

Elfolyó kilowattok!

A rózsadombi Boltív-forrás langyos vizének vizsgálata és felhasználhatósága

TDK dolgozat

Csordás Julianna, Geológus MSc

Pataki Lili, Geológus MSc



Témavezetők:

Dr. Erőss Anita, tudományos munkatárs (ELTE-TTK)

Zsemle Ferenc, tanársegéd (ELTE-TTK)



Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Természettudományi Kar

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest, 2012. 12. 14.

Tartalom

A rózsadombi Boltív-forrás langyos vizének vizsgálata és felhasználhatósága.	1
1. Bevezetés, célkitűzés.....	4
2. A terület bemutatása.....	5
2.1 A vizsgált terület földrajzi lehatárolása	5
2.2 A terület földtani felépítése	6
2.3 A Budai-termálkarszt hidrogeológiai jellemzése.....	8
2.4 A Malom-tó és két forrása	11
3. Korábbi mérések	13
3.1 Archív hozammérési adatok	13
3.2 Archív fiziko-kémiai adatok.....	16
3.2.1 Korábbi vízkémiai adatok	17
3.2.2 Korábbi pH, vezetőképesség és hőmérséklet adatok	19
4. Alkalmazott módszerek.....	21
4.1 A saját méréseink helyszíne	21
4.2 Propelleres sebesség mérés.....	23
4.2.1 A hozamszámítás módszere	24
4.3 Mesterséges jelzőanyaggal történő vízhozam mérés.....	25
4.3.1 Jelzőanyag-hullámmal való vízhozam mérés.....	25
4.3.2 Híguláson alapuló vízhozam mérés.....	26
4.4 A fiziko-kémiai paraméterek folyamatos észlelése	30
4.5 Kézi vezetőképesség-, hőmérséklet- és pH-mérés	31
5. Eredmények.....	34
5.1 Hozammérés eredményei	34
5.1.1 Forgószárnyas vízsebességmérővel való mérés	34
5.1.2 Jelzőanyag-hullámmal való mérés	36
5.1.3 Híguláson alapuló mérés	37
5.2 Fiziko-kémiai paraméterek	37
5.2.1 Folyamatos mérés.....	37
5.2.2 Kézi mérések a csatornában	39
5.2.3 Kézi mérések a Lukács-fürdőt tápláló víz mintavételi csapján.....	40
5.2.4 A mért fiziko-kémiai paraméterek alapstatisztikái.....	41
6. Diskusszió.....	41

6.1	Mérési adatok	41
6.1.1	A hozam adatok.....	41
6.1.2	Fiziko-kémiai paraméterek.....	44
6.2	Hőmennyiség-számítás.....	47
6.3	Vízalapú hőszivattyús rendszer használatával a CO ₂ kibocsátás csökkentésének mértéke	50
7.	Összefoglalás.....	53
8.	Köszönetnyilvánítás	55
9.	Irodalomjegyzék.....	56
10.	Internetes hivatkozások:	59
11.	Ábrajegyzék és táblázatjegyzék	60

1. Bevezetés, célkitűzés

Budapest sajátos földtani-vízföldtani adottságaiból következően igen nagyszámú forrás fakadt a területén. Egymás mellett jutottak felszínre hideg, langyos és meleg vízü források, innen dokumentálták az egész ország legmelegebb és legbővizűbb forrásait (Papp, 1942). Azonban a főváros beépítettsége folytán ezek többnyire ma már rejtve maradnak előttünk, természetes kifolyás csak kevés helyen ismert. A második kerületben egy olyan természetes forrás figyelhető meg, ahol szabadon elfolyó hozamot lehet mérni. Az egykori Népgőzfürdő mellett fakadó Boltív-forráson keresztül a Molnár János-barlang járataiból felbukkanó víz, zsilippel való szabályozás következtében egy tóvá – a Malom-tóvá – duzzad fel, majd egy csatornán keresztül ömlik a Dunába. A Lukács-fürdő a Molnár János-barlangból vizet vesz ki, míg a forrás vize egy mesterségesen kiépített csatornán át hasznosítás nélkül a Dunába kerül.

A Molnár János-barlang–Boltív-forrás–Malom-tó vízrendszere még a mesterséges befolyásoltság ellenére is egyedülálló lehetőséget biztosít a karsztrendszer dinamikájának tanulmányozására, a forrás hozamának és fiziko-kémia paramétereinek csapadékesemények hatására bekövetkező változásának mérésére. Ennek érdekében a tó vizét a Dunába vezető felszín alatti csatornában, továbbá a Molnár János barlangból közvetlenül a Lukács-fürdőbe bevezetett vízben végeztünk négynaponta hőmérséklet, pH és elektromos vezetőképesség valamint hozamméréseket. Emellett közvetlenül a Boltív-forrásba egy Dataqua mérőműszert telepítettünk, mely óránként észlelte a hőmérséklet, elektromos vezetőképesség és vízszintváltozásokat.

Egyik célunk tehát az általunk mért paraméterek változékonyságának, valamint a környező terület csapadékadatával való esetleges összefüggésének vizsgálata volt, hogy megállapítsuk, mennyiben befolyásolja a forrás vizének hozamát és összetételét egy-egy csapadékesemény, mely a karsztrendszer dinamikájáról ad információt. Emellett a mérési eredményeink alapján elvégeztük a víz hőpotenciáljának kiszámítását, melynek birtokában javaslatot kívánunk tenni a jelenleg szabadon elfolyó karsztvíz hasznosítására. Dolgozatunkkal tehát mind a Budai-termálkarszt fluidum dinamikájának megismeréséhez, mind e vízkincs megújuló energiaforrásként történő felhasználásához járulunk hozzá. Méréseinket a Budai-termálkarszt kutatásra irányuló OTKA NK 101356 pályázat keretében végeztük.

2. A terület bemutatása

2.1 A vizsgált terület földrajzi lehatárolása

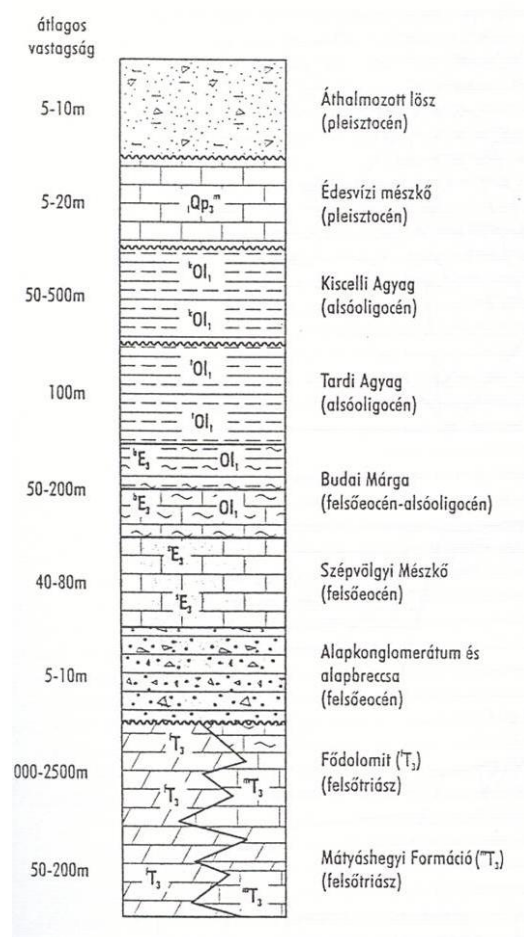
A Budai-hegység, azon belül a Hármashatár-hegy részeként, a Duna jobb partján található a Rózsadomb területe (1.ábra), ahol az általunk vizsgált Boltív-forrás is fakad. Egészen pontosan a Rózsadomb ÉK-i végénél, a József-hegy lábánál tör a felszínre. Ez a terület vizekben rendkívül gazdag, 21 forráscsoport, 42 forrása volt itt fellelhető (Papp, 1942). Ez a terület képviseli Európa legnagyobb hévizes karsztrendszerének (Goldscheider et al., 2003), a Budai-termáلكarsztnak egyik megcsapolódási zónáját. Itt fakadnak az ország legbővizűbb forrásai, többek között a Malom-tó langyos forrása, a Boltív-forrás is.



1. ábra: Az általunk vizsgált terület elhelyezkedése (Google Earth).

2.2 A terület földtani felépítése

A Budai-hegység fő tömegét triász karbonátok alkotják, felszíni feltárásban a rátelepülő paleogén képződmények (eocén mészkő és márga illetve oligocén agyagmárga, márga) a dominánsak. A területen ismert legidősebb képződmény a ladini korú, diploporás Budaörsi Dolomit, ami a Budai-hegységben nagyjából 1000-1200 méter vastagságban fordul elő (Haas, 1994), a feküje nem ismert. Erre következik a karni Mátyáshegyi Mészkő Formáció, ami fúrásokban és a területen fellelhető barlangokban jelenik meg. A József-hegy elvi rétegsorát bemutató ábrán (2.ábra) a legidősebb formációnak minősül. A késő triászra a Fődolomit és Dachsteini Mészkő Formáció képződése jellemző (Wein, 1977; Haas et al., 2000). A Fődolomit többnyire 1000-1500 méter vastag (Haas et al., 1993), karsztosodásra kevésbé alkalmas kőzet. A Dachsteini Mészkő vastagpados, tömött megjelenésű, karsztosodásra hajlamos nori-rhaeti kőzet.



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

A Budai-hegység triászára üledékhézaggal eocén korú kőzetek települnek, ami a késő krétától a középső eocénig tartó szárazulati időszakban bekövetkezett erózióval magyarázható (Nádor,

1991). A krétában zajló tektonikai mozgások hatására, ÉNy-DK-i irányban ható nyomás következtében egymással párhuzamos, széles antiklinálisok alakultak ki. Ezzel egyidőben feltolódások és vízszintes elmozdulások keletkeztek (Fodor et al., 1994). A hegység fő tömegét alkotó dolomitok az őket érő tektonikai behatásokra, rideg természetük miatt töréseket szenvedtek (Wein, 1977). Az így létrejött sűrű töréshálózat biztosította a későbbi karsztos vízáramlások útvonalát.

Jelentősebb üledékképződés az ÉNy felől érkező transzgresszió nyomán indult meg a Budai-hegység területén a késő eocénben (Wein, 1977). Az eocén üledékképződés durva, abráziós konglomerátummal kezdődik, amire sekélytengeri, nagyforaminiferás, lithothamniumos Szépvölgyi Mészkő Formáció települ, majd erre következik a mélyebb vízi bryozoás Budai Márga (Wein, 1977). A Rózsadomb barlangjainak jelentős része a Szépvölgyi Mészkő Formációban alakult ki (Leél-Őssy, 1995), a József-hegy langyos forrásai pedig a Budai Márgából törnek felszínre.

A középső eocéntól a kora miocénig terjedő időszakban a terület földtani fejlődését a Budai-hegységen ÉÉK-DDNy-i irányban keresztülhúzó Budai-vonal határozta meg (Fodor et al., 1994). Ettől a szerkezeti vonaltól nyugatra kiemelkedés zajlott, ahol a kora oligocénben szárazföldi lepusztulás (infraoligocén denudáció) ment végbe, míg keletre folyamatos átmenettel az anoxikus Tardi Agyag rakódott le (Wein, 1977). A Budai-hegység keleti, délkeleti részén az üledékképződés folyamatos volt, az oligocén rétegek fácies-diszkordanciával, míg az északi és nyugati területeken diszkordánsan, üledékhézaggal települnek a triász vagy eocén rétegekre.

A késő kiscellire a transzgresszió átcsapott a Budai-vonalon (Tari et al., 1993), tőle keletre mélyvízben Kiscelli Agyag, míg nyugatra sekélytengeri Hárshegyi Homokkő rakódott le (Nagymarosy és Báldiné, 1988). A Kiscelli Agyagból fokozatos átmenettel fejlődött ki az egriben, a sekélytengeri Törökbálinti Formáció.

Az oligocénre szárazulattá vált a Budai-hegység vidéke és a korai miocénben szigetként, a szarmatától kezdve félszigetként emelkedett ki a tengerből (Wein, 1977). Az oligocént és kora miocént ÉNy-DK-i kompresszió és ÉK-DNy-i extenzió jellemezte, amely hatására KÉK-NyDNy csapású vetőzóna alakult ki (Fodor et al., 1991). A létrejött törésrendszer kiváló teret biztosít a le- és felszálló vizek számára (Nádor in Hazslinszky et al., 1993). A középső miocén és a kvarter között NyÉNy-DDK-i extenzió hatására É-D-i irányú normálvetők keletkeztek (Leél-Őssy, 1995).

Alsó pannóniai rétegek nem ismertek a Budai-hegység területén. A felső pannóniai üledékes sorozatot finom kvarckavics és homokkőpados homok rétegek képviselik, amelyekre finomhomokos szürke agyag és világosszürke agyag váltakozó rétegei települnek. A hármashatár-hegyi, jános-hegyi és fekete-hegyi rögvonulatok legnagyobb része szárazulat maradt (Wein, 1977).

A felső pannóniai végére a Duna szintje vált a fő erózióbázissá. A Budai-hegység a miocénben szárazulattá vált, szakaszos kiemelkedése a karsztvízszint gyors süllyedését eredményezte, és a források működése a völgyek mindenkor erózióbázisához igazodva mélyebb szintre helyeződött át (Nádor és Kraus in Hazslinszky et al., 1993).

A felszínre bukkanó hévforrások erózióbázisuk szintjében édesvízi mészköveket raktak le, amelyek a terület folyamatos emelkedése következtében különböző magasságokba kerültek. A pleisztocén és holocén képződményeket travertínók, eolikus eredetű lösz és a Duna bevágódása miatt keletkezett homok illetve kavicsstakarók képviselik (Wein, 1977). A források a Duna aktuális szintjének megfelelő magasságban törnek fel (Alföldi et al., 1968).

2.3 A Budai-termálkarszt hidrogeológiai jellemzése

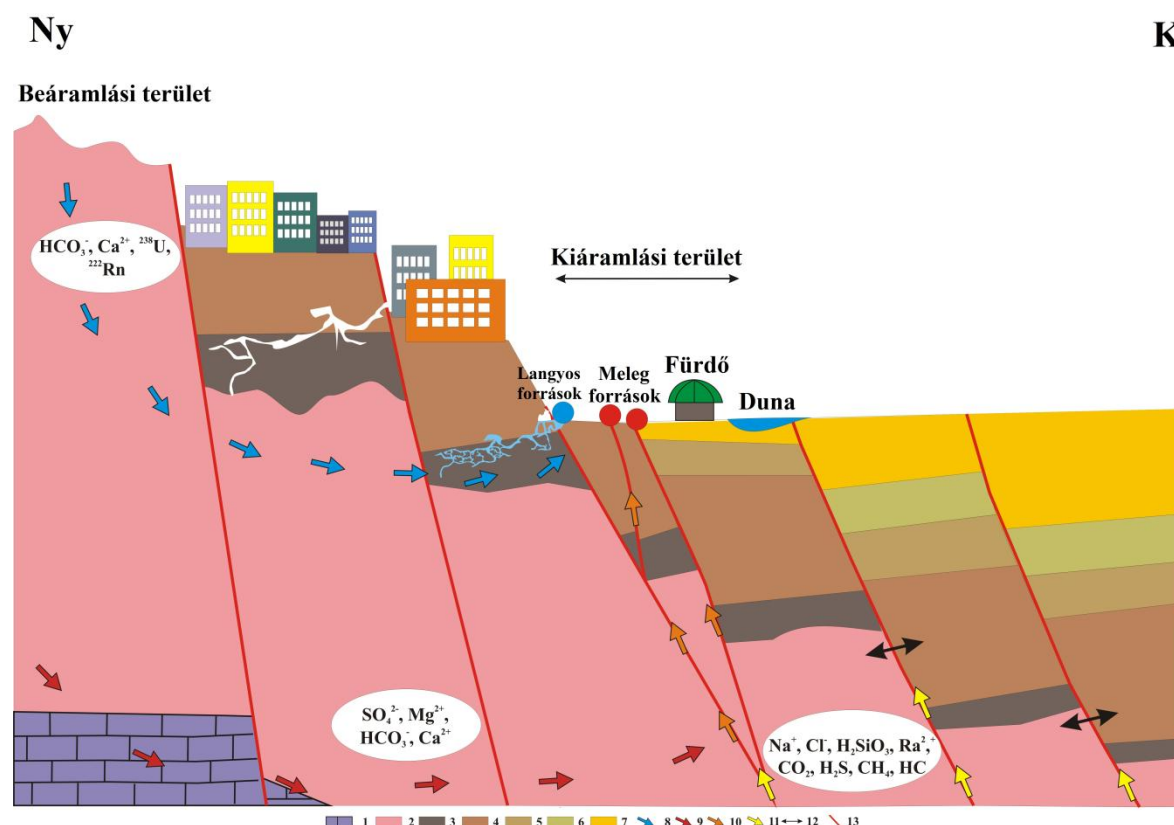
A Budai-termálkarszt a Dunántúli-középhegység víztartó rendszerének regionális megcsapolódási zónájában, kiemelt karbonátos egység, és az üledékes medence határán kifejlődött hipogén karsztrendszer (Eröss, 2010). A Budai-termálkarszt beszivárgási területe földrajzilag pontosan nem határolható le (Alföldi et al., 2007). A langyos források feltehetőleg a Budai-hegység és a Pilis karsztos felszínén keresztül beszivárgott csapadékvízből táplálkoznak, míg a termálvizek beszivárgási területe a Dunántúli-középhegységben található, de ez ma még nem bizonyított (Alföldi et al., 1968). Lorberer (1986) szerint a karsztos beszivárgási terület a Dunántúli-középhegységnek mintegy 15%-a. A főkarsztvíztároló megcsapolódási területe a szökevényforrásoktól eltekintve egyértelműen kijelölhető. A karsztrendszer regionális erózióbázisa a Duna. A megcsapolódás jellegzetessége, hogy erősen koncentrált, mivel tektonikai vonalakhoz kapcsolódik, és nagy hőáram kíséri (Lorberer, 2002). A források eloszlásában egyértelmű tendencia figyelhető meg: északon csak langyos források, a Rózsadomb területén egymás mellett langyos, meleg és hévforrások, míg délen, a Gellért-hegy környezetében főként hévforrások találhatóak (Alföldi et al., 1968). A források egy-egy területen általában ún. forráscsoportokban jelennek meg. A területi elterjedésnek, valamint a kifolyó víz hőmérsékletbeli eltéréseinek az oka a források utánpótlódási területének eltérő kifejlődése, valamint a felszín alatti áramlás pályák különbözősége (Lorberer, 2002).

Ma már számos üzemelő kút van, amelyek erősen befolyásolják a karsztrendszer természetes megcsapolódását (Takács, 2009).

Zsigmondy (1878) volt az első, aki megállapította, hogy a Dunántúli-középhegység karbonátos kőzetein keresztül beszivárgó vizek nagy mélységbe áramolva felmelegednek, majd termálvíz formájában jutnak újra a felszínre. A hévizes áramlási rendszer első modelljét Schafarzik (1928) alkotta meg, továbbá felismerte az emeletes áramlási rendszer lehetőségét is. A Schafarzik-féle modellt Vendel és Kisházi (1964) víz- és hőháztartás számítások alapján fejlesztette tovább. Megállapították, hogy a termálvíz feláramlása és megcsapolódása törési zónákhoz kapcsolódik. Kovács és Müller (1980) a korábbi elméletekre alapozva, a Budai-termálkarszt áramlási rendszerére készített koncepciós modellt. A modellen ábrázolt inaktív és aktív barlangokat a különböző hőmérsékletű vizek keveredése következtében, keveredési korróziós eredetűnek vélték (Takácsné Bolner és Kraus, 1989; Leél-Őssy, 1995). Alföldi (1981) szerint a Budai-termálkarszt jó vízvezető képességű karbonátos képződményei impermeabilis tűzköves, valamint márgás rétegekkel tagolva, egy rendkívül összetett, több ezer méter mélységbe lehatoló kényszerpálya rendszert hoznak létre. Az áramlási pályák elősegítik a csapadékvíz nagyobb mélységbe történő lejutását, valamint a vizet zárt pályára kényszerítik. A vízmozgási kényszerpályákat a szerkezeti-földtani tulajdonságok határozzák meg (Lorberer, 2002). A hegységrögöket köpenyszerűen körülvevő vízrekesztő képződmények miatt a beszivárgó vizek nagy része mélybe kényszerül. A leszivárgott víz felfelé áramlását az impermeabilis kőzetek akadályozzák meg, a vizet továbbhaladásra készítetik, egészen addig, amíg egy meghatározott szerkezeti öv mentén a felszínre nem jut. Alföldi (1981) vezette be a hazai szakirodalomba a karéjos áramlás fogalmát, mely szerint az utánpótlódási területeken beszivárgó csapadékvíz a forrásvonalakat megkerülve karéjosan mélybe áramolva, a földi hőáram hatásának következtében felmelegedve jut vissza a felszínre.

Alföldi (1981) a karsztvizek áramlását az utánpótlódási és megcsapolódási területek közti gravitációs szintkülönbségére, valamint a két terület vizei közti sűrűség különbségre vezeti vissza. A leszivárgó vizek kb. 5-16000 éves tartózkodásuk (Deák, 1978) alatt a mélyben elvonják a hőt a környezetükből, majd felmelegedve, oldott anyagban gazdagodva jutnak a felszínre. A felfelé irányuló mozgásuk során a hő egy kis részét leadják, a hőmennyiség nagyobb része azonban a források vizével lép ki a rendszerből. Ezt az áramlási rendszertípust Alföldi (1981) hidrodinamikus vezérlésű geotermikus áramlásnak nevezte el.

Eröss és munkatársai (2010) és Eröss (2010) átfogó hidrogeológiai vizsgálatok alapján a Budai-termálkarszt területére érvényes korábbi áramlási modellt két alrendszerre osztotta és külön-külön modellt állított fel a rózsadombi (3. ábra) és a Gellért-hegyi megcsapolódási zónára. A radionuklidok mellett, a terület retrospektív feldolgozása, valamint archív és recens vízkémiai mérések eredményei is különbséget mutattak a Budai-termálkarszt északi és déli része között, mind az áramlási rendszer, mind pedig a megcsapolódó vizek tekintetében. Erhardt (2012) és Ötvös (2012) hidraulikai feldolgozásának eredményeképpen szerkezeti okokra vezetik vissza a két megcsapolódási terület elkülönülését. A rózsadombi megcsapolódási területen a különböző rendű áramlási rendszerek megcsapolódása is szerkezeti zónákhoz kötött, mely a források hőmérsékletében és kémiai összetételében is egy meghatározott mintázatot eredményez: a hegy közelében fakadnak a langyos-, a Dunához közelebb a hévforrások. A különböző vizek keveredése is szerkezeti zónákhoz kötött ezáltal (Eröss et al., 2010; Eröss, 2010).



3. ábra: A rózsadombi kiáramlási terület új áramlási modellje (Eröss, 2010) 1: perm – alsó-triász evaporitos karbonát rétegek 2: triász karbonátok 3: Szépvölgyi Mész 4: Budai Márga 5: Tardi Agyag 6: Kiscelli Agyag 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.

2.4 A Malom-tó és két forrása

Budapest második kerületében, a József-hegy lábánál egy hasadékon áramlik felfelé a Boltív-forrás vize. Nevét onnan kapta, hogy felette átível, egy még ma is ott álló boltív (4. ábra). A feltörő víz hőfoka 27, 3 °C Molnár János szerint, azonban Papp Ferenc 24, 2 °C-osnak mérte, bár ő a forrástól ÉK-re, mintegy 2 méterre végezte a méréseit. Molnár János szerint magasabb vízállásnál a víz hőmérséklete is emelkedik, így lehetséges, hogy a 3 °C hőkülönbséget a vízszint magasságkülönbsége okozza (Papp, 1942).



4. ábra: A Boltív-forrás (fotó: Fülöp K.).

A Boltív-forrás vizét mesterségesen, zsilippel felduzzasztották (6. ábra), így létrehozva a Malom-tavat (5. ábra). A tavat tápláló langyos forrásvíz miatt örökzöld növények népesítik be. A nagy, nyitott vízfelület hőmérséklete a külső hőmérsékleti ingadozások ellenére viszonylag állandó. Először 1540-ben említették a tó létezését. A török uralom alatt vízimalom működött itt, lehetséges, hogy Mustafa basa építette a gátjait. Alföldi et al. (1968) a bécsi országút építéséhez köti a tó felduzzasztását.



5. ábra: A Malom-tó (fotó: Csordás J.).

Több ízben is leeresztették már a Malom-tó vizét, többek között 1959 szeptemberében. Ekkor a Fővárosi Fürdőigazgatóság tisztítás és felújítás céljából engedte le az eredetileg 105mAf. magasságon lévő tavat. A tó vizének hőmérséklete eredetileg $22,8^{\circ}\text{C}$ volt, amely a leeresztés utáni feltöltést követő pár hónap alatt visszaállt eredeti értékére. A tó leeresztése során a környező forrásokban fellépő hőmérséklet- és vízszintváltozásokat vizsgálták. A Császár-fürdő Török forrása elapadt és $26,2^{\circ}\text{C}$ -os vizéből 40°C -os pangó víz lett. Az Antal-kút vizének a hőmérséklete megnőtt, a vízszintje pedig lesüllyedt a leeresztés során. A Római-forrás esetében szűkebb hozam tartományt és szintén hőmérsékletváltozást figyeltek meg. A tó leengedése által keletkezett depresszió igen nagy távolságokba is kihatott. A Csillaghegyi Római-fürdőben a leeresztéstől számított 15. napon jelentkezett 0,15cm vízszintcsökkenés. A Malom-tó leeresztésekor a Duna vízállása meglehetősen alacsony volt, ezért nem kizárólag a tó indokolható a forrásokban megjelenő vízszintek csökkenéséért. Összességében elmondható, hogy a Malom-tó kapcsolatban áll a Török-, Antal- és Római-forrásokkal (Alföldi et al., 1968). A Malom-tó vize hévizekkel keveredett hideg karsztvíz, amely az összes olyan forrással összefügg, amelyek a karsztvízből táplálkoznak. Eröss et al. (2012) radionuklidok segítségével 8%-os hévíz hozzájárulást állapított meg.



6. ábra: A zsilip (fotó: Csordás J.).

A Malom-tó másik forrása az Alagút-forrás, amely a Molnár János-barlang víz alatti bejárata. Vízének hőmérséklete $21,9^{\circ}\text{C}$ és $32,7^{\circ}\text{C}$ között váltakozott. (<http://mek.oszk.hu/00500/00575/html/vizalatt/molnarjb/molnarjb.htm>). A forráshoz vezető ún. Malom-ág részben természetes, részben mesterséges eredetű. A tereprendezési munkák során a felül nyitott hasadékokat lefedték. Tulajdonképpen tehát a Malom-tó mögött elhelyezkedő Molnár János-barlangból hasadékokon keresztül kilépő víz táplálja a tavat. A tó vize a mesterségesen épített zsilipen keresztül zúdul a Lukács-fürdő irányába (6. ábra). A fürdő a barlang vízének egy részét hasznosítja, másik részét felhasználatlanul a Dunába vezeti.

3. Korábbi mérések

3.1 Archív hozammérési adatok

A Boltív-forrásra és a Malom-tóra vonatkozóan rendelkezésünkre álltak korábbi hozam adatok. Papp Ferenc (1942) Budapest meleg gyógyforrásai, Alföldi et al. (1968) Budapest hévizei és a Mádlné et al. (2001) A Budai Termálkarszt-rendszer hidrodinamikájának vizsgálata nyomjelzéssel című művek eredményeit vettük alapul. Papp Ferenc könyvében (1942) többször utal Molnár János 1865-ös mérési eredményeire, így tőle is vannak felhasználható adataink.

Papp Ferenc (1942) köbözéssel, szivattyúzással, sózási eljárással és egy margit-szigeti forrásnál mérőbukóval mért vízhozam értékeket. Az ELTE jelentésben (Mádlné et al., 2001)

kétféleképpen számoltak hozam értékeket. Az egyik módszernél, a csatornán folyó víz sebesség mérésével, a másik módszernél a zsilip nyílása és a felette lévő vízoszlop nyomása alapján határozták meg a vízhozamot. A víz sebességét forgószárnyas sebességmérő műszerrel, míg a vízoszlop magasságát a Boltív-forrásban elhelyezett vízszintregisztráló berendezés segítségével mérték. Az 1. táblázat tartalmazza Molnár János (1865), Papp Ferenc (1942), Alföldi et al. (1968) és Mádlné et al. (2001) Boltív-forrásban mért átlagos hozam adatait.

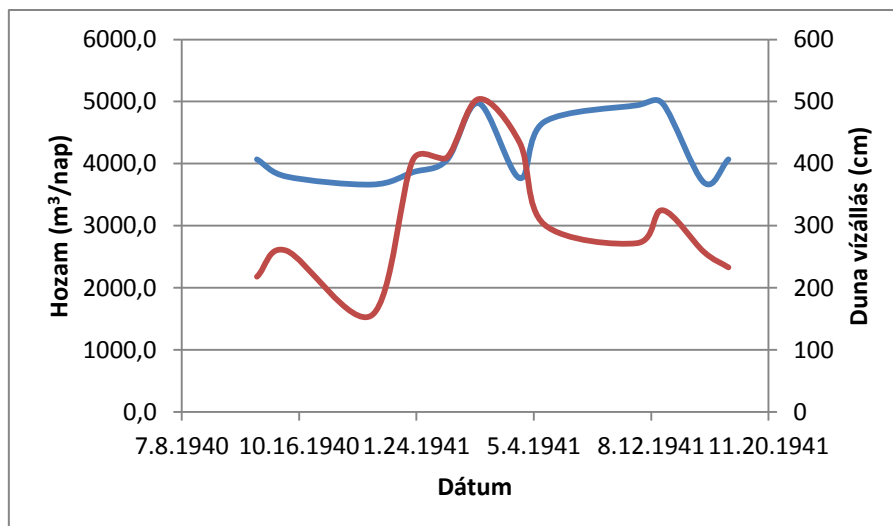
Forrás	Hozam (l/s)	Hozam (m ³ /nap)	Megfigyelő
Boltív-forrás	474	40954	Molnár J. (1865)
Malom-tó forrása	43,5	3787,2	Papp F. (1942)
Malom-tó forrása	30	2592	Alföldi et al. (1968)
Boltív-forrás	43 (átlag)	3687 (átlag)	ELTE (2001)
Boltív-forrás	159,1 (átlag)	13745,9 (átlag)	ELTE (2001)

1. táblázat: A Boltív-forrás archív hozam adatai.

Papp Ferenc 1940 és 1941 közötti hozammérési adatait a 2. táblázat tartalmazza és a 7. ábra mutatja be.

Dátum	Hozam (l/s)	Hozam (m ³ /nap)	Duna vízállás (cm)
1940.09.10	47,1	4069,4	218
1940.10.05	43,9	3793,0	260
1940.12.17	42,4	3663,4	156
1941.01.21	44,7	3862,1	406
1941.02.19	47,0	4060,8	410
1941.03.18	57,6	4976,6	504
1941.04.22	43,6	3767,0	434
1941.05.13	54,1	4674,2	302
1941.07.31	57,2	4942,1	272
1941.08.22	57,5	4968,0	325
1941.09.26	42,8	3697,9	258
1941.10.17	47,1	4069,4	233
átlag napi hozam		4212,0	

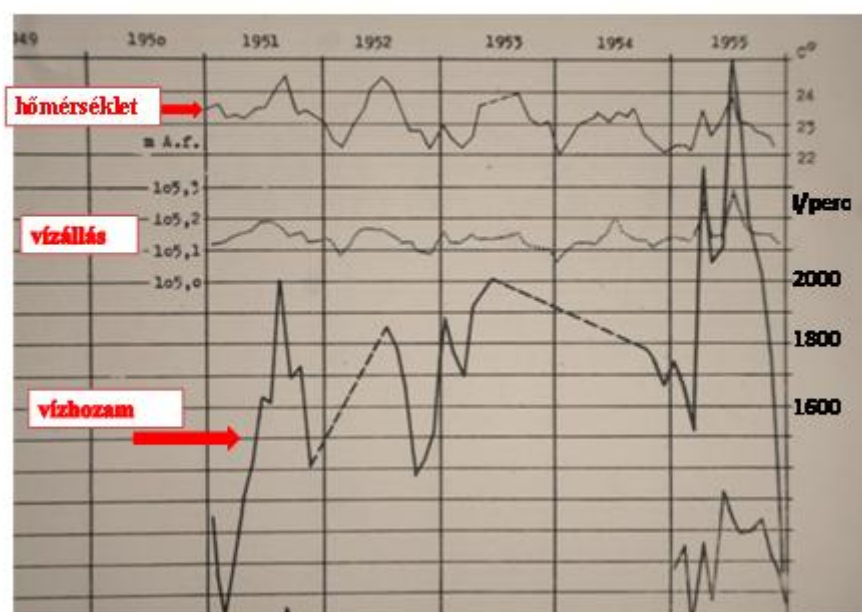
2. táblázat: A Boltív-forrás hozamadatai (Papp, 1942).



7. ábra: A Boltív-forrás hozamadatainak (kék színnel) ábrázolása a Duna vízállásának (piros színnel) tükrében (Papp, 1942).

Korábban, megfelelő műszerek hiányában, a rendszeres vizsgálatokhoz szükséges mérések kivitelezésénél az volt a legfontosabb, hogy adott körülmények mellett milyen mérések végezhetőek el megfelelő gyakorisággal, pontossággal. Alföldi et al. (1968) szerint a hozammérés kézenfekvőnek látszott, ám valójában sok nehézségbe ütközött. A Malom-tónál gravitációs üzemi viszonyok mellett, a víz férfi medencébe való beömlésénél egy nagy edény segítségével, köbözéssel végeztek hozammérést. Az eredmények az ábrán (8. ábra) láthatóak.

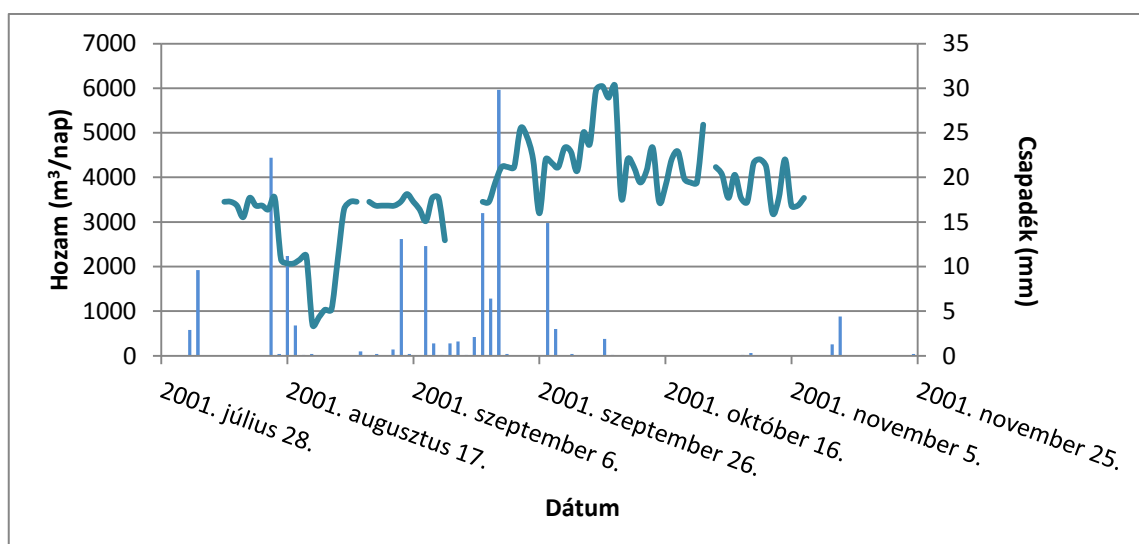
A Malom-tó adatai 1951-1955 között



8. ábra: A Malom-tó hozamadatai vízállás és hőmérséklet tükrében (Alföldi et al., 1968).

A természetes forrásokból táplálkozó tó hozama 1951 második felétől az 1954-es év végéig viszonylag hasonló, maximális hozam értéke 2000 l/perc amely 2880 m³/napnak felel meg. 1955-ben nagy ingadozás (akár 1000 l/perc) figyelhető meg. E változás már a tó vízállásában is érzékelhető.

Az ELTE 2001-ben, a csatornában forgószárnyas sebességmérő segítségével meghatározott hozam adatait a csapadék eseményekkel együtt a 9. ábra mutatja be. Azonban a nagy vízsebességre való tekintettel, mely a mérés megbízható kivitelezését nehezítette, a tó vízszintjéből számított hozam adatokat tekintették megbízhatóbbnak, mely négy-ötszöröse, átlagosan 14000 m³/nap, a csatornában mért hozamnak (4200 m³/nap). A mérési időszakban nem sikerült csapadékeseményekhez egyértelműen kapcsolható hozamreakciót észlelniük, melyet egyrészt a kis mennyiségű csapadéokra illetve a Malom-tó és a mögötte lévő barlangrendszer hatalmas víztömegének tompító hatására vezettek vissza.



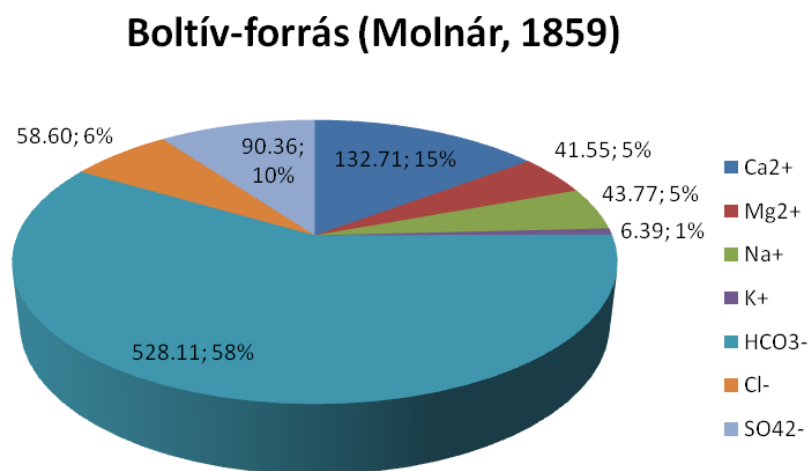
9. ábra: Az ELTE Boltív-forrásra számított hozamadatai (kék vonal) sebességméréseken alapulva a csapadékkal (függőleges kék vonalak) együtt ábrázolva (Mádlné, 2001).

3.2 Archív fiziko-kémiai adatok

A korábbi fiziko-kémiai adatokat Molnár János (1859) és Erőss et al. (2012) cikkei, valamint Alföldi et al. (1968) könyvei alapján elemeztük.

3.2.1 Korábbi vízkémiai adatok

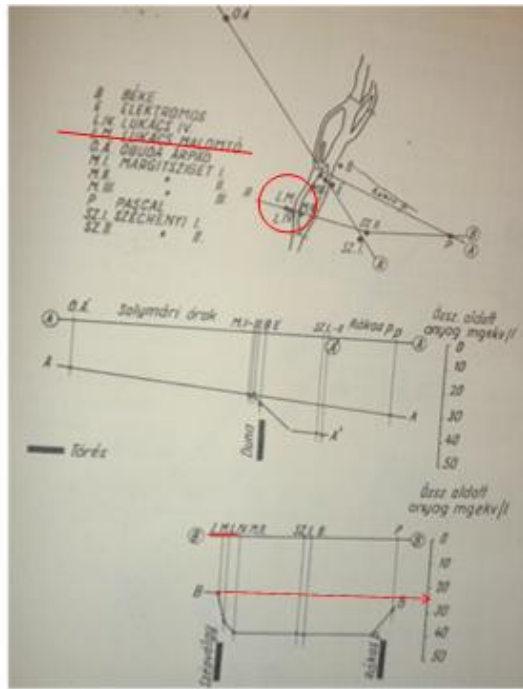
Vizsgálatunk tárgyát a Boltív- forrás képezi, ezért a továbbiakban ezen forrásra vonatkozó adatokat közlünk. A legkorábbi vízkémiai eredményeket, amelyeket a 10. ábra mutat be, Molnár János (1859) A Lukácsfürdő Budán, természettudományi tekintetben című írásában találjuk.



10. ábra: A Boltív-forrás vízkémiai kördiagramja Molnár János (1859) adatai alapján.

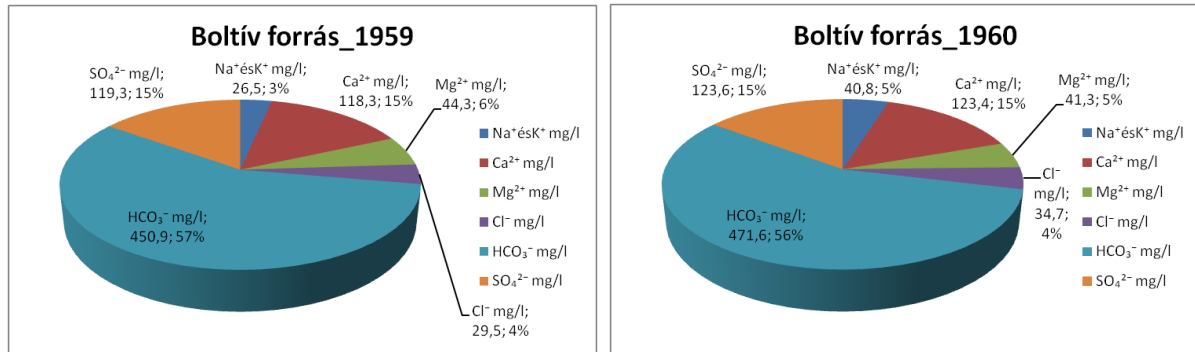
A következő ábrán (10. ábra) látható a hidrogén-karbonát dominanciája (58%) az összes többi ionhoz képest. A többi anion, a szulfát és klorid ion együttesen 16%-ot tesz ki. A kationokat a Ca²⁺ ion képviseli a legnagyobb arányban (15%). Nátriumból és magnéziumból megközelítőleg ugyanannyit mutatott ki Molnár (5-5%). A kálium csak 1% körüli mennyiségben jelent meg.

A Buda környéki hévizek kutatásának érdekében mértek vízkémiai adatokat az 1960-as években (Alföldi et al., 1968). Az elkészített vízkémiai szelvények (11. ábra) jól szemléltetik a területen előforduló törések szerepét és az ezzel összefüggő koncentráció viszonyok alakulását.



11. ábra: A budapesti hévizek koncentráció szelvényei (Alföldi et al., 1968).

A Boltív-forrás területén már 1900-ban is rögzítettek kémiai értékeket. Az összehasonlíthatóság érdekében itt is az 1959 és 1960-as évek adatait mutatjuk be (12. ábra).



12. ábra: A Boltív-forrás vizének vízkémiai elemzései (Alföldi et al., 1968).

Az értékek mindkét év esetén hasonlóan alakulnak, a hidrogén-karbonát százalékos értéke emelkedik 50% fölé, míg legkisebb mennyiségben a nátrium és kálium (összesen 3-5%) fordul elő (12. ábra).

A legújabb eredményeket az Erőss et al. (2012) cikkből ismerjük a Boltív-forrásra vonatkoztatva, mely 2009-ben végzett elemzéseket közöl. A régebbi vizsgálatokhoz hasonlóan az oldott anyagok felét a hidrogén-karbonát adja. A szulfát mennyisége megnőtt, míg a kalcium, a klorid, a nátrium és a kálium mennyisége lecsökkent, a magnéziumé hasonló maradt.

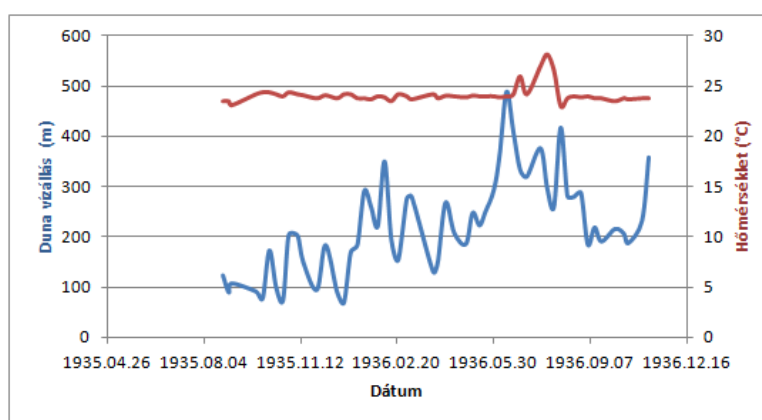
A Malom-tó forrására vonatkozó összes archív kémiai adatot a következő összesítő táblázat mutatja be (3. táblázat).

Boltív-forrás							
dátum	szerző	Na ⁺ és K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l
1859	Molnár J.	50,16	132,7	41,6	58,6	528,1	90,4
1959	Alföldi et al.	26,5	118,3	44,3	29,5	450,9	119,3
1960	Alföldi et al.	40,8	123,4	41,3	34,7	471,6	123,6
2009	Erőss A.	28,13	118	43,6	30,9	452	134

3. táblázat: A Boltív-forrás archív vízkémiai eredményei.

3.2.2 Korábbi pH, vezetőképesség és hőmérséklet adatok

Papp (1942) 1935 és 1936 között, 54 alkalommal mért vízhőmérséklet értéket a Malom-tóban. Az alábbi ábrán (13. ábra) a Duna vízállásának és a Malom-tó vízhőmérséklet értékeinek a diagramja látható.



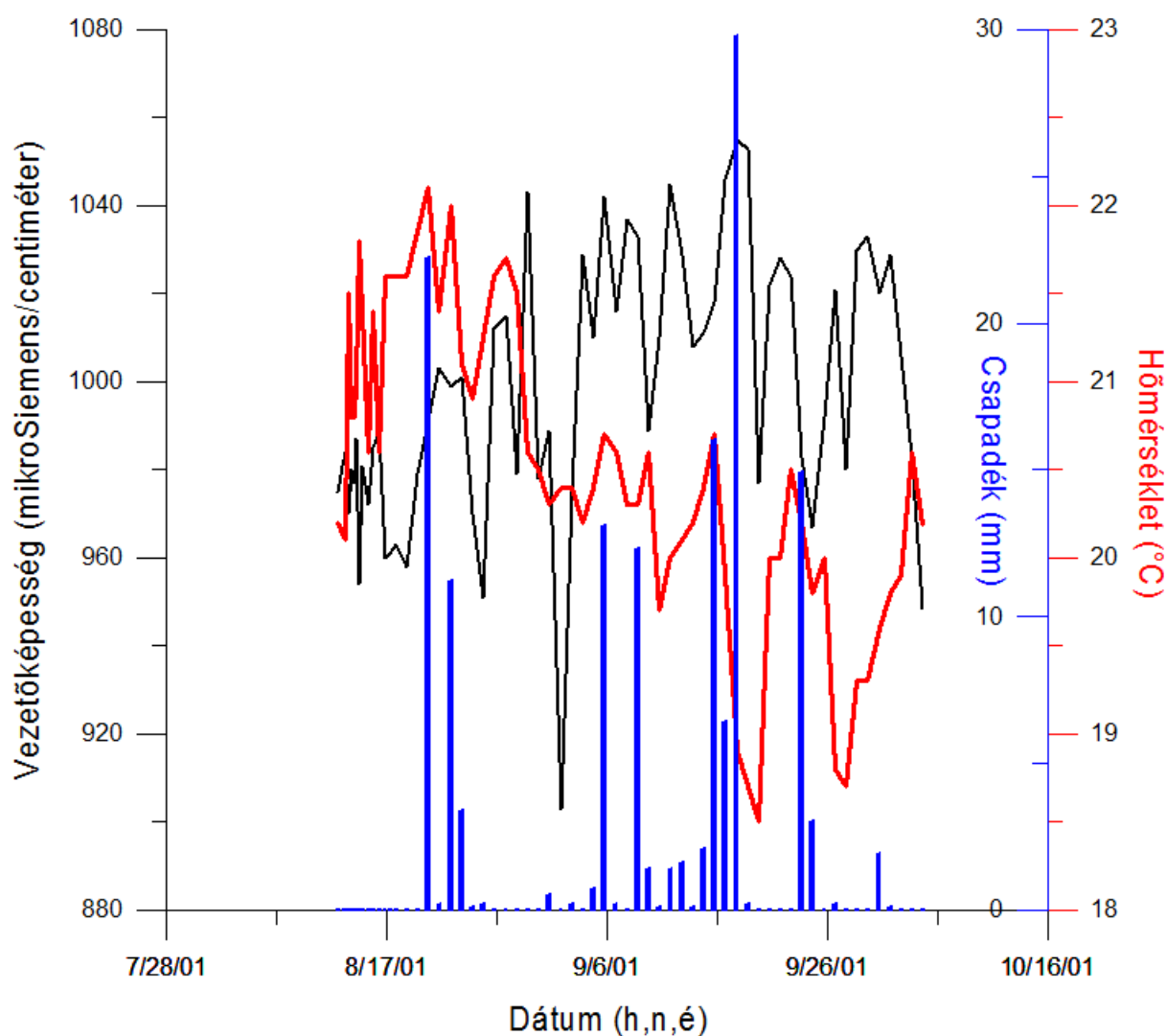
13. ábra: A Duna vízállás és a vízhőmérséklet összevetése Papp (1942) adatai alapján.

Megfigyelhető (13. ábra), hogy a Duna vízállása befolyással bír a Malom-tó vízhőmérsékletére. Növekvő vízszint esetén, megnő a hőmérséklet értéke. Ennek háttérében az áll, hogy a Duna vízszintjében bekövetkező változások a hidrosztatikus nyomás változása révén a folyó medrében, a triász dolomitból 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 is

növekszik, de a folyó és felszín alatti vizek közötti keveredés nélkül (Schafarzik, 1920; Papp 1942; Kunszt, 1947; Kessler 1963, 1965; Somogy, 2010; Striczki, 2010).

A Malom-tó vizének hőmérséklete Alföldi et al. (1968) nyomán 1951-1958-ig átlagosan 23°C közelében áll. Ezután következő években egy ideig nem rögzítették az adatokat. 1962-1965 között egy fokos esés figyelhető meg, 22,5°C-ról 21,5°C-ra süllyed az éves átlaghőmérséklet.

A Mádlné et al. (2001) jelentésből, a Malom-tó lépcsőjénél vett vízmintára vonatkozó vezetőképesség és hőmérséklet értékek láthatók a 14. ábra a csapadék adatokkal összevetve.



14. ábra: A Malom-tó vezetőképességének és hőmérsékletének viszonya a lehullott csapadékkal (Mádlné et al. (2001) adatai alapján).

A vezetőképesség értéke egy kiugró adatot leszámítva (900 $\mu\text{S/cm}$) 950 és 1050 $\mu\text{S/cm}$ között változik. A 100 $\mu\text{S/cm}$ ingadozás természetesnek vehető. A konduktivitás és a

csapadékesemények között összefüggés nem mutatható ki, ami véleményük szerint valószínűleg a rövid vizsgálati időszaknak tudható be.

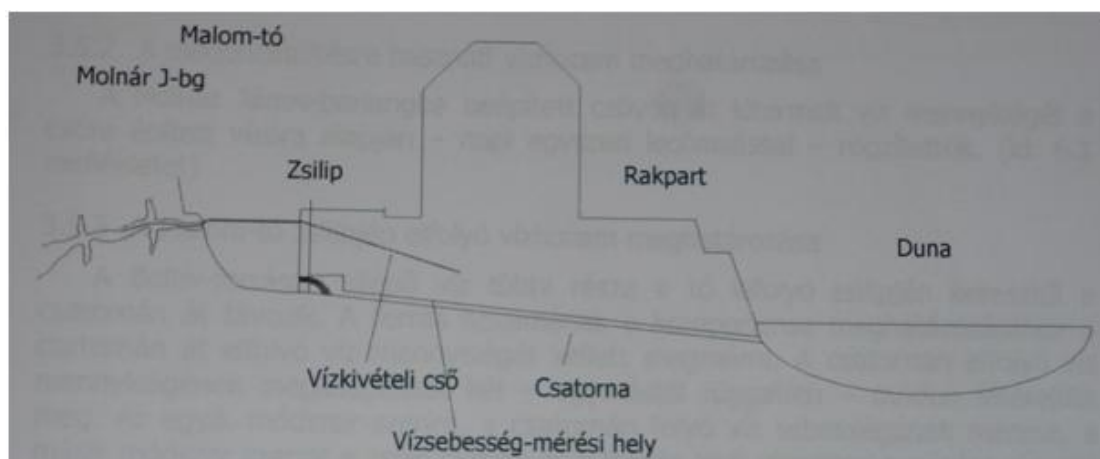
Eröss et al. (2012) cikkében a Boltív-forrás pH-ja 6,94, hőmérséklete 21,7 °C, vezetőképessége 932 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -nek adódott.

4. Alkalmazott módszerek

Ebben a fejezetben először bemutatjuk mérési helyszíneinket, majd rátérünk az általunk alkalmazott mérési módszerekre. A vízhozam nagyságát háromféleképpen kíséreltük meg meghatározni, továbbá mértük a forrás a fiziko-kémiai paramétereit.

4.1 A saját méréseink helyszíne

Látható (15. ábra), ahogy a Boltív-forrás vize a Malom-tó zsilipjén alábukva egy csatornán keresztül áramlik a Dunába. Ebben a csatornában végeztük a saját méréseinket (16. ábra).



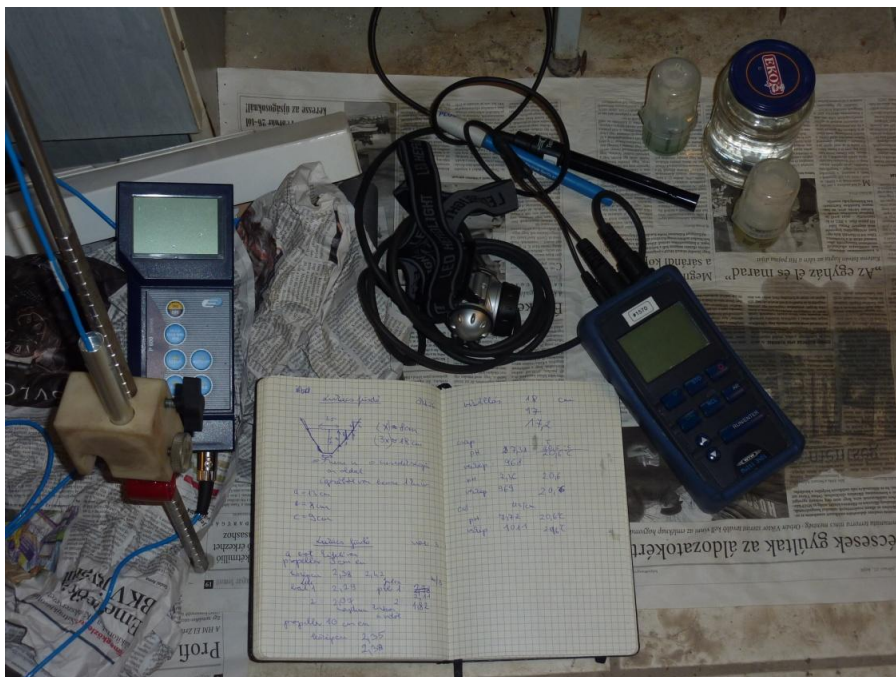
15. ábra: Sematikus ábra a Lukács-fürdő alatti csatornáról (Mádlné et al., 2001).



16. ábra: Saját méréseink helyszíne (fotó: Csordás J.).

A csatorna közel trapéz alakú, lefelé keskenyedik, a tetején 60 centiméter, míg az alján csak 9 centiméter széles. A csatorna magasságának háromnegyedéig téglákból van kirakva. Négy darab téglasor van egymásra helyezve, felette betontól van kiöntve.

Négynaponta végeztünk méréseket, hogy a sebesség és fiziko-kémiai paraméterek aktuális állását a rendelkezésünkre bocsátott műszerek segítségével rögzítsük (17. ábra).

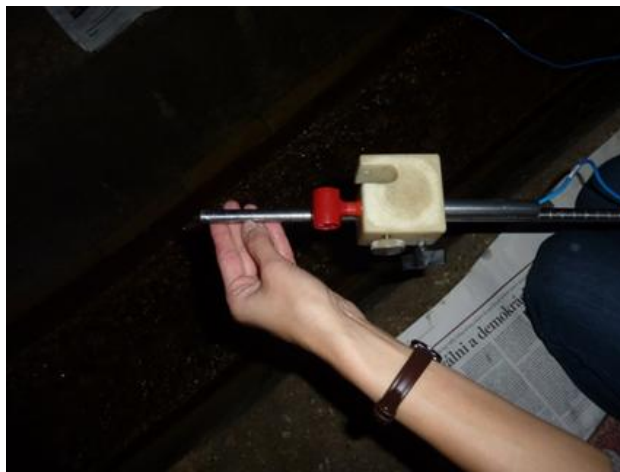


17. ábra: Mérés során használt eszközök (fotó: Csordás J.).

A mért paraméterek változásait okozó hatások elemzése érdekében az eredményeinket ismertető diagramjainkon a csapadék eseményeket, Duna vízállását is ábrázoltuk. Az ehhez szükséges napi csapadék adatokat az időkép.hu szolgáltatta. A vízállás értékeket a www.hydroinfo.hu oldalról töltöttük le. A budapesti vízmérce, mely a Vigadó téren (EOV Y: 650 000) helyezkedik el, és a Boltív-forrás koordinátáját (EOV Y: 649 110) egymásból kivonva határoztuk meg a távolságot e két pont között (890 m). A Duna medrének esése 9,3 cm/km (Striczki, 2010). Megfelelő mértékegység átváltásokra figyelve kiszámoltuk, hogy a Duna Vigadó téri helyszínen mért vízállás eredményeihez 8,2 cm-t kell hozzá adni, hogy a Boltív-forrással egy magasságban lévő Duna vízállásokat megkapjuk.

4.2 Propelleres sebesség mérés

A 4.1 fejezetben bemutatott csatorna vízhozamának meghatározására már történtek kísérletek forgóműves vízsebességmérővel (Mádlné et al., 2001). Ezt alapul véve fémrúdra erősített forgóműves sebességmérővel (18. ábra) végeztük a saját méréseinket.



18. ábra: A Propelleres sebességmérő (fotó: Csordás J.).

A gyors vízáramlás folyton elforgatta a műszert a rúd körül, így nem lehetett a mérést elvégezni. Ezért átalakításokat kellett alkalmazni a műszeren, amely után a már jól használható propelleres sebességmérővel négynaponta jártunk ki vízsebességet mérni (19. ábra).

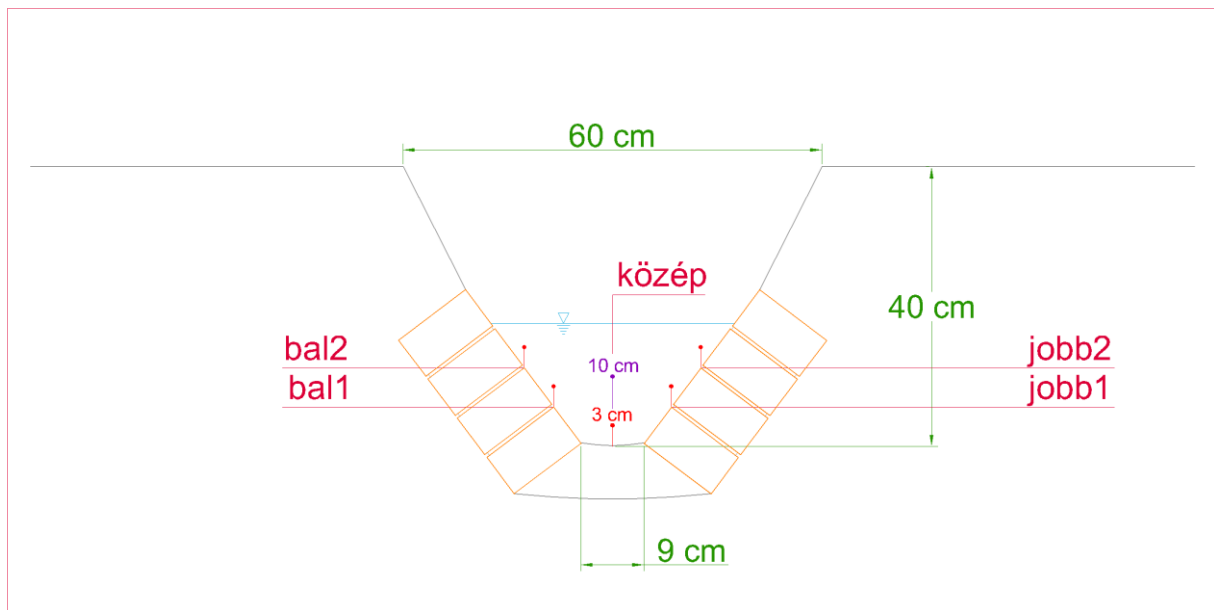


19. ábra: Vízsebesség mérés a csatornában (fotó: Fülöp K.).

A mért sebesség értéket a hozzá csatlakoztatott Dostmann electronic P 600 Series mérőműszer jelzi ki. A vízfolyás keskeny mérete (~35 cm) és vízállásának viszonylag alacsony mivolta (~17 cm) szükségtelessé tette több mérési pont kijelölését. A méréseinket a tartó bot aljától 3 és 10 centiméter magasan beállított propellerrel végeztük. Amikor a propeller 3 centiméteren állt, a csatorna közepén kétszer, valamint a folyásirányt nézve a forrás jobb és bal oldalán is mértünk (20. ábrán látható az elhelyezkedésük), mindkét oldalon alulról az első és a második téglát tetején. Amikor 10 centiméteren állt a propeller, csak a forrás közepén mértünk.

4.2.1 A hozamszámítás módszere

Vízhozamot a vízsebesség és a nedvesített áramlási keresztmetszvény területének szorzatából lehet meghatározni. A vízfolyások keresztmetszvényében a víz sebessége térben és időben változó paraméter, ezért célszerű a keresztmetszvény minél több pontjában méréseket végezni, hogy minél pontosabb vízhozamértéket kapjunk. A több pontban mért vízsebességekből számított részhozamok összegzésével megkapjuk a keresztmetszvényen átáramló összes víz hozamát. A szelvény menti vízhozamok összeadásával megkapjuk a teljes vízhozamot. A forgóműves sebességmérővel való vízhozammérés a szelvény területének és a szelvényre merőleges sebességkomponensek értékének meghatározásán alapul. A forgóműves sebességmérő vitorlájának 1 másodpercre eső fordulatszámából kiszámítható a víz sebessége. A csatorna általunk kiválasztott keresztmetszvényének sematikus ábrázolása a következő ábrán (20. ábra) látható.



20. ábra: A Lukács-fürdő alatti csatorna sematikus keresztmetszete, pöttyök a sebességmérő helyzetét jelölik
(készítette: Sáling Á.).

A csatorna megközelítőleg trapéz alakú, ezért a csatornára merőleges keresztmetszelvény meghatározásához a trapéz területének a képletét $[(a+c/2)*m]$ alkalmaztuk. A képlet a tagja 9 centiméter, c tagja a víztükör szélességének felel meg, ami 33 és 35 centiméter között változott, az m pedig a vízállás magasságának felel meg, értéke 16 és 18 centiméter között ingadozott. Tehát minden mérési napra kiszámoltuk a csatorna nedvesített keresztmetszetének az értékét négyzetcentiméterben, amit be kell szorozni a sebesség komponenssel, hogy megkaphassuk a vízhozamot. A sebességkomponens meghatározásához átlagoltuk a négynaponta, 3 centiméteren mért közép-bal1-bal2-jobb1-jobb2-közép és 10 centiméteren mért közép-közép értékeinket, így megkaptuk 3 és 10 centiméterre az átlagsebességek értékét. Ezeket összesoroztuk a keresztmetszettel és megkaptuk a vízhozam értékét köbméter/másodpercben. Végül a 3 és 10 centiméterre számolt hozam adatokat is átlagoltuk, majd átszámítottuk köbméter/napra.

4.3 Mesterséges jelzőanyaggal történő vízhozam mérés

4.3.1 Jelzőanyag-hullámmal való vízhozam mérés

A leggyakrabban alkalmazott vízhozammérési eljárások közé tartozik a jelzőanyag-hullámmal való mérés. Az általunk választott fluoreszcein a legszélesebb körben alkalmazott mesterséges jelzőanyag, ami sárga vagy piros színű por és neon zöld színben fluoreszkál, a környezetre

nem káros, nagyon jól oldódik, a kimutatási határa nagyon alacsony, fény hatására bomlik. 0,1 g koncentrációjú jelzőanyagot oldottunk fel egy vödör (12 liter) vízben, amit a csatorna végénél, körülbelül 12 méterre a mérésünk helyétől öntöttünk bele a forrás vizébe. A mérés sikerességéhez szükséges elkeveredés adott volt, mert a csatorna végénél magasabb térszínről ömlik a forrás (tó) vize a csatornába. A detektálás az ún. GGUN-FL02 Fluorométerrel (Schnegg and Doerflieger, 1997) történt. A műszer két részből áll. Az egyik a vízfolyásba belehelyezhető detektor, amit egy több méter hosszú, vízhatlan kábel köt össze a parton elhelyezhető adatrögzítővel. A detektorban mérés közben egy lámpa villan fel, ami egy szűrő segítségével a nyomjelző anyagra jellemző gerjesztési hullámhosszon fényt bocsát ki. Ennek hatására a detektoron átáramló festék fluoreszkál, amit egy fényérzékelő észlel a műszeren. Az így kapott jelet mV-á alakítja és felerősítve a kábelen keresztül eljuttatja az adatrögzítőbe. A jel erőssége arányos a készüléken átáramló nyomjelzőanyag koncentrációjával.

A detektálás az ún. jelzőanyag-hullám levonulása alatt folyamatosan (minimum 10 másodpercenként) történik. A vízhozam (Q) a beadagolt nyomjelző mennyisége (E) és a jelzőanyag-hullám alatti terület hányadosából (A) számítható ki, az alábbi képlet alapján: $Q \text{ (l/s)} = E \text{ (mg)} / A \text{ (mg*s/l)}$ (Muszkalay és Starosolszky, 1959).

4.3.2 Híguláson alapuló vízhozam mérés

A híguláson alapuló vízhozam mérés módszerének leírásához Muszkalay és Starosolszky (1959) Vízhozammérési zsebkönyvét vettük alapul. Ennél a vízhozam mérési módszernél a vízfolyásba permanensen adagolt nyomjelző anyagot kell juttatni, amelynek fokozatos hígulásából és a jelzőoldat hozamának szorzatából meghatározható a vízhozam. A mérés akkor végezhető el megfelelően, ha ismerjük a jelzőoldat pontos töménységét és a permanens állapot kialakulásáig egyenletes intenzitással adagoljuk. A jelzőoldat egyenletes elkeveredését biztosítani kell az egész vízfolyásban. A mintavételt permanens állapotban kell végezni. Alapfeltétel, hogy a hígulást akkor határozzuk meg, amikor a jelzőanyag áramlása már permanens a mintavételi szelvényben, amikor az adagolási idő meghaladja a leglassúbb és a leggyorsabb vízrészecske odaérkezési idejének a különbségét. A t adagolási időn keresztül a jelzőoldatot egyenletes intenzitással, tehát állandó hozammal és állandó töménységgel kell bejuttatni a vízáramlásba. A gyakorlatban általában 10-20 percig tart az adagolás, ha a mintavételi szelvény távolsága nem halad meg a néhány 100 métert. Adagolónak mintegy 100

liter űrtartalomig ún. Marioette palackot szoktak használni. Az adagoló berendezésnél köbözéssel kell meghatározni, illetve ellenőrizni az adagolási hozamot. A mintavétel az adagolás megkezdésétől a leglassúbb vízrészecske leérkezéséig eltelt idő után kezdődhet meg. A mértékadó legkisebb sebesség általában maximális sebesség $1/10$, $1/20$ részének vehető. Az egymás után vett minták töménységének nem szabad lényegesen eltérniük egymástól. Amennyiben az egymás után következő mintákban folyamatosan csökken vagy nő a töménység, az azt jelenti, hogy nem megfelelő időben történt a mintavétel.

Kísérletünk során egy 50 literes hordót használtunk adagolóként. Terepi mérés elvégzése előtt a laborban köbözéssel vízhozam mérést végeztünk, hogy megtudjuk, milyen hozammal tudjuk a hordóból kitermelni az oldatot, illetve mennyi időt fog ez igénybe venni. Ily módon, a terepen szükséges eszközöket is leteszteltük. Egy 50 literes hordóba 30 liter vizet töltöttünk. Egy műanyag cső egyik végére nehezéket erősítettünk, hogy a kis sűrűsége ellenére a hordó alján maradjon, mindig vízben legyen. Az előre vízzel feltöltött műanyag cső egyik végét tehát a hordóba, másik végét egy 3 literes gyűjtő edény felé tartottuk. Megkezdtuk a víz leeresztését a csövön keresztül, és mértük, hogy mennyi idő alatt telik meg a 3 literes edény. Azt tapasztaltuk, hogy amint egyre kisebb lesz a vízoszlop magassága az eredeti hordóban, annál lassabban töltődik fel a gyűjtő edényünk. Mérés kezdetén 59 másodperc, majd 1 perc 3 másodperc és a mérés végén 1 perc 6 másodperc volt szükséges hogy az edény megteljen. Átlagosan tehát 3 liter/perc hozam értéket kaptunk, és a kitermelhető víz lefolyatása majdnem 10 percig tartott. Azt is megtapasztaltuk, hogy a hordót nem tudjuk teljesen leszívni, körülbelül 6 liter folyadék az alján marad. A vízoszlop magasság különbségéből adódó hozam csökkenést a terepen megpróbáltuk enyhíteni. Nagyobb csőhosszúsággal (a belső súrlódás kiegyenlítő hatású) dolgoztunk, illetve a hordó és a jelzőanyag beengedési helyének magassága közti lehető legnagyobb szintkülönbséget próbáltuk kialakítani (21. ábra).



21. ábra: Gumicső leeresztése az aknába (fotó: Fülöp K.).

Az egyetemen eddig még nem folytatott kísérletben nyolcan vettünk részt, amit 2012. november 23-án 15:34-kor kezdtük és 16:07-kor fejeztük be. 50 literes hordót használtunk, amiből egy 12 méter hosszú, műanyag cső vezette a higított jelzőanyagot a beöntés helyére. A vízzel és jelzőanyaggal (0,1 g) feltöltött hordót a Malom-tó mellett futó kerítés peremén (22. ábra) helyeztük el, így a hordó feneké és a zsilip teteje közti szintkülönbség több, mint 3 méternek adódott. Egy másik 50 literes hordót is megtöltöttünk vízzel és a másikkal megegyező koncentrációjú fluoreszceinnel, amiből 3 liter/percenként, a leürülés hozamának megfelelően, át kellett tölteni az oldatot a másik hordóba, annak érdekében, hogy a vízszint csökkenés ne befolyásolja a hozam egyenletességét (22. ábra).



22. ábra: A fluoreszcein folyamatos utánpótlása (fotó: Nyerges A.).

A Malom-tóban található zsilipaknához csónakkal beveztünk, és a műanyag cső másik végét belelógattuk az aknába (23. ábra).



23. ábra: Jelzőanyag eresztése a csatornába (fotó: Csordás J.).

Ezzel megkezdődött az oldat adagolása a Boltív-forrás vizébe. A jelzőanyag folyamatos érzékelését a fluorométer biztosította. A Lukács-fürdő alagsorában hárman is a víz alatt próbálták tartani a fluorométer detektorát (24. ábra), hogy érzékelti tudja a beérkező jelzőanyag koncentrációját, amit a detektorral összekötött laptopon lehetett nyomon követni.



24. ábra: Fluorométer rögzítése a Lukács-fürdő alagsorában (fotó: Fülöp K.).

A híguláson alapuló hozammérés számítása az alábbi képlet alapján történik [$Q = q \cdot c_1 / c_2$], ahol Q jelöli a forrás vízhozamát, q a leürülés hozamát, c_1 a beöntött jelzőanyag koncentrációját, míg c_2 a csatornában mért jelzőanyag koncentrációt.

4.4 A fiziko-kémiai paraméterek folyamatos észlelése

2012. október 19-én a Malom-tó fölött átívelő boltívről beengedtük a Dataqua DA-S-LKTRB 122 mérőműszert a vízbe. A tó felszínét borító növényzettől nem láttuk a Boltív-forrás hasadékanak (25. ábra) pontos helyét, ezért november 7-én csónakkal beveztünk és áthelyeztük a műszert közvetlenül a hasadékba (26. ábra).



25. ábra: A Boltív-forrás hasadéka (fotó: Erőss A.).



26. ábra: A Dataqua műszer elhelyezése a Boltív-forrás hasadékába (fotó: Csordás J.).

A Dataqua óránként mér vízszint, vízhőmérséklet és elektromos vezetőképesség értékeket. A készülékhez tartozó adatrögzítő berendezést a boltíven, biztonságos helyen helyeztük el. A mérés pontossága miatt szükséges, hogy a készülék stabil helyzetben legyen, nem szabad mozgatni. A Dataqua mérési pontossága hőmérséklet esetén $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, vízszint és vezetőképesség esetén $0,1\text{ }\%$. Az adatrögzítő berendezésről le lehet tölteni az adatokat számítógépre, ahol a SMARTADMIN nevű adatkinyerő szoftver segítségével Excel táblázatba lehet importálni az adatokat.

4.5 Kézi vezetőképesség-, hőmérséklet- és pH-mérés

A Boltív-forrás vizét elvezető csatornában a négynaponta mért vízhozam adatok mellett meghatároztuk a víz pH, konduktivitás és vízhőmérséklet értékeit. Továbbá a fürdő által a Molnár János barlangból kivett, medence feltöltésre használt víz paramétereit a csővezeték mintavételi csapjánál is minden alkalommal megmértük (27. ábra). A Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt. Energetikai osztályáról, Pethő Sándor szóbeli közlése alapján úgy értesültünk,

hogy a Lukács-fürdő a barlangból csak kevés vizet vesz ki (2009-ben 7149 m³/év volt a teljes kivétel mennyisége). A csővezetéken érkező víz 99 %-a itt is felhasználatlanul a Dunába ömlik, de ennek hozamáról nem áll rendelkezésünkre adat, mert azt nem mérik.



27. ábra: Vízmintavétel a Malom-tóból (fotó: Csordás J.).

A mintavételi csap, valamint a csatorna vizéből vett mintákba tettük bele az üveg elektródás pH és a vezetőképesség mérőt. Minden oldat vezetőképessége hőmérsékletfüggő. Ez azt jelenti, hogy egy vezetőképesség értéknek csak akkor van információ tartalma, ha a vonatkoztatási hőfok is megadásra kerül. A nemzetközileg legelterjedtebb vonatkoztatási hőfok 25°C. A vezetőképesség mérésénél (ellentétben a pH mérésével) nem az elektródának, hanem a mérendő közegnek a hőmérsékletfüggő tulajdonságát kell kompenzálni. Fontos, hogy nagy cellaállandó-stabilitású elektródákat kell használni, ilyen az általunk is használt WTW grafit TetraCon 325 elektródája.

A négyelektródás mérőcella a kételektródás cella továbbfejlesztése. A cella két áramelektródból és két feszültségelektródból áll. Az áramelektródok biztosítják a méréshez szükséges áramerősséget. A feszültségelektródok mérik az ohmikus feszültségesést a mérendő oldaton. Az ismert értékű áramerősség és az oldatra eső feszültségesés alapján kerül meghatározásra a mérendő oldat vezetőképességére jellemző feszültségesés a mérendő közegben a feszültségelektródák között.

A négyelektródás cella alkalmazásának egy további előnye, hogy a kisebb mértékű lerakódások az elektród felületén nem vagy csak igen csekély mértékben befolyásolják a

mérés pontosságát, mivel az áramelektrodákon kialakuló filmréteg nem borítja fel az elektromos mező képét (www.muszeroldal.hu/measurenotes/vezetokep.pdf).

A pH-érzékeny, SenTix 41 üvegelektrod különleges összetételű, nagy elektromos vezetőképességű és kis olvadásponttal jellemzett üvegből készített membrán. Az üvegmembrán erősebb falú üvegcsőre van forrasztva. Az elektrod belsejében nagy kapacitású, 6-7 pH-jú pufferoldat van, amelybe kivezetőként ezüst/ezüst-klorid elektrod merül. Az elektrod lényegében egy vékonyfalú üveggömb (membrán), amely vizes oldattal érintkezve vizet vesz fel, több molekula vastagságú rétegben megduzzad, és az oldat H^+ -jaival ioncsere-egyensúlyt alakít ki. A membránon kialakuló potenciált a két oldalon lévő H^+ -koncentrációk aránya határozza meg. Az üveggömb belsejében a pufferoldat révén állandó a $[H^+]$, így az elektrodpotenciál egyedül a külső H^+ -koncentrációtól, azaz az oldat pH-jától fog függni. Ha az elektrodot különböző pH-jú oldatokba mártjuk, az üveg felszínén kialakuló potenciál tág pH-intervallumban lineárisan változik a pH-val. Erősen lúgos közegben az üvegelektrodok a valósánál kisebb pH-értéket mérnek (alkálihiba). Általános használatuk a $pH = 0 - 13$ intervallumra terjed ki. Az üvegelektrod bármilyen összetételű vizes oldatban használható. Maximális mérési pontossága pufferolt oldatokban 0,001 pH-egység. A mindennapi gyakorlatban pufferolt oldatban 0,01 pH-, nem pufferolt oldatokban 0,05 pH-egység (cheminst.emk.nyme.hu/gyakorlat/09a-08b-pHmeres.pdf). A pH meghatározására általában közvetlen koncentrációmérést végzünk. Ekkor az oldat pH-ja és a mért potenciálkülönbség linearitását két pontosan ismert pH-jú pufferoldat segítségével állítjuk be. A módszer igen gyors meghatározást tesz lehetővé.

Minden mérés előtt kalibrálni célszerű. A kalibrálás segítségével a műszer a mért potenciált át tudja számítani pH-egységbe. Kalibrálás során 2 pufferoldat pH-ját méri be a műszer, majd tárolja automatikusan, így kizárva a kalibrálás utáni véletlen elállítódást.

Méréseink alkalmával mindig kalibráltunk. Az általunk használt egyik pufferoldat pH-ja 4.01, a másiké 7.00, és mindkettő $25^{\circ}C$ -ra van vonatkoztatva. Kalibrálás után megkezdődhet a mérés. A csatornából és a csapból egyaránt műanyag pohárral vettünk vízmintát, amelybe a két féle elektrodát beállítottuk (28. ábra).



28. ábra: Fiziko-kémiai paraméterek mérése a Lukács-fürdő alagsorában (fotó: Pataki L.).

A mérőműszeren csatornát váltva mind a pH, mind a vezetőképesség értéke leolvasható, a hozzájuk tartozó víz hőmérséklet értékkel együtt. A WTW Multi 340i készülék pH mérési pontossága és felbontása 0,01, a vezetőképesség mérési pontossága 1%, felbontása $1\mu\text{S}/\text{cm}$ és a hőmérséklet mérési pontossága $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Eredmények

Ebben a fejezetben mutatjuk be a saját méréseink alapján kapott vízhozam és vízkémiai eredményeket. Továbbá a saját adatainkat összehasonlítjuk az adott időszakban a területen hullott csapadékmennyiségekkel, hogy megállapíthassuk van-e köztük kapcsolat.

5.1 Hozammérés eredményei

A hozammérés célja a csatornában elfolyó hozam mennyiségének meghatározása mellett a hozam változékonyságának megismerése volt.

5.1.1 Forgószárnyas vízsebességmérővel való mérés

A Lukács-fürdő alagsorában, a csatornában, négy naponta végzett sebességmérés eredményeit a 4. táblázat tartalmazza. A sebességmérésből a 4.2.1 fejezetben ismertetett módon számított hozam értékek a 5. táblázatban láthatók. A vizsgált időszak alatt a hozam 6549 m^3 és 8094 m^3

között változott. A csapadékeseményekkel és a Duna vízállással együtt ábrázolt hozam adatokat az 29. ábra illusztrálja. Itt egyértelmű összefüggés nem figyelhető meg az ábrázolt paraméterek között.

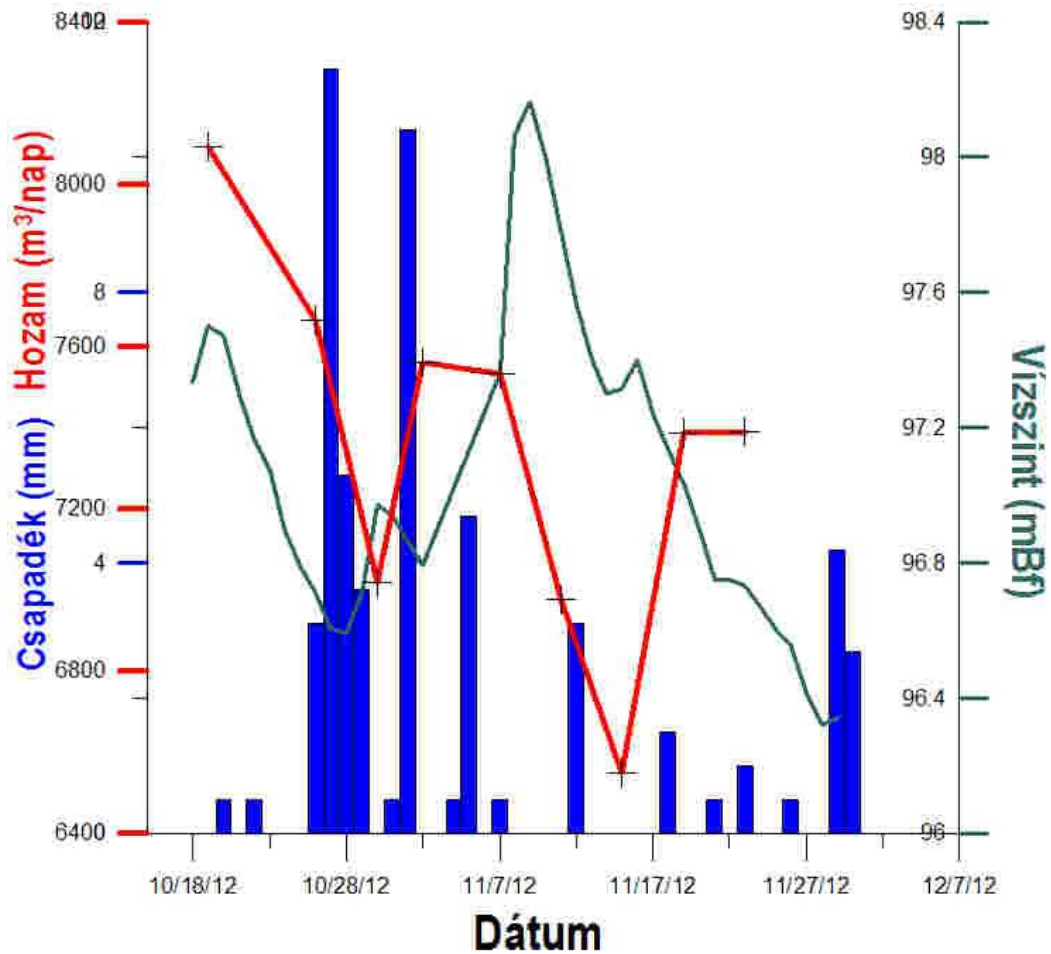
sebesség mérések_mért értékek										
Dátum	vízsebesség értékek_propeller 3 cm-en(m/s)						vízseb._propeller 10 cm-en(m/s)		vízállás (cm)	víztükör szélessége(cm)
	középen	középen	bal 1	bal 2	jobb 1	jobb 2	középen	középen		
okt.19.	2,4	2,4	2				2,6		17,5	35
okt.26.	2,4	2,31	2,22	2,1	2,15	1,9	2,31	2,29	18	35
okt.30.	2,42	2,38	2,22	2,04	2,15	1,87	2,42	2,38	16,5	34
nov.03.	2,42	2,38	2,29	2,07	2,11	1,82	2,35	2,38	17,5	35
nov.07.	2,4	2,49	2,25	2,1	2,13	1,82	2,53	2,4	17	35
nov.11.	2,35	2,44	2,22	2,13	2,11	1,82	2,33	2,42	16,5	34
nov.15.	2,38	2,4	2,27	2	2,11	1,78	2,31	2,4	16	33
nov.19.	2,4	2,4	2,24	2,11	2,13	1,84	2,42	2,35	17	35
nov.23.	2,42	2,35	2,33	2,07	2,11	1,82	2,38	2,4	17	35

4. táblázat: Csatornában végzett mérések eredményei.

sebesség mérések_számitott értékek			
Dátum	átlag seb.(m/s)	keresztmetszet (m ²)	hozam (m ³ /nap)
		$a = 9cm$	
okt.19.	2,43	0,039	8094,2
okt.26.	2,24	0,040	7664,0
okt.30.	2,29	0,035	7018,9
nov.03.	2,27	0,039	7562,0
nov.07.	2,33	0,037	7534,5
nov.11.	2,28	0,035	6978,1
nov.15.	2,26	0,034	6548,8
nov.19.	2,29	0,037	7386,4
nov.23.	2,29	0,037	7389,0

5. táblázat: Sebességmérésekből számított értékeink.

Vízszint_hozam_csapadék összefüggése



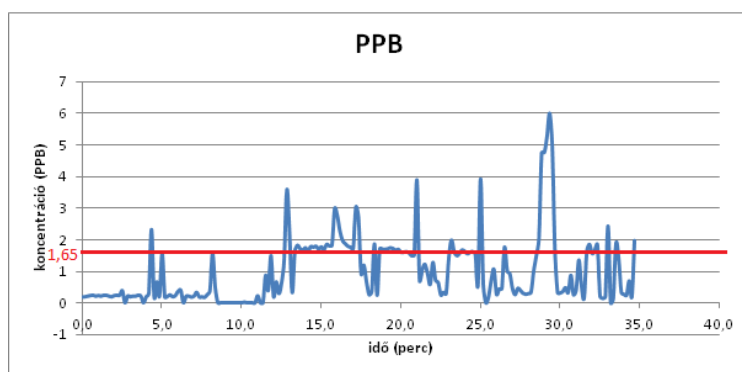
29. ábra: A csatornában mért hozam viszonya a csapadékkal és a Duna vízállásával.

5.1.2 Jelzőanyag-hullámmal való mérés

A jelzőanyag-hullámmal való mérés során, a gyors vízáramlás (2,4 m/s), a viszonylag nagy vízhozam ($7353 \text{ m}^3/\text{nap}$) és a kis detektálási távolság (12 méter) miatt a jelzőanyag kevesebb, mint 10 másodperc alatt tette meg az utat a beöntés helyétől a detektorig. A műszeren beállítható leggyakoribb mérési időköz (10 másodperc) nagysága miatt a jelzőanyag-hullám áthaladását a műszer nem érzékelte, a várt jelzőanyag-hullám elmaradt, így nem lehetett hozamot számolni.

5.1.3 Híguláson alapuló mérés

A híguláson alapuló mérés képezte a második hozammérési kísérletünk alapját. A kezdeti, beöntött jelzőanyag koncentrációja (c_1) 2615 ppb, értékét a laborban határoztuk meg. A csatornában mért, a víztömeg telítése eredményeképpen létrejött nyomjelzőanyag koncentráció (c_2) értéke 1,65 ppb. A jelzőanyag koncentrációja a mérés kezdete óta nullánál nagyobb értéket mutatott, ami arra utal, hogy a vízben jelen van olyan anyag, ami háttérkoncentrációt produkált. A mért értékek erőteljes változása abból adódott, hogy nem lehetett a műszert stabilan a víz alatt tartani, valamint a jelzőanyag folyamatos adagolása nehezen kivitelezhető volt. A 30. ábra alapján a 1,65 ppb koncentráció érték tűnik elfogadható telített víztömeg koncentrációnak. A terepen köbözéssel meghatározott beöntési hozam (q) 2,7 liter/perc. Ezen adatokból, a 4.3.2 fejezetben leírt képlet segítségével kiszámoltuk a forrás hozamát, ami 4279 liter/percnek, azaz $6192 \text{ m}^3/\text{nap}$ értéknek adódott.



30. ábra: A híguláson alapuló hozammérés eredménye, míg a vízszintes piros vonallal az 1,65 ppb érték van jelölve.

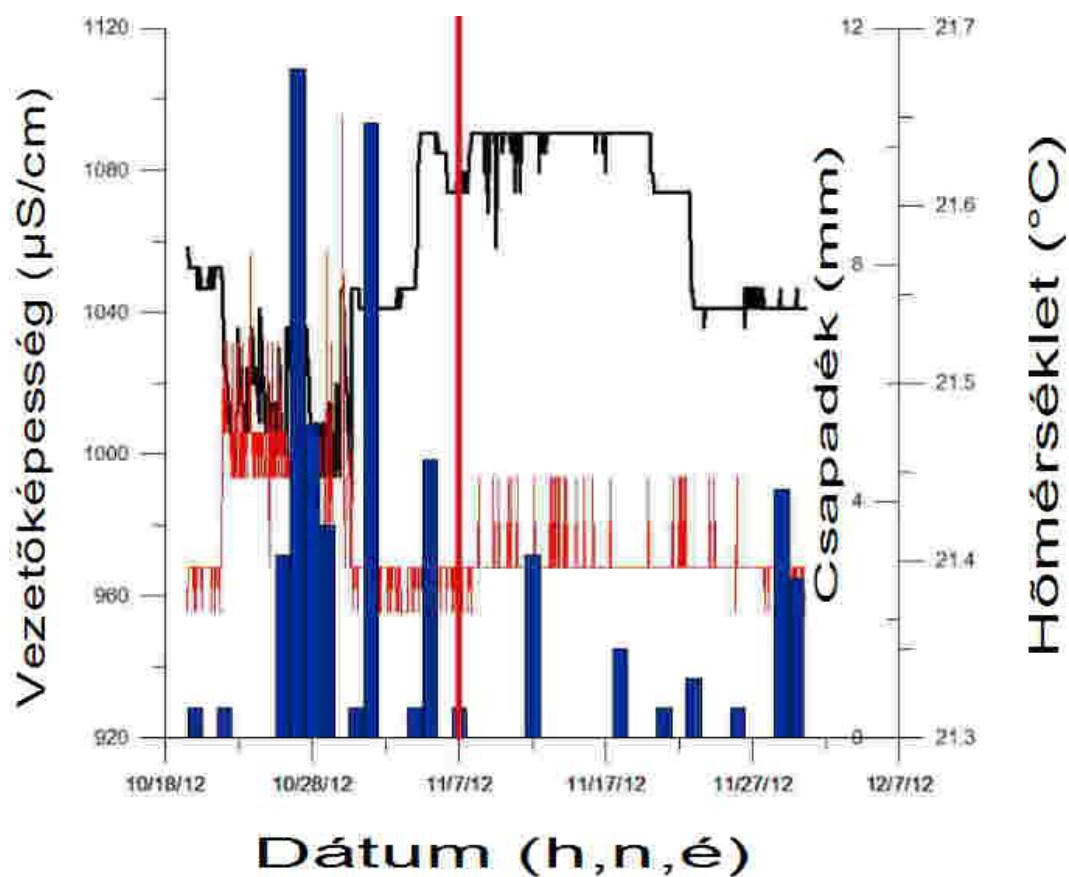
5.2 Fiziko-kémiai paraméterek

Ebben a fejezetben a Malom-tóban és a Lukács-fürdő alagsorában végzett méréseink eredményeit tüntetjük fel a csapadékadatokkal kiegészítve.

5.2.1 Folyamatos mérés

A Dataqua elektronikus adatrögzítő berendezést 2012. október 19-én, 11 órakor engedték bele a Boltív-forrás hasadékába. 2012. november 7-én mélyebbre eresztettük a műszert, ezt

függőleges, piros vonallal jelöltük (31. ábra), amelyen ezenkívül, a Dataquaról leolvasott és 25°C-ra korrigált vezetőképesség és hőmérséklet értékeket, valamint az időkép.hu által rendelkezésünkre bocsátott csapadék adatokat ábrázoltuk együttesen.



31. ábra: A Dataqua által mért vezetőképesség (feketével) és hőmérséklet (pirossal) adatok összevetése a csapadékkal (kékkel).

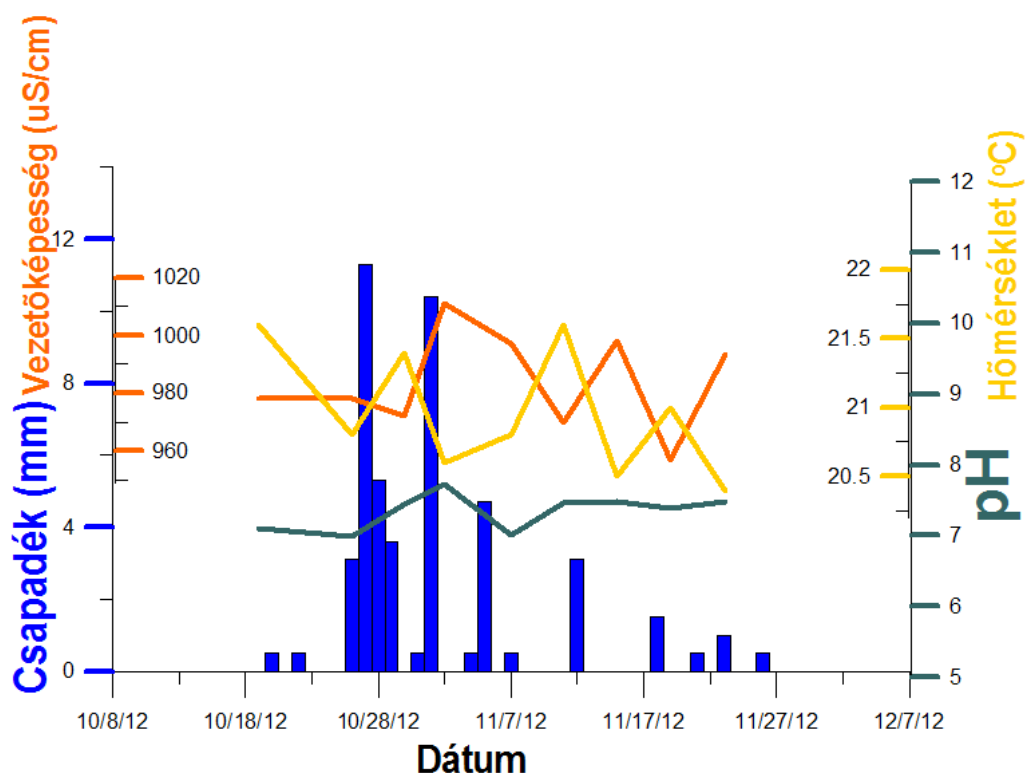
5.2.2 Kézi mérések a csatornában

A csatornában mért eredményeinket a következő táblázatban közöltük (6. táblázat).

vízkémiai paraméterek_csatorna			
Dátum	pH	vezető képesség($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T($^{\circ}\text{C}$)
okt.19.	7,1	978	21,6
okt.26.	7,0	978	20,8
okt.30.	7,4	972	21,4
nov.03.	7,7	1011	20,6
nov.07.	7,0	997	20,8
nov.11.	7,5	970	21,6
nov.15.	7,5	998	20,5
nov.19.	7,4	957	21,0
nov.23.	7,5	993	20,4

6. táblázat: Vízkémiai paraméterek a csatornában.

Áttekinthetőség érdekében egy diagramon (32. ábra) ábrázoltuk a paramétereket a csapadékesemények feltüntetésével együtt.



32. ábra: A csatornában mért vízkémiai paraméterek és a csapadék adatok kapcsolata.

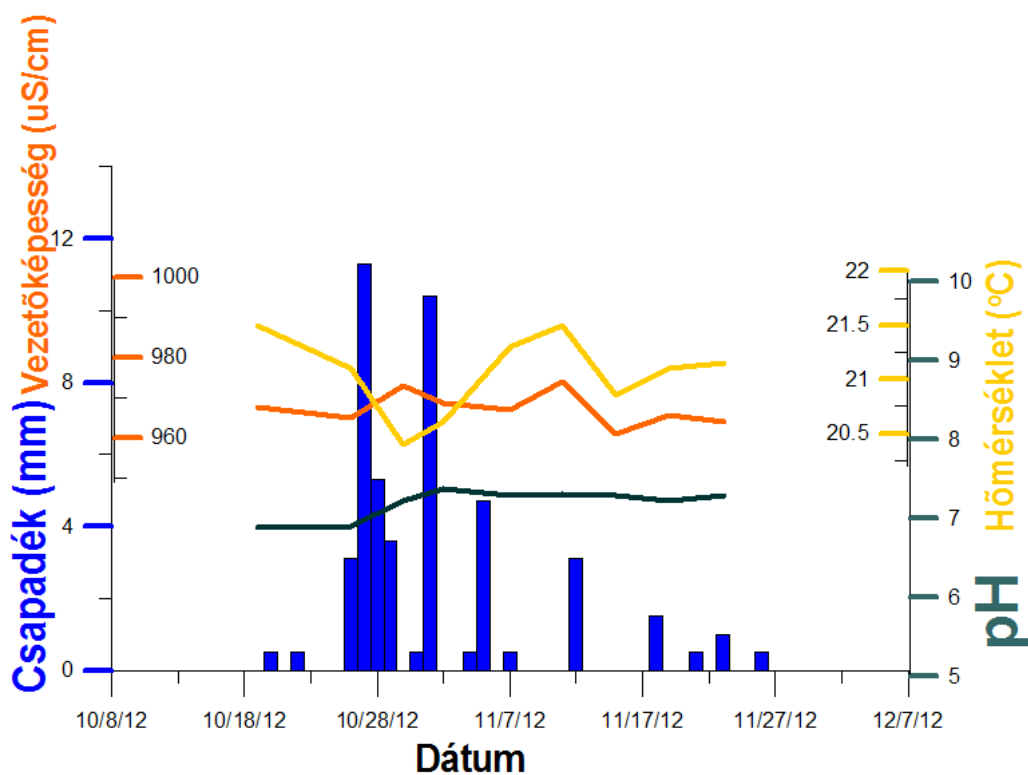
5.2.3 Kézi mérések a Lukács-fürdőt tápláló víz mintavételi csapján

A csapnál mért eredményeket a következő táblázatban közöltük (7. táblázat).

vízkémiai paraméterek_csap			
Dátum	pH	vezető képesség($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T($^{\circ}\text{C}$)
okt.19.	6,9	968	21,5
okt.26.	6,9	965	21,1
okt.30.	7,2	973	20,4
nov.03.	7,4	969	20,6
nov.07.	7,3	967	21,3
nov.11.	7,3	974	21,5
nov.15.	7,3	961	20,9
nov.19.	7,2	966	21,1
nov.23.	7,3	964	21,2

7. táblázat: Vízkémiai eredmények a mintavételi csapnál.

Diagramon ábrázoltuk (33. ábra) a mintavételi csapnál mért fiziko-kémiai paraméterek kapcsolatát a csapadék eseményekkel.



33. ábra: A mintavételi csap vízkémiai paraméterei és a csapadék kapcsolata.

5.2.4 A mért fiziko-kémiai paraméterek alapstatisztikái

Az adatok értékelhetőségének érdekében, alapvető statisztikai módszerek segítségével rendszereztük a kapott eredményeinket (8. táblázat).

Fiziko-kémiai paraméterek alapstatisztikái								
darab	9			9			1011	
	csap			csatorna			dataqua	
	pH	vezetőképesség (μS/cm)	T (°C)	pH	vezetőképesség (μS/cm)	T (°C)	vezetőképesség (μS/cm)	T (°C)
min	6,89	961	20,4	6,99	957	20,4	960	21,4
max	7,37	974	21,5	7,72	1011	21,6	1090	21,7
átlag	7,20	967	21,1	7,34	984	21,0	1055	21,4
medián	7,29	967	21,1	7,44	978	20,8	1047	21,4
szórás	0,18	4	0,4	0,25	17	0,5	31	0,0

8. táblázat: Alapstatisztikai adatok.

6. Diszkusszió

Ebben a fejezetben az általunk mért hozam és fiziko-kémiai paraméterek összevetése és az ezek alapján levonható következtetések bemutatása kerül sorra. Továbbá a Boltív-forrás vizében rejlő hőmennyiség kiszámolását, a vízből kinyerhető energia felhasználási lehetőségeit és a megújuló energia használatával csökkenthető CO₂ kibocsátás mértékét mutatjuk be ebben a fejezetben.

6.1 Mérési adatok

Ebben a fejezetben a saját és az archív vízhozammérések eredményeinek, valamint a mért fiziko-kémiai paramétereknek az összehasonlítása és ismertetése kerül bemutatásra.

6.1.1 A hozam adatok

Ebben a fejezetben a rendelkezésünkre álló összes hozam adatot hasonlítjuk össze. Először a különböző módszerekkel kapott saját mérési eredményeinket vetjük össze, majd ezeket az archív adatokat tükrében értékeljük.

6.1.1.1 A forgóműves műszer által mért vízsebességek és mesterséges jelzőanyag használatán alapuló vízhozammérés eredményeinek összehasonlítása

A Lukács-fürdő alagsorában található csatornában négynaponta mértük a víz sebességét, a vízállást és a víztükör szélességét. A 4.2.1-es fejezetben leírt módon, ezen adatok felhasználásával kiszámoltuk az átlagos vízhozam értékeket (9. táblázat). A kapott adatok átlagolásával a *napi átlagos vízhozam* 7353 m^3 .

A jelzőanyag-hullámmal való mérési eljárással nem sikerült meghatározni a vízhozamot. A viszonylag gyors vízáramlás ($2,3 \text{ m/s}$), valamint a kis detektálási távolság (12 méter) miatt a jelzőanyag kevesebb, mint 10 másodperc alatt tette meg az utat a beöntés helyétől a detektorig. A műszer 10 másodpercenként mér, így nem tudta érzékelni a beérkező jelzőanyagot.

A hígulások alapuló mérésnél a 4.3.2 fejezetben feltüntetett képlet alapján kiszámoltuk a vízhozamot, aminek értéke $6192 \text{ m}^3/\text{nap}$ (10. táblázat).

Dátum	hozam (m^3/nap)
okt.19.	8094
okt.26.	7664
okt.30.	7019
nov.03.	7562
nov.07.	7534
nov.11.	6978
nov.15.	6549
nov.19.	7386
nov.23.	7389
átlag	7353

9. táblázat: Sebességméréssel meghatározott hozam értékek és ezek átlaga.

c1 (ppb)	2615
c2 (ppb)	1,65
q (l/s)	2,7
$Q=q \cdot c1/c2$ (l/perc)	4279
Q (m^3/nap)	6192

10. táblázat: Híguláson alapuló módszerrel meghatározott hozam érték.

A 10. és 11. táblázatban látható, hogy a két sikeres hozamszámítási módszerrel kapott eredmény nem teljesen egyezik meg, azonban nagyságrendileg hasonló értéket képviselnek. Az eltérés abból adódhatott, hogy a híguláson alapuló hozammérési kísérlet során nem sikerült végig stabilan a víz alatt tartani a detektort, levegő kerülhetett bele, továbbá a folyamatos adagolást nem sikerült maradéktalanul megvalósítanunk és a 10. táblázat a leolvasott telített víztömeg koncentrációja jelentős bizonytalansággal terhelt. A híguláson alapuló kísérletet, ügyelve a fentebb leírt problémák kiküszöbölésére, megismételjük.

6.1.1.2 Saját méréseink az archív adatok tükrében

A rendelkezésünkre álló hozam adatok eltérő darabszáma, a változatos mérési időközök és a különféle hozammeghatározási módszerek (forgószárnyas sebességmérés, mesterséges jelzőanyag használatán alapuló mérés, köbözés) miatt készítettünk egy átlagos hozam értékeket tartalmazó táblázatot (11. táblázat) a különböző szerzők adataiból.

Megfigyelő	Dátum	Hozam (m ³ /nap)			Darab
		Átlag	Minimum	Maximum	
Molnár J.	1865.	40954	-	-	1
Papp F.	1942.	3787	-	-	1
Papp F.	1940-41.	4212	3663	4977	12
Alföldi et al.	1951-55.	2592	2304	2880	1080
ELTE	2001.	3687	691	6048	86
ELTE	2001.	13746	13216	14270	116
Pataki L. és Csordás J.	2012.	6192	-	-	1
Pataki L. és Csordás J.	2012.	7353	6549	8094	9

11. táblázat: Archív és saját hozam értékek összevetése.

Elég eltérő értékek jellemzik a Boltív-forrás hozamát. Ennek oka a mérések között eltelt időben keresendő és mérés technikai különbségekre vezethető vissza. A régies nyelvezet is megnehezíti a régebbi szakirodalom értelmezését (147 év telt el Molnár János mérései óta). Az 1951 és 1955 közötti alacsony értékeket a rendkívül változatos mérési időköz, és a szélsőséges értékek elhanyagolása magyarázza. Papp Ferenc és Mádlné et al. (2001) sebességmérésen alapuló mérései közelítőleg hasonló eredményeket hoztak. A 2012-es saját méréseink meghaladják ezeket a korábbi értékeket, de ezek sem térnek el nagyságrendekkel Papp (1942) és Mádlné et al. (2001) által közölt hozam adatoktól. Meg kell jegyezzük azonban, hogy Mádlné et al. (2001) által a vízoszlopnyomással számolt átlagosan

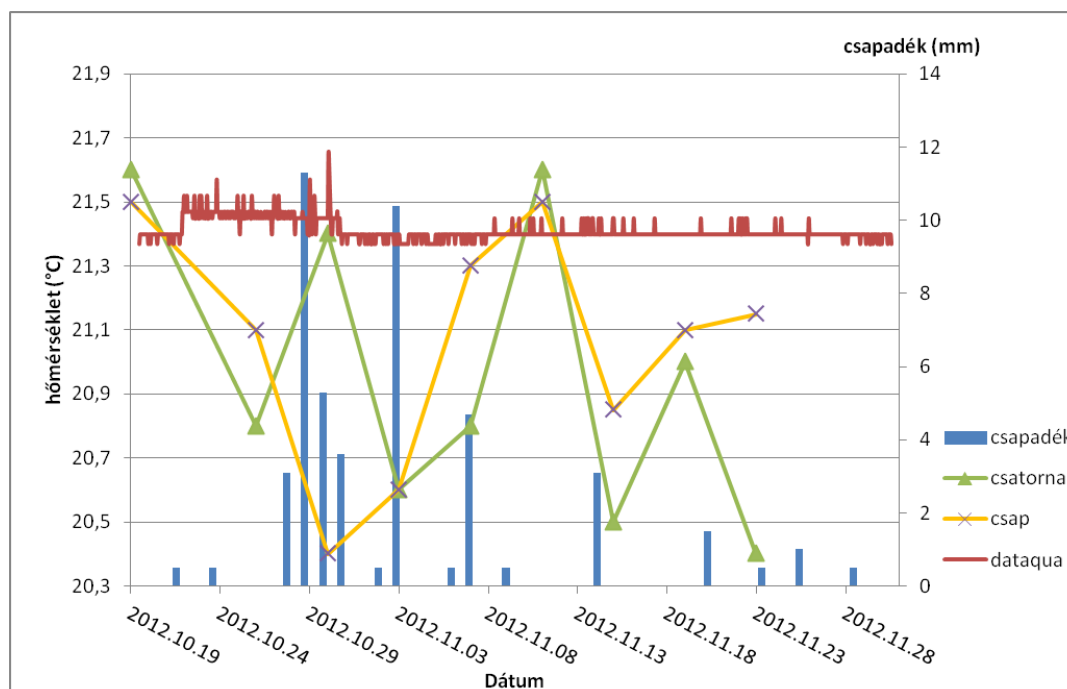
14000m³/nap hozamértékeket sem a vízsebességen, sem a híguláson alapuló méréseink nem támasztják alá.

6.1.2 Fiziko-kémiai paraméterek

A 5.2.4 fejezetben bemutatott statisztikai számítások, az elkészített diagramok és táblázatok segítségével, összevethetőek a kapott eredmények. Ezeket fogjuk most kémiai paraméterek szerint tárgyalni. A statisztikai táblázatban (8. táblázat) jól látható, hogy nem ugyanannyi adatunk van minden egyes mérési pontból. Míg a Lukács-fürdő alagsorában négynaponta végeztünk méréseket, addig az általunk telepített Dataqua műszer óránként rögzítette az adatokat a Boltív-forrásnál. E paramétereink diszkutálása után a korábbi és saját eredményeinket vetjük össze.

6.1.2.1 Hőmérséklet mérések eredményei

Az általunk, a Boltív-forrásnál és a csatornában illetve csapnál, mért adatok (34. ábra) alapján megfigyelhető, hogy nincs nagy eltérés a különböző helyeken mért hőmérsékletértékek között (1°C), ezzel alátámasztva azt a tényt, hogy e három helyszín vizei egy helyről származnak.



34. ábra: A folyamatos és a két kézi mérések hőmérséklet értékeinek ábrázolása a csapadék feltüntetésével.

A közvetlenül Boltív-forrásból nyert értékek kevésbé ingadoznak (0,3°C), mint amit csapnál és csatornánál (1,5°C) észlelhetünk. E különbség annak köszönhető, hogy a Dataqua műszer

közvetlenül a forrás hasadékába lett elhelyezve, viszonylag mélyen a víz felszíne alatt (6 m), így a napi hőingadozás hatása nem befolyásolja. A csapba és csatornába érkező víznek ellenben, egy hosszú csövön, illetve a Malom-tavon kell keresztül folynia mielőtt beér a mérési helyszínre, így nagyobb a lehetősége annak, hogy reagáljon a környezetében fellépő változásokra (cső, levegő). Az alagsorban végzett mérések során megfigyeltük, hogy amit levesszük a vízmintát, már a mérés ideje alatt is csökken a hőmérséklete, míg a forrásba leengedett műszer folyamatosan a mérendő közegben van. Ám ezek az ingadozások értékek szempontjából nagyon kismértékűek. Elmondható, hogy a forrás hőmérséklete az általunk megfigyelt időintervallum alatt stabil, 20-21°C körül mozog.

Saját és archív mérési eredményeket a 12. táblázat tartalmazza.

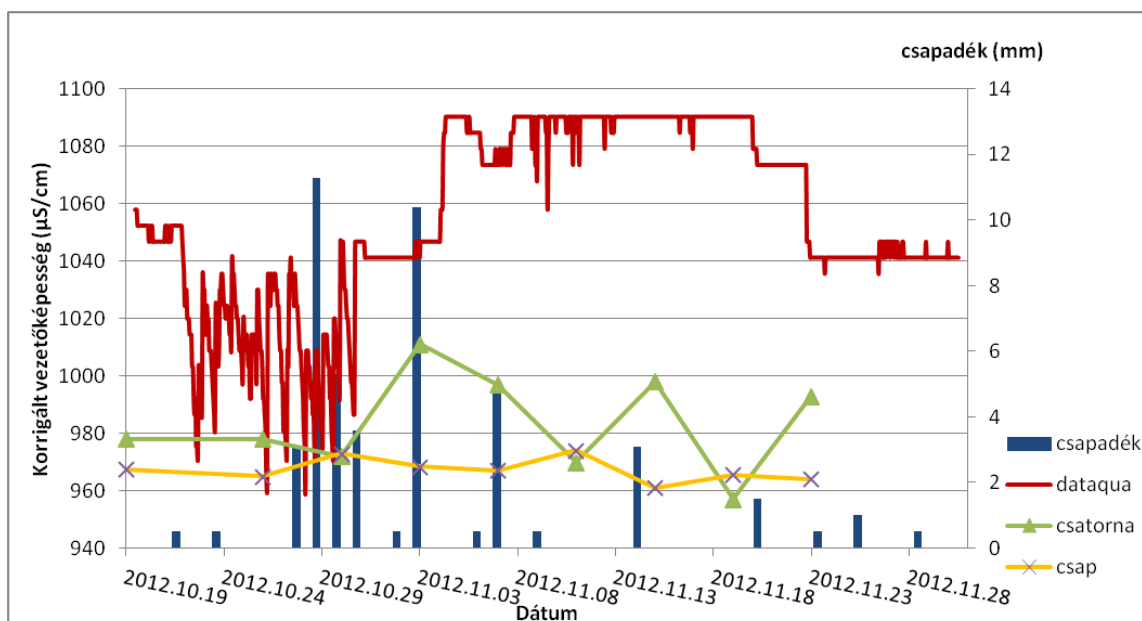
Megfigyelő	Mérés dátuma	Hőmérséklet(°C)
Papp F.(1942)	1940-41	24
Alföldi et al.(1968)	1951-55	21-23
Erőss et al.(2012)	2009	21,7
Csordás, Pataki (2012)	2012	20,5-21,5

12. táblázat: A Boltív-forrás archív és általunk mért hőmérsékletértékeinek összevetése.

A Malom-tó forrásának hőmérséklete az évek során nem változott nagymértékben. Az 1940-es évekhez képest pár fok csökkenés állapítható meg. Ez magyarázható akár a különböző szerzők különböző helyen és különböző évszakban elvégzett mérései közötti eltéréssel, de lehet természetes folyamat eredménye is. Ez utóbbi további kérdéseket vethet fel, vajon fog-e tovább csökkenni e langyos forrás hőmérséklete, és ha igen, milyen mértékben és ez milyen okokra vezethető vissza. E szempontot igen fontos figyelembe venni jelen víz jövőbeli felhasználási becslésénél.

6.1.2.2 Vezetőképesség mérések eredményei

A Dataqua műszer október második felében, valamilyen oknál fogva felszín közelbe került (relatív vízszintadatok tanúskodnak róla). Jól látható (35. ábra) az ingadozás, és az alacsonyabb vezetőképesség-értékek, ellentétben azzal, amit a műszer a hasadékba való lejuttatása után mutatott (1000µS/cm), ahol a legnagyobb vezetőképesség-értékeket észleltük.



35. ábra: A folyamatos és a két kézi mérés vezetőképesség-értékei ábrázolva a csapadékadatokkal.

A Malom-tavon keresztülhaladó víz érintkezik a levegővel, csapadékkal, azaz befolyásolja a napi hőingás, valamint az ott élő növények, állatok bioritmusa is hatással van az oldott anyag tartalomra, míg a mesterségesen épített csövön keresztül a Molnár János-barlangból származó víz e hatásoktól mentes. A csap és csatorna értékei 970 és 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ körül mozognak. Összehasonlítás céljából méréseink eredményeit régebbi adatokkal együtt egy táblázatban tüntettük fel (13. táblázat).

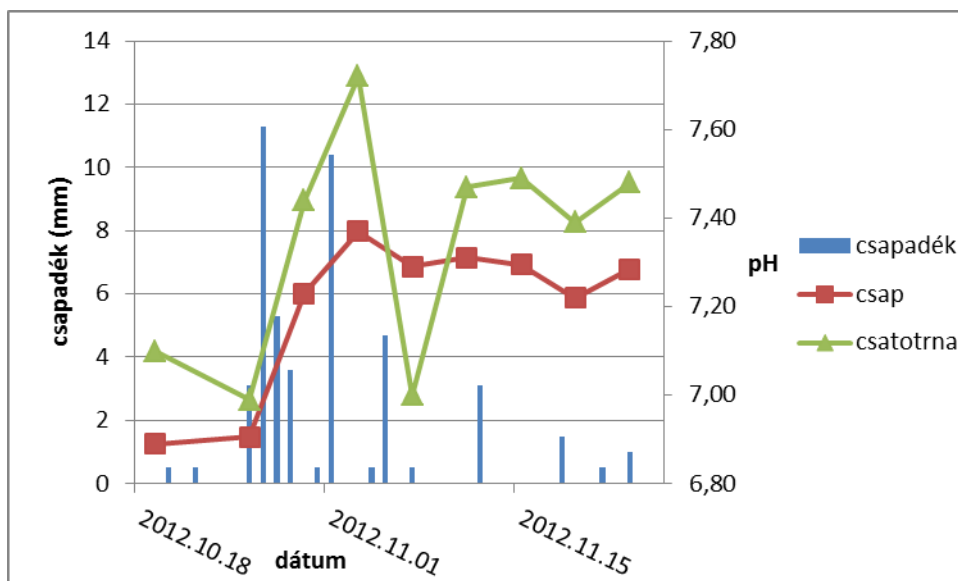
Megfigyelő	Dátum	Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
ELTE (2001)	2001	950-1050
Erőss et al.(2012)	2009	932
Csordás, Pataki (2012)	2012	980-1080

13. táblázat: Archív és általunk mért vezetőképesség-értékek összevetése.

Vezetőképesség adatok viszonylag fiatal mérésekből állnak rendelkezésre. Az értékek igen hasonlóak 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ körül ingadoznak.

6.1.2.3 pH mérések eredményei

A Boltív-forrás területén közvetlenül nem volt lehetőségünk pH adatok rögzítésére. Viszont a Lukács-fürdőben négynaponta rögzítettük ezen értékeket. Megállapítottuk, hogy a csatornánál és a csapnál mért értékek szinte azonosak (36. ábra), semleges- kissé lúgos értékek körül (7-8) mozognak.



36. ábra: A mintavételi csapnál és a csatornában mért pH értékek.

Régi mérésekkel összevetett eredményeket a következő táblázat tartalmazza (14. táblázat). Az értékek megegyeznek, jelentős változás nem észlelhető pH szempontjából.

Megfigyelő	Dátum	pH
Alföldi et al.(1968)	1959	6,8
Erőss et al.(2012)	2009	6,94
Csordás, Pataki (2012)	2012	7

14. táblázat: A rendelkezésünkre álló pH értékek bemutatása.

A Lukács-fürdő alagsorában a Malom-tó vizét elvezető csatornában és a Molnár János-barlangból a fürdőbe vezetett csővezeték mintavételi csapjánál mért fiziko-kémiai értékek igen hasonlóak. A tó, nyílt vízfelülete és növényekkel benőtt felszíne ellenére nem befolyásolja különösebb mértékben az eredményeket. Mivel a különböző helyeken mért paraméterek nem mutatnak nagy eltérést, a továbbiakban elég lenne a két helyszín közül, csak az egyiken mérni.

6.2 Hőmennyiség-számítás

A Boltív-forrás 20-21°C-os vize a Lukács-fürdő alagsorában található csatornán keresztül igen nagy hozammal (6000-7000 m³/nap) ömlik a Dunába. Feltételezésünk szerint e felhasználatlan vízmennyiség jelentős hőpotenciált hordoz magában, ezért kiszámoltuk a hőmennyiségét és teljesítményét. A továbbiakban ennek a számolásnak a lépéseit mutatnánk be.

A hőmennyiség képlete [$Q=c*m*dT$], ahol c a víz fajlagos hőkapacitása ($4181,3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$), m (kg) a víz egységnyi térfogatra eső tömege, a dT ($^{\circ}\text{C}$) a víz eredeti és a lehűtött hőmérsékletének a különbsége és Q (J) a hőmennyiség. A vízhozamot (m^3/nap) át kell váltani kg/s -ra. Víz esetén egy dm^3 egyenlő egy literrel, ezért a kapott liter/nap értéket már át lehet váltani kg/s -ra, hogy megkapjuk a hozam tömegre (m) számított értékét. A saját értékeinket behelyettesítve a képletbe, kiszámolható a Boltív-forrás vizének hőmennyisége.

Az általunk kétféle mérési eljárással (vízsebesség mérésen és híguláson alapuló) is meghatározott, átlagos hozam adatokra, többféle dT értékre vonatkoztatva kiszámoltuk a hőmennyiséget. A [$P=c*m*dT/t$] képletbe behelyettesítve megkaptuk a hőteljesítmény értékét wattban és kilowattban. Az előbbi képletben szereplő t egy másodpercenek felel meg, ezért a teljesítmény értéke egyenlő a hőmennyiségével. A 15. táblázatban láthatók a hőmennyiség és teljesítmény adatok.

A vízsebesség méréssel meghatározott hozamból számolt, másodpercenkénti teljesítmény minimális értéke 342 kW , maximális értéke 7103 kW . Ahhoz, hogy 342 kW energiát kinyerjünk, egy fokkal kell lehűteni a víz hőmérsékletét, míg a 7103 kW kinyeréséhez már 20 fokkal.

A hígulósos mérés hozam adatából kapott minimális érték, a víz egy fokos lehűtésével $449,5 \text{ kW}$, míg ha a vizet 20 fokkal hűtjük le a maximális érték 6143 kW -nak adódik.

Hőmennyiség, teljesítmény			$Q=c*m*dT$	$P=c*m*dT/t$	
Propelleres		átlag értékek	Q (J)	P (W)	P (kW)
hozam (m ³ /nap)		7352,9			
hozam (kg/s)		85,1			
c (J/(kg°C))		4181,3			
T (°C)		21,0			
dT (°C)	20	1,0	342 002	342 002	342,0
	15	6,0	2 121 203	2 121 203	2 121,2
	10	11,0	3 900 404	3 900 404	3 900,4
	5	16,0	5 679 606	5 679 606	5 679,6
	1	20,0	7 102 967	7 102 967	7 103,0
Hőmennyiség, teljesítmény			$Q=c*m*dT$	$P=c*m*dT/t$	
Híguláson alapuló		átlag értékek	Q (J)	P (W)	P (kW)
hozam (m ³ /nap)		6192,0			
hozam (kg/s)		71,7			
c (J/(kg°C))		4181,3			
T (°C)		21,50			
dT (°C)	20	1,5	449 490	449 490	449,5
	15	6,5	1 947 789	1 947 789	1 947,8
	10	11,5	3 446 088	3 446 088	3 446,1
	5	16,5	4 944 387	4 944 387	4 944,4
	1	20,5	6 143 027	6 143 027	6 143,0

15. táblázat: Hőmennyiség és teljesítmény számítás.

Az adatok nagyságát érzékeltetve, egy 100 m²-es családi ház átlagosan napi 100 kW-ot fordít fűtésre. A saját számításaink által meghatározott, másodpercre vonatkozó legalacsonyabb (342 kW) teljesítmény értéke ennek több mint háromszorosa.

A kapott energia értékek következtében, érdemes elgondolkodni, hogy mire lehetne e szabadon elszökő energia mennyiséget hasznosítani. A Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt. munkatársaitól érdeklődtünk a fürdő energia felhasználásáról. Pethő Sándor szóbeli közlése alapján megtudtuk, hogy a fürdő egy gőzkazánt (170kW) és három meleg vizes kazánt (2db 628kW és 1 db 480kW) működtet. A mi méréseink, számolásaink alapján a csatornán keresztül ennek sokszorosa, 6000-7000kW folyik el érintetlenül, ez alkalmas lenne az összes kazán által megtermelt energia helyettesítésére. Természetesen az energia kinyerése érdekében ehhez további berendezésekre (25kW-os víz-víz hőszivattyúk) kellene beruházni. Ha több hőszivattyúra is beruházna a fürdő, akkor tudná fedezni a kazánokkal megtermelendő energiát. Ennek komoly költség vonzata van, azonban idővel megtérülne a beruházás ára, és függetlenedhetnének a központi gáztól. További számolásokat igényel, hogy ez a beruházás a valóságban mennyi idő alatt térülne meg.

A fürdő, meleg vizes fűtése során, már jelenleg is alkalmaz hőcserélő berendezést. 52°C-os termálvizet hűtenek le 45°C-ra. Az így kinyerhető hőmennyiség 700kW (Pethő Sándor szóbeli közlése). A csatornán keresztül elfolyó 20-21°C-os vizet 15°C-ra hűtve 2000kW-os teljesítményt kaphatnánk.

A fűtés fedezése mellett e szabad energia mennyiséget további helyeken is lehetne hasznosítani. A téli hidegek során mindig probléma a fürdő kertjében lévő járdák jegesedése. Vékony csövön, felszín alá vezetett és folyamatosan keringetett langyos víz a probléma megoldását jelentené. A pontos, helyszínre jellemző talajfizikai paraméterek megismerése szükséges lenne a kivitelezéséhez. A fürdő parkja most lett felújítva, így feltehetően ez a beruházás később kerülhetne sorra.

6.3 Vízalapú hőszivattyús rendszer használatával a CO₂ kibocsátás csökkentésének mértéke

A hőszivattyúk a környezet energiáját hasznosítják. A működtetésükhöz felhasznált energiát nem közvetlenül hővé alakítják, hanem külső energia segítségével az alacsonyabb hőfokszintről magasabbra emelik (www.hgd.hu). Fűtésre, hűtésre, valamint melegvíz előállításra alkalmas berendezés. A hőszivattyúk típusait az általuk felhasznált hőforrások alapján különböztetjük meg, így többek között léteznek felszíni és felszín alatti víz, levegő, talaj, továbbá szennyvíz alapú rendszerek.

A Lukács-fürdő alagsorában szabadon elfolyó Boltív-forrás vizét víz-víz alapú hőszivattyú rendszerrel lehetne felhasználni. A hasznosítható energia szempontjából az említett hőszivattyúk a legoptimálisabbak, mivel a hőszivattyú típusok közül a legtöbb hőenergiát állítják elő ugyanannyi befektetett elektromos energiából (www.acrux.hu). Ennek oka, hogy viszonylag magas és stabil a víz hőmérséklete, amely nem változik jelentős mértékben a téli hónapokban sem.

A hőszivattyú elméleti működését a Carnot-féle körfolyamat írja le, amit a teljesítménytényezővel (COP), vagy más néven jósági fokkal jellemezhetünk. A COP kifejezi, hogy a hasznos energia hányszorosa a befektetett energiának. Ez a viszonyszám a hőforrás és a hőnyelő abszolút hőmérsékletétől függ, azonban a gyakorlatban egyéb tényezők is befolyásolják, így az ideálisnak csupán 45-65%-a érhető el (Komlós, 2005). A jósági fok

dimenzió nélküli mennyiség, értéke 3 és 6 között változik, a megfelelő jósági fok 4-5 közötti (Lund et al., 2003).

A hőszivattyús rendszerek előnyei közé tartozik, hogy a környezet tárolt energiáját hasznosítja, így nem befolyásolja az időjárás pillanatnyi állapota. Segítségével alacsony hőmérsékletű hőforrásból is nyerhető energia, valamint a hulladékhőt is képes hasznosítani. Monovalens rendszer esetén, amikor a fűtést csak hőszivattyús rendszer biztosítja, a helyszínen nincs károsanyag kibocsátás (www.foek.hu). További előnye, hogy alkalmazásával a fűtés és a hűtés egyetlen berendezéssel megoldható, nem kell földgázkazán, kémény, tüzelőanyag-tároló, földgázvezeték. Gazdasági hasznosságát bizonyítja, hogy csökkenti az energiaiimporttól való függést. A hagyományos fűtési-hűtési költségek 60%-kal, a melegvíz-készítése 30-60%-kal csökkenthetők. Csendes, biztonságos, nyílt láng nélküli berendezés, nincs CO mérgezési és robbanásveszély, így az épületek biztonságosabbá válnak. Egy energetikai rendszer hasznosságának értékelésénél figyelembe kell venni, hogy rendelkezik e környezetvédelmi hatással, amiben a klímavédelem és a lokális környezetvédelem, a helyi levegőszennyezés csökkentése (NO_x, CO, por, SO₂, PAH, stb.) kiemelkedő szempontoknak számítanak (Komlós et. al, 2007). A hőszivattyús rendszerek hátránya viszont, hogy beruházási költségük igen magas, telepítésükhöz általában nagy terület és nagy tömegű hőhordozó szükséges. Működéséhez elektromos energiára van szükség, amelyek között vannak kevesebb CO₂-ot termelők (például a vízenergia), és többet (például a széntüzelésű erőművek). A különböző országokban ezeknek a megoldásoknak a keveréke létezik, amelyek egy átlagos CO₂-kibocsátás értéket adnak termelt kWh-ként (Csernóczki, 2009). Ennek EU-s átlaga 0,486 kg CO₂/kWh (Nowak, 2008), de országonként igen eltérő. Viszont egy jól tervezett rendszer teljesítménytényezője fűtési módban elérheti a 4-es értéket, ami azt jelenti, hogy 75%-kal kevesebb szénhidrogén elégetését igényli az elektromos fűtéshez képest.

A hőszivattyús berendezés által kiváltott szén-dioxid meghatározásánál egyrészt a közvetlenül kiváltott fosszilis tüzelőanyag révén megtakarított kibocsátást kell figyelembe venni, másrészt a berendezés működéséhez befektetett energia fosszilis energiatartamát kell. Amennyiben villamos energiával állítják elő a szükséges energiát, általában az országos energiamérlegekben villamosenergia-termelésre felhasznált primer energiahordozók arányából kiindulva szokták értékelni az energiaegységre jutó CO₂-terhelést (Komlós et al., 2007).

A villamos energiával működő hőszivattyúk kibocsátás-csökkentő hatásának a mértékét, Komlós és munkatársai (2007) által írt kiadvány alapján számoltuk ki. A fosszilis tüzelőanyagok égése során, a mólsúlyokból eredően kiszámolható, hogy 1 kg szén elégetésével 3,67 kg CO₂ keletkezik. Az átlagos erőművi összhatásfok 32,3%-nak, a villamos hálózati hatásfok 90%-nak, míg a termelt villamos energiára nézve az átlagos CO₂ kibocsátás 0,516 kg_{CO2}/kWh-nak adódik Magyarországon. Az elfogyasztott villamos energia egységére jutó CO₂-kibocsátás ezen adatok alapján kiszámolható és átlagosan: $0,516 / 0,90 = 0,573$ [kg_{CO2}/kWh]. Az erőművi fejlesztések következtében e fajlagos érték további javulása várható. A víz-víz hőszivattyús rendszerek előnye, hogy állandó, magas hőmérsékletű hőforrások, ezért kiváló COP értékekkel jellemezhetőek (5-7, www.acrux.hu), azonban ha bűvárszivattyú hajtja, COP értéke romlik (hoszivattyu-info.hu). Egy átlagosan 5,5-ös jósági fokkal jellemzett vízkutas hőszivattyú fajlagos CO₂ kibocsátása az alábbi módon számolható ki: $0,573 \text{ [kg}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{el}}] / 5,5 \text{ [kWh}_{\text{hő}} / \text{kWh}_{\text{el}}] = 0,104 \text{ [kg}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{hő}}]$. A földgáz égetése során 9,44 kWh/m³ hő keletkezik, az éves tüzelőanyag fűtőértékére vonatkoztatott kazánhatásfok 85%. 1 kWh fűtési hőmennyiség előállításához $1 / (9,44 \times 0,85) = 0,125 \text{ m}^3$ földgáz kell. A földgáz fajlagos CO₂-kibocsátása 2,1 kg_{CO2}/m³. Az 1 kWh földgázkazánal történő fűtés fajlagos kibocsátása $2,1 \text{ [kg}_{\text{CO}_2} / \text{m}^3] \times 0,125 \text{ [m}^3 / \text{kWh}] = 0,263 \text{ [kg}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}]$. Tehát a fűtésre használt hőszivattyúval $0,104 - 0,263 = -0,159 \text{ [kg}_{\text{CO}_2} / \text{kWh}_{\text{hő}}]$ CO₂ megtakarítás érhető el (az alternatív kazán villamos segédenergia igényét elhanyagolva).

A fentebb levezetett számolások alapján jól látszik, hogy hőszivattyús rendszerrel jelentős mennyiségű CO₂ takarítható meg, így környezetvédelmi szempontból indokolt és hasznos az alkalmazása. Energetikai szempontból, ha $\text{COP} > 1 / (\text{erőművi hatásfok} \times \text{hálózati hatásfok}) = 1 / (0,323 \times 0,90) = 3,44$, akkor gazdaságos a berendezés használata, így alkalmazása energetikai szempontból is indokolt (Csernóczki, 2009).

7. Összefoglalás

A Budai-termálkarszt területén Budapest beépítettsége miatt a természetes források igen ritkák. Ebből adódóan igen nehéz a karszt rendszer dinamikáját tanulmányozni, melyre egyedüli lehetőséget csak a források nyújtanak. Egyetlen természetes forrás bukkan a felszínre, a József-hegy lábánál a II. kerületben, a Boltív-forrás. Célunk az volt, hogy ennek a forrásnak a hozam és fiziko-kémiai paramétereit mérjük, változékonyságait vizsgáljuk a csapadékesemények tükrében.

Két féle módszerrel végeztünk hozammérést. Négynaponta jártunk ki a Lukács-fürdő alagsorában lévő csatornához propelleres sebességmérő műszerrel rögzíteni az adatokat. A sebességek átlagából és a nedvesített keresztmetszetből számolt hozamérték átlagosan $7353 \text{ m}^3/\text{nap}$. Emellett, az ELTE Alkalmazott és Általános Földtani Tanszéke által még eddig nem próbált, híguláson alapuló vízhozam mérési kísérlettel is meghatároztuk a vízhozamot. Ennek eredménye hasonló nagyságrendűnek, $6192 \text{ m}^3/\text{nap}$ -nak adódott.

Fiziko-kémiai paramétereiket három helyszínen, a Boltív-forrás közvetlen felszínre bukkanásánál (Malom-tó), a már említett csatornában és a Molnár János-barlangból Lukács-fürdőbe érkező cső mintavételi csapjánál mértünk. A víz hőmérséklete $20\text{--}21^\circ\text{C}$ körül változik, a pH semleges, 7-es körüli értéket mutat, míg a vezetőképesség kicsit nagyobb intervallumok között, $960\text{--}1080 \text{ }\mu\text{S/cm}$, ingadozik. Mind a három mérési helyen hasonló értékeket kaptunk, ezért további vizsgálatokhoz a későbbiekben egy helyszín is reprezentatív lesz.

A karsztrendszer dinamikája a források hozamának és fiziko-kémiai paramétereinek csapadékeseményekre adott válaszával jellemezhető. Ezért mérési eredményeinket a csapadék függvényében értékeltük. Ezek alapján nem fedeztünk fel egyértelmű kapcsolatot a mért paraméterek és a csapadékesemények között. Ennek oka egyrészt a vizsgált időszak alatt lehullott kevés csapadékban, másrészt a rövid mérési időszakban keresendő. A tanszéken végzett korábbi vizsgálat (Mádlné et al., 2001) is erre a következtetésre jutott. Véleményünk szerint a Malom-tó és a mögötte lévő barlangrendszer hatalmas víztömegének tompító hatása játszik szerepet ebben. Ahhoz, hogy ezt biztosan kijelenthessük, szükséges, hogy reprezentatív adatsorok álljanak rendelkezésünkre, ezért hosszabb intervallumon keresztül

szükséges lenne rendszeres (folyamatos) mérést végezni az eddig is mért paraméterek bevonásával.

A stabil hőmérséklet és a nagy hozamértékek miatt a csatornán távozó víztömeg, mint energiaforrás is szóba jöhet. Ezért úgy döntöttünk, hogy érdemes kiszámítani a Boltív-forrás vizének hőmennyiségét. Feltételezésünk beigazolódott, a Lukács-fürdő fűtéséhez szükséges energiánál is több rejlik az elfolyó vízben. A nagy hozammal érkező víz 10-15°C-ra való lehűtése során 2-4 MW energia nyerhető ki, ami a fürdő fűtési szükségleteit képes lenne fedezni, azon túlmenően a környező épületek energia kiadásait is enyhíthetné. Energetikailag és környezetvédelmi szempontból is előnyös lenne a Boltív-forrás vizének vízalapú hőszivattyús rendszerrel történő hasznosítása, alkalmazásával jelentős CO₂ kibocsátást lehet megtakarítani.

Munkánkkal a Budai-termálkarszt működésének megértéséhez és a jövő energiaválsága szempontjából kritikus megújuló energiaforrások felméréséhez járultunk hozzá.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk témavezetőinknek, akik folyamatos útmutatásokkal és hasznos gyakorlati tanácsokkal láttak el bennünket. Hálásak vagyunk Erőss Anitának, hogy számunkra is izgalmasnak bizonyuló témával látott el minket, hogy mindvégig rendelkezésünkre állt, biztatott és lelkesített bennünket a munkafolyamat során. Segítsége nélkül nehezen boldogultunk volna. Köszönjük Zsemle Ferencnek, hogy a hozammérési kísérletek során műszaki tudásával támogatott bennünket, és a méréseket követően ismereteivel hozzájárult a számítások sikereihez.

Köszönjük a tanszék munkatársainak, Pulay Eszternek a hőmennyiség számításoknál, Varga Andrásnak a labor előkészületek során nyújtott segítségét. Köszönjük az ELTE Alkalmazott- és Általános Földtani Tanszékének, hogy rendelkezésünkre bocsátották a méréshez szükséges műszereket, és Rózsavölgyi Jánosnak, hogy számunkra is könnyen használhatóvá alakította át a forgóműves sebesség mérő műszert. A kísérlet kivitelezéséhez nélkülözhetetlen csónakot Győri Orsolya biztosította számunkra.

A Duna-Ipoly Nemzeti Park engedélyezte a belépésünket a Malom-tó területére, amit Hegyi Zoltán biztosított. A helyszíni mérések során a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt., az ott dolgozó gépészek, a fürdőre vonatkozó energiai információk szolgáltatásánál Pethő Sándor voltak segítségünkre. A Lukács-fürdő és a tanszék kapcsolatát Jánosházi Judit segítette.

Köszönjük barátainknak, hogy jó tanácsaikkal, fényképeikkel és a sok embert kívánó mérésnél jelenlétükkel hozzájárultak a dolgozat sikeres elkészüléséhez.

Végezetül köszönjük, hogy részt vehettünk az OTKA pályázat kutatási munkájában, azáltal, hogy a Budai-termálkarszt hidrodinamikájának megismerése érdekében a Boltív-forrás hozamát és fizikokémiai paramétereit vizsgáltuk.

9. Irodalomjegyzék

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

Alföldi L. (1981): A budapesti geotermikus áramlási rendszer modellje. - Hidrológiai Közlöny, IX., pp 397-403.

Alföldi L., Csepregi A., Kopolyi L. (2007): Bányászati Karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-Középhegységben - Magyar Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 138p.

Csernóczki Zs. (2009): Egy talajszondás hőszivattyúrendszer fenntarthatóságának vizsgálata. – Diplomamunka – ELTE, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék.

Deák J. (1978): Environmental isotopes and water chemical studies for groundwater research in Hungary. - in: Isotope Hydrology 1978, Vol. I., IAEA-SM-228/13, IAEA, Vienna, 1979, pp 221–249.

Erhardt I. (2012): A Rózsadomb és tágabb környezetének hidraulikai feldolgozása (Diplomamunka) – Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék.

Eröss A., Mádlné-Szőnyi, J., Csoma É.A. (2008): Characteristics of discharge at Rose and Gellért Hills, Budapest, Hungary. Cent. Eur. Geol. 51, 267–281.

Eröss 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.

Eröss 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.

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 p.

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 p.

Goldscheider N., Hötzl H., Käss W., Ufrecht W. (2003): Combined tracer tests in the karst aquifer of the artesian mineral springs of Stuttgart, Germany: Environmental Geology vol.,43, 922–929 p.

Haas J. (szerk.) (1993): Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Triász. - MÁFI Kiadvány, Budapest, 278 p.

Haas J. (1994): Magyarország földtana, Mezozoikum, 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 Filáczy E. (2000): Felső-triász medence-és lejtőfáciesek a Budahegységben. - a Vérhalom téri fúrás vizsgálatának tükrében — Földtani Közlöny, 130/3, pp. 371-421.

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

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.

Komlós F. (2005): Fűtéstechnika a környezetbarát hőszivattyúval (Épület-energia-Európa-emberibb-élet). – Belügyminisztérium Településüzemeltetési Iroda. Kézirat: 1-49.

Kolmós F., Fodor Z., Kapros Z., Vaszil L. (2007): „Csináljuk jól!” Hőszivattyúzás, Energiahatékonysági sorozat, 6., 13-14., 45-47., 49. p.

Kovács J., Müller P., (1980): A Budai hegyek hévizes barlangjainak fejlődéstörténete - Karszt és barlang, 1980/II, pp 93-98.

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

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

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

Lorberer Á. (2002): A budapesti termálkarszt állapot-értékelése - Zárójelentés - Vituki Rt. Budapest, 1-45p.

Lund J. W., Sanner B., Rybach J., Curtis R., Hellström G. (2003): Ground-source heat pumps. A world overview. Renewable Energy World. – James & James, London. 8/4: 218-227.

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, pp 46.

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

Muszkalay L., Starosolszky Ö. (1959): Vízhozammérési zsebkönyv. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp 267.

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

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

Nowak T. (2008): Reaching the Kyoto targets by a wide introduction of ground-source heat pumps. Proceedings 9th IEA Heat Pump Conference, Zurich.

Ötvös V. (2012): A Gellért-hegy és tágabb környezetének hidraulikai feldolgozása – Diplomamunka – ELTE, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék.

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

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

Schafarzik F. (1928): Visszapillantás a budai hévforrások fejlődéstörténetére - Hidrológiai Közlöny vol. 1, 1921, pp 9-14.

Schnegg, P. A., and Doerfliger, N. (1997): An inexpensive flow-through field fluorometer, in: 6th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Media, P-Y. Jeannin, ed., Proc. 12th intern. symp., la Chaux-de-Fonds, 10-17 August, 1997, pp. 47–50.

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

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.

Takácsné Bolner K., Kraus S. (1989): A melegvizes eredetű barlangok kutatásának eredményei – Karszt és Barlang, 1989, pp 61-66.

Takács Judit (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, pp 433-455.

Vendel M. és Kisházi P. (1964): Összefüggések melegforrások és karsztvizek között a Dunántúli-Középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. — MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei, vol. 32 (1963) pp. 393-417. and vol. 33 (1964) pp. 205-234.

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

Zsigmondy V. (1878): A városligeti artézi kút Budapesten – Földtani Közlöny vol. IX, pp. 128.

10. Internetes hivatkozások:

www.acrux.hu

cheminst.emk.nyme.hu/gyakorlat/09a-08b-pHmeres.pdf

www.foek.hu

www.hgd.hu

hoszivattyu-info.hu

www.hydroinfo.hu

www.muszeroldal.hu/measurenotes/vezetokep.pdf

mek.oszk.hu/00500/00575/html/vizalatt/molnarjb/molnarjb.htm

11. Ábrajegyzék és táblázatjegyzék

Nincs ábrajegyzék-bejegyzés.

Nincs ábrajegyzék-bejegyzés.