben talált, két nagy gömbfülkéből álló Pusztaszeri-barlang 9,5 méter mélységű, befoglaló köze a Budai Márga, ami a bryozoás márgába mutat átmenetet (LEÉL-ŐSSY SZ. 2000). Megállapítható tehát, hogy a triász és eocén mészkeben kialakult Zsindely utcai-barlang és az eocén márgában keletkezett Pusztaszeri-barlang 50 méter szintkülönbséggel egymástól mindössze 200 méter távolságra található. Ezt 50 méter elvetési magasságú vetővel lehet értelmezni.

A Szemlő-hegyi-barlang törmelékes fedője a Pusztaszeri út és Barlang utca sarkán 2000-ben épült lakópark alapkiásása idején térben is tanulmányozható volt. A szalban álló, kemény, tömör, pados megjelenésű Budai Márga (rétegdőlés:

140/20°) felső része itt fellazult, agyaggal kevert durva közettörmelékes vagy agyagos löszös alapanyagba ágyazott pár cm-es törmelékekből felépülő zóna. A törmelékzóna megjelenése gyakran töbörkitöltés vagy beszakadás jellegű, amely kedvez a víz elvezetésnek. A munkagödörben vöröses kőzetliszttel, ill. törmelékkel kitöltött 6 m átmérőjű és 5 m mély képződmény is megfigyelhető volt, amely paleovíznyelőként értékelhető (4. ábra) (ERŐSS A. 2001; MÁDLNÉ SZŐNYI J. et al. 2001; ANGELUS B. et al. 2002). Földtani analógiák alapján ez a fedőjelleg várható a Szemlő-hegyi-barlang fölött is.



4. ábra: A "paleo-víznyelő" a Pustaszeri úti lakópark építési feltárásában

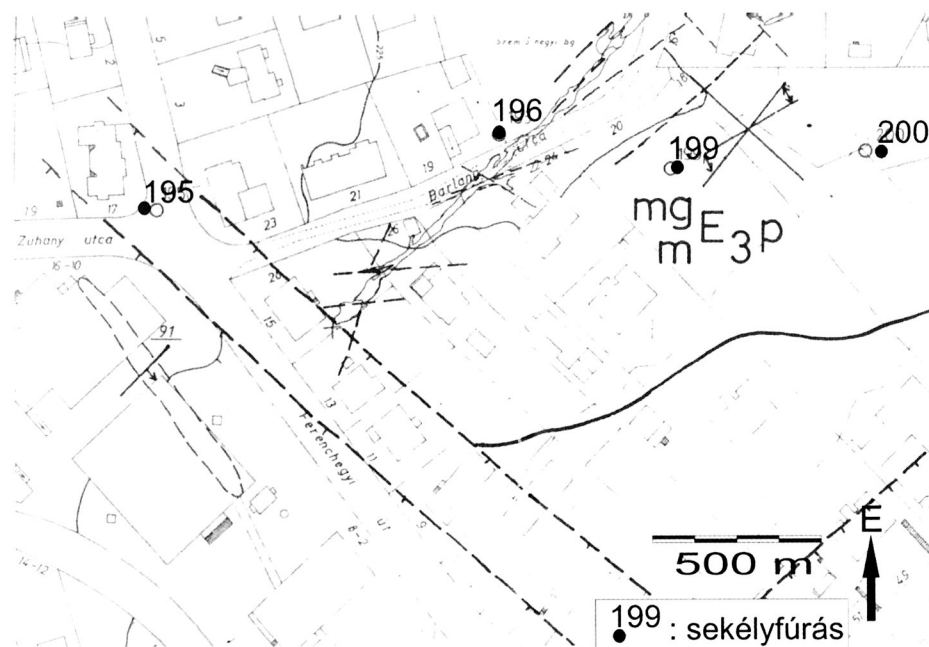
A fedő anyaga a barlangjáratok közelében mélyült sekélyfúrásokból pontszerűen ismert (VÉGH S.-né 1985). A járatoktól É-ÉK irányban mélyült 195. és 196. fúrások 3,5-3,7 m mélységig szoliflukciós eredetű, vegyes anyagú lejtőtörmelék harántoltak. A 199. számú és 200. számú fúrások szerint a barlangtól DK-re, 0,3-0,5 m mélységig feltöltés, alatta pedig szálban álló bryozoás márga húzódik (5. ábra). A felszíni jegyek alapján a törmelékfedő az epikarsztos értékelés szempontjából második és a harmadik kategóriába sorolható (ERŐSS A. 2001; MÁDLNÉ SZŐNYI J. et al. 2001). Előbbi tehát epikarsztnak minősíthető.

A telítetlen zónában zajló beszivárgást befolyásolják a szerkezeti elemek. Ezek a Szemlő-hegyi-barlangra jellemzően ÉK-DNy-i csapásirányúak, ez a barlangjáratok tektonikus főiránya is. Emellett ÉNy-DK-i törések és É-D-i, továbbá K-Ny-i szerkezetek is hatással vannak a beszivárgó vizek elvezetésére.

A szerkezetek beszivárgási folyamatokban betöltött fontosságát támasztja alá az 1992-ben elvégzett szivárgási kísérlet eredménye (SÁRVÁRY I. et al. 1992; LEÉL-ŐSSY SZ. 1997), amely szerint a fedő 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 Mészke és Budai Márga 20°-os dőlésű határa befolyásolja. A dőlésviszonyokat, valamint a Szemlő-hegyi-barlang felszín alatti térbeli elhelyezkedését számításba véve, a fő járatszintekre (~160 mBf) vonatkozóan a járatok és a felszín között ÉK-ről DNy-i irányban nő a fedővastagság. Minden

bizonytal a réteghatár menti vízmozgás és a fedő vastagsága egyaránt befolyásolja az átszivárgást.

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



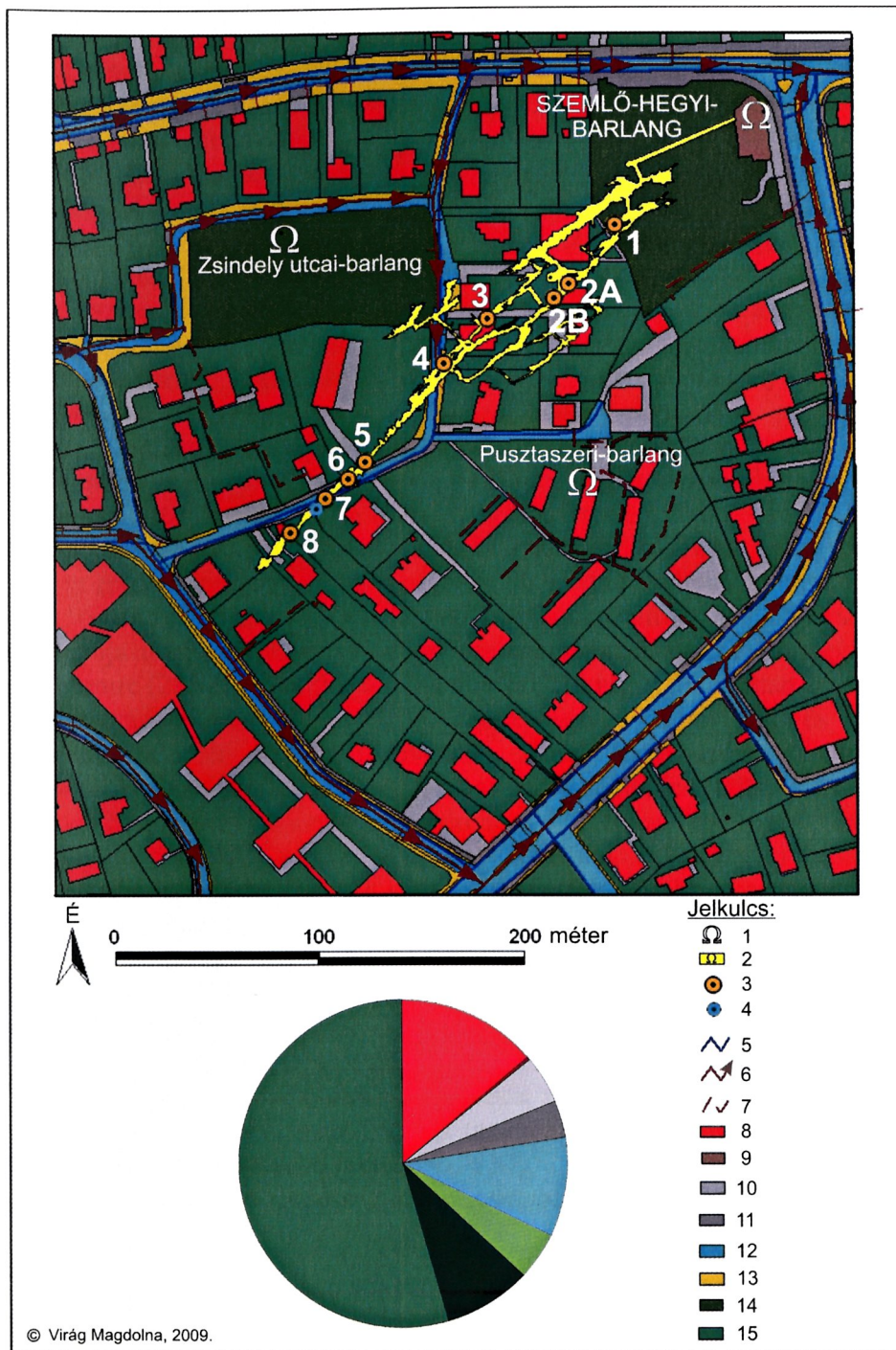
5. ábra: Földtani térképvázlat (VÉGH S-né 1985)

## 6. Felszíni és felszínközeli veszélyforrások

A Szemlő-hegyi-barlang környékének felszínborítás térképe mutatja a barlangjáratok és a csepegőhelyek elhelyezkedését is (6. ábra). A vizsgált területen belül a beszivárgás lehetőségét megteremtő zöldfelület aránya kb. 70%, az épületekkel, járdával, utakkal burkolt felületek pedig kb. 30%-ot tesznek ki.

A fő vízvezeték- és csatornahálózat lefutása általában a közút hálózatot követi. A csatornázatlan utcaszakaszok ingatlanjairól a kötelező közműre csatlakozást szomszédos telkeken keresztül vezető mellékcsatornákkal oldották meg. A terület szennyező forrásai a csatornákból vagy szikkasztókból a szennyvíz szivárgása, a kertekben műtrágya és egyéb vegyszerek használata, továbbá az utak téli csúszásmentesítése, sózása.





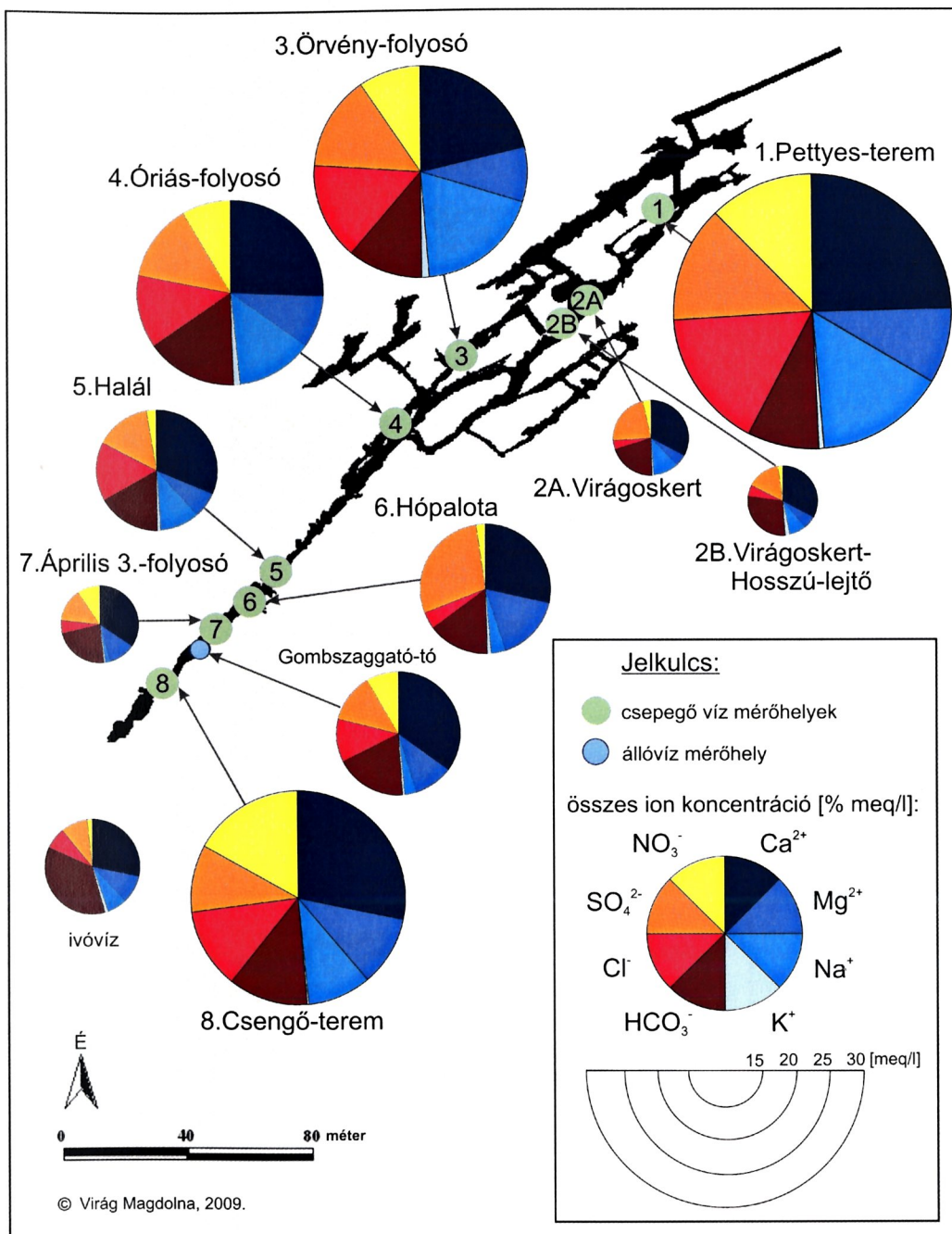
6. ábra: A Szemplő-hegyi-barlang környékének felszínborítása  
 (1 – barlang bejárata; 2 – Szemplő-hegyi-barlang járata; 3 – csepegés mérési pontok; 4 – állóvíz mérési pont; 5 – vízvezeték;  
 6 – főcsatorna; 7 – csatorna; 8 – épület; 9 – barlang fogadó épülete; 10 – beton járda; 11 – járda; 12 – út; 13 – járdaszegély  
 14 – beépítetlen terület; 15 – kert)



## 7. A csepegő vizek értékelése

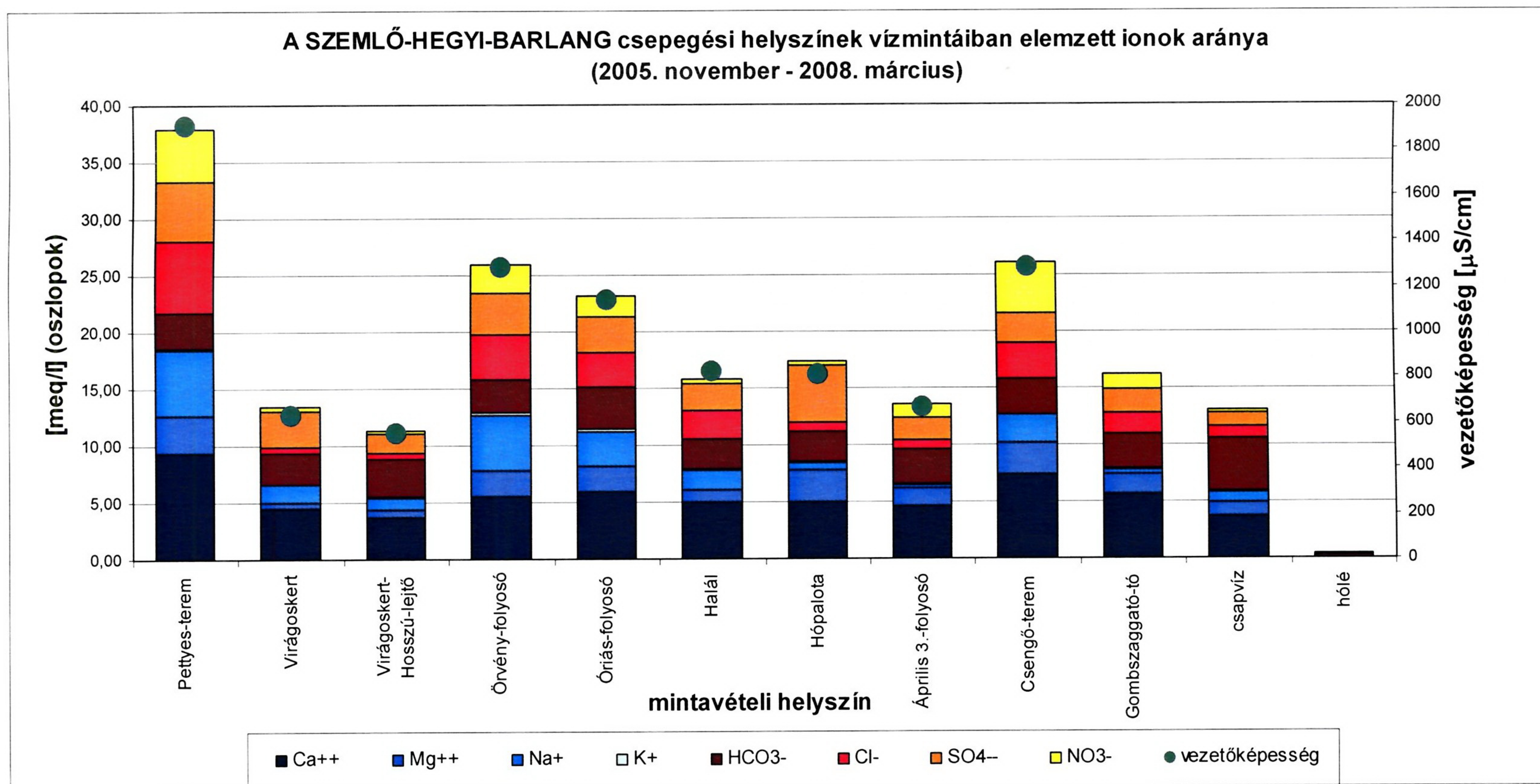
Az egyes csepegőhelyeken gyűjtött vizek mennyiségéből és kémiai analiziséből kapott mediánértékeket összehasonlítva a barlang bejáratától a végpont felé a vízminták mennyisége és minősége is jelentősen változik. Mindenhol szembetűnő a  $\text{Ca}^{2+}$  magas aránya, ugyanakkor a természetes eredetű karsztvizekkel szemben a  $\text{HCO}_3^-$  aránya jóval kisebb, továbbá az antropogén forrásból származó  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  és  $\text{NO}_3^-$  ionok aránya meghatározó. Az egyes csepegési helyekre az ionokra vonatkozó koncentráció értékeket és a csepegővizek fajlagos elektromos bemutató oszlopdiaagramon (7.a-b ábra) a Virágoskert és a Virágoskert-Hosszú-lejtő értékei a legalacsonyabbak, és a  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  és a  $\text{SO}_4^{2-}$  ionok nagyobb mennyisége jellemző. A Hópalota vizében a  $\text{SO}_4^{2-}$  magasabb aránya jellemző. Az Óriás-folyosó és Örvény-folyosó mintáiban sokkal magasabb a  $\text{Na}^+$  és  $\text{Cl}^-$  részese, a Csengő-terem esetében pedig a  $\text{NO}_3^-$  értéke kiugróan magas. A Pettyes-teremnél szembetűnő a fajlagos elektromos vezetőképesség kiugrása, ezen belül pedig az antropogén eredetű ionok magas aránya. A Halál, Április 3.-folyosó és Gombszaggató-tó helyszínek értékei átmeneti állapotot tükröznek. Az antropogén eredetű ionok közül a legjelentősebb a nitrát előfordulása, mediánjait az ivóvízre vonatkozó határértékkel (50 mg/l) összehasonlítva megállapítható, hogy koncentrációja több helyszínen is jelentősen meghaladja azt. Ez a megállapítás a Pettyes-teremre (280 mg/l) és a Csengő-teremre (270 mg/l) fokozottan érvényes.

A kutatás másik célja volt a csepegővizek mennyiségi és minőségi változásainak időbeli nyomon követése. Ezzel kapcsolatban a következő megállapítások fogalmazhatók meg. A barlang beépítetlen telke alatt található (6. ábra) Virágoskert-Hosszú-lejtő mérőhely (8. ábra) csepegés intenzitása jelentősebb havazásokat és hóolvadásokat követően, néhány nap késleltetéssel hirtelen emelkedik, majd fokozatosan csökken. Jelentősebb csapadékesemények hatására egy-két napon túl emelkedés, majd gyorsabb csökkenés következik. Az előbbi jelenség az epikarszt tározó-vízvisszatartó, az utóbbi pedig a közvetlen víztovábbító hatását tükrözi. A fajlagos elektromos vezetőképesség értékekben a hóolvadást követően a csepegés intenzitással párhuzamosan hirtelen emelkedés, majd fokozatos csökkenés tapasztalható. Ez a repedésekben pangó víz leürülésére, majd a hólé megjelenésére utal. Esőzéseket követően a fajlagos elektromos vezetőképesség csökkenés, azaz hígulás tapasztalható. A természetes eredetűnek tekintett  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  és kisebb mértékben a  $\text{Mg}^{2+}$ , valamint a  $\text{SO}_4^{2-}$  ionok követik a fajlagos elektromos vezetőképesség időbeli változását (9. ábra).



7.a ábra: Vízminták csepegőhelyenkénti meq/liter középértékeinek összehasonlítása





7.b ábra: Vízminták csepegőhelyenkénti meq/liter és fajlagos elektromos vezetőképesség középértékeinek összehasonlítása



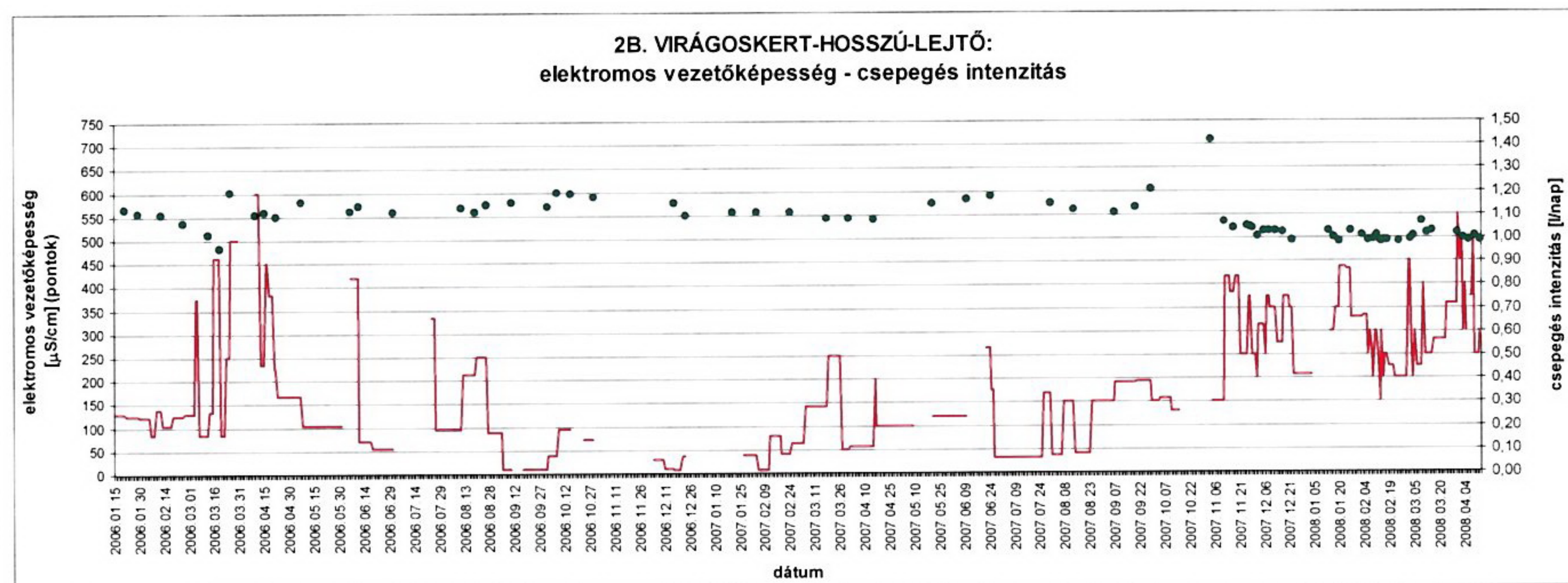
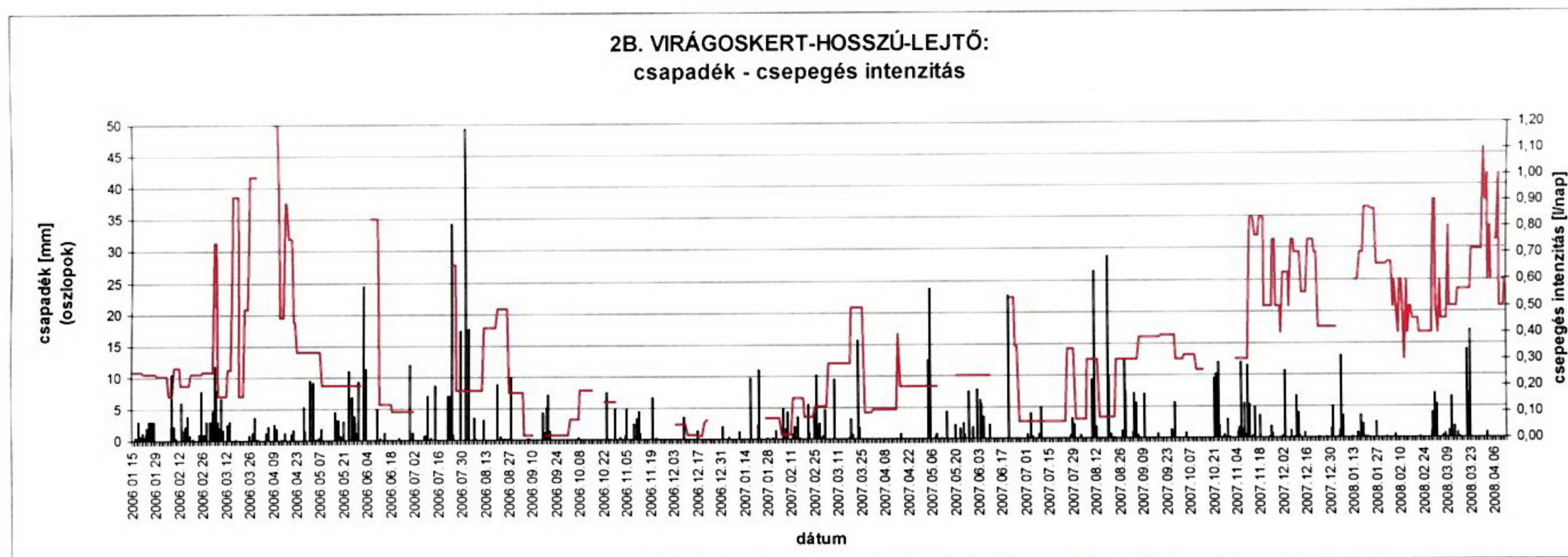
A Hópalota vízmintája az előző helyhez hasonlóan (6. ábra) szintén természetes beszivárgást tükröz. A csapadékeseményt követő feltöltődés-leürülés itt – a feltételezhetően jelentősebb törmelékzónának köszönhetően – lassabban következik be, és hatása hosszabb ideig nyomon követhető. A fajlagos elektromos vezetőképesség a csepegésintenzitással általában fordított arányban változik. A vezetőképesség értékekkel időben együtt nő és csökken a  $\text{Ca}^{2+}$  és  $\text{SO}_4^{2-}$  koncentrációja, valamint alacsonyabb értékekkel a  $\text{Mg}^{2+}$  és a  $\text{HCO}_3^-$  értéke (10. ábra). Mivel az antropogén ionok mennyisége alacsony és változatlan, a nagy koncentrációban jelentkező szulfát forrása ebben az esetben valószínűleg „természetes szennyezés”: a Budai Márgában települő pirit, ill. annak oxidációja lehet.

A Pettyes-terem a barlang feletti védett terület Ny-i végénél található (6. ábra). A csapadék-csepegésintenzitás és vezetőképesség változása – magasabb értékekkel – a Virágoskert-Hosszú-lejtőnél bemutatott folyamat szerint alakul. Az ionok többsége tág koncentrációhatárok közt ingadozik, és időben a fajlagos elektromos vezetőképességhez hasonlóan változik (11. ábra). Itt azonban a természetes ionok mellett az antropogén eredetű ionok magas értéke és ingadozása is szembetűnő. Mivel itt feltételezhető a felszíni-felszínközeli rész korábbi, idegen eredetű anyaggal történő feltöltése, a beszivárgási jelenségek alapján a törmelékfedő „antropogén epikarsztként” funkcionál.

Az Óriás-folyosó csepegővizeire számottevő antropogén befolyásoltság jellemző (6. ábra). A csapadékeseményekkel az előbbi helyekhez képest nem mutat összefüggést a kiemelkedően magas csepegésintenzitás (22 liter/hét!), és a fajlagos elektromos vezetőképesség is nagyon ingadozó. Ugyanakkor leginkább szembetűnő a  $\text{Na}^+$  és  $\text{Cl}^-$  ionok évszakos ingadozása (12. ábra). A folyamatosan magas vízmennyiség vízvezeték szivárgásra utalhat (MARI L.–FEHÉR K. 1999). Az ionok évszakos ingadozásából és a fajlagos elektromos vezetőképesség tág határok közötti változásából adódóan feltételezhető a felszínről beszivárgó víz hozzákeveredése.

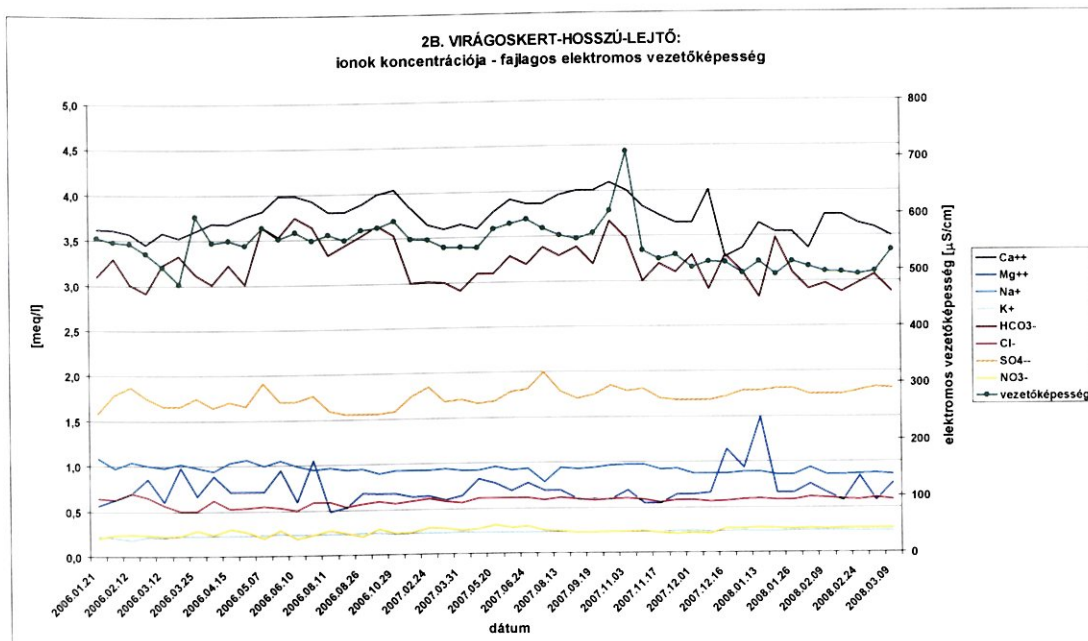
A beépített terület alatt található Csengő-terem (6. ábra) csepegésintenzitása esetében – az előző helyszínhez hasonlóan – szintén nem tapasztalható összefüggés a csapadékeseményekkel, és a fajlagos elektromos vezetőképesség is folyamatosan ingadozik. Az  $\text{NO}_3^-$  az eddigi csepegő-helyekhez képest folyamatosan magas koncentráció értékekkel van jelen és ezen belül nagyon tág tartományban ingadozik. A többi ion viszonylag stabil (13. ábra). Ez alapján a Barlang utca 19. mellécsatornájából történő hozzászivárgás feltételezett.



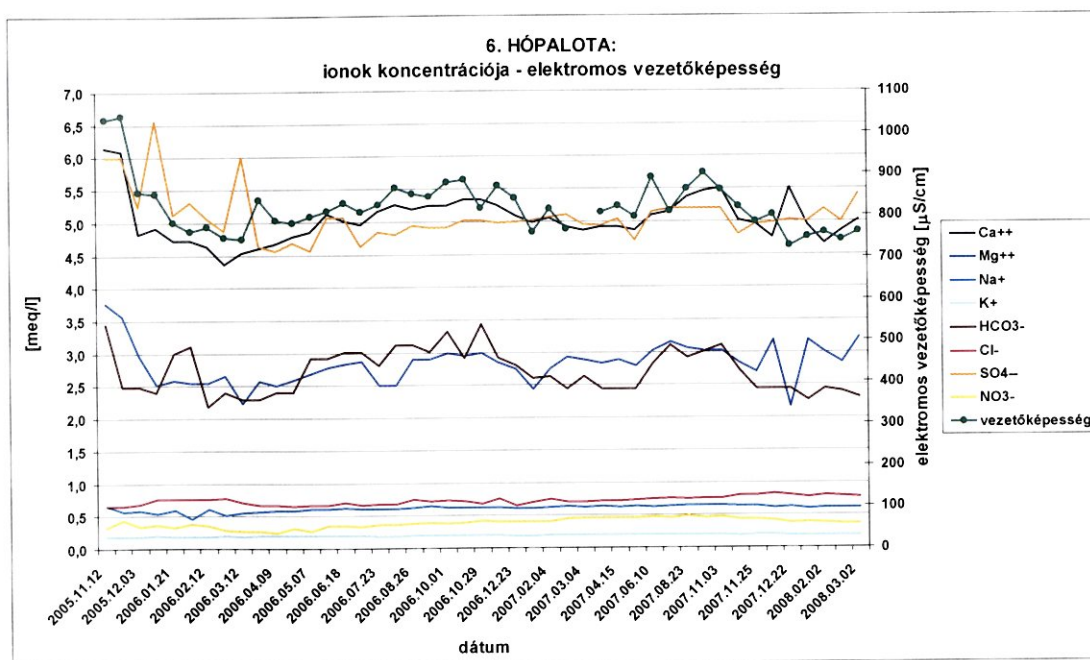


8. ábra: Virágoskert - Hosszú lejtő: csepegés-mérési idősor

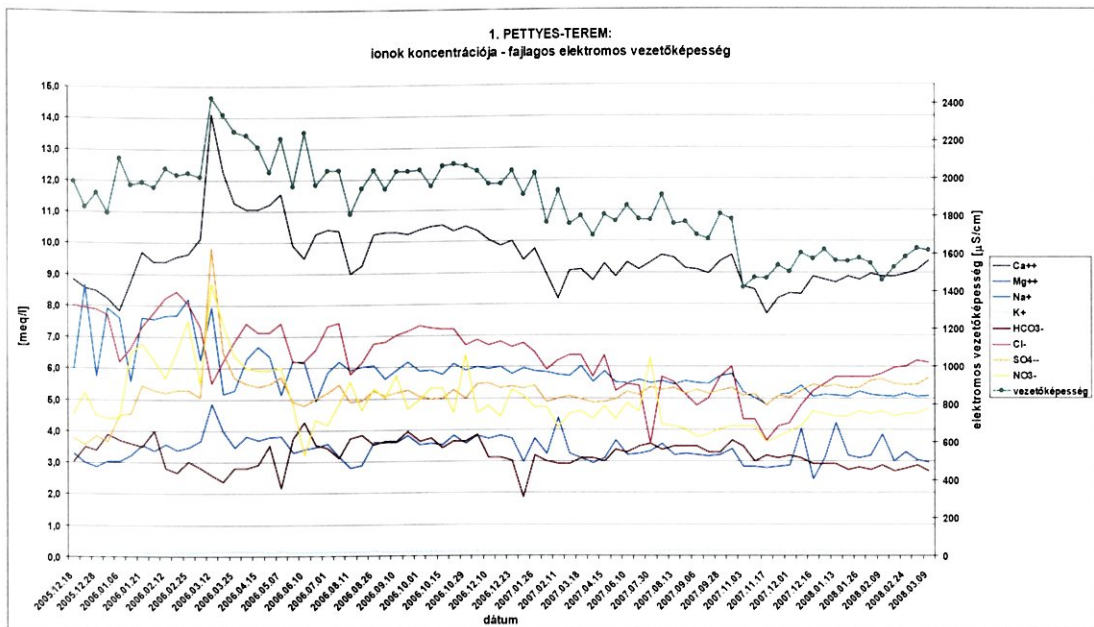




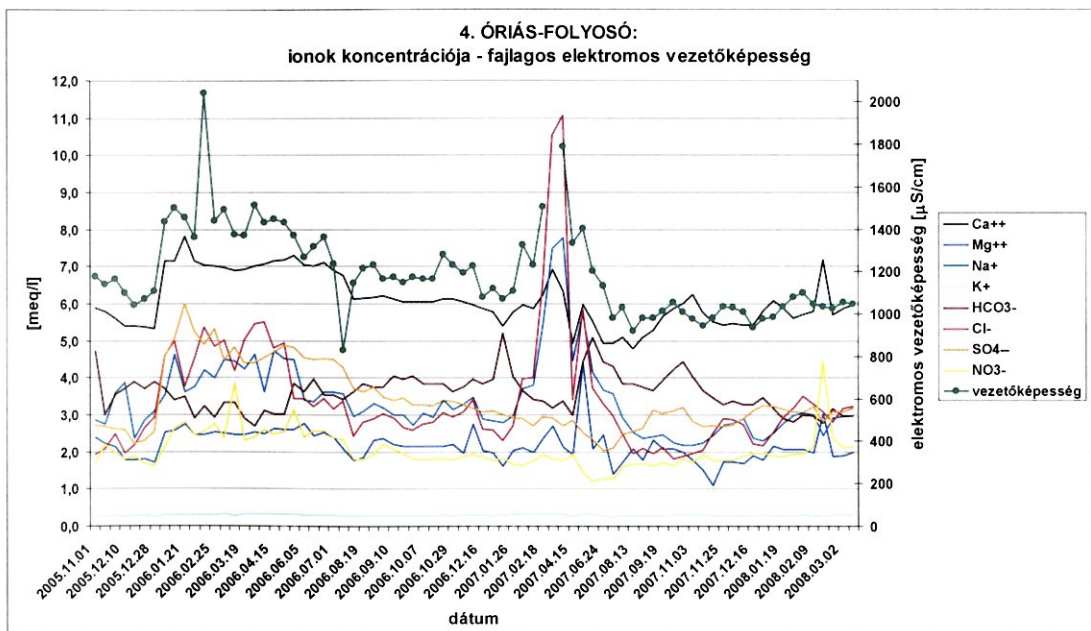
9. ábra: Virágskert-Hosszú-lejtő: csepegő vizek kémiai összetétele



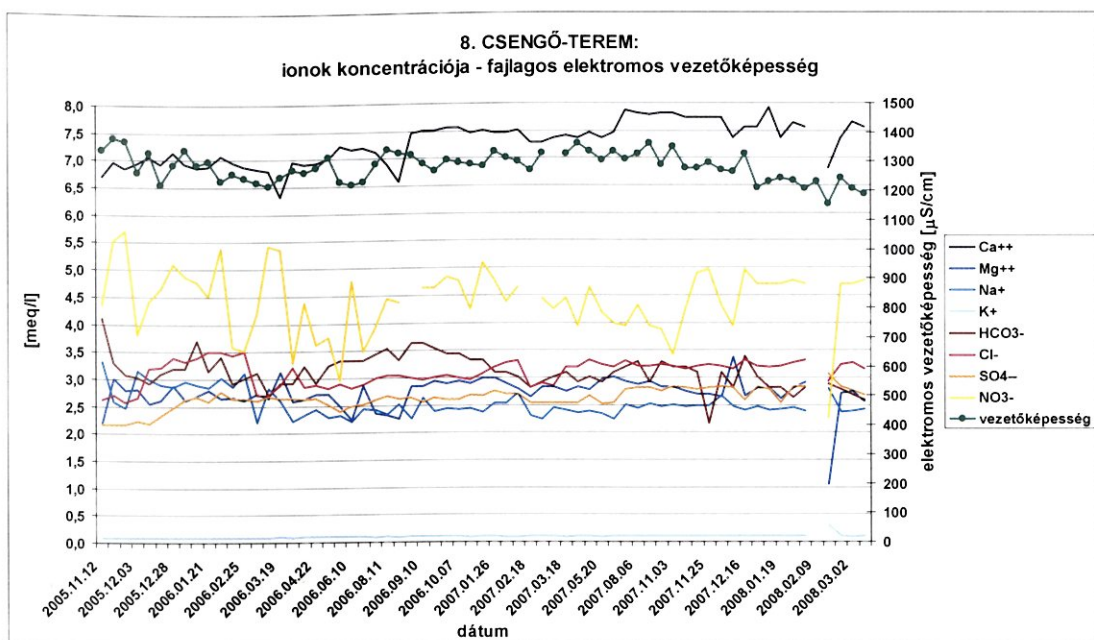
10. ábra: Hópalota: csepegő vizek átlagos kémiai összetétele



11. ábra: Pettyes-terem: csepegő vizek kémiai összetétele



12. ábra: Óriás-folyósó: csepegő vizek kémiai összetétele



13. ábra: Csengő-terem: csepegő vizek kémiai összetétele

## 8. A csepegő vizek stabil oxigénizotópos vizsgálata, diszkusszió

A barlangi csepegő vizek hidrogeokémiai vizsgálata mellett a stabilizotópegokémiai vizsgálatok elsősorban a beszivárgó vizek eredetére, illetve a beszivárgás közben bekövetkezett másodlagos folyamatokra nyújtanak információt (TOOTH, A.F.–FAIRCHILD, I.J. 2003, LACHNIET, M.S. 2009). A természetes beszivárgási területeken a barlangi csepegő víz gyakorlatilag egyetlen forrása az adott területre hulló csapadék. A beszivárgás során bekövetkezhet a hulló csapadék (1) felszíni lefolyása és/vagy szelektív beszivárgása, (2) ideiglenes tározódása a törmeléktakaróban (helyenként epikarsztban), (3) párolgása, vagy (4) geológiai léptékű időskálán a beszivárgás útjának megváltozása.

Az emberi hatásokkal terhelt területek esetében a beszivárgó vízhez hozzákeveredhet antropogén eredetű víz is, elsősorban az ivó- és szennyvízhálózati rendszerből. Budapest ivóvíz ellátásának elsődleges forrása a parti szűrésű kutakon keresztül a Duna folyó. Ennek stabilizotópeg vizsgálata megmutatta (FÓRIZS, I.–JUHÁSZ, P. 2002), hogy a folyóvíz  $\delta^{18}\text{O}$  értéke (kb. -11 ‰ – -11,3 ‰) a budapesti csapadékvizeknél (kb. -9,7 ‰) negatívabb, az alpi területre eső, hazánkétól magasabban fekvő vízgyűjtőterülete miatt. Mivel a szennyvízcsatornában megjelenő víz elsődlegesen az ivóvízcsatornákból ered, ezek stabilizotópeg összetételében jelentős különbség nem adódik.

A felszínre hulló csapadék lassú és/vagy diszperz beszivárgása pozitív irányú eltolódást okoz a csepegő víz  $\delta^{18}\text{O}$  értékében, mivel a párolgás során a könnyű (negatívabb) izotópban dús  $\text{H}_2\text{O}$  molekula könnyebben jut gáz fázisba. Hasonló, pozitív irányú eltolódást mutathatnak az alacsony csepegési rátával jellemezhető vízmintagyűjtő helyszínek is.



A csepegőhelyenként végzett megfigyeléseinket a barlangból vett vízmintákon rendszeresen végzett stabilizotóp mérési eredményekkel (SIKLÓSY Z. et al. 2008) összehasonlítva a következő megállapítások tehetők.

A vízkémia alapján természetes beszivárgási helyként kezelt Virágoskert, Virágoskert-Hosszú-lejtő és Hópalota vizeinek  $\delta^{18}\text{O}$  értékei állandóak és közel megegyeznek a területre hulló csapadék becsült  $\delta^{18}\text{O}$  értékével (-9,7‰).

Az Pettyes-terem csepegő vizeinek pozitívabb értékeit (-9– -9,6‰) a fölötté lévő, karsztidegen eredetű anyagból álló feltöltésen való átszivárgás okozhatja (hosszabb tartózkodási idő, ennek következtében párolgás és az általa okozott izotóp frakcionáció).

A Csengő-terem, Óriás-folyosó és Örvény-folyosó  $\delta^{18}\text{O}$  értéke a helyben hullott csapadék -9,7‰ értékénél folyamatosan negatívabb (-10– -10,5‰). Tekintettel arra, hogy ezeknél a helyeknél ivóvíz ill. szennyvíz szivárgás feltételezhető, érthető, hogy itt miért adódtak a területre helyben hullott csapadékvíznél negatívabb, ugyanakkor a Dunából származó, közműhálózatba betáplált ivóvíz kb. -11 ‰ értékénél pozitívabb értékek. Tehát ezeken a helyeken a beszivárgó vízhez közműből történő víz hozzákeveredését feltételezhetjük. A magas nitrát koncentráció alapján a Csengő-teremnél a szennyvíz, az előbbi esetekben pedig az ivóvíz hozzászivárgása további megerősítést nyert.

## 9. Összegzés

Megállapítottuk, hogy a Szemlő-hegyi-barlang feletti – részben epikarsztnak minősíthető – törmelékfedő sajátosságai a barlang hidraulikai viselkedését alapvetően meghatározzák. Fagyhatás által befolyásolt és tektonikailag is érintett üledéksorról van szó, amely egy „szárazra került” termálkarsztos barlang fölött alakult ki. A rétegsorban a világváros területhasználatának és felszínátalakító tevékenységének következményei is jelentkeznek. Értelemszerűen mindezek hatásai eltérő módon tükröződnek egyes mérőhelyek csepegő vizeiben.

A területre vonatkozóan kimutatott felszíni szennyező és veszélyforrások: a burkolt felületek beszivárgás módosító hatása, a felszínközeli rétegek bolygatása, a közmű (vízvezeték, csatorna) szivárgása, a vegyszerhasználat (pl. útsózás, műtrágyázás). Mindezek hatásai hol elkülöníthetően, hol pedig együttesen rátevéődnek a természetes folyamatokból adódó hatásokra, és a csepegőhelyek között mérhető mennyiségi és minőségi különbségekben jelentkeznek.

A járatok 35-40 mélyen húzódnak a felszín alatt, azonban a periglaciális jelenségeknek köszönhetően a felszíni szennyező anyagok a vízzel együtt közvetlenül is lejuthatnak a barlangba. A szálközet réteglapjai (20° rétegdőlés) mentén is lehetséges a vízbejutás, de az ÉK-DNy, ÉNy-DK-i és az É-D, K-Ny-i szerkezeteknek, vetőknek is szerepe lehet a vízközvetítésben. Szintén a beszivárgást segíti, ha a törmelékzóna töbörkítőltetés vagy beszakadás jellegű. Ugyanakkor a törmelékfedő tározó – beszivárgás-továbbító funkciója felhigíthatja és csökkentheti a szennyezők koncentrációját. A felszín alá jutó víz és a csepegővizek mennyiségétől függően a szennyező anyagokat az epikarszt ilyen körülmények között akár folyamatosan is tovább közvetítheti a karsztban

A vizsgálatok alapján természetes beszivárgású helyeknek minősíthető a Virágoskert, a Virágoskert-Hosszú-lejtő és a Hópalota csepegőhely. Antropogén módon már kismértékben befolyásolt a Halál és az Április 3.-folyosó. A Pettyes-terem feletti feltöltött rész „antropogén epikarsztként” funkcionál. Az antropogén hatások fokozottan mutatkoznak az Óriás-folyosó (vízvezeték szivárgásból adódó hozzákeveredés), a Csengő-terem (csatornaszivárgásból adódó hozzákeveredés), és az Örvény-folyosó (esetleges vízvezeték szivárgás, felszínközeli helyzet) esetében. Ez a  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  számottevő mennyiségében és a csapadék eseményekkel összefüggő időbeli változásában, ill. folyamatosan magas koncentrációjában, valamint állandóan nagy csepegésintenzitásban mutatkozik. Összességében a csepegő vizek elemzése jelentős új információval szolgáltak a barlang természetes beszivárgási folyamatairól és az antropogén befolyásoltságról.

Vizsgálataink bebizonyították, hogy a rózsadombi utánpótlódás, az áramlási rendszerek e lokális ága, beszivárgási folyamatait tekintve a rátelepült város befolyása alatt áll. Fontos tehát az epikarszt antropogén körülmények között működő, beszivárgás-szabályozó funkciójának megértése. Ez hatással van a rózsadombi fosszilis barlangok és a jelenleg is aktív Molnár János-barlang védelmére, és közvetve, a szennyező anyagok karsztvízszintig való lejutásának lehetősége miatt, a hévforrások védelme szempontjából is nagy jelentőséggel bír.

## IRODALOM

- ALFÖLDI L. (1978): Budapest Hévízei. – Kandidátusi dolgozat, 156 p.
- ANGELUS B.–PETHŐ S.L.–MINDSZENTY A. (2002): Földtani megfigyelések – amit újra már senki nem láthat (A Pusztaszeri út és a Barlang utca között épülő lakópark alapozási munkái során keletkezett feltárások rögzítése. – Földtani Közlöny 132/1, Budapest, pp. 129-130.
- BENKOVICS L.–TÖRÖK Á.–NÁDOR A. (1995): A Ferenc-hegyi vonulat barlangjainak geológiája. – Karszt- és barlangkutató X., MKBT, Budapest, pp. 193-196, pp. 200-207.
- ERŐSS A. (2001): Az epikarszt megjelenésének és jelentőségének vizsgálata a Rózsadomb (s.l.) terület példáján. – diplomamunka, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék 69 p.+ mellékletkötet
- ERŐSS, A.–MÁDLNÉ SZÖNYI, J.–MÜLLER, I.–VIRÁG, M. (2006): Hydrogeological investigations in the Rózsadomb area for the protection of the thermal karst system (Budapest, Hungary) Proceedings of the 8th Conference on Limestones Hydrogeology Neuchâtel, Switzerland, 21-23 September 2006 pp. 105-108.
- 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.
- FÓRISZ, I.–JUHÁSZ, P. (2002) Differences in the climates of catchment areas as reflected by isotopic characteristics of the Danube and Tisza Rivers, Hungary. – VI Isotope Workshop. Tallin, 2002.6.29. - 2002.7.4., pp.32-33

- GUNN, J. (1986): Solute Processes and Karst Landforms. – In TRUDGILL, S. T. (Ed.): Solute Processes. John Wiley & Sons Ltd., Chichester pp. 363-437.
- HAZSLINSZKY T.–NÁDOR A.–SZABLYÁR P. (1993): AJÁNLAS a budai Rózsadomb és környéke termálkarsztja UNESCO Világörökség-listára történő felterjesztéséhez. – MKBT, Budapest, 64 p.
- 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.
- LACHNIET, M.S. (2009): Climatic and environmental controls on speleothem oxygen-isotope values. – Quat. Sci. Rev. 28, pp. 412-432.
- LEÉL-ÓSSY SZ. (1995): A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai. – Földtani Közlöny 125. 3-4. Budapest, pp. 363-432.
- LEÉL-ÓSSY 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.
- LEÉL-ÓSSY SZ. (2000): Jelentés a Pusztaszeri-barlang feltárásáról. - Kézirat
- LEÉL-ÓSSY SZ. (2007): Jelentés a Pünkösdi-barlang feltárásáról. - Kézirat
- MÁDLNÉ SZÖNYI J.–ERŐSS 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.
- MÁDLNÉ SZÖNYI J.–VIRÁG M.–ERŐSS A. (2007): A Szemlő-hegyi-barlang csepegővizeinek vizsgálata a Budai Márga törmeléktakarón át történő beszivárgás értékelése céljából. – Földrajzi Közlemények CXXXI. (LV.) kötet, 2007. 4. szám, pp. 371-388.
- 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. Kézirat. – Phare/III. III. feladat. 13 oldal, 9 táblázat, 8 ábra.
- SCHUEER GY.–SCHWEITZER F. (1971): A negyedkori fagyaprózódási folyamatok hatása a karsztforrásokra. – Földr. Ért. 20/4. pp. 465-468.

- SIKLÓSY, Z.–DEMÉNY, A.–PILET, S.–LEÉL-ŐSSY, SZ.–VIRÁG, M.* (2008): Monitoring environmental changes by investigation of stalagmites and drip waters in caves, 33 International Geological Congress, Oslo, abstract volume, <http://www.cprm.gov.br/33IGC/1338477.html>
- TAKÁCSNÉ BOLNER K.–TARDY J.* (2003): A budai termáلكarszt barlangvilága. – A Földgömb XXI. 2003/5. pp. 18-29.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K.–TARDY J.–NÉMEDI L.* (1989): Evaluation of the environmental impacts in Budapest's caves on the basis of the study of the quality of dripping waters. – Proceedings of the X.th Int. Congress on Speleology, Budapest, pp. 634-639.
- 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.
- TOOTH, A.F.–FAIRCHILD, I.J.* (2003): Soil and karst aquifer hydrological controls on the geochemical evolution of speleothem-forming drip waters, Crag Cave, southwest Ireland. – J. Hydrol. 273, pp. 51–68.
- 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
- VIRÁG M.* (2008): A Szemlő-hegyi-barlang csepegő vizeinek vizsgálata a rózsadombi törmeléktakarón át történő beszivárgás értékelése céljából. – diplomamunka, ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 153 p.
- WEIN Gy.* (1977): A Budai-hegység tektonikája. – MÁFI Alkalmi Kiadvány, Budapest, 66 p.
- 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 C.–ZÁMBÓ A.* (1992): Infiltrációs folyamatok és kísérőjelenségeinek folyamatos mérése. Kézirat. – Phare/III. IV. feladat. 25 oldal, 34 táblázat, 80 ábra.
- ZIHNÉ PERÉNYI K.* (2008): Vízkémiai vizsgálatok. – In: Barlangi kutatásvezetői tanfolyam jegyzet, MKBT, pp. 161-168.

ORSZÁGOS BARLANGNYILVÁNTARTÁS:

<http://www.termeszetvedelem.hu/index.php?pg=caves>