

## BESZIVÁRGÁS-VIZSGÁLATOK A RÓZSADOMBI TERMÁLKARSZTON

FEHÉR KATALIN<sup>1</sup>- KISS KLAUDIA<sup>2</sup>- KOVÁCS JÓZSEF<sup>3</sup>-  
KISS ATTILA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ELTE TTK FFI Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c [feher.katoke@gmail.com](mailto:feher.katoke@gmail.com)

<sup>2</sup>ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c [kissklau7@gmail.com](mailto:kissklau7@gmail.com)

<sup>3</sup>ELTE TTK FFI Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c [kevesolt@iris.geobio.elte.hu](mailto:kevesolt@iris.geobio.elte.hu)

<sup>4</sup>MKBT Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport 1025 Budapest, Pusztaszeri út 35. [palvolgyi@t-online.hu](mailto:palvolgyi@t-online.hu)

*Abstract: In 2008 the chemical composition of infiltration water was studied using the water analysis standard method in three caves of thermal karst system of the Rózsadomb area (Budapest). By measuring the cation-anion concentration and using mathematical analyses (multivariate exploratory techniques) some group of sample with different behavior and contamination were identified. The localization of this groups were depicted in the studied area too. The anthropogenic origin of the pollution and the source (in some case) were revealed. The highest rate of pollution was detected in Mátyás-hegy cave, however there were higher pollution in some part of Pál-völgy-, and Szemlő-hegy cave too. We hope, our work help to save this strictly protected caves.*

### 1. Bevezetés

A budai Rózsadomb termálkarsztjának felszínét nagyfokú beépítettség jellemzi. A felszínborítás megváltozásával (MARI-FEHÉR 1999) csökken a beszivárgás. A házak, az utak, a közműhálózat, illetve a kialakításuk során történő „tereprendezések” koncentráltabbá teszik az antropogén szennyezés bejutását a sűrű repedéshálózattal rendelkező karsztba. A természetes növény- és talajtakaró – mint elsődleges védelem – megszűnése tovább fokozza a terület sérülékenységet.

A beszivárgó vizek minőségét a Szemlő-hegyi-, ill. a ma már nem csak elméletben közös rendszert alkotó Pál-völgyi- és Mátyás-hegyi-barlangban vizsgáltuk. A barlangjáratok nagy része felső-eocén mészkőben alakult ki, részben felharapózva a fedő márga-rétegekbe is. A Mátyás-hegyi-barlang legmélyebb szakasza a felső-triász mészkőben húzódik. A harmadidőszaki erős tektonikai mozgások a területen sűrű töréshálózatot hoztak létre, amely a járatok irányitottságát is meghatározta (KÁRPÁT 1983).

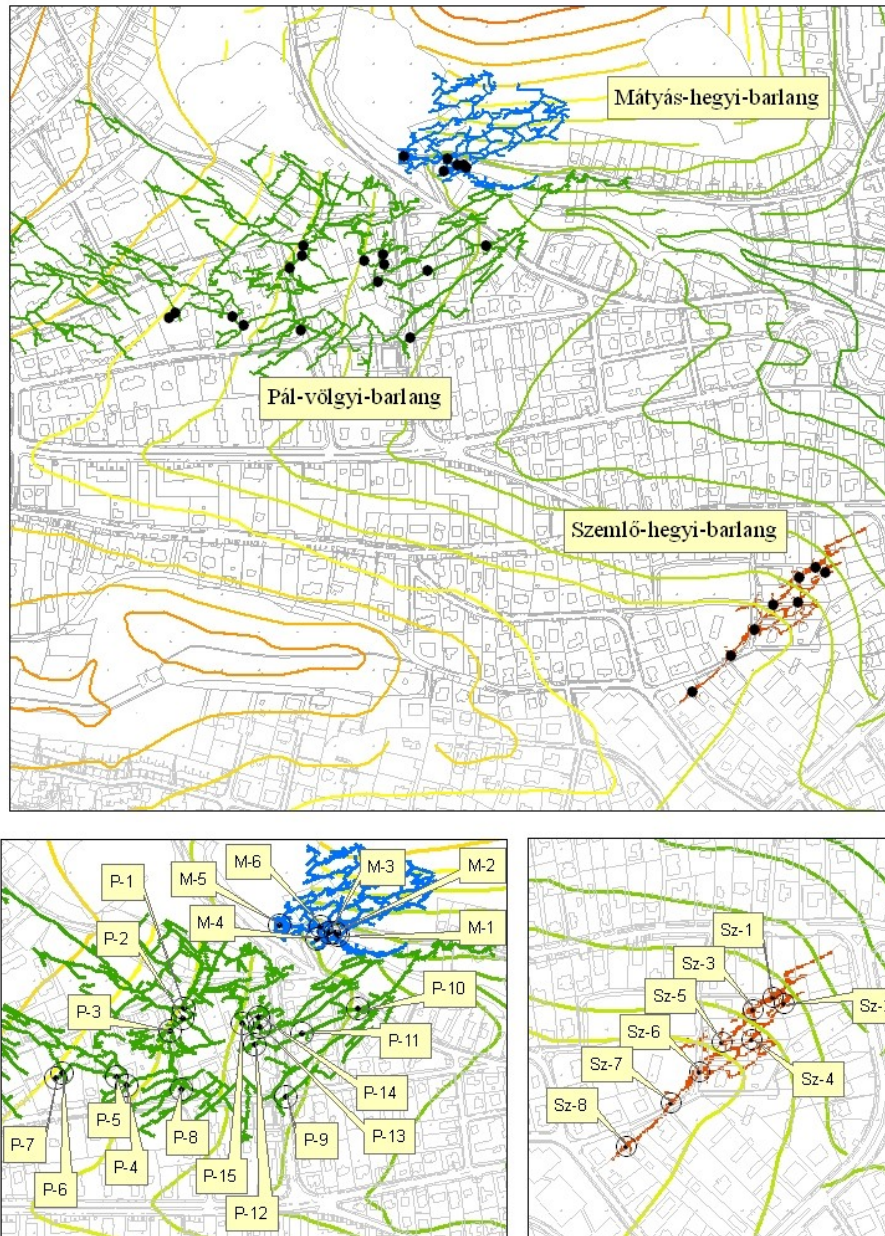
A lefolyási és beszivárgási viszonyokat a beépítettség mellett a felszín morfológiája is jelentősen befolyásolja. A Mátyás-hegyi-barlang járatainak nagy része a Mátyás-hegy alatt húzódik, melynek meredek oldalán minimális a beszivárgás. A D-DNy-i járatok a Szép-völgy vonala alá esnek, befoglaló kőzetük erősen összetöredezett. A repedéshálózat nem csak a csapadékvizet, hanem a burkolt utakról származó szennyezett vizet is a barlangba vezeti.

A Pál-völgyi-barlang a Szép-völgy és a Pál-völgy között, a Látó-hegy kertvárosi, lakóparki beépítettséggel jellemezhető lankás hegyláb felszíne alatt húzódik. A Szemlő-hegyi-barlang nyugati járatai a Ferenc-hegy keleti oldalán lévő pihenő alatt; a keleti járatok pedig enyhe dőlésű hegyláb felszín alatt találhatók. A felszín beépítettsége itt is kertvárosi jellegű.

## 2. Módszerek

1987. óta végzünk méréseket azonos mintavételi pontokon (*1. ábra*), a Szemlő-hegyi-barlangban folyamatosan, 1-2 havi rendszerességgel, míg a Pál-völgyi-Mátyás-hegyi-barlangrendszerben szórvány jelleggel. 2008. márciusa és novembere között a Szemlő-hegyi-barlangban 6, a Pál-völgyi-barlang középső szakaszában (Decemberi- és Déli-szakasz) 2, keleti járataiban 1, a Mátyás-hegyi-barlangban pedig 3 alkalommal vettünk mintát a barlangi beszivárgó vizekből. A mintavételt fixen telepített edényekkel oldottuk meg, oly módon, hogy az edény nyílásába helyezett tölcser egy csőben folytatódik, amely az edény aljáig tart. A víz a tölcseren keresztül az edény aljába kerül, a főleg az edény tetejénél távozik. Ezzel a módszerrel állandó vízcserélődés érhető el (*FEHÉR* 1995), így mindig az aktuálisan legfrissebb mintát tudjuk begyűjteni. Az elemzéseket az ivóvíz-vizsgálati szabványok előírásai szerint végeztük, az így kapott nagy mennyiségű adat értékeléséhez statisztikai feldolgozásra volt szükség.

A matematikai statisztika és az adatelemzés fontos eszköze a bonyolult, sok változóval leírt rendszerek áttekintésének, így a mérési adatok tömegében rejlő összefüggések feltárásának, csoportosításának. Ilyen sokváltozós adatelemző eljárás a klaszter-analízis. A módszer segítségével csoportosíthatók a statisztikailag hasonlóan viselkedő mérőpontok, ill. az összevont statisztikai adatokból pontosabb valószínűségek becsülhetők (*BOGÁRDI* et al. 1978). Az egzakt matematikai megközelítés érdekében a vízszint- és vízkémiai idősorokra már nagy hatékonysággal használt (*KOVÁCS* et al. 2008) többváltozós adatelemző módszert alkalmaztunk.



1. ábra: A mintavételi pontok elhelyezkedése (jelmagyarázat az 1. táblázatban)  
 Fig. 1: Location of the measuring points (legend in Table 1)

A klaszterezés tulajdonképpen kódolási művelet, aminek során a sok jellemzővel leírt, bonyolult objektum egy számmal, csoportjának kódjával (klaszterének számával) jellemezhető. A csoport kódja a csoportba tartozó objektumok általános és közös tulajdonságait tükrözi – vagyis az egy csoportba tartozók hasonlóak. Ezeket a csoportokat klasztereknek nevezzük.

Munkánk során a klaszterezés módszerei közül az ún. hierarchikus osztályozást használtuk, ami kezdetben minden elemet külön osztálynak tekint, majd az osztályok összevonásával lépésről lépésre újabb osztályozási szinteket alakít ki mindaddig, amíg az összes elem egyetlen osztályba nem kerül. Az osztályozási algoritmus „outputja” fa-struktúra.

I. táblázat  
Table I.

A klaszteranalízissel kapott csoportok  
Groups made by cluster analyses

csoporthatár/ mintaszám	mérőpont jele	mérőpont neve	csoporthatár belüli %
1./13	P-15	Rockenbauer-terem	7
	Sz-4	Akna után 10 m	46
	Sz-5	Halál-szakasz	46
2./13	P-2	Bekey-terem	15
	P-4	Csipkerőzsika-folyosó	46
	P-6	Kis-Dóm közepe	7,8
	P-10	Titanic	7,8
	P-11	102-es folyosó	7,8
	P-12	Haboskává	7,8
	P-13	Kiskanyon	7,8
3./11	P-1	Pentagon-terem	9
	P-5	8-ezres-folyosó	18
	P-9	2-es vágány	9
	M-5	Sárdagasztó	9
	Sz-3	Agyagos	55
4./13	P-7	KisDóm DNy	7,5
	P-14	Óriáskifli	7,5
	Sz-5	Órvény-folyosó	39
	Sz-6	Óriás-folyosó	46
5./6	Sz-8	Földszíve-terem felett	100
6./11	Sz-1	Ferencvárosi-terem	45
	Sz-2	Pettyes-folyosó	55
7./1	P-8	Hosé-terem	100
8./3	M-4	Tó-járat	100
9./6	P-4	Gyöngyös-folyosó	17
	M-2	Sírgödör	50
	M-3	Cselédlépcső	33
10./3	M-1	Természetbarát-folyosó bejárata	100
11./1	M-6	Opera	100

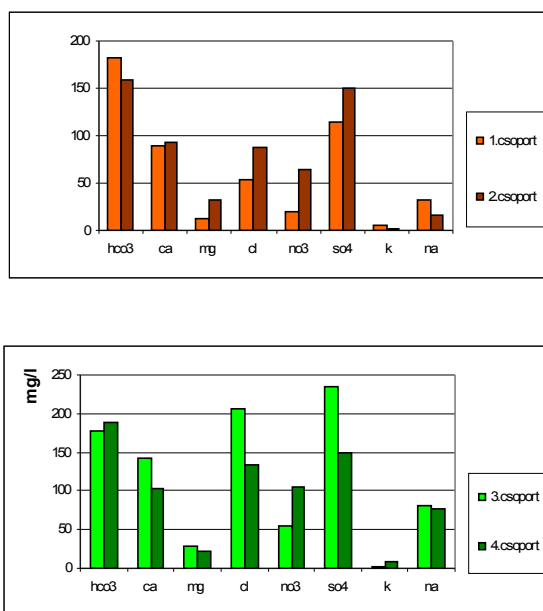
Az adatsorokból ezzel a módszerrel 11 csoportot különítettünk el (I. táblázat). Az analízishez nyolc ion-koncentráció értékeit (kalcium, magnézium, nátrium, kálium, hidrogénkarbonát, klorid, nitrát, szulfát) használtuk

fel. Minden csoport esetén valamennyi paraméterre meghatároztuk az egyes csoportok mediánját és a későbbiek során további adatelemzéshez valamint a csoportok összehasonlításához ezt használtuk fel.

A csoportok jellemzését az ionok koncentrációja, és egymáshoz viszonyított arányuk alapján végeztük. Felhasználtuk a karsztvizek jellemzésére alkalmazott keménységi hányadost, amely az összes keménység (kalcium és magnézium) és a karbonát-keménység (hidrogénkarbonát) egyenértékű arányát mutatja. Az oldott ionok mennyiségét a sókoncentrációban adtuk meg, melyet az egyes komponensek mg/l-ben kifejezett értékeit összegezve képeztünk.

### 3. Eredmények

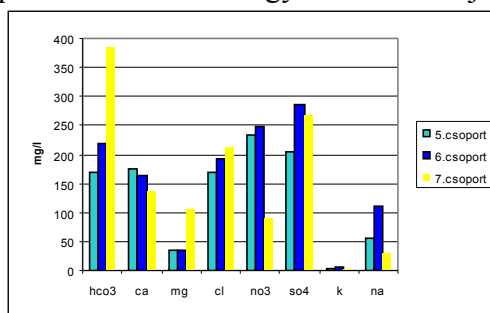
A sókoncentráció az első két csoportban a legalacsonyabb (500-, illetve 600 mg/l). Különbség köztük az ionok arányában van, ami az 1. csoportnál a kálium és nátrium, míg a 2. csoportnál a magnézium, klorid, nitrát és szulfát felé tolódik el. A keménységi hányados az 1. csoportnál 1,8. A 2. csoport 2,8 értékét az alacsonyabb hidrogénkarbonát- és magasabb magnézium-tartalom okozza.



2. ábra A 1-4. csoportok ionkoncentrációja  
Fig. 2: Ion concentrations of the 1-4. groups

A 3. csoportnál a sókoncentráció magasabb, 950 mg/l. A klorid- és a szulfát-koncentráció 200 mg/l fölött van, a nátrium értéke 80 mg/l. A keménységi hányados 3,2 a magas kalcium-tartalom miatt. A 4. csoport szulfát-tartalma – a 2. csoportéhoz hasonlóan – 150 mg/l körüli, a klorid mennyisége 150 mg/l alá csökken, míg a nátrium értéke hasonló a 3. csoportéhoz. A csoportban a számított sótartalom 800 mg/l. A csoporton belül a nitrát-ion koncentrációk a Pál-völgyi mérőpontokon alacsonyabbak (60-70 mg/l), a Szemlő-hegyi-barlangban magasabbak (100-160 mg/l). (2. ábra). A keménységi hányados 2,2.

Az 5-11. csoportok 1000 mg/l feletti sókoncentráció értéke erőteljesebb szennyezettséget jelez. Az antropogén hatást az 5-6 csoportoknál a nitrát, a 8-11. csoportoknál a klorid nagy koncentrációja mutatja.



3. ábra Az 5-7. csoportok ionkoncentrációja  
Fig. 3: Ionconcentrations of the 5-7. groups

Az 5-6. csoportot alkotó mintavételi pontok (3. ábra) a Szemlő-hegyi-barlang legnagyobb mértékben szennyezett pontjait reprezentálják. A sótartalom 1100-1200 mg/l között van, a klorid 190-170, a nitrát 230-250 mg/l között mozog. Ebben a két csoportban a legmagasabb a nitrát-tartalom. A keménységi hányados 4,1, illetve 3,1. A 6. csoportban a szulfát-tartalom 280 mg/l, szemben az 5. csoport 200-as értékével, a nátrium-tartalom kétszerese (110 mg/l) az 5. csoport értékének.

A 7. csoportban csak egy mintavételi pont adatai szerepelnek, a Pál-völgyi-barlang HOSE-terem mérőpontjáról. Itt a legmagasabb a hidrogén-karbonát-tartalom (380 mg/l) az összes vizsgált mintavételi hely között. A magnézium 100 mg/l feletti értéke a Mátyás-hegyi-barlang (9-10-11. csoport) mérőpontjaihoz hasonlít. A keménységi hányados a jelentős karbonát-keménység ellenére is viszonylag magas, 2,5, értéke szintén a magas magnézium-tartalomnak köszönhető. Ez a mintavételi hely a Pál-völgyi-barlang déli szakaszában található, ahol több mérőponton korábban is hasonló

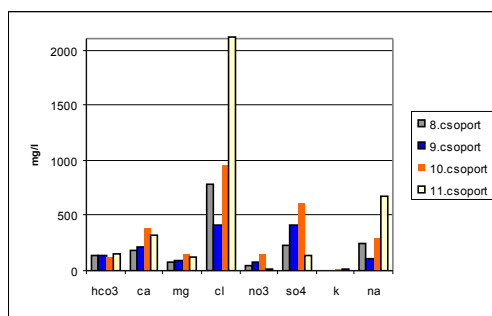
mennyiségeket mértünk, így a kiugró hidrogénkarbonát- és magnézium értéket nem tekinthetjük mérési hibának. A nitrát 90 mg/l, a nátrium-koncentráció az 1. csoport adataihoz hasonlóan alacsony (30 mg/l). A klorid (200 mg/l) és a szulfát-tartalom (270 mg/l) a Szemplő-hegyi-barlang szennyezett pontjaihoz hasonló.

Az utolsó négy csoport a legszennyezettebb (4. ábra), és a legmagasabb sókoncentrációjú (1500-3600 mg/l). Ide tartoznak a Mátyás-hegyi-barlang mérőpontjai a (3. csoportban szereplő) Sárdagasztó kivételével, illetve a Pál-völgyi-barlangban a Gyöngyös-folyosóban lévő mintavételi hely. A klorid koncentrációja egyik mérőhelyen sem csökken 400 mg/l, a nátriumé pedig 100 mg/l alá. A magnézium 70 mg/l fölött van, de – ellentétben a 7. csoporttal – a hidrogénkarbonát aránya alacsony, mennyisége kicsi.

A 8-9. csoportok sókoncentrációja 1500-1700 mg/l között mozog, a keménységi hányados 6,9 – 7,9. Ionösszetételük eltérő: a 8. csoportban a klorid- és a nátrium-tartalom kiugró, a 9. csoportban a szulfát-tartalom közel kétszerese a 8. csoportban mért értéknek.

A 10. csoport 2400 mg/l sótartalma több ionnak köszönhető. A csoportok között itt a legmagasabb a kalcium (390 mg/l), a magnézium (153 mg/l) és a szulfát (612 mg/l) koncentrációja, valamint a keménységi hányados (16,8). A klorid közelít a 950 mg/l-hez, a nitrát a Mátyás-hegyi-barlangon belül itt a legmagasabb: 160 mg/l.

A 11. csoport a Mátyás-hegyi-barlangban az Operában lévő mintavételi pont. 3570 mg/l a só-, 2112 mg/l a klorid- és 680 mg/l a nátrium-tartalma. Ilyen hatalmas mértékű szennyezést még nem mértünk barlangi beszivárgó vízben, de nem találtunk rá irodalmi adatot sem. A nitrát (19 mg/l) és a szulfát (143 mg/l) értéke viszonylag alacsony. A keménységi hányados 10.



4. ábra A 8-11. csoportok ionkoncentrációja  
Fig. 4: Ionconcentrations of the 8-11. groups

#### 4. Értékelés

A magas klorid- és nátrium-mennyiség általában a csúszásmentesítéshez legtöbbször használt útszóró só beszívására utal. A 8-11. csoportoknál tapasztalható klorid és nátrium egyenértékben kifejezett mennyiségeit vizsgálva a 8., 10. és 11. csoportnál 2:1, a 9. csoportnál 3:1 arányt tapasztalunk. Ezek az arányszámok azt mutatják, hogy a csepegő vizekben észlelt klorid forrása más is lehet.

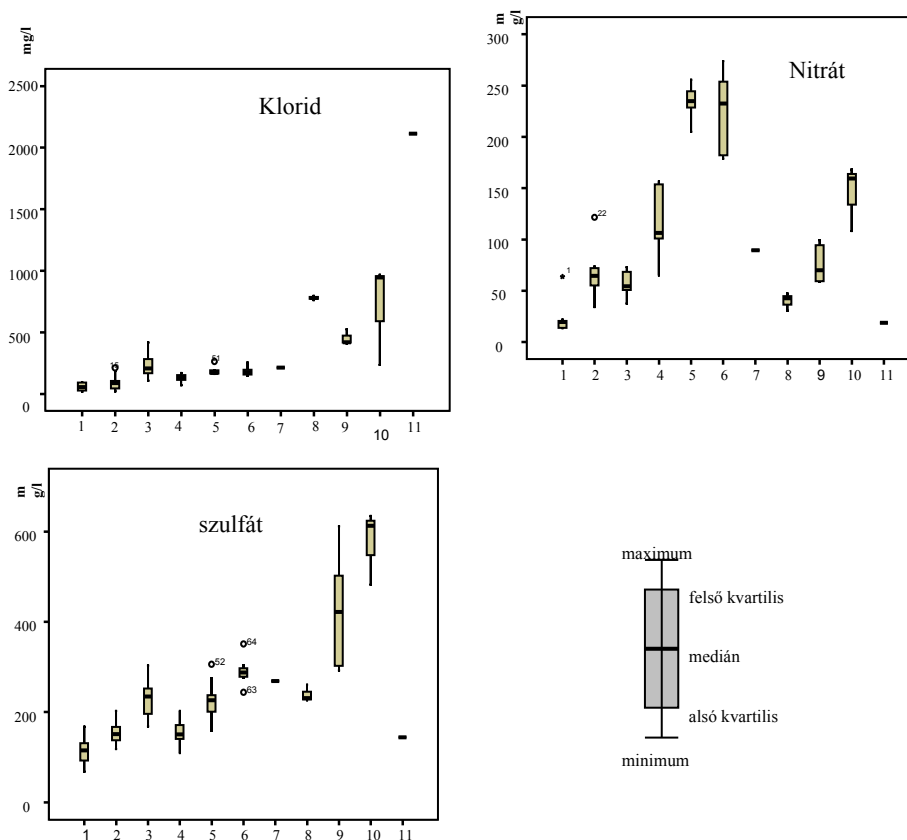
A csoportok elemzése alapján megállapítható, hogy a felszíni szennyezés a különböző mérőpontokon eltérő ion-koncentrációk és arányok formájában jelentkezik.

A 8-11. csoportoknál a klorid okoz nagymértékű szennyezést (5. ábra). A vízminőségi követelményrendszer (210/2001. Korm. rendelet) karszt-szennyezést jelző határértékét (100 mg/l) többszörösen meghaladják a mért koncentrációk. A legmagasabb érték (2112 mg/l) az Operánál tapasztalható. A nitrát-tartalom az 1, 8, és a 11. csoport kivételével mindenhol túllépi a 50 mg/l-es határértéket. A legnagyobb szennyezés a Szemlő-hegyi-barlang három mérőpontján jelentkezik (az 5-6 csoportban). A szulfát-tartalomra a felszín alatti vizekre vonatkozó 10/2000. Korm. rendelet 200 mg/l-ben határozta meg a háttér koncentrációt, 250 mg/l értékben a szennyezettségi határértéket. Az utóbbit a 6, 9, és 10. csoportok értékei lépik túl.

A 3-4. csoport közepesen szennyezett mérőpontok, átmenetet képviselnek mind az ionkoncentrációban, mind a szennyező ionok arányában. A 3. csoport klorid- és szulfát-tartalma és a 4. csoport nitrát-koncentrációja magas. Az 1-2 csoportok a legtisztább, a külső szennyezéstől legkevésbé befolyásolt mérőpontok, bár a 2. csoport nitrát-tartalma meghaladja a 60 mg/l-t.

Az elemzéshez nem használtuk fel azokat a paramétereket, amelyeket nem tudtunk kimutatni minden mérőponton. Ilyen az o-foszfát-ion, amelynek jelenlétét a Szemlő-hegyi-barlangban nem hagyhatjuk figyelmen kívül: az FTC-teremben 0,7-1, az Óriás-folyosón 1-2, míg az Örvény-folyosón 2-3 mg/l o-foszfát-koncentrációt is mértünk. Állandó jelenléte folyamatos szennyezésre utal (a 10/2000. Korm. rendelet szerint szennyezettségi határértéke 0,5 mg/l). Az utóbbi két mérőpontnál a nitrit jelenléte is kimutatható volt a 2008-t megelőző években is.





5. ábra: Az egyes csoportok klorid-, nitrát- és szulfáttartalma (Az ábra SPSS programmal készült. A (o) kiugró érték – az interkvartilis 1,5-3-szorosának megfelelő távolságra, a (\*) szélsőséges érték – ami az interkvartilis háromszorosánál nagyobb távolságra van az alsó és a felső kvartilistól lefelé, illetve felfelé.)

Fig. 5: Chloride, nitrate and sulfate concentrations of the groups. (The figure made by SPSS. Case numbers are used to label outliers (o) and extremes (\*). The boxplot shown above detected outliers and extremes. The outliers are cases with the values between 1.5 and 3 box-lengths from the 75th percentile or 25th percentile. The extreme values are cases with the values more than 3 box-lengths from the 75th percentile or 25th percentile)

## 5. Összefoglalás, javaslatok

Nehéz eldönteni, hogy ezen a tektonikailag erősen preformált és a felszínen erőteljes emberi beavatkozással megváltoztatott területen mi tekinthető természetesnek, és mely koncentráció-értékek, változások tulajdoníthatók egyértelműen az antropogén szennyezés hatásának. A Mátyás-hegyi-barlang esetében sikerült kimutatnunk egy, bár időszakos, de koncentrált szennyező forrást. A Szép-völgy felső szakaszán (Fenyőgyöngye) a csapadékvízgyűjtő csatorna a völgybe vezet erősen szennyezett vizét (klorid-tartalom 10249

mg/l), mely a Mátyás-hegy Ny-i kőfejtője fölött szivárog el a völgytalpon és a kőfejtő meddőjében, a felszínről nem követhető módon.

A szennyezőanyagok tapasztalt magas koncentrációja jelzi, hogy a Pál-völgyi és a Szemlő-hegyi-barlangok szennyezett pontjai környezetében feltétlenül szükséges a felszíni vízelvezetés és a szennyvízcsatorna-hálózat állapotának felülvizsgálata. Felmerül az a kérdés is, hogy a felszín átalakítása – építkezések, utépítések, a hajdani kőbánya feltöltése, kert-kialakítás – során milyen anyagok kerültek deponálásra.

2008-as méréseink is arra hívják fel a figyelmet, hogy a Rózsadombi Termálkarszt fokozottabb védelmet igényel a nagyfokú beépítés következményeinek csökkentése érdekében. Az itt beszivárgó szennyezett vizek a József-hegyi-forráscsoport vízbázisát veszélyeztetik (VITUKI 1992), a szennyezés előbb-utóbb közvetlenül ezekben a forrásokban is jelentkezhet.

### **Köszönetnyilvánítás**

A tanulmány elkészültéhez nyújtott segítségükért szeretnénk köszönetet mondani Zihné Perényi Katalin adjunktusnak és barlangkutató társainknak.

### **IRODALOM**

- 10/2000. (VI. 2.) KöM – EüM – FVM - KHVM rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről
- 201/2001. (X. 25.) Korm rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
- BOGÁRDI I.–RÉTHÁTI L.–SZIDAROVSKY F. (1978): A statisztikai csoportosítás módszerének felhasználása a talajvízjárás jellemzésére. – Hidrológiai Közlöny, 58/6. p. 245–250.
- FEHÉR K. (1995): Vízkémiai vizsgálatok a Szemlő-hegyi-barlangban. - Környezeti Ártalmak és a Légzőrendszer V. Konferenciája, Hévíz. p.47-52.
- KÁRPÁT J. (1983): Magyarország barlangtérképei. Mátyás-hegyi-barlang 1:250. MKBT 15p.
- KOVÁCS J. – CZAUNER B. – KOVÁCSNÉ SZÉKELY I. – BORSODI A.-RESKÓNÉ NAGYM. (2008): A Balaton eltérő vízminőségű térségeinek változási és a mért vízminőségi idősorok mintázatai 1985 és 2004 között. - Hidrológiai Közlöny
- MARI, L. - FEHÉR, K. (1999): The impacts of land use change on the Buda termal karst: a study of Szemlő-hegy cave. - In: Bárány-Kevei,I. – Gunn, J.: Essays in the ecology and conservation of karst, Spec. Issue of Acta Geographica Szegediensis. Szeged, p. 104-111.

*VITUKI* (1992): Komplex geológiai vizsgálatok és fúrások a Rózsadomb környezetében. Budapest, PHARE 134/2.