Karszt és Barlang 2009. I–II. p. 19–26. Budapest 2010.

Virág Magdolna[1]–Mádlné dr. Szőnyi Judit[1]–dr. Mindszenty Andrea[1]

A SZEMLŐ-HEGYI-BARLANG CSEPEGŐ VIZEINEK VIZSGÁLATA: TERMÉSZETES ÉS ANTROPOGÉN HATÁSOK[2]

ÖSSZEFOGLALÁS

Budapest hévizes barlangjaira az urbanizáció helyenként jelentős hatást gyakorol. Kutatásunk során a Szemlő-hegyi-barlang csepegővíz adatainak szisztematikus, egyenlő mintaközű, heti rendszerességű gyűjtését, mennyiségi és minőségi elemzését a csapadékeseményekkel összefüggésben, a földtani felépítést is figyelembe véve végeztük.

Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy az antropogén hatások természetes adottságokkal szembeni érvényesülését nagymértékben meghatározzák a törmeléktakaró hidraulikai tulajdonságai, ill. az emberi tevékenység, a bolygatottság, a szennyezés kiterjedése és intenzitása. A barlangba csepegő vizekben a felszínközeli törmelékfedő beszivárgás-módosító, szennyezés-„tisztító" és közvetlen víztovábbító hatása is kimutatható.

1. Bevezetés

Budapesten, a Budai-hegység részét képező Rózsadomb területén a csaknem teljesen beépített városi környezet felszíne alatt több mint 110 db, jelenleg kb. 45 km összhosszúságban ismert hévizes barlang található. Termálkarsztos jellegükből adódóan felfedezésük és megismerésük a főváros terjeszkedésének: kőfejtők nyitásának, épületalapozási munkáknak, csatornaépítéseknek köszönhető. Ugyanakkor a város jelenléte, a fokozódó beépítésből adódó tevékenységek szennyezik és jelentősen befolyásolják a barlangok korábbi természetes állapotát.

2. Földtani és hidrogeológiai helyzet

A hévizes barlangok a Budai Termálkarszt áramlási rendszerén belül a leszálló hideg és feláramló meleg vizek keveredési zónájában, a keveredési korrózió eredményeként alakulnak ki. A barlangképződés a Rózsadomb környékén jellemzően az eocén mészkőben és márgában, ill. ezek kontaktusán, továbbá triász mészkőben, dolomitban, tektonikusan preformált hasadékok mentén történik. A magasabb helyzetű, 0,5–1,5 millió évvel ezelőtt kialakult, jelenleg már szárazzá vált, azaz inaktív rózsadombi barlangok állapota szempontjából a felszínről beszivárgó hideg vizek a meghatározók (pl. *LEÉL-ŐSSY SZ.* 1995; *BENKOVICS L. et al.* 1995).

A jellemzően eocén mészkő és márga felszínén kialakult, építkezésekkel feltárt törmeléktakaró (a szálkőzet helyben álló vagy átmozgatott, részben lösszel kevert törmeléke) és a tektonikus repedések szabályozzák a csapadékvíz és a vízben oldott szennyező anyagok beszivárgását. A tömelékben a tározódás, késleltetés a szennyezők felhígulását, a repedéseken keresztüli közvetlen beszivárgás pedig a szennyező anyagok karsztrendszerbe történő gyors továbbítódását segíti elő. A felszínközeli törmelékfedő bizonyos helyzetekben „epikarsztként" is működhet (*MÁDLNÉ SZŐNYI J. et al.* 2001a,b; *ERŐSS A. et al.* 2006).

[1] ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C)
[2] Készült az Erdélyi Mihály Alapítvány és a 72590 K sz. OTKA–pályázat támogatásával.

3. Előzmények, a kutatás célja

Az emberi tevékenység karsztos víztartókra gyakorolt hatását számos ország területén tanulmányozták (pl. *KOGOVSEK & SEBELA*, 2004; *JIMÉNEZ et al.* 2008), azonban a beszivárgó vizek vizsgálatát általában nem fokozottan urbanizálódott, városi környezetben végezték.

Budapesten, a világváros speciális helyzetéből adódóan az emberi tevékenység által megzavart állapot jellemző. A budai barlangokban a Természetvédelmi Hivatal megbízásából 1987–1994 között végzett vízelemzések (*TAKÁCSNÉ BOLNER K. et al.* 1989), ill. Fehér K. (*in MARI L. & FEHÉR K.* 1999; *FEHÉR K. et al.* 2009) vízvizsgálatai közel két évtizedes múltra tekintenek vissza. A mérések rámutattak, hogy a csepegő vizek kémiai komponenseiben a természetes hatások mellett az emberi felszínalakító tevékenység és a szennyező források következményeivel is számolnunk kell.

A probléma megközelítésekor azonban szükséges figyelembe venni azt is, hogy a Rózsadomb esetében – ha nem lenne beépítve – akkor sem közvetlenül a szálkőzet felszínén szivárogna be a víz a karsztba, mivel azt számottevő „epikarszt" jellegű törmeléktakaró borítja. Ennek, ill. a földtani felépítésnek a hatását is vizsgálni kell.

Kutatásunk elsődleges célja a városi beépített környezet barlangokra gyakorolt hatásának vizsgálata és a barlangokat fedő rétegeket átalakító tevékenység beszivárgást módosító hatásának megértése volt. Ennek érdekében a csepegő vizekből szisztematikusan, egyenlő mintaközű, mennyiségi és minőségi elemzéseket készítettünk, és a heti rendszerességgel gyűjtött csepegővíz-adatokat a csapadékeseményekkel összefüggésben is vizsgáltuk. A törmeléktakaró beszivárgás-módosító hatásainak elemzése mellett értékeljük a város területhasználatának barlangban mérhető hatásait is. Ehhez „természetes kutató laboratóriumként" a Szemlő-hegyi-barlang szolgált. Ez a barlang viszonylag könnyen megközelíthető és bejárható, felszíne jelentősen zavart és beépített, ami jól reprezentálja a városi környezet jelenlétét és hatásait. A járatok általában 10–30 méter mélységben húzódnak. A barlang idegenforgalmi és gyógybarlangként (barlangterápia) hasznosított.

Tanulmányunkban rövid áttekintést nyújtunk az elemzésekről és a belőlük levont következtetésekről. (*vö. MÁDLNÉ SZŐNYI J. et al.* 2007; *VIRÁG M.* 2008; *VIRÁG M. et al.* 2009a,b; *VIRÁG M. et al.* 2010)

4. Vizsgálati módszerek

GIS elemzéseket végeztünk a barlangjáratok felszínhez viszonyított elhelyezkedésének és a beépítettség, a felszíni és felszín közeli szennyező források: vízvezeték/csatorna (szikkasztó) szivárgás, téli útsózás, kerti/háztartási vegyszerhasználat közötti kapcsolatok feltárása érdekében. Párhuzamosan a csapadékadatok gyűjtését is elvégeztük.

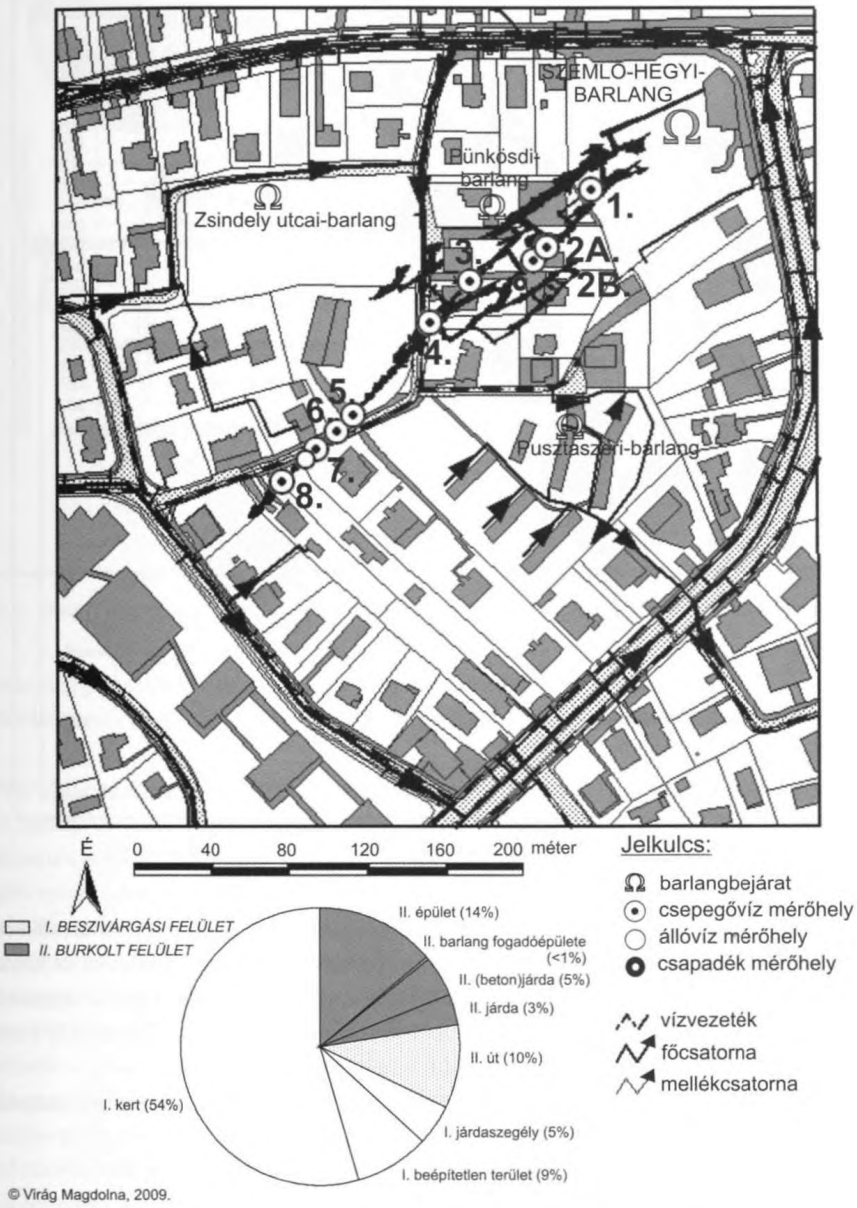
A barlangi méréseket 2,5 éven keresztül 9 mintavételi hely csepegő vizeinek szisztematikus gyűjtésére alapoztuk (*1. ábra*). Heti 1 alkalommal leolvastuk a csepegővíz mennyiséget, mértük a vízhőmérsékletet, a pH-t és a fajlagos elektromos vezetőképességet. 558 db begyűjtött vízmintán végeztünk laboratóriumi elemzéseket (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-). Havonta 1 alkalommal $\delta^{18}O$ és δD mérése történt (*SIKLÓSY Z. et al.* 2008).

5. Eredmények

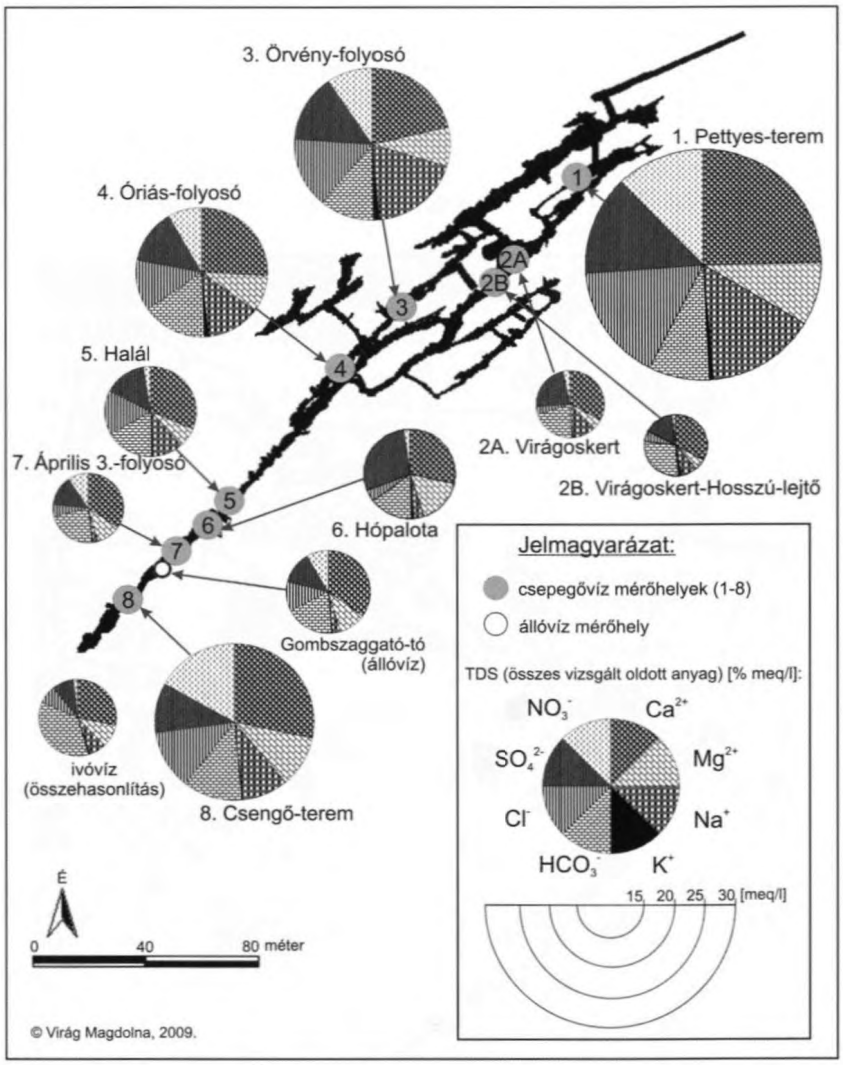
A 9 csepegővíz mérőhelyet a minták vizsgálati eredményei (jellemzően a csepegésintenzitás, a fajlagos elektromos vezetőképesség és a főion-koncentrációk, ill. azok időbeli változása) alapján négy csoportba soroltuk, a csoportokba nem sorolható csepegőhelyeket (Halál, Április 3.-folyosó, Gombszaggató-tó) pedig kevert típusoknak minősítettük (*2. ábra*). Összehasonlításként a barlang fogadóépületében mérhető csapvíz összetételét is ábrázoltuk.

1. típus (Virágoskert, Virágoskert-Hosszú-lejtő, Hópalota)

A törmeléktakarón keresztül természetes beszivárgás érvényesül epikarsztos jegyekkel. A csepegés intenzitása jelentősebb havazásokat és hóolvadásokat követően, néhány nap késleltetéssel hirtelen emelkedik, majd fokozatosan csökken. Jelentősebb csapadékesemények hatására 1–2 napot követően emelkedés, majd gyorsabb csökkenés következik (*3. ábra*). Az előbbi az epikarszt tározó-vízvisszatartó, az utóbbi pedig közvetlen víztovábbító hatását tükrözi. A fajlagos elektromos vezetőképesség értékekben a hóolva-



1. ábra. A Szemlő-hegyi-barlang környékének területhasználata.
A térkép mutatja a barlangjáratok és a csepegőhelyek felszínhez viszonyított elhelyezkedését. A vizsgált területen belül a természetes beszivárgás lehetőségét megteremtő zöldfelület aránya kb. 70%, az épületekkel, járdával, utakkal burkolt felületek pedig kb. 30%-ot tesznek ki. Az utóbbiak által elfoglalt területen a mesterséges objektum jellegéből adódóan akadályozza a természetes beszivárgást, ugyanakkor a felület határán lefolyó víz koncentráltan jut a felszín alá. A fő vízvezeték- és csatornahálózat lefutása általában a közút hálózatot követi: a közműből (vagy szikkasztóból) pontszerű, koncentrált (szenny)víz beszivárgása lehetséges.



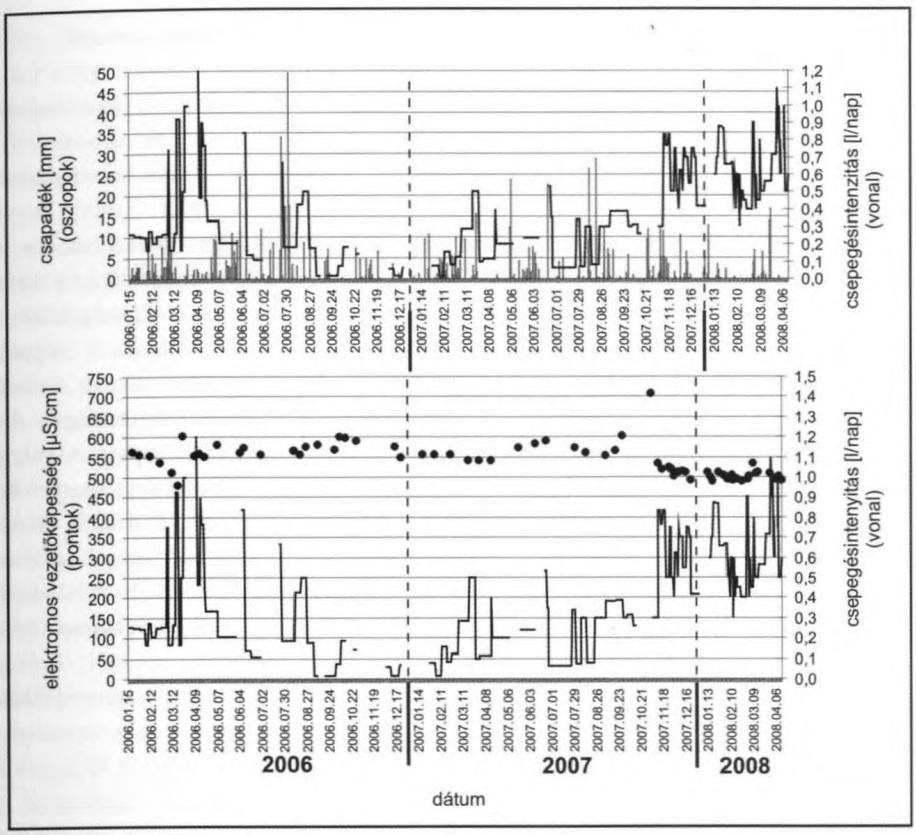
2. ábra. Vízminták összetételének csepegőhelyenkénti összehasonlítása (középérték, meq/liter, koncentráció arányosan).

dást követően a csepegésintenzitással szinkronban hirtelen emelkedés, majd fokozatos csökkenés tapasztalható. Ez a repedésekben pangó víznek a csepegésintenzitás növekedését közvetlenül követő hirtelen leürülését mutatja. Esőzéseket követően a vezetőképesség csökkenése, azaz hígulás tapasztalható. Erre az alacsony összionkoncentráció és a természetes eredetű ionok (Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^- és SO_4^{2-}) dominanciája jellemző, ezek általában követik a vezetőképesség időbeli változását (*4. ábra*).

A $\delta^{18}O$ értékek állandónak bizonyulnak és közel megegyeznek a területre hulló csapadék becsült (kb. -9,7‰) $\delta^{18}O$ értékével (*SIKLÓSY Z. et al.* 2008).

2. típus (Pettyes-terem)

„Antropogén epikarszt". A csapadék- és csepegésintenzitás, valamint a vezetőképesség változása, magasabb értékekkel, de az előző csoporthoz hasonló folyamat szerint alakul. Kiemelkedően magas az összionkoncentráció és a természetes ionok mellett az antropogén eredetű ionok aránya, melyeknek értékei tág koncentrációhatárok között egymáshoz hasonlóan ingadoznak (*4. ábra*).



3. ábra. Az 1. típus (Virágoskert - Hosszú lejtő) csapadék-csepegésintenzitás-fajlagos elektromos vezetőképesség mérési idősora.

A $\delta^{18}O$ aránylag pozitívabb (-9– -9,6‰) értékei feltételezhetően a repedésekben bekövetkező párolgásból és az ebből következő izotóp frakcionációból adódhatnak (*SIKLÓSY Z. et al.* 2008).

3. típus (Óriás-folyosó, Örvény-folyosó) és 4. típus (Csengő-terem)

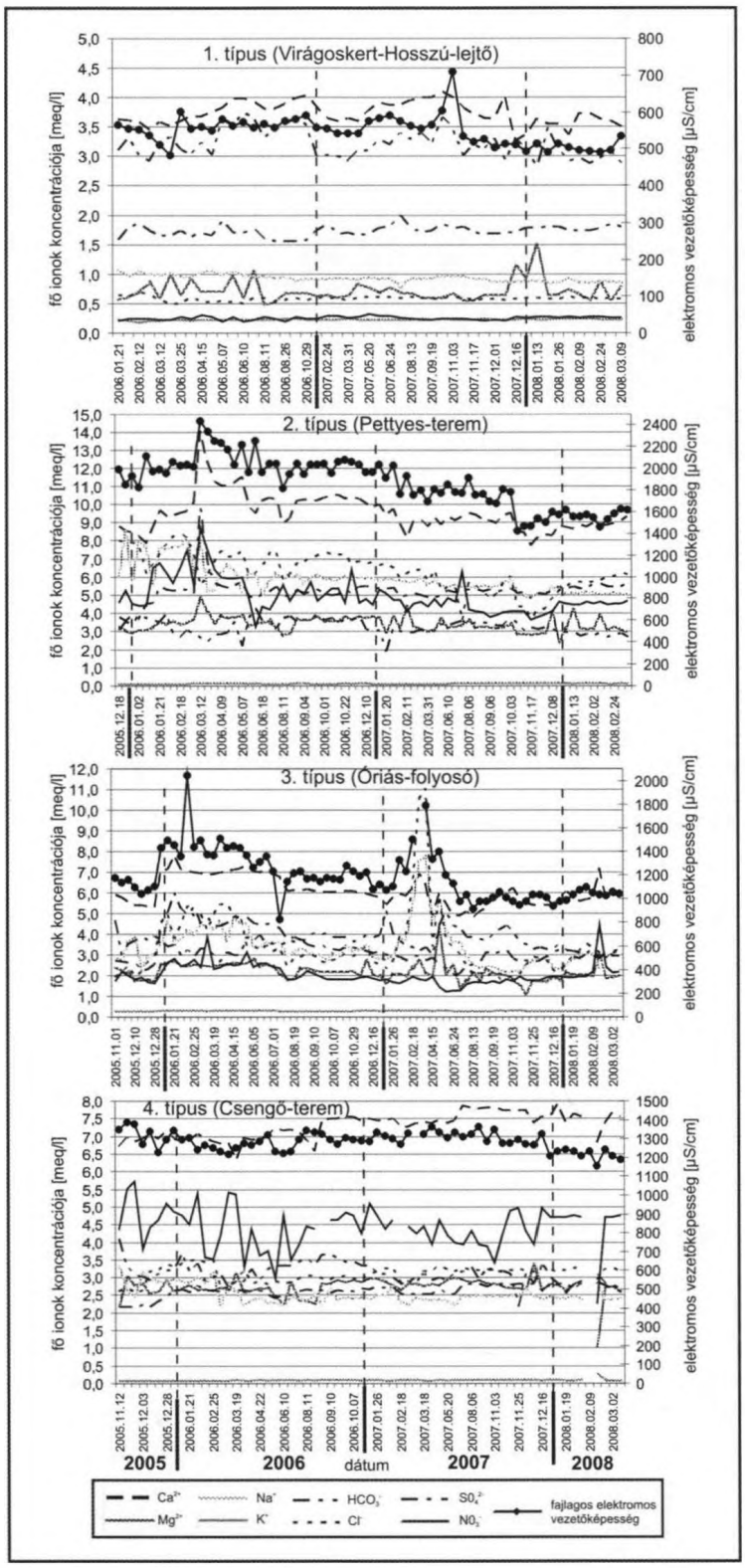
Fokozott antropogén befolyásoltság jellemző. A magas csepegésintenzitás nem mutat összefüggést a csapadékeseményekkel. A fajlagos elektromos vezetőképesség értéke jelentősen ingadozó, és magas az antropogén eredetű ionok aránya (Na^+, Cl^-, NO_3^-).

A 3. típusnál: egész évben jelentős a csepegésintenzitás, szembetűnő a Na^+ és Cl^- ionok szezonális változása. Az útsózás hatása télen és tavasz elején jelentősebb koncentrációkban jelentkezik (*4. ábra*). A folyamatosan magas csepegő vízmennyiség véleményünk szerint vízvezeték szivárgását jelzi. Ugyanakkor az ionok évszakos ingadozásából adódóan feltételezhető a felszínről beszivárgó víz hozzákeveredése.

A 4. típusnál: a NO_3^- folyamatosan magas koncentráció-értékekkel nagyon tág tartományban ingadozik (*4. ábra*). Ez csatornából (vagy szikkasztóból) történő hozzászivárgásra utal.

A $\delta^{18}O$ értéke a helyben hullott csapadék -9,7‰ értékénél folyamatosan negatívabb, de ugyanakkor a túlnyomórészt Dunából származó, közműhálózatba betáplált ivóvíz -10,9‰ értékénél pozitívabb, tehát ezeken a helyeken a beszivárgó vízhez közműből történő víz hozzákeveredése feltételezett (*vö. SIKLÓSY Z. et al.* 2008).

A vízkémiai elemzésekkel kimutatott magas NO_3^- értékek alapján ez a 4. típusnál szennyvíz hozzászivárgása, a 3. típusnál pedig ivóvíz lehet.



4. ábra. A csepegő vizek főion összetételének és fajlagos elektromos vezetőképességének időbeli változása a Szemlő-hegyi-barlang 4 csepegővíz típusában.

6. Következtetések

Budapest termálkarsztos barlangjaira az urbanizáció helyenként jelentős hatást gyakorol, és ez a vizsgált Szemlő-hegyi-barlang példáján szembetűnően mutatkozik. Az antropogén hatások természetes adottságokkal szembeni érvényesülését nagymértékben meghatározzák az epikarszt hidraulikai tulajdonságai, ill. az emberi tevékenység, a bolygatottság, a szennyezés kiterjedése és intenzitása. A felszín közeli törmeléktakaró beszivárgás-módosító, szennyezés-„tisztító" és közvetlen víztovábbító hatása is kimutatható. Az emberi tevékenységgel együtt járó szennyeződések a réteghatáron és a repedéseken, illetve a bolygatott felszínen keresztül közvetlenül lejuthatnak a felszín alá. Mindezek, a burkolt felületekkel együtt, jelentős mértékben módosíthatják vagy felülírhatják a természetes beszivárgási folyamatokat, és a csepegőhelyek között mérhető mennyiségi és minőségi különbséget eredményeznek. Bár e különbségek jellegüket tekintve hasonlóak lehetnek a természetes viszonyok között megfigyelhető, geológiai körülményekre visszavezethető különbségekhez, kémiai összetételük és antropogén jelenségekkel való korrelációjuk „elárulja" őket. Vizsgálatsorozatunk tehát igazolta, hogy a városiasodott terület adott barlangjaiba csepegő víz alapvetően nem természetes, hanem antropogén módon kisebb-nagyobb mértékben befolyásolt. Fontosnak látjuk hangsúlyozni, hogy ez szétporladva, nyilvánvalóan a barlangi aeroszol összetételét is befolyásolja (*vö. KERTÉSZ ZS.*

et al. 1999). Feltétlenül további vizsgálatokat igényelne ennek a Szemlő-hegyi-barlangban folyó légzésterápiára kifejtett hatása. Az aeroszol összetételének antropogén módosulását valószínűleg tükrözik az aeroszolból kicsapódó ásványok is.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük dr. Leél-Őssy Szabolcs, Zihné dr. Perényi Katalin, Erőss Anita, dr. Mari László, dr. Telbisz Tamás és Erőss Ágnes segítségét és hasznos tanácsait. Hegedűs András kutatásvezető, Farkas Román kutatásvezető-helyettes, Váci Gergely János, Burghardt Edward, Kálmánfiné Ast Hajnalka, Kalotai Zsófia, Kovács Sztríkó Zsuzsanna, Kiss Klaudia, Kovács Gábor, Csorsza László, Fischer Balázs, Borzák Réka, Bojtor Beatrix, Ruzsa János és társaik értékes segítséget nyújtottak a Szemlő-hegyi-barlangban folyó rendszeres vízmintavételezésben. Medvegyné Máthé Krisztinát és Medvegy Ivánt a helyszíni csapadékmérésért, az Országos Meteorológiai Szolgálatot az adatszolgálatásban nyújtott segítségért illeti köszönet. Siklósy Zoltánnak az MTA Geokémiai Kutatóintézetben végzett stabilizotóp elemzéseket, Varga Andrásnak az ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Zihné dr. Perényi Katalinnak az ELTE-TTK Analitikai Kémiai Tanszék Speciációs-Gyógyszerész-Nyomanalitikai laboratóriumában végzett vízminta elemzéseket, dr. Szunyogh Gábornak és a KvVM Barlangtani és Földtani Osztály munkatársainak a barlangtérképekkel kapcsolatos adatokat köszönjük.

IRODALOM

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.–Mádl-Szőnyi, J.–Müller, I.–Virág, M. (2006): *Hydrogeological investigations in the Rózsadomb area for the protection of the thermal karst system (Budapest, Hungary).* – in Goldscheider, N., Mudry, J., Savoy, L., Zwahlen, F. (eds): Proc. 8th Conference on Limestone Hydrogeology, Neuchatel (Switzerland) 21–23 Sep. 2006, Presses universitaires de Franche-Comté, Besancon, France, pp. 105–108.

Fehér K.–Kiss K.–Kovács J.–Kiss A. (2009): *Beszivárgás-vizsgálatok a rózsadombi termálkarszton.* – Karsztfejlődés XIV. Szombathely, pp. 45–55; http://www.karsztfejlodes.hu/kotetek/kf_2009.htm

Jiménez-Sánchez, M.–Stoll, H.–Vadillo, I.–López-Chicano, M.–Dominguez-Cuesta, M.–Martin-Rosales, W.–Meléndez-Asensio, M. (2008): *Groundwater contamination in caves: four case studies in Spain.* – International Journal of Speleology, 37 (1), Bologna (Italy), pp. 53–66.

Kertész, Zs.–Borbély-Kiss, I.–Hunyadi, I. (1999): *Study of aerosols collected in a speleotherapeutic cave situated below Budapest, Hungary.* – Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 150, pp. 384–391.

Kogovsek, J.–Sebela, S. (2004): *Water tracing through the vadose zone above Postojnska Jama, Slovenia.*– Environmental Geology, pp. 992–1001.

Leél-Őssy Sz. (1995): *A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai.* – Földtani Közlöny 125. 3–4. Budapest, pp. 363–432.

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.

Mádl-Szőnyi, J.–Erőss, A.–Tardy, J. (2001a): *Epikarst of a thermal karst area, Rózsadomb, Buda Hills, Hungary* – in Mudry, J. and Zwahlen, F. (eds.): Proceedings of the 7th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, Besancon, France, 20–22. September, 2001, Sci. Tech. Envir., Mém. H. S. n° 13, p. 237.

Mádlné Szőnyi J.–Erőss A.–Pethő S. L. (2001b): *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 Szőnyi 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.

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.–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.

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.

VIRÁG, M.–MÁDL-SZŐNYI, J.–MINDSZENTY, A. (2009a): *The effects of urbanization on the underlying thermal karst as reflected by dripwaters in a cave (Buda Hills, Hungary)* – Proceedings of the 13th Congress RCMNS – 2nd–6th September 2009, Naples, Italy, ACTA NATURALIA de L'Ateneo Parmense, Vol. 45 n. 1/4 – 2009, pp. 255–256.

VIRÁG M.–MÁDLNÉ SZŐNYI J.–MINDSZENTY A.–ZIHNÉ PERÉNYI K.–LEÉL-ŐSSY SZ.–ERŐSS A.–SIKLÓSY Z. (2009b): *Az urbanizáció hatása a budai barlangok csepegő vizeire a Szemlő-hegyi-barlang példáján.* – Karsztfejlődés XIV. Szombathely, pp. 57–81; http://www.karsztfejlodes.hu/kotetek/kf_2009.htm

VIRÁG M. –MÁDLNÉ SZŐNYI J.–MINDSZENTY A. (2010): *Természetes és antropogén hatások a Szemlő-hegyi-barlang csepegő vizeiben.* – Miskolci Egyetem Közleményei, A. sorozat, Bányászat (közlésre elfogadva)

DRIPWATER MONITORING ON THE SZEMLŐ-HEGY CAVE: NATURAL AND ANTHROPOGENIC EFFECTS

ABSTRACT

The effect of urbanization on the caves of the Buda Thermal Karst is considerable. Even though the Pleistocene debris-cover on the surface of the Triassic to Eocene host rocks provides a more-or-less efficient insulating and filtering blanket, anthropogenic pollution may, all the same, reach the underground cavities via fissures and bedding planes.

The aim of the study was to reveal the influence of the antropogenic environment to the Buda Thermal Karst and to impove our understanding the mechanism of the passage of rainwater and eventual anthropogenic contaminants through the „epikarst"-like debris-cover. Systematic analysis of the rate of dripping and chemical composition of dripwaters entering underground cavities was used to monitor the effects of anthropogenic pollution.

The study was based on careful GIS-aided mapping of the underground cavities and also the overlying, urbanized land-surface. Sources of contaminants were established and a rain-water gauge was installed to monitor local precipitation events. Dripping intensity and chemical composition of dripwaters has been monitored for two and a half years at 9 stations in the cave. The amount of infiltrating water, its temperature, pH and specific electric conductivity were measured weekly at each station. In all 558 samples were analyzed for Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, in the laboratory. $\delta^{18}O$ and δD were analyzed once in a month.

Based on the analytical results four main groups could be distinguished, each representing a different set of conditions controlling infiltration in the Szemlő-hegy Cave.

Type-1: Natural infiltration modified by the natural debris-blanket functioning as an epikarst.

Type-2: Infiltration through an „anthropogenic" epikarst.

Type 3-4: High dripping intensity may be due to leaking water-pipelines, however, seasonal variations suggest that meteoric infiltration may also be a factor. Seasonal changes of Na^+ and Cl^- in Type-3 result from NaCl used extensively in antifrost mixtures spread on the roads in wintertime. High NO_3^- concentrations fluctuating in an unusually wide range in Type-4 point to infiltration from leaking drainage pipes or sewers.

This applies particularly to areas where the continuity of the insulating blanket is disrupted by human activity. At the same time, natural, diffuse infiltration of rain-water is strongly modified (decreased) by bituminous carpets widely used as road-pavement, more and more replacing traditional cobble-stones. With less chance of dilution by „pure" rain-water the composition of drip-waters is more and more modified by anthropogenic pollution possibly modifying also the aerosol-composition of the cave.