

**A Boltív-forrás vízhozamának és fizikai, kémiai
paramétereinek változása a csapadékesemények és a
Duna vízállás függvényében**

Értékelés archív adatok és jelenlegi mérések alapján

TDK Dolgozat

Lovrity Vencel, Geológus MSc

Bodor Petra, Geológus MSc

Témavezető:

Dr. Erőss Anita, tudományos munkatárs (ELTE TTK)



Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Természettudományi Kar

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest, 2014

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés, a dolgozat célja.....	5
2	A terület bemutatása.....	7
2.1	Földrajzi elhelyezkedés.....	7
2.2	Földtani felépítés.....	8
2.3	Hidrogeológiai környezet	11
2.4	Malom-tó	13
3	Karsztrendszerek sajátosságai	15
3.1	Források vízhozam és vízkémiai paramétereinek változása a csapadék függvényében.....	15
3.2	A Duna hatása a megcsapolódásra.....	16
4	Mérési módszerek és adatok	18
4.1	Archív adatok 1951-56-ból.....	18
4.2	Archív adatok 2001-ből	19
4.3	A 2012-13-ban mért adatok	21
4.3.1	Kézi mérések	21
4.3.2	Folyamatos mérések	23
4.4	Korrelációs együttható, keresztkorreláció számítása, hiánypótlás	25
5	Eredmények.....	27
5.1	Archív vízhozam és vízhőmérséklet adatok a napi csapadékmennyiség és Duna vízállás adatok tükrében.....	27
5.1.1	Archív csapadék és vízhozam adatok közötti összefüggés vizsgálata	28
5.1.2	Archív Duna vízállás és vízhozam adatok közötti összefüggés vizsgálata ...	29
5.1.3	Archív Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok közötti összefüggés vizsgálata.....	29
5.1.4	Archív vízhozam és vízhőmérséklet adatok közötti összefüggés vizsgálata.	31
5.1.5	Archív csapadék és vízhőmérséklet adatok közötti összefüggés vizsgálata..	32
5.1.6	Összesített adatok	33

5.2	Jelenlegi kézi mérések adatai.....	34
5.2.1	Napi csapadékmennyiség és Duna vízállás alakulása a vizsgált időszakban	34
5.2.2	Vízhozam változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával....	34
5.2.3	Hőmérséklet változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával	36
5.2.4	Fajlagos elektromos vezetőképesség változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával	38
5.2.5	pH változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával	40
5.2.6	Víz hőmérséklet és fajlagos elektromos vezetőképesség kapcsolatának vizsgálata.....	42
5.3	Összesített jelenlegi kézi mérések adatai.....	43
5.4	Folyamatos mérési adatok	44
5.4.1	2012. november 7. – 2013. január 31. közötti időszak.....	45
5.4.2	2013. február 1. – április 9. közötti időszak	47
5.4.3	2013. május 21. – június 30. közötti időszak.....	50
5.4.4	Összesített folyamatos észlelési adatok.....	53
6	Diszkusszió.....	54
6.1	Keresztkorrelációs vizsgálatok	54
6.1.1	Archív adatok	54
6.1.2	Kézi mérések	57
6.1.3	Folyamatos észlelések	59
6.2	2001-es adatok összevetése a saját mérésekkel	64
6.3	Archív és jelenlegi adatok vizsgálatának összegzése	67
7	Összefoglalás.....	70
8	Köszönetnyilvánítás	72
9	Irodalomjegyzék.....	73
10	Melléklet.....	76
10.1	Adatsorok.....	76
10.1.1	1951-1955-es adatok	76

10.1.2	2001-es adatok.....	76
10.1.3	2012-2013-as kézi mérések adatai.....	76
10.1.4	2012-2013-as folyamatos észlelés adatai	76
10.2	Keresztkorreláció	76
10.2.1	1951-1955-es adatok	76
10.2.2	2001-es adatok.....	76
10.2.3	2012-2013-as kézi mérések adatai.....	76
10.2.4	2012-2013-as folyamatos észlelés adatai	76
11	Ábrajegyzék és táblázatjegyzék.....	77
12	Függelékek	82
12.1	Első függelék	82

1 Bevezetés, a dolgozat célja

Budapesten található Európa egyik legnagyobb termálkarsztos rendszere, az úgynevezett Budai Termálkarszt. Az itt megcsapolódó termálvizek fiziko-kémiai paraméterei alapján két rendszer különíthető el. Az egyik a Rózsadombon és környékén, a másik pedig a Gellért-hegyen és környékén található forrásokat és barlangokat foglalja magába. Dolgozatunkban az előbbire fókuszálunk, melyre mind langyos vízű ($20-36,7^{\circ}\text{C}$), mind hévforrások ($>36,7^{\circ}\text{C}$) jellemzőek. A két forráscsoport oldott anyag tartalom szempontjából is elkülönül, egy alacsonyabb ($770-980\text{ mg/l}$) és egy magasabb ($800-1350\text{ mg/l}$) összes oldott anyag tartalommal rendelkező területre (Erőss et al., 2008). A rózsadombi langyos források esetében hideg vizes komponens jelenléte valószínűsíthető, amelynek feltételezett utánpótlódási területe a Budai-hegység, amelynek egyes területein nagy arányban találhatóak fedetlen karbonátos kőzetek.

Dolgozatunkban azt vizsgáljuk, hogy milyen változások figyelhetők meg a Rózsadomb előterében megcsapolódó langyos vizek vízhozamában és fiziko-kémiai paramétereiben (vízhőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség, pH), amelyek a hideg vizes komponensben bekövetkező változásokat reprezentálhatják. Ezen változások a beszivárgási és a megcsapolódási terület közötti kapcsolatra, a karsztrendszer szerkezetére, fejlettségére utalhatnak.

A Rózsadomb előterében megcsapolódó források nagy része mesterségesen befolyásolt és nehezen hozzáférhető, mivel azokat termálfürdők hasznosítják. Kivétel ez alól a Molnár János-barlangból kilépő Boltív-forrás, amely a Malom-tó vizét táplálja. Innen a víz egy csatornán keresztül a Lukács-fürdő alatt a Dunába folyik. Vízhozam, vízhőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség és pH méréseinket ebben a csatornában végeztük, ami a fürdő területén hozzáférhető csak. Emellett a Malom-tóba a Boltív-forrás hasadékházhoz telepített Dataqua műszer folyamatos észleléseit is felhasználjuk. Innen fajlagos elektromos vezetőképesség, vízhőmérséklet és vízszint adatok állnak rendelkezésünkre. Saját méréseinken kívül korábbi mérések adatait is feldolgozzuk. Mind az archív, mind a saját mérések adatait megvizsgáljuk a Duna vízállás és a csapadékmennyiség tükrében, hogy következtetéseket tudjunk levonni arra vonatkozóan, hogy a forrás vízhozamában és fiziko-kémiai paramétereiben történő változások milyen kapcsolatban állnak a csapadékeseményekkel és a Duna vízszint

változásaival. Méréseinket a Budai Termálkarszt kutatásra irányuló OTKA NK 101356 pályázat keretében végeztük.

Dolgozatunk előzménye Pataki Lili és Csordás Julianna „Elfolyó Kilowattok” című 2012-es TDK dolgozata. Számításaik alapján a Boltív-forrás vize alkalmas lehet geotermikus energiahasznosításra. Ahhoz, hogy a felvetést, miszerint a működtetés stabilan fenntartható lenne, alátámaszthassuk, egy hosszabb távú méréssorozat szükséges, mely vizsgálja a forrás vízhozamát és hőmérsékletét, azok változékonyságát, illetve szükséges az ezeket befolyásoló tényezők felderítése is. Az értékeléshez szükséges adatsorokra saját mérések során és korábbi irodalmak áttanulmányozásával tettünk szert.

2 A terület bemutatása

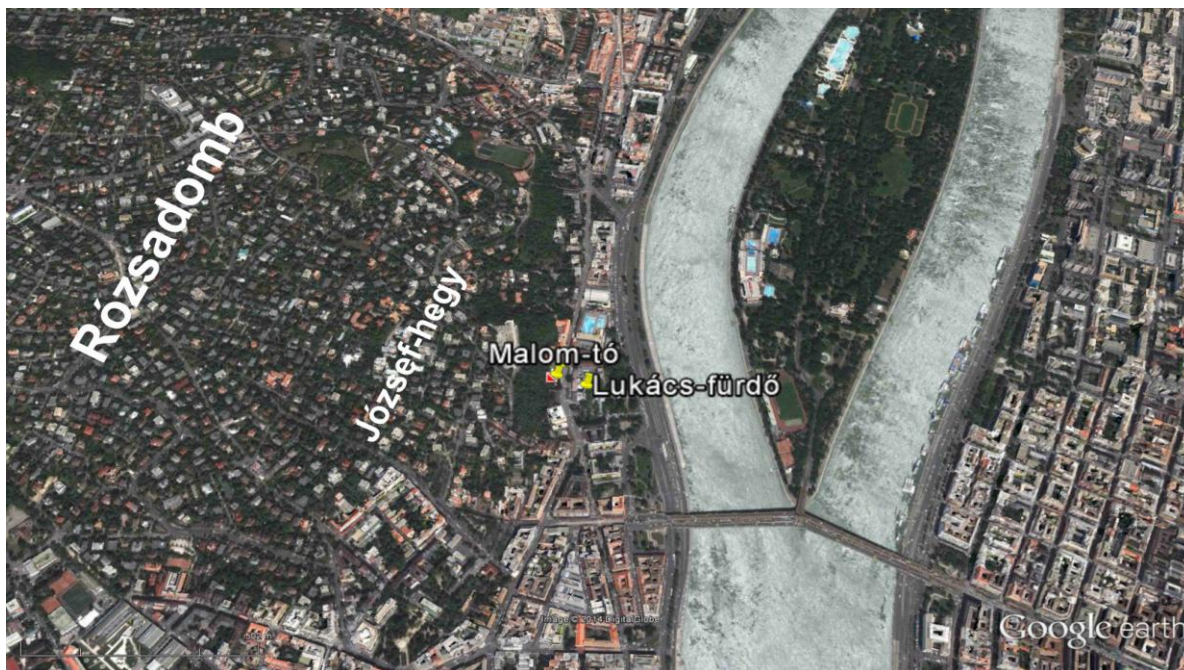
2.1 Földrajzi elhelyezkedés

Az általunk vizsgált Boltív-forrás és a Malom-tó a Rózsadomb, azon belül is a József-hegy előterében található. A terület a Budai-hegység és egyben a Dunántúli-középhegység északkeleti peremét képezi (2.1. ábra).



2.1. ábra A Dunántúli-középhegység és a Budai-hegység területe (forrás: http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:HU_microregion_5.3.31._Budai-hegyek.png)

A Rózsadomb előtere a Budai Termáلكarszt egyik fő megcsapolódási területe, ahol számos langyos forrás tört a felszínre, szám szerint 21 forráscsoport 42 forrása (Papp, 1942). Ezen langyos források közül történelmi idők óta kivételes szerepet játszik a Boltív-forrás, amely a Malom-tó vizét és a Lukács-fürdő medencéit táplálja (2.2 ábra). Fontos megemlíteni a forrás mögött elhelyezkedő Molnár János-barlangot, amely a területen található megcsapolódási jelenségek (például források) egyike.



2.2. ábra A Rózsadomb, a József-hegy, továbbá a Malom-tó és a Lukács-fürdő elhelyezkedése (Google Earth felvétel)

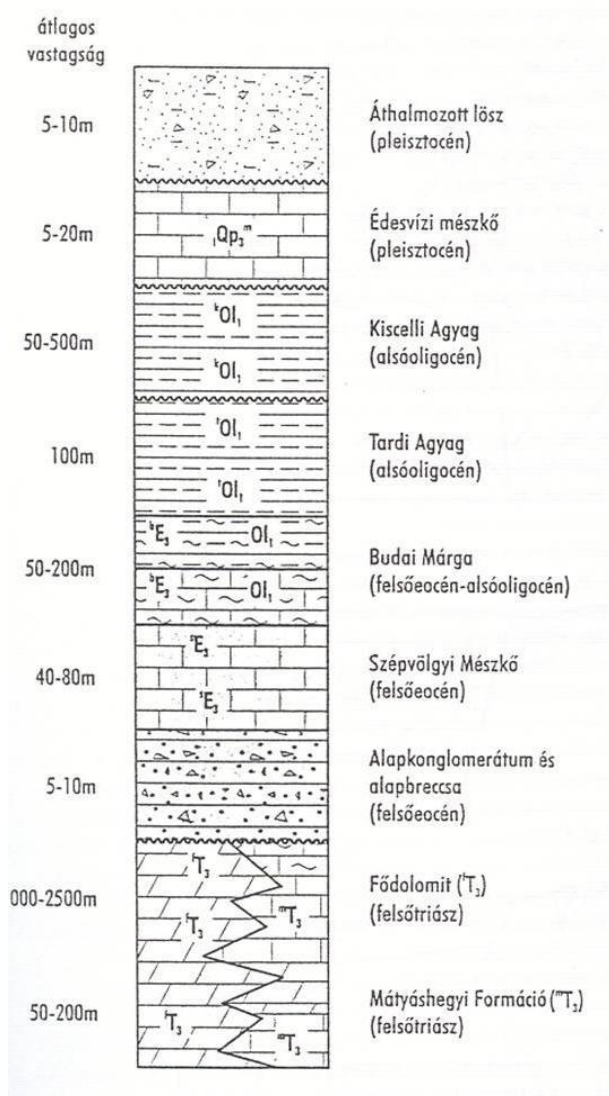
2.2 Földtani felépítés

A Budai-hegység fő tömegét triász korú karbonátok alkotják, melyet paleogén képződmények (eocén mészkő, márga illetve oligocén agyagmárga) fednek. A legidősebb képződmény a Budaörsi Dolomit (diploporás dolomit), mely 1000-1200 méter vastagságú (Haas, 1994). Erre települ a karni korú Mátyáshegyi Formáció, melyet feltárásokból és barlangokból ismerünk. Ez a képződmény a József-hegyet alkotó kőzetek legfiatalabbika. A felső triászra az 1000-1500 m vastag Fődolomit Formáció és a karsztosodásra hajlamos nori - rhaeti Dachsteini Mészkő Formáció jellemző (Wein, 1977; Haas et al., 2000).

Üledékhézaggal települnek eocén rétegek a budai-hegységi triászra. Ennek oka a szárazulati körülmények között elszenvedett erózió (Nádor, 1991). A krétában a tektonikai mozgások következtében ÉNy – DK-i irányú összenyomás hatására széles, egymással párhuzamos antiklinálisok jöttek létre. Azonos feszültségtér alakította ki a hegység feltolódási és eltolódási szerkezeteit (Fodor et al., 1994). A karbonátokban – rideg természetük miatt – a feszültségek sűrű repedezettséget, töredezettséget alakítottak ki (Wein, 1977), melyek elősegítették a karsztos rendszer kialakulását.

Az ÉNy felől történő transzgresszió hatására az eocénban eleinte durva, abrázíós konglomerátum, majd sekélytengeri, nagyforaminiferás lithothamniumos mészkő (Szépvölgyi Mészkő Formáció), ezt követően pedig bryozoákban gazdag márga (Budai

Márga) települ (Wein, 1977). A Rózsadomb barlangjai főleg a Szépvölgyi Mészköben alakultak ki, a források a Budai Márgából lépnek felszínre. A Rózsadomb elvi rétegsorát a 2.3 ábra tartalmazza.



2.3. ábra A József-hegy elvi rétegsora (Leél-Össy, 1997)

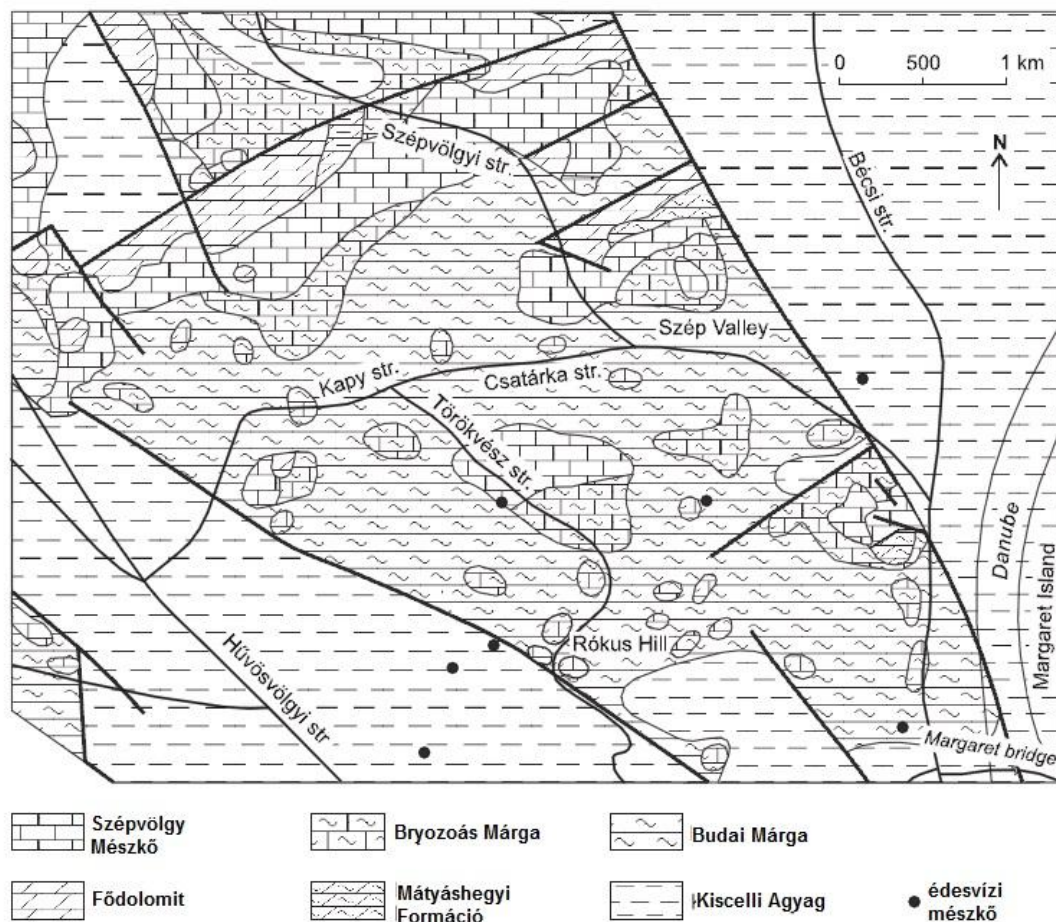
Az ÉÉK-DDNy-i csapású Budai-vonal határozta meg ezt követően a terület földtani fejlődését, melytől nyugatra kiemelkedés és lepusztulás zajlott az oligocénben (Fodor et al., 1994). Ettől keletre folyamatos átmenettel fejlődött ki az anoxikus körülmények között képződött Tardi Agyag (Wein, 1977). A Budai-hegység keleti-délkeleti részén folyamatos üledékképződés mellett az oligocén rétegek fácies-diszkordanciával, az északi és nyugati területein diszkordánsan, üledékhézaggal települnek a triász vagy eocén rétegekre.

Tari et al. (1993) nyomán a késő kiscelliben a transzgresszió átcsapott a Budai-vonalon: tőle keletre mélyvízi környezetben a Kiscelli Agyag, attól nyugatra a

sekélytengeri Hárshegyi Homokkő rakódott le (Nagymarosy és Báldiné, 1988). A Kiscelli Aggyból fokozatos átmenettel fejlődött ki a Törökbálinti Formáció.

A kora-miocénben a hegység szigetként, a szarmatától kezdve félszigetként emelkedett ki a tengerből (Wein, 1977). Ezt az időszakot egy ÉNy-DK-i irányú kompresszió és egy erre merőleges irányú extenziós feszültségtér jellemzi. Ennek hatására KÉK-NyDNy –i csapású vetőzóna alakult ki (Fodor et al., 1991). Ezt követően É-D-i csapású normálvetők keletkeztek a középső-miocén és a kvarter időszakokra jellemző NyÉNy-DDK-i extenzió hatására (Leél-Őssy, 1995). A felső pannóniaiban kvarckavics, homokkőpados homokrétegek, továbbá váltakozva finomhomokos szürke agyag és világosszürke agyag képződött. A rögvonulatok ebben az időszakban szárazulaton voltak (Wein, 1977). A felső-pannóniai végére a Duna vált a fő erózióbázissá. A miocénben szárazulattá vált Budai-hegység területén a szakaszos kiemelkedés hatására a karsztvízszint gyors süllyedésnek indult, a források az aktuális erózióbázis szintjén csapolódtak meg, lépést tartva annak változásával (Nádor és Kraus in Hazslinszky et al., 1993). A felszínre bukkanó források az erózióbázis különböző szintjeihez igazodva édesvízi mészkövet raktak le, melyek az emelkedés során különböző magasságokba kerültek. A pleisztocént és a holocént az előbb említett travertínó, eolikus lösz, illetve Duna üledékek képviselik (Wein, 1977).

A Rózsadomb területének földtani térképe a 2.4 ábrán látható.



2.4. ábra A Rózsadomb földtani térképe (Wein, 1977 után szerkesztette Leél-Őssy, 2003)

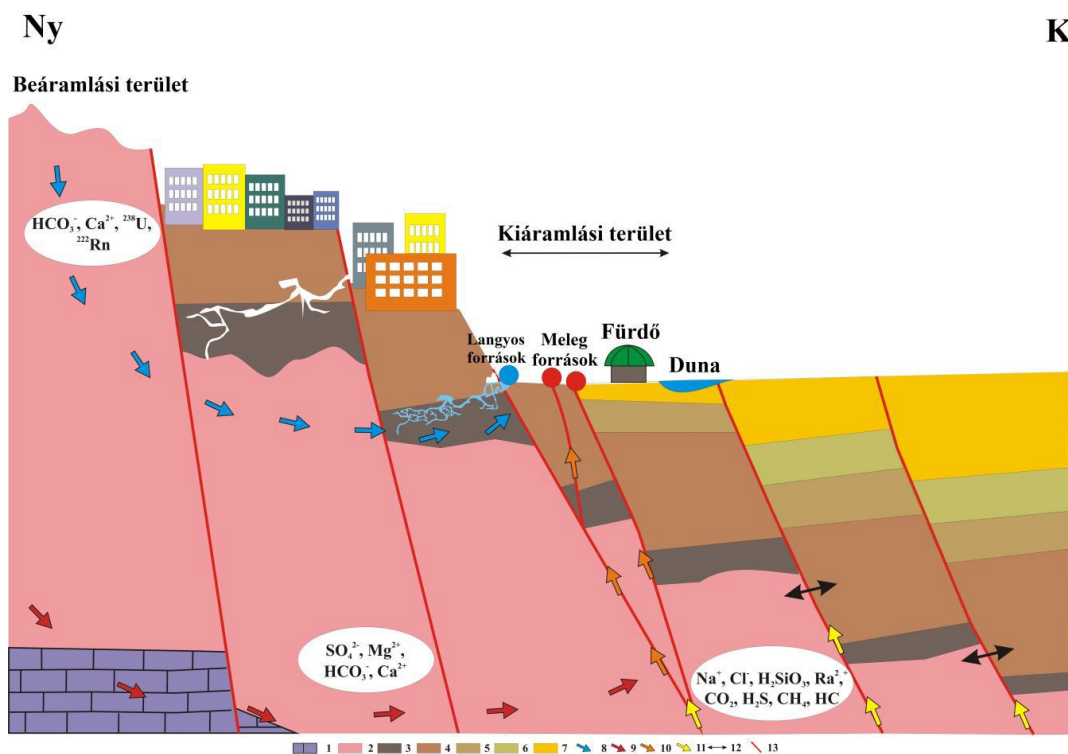
2.3 Hidrogeológiai környezet

A Budapesten található nagy kiterjedésű termálkarsztos rendszer Európa egyik legnagyobb és legismertebb karsztos rendszere, mely a Dunántúli-középhegység víztartó rendszerének regionális megcsapolódási zónájában található. Egy kiemelt helyzetben lévő karbonátos egység és egy üledékes medence határán képződött hipogén karsztrendszer (Eröss, 2010). Beszivárgási területe pontosan nem határolható le, feltehetőleg a Budai-hegység és a Pilis karsztos felszínein át beszivárgott meteorikus vizek táplálják a langyos forrásokat (Alföldi et al., 1968). A melegvizes komponens utánpótlódási területe valószínűleg a Dunántúli-középhegység távolabbi területein helyezkedik el (Alföldi et al., 1968). A Dunántúli-középhegység esetében a karsztos beszivárgási terület Lorberer (1986) szerint 15%-ra tehető. A fő karsztvíztároló rendszer erózióbázisa a Duna. A forrásokra jellemző, hogy csoportokban jelennek meg.

A Rózsadomb előterében langyos és melegvizes források is megtalálhatóak egymástól nem messze (Alföldi et al., 1968). Számos üzemelő kút van, melyek

mesterséges vízkivételükkel nagyban befolyásolják a természetes megcsapolódási jelenségeket (Takács, 2009).

A 2.5 ábra reprezentálja a rózsadombi rendszer Eröss és munkatársai (2010) és Eröss (2010) által készített legfrissebb vízáramlási koncepcionális modelljét. Leolvasható a különböző áramlási rendszerbe tartozó melegvizek és hidegvizek eltérő áramlási pályája és hidrogeokémiai jellemzői. Ezek szerint a hidegvizes komponens beáramlási területe a Rózsadomb és a környező területek fedetlen karbonátos kőzetei. A melegvizes komponensben medenceeredetű fluidumok hozzáadódását is feltételezik. A 2.5 ábra szemlélteti a rétegtani egységeket és az aktív és inaktív barlangokat, és jelenkori karsztosodás szintjét, mely egybeesik az erózióbázissal, ez egyben a különböző áramlási rendszerek megcsapolódási területe is.



2.5. ábra. A rózsadombi kiáramlási terület új áramlási modellje (Eröss, 2010) 1: perm – alsó-triász evaporitos karbonát rétegek 2: triász karbonátok 3: Szépvölgyi Mészakő 4: Budai Márga 5: Tardi Aggyag 6: Kiscelli Aggyag 7: miocén képződmények 8: lokális - intermedier áramlási rendszerek 9: regionális áramlási rendszer 10: regionális medence eredetű fluidumok 11: medence eredetű fluidumok 12: komplex víz – kőzet kölcsönhatás 13: szerkezeti elemek

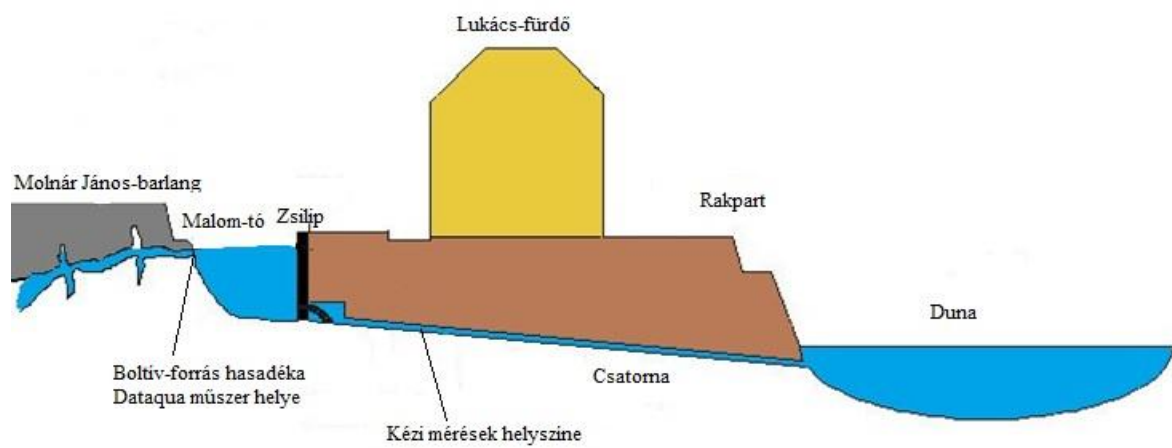
A karsztosodás hipogén jellegű, főleg keveredési korrózió és mikrobiálisan vezérelt kénsavas eredetű. Fontos a tektonikai preformáltság és ennek hatása a vízáramlásra, valamint az egyes komponensek hozzáadódása szempontjából: a megcsapolódás a szerkezeti elemek mentén történik.

2.4 Malom-tó

Vizsgálatunk szűkebb területe a Malom-tó és környezete. Budapest II. kerületében, a József-hegy előterében, egy hasadék mentén lép felszínre a Boltív-forrás vize a Malom-tó vizének utánpótlását biztosítva. A feltörő víz hőmérséklete Molnár János (1869) szerint 27,3 C°, Papp Ferenc (1942) megfigyelései szerint 24,3 C. Papp Ferenc méréseit a forrástól 2 méterre, ÉK-re végezte. A különbség Papp (1942) szerint a vízszint magasságkülönbségének tudható be.

A Boltív-forrás vize mesterségesen, egy zsilip segítségével lett felduzzasztva, létrehozva így a Malom-tavat. A tó vizének hőmérséklete a nagy nyitott vízfelület és a külső hőmérsékleti ingadozások ellenére is csak kis mértékben változik. A török hódoltság alatt vízimalom működött itt, a tóról először 1540-ben tettek említést. Alföldi és munkatársai (1968) szerint a tó felduzzasztása a Bécsi országút megépítéséhez kapcsolódik. Ma a tó vize hasznosítatlanul egy átereszcsonaton keresztül a Frankel Leó út (egykori Bécsi út) és a Lukács-fürdő alatt a Dunába ömlik. A Malom-tó vizét több esetben leeresztették (Alföldi et al., 1968). Az 1959-ben történt leeresztés után a visszatöltődést követően a Malom-tó vize hamar visszaállt az eredeti értékre. A leeresztés során a környező források vize részben elapadt, vagy csak nagyon kis hozammal működtek tovább. A vízhőmérsékletben egy markáns növekedést lehetett megfigyelni. A vízszintesésekhez az erre az időszakra vonatkozó különösen alacsony Duna vízállás is hozzájárulhatott. Mindenesetre a tó vize kapcsolatban áll a környékbeli forrásokkal, a leeresztés miatti depresszió távolabbi területeken is éreztette hatását.

A Malom-tavat tápláló másik forrás az Alagút-forrás, mely a Molnár-János barlang víz alatti bejárata. Ez részben mesterséges, részben természetes. Tereprendezési munkálatok során ezt a hasadékot lefedték. A Molnár János-barlangból hasadékok mentén kilépő víz táplálja tehát a Malom-tavat. A 2.6 ábrán látható a helyszín vázlatos rajza, melyen a méréseink helye is szerepel.



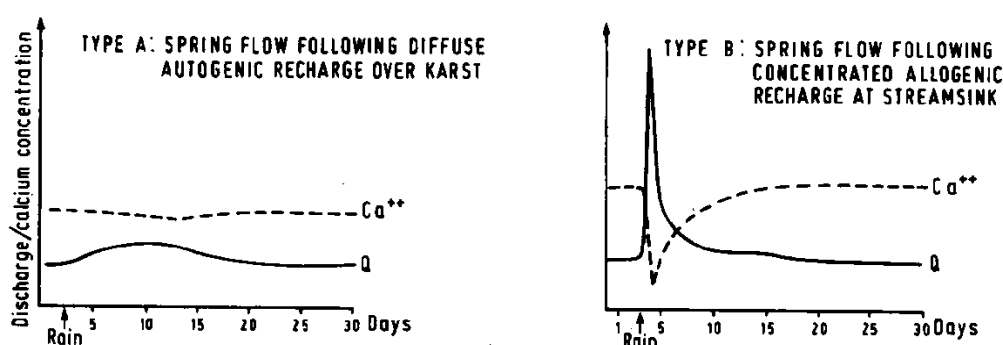
2.6. ábra A vizsgálati helyszín helyrajza (Mádlné et al., 2001 után módosítva)

3 Karsztrendszerek sajátosságai

Az alább közölt karsztos rendszerek sajátos hidrogeológiáját bemutató általános jellemzés tárgyalását az indokolja, hogy a recens és archív mérési adatainkból interpretálható értelmezést ezek ismeretében végezhetjük el. Az adatok elemzése és értelmezése során többé-kevésbé az itt leírtakhoz hasonló folyamatokat és jelenségeket várunk.

3.1 Források vízhozam és vízkémiai paramétereinek változása a csapadék függvényében

A karsztos víztartók sajátos hidrogeológiai viselkedéssel bírnak. Az oldódás hatására kialakuló karsztjáratok a beszivárgó csapadékvíz gyors felszín alatti áramlását teszik lehetővé, melynek következménye, hogy egy-egy csapadékesemény hatása nagyon rövid időn belül (akár néhány óra alatt) jelentkezhet a forrásnál, hozamnövekedés formájában (3.1 ábra) (Ford és Williams, 2007). Azonban nem csak a forráshozam, hanem a víz fizikokémiai paraméterei is változnak ekkor (3.1 ábra). A karsztrendszeren gyorsan áthaladó frissen beszivárgó víz nyomáshulláma jelenik meg először a forrásnál, melynek hatására a rendszerben lévő tározott víz távozik először a forráson. Ennek oldott anyag tartalma magasabb, mint a forráshoz ezután megérkező, frissen beszivárgó vízé, melynek oldott anyag tartalma azért kisebb, mert a rendszeren történő gyors áthaladása következtében nem volt ideje jelentősebb oldott anyag tartalomra szert tennie.

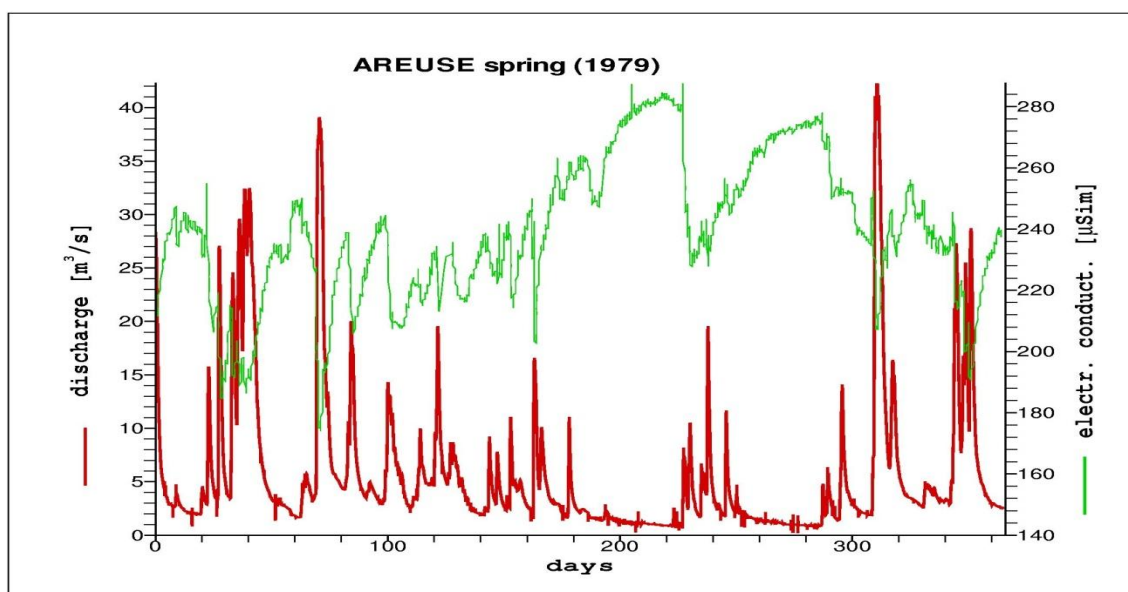


3.1. ábra A forrás csapadékeseményekre adott válaszáinak a beszivárgás jellegétől való függése Jakucs (1959)

A jelenség időbeli lefutása függ a forrás vízgyűjtőterületének és a karsztrendszernek a méretétől, a tározástól, a karsztrendszer járatrendszerének fejlettségétől, a csapadékesemény időtartamától és intenzitásától (Jakucs, 1959, Ford és Williams, 2007).

A forrás csapadékeseményekre adott válaszában a beszivárgás jellegétől való függését Jakucs (1959) írta le először (3.1 ábra).

Az 3.2 ábrán a svájci Jura hegység egyik legnagyobb forrása az Areuse-forrás hozama és vizének fajlagos elektromos vezetőképessége látható (Király, 2003). Ami jól látható, az hozamának nagy változékonysága 2-3 m³/s-ról akár 40 m³/s-ra. Ez annak köszönhető, hogy a csapadékesemények hatására a beszivárgó csapadékvíz a nagy hidraulikus vezetőképességű karsztjáratokon keresztül hamar megérkezik a forráshoz, és egy hozamcsúcs formájában jelentkezik.



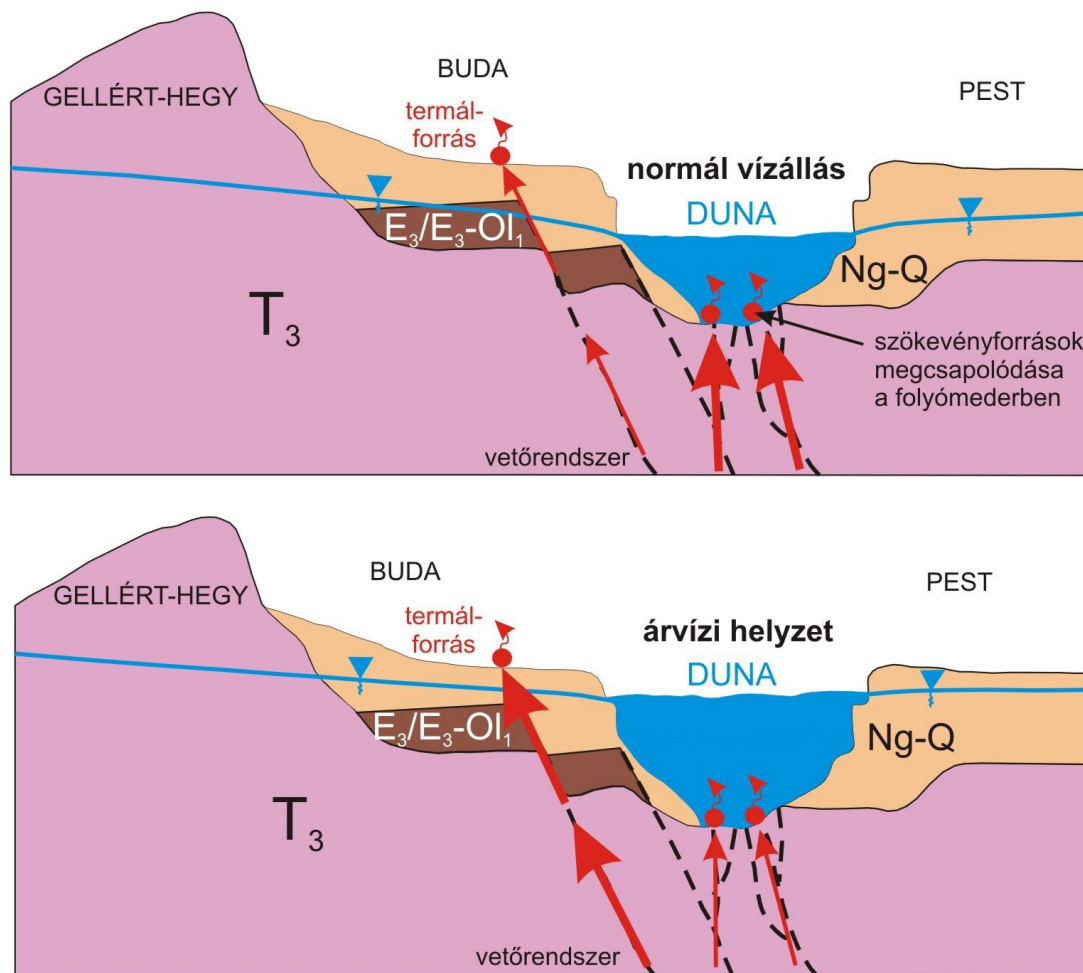
3.2. ábra Areuse-forrás hozama és vizének fajlagos elektromos vezetőképessége (Király 2003)

Ezt jól jelzi az elektromos vezetőképesség is: a csapadékvíz egy híg víz, kevés oldott anyag tartalommal, ez ha gyorsan keresztülmegy a rendszeren a nagy járatoknak köszönhetően, nincs ideje oldott anyag tartalomra szert tenni, ezért a vezetőképessége alacsonyabb, mint a karsztrendszerben oldódás útján oldott anyagban gazdagodó tározott víznek. Ennek a híg víznek a megérkezését jelzi a vezetőképesség erőteljes lecsökkenése hozamcsúcsoknál.

3.2 A Duna hatása a megcsapolódásra

A Duna vízszintjében bekövetkező változások a hidrosztatikus nyomás változása révén a folyó medrében, a triász dolomitből fakadó szökevényforrásokon keresztül hatnak a felszín alatti vízrendszerre. E modell alapján, normál állapotban a szökevényforrások a Duna medrében csapolódnak meg, áradási állapotban ez részben a parti régióra tevődik át. Ennek következtében a területen lévő kutak vízszintje, hőmérséklete, valamint a források

hozama, hőmérséklete is növekszik, de a folyó és a felszín alatti vizek közötti keveredés nélkül (Schafarzik, 1920; Papp 1942; Kunszt, 1947; Kessler 1963, 1965; Somogyi, 2010; Striczki, 2010). Ennek modelljét a 3.3 ábrán láthatjuk.



3.3. ábra A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolatát a Gellért-hegy környezetében leíró modell (Páll-Somogyi, 2010 után módosította Virág, 2013)

Németh-Bucsi (2006) diplomamunkájában vizsgálta a Budai Termálkarszt megcsapolódási jellegeit a Rózsadomb előterében, a Molnár János-barlangban, valamint Duna parti talajvíz kutakban a Lukács-fürdő előtt. Eredményei alapján kimutatta, hogy a felszín alatti vizekre a folyó hidrosztatikai nyomása hat elsődlegesen. Az árvízi időszakban a megemelkedett hidrosztatikai nyomás által megemelt karsztvíz hozam volt jellemző, csökkenő folyó vízállásnál pedig a talajvíz befolyása. A vízzinttel együtt hőmérséklet és vezetőképesség emelkedést is tapasztalt.

4 Mérési módszerek és adatok

Ebben a fejezetben ismertetjük, hogy a dolgozatban felhasznált adatok honnan származnak, az egyes időszakokban milyen mérések állnak rendelkezésünkre, azok hol és milyen módszerrel lettek mérve. Ezen kívül mindegyik időszakra meghatároztuk, hogy hány darab adat áll rendelkezésünkre, milyen értékek között változnak az egyes paraméterek, mi az átlaguk, szórásuk és mediánjuk.

4.1 Archív adatok 1951-56-ból

Az 1930-as évektől kezdve több budapesti forrás hozamát és hőmérsékletét is változó rendszerességgel mérték. Ezek a mérési adatok Alföldi és társai Budapest hévizei című könyvében jelentek meg (Alföldi et al., 1968). A mi vizsgálati területünkön is történtek mérések 1951. január 11. és 1956. április 28. között. A mérési adatok helyszíne „LUKÁCS-CSÁSZÁR-FÜRDŐ Malomtó /Boltív-forrás és Alagút-forrás/” néven szerepel, a hozammérések köbözéssel történtek a férfi medencébe történő beömléseknél egy nagyobb edény segítségével.

1951 januárjától 1955 májusáig havonta általában három, esetleg négy-öt mérés történt. Ebben az intervallumban vannak hosszabb-rövidebb időszakok, amikor vízhozam mérések nem történtek, ilyen például az 1954-es év majdnem egésze. 1955. május 24-től naponta történtek mérések ez év augusztus 31-ig, csupán egy-egy adat hiányzik. 1955 szeptemberétől a mérések ugyan gyakran, de sokszor egy-két, olykor három napos kihagyással történtek egészen 1956 áprilisáig.

Az 1951. január 1-től 1956. december 31-ig tartó időszakra vonatkozó napi Duna vízállás adatok az adott évi Vízrajzi Évkönyvekből származnak. Az 1951-es és 1953-as évekre a Molotov-téri (mai Vigadó tér) vízmérce adatait tartalmazza, a többi évre pedig a Kvassay-zsilipét. A cm-ben közölt adatokat átszámoltuk tengerszint feletti magasságra az adott vízmércének megfelelően, de az adatokat nem korrigáltuk a Duna esésével, mert vizsgálataink szempontjából a relatív vízszintváltozások voltak csak fontosak (Varga György szóbeli közlése alapján). A napi csapadék adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján található digitalizált éghajlati adatsorok közül töltöttük le. Ezek az adatok szintén 1951. január 1-től 1956. december 31-ig állnak rendelkezésünkre. A mérések a Meteorológiai Intézet Kitaibel Pál utcai (akkor Intézet utcai) székháza melletti műszerkertben történtek (Kitaibel P. u. 3.; északi szélesség: 47°30'46"; keleti hosszúság:

19°01'34"). A csapadékmennyiség meghatározása a reggeli észleléskor (07 CET) történt a teljes időszakban. Ebből következik, hogy az aktuális napra vonatkozó csapadékösszeg az aktuális nap 07 órájától a következő nap 07 órájáig tartó 24 órás periódusban hullott csapadék összege. Megkülönböztetjük azt a két esetet, amikor egyáltalán nem volt csapadékhullás, valamint amikor volt ugyan csapadékesemény, de a mennyisége nem mérhető. Az előbbit egy pont, az utóbbit pedig 0.0 jelzi az adatfájlokban (10.1.1 melléklet).

Erre az időszakra vonatkozó adatok alapstatisztikái a 4.1 számú táblázatban láthatóak. A teljes adatsort a 10.1.1-es mellékletben közöljük.

	Vízhozam (m³/nap)	Víz hőmérséklet (°C)	Napi csapadék- mennyiség (mm)	Duna vízállás (mBf)
Minimum	907.2	21.2	0	94.83
Maximum	6638.4	26.4	78	102.52
Átlag	2733.95	22.96	1.86	97.86
Szórás	814.12	0.69	5.32	1.20
Medián	2757.6	23	0	97.8
Darabszám	326	400	2192	2192

4.1. táblázat Az archív adatokra vonatkozó alapstatisztikák

4.2 Archív adatok 2001-ből

2001-ben június 6. és november 8. között napi rendszerességgel történtek vízhozam mérések egy nyomjelzési kísérlet előkészítéseként (Mádlné et al., 2001). A hozamot több helyen is mérték, az egyik hely a Lukács-fürdő alagsorában hozzáférhető csatorna, ahol augusztus 7-től történtek mérések. A vízhozam meghatározását itt közvetett módon, forgószárnyas sebességmérő segítségével végezték, a sebességet három függély mentén mérték, majd a kapott vízsebesség adatokat a nedvesített keresztmetszet ismeretében egy program segítségével számolták át hozam értékekre (Mádlné et al., 2001). A Lukács-fürdő langyos víz hasznosítás céljából a Molnár János-barlangba beépített csövön keresztül

termelte a Boltív-forrás vizét. A 2001-es mérési időszakban ezen csőre épített vízóra napi leolvasása alapján határozták meg a fürdő által termelt vízmennyiséget augusztus 9-től (Mádlné et al., 2001). A két helyen mért vízhozam adat együttesen adja meg a Boltív-forrás hozamát. A Mádlné és társai által közölt adatok közül általunk is felhasznált adatokat a 10.1.2 számú melléklet tartalmazza.

A jelentésben szereplő csapadékadatok mérése Budapest II. kerületében, a Borbolya u. 5. szám alatt szabvány csapadékmérő edény segítségével történt napi rendszerességgel (Mádlné et al., 2001).

A Duna vízállás adatok a Vigadó térről származnak, a KDV-VIZIG-től. A tengerszint feletti magasságra történt átszámításnál figyelembe vették a vízmérce Rózsadombtól való távolságát és a budapesti szakaszon jellemző esés segítségével korrigálták azt (Mádlné et al., 2001).

A három paraméterre kiszámított statisztikai adatok a 4.2 számú táblázatban láthatóak.

	Teljes vízhozam (m³/nap)	Napi csapadék- mennyiség (mm)	Duna vízállás (mBf)
Minimum	1216	0	96.33
Maximum	6617	34.8	100.26
Átlag	4235.10	2.25	97.79
Szórás	1016.80	6.24	0.96
Medián	4333.60	0.00	97.64
Darabszám	84	156	156

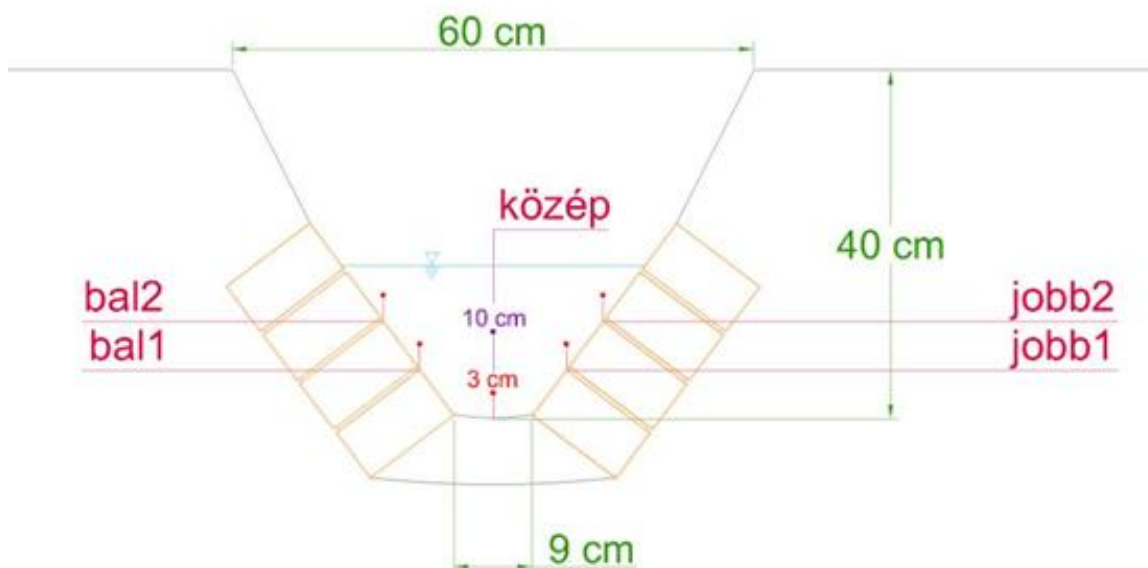
4.2. táblázat A 2001-es évi adatokra vonatkozó alapstatisztikák

4.3 A 2012-13-ban mért adatok

4.3.1 Kézi mérések

A Lukács-fürdő alagsorában található csatornában kézi vízhozam mérések, valamint a víz hőmérsékletének, pH-jának és fajlagos elektromos vezetőképességének észlelése 2012. október 19. és 2013. június 3. közötti időszakban, négy napos gyakorisággal történt. A saját méréseinkhez hozzávettük a Csordás Julianna és Pataki Lili által mért (2012. október 19. – 2013. április 12.) és TDK dolgozatában közölt adatokat is (2012. október 19. – 2012. november 23.) (Csordás és Pataki, 2012), mert dolgozatukban csak pár adatot tudtak vizsgálni, amiket nem célszerű külön kezelni a mi méréseinktől, mert egy folyamatos időszokról van szó.

A vízhozam mérése közvetett módszerrel történt, a forrás sebességét mértük egy szelvény mentén több ponton és a sebességek, illetve a nedvesített keresztmetszet segítségével számoltuk ki a hozamot. A csatorna közel trapéz keresztmetszetű és téglából van kirakva azon a részén, ahol a víz áramlik (4.1 ábra). Így a hozamszámításhoz a trapéz területének képletét használtuk fel, mely szerint $T = ((a+c)/2) \cdot m$.



4.1. ábra A Lukács-fürdő alatti csatorna sematikus keresztmetszete, pöttyök a sebességmérő helyzetét jelölik (készítette: Sáling Á.; Csordás és Pataki (2012))

A vízsebességet forgószárnyas sebességmérővel mértük, melyet egy rúdra erősítettünk fel a rúd végétől 3 cm-re, majd 10 cm-re. Előbbi helyzetben hat helyen történt mérés (4.1 ábra), középen kétszer, egyszer a folyásirányt tekintve bal, majd jobb oldalon tartva a propellert, majd jobb oldalon és bal oldalon is kétszer, először alulról az első téglá,

másodszor pedig a második téglát tetején. Amikor 10 cm-en volt a propeller, csak középen mértünk egyszer. A sebességmérőhöz minden alkalommal csatlakoztattunk egy Dostmann electronic P600 Series nevű mérőműszert, mely az aktuális sebességadatokat m/s-ben írta ki. A sebességen kívül mértük az aktuális vízmélységet (képletben m) és a víztükör szélességét (képletben c). A képletbeli értéke állandó, 9 cm. Ezen adatok segítségével számoltuk ki a vízhozamot m^3 /napban kifejezve.

A kézi mérések során a fajlagos elektromos vezetőképességet WTW típusú vezetőképesség mérővel mértük. A műszer által kijelzett értékeket megfelelő táblázat alapján minden esetben 25°C-ra korrigáltuk. A vezetőképesség mérő pontossága 1 %, felbontása 1 $\mu S/cm$.

A pH és víz hőmérséklet méréseket egy TESTO 206 típusú műszerrel végeztük. A műszert minden mérés előtt két kalibráló oldat segítségével ellenőriztük, hogy megfelelő értékeket mutat-e, szükség esetén kalibráltuk 4-es és 7-es pH-jú oldat segítségével.

A csapadékmennyiség és Duna vízállás adatokat az egész időszakra, minden napra összegyűjtöttük. A napi csapadékmennyiség adatok Budaliget meteorológiai állomásról származnak, azokat az időkép.hu biztosította. A Vigadó téren mért Duna vízállás értékeket a hydroinfo.hu weboldaltól töltöttük le. A nullponthoz viszonyított értékeket átszámoltuk tenger szint feletti magasságra. A Vigadó tér és a Rózsadomb eltérő tenger szint feletti magasságából adódó különbséget nem vettük figyelembe, mert vizsgálataink szempontjából a Duna vízállásában bekövetkezett relatív változások a fontosak (Varga György szóbeli közlése alapján).

A kézi mérések eredményeit a Duna vízállásával és a napi csapadékmennyiségekkel együtt és a vízhozamhoz felhasznált mért vízsebesség, mélység és víztükör szélesség adatokat a 10.1.3 számú melléklet tartalmazza. A 2012. október 19. és 2013. június 3. közötti időszakban mért paraméterek, illetve a napi csapadékmennyiség és a Duna vízállás alapstatisztikáját a 4.3. táblázat tartalmazza.

	Csatorna vízhozam (m ³ /nap)	pH	Víz- hőmérséklet (°C)	Fajlagos elektromos vezető- képesség (μS/cm)	Napi csapadék- mennyiség (mm)	Duna vízállás (mBf)
Minimum	6549	6.87	20	812	0	96.24
Maximum	11202	7.72	21.8	1613	20.2	100.73
Átlag	8285.99	7.20	21.08	1121.59	2.19	98.08
Szórás	912.99	0.20	0.42	224.22	4.28	1.09
Medián	8261	7.18	21	1001	0	98.1
Darabszám	53	53	53	53	220	228

4.3. táblázat A jelenlegi adatokra vonatkozó alapstatisztikák

4.3.2 Folyamatos mérések

A 2012. október 19. óta a Malom-tóba telepített Dataqua DA-S-LKTRB122 műszer óránkénti adatokat biztosít a tó vízszintjéről, a víz hőmérsékletéről és fajlagos elektromos vezetőképességéről. Pontossága hőmérséklet esetén 0,1 °C, vízszint és vezetőképesség esetén 1 %. A vezetőképesség adatokat 20°C-ra adja meg, így azokat átszámoltuk 25°C-ra.

2012. november 7-én a műszert áthelyezték a Boltív-forrás hasadékaiba, hogy direkt a kilépő forrásról szolgáltatson információkat. Az adatok letöltése és a mérésre vonatkozó beállítások a SMARTADMIN nevű szoftverrel lehetségesek.

A Dataqua által rögzített adatokat 2013. június végéig vettük figyelembe, hogy a júniusi dunai árvíz hatását a kézi mérések hiányában vizsgálni tudjuk. Ezeket az adatokat a 10.1.4 számú melléklet tartalmazza a napi csapadékmennyiség és Duna vízállás adatokkal együtt.

A Malom-tó (relatív) vízszintje 1,07 és 7,71 m között változott (4.4. táblázat), ez azonban nem felel meg a valódi vízszintváltozásoknak, mert az adatokban nagyon hirtelen ugrások láthatóak, amelyek valószínű annak a következményei, hogy a műszert mozgatták. Október 21. 20 óráig az eredeti telepítésnek megfelelően 3,7 m körül változott a vízszint, ekkor az érzékelő felszín közelbe került, október 30. 16 óráig 1-2 m közötti értékeket mért,

ezután visszakerült mélyebbre, 5-6 m közötti mélységbe, majd november 7-én a hasadékba telepítés után 6-7,7 m között változott a vízszint. Május 15-én újabb nagyobb ugrás látható az adatokban (közel 2 m-es), majd május 21-én visszakerült a hasadékba.

	Vízszint (m)	Vízhőmérséklet (°C)	Fajlagos elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Duna vízállás (mBf)	Napi csapadék- mennyiség (mm)
Minimum	1.07	21.24	927.94	96.24	0
Maximum	7.71	21.65	1153.395	103.86	21.8
Átlag	7.04	21.36	1069.15	98.39	2.21
Szórás	1.23	0.05	49.17	1.48	4.33
Medián	7.41	21.37	1100.328	98.26	0
Darabszám	6109	6109	6109	255	247

4.4. táblázat A folyamatos (Dataqua) mérések adataira vonatkozó alapstatisztikák

A mozgásokból adódó változások kiszűrése után három időszakot kaptunk a folyamatos észlelésekből, melyekre külön is kiszámoltuk az alapstatisztikákat (4.5 táblázat).

	Vízszint (m)	Víz hőmérséklet (°C)	Fajlagos elektromos vezető-képesség (μS/cm)	Duna vízállás (mBf)	Napi csapadék-mennyiség (mm)
2012. november 7. - 2013. január 31.					
Minimum	7,34	21,32	955,604	96,24	0
Maximum	7,71	21,45	1066,947	100,73	20,2
Átlag	7,4864	21,3945	1016,9531	97,5027	1,6948
Szórás	0,0401	0,0142	17,1952	1,1064	3,4338
Medián	7,48	21,4	1008,573	97,32	0
Darabszám	2036	2036	2036	85	77
2013. február 1. - 2013. április 9.					
Minimum	6,86	21,27	1092,891	97,41	0
Maximum	7,59	21,4	1127,403	100,19	20,2
Átlag	7,2661	21,3601	1107,7556	98,4658	3,4179
Szórás	0,0825	0,0357	4,4278	0,7693	5,6322
Medián	7,26	21,37	1109,106	98,34	0,5
Darabszám	1608	1608	1608	67	67
2013. május 21. - 2013. június 30.					
Minimum	7,2	21,27	1096,267	97,71	0
Maximum	7,56	21,4	1125,928	103,86	21,8
Átlag	7,3669	21,3443	1109,066	100,2285	2,2175
Szórás	0,1173	0,0288	9,6970	1,8491	4,8139
Medián	7,34	21,37	1111,158	99,97	0
Darabszám	960	960	960	40	40

4.5. táblázat Az egyes időszakokra vonatkozó alapstatisztikák

4.4 Korrelációs együttható, keresztkorreláció számítása, hiánypótlás

Paraméterek lineáris kapcsolatának vizsgálatára használják a korrelációanalízist. E módszer során azt keressük, hogy két paraméter milyen mértékben változik együtt. A korrelációs együttható adja meg a lineáris kapcsolat mértékét és méri, hogy két változó szorzatának várható értéke mennyire tér el a várható értékek szorzatától. A korrelációs együttható a két változó kovarianciájának és szórásaik szorzatának hányadosa, értéke -1 és +1 közötti.

Ha a két paraméter független egymástól, akkor közöttük a korreláció zérus, korrelációs együtthatójuk értéke pedig nulla. Viszont ha a korrelációs együttható nulla, akkor a két paraméter korrelálatlan, de nem feltétlenül független egymástól. Ennek oka,

hogy a korrelációs együttható jobban méri a sztochasztikus kapcsolat linearitását, mint annak szorosságát.

A korrelációanalízist a Microsoft Excel Analysis ToolPack nevű bővítményével végeztük el, mely az összes paraméterre kiszámolta a korrelációs együtthatót egy ún. korrelációs mátrixba. A számításoknál a becslés megbízhatósága miatt fontos, hogy a minta realizáció nagy legyen

A keresztkorreláció segítségével két paraméter időbeli viszonyáról kaphatunk információt, vagyis e módszerrel a feltételezett hatótényező időben késleltetett hatása is kimutatható. Ehhez azonban ekvidisztáns adatsorra van szükség, vagyis a mérések között eltelt időnek azonosnak kell lennie.

Az archív adatsorban, illetve az általunk négy naponként történt kézi mérések adatsorában néhány adat hiányzik, ezeket a Cubic Spline nevű függvénnyel pótoltuk, mely a Microsoft Excel bővítményeként használható. Ez a függvény a hiányzó adat előtti és utáni adatok közé egy harmadfokú polinomot illeszt, ami a számunkra szükséges időpontban újra mintavételez.

A hiánypótlás után minden adatsorra elvégezhető volt a keresztkorreláció. Ehhez a hatótényezőt a mintavételi sűrűségnek megfelelően eltoltuk mindig egy időegységgel és így számoltunk korrelációs együtthatót. Végül a kapott korrelációs együtthatókat az időbeli eltolás függvényében diagramon ábrázoltuk (keresztkorreláció függvény).

5 Eredmények

Ebben a fejezetben kívánjuk bemutatni az archív és saját mérési eredményeinket, illetve az ezekből készült diagramokat. Az általunk összefüggőnek vélt paramétereket vetettük össze, illetve az egyes mérési időszakokra vonatkozó összes mért paramétert is ábrázoltuk egy diagramon.

5.1 Archív vízhozam és vízhőmérséklet adatok a napi csapadékmennyiség és Duna vízállás adatok tükrében

Az 1951-től 1956-ig tartó időszakban a Budapestre vonatkoztatott átlagos csapadék mennyisége 1,86 mm volt. Az értékek 0 és 78 mm között változtak, általában 0 és 30 mm közötti csapadékmennyiségek voltak jellemzők (4.1. táblázat). Az 5.1 ábráról leolvasható a csapadék mennyiségének éves periodicitása. Megfigyelhető egy tavaszi és egy őszi csapadékmaximum, továbbá egy nyári és téli csapadékminimum időszak. Kiugró csapadékesemények általában a nyári időszakra jellemzőek, ahogy ezt az 1954-es és 1955-ös év esetben is látjuk (5.1. ábra).

A Duna vízállás értékekre 97,86 mBf átlag jellemző. A maximum és minimum értékek rendre 102,52 és 94,83 mBf (4.1. táblázat). Az 5.2 ábrán láthatjuk, hogy a Duna vízszintingadozásában elsődlegesen egy évszakos váltakozás ismerhető fel, melyre egy kisebb léptékű, de határozott másodlagos változékonyság szuperponálódik. A tavaszi és nyár eleji árhullámot egy markáns maximum jelöli, télen a vízgyűjtő felől érkező víz korlátozott mennyisége miatt egy minimumot látunk.

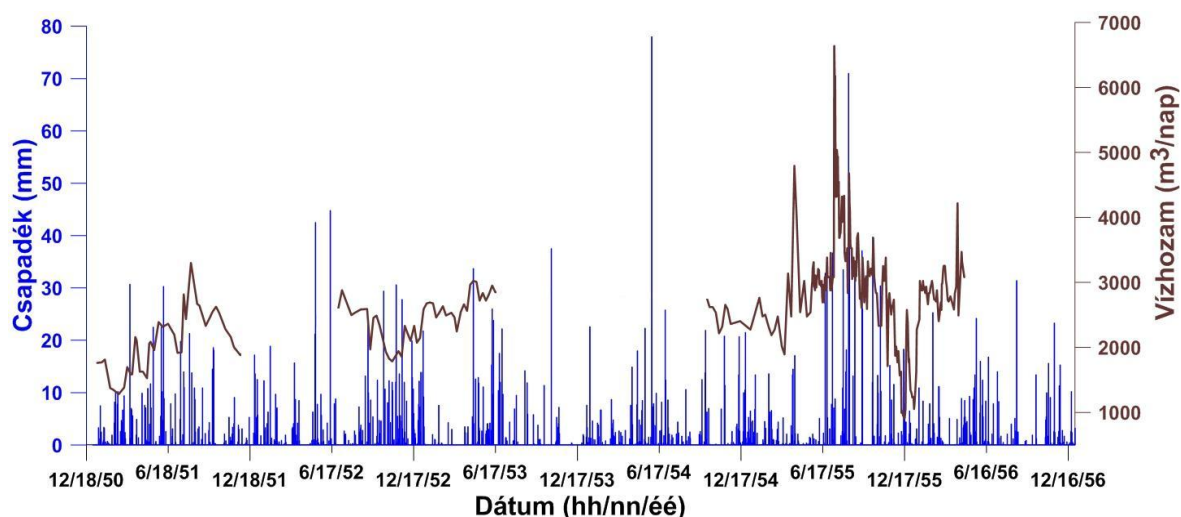
A vízhozam mérések esetén a teljes időszakot tekintve két viszonylag hosszú intervallumról nincs adat, ezeket a hosszabb egyenes szakaszok jelölik. 1951. december 3. és 1952. június 2., illetve 1953. szeptember 17. és 1954. szeptember 26. között nem történtek mérések (5.2). Ezt leszámítva egy két adat hiányzik, amely a hosszú távú folyamatok felismerését nem befolyásolja. Az 1954-ig tartó időszakban a mérések sűrűsége rendszertelen az azt követő időszakhoz képest, ahol hozzávetőlegesen minden nap, vagy legalább minden második nap rendelkezésre áll adat. A görbe általános jellemzőit azonban ez sem befolyásolja nagy mértékben. Az átlagos vízhozam 2733,95 m³/nap, minimuma 907 m³/nap, maximuma 6638,4 m³/nap (4.1. táblázat). A görbéről leolvasható egy tavaszi és nyár eleji pozitív kilengés, továbbá egy téli negatív időszak. Az

éves periódusidejű változékonyságra egy kisebb periódusidejű és amplitúdójú változékonyság is szuperponálódik.

A forrás vizének hőmérsékletében az adatok többé-kevésbé folyamatosak, nincs jelentősebb időszakot átölelő adathiány (5.3. ábra). Emiatt jobban követhetőek a változások és az, hogy mivel függhet össze. Az 1954-es évet megelőző szakaszban a felbontás durvább, ennek megfelelően a kisebb változásokat nem látjuk. Ezt követően viszont a kisebb anomáliák is egyértelműen látszanak, melyek feltehetőleg a korábbi időszakra is jellemzőek. Az értékek 21,2 °C és 26,4 °C között változnak, amely nem mondható nagy különbségnek. Átlagosan 22,9 °C a víz hőmérséklete (4.1. táblázat). Általánosságban a hőmérsékleti görbe lefutásáról is elmondható, hogy egy éves periódus dominálja. Ezen belül látunk rövidebb, pár napos, egy hetes időszakra vonatkozó egy-két maximum három fokos kilengést az átlaghoz képest. A maximum értékek nyáron, a minimum értékek télen figyelhetők meg, mindkét időszakban megjelenik az előbb említett kisebb periódusidejű változékonyság.

5.1.1 Archív csapadék és vízhozam adatok közötti összefüggés vizsgálata

Az archív csapadékadatokat a forrás vízhozamával összevetve leolvasható (5.1. ábra), hogy a csapadékmennyiségben látható éves periodikus változás a vízhozamban is határozottan megjelenik.



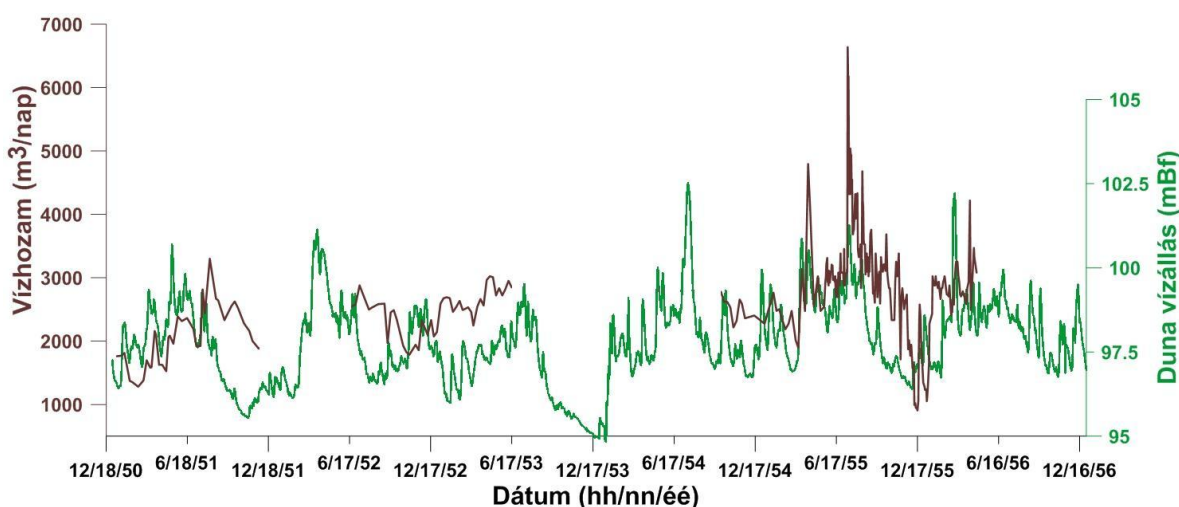
5.1. ábra Archív csapadék és vízhozam adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)

Az adatsor hiányossága miatt a markáns 1954-es évi csapadékesemény hatását nem látjuk a vízhozam görbén. Az 1955-ös júniusi nagyobb csapadékeseményhez kapcsolódóan látunk kiugróan magas értéket a vízhozam görbén is. A vízhozamra vonatkozóan más

időszakokban is láthatóak jelentős növekedések, melyek látszólag nem kapcsolódnak nagy csapadékeseményekhez. Az 1954-es évtől kezdődően az adatsűrűség nagyobb, a csapadékeloszlást jobban követi a vízhozam görbe. Az erre az időszakra számolt két paraméter közti korrelációs együttható, melynek értéke 0,11 körüli, azonban ezt a kapcsolatot nem erősíti meg (5.2. táblázat).

5.1.2 Archív Duna vízállás és vízhozam adatok közötti összefüggés vizsgálata

A vízállás és vízhozam görbe összehasonlítása során is szembeötlő a két paraméter kapcsolata (5.2 ábra). Az egyezés nem tökéletes, de emelkedő Duna vízállás esetén a vízhozamban is emelkedő trendet látunk, ugyanígy követi csökkenés esetén is.



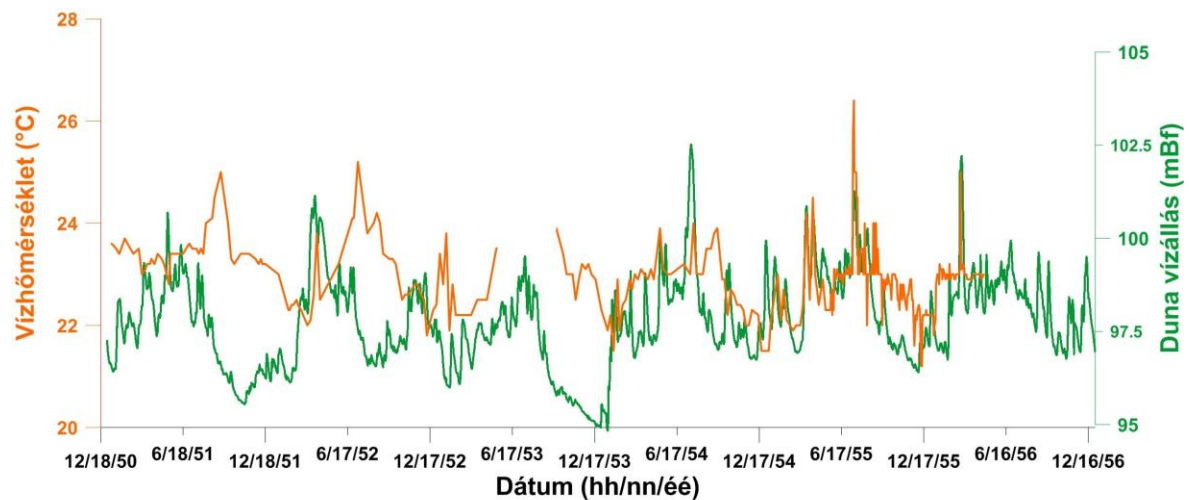
5.2. ábra Archív Duna vízállás és vízhozam adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)

A maximum értékek összehasonlítása során látható egy határozott időbeli eltolódás a két paraméter között. A vízhozam adatsor hiányossága itt is megnehezíti az értelmezést. 1955-ben látható egy kiemelkedően magas vízhozam érték, melyhez közvetlenül ugyan nem tartozik extrém magas Duna vízállás érték, bár ezt az időszakot magas Duna vízállás jellemzi. A két paraméter közötti korrelációs együttható számításakor az 1954-et megelőző időszakra 0,51 körüli, az ezt követő időszakra pedig 0,56 körüli értéket kaptunk (5.2. táblázat).

5.1.3 Archív Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok közötti összefüggés vizsgálata

Az 5.3 ábrán a Duna vízállásának és a Boltív-forrás hőmérsékletének alakulását látjuk a vizsgálati időszakban. Az 1951-től 1954-ig tartó időszakban a vízhőmérséklet vízállástól való függősége hasonló jellegű, mint a korábbi paraméterek esetében. Egy

időbeli eltolódást itt is láthatunk a Duna vízállásához képest. Az áradási időszakok előtt egy hőmérséklet csökkenés, utána pedig növekedés látszik.

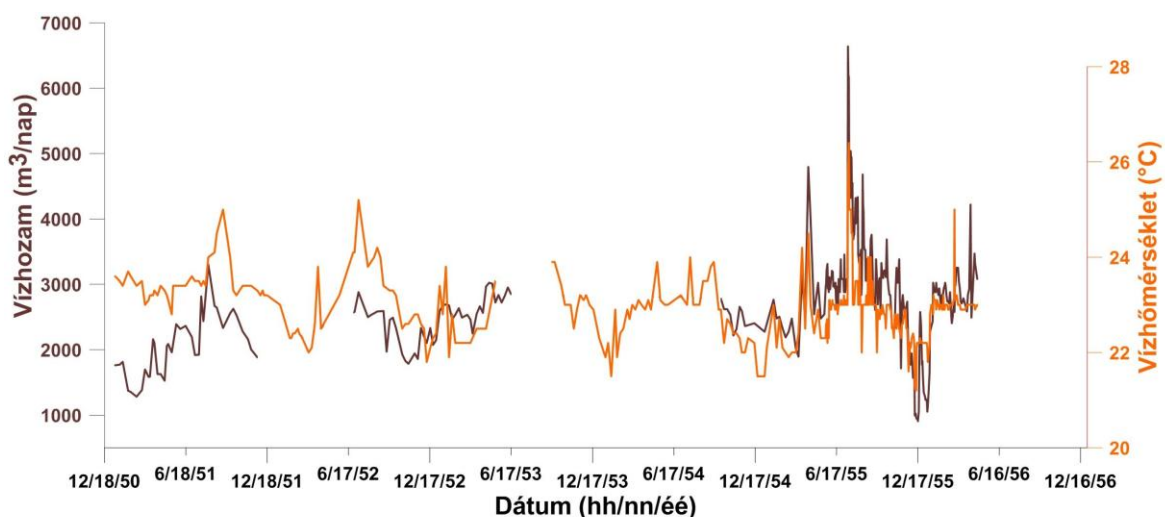


5.3. ábra Archív Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)

Fontos, hogy a mérések ebben az időszakban rendszertelenül és jelen vizsgálat szempontjából nem biztos, hogy elegendő mennyiségben történtek. Az 1954-től 1956-ig történt mérések, azok nagyobb gyakorisága miatt jobban követik a Duna vízszintjének ingadozását, ebben az időszakban a két görbe esetében a vízállás és hőmérsékleti csúcsok jobban korrelálnak, egyéb időszakokra az eltolódás ugyancsak megjelenik. Az erre vonatkozó korrelációs együtt ható a teljes időszakra és az 1955 májusától augusztusáig tartó időszakra rendre 0,34 és 0,59 körüli értékeket vesz fel (5.2. táblázat és 5.1. táblázat). Összességében a hőmérséklet a Duna vízállás hatására számottevő változékonyságot mutat, ugyanúgy, ahogy az előbbiekben vizsgált paraméterek esetében is láttuk.

5.1.4 Archív vízhozam és vízhőmérséklet adatok közötti összefüggés vizsgálata

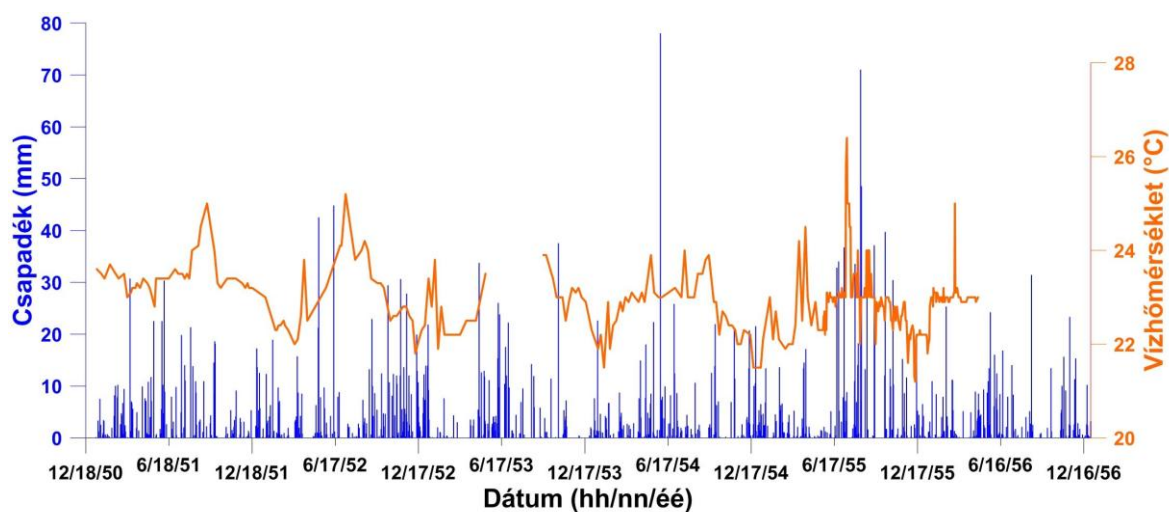
A Boltív-forrás vízhozam és vízhőmérséklet adatainak összehasonlításakor jól látszik a hőmérséklet és a vízhozam összefüggése (5.4. ábra). Problémát jelent az előzőekben már említett, rendszertelen időközönként történő és csekély számú mintavételezés. Az 1954-es évet követően válik árnyaltabbá és értékelhetőbbé a diagram, ahol a hőmérséklet és a vízhozam változása jól korrelál egymással. A teljes időszakra vonatkozó korrelációs együttható értéke 0,57 körüli, ha csak az 1955 májusától augusztusáig tartó időszakot nézzük, ennek értéke 0,8 körüli értéket vesz fel (5.2. táblázat és 5.1. táblázat). Időbeli eltolódás nem látható a két paraméter között, a csúcsok nagyjából azonos időpontoknál vannak.



5.4. ábra Archív vízhőmérséklet és vízhozam adatok alapján készített diagram

5.1.5 Archív csapadék és vízhőmérséklet adatok közötti összefüggés vizsgálata

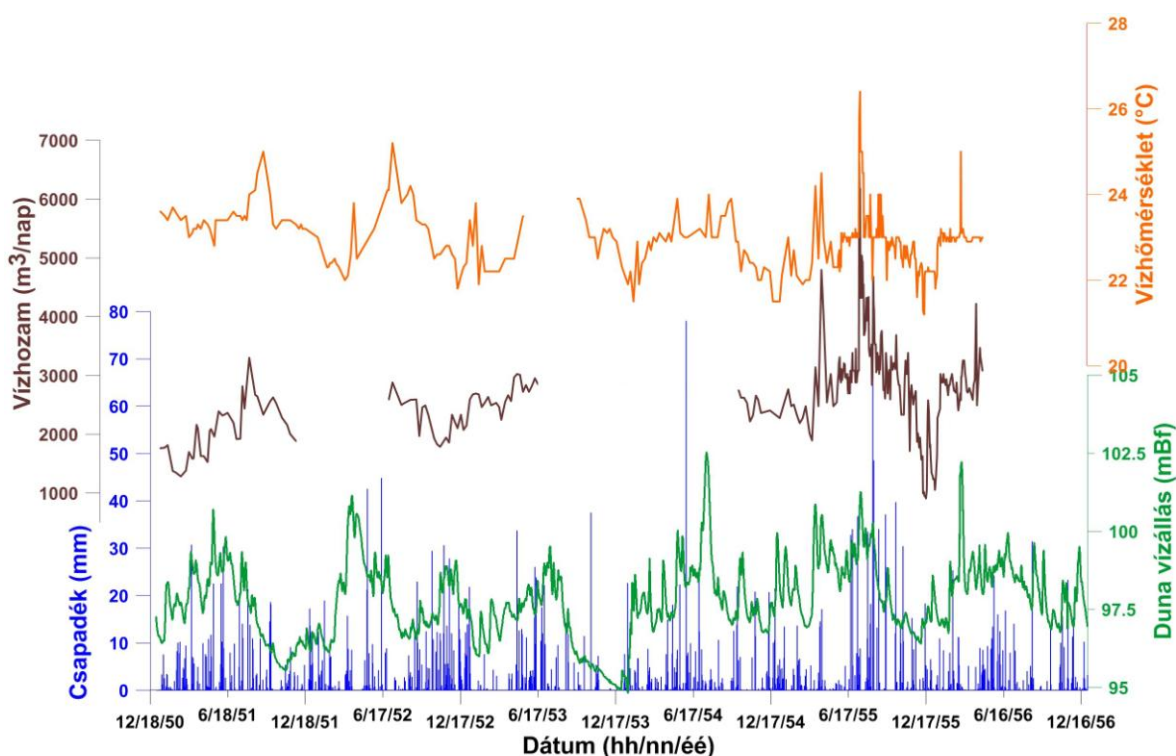
A vízhőmérsékletet és a napi csapadékot ábrázoló görbén is jól látszik a korábban említett periodicitás, mely a csapadék mennyiségének időbeli eloszlásával egybeesik (5.5. ábra). A kapcsolat mégis megkérdőjelezhető, mivel a hőmérsékleti görbén a nagy csapadékesemények nyomait egyáltalán nem látjuk, illetve azokat megelőzően látunk kiugró értékeket. A paraméterek közötti korrelációs együttható a teljes időszakot tekintve - 0,005, az 1955 májusától augusztusáig tartó időszakra vonatkozóan 0,012 (5.2. táblázat és 5.1. táblázat). Ezek az értékek a lineáris kapcsolat hiányát feltételezik.



5.5. ábra Archív csapadék és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)

5.1.6 Összesített adatok

Az 5.6 ábra tartalmazza a vizsgálat időszakára vonatkozó összes mért paraméter grafikonját. Ezek alapján elmondhatjuk, hogy mindegyik mért paraméter tartalmazza az éves periodicitást. Nyári időszakban maximum értékek, a téli időszakban minimum értékek jellemzőek. Mindegyik paraméter esetében látunk egy másodrendű változékonyságot is. A Duna vízállás változásának dominanciája jellemző mind a vízhozam, mind a hőmérséklet esetében, azonban az eltolódás, illetve a kifejtett hatás mértéke nem azonos.



5.6. ábra Archív adatokra vonatkozó összesített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)

Alább láthatóak a teljes és az 1954-es időszakra vonatkozó korrelációs értékeket tartalmazó táblázatok (5.1. táblázat és 5.2. táblázat).

	Víz hőmérséklet (°C)	Vízhozam (m³/nap)	Napi csapadék-mennyiség (mm)	Duna víz állás (mBf)
Víz hőmérséklet (°C)	1			
Vízhozam (m³/nap)	0,804	1		
Napi csapadék-mennyiség (mm)	0,012	0,110	1	
Duna víz állás (mBf)	0,597	0,567	0,086	1

5.1. táblázat A paraméterek 1954 májusától augusztusáig tartó időszakra vonatkozó adatainak korrelációs együtthatói

	Vízhőmérséklet (C°)	Vízhozam (m ³ /nap)	Napi csapadékmennyiség (mm)	Duna vízállás (mBf)
Vízhőmérséklet (°C)	1			
Vízhozam (m ³ /nap)	0,578	1		
Napi csapadék- mennyiség (mm)	-0,005	0,114	1	
Duna vízállás (mBf)	0,342	0,515	0,098	1

5.2. táblázat A paraméterek teljes időintervallumra (1951-1956) vonatkozó adatainak korrelációs együtthatói

5.2 Jelenlegi kézi mérések adatai

5.2.1 Napi csapadékmennyiség és Duna vízállás alakulása a vizsgált időszakban

A 2012-13-as időszak során a napi csapadékmennyiség 0 és 20,2 mm között alakult (4.3. táblázat). Több jelentősebb (10-15 mm-t meghaladó) és hosszabb ideig (több napig) tartó csapadékesemény is volt, főleg 2013. januárjától kezdve. 2012. novemberben, 2013. januárban, február-márciusban és áprilisban 1-2 hetes csapadékmentes időszakok is voltak (5.7. ábra).

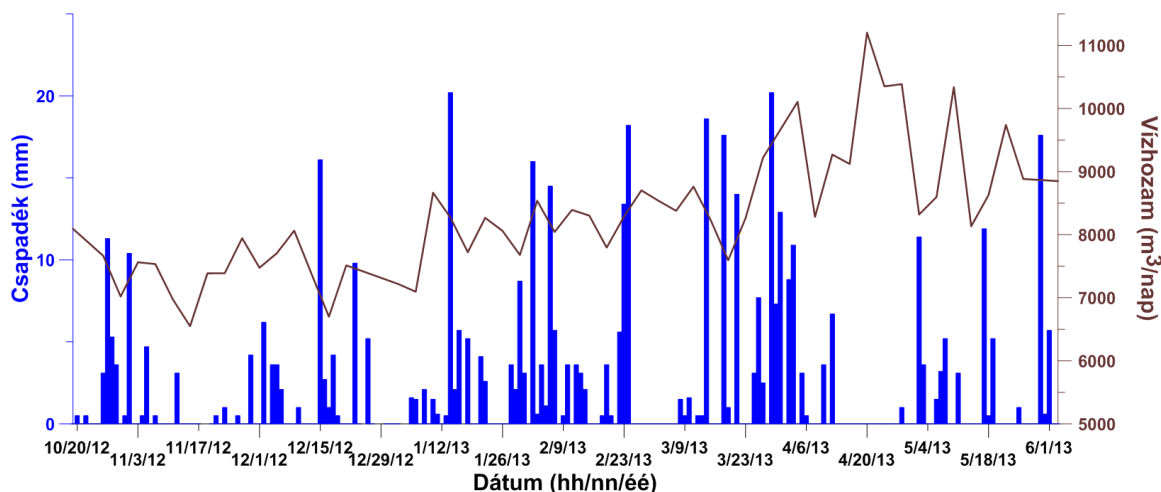
A Duna vízállása 96,24 és 100,73 mBf közötti értékeket mutatott (4.3. táblázat). 2012. november-decemberben volt hosszabb ideig tartó alacsony vízállás, ezután növekedett a Duna vízszintje és 2012 végén – 2013 elején több csúccsal magasabb volt a vízállás (98-101 mBf). 2013 márciusától ingadozó volt, 97 és 100 mBf között változott, a mérési időszak végén pedig látható a kezdődő 2013. júniusi árvíz (5.8. ábra).

5.2.2 Vízhhozam változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A 2012. október 19. és 2013. június 3. közötti időszakban a csatornában mért vízhozam széles tartományban, 6549 és 11202 m³/nap között változott (4.3. táblázat). Körülbelül 2013. márciusáig alacsonyabb volt az átlagos vízhozam (8000-8500 m³/nap) és kisebb ingadozásokat (500-1000 m³/nap) mutatott, majd márciustól kezdve jelentős, akár 2000 m³/napos változások is voltak akár két mérés között eltelt időben is (négy nap alatt) (5.7. ábra).

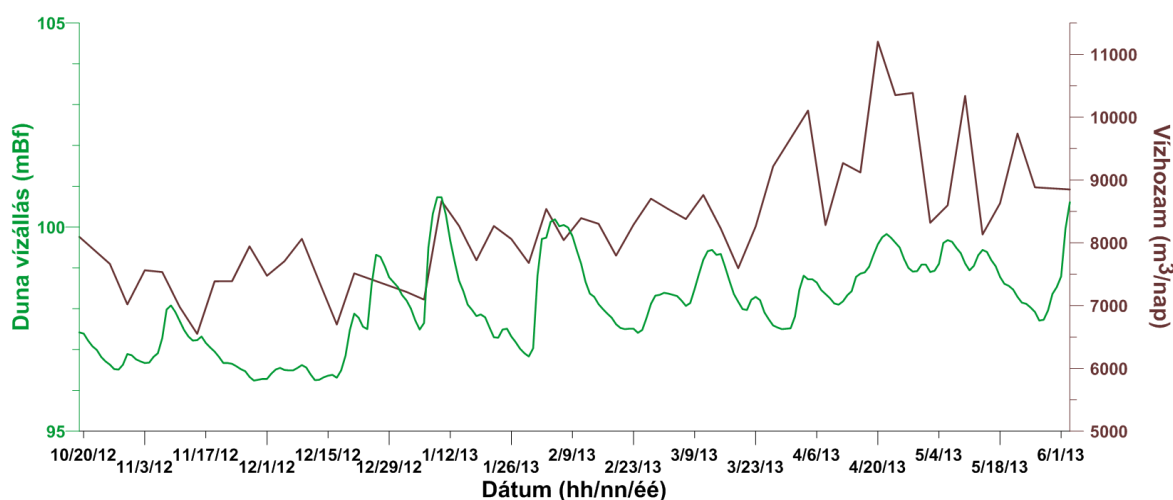
A csapadékeseményeket követően láthatóak a vízhozamban pozitív kiugrások, de a csapadékmennyiségeket és a csapadékos időszak hosszát figyelembe véve nem csupán a

csapadék hatására változik a vízhozam. Például a 2013. január végi-február eleji hosszabb csapadékos időszak után nem látható olyan mértékű hozam-növekedés, mint a március-áprilisi csapadékesemény után (5.7. ábra).



5.7. ábra Jelenlegi csapadék és vízhozam adatok alapján készített diagram

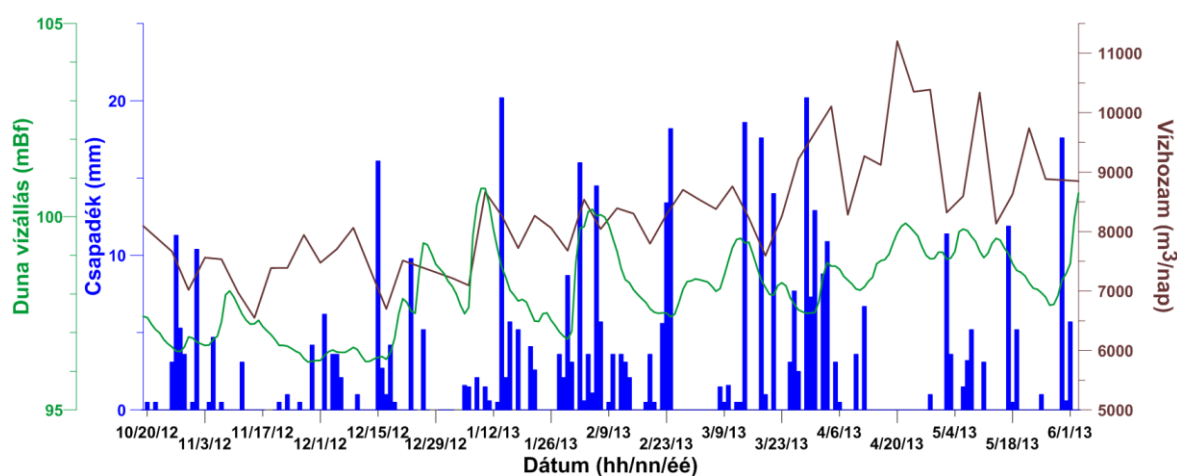
A Duna vízállását és a vízhozamot összehasonlítva azt láthatjuk (5.8. ábra), hogy a vizsgálati időszak elején, körülbelül november elejéig mindkét paraméter csökkent, majd 2012. november közepétől december közepéig magasabb hozam értékek, de alacsony Duna vízállás látható. Ilyen ellentétes változás látható még 2013. január vége felé, illetve május-júniusban. Ezen időszakokon kívül a Duna vízállása és a csatornában mért vízhozam hasonlóan alakult. A 2012. decemberi, 2013. januári és februári magasabb Duna vízálláshoz tartoznak pozitív vízhozam csúcsok, viszont a márciustól június elejéig tartó időintervallumban a kisebb mértékű vízszint-emelkedésekkel egyidőben sokkal nagyobb vízhozam csúcsok láthatóak (5.8. ábra).



5.8. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhozam adatok alapján készített diagram

Összességében tehát elmondható, hogy a Boltív-forrás vízhozamát a csapadék és a Duna vízállás együttesen alakítja. A diagramok alapján nem csupán az egyik vagy a másik befolyásolja dominánsan a hozamot (5.9. ábra).

A paraméterekre elvégzett korrelációs együttható számítás eredményei szerint a csatorna vízhozama és a Duna közötti együttható értéke 0,59, ami viszonylag erősebb kapcsolatot jelez, míg a vízhozam és a csapadék között csupán -0,05, amely alapján a két paraméter korrelálatlannak tekinthető (5.3 táblázat). A grafikus ábrázolás azonban ennek némileg ellentmond.

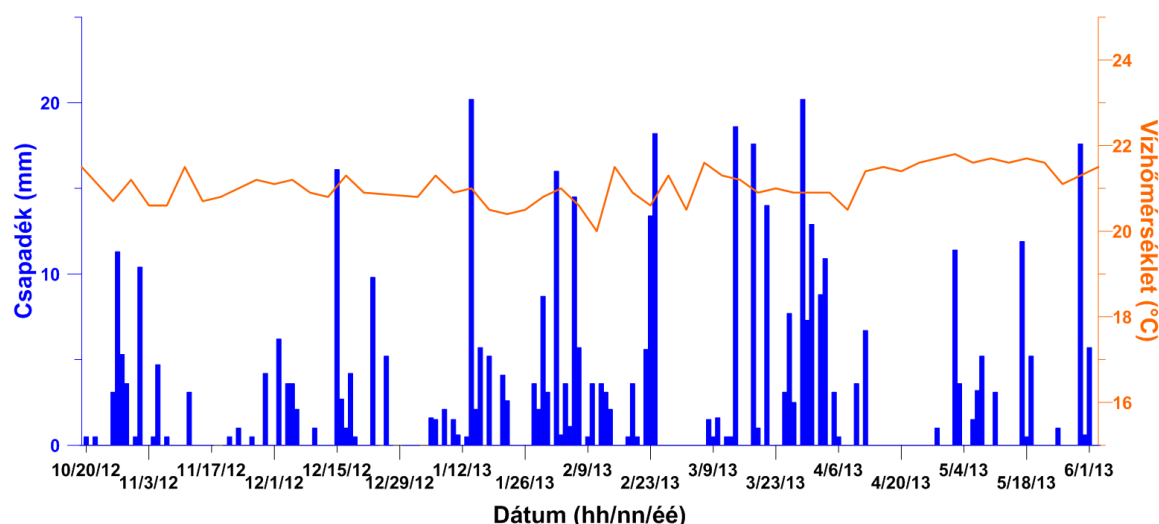


5.9. ábra Jelenlegi csapadék, vízhozam és Duna vízállás adatok alapján készített diagram

5.2.3 Hőmérséklet változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

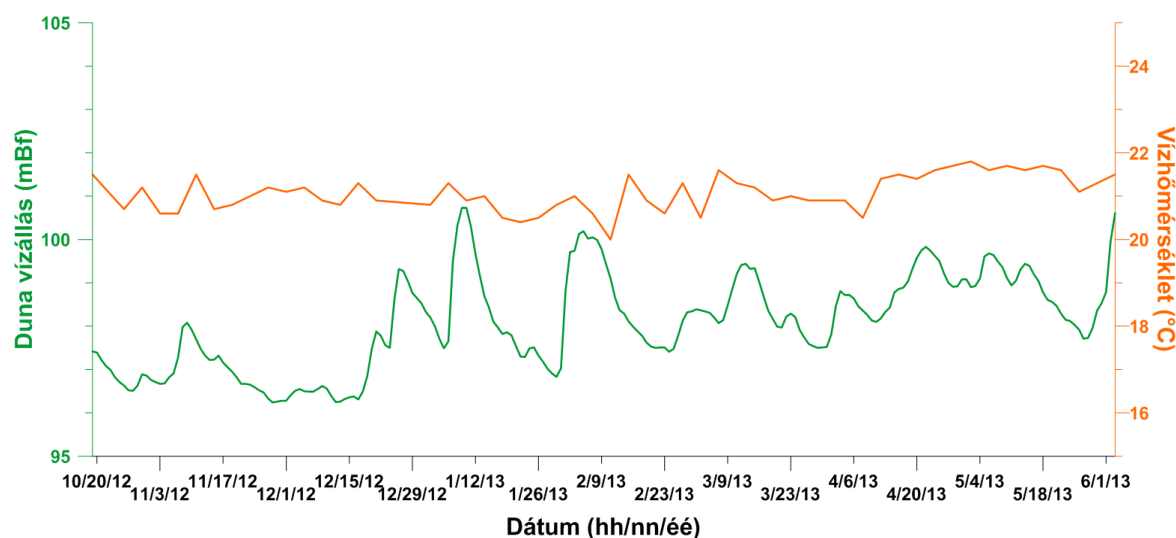
A csatornában mért vízhőmérséklet kis mértékben változott a 2012-13-as időszak során, értéke 20 és 21,8°C között alakult (4.3. táblázat). Ez stabilnak tekinthető, főleg április-májusban, amikor csak pár tized °C-ot változott. A korábbi időszakban láthatóak nagyobb (0,5-1°C-os) változások is, különösen februárban-március elején ingadozott nagyobb mértékben (5.10. ábra).

Az 5.10. ábra diagramján azt láthatjuk, hogy a változó mennyiségű, több hétig tartó csapadékhullás idején változékonny volt a forrás hőmérséklete, viszont a hasonlóan csapadékosabb március-április során nem voltak ilyen mértékű változások. Az április-májusi stabil vízhőmérséklet elején nem volt csapadék, májusban viszont voltak pár napos, 5-10 mm-t meghaladó csapadékhullások, melyek alig észrevehető változást okoztak a víz hőmérsékletében.



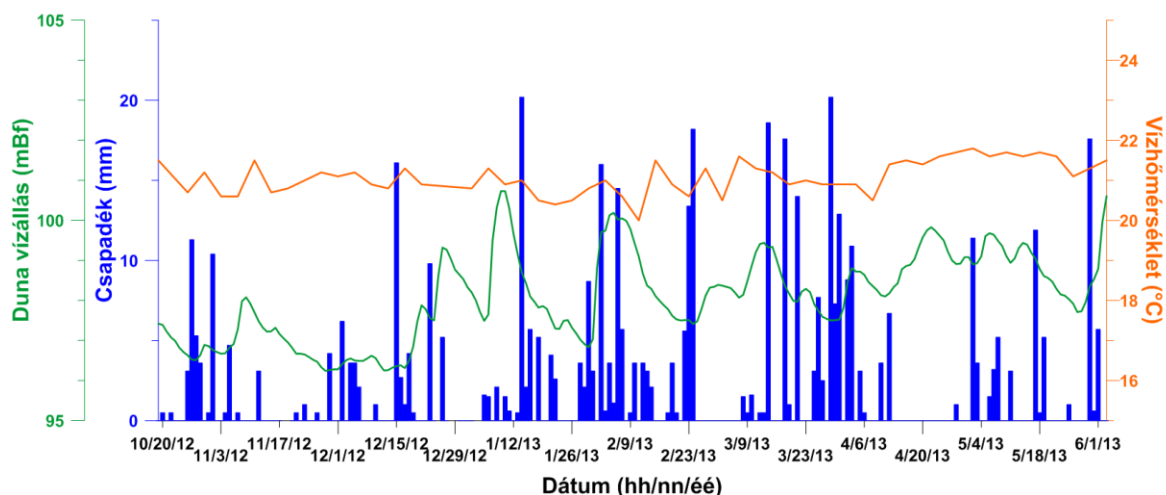
5.10. ábra Jelenlegi csapadék és víz hőmérséklet adatok alapján készített diagram

A víz hőmérsékletet a Duna vízállásával együtt ábrázoló diagramon (5.11. ábra) megfigyelhető, hogy az április-májusi stabil hőmérsékleti időszaktól eltekintve magasabb Duna vízállások idején pozitív csúcsok vannak a hőmérsékletben. A hőmérséklet-változások mértéke azonban nem függ össze a Duna vízszint-változások mértékével. A legnagyobb vízállások idején (december, január, február) nincsenek nagyobb ugrások a víz hőmérsékletben, mint kisebb vízállás-változásokkor.



5.11. ábra Jelenlegi Duna víz állás és víz hőmérséklet adatok alapján készített diagram

A forrás hőmérséklete tehát sem a csapadékkal, sem a Duna vízállással nem mutat egyértelmű összefüggést a 2012-13-ban mért adatok alapján (5.12. ábra). Ezt támasztja alá a korrelációs együttható is, melynek értéke csapadék - hőmérséklet esetén -0,1, csapadék - Duna vízállás esetében pedig 0,29 (5.3 táblázat).

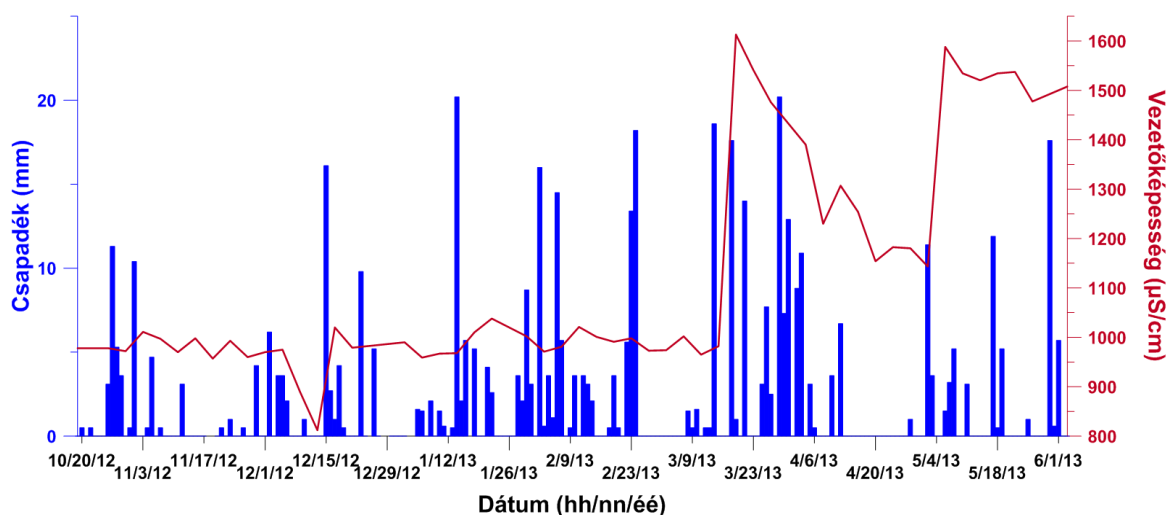


5.12. ábra Jelenlegi Duna vízállás, csapadék és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram

5.2.4 Fajlagos elektromos vezetőképesség változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

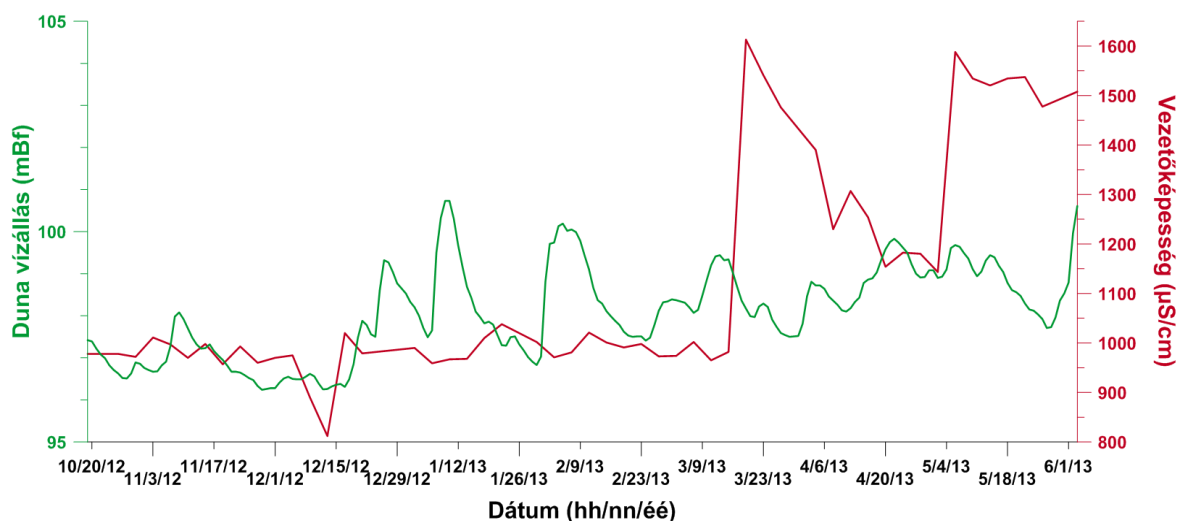
A fajlagos elektromos vezetőképesség a teljes vizsgálati időszakban 812 és 1613 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között változott (4.3. táblázat). Októbertől március elejéig 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ körül ingadozott, kivéve december közepén, amikor értéke majdnem 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re csökkent le. Március elején egy hatalmas ugrással két mérés között értéke 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ről közel 1650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re változott. Ezután értéke csökkent, majd május elején egy újabb nagyobb ugrás (körülbelül 1100-ról 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -re) következett be (5.13. ábra).

Az 5.13 ábrán látható diagramon megfigyelhető, hogy a nagyobb csapadékesemények után a vezetőképességben kisebb növekedések vannak, majd csökkenés figyelhető meg. A diagram alapján a csapadék és a vezetőképesség között nincsen erős kapcsolat, ezt támasztja alá a korrelációs együttható, melynek értéke ezen két paraméterre -0,14 (5.3 táblázat).



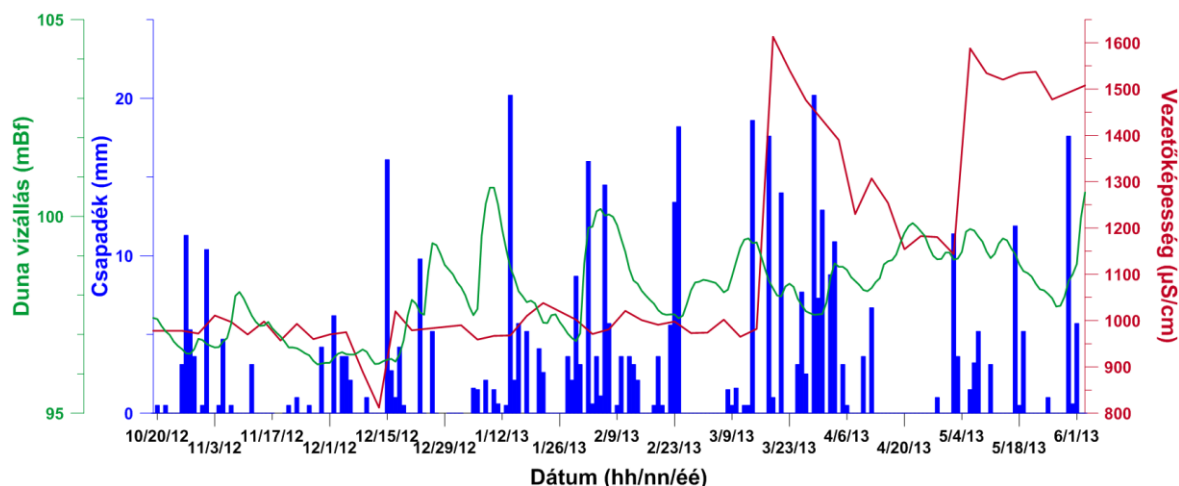
5.13. ábra Jelenlegi csapadék és vezetőképesség adatok alapján készített diagram

A Duna vízállást és a fajlagos elektromos vezetőképességet együtt vizsgálva az látható (5.14. ábra), hogy néhány magasabb Duna vízállás (november eleje, január-február, április-május) után voltak kisebb csúcsok a vezetőképességben. Azonban a vezetőképességben bekövetkezett változások nincsenek arányban a Duna vízállás-változás mértékével. A két paraméter korrelációs együtthatója is ezt jelzi: 0,41 (5.3 táblázat).



5.14. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vezetőképesség adatok alapján készített diagram

A fajlagos elektromos vezetőképességről összességében elmondható, hogy kisebb mértékben a csapadékkal és a Duna vízállásával is mutat összefüggést, de változásai nem indokolhatóak csupán e két paraméter hatásaival (5.15. ábra).

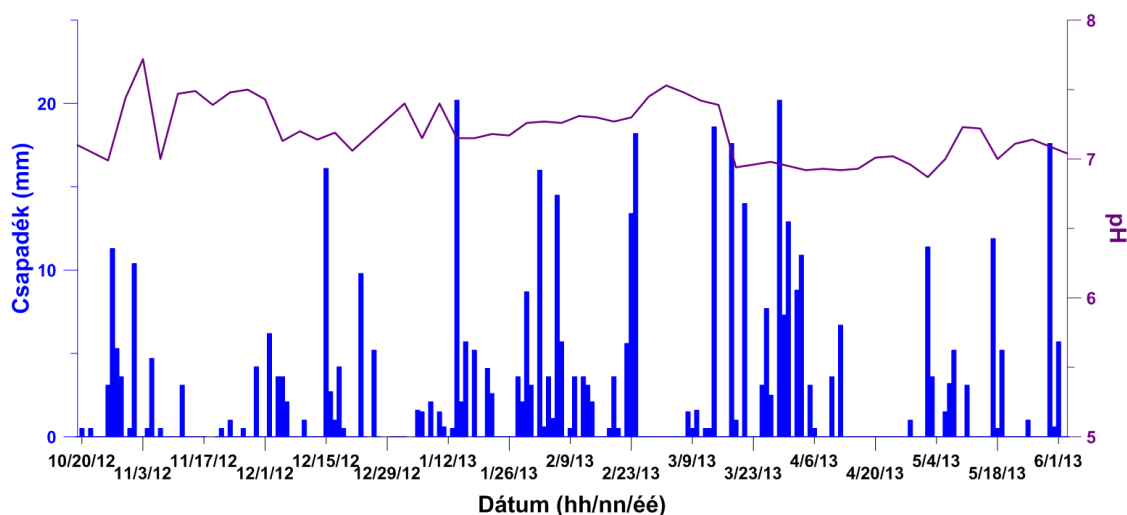


5.15. ábra Jelenlegi Duna vízállás, csapadék és vezetőképesség adatok alapján készített diagram

5.2.5 pH változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

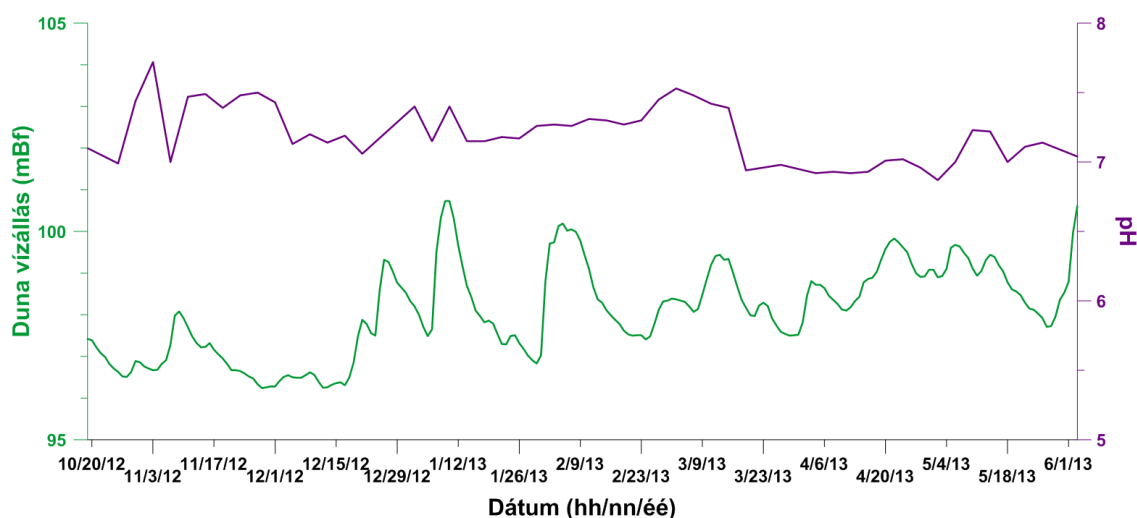
A pH értéke a vizsgálati időszak során semleges körüli volt, 6,87 és 7,72 között változott (4.3. táblázat). Október-novemberben nagyobb ugrások láthatóak az értékében. Március közepéig 7,2-7,3 volt átlagosan az értéke, ezután valamivel kisebb lett, 7 alá csökkent. Március közepétől május elejéig stabil volt, majd értéke lecsökkent, ezután pedig megnőtt és ismét 7-nél nagyobb lett (5.16. ábra).

A pH-t és a csapadékot ábrázoló diagram alapján (5.16. ábra) a pH-ban bekövetkezett változások nem indokolhatóak a csapadék mennyiségének változásaival. Nagyobb csapadékesemények idején (január-február, illetve április) a pH stabil. A gyenge kapcsolatot támasztja alá a pH – csapadék korrelációs együttható, melynek értéke -0,16 (5.3 táblázat).



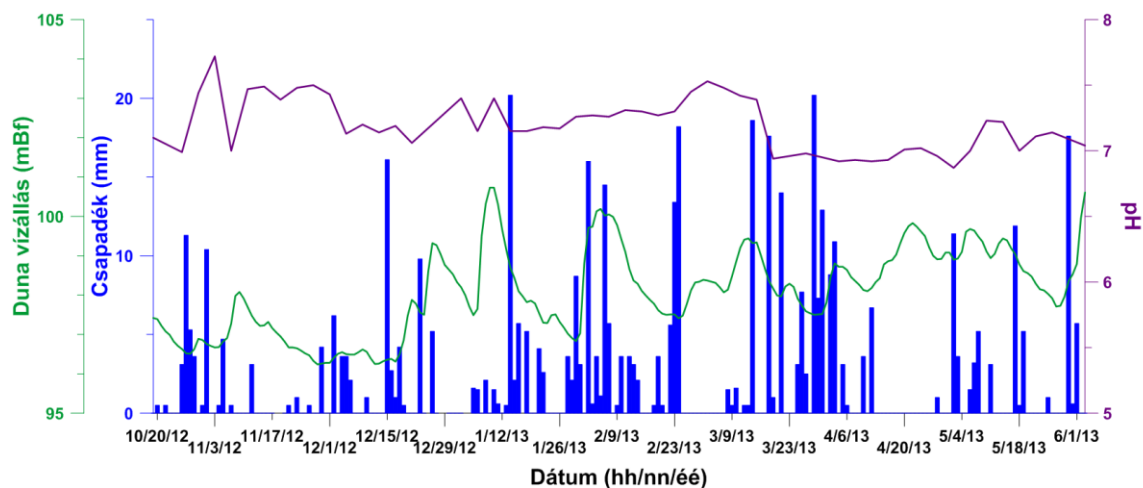
5.16. ábra Jelenlegi csapadék és pH adatok alapján készített diagram

A decemberi és januári magasabb Duna vízállás idején a pH-ban láthatóak csúcsok, valamint márciusban és április-májusban is, viszont a novemberi Duna vízállás csúccsal egyidőben a pH csökkent (5.17. ábra). A két stabil időszak (január közepe – február közepe, valamint március közepe – május eleje) alatt is voltak nagyobb Duna vízállások. Ezek és a korrelációs együttható alapján, melynek értéke -0,25 a pH és a Duna vízállása között nincsen erős kapcsolat (5.3 táblázat).



5.17. ábra Jelenlegi Duna vízállás és pH adatok alapján készített diagram

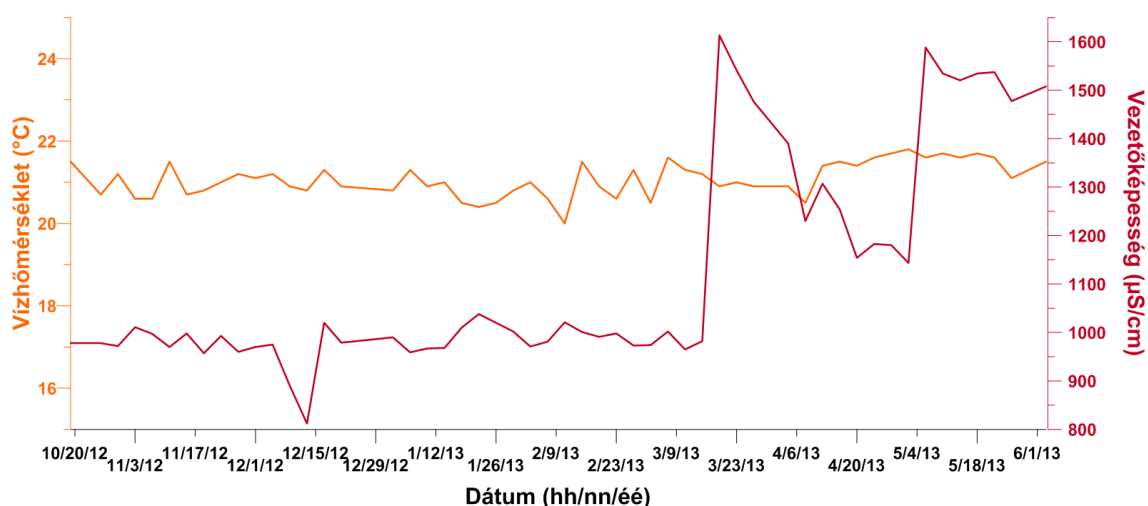
A pH-t a csapadékkal és a Duna vízállással is együtt vizsgálva utóbbi kettő együttes hatása sem okozott jelentős változásokat a pH-ban. A csapadékosabb és magasabb vízállású időszakok idején (február, március) tapasztalhatóak a pH-ban stabil időszakok (5.18. ábra).



5.18. ábra Jelenlegi Duna vízállás, csapadék és pH adatok alapján készített diagram

5.2.6 Vízhőmérséklet és fajlagos elektromos vezetőképesség kapcsolatának vizsgálata

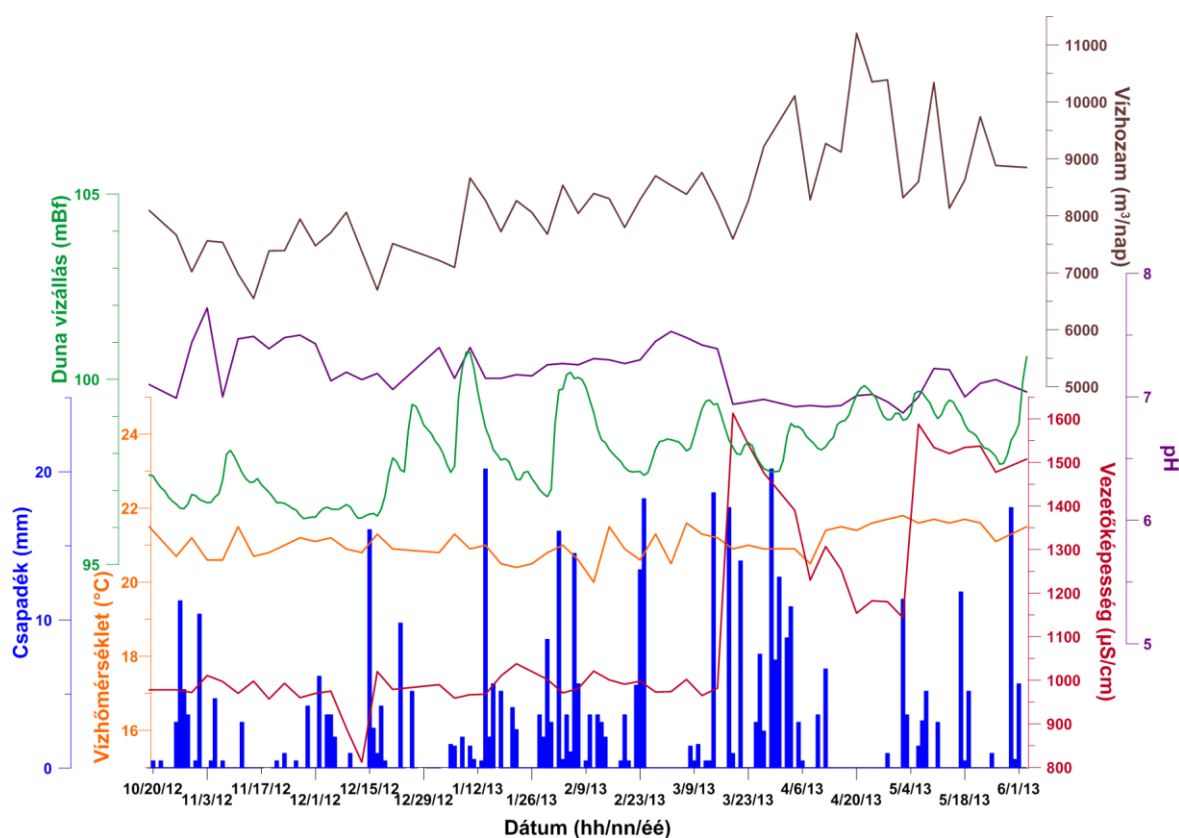
A csatorna vizének hőmérséklete és a fajlagos elektromos vezetőképessége közötti kapcsolatot vizsgálva megfigyelhető, hogy volt olyan, amikor egy időben azonos módon változott a két paraméter (pl. november közepe, december közepe, április közepe), viszont több alkalommal ellentétes változás is látható (pl. november eleje, március közepe) (5.19. ábra). A vezetőképesség sokkal nagyobb változásokat mutatott a vizsgálati időszakban, mint a hőmérséklet. A jelentős márciusi, illetve májusi vezetőképesség-változások idején a hőmérsékletben nem láthatóak ilyen markáns változások. A két paraméter korrelációs együtthatója 0,39 (5.3 táblázat).



5.19. ábra Jelenlegi vezetőképesség és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram

5.3 Összesített jelenlegi kézi mérések adatai

Az összes paramétert (vízhozam, vízhőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, napi csapadékmennyiség és Duna vízállás) ábrázoló diagram (5.20. ábra), illetve a paraméterek kapcsolatára vonatkozó korrelációs mátrix alapján (5.3. táblázat) elmondható, hogy a csapadék nincsen hatással a vízhozamra, illetve a fiziko-kémiai paraméterekre sem. A Duna viszont befolyásolja a csatornában mérhető paramétereket. A korrelációs együtthatók alapján leginkább a vízhozamra van hatással, valamint a vezetőképességre. A diagram alapján a Duna hatása inkább később érvényesül. Ennek vizsgálatára a 6.1 fejezetben térünk ki.



5.20. ábra Jelenlegi adatok alapján készített összesített diagram

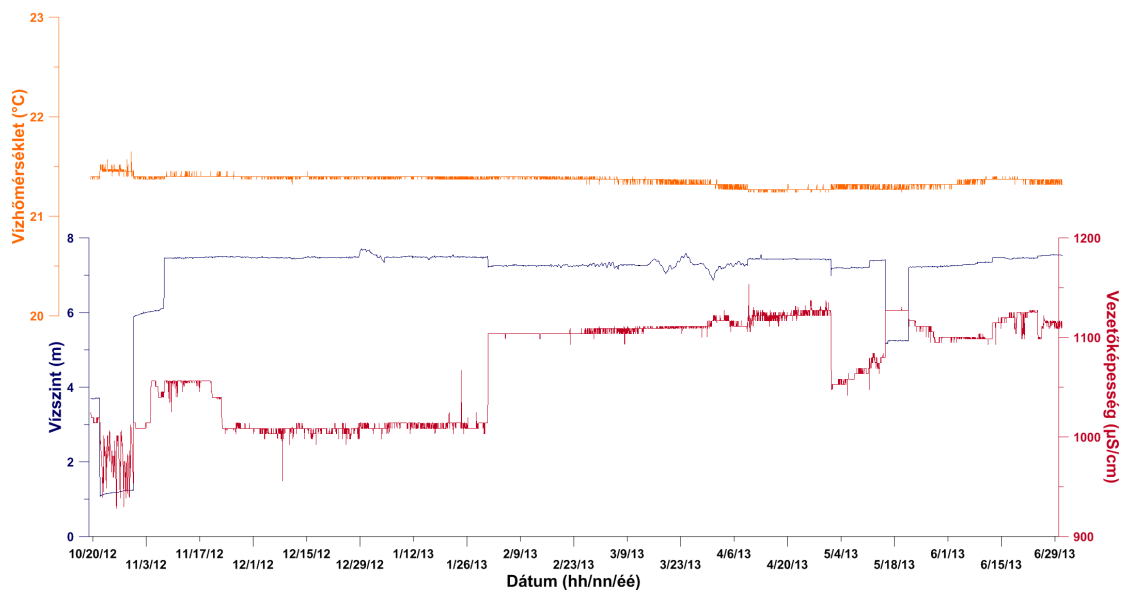
	Csatorna vízhozam (m ³ /nap)	Napi csapadék- mennyiség (mm)	Duna vízállás (mBf)	pH	Víz- hőmérséklet (°C)	Fajlagos elektromos vezető- képesség (μS/cm)
Csatorna vízhozam (m ³ /nap)	1					
Napi csapadék- mennyiség (mm)	-0,051	1				
Duna vízállás (mBf)	0,589	-0,009	1			
pH	-0,416	-0,155	-0,249	1		
Víz hőmérséklet (°C)	0,380	-0,099	0,290	-0,220	1	
Fajlagos elektromos vezetőképesség (μS/cm)	0,487	-0,137	0,418	-0,544	0,388	1

5.3. táblázat A jelenlegi adatokra vonatkozó korrelációs együtthatók értékei

5.4 Folyamatos mérési adatok

A Dataqua műszer 2012. október 19-től lett telepítve a Malom-tóba, de november 7-ig, amikor áthelyezték a Boltív-forrás hasadékába, az adatok nem reprezentatívak, mert a műszert sokszor elmozdították a helyéről, ezért a paraméterekben nagy ugrások vannak (5.21. ábra). A mérési időszak alatt többször is mozgatták még a műszert, ezeket az időszakokat kiszűrve végül három szakaszra (2012. nov. 7. - 2013.jan.31., 2013. jan. 31. – ápr. 9. és 2013. máj. 21. – jún. 30.) osztottuk fel a vizsgálati időszakot, és ezeket külön tárgyaljuk ebben az alfejezetben. A különbontás célja még, hogy a rövidebb távú változások is tanulmányozhatóak legyenek nagyobb felbontásban.

A Dataqua műszer által rögzített adatok esetében rövid periódusú, kis változások vannak (5.21. ábra). Ez valószínűleg nem természetes hatásra történt, hanem a műszer sajátossága és a sűrű (óránkénti) adatfelvétel lehet az oka.



5.21. ábra A Dataqua műszer által mért vízszint, víz hőmérséklet és vezetőképesség adatok alapján készített diagram

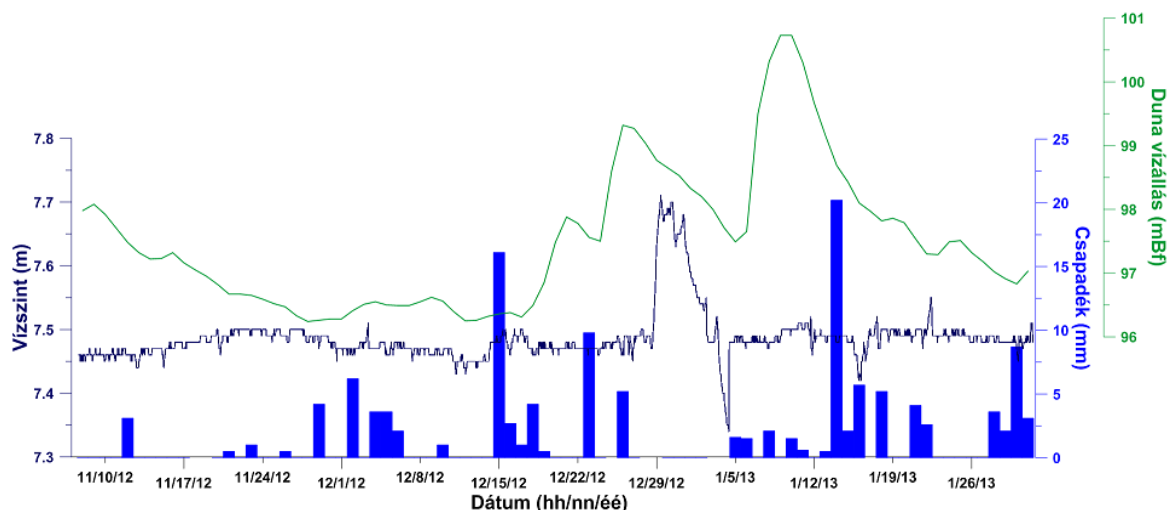
5.4.1 2012. november 7. – 2013. január 31. közötti időszak

5.4.1.1 Vízszint változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

Ebben az időszakban a vízszint 7,34 és 7,71 m között változott. December végéig csak néhány cm-t ingadozott, majd december végén – január elején látható nagy kiugrás, amikor pár napon belül először kb. 20 cm-rel nőtt, majd kb. fokozatosan 40 cm-t csökkent. Ezután ismét pár cm-es ingadozások voltak (5.22. ábra).

A jelentősebb vízszint-emelkedés egybe esik magasabb Duna vízállással, csökkenése idején pedig a Duna vízszintje is csökkent. Viszont az előtte és az utána lévő, az előbbinél magasabb Duna vízállás idején nem látható jelentősebb változás a vízszintben. A gyenge kapcsolatot a korrelációs együttható is bizonyítja (értéke 0,28) (5.4. táblázat).

Nagyobb mennyiségű csapadékhullás idején a vízszintben nem látható nagyobb változás, de pár nappal később jelentkeztek vízszint-növekedések (5.22. ábra), a korrelációs együttható értéke -0,12 (5.4. táblázat).

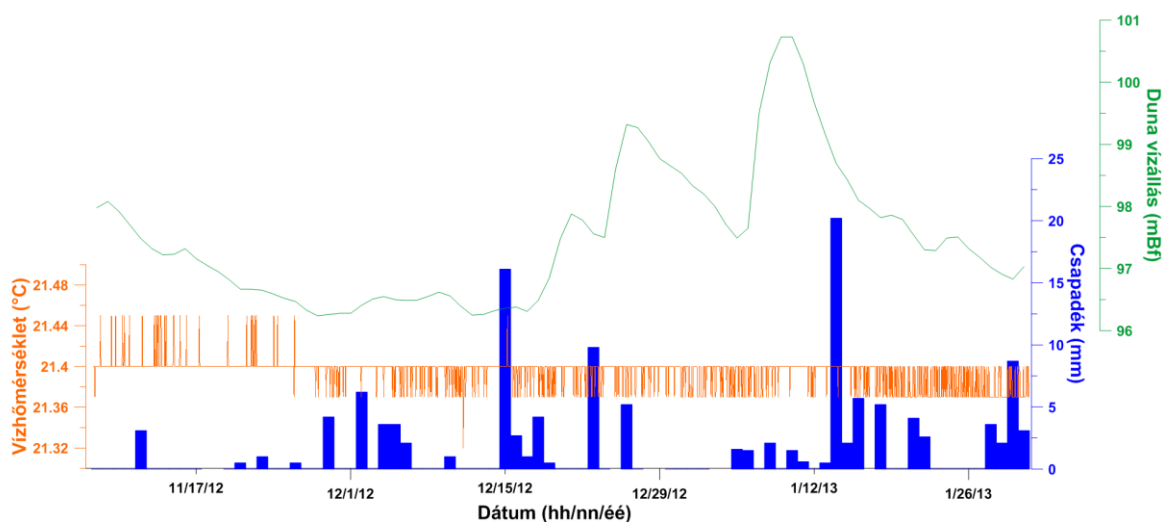


5.22. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vízszint adatok alapján készített diagram a 2012.november 7. és 2013. január 31. közötti időszakra

5.4.1.2 Vízhőmérséklet változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A vízhőmérséklet ebben az időszakban rendkívül stabil volt, 21,32 és 21,45°C között változott (4.5. táblázat). November végéig döntően 21,4°C-nál magasabb volt, utána pedig annál alacsonyabb. December 15-én egy órában haladta meg ezt az értéket (5.23. ábra).

A vízhőmérséklet sem csapadék események, sem pedig nagyobb Duna vízállások esetén nem mutat számottevő változást (korrelációs együttható értéke csapadék és hőmérséklet esetében -0,04, Duna vízállás és hőmérséklet esetében pedig -0,02) (5.4. táblázat). Kivéve a december 15-i növekedést, amely nagyobb mennyiségű csapadékhullással esett egy időbe (5.23. ábra).

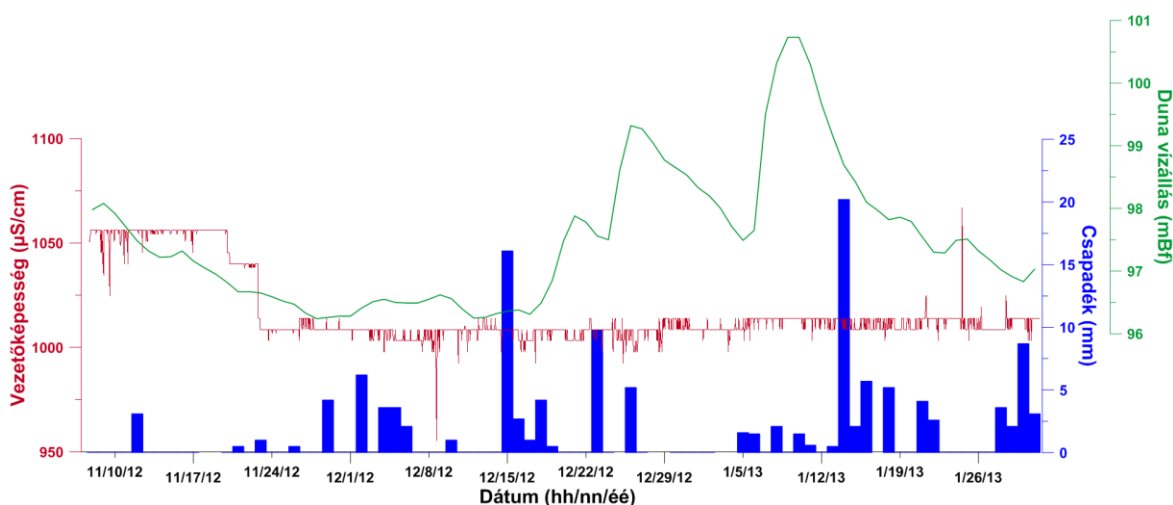


5.23. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó hőmérséklet adatok alapján készített diagram a 2012.november 7. és 2013. január 31. közötti időszakra

5.4.1.3 Fajlagos elektromos vezetőképesség változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A fajlagos elektromos vezetőképesség 956 és 1067 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között változott (4.5. táblázat). November közepéig jellemzőek voltak a magasabb (1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ körüli) értékek, ezután két nagyobb csökkenés következett be, majd 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ körül alakult. Ebben az időszakban két nagyobb ugrás, december elején csökkenés, majd január közepén növekedés látható (5.24. ábra).

A novemberi jelentős vezetőképesség-csökkenés idején a Duna vízállása fokozatosan csökkent. A január közepi pozitív kiugrás a Duna vízállás kisebb csúcsával esik egybe. Vagyis a diagram alapján feltételezhető kapcsolat a vezetőképesség és a Duna vízállása között. Ennek ellentmond a 0,0001 értékű korrelációs együttható (5.3. táblázat). Az 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -es vezetőképesség értékek idején csapadékhiányos időszak volt, a január eleji maximum is csapadékhiányos időszakkal esik egybe, de nincsen erős kapcsolat a két paraméter között (a korrelációs együttható -0,19) (5.4. táblázat)



5.24. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó fajlagos elektromos vezetőképesség adatok alapján készített diagram a 2012.november 7. és 2013. január 31. közötti időszakra

5.4.2 2013. február 1. – április 9. közötti időszak

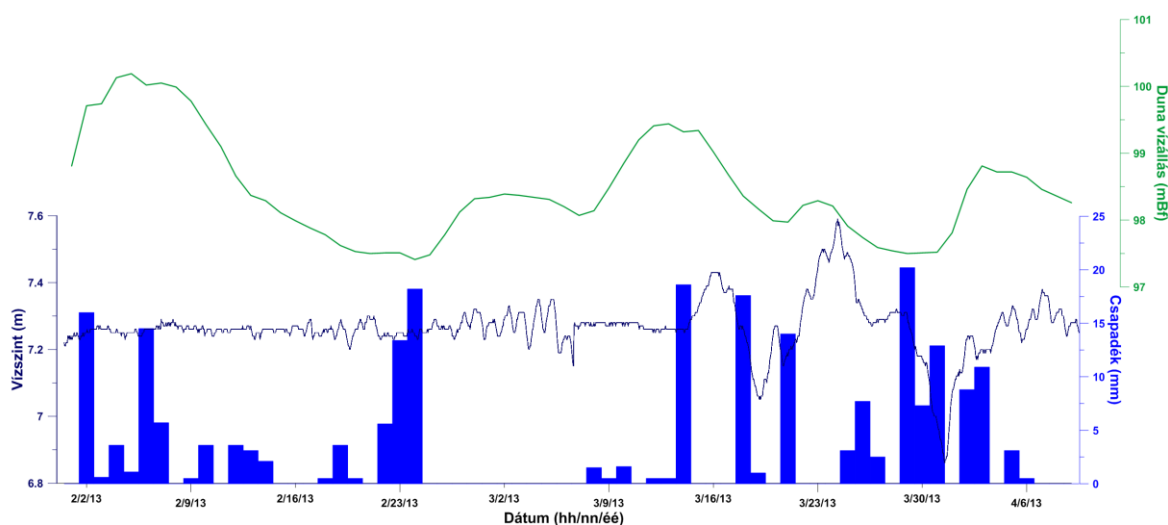
5.4.2.1 Vízsint változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

Ebben az időszakban a Malom-tó vízszintje 6,86 és 7,59 m között változott (4.5. táblázat). Februárban kis, néhány cm-es ingadozások láthatóak, de a vízszint stabilnak

mondható. Ezután voltak „jelentősebb” (néhány 10 cm-es) változások, melyek márciusban a legnagyobbak (5.25. ábra).

A márciusi vízszint-növekedések egybe esnek magasabb Duna vízállásokkal. A március eleji és április eleji magasabb Duna vízállások idején jelentősebb vízszint-növekedés nincsen, de több cm-es rövid periódusú ingadozások voltak. A korrelációs együttható (0,08) alapján nagyon gyenge a kapcsolat a két paraméter között (5.4. táblázat).

Néhány csapadékhullás után vannak változások a vízszintben, de egyértelmű kapcsolat nem fedezhető fel, ezt mutatja a korrelációs együttható is (-0,26) (5.4. táblázat).

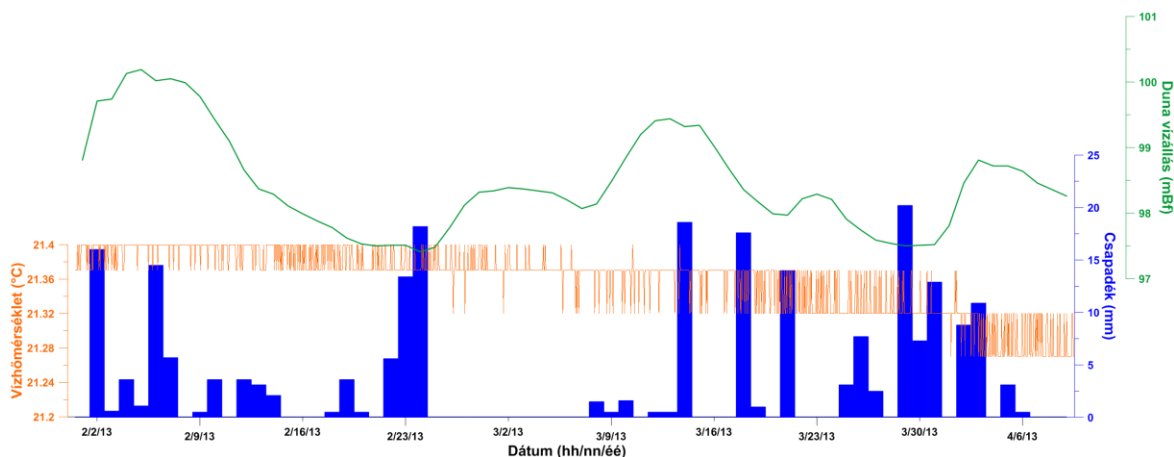


5.25. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vízszint adatok alapján készített diagram a 2013. február 1. és 2013. április 9. közötti időszakra

5.4.2.2 Vízhőmérséklet változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A vízhőmérséklet ebben az időszakban is stabil volt, 21,27 és 21,4°C között változott (4.5. táblázat). Március elejétől és április elejétől volt néhány tized °C-os csökkenés (5.26. ábra).

A két nagyobb csökkenés idején a Duna vízállás alacsonyabb volt, de a vízállás növekedése idején a hőmérsékletben változás nem látható (5.26. ábra). A korrelációs együttható (0,25) is ezt mutatja (5.4. táblázat). Az április eleji hőmérséklet-csökkenés nagyobb csapadékhullással esik egy időbe (5.26. ábra), de ezen kívül sem a diagram, sem a korrelációs együttható (-0,08) (5.4. táblázat) alapján nincsen hatással a csapadék a hőmérsékletre.

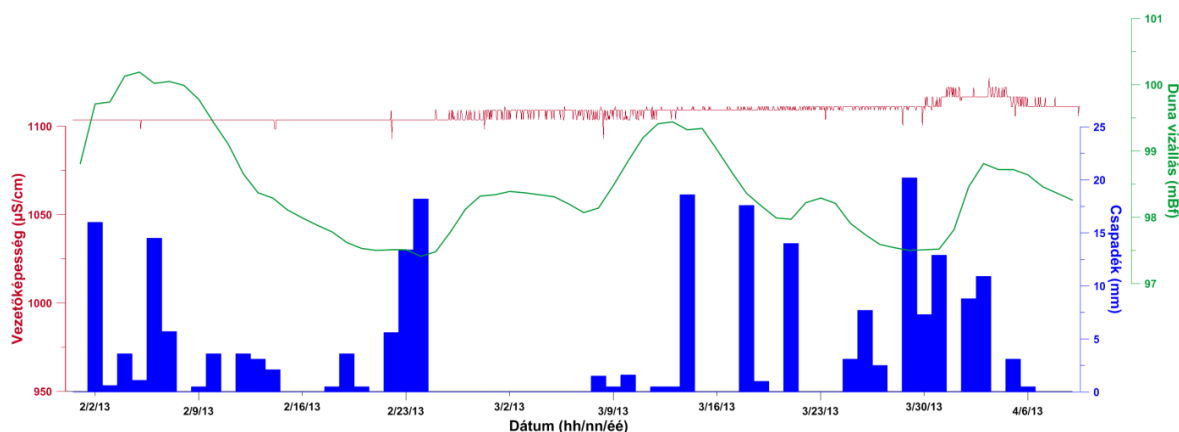


5.26. ábra Duna víz állás, csapadék és Malom-tó hőmérséklet adatok alapján készített diagram a 2013. február 1. és 2013. április 9. közötti időszakra

5.4.2.3 Fajlagos elektromos vezetőképesség változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna víz állásával

A fajlagos elektromos vezetőképesség ebben az időszakban nem változott jelentősen, értéke 1093 és 1127 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között alakult (4.5. táblázat). Kisebb csúcs március-áprilisban látható (5.27 ábra).

A március-áprilisi vezetőképesség-növekedés idején a Duna víz állása magasabb volt és előtte volt több napos csapadékhullás, de a vezetőképesség egyik paramétertől sem látszik függni (korrelációs együttható vezetőképesség és Duna esetében -0,19, vezetőképesség és csapadék esetében pedig 0,07) (5.4. táblázat)



5.27. ábra Duna víz állás, csapadék és Malom-tó vezetőképesség adatok alapján készített diagram a 2013. február 1. és 2013. április 9. közötti időszakra

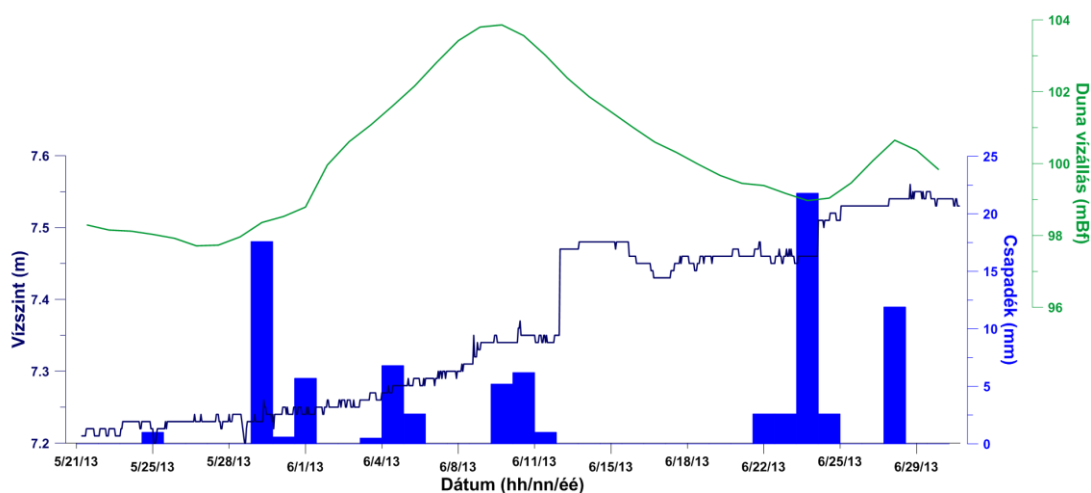
5.4.3 2013. május 21. – június 30. közötti időszak

5.4.3.1 Vízsztint változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A Malom-tó vízszintje ebben az időszakban 7,2 és 7,56 m között változott (4.5. táblázat). Június közepéig lassú, fokozatos emelkedés látható, majd hirtelen növekedés, ezután egy-két napig stabil volt, majd csökkent és június végén ismét növekedett (5.28. ábra).

Ebben az időszakban szépen látszik, hogy ahogy nőtt a Duna vízállása, azzal együtt a vízszint értéke is fokozatosan növekedett. A vízállásban bekövetkezett változást ilyen mértékű csökkenés nem követte, de a június végi Duna vízállás csúcs idején ismét növekedett a vízszint (5.28. ábra). A korrelációs együttható nem mutat erős kapcsolatot a két paraméter között (0,22) (5.4. táblázat).

A június közepi 20 mm-t meghaladó csapadékhullás idején látható csak jelentősebb ugrás a vízszintben. A többi csapadékhullás idején vagy utána csak kisebb ugrások voltak (5.28. ábra). A csapadék ebben az időszakban sem volt hatással a vízszintre (0,03 a korrelációs együttható) (5.4. táblázat).



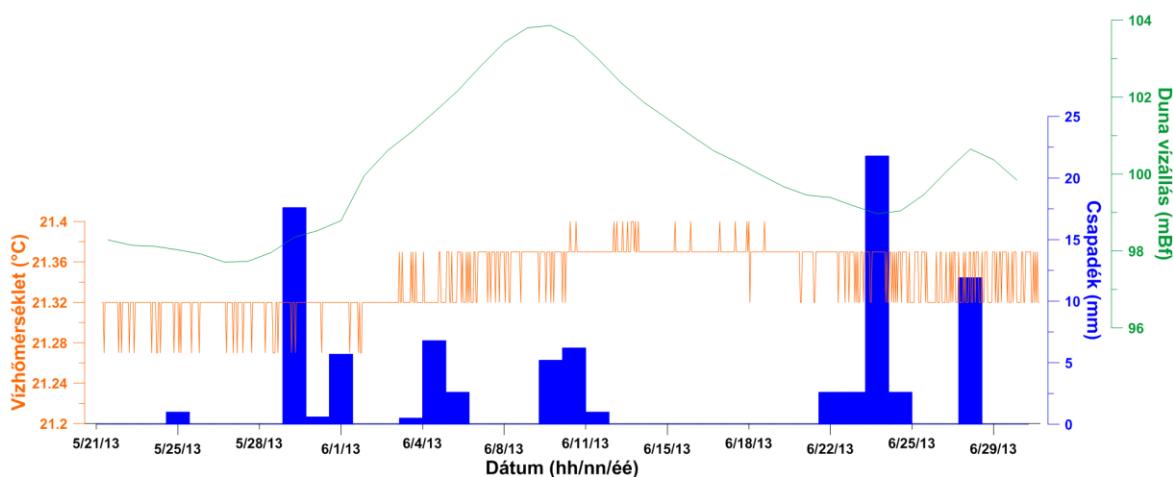
5.28. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vízszint adatok alapján készített diagram a 2013. május 21. és 2013. június 30. közötti időszakra

5.4.3.2 Hőmérséklet változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A hőmérséklet ebben az időszakban is stabil volt, 21,27 és 21,4°C között változott. Növekedés látható június elején és közepén (5.29. ábra).

A Duna vízállásának növekedésével egy időben látható a hőmérsékletbeli növekedés. A vízállás csökkenése, majd újabb növekedése idején azonban nem változott a hőmérséklet (5.29. ábra). A korrelációs együttható (0,5) ennél erősebb kapcsolatot jelez (5.4. táblázat).

A csapadék eseményekkel kapcsolatban nem láthatóak hőmérséklet-változások (5.29. ábra), ezt mutatja a -0,005 értékű korrelációs együttható is (5.4. táblázat).



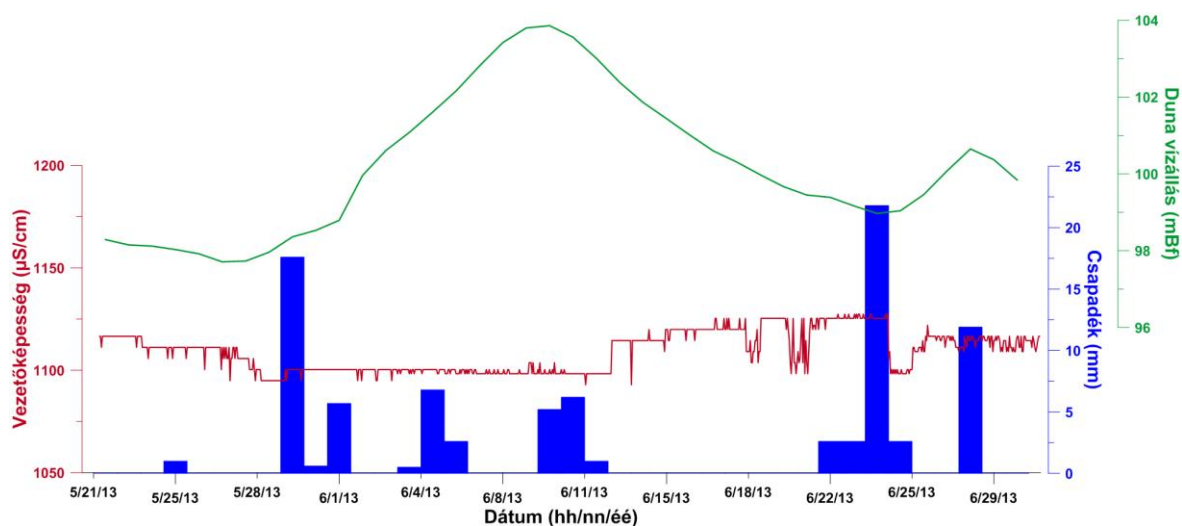
5.29. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó hőmérséklet adatok alapján készített diagram a 2013. május 21. és 2013. június 30. közötti időszakra

5.4.3.3 Fajlagos elektromos vezetőképesség változásai és kapcsolata a csapadékkal és a Duna vízállásával

A fajlagos elektromos vezetőképesség értéke 1096 és 1126 $\mu\text{S}/\text{cm}$ között változott (4.5. táblázat). Május végén csökkenés figyelhető meg, majd június elejétől közepéig egy stabil időszak, ezután nagyobb a változékonysága. Több egy-két napig tartó csökkenés is látható június második felében (5.30. ábra).

A júniusi nagy árvíz során magas Duna vízállás idején stabil volt a vezetőképesség, csak apadáskor indult növekedésnek, majd néhányszor hirtelen csökkent is az értéke. A június végi árhullám idején nem látható jelentős változás (5.30. ábra). A diagram alapján vélt gyenge kapcsolatot támasztja alá a korrelációs együttható (-0,29) (5.4. táblázat).

Vezetőképességbeli változás csak a június közepi nagyobb csapadékhullást követi, amikor eddigi változásaihoz képest jelentősen lecsökkent az értéke. Ezen változáson kívül nem történt változás a vezetőképességben a csapadékesemények függvényében (5.30. ábra) (0,03 a korrelációs együttható) (5.4. táblázat).



5.30. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vezetőképesség adatok alapján készített diagram a 2013. május 21. és 2013. június 30. közötti időszakra

5.4.4 Összesített folyamatos észlelési adatok

Az egyes időszakok korrelációs együtthatóit tartalmazó korrelációs mátrixok (5.4. táblázat), illetve a diagramok alapján is látható (5.21 – 5.30 ábrák), hogy a csapadék nincsen hatással a rendszer paramétereire, ezzel szemben a Duna vízállása igen. A korrelációs együtthatók alapján az is egyértelműen látszik, hogy a folyó hatása évszakonként eltérő mértékben érvényesül. A diagramok alapján úgy gondoljuk, hogy a Duna hatása később jelentkezik a rendszerben. Ezt vizsgáljuk a 6.1 fejezetben.

	Vízszint (m)	Víz- hőmérséklet (°C)	Fajlagos elektromos vezető- képesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Duna vízállás (mBf)	Napi csapadék- mennyiség (mm)
2012. november 7. - 2013. január 31.					
Vízszint (m)	1				
Víz hőmérséklet (°C)	-0,019	1			
Fajlagos elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-0,132	0,265	1		
Duna vízállás (mBf)	0,280	-0,015	0,000	1	
Napi csapadékmennyiség (mm)	-0,118	-0,038	-0,188	-0,001	1
2013. február 1. - 2013. április 9.					
Vízszint (m)	1				
Víz hőmérséklet (°C)	0,008	1			
Fajlagos elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	-0,126	-0,762	1		
Duna vízállás (mBf)	0,084	0,249	-0,194	1	
Napi csapadékmennyiség (mm)	-0,264	-0,084	0,067	-0,044	1
2013. május 21. - 2013. június 30.					
Vízszint (m)	1				
Víz hőmérséklet (°C)	0,552	1			
Fajlagos elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0,553	0,254	1		
Duna vízállás (mBf)	0,223	0,499	-0,294	1	
Napi csapadékmennyiség (mm)	0,031	-0,005	0,031	-0,050	1

5.4. táblázat Az összesített folyamatos észlelés adatai alapján készített korrelációs együtthatókat tartalmazó táblázat

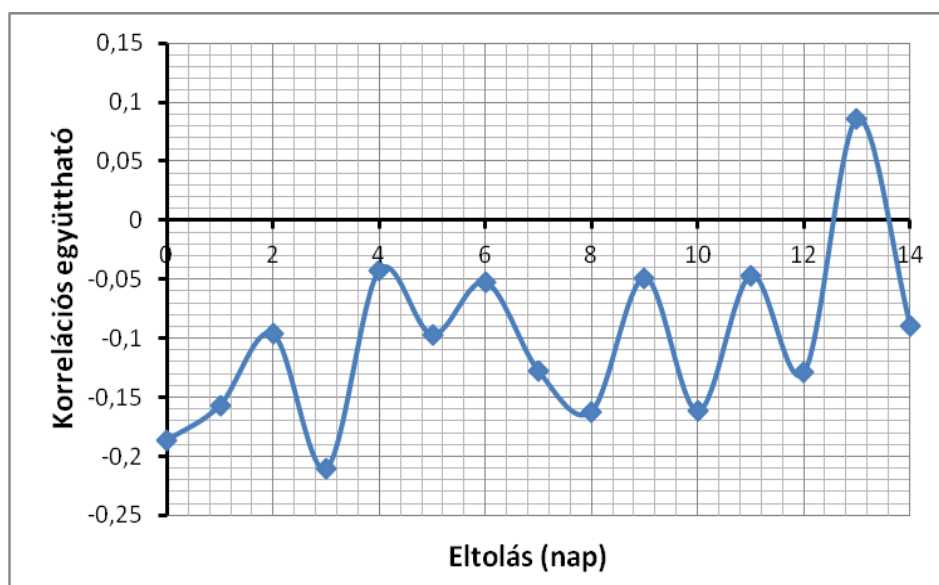
6 Diszkusszió

A grafikus ábrázolás során többször jutottunk arra a következtetésre, hogy egyes paraméterek csapadékeseményekre vagy Duna áradásra bekövetkező változása időbeli eltolódással jelentkezik. Ezért keresztkorrelációs vizsgálatokat végeztünk. Ebben a fejezetben először ismertetjük a keresztkorrelációval kapott eredményeinket az archív adatok, jelenlegi kézi mérések és a jelenlegi folyamatos észlelések alapján. Ezután összehasonlítjuk saját mérési eredményeinket a 2001-es adatokkal, végül összegezzük az archív és recens adatokból levonható következtetéseket.

6.1 Keresztkorrelációs vizsgálatok

6.1.1 Archív adatok

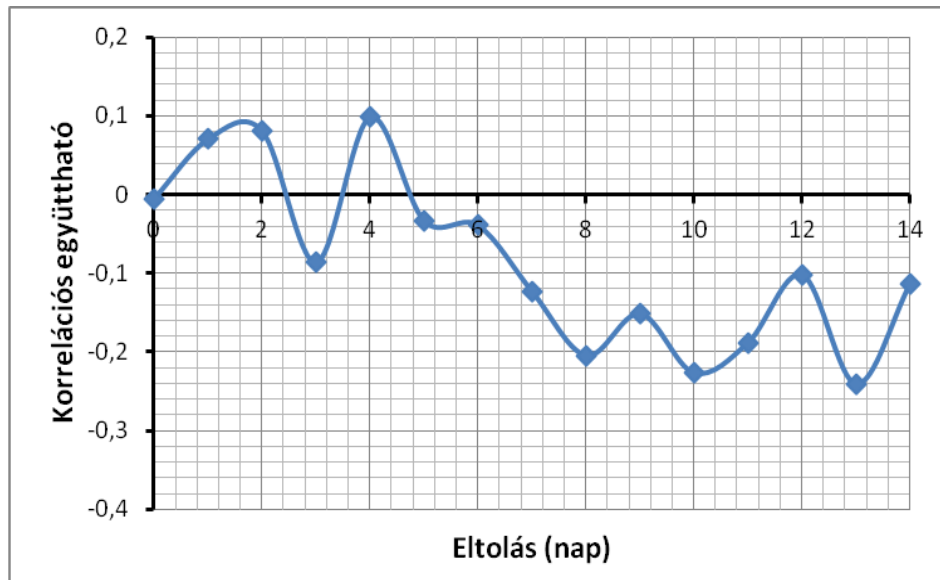
Archív adatok esetében 1955 májusától augusztusáig állt rendelkezésünkre ekvidisztáns adatsor, ebben az időszakban naponta történtek mérések, így a keresztkorrelációt csak erre az időszakra tudtuk elvégezni. Az 6.1. ábra az 1955 májusától augusztusáig tartó időszakra vonatkoztatott csapadék és a forrás vízhőmérsékletének keresztkorrelációja során kapott korrelációs együtthatóinak ábrázolása az eltolás mértékének függvényében.



6.1. ábra Archív csapadék és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye

A görbe lefutása és a korrelációs együtthatók $-0,1$ körüli ingadozása alapján elmondhatjuk, hogy a két paraméter korrelálatlan.

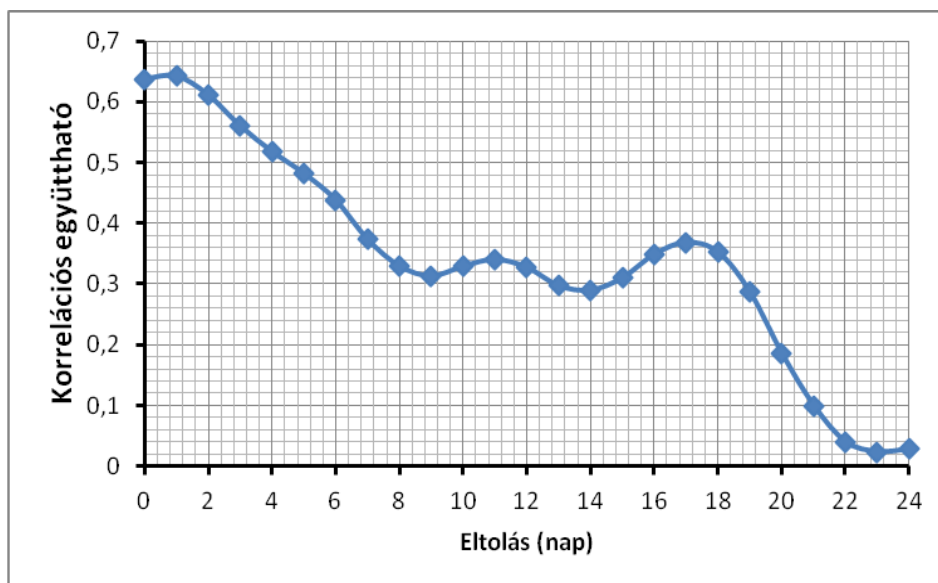
Igaz ez a vízhozam és a csapadék adatok összevetése során készített görbe alapján is (6.2. ábra). A korrelációs együtthatók egy nagyobb spektrumban mozognak, 0,1 és -0,25 között. Lefutásuk szabálytalan, ingadozó.



6.2. ábra Archív csapadék és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye

A csapadék és a forrás vízhozam közötti viszony tehát korrelálatlan. Mindkét esetben érdemes azonban megemlíteni, hogy egy karsztos rendszerről beszélünk, ahol a kapcsolatok sok esetben nem lineárisak. Az tehát, hogy az előző két esetben a paraméterek egymással korrelálatlanok, nem azt jelenti, hogy nincs kapcsolat közöttük, hanem csak azt, hogy ez a kapcsolat valószínűleg nem lineáris.

Az 6.3 ábrán a Duna vízállásának és a forrás vízhozamának kapcsolatát felderítő keresztkorrelációs diagramot látjuk. A maximális kereszt korrelációs együttható értéke 0,64 körüli érték.

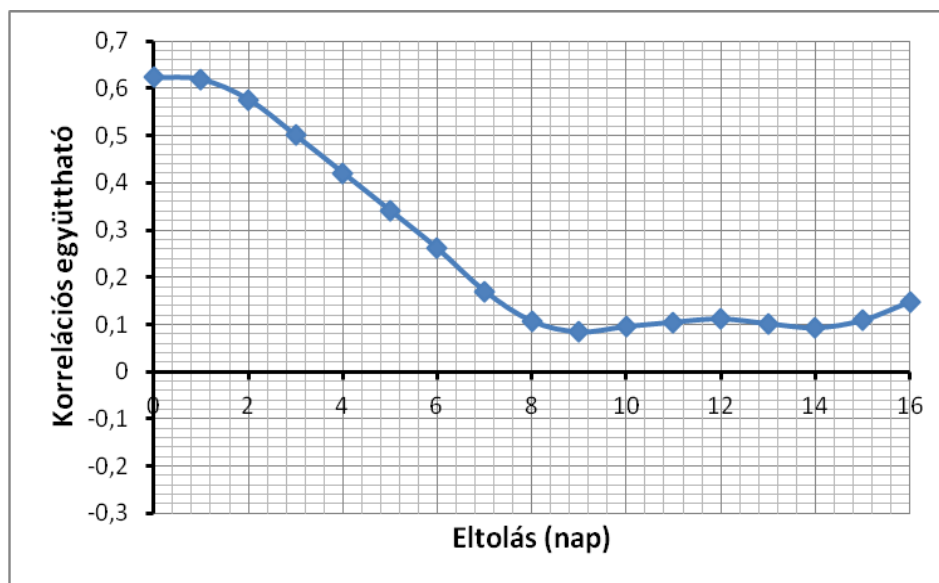


6.3. ábra Archív Duna vízállás és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye

Ez azt jelenti, hogy a lineáris kapcsolat százalékos aránya a két paraméter között 40% körüli (a korrelációs együttható négyzete). Ezt követően körülbelül egy hét az az időszak, amíg csekély mértékben, de még mindig felismerhető a lineáris kapcsolat (0,4 körüli együttható esetében 16%).

A 6.3 ábráról leolvasható, hogy egy napon belül érződik a Duna vízszint változása a forrás vízhozamában, sőt a kapcsolat erősebb a 1. napnál (0,64). Tehát a Duna hatása egy napon belül érezteti legjobban a hatását a forrás vízhozamában, de a kapcsolat a két paraméter között ezután is megmarad. A vizsgálat szempontjából fontos lenne erre a egy napra, azaz a maximális kapcsolat idejére vonatkozó részletesebb diagram. Ehhez egy nagyobb felbontású adatsor, azaz időben nagyobb mintavételi sűrűség szükséges, mind a forrás mind pedig a Duna esetében, amely azonban nem áll rendelkezésre.

Ha az előbbieken bemutatott módszert a Duna vízállására és a forrás vizének hőmérsékletére is alkalmazzuk, a 6.4 ábrát kapjuk. A görbe lefutása hasonló, de alapvető különbség, hogy nem látunk korrelációs együttható növekedést a 2. napnál. Már az első nap maximális korrelációs együttható értéket kapunk, ami azt jelentheti, ahogy az előző esetben, már egy napon belül érződik a hatás. Különbség azonban, hogy a 0,4-es korrelációs együttható értéket rövidebb idő alatt, hozzávetőlegesen négy nap alatt éri el. Ez azt jelenti, hogy rövidebb időtartamra terjed ki a rendszer emlékezete.



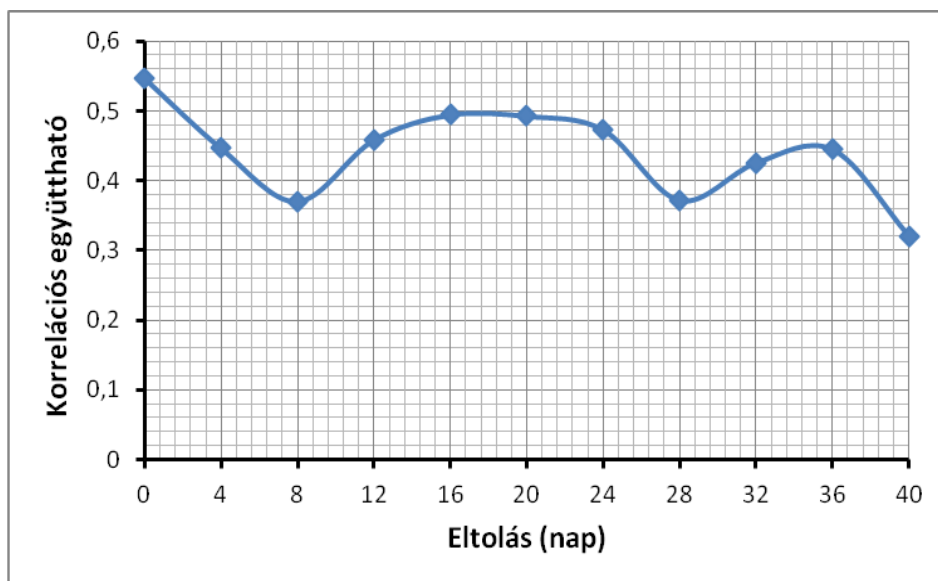
6.4. ábra Archív Duna vízállás és hőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye

6.1.2 Kézi mérések

A négy naponként végzett kézi mérések időszakában négy mérés elmaradt (2012. dec. 25., dec. 29., 2013. márc. 31. és máj. 30.), ezeket a Cubic Spline nevű függvény alkalmazásával pótoltuk. A pótlás után ekvidisztáns adatsort kaptunk, így lehetett számolni keresztkorrelációt a Duna vízállás és a csapadék késleltetett hatásainak vizsgálatára.

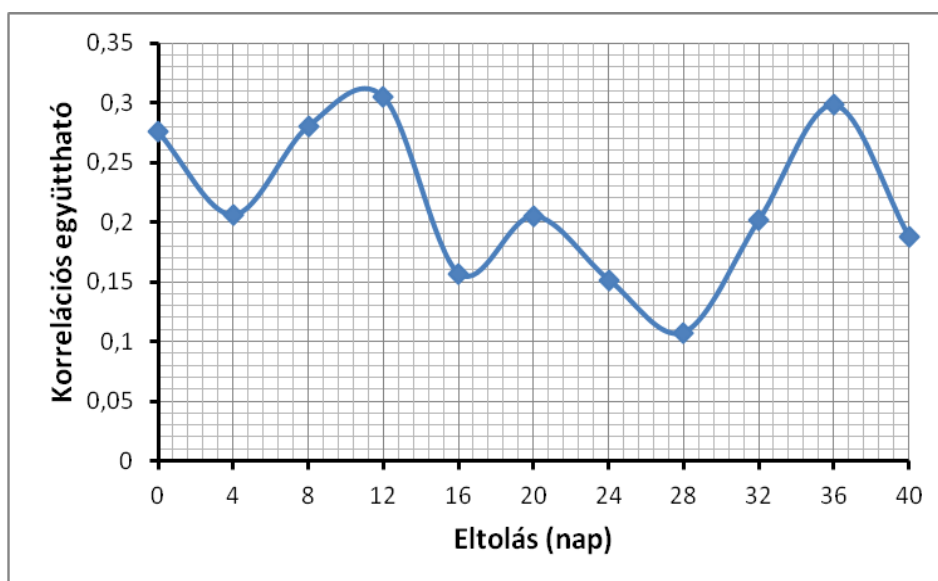
A vízhozamot, hőmérsékletet, pH-t és fajlagos elektromos vezetőképességet vizsgálva a csapadékkal, mindegyik esetben azt kaptuk, mint az archív adatok értékelése során, vagyis hogy a vízhozam és a fiziko-kémiai paraméterek korrelálatlanok. Ugyanezt kaptuk a pH és a Duna vízállás esetében is. Azaz ezekben az esetekben nem áll fenn lineáris kapcsolat (az erre vonatkozó számításokat lásd a 10.2.3 számú mellékletben).

A vízhozamra és a Duna vízállására elvégzett keresztkorreláció eredményeül azt kaptuk (6.5. ábra), hogy a Duna hatása fokozatosan cseng le a vízhozamban, és kapcsolatuk legerősebb (0,55) a nulla időpillanatban. Ahhoz, hogy a maximális hatás pontos idejét kapjuk, sűrűbb adatsorra lenne szükség.



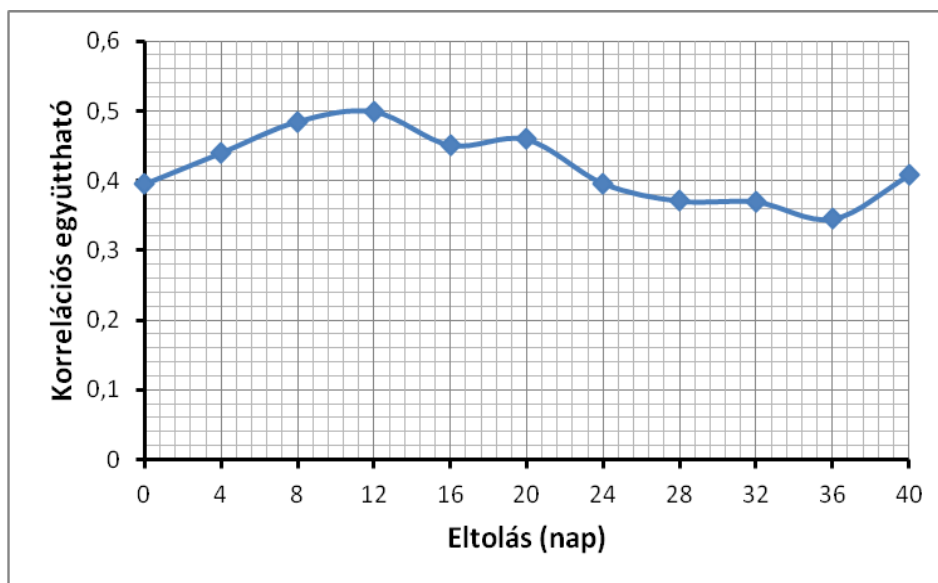
6.5. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye

Hőmérséklet és Duna vízállás esetében ugyanezt látjuk (6.6. ábra), azonban itt a két paraméter közötti kapcsolat nem olyan erősségű, melyet a 0,28 értékű korrelációs együttható is mutat.



6.6. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye

A fajlagos elektromos vezetőképességet és a Duna vízállását vizsgálva azt láthatjuk (6.7. ábra), hogy a Duna hatása 12 nap elteltével jelentkezik maximálisan, ekkor legerősebb a kapcsolat a két paraméter között (0,5) és ezután fokozatosan csökken.



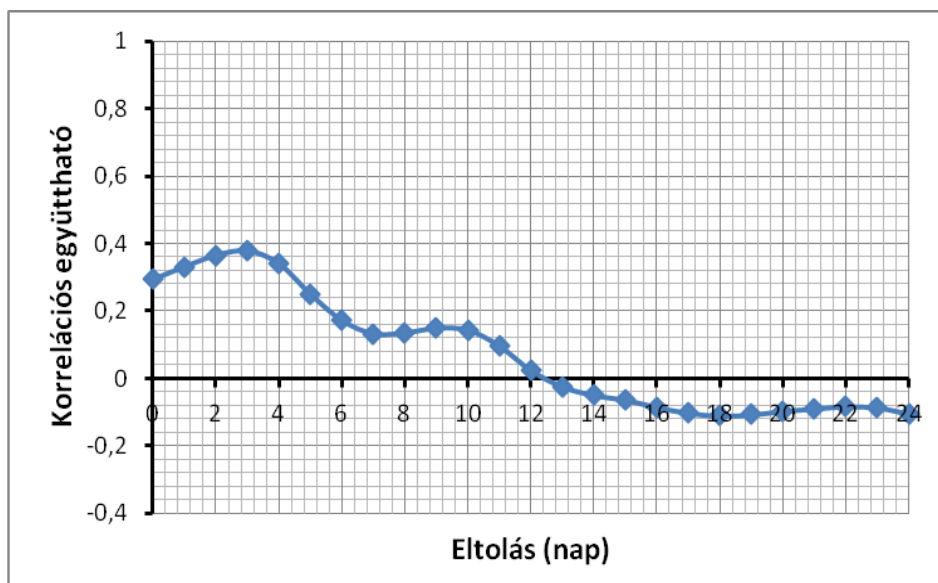
6.7. ábra Jelenlegi Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye

6.1.3 Folyamatos észlelések

A Dataqua által mért paramétereiről (vízszint, hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség) óránként állt rendelkezésünkre adat, de csapadékmennyiség és Duna vízállás adataink csak napi észlelésből származnak. Ezért az óránként mért értékekből minden napra átlagot számoltunk a három paraméter esetében és ezeket korreláltattuk a napi csapadék és Duna vízállás adatokkal. A diagramok esetében is vizsgált három időszakra végeztük el (2012. nov. 7. – 2013. jan. 31., febr. 1. – ápr. 9. és máj. 21. – jún. 30.) a keresztkorrelációt is, hasonló okokból, mint a diagramok esetében, tehát így a műszer mozgatásából eredő rossz mérések nem szerepelnek az adatsorban, illetve ilyen módon az esetlegesen eltérő évszakos változások is vizsgálhatóak.

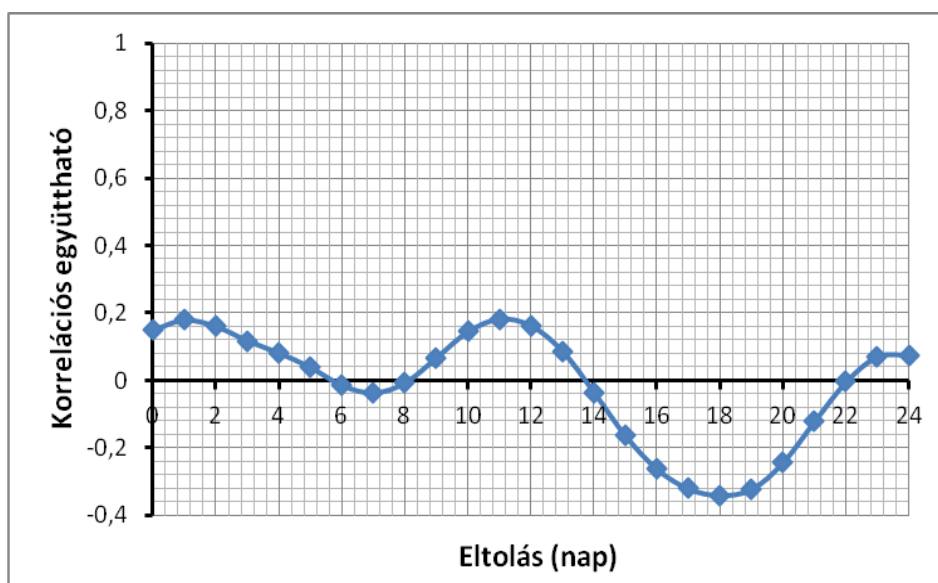
A csapadék adatokkal elvégzett keresztkorrelációk esetében itt is azt kaptuk, hogy a csapadék minden paraméterrel korrelálatlan (a számításokat a 10.2.4 számú melléklet tartalmazza).

A Malom-tó vízszintjét a Duna vízállásával vizsgálva az látható (6.8. ábra), hogy a november – januári időszakban három nap után a legnagyobb a Duna hatása a vízszintben (0,38). A tizenkettedik nap után a pozitív korreláció átmegy negatívba.



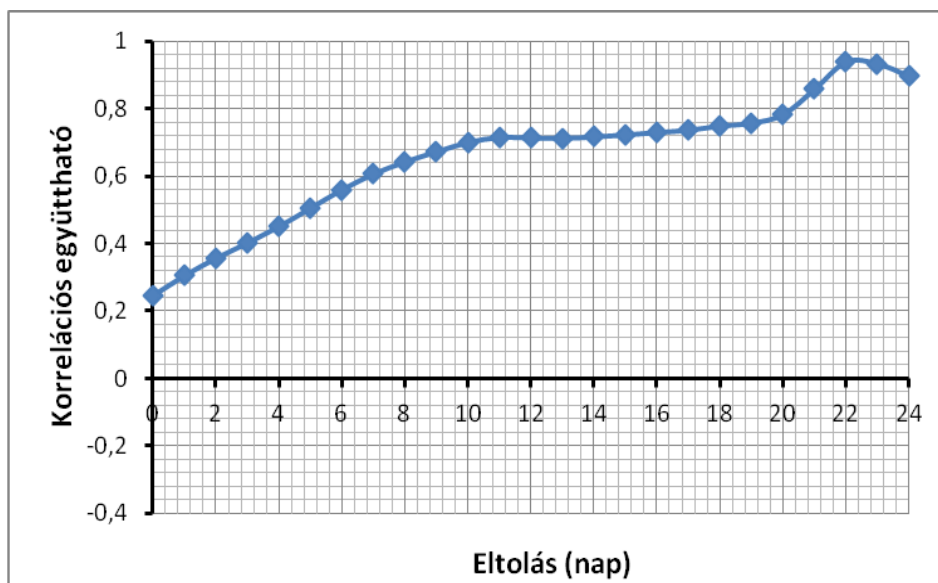
6.8. ábra Folyamatos Duna vízállás és Malom-tó vízszint adatok keresztkorreláció függvénye a 2012 novemberétől 2013 januárjáig tartó időszakban

A február – áprilisi időszakban (6.9 ábra) egy, illetve tizenegy nap után maximális a hatás, de mindkét esetben nagyon kicsi a korrelációs együttható (0,17 körüli) és rövidebb ideig érezteti hatását a Duna vízállása a Malom-tó vízszintjében.



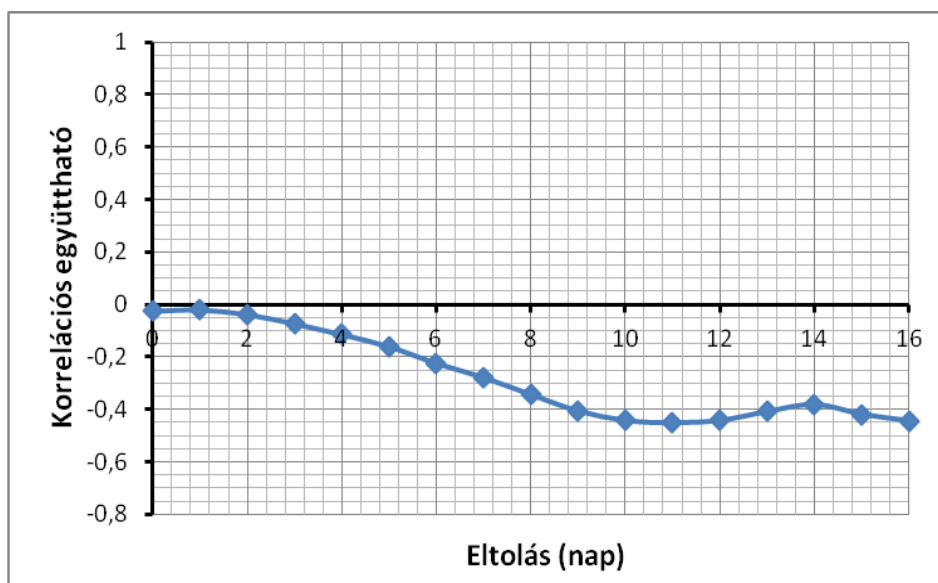
6.9. ábra Folyamatos Duna vízállás és Malom-tó vízszint adatok keresztkorrelációfüggvénye a 2013 februárjától 2013 áprilisáig tartó időszakban

Május – júniusban pedig huszonkét nap után maximális a hatás (0,95), addig fokozatosan növekszik, ezután pedig csökken (6.10 ábra).



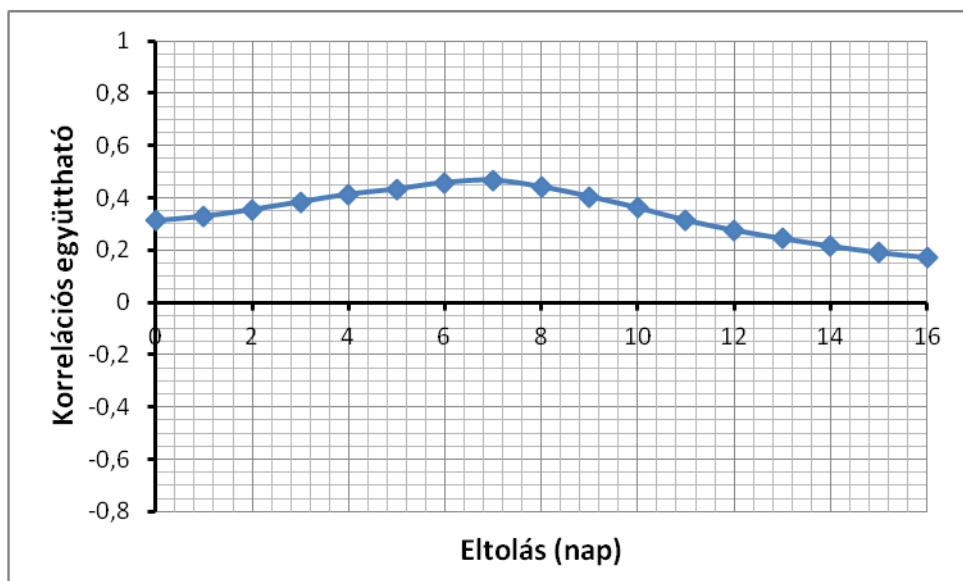
6.10. ábra Folyamatos Duna vízállás és Malom-tó vízszint adatok keresztkorreláció függvénye 2013 májusától 2013 júniusáig tartó időszakban

A hőmérséklet és a Duna vízállás időbeli kapcsolatát vizsgálva látható (6.11. ábra), hogy a téli időszakban (nov. – jan.) negatív a korreláció a két paraméter között és a maximumot tizenegy nap után éri el (-0,45), majd tizennégy nap után ismét növekszik.



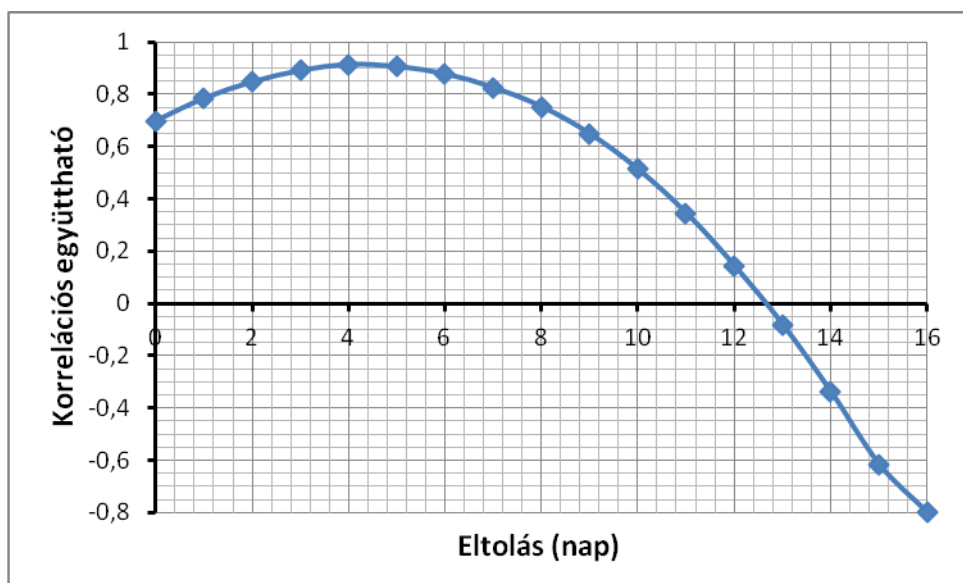
6.11. ábra Folyamatos Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye a 2012 novemberétől 2013 januárjáig tartó időszakban

A februártól áprilisig tartó időszakban pozitív a korreláció, a Duna vízállás legnagyobb hatása egy hét után látszódik a hőmérsékletben (0,47), utána fokozatosan csökken a hatása (6.12. ábra).



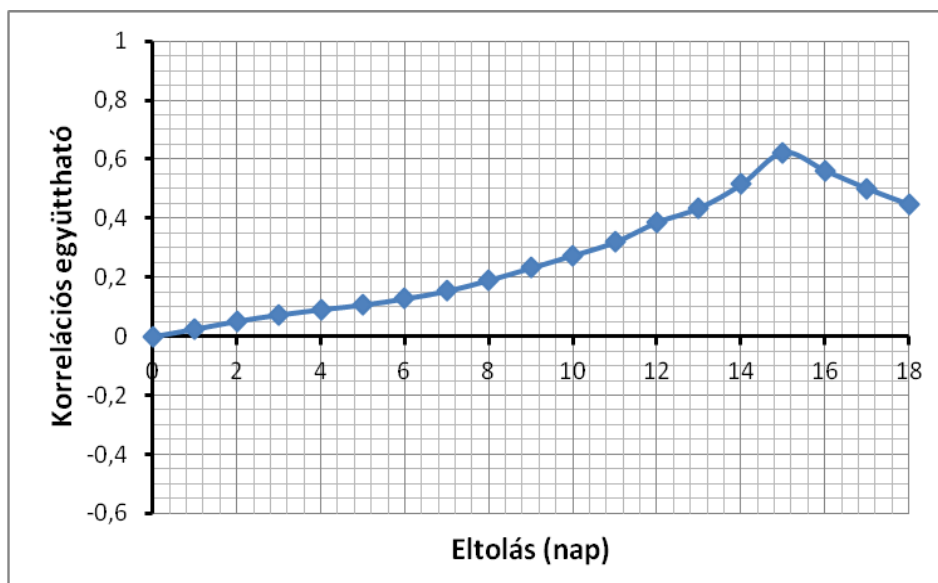
6.12. ábra Folyamatos Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 februárjától 2013 áprilisáig tartó időszakban

Tavaszi végén (máj. – jún.) az ötödik nap körül látszódik a maximális hatás (0,9), utána fokozatosan csökken, majd a tizenkettedik nap után negatív lesz a korreláció a hőmérséklet és a Duna vízállása között (6.13. ábra).



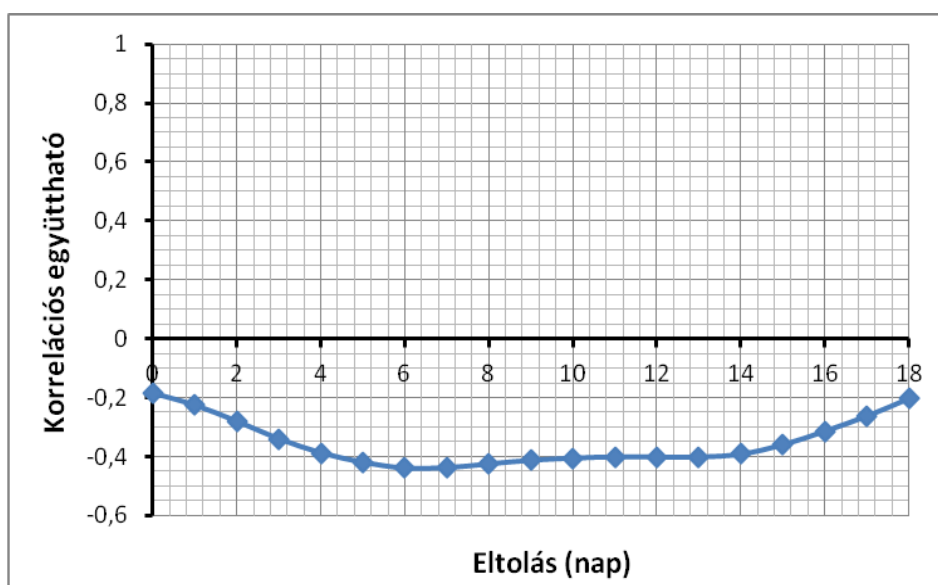
6.13. ábra Folyamatos Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 májusától 2013 júliusáig tartó időszakban

Végül elvégeztük a vezetőképesség és a Duna vízállás keresztkorrelációját mindhárom időszakra. November – januárban a korrelációs együttható értéke nulláról indul, majd két hét elteltével eléri maximumát (0,63), ezután indul fokozatos csökkenésnek (6.14. ábra).



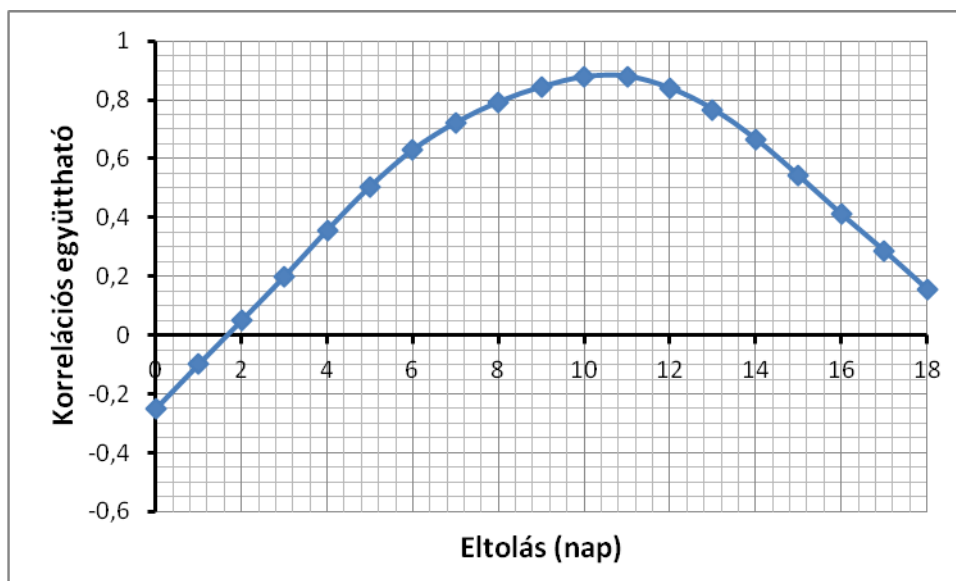
6.14. ábra Folyamatos Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye a 2012 novemberétől 2013 januárig tartó időszakban

Február - áprilisban a két paraméter között negatív a korreláció, maximumát hat nap után érte el (-0,44), ezután lassan csökkent, majd két hét után gyorsabban (6.15. ábra).



6.15. ábra Folyamatos Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 februárjától 2013 áprilisáig tartó időszakban

Május-júniusban az első két nap negatív, majd ismét pozitív a korreláció és fokozatosan növekszik. A maximális hatás tíz-tizenegy nap után jelentkezik (0,9), majd egyre kisebb lesz (6.16. ábra).

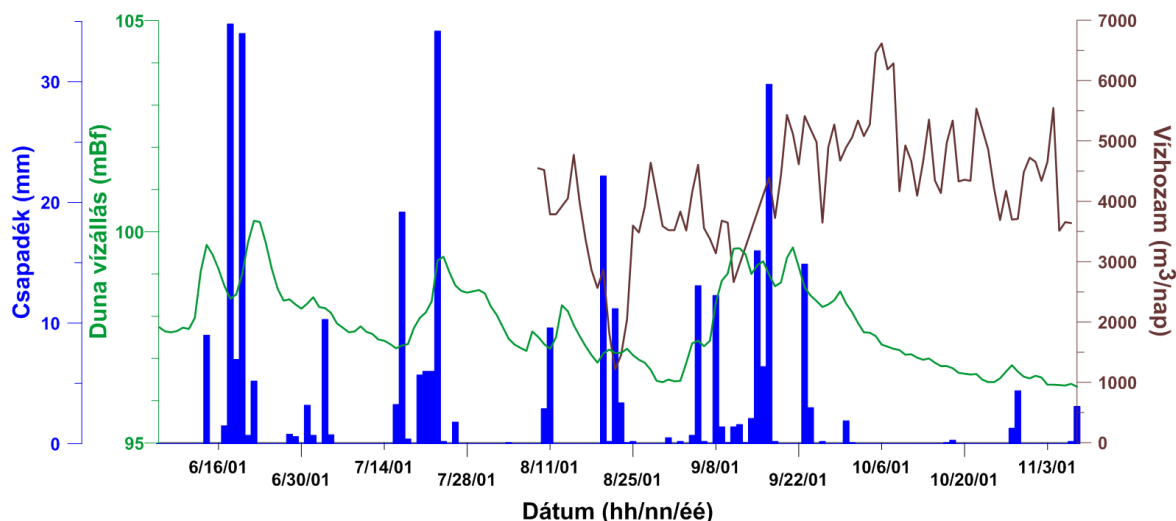


6.16. ábra Folyamatos Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 májusától 2013 júliusáig tartó időszakban

6.2 2001-es adatok összevetése a saját mérésekkel

A 2001-ben történt mérésekről készített jelentésben vizsgálták a vízhozamot a csapadék tükrében (Mádlné et al., 2001). Azt állapították meg, hogy a csapadékesemények és a vízhozam között nem állapítható meg egyértelmű kapcsolat. Ennek okaként említik, hogy a vizsgálati időszakban kis mennyiségű és rövidebb ideig tartó csapadék események voltak csak, illetve hogy a Malom-tó és a Molnár János-barlangban nagy szabad vízfelület van, ami tompíthatja a Boltív-forrás vízhozamának ingadozásait, vagy pedig a karsztrendszer összetettsége és a forrás nagy hozama lehet az oka (Mádlné et al., 2001).

A 6.17 ábrán látható diagram Mádlné és munkatársai megállapítását támasztja alá, miszerint a csapadék és a vízhozam között nem fedezhető fel egyértelmű kapcsolat (Mádlné et al., 2001). A Duna vízállás és a teljes hozam összefüggését nem vizsgálták külön, a diagram alapján a Duna hatása késleltetve jelentkezik a vízhozamban (6.17 ábra).



6.17. ábra A 2001-es év csapadék, vízhozam és Duna vízállás adatait összesítő diagramja (adatforrás Mádlné et al., 2001)

A 2001-es adatok saját adatainkkal való összehasonlítása miatt előbbiekre is elkészítettük az alapstatisztikát és ábráztuk diagramon a teljes vízhozamot a csapadék és a Duna vízállás függvényében.

A két mérési időszak alapstatisztikáit összehasonlítva az látható (6.1. táblázat), hogy az azonos helyen mért vízhozam értékek jóval nagyobbak 2012-13-ban, mint 2001-ben, a minimumok és a maximumok között is nagyon nagy az eltérés.

	2001	2012-13
	Teljes vízhozam (m ³ /nap)	Csatorna vízhozam (m ³ /nap)
Minimum	1216	6549
Maximum	6617	11202
Átlag	4235,10	8285,99
Szórás	1016,80	912,99
Medián	4333,6	8261
Darabszám	84	53

6.1. táblázat A 2001-es és a 2010-2013-as évekre vonatkozó adatok alapstatisztikáinak összehasonlítása

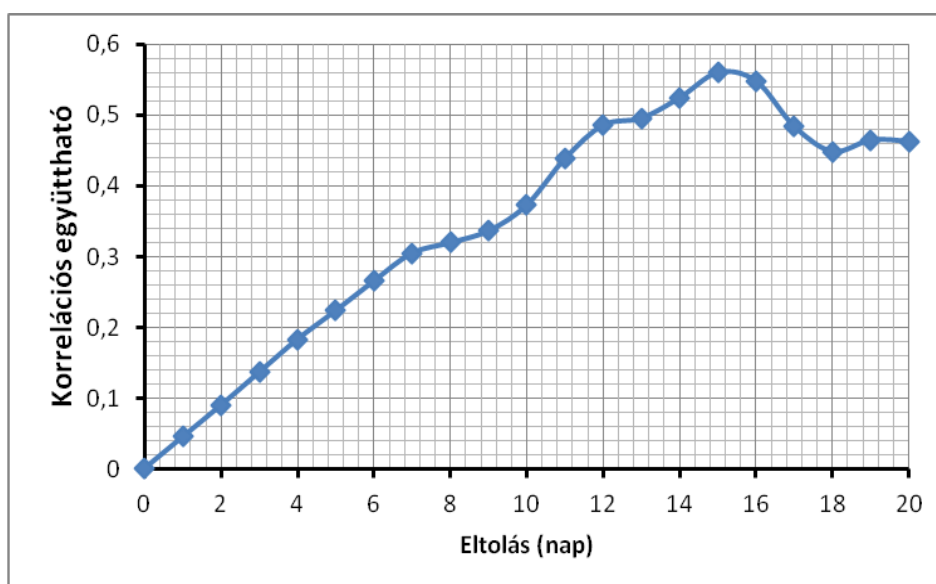
Ennek oka lehet, hogy a 2001-es vízhozam adatok két helyen mért értékek összege (csatorna és a Lukács-fürdő vízkivételi csövén át termelt víz). A mi méréseink során viszont a fürdő már nem hasznosította a Molnár János-barlang vizét, a csövön keresztül már nem volt vízkivétel, vagyis nagyobb mennyiségű víz lép ki a barlangból a Malom-tóba, majd a csatornába, mint 2001-ben. Továbbá, habár a csatornában történt vízhozam mérések ugyanolyan típusú műszerrel történtek (forgószárnyas sebességmérővel), a sebesség értékek átszámolása vízhozammá nem ugyanazzal a módszerrel történt (ld. 3. fejezet).

A 2001-es adatsorra is elvégeztük a korrelációanalízist és a keresztkorreláció számítást, hogy az ezekből kapott eredményeket is össze tudjuk hasonlítani a jelenlegi kézi mérések és folyamatos észlelés értékeivel. Ahogy azt a 6.2 táblázat is mutatja a korreláció mértéke a vízhozam és a csapadék, illetve Duna vízállás között 0 értéke körül mozog.

	Teljes vízhozam (m ³ /nap)	Napi csapadék- mennyiség (mm)	Duna vízállás (mBf)
Teljes vízhozam (m³/nap)	1		
Napi csapadékmennyiség (mm)	-0,161	1	
Duna vízállás (mBf)	0,121	0,248	1

6.2. táblázat A 2001-ben mért adatok korrelációs együtthatóit tartalmazó táblázat

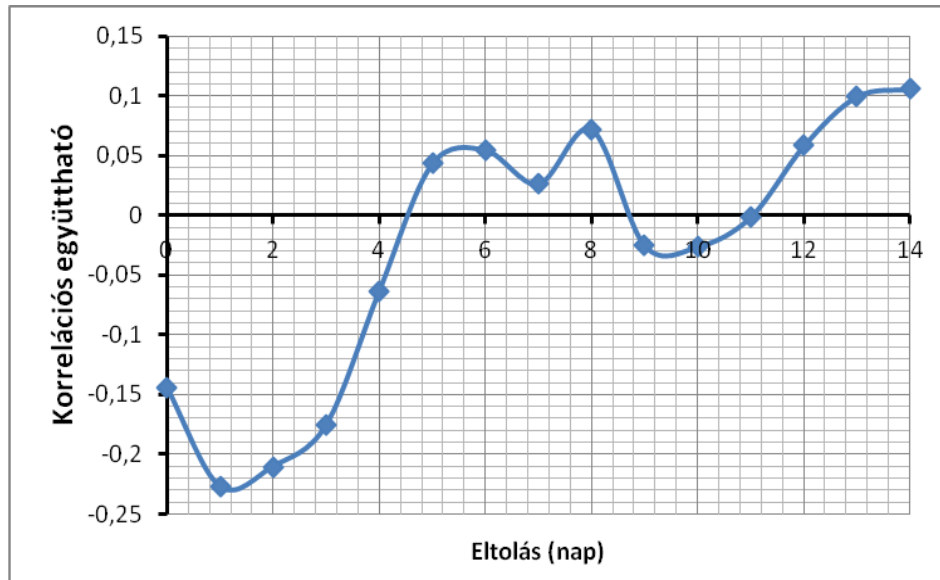
A keresztkorrelációs vizsgálat elvégzése után azonban szignifikáns mértékű viszonyt lehet felismerni a vízhozam és a Duna vízállása között. A maximális korrelációs együttható értéke 0,58 körüli, melyet a 16 nap eltolás után kapunk (6.18. ábra). A kapcsolat mértéke ezt követően csökken ugyan, de még négy napig számottevő mértékű (0,42). Ezt a következtetést tudtuk levonni az archív és a saját mérési eredményeink alapján is. Jelentős különbség azonban, hogy a korábban bemutatott archív és recens kézi mérések eredményeit bemutató grafikonokon (6.3. ábra és 6.5. ábra) az eltolás mértéke jelentősen kisebb, négy-öt nap volt a maximális együttható elérése. A keresztkorrelációs vizsgálat ebben az esetben egy augusztustól novemberig tartó időszakra vonatkozik, amikor a Duna vízállása alacsony. Ez lehet az oka, hogy hosszabb idő múlva jelentkezik a hatás.



6.18. ábra 2001-es Duna vízállás és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye

A 6.19. ábra tartalmazza a 2001-es időszakra vonatkozó csapadék és vízhozam adatok alapján elkészített keresztkorreláció függvényt. A korrelációs együtthatók értéke

alacsony, 0 körüli ingadozása (-0,25 és 0,1 között) figyelhető meg. Ezek alapján az értékek és a görbe lefutása alapján kijelenthetjük, hogy lineáris kapcsolat nem figyelhető meg a két paraméter között. Kapcsolat ettől függetlenül fenn állhat, melyet jelen körülmények között nem tudunk meghatározni. Ennek oka lehet, hogy ebben az időszakban nem volt nagyobb mennyiségű, hosszabb idejű csapadékesemény.



6.19. ábra 2001-es csapadék és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye

6.3 Archív és jelenlegi adatok vizsgálatának összegzése

Összességében megállapítható, hogy a csapadék nincsen közvetlen befolyással a rendszer paramétereire. A diagramokon sem kapcsolhatóak össze a csapadékesemények és a paraméterek változásai, illetve a korrelációs együtthatók értékei is alacsonyak, a paraméterek korrelátlanságot jeleznek. A keresztkorrelációval vizsgált időbeli eltolás eredményeképpen pedig azt kaptuk, hogy a csapadék minden paraméterrel korrelátlatlan. Ennek az lehet az oka, hogy a csapadék és a rendszer között nem lineáris a kapcsolat. Másodsorban egy karsztrendszer regionális megcsapolódási zónájában vagyunk, ahol a rendszer mérete, tározása határozza meg alapvetően a beszivárgási input eseményekre adott választ. Mivel a karbonátos rétegsor vastagsága több kilométerre tehető, ez nagyon jelentős tározott vízmennyiséget sejtet, melyhez képest a lokális input hatások (20-35 mm csapadék) elenyészőek. Mért hozamadatok (6549-11202 m³/nap) is nagy vízmennyiségről árulkodnak. Mádlné és munkatársai is hasonló következtetésre jutottak a 2001-es negatív eredménnyel zárult nyomjelzési kísérlet kapcsán (Mádlné et al., 2001; Erőss et al., 2006).

A Duna hatása azonban a forrás vízhozamában, a Malom-tó vízszintjében, a hőmérsékletben és a fajlagos elektromos vezetőképességben is kimutatható. Ez a diagramokon is jól látható, illetve a statisztikai módszerek is ezt támasztják alá. Míg a csatornában mért vízhozamban rögtön látszik a hatása, addig a Malom-tó vízszintjében késleltetve jelentkezik a hatása. A késleltetett hatás évszakos eltérést mutat. Míg télen korán, első – negyedik nap látható a legnagyobb hatás, és ekkor alacsonyabb a korrelációs együttható értéke 0,3-0,4 (maximális Duna vízállás az őszi-téli időszakban 100,19 mBf), addig a tavaszi – nyári hónapok esetében később, két – három hét múlva van a maximális hatás 0,95-ös korrelációs együtthatóval (maximális Duna vízállás a tavasz-nyári időszakban 103,86 mBf).

A Duna és a hőmérséklet között is kapcsolatot feltételezünk eredményeink alapján. Mind a csatorna, mind pedig a Molnár János-barlangból kilépő Boltív-forrás hőmérséklete mutat kapcsolatot a Duna vízállásával, mindkét helyen késleltetve jelentkezik a folyó hatása. A csatornában tizenkét nap elteltével, de ekkor sem olyan erős a kapcsolat (0,3 a korrelációs együttható), a forrásban pedig körülbelül egy hét után. A forrás hőmérséklet tekintetében erősebb kapcsolatot mutat a Duna vízállásával, mint a csatorna hőmérséklete. A maximális korrelációs együttható értéke télen -0,45 körül van, tavasszal – nyáron pedig 0,9. A téli időszakban negatív korreláció van a két paraméter között, és ekkor kicsit később (tizenegy nap után) jelentkezik a maximális hatás, tavasszal – nyáron pedig egy hét után, de ekkor pozitív a korreláció.

A fajlagos elektromos vezetőképesség szintén mutat összefüggést a Duna vízállásával. A csatornában mért fajlagos elektromos vezetőképesség tizenkét nap elteltével mutatja a legerősebb kapcsolatot a Dunával, ekkor a korrelációs együttható értéke 0,5. A forrásnál a téli időszakban a tizenötödik napon legnagyobb a folyó hatása (0,6 a korrelációs együttható), február-áprilisban negatív korreláció van a két paraméter között. Ekkor a legnagyobb korrelációs együttható -0,45, mely a hatodik napon jelentkezik. Május elején még negatív a korreláció, majd átmegy pozitívba és a tizedik nap körül éri el maximumát (0,9).

Összességében tehát az mondható el, hogy a Duna, mint lokális erózióbázis hat a rendszerre, mely mindhárom paraméternél (vízhozam/vízszint, hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség) megmutatkozik. A tavasz végi – nyári időszakban sokkal erősebb a folyó hatása, mint télen. Ennek oka valószínűleg az, hogy a Duna tavaszi, illetve nyári áradásai során sokkal nagyobb a vízállás, mint az őszi – téli időszakban. A Duna áradásának hatására bekövetkező forrás hozam / tó vízszint növekedés a folyó és felszín

alatti víz kapcsolatát leíró speciális modell (lásd 3.3 ábra, Páll-Somogyi, 2010) Dunától nagyobb távolságra való érvényességét támasztja alá. Az időben változó irányú kapcsolat magyarázata, melyet a változó előjelű korrelációs együttható jelez a hőmérséklet és a vezetőképesség esetében azonban még további kutatást igényel.

7 Összefoglalás

A Molnár János-barlang – Boltív-forrás – Malom-tó vízrendszerének vizsgálatát a csapadékesemények és Duna vízállás függvényében a vízhozam és fiziko-kémiai paraméterek mérése és archív adatok kiértékelése alapján végeztük el. A kapcsolatok tanulmányozása céljából grafikus megjelenítést, alapstatisztikai, korrelációs és keresztkorrelációs számításokat alkalmaztunk. Az eltérő időben, eltérő időközönként történt mérések lehetővé tették, hogy a rendszer hosszabb távú változását is vizsgáljuk és a változékonyságot különféle felbontásban értelmezhessük. A rendszerről ilyen mélységű adatfeldolgozás és értelmezés a nagy mennyiségű adat (többéves észlelési sorozat az 50-es években) ellenére még nem történt.

Mind az archív adatok feldolgozása, mind a jelenlegi mérések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a csapadékesemények nincsenek közvetlen hatással a rendszer paramétereire. Ennek oka feltételezésünk szerint a karsztrendszer méretében és nagy tározókéességében keresendő, melyet a nagy vízhozamok is jeleznek (6550 – 11200 m³/nap). További kutatás egyik célja lehet a csapadék hatásának nagyobb felbontásban való vizsgálata és a rózsadombi lokális input hatásának tanulmányozása.

A Duna, mint erózióbázis hatása azonban egyértelműen kimutatható a vízhozamban, hőmérsékletben és a fajlagos elektromos vezetőképességben is. A korábban mind a Gellért-hegyi, mind a rózsadombi megcsapolódási zónára bizonyított modell (Páll-Somogyi, 2010; Stricki, 2010), miszerint a Duna vízállása hat a parti régióban a felszín alatti víz szintjére és a part közelében megcsapolódó forrásokra, eredményeink alapján a Dunától nagyobb távolságban is érvényes. Szintén további kutatásra érdemes lehet, hogy a folyó hatása milyen távolságokban, milyen mértékben, és milyen időbeli eltolódással mutatható még ki. A Duna évszakos vízállásának, az áradások nagyságának függvényében a folyó hatásában is évszakos változás figyelhető meg. A tavaszi – nyári erősebb kapcsolat a Duna magasabb vízállásával és nagyobb áradásaival magyarázható, azonban a csak ekkor jelentkező hosszabb idejű késleltetett hatás okát nem tudjuk. Ezt is érdemes lenne egy több éves adatsor alapján vizsgálni a jövőben. Magyarázatra szorul és további kutatást igényel a Duna vízállás és a fajlagos elektromos vezetőképesség, valamint a hőmérséklet között megfigyelhető évszakosan váltakozó előjelű korrelációs viszony.

Mérési eredményeink alapján a korábbi, geotermikus hasznosításra vonatkozó számításokkal kapott teljesítmény értékek (Csordás és Pataki, 2012) még kedvezőbbek az

év nagy részében, mivel a számításokhoz alkalmazott hőmérséklet (21°C) és vízhozam ($7353 \text{ m}^3/\text{nap}$) értékeknél a saját, hosszabb időszakot felölelő vízhozam mérési eredményeink átlagosan magasabbak, $8285,99 \text{ m}^3/\text{nap}$ ($6550 - 11200 \text{ m}^3/\text{nap}$) További előny, hogy a hőmérséklet nagyon kis mértékben változik ($20-21,8^{\circ}\text{C}$) és független az évszakos változásoktól, még a Duna bizonyított hatása is csak kismértékű változást okoz. Az egyetlen gondot, mely probléma a mi méréseink kényszerű megszakadását is okozta, a Duna áradása jelentheti. Ekkor ugyanis a csatornában elfolyó és egyéb hasznosított víz átemelése a Dunába megfelelő infrastrukturális feltételek (nagy teljesítményű szivattyú) hiányában nem megoldott. A forrás vizének hasznosítása aktuális kérdés lehet, hiszen a Malom-tó és vízelvezető csatornájának közelgő átépítése lehetőséget nyújthat a környékbeli létesítményeknek ahhoz, hogy a munkálatok során a hasznosításhoz szükséges beruházásokat is elvégezzék.

8 Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani elsősorban témavezetőnknek, Dr. Erőss Anitának, aki mindvégig segítette a munkánkat szakmai tudásával.

Köszönettel tartozunk Csordás Juliannának és Pataki Lilinek, akik megmutatták nekünk a műszerek használatát és saját adataikat rendelkezésünkre bocsátották.

Köszönjük továbbá a mérési lehetőséget a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt-nek, a Lukács-fürdő gépészetén dolgozóknak pedig köszönjük, hogy biztosították a hozzáférést a mérési helyszínhez.

Köszönjük Cséki Gergőnek, az időkép.hu meteorológusának, akinek jóvoltából hozzájutottunk a 2012-13-as mérési időszak napi csapadékadataihoz.

Az adatok statisztikai feldolgozásában és az eredmények értelmezésében nagy segítséget nyújtott. Kovács József és Magyar Norbert.

Végezetül köszönjük, hogy munkánkkal bekapcsolódhattunk az OTKA NK 101356 kutatási pályázatba.

9 Irodalomjegyzék

Alföldi L., Béltéky L., Böcker T., Horváth J., Kessler H., Korim K., Oravetz J., Szalontai G. (1968): Budapest hévizei – A Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet kiadványa, Budapest

Csordás J. & Pataki L. (2012): Elfolyó kilowattok! - ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, TDK dolgozat, 60p.

Erőss A., Mádl-Szőnyi J., Mindszenty A., Müller I.(2006): Conclusions from a negative tracer test in the urban thermal karst area, Budapest, Hungary. In: Tellam, J. H., Rivett, M. O. and Israfilov, R. G. (eds.): Urban groundwater management and sustainability - NATO Science Series IV. Earth and Environmental Sciences Vol. 74., Springer, Dordrecht, The Netherlands, 289-298.pp

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, 171p.

Erőss A., Mádlné Sz. J., Csoma É.A. (2010): The effects of mixed hydrothermal and meteoric fluids on karst reservoir development, Buda Thermal Karst, Hungary -EMR Final report. SIEP Report

Fodor L., Leél-Őssy Sz., Tari G. (1991): En-echelon fractures in a dextral shear zone – Tectonic heritage for a hydrothermal cave (Budapest, Hungary). - Terra Nova 4, 165-17 pp.

Fodor L., Magyarai Á., Fogarasi A., Palotás K. (1994): Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése. - Földtani Közlöny 124/2: 19-305 pp.

Ford D. C., Williams P. W. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology -Chichester, John Wiley and Sons Ltd., 562 p.

Haas J. (1994): Magyarország földtana, Mezozóikum - egyetemi jegyzet, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi kar, 118 p.

Haas J., Korpás L, Török Á, Dosztály L., Góczán F., Hámorné Vidó M., Oravenczné Scheffer A., Tardiné Filác E. (2000): Felső-triász medence-és lejtőfáciesek a

Budahegységben. - a Vérhalom téri fúrás vizsgálatának tükrében — Földtani Közlöny, 130/3, 371-421. pp.

Hazslinszky T., Nádor A., Szablyár P. (1993): Ajánlás a budai Rózsadomb és környéke termálkarsztja UNESCO Világörökség-listára történő felterjesztéséhez. - MKBT Kiadvány, Budapest, 64 p.

Jakucs L. (1959): Neue Methoden der Höhlenforschung in Ungarn und ihre Ergebnisse. - Die Höhle 10, 88-98.pp

Kessler H. (1963): Karszthidrológiai észlelőállomás létesítése a gellérthegyi barlangban – VITUKI összefoglaló jelentés a kutatási munka eredményeiről 13p.

Kessler H. (1965): A gellérthegyi karszthidrológiai észlelőállomás - VITUKI munkássága 4. Kísérleti Területek 8. 15 p.

Király, L., (2002): Karstification and Groundwater Flow. In: Gabrovsek, F. (Ed.), Carsologica, Založba ZRC,. 155-190 pp

Kunszt J. (1947): A Rudas Gyógyfürdő Monográfiája - A Budapesti Központi Gyógy- és Üdülöhely Bizottság Rheuma és Fürdőkutató Intézet Kiadványa. 219p.

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

Lorberer Á. (1986): A Dunántúli-középhegység karsztvízföldtani és vízgazdálkodási helyzetfelmérése és döntéshozókészítő értékelése I. - Összefoglaló Jelentés (TSZ.: 7611/1/62): Budapest, VITUKI, 130.p

Mádlné Sz. J., Leél-Össy 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. – Jelentés, Budapest, 46.p

Molnár J. (1859): A Lukácsfürdő Budán természettudományi tekintetben. - A Királyi Magyar Természettudományi Társulat Évkönyve, IV. kötet 1857-1859. Pest 143-175 pp.

Nagymarosy A., Báldiné Beke M. (1988): The position of the Palogene Formations in Hungary. – Ann. Univ. Sci. Eötv. Sect. Geol., 28, 3-25 pp

Nádor A. (1991): A Budai-hegység paleokarsztjai. - Egyetemi doktori értekezés ELTE Általános és Történeti Földtani Tanszék, 171 p.

Német-Bucsi A. (2006): A Budai Termálkarszt megcsapolódásának vizsgálata Rózsadomb lábánál. — Diplomamunka, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék 80 p.

Páll-Somogyi K. (2010): A Duna hatásának vizsgálata a Gellért-hegy környezetének felszín alatti vizeire. — Hidrológiai Tájékoztató, 2010, 23-24. pp.

Papp F. (1942): Budapest meleg gyógyforrásai. – A Budapesti Központi Gyógy- és üdülőhelyi Bizottság Rheuma és fürdőkutató Intézet kiadványa.

Schafarzik F. (1920): Szőkevény hévforrások a Gellérthegy tövében - Földtani Közlöny, 1920, III.évf., 79-158. pp

Somogyi K. (2010): A Duna hatásának vizsgálata a Gellért-hegy környezetének felszín alatti vizeire - Hidrológiai Tájékoztató, 2010, 23-24. pp

Striczki I. (2010): A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolatának vizsgálata a budai Dunaparti Főgyűjtő csatorna monitoring rendszerébe tartozó kutak, források segítségével - ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Diplomamunka.

Takács J. (2009): A Budai Termálkarszt vizeinek jellemzése adatelemző módszerek felhasználásával - Tudományos Diákköri Dolgozat, ELTE Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék.

Tari G., Báldi T., Báldi-Beke M. (1993): Paleogene flexural basin beneath the Neogene Pannonian Basin: a geodynamic model. — Tectonophysics, 226, 433-455 pp.

Wein Gy. (1977): A Budai-hegység tektonikája. - MÁFI Alk. kiadvány, Budapest, 76 p.

Internetes hivatkozások:

<http://www.hydroinfo.hu>

http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:HU_microregion_5.3.31._Budai-hegyek.png

10 Melléklet

10.1 Adatsorok

10.1.1 1951-1955-es adatok

10.1.2 2001-es adatok

10.1.3 2012-2013-as kézi mérések adatai

10.1.4 2012-2013-as folyamatos észlelés adatai

10.2 Keresztkorreláció

10.2.1 1951-1955-es adatok

10.2.2 2001-es adatok

10.2.3 2012-2013-as kézi mérések adatai

10.2.4 2012-2013-as folyamatos észlelés adatai

11 Ábrajegyzék és táblázatjegyzék

2.1. ábra A Dunántúli-középhegység és a Budai-hegység területe (forrás: http://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:HU_microregion_5.3.31._Budai-hegyek.png) ..	7
2.2. ábra A Rózsadomb, a József-hegy, továbbá a Malom-tó és a Lukács-fürdő elhelyezkedése (Google Earth felvétel).....	8
2.3. ábra A József-hegy elvi rétegsora (Leél-Őssy, 1997).....	9
2.4. ábra A Rózsadomb földtani térképe (Wein, 1977 után szerkesztette Leél-Őssy, 2003)	11
2.5. ábra. A rózsadombi kiáramlási terület új áramlási modellje (Erőss, 2010) 1: perm – alsó-triász evaporitos karbonát rétegek 2: triász karbonátok 3: Szépvölgyi Mészkö 4: Budai Márga 5: Tardi Agzag 6: Kiscelli Agzag 7: miocén képződmények 8: lokális - intermedier áramlási rendszerek 9: regionális áramlási rendszer 10: regionális medence eredetű fluidumok 11: medence eredetű fluidumok 12: komplex víz – kőzet kölcsönhatás 13: szerkezeti elemek.....	12
2.6. ábra A vizsgálati helyszín helyrajza (Mádlné et al., 2001 után módosítva).....	14
3.1. ábra A forrás csapadékeseményekre adott válaszána a beszivárgás jellegétől való függése Jakucs (1959)	15
3.2. ábra Areuse-forrás hozama és vizének fajlagos elektromos vezetőképessége (Király 2003).....	16
3.3. ábra A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolatát a Gellért-hegy környezetében leíró modell (Páll-Somogyi, 2010 után módosította Virág, 2013)	17
4.1. ábra A Lukács-fürdő alatti csatorna sematikus keresztmetszete, pöttyök a sebességmérő helyzetét jelölik (készítette: Sálíng Á.; Csordás és Pataki (2012))	21
5.1. ábra Archív csapadék és vízhozam adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)	28
5.2. ábra Archív Duna vízállás és vízhozam adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)	29

5.3. ábra Archív Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)	30
5.4. ábra Archív vízhőmérséklet és vízhozam adatok alapján készített diagram	31
5.5. ábra Archív csapadék és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)	32
5.6. ábra Archív adatokra vonatkozó összesített diagram (adatforrás: Alföldi et al., 1968)	33
5.7. ábra Jelenlegi csapadék és vízhozam adatok alapján készített diagram	35
5.8. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhozam adatok alapján készített diagram	35
5.9. ábra Jelenlegi csapadék, vízhozam és Duna vízállás adatok alapján készített diagram	36
5.10. ábra Jelenlegi csapadék és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram	37
5.11. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram	37
5.12. ábra Jelenlegi Duna vízállás, csapadék és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram	38
5.13. ábra Jelenlegi csapadék és vezetőképesség adatok alapján készített diagram	39
5.14. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vezetőképesség adatok alapján készített diagram	39
5.15. ábra Jelenlegi Duna vízállás, csapadék és vezetőképesség adatok alapján készített diagram	40
5.16. ábra Jelenlegi csapadék és pH adatok alapján készített diagram	41
5.17. ábra Jelenlegi Duna vízállás és pH adatok alapján készített diagram	41
5.18. ábra Jelenlegi Duna vízállás, csapadék és pH adatok alapján készített diagram	42
5.19. ábra Jelenlegi vezetőképesség és vízhőmérséklet adatok alapján készített diagram ..	42
5.20. ábra Jelenlegi adatok alapján készített összesített diagram	43
5.21. ábra A Dataqua műszer által mért vízszint, vízhőmérséklet és vezetőképesség adatok alapján készített diagram	45

5.22. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vízszint adatok alapján készített diagram a 2012.november 7. és 2013. január 31. közötti időszakra	46
5.23. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó hőmérséklet adatok alapján készített diagram a 2012.november 7. és 2013. január 31. közötti időszakra	46
5.24. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó fajlagos elektromos vezetőképesség adatok alapján készített diagram a 2012.november 7. és 2013. január 31. közötti időszakra	47
5.25. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vízszint adatok alapján készített diagram a 2013. február 1. és 2013. április 9. közötti időszakra.....	48
5.26. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó hőmérséklet adatok alapján készített diagram a 2013. február 1. és 2013. április 9. közötti időszakra	49
5.27. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vezetőképesség adatok alapján készített diagram a 2013. február 1. és 2013. április 9. közötti időszakra	49
5.28. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vízszint adatok alapján készített diagram a 2013. május 21. és 2013. június 30. közötti időszakra	50
5.29. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó hőmérséklet adatok alapján készített diagram a 2013. május 21. és 2013. június 30. közötti időszakra	51
5.30. ábra Duna vízállás, csapadék és Malom-tó vezetőképesség adatok alapján készített diagram a 2013. május 21. és 2013. június 30. közötti időszakra	52
6.1. ábra Archív csapadék és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye.....	54
6.2. ábra Archív csapadék és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye.....	55
6.3. ábra Archív Duna vízállás és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye	56
6.4. ábra Archív Duna vízállás és hőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye	57
6.5. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye	58
6.6. ábra Jelenlegi Duna vízállás és vízhőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye .	58

6.7. ábra Jelenlegi Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye.....	59
6.8. ábra Folyamatos Duna vízállás és Malom-tó vízszint adatok keresztkorreláció függvénye a 2012 novemberétől 2013 januárjáig tartó időszakban	60
6.9. ábra Folyamatos Duna vízállás és Malom-tó vízszint adatok keresztkorrelációfüggvénye a 2013 februárjától 2013 áprilisáig tartó időszakban	60
6.10. ábra Folyamatos Duna vízállás és Malom-tó vízszint adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 májusától 2013 júniusáig tartó időszakban	61
6.11. ábra Folyamatos Duna vízállás és víz hőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye a 2012 novemberétől 2013 januárjáig tartó időszakban	61
6.12. ábra Folyamatos Duna vízállás és víz hőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 februárjától 2013 áprilisáig tartó időszakban.....	62
6.13. ábra Folyamatos Duna vízállás és víz hőmérséklet adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 májusától 2013 júliusáig tartó időszakban.....	62
6.14. ábra Folyamatos Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye a 2012 novemberétől 2013 januárig tartó időszakban.....	63
6.15. ábra Folyamatos Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 februárjától 2013 áprilisáig tartó időszakban	63
6.16. ábra Folyamatos Duna vízállás és fajlagos elektromos vezetőképesség adatok keresztkorreláció függvénye a 2013 májusától 2013 júliusáig tartó időszakban	64
6.17. ábra A 2001-es év csapadék, vízhozam és Duna vízállás adatait összesítő diagramja (adatforrás Mádlné et al., 2001).....	65
6.18. ábra 2001-es Duna vízállás és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye.....	66
6.19. ábra 2001-es csapadék és vízhozam adatok keresztkorreláció függvénye	67

4.1. táblázat Az archív adatokra vonatkozó alapstatisztikák	19
4.2. táblázat A 2001-es évi adatokra vonatkozó alapstatisztikák	20
4.3. táblázat A jelenlegi adatokra vonatkozó alapstatisztikák	23
4.4. táblázat A folyamatos (Dataqua) mérések adataira vonatkozó alapstatisztikák.....	24
4.5. táblázat Az egyes időszakokra vonatkozó alapstatisztikák	25
5.1. táblázat A paraméterek 1954 májusától augusztusáig tartó időszakra vonatkozó adatainak korrelációs együtthatói	33
5.2. táblázat A paraméterek teljes időintervallumra (1951-1956) vonatkozó adatainak korrelációs együtthatói	34
5.3. táblázat A jelenlegi adatokra vonatkozó korrelációs együtthatók értékei	44
5.4. táblázat Az összesített folyamatos észlelés adatai alapján készített korrelációs együtthatókat tartalmazó táblázat	53
6.1. táblázat A 2001-es és a 2010-2013-as évekre vonatkozó adatok alapstatisztikáinak összehasonlítása.....	65
6.2. táblázat A 2001-ben mért adatok korrelációs együtthatóit tartalmazó táblázat	66

12 Függelékek

12.1 Első függelék

„A Boltív-forrás vízhozamának és fizikai, kémiai paramétereinek változása a csapadékesemények és a Duna vízállás függvényében – Értékelés archív adatok és jelenlegi mérések alapján” című TDK dolgozatunkban egyik feladatunk volt, hogy a 2013 áprilisától júniusáig tartó időszakban négy naponta, a Lukács-fürdő alagsorában méréseket végezzünk (pH, hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség, vízhozam) és saját mérési adataink, illetve a Malom-tóba elhelyezett folyamatos adatsort biztosító Dataqua mérőműszer adatainak (vízszint, hőmérséklet, fajlagos elektromos vezetőképesség) felhasználásával a Boltív-forrás – Malom-tó rendszerének változásait vizsgáljuk. A kézi mérésekhez korábban mért (2012. október – 2013. április) adatokat is hozzávettünk, mivel azok feldolgozása az általunk használt módszerekkel nem történt meg. Ezen kívül archív adatokat (az 1950-es évekből) is felkutattunk, ezeket a papír alapon lévő adatokat begépeltük, majd a jelenkori adatoknál alkalmazott módszerekkel feldolgoztuk, mivel ebből az időszakból hosszabb adatsorok állnak rendelkezésünkre, de az adatokat nem vizsgálták az általunk alkalmazott módszerekkel.

Feladatunk volt, hogy megvizsgáljuk, hogy a Duna, mint helyi erózióbázis és a csapadék milyen hatással van a vizsgált vízrendszer fiziko-kémiai paramétereire, a paraméterek változásai kapcsolatban állnak-e a Duna vízállás és a csapadékmennyiségek változásaival. Ezzel a karsztrendszer, valamint a természetes megcsapolódási terület hidrogeológiai viselkedését kívántuk jellemezni, hiszen a vizsgált paraméterek változásai a beszivárgási és a megcsapolódási terület közötti kapcsolatra, a karsztrendszer szerkezetére, fejlettségére utalhatnak.

További feladatunk volt a Boltív-forrás – Malom-tó vízrendszerére korábban, geotermikus energiahasznosítás céljából végzett becslések helyességét, és a számításban felhasznált paraméterek (hozam, hőmérséklet) stabilitását értékelni, az esetleges változásokat kiváltó hatásokat feltárni.

Az adatokat grafikusán megjelenítettük és a diagramok alapján vizsgáltuk a Duna és a csapadék hatását a mért paraméterekre. Ezen megfigyeléseink alátámasztására geometematikai módszereket is felhasználtunk. Az azonnali hatás vizsgálatára korrelációs számítást, a késleltetett hatás tanulmányozására pedig keresztkorrelációt alkalmaztunk.

Lezárás dátuma: 2014. május 1.