

A csapadék hatása a rózsadombi források utánpótlódási és megcsapolódási területén

BODOR Petra¹, ERŐSS Anita¹, MÁDLNÉ SZÓNYI Judit¹, KOVÁCS József¹

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.

petra.bodor28@gmail.com

The effect of precipitation at the recharge and discharge area of the springs of Rózsadomb, Buda Thermal Karst, Hungary

Abstract

The Rózsadomb area is one of the Buda Thermal Karst's discharge areas. It is important from both theoretical and practical point of view to understand the temporal changes of the physicochemical parameters of lukewarm waters and their relationships with temporal changes of precipitation. The Molnár János Cave – Boltív Spring – Malom Lake system and its theoretical recharge area were studied. Based on executed measurements and continuous data series, the effect of the precipitation were examined on the temperature, specific electric conductivity, pH, volume discharge and water level parameters of the Boltív Spring and on the karst water level of the theoretical recharge area.

The project was supported by the NK101356 OTKA research grant.

Keywords: Buda Thermal Karst, recharge, discharge, lukewarm springs, integrated precipitation

Összefoglalás

A rózsadombi megcsapolódási terület a Budai termálkarszt részeként mind elméleti, mind gyakorlati szempontból kiemelt jelentőségű. Az itt felszínre jutó langyos vizek fizikai-kémiai paramétereiben zajló változások jobb megértése céljából vizsgáltuk a Molnár János-barlang – Boltív-forrás – Malom-tó rendszerét és a mögöttes áramlási rendszer feltételezett utánpótlódási területét. Saját mérések és folyamatos adatsorok elemzésével tanulmányoztuk a csapadék hatását a rendszer hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, vízhozam és vízszint paramétereire és a feltételezett utánpótlódási terület karsztvízszintjeire.

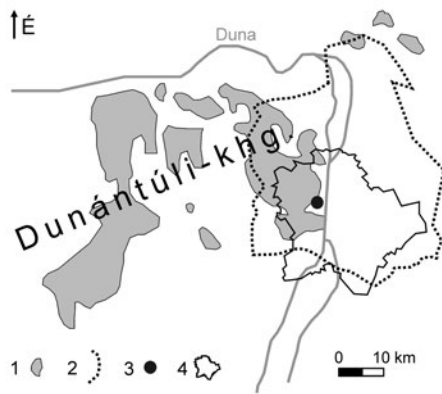
A kutatást az OTKA NK 101356 számú pályázat támogatta.

Kulcsszavak: Budai termálkarszt, utánpótlódás, megcsapolódás, langyos források, integrált csapadék

Bevezetés

A rózsadombi vagy felhívízi források Buda beépülése óta szolgálják az emberek gyógyulását, kielégítették az ország stratégiai szükségleteit azáltal, hogy a vízzel malmokat hajtottak meg s az így nyert energiával puskaport tudtak előállítani a középkorban. A forrásterület a Budai termálkarszt három fő megcsapolódási területének egyike (*1. ábra*). E terület mind elméleti, mind gyakorlati szempontból jelentőséggel bír. Elméleti szempontból fontos, hiszen itt egy aktív hipogén karsztrendszer viselkedése tanulmányozható (MÁDL-SZÓNYI & ERŐSS 2013), mely rendszerek eddig kevésbé ismertek. Gyakorlati jelentőségét az adja, hogy az itt felszínre jutó vizek hasznosítása a turizmus és a termális energia kiaknázása szempontjából is kiemelkedő lehetőségű Budapest számára.

A Rózsadombon és előterében magas oldottanyag-tartalmú (800–1350 mg/l) hévforrások (>36,7 °C) és alacsonyabb oldottanyag-tartalmú (770–980 mg/l) langyos (20–36,7 °C) források fakadtak (PAPP 1942). Előbbiek utánpótlódási területe a Dunántúli-középhegység távolabbi területei, míg utóbbiaké a Budai-hegység karsztos felszínei lehetnek, de pontosan nem lehatároltak (ALFÖLDI et al. 1968). Az egykori természetes források helyének és adatainak felkutatása és elemzése fényt derített arra, hogy a megcsapolódás sajátos mintázatú. A Dunához közelebb hévforrások, míg a Rózsadomb előterében langyos források jutottak felszínre (LIEB 2004, ERŐSS et al. 2008, MÁDLNÉ SZÓNYI et al. 2013) (*2. ábra*). Ezt a természetes megcsapolódási mintázatot a fürdők megjelenésével megkezdődő víztermelés megváltoztatta, ma már főleg kevert vizek talál-



1. ábra A Budai Termálkarszt és a rózsadombi megcsapolódási terület elhelyezkedése

1 – fedetlen mezozoós karbonátok, 2 – Budai termálkarszt, 3 – feltételezett utánpótlódási terület, 4 – megcsapolódási terület, 5 – Budapest

Figure 1. Location of the Buda Thermal Karst and the Rózsadomb discharge area 1 – unconfined mesozoic carbonates, 2 – Buda Thermal Karst, 3 – theoretical recharge area, 4 – discharge area, 5 – Budapest

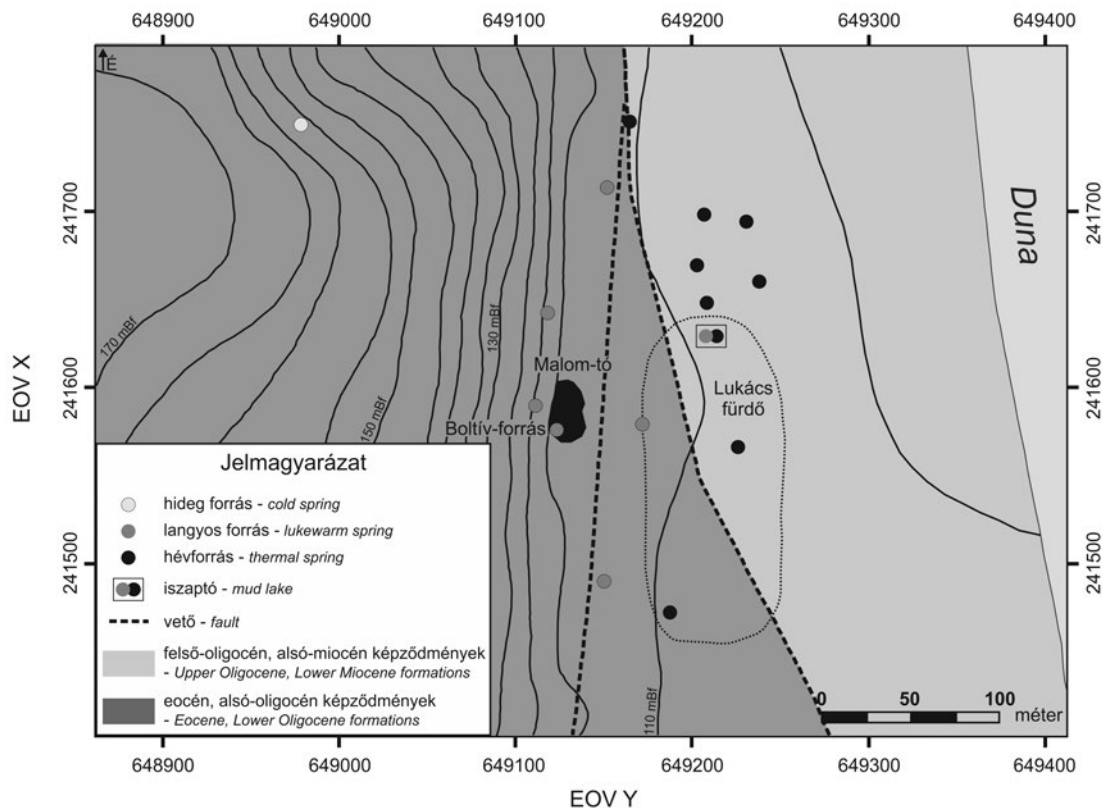
hatóak a területen. Néhány forrás, mint például a Boltív-forrás, azonban továbbra is fenn maradt.

Ezen antropogén hatásra módosult megcsapolódás mintázatának megértése szempontjából kiemelt fontosságú a Dunának, mint a terület fő erózióbázisának a szerepe. Már korán megfigyelték, hogy a Duna magas vízállása idején a források vize felmelegszik (WERNHER

1551, LINZBAUER 1837). A Duna medrében megcsapolódó szökevényforrásokat, melyeken keresztül a folyó hat a forrásokra SCHAFARZIK (1920) fedezte fel. Felismerték továbbá, hogy a Duna vize anélkül hat a forrásokra, hogy keveredés történne (pl. PÁLFY 1921, PAPP 1936, ALFÖLDI et al. 1968). A Duna vízállásának hatását a források és a talajvíz paramétereire hosszabb időtávú mérésekkel és matematikai módszerekkel is alátámasztották a Gellért-hegyi és a rózsadombi megcsapolódási területen egyaránt (NÉMET-BUCSI 2006, SOMOGYI 2009, PÁLL-SOMOGYI 2010; STRICZKI 2010, MÁDLNÉ SZŐNYI et al. 2013).

ALFÖLDI et al. (1968) értékelése szerint a kutakban mért vízszintek változása összefügg a csapadékeseményekkel, illetve a Duna vízállásával, megállapításuk alapján az utóbbi befolyásolja jobban. Ez utóbbi állítást helyszíni méréseken nyugvó adatokkal vizsgáltuk és elemeztük (BODOR et al. 2014). Eredményeink a korábbi megfigyeléseket támasztják alá, miszerint a Duna áradásai során a szökevényforrások megcsapolódásának a parti zónába való áttevődése miatt az ottani források és felszín alatti víz paramétere megváltoznak.

A megcsapolódást befolyásoló másik fontos tényező lehet a csapadék. Jelen tanulmányunkban ezt kívánjuk szisztematikus adatokkal alátámasztva elemezni. Azt vizsgáljuk, hogy a megcsapolódási területen, illetve a langyos vizek feltételezett utánpótlódási területén hogyan jelentkezik a csapadék hatása. Előbbit egy természetes megcsapolódású langyos forrásra, a



2. ábra. A rózsadombi megcsapolódási terület egykori forrásainak elhelyezkedése (LIEB 2004; ERŐSS 2010 után módosítva)

Figure 2. Location of the old springs of the Rózsadomb discharge area (after LIEB 2004; ERŐSS 2010)

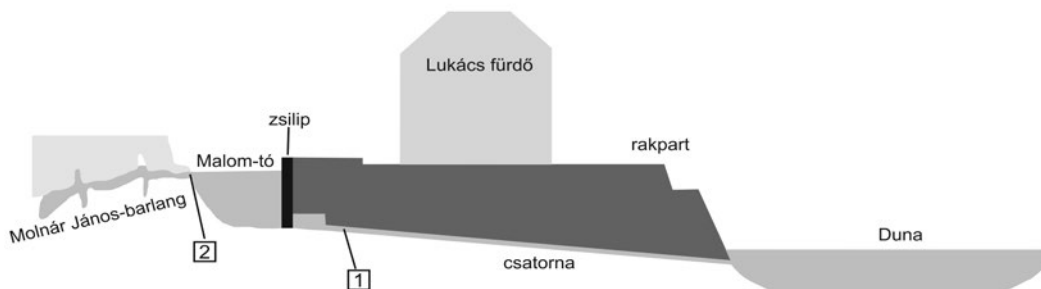
Boltív-forráson, és a hozzá kapcsolódó Molnár János-barlang és Malom-tó rendszerén keresztül vizsgáljuk (2. ábra). Az utánpótlódási területen hét karsztvízszint-megfigyelő kutat elemzünk a kérdés megválaszolása érdekében.

Adatok

A terület paramétereinek vizsgálata és összehasonlítása a csapadékeseményekkel a Boltív-forrás elemzésén keresztül történt. E forrás a Molnár János-barlangból lép ki egy hasadékán keresztül a Malom-tóba, majd onnan egy elvezető csatornán keresztül vize jelenleg hasznosítatlanul a Dunába kerül (3. ábra). 2012. október 19. és 2013. június 3. között négy naponta mértük a forrás vízhozamát, hőmérsékletét, fajlagos elektromos vezetőképességét és pH-ját a Malom-tavat a Dunával összekötő csatornában (1. mérési pont, 3. ábra). A vízhozamot forgószárnyas sebességmérővel a csatorna nedvesített kereszt-

A csapadék utánpótlódási területen való hatását hét rózsadombi karsztvízszint-megfigyelő kút: Adyiliget Al-1., Apáthy-szikla Asz-1., Pálvölgy Pv-1., Máriaremete Mr-1., Filmlabor B-14., Budakeszi Bk-1., Városmajor Vm-1. adatain keresztül vizsgáltuk (4. ábra). A térképen a rózsadombi források feltételezett utánpótlódási területét is jeleztük. A fent említett kutakból rendelkezésünkre álló vízszintadatokat a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság bocsátotta rendelkezésünkre. Az egyes kutak vízszint adatai eltérő időszakokra vonatkoznak, ezeket az 1. táblázat mutatja.

A csapadékadatokra vonatkozóan havi csapadékösszeg adatokat használtunk, mely adatok 1901. január és 2000. december között a http://owwww.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/bp/Navig/Index2.htm honlapon érhetőek el, míg a 2001. január utáni adatok az Országos Meteorológiai Szolgálat Könyvtárában lévő havi jelentésekből származnak. A csapadékmennyiség mérése az Országos Meteorológiai Szolgálat Kitaibel Pál utcai székházában (OMSZ) történt (4. ábra).



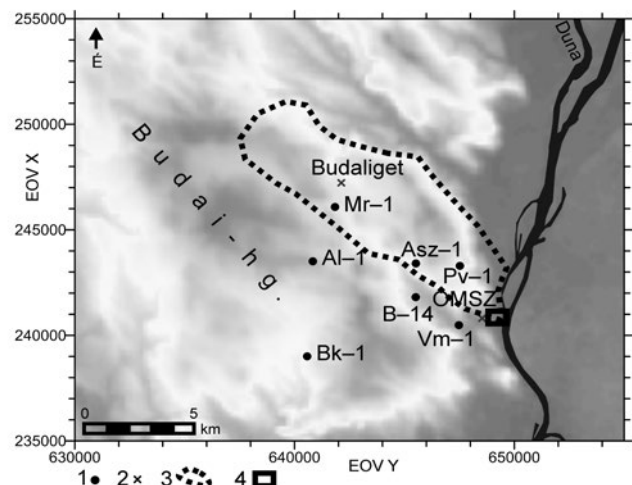
3. ábra. Keresztszelvény a Molnár János-barlang - Boltív-forrás - Malom-tó rendszerről (MÁDL-SZÖNYI et al. 2001 után módosítva)
1 – forrás paramétereinek mérési helyszíne az elvezető csatornában; 2 – Dataqua műszer helye a forrás hasadékában

Figure 3. Cross section of the Molnár János Cave - Boltív Spring - Malom Lake system (after MÁDL-SZÖNYI et al. 2001)

1 – location of the measurements of the spring's physicochemical parameters in the canal; 2 – location of the Dataqua device in the enlarged fracture of the spring

metszetének ismeretében határoztuk meg, míg a többi paramétert WTW Multi 3430i típusú készülékkel mértük. A műszer pontossága 1%, felbontása 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fajlagos elektromos vezetőképesség és 0,1 $^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet esetén. A fajlagos elektromos vezetőképességet 25 $^{\circ}\text{C}$ -ra vonatkoztatva adja meg.

A kézi mérések mellett a Malom-tóba, a Boltív-forrás hasadékához telepített, folyamatosan mérő Dataqua DA-S-LKTRB 122 típusú műszer adatait is felhasználtuk (2. mérési pont, 3. ábra). A készülék pontossága vízszint esetén 0,1%, hőmérséklet esetében 0,1 $^{\circ}\text{C}$, fajlagos elektromos vezetőképesség esetén pedig 1%, a fajlagos elektromos vezetőképességet szintén 25 $^{\circ}\text{C}$ -ra vonatkoztatva adja meg. A műszer 2012. október 19. és 2013. június 30. között óránként mérte a vízszintet, a víz hőmérsékletét és fajlagos elektromos vezetőképességét. Ezen mért adatok változékonyságát hasonlítottuk össze a napi csapadékmennyiségekkel. A napi csapadékmennyiség adatai a budaligeti meteorológiai állomásról származnak, azokat az időkép.hu biztosította számunkra. Ez a meteorológiai állomás a langyos források feltételezett utánpótlódási területén található (4. ábra).



4. ábra. A vizsgált karsztvízszintmegfigyelő kutak és meteorológiai állomások elhelyezkedése a rózsadombi langyos források feltételezett utánpótlódási területének feltüntetésével (MÁDL-SZÖNYI et al. 2001 alapján)

1 – karsztvízszint megfigyelő kút, 2 – meteorológiai állomás, 3 – feltételezett utánpótlódási terület, 4 – megcsapolódási terület (2. ábra) -

Figure 4. Location of the examined karst water level wells, the meteorological stations and the theoretical recharge area of the lukewarm springs (after MÁDL-SZÖNYI et al. 2001)

1 – karst water level observation well, 2 – meteorological station, 3 – theoretical recharge area, 4 – discharge area (Figure 2)

I. táblázat. A karsztvízszint megfigyelő kutak (4. ábra) éves átlagvízszint értékei mBf-ben az észlelési időszakokban (szürke sávok) és az értékelés során figyelembe vett időszak kezdete (vastag vonal)

Table I. Annual karst water level values (m asl) in the measured periods (grey) and the beginning of the examined period (thick line)

	Adyliget	Apáthy-szikla	Máriaremete	Pálvölgy	Filmlabor	Budakeszi	Városmajor
1968			124,21	133,85			
1969			124,24	135,16		130,21	104,36
1970		128,14	124,08	138,61		130,38	104,36
1971		127,92	124,10	137,71		130,88	103,97
1972		127,85	124,01	135,46		130,91	104,16
1973		127,58	123,34	134,25		129,92	104,22
1974		127,36	122,81	137,70		129,11	104,41
1975		127,26	122,70	135,66		129,27	104,34
1976		127,19	122,62	135,21		129,26	104,05
1977		127,41	123,19	139,08		130,15	104,61
1978		127,60	123,31	136,10		129,75	104,72
1979		127,34	123,18			129,18	104,49
1980			123,39	154,96		129,89	104,57
1981			123,45	156,22		129,29	104,62
1982			123,33	114,68		129,64	104,64
1983			123,13	111,95		129,79	104,90
1984			122,91	113,74		129,63	104,80
1985			122,68	111,47		129,61	104,74
1986			122,65	113,80		129,64	
1987			121,48	113,34		129,63	
1988	123,25	115,99	121,38	126,36	118,12	129,94	103,56
1989	123,08	116,01	121,20	127,37	118,27	130,15	103,61
1990	122,72	115,81	120,79		118,30	130,69	103,66
1991	121,92	115,61	120,39		118,31	130,25	103,69
1992	121,67	115,43	120,19	118,16	117,88	130,18	103,65
1993	121,50	114,99	119,77	122,09	117,68	129,85	103,66
1994	121,25	115,02	119,78	114,68	117,66	130,03	103,78
1995	121,03	114,90	119,81	111,34	117,32	129,93	103,77
1996	121,14	115,07	120,10	117,43	117,39	129,98	103,99
1997	121,35	115,05	120,18	118,18	117,80	130,08	103,85
1998	121,35	115,06	119,97	113,04	117,76	129,52	103,85
1999	121,39	115,21	120,25	113,03	117,75	129,49	103,93
2000	121,74	115,61	120,91	112,55	117,88	130,00	103,69
2001	122,20	115,86	121,39	112,21	117,86	130,21	
2002	122,19	115,78	120,97	112,51	117,74	130,16	
2003	122,14	115,81	120,75	112,35	117,69	130,06	103,58
2004	121,99		120,67	113,47	117,64	129,71	103,55
2005	122,04		120,48	113,09	117,80	130,01	103,56
2006	122,56		120,86	114,42	118,22	130,18	103,61
2007	122,90		121,20	142,21	118,33	129,62	103,55
2008	122,98		121,14	140,95	118,17	129,06	103,50
2009	123,01		121,20	146,70	118,18	128,90	103,46
2010	123,26		121,74	126,59	118,53	128,79	103,70
2011	123,89		122,74	120,57	119,43	130,14	103,62
2012	124,45		122,76	112,42	119,10	129,69	103,60
2013	124,70		122,71	115,64	119,08	129,31	103,66

Módszerek

A paraméterek alakulásának összehasonlításához diagramokat készítettünk, illetve leíró statisztikát, majd a kapcsolat számszerűsítésére korrelációt és keresztkorre-

lációt alkalmaztunk. A korreláció a csapadékesemények azonnali hatásának, míg a keresztkorreláció késleltetett hatásának kimutatására alkalmas. A lineáris kapcsolat erősségét a korrelációs együttható fejezi ki, melynek értéke -1 és 1 között változhat. Az $|0,75|$ -nél nagyobb korrelációs

együttható esetén a vizsgált paraméterek között a lineáris kapcsolatot erősnek tekintjük, míg 0 esetén korrelálatlanok, azaz nincsen közöttük lineáris kapcsolat. A korrelációs együttható negatív előjele azt jelzi, hogy a két vizsgált paraméter között fordított a kapcsolat, azaz az egyik paraméter növekedése esetén a másik paraméter csökkenése figyelhető meg.

Az utánpótlódási területen, a karsztvízszint-megfigyelő kutak vízszintjeiből diagramok készítése mellett két módszert alkalmaztunk. Az egyik az ún. „integrált csapadék / beszivárgási eltérések módszer” (MÁDLNÉ SZŐNYI 1994), a másik pedig a dinamikus faktoranalízis. Az előbbi módszer elvi megfontolása, hogy az egyes csapadékesemények nem tudnak közvetlen hatást kifejteni egy olyan nagy vertikális kiterjedésű karsztrendszerben, mint a Budai termálkarszt. Ezzel szemben az ún. integrált csapadék, vagyis a sokévi átlagszapadéktól való eltérések összegzett értéke megjelenhet a kutak vízszintalakulásában (MÁDLNÉ SZŐNYI 1994). A módszer lényege, hogy évtizedes időszakokra nézve vizsgálja az átlagos vízszintek alakulását és ezek átlagtól való eltéréseit hasonlítja össze a sokéves átlagszapadéktól való integrált csapadékelérésekkel. Ehhez a karsztvízszint-megfigyelő kutak adatait 1988-tól vettük figyelembe, mivel ettől az időszaktól már mindegyik kútnak vannak adatai és elhanyagolható az adathiányos időszak (I. táblázat).

A másik módszer a dinamikus faktoranalízis, mely a háttérhatások meghatározására alkalmas. Alkalmazásának alap gondolata, hogy látszólag nagyon összetett időfüggő véletlen folyamatokat gyakran csupán néhány — általában lényegesen egyszerűbb dinamikus struktúrával rendelkező — háttérhatás vagy tényező vezérel. A háttérhatások meghatározásához a faktoranalízis a statisztika alapvető eszköze (KOVÁCS et al. 2004). A faktoranalízis többdimenziós idősorokra alkalmazva nem szolgáltat korrekt eredményt, különösen akkor, amikor késleltetett összefüggés van az egyes komponensek között (ANDERSON 1963). Ennek oka, hogy a hagyományos faktoranalízist független megfigyelésekre fejlesztették ki, s e függetlenség az idősorokra nem áll fenn. E tény olyan eljárás alkalmazását igényli, mely figyelembe veszi a megfigyelések dinamikus jellegét. A vizsgált területen a dinamikus faktoranalízis lehetővé teszi, hogy meghatározzuk, melyek azok a háttértényezők (faktorok) amelyek a vízszint idősorok viselkedését alakítják. A faktorok és súlytényezőik meghatározhatóak. Utóbbiak a vízszint-idősorok alakulását meghatározó tényezők intenzitására utalnak. A számítások nyomán egy hatás erőssége minden megfigyelési helyen meghatározottá válik, aminek következtében térbeli eloszlása is megadható. Az itt alkalmazott faktoranalízis modell a faktor-idősorokat autoregressziós jellegűnek tételezi fel, és egy olyan költségfüggvényt minimalizál, mely az előrejelzés és az állapotbecslés feltételes varianciájának lineáris kombinációja, biztosítva ezáltal, hogy a faktorok jól előrejelezhetőek és az eredeti idősorok belőlük jól reprodukálhatóak legyenek (MÁRKUS et al. 1999). Ennél a módszernél is 1988-tól vettük figyelembe a karsztkutak vízszintadatait.

Eredmények

A csapadék hatásának elemzése a megcsapolódási területen

A Boltív-forrás elvezető csatornájában (1. mérési pont, 3. ábra) mért paraméterek leíró statisztikáit tartalmazó II. táblázatból látszik, hogy a vizsgált időszakban a vízhozam 6549–11 202 m³/nap és a fajlagos elektromos vezetőképesség 812–1613 μS/cm tartományban változott, ami számottevő változékonyságot jelez. A hőmérséklet 20–21,8 °C között, szűkebb tartományban mozgott. A forrás paramé-

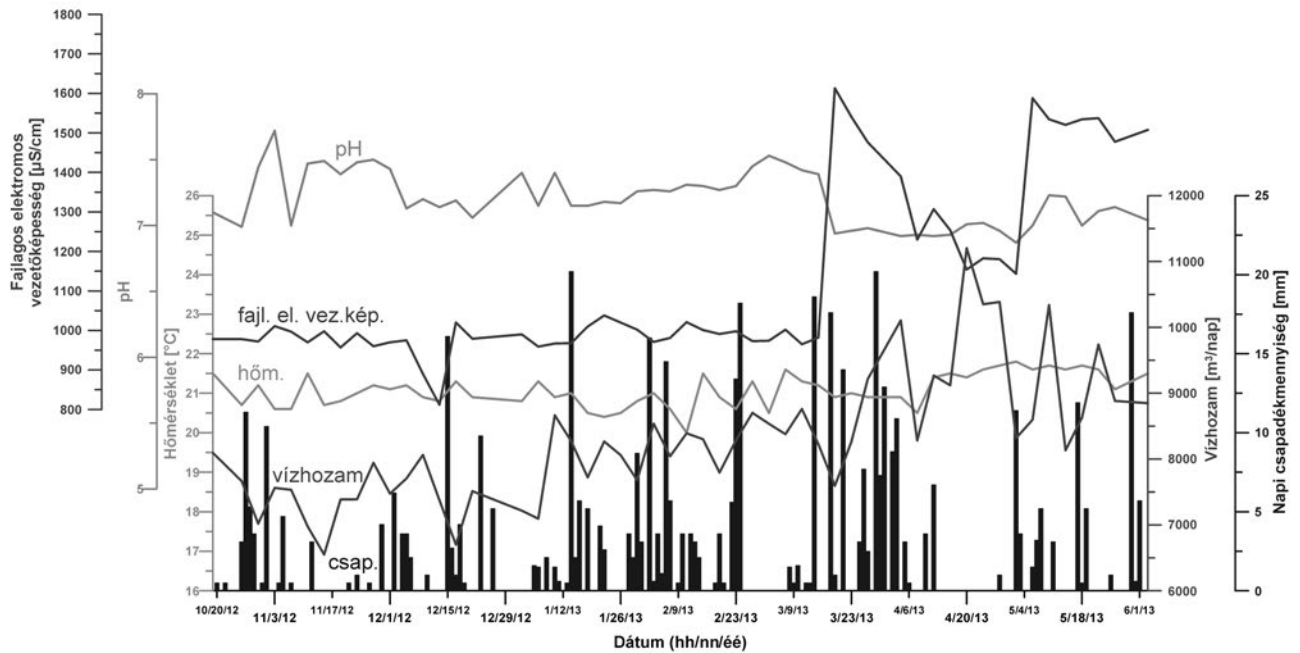
II. táblázat. A Boltív-forrás elvezető csatornájában (1. mérési pont, 3. ábra) mért paraméterek alapstatisztikája

Table II. Descriptive statistics of the physicochemical parameters measured in the canal of Boltív Spring (Figure 3., measuring point 1)

	Vízhozam [m ³ /nap]	Hőmérséklet [°C]	Fajlagos elektromos vezetőképesség [μS/cm]	pH	Napi csapadékmennyiség [mm]
Minimum	6549	20	812	6,87	0
Maximum	11202	21,8	1613	7,72	20,2
Átlag	8285,99	21,08	1121,59	7,20	2,19
Szórás	976,572	0,419	224,218	0,204	4,279
Relatív szórás	0,118	0,020	0,200	0,028	1,952
Medián	8261	21	1001	7,18	0
Darabszám	53	53	53	53	228

tereit a napi csapadékmennyiséggel ábrázoló diagramon azt láthatjuk, hogy több jelentősebb (10–15 mm-t meghaladó) több napos csapadékesemény is volt 2012 októberre és 2013 júniusra között. Emellett voltak 1–2 hetes csapadékmentes időszakok is, például 2012 novemberében, 2013 januárjában, február–márciusában és áprilisában (5. ábra). A paraméterek időbeli alakulását nézve azt láthatjuk, hogy az átlagos vízhozam 2013 márciusáig alacsonyabb volt (8000–8500 m³/nap) és kisebb mértékben ingadozott, míg március után akár 2000 m³ eltérés is volt két mérés között (négy nap alatt) (5. ábra). A fajlagos elektromos vezetőképesség hasonlóan alakult. 2013 márciusáig 1000 μS/cm körül ingadozott, majd egy hatalmas ugrást (~700 μS/cm) követően értéke szélsőségesebben változott (5. ábra). A hőmérséklet jelentős mértékben nem változott a vizsgált időszakban, míg a pH-ban szintén 2013 márciusában látható egy nagyobb ugrás (~0,5) (5. ábra).

A másik mérési pontot (2. mérési pont, 3. ábra) a Malomtőbe telepített Dataqua műszer jelentette. A műszer időnként elmozdult a helyéről, amit a vízszint hirtelen és nagymértékű változása okozott. E probléma kiküszöbölésére három időszakra osztottuk fel a vizsgálati időszakot és ezeket külön vizsgáltuk az egyes módszerekkel. A leíró statisztikában látszik, hogy mindegyik paraméter szűk tartományban változott, különösen a hőmérséklet, melynek változása a műszer hibahatárán (0,1 °C) belül van (III. táblázat). A relatív szórás,



5. ábra. A Boltív-forrás elvezető csatornájában (1. mérési pont, 3. ábra) mért paraméterek és a napi csapadékmennyiség (Budaliget) kapcsolata

Figure 5. Graph of the physicochemical parameters measured in the canal of Boltív Spring (Figure 3., measuring point 1) and the daily precipitation (Budaliget meteorological station)

III. táblázat. A Malom-tóban, a Boltív-forrás hasadékában (2. mérési pont, 3. ábra) rögzített adatok (Dataqua) alapstatisztikái az egyes mérési időszakokra

Table III. Descriptive statistics of the physicochemical parameters measured by the Dataqua device in the enlarged fracture of Boltív Spring (Figure 3, measuring point 2)

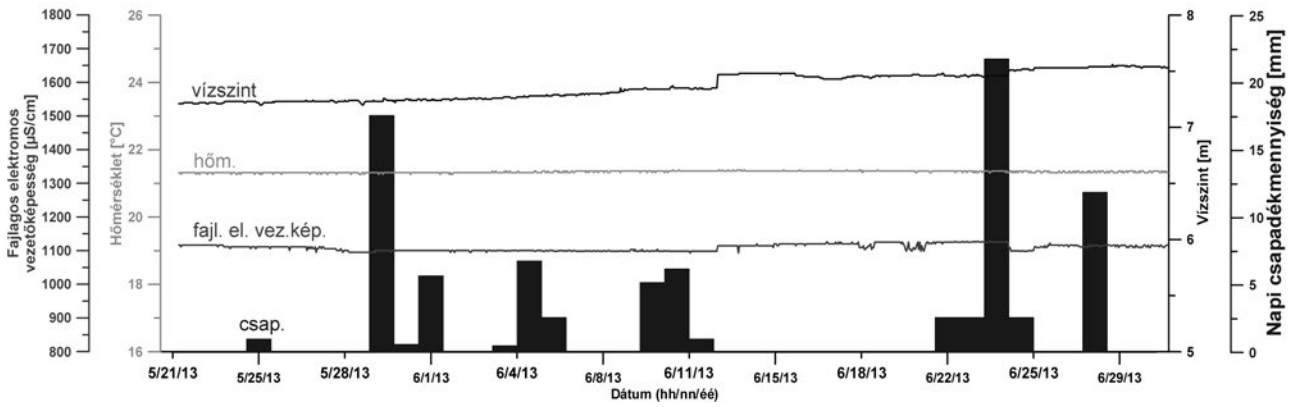
	Vízszint [m]	Hőmérséklet [°C]	Fajlagos elektromos vezetőképesség [S/cm]	Napi csapadékmennyiség [mm]
2012. november 7. – 2013. január 31.				
Minimum	7,34	21,32	955,604	0
Maximum	7,71	21,45	1066,947	20,2
Átlag	7,4864	21,3945	1016,9531	1,6948
Szórás	0,040	0,014	17,195	3,434
Relatív szórás	0,005	0,001	0,017	2,026
Medián	7,48	21,4	1008,573	0
Darabszám	2036	2036	2036	77
2013. február 1. – 2013. április 9.				
Minimum	6,86	21,27	1092,891	0
Maximum	7,59	21,4	1127,403	20,2
Átlag	7,2661	21,3601	1107,7556	3,4179
Szórás	0,082	0,036	4,428	5,632
Relatív szórás	0,011	0,002	0,004	1,648
Medián	7,26	21,37	1109,106	0,5
Darabszám	1608	1608	1608	67
2013. május 21. – 2013. június 30.				
Minimum	7,2	21,27	1096,267	0
Maximum	7,56	21,4	1125,928	21,8
Átlag	7,3669	21,3443	1109,066	2,2175
Szórás	0,117	0,029	9,697	4,814
Relatív szórás	0,016	0,001	0,009	2,171
Medián	7,34	21,37	1111,158	0
Darabszám	960	960	960	40

az adatok változékonysága is nagyon kicsi, különösen a csapadék relatív szórásához képest.

Az egyes vizsgált időszakokat külön diagramon ábrázoltuk, ezek közül csak a 2013. május 21. – 2013. június 30. közötti időszak diagramját mutatjuk be, mely a 2013. évi dunai nagy árvíz időszaka. A diagramon látható, hogy a paraméterek alig változtak (6. ábra).

A csapadék hatásának elemzése az utánpótlódási területen

A budai területen található hét karsztvízszint-megfigyelő kút közül hat vízszintidősort vizsgáltuk 1988-tól 2013-ig. Mindegyik kútban csak pár méteres változás mutatható ki a kb. 2 és fél évtized alatt, kivéve a Pálvölgy kútban (IV. táblázat). A vízszintváltozások könnyebb összehasonlíthatósága miatt a vízszintadatokat normáltuk és azokat az integrált csapadékeléréssel együtt ábrázoltuk (7. ábra). A kutak karsztvízszint-változásainak jobb átláthatósága érdekében a normált értékekhez az Adyliget kút kivételével mindegyik kút esetében hozzáadtunk egy konstans értéket. A Pálvölgy kút vízszintjének alakulását nem ábrázoltuk, mert a fúrásleírás alapján itt függő víztartót feltételezhetünk, ezért ezt a kutat nem tekintettük reprezentatívnak kérdéseink megválaszolása szempontjából. Függetlenül a víztartóra utal az is, hogy a közelben lévő Mátyáshegyi-barlang száraz járatai a mért nyugalmi vízszint alá nyúlnak, ugyanakkor a mesterséges hatás jelenléte sem zárható ki. A 4. ábra alapján a megmaradó kutak közül a Máriaremete és az Apáthy-szikla kutak esnek a feltételezett rózsadombi utánpótlódási területre.



6. ábra. A Malom-tóban, a Boltív-forrás hasadékában (2. mérési pont, 3. ábra) rögzített adatok (Dataqua) és a napi csapadékmennyiség (Budaliget) a 2013. évi dunai nagy árvíz idején, május 21. és június 30. között

Figure 6. Graph of the physicochemical parameters measured by the Dataqua device in the enlarged fracture of Boltív Spring (Figure 3., measuring point 2) and the daily precipitation (Budaliget meteorological station) between 21st May and 30th June, at the time of the big flood of River Danube in 2013

IV. táblázat. A karsztvízszint megfigyelő kutak vízszintjeinek alapstatisztikái mBf-ben

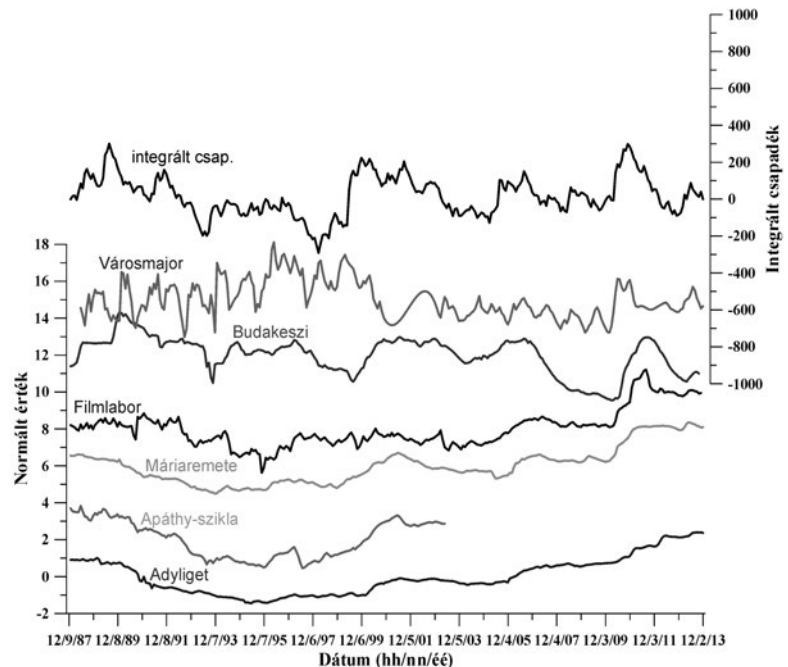
Table IV. Descriptive statistics of the karst water level wells (m asl)

	Adyliget	Apáthy-szikla	Pálvölgy	Máriaremete	Filmlabor	Budakeszi	Városmajor
Minimum	120,95	114,82	110,52	119,60	116,84	128,76	103,34
Maximum	124,72	116,18	152,98	122,98	119,73	130,90	104,17
Átlag	122,37	115,44	119,71	120,92	118,07	129,85	103,67
Szórás	0,980	0,403	10,427	0,873	0,518	0,447	0,162
Relatív szórás	0,008	0,003	0,087	0,007	0,004	0,003	0,002
Medián	122,15	115,48	115,87	120,82	118	129,96	103,62
Darabszám	312	185	304	312	311	310	307

Látható, hogy négy kút (Adyliget, Apáthy-szikla, Filmlabor, Máriaremete) esetében a jelleg hasonló, az 1997-es vízszint minimumot növekedés követi, 2000 elején maximum van. Ez a mintázat az integrált csapadék esetében is megfigyelhető (7. ábra).

Megvizsgáltuk a kutak havi átlagvízszintje és az integrált csapadékelterés közötti sztochasztikus kapcsolatot. A rózsadombi források feltételezett utánpótlódási területére eső Apáthy-szikla esetében magas (0,731), a Máriaremete (0,44) esetén közepesen magas értéket kaptunk. A Filmlabor (0,373) és az Adyliget (0,359) kutak esetében közepesen magas, míg a Budakeszi (0,233), a Pálvölgy (0,062) és a Városmajor (−0,174) kutak esetében alacsony korrelációs együtthatókat kaptunk (V. táblázat).

A kutak hidrográfjaiból három faktoridősört becsültünk. Ezek közül az első — ami a legerősebb hatást is jelenti a (becsült) háttértényezőik közül — az integrált csapadékelteréssel magas korrelációs együttható (0,733) adott. A többi faktoridősor azonosí-



7. ábra. A karsztvízszint megfigyelő kutak normált vízszint értékei és az integrált csapadékelterés 1988. január 1. és 2013. december 2. között

Figure 7. Normalized karst water level values and deviation of the integrated precipitation between 1 January 1988 and 2 December 2013

V. táblázat. A karsztvízszint megfigyelő kuttakban mért havi átlagvízszintek és az integrált csapadékelterés korrelációs együtthatói

Table V. Correlation coefficients between the monthly average karst water levels and the deviation of the integrated precipitation

Vízszint		Integrált csapadék
	Adyliget	0,359
	Apáthy-szikla	0,731
	Pálvölgy	0,062
	Máriaremete	0,440
	Filmlabor	0,373
	Budakeszi	0,233
	Városmajor	-0,174

VI. táblázat. A dinamikus faktoranalízissel kapott súlytényezők

Table VI. Factor loadings of the dynamic factor analysis

	Súlytényező
Adyliget	0,7354
Apáthy-szikla	0,6958
Pálvölgy	0,0725
Máriaremete	0,6874
Filmlabor	0,4353
Budakeszi	0,4216
Városmajor	-0,3849

tására magyarázó paraméterek hiányában nem volt lehetőségünk. A vizsgált vízszint idősorokban az első faktoridősor a VI. táblázatban megadott intenzitásértékekkel vesz részt.

Értelmezés, az eredmények diszkussziója

A Boltív-forrás paramétereiben a hőmérséklet kivételével 2013 márciusában történt számottevő és gyors változás (fajlagos elektromos vezetőképesség megnőtt, pH lecsökkent, vízhozam lecsökkent, majd jelentősen ingadozott) (5. ábra). Ennek oka nem a Duna áradása (LOVRITY & BODOR 2014) és csapadékesemény sem indokolja. A változás jellegeből adódóan mesterséges beavatkozásra lehet gyanakodni. A Malom-tóból az elvezető csatornába egy zsilipen keresztül kerül a víz (3. ábra). A zsilip nyílása állítható, feltételezhető, hogy ebben az időszakban állították a zsilipen, de erről nem adtak tájékoztatást. Másik lehetséges ok, hogy a Malom-tóban, illetve a tó felszínén megtelepülő vízi növények (8. ábra) eltömítették a zsilip nyílásának egy részét. Ez utóbbi hatás kialakulása feltehetően fokozatos, ezért inkább az előbbi valószínűsíthető.

Azaz a paraméterekben bekövetkező változások csapadékeseményektől való függése nem egyértelmű és a diagram alapján azok időbeli alakulását sem indokolják (5. ábra). Ezt támasztják alá a korrelációs együtthatók is, melyek értéke (-0,155 – -0,051) gyenge kapcsolatot jelez a napi csapadékmennyiség és a mért paraméterek között (VII. táblázat).



8. ábra. A Malom-tó növényzettel borított vízfelszín

Figure 8. Water surface of the Malom Lake

VII. táblázat. A Boltív-forrás elvezető csatornájában (1. mérési pont, 3. ábra) mért paraméterek és a napi csapadékmennyiség (Budaliget) korrelációs mátrixa

Table VII. Correlation matrix of the physicochemical parameters measured in the canal of Boltív Spring (Figure 3., measuring point 1) and the daily precipitation (Budaliget meteorological station)

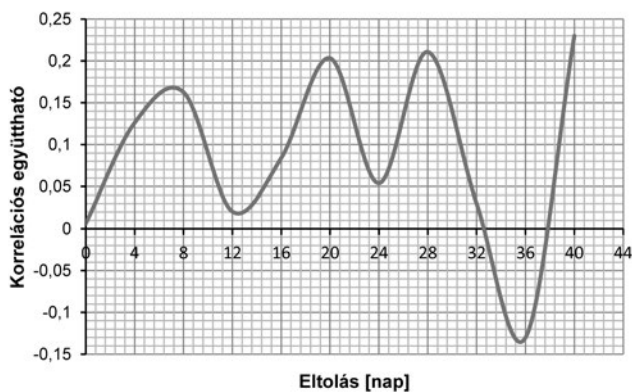
	Vízhozam [m ³ /nap]	Hőmérséklet [°C]	Fajlagos elektromos vezetőképesség [μS/cm]	pH	Napi csapadékmennyiség [mm]
Vízhozam [m ³ /nap]	1				
Hőmérséklet [°C]	0,380	1			
Fajlagos elektromos vezetőképesség [μS/cm]	0,487	0,388	1		
pH	-0,417	-0,22	-0,545	1	
Napi csapadékmennyiség [mm]	-0,051	-0,099	-0,138	-0,156	1

A Dataqua műszer által rögzített paraméterek és a napi csapadékmennyiség között szintén alacsonyak a korrelációs együtthatók (VIII. táblázat). Vagyis eredményeink alapján elmondható, hogy a megcsapolódási területen a langyos források utánpótlódási területén lehullott napi csapadékmennyiség gyenge kapcsolatot mutat a vizsgált Boltív-forrás paramétereinek változásaival. A kereszt-korreláció is ugyanazt az eredményt hozta a kézi mérések és a műszer adataira is. Eszerint a csapadék késleltetett hatása sem jelentkezik a langyos forrás paramétereiben. A kereszt-korrelációs együtthatók értéke alapján a csapadék és a paraméterek korrelálatlanok, azaz nincs közöttük lineáris kapcsolat (9. ábra). Az alacsony korrelációs együttható-értékek részben a mintavételezési frekvenciában, illetve a karsztokban zajló folyamatok nem lineáris jellegében keresendők. A korábbi megállapításokkal (ALFÖLDI et al. 1968) összhangban a mögöttes karsztrendszer nagysága, nagy tározókapacitása is hozzájárulhat a csapadék közvetlen hatásának tompításához (MÁDL-SZÓNYI & TÓTH 2015). Azt sem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy csak egy meteorológiai (Budaliget) állomáson mért napi csapadékmennyiséget vettük figyelembe. Végül, talán a legfontosabb, hogy a megcsapolódási területen a Duna vízállásának jelenlegi elemzéssel is bizonyított hatása

VIII. táblázat. A Malom-tóban, a Boltív-forrás hasadékaiban (2. mérési pont, 3. ábra) rögzített adatok (Dataqua) és a napi csapadékmennyiség (Budaliget) korrelációs mátrixa

Table VIII. Correlation matrix of the physicochemical parameters measured by the Dataqua device in the enlarged fracture of Boltív Spring (Figure 3., measuring point 2) and the daily precipitation (Budaliget meteorological station)

	Vízszint [m]	Hőmérséklet [°C]	Fajlagos elektromos vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Napi csapadékmennyiség [mm]
2012. november 7. – 2013. január 31.				
Vízszint [m]	1			
Hőmérséklet [°C]	-0,020	1		
Fajlagos elektromos vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	-0,133	0,265	1	
Napi csapadékmennyiség [mm]	-0,118	-0,038	-0,188	1
2013. február 1. – 2013. április 9.				
Vízszint [m]	1			
Hőmérséklet [°C]	0,009	1		
Fajlagos elektromos vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	-0,127	-0,762	1	
Napi csapadékmennyiség [mm]	-0,264	-0,085	0,067	1
2013. május 21. – 2013. június 30.				
Vízszint [m]	1			
Hőmérséklet [°C]	0,553	1		
Fajlagos elektromos vezetőképesség [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	0,553	0,254	1	
Napi csapadékmennyiség [mm]	0,032	-0,005	0,031	1



9. ábra. A Boltív-forrás vízhozamának és a napi csapadékmennyiség (Budaliget) keresztkorrelációs diagramja

Figure 9. Cross correlation graph of the volume discharge of Boltív Spring and the daily precipitation (Budaliget meteorological station)

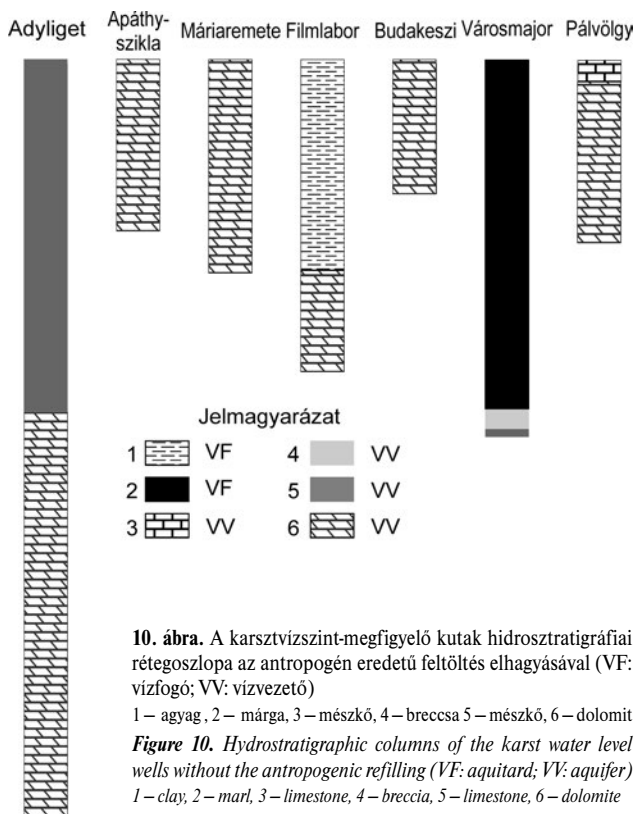
(BODOR et al. 2014) valószínűleg felülírja a csapadék hatását.

A tanulmányozott rendszer utánpótlódási területén vizsgált hét karsztvízszint-megfigyelő kútban sikerült kimutatni mindkét módszer alkalmazásával, hogy a karsztvízszint-idősorok mintázatát az integrált csapadékelterés befolyásolja, vagyis a többéves csapadékos és csapadékszegény időszakok bírnak jelentős hatással a vízszintidősor alakulására. A faktoridősor azonosítása nyomán megadható az adott hatásnak az idősorokban megjelenő intenzitása. Ez alapján megállapítható, hogy nem mindegyik kútban ugyanolyan erős a hatás. Leginkább az Adyliget, Apáthy-

szikla és Máriaremete kutak (az utóbbi kettő a rózsadombi források utánpótlódási területére esik) esetében mutatható ki, mely kutak vízszintjének mintázata jelentős hasonlóságot mutat az integrált csapadékelteréssel (7. ábra). Ez alátámasztja a diagram alapján tett feltevést, miszerint az Adyliget, az Apáthy-szikla, a Filmlabor és a Máriaremete kutak vízszintjének lefutásában látható mintázat hasonlóságot mutat az integrált csapadékelteréssel. Azaz már az utánpótlódási terület vízszintjeinek alakulásában sem a közvetlen csapadék, hanem sokkal inkább annak többéves trendje érvényesül. Az integrált csapadékelterés és a havi átlagvízszintek közötti alacsony korrelációs együtthatókban (V. táblázat) azonban ezen túlmenően más hatás is szerepet játszik.

A városmajori kút mindkét módszer alapján gyenge kapcsolatban áll az integrált csapadékelteréssel, a dinamikus faktoranalízisnél a súlytényező értéke alacsony, vagyis a lineáris kapcsolat gyenge. A fúrásleírások alapján ennek oka lehet, hogy míg a többi kút esetében a szűrőzött karbonátok fedetlenek, addig itt fedett helyzetben van a víztartó (10. ábra). Ezen kívül ez a kút mészkőre van szűrőzve, míg a többi dolomitra. A Dunántúli-középhegységre végzett vizsgálatok alapján a mészkőre és a dolomitra szűrőzött kutak vízjárása között eltérés mutatható ki, s a mészköves kutak vízjárása változékonyabb (MÁDLNÉ SZŐNYI 1994).

A dinamikus faktoranalízis során két további faktoridősort becsültünk. Ezen háttérhatásokat jelen tanulmányban nem vizsgáltuk, de feltételezhetően részben emberi hatásra vezethetők vissza. Az egyik ilyen hatás lehet a



Dunántúli-középhegységben az 1970-es években kezdődő és a '90-es évekre befejeződő bányavíz-telenítés, melynek hatása a Budai-hegységben is kimutatható volt (CSEPREGI 2007). Ez indokolhatja, hogy a bányabezárásokat követően, az évtized második felétől növekvő trend figyelhető meg a kutak vízszintjében (7. ábra).

Összefoglalás

Munkánk során a Molnár János-barlang – Boltív-forrás – Malom-tó rendszerén keresztül folyamatos méréssel és

észleléssel vizsgáltuk, hogy az utánpótlódási területen lezuhlott csapadékmennyiségek befolyásolják-e a rózsadombi megcsapolódási terület langyos forrásainak paramétereit. Továbbá a feltételezett utánpótlódási területen található észlelő kutak hosszú idejű vízszintészlelésein keresztül az integrált csapadékelterés hatását elemeztük a megfigyelő kutak vízszintjeire.

A részletes észlelések és a statisztikai feldolgozás részben megerősítették a korábbi szerzők által megállapított következtetéseket, részben tovább pontosították azokat a csapadékvíz hatásának elhanyagolható szerepéről a rózsadombi langyos források megcsapolódási területén. Eredményeink alapján a megcsapolódási területen a forrásokban egyáltalán nem okoznak változást a mért paraméterekben az egyedi csapadékesemények. Ez a hatás még az utánpótlódási területen is csak áttételesen érvényesül. Itt ugyanis nem a közvetlen csapadék, hanem a sok éves átlagtól való csapadékelterés hatása volt kimutatható a karsztvízszint megfigyelő kutak több évtizedes megfigyelési időszoraiban. A megcsapolódási területen pedig a Duna kiegyenlítő hatása valószínűleg felülírja a csapadék hatását a vízszintekben és a mért paraméterekben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az OTKA NK 101356 számú pályázat keretében valósult meg. Szeretnénk köszönetet mondani az adatokért az időkép.hu-nak, az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságnak, a Magyar Bányászati és Földtani Hivatalnak, valamint LORBERER Árpádnak az adyligeti kút rétegorának rendelkezésünkre bocsátásáért. A Boltív-forrás csatornájában a mérést a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt. tette lehetővé. Köszönjük a helyszíni mérés során nyújtott segítséget a Lukács fürdő gépészeinek. A Dataqua DA-S-LKTRB 122 típusú műszert a Dataqua Kft. bocsátotta rendelkezésünkre.

Irodalom — References

- ALFÖLDI L., BÉLTEKY L., BÖCKER T., HORVÁTH J., KESSLER H., KORIM K., ORAVETZ J. & SZALONTAI G. 1968: *Budapest hévízei*. — A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet kiadványa, Budapest, 365 p.
- ANDERSON, R. L. 1963: The use of factor analysis in the statistical analysis of multiple time series. — *Psychometrika* **28**, 1–25.
- BODOR P., ERŐSS A., MÁDLNÉ SZÖNYI J. & CZUPPON GY. 2014: A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolata a rózsadombi megcsapolódási területen. — *Karsztfelődés* **19**, 63–75.
- CSEPREGI A. 2007: A karsztvíztermelés hatása a Dunántúli-középhegység vízháztartására. — In: ALFÖLDI, L. & KAPOLYI, L. (szerk.): *Bányászati karsztvízszintsüllyesztés a Dunántúli-középhegységben*. — MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 49–76.
- ERŐSS, A. 2010: Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. — Doktori disszertáció, ELTE, 171 p.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZÖNYI, J. & CSOMA, É. A. 2008: Characteristics of discharge at Rose and Gellért Hills, Budapest, Hungary. — *Central European Geology* **51**(3), 267–281.
- KOVÁCS, J., MÁRKUS, L. & HALUPKA, G. 2004: Dynamic factor analysis for quantifying aquifer vulnerability. — *Acta Geologica Hungarica* **47**(1), 1–17.

- LIEB I. 2004: A Lukács fürdő bemutatása. Földtani és hidrogeológiai viszonyai, történetének felkutatása és forrásainak retrospektív vizsgálata. — *Kézirat*, Diplomamunka, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 41 p.
- LINZBAUER, F. 1837: *Die warmen Heilquellen der Hauptstadt Ofen*. — Hartleben, Pesth.
- LOVRITY V. & BODOR P. 2014: A Boltív-forrás vízhozamának és fizikai, kémiai paramétereinek változása a csapadékesemények és a Duna vízállás függvényében. Értékelés archív adatok és jelenlegi mérések alapján. — *Kézirat*, Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 80 p.
- MÁDLNÉ SZÓNYI J. 1994: Hosszúperiódusú vízszintváltozás a Dunántúli-középhegység főkarsztvíztárolójában. — *Hidrologiai Közlemények* **74/3**, 150–162.
- MÁDL-SZÓNYI J., LEÉL-ŐSSY SZ., KÁDÁR M., ANGELUS B., ZSEMLE F., ERŐSS A., KALINOVITS S., SEGESDI J., MÜLLER I. & MINDSZENTY A. 2001: A Budai Termálkarszt-rendszer hidrodinamikájának vizsgálata nyomjelzéssel. — *Kézirat*, Jelentés, Budapest, 46 p.
- MÁDL-SZÓNYI J. & ERŐSS, A. 2013: Effects of regional groundwater flow on deep carbonate systems focusing on discharge zones. — *Proceedings of the International Symposium on Regional Groundwater Flow: Theory, Applications and Future development. 21–23 June Xi'an, China. China Geological Survey, Commission of Regional Groundwater Flow, IAH*, 71–75.
- MÁDLNÉ SZÓNYI J., PÁLL-SOMOGYI K. & ERŐSS A. 2013: A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolatának elemzése. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*. — ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 164–169.
- MÁDL-SZÓNYI, J. & TÓTH, Á. 2015: Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. — *Hydrogeology Journal* DOI 10.1007/s10040-015-1274-x, 21p.
- MÁRKUS, L., BERKE, O., KOVÁCS, J. & URFER, W. 1999: Spatial prediction of the intensity of latent effects governing hydrogeological phenomena. — *Environmetrics* **10**, 633–654.
- NÉMET-BUCSI A. 2006: A Budai Termálkarszt megcsapolódásának vizsgálata Rózsadomb lábánál. — *Kézirat*, Diplomamunka, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, 80 p.
- PÁLFY M. 1921: A budapesti hévforrások vízmennyiségének ingadozásáról. — *Hidrologiai Közlemények* **9/1**, 13–29.
- PÁLL-SOMOGYI K. 2010: A Duna hatásának vizsgálata a Gellért-hegy környezetének felszín alatti vizeire. — *Hidrologiai Tájékoztató*, 23–24.
- PAPP F. 1936: A Szent Gellért fürdő forrásáról. — *Földtani Értesítő* **2**, 68–67.
- PAPP F. 1942: *Budapest meleg gyógyforrásai*. — A Budapesti Központi Gyógy- és Üdülőhelyi Bizottság Rheuma és Fürdőkutató Intézet kiadványa, Budapest, 252 p.
- SCHAFARZIK F. 1920: Szökevény hévforrások a Gellérthegy tövében. — *Hidrologiai Közlemények* **3**, 79–158.
- SOMOGYI K. 2009: A Duna hatásának vizsgálata a Gellért-hegy környezetének felszín alatti vizeire. — *Kézirat*, Diplomamunka, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 112 p.
- STRICZKI I. 2010: A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolatának vizsgálata a budai Dunaparti Fogyújtó csatorna monitoring rendszerébe tartozó kutak, források segítségével. — *Kézirat*, Diplomamunka, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, 110 p.
- WERNHER, G. 1551: *Hypomnematation de admirandis Hungariae aquis*. — Wien, 1551.

Internetes hivatkozás

http://owwww.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/bp/Navig/Index2.htm

Kézirat beérkezett: 2015. 03. 24.