



Fehér Katalin

**A RÓZSADOMBI-TERMÁLKARSZT
SZENNYEZŐDÉS-VESZÉLYEZTETETTSÉGI
VIZSGÁLATA**

FEHÉR KATALIN

**A RÓZSADOMBI-TERMÁLKARSZT
SZENNYEZŐDÉS-VESZÉLYEZTETETTSÉGI
VIZSGÁLATA**

**Budapest
2009**

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
FÖLDRAJZTUDOMÁNYI KÖZPONT
KÖRNYEZET- ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK

DIPLOMAMUNKA

geográfus-hidrológus szak

Témavezető:

DR. PAPP SÁNDOR

egyetemi docens

Külső konzulens:

DR. KOVÁCS JÓZSEF

adjunktus

magánkiadás

ISBN 978-963-06-7311-2

TARTALOM

Bevezetés, a témaválasztás indoklása	5
Kutatástörténeti áttekintés	6
Módszer	9
A vizsgált terület és tágabb környékének természetföldrajzi vázlata	10
<i>Helyzete, határai</i>	10
<i>Földtani felépítés, fejlődéstörténeti vázlat</i>	10
<i>Domborzat</i>	12
<i>Éghajlat</i>	14
<i>Vízrajz</i>	15
<i>Élővilág</i>	16
<i>Talajok</i>	17
Felszínborítási változások, tájtörténeti áttekintés	18
A mintaterület részletes vizsgálata	25
<i>Általános jellemzés</i>	25
<i>Budapest hévizei</i>	25
<i>A Budai-hegység hévizeinek kialakulása</i>	25
A vizsgált terület barlangjai	26
<i>A terület barlangjainak kialakulása</i>	26
<i>A barlangok bemutatása</i>	28
A vizsgálatok módszertana	31
<i>Csepegővíz-mintavétel</i>	31
<i>Vizkémiai vizsgálati módszerek</i>	32
<i>Statisztikai vizsgálatok (klaszter-analízis)</i>	33
<i>Térinformatikai alkalmazások</i>	34
A vizsgálati eredmények elemzése és értékelése	35
<i>Térbeli vízminőség-különbségek a 2008. évi mérések alapján</i>	35
<i>A csepegővíz-szennyeződés időbeli változásai</i>	42
<i>A beszivárgó víz kémiai jellemzése</i>	51
<i>A beszivárgási viszonyok jellemzése</i>	56
A csepegővizek szennyeződés-veszélyeztetettségének természeti és antropogén okai ...	60
Következtetések, javaslatok	63
<i>Jogszabályi háttér</i>	63
<i>Javaslatok</i>	65
Összefoglalás	65
Köszönetnyilvánítás	67
Irodalom	68
Mellékletek	72

Bevezetés, a témaválasztás indoklása

A Rózsadombi-termálkarszton a nyolcvanas évek közepe óta végzek barlangász társaim segítségével hidrológiai és klimatológiai kutatásokat. Jelen dolgozat eredményeim csupán egy – bár igen hangsúlyos – részét: három, fokozottan védett barlang beszivárgó vizeinek összetételét, a bennük bekövetkezett változásokat értékeli.

A főváros budai részén található barlangok feletti felszín az urbanizációs terjeszkedés miatt napjainkra szinte teljesen beépült, de kertvárosi jellege is egyre inkább háttérbe szorul. A többszintes, soklakásos épületek terjedése, a lakosság szám növekedése és a burkolt felületek terjeszkedése, az igényesebb életvitelhez tartozó nagyobb vízfogyasztás (automatikus öntözőrendszerek, úszómedencék stb.) következtében a területnek az alapfunkciókból adódó terhelés többszörösét kell elviselnie. Tapasztalataim szerint az évek óta több intézmény, ill. kutató által vizsgált veszélyeztető tényezők kedvezőtlen hatása nem csökken, hanem reményeinkkel ellentétben tovább növekszik.

A vázolt folyamatok nemcsak a táj képét változtatják meg, hanem olyan veszélyeket is magukban hordoznak, amelyek az itteni karsztrendszer összes elemére hatást gyakorolnak. Ez a hatás érinti a Duna partján fakadó világhírű hévforrásokat, amelyek nemzedékek betegeinek hoztak gyógyulást, de befolyásolhatják a *Szemlő-hegyi-barlangban* évtizedek óta folyó sikeres légzésterápiás tevékenységet, károsíthatják a *Ferenc-hegyi-* és a *Mátyás-hegyi-barlangot*, amelyek mozgássérült és fogyatékos gyermekek hatékony, gyógyító „játszótereit”. A *József-hegyi-barlang* világviszonylatban egyedülálló képződményeit felfedezése óta kutatók százai tanulmányozták, de a *Molnár János-barlang* közelmúltban felfedezett tágas, víz alatti járatai is komoly tudományos jelentőséggel bírnak. Az urbanizáció környezeti hatásainak feltárása a szóban forgó térségben tehát idegenforgalmi, terápiás és tudományos szempontból egyaránt alapvető fontosságú. Már a bevezetőben is hangsúlyoznom kell, hogy ezeket a barlangokat a világon egyedülálló speleológiai képződményként fokozottan védetté nyilvánították.

A Budai-termálkarszt kutatása három évtizedes barlangkutatói tevékenységem egyik fő területe. Feltáró, klimatológiai és hidrológiai vizsgálatokat a nyolcvanas évek közepétől az Acheron Barlangkutató Csoport tagjaként végeztem, majd a kilencvenes

évektől kutatásvezetőként irányítottam a Pagony Barlangkutató csoport itteni munkáját. A Szemlő-hegyi-barlangban 1986 óta végzett kutatásaim eredményei segítették annak gyógybarlanggá nyilvánítását; a benne megindult légzésterápia egyre nagyobb igényt formált rendszeres méréseimre. A Mátyás-hegyi-barlangban 1990 óta végzek vízvizsgálatokat, a Pál-völgyi-barlangban pedig a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoporttal együttműködve alkalmilag vizsgáltam egy-egy járatrész beszivárgó vizeinek kémiai tulajdonságait. A barlangok kutatása nem magányos tevékenység: társak nélkül nem végezhető. Nemcsak vegyészeti vagy környezetvédelmi szakmai felkészültséget igényel; a mintavételi helyek kijelöléséhez, megközelítéséhez, a mintavételhez, ill. a minta felszínre juttatásához nélkülözhetetlen a barlangjárói ismeret és tapasztalat.

Munkám során az volt a célom, hogy bemutassam a barlangokat érő szennyezés területi eloszlását és (a Szemlő-hegyi-barlang példáján) időbeli változásait; mindezek ismerete esetleg jóvátehető/visszafordíthatatlan károk bekövetkeztének megakadályozását/megelőzését segítheti. Meg kell jegyezni, hogy a különböző típusú szennyezések eredetének pontos kimutatása nem minden esetben sikerült, ez további vizsgálatok szükségességére mutat rá.

Kutatástörténeti áttekintés

PAPP F. (1942) a Budapest meleg gyógyforrásai c. könyvében részletes ismertetést közöl a főváros gyógyforrásairól. Az 1968-ban megjelent Budapest hévizei c. VITUKI-kiadvány (ALFÖLDI L. et al. [szerk.] 1968) komplex ismeretanyagot nyújt a térség földtani és hidrogeológiai viszonyairól, ill. részletes leírást közöl a Duna vonalában lévő forrásokról. A Budai-hegység tektonikájában WEIN GY. (1977) publikálta a Budai-hegység részletes geológiai leírását és térképét, FODOR L. et al. (1994) további eredményekkel gazdagította a tektonikai elgondolásokat. A hidrogeológiai viszonyok, ill. a hévizes tevékenység múltjának és jelenének vizsgálatával a továbbiakban is számos kutató foglalkozott: KOVÁCS J.–MÜLLER P. (1980) a hévizes tevékenység kialakulásával és nyomaival, SCHEUER GY.–SCHWEITZER F. (1980) az édesvízímészke-összletek képződésével, KRAUS S. (1982) a Budai-hegység hévizes barlangjainak fejlődéstörténetével, LORBERER Á. (1987) a terület hidrogeológiájával, TAKÁCSNÉ BOLNER K.–KRAUS S.

(1989) a melegvizes eredetű barlangok kutatásával, NÁDOR A.–SÁSDI L. (1991) a paleokarszt fejlődéstörténetével.

A Budapest természeti földrajza c. munka átfogó természetföldrajzi ismeretanyagot tartalmaz a térségről (PÉCSI M. et al. 1958). A Budai-hegység geomorfológiai fejlődését PÉCSI M (1974), ezen belül a Rózsadombét SCHWEITZER F. (1988) vizsgálta részletesen. A csuszamlás-veszélyességet és a funkcionális térhasználatot bemutató térkép magyarázója jó összefoglalást közöl a Rózsadomb és környéke területhasználatának változásairól és következményeiről (SCHWEITZER F. et al. 1994). A felszínborítás változásainak feldolgozását MARI L. és FEHÉR K. 1999-ben publikálta.

A nyolcvanas évek barlangfelfedezései irányították rá a figyelmet a beépített terület alatt húzódó barlangjáratok beszivárgó vizeinek kutatására. A KVM Földtani Intézete először 1984-ben adott megbízást a Pál-völgyi-barlang, majd 1989-ig öt nagy barlang évszakonkénti vizsgálatára (TAKÁCSNÉ BOLNER K.–TARDY J.–NÉMEDI L. 1989). 1987-ben a VITUKI Hidrológiai Intézete által a Rózsadomb komplex környezetvédelmi vizsgálatához készített hidrológiai szakvéleményben MAUCHA L. (1987) értékelt barlangi beszivárgó vizeket.

A PHARE 134/2. számú projektje 1992-ben újabb lehetőséget biztosított a terület öt nagy barlangjának ismételt kutatásához. A projekt keretében a terület beszivárgási viszonyait is vizsgálták (SÁRVÁRY I.–MAUCHA L.–IZÁPY G. 1992), aminek során a jósvafői mérések alapján kidolgozott karsztmodellt alkalmazták.

A területen dolgozó barlangkutató csoportok – amelyeknek a felfedezéseket is köszönhetjük – vették a mintákat az előzőekben felsorolt vizsgálatokhoz, de önálló kutatásokat is végeztek. Ezek eredményeit az engedélyező hatóságok, ill. a Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat (MKBT) számára készített évi jelentéseik tartalmazzák.

A nyolcvanas évek közepén, a Szemlő-hegyi-barlang gyógybarlanggá nyilvánítása kapcsán az Acheron Barlangkutató Csoport végzett különböző klimatológiai és vízkémiai vizsgálatokat, majd a beszivárgó vizek mérését a barlang teljes hosszában kialakított vízmintavételi helyekre terjesztette ki (1. kép). A Mátyás-hegyi-barlangban ugyancsak végeztek az évszakos klimatológiai vizsgálatok mellett vízmintavételt is. A Pál-völgyi-barlangban a MKBT Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport az új barlangjáratok fölötti OTP-építkezések kapcsán végzett részletes, évszakos felülvizsgálatot

(FÜREDI V.–FEHÉR K. 1999), ill. kutatások folytak a cseppkő-degradáció kimutatására (TAKÁCSNÉ BOLNER K. 2001). A Pagony Barlangkutató Csoport a kilencvenes évek közepétől végzi a Szemlő-hegyi-barlang rendszeres (FEHÉR K. 1995), ill. a Mátyás-hegyi-barlang időszakos vizsgálatát (KISS K. 2009). Magam e kutatások minden fázisában – a mintavételi helyek kijelölése, mintavétel (Szemlő-hegyi-, Mátyás-hegyi-barlang), ill. vízvizsgálatok – részt vállaltam (FEHÉR K. et al. 2009).



1. kép. Vizmintavétel a Szemlő-hegyi-barlangban (Fotó: MIHAELA LICURICI)

Módszer

Diplomamunkám témájának kidolgozását mindenekelőtt a Bevezetésben vázolt, több mint két évtizedes barlangi kutatásaim és az ennek során gyűjtött *vízmintavételek* alapozták meg. A Pál-völgyi-, a Mátyás-hegyi- és a Szemlő-hegyi-barlang esetében a legújabb, *2008. évi méréseim alapján a jelenlegi helyzetet* vázoló fel, a Szemlő-hegyi-barlang *két évtizedes mérési sorozatának* felhasználásával pedig a *hosszabb időtartamú változásokat* mutatom be.

A *laboratóriumi méréseket* az évek során azonos módszerekkel végeztem; kezdetben a Szemlő-hegyi-barlang kezelőépületében kialakított vizsgálati helyiségben, majd a Tanszék laboratóriumában. Az elemzésekre a mintavételt követő legrövidebb idő alatt sor került, s a lehető legtöbb párhuzamos vizsgálat érdekében a *spektrometriás méréseket* ún. *mikro-módszerrel* végeztem.

A *felszíni terepbejárások* fontos szempontokkal egészítették ki a térképi feldolgozást, amihez *térinformatikai módszereket* alkalmaztam (ArcView, ArcGIS).

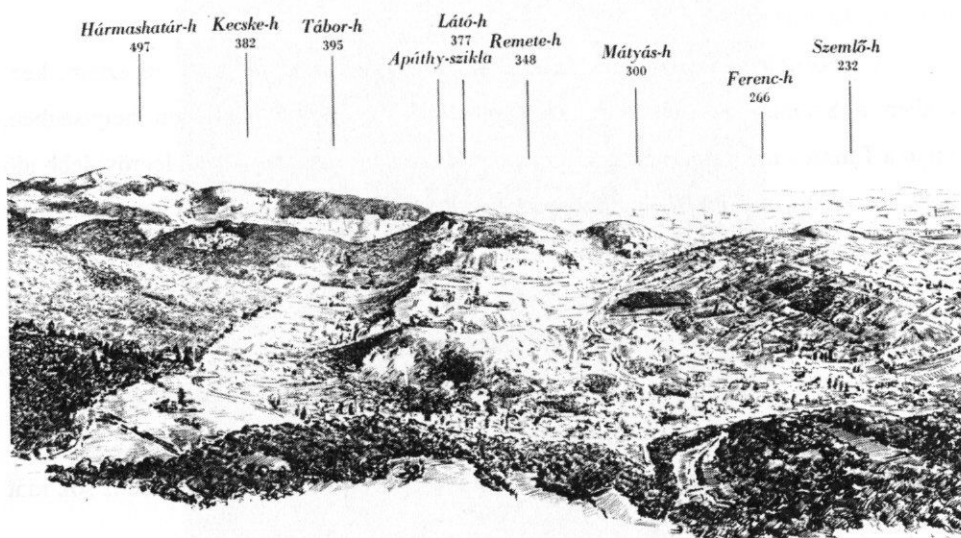
A terület minél komplexebb feldolgozásához jó háttérrel biztosító *szakirodalmi források összegyűjtése és áttekintése* után az *adatok rendezését* végeztem el. (A területi korlátok miatt csak a saját méréseimet elemeztem, ezek rendszerezése is sok időt igényelt.)

A kapott nagy mennyiségű mérésadatot különböző *statisztikai és adatelemző módszerekkel* (mindenekelőtt klaszter-analízissel) dolgoztam fel, aminek során az egyes mérőpontok közötti különbségeket vizsgáltam, ill. a különböző ionok minősége, mennyisége és aránya alapján a szennyeződések forrásaira és beszivárgási-vándorlási módjára, útjára kíséreltem meg következtetni.

A vizsgált terület és tágabb környékének természetföldrajzi vázlata

Helyzete, határai

A vizsgált terület a Dunántúli-középhegység Dunazug-hegyvidékéhez tartozó Budai-hegység része. A vizsgált barlangok a Budai-hegyek, Hármashatár-hegy sasbércvonulat-csoportjának DK-i elvégződésében, a Látó-hegy–Mátyás-hegy–Ferenc-hegy által közrezárt térség alatt találhatóak (1. ábra; PÉCSI M. et al. 1959).



1. ábra. A vizsgált terület panorámaképe (PÉCSI M. et al. 1959)

Földtani felépítés, fejlődéstörténeti vázlat

A vizsgált terület legidősebb kőzetei a középső- és felsőtriászban a Tethys-tengerben lerakódott, zömmel sekélytengeri dolomitok és mészkövek (budaörsi dolomit, földolomit, mátyáshegyi mészkő). A triász végétől a középsőeocénig üledékhiány jellemző, amit WEIN GY. (1977) a szárazulat sziget jellegével magyaráz (nagyobb hegységek, folyóvizek nem alakulhattak ki rajta, üledékképződés nem volt). A másik elgondolás (NÁDOR A.–SÁSDI L. 1991) – a karbonátos képződmények karsztosodása mellett – jelentős mértékű eróziós lepusztulást valószínűsít. A kréta során ÉK–DNy-i irányú

kompresszió hatására enyhe redők, feltolódások keletkeztek (FODOR L. et al. 1994). A főleg dolomitból álló karbonátos összletben a gyűrődések helyett törések jöttek létre. Ez a sűrű töréshálózat nyitotta meg a későbbi karsztvíz-áramlások útját (WEIN GY. 1977).

A késő eocén transzgresszió sekélytengeri üledékképződéssel járt együtt. A késő eocén–kora oligocén üledékképződés jellegét a Budai-vonal határozta meg: ÉNy-i részén abrázios konglomerátum, nummuliteszes-discocyclinás-lithotamniumos szépvölgyi mészkő, majd budai márga rakódott le. A kora oligocénben a hárshegyi homokkő diszkordánsan települt az infraoligocén denudáció során erodálódott felszínre. A DK-i területeken a késő eocén budai márga felett mélytengeri tardi agyag, majd kiscelli agyag képződött.

Az oligocén végén a tenger visszahúzódott, a fokozatosan szárazulattá váló területen a miocénben (eggenburgi-bádeni) nagyarányú erózió ment végbe, aminek következtében a karsztterületet fedő kiscelli agyag jelentős része lepusztult (NÁDOR A.–SÁSDI L. 1991).

A középsőmiocénben a korábbi vetők felújultak, ill. új, ÉK–DNy-i irányú vetők keletkeztek (FODOR L. et al. 1994). A DK-ról transzgradáló késő pannóniai tengerből a hegység szigetként emelkedett ki (NÁDOR A.–SÁSDI L. 1991).

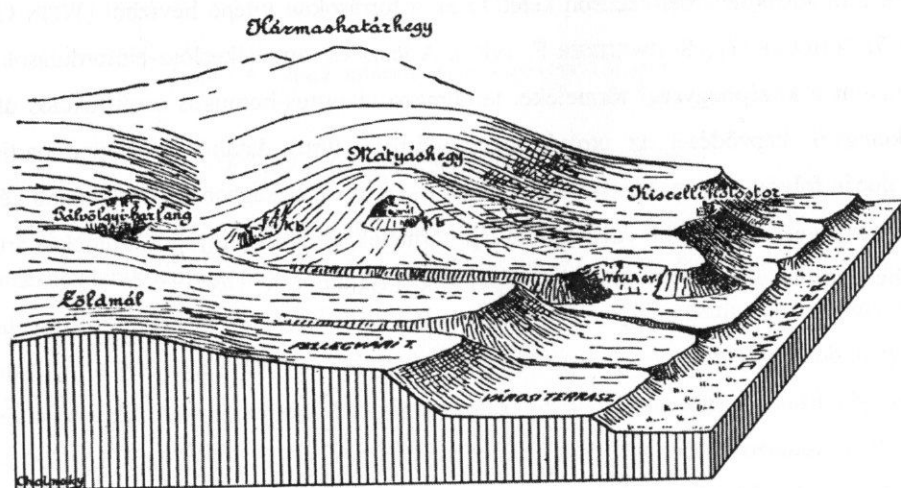
A pleisztocénben a hegység fokozatosan kiemelkedett, ezzel párhuzamosan a Duna mind mélyebbre vágódott. Az emelkedés ütemét édesvízimészkő-szintek jelzik, amelyek a mindenkori erózióbázison keletkeztek a forrásokon kilépő hévízből (WEIN GY. 1977; SCHEUER GY.–SCHWEITZER F. 1980). A lösz- és törmelékeslössz-előfordulásokat, valamint a középhegységi törmeléket tartalmazó aleuritos-homokos szoliflukciós üledékegyek képződését az utolsó eljegesedésre (würm) datálják. A Duna partján óholocén folyóvízi homokos kavics található 6–16 m vastagságban. A legfiatalabb képződményeket hegylábi, ill. völgykitöltő lejtőtörmelék, aleuritos, agyagos, homokos ártéri üledékek és antropogén feltöltések képviselik (LORBERER Á. 1987).

Domborzat

A Budai-hegység a Dunántúli-középhegység legtagoltabb középtája, a Gerecsével és a Pilissel a Dunazug-hegyvidékhez tartozik. Törésszerű szerkezete miatt domborzatát elsősorban fennsíkok, fennsíkmaradványok, sasbérc csoportok, hegyközi medencék, medencedombságok, lépcsős hegyláb felszínek, eróziós patak völgyek és alluviális térszínek alkotják (JUHÁSZ Á. in KARÁTSON D. [szerk.] 2000). A hegység részei:

- Hárshegy–János-hegy–Széchenyi-hegy–Csiki-hegyek sasbérc csoportja;
- Hármashatár-hegy–Csúcs-hegy sasbérc csoportja;
- hegyközi medencék (Budakeszi-, Budaörsi-, és Zsámbéki-medence);
- Tétényi-fennsík.

A vizsgált területet magába foglaló Hármashatár-hegy–Csúcs-hegy sasbérc csoport a Budai-hegység K-i részén, az Ördög-árok, a Pilisvörösvári-árok és a Duna völgye által határolt területen húzódik. ÉK-i fővonulata egységes ÉNy–DK-i irányú rögsor, a Jegenye-patak völgyétől a Szép-völgyig (Mátyás-hegy 300 m, Remete-hegy 348 m, Tábor-hegy 395 m, Hármashatár-hegy 497 m). A vonulat legdélibb kiemelkedése a Mátyás-hegy. D-ről és Ny-ról a Szépvölgy markánsan elkülöníti környezetétől, K-i oldala meredek, csuszamlásos lejtővel szakad le a Kiscelli-fennsíkra. Ny-i és DK-i oldalában már messziről láthatók egykori kőbányái (2. ábra).



2. ábra. A vizsgált terület morfológiai vázlatja (CHOLNOKY JENŐ rajza)

Nyugatra az Újlaki-hegy–Kecske-hegy–Látó-hegy vonulata különül el. A féldoldalasan kibillent rögök Ny-i oldala meredek, sziklás, a Szép-völgybe néző K-i lejtőik enyhe hajlásszögűek (PÉCSI M. in PÉCSI M. [szerk.] 1959).

A hegycsoport legdélibb része az Ördög-árok völgye és a Zöldmáli-völgy között a Rózsadomb csoportja. Alacsony, lapos hátú, kisebb rögökből áll (Ferenc-hegy, Szemlé-hegy, Rókus-hegy, Rózsadomb). A vizsgált terület geomorfológiai térképét a 3. ábrán tanulmányozhatjuk.



3. ábra. A Rózsadomb mérnökgeomorfológiai térképe (SCHWEITZER F. 1988). – 1 – sasbérc; 2 – nyereg; 3 – alacsonyabb helyzetű (220–260 m a tszf.) heglábfelszín; 4 – völgyközi hát; 5 – lejtőpihenő, teraszszerű szintek; 6 – magasabb helyzetű (270–330 m a tszf.) heglábfelszín, hegláblejtő; 7 – törmelékkúp; 8 – eróziós árok, vizmosás; 9 – az Ördög-árok patak elhagyott medrei; 10 – az Ördög-árok patak teraszai; 11 – mesterséges tereplépcső; 12 – eróziós-deráziós völgy; 13 – eróziós völgy; 14 – deráziós völgy; 15 – édesvízmész-kő-szintek; 16 – fontosabb feltárt barlangok és járatok; 17 – stabil lejtő; 18 – instabil lejtő; 19 – nyugalomban lévő, csuszamlásos lejtő; 20 – a Duna II/a sz. terasza; 21 – a Duna magasártéri szintje; 22 – a Duna elhagyott medrei; 23 – felhagyott bánya

Éghajlat

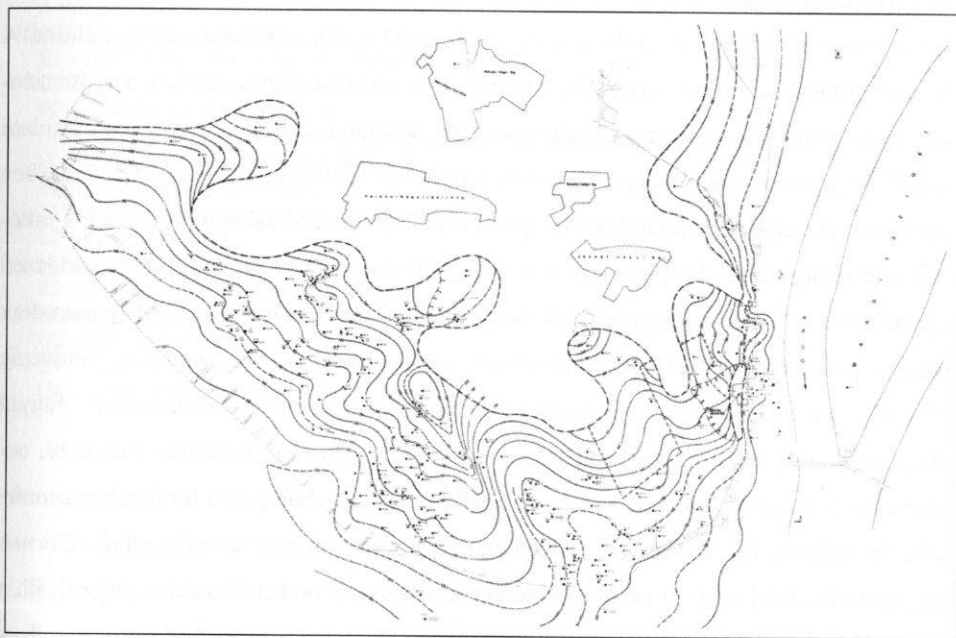
A Budai-hegység *éghajlata* mérsékelt meleg–mérsékelt száraz. Ettől eltérő klíma jellemző a magasabb régiókban, ahol mérsékelt hűvös, ill. az É-i részen mérsékelt meleg–mérsékelt nedves. Az egyes részek közötti különbségeket az évi átlaghőmérsékletek is jól tükrözik: a DK-i részen a város közelsége miatt 10,5–11,0, területének nagy részén 9,5, a tetőszinteken 9,0 °C. A csapadék évi átlaga 650 mm, É-on 700, D-en 600 mm. Az uralkodó szélirány az ÉNy-i (MAROSI S.–SOMOGYI S. [szerk.] 1990). A fontosabb makroklimatikus adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A vizsgált terület és környéke fontosabb éghajlati (makroklima-) adatai.
Forrás: MAROSI S.–SOMOGYI S. (szerk.) 1990

Napfénytartam, óra	évi	1950
	nyár	760
	tél	200
Évi középhőmérséklet, °C		9,5
	a város közelében	10,5–11,0
	a magasabb régiókban	9,0
Nyári középhőmérséklet, °C		16,5
	a város közelében	17,0–17,5
	a magasabb régiókban	15,0–15,5
A középhőmérsékletet meghaladó hőmérsékletű napok száma (nyár)		185
	a magasabb régiókban	180
A fagymentes időszak hossza, nap		190
	a város közelében	205
	D-en	195
Átlagos évi csapadékmennyiség, mm		650
	É-on	700
	D-en	600
Nyári csapadékmennyiség, mm		350–370
24 órás csapadékmaximum, mm		84
A hótakarós napok száma, átlag		40–45
	a magasabb régiókban	50–55
Átlagos maximális hóvastagság, cm		25–30
	a magasabb régiókban	35
Uralkodó szélirány		ÉNy
Szélesség, átlag, m/s		3,5
Szélesség, legnagyobb, m/s		4,0

Vízrajz

A hegység területének nagy része mérsékeltén vízhiányos. É-i részének vizeit az Aranyhegyi-patak, a középső területekét az Ördög-árok, a D-ieket a Hosszúréti-patak a Dunába, a Ny-i részek vizeit a Fűzes-patak a Benta-patakba vezeti. A Duna partján nagyszámú hő- és gyógyforrás található. Összefüggő talajvíz csak a völgyekben van (4. ábra), ahol a talpakon 2–4, a lejtőkön 4–6 m között található, mennyisége azonban nem számottevő (MAROSI S.–SOMOGYI S. [szerk.] 1990).



4. ábra. A Rózsadomb és környékének talajvíz-térképe (LORBERER Á. 1987). – *pont-vonal* – a talajvíztároló negyedidőszaki képződmények elterjedési határa; *folytonos vonal* – a sokévi átlagos talajvízszintek hidroizohipszái (m a Bf.); *zárt sokszögek* – a barlangok feletti A-zóna

Élővilág

A terület növényföldrajzi szempontból a Dunántúli-középhegység flóraidékének (*Bakonyicum*) Pilis–Gerecsei flórajárásába (*Pilisense*), állatföldrajzi tekintetben az Ősmátra faunakörzet (*Matricum*) Dunántúli-középhegység faunajárásába (*Pilisicum*) tartozik. Jellemző természetes növénytársulásai: a cseres-tölgyesek (*Quercetum petraeae-cerris*), gyertyános kocsánytalan-tölgyesek (*Quercus petraeae-Carpinum*), bükkösök (*Daphno laureolae-Fagetum*), karsztbokorerdők (*Orno-Quercetum*), törme-léklejtő erdők (*Mercuriali-Tilietum*), mézskerülő tölgyesek (*Deschampsia flexuosa-Quercetum sessiliflorae*), molyhos tölgyesek (*Vicio sparsiflorae-Quercetum pubescentis*) és sziklagyepek (*Bromo-Festucion pallentis*). Az emberi tevékenység következtében a vizsgált terület egykor rendkívül változatos, magas biodiverzitású élőhelyeinek nagy része elpusztult vagy átalakult, az eredeti flóra és fauna sok faja eltűnt. A felszínborítás is jelentősen átalakult: a természetes növénytársulásokat sok helyütt szántók, rétek, legelők, szőlők stb. váltották fel, ezek később tovább változtak. Ma a hajdani szőlők és gyümölcsösök helyén a védett természeti területeken is nagy kiterjedésben fordulnak elő tájidegen fafajokból telepített erdők (nagyreszt feketefenyvesek), a lakóövezetet pedig kertes beépítés jellemzi. A növényzet összetételében ezért a kertészeti egzóták és a kultúrakövető gyomfajok dominálnak. Csupán néhány kis foltban maradtak meg a potenciális társulások növényfajai: apró nőszirm (*Iris pumila*), vetővirág (*Sternbergia colchiciflora*), egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*), fagyal (*Ligustrum vulgare*), virágos kőris (*Fraxinus ornus*), sajmeggy (*Cerasus mahaleb*), ostorménfa (*Viburnum lantana*) stb. Ezek egyike, másika a bolygatott területeken pionírként is megjelenik. A roncsolt területeken mindenütt ott van a veresgyűrű (*Cornus sanguinea*), a talaj magas nitrogénforgalmát jelzi a fekete bodza (*Sambucus nigra*), ill. a gypsztben a nagy csalán (*Urtica dioica*) vagy a fekete peszterce (*Ballota nigra*). Terjed az adventív bálványfa (*Ailanthus altissima*) és a parlagnyű (*Ambrosia elatior*).

Az állatvilág alkalmazkodott az évszázadok óta működő antropogén hatásokhoz. A zavarást nem tűrő fajok régen eltűntek, más fajok viszont elfoglalták az ember által kialakított élőhelyeket, így pl. a felhagyott külszíni fejtések kőfalain gyakori a fali gyík (*Podarcis muralis*) vagy a rézsikló (*Coronella austriaca*), a feketefenyvesek zárt lombkoronája biztonságos fészkelőhelyet nyújt az egyébként félnék karvalynak (*Accipiter*

nissus), de természetes rokona, a héja (*A. gentilis*) is egyre gyakrabban jelenik meg a területen. Néhány erdei emlős, különösen a vaddisznó (*Sus scrofa*) és a róka (*Vulpes vulpes*) is egyre gyakoribb a kertvárosi övezetben. A gerinctelen fajok között sok a gyomfajokhoz kötődik, pl. a nappali pávaszem (*Inachis io*), a kis rókalepke (*Aglais urticae*) a csalánhoz, a farkasalmalepke (*Zerythia polyxena*) a gyomnövénynek minősülő farkasalmához (*Aristolochia clematis*). Más gerinctelenek, csigák, rovarok a kultúrnövényekhez kötődnek, a kertvárosi környezet számukra is bőséges életteret kínál. A többnyire kártevőnek tekintett fajok jelenléte miatt sok növényvédő, gombaölő és rovarirtó szer kerül felhasználásra, s feltételezhető az is, hogy legtöbbször szakszerűtlenül, a szükségesnél nagyobb koncentrációban és adagokban.

A vizsgált területen található élőhelyek a Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (NÉR) alapján az alábbi kategóriákba sorolhatók:

- E1 – franciaperjés domb- és hegyvidéki rétek,
- G2 – mészkedvelő nyílt sziklagyepek,
- H2 – sziklafüves lejtősztyeprétek,
- H4 – stabilizálódott félszáraz irtásrétek, gyepek és száraz magaskórósok,
- I3 – sziklafalak és kőfalak pionír növényzete,
- I4 – görgeteg pionír növényzet,
- L1 – mészkedvelő és melegkedvelő tölgyesek,
- L2 – cseres-tölgyesek,
- M1 – molyhos-tölgyes bokorerdők,
- P2 – spontán cserjésedő-erdősődő területek,
- S4 – erdei és feketefenyvesek,
- U2 – kertvárosok,
- U4 – telephelyek, roncsterületek,
- U6 – nyitott bányafelületek.

Talajok

A kistáj 1/3 részét kitevő sasbércek és fennsíkok szilárd karbonátos talajképző kőzetein rendzinák alakultak ki. A vonulatok közötti völgyek és medencék agyagos, homokos kitöltését vályogos lösz takarja, amelyen zonális barna erdőtalajok (elsősorban Ramann-féle barna erdőtalajok) képződtek. A meredekebb lejtőkön és a mezőgazdasági művelés alatt álló területeken ezek földes kopárokká, ill. antropogén humuszkarbonáttá alakultak. A meredek, sziklás lejtőket köves, sziklás vázталajok fedik.

Felszínborítási változások, tájtörténeti áttekintés

Az elmúlt száz-százötven év emberi beavatkozásainak hatására Budapest természeti képe jelentősen átalakult. Ez a megállapítás igaz a dolgozatomban vizsgált területre is. Itt a területhasznosítás kedvezőtlen változásai, különösen a nagyarányú építkezések és a bányászat miatt még az eredeti domborzat is sok helyen megváltozott, a természetes növénytakaró pedig szinte teljes egészében eltűnt.

A karszt – ha sértetlen a felette levő talajtakaró – nagy felületű repedésrendszerével kiszűri a rajta átszivárgó vizekkel szállított szennyezőanyagokat. Ha az antropogén tevékenység (erdőgazdálkodás, építkezések, bányászat, mezőgazdasági művelés stb.) miatt az eredeti talajtakaró sérül vagy megsemmisül, a talajerózió termékei eltömíthetik a karszt finom repedéshálózatát, így a felszínről beszivárgó vizek a durvább repedések mentén – szűrés nélkül – kerülhetnek a karsztvízbe, majd onnan a gyógyforrásokba.

Az első, a második és a harmadik katonai felmérés, valamint a századunkból származó topográfiai térképek, ill. légi felvételek felhasználásával jól követhetők a vizsgált terület felszínborításának változásai.

Az első katonai felmérés (a vizsgált területen 1785) szelvényei a legelső olyan hazai topográfiai térképek, amelyek a felszínborítást, ill. a földterületek hasznosítását ábrázolják. Bár ezek sem a természetes állapotot mutatják, de az összes időkeresztmetszet közül a legközelebb állnak ahhoz. Megállapítható róluk a korabeli települések, erdők és intenzíven hasznosított földek (szántók, szőlők, gyümölcsösök) kiterjedése, ezzel jó lehetőséget nyújtanak a későbbi összetettebb területhasznosítási módok nyomon követéséhez. Összehasonlításuk a későbbi, már valamely vetületi rendszerben készített térképekkel körülményes. Pontos területmérésre ugyan nem alkalmasak, mégis jó kiindulási alapot adnak a tendenciák bemutatásához.

A topográfiai térképek és légi felvételek elemzése alapján elkészültek (MARI L.–FEHÉR K. 1999) az egyes időszakok felszínborítási térképei (5–6. ábra), amelyek az alábbi fő felszínborítási/földhasználati kategóriákat ábrázolják:

1. *Összefüggő településszerkezet.* – A terület szerkezetét az épületek határozzák meg. Az épületek, az úthálózat és a mesterséges burkolattal ellátott felületek a talajfelszín csaknem teljesen (>90%) beborítják. A fasorokat kivéve növényzet és csupasz talajfelszín csak kivételesen fordul elő.

2. *Nem összefüggő településszerkezet.* – A terület szerkezetét az épületek határozzák meg. Az épületek, az úthálózat és a mesterséges burkolattal ellátott felületek (50–90%) a növényzettel fedett területekkel (kertek, parkok) és a csupasz talajjal együtt jelennek meg. Ez utóbbiak nem összefüggő módon, de jelentős felületeket foglalnak el.

3. *Sportlétesítmények.* – Sportpályák és a hozzájuk kapcsolódó infrastruktúra.

4. *Külfejtéses bányák.* – Külszíni nyersanyag-kitermelés.

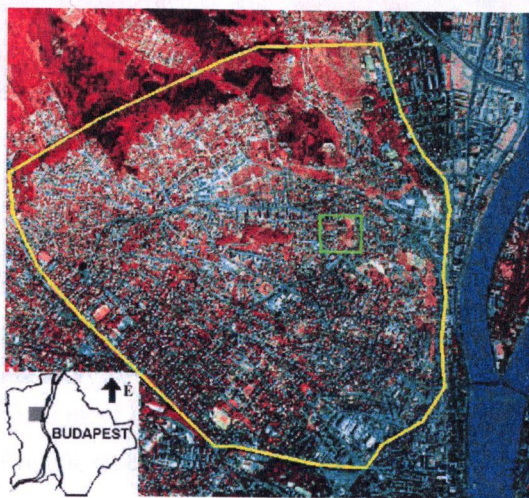
5. *Szántóföldek.* – Rendszeresen szántott, megművelt területek.

6. *Állandó növényi kultúrák.* – Ültetvények (gyümölcsös, szőlő), amelyek hosszú időn keresztül foglalják területüket, mielőtt újraszántanak és újratelepítenék őket.

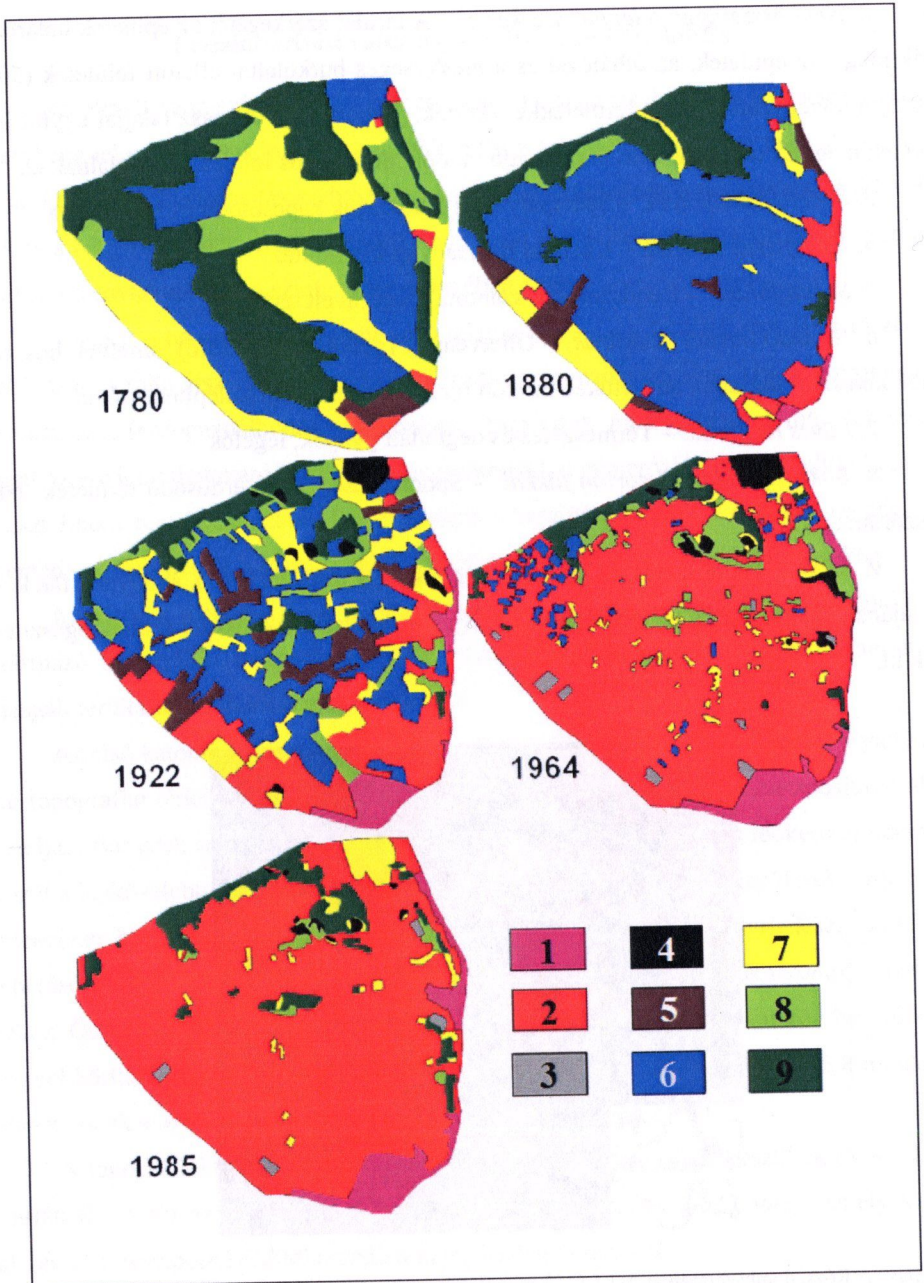
7. *Füves területek.* – Természetes és degradált gyepek, legelők.

8. *Bokros terület, elszórtan fákkal.* – Spontán cserjésedő-erdősödő területek, fák elszórtan tarkítják.

9. *Erdő.* – Természetes, ill. ültetett (lombos vagy tűlevelű) erdő, amelyet a fák koronájának szintje alatt a legtöbb esetben cserjék és lágyszárúak alkotta szintek egészítenek ki.



5. ábra. A Rózsadombi-termálkarszt CLC 50 műholdfelvétele. – sárga vonal – a felszínborítás-változás vizsgálatának területe; zöld vonal – a Szemlő-hegyi-barlang felszíne



6. ábra. 1 – összefüggő településszerkezet; 2 – nem összefüggő településszerkezet; 3 – sportpálya; 4 – külszíni bánya; 5 – szántóföld; 6 – állandó növényi kultúrák; 7 – füves terület; 8 – bokros terület, elszórtan fákkal; 9 – erdő

A térképeket elemezve jól nyomon követhető a természetes, ill. természetközeli területek arányának rohamos csökkenése és a beépített területek arányának növekedése (2. táblázat). A XVIII. században a területnek még 42,7 %-át erdő ill. bokros terület fedte, ez az arány 1985-re 8,1 %-ra csökkent. Ezzel szemben a beépített területek aránya 1785-ben 1,6 % volt, 1985-ben pedig már 85,3 %.

2. táblázat. A mintaterület felszínborítás-típusainak százalékos megoszlása a vizsgált években

Felszínborítási kategóriák	1780	1880	1922	1964	1985
	%				
Összefüggő településszerkezet	0,0	0,4	3,7	4,8	6,3
Nem összefüggő településszerkezet	1,6	7,6	20,1	73,5	79,0
Sportpálya	0,0	0,0	0,0	0,7	0,5
Külszíni bányá	0,0	0,1	5,5	6,7	2,6
Szántóföld	1,5	3,8	7,5	0,0	0,0
Állandó növényi kultúrák	26,4	66,1	32,9	2,2	0,0
Füves terület	27,8	6,4	13,3	3,2	3,5
Bokros terület, elszórtan fákkal	9,8	1,9	10,4	5,4	1,1
Erdő	32,9	13,7	6,6	3,5	7,0

A 17. sz. második felétől német telepesek foglalták el a Buda és Óbuda közötti Duna-parti sávot. Településük magja Újlak, központjában a Kolosy térrel és a plébánia-templommal. A Duna mentén csak keskeny ármentes terület állt rendelkezésre, ezért a telkek kicsik, a beépítés zártosú, falusias volt; a magasabban fekvő utcákban (pl. Felhévizi út) borpincékkel és pincékkel.

A szőlőhegyre felvezető út (a mai Szépvölgyi út) mentén téglavetők és kőfejtők is létesültek, egészen a Hármashatár-hegyig, utóbbiak többségét a XX. század elején hagyták fel, de volt olyan is, amelyet az ötvenes évek végéig műveltek. A Szemlő-hegy és Ferenc-hegy lejtőit szőlő borította, itt présházak, pincék és ásott kutak is voltak. A XIX. sz. végi filoxerafertőzés miatt kipusztult szőlőket nem telepítették újra¹, az ültetvények helyét az 1920-as évektől részben feketefenyővel erdősítették, máshol viszont a szukcessziós folyamatok gyepeket és ligeteket hoztak létre, ezek pedig a század közepére kiránduló-, ill. hétvégi pihenőterületté váltak. A Rózsadombra és környékére már a XIX. század közepétől kijárt a főváros lakossága, és az első villák építése is erre az idő-

¹ Az elnevezés a törpetetvek családnevéből (*Phylloxera*) származik; rendszertani szempontból ide tartozik a kártevő, a *Viteus vitifoliae*, magyarul szőlő-gyökértetű.

szakra tehető. A terület rendezése a Margit-híd 1892. évi elkészülte után vált egyre sürgetőbbé. Az elpusztult szőlőterületen megjelentek a nyaralók, majd az állandóan lakott villák, de eleinte hiányzott a közmű- és úthálózat. A terület rendezésére először 1900-ban került sor, ennek keretében 1911-től építették ki a felvezető utakat, lépcsőket. A Rózsadomb gerincén végigfutó Törökvész út környéke az 1930-as évektől épült ki. Az ekkor kialakult úthálózat (Pasaréti út, Bimbó út, Törökvész út, Pusztaszeri út, Gábor Áron u.) közvetlen környezete rendezettnek tekinthető, míg a köztes, a második világháború után beépült területek rendezetlensége napjainkban is nehezen kezelhető problémát okoz (7. ábra).



7. ábra. A vizsgált terület beépítettsége és úthálózata 1902-ben (Budapest régi térképei, 1873–1950).

Az 1970 utáni (és a 80-as évektől különösen felgyorsult) beépítés nem volt tekintettel a környezeti hatásokra, aminek negatív következményei a zöldfelület csökkenésében, a helyi klíma romlásában, a lefolyásviszonyok megváltozásában és a felszínmozgások gyakoriságában jutnak kifejezésre. Különösen kritikusnak tekinthető a Törökvézi út – Pusztaszeri út – Szépvölgyi út által határolt terület beépítése (Ferenc-hegy, Zöldmál), ahol megelőzően telektömbönkénti állapotfelmérésre lett volna szükség.

A Rózsadomb környezetére nem csak a fokozódó beépítés gyakorol negatív hatást, hanem a funkcionális rendszer átalakulása is. Utóbbi abból következik, hogy a növekvő népesség újabb és újabb funkciókat vonz a területre (ellátó–szolgáltató funkciók, iskola, kulturális- és sportlétesítmények, munkahelyek stb.), amelyek léptékük miatt nehezen illeszthetők a lejtős területek adottságaihoz. Ezek a létesítmények nem csak a kertváros-karaktert változtatják meg, hanem komoly környezetvédelmi problémákat is okoznak. Ennek kirívó példája a Rózsadomb K-i oldalán a Duna fölé magasodó, egykori SZOT-üdülő, amelynek megépítéséhez több forrás vizét kellett befogni és elvezetni. Az építők nem fordítottak figyelmet arra, hogy az alkalmazott műszaki megoldás milyen hatást gyakorol a hegylábi termálforrások (József-hegyi-forrás csoport) hozamára. Az épület egyébként közel két évtizede, félig lebontva rontja a Világörökségnek nyilvánított városképet.

Az új funkciók megjelenése zavarja a villanegyed jelleget, nemkívánatos forgalomnövekedést generál és növeli a terület környezeti terhelését. Alapvető érdek lett volna, hogy a kereskedelmi–szolgáltató funkciók a Moszkva tér–Margit krt.–Lajos u.–Újlak sávban maradjanak, s csak kisebb, a napi ellátáshoz kapcsolódó, a környezetet nem zavaró funkciók kerüljenek a zöldövezetbe. Fontos lett volna az is, hogy a tömeges lakásépítés különböző formái távol maradjanak a területtől, és a lakónépesség ne növekedjék jelentősebb mértékben. Ez ugyanis tovább gerjeszti a munkahely jellegű funkciók – pl. irodák, bankok stb. – betelepülését. Sajnos, már a hetvenes évek végén megjelentek az első sorházak, és a rendkívül magas ingatlanárak miatt ma is soklakásos társasházak és lakóparkok építése gazdaságos, vagyis a népességnövekedés folytatódik.

A közép- és felsővezető rétegek területi koncentrációja erős, ami kedvez a gazdasági vezetéssel összefüggő adminisztrációs munkahelyek (irodák) megjelenésének. A city-funkciók Rózsadombra települése tovább növeli a terület forgalmát, és csökkenti a lakófunkció presztízsét, de a környezetterhelés általános növekedését is eredményezi.

A lakófunkció céljára különböző építményeket használnak. A családi ház, ill. villa jellegű területhasználat – az építési szabályzat betartása esetén – a legkisebb konfliktusforrás, csak kis mértékben változtatja meg az építési terület hidrológiai viszonyait, mert általában nem jár nagymértékű mélyépítéssel, teraszozással. A beépített és zöldfelület aránya szabályozott. A földszintes sorházak beépítés már megváltoztatja a felszíni lefo-

lyás irányát, ezért felszínátalakító beépítésnek tekinthető. Az 1–5 emeletes társasház, méretétől függően, befolyásolja az építmény és az altalaj kapcsolatát; a kőzet–talaj–lefolyás–szivárgás rendszer a nagyméretű épület kedvezőtlen elhelyezése esetén felszínmozgást okozhat. Az 5 emeletesnél magasabb lakótömbök esetén ez a veszély fokozott mértékű a lejtős területeken és a felszínperemeken, ahol – ha nincsenek szakszerűen megépített rézsűk – szakadás, rogyás következhet be. A telepszerű társas- és bérház típusú beépítés alapvetően megváltoztathatja a víz felszín alatti és feletti mozgását. A rogyás- és csuszamlás-veszélyt bizonyos kőzetek, ill. talajok kiszáradása, ill. vízfelvétele egyaránt előidézheti. Általában megváltozik a természetes tájelemek és az épített környezet közötti arány, ami a lokális klímára is hatást gyakorol. Egészében véve azok a tájlesztéikai elemek kerülnek háttérbe, amelyek a lakófunkció kiépítését indikálták.

A MTA Földrajztudományi Kutató Intézetében 1994-ben tanulmány készült a beépítés és a funkcionális térszerkezet változásairól (SCHWEITZER F. et al. 1994). A dolgozat megállapításait és prognózisait a megírás óta eltelt tizenöt év igazolta (sőt a bekövetkezett változások a legpesszimistább jóslatokon is túltettek). Sajnálatos, hogy a városvezetés nem vette figyelembe a geográfusok figyelmeztetéseit.

Dolgozatom szempontjából a fejezetben ismertetett változások jelentősége az, hogy a vizsgált terület felszíni szennyeződésének folyamatos növekedésére lehet belőlük következtetni.

A mintaterület részletes vizsgálata

Általános jellemzés

Budapest hévizei

A Dunántúli-középhegység felől az Alföld irányába három fontos ÉNy–DK-i irányú haránttörés-rendszer szállítja a hévizeket:

- a Solymári-árok, amely a Margitsziget É-i részét érintve a Rákos-patak vonalát követi;
- a József-hegy–szépvölgyi törés, amely a Margitsziget D-i végződése irányába tart;
- az Ördögárok-törés, amely a Gellérthegy K-i leszakadása mentén a Csepel-sziget irányában folytatódik.

A jelentősebb forráscsoportok ott alakultak ki, ahol a törésrendszerek elérik a Duna által meghatározott megcsapolási vonalat: gellérthegyi, József-hegyi, Római-fürdő–Csillaghegy környéki, ún. É-i csoport. A Duna jobb partján 61 forrás található. A természetes forrásokon kívül fontos hévíznyerő helyek az artézi kutak. A budapesti hévforrások és hévízkutak össz-hozamát napi 50 ezer m^3 -re becsülik, ebből 37 ezer m^3 a kutakból származik. (Összehasonlításként: Budapest patakjainak össz-hozama napi 10 ezer m^3 .) Ez a vízmennyiség vélhetően csak töredéke a szökevényforrások által a Dunába szállított hévizeknek; pl. az Erzsébet-híd alapozási munkái során átvágott repedésrendszerből napi 12 ezer m^3 melegvíz tört elő. A főváros területén kitermelt hévizekből becslések szerint napi 1 tonna ásványi anyagot lehetne kinyerni.

A Budai-hegység hévizeinek kialakulása

A Budai-hegységben folyó hidrotermális tevékenységnek legalább két (barlangképző) fázisa létezett:

- vastag (esetleg vulkáni eredetű) takaró alatt kialakult zárt cellás, befojtott tevékenység;
- hőfluxusból származó melegvizes, nyílt cellájú működés (feltehetően ez a fiatalabb).

Az első fázis idején a Budai-hegység karsztosodó területeit kb. 1000 m vastag kiscelli agyag borította, így a fedett karsztban zárt cellás konvekciós áramlás alakult ki (KOVÁCS J.–MÜLLER P. 1980). A feltehetőleg vulkáni működésből eredő, túlhevült, 100 °C-nál melegebb, különböző ásványi anyagokat (Ba, CO₂) tartalmazó vizek a karsztos kőzet tektonikus hasadéakai mentén kisméretű járatokat oldottak ki. E fázis tanúi a budai barlangokban található, jellegzetesen magas hőmérsékleten létrejövő ásványok (pirit, limonit, barit, metacinnabarit) és az anyakőzet elkovásodása.

A hévizes tevékenység második (hőfluxusból eredő) fázisát a hegység miocén kori kiemelkedése és az ezt követő erőteljes lepusztulás indította meg. A fedetlenné vált karsztos kőzetekben elnyelődött vizet a tektonikus hasadékok és rétegeközök nagy mélységekbe vezették le. Az Alföld medencéjének süllyedése következtében elvékonyodott a litoszféra-lemez, ezért a mélybe szivárgó vizek a magas geotermikus gradiens hatására erősen felmelegedtek. A felmelegedett mélységi vizek a karsztvíz-domborzat változó hidraulikus nyomása és a hőtágulás miatt bekövetkező „hőlift” együttes hatására a törések mentén felszállva melegforrások formájában tértek vissza a felszínre (ALFÖLDI L. in ALFÖLDI L. et al. [szerk.] 1968).

A vizsgált terület barlangjai

A terület barlangjainak kialakulása

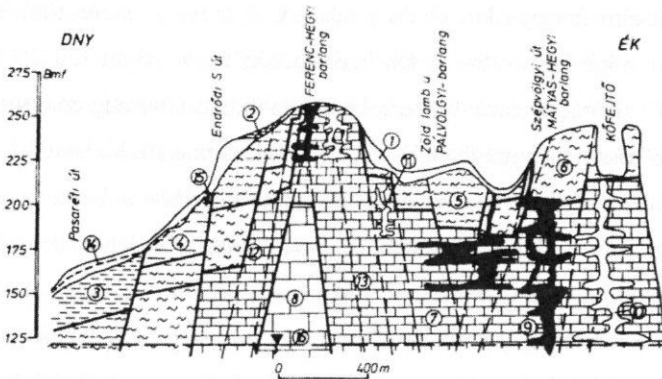
A budai barlangok többsége felsőeocén mészkőben alakult ki. Az első hévizes fázisban a víz az ÉNy–DK és ÉK–DNy-i főirányú tektonikus repedéseket követte. A zárt cellájú áramlás hatására a hasadékok mentén jellegzetes anyagáthalmazás történt, ennek nyomai a kovásodás és a barittelérek. Az első fázis nem alakított ki járható méretű üregrendszert, de a hatására létrejött, nehezen oldódó ásványi erek a későbbi üregképződés során kipreparálódtak a kőzetből (pl. a Szemlő-hegyi-barlangban a Tű foka).

Az 1930-ban felfedezett Szemlő-hegyi-barlang volt az első, amelyről a szakemberek egyértelműen bizonyították, hogy a Duna partján jelenleg fakadó melegforrások egykori forrásjárataival azonos. A budai barlangok a vízzáró agyagtakaró lepusztulása után, a pliocén–pleisztocénban meginduló karsztvíz-áramlások hatására keletkeztek (második fázis). A Dunántúl felől az Alföld irányába mozgó termális karsztvizek fel-

áramlását a Pesti-síkság vízzáró rétegei megakadályozták, így a meleg vizek a Duna vonala mentén elhelyezkedő, mélyreható repedések mentén törtek a felszínre.

A mélykarsztban felmelegedett vizek a források közelében találkoztak a Budai-hegység területén beszivárgó hideg karsztvizekkel, így a különböző hőmérsékleti viszonyok és az eltérő vegyi összetétel hatására keveredési korrózió jött létre (MÜLLER, P.–SÁRVÁRY, I. 1977; KOVÁCS J.–MÜLLER P. 1980).

A karsztvízszint közelében a korrózió által kioldott, egykor vízzel kitöltött barlangok a Budai-hegység kiemelkedésének és a Duna bevágódásának együttes hatására mára szárazzá váltak. A kiemelkedés nem egyszerre következett be, hanem – változó intenzitással – több ütemben (SCHEUER GY.–SCHWEITZER F. 1980). Ennek köszönhető, hogy a valamikor egyidőben kialakult Mátyás-, Szemlő-, József- és Ferenc-hegyi-barlangot ma már különböző magasságokban találjuk (8. ábra). A kiemelkedés során a hévízutánpótlás megszűnt, a pangó vízből kiváló és a mélyből feláramló gőzökből kicsapódó ásványi anyagok hozták létre a budai barlangok páratlan képződményeit: a borsóköveket, barlangi karfiolokat, kalcit-lemezeket, aragonit- és gipsztűket. A Budai-hegység barlangjai viszonylag fiatalok, így nem alakulhattak ki jelentős cseppkőképződmények.



8. ábra A Rózsadomb áttekintő mérnökgeológiai szelvénye (SZENTIRMAI L. et al. 1988). – 1 – negyedidőszaki lejtőüledékek; 2 – pleisztocén édesvízi mészkő; 3 – alsó-oligocén kiscelli agyag; 4 – alsó-oligocén tardi agyag; 5 – felsőeocén budai márga; 6 – felsőeocén bryozoos márga; 7 – felsőeocén mészkő; 8 – triász mészkő; 9 – ismert barlang; 10 – feltételezett barlang; 11 – fűréssal feltárt üreg; 12 – vető; 13 – feltételezett törések; 14 – talajvíz; 15 – víz elnyelődés vető mentén; 16 – karsztvízszint

A vázolt hévizes barlangképződés meggyőző bizonyítéka a Malom-tó mögötti Molnár János-barlang, amely – az eddig felsoroltakkal ellentétben – ma is aktív, járatai oldódással növekednek, falai csupaszak, benne kiválásokat nem találunk, s a benne keveredő hideg és meleg vizek táplálják a Malom-tavat és a Lukács-fürdőt.

A Rózsadomb és környéke nagyrészt budai márgával fedett, kisebb részben fedetlen triász és eocén mészkő. A márgával borított felszíneken a beszivárgás ugyan csak mintegy negyede a karsztokének, de a ferde márgarétegek mintegy „megvezetik” és koncentráltan zúdíjtják a karsztba a szennyezett vizeket.

A Rózsadomb területén a karsztba szivárgó természetes és antropogén eredetű vizek veszélyességének megítélése a barlangi csepegővizek vízkémiai és bakteriológiai analízise alapján lehetséges. Az átlagosan 50 m mélységű barlangjáratok „félúton” helyezkednek el a felszín és a karsztvízszint között, így alkalmas monitoring rendszerrel a felszínről bekerülő szennyezőanyagok kimutathatók, még mielőtt elérnék a védendő főkarsztvíz-tárolót.

A barlangok bemutatása

Az összekötő folyosó felfedezése óta a Pál-völgyi- és a Mátyás-hegyi-barlang ma már nem csak elméletben alkot közös rendszert. A barlangkutatók több évtizedes próbálkozása után a két fokozottan védett barlang közötti összeköttetést 2001-ben sikerült feltárni; ezzel a (Baradla után) második legnagyobb hazai barlangrendszer vált ismertté: a járatok össz-hosszúsága meghaladja a 16 km-t. Ennek – ill. kialakulási, fejlődéstörténeti hasonlóságai – ellenére, a két barlangot, felszínborítási és beszivárgási viszonyaik különbözősége miatt külön jellemzem. A Szemlő-hegyi-barlang ismert járatai kisebb kiterjedésűek, de kialakulásuk hasonló folyamatok eredménye, mint az előbbieké. Mai felszínük eltérő morfológiájú: a Pál-völgyi-barlang a Látó-hegy lankás hegyláb felszíne alatt húzódik; a Mátyás-hegyi-barlang járatainak többsége a meredek oldalú, rögzített kimagasló névadó hegy alatt, kisebb részük a Szép-völgy tektonikailag erősen összeteredezett zónájában található. A Szemlő-hegyi-barlang a Ferenc-hegy K-i, ÉK-i részén húzódó pihenő, ill. az innen induló gerinc alatt alakult ki (9. ábra).

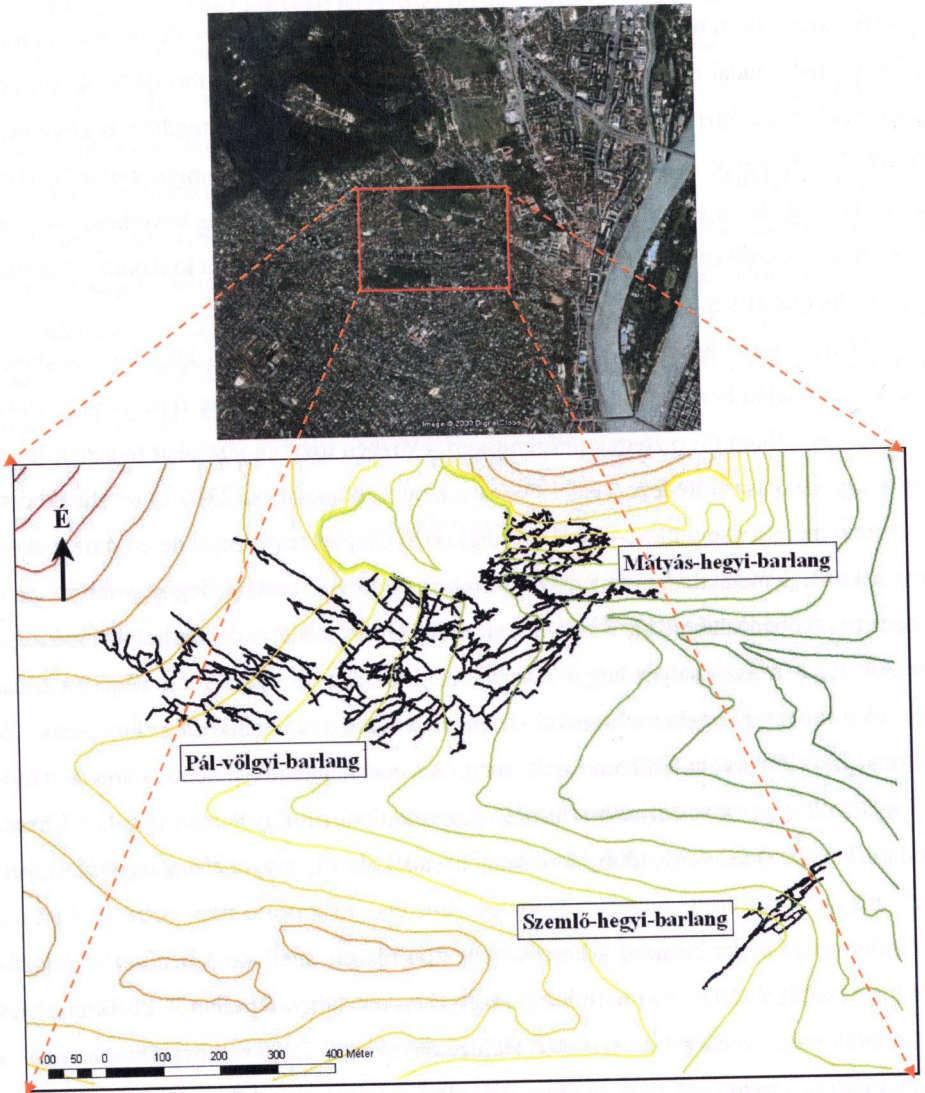
A *Pál-völgyi-barlangot* 1904-ben, kőfejtés során fedezték fel, a mérete mára meghaladja a 18 km-t. A nagy kiterjedésű üregrendszer változatos földtani, morfológiai és ásványtani értékeit a kutatóknak sikerült az eredeti állapotban megőrizniük.

A barlang kialakulásának kezdetét a középső-pleisztocénre teszik. Járatainak túl-nyomó része a 40 m össz-vastagságú eocén mészkőben alakult ki. A fő üregesedés felső szintjét a fedő budai márga határolja le, ebbe csak kisebb járatok, forráskürtők, ill. omladékszónák harapódnak fel. Az eocén mészkő mintegy 30 °-os rétegdőlését követve, a járatok D felé egyre mélyülő szintekben helyezkednek el. A barlangot kialakító vizek útvonalait a törésvonalak szolgáltatták. A járatok alaprajzában ma is követhető – 40 millió év hegység szerkezeti mozgásai: húzó-nyomó-nyíróerők hatására kialakult – összetett rendszerük (KRAUS S. 1982).

Mátyás-hegyi-barlang. A Mátyás-hegy Ny-i részén található külszíni fejtésben a XX. század elején bányamunka során találták meg a barlang néhány felső járatát. 1944-ben óvóhely céljára jövesztettek tárórendszert, eközben további járatokat fedeztek fel. A Centenáris-szakasz felfedezésével 1948-ra a járatok hosszúsága 2310 m-re növekedett. A barlang mérete napjainkra – több barlangkutató csoport tevékenysége eredményeként – az 5 km-t is meghaladja. A Pál-völgyihez hasonlóan e barlang legnagyobb része is eocén mészkőben alakult ki, felső járatai pedig elérik a márgát. Legmélyebb része, a Patakos-ág, a triász mátyás-hegyi mészkőben húzódik. A Tűzoltó-ág végén a triász mészkő az eocén rétegekre tektonikai sík mentén rátalálva jelenik meg. Járatainak irányítottságát a törésvonalak határozzák meg. Az eocén rétegek dőlését követve, DDK felé a járatok egyre alacsonyabb szinteken helyezkednek el. Egyes részein (pl. a Törmelék-labirintusban) keskeny, több 10 m mély hasadékok, ill. nagyobb omlászónák figyelhetők meg.

A *Szemlő-hegyi-barlang* a Ferenc-hegy K-i részén található pihenő szintjén művelt kis kőfejtőben 1933-ban nyílt meg, amelyről a térségben fellelhetők közül elsőként állapították meg a melegvizes eredetet. Hálózatos, ma már 2200 m hosszúságban ismert járatrendszere egymással párhuzamos, ÉK–DNY-i irányú két főhasadékból és kisebb mellékhasadékokból áll. Falait a felfedezéskor teljesen befedték a körözsák, karfiolok, borsókövek. Járatainak felső része képződmény nélküli, csupasz, több helyen omlások

láthatók. A nagyközönség számára a nyolcvanas évek végére kiépített részét a Pusztaszeri út felől kihajtott tárón keresztül lehet megközelíteni. A régi bejárat közelében liftaknát is építettek, amely azonban máig nem tölti be tervezett funkcióját. A barlangban – levegőjének gyógyító hatására alapozva – 1990 óta légzőszervi betegek kezelése folyik.



9. ábra. A vizsgált barlangok területi elhelyezkedése és alaprajza. *Forrás:* Google Earth

A vizsgálatok módszertana

Csepegőviz-mintavétel

Minden mérés alapja a mintavétel. Ennek szakszerűtlen tervezésével, kivitelezésével komoly hibákat vihetünk be a vizsgálati rendszerbe.

A barlangi mintavételi pontok meghatározása során számos szakmai és gyakorlati feltételt kellett figyelembe venni: reprezentálniuk kellett a vizsgált területet, lehetőleg a barlang teljes járatrendszerét. A telepítés során az idegenforgalmi, túra- és gyógybarlangok esetében korlátot szab az illető funkció: a látogatások zavartalanságát biztosítani, az ezzel járó zavaró és kockázati tényezők ellen pedig védekezni kell. Nyilvánvalóan értelmetlen pl. a rendszeresen használt járdák közepére csepegővizeket befogadó gyűjtőedényt telepíteni; problémát okozhat egyes ígéretes mintavevő helyek megközelítése, ami barlangjáró technikai ismeretek, felszerelések és készségek meglétét feltételezi stb. E nehézségek nem minden esetben küzdhetők le a mérőpontok műszaki kiépítésével: bizonyos kívánatos mintavételi pontokról eleve le kellett mondani, más esetekben nagy találmányosságot igényelt a mintavevő edények biztonságos elhelyezése és megközelítésük garantálása.

A kutatás sikerét meghatározó jelentős tényező a beszivárgás változó intenzitása és (általában) korlátozott mennyisége. Az elemezhető mennyiségű víz összegyűjtéséhez szükséges idő a csepegés intenzitásának függvényében tág határok között mozog: nagyobb csepegés-intenzitású pontokon egy-két óra, másutt azonban akár több nap is lehet. Ilyen körülmények között állandó vízcserélődési lehetőséget kell kialakítani fixen telepített mintavevő edényekben, annak érdekében, hogy bármelyik mintavétel alkalmával a lehetőségekhez képest legfrissebb vizet tudjuk kihozni. Magam ezt tölcser segítségével oldottam meg, amely a frissen beleszöppenő vizet az edény legaljába vezeti, azaz az edény száján távozó felesleg a minta legrégebbi részéből származik (FEHÉR K. 1995). Ily módon a víz pangásával együtt járó kémiai változások a minimumra csökkenthetők. A kihozott vízminták a tanszék laboratóriumában gyakorlatilag azonnal feldolgozásra kerültek.

Vizkémiai vizsgálati módszerek

Az elemzéseket az ivóvíz-vizsgálati szabványok előírásai szerint, mindig azonos módszerrel, párhuzamos mérések segítségével végeztem; műszertípus váltásakor a két (Radelkis OK113, ill. Mettler Toledo MX300 típusú) készüléket egymáshoz mértem.

A *fajlagos elektromos vezetőképesség* az oldat elektromos ellenállásának reciproka, aminek hőmérséklettel korrigált értékét $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ben adtam meg. A műszerek méréstartománya 0,01–199,9 mS/cm, mérési pontossága $\pm 0,5\%$ (MSZ 448–32:1977).

Az *összes keménységet* és a *kalciumion-koncentrációt komplexometriás titrálással* határoztam meg. Az előbbit 0,05 M etilén-diamin-tetraecetsav nátrium sójával, 10 pH-n Eriokróm-T indikátor jelenlétében, az utóbbit pedig 14 pH-n Murexid indikátorral végeztem. A két titrálás különbségéből számoltam ki a *magnézium-tartalmat*. A módszer alsó kimutatási határai: összes keménység 0,1 mgé/l, kalcium 2 mg/l, magnézium 1 mg/l (MSZ 448–3:1985).

A *lúgosságot* acidimetriás titrálással, 0,1 n sósav mérőoldattal, keverék-indikátor jelenlétében határoztam meg. A kapott *karbonát-keménységet* egyenértékben adtam meg (kimutatási határ 0,1 mgé/l), amiből kiszámoltam a *hidrogénkarbonát-tartalmat* mg/l-ben (kimutatási határ 6 mg/l) (MSZ 448–11:1986).

A *klorid-ion* mennyiség meghatározását argentometriás vizsgálati módszerrel végeztem (mérőoldat: 0,1 n ezüst-nitrát; indikátor: 1% kálium-kromát). A módszer alsó kimutatási határa 3 mg/l (MSZ 448–15:1982).

Az alábbi ionok koncentrációját *fotometriás módszerrel*, Secomam SF 0102 típusú fotométerrel (a mg/l-ben kifejezett koncentrációt standard oldatokkal meghatározott kalibrációs görbék segítségével számolva) mértem:

Ammónium-ion: Seignette-só, majd Nessler-reagens hozzáadása után 400 nm-en mértem a kialakult szín abszorbanciáját. Kimutatási határ: 0,1 mg/l (MSZ ISO 7150–1:1992).

Nitrát-ion: a minta nátrium-szalicilsavas bepárlása után cc. kénsavas oldással, majd a nátrium-hidroxiddal történő semlegesítéssel és lúgosítással kialakuló színintenzitás-változást 410 nm-en mértem. A kimutatási határ 0,5 mg/l (MSZ 448–12:1982).

Foszfát-ion: az aszkorbinsavas keverék-reagens hatására kialakuló színnyelési értéket 875 nm-en mértem (MSZ 448–18:1977).

Szulfát-ion: a bárium-kromát-oldattal reagáltatott mintán (a fölösleget kalcium-oxid ammóniás oldatával elroncsolva) 410 nm-en mértem az abszorbanciát (MSZ 448–13:1983).

A *kémiai oxigénigényt* (KOI_{ps}) kénsavas kálium-permanganátos roncsolással vizsgáltam. A visszamaradt oxidáló-anyagot oxálsavas visszatitrálással határoztam meg, következtetve az elhasználódott permanganát mennyiségére (MSZ 448–20:1990).

A *kálium- és a nátrium-ion*t lángfotometriás módszerrel mértem Spektromom Falom, ill. Zeiss Fapho4 típusú készüléken. A nátriumnak 589 nm-en 1 mg/l, a káliumnak 770 nm-en 0,1 mg/l az alsó kimutathatósági értéke (MSZ 1484–3:2006).

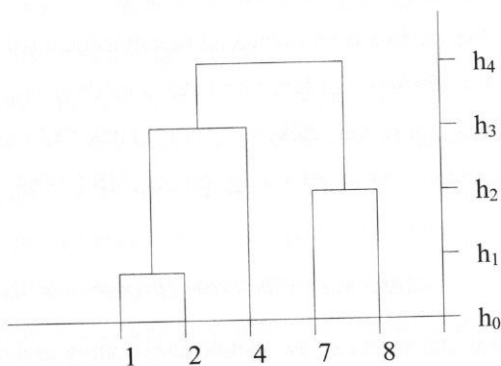
Statisztikai vizsgálatok (klaszter-analízis)

A matematikai statisztika és az adatelemzés fontos eszköze a bonyolult, nagyon sok változóval leírt rendszerek áttekintésének, így a mérési adatok tömegében rejlő összefüggések feltárásának, az adatok rendezésének, 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 I. et al. 1978). Az egzakt matematikai megközelítés érdekében ezt a vízszint- és vízkémiai idősorokra már nagy hatékonysággal használt (KOVÁCS, J. et al. 1997a, 1997b; KOVÁCS, J.–SZÉKELY, I. 1998) többváltozós adatelemző módszert alkalmaztam.

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.

Munkám során a klaszterezés módszerei közül az ún. hierarchikus osztályozást használtam, 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” fasztruktúrával történik.

Az elmondottakat egyszerű példával illusztrálom, ahol az egész számok objektumokat reprezentálnak. A h sorozat első eleme az izolált pontok halmaza, az utolsó pedig az összes objektumból álló halmaz. Az ilyen típusú fa-struktúrát *dendrogramnak* nevezzük (10. ábra).



10. ábra. Dendrogram

Térinformatikai alkalmazások

A térképi feldolgozáshoz 1:10 000-es méretarányú EOVS topográfiai (Kartográfia 1984) térképeket használtam fel. A térképlapok elektronikus feldolgozásához dobszennert használtam és a kapott raszteres állományokat ArcGis 9.2. térinformatikai software segítségével georeferáltam. A barlangtérképeket a KvVM Barlangtani Osztálya bocsátotta rendelkezésemre digitális formában. A Fővárosi Csatornázási Művek, ill. a Fővárosi Vízművek közműhálózati és kataszteri ingatlan-nyilvántartási térképeit AutoCAD dxf-állományokban kaptam meg. Felhasználtam továbbá archív térképeket: első katonai felmérés (1782–1785), második katonai felmérés (1806–1869) (MARI, L.–FEHÉR, K. 1999), Budapest régi térképei 1873–1950 (Arcanum, 2005). A rendelkezésemre álló térképek, adatbázisok feldolgozását az ArcView, ill. az ArcGIS program segítségével végeztem.

A vizsgálati eredmények elemzése és értékelése

Térbeli vízminőség-különbségek a 2008. évi mérések alapján

2008 márciusa és novembere között a Szemlő-hegyi-barlangban hat, a Pál-völgyi középső szakaszában (Decemberi- és Déli-szakasz) két, K-i járataiban egy, a Mátyás-hegyiben pedig három alkalommal vettem mintát a beszivárgó vizekből (FEHÉR K. et al. 2009).

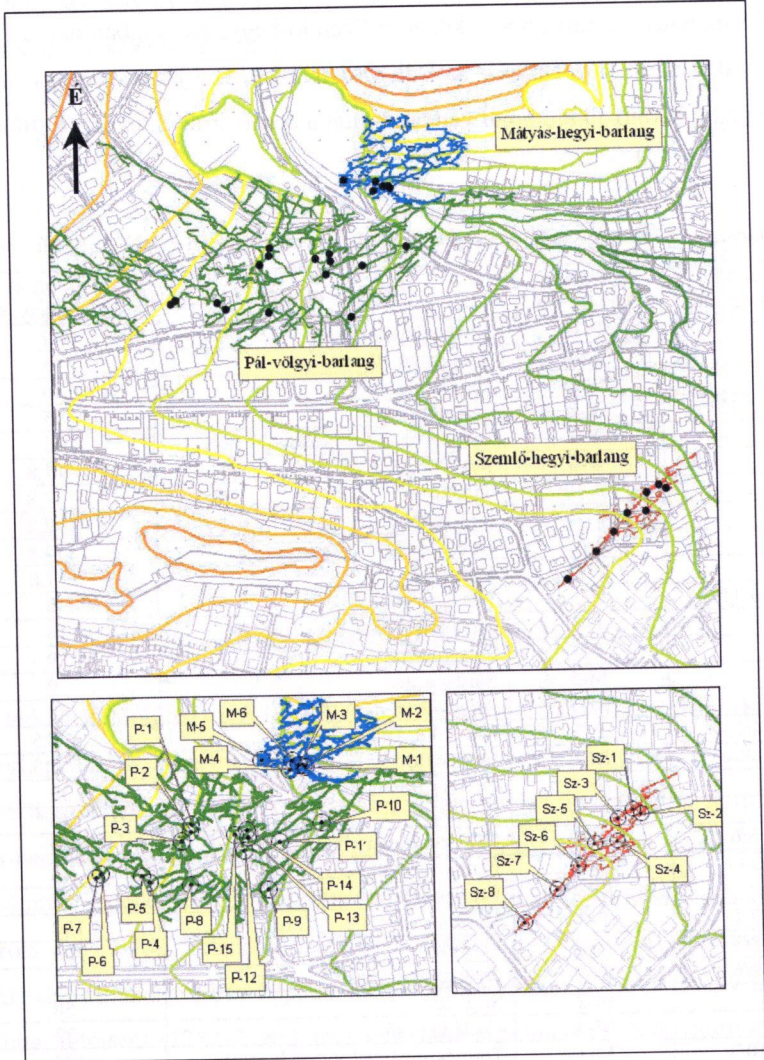
3. táblázat. A klaszter-analízissel kapott csoportok és mintavételi helyek (l. még 11. ábra)

Csoport/ mintaszám	Mérőpont térképi jele	Mérőpont neve	Csoporton belüli arány, %
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	Csipkerózsika-folyosó	46
	P-6	Kis-Dóm közepe	7,8
	P-10	Titanic	7,8
	P-11	102-es folyosó	7,8
	P-12	Haboskávé	7,8
	P-13	Kiskanyon	7,8
	3/11	P-1	Pentagon-terem
P-5		8-ezres-folyosó	18
P-9		2-es vágány	9
M-5		Sárdagasztó	9
Sz-3		Agyagos	55
4/13	P-7	Kis-Dóm, DNy	7,5
	P-14	Óriáskifli	7,5
	Sz-5	Örvény-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 klaszter-analízissel 11 csoportot különíttem el (KOVÁCS J. 2008) (3. táblázat)². Az analízishez nyolc ion koncentráció-értékeit (kalcium, magnézium, nátrium, kálium, hidrogén-karbonát, klorid, nitrát, szulfát) használtam fel. Minden

² A klaszter-analízishez KOVÁCS J. adjunktus úr nyújtott nagy segítséget.

csoport esetén valamennyi paraméterre meghatároztam az egyes csoportok mediánját és a későbbiek során a további adatelemzéshez, valamint a csoportok összehasonlításához ezt használtam fel.

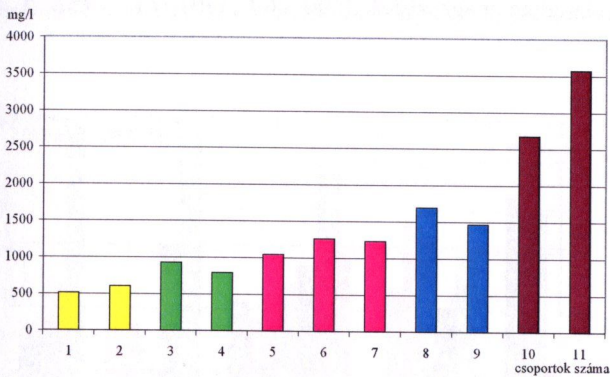


11. ábra. A mintavételi pontok területi elhelyezkedése (jelmagyarázatát l. a 3. táblázatban)

A csoportok jellemzését az ionkoncentrációk és egymáshoz viszonyított arányuk alapján végeztem. Felhasználtam a karsztvizek jellemzésére alkalmazott keménységi hányadost, ami az összes keménység (kalcium és magnézium) és a karbonát-keménység (hidrogén-karbonát) egyenértékeinek arányát mutatja. Az összes oldott ion mennyiségét

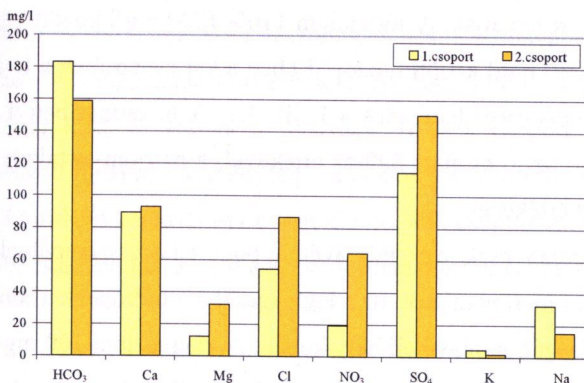
a sókoncentrációval adtam meg, amit a vizsgált komponensek mg/l-ben kifejezett értékeinek összegzésével képeztem.

A mérőhelyek csoportokba rendezésére általános jellemzőként a sókoncentrációt használtam, aminek növekedése a nagyobb sorszámú csoportok felé a 12. ábrán látható. A tendencia nem egyenletes. Különválasztottam és együtt vizsgáltam a hasonló értékeket mutató csoportokat (1–2; 3–4; 5–6–7; 8–9; 10–11.).



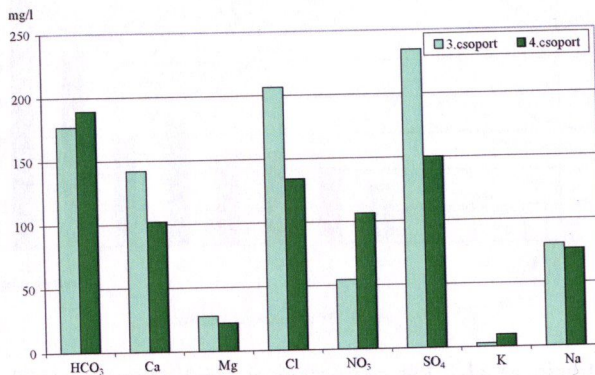
12. ábra. A sókoncentráció változása

A sókoncentráció az első két csoportban a legalacsonyabb (500, ill. 600 mg/l). Különbség köztük az ionok arányában van, ami az 1. csoportban a kálium és nátrium, míg a 2. csoportban a magnézium, klorid, nitrát és szulfát felé tolódik el. A keménységi hányados az 1. csoportban 1,8. A 2. csoport nagyobb értékét az alacsonyabb hidrogénkarbonát- és a magasabb magnézium-tartalom okozza (13. ábra).



13. ábra. A 1–2. csoport ionkoncentráció-viszonyai

A 3. csoportban 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 a magas kalcium-tartalom miatt 3,2. 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 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) (14. ábra). A keménységi hányados 2,2.



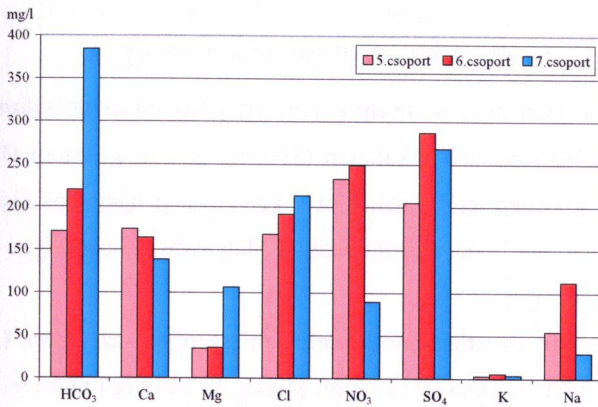
14. ábra. A 3–4. csoport ionkoncentráció-viszonyai

Az 5–11. csoport 1000 mg/l feletti sókoncentráció-értéke erőteljesebb szennyezettséget jelez. Az antropogén hatást az 5–6 csoportban a nitrát, a 8–11. csoportban a klorid nagy mennyisége mutatja.

Az 5–6. csoportot alkotó mintavételi pontok a Szemlő-hegyi-barlang legszennyezettebb pontjait reprezentálják. A sótartalom 1100–1200 mg/l között van, a klorid 170–190, a nitrát 230–250 mg/l között mozog. Ebben a két csoportban a legmagasabb a nitrát-tartalom. A keménységi hányados 4,1, ill. 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.

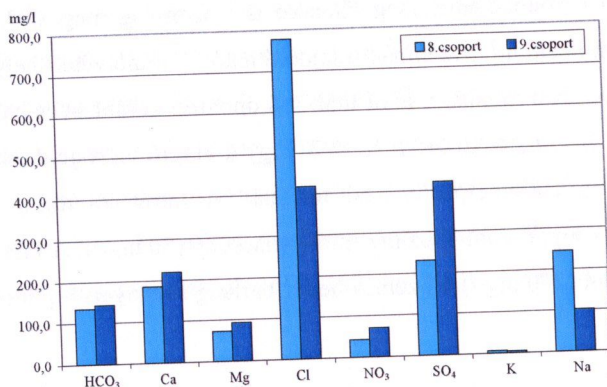
A 7. csoportban csak egy mintavételi pont adatai szerepelnek, a Pál-völgyi-barlang Hosé-terem mérőpontjáról. Itt a legmagasabb a hidrogénkarbonát-tartalom (380 mg/l) az összes vizsgált mintavételi hely között. A magnézium 100 mg/l feletti értéke a Mátyás-hegyi-barlang (9–10–11. csoport) mérőpontjaihoz hasonlít. A keménységi há-

nyados a jelentős karbonátkeménység ellenére is viszonylag magas: 2,5, ez az érték szintén a nagy magnézium-tartalomnak tulajdonítható. A mintavételi hely a Pál-völgyi-barlang D-i szakaszában található, ahol több mérőponton korábban is hasonló mennyiségeket mértünk (TAKÁCSNÉ BOLNER K. 2001) így a kiugró hidrogénkarbonát- és magnézium-értéket nem tekinthetjük mérési hibának. A nitrát 90 mg/l, a nátriumion-koncentráció az 1. csoport adataihoz hasonlóan alacsony (30 mg/l). A klorid- (200 mg/l) és a szulfát-tartalom (270 mg/l) a Szemlő-hegyi-barlang szennyezett pontjaihoz hasonló (15. ábra).



15. ábra. Az 5–7. csoport ionkoncentráció-viszonyai

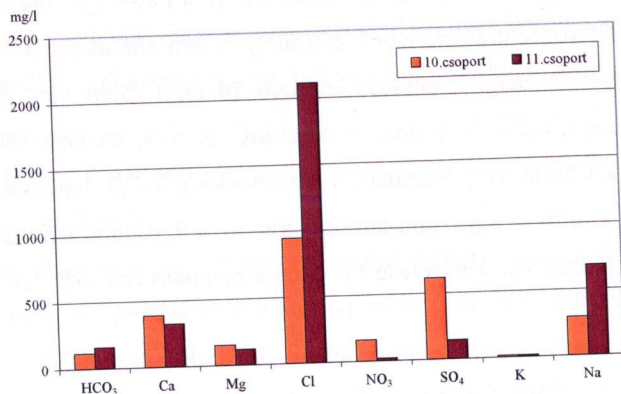
Az utolsó négy csoport (8–11.) a legszennyezettebb és a legmagasabb sókoncentrációjú: 1500–3600 mg/l. Ide tartoznak a Mátyás-hegyi-barlang mérőpontjai (a 3. csoportban szereplő Sárdagasztó kivételével), ill. a Pál-völgyi-barlang Gyöngyösfolyosója. A klorid koncentrációja egyik mérőhelyen sem alacsonyabb 400, a nátriumé pedig 100 mg/l-nél. A magnézium-koncentráció 70 mg/l fölött van, de a hidrogénkarbonát mennyisége kicsi és aránya is alacsony. A 8–9. csoport 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 viszont a szulfát-tartalom magasabb, csaknem kétszerese a 8. csoportban mért értéknek (16. ábra).



16. ábra. A 8–9. csoport ionkoncentráció-viszonyai

A 10. csoport 2400 mg/l só-tartalma több ion jelenlétének tulajdonítható. 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-tartalom közelít a 950 mg/l-hez, a nitrát pedig a Mátyás-hegyi-barlangon belül itt a legmagasabb: 160 mg/l.

A 11. csoportban egyetlen mintavételi pont szerepel: az Opera (Mátyás-hegyi-barlang), amelyen 3570 mg/l só-, 2112 mg/l klorid- és 680 mg/l nátrium-tartalmat mérünk. Ilyen hatalmas mértékű szennyezést még nem tapasztaltam barlangi beszivárgó vízben, de nem találtam hasonló koncentrációt leíró irodalmi adatot sem. A nitrát (19 mg/l) és a szulfát (143 mg/l) értéke viszonylag alacsony. A keménységi hányados 10 (17. ábra).

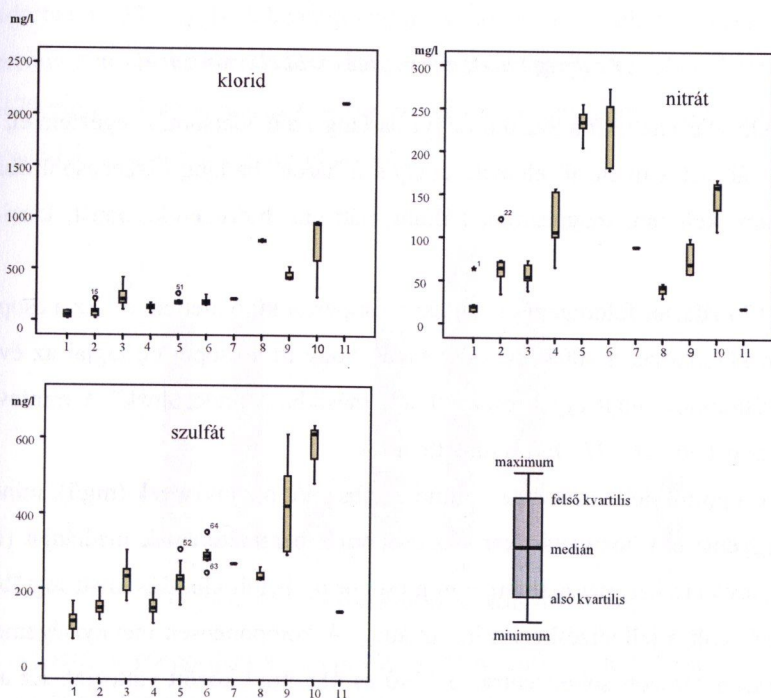


17. ábra. A 10–11. csoport ionkoncentráció-viszonyai

A magas klorid- és nátrium-mennyiség többnyire a csúszásmentesítéshez általánosan használt útszóró só beszivárgására utal. A 8–11. csoportban tapasztalható klorid- és nátrium-ion egyenértékben kifejezett mennyiségeit vizsgálva a 8., a 10. és a 11. csoportban 2:1, a 9. csoportnál viszont 3:1 arányt tapasztalunk. Ezek az arányszámok azt mutatják, hogy a csepegővizekben észlelt klorid forrása más is lehet (pl. a magánuszodák vízének fertőtlenítésére használt hipokloritok).

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

A 8–11. csoportban a klorid okoz nagymértékű szennyezést (18. ábra). A mért koncentrációk a vízminőségi követelményrendszer (210/2001. Korm. rendelet) karszt-szennyezést jelző határértékét (100 mg/l) többszörösen meghaladják. A legmagasabb



18. 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, ill. felfelé)

érték (2112 mg/l) az Operánál tapasztalható. A nitrát-tartalom az 1., a 8. és a 11. csoport kivételével mindenhol túllépi a 50 mg/l-es határértéket. A legnagyobb szennyezés a Szemlő-hegyi-barlang három mérőpontján észlelhető (az 5–6. csoportban). A szulfát-tartalomra a felszín alatti vizekre vonatkozó 10/2000. Korm. rendelet a megengedhető háttér-koncentrációt 200 mg/l-ben, a szennyezettségi határértéket pedig 250 mg/l értékben határozta meg. Az utóbbit a 6., a 9., és a 10. csoport értékei lépik túl.

A 3–4. csoport közepesen szennyezett mérőpontjai 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 csoport a legtisztább, a külső szennyezéstől legkevésbé befolyásolt mérőpont, bár a 2. csoport nitrát-tartalma meghaladja a 60 mg/l-t.

A csepegővíz-szennyeződés időbeli változásai

A klaszter-analízist a Szemlő-hegyi-barlang azon adatsorain végeztem el, amelyek tartalmazzák azt a nyolc fő elemet, amelyet a három barlang összehasonlításánál már használtam: kalcium, magnézium, kálium, nátrium, hidrogén-karbonát, klorid, nitrát, szulfát.

A 170 adatsor feldolgozása alapján 5 csoportot különítettem el. Ez a csoportosítás annyiban különbözik a 2008. évi adatokétól, hogy itt a csoportok tagjai az évek során történt változások miatt egyik csoportból a másikba „vándorolnak”. A mintavételi helyek elhelyezkedését a 11. ábrán tüntettem fel.

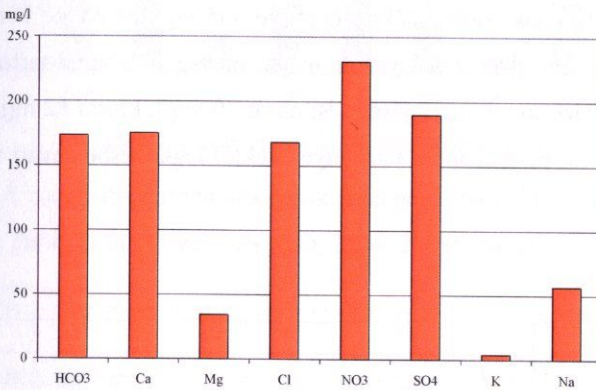
A csoportok jellemzéséhez – mind az abszolút mennyiségek (mg/l), mind az ionarány (egyenérték) bemutatásakor – a csoportok paramétereinek mediánját (a halmaz közepén lévő értéket) használtam, ami a csoporton belüli eloszlás miatt legtöbbször alkalmasabb volt a jellemzéshez, mint az átlag. A komponensek mennyiségeinek összegként meghatározott sókoncentráció 1140 és 485 mg/l között változott. Ez az érték a vezetékes víz értékének a 2–3-szorosa, a csapadékvízének a 60–80-szorosa (CSAPÁK A.–FEHÉR K. 2008). A keménységi hányados (összes keménység/karbonát-keménység) 2,0 és 4,1 között mozog. Az Aggteleki-karszt karsztvizeiben ez az érték 1,0–1,2

(MAUCHA L. 1987). A Szemlő-hegyi-barlang magas értékeit az alacsony hidrogénkarbonát- és a magas magnéziumion-koncentráció magyarázza (4. táblázat).

4. táblázat. A csoportokon belüli adatsorok száma, sókoncentrációjuk, keménységei hányadosaik

Csoportszám	Adatsor, db	Sókoncentráció, mg/l	Keménységi hányados
1.	42	1035	4,1
2.	20	1140	3,0
3.	52	485	2,0
4.	10	936	3,6
5.	46	781	2,1

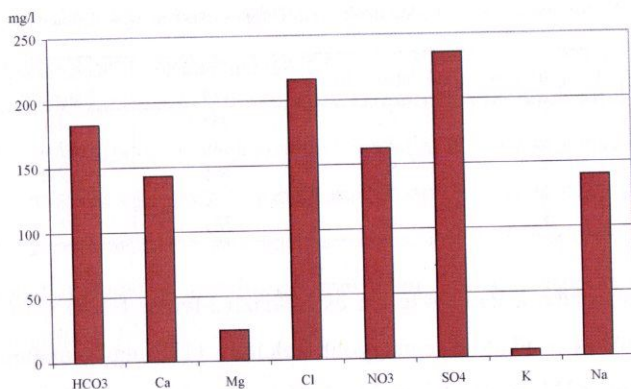
Az 1. csoportba a Pettyes-terem és Földszíve-terem feletti mérőpont tartozik. A csoportok közül itt található a legnagyobb kalcium- (175 mg/l), magnézium- (34 mg/l) és nitrát-tartalom (231 mg/l). A keménységi hányados magas értékében (4,1) az arányában alacsony hidrogénkarbonát-mennyiség is megmutatkozik. A szulfát (194 mg/l) és a klorid (170 mg/l) értéke is magas (19. ábra). Az utóbbi ion nincs arányban a nátriummal, egyenértékük aránya 2:1 a klorid javára.



19. ábra. Az 1. csoport ionkoncentráció-viszonyai

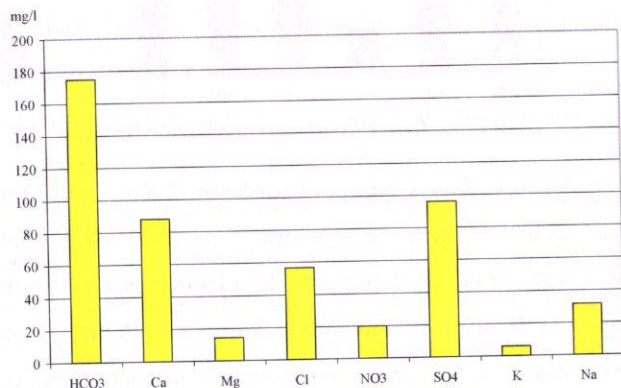
2. csoport. A csoportban a Ferencvárosi-terem 2005., 2007–2008., ill. az Agyagos-folyosó 2007–2008. évi adatai szerepelnek. A nitrát-tartalom mind mennyiségében, mind arányában kisebb az előző csoportnál. Itt a legmagasabb a szulfát- (236 mg/l), és mellette a nátrium- (140 mg/l), valamint a klorid-ionok (216 mg/l) koncentrációja, amelyek egyenérték-aránya 1:1 (20. ábra). A hidrogén-karbonát aránya hasonló az 1. cso-

portéhoz, de az alacsonyabb kalcium- és magnéziummennyiség miatt a keménységi hányados 3,0.



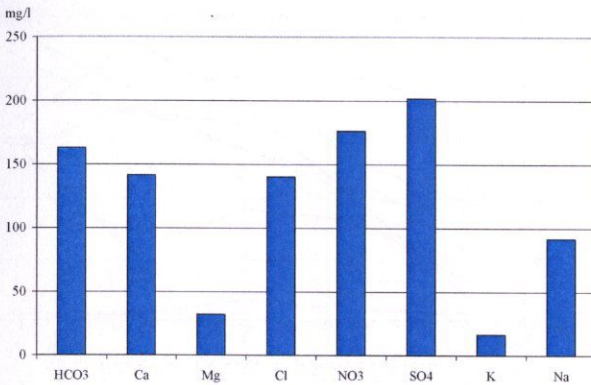
20. ábra. A 2. csoport ionkoncentráció-viszonyai

3. csoport. Az Akna utáni mérőpont, a Halál-szakasz 1994-2008, ill. az Agyagos-folyosó 1994-2000 közötti adatai kerültek ide. Ebben a csoportban található a legalacsonyabb iontartalmak, amit a sókoncentráció 485 mg/l-es értéke is mutat. A keménységi hányados 2,0 értékét az arányaiban magas hidrogénkarbonát-tartalom okozza. Kicsi a szennyezést jelző ionok mennyisége is: nitrát 20 mg/l, klorid 62 mg/l, de a nátrium és a szulfát is kevés. Ez a csoport a szennyezésektől legkevésbé zavart mintákból tevődik össze (21. ábra).



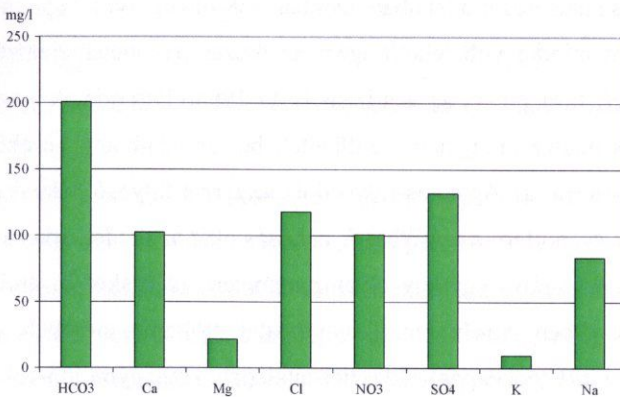
21. ábra. A 3. csoport ionkoncentráció-viszonyai

4. csoport. Az Óriás-folyosó 1994–2000 közötti adatainak külön csoportban való szerepeltetése azért indokolt, mert a későbbi évek adataiban a szennyező ionok csökkenést, a keménységi értékek növekedést mutatnak. A keménységi hányados 3,1; mivel az összes keménység magas értékeivel szembeállíthatók a hidrogén-karbonát alacsony értékei. A sótartalom megközelíti az 1. és a 2. csoport magas értékeit. Nagy mennyiségű a klorid, a nitrát, a szulfát és a nátrium, de arányaikban eltérnek az első két csoporttól: a klorid az 1., a szulfát a 2. csoportéhoz hasonlít jobban, míg a nitrát a kettő között helyezkedik el. A klorid és a nátrium aránya 1:1. Ebben a csoportban a legmagasabb a kálium értéke: 16,6 mg/l (22. ábra).



22. ábra. A 4. csoport ionkoncentráció-viszonyai

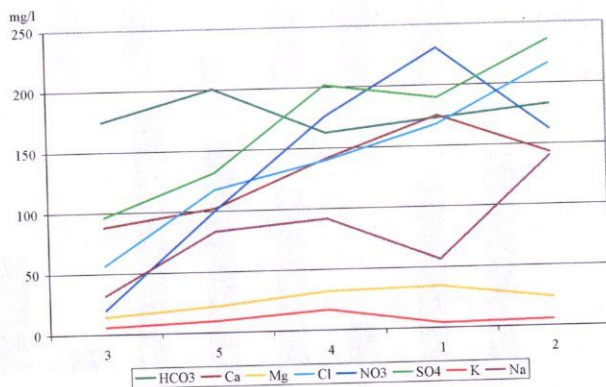
5. csoport. A csoportba tartozó adatsorok: Ferencvárosi-terem, 1994–2000, 2006; Agyagos-folyosó, 2000, 2006; Örvény-folyosó, 1994–2008; Óriás-folyosó, 2005–2008.



23. ábra. Az 5. csoport ionkoncentráció-viszonyai

A hidrogén-karbonát mennyisége ebben a csoportban a legmagasabb: 201 mg/l. A keménységi hányados 2,1 értékét is – a 3. csoporthoz hasonlóan – ez indokolja. A szennyezést detektáló paraméterek is magasabb értékűek: a klorid 119 mg/l, a nitrát 100 mg/l, a szulfát- (135 mg/l) és a nátriumtartalom (85 mg/l) is magasabb (23. ábra).

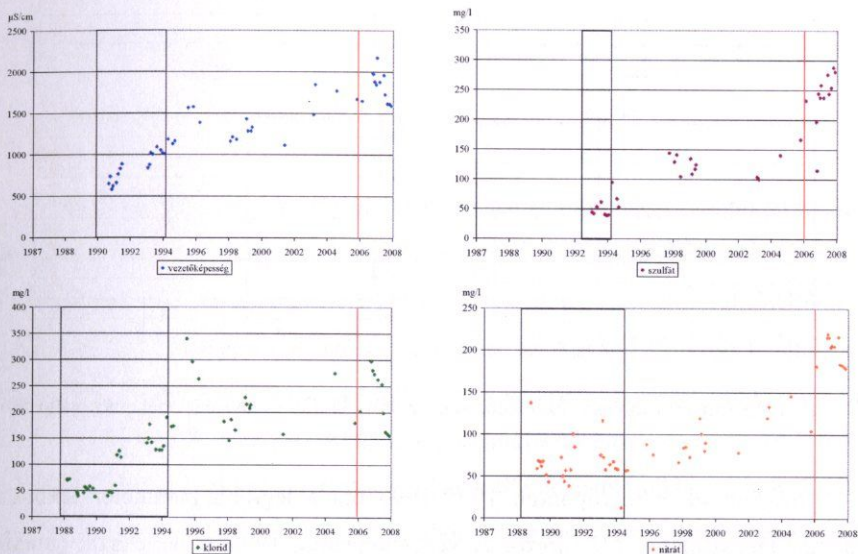
A külső hatás – szennyezés – megjelenése, ill. mennyiségének növekedése az egyes csoportok között az alábbi sorrendet alakítja ki: 3 – 5 – 4 – 1 – 2. Az 1–2. csoport között nehéz súlyozni: sókoncentrációjuk hasonló, bár az első csoportban a nitrát, a másodikban a klorid, a szulfát és a nátrium aránya és mennyisége nagyobb.



24. ábra. A csoportok ionkoncentrációinak különbségei

A klaszter-analízis elvégzéséhez csak hiánytalan adatsorok használhatók. Az 1987 óta folyó vizsgálat sorozat adataiban azonban sok olyan „lyuk” van, ahol nem volt mérés; mert nem mindig volt lehetőségem az összes paraméter elemzésére, így néhány adatsort ki kellett hagynom az analízisből. Az 1994 előtti adatok a szulfát-, kálium- és nátriummérés hiánya miatt nem kerülhettek be, de adathiány később is előfordult. A Ferencvárosi-terem, az Agyagos-folyosó és az Óriás-folyosó mérési sorozatai „vándorolnak” egyik csoportból a másikba. A változás okát az eredeti adatsor felhasználásával kerestem, megvizsgálva egy-egy olyan paramétert, időszakot is, ami nem szerepel az eddigi elemzésekben. Az ábrákon piros vonallal jelöltem a mérőhely adatainak belüli csoport-váltást, szürke téglalappal a klaszter-analízisből kihagyott időszakot.

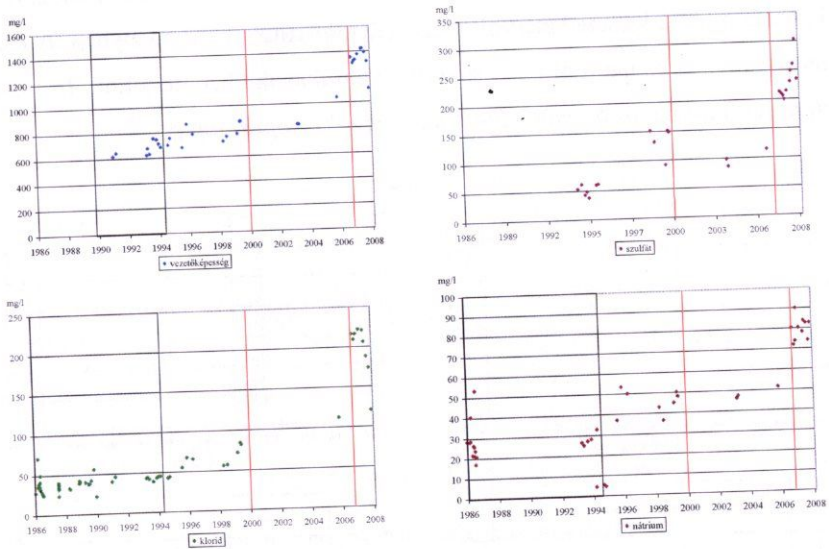
Ferencvárosi-terem: a mérőpont vízminősége 1988 óta folyamatosan romlik. A vezetőképesség értéke, amely az összes oldott sótartalom mennyiségét mutatja, folyamatosan emelkedik. A szulfáttartalom is követi ezt a tendenciát. A klorid mennyisége 1988–1991 között alacsony – 50 mg/l – érték körül mozgott, azóta koncentrációja (egyre nagyobb szórással) növekszik. A nitrát mennyisége 2002 után emelkedett tartósan 100 mg/l fölé, majd a további időszakban tovább növekedett. A nátrium értéke 50 és 200 mg/l között mozgott, 2000 óta 150 mg/l körül változik. A foszfát mérése 1994 óta folyik, azóta mindig kimutatható volt a 0,5–1,0 mg/l közötti tartományban. A 25. ábrán a piros vonal az 5. csoportból a 2. csoportba való átmenet határát jelöli. Az 1994–2005 közötti időszak adatai az 5., míg a 2006 utániak a 2. csoport tagjai.



25. ábra. A Ferencvárosi-szakasz vezetőképesség, szulfát-, klorid- és nitrát-értékeinek változásai

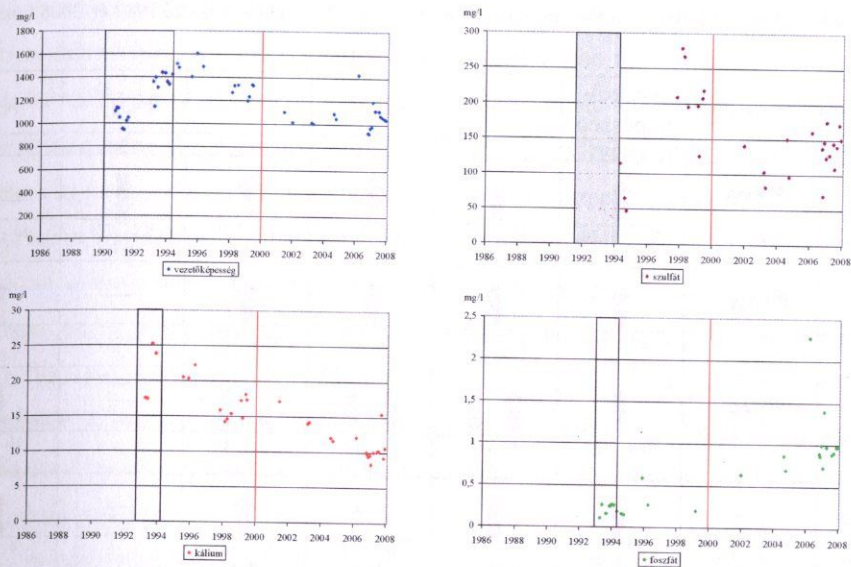
Agyagos-folyosó: a mintavételi pont értékei három csoportba kerültek, időben folyamatosan növekedve a 3., 5. és 2. csoportba, amelyek között a határ a 2000., ill. a 2007. év. A két időpont között kevés adat van, de ezt ellensúlyozza, hogy az értékek növekedése már az előtte lévő időszakban megindult. A vezetőképesség értéke 1987 és 2008 között több mint kétszeresére, 600-ról 1400 µS/cm-re emelkedett. A szulfát a 90-es években 50 mg/l körüli értékű, majd az évtized végére már 100–150 mg/l. 2007 után

folyamatosan 200 mg/l fölé emelkedett, és elhagyta a 300 mg/l értéket is. A kloridion-tartalom 1995-ig – egy-két eset kivételével – 50 mg/l alatt volt, majd 50 és 100 mg/l között lassan emelkedett. 2007-ben már 200 mg/l fölé nőtt, s 2008-ban pedig lassú csökkenés volt tapasztalható. A nátrium értéke 1986–2006 között 4,5–53 mg/l között mozgott, lassú növekedése jól nyomon követhető: koncentrációja 2007–2008-ban már 71–83 mg/l közé emelkedett (26. ábra).



26. ábra. Az Agyagos-folyosó vezetőképesség, szulfát-, klorid- és nátrium-értékeinek változásai

Óriás-folyosó: e mérőponton 1995–1996 óta a legtöbb paraméter tekintetében csökkenés tapasztalható (27. ábra). A vezetőképesség 1996-ig növekszik (maximum 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), majd csökken egészen 2002-ig, amikortól már nem mutat erőteljes változást; 900 és 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között mozog. A legmagasabb szulfát-értékek 1998 és 2000 között mutatkoztak. A klorid és a nitrát mennyisége együtt mozog, utóbbinak 2006 óta enyhe emelkedése tapasztalható. Maximum-értékeiket 1995–1996-ban veszik fel. A káliummennyiség folyamatosan csökken. A foszfáttartalom folyamatos emelkedése – a többi paraméter csökkenésével párhuzamosan – másfajta szennyező forrást feltételez.



27. ábra Az Óriás-folyosó vezetőképesség, szulfát, kálium és foszfát értékeinek változásai

Az 1987 és 2008 közötti időszak adatai az egyes mintavételi pontokon eltérő változásokat mutatnak (5. táblázat). A hidrogén-karbonát (lúgosság) értékei, amelyeket a talaj mikrobiális folyamatai nagymértékben befolyásolnak, évszakos változást mutatnak a vegetációs időszak függvényében. Ez alól csak az Agyagos-folyosó kivétel, ahol a külső szennyezés elfedi a természetes folyamatok hatását. Az összes oldott só tartalmát mutató vezetőképesség értéke az Akna után, a Halál-szakasznál és az Óriás-folyosónál lévő mérőhelyek kivételével mindenhol – bár különböző mértékben – növekszik. Az Akna utáni mintavevő hely az egyetlen, ahol folyamatos csökkenés tapasztalható. A Halál-szakaszon 1990 és 1995 között 500-ról 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fölé emelkedett a vezetőképesség, azóta 750–850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között mozog. Az Óriás-folyosóban ugyanebben az időszakban 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ig emelkedett, majd 2008-ra visszasüllyedt a 900–1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -es tartományba.

5. táblázat. A Szemlő-hegyi-barlang mérőhelyei egyes paramétereinek változásai 1987 és 2008 között

	Lúgosság	Vezető- képesség	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Na ⁺
	mgé/l	µS/cm	mg/l				
FTC							
Min – max	2,0 – 5,0	580 – 2170	38 – 340	12 – 220	39 – 288	0,2 – 2,0	55 – 200
Medián	3,4	1246	150	79	127	0,7	144
Pettyes						—	
Min – max	1,3 – 3,7	1020 – 2100	36 – 282	79 – 274	66 – 351		34 – 201
Medián	2,6	1497	115	201	212		98
Akna						—	
Min – max	1,3 – 4,2	489 – 803	4 – 142	6 – 101	34 – 119		16 – 70
Medián	2,6	608	26	21	82		28
Agyagos						—	
Min – max	1,5 – 4,6	617 – 1425	22 – 222	6 – 119	38 – 303		4 – 90
Medián	2,8	809	42	61	131		40
Örvény							
Min – max	1,4 – 4,0	711 – 1370	29 – 209	46 – 382	35 – 239	0,2 – 3,1	28 – 148
Medián	2,9	856	78	115	125	2,3	85
Óriás							
Min – max	1,6 – 4,1	923 – 1605	68 – 259	73 – 278	38 – 278	0,1 – 2,3	54 – 208
Medián	2,8	1132	140	154	128	0,7	80
Halál						—	
Min – max	1,2 – 3,2	549 – 837	9 – 144	2 – 72	33 – 167		8 – 39
Medián	2,2	765	57	21	103		26
Földszíve						—	
Min – max	1,2 – 4,8	815 – 1545	36 – 193	33 – 256	34 – 230		14 – 70
Medián	2,5	1134	80	183	158		41



évszakos periodicitás



növekvő érték



csökkenő érték



stagnáló érték



növekvő, majd csökkenő értékek



kimutathatósági határ alatt

A szennyezést detektáló ionok (klorid, nitrát, szulfát, nátrium) koncentrációja a Pettyes-folyosóban és a Földszíve-teremben folyamatosan növekszik. A Ferencvárosi-teremben a nátrium-tartalomban – az adatok szórása miatt – nem lehet egyértelmű tendenciát kimutatni. Az Agyagos-folyosóban a nitrát, az Örvény-folyosóban a nitrát és a nátrium ugyanígy viselkedik, a többi ion mennyisége viszont egyértelműen nő. A Halál-szakaszban a szulfát és a nátrium növekszik, de mennyiségük kicsi. A nitrát-tartalom a nyolcvanas évek végén tapasztalt kiugró értékek kivételével alacsony, 20 mg/l körüli szinten mozog. A klorid értéke 1989-ig növekedett, majd csökkent, de értéke nem érte el az 1987-es minimum-szintet (20 mg/l). Az Óriás-folyosón csak a szulfát mennyisége növekszik. A nátrium minimum és maximum értékei között nagy a különbség, de csökkenés mutatható ki. A klorid és a nitrát mennyisége a kilencvenes évek közepéig növekszik, majd csökken.

A szennyező ionok közül a foszfát csak három mérőhelyen jelenik meg. A Ferencvárosi-teremben és az Örvény-folyosóban csökken, az Óriás-folyosóban koncentrációja növekszik.

A beszivárgó víz kémiai jellemzése

Keményégi formák. A felszínre hulló csapadék a talajon átszivárogva biogén széndioxidot vesz fel, amelynek mennyiségét a növényzet összetétele, mennyisége, minősége, ill. a talaj mikrobiális aktivitása határozza meg. A szénsavas víz oldja a karbonátos kőzeteket; itt a márgán átszivárogva Ca- és Mg-hidrogén-karbonáttal telítődik. A két ion (amelyek együttes mennyisége adja az összes keménységet) aránya itt más, mint a mészkövön áthaladó karsztvízben, ahol a magnézium hiányzik. A keménységi hányados (az összes keménység és a karbonátkeménység viszonya) a különböző karszterületeken általában 1,0–1,2. Változását mindig más eredetű és kémiai összetételű víz keveredése okozza (IZÁPY G. in MAUCHA L. 1987). A vizsgált három barlangban az érték 1,8–16,8 között mozog, a szennyezettebb pontokon jóval magasabb, itt a karbonátkeménységet adó hidrogén-karbonátot más anionok szorítják ki. A hidrogénkarbonát-tartalomban tapasztalható periodicitás a talajélet évszakos változását mutatja. A Szemlő-hegyi-barlang több éves vizsgálatsorozatában ez a hatás jól megfi-

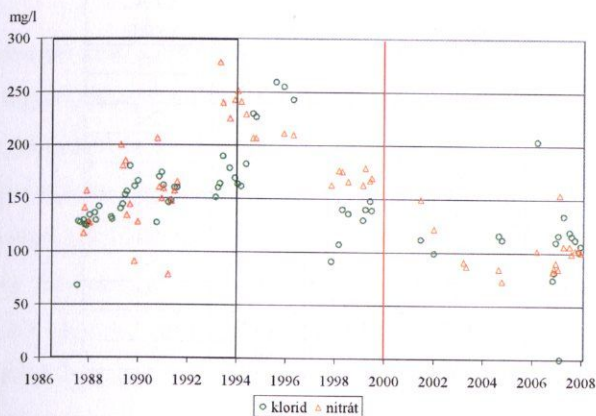
gyelhető: márciusban tapasztalhatók a minimum-, szeptemberben pedig a maximum-értékek. Az Agyagos-folyosó mérőpontján viszont szezonális periodicitás nem tapasztalható: azt a külső szennyezés elnyomja. A Pál-völgyi- és a Mátyás-hegyi-barlang esetében nem áll rendelkezésre elegendő adat az évszakos változások kimutatására.

Vezetőképesség. A fajlagos vezetőképesség a vízben oldott sók összkoncentrációját tükrözi. Értéke tág határok között mozog. Változásai nem követik a hidrogén-karbonátét, ahogy a karsztvizeknél történik, értékeit erősebben befolyásolják más (pl. szennyvízből származó) ionok. A Pál-völgyi- és a Szemlő-hegyi-barlangban 500 és 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, míg a Mátyás-hegyi-barlangban 1200 és 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ közötti vezetőképesség-értékeket mértem. Az egyes barlangokon belül a különböző mérőpontok között is jelentősek a különbségek, ami ugyancsak a beszivárgó vizek különböző eredetét jelzi. A Szemlő-hegyi-barlang Akna utáni mérőhelyén csökken az értéke, az Óriás-folyosónál 1991 és 1996 között emelkedett, azóta folyamatosan csökken, a barlang többi mérőpontján pedig folyamatosan emelkedik. Ezek a folyamatok jobbra a külső szennyezést jelzik, az eltérő közettani viszonyokat kevésbé (SÁRVÁRY I.–MAUCHA L.–IZÁPY G. 1992).

Kloridion-tartalom. A kloridion-tartalom mindhárom barlangban tág határok között mozog, a mérőpontok között nagyok a különbségek. A Pál-völgyi-barlangban 22–420, a Szemlő-hegyiben 4–360 mg/l; a legmagasabb koncentrációkat (106–2127 mg/l között) a Mátyás-hegyi-barlangban mértem. A klorid-ion a vízzel együtt mozog, nem adszorbeálódik az ásványok felületén, nem vesz részt jellemzően redox folyamatokban, nem alkot fontos komplexeket más ionokkal és biokémiai szerepe csekély. Ez a konzervatív viselkedés azonban nem tapasztalható ott, ahol a mozgás tömör agyag- vagy agyagpala-réteget keresztez. Sok más fontos, vízben oldódó ionhoz képest nagy méretű, ezért feltételezhető, hogy az agyag és a pala pórusvizeiben visszamarad, míg a vízmolekulák áthatolnak ezeken a rétegeken (HEM J. 1985). *Az ilyen rétegek szelektív permeabilitása helyi koncentráció-növekedést eredményezhet kationok esetében is.*

Ez a folyamat a fedő márga agyagosabb, „palásabb” részein is jellemző lehet, ami okozhatja pl. az Óriás-folyosónál a nitrát és a klorid változásának időbeli eltolódását (28. ábra). Mindkét ion mennyisége (kb. 120 mg/l értékről) 1987 óta folyamatosan

emelkedett. A nitrát azonban 1994-ben, míg a klorid csak 1996-ban érte el maximumát 250 mg/l-t (azóta koncentrációjuk csökken).



28. ábra. Az Óriás-folyosó klorid és nitrát értékeinek változása

A klorid-ionok egy része természetes eredetű is lehet, de ennek arányát nehéz kimutatni, részben azért, mert a márga geokémiai összetétele – így a belőle kioldódó anyag mennyisége is – pontról pontra változhat, másrészt nem áll rendelkezésre olyan mérési adat, amely a természetes beszivárgási viszonyokat reprezentálná. SÁRVÁRY I.–MAUCHA L.–IZÁPY G. 1992-es megfigyelése, hogy a magasabb klorid-tartalommal együtt a szulfát-, a nátrium- és a kalciumtartalom is megemelkedik. Megállapításuk méréseim szerint nem általánosítható. A beszámolóban felvetik annak lehetőségét, hogy a nátrium-kloridos víz oldóképessége jobb, mint a beszivárgó vizeké. Ennek lehetőségét nem tudom kizárni, bár méréseim alapján a nátrium- és a klorid-egyenérték jelentősen eltér a NaCl-oldatétól. A klorid általában nagyobb részarányt képvisel, ami azt jelzi, hogy nemcsak az útsózáshoz használt NaCl-dal kerülhet be a rendszerbe. Ezt a feltételezést támasztja alá az a tény is, hogy a téli, tél végi méréseknél nem tapasztalható kiugró érték. A csepegővizekbe (pl. a csatornarendszer hibái miatt) kerülő kommunális szennyvíz szintén növelheti a kloridion-tartalmat. További klórforrások lehetnek a háztartásokban, továbbá a kerti fürdőmedencékben – valószínűleg a szükségesnél jóval nagyobb mennyiségben – használt fertőtlenítőszeres (hipokloritok), és ez a klór is beke-
rülhet a barlangban befogott vizekbe (6. táblázat).

6. táblázat. A Na- és a Cl-ionok mennyisége és arányai az egyes csoportokban

Csoport sorszáma	Na	Cl	Cl:Na arány
	mgé/l		
1.	1,4	1,5	1:1
2.	0,7	2,4	4:1
3.	3,5	5,8	2:1
4.	3,3	3,8	1:1
5.	2,4	4,7	2:1
6.	4,9	5,4	1:1
7.	1,3	6,0	5:1
8.	10,6	21,9	2:1
9.	4,4	11,8	3:1
10.	12,7	26,6	2:1
11.	29,6	59,6	2:1

A Szemlő-hegyi-barlang öt pontján az ion koncentrációja 1987 óta folyamatosan emelkedik, három másik mérőhelyen hosszabb-rövidebb időtartamú növekedés után csökken, ami a külső szennyezés állandó jelenlétét és változásait jelzi.

Szulfáttartalom. A márgaréteg a rajta átszivárgó víz kémiai összetételében más változást is okoz; a vizek szulfáttartalmának egy része is ezzel magyarázható. PAPP F. (1942) a szulfát előfordulását a kőzetben előforduló piritből, gipszből képződő szulfidok oxidációjával magyarázza. Ha a szulfidércék szénsavas vízzel érintkeznek, a kén oxidálódik, szulfát-ionná alakul, s oldatba megy. Piritkristályok sok üledékes kőzetben előfordulnak, és a talajvíz vas- és szulfát-tartalmának forrásai. A pirit különösen gyakran kapcsolódik biogén üledékekhez (HEM J. 1985). A márgában talált nagyobb mennyiségű limonit a piritből képződött ferroszulfát további oxidációja során keletkezett. A mellette képződött kénsav a könnyebben bomló szilikátokat részben átalakította, ill. a kalcium-karbonáttal gipszet alkotott (SZTRÓKAY K. 1932).

ALFÖLDI L. (1968) a budapesti források kémiai jellegének ismertetésekor egyes források magas szulfáttartalmát a magnézium (keserűs), a nátrium (glaubersó), ill. a kálium és az agyagásványok közötti többlépcsős cserebomlással magyarázza. A kémiai jellegkülönbséget a kőzet minőségére, az áramlás sebességére és időtartamára vezeti vissza.

A szerves szulfidok a talajban lejátszódó természetes folyamatok során szintén átmehetnek oxidáción (HEM J. 1985), de a szulfáttartalom szerves hulladékból is származhat.

A legmagasabb szulfát-értékek (135–640 mg/l) a Mátyás-hegyi-barlangban mérhetők. A Pál-völgyi-barlangban 120, ill. 300, a Szemlő-hegyiben pedig 30, ill. 350 mg/l az általánosan mért minimum és maximum.

A Szemlő-hegyi-barlangban 1993 óta mindegyik mérőponton emelkedett a szulfáttartalom (40 mg/l körüli értékről), mára egyes helyeken a 300 mg/l koncentrációt is meghaladja. Két mérőponton 1998 óta különböző mértékű csökkenés tapasztalható (Akna 120-ról 80 mg/l-re, Óriás 250-ről 150 mg/l-re). Ezek a változások a szulfát antropogén eredetét igazolják (pl. szervesanyag-bomlás), a vízvezető járatok különbözősége vagy a beszivárgás intenzitása miatti változásra csak a csapadékméréssel párhuzamos beszivárgás-mérések adhatnának magyarázatot.

Nitrogénformák. A nitrogénciklus különböző oxidációs fokú vegyületei, a nitrát, a nitrit és az ammónia aránya a biológiai ciklus függvényében változik a felszíni élővizekben. A talajvizek magas nitrátszennyeződése az ország nagy területén a műtrágyahasználat, ill. a különböző szennyvizek hatására alakult ki. SÁRVÁRY I.–MAUCHA L.–IZÁPY G. (1992) tapasztalatai szerint a barlangi beszivárgó vizek 20–50 mg/l-es koncentráció-értéke még nem jelez szennyeződést, csak lassú és alacsony hozamú szivárgást. A Pál-völgyi-barlangban 30–120, a Mátyás-hegyi-barlangban 15–168 mg/l között mozog a nitrát-ion koncentrációja. A legmagasabb értékeket (380 mg/l) a Szemlő-hegyi-barlangban mértem: három mérőponton emelkedett, két helyen egy emelkedési fázis után csökkent, míg három mérőhelyen stagnált a nitrátion-koncentráció. Utóbbiak közül a Halál-szakasz 1995-ig 2–72 mg/l közötti nagy szórást mutatott, azóta 21 mg/l medián-értékű, kiugró maximumok és minimumok nélkül. *A másik két ponton a 61–115 mg/l medián-értéke tartós, ami állandó szennyező forrásra utal.*

A nitrit és az ammónium a vastag, nagy fajlagos felületű fedőrétegen átszivárgva átalakul nitráttá. Megjelenésük a mérőpontokon két okból történhet: nagy koncentrációjú forrás, ill. gyors, tág hasadékon való lejutás esetében. Jelenlétüket mindhárom barlang bizonyos mérőpontjain időnként ki tudtam mutatni. A nitrit (1,4 mg/l) és az ammó-

nium (2,3 mg/l) maximum-értékeit a Mátyás-hegyi-barlang legerősebben szennyezett mérőpontjain tapasztaltam.

A nitrát és a nitrit jelenléte mindenesetre külső szennyeződésre utal (ALFÖLDI L. et al. [szerk.] 1968).

Nátrium. A nátrium jelenléte természetes folyamatok eredménye is lehet: a márga ásványainak (pl. albit) mállása során válhat szabaddá. Az egy-egy barlangon belüli nagy különbségek és a magas koncentráció-értékek azonban a külső, antropogén szennyezést valószínűsítik. A legvalószínűbb forrás az utak sózására használt NaCl. Ennek *jelentőségét* vizsgálatom csak részben támasztja alá, hiszen a klorid eredetét tárgyaló részben már leírtak fényében nem áll fenn minden esetben egyértelmű kapcsolat. A kloridhoz hasonlóan a nátriumion-koncentrációk esetében sem tapasztalható évszakos különbség. A másik lehetséges forrás a kommunális szennyvíz, amelybe mosószeres, pl. nátrium-hipoklorid vagy vízlágyító szerek pl. a kalgon (nátrium-hexametafoszfát) használatával kerülhet. Mennyisége a Pál-völgyi-barlangban 9–94 mg/l, a Mátyás-hegyiben 62–780 mg/l között mozgott a különböző mérőpontokon. A Szemlő-hegyi-barlang 4–210 mg/l közötti értékei a mérési időszakban többfajta változást mutattak.

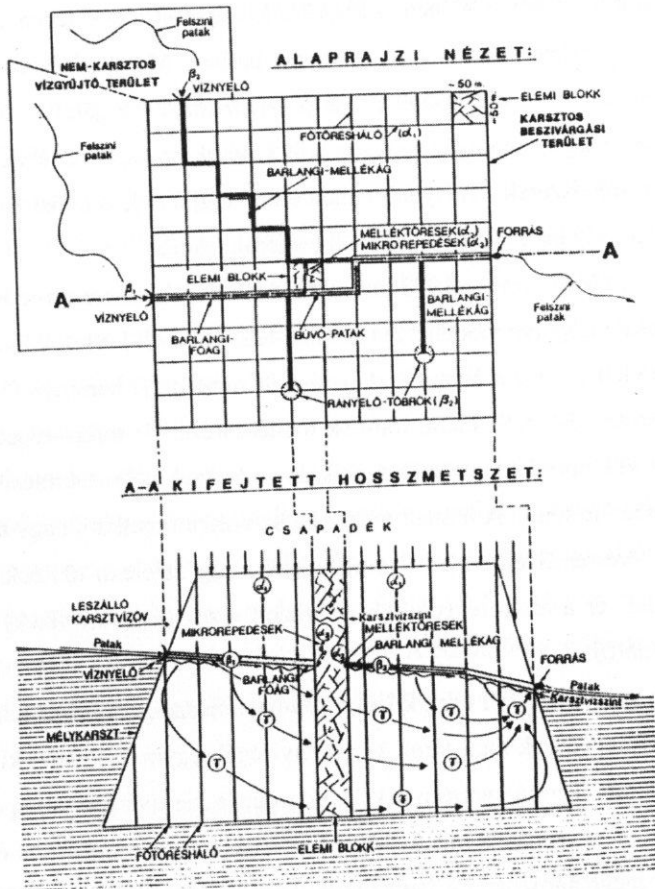
A beszivárgási viszonyok jellemzése

Az antropogén rétegen áthaladva a víz akadálytalanul hatol az alatta lévő márgarétegbe. A márga alapvetően kevésbé vízáteresztő, de a vizsgált területen a tektonikailag összetöredezett rétegek fejlett repedéshálózata jó vízvezetővé teszi. A különböző méretű és irányítottágú repedésekből összetevődő hálózat miatt – a köztrétegek dőlését (és a réteglapok elválását) is figyelembe véve – nehéz az egyes barlangi mérőhelyeken befogott vizek felszíni behatolási pontját meghatározni. A különböző keresztmetszetű rések, repedések eltérően befolyásolják a lassú, kis vízhozamú szivárgások, ill. a nagyobb esőzések, hóolvadások során vagy a rendszerbe a közművek hibái miatt bekerülő (esetenként nagy mennyiségű) víz mozgásviszonyait. A Pál-völgyi-barlangban pl. a többször észlelt víztöbbletet a betörési pontra emelt merőleges vonalában azonosított csővezeték törése okozta (KISS ATTILA barlangüzem-vezető szóbeli közlése).

A vizsgált területen 1992-ben, a PHARE 134/2 projekt keretében, a VITUKI végzett szivárgási kísérletet. Ehhez a József-hegyi-barlang Márgás-folyosóját választották ki, amely felett 25–30 m vastagságban márga található. A vizsgálat során megállapították, hogy a beszivárgási sebesség negyede volt a mészkőre kapott értékek átlagának (1,2 m/s). A fő törésrendszerek (amelyek mentén a barlangjáratok is kialakultak) háromszor jobb vezetőképességűnek bizonyultak a köztes területeknél.

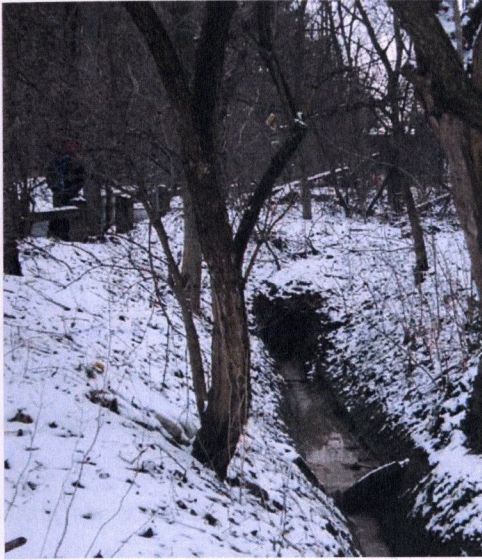
IZÁPY G. és MAUCHA L. (1993) az aggteleki források vízhozam-idősorát és vízminőség-változását vizsgálva modellezte a szabad felszínű nyílt karsztok hidrológiai viselkedését. A modell szerint a karszt víztározása öt szinten (1: barlangi főág; 2: mellékágak; 3: fő törésrendszer; 4: elemi tömbök melléktörései; 5: mikro-repedések) valósul meg, amelyek különböző keresztmetszetűek és az árvizek utáni leürülésük sorrendben, egymást követően történik. A modell magas karsztvízszint melletti, nagy hozamú kiürülést ír le a fő törésrendszerben (α_1 leszálló vizek), míg az elemi tömbök belsejében, a melléktörésekben és a mikrorepedésekben tározott vizek (α_2 és α_3 vizek) leürülése gátolva van (29. ábra).

Munkám szempontjából ezek közül a fő törésrendszer, a tömbön belüli melléktörések és a mikrorepedések által tárolt vízmennyiségek egymást követő kiürülése érdekes. A Rózsadombi Termálkarszton a karsztvízszint a beszivárgás szempontjából nem játszik szerepet, de a csapadék mennyisége, intenzitása, ill. a csapadékos és száraz időszakok aránya meghatározhatja a beszivárgó víznek nem csak a mennyiségét, hanem összetételének változásait is. A tendencia kimutatására folyamatos csapadék-, beszivárgás- és vízminőség-mérésre lenne szükség. A Szemlő-hegyi-barlangban nagyobb eső után többször megfigyeltem, hogy a beszivárgás intenzitása egyes mérőpontokon (Ferencvárosi-terem, Halál-szakasz) csökken, más pontokon egyidejűleg (Óriás-folyosó, Pettyes-folyosó) növekszik. Ez azért is érdekes, mert két, légvonalban közel lévő pont (Ferencvárosi-terem, Pettyes-folyosó) viselkedik ellentétesen. A vízminták összetételében eddig még nem tudtam kimutatni a megfigyelt jelenséghez egyértelműen kapcsolható változást, ehhez folyamatos monitoringra lenne szükség.



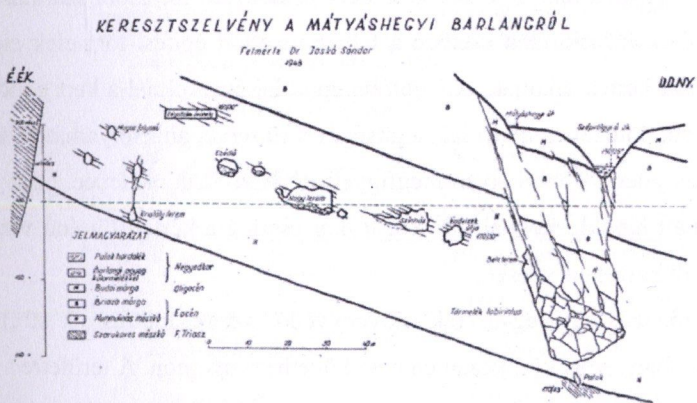
29. ábra. A karszt víztározó rendszerének kiürülési modellje (IZÁPY G—MAUCHA L. 1993)

A Mátyás-hegyi-barlang esetében más a helyzet (KISS K. 2009). A Szép-völgy vonala koncentrálna a beszivárgást és ezzel jelentős mennyiségű szennyezés bejutását is. Az év nagy részében száraz völgy nagyobb esőzéskor, hóolvadáskor megtelnek vízzel. Ilyenkor nemcsak az erdős hegyoldalról származó olvadék- és csapadékvíz vezet le, hanem a kertekből, utakról lefolyó, jóval szennyezettebb víz is. A legerősebb szennyezést a Fenyőgyöngyénél kapja, ahol a felette lévő – egykor csak hétvégi telkekből álló – beépített területről összegyűjtött vizet egy csapadékelvezető csatorna nem a közcsatorna-hálózatba, hanem a völgybe vezet (2. kép). Ezen a ponton a felszíni vízben több mint 10 ezer mg/l klorid-tartalmat mértem.



2. kép. A Szép-völgy felső szakaszán húzódó csapadékelvezető-csatorna Fenyőgyöngye alatti kifolyója

A víz a völgyön végighaladva, és a Mátyás-hegy Ny-i kőfejtőjét elérve csak enyhe hígulást mutat. A felhagyott külszíni fejtés meddőjével feltöltött völgyszakaszon eltűnik, beszivárog az erősen tektonizált kőzet repedéseibe és lejut a barlang Törmelék-labirintus nevű szakaszába (30. ábra). A víz nem mindig jut el a Mátyás-hegyig, kisebb hozamok esetén már korábban elszivároghat.



30. ábra. Keresztszelvény a Mátyás-hegyi-barlangról (JASKÓ S. in KÁRPÁT J. 1983)

A csepegővizek szennyeződés-veszélyeztetettségének természeti és antropogén okai

A terület szennyeződés-veszélyeztetettségi vizsgálatához PAPP S.–GÉCZY G. (1996) munkáját vettem alapul. A befolyásoló tényezőkre és hatásokra vonatkozó megállapításait néhány kiegészítéssel, módosítással érvényesnek találtam az általam vizsgált területre.

A felszínről a források felé történő transzportfolyamat legfelső, a felszíntől a barlangig haladó szakasza határozza meg a szennyeződés beszivárgásának módját és mértékét. A természeti adottságok – földtani viszonyok, domborzat, klíma, növény- és talajtakaró – az adott területen befolyásoló tényezőként segítik-gátolják a szennyezés bejutását a karszt mélyebb rétegeibe. A kis kiterjedésű természetközeli állapotú területfoltok sűrűn beépített lakóövezetek között találhatóak, az utóbbiak a hozzájuk kötődő funkciókkal együtt különböző veszélyforrásokat jelentenek.

A veszélyeztető források és azok befolyásoló tényezőit hatásukkal együtt a 7–8. táblázatban foglaltam össze.

A csapadékvíz először a talajrétegen szivárog át. A Szemlő-hegyi és a Pálvölgyi-barlang esetében a beépítések miatt nem találtam természetes, bolygatatlan állapotú talajt, így nem tudtam megállapítani genetikai talajtípust sem. Még a jelenleg üresen álló telkek is erősen zavart felszínűek, mindegyiküket építési törmelék, épületalapról kikerült nyers talaj és háztartási hulladék keveréke borítja. Az épületek körüli zöldterületeket jobb esetben a felszín letakarítása után (ismeretlen forrásból származó) új termőréteg felhordásával, rosszabb esetben a felhalmozódott építési törmelék elegyengetése után kialakított kertek alkotják. A legutóbb épült lakóparkoknál a kert gondozása többnyire automata öntözőberendezések segítségével történik, ami folyamatos, zápor hatású vízutánpótlást jelent. Több helyen megfigyelhető házi fürdőmedence, ezek a fertőtlenítéshez használt hipokloritokkal, ill. leürítéskor esetleg a kertbe történő vízkijuttatással növelik a nyílt karszt terhelését.

A mezőgazdasági vegyszerek (növényvédő szerek, műtrágyák stb.) felhasznált mennyisége a kertvárosi környezetben nem követhető nyomon. A területre a nagy adagú műtrágyahasználat valószínűleg nem jellemző, mivel a XX. század végére a mezőgazdasági hasznosítás gyakorlatilag megszűnt. Agrokemikáliák használatára utaló foszfátszennyezés csak a Szemlő-hegyi-barlang három mérőpontján fordult elő, de csak az

7. táblázat. A csepegővizek tisztaságát veszélyeztető források
(PAPP S.–GÉCZY G. [1996] nyomán, némileg módosítva)

Veszélyeztető források	Hatásaik
Szemét- és törmeléklerakó-helyek	Állandó, areális beszivárgás
Építési terület	Állandó, areális beszivárgás
Emésztőgödör, szikkasztó	Állandó, koncentrált beszivárgás
Műtrágyák, növényvédő szerek használata	Időszakos, areális beszivárgás
A csatornahálózat meghibásodása	Időszakos, koncentrált beszivárgás
A vízvezeték-hálózat meghibásodása	Időszakos, koncentrált beszivárgás
Automata öntözőrendszerek	Évszakos, areális beszivárgás
Kerti fürdőmedence	Időszakos, koncentrált beszivárgás
Felzínre vezetett esőgyűjtő csatorna	Időszakos, koncentrált beszivárgás
Csúszásmentesítés (utak szózása)	Évszakos, areális beszivárgás
Burkolt felület	Állandó, csökkenő beszivárgás

8. táblázat. A veszélyeztetettséget befolyásoló tényezők és várható hatásaik (PAPP S.–GÉCZY G. [1996] nyomán, némileg módosítva)

A veszélyeztetettséget befolyásoló tényezők	Hatásaik	
Domborzat (formatípusok, lejtőkategória [%], kiettség)	tetőszint, pihenő	maradékalan, areális beszivárgás
	zárt mélyedés (talpszintje)	pont-, ill. foltszerű, koncentrált, teljes beszivárgás
	(deráziós) völgy(ület) (antropogén is)	"lineárisan koncentrált" beszivárgás lehetséges
	lejtő réteglapon	potenciálisan csekély, a növekvő meredekséggel tovább csökkenő beszivárgás
	lejtő rétegfejen	törvényszerűen fellépő, a lejtő és a rétegek dőlésszöge viszonyának függvényében eltérő mértékű rétegekzi beszivárgás
	északias kiettség	egyenletesebb nedvességellátottság, tartósabb beszivárgás
	déli kiettség	gyorsabb lefolyás, erősebb párolgás és száradás
(Mikro- [mezo-] klíma	(a kiettséggel összefüggésben; l. ott)	
Vízrajz („mikro-“ lefolyásviszonyok)	(a domborzattal összefüggésben; l. ott)	
Növényzet	erdő	beszivárgás- és lefolyáscsökkenés, horodálék-visszatartás
	gyep (esetleg cserjékkel)	
	kert	évszakos areális beszivárgás (öntözés)
	fedetlen (kopár) felszín	csak a rétegtani, domborzati és talajviszonyoktól függő beszivárgás/lefolyás
Talajtakaró - köves, sziklás váztalaj - fekete rendzina - barna rendzina - antropogén talajkeverék	talajvastagság	a beszivárgó vizek mechanikai és/vagy kémiai (adszorpciós) szűrése a vízösszetétel megváltozása
	a talajrétegek kolloid- (humusz- és leiszapoltható rész-) tartalma (a talajtípussal is összefüggésben)	

Óriás-folyosó mintáin tapasztalható a koncentráció növekedése. Az ugyanezen a mérőponton tapasztalt káliumkoncentrációk (amelyek szintén származhatnának műtrágyából) viszont folyamatosan – az 1994 augusztusában mért 25 mg/l-es maximumról 2008-ra 10 mg/l körüli értékre – csökkentek. Ezek az adatok azt is jelenthetik, hogy a kevésbé mobilis foszfát a márgában felhalmozódhat és lassabban ürül ki a rendszerből, mint a kálium. Ezt az Örvény-folyosó mintáiban mért magas foszfátkoncentrációk is igazolják: értékeik a kilencvenes évek eleje óta 3,1 mg/l-ről 2008-ra 2 mg/l körülire csökkentek. Alacsony, 1 mg/l alatti értéket csak nagyobb csapadékesemények után mértem, amely a csapadékkal megnövelt beszivárgás hígító hatásának tudható be.

A nem beépített, természetközeli foltok az alábbiak: a Pál-völgyi-, Mátyás-hegyi-kőfejtő, a Mátyás-hegy D-DNy-i hegyoldala, a Szép-völgy, a Ferenc-hegy tetőszintje, a Szemlő-hegyi-barlang felett kialakított park. A kőfejtőket részben törmelékanyaggal töltötték fel, majd gyepesítették. A hegyoldalon a hajdani szőlőültetvények helyén fenyveseket ültettek, a völgyben időszakosan megjelenő víz útját mesterségesen kialakított, rakott kőfalakkal szabályozták (3. kép).



3. kép A Szép-völgy Erdei lak feletti szakasza

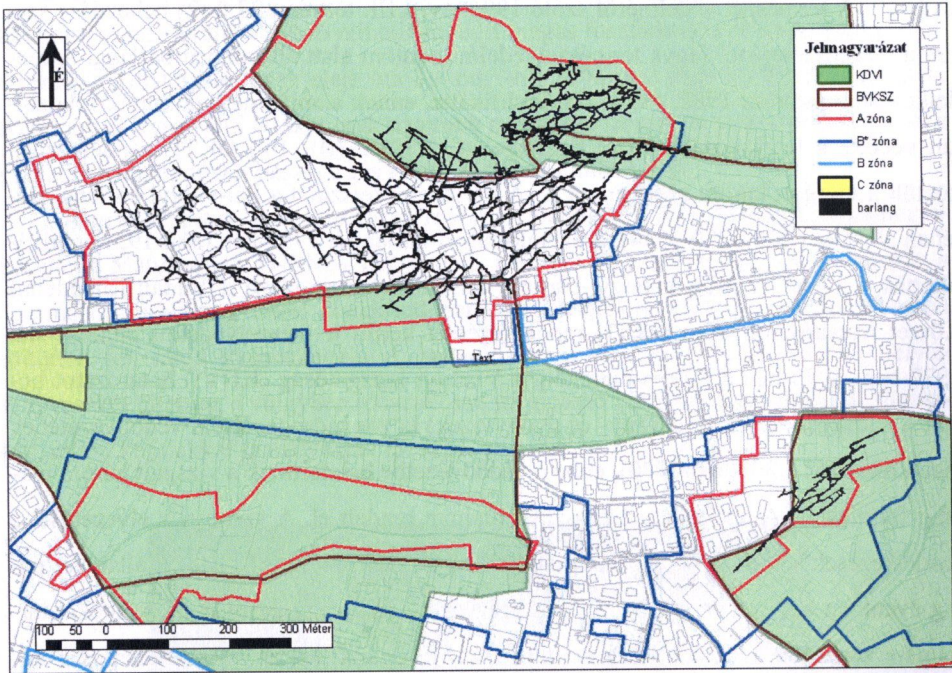
Következtetések, javaslatok

Jogsabályi háttér

A Rózsadombi Termálkarszt védelmében számos intézkedés, törvény, rendelet született. A természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény 23.§ (2) bekezdése szerint a törvény erejénél fogva természetvédelmi oltalom alatt áll minden barlang. A rendelkezést először az 1982. évi 4. tvr. kodifikálta, ennek alapján nyilvánították fokozottan védetté a legfontosabb hazai barlangokat (1/1982. (III. 16.) OKTH rendelkezés), köztük a vizsgált három objektumot is. A barlangok felszínét a Pál-völgyi barlang esetében 1944-ben (236.230/1944), a Szemlő-hegyi-barlangét 1957-ben (388/1957) nyilvánították védetté. A Mátyás-hegyi-barlang felszínének egy része a Budai Tájvédelmi Körzet létesítéséről szóló OKTH rendelkezéssel került természetvédelmi oltalom alá, 1977-ben. 1970-ben a Közép-dunavölgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVI) határozatot hozott a budapesti hévizek (ásvány- és gyógyvizek) közös hidrogeológiai védőövezetének kialakítására (H. 30776/5/1970), ebbe a védőövezetbe beletartozik a vizsgált három barlang felszíne is. A határozat szikkasztási tilalmat rendelt el. A szennyvíz elvezetését a rendelkezések szerint közcsatorna útján kell megoldani, a csatornahálózat állapotát pedig évenként kell felülvizsgálni. Tilos a szerves eredetű vagy szervesetlen anyagokat tartalmazó törmelék, hulladék lerakása, tárolása. Mezőgazdasági művelés esetén csak növényi eredetű komposztrágya alkalmazható. Gondoskodni kell arról, hogy a magasabban fekvő területekről szennyezett víz ne jusson a védett területre.

A Budapest Városrendezési és Építési Keretszabályzat (47/1998. Föv. Kgy.) rendelkezik a barlang-előfordulásos és hidrogeológiai védőövezetéről (BVKSZ). A hévizek tekintetében Budapest egész területe védőterületnek számít, a Keretszabályzat – elsősorban közzetani szempontból – kilenc kiemelt területet sorol fel, amelyek közül három a vizsgált területre esik (31. ábra). A szabályozás a barlangok felszíni vetületeinek területén történő épület, támfal, terepszint alatti építmény, pince létesítését, bővítését, felújítását, ill. megszüntetését az illetékes szakhatóság véleményéhez köti. A barlang-előfordulásos területeken a Kerületi Városrendezési Szabályzatoknak kell meghatározni azokat az övezeteket, ahol az illetékes szakhatóság véleményét kell kikérni.

A Bp. II. Kerületi Önkormányzat Városrendezési és Építési Szabályzata (2/2007.) rendelkezik a barlangtani értékek megóvásához szükséges intézkedésekről, s a veszélyeztetettség mértéke szerint négy kategóriát (A-, B*- , B-, C-zóna) állapít meg (1. melléklet).



31. ábra. A vizsgált területen kialakított különböző védőzónák (a rövidítések feloldása a szövegben)

A különböző szintű jogszabályok szellemisége hasonló, betartása-betartatása elősegítheti a terület védelmét. Sajnos, a tapasztalatok mást mutatnak. A terület beépítése, beépítésének minősége, funkcionális térszerkezete kedvezőtlen irányban változik, és úgy tűnik, hiába születtek a szépen felállított elvek. A „hegy” egyre kevésbé felel meg a zöldterületi övezeti követelményeknek, ezt a lakosság számában és összetételében bekövetkezett változások, valamint a területen kívüli városzerkezeti változások hatására nagymértékben megnövekedett tranzitforgalom is lehetetlenné teszi.

A térségben domináló minden gazdasági és egyéni érdek ellenében a karsztot és a barlangokat csak úgy lehetne védeni, ha az egész területre a jelenlegi A és B* övezet

előírásait terjeszteni ki és szigorúan be is tartanak azokat. A terület földtani viszonyai (képződmény, rétegdőlés, tektonika), ill. a mérőpontok felszín alatti mélysége (20–70 m) miatt a felszínre való függőleges felvetítés nem nyújt a szennyező források azonosításához elegendő támpontot. A nehézségeket tovább fokozzák a barlangi térképezés módszereiben rejlő hibalehetőségek is.

Vizsgálataim során a felszín beépítettsége mellett a csatornázottságot is igyekeztem figyelembe venni A Fővárosi Csatornázási Művektől kapott térképen (5. melléklet), azonban nem szerepel a telkeken belüli közmű-kiépítés, az csak a hatáskörükbe tartozó vezetéseket és műtárgyakat ábrázolja. Semmi sem bizonyítja azonban, hogy a csatornázással megszűnt volna a magáningatlanokról származó szennyezés lehetősége, pl. maradtak-e szikkasztók a területen.

Az 1970-ben megállapított szikkasztási tilalmat elrendelő határozat a csatorna-rendszer évenkénti felülvizsgálatát is előírta. Ennek teljesüléséről nincs információm. Méréseim viszont azt bizonyítják, hogy kirívóan magas szennyezettséget mutató vizek jelentek meg a barlangokban, ezek legkézenfekvőbb forrása pedig a rossz műszaki állapotú csatornarendszer lehet.

Javaslatok

A terület közmű- (elsősorban szennyvíz) hálózatának meghatározott időszaki felülvizsgálatával csökkenteni kell a kommunális vizek barlangba jutásának lehetőségét.

A felülvizsgálat terjedjen ki a magánkézben lévő területekre, ill. az épületbekötésekre is.

A területen maradt, esetleg még illegálisan működő szikkasztókat, ülepítőket fel kell deríteni és intézkedni kell megszüntetésükre.

A csapadékvíz-elvezető rendszert felül kell vizsgálni, különös figyelemmel a Szépvölgyre.

Az átmenő forgalmat korlátozni, ill. a fővárosi forgalomszabályozással párhuzamosan rendezni kell.

A lakóparkok, többemeletes építmények létesítését tiltani kell.

Korlátozni kell a területen a gazdasági tevékenységet.

A különböző védőövezeteket területileg egységessé kell tenni, ill. a legszigorúbb előírásokat kell kiterjeszteni a Rózsadombi Termálkarszt egész területére.

A terület barlangjaiban folytatni kell a beszívargó vizek rendszeres, monitoring jellegű vizsgálatát.

Összefoglalás

A Rózsadombi Termálkarszt világszerte egyedülálló földtani képződmény. Mélye feltűnő szépségű képződményekben rendkívül gazdag barlangokat rejt, amelyek iránt folyamatos hazai és nemzetközi érdeklődés nyilvánul meg a szakmán kívül az idegenforgalom és a terápiás igények részéről is. A barlangok felszínének beépülése, évtizedek óta megfigyelhető: a vizsgált terület a főváros legmagasabbra értékelt „elit” lakóövezetéhez tartozik. A humán hatások az elmúlt tíz-tizenöt évben ezért nagymértékben erősödtek. Ezt a tendenciát bizonyítják a jelen dolgozatban ismertetett vizsgálataim is, amelyeket a barlangi csepegővizeken végeztem, az ivóvíz-szabvány előírásai alapján vizsgálva a szennyező ionok koncentráció-változásait. Kutatásom eredményei szerint a barlangokba becspegeő vizekkel egyre több szennyező anyag jut a karsztba. A karsztvíz-kincs minőségének romlása mellett a folyamat veszélyezteti a barlangokban folyó bemutató és terápiás tevékenységet is, ill. rontja a fokozottan védett földtani természetvédelmi értékek környezeti állapotát. A mérések adatelemző módszerekkel feldolgozott eredményei szerint a rendkívül sérülékeny és jelentős speleológiai értékeket fedő terület terhelése növekszik, annak ellenére, hogy a hetvenes évek óta jogszabályok sorával próbálják védelmét megoldani. A szabályozás részben nem terjed ki minden veszélyeztető forrás megfékezésére, de nem hatékonyak a korlátozások érvényre juttatására jelenleg felhasználható hatósági eszközök sem. Félő, hogy a kedvezőtlen folyamatok még nem teljeseztek ki, és a már jelenleg is az elviselhetetlenség határán mozgó környezet-terhelés tovább fokozódik. A káros folyamatok megállítására a dolgozatban javaslatokat teszek, ezek egyrészt a terhelés fokozódását állíthatnák meg, részben pedig a múltból maradt szennyező források felszámolását tennék lehetővé.

Köszönetnyilvánítás

Ez úton fejezem ki köszönetemet azoknak a barlangkutató társaimnak, akik évtizedek során a mintavételben segítségemre voltak: az Acheron Barlangkutató Csoport, a Pagony Barlangkutató Csoport, a MKBT Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport tagjainak és KISS ATTILA csoportvezetőnek.

Köszönöm a Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat, a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt, a Fővárosi Vízművek Zrt, a KvVM Barlangtani Intézet szíves segítségét, a rendelkezésemre bocsátott közműhálózati és barlangtérképeket.

Köszönöm az ELTE TTK FFI Földrajztudományi Központ dolgozóitól, kedves kollégáimtól kapott önzetlen segítséget és türelmet. Külön köszönetemet fejezem ki KISS KLAUDIA doktorandának a közös munkáért és a sok hasznos ötletért, DR. MARI LÁSZLÓ docens úrnak a segítő együttműködésért, valamint az Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék adjunktusának, külső konzulensemnek DR. KOVÁCS JÓZSEF úrnak az adatok statisztikai feldolgozásában nyújtott nélkülözhetetlen segítségéért.

Témavezetőm, DR. PAPP SÁNDOR docens úr türelméért, következetes, szigorú, de mindig szeretettelgi szakmai irányításáért külön hálával tartozom.

Irodalom

- ALFÖLDI L. 1968. A budapesti hévizek általános vízföldtani viszonyai. – In: ALFÖLDI L. et al. (szerk.) Budapest hévizei. – Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest. pp. 25–45.
- BIHARI Z.–CSORBA G.–HELTAI M. (szerk.) 2007. Magyarország emlőseinek atlasza. – Kossuth Kiadó, Budapest. pp. 11–360.
- BOGÁRDI I.–RÉTHÁTI L.–SZIDAROVSKY F. 1978. A statisztikai csoportosítás módszerének felhasználása a talajvízjárás jellemzésére. – Hidrológiai Közlöny, 58/6. pp. 245–250.
- BORHIDI A.–SÁNTA A. (szerk.) 1999. Vörös Könyv Magyarország növénytársulásairól, 2. – TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó, Budapest. 404 p.
- CSAPÁK A.–FEHÉR K. 2008. A vízminőségi mutatók változása a tárolt csapadékvízben. – Hidrológiai Közlöny, 88. 3. pp. 57–60.
- FEHÉR K. 1995. Vízkémiai vizsgálatok a Szemlő-hegyi-barlangban. – Környezeti Ártalmak és a Légzőrendszer V. Konferenciája, Hévíz. pp. 47–52.
- FEHÉR K.–KISS K.–KOVÁCS J.–KISS A. 2009. Beszivárgás-vizsgálatok a Rózsadombi Termálkarszton. – Karsztfejlődés XIV. Nyugat-magyarországi Egyetem, Savaria Egyetemi Központ, Szombathely. (Megjelenés alatt.)
- FEKETE G.–MOLNÁR ZS.–HORVÁTH F. (szerk.) 1997. A magyarországi élőhelyek leírása, határozója és a Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer. – Magyar Természet-tudományi Múzeum, Budapest. 374 p.
- FODOR L. et al. 1994. Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése. – Földtani Közlöny, 124. 2. pp. 237–239.
- FÜREDI V.–FEHÉR K. 1999. A Pál-völgyi-barlangba beszivárgó vizek mennyiségi és minőségi változásainak vizsgálata a 15603/4 hrsz. ingatlan térségében. – Vizsgálati jelentés. Kézirat. TvH Barlangtani Adattár. 34 p.
- HEM, J. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. – U. S. Geological Survey, Alexandria. pp.66–128.
- IZÁPY G.–MAUCHA L. 1993. The discharges quality relationship interpreted for karst springs by a new karstmodel. – Proc.of the Europ. Konf. of Spel. and Karst. Bull. de la Societ. Geograph. de Liège 53 p.
- JUHÁSZ Á. 2000. A Dunántúli-középhegység. – In: KARÁTSON D. (szerk.): Magyarország földje. Kertek Kiadó. Budapest. pp. 316–324.
- KÁRPÁT J. 1983. Magyarország barlangtérképei. – Mátyás-hegyi-barlang, 1:250. – MKBT. 15 p.
- KISS K. 2009. A felszíni szennyezés hatása a barlangi beszivárgó vizekre a Mátyás-hegyi-barlang példáján. – Geográfus Doktoranduszok IX. Országos Konferenciája, Szeged. www.geography.hu
- KOVÁCS J.–MÜLLER P. 1980. A budai hegyek hévizes tevékenységének kialakulása és nyomai. – Karszt és Barlang, II. pp. 93–98.
- KOVÁCS J.–VID G.–MAUCHA L.–BERÉNYI Ü. J.–IZÁPY G. 2005. Az Aggteleki-karszt nagy forrásainak és a Baradla-, illetve a Béke-barlangban a járattalp alatt észlelt

- vizek kémiai összetevőinek vizsgálata többváltozós adatelemző módszerekkel. – Karsztfejlődés X. konferencia, Szombathely. pp. 107–120.
- KOVÁCS, J.–MÁRKUS, L.–CSEPREGI, A. 1997a. Grouping of Wells by Groundwater Levels and Chemical Data. – European Union of Geosciences, 9. Congress.
- KOVÁCS, J.–MÁRKUS, L.–CSEPREGI, A. 1997b. Principal Component and Cluster Analysis of Groundwater Levels and Chemical Data. – International Symposium on Contemporary Multivariate Analysis and its Applications, Hongkong.
- KOVÁCS, J.–SZÉKELY, I. 1998. Analysis of short time series; an application to chemical composition data of thermal water sources of Budapest. – VII. International Congress of Ecology, Firenze.
- KRAUS S. 1982. A Budai-hegység hévizes barlangjainak fejlődéstörténete. – Karszt és Barlang I, Budapest. pp. 29–34.
- LORBERER Á. 1987. Hidrogeológiai szakvélemény a Rózsadomb komplex környezetvédelmi vizsgálatához. Földtani felépítés. – In: MAUCHA L. et al.: VITUKI Hidrológiai Intézet, Budapest. pp. 3–39.
- 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. pp. 104–111.
- MAROSI S.–SOMOGYI S. (szerk.) 1990. Magyarország kistájainak katasztere. – MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. pp. 722–726.
- MARTONNÉ E. K. 2006. Magyarország tájféldrajza. – Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadója, Debrecen. 128 p.
- MAUCHA L. 1987: Hidrogeológiai szakvélemény a Rózsadomb komplex környezetvédelmi vizsgálatához. – In: MAUCHA L. et al.: A József-hegyi forráscsoport jelenlegi hidrogeológiai állapota. VITUKI Hidrológiai Intézet, Budapest. pp. 60–61.
- MÜLLER, P.–SÁRVÁRY, I. 1977. Some aspects of development in Hungarian Speleology Theories during the last 10 years. – Karszt és Barlang, Special Issue. pp. 53–60.
- NÁDOR A.–SÁSDI L. 1991. A Budai-hegység paleokarsztjai és fejlődéstörténetük. I. Termális hatást nem tükröző paleokarsztok. – Karszt és Barlang, Budapest. pp. 3–10.
- PAPP F. 1942. Budapest meleg gyógyforrásai. – Budapest Központi Gyógy- és Üdülőhelyi Bizottság Rheuma és Fürdőkutató Intézet, Budapest.
- PAPP S.–GÉCZY G. 1996. A fedőrétegeinek veszélyeztetettségi vizsgálata.– Jelentés a 1993 és 1996 között OTKA-támogatással végzett kutató-munkáról.
- PÉCSI M. (szerk.) 1959. Budapest természeti földrajza. – Akadémiai Kiadó, Budapest. 416 p.
- PÉCSI M. 1974. A Budai-hegység geomorfológiai kialakulása, tekintettel hegytípusaira. – Földr. Ért. 23. 2. pp. 181–192.
- SÁRVÁRY I.–MAUCHA L.–IZÁPY G. 1992. Vízkémiai, mikrobiológiai és izotóp vizsgálatok, VII. feladat. Beszámoló jelentés. – In: PHARE PROJECT, 134/2. Komplex geológiai vizsgálatok és fúrások a Rózsadomb környezetében. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium, Budapest. pp.16–24.
- SCHEUER GY.–SCHWEITZER F. 1980. A Gerecse és a Budai-hegység édesvízi mészköösszletei. – Földr. Tanulmányok, 20.

- SCHWEITZER F. 1988. A budai Rózsadomb geomorfológiai fejlődéstörténete. – Földr. Ért. 37. pp. 77–85.
- SCHWEITZER F. et al. 1994. A Rózsadomb és környéke csuszamlásveszélyes és funkcionális térhasználati térképeinek magyarázója. (M = 1:10 000). – MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest. pp. 12–15.
- SIMON T. 1992. A magyarországi edényes flóra határozója. Harasztok-virágos növények. – Tankönyvkiadó, Budapest. 892 p.
- SZENTIRMAI L.–PETZ R.–SCHEUER GY. 1988. Budapest építéshidrologiai atlasza. M=1:20 000. Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, Budapest.
- SZTRÓKAY K. 1932. A budai márga kőzettani vizsgálata. – Földtani Közöny, LXII. pp. 81–121.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 2001. Cseppkő-pusztulási jelenségek vizsgálata. – Karsztfejlődés, VI. Berzsenyi Dániel Főiskola, Szombathely.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K.–KRAUS S. 1989. A melegvizés eredetű barlangok kutatásának eredményei. – Karszt és Barlang, I–II. pp. 61–66.
- TAKÁCSNÉ BOLNER, K.–TARDY, J.–NÉMEDI, L. 1989. The environmental impacts endangering Rózsadomb's (Budapest) karst surface, its caves and the water quality of the springs originating at the foot of the mountain, with special respect to the quality of dripping waters. – In: Földtani természetvédelem, barlangvédelem, 1. – Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest. pp. 25–53.
- UJHELYI P. (szerk.) 2005. A Kárpát-medence állatai. – Kossuth Kiadó, Budapest. 528 p.
- VITUKI (sin. auct.), 1992. Komplex geológiai vizsgálatok és fúrások a Rózsadomb környezetében. – PHARE 134/2. Budapest.
- WEIN Gy. 1977. A Budai-hegység tektonikája. – MÁFI, Budapest.

Jogforrások

- 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.
- A természet védelméről szóló 1996. évi LIII. törvény.
1982. évi 4. tvr. a természet védelméről.
- 1/1982. (III. 16.) OKTH rendelkezés az 1982. évi 4. tvr. végrehajtásáról.
- A Magyar Királyi Földművelésügyi Miniszter 236.230/1944. sz. rendelkezése a Pál-völgyi barlang felszínének védetté nyilvánításáról.
- 388/1957. sz. OTT határozat a Szemlőhegyi-barlang felszínének védetté nyilvánításáról.
9/1978. (XII. 19.) OKTH rendelkezés a Budai Tájvédelmi Körzet létesítéséről.
- A Közép-dunavölgyi Vízügyi Igazgatóság 30776/5/1970.H. sz. határozata a budapesti hévizek (ásvány- és gyógyvizek) közös hidrogeológiai védőövezetének kialakítására.
- 47/1998. Föv. Kgy. rendelet Budapest Városrendezési és Építési Keretszabályzatáról
2/2007. sz. önk. rendelet a Bp. II. Kerületi Önkormányzat Városrendezési és Építési Szabályzatáról

Térképek

EOV topográfiai térkép M=1:10 000 65142, 65-144, 65-232, 65-233 szelvények Kartográfia, Budapest 1984.

Közhiteles barlangnyilvántartás térképei. KvVM Barlangtani Osztály.

Közműhálózati térképek. AutoCad formátum 2009. Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. Budapest.

Közműhálózati térképek. AutoCad formátum 2009. Fővárosi Vízművek Zrt. Budapest.

Első katonai felmérés térképei 1782–1785. FHM Hadtörténeti Intézet és Múzeum Térképtára. dvd: Arcanum Adatbázis Kft. Budapest. 2004.

Második katonai felmérés 1806–1869. FHM Hadtörténeti Intézet és Múzeum Térképtára. dvd: Arcanum Adatbázis Kft. Budapest. 2005.

Budapest régi térképei 1873–1950. Budapest Főváros Levéltára. Arcanum Adatbázis Kft. Budapest. 2005.

<http://earth.google.com> 2009. 03. 01.

Mellékletek

1. melléklet

Tájékoztató a barlangtani értékek megóvásához szükséges intézkedésekről Budapest II. Kerületi Önkormányzat Városrendezési és Építési Szabályzata (2/2007.) 1. számú függelék.

Az ismert és még ismeretlen barlangok esetében:

- a) Az ingatlan tulajdonosa (vagyonkezelője, használója) tűrni köteles, hogy az illetékes szakhatóságok, illetve az általa erre feljogosított személyek, továbbá az állam tulajdonosi jogait gyakorló szerv felhatalmazásával eljáró személyek a barlangot megközelítsék, az idegenforgalom számára kiépített barlangot meglátogassák. Az e tevékenység során okozott tényleges kárt az ingatlan tulajdonos (vagyonkezelő, használó) részére meg kell téríteni.
- b) A barlangbejáratot az ingatlan tulajdonos (vagyonkezelő, használó) nem veszélyeztetheti, nem rongálhatja meg, nem tömheti el, nem zavarhatja a barlangot élőhelyül használó állatokat, és nem akadályozhatja a barlang hasznosítását.
- c) Az (1) bekezdésben foglaltak biztosítására az igazgatóságot szolgalmi jog illeti meg, illetve annak az ingatlan tulajdonosát (vagyonkezelőjét, használóját), amelyről a barlang nyílik, szolgalmi jog terheli (szolgáló telek). Ennek tényét az ingatlan-nyilvántartásba – az igazgatóság kezdeményezésére – be kell jegyezni.
- d) Az ismert és még ismeretlen barlangok helyzetének, felszín alatti kiterjedésének és jellegének megismerésének tudományos jelentősége, védelme és a felszín közeli „kritikus” 10 m-es zónában az építmények biztonsága érdekében a tulajdonos *köteles*:
- e) nyolc napon belül bejelenteni a barlang, illetve a barlangszakasz felfedezését az illetékes Természetvédelmi Hatóságnak;
- f) bejelenteni az alapozás földmunkáinak megkezdését és befejezését az illetékes Természetvédelmi Hatóságnak³ természetvédelmi helyszínelés céljából, melynek lefolytatásáig a betonozási munkák nem kezdhetők meg;
- g) bejelenteni a barlang vagy barlangra utaló nyomok (nyílt vagy utólag agyaggal, ásványkiválásokkal kitöltődött üregek, hasadékok, stb.) előfordulását az építkezés azonnali leállításával mellett az illetékes Építésügyi Hatóságnak és az illetékes Természetvédelmi Hatóságnak⁴ és az építkezés csak szakhatósági hozzájárulás esetén folytatható;
- h) a Természetvédelmi Hatóság a hozzájárulás kiadását az üregesedés jellegétől függően 10 m mélységig terjedő geofizikai, és/vagy fűrészes és/vagy kézi eszközökkel történő üregkutatás elvégzéséhez kötheti;
- i) üregesedés esetén az építés a kutatások időtartamára leállítható, barlang ismertté válása esetén módosítható, fokozottan védett barlang előfordulása esetén meg is hiúsulhat. Az ebből eredő károk a tulajdonost terhelik;
- j) a barlangvédelmi zónák teljes „A”, „B*” és „B” területén minden építési és terepbontással járó egyéb tevékenység földmunkáit a természetvédelmi hatóság helyszíneléssel ellenőrzi.
- k) A karsztos terület a barlangtani értékek megóvásához szükséges intézkedések szempontjából a veszélyeztetettség mértéke négy kategóriába sorolható:
 1. A-zónák
 2. B-zónák
 3. B*-zónák
 4. C-zónák.

³ a KVSZ hatályba lépésekor: Közép-Duna-Völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség

⁴ a KVSZ hatályba lépésekor a Bp. Főv. II. kerületi Polgármesteri Hivatal Műszaki Irodája, illetve

- l) A besorolás a barlangok elhelyezkedésére, kiterjedésére vonatkozó ismeretek bővülésével időről-időre változhat;
- m) a változások az egyes kategóriák tartalmi definiálása mellett a szabályzat módosítása nélkül átvezethetők.

A-zónák

- a) Azon felszíni területek, melyek a kiemelkedő jelentőségű, fokozatosan védett barlangok (*Ferenc-hegyi-, József-hegyi-, Molnár János-, Pál-völgyi- és Szemlő-hegyi-barlang*; illetőleg a III. kerület területére eső *Mátyás-hegyi-barlang*) állapotára közvetlen behatással bírnak;
- b) azon ingatlanok, melyek e barlangok feltárt járatai által határolt területre esnek;
- c) illetve ahol az 1984. évi átfogó környezetföldtani vizsgálatok a környező kisebb barlangok és egyéb üregesedési nyomok alapján e fokozottan védett barlangok folytatódását bizonyosnak jelzik.
- d) Az ezen zónákban *megvalósítandó természetvédelmi cél a kiemelkedő jelentőségű barlangok állapotának és természeti egyensúlyának maradéktalan fenntartása, mindennemű kedvezőtlen környezeti változás megakadályozása*. Ez a statikai állapot fenntartásán és a karsztvíz-zennyezés lehetőségének kizárásán túlmenően magába foglalja a természetes beszívárgási és átszellőzési viszonyok fenntartásának kívánalmát is, amely alapvető e barlangok vízháztartása, gyógyhatású klímarendszere és különleges ásványvilága szempontjából.
- e) Mindezekre tekintettel e zónákban jelentős terepmegbontások nem történhetnek, további vízzáróan burkolt felületek sem a felszínen, sem a felszín alatt nem létesíthetők.
- f) Ez a beépítetlen ingatlanok esetében – kerítésépítés kivételével – teljes építési tilalmat jelent.
- g) A már beépített építési telkek esetében építési korlátozást jelent; amelynek értelmében felújítás, átépítés, bővítés, illetve bontást követő újjáépítés csak a meglévő épület (épitmény) helyén, jelentős terepmegbontás nélkül, s a már burkolt felületek kiterjedését meg nem haladó alapterülettel lehetséges. Teljes újjáépítéshez illetve szintráépítéshez a szakhatóság előzetes elvi állásfoglalása szükséges, melynek feltétele a legalább 10 m mélységig hatoló geofizikai (illetve üregesedés gyanúja esetén fűrésos és/vagy kézi erővel történő) üregkutatásra is kiterjedő talajmechanikai szakvélemény.

B* zónák

- (1) Azon felszíni területek, melyek a fokozottan védett barlangok állapotára közvetett, illetőleg a kisebb jelentőségű (ám ugyancsak védett természeti területnek minősülő) barlangok állapotára közvetlen vagy közvetett behatással bírnak; s ahol egyidejűleg azok helyzetéből adódóan fokozott a valószínűsége még ismeretlen barlangjáratok létezésének:
 - a) az A-zónák általában egy ingatlan szélességű peremzónái;
 - b) a kisebb barlangok felett elhelyezkedő ingatlanok és azok egy ingatlan szélességű peremzónái.
- (2) A barlangok természeti egyensúlyát veszélyeztető mértékű beavatkozások elkerülésének, valamint az ismert barlangok folytatásaként feltételezhető, de még feltáratlan járatok megkutatási lehetőségének és gyakorlati védelmének az igényét szem előtt tartva, az építési engedélyezési tervdokumentáció jóváhagyásához való szakhatósági hozzájárulás az alábbi feltételek mellett adható:
Az adott ingatlan – lakóövezeti vagy intézményi besorolásától függetlenül – vízzáróan burkolt felületeinek teljes kiterjedése a fokozottan védett barlangok környezetében 15+5 %-ot, egyéb barlangok esetében a természetvédelmi hatóság elbírálása alapján maximálisan 15+10 %-ot képviselhet;
- (3) Fenti zónákban az 1996. évi LIII. törvény alapján a barlangokra, mint védett természeti területre közvetlen kihatással lévő vagy azt közvetlenül érintő más hatósági eljárás során az illetékes Természetvédelmi Hatóság⁵ szakhatóságként működik közre, így különösen:
 - a) földrészlet megosztás, alakjának, terjedelmének megváltoztatása;
 - b) telekalakítás, terület-felhasználás, építés, létesítés, fennmaradás és használatbavétel;
 - c) nyomvonalas létesítmény és földmű építése;
 - d) vegyi anyag tárolásához, felhasználásához, illetve hulladék elhelyezéséhez;
 - e) vízimunka, vízellétesítmény és vízhasználat;
 - f) ipari, mezőgazdasági, erdőgazdasági, szolgáltató tevékenység gyakorlásához szükséges telep létesítéséhez, berendezéseinek felújításához, az alkalmazott technológia megváltoztatásához;
 - g) az erdészeti, vadászati, halászati hatósági eljárásokban;
 - h) bányatelek megállapításának, módosításának, az ásványi nyersanyag feltárására, kitermelésére,

5

valamint a meddőhányó hasznosítására, a kitermelés szünetelésére, a bánya bezárására vonatkozó műszak üzemi tervek és a tájrendezési terv jóváhagyásának, továbbá a bányászati *létesítmények* építésének és üzembe helyezésének, valamint egyes gépek és berendezések bányabeli használatának engedélyezésekor, továbbá a bányászattal összefüggő vízjogi hatósági eljárásokban;

B-zónák

- a) A zöldfelület-védelmi szempontból is jelentős természetes beszívargási viszonyok legalább részleges megőrzésének igényét szem előtt tartva:
- b) A vízzáróan burkolható összes felület a (13) bekezdésben foglalt irányelvek betartása mellett maximálisan 40 % lehet.

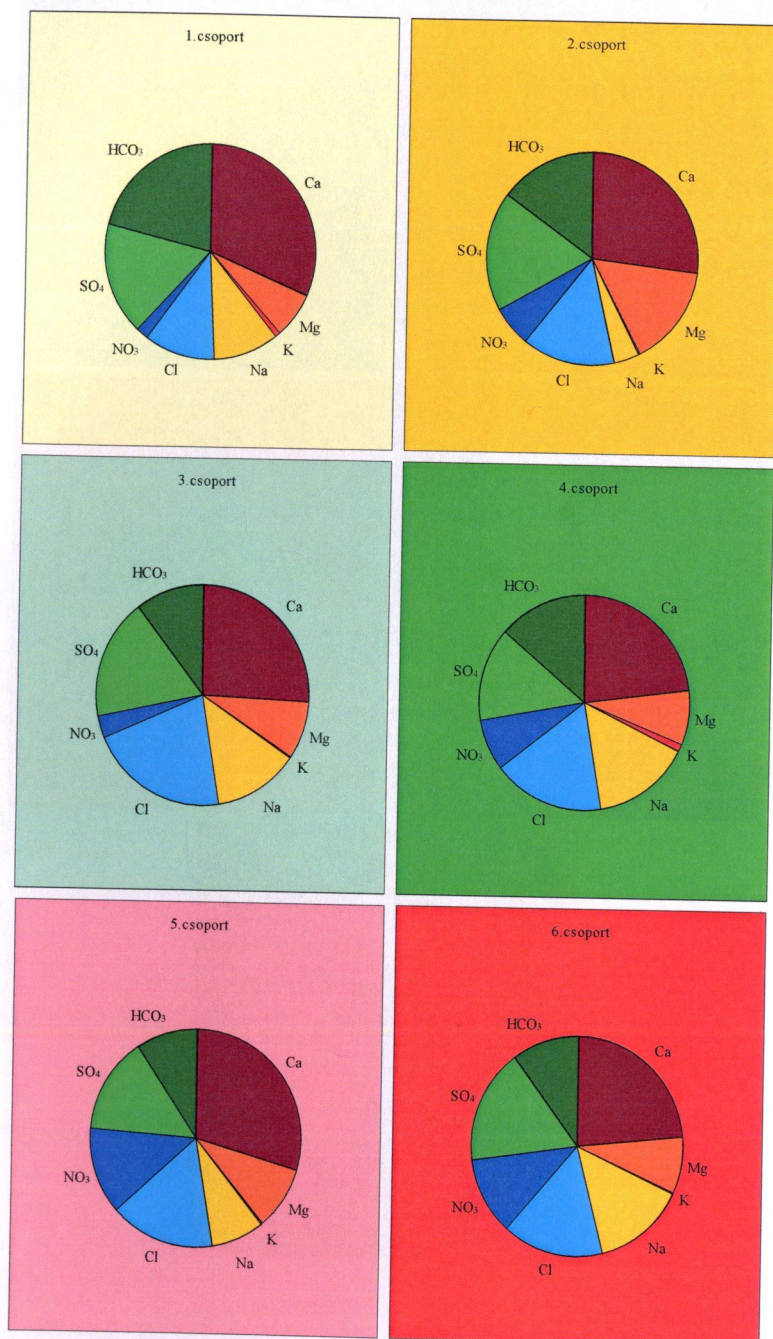
A fenti „A”, „B*” és „B” *barlangvédelmi zónákban* minden további vízzáróan burkolt felület kialakításához *kertépitési engedély* szükséges, mely a természetvédelmi hatóság szakhatósági állásfoglalását is figyelembe veszi.

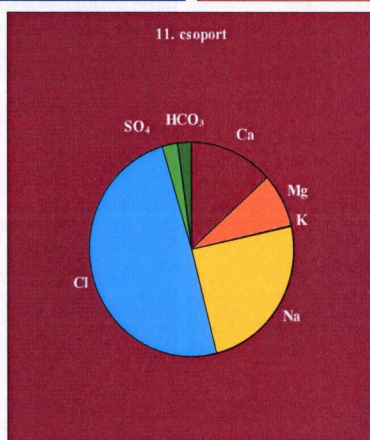
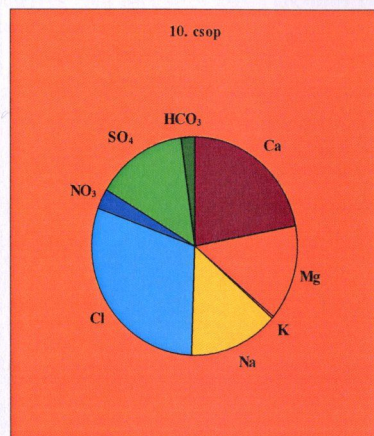
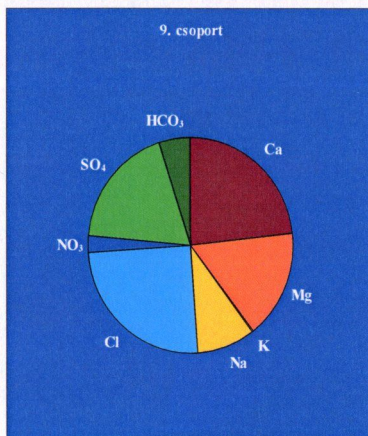
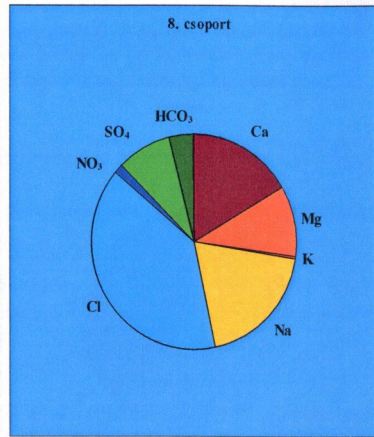
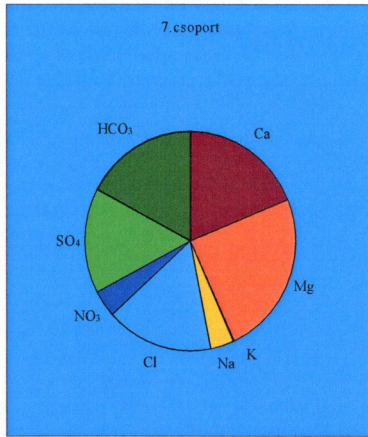
C-zónák

- a) A szabályozással érintett terület mindazon részei, ahol a földtani adottságok alapján barlang jelenléte gyakorlatilag kizárható; azaz azon területek, melyek alatt a karsztosodásra alkalmas mészkő-, dolomit- és márgarétegek jelentős felszín alatti mélységben, vastag vízzáró agyagrétegekkel fedetten helyezkednek el.
- b) Ezen zónákban barlangvédelmi szempontból korlátozások nem szükségesek.

2. melléklet.

A 2008-as mérések ionarányai mgé/l-ben





3. melléklet

A Szemlő-hegyi-barlang klaszter-analízisbe bevont adatai

Az 1. csoport adatai

Mintavevőhely	Év	db
Pettyes-terem	1994	3
	1999	1
	2000	4
	2005	1
	2007	5
	2008	6
Földszíve-terem felett	1994	2
	1998	1
	1999	3
	2000	3
	2005	1
	2006	1
	2007	5
	2008	6

A 2. csoport adatai

Mintavevőhely	Év	db
Ferencvárosi-terem	2005	1
	2007	5
	2008	5
Agyagos-folyosó	2007	3
	2008	6

A 3. csoport adatai

Mintavevőhely	Év	db
Akna után, 10 m	1994	3
	1998	1
	1999	3
	2000	4
	2005	2
	2007	4
	2008	6
Agyagos-folyosó	1994	3
	1995	2
	1999	2
	2000	2
Halál-szakasz	1994	3
	1998	1
	1999	3
	2000	3
	2005	1
	2006	1
	2007	2
	2008	6

A 4. csoport adatai

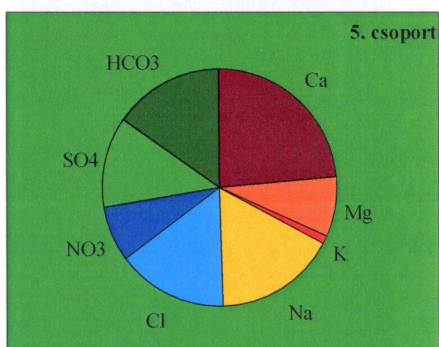
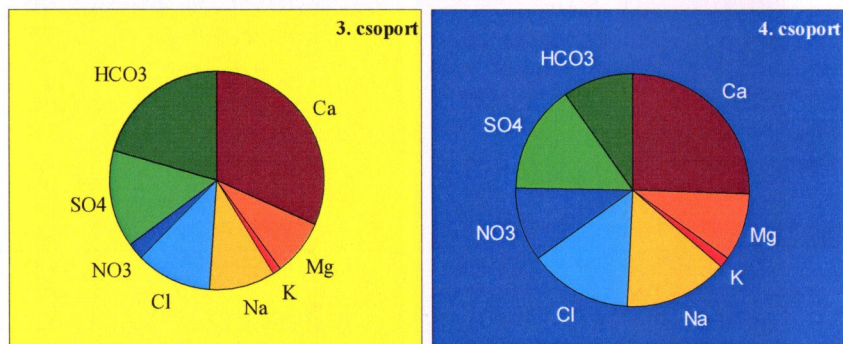
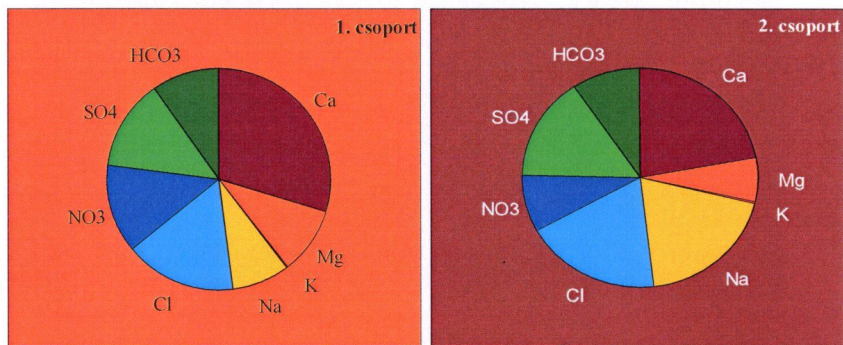
Mintavevőhely	Év	db
Óriás-folyosó	1994	3
	1998	1
	1999	3
	2000	3
	2008	3

A 5. csoport adatai

Mintavevőhely	Év	db
Ferencvárosi-terem	1994	3
	1998	1
	1999	3
	2000	4
	2006	1
Agyagos-folyosó	2000	1
	2006	1
Örvény-folyosó	1994	3
	1998	1
	1999	2
	2000	4
	2005	1
	2007	3
	2008	5
Óriás-folyosó	2005	2
	2007	5
	2008	6

4. melléklet

Ionarányok a Szemlő-hegyi-barlang klaszter-analízissel kialakított csoportjaiban (mgeé/l)



A vizsgált terület csatornahálózata a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. nyilvántartása alapján

