

A Hévízi-tó monitoring hálózata, annak fejlesztése, kiegészítése kampányjellegű mérésekkel

Nagy Judit Barbara¹, Hajnal Géza¹, Szieberth Dénes¹, Torma Péter^{1,2}, Rehák András Miklós¹, Reska Zsombor János¹

¹ Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3. (e-mail: hk@hidrologia.hu)

² HUN-REN-SZTE Fotoakusztikus Környezetifolyamat-megfigyelési Kutatócsoport, 6720 Szeged, Dóm tér 9. (e-mail: hk@hidrologia.hu)

DOI: 10.59258/hk.18347



Kivonat

A Hévízi-tó és környezete a magyarországi fürdőkultúra és turizmus emblemikus helye. Ezzel összefüggésben vált a hazai karszt-kutatás egyik legfontosabb helyszínévé. Jelen tanulmány röviden felsorakoztatja a Hévízi-tóval kapcsolatos évszázados múltira visszatekintő kutatásokat, majd pedig azt kívánja összefoglalni, hogy napjainkban ezeket a korábbi tapasztalatokat, feltételezéseket milyen általunk végzett mérésekkel, vizsgálatokkal bővítjük ki. Ehhez szükségszerűen megjelenik a jelenleg üzemeltetett monitoring rendszer felépítése, amelyet saját fejlesztésű műszerekkel egészítettünk ki. Mindezek mellett bemutatjuk a kampányjellegű mérésorozatokot is, amelyek célja az évtizedek során megváltozott felszíni és felszín alatti áramlási viszonyok megismerése, valamint hidrometeorológiai mérésekkel a tó párolgásának, hőháztartásának és ezek kombinálásával a vízmérlegének meghatározása.

Kulcsszavak

Hévízi-tó, termálkarszt, monitoring-rendszer, hidrogeológia, tavi cirkuláció, hidrometeorológia.

The monitoring network of Lake Hévíz, its development and expansion with occasional measurements

Abstract

Lake Hévíz and its surroundings are emblematic of Hungarian bathing culture and tourism. In connection with this, it has become one of Hungary's most crucial karst research sites. The present study briefly lists the centuries-old research related to Lake Hévíz. Then, it will summarize how these earlier assumptions and experiences are expanded and supplemented by measurements and studies we have carried out. For this, we also describe the structure of the currently operated monitoring system, which has been augmented by self-developed instruments. In addition, we present our measurement campaigns, the aim of which is to get to know the surface and subsurface flow conditions that have changed over the decades and to determine the evaporation and water balance of the lake with hydrometeorological measurements.

Keywords

Lake Hévíz, thermal karst, monitoring system, hydrogeology, circulation, hydrometeorology.

BEVEZETÉS

A Hévízi-tó egy termálkarszt-forrás felett kialakult forrástó, amely a Dunántúli-középhegység főkarsztvíztárolójának egyik legjelentősebb természetes megcsapolója. Mindamellett, hogy népszerű turisztikai célpontként jelentős gazdasági értékkel rendelkezik, világviszonylatban is páratlan, védetté nyilvánított természeti érték, Európa legnagyobb termálvizes tava, amely egész évben fürödhető. A feltörő meleg forrásvíz magas kén-, rádium-, és ásványianyag-tartalmának köszönhetően számos gyógyulni vágyó látogatja meg az év bármely időszakában. A tavat tápláló forráscsoport azonban igen sérülékeny mind a hőmérséklet, mind a vízhozam, mind pedig a vízminőség tekintetében. A karsztvíztárolóból az 1950-es évektől kezdve a bányászattal párhuzamosan megkezdődtek a vízkitermelési munkák, amely mértéke meghaladta a helyi és regionális utánpótlódást, ezzel pedig a karsztvízháztartás átalakulásához vezetett. Ennek, a beszivárgási hiánynak, valamint a növekvő helyi vízkivételnek következményeként számos forrás hozama csökkent vagy teljesen el is apadt. A Hévízi-tó hozama a felére, hőmérséklete pedig a gyógyhatás szempontjából kritikus hőmérséklet alá csökkent.

A karsztvíz természetes tisztaságából eredően hatalmas értéket képvisel, hiszen a karsztvízbázisokból kitermelt víz akár közvetlenül is alkalmas lehet lakossági fogyasztásra. Ezek a vízbázisok mind hazánkban, mind pedig a világ számos részén az ivóvízellátás egyik fő bázisát adják, ezért különleges figyelmet igényelnek. Ezzel együtt azonban jellemzőik miatt igen sérülékenyek is. A védelem alapja pedig ebben az esetben az, ha megértjük a működésüket. Felszín alatti elhelyezkedésük miatt azonban nehezebb és körülményesebb a prevenció, a monitoring, valamint egy esetleges szennyeződés esetén a helyreállítás.

A másik fő felhasználási alternatíva a kitermelt termálvíz rekreációs célra való alkalmazása (fürdés, gyógyászat), vagyis nagy gazdasági potenciált is jelent a turizmus és vendéglátás terén. A Hévízi-tónak 2023-ban közel 700 ezer vendége volt (https://termalonline.hu/termal-hirek/kiderult-milyen-eve-volt-a-hevizi-tofurdonek#google_vignette). A városban eltöltött vendégéjszakák száma pedig még ennél is többre tehető. Mindezen szempontok különösen fontossá teszik, hogy az adott víztestről a lehető leg részletesebb adatokkal rendelkezünk a vízmennyiség és a vízminőség terén is.

A Hévízi-tó kutatástörténetének rövid áttekintése

A Hévízi-tó állapotával kapcsolatos feltárások már az 1700-as évek második felében vizsgálták a víz gyógyhatását és vegyi összetételét, azonban a részletesebb felmérési munkákat a Festetics családhoz fűződő fürdőfejlesztések hozták meg (Szántó 1993). A következő évtizedek során megtörtént az első kutatómerülés (Lóczy 1908), a tómeder felmérése (Hencz 1891), kémiai paraméterek vizsgálata (Weszelszky 1908), a víz-minták és iszap összetételének tanulmányozása (Weszelszky 1911, Windisch 1911) és a vízhozamra is született közelítő értékek (Cholnoky 1918). Később feltérképezték a tó hőmérsékleti és áramlási viszonyait (Moll 1941, Cziráky 1957), alátámasztották a víz vadózus jellegét (Szédeczky-Kardoss 1941), majd az ötvenes évektől kezdve rendszeressé váltak a tóforrás hozamának mérései (Kugler 1986), valamint a nehézbűvárok kutatómerülései (Ugray 1953, Cziráky 1954), végül az Amphora Könnyűbűvár Sport Klub tagjai 1975-ben fedezték fel a forrásbarlangot (Plózer 1976a, 1976b, 1977). A hetvenes évektől kezdve csökkenni kezdett a tó hőmérséklete a vízhozam csökkenése miatt, aminek számos kutató vizsgálta a kiváltó okait, valamint megoldási javaslatokat adtak a problémára (Kádár 1972, Böcker 1975a, 1975b, 1978, Horányi és Sugár 1975, Müller 1975, Lorberer 1979). A csökkenő hőmérséklet lehetséges okait a nyilvánosság elől eltitkolták, azonban vízhőfokvédelmi munkákat rendeltek el (Solt 2015). 1984-ben megkezdődtek az előkészítő munkák, ennek keretében számos paramétert vizsgáltak (Starosolszky 1984), majd a következő évben kiépítették a „kéményt” amivel a forrástól közvetlenül a fürdőépület alá vezették a beáramló meleg vizet (Haszpra 1985). Felmérték és összefoglalták a tó 1985-ös állapotát a vízhozamszabályozás tervezéséhez, melyet az ezt követő évben valósítottak meg (Böcker és társai 1986). 1990-ben a Hévízi-tó vízminőségének változásait tanulmányozták (Gorzó 1990), valamint a tó utánpótlódási kérdései is előtérbe kerültek (Sárváry 1991). A bauxitbányák bezárása után, valamint a 90-es években az ivóvízcélú vízkivételek csökkenése miatt megindult a karsztrendszer visszatöltődése, ezzel együtt pedig a Hévízi-tó hozama 30-40%-kal nőtt (Csepregi 2007). 2022-ben elkészült a Hévíz-Keszthelyi-hegység lokális modellje (Székely 2022).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az eredeti monitoring rendszer

A monitoring rendszert (1. ábra) 1989-ben létesítette az ALUTRÖSZT (Magyar Alumíniumipari Tröszt) és a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő (Tóth 2017). A működtetést a Reumakórház végzi a Hévíz-tó és Felszín Alatti Vízugyjtó Területének Környezetvédelme Alapítvánnyal, melynek tagjai önkéntes munkát végeznek. Az Alapítványt a mérőhálózattal egy évben hozták létre. A monitoring rendszerrel mennyiségi és minőségi paraméterek észlelése történik a kutakban, a tóban, és a forrásbarlangban. Ezen felül a Hévízi-tó két leeresztő műtárgyának az ellenőrző hozamméréseit a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (NYUDUVIZIG) végzi. A forrásbarlang, mint fokozottan védett barlang, a Balaton-

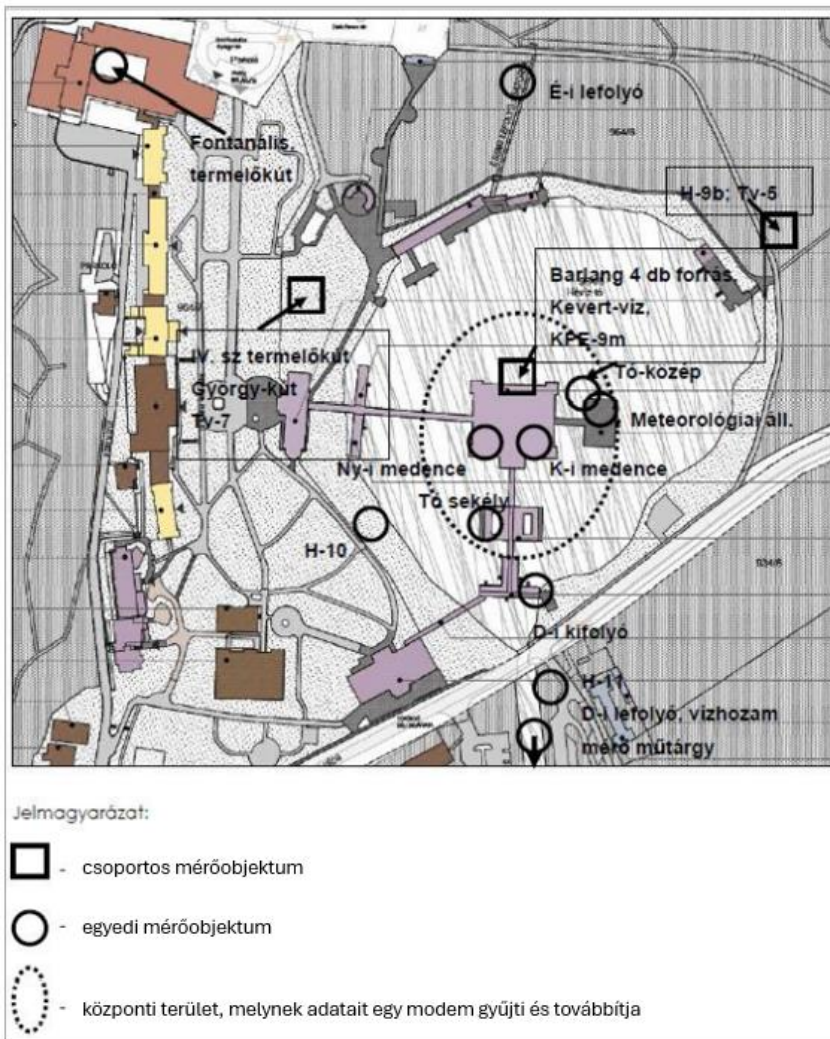
felvidéki Nemzeti Park Igazgatóság működési területén található. A Gyógytó és a Véderdő együttese alkotja a Természetvédelmi Területet, a természetvédelmi kezeléssért a vagyongazdálkodó, a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő felel.

A monitoring rendszer különféle paramétereket mér és rögzít, úgymint a különböző éghajlati, hidrológiai, hidrogeológiai jellemzők. Ezek alapul szolgálnak a biológiai monitoringnak, amely indikátor értékű zoo- és fitobentoszt, makrofita vegetációt mér (Tóth 2017). Mindezek mellett a Reumakórház rendszeresen (negyedévente) méri a két termelőkút nál és a tó egyes pontjain, a barlangban a vízkémiai és mikrobiológia paramétereit. A Fontánális (III. számú, B-14. kat.sz.) és a IV. számú (B-32. kat.sz.) termelőkút üzemeltetése felváltva történik, vízárával vannak felszerelve. A vízárat havonta olvassák le, ezen felül rendszerességgel mintát vesznek, amiből bakteriológiai vizsgálatot is végeznek az 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendeletnek megfelelően. Napi kb. 1100 m³ vizet vételeznek a kutakból. Éves szinten nagyjából 420 ezer m³ víz az engedélyezett mennyiség (tó hozamának kb. 3%-a). Korábban a György kutat használták termelésre, amely mára már csak megfigyelőkútként üzemel. A kitermelt vizet több helyen is felhasználják. A barlangi nyomásmérés adatain észlelhető a kutak termelésének ideje. Több megfigyelő hévíz- és talajvízkút van a tó körül. A különböző mért éghajlati, meteorológiai paraméterek közé tartozik többek között a légköri nyomás, léghőmérséklet, levegő harmatpont, szélirány, szélsebesség, szélirány, csapadékmennyiség és intenzitás, páratartalom, UV-B sugárzás. Az adatokat főképp a Reumakórház üzemeltetéséhez hasznosítják, azonban hidrogeológiai vonatkozású kutatásra is van lehetőség, hiszen az egymásba olvadó földrajzi tájegységek különleges adottságaiból következik, hogy hideg- és meleg karsztvizek keveredése jól vizsgálható ezen területen.

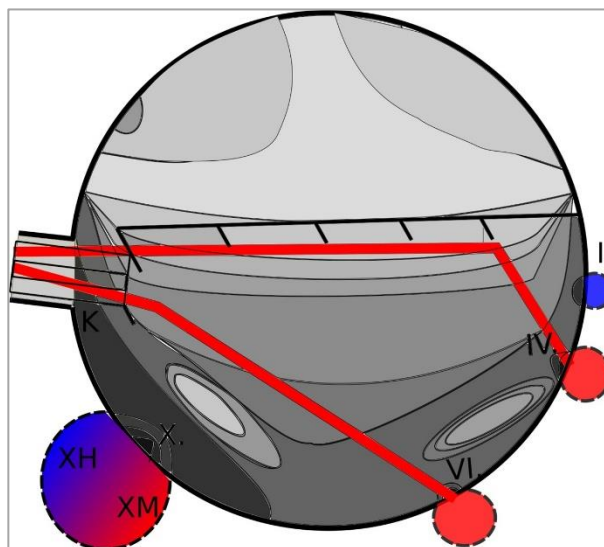
Víz alatti monitoring

A Gyógyfürdő részére a kutatóbűvárok két havonta végeznek méréseket. A mérések során a bűvárok a forrásbarlangba telepített CTD szenzorokat (vezetőképesség, hőmérséklet, vízmélység regisztráló) a felszínre hozzák adatkinyerés céljából, majd visszahelyezik azokat a mérési helyekre. Ezek mellett kézi mérésekkel is kiegészítik az adatsorokat: a korábbiakhoz képest már csak a fontosabb helyeken történik hőmérsékletmérés. Racionalizálás után a rendszeres mérések helyei (2. ábra):

- I. (korábban II.) forrás: mindamellett, hogy ez a leghidegebb forrás, ez markánsan különbözik a mellette lévőktől vízminőség tekintetében is,
- IV. és VI. forrás: a két, fürdőépületbe bevezetett cső (kémény) „vízkivételi” helyei, ezek a legnagyobb hozamú meleg források,
- X. forrás: a bejáráthoz legközelebb fekvő, hasadékból található hideg (XH) és meleg (XM) források együttese. A meleg komponensnél a legmagasabb az oldott kénhidrogén koncentrációja,
- Kevertvíz (K): a forrásbarlangban a bejárat előtt, az egyes források összekeveredett vize.



1. ábra. Az eredeti monitoring hálózat főbb részei (Tóth 2017)
 Figure 1. The main parts of the original monitoring network (Tóth 2017)



2. ábra. Felülnézet a forrásbarlangban lévő rendszeres mérések helyeiről. Római számokkal jelölve a források helyei, valamint K-val a kevert víz mintavételi helye. A meleg (30 °C feletti) pirossal, a hideg (30 °C alatt) források kékkel jelölve. Piros vonalakkal jelölve a vízkivételi csövek, amelyek a meleg vizet a fürdőépületbe vezetik fel. A szürke árnyalatai a különböző mélységeket mutatják: a legsötétebb 48 méteres, a legvilágosabb 42 méteres mélység.

Figure 2. Top view of the locations of regular measurements in the spring cave. The locations of the springs are marked with Roman numerals, and the sampling location of the mixed water with K. Hot (above 30 °C) springs are marked with red, while cold (below 30 °C) are marked with blue colour. Red lines mark the pipelines lifting up hot water to the bath. The shades of gray show the different depths: the darkest is 48 meters, the lightest is 42 meters.

A kézi méréseket digitális hőmérőkkel végzik, melyek helyszíni ellenőrzése a Gyógyfürdő által biztosított, a forrásbarlangba telepített kalibrált üveghőmérővel történik. A mérési feladatok mellett a búvárok vannak megbízva a források és vízkivételi csövek – melyeket a forrásbarlangból néhány éve bevezettek egészen a két legnagyobb hozamú meleg forráshoz – kamerás vizsgálatával is. Korábban negyedévenként mintázták az egyes forrásokat, kevert vizet és a forrásbarlangból feláramló vizet 3 méterenként, a felszínig, majd akkreditált laborban történt a kiértékelésük.

Felszíni hidrológia monitoring

A Hévízi-tó vízszintjének szabályozásáért, illetve a tó hozamának elvezetéséért két leeresztő műtárgy felel: az Északi-, és a Déli-zsilip. A műtárgyak az elmúlt években rekonstrukción estek át, a KEHOP-4.1.0-15-2016-00050 projekt keretében. A Hévízi-tó átfogó tóvédelmi programjának megvalósítása projekt keretében. Az Északi-zsilip az Északi- vízlevezető csatorna 0+012 km szelvényében került kialakításra egy 0,94 m nyílású, fektethető acél zsiliptábla. Ezen műtárgy esetében a NYUDUVIZIG automata vízszintregisztrálója van beépítve, így a zsilip nyitásának függvényében az átbukási magaságból, tapasztalati képlet segítségével számítható a leeresztő műtárgyon elvezetett vízhozam értéke. Az uszadék leengedése az üzemeltetők elmondása alapján „szükségsezerűen” történik. A Déli-zsilip, amelyen a tó vízhozamának nagyjából $\frac{3}{4}$ -e kerül levezetésre, a Hévíz folyáson (2+727 és 2+740 km szelvény között) kialakított kombinált (vízszinttartó – felső zsilip, duzzasztómű – alsó zsilip és oldalvízkivételi mű) műtárgy. Mind a két zsilip három kamrából áll. A felső zsilipen nincsen átbukás, csak az uszadék levezetése esetén. A középső kamrához érkezik a zsilip alatt átvezetett NA 800 mm átmérőjű vízhozammérő cső. A Déli-zsilipen elvezetett vízhozam mérése a felső zsilip felett kialakított beton aknában egy ultrahangos vízhozammérő segítségével történik. A mérőcsőből kilépő víz visszatartását, ezzel együtt pedig a tó vízszintjének szabályozását az alsó zsiliptábla biztosítja, ahol a két szélső kamrán történik a túlfolyó víz elvezetése. Két helyen vízszintregisztráló műszert helyeztek el. Az oldal-zsilipen egyéb vízszolgáltatási lehetőségre van mód, azonban jelen üzem mellett nincsen átfolyás. Az üzemeltetők szóbeli közlése alapján tudjuk, hogy az átépítés előtt 50 l/s-ot vezettek le az É-i zsilipen, a Délin pedig 400 l/s-ot. Az átépítés után az arány 100-150 l/s és 300

l/s-ra változott, azonban tervezték a régi leengedési arányra való visszaállást. Általánosságban elmondható, hogy a reggeli órákban nyitnak a zsilipeken, ezáltal a tó vízszintje csökken. Kora délután a zsilipek zárásával a vízszint emelkedni kezd, majd beáll egy konstans szintre az este folyamán. A napi vízszintingadozás mindössze 2-3 cm.

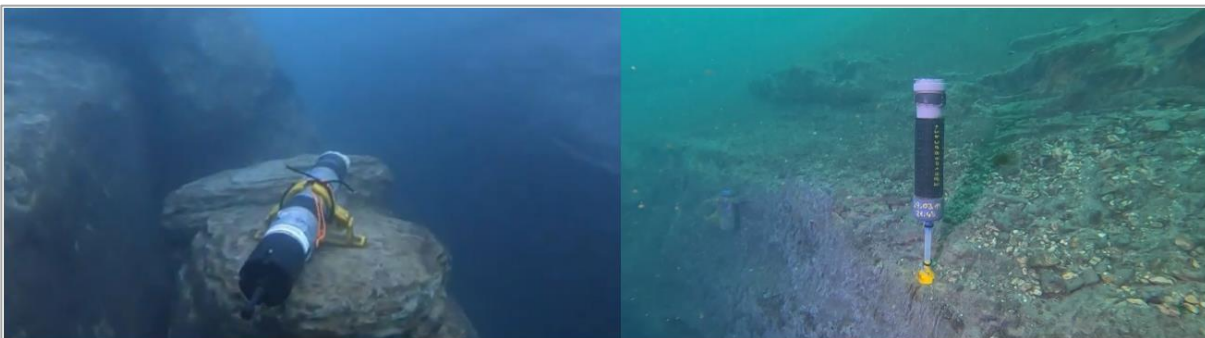
Az elmúlt időszakban szerzett tapasztalataink alapján elmondható, hogy a monitoring rendszer teljes felülvizsgálatára lenne szükség. A közeli hévíz- és talajvízkutak esetében a műszerek előregedtek, tönkrementek, így a legtöbbnél nincs folyamatos észlelés, csupán havonta egy kézi mérést végeznek (vízszintet regisztrálnak). A meteorológiai adatok esetén is jelentkeztek számottevő hiányos időszakok, paraméterek.

Az eredeti monitoring rendszer kiegészítése, műszerfejlesztések

Víz alatti mérések

A rendszeres víz alatti mérések egyrészt arra a kérdésre keresik a választ, hogy hogyan tűnik el a forrásból feláramló kén-hidrogén mennyisége. Ehhez a forrásbarlangban található tízes számú hideg és meleg források, valamint a kevertvíz mintázása történt meg. A fő komponenseket (szulfát, karbonát, klorid, kalcium, magnézium és nitrát, mint a szennyezés indikátora) vizsgáltuk meg a keveredés meghatározásához. A barlangi vizek mellett, a feláramló víz útját is leköveztük, 10 méterenként vett vízminták segítségével. A mintavételi helyeken a hőmérséklet mérése is megtörtént. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a tóban létrejövő áramlások közel tökéletes keveredést biztosítanak. A forrásbarlangból kiáramló csóva hatása csupán csak néhány méteren érzékelhető, azon kívül mind a hőmérséklet, mind pedig a koncentráció homogén. Kivételt ez alól csak a nagy hőmérsékletkülönbség miatt létrejövő intenzív leáramlási zónák jelentenek.

A felszín alatti áramlások feltérképezéséhez a kráter két pontján (2. ábra fekete ponttal jelölt helyek) áramlásmérőt helyeztünk el. Az egyik (1. fénykép bal oldal) a fürdőépület felőli oldalnál lett rögzítve nyolc méteres mélységben. Ez az Aquadopp High Resolution (HR) profiler egy speciális ADCP, ami a Doppler-elvet felhasználva méri a vízoszlop rétegeinek háromdimenziós sebességvektorait, akár 8 Hz-es gyakorisággal. Mivel szétartó hangszarakkal mér, így a műszertől távolodva egyre nagyobb térbeli átlagolást végez.



1. fénykép Aquadopp (balra) és billenőtestes áramlásmérő (jobbra) elhelyezése a kráter különböző pontjain (Fotó: Szieberth Dénes)
Photo 1. Placement of Aquadopp (left) and tilting flow meter (right) at different points of the crater (Photo by Dénes Szieberth)

A másik (*1. fénykép jobb oldal*), egy általunk fejlesztett billenőtestes áramlásmérő műszer, ahol a műszer dőlésszöge függ az áramlási sebességtől. A műszertest függőlegestől való eltérését egy gyorsulásmérő szenzor érzékeli. Az ADXL345 szenzor a gravitációs vektor, valamint a gyorsulás tengelyekre vetített komponenseiből számítja a dőlés szögét és irányát. A műszer kialakításánál fontos szempont volt a kis energiafogyasztás, vízhatlanság, és a nyomásállóság. A szenzor adatait egy mikrokontrollerből, memóriaegységből, egy RTC modulból és akkumulátorból álló egység dolgozza fel és tárolja. A műszer tokozásának kialakítását a várható áramlási sebességek figyelembevételével határoztuk meg, az érzékenység és a méréshatár ugyanis függ a tokozás áramlási ellenállásától, a rá ható felhajtóerőtől és a dőlést lehetővé tevő rögzítőelem rugalmasságától. A műszer áramlási ellenállásának kalibrálása a BME VVT tanszék üvegcsatornájában történt meg. A műszer adatainak kiértékelését nehezíti, hogy a nem áramvonalas kialakítás miatt Kármán-örvénysorok alakulhatnak ki, ennek következtében a műszer imbolyog (*Sas 2024*).

Az áramlásmérőn kívül saját tervezésű és építésű hőmérséklet, vezetőképesség és vízszintmérő víz alatti kéziműszereket és loggereket is használunk. Az egyedi tervezés indoka a kereskedelemben kapható műszerek magas ára és a termálvizes környezetben tapasztalt alacsony élettartama.

Minden műszer hasonló módon és elven épül fel. A mérésekhez szükséges vezérlési feladatokat a kis fogyasztású ATmega328P processzoron alapuló mikrokontroller látja el, melynek programkódját az adott feladathoz, körülményekhez igazítjuk. A méréseket különféle szenzorokkal (ultrahangos távolságmérő, hőmérő, gyorsulásmérő) végezzük, melyekhez az RTC (Real Time Clock) modul segítségével tudunk pontos időt rendelni. Az adatok tárolására FRAM memóriát vagy SD kártya modult, az árammal való ellátáshoz pedig kis önkisülésű, a magasabb hőmér-

sékletet jobban toleráló lítium-vasfoszfát akkumulátort használunk. A heterogén mérési körülményeket (nyomás, vízállóság, rendelkezésre álló hely, megközelíthetőség) a tokozás kialakításnál vesszük figyelembe. A műszerek tervezéséhez és elkészítéséhez alacsony beszerzési költségű modulokat és nyílt szoftvereket használtunk, a terveket pedig szabadon elérhetővé tesszük kutatócsoportok és oktatási intézmények számára.

Megfigyelő kutak monitorozása

A felszíni mérések során megfigyelő kutaknál folytattunk folyamatos észleléseket. A korábbi terveink szerint több kútban szerettük volna pótolni a hiányzó vízszintregisztrálókat (Dataqua), azonban a Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium (VVNL) projekt keretében a beszerzések még nem valósulhattak meg. Azóta a Gyógyfürdő két kútban tudta pótolni ezeket a műszereket. A rendszeres méréseink a tó körül található H10, H11, György kútra, valamint egy alkalommal a H9 és H9a kútra terjednek ki. Havonta kiolvassuk az adatokat a hőmérő szondából, ami folyamatosan rögzíti az adatokat. Mérjük a kutakban kialakuló hőmérsékleti rétegződést is, 5-10 méterenként leengedett hőmérő szonda segítségével. Két mélységből vízmintákat veszünk (egy felszín közeli, és egy mélységi minta), amiben még a mintavételezés idejében vezetőképességet mérünk, majd a megvett mintákat laborban vizsgáljuk. A víz alatti mintákhoz hasonlóan, a vízben lévő szulfátot, kloridot, kalciumot, magnéziumot, nitrátot és kén-hidrogént vizsgáljuk.

A hőmérsékletek mérésére saját fejlesztésű műszert alkalmazunk (*2. fénykép*). A vízmintavételezés esetén, mivel a kutak tisztítószivattyúsására nincsen lehetőségünk, így a mintákat közvetlenül a szűrőzött részekről vesszük. Ehhez a *2. fényképen* látható dupla golyós bailert alkalmazzuk a mélységi mintavételre. A György-kút esetén külön problémát jelentett a nagyon kicsi, kb. 40 mm átmérőjű cső, így ebben az esetben egy mindkét végén visszacsapó szeleppel ellátott, kis méretű vízmintavevőt készítettünk.



2. fénykép Balra a hőmérsékletméréshez, jobbra a vízmintavételre használt műszerek (Fotó: Nagy Judit Barbara)
Photo 2. Instruments used for temperature measurement are on the left, and instruments used for water sampling are on the right
(Photo by Judit Barbara Nagy)

Az eddigi mérések során nem észleltünk szezonális változást a kutak és a barlangi vizek esetében sem. Csak a felszínhez közeli vízrétegek hőmérsékletét befolyásolja az

aktuális léghőmérséklet értéke, a mélyebb rétegeknél konstans hőmérséklet tapasztalható. A vízminták esetében elmondható, hogy a H10 és H11 kutakba nem jut talajvíz,

felszíni szennyezés, ugyanis a nitrogén és foszfortartalmuk nagyon alacsony. A kémiai paraméterek tekintetében sem láttunk szezonális változást.

Keressük a kapcsolatot a kutak és a forrásbarlang között (hőmérséklet és ionkoncentráció tekintetében). Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy sem a hideg, sem pedig meleg komponenssel nem egyeznek meg a kutakban lévő vizek. A György kút a korábbi termelőkút volt, a szűrőzés mélysége megegyezik a forrásbarlang mélységével, a hőmérséklete magasabb a többi vizsgált kúthoz képest, a vízminták alapján mégsem hasonlít a barlangban található vizekre. Ez alapján a forrás közelében igen bonyolult pályákon áramolhat a víz, hiszen még ilyen kis távolságokban sem fakad ugyanolyan minőségű víz. Valószínűsíthető, hogy ezen vizek keveréke áramlik a barlangban található forrásokhoz, ehhez pedig szükséges a keveredési arány meghatározása.

Kampányjellegű mérések

A rendszeres mérések mellett kampányjellegű méréseket is végeztünk több alkalommal, valamint a további mérések előkészítése is folyamatosan zajlik. A felszíni áramlásmérésekre eddig két alkalommal került sor, 2023.09.05-én és 2024.02.29-én. Ezen időpontok kiválasztásánál a kutatóbúvárok által észlelt áramlási irányok megváltozását tartottuk szem előtt. A vízhozammérések néhány havi rendszerességgel történtek, 2023. szeptembere és 2024. augusztusa között négy alkalommal. Hidrometeorológiai mérésekből egy nyári (2023. augusztus 22. és szeptember 10. közötti) és egy téli (2024. január 26. és február 28 közötti) mérési kampányt végeztünk, így a mérőállomás egy nyári, és egy téli időszakban átfogóan mérte a hidrometeorológiai meghajtó erőket. A kráterből és a forrásbarlangból egy alkalommal vettünk közetmintákat 2024.03.12-én.

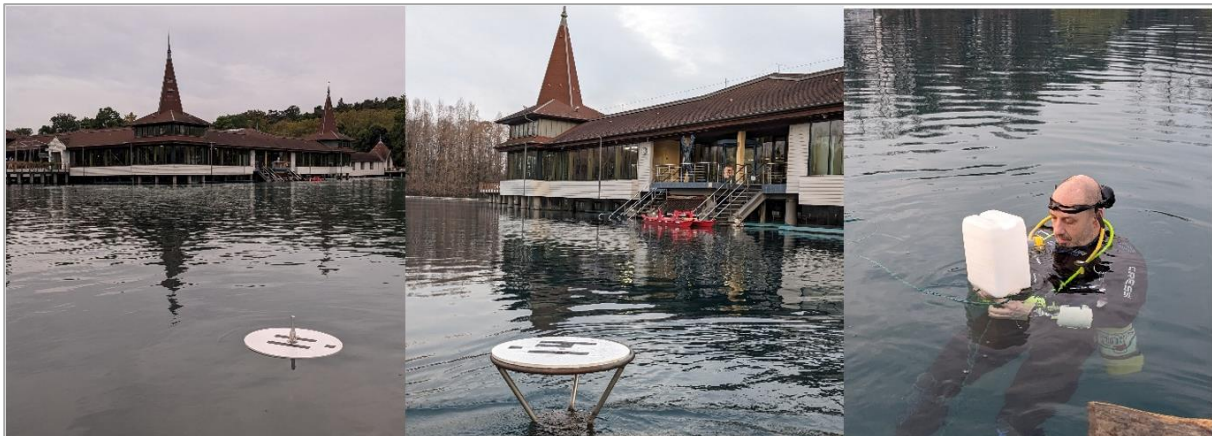
Felszíni áramlásmérések

A tóban kialakuló áramlásoknak három fontos szerepe is van: egyrészt, szabályozzák a tóban kialakuló hőmérsékleti eloszlást, másrészt az iszap mozgását (esetleges túlfolyását), harmadrészt pedig a gyógyhatású oldott komponensek mennyiségét, így a tó megfelelő működéséhez megkerülhetetlen a jelentőségük. A felszíni áramlásmérések módszertana egy korábbi mérési elven alapul, amelyet a kornak megfelelő, fejlett eszközökkel, nagyobb pontossággal lehet megvalósítani, ezzel pedig a megváltozott áramlási viszonyokat fel lehet tární. Elsőként Moll Károly vizsgálta 1941-ben a tó áramlási viszonyait. Leírta, hogy a vízszintes síkban történő vízmozgás két áramlatra osztható: az egyik észak felé mutató két félkör, mely visszafordul a találkozási pontnál, a másik ehhez hasonló, csak déli irányban, amit a talajalakulat okoz. Négy erős és kettő gyenge áramlást azonosított. A függőleges vízáramlást a forrástól való eltávolodás miatti lehülés, majd mélybe süllyedés okozza (Moll 1941). Később Cziráky (1957) is hasonló eredményekre jutott. A vizsgálat során a sebességet is számította a botúszók által megtett út, és a mért idő alapján. Ezt követően Starosolszky (1984) vizsgálta a tóban kialakuló áramlásokat a beépítendő „kémény” műszaki tervezése miatt. A mérések ebben az esetben is úszókkal, botúszókkal történtek, világító úszókkal kiegészítve.

A méréseket ugyanezen elv alapján végeztük el, azonban a használt eszközök nagyobb pontosságot, felbontást garantáltak. A vizsgálat elvégzéséhez a tóban a megfelelő pontosság miatt több ponton fix helyzetű korongokat helyeztünk el, amelyeknek a koordinátáit RTK GPS segítségével meghatároztuk. A mérés során úszók mozgását rögzítettük drónra szerelt kamera segítségével (5. fénykép). A kiértékelés során így az ismert koordinátájú pontokból georeferálhatóak a felvételek. A drónnal (DJI Mavic 2 Air) készített felvételeken az egyes jelzőanyagok mozgása nyomon követhető, ezzel pedig a felszíni áramlás iránya és nagysága is számíthatóvá válik.

Két alkalommal végeztünk ilyen mérést, mind a két alkalommal a fürdő zárása után, a zavartalan megfigyelések érdekében, a zsilipekkel szabályozott közel állandó éjszakai vízszint kialakulása előtt. Fontos szem előtt tartani, hogy az áramlás iránya és nagysága kapcsolatban van a leeresztő zsilipekkel végzett vízszint-szabályozással. A mérés megkezdéséhez az erre a célra készített fix pontok (3. fénykép) elhelyezésére és a koordinátájuk pontos meghatározására volt szükség. A fix korongok helyének megválasztásánál figyelembe vettük a feltételezett áramlási irányokat és azt, hogy a megfelelő pontossághoz szükséges, hogy egy képen több ismert koordinátájú pont is legyen, hasonló távolságokra. Egyrészt, fém rudakat használtunk a számozott korongok rögzítésére, másrészt a fürdőzők számára kialakított „pletykapadokat”. Az első mérés alkalmával azt tapasztaltuk, hogy a forráskráter közelében nem elegendőek a 2, 3 és 4 méteres fém rudak, így a következő alkalommal már búvárok segítségével bójákat rögzítettünk erre a részre, hogy sűríteni tudjuk az ismert koordinátájú pontokat. Az ilyen módon rögzített pontok azonban kisebb pontatlanságot vihetnek a mérésekbe a mozgásukkal, azonban a helyszíni viszonyok alapján ezt elfogadhatónak találtuk, szinte mozdulatlanok voltak a mérés ideje alatt. A másik lehetséges megoldás a drónnal való nagyobb repülési magasság lett volna, azonban a képek feldolgozása, a pontok felismerhetősége miatt ezt az opciót elvetettük.

Jelzőanyagként a tó ökológiájának, vízminőségének védelme miatt környezetbarát, néhány nap alatt lebomló, méhviaszból készített viaszkorongokat használtunk, amelyek esetleges eltűnésük esetén sem okoznak problémát. Az éjszakai órák esetében azonban nem volt biztosított a megfelelő megvilágítás, így a szürkület után már mécseseket használtunk az első mérés alkalmával. A szélesend miatt tükörsima volt a tó vízfelszíne, így a mécsesek használhatóak voltak, azonban a következő alkalommal – készülve az esetlegesen szelesebb időjárásra – már „tutajokon” úszó ledeket (4. fénykép) alkalmaztunk. A fix korongokat is hasonló módon világítottuk meg. A mérés során a mérőcsapat három részre oszlott: az egyik része egy csónakkal a viaszkorongok eleresztését végezte a forráskráter fölött, a másik a drónt irányította a szárazföldről, a harmadik része pedig a jelzőanyagok feltételezett áramlása szerint a végponton várakozott, majd begyűjtötte az úszó jelzőanyagokat.



3. fénykép. Fix helyzetű, ismert koordinátájú pontok elhelyezése rúdon (balra), „pletykapadon” (középen), bóján a kráter fölött (jobbra) (Fotó: Nagy Judit Barbara)

Photo 3. Placement of points with fixed positions and known coordinates on a pole (left), on a "gossip trap" (middle) and on a buoy above the crater (right) (Photo by Judit Barbara Nagy)



4. fénykép. Jelzőanyagként használt úszó ledek (balra), viaszkorong és ledsorok a fix pontok megvilágításához (jobbra) (Fotó: Nagy Judit Barbara)

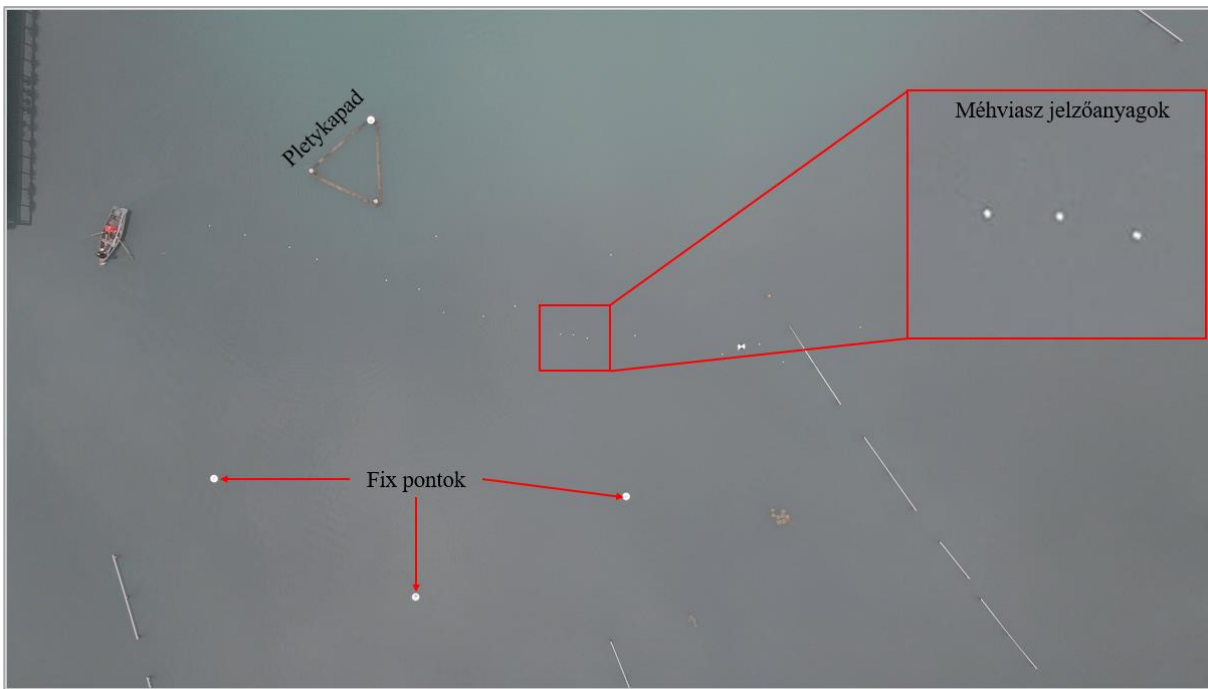
Photo 4. Floating LEDs used as indicators (left), wax disk, and rows of LEDs for lighting fixed points (right) (Photo by Judit Barbara Nagy)

A mérési eredmények feldolgozására többféle módszer is alkalmas lehet, melyek más-más pontossággal és idő-igénnyel rendelkeznek. Az egyik lehetséges megoldás a kézi feldolgozás pl. Autocad szoftverrel. Elsőként a georeferálást kell elvégezni, amely során a ferde kameraállásból készített felvételtől merőlegesre transzformált képet kapunk, ami így már valós koordinátákkal

rendelkezik, tehát méret-és koordináta helyes. Ebben az esetben egy megfelelő időbeli felosztást kiválasztva (pl. fél perc), az egymást követő képeken a jelzőanyagokat kijelölve, az általuk megtett utat lemérve számíthatóvá válik a sebesség és az irányuk. A másik lehetséges megoldást a Matlab szoftver használata jelenti. Ezzel az imént leírt munkafolyamat automatizálható. A drónra

szerezett kamera kalibrációja után, a kalibrációs paraméterek ismeretében, georeferálást követően feldolgozható a mérés. Ebben az esetben a videót framekre (képkockákra) bontjuk, majd kijelöljük a fix pontokat és a jelzőanyagokat is a kezdő képen. Ezután a Matlab minden egyes képen keresni fogja ezeket az objektumokat az előző képen látotthoz képest megadott pixelszámtartományon belül. Ennek a tartománynak a nagysága a várható sebesség nagyságától függ. A feldolgozás során ki-küszöbölhető a drón esetleges mozgásából adódó pontatlanság is. Ez gyakorlatilag képfeldolgozáson alapuló

áramlás mérési módszer (Large-scale particle image velocimetry - LSPIV eljárás), amellyel kétdimenziós elmozdulás vektorokat határozhatunk meg. Abból indulunk ki, hogy a vízzel együtt mozgó részecskék sebessége megegyezik a víz sebességével, így az egymást követő képkockákon keressük a mintázatokat (jelen esetben az úszó jelzőanyagot). A két egymást követő képkockán detektált és párosított jelzőanyagok által megtett út és az eltelt idő ismeretében számíthatóvá válik a víz áramlási sebessége (Fujita és társai 1998, Muste és társai 2008).



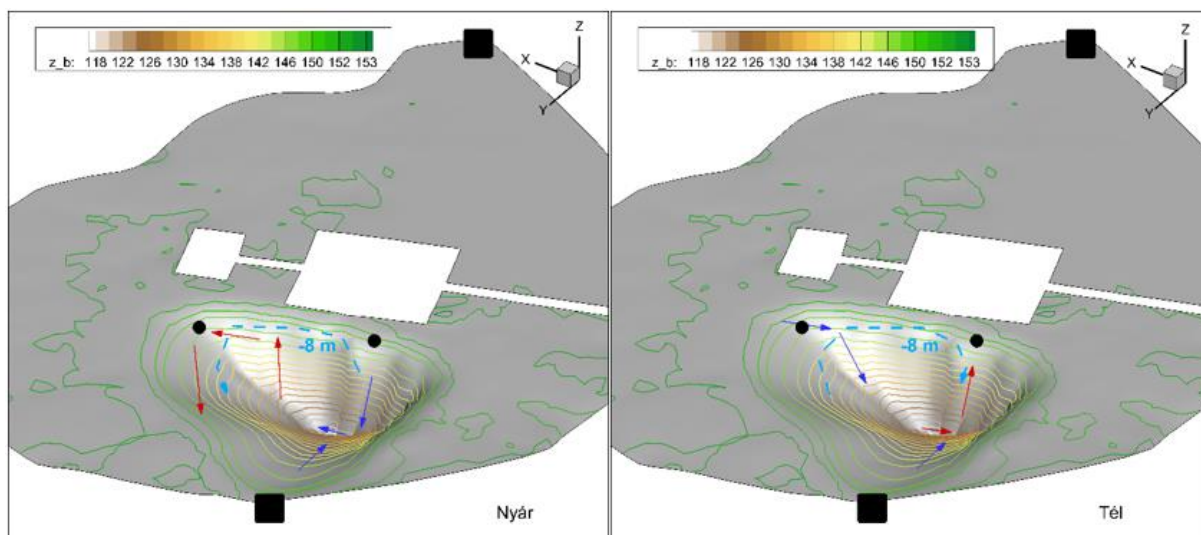
5. fénykép. Drónnal készített kép a fix pontokkal és a méhviasz jelzőanyagokkal (Fotó: Rehák András Miklós)
Photo 5. Drone image with fixed points and beeswax markers (Photo by András Miklós Rehák)

A két mérés idejének kiválasztásában a kutatóbúvárok által a merülések során tapasztalt forráskráterben megváltozó áramlási irányok voltak döntő jelentőségűek. A megfigyelésük szerint a nyári és téli időszakokban más a jellemző vízáramlási irány (3. ábra). A nyári időszakban a melegebb víz a forrásbarlangból a kráter keleti oldalán emelkedik a felszín felé, miközben a hidegebb víz a kráter nyugati oldalán áramlik a mélybe. Ezzel szemben, a téli időszak során ezek az áramlási irányok felcserélődnek: a melegebb víz a nyugati oldalon tör a felszínre, a keleti oldalon pedig a hidegebb víz bukik alá. Feltételezhető, hogy nem csak ez a két változat alakulhat ki. Ezen megfigyelések alátámasztására a kráter két pontján áramlásmérő lett elhelyezve, – a fentebb, a „Víz alatti mérések” fejezetnél leírt módon – amit a felszíni áramlásmérések eredményei kiegészíthetnek.

Vízhozammérések

Több alkalommal ellenőrző méréseket végeztünk mind a két leeresztő műtárgynál. Az Északi-zsilip esetén a folytonossági egyenletet alkalmazva határoztuk meg a

vízhozam értékeit. Ehhez az Északi-vízlevezető csatorna egyik alkalmas szelvényében, a zsilip felett geometriai-
lag felmértük a meder szelvényét, ezzel pedig a vízállás ismeretében átfolyási keresztmetszet meghatározható. A szelvényen átáramló víz sebességét a Doppler-elven működő ADV (Acoustic Doppler Velocimetry) Vector segítségével határoztuk meg. A műszer egy igen apró (1 cm^3) térfogatból gyűjt nagy időbeli felbontással adatokat. Háromdimenziós sebességek meghatározására alkalmazható, így legalább három jelvevővel rendelkezik (120° -os szöveget zárnak be egymással), ami a műszer fejből kibocsátott jelek frekvenciáját érzékeli. A műszer tengelyébe eső sebességkomponensre érzékenyebb, azonban általános elhelyezés esetén ez nem jelent jelentős hibát. A mérések 8-64 Hz között történnek, aminek köszönhetően akár a turbulens fluktuáció is mérhető. A kiválasztott szelvényben több függvényben és több mélységben végeztük a méréseket. Az átfolyási keresztmetszetet részterületekre osztottuk, majd az ADV-vel mért adatsor feldolgozása után a vízhozam számítható.



3. ábra. A forráskráterben kialakuló áramlási cirkuláció
A piros nyíl a hideg, a kék nyíl a meleg, a szaggatott nyíl a cirkuláció irányát mutatja
Figure 3. Flow circulation in the crater

The red arrow shows the direction of cold, the blue arrow shows the direction of warm water, and the dashed arrow shows the direction of circulation

Az első mérés alkalmával a bukó geometriáját is felmértük, valamint meghatároztuk az átbukási magasságot. A bukóképletből, az (1) egyenlet szerint a korábban meghatározott vízhozammal a bukó vízhozamtényezője kifejezhető:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * B * \sqrt{2 * g} * H^{3/2} \quad (1)$$

ahol, Q – bukógát vízhozama [m^3/s]
 μ – bukógát vízhozamtényezője [-]
 B – bukógát szélessége [m]
 H – átbukási magasság [m]
 g – nehézségi gyorsulás [m/s^2]

A mérést a fürdővel való egyeztetés után megismételtük a bukó 10 cm-es nyitása után is, amivel ellenőriztük a vízhozamtényező értékét. Az így meghatározott tényezővel a későbbiek során az átbukási magasság alapján könnyen számíthatóvá válik az átfolyt vízhozam értéke. Az ezt követő két mérés során, két új szelvény geometriája és a mért sebességek alapján megismételtük a fent részletezett mérést, egy bukó nyitási érték esetén. Az értékek igen jó egyezést mutattak a NYUDUVIZIG által mért adatsorokkal.

A Déli-zsilipnél ADCP-vel (Acoustic Doppler Current Profiler) végeztünk vízhozam méréseket. Az ADV-hez hasonlóan ez a műszer is a Doppler-effektust használja a sebességek meghatározásához. Különbség a kettő között, hogy az ADCP esetében a jelkibocsátás és a jelfogadás ugyanazon „fejen” történik, éppen ezért, amíg átvált a kétféle funkció között, eltelik egy kis idő, így „vakzóna” alakul ki a műszer feje alatt. Mivel a mérés elve szerint a jelek a vízben található (és azzal együtt úszó) részecskékről verődnek vissza, így képes a meder feltérképezésére is, függőleges transzformáció segítségével pedig a vízmélységet is meghatározza. A mozgóhajós mérés során létrejövő sebességeloszlás és medergeometria alapján a vízhozam számítható. A sebességek irányát és nagyságát a műszer beállításától függő sűrűséggel kiosztott celláknaként számítja. A

cellák mérete ezen kívül függ a mozgó hajó sebességétől is. A mérés során kerestünk több alkalmas szelvényt is a Hévíz folyás zsilip alatti szakaszán, olyan időszakban, amikor a felső zsilipen nem volt uszadék leengedés, tehát nem volt átbukás. A kijelölt mérési szelvényekben az ADCP-t erre alkalmas trimaránra tettük, a fedélzeti komputerrel pedig a partról történt a vezérlés. A mérés során a part két oldaláról kötelekkel mozgattuk a mérőberendezést, ügyelve a megfelelő sebességre és az irányra. Olyan esetben, ha a műszer nem tudja megközelíteni a partéleket, a műszer és a parttól vett távolság és az aktuális mélység alapján (derékszögű háromszög feltételezésével), extrapolációval számítható a vízhozam. A számítógép végzi az adatrögzítést, és a mérést irányító WinRiver szoftver segítségével láthatjuk az aktuális mérések eredményét, amely függvényként számítja és kumulálja a vízhozamok eredményét is.

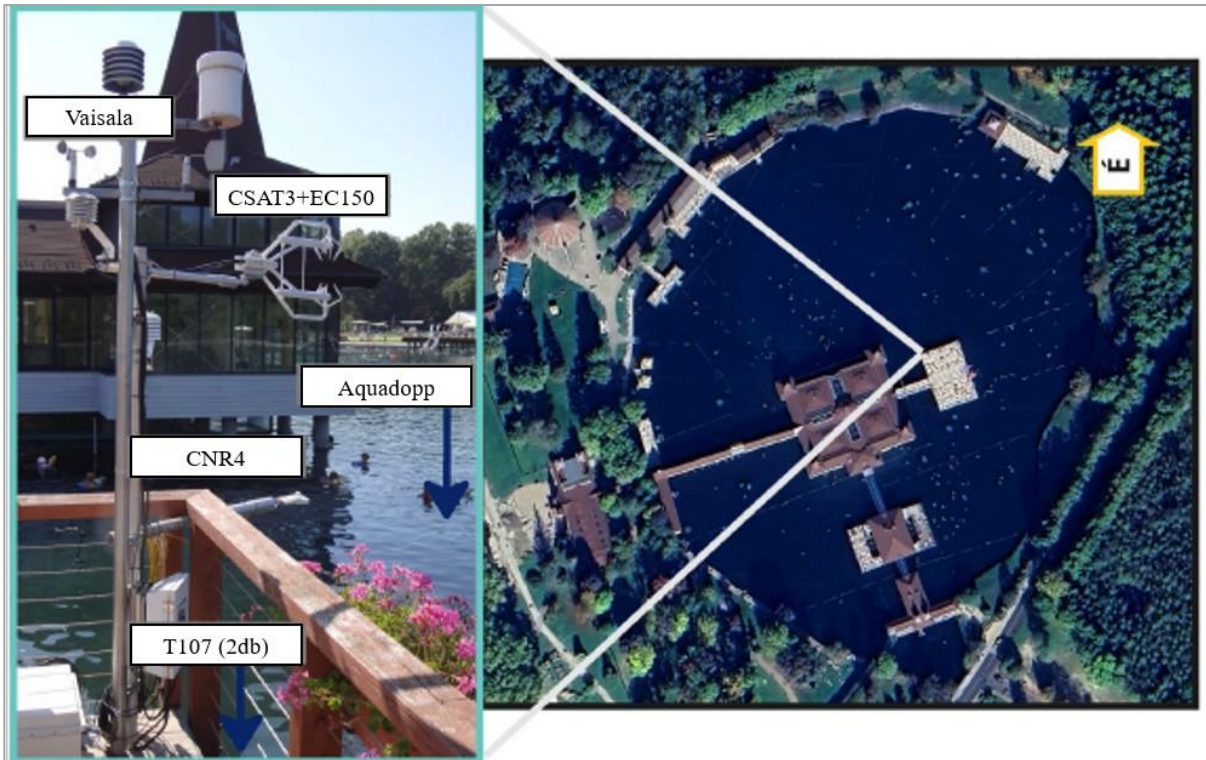
Hidrometeorológia

A Hévízi-tóra hidrometeorológiai mérőállomást telepítettünk (4. ábra) az előző nyár folyamán, ami a következő paramétereket rögzíti: szélesebesség, szélirány, léghőmérséklet és páratartalom, szenzibilis és látens hőáramok, szén-dioxid koncentráció és áram, csapadék, bejövő és kimenő rövidhullámú sugárzás, bejövő és kimenő hosszuhullámú sugárzás. A tóban az alábbi paramétereket mérjük: vízhőmérséklet két mélységben egyazon függvényben, illetve további pontokban egy-egy mélységben, sebességprofil különböző pontokban, vízállás a kifolyók előtt (Torma és társai 2024).

A hidrometeorológiai mérések egyik célja a tó hőháztartásának feltárása. Ennek meteorológiai szempontból a legerősebb meghajtója – beérkező melegvíz után – a beérkező rövidhullámú sugárzás, vagyis a napsugárzás, amely víz mélyebb rétegeibe is lejuthat a víz zavarosságának függvényében. Az energiamérleg többi komponense (turbulens hőáramok és a hosszuhullámú sugárzások) a víz-levegő határfelületen hat. A telepített műszerek között szerepel egy ún. örvény-kovariancia

műszeregyüttes, amely közvetlenül méri egyrészt a turbulens hőfluxusokat, így a látens (evaporatív) hőáramot vagyis a tó párolgást, másrészt pedig a tó szén-dioxid kibocsátását, illetve annak elnyelődését a tóba. Utóbbinak a vízterben kialakuló függőleges árama a tó rétegződésétől is függ, amelyet a feláramlás mellett a vízhőmérséklet függvény menti alakulása határoz meg. A függőleges folyamatok mellett jelentős szerephez jut a vízmozgással zajló horizontális transzport. A tó áramképét alapvetően

a beérkező melegvíz hozama, hőmérséklete és a kifolyási pontok elhelyezkedése, valamint azok átteresztőképessége határozza meg. Az áramképet valamilyen mértékben a szél módosíthatja. A vízmozgás nyomon követésére áramlásmérő műszert telepítünk, amelyet időnként áthelyezünk, hogy több pontban is feltárjuk a vízmozgás nagyságát és irányát. Mindezen méréseket a kifolyóknál történő vízhozammérésekkel kiegészítve, a tó párolgása és vízmérlege becslhetővé válik.



4. ábra. A telepített hidrometeorológia mérőállomás a tófürdő teraszán (Reska 2024). Az örvénykovariancia mérés a Campbell Scientific CSAT3 (háromdimenziós szélmérő) és az EC150 (nyílt utas gázanalizátor) műszerekkel történt. A sugárzásokat Kipp & Zonen gyártmányú CNR4 típusú nettó sugárzásérővel mértük. A vízfelszín alatt 20 és 70 cm-es mélységben mértük Campbell T107 típusú termisztorokkal a vízhőmérsékletet. Ellenőrzéséhez és minőségbiztosításához egy lassú szenzorral (Vaisala HMP45) rögzítettük a légkör hőmérsékletét és páratartalmát. A kráternél elhelyezett Aquadopp áramlásmérő helyét a nyíl jelzi.

Figure 4. The installed hydrometeorological measuring station on the terrace of the lake (Reska 2024). The vortex covariance measurement was performed with the Campbell Scientific CSAT3 (three-dimensional sonic anemometer) and EC150 (open-path gas analyzer) instruments. The radiations were measured with a CNR4 net radiation force manufactured by Kipp & Zonen. The water temperature was measured below the water surface at 20 and 70 cm depths with Campbell T107 thermistors. For checking and quality assurance, we recorded the temperature and humidity of the atmosphere with a slow sensor (Vaisala HMP45). The arrow indicates the Aquadopp flow measurement site at the crater.

Geológia

A Hévízi-tó pontosabb közettani megismerése céljából kutatóbúvár segítségével a forráskráterből (6. fénykép) és a forrásbarlangból is kőzetmintákat vettünk különböző mélységekből, a jellemző kőzetekből. Ezen kőzetek vizsgálata a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszéken fog megtörténni.



6. fénykép. Kőzetmintavétel a forrásbarlangban (Fotó: Szieberth Dénes)

Photo 6. Rock sampling in the cave (Photo by Dénes Szieberth)

ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredeti monitoring rendszer kialakítása 1989-ben történt, mellyel többek között meteorológiai, hidrológiai, hidrogeológiai jellemzők mérése zajlik, valamint az üzemeltetők egyéb rendszeres méréseket is végeznek. A két leeresztő műtárgy rekonstrukción estek át az elmúlt években. A korábbi időszak tapasztalatai alapján a teljes monitoring rendszer felülvizsgálatára, az elöregedett, tönkrement műszerek cseréjére lenne szükség. A rendszeres mérések kiegészítésére saját fejlesztésű műszereket helyeztünk el a vizsgált terület több pontján. A tó körül elhelyezkedő kutakban folyamatos hőmérsékletregisztrálást végzünk egy adott mélységben, valamint havonta hőmérsékleti rétegződésre irányuló méréseket folytatunk. Vízmintákat veszünk két mélységből, melynek laboros kiértékelését végezzük. A tóban történő hőmérsékleti és vízminőségi vizsgálatokkal kiegészítve keressük a kapcsolatot a kutak és a forrásbarlang között. Az eddigi mérések alapján a kutakban lévő víz nem egyezik meg a forrásbarlangban található hideg vagy meleg komponenssel sem, tehát valószínűsíthető, hogy bonyolult áramlási pályákon keresztül ezek keveréke bukkan fel a forrásbarlangban. Ezen feltételezés mentén zajlik a keveredési arány meghatározása. Szezonális változást sem a hőmérséklet, sem pedig a vízminőség tekintetében nem tapasztaltunk. Mindemellert vizsgálatokat végzünk a forrásból feláramló kén-hidrogén útjának, mennyiségének megismerésére.

Az áramlás szabályozza a tó hőmérsékleti eloszlását, az iszap mozgását és a gyógyhatású oldott komponensek mennyiségét is, így döntő jelentősége van. A tóban lévő áramlási rendszer feltérképezésére a kráter két pontján áramlásmérőket helyeztünk el. Ezen méréseket kiegészítve felszíni áramlásmérésekre került sor, ami egy korábban megvalósított mérés módszertanán alapszik. Drónra szerelt kamerával rögzítettük különböző jelzőanyagok mozgását a tó felszínén, georeferálást követően pedig a felszíni áramlási iránya és nagysága számítható. A búvárok megfigyelése szerint időszakosan változik, hogy a fel- és leáramló víz a kráter mely oldalán emelkedik a felszínre és bukik a mélybe.

A felújított leeresztő műtárgyaknál különböző módszerekkel és több alkalommal ellenőrző vízhozamérésekre került sor. Az Északi-zsilip esetén jó egyezést mutattak az eredmények a NYUDUVIZIG által rögzített adatokkal, a Déli-zsilip esetén szükségesnek ítéltük másik módszerrel is elvégezni a vízhozam meghatározását.

A tó hőháztartásának feltárására, a párolgás és a tó vízmérlegének meghatározására hidrometeorológiai méréseket végeztünk. Ennek céljából hidrometeorológiai állomást és örvénykovariancia-műszeregyüttest telepítettünk a fürdő teraszán. A későbbiekben telepítésre kerülnek vízszintregisztráló műszerek a közeli talajvízkutakba, valamint talajnedvességmérőket helyezünk el a tó körül, amivel a tó és a talajvíz kapcsolatát szeretnénk feltárni.

A forráskráterből és a forrásbarlangból kőzetminta-vételezés történt, amellyel a tónál kialakult geológiai jellemzőkről kaphatunk pontosabb képet.

Bár a tó kutatástörténete egészen az 1700-as évekre visszavezethető, a mai napig igen jelentős vizsgálatok

zajlanak a tó működésével kapcsolatban. Vannak olyan kérdések, amikre korábban még nem kerestek választ, úgymint a tó párolgása, de akad olyan is, amit évtizedeken keresztül vizsgáltak, mégis, az új eredmények igen fontos információt szolgáltathatnak akár a tó megfelelőbb üzemeltetéséhez is.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben bemutatott kutatás az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával, a Széchenyi Terv Plusz program keretében valósult meg. Torma Pétert az MTA Bolyai Kutatási Ösztöndíj (00906/23), Nagy Judit Barbarát pedig a Kulturális és Innovációs Minisztérium, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program (EKÖP-24-3) támogatta.

Ezúton is köszönjük a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő munkatársainak és a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóságnak az együttműködésüket és az adat-szolgáltatást.

IRODALOMJEGYZÉK

510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet a közhasználatú fürdők létesítéséről és üzemeltetéséről

Böcker T. (1975a). A nyirádi víztelenítés hatásának vizsgálata, különös tekintettel a Hévízi-tóforrásra. – VITUKI témabeszámoló III. 3.3.3.4.

Böcker T. (1975b). Változások a Dunántúli-középhegység természetes karsztvízháztartásában. VITUKI 1975. évi Tudományos Napok 2. ülészak: A szénbányászattal kapcsolatos karsztvíz kérdések. 11 p.

Böcker T. (1978). Összefoglaló jelentés a hévízi tóval kapcsolatos kutatási tevékenységről. VITUKI 7631/1/4, Budapest, 1978.

Böcker T., Liebe P., Hóriszt Gy. (1986). A Hévízi-tó és a közvetlen környezetének állapota 1985-ben. Földtani Kutatás XXIX. évfolyam (4), pp. 71-83.

Cholnoky J. (1918). A Balaton hidrografiája, A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. Budapest 1908 I. (2) függelék: pp 1-311.

Czirák J. (1954). A hévízi tó forráskráterének búváros vizsgálata. Hidrológiai Közöny. 1954/5-6.

Czirák J. (1957). Felszíni áramlás vizsgálatok a hévízi tavon. Hidrológiai Közöny. 1957/4.

Csepregi A. (2007). A karsztvíztermelés hatása a Dunántúli-középhegység vízháztartására – In: Alföldi, L.–Kapolyi, L. (szerk.): Bányászati karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-középhegységben. Requiem a Dunántúli-középhegység karsztvízszint alatti bányászkodásáért. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. pp. 77-106.

Fujita I., Muste M., Kruger A. (1998). Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. Journal of Hydraulic Research 36. pp. 397-414.
<https://doi.org/10.1080/00221689809498626>

Gorzó Gy. (1990). A Hévízi-tó vízminőségének változása. Hidrológiai Közöny 1990. 70. évf. 1. szám, pp 12-16.

- Haszpra O. (1985).* Kémény a hévízi-tóban. Élet és Tudomány 40 (7), pp. 195-196.
- Hencz A. (1891).* A hévízi forrás. Keszthelyi Hírlap, pp 16.
- Horányi Á., Sugár I. (1975).* Vizsgálatok a Hévízi-tó utánpótlódási viszonyairól. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Tudományos Szemle 1 (1), pp. 68-77.
- Kádár I. (1972).* Hévízi tó múltja, jelene és jövője. Hévízi tó kutatása TV-s kamerával. Kézirat, Budapest, 5 p.
- Kugler Gy. (1986).* Hévízi-tó vízhozam szabályozása. Diplomaterv. Budapest Műszaki Egyetem, Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézet, Vízépítési Tanszék
- Lóczy L. (1908).* Jegyzet Jordán Károly: A Hévízi tó fenekének fölmérése c. cikkéhez. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. Budapest 1908 II. (2). p 78.
- Lorberer Á. (1979).* Regionális vízföldtani vizsgálatok a Hévízi-tótágabb környezetében. VITUKI III. C. 5. pp. 1-19.
- Moll K. (1941).* A hévízfürdői tó hőmérsékleti vizsgálata. Hidrológiai Közlöny, 21. évf. 1-6. kötet, pp 1-14.
- Muste, M., Fujita, I., Hauet, A. (2008).* Large-scale particle image velocimetry for measurements in river environments. Water Resources Research 46:2008WR006950, p. 14. <https://doi.org/10.1029/2008WR006950>
- Müller P. (1975).* Újabb adatok a Keszthelyi-hegység és a Hévízi-tó hidrogeológiájához. Beszámoló a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat tevékenységéről 1975 (2), pp. 153-154.
- Plózer I. (1976a).* Az Amphora Könnyűbúvár Sport Club Vízalatti Barlangkutató Csoportjának 1976. évi jelentése. — Beszámoló a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat 1976. évi tevékenységéről, Budapest, pp. 260-264.
- Plózer I. (1976b).* A Vízalatti Barlangkutató Szakosztály 1976. évi jelentése. Beszámoló a Magyar Karszt és Barlangkutató Társulat 1976 évi tevékenységéről, Budapest, pp. 58-59.
- Plózer I. (1977).* A Hévízi-tó forrásbarlangjának feltárása. Karszt és Barlang (1-2), pp. 65-66.
- Reska Zs. (2024).* A Hévízi-tó háromdimenziós digitális ikrének fejlesztése. Szakdolgozat. BME Építőmérnöki Kar, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék.
- Sárváry I. (1991).* A Hévízi-tó utánpótlódásának kérdései. Hidrológiai Közlöny 71. évf. 1. szám, pp. 8-20.
- Sas D. (2024).* Áramlásirány-mérő műszer fejlesztése és tesztelése. Szakdolgozat. BME Vegyész- és Biomérnöki Kar, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék.
- Solt P. (2015).* Az Amphora Búvár Klub kutatásai a Hévízi-tóban (Plózer István kutatóbúvár emlékére). A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Évi Jelentése, 2014-2015, pp. 131-142.
- Starosolszky Ö. (1984).* A Hévízi tó belső áramlásai. Hidrológiai Közlöny, 1984. 5. sz. pp. 323-332.
- Szádeczky-Kardoss E. (1941).* A Keszthelyi-hegység és a Hévíz hidrologiájáról. Hidrológiai Közlöny. 21. évfolyam, 1-6 kötet, pp. 15-28.
- Szántó E. (1993).* Hévíz. Nereus Kiadói Bt.
- Székely E. (2022).* „A Dunántúli-Középhegységi karsztvízszint-emelkedés okozta jelenségek állapotrögzítése, a várható emelkedés modellezése” projekt keretében készült Hévíz-Keszthelyi-Hegység lokális modell ismertetése a Smaragd-GSH Kft. jelentése alapján. Nyugat vizei. A Nyugat-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság hivatalos lapja, 4. évf. 1. szám pp. 4-8.
- Torma P., Reska Zs., Nagy J.B., Hajnal G., Rehák A. (2024).* Analyzing the turbulent air-water fluxes and the energy balance of a geothermal lake. IAGLR 67. éves Konferenciája, Windsor, Kanada, 2024. május 20-24.
- Tóth Gy. (2017).* A Hévízi-tó vízgazdálkodási helyzete előadás. Balatoni Részvízgyűjtő Vízgazdálkodási Tanács ülése
- Ugray K. (1953).* Kiemelkedő búvárteljesítmények. Búvárismeretek, Közlekedési Kiadó, Budapest, pp. 144.
- Weszelszky Gy. (1908).* A Hévíz tó kémiai vizsgálatának előzetes eredményei. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. Budapest 1908 II. (2). pp. 80-82.
- Weszelszky Gy. (1911).* A keszthelyi Hévízi tó termékeinek kémiai vizsgálata. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. Budapest 1911 I. (6) függelék. pp. 1-20.
- Windisch R. (1911).* Jelentés a Hévízi vízvizsgálatokról. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. Budapest 1911 I. (6) függelék. pp. 21-24.
- https://termalonline.hu/termal-hirek/kiderult-milyen-eve-volt-a-hevizi-tofurdonek#google_vignette (Utolsó leltetés: 2024.09.13.)

ASZERZŐK



NAGY JUDIT BARBARA építőmérnöki BSc oklevelét 2021-ben, majd okleveles infrastruktúra-építőmérnöki MSc diplomáját 2023-ban szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének doktorandusza. Kutatási tevékenységét alapképzéses hallgatóként kezdte, a Molnár János-barlanghoz kapcsolódó vizsgálatokkal. Doktori kutatásának témája a Hévízi-tó és térségének hidrogeológiai vizsgálata. A Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium kutatási asszisztense. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2022 óta tagja.



HAJNAL GÉZA 1993-ban a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) építőmérnöki diplomát szerzett, 1994-ben ugyanott okleveles mérnök-tanári képesítést kapott. 2002-ben PhD fokozatot szerzett. 2008-tól a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék docense, 2017 és 2020 között tanszékvezető volt. Fő kutatási területe a hidrogeológia és a vízmérleg-számítás. Kétszer nyerte el a Bolyai János kutatói ösztöndíjat (2004-2006, 2008-2010) hidrogeológiai tárgykörű kutatásaival. 2020-ban a Pécsi Tudományegyetemen megvédte irodalomtudományi disszertációját.



SZIEBERTH DÉNES 1997-ben szerzett vegyészmérnöki diplomát, 2000-ben PhD fokozatot. Tanulmányainak befejezése óta a BME Szervetlen és Analitikai Kémia tanszékén dolgozik, 2011 óta docensként. Eredeti szakterülete a kémiai reakciók mechanizmusának modellezése. Ösztöndíjasként kutatott számos egyetemen (Kaiserslautern, Leuven, Antwerpen, Edinburgh, Sendai, Torino). 2014 óta érdeklődése a karsztvizek felé fordult, a vízanalítika mellett a víz alatti barlangokban végzett mérések és mintavételek, valamint az egyedi műszerek tervezése jelentik fő kutatási irányát.



TORMA PÉTER 2011-ben szerzett építőmérnök MSc oklevelet, majd 2016-ban PhD fokozatot. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén dolgozik 2011 óta, 2019-től, mint egyetemi docens. Fulbright ösztöndíjasként a UW-Madison (USA) vendégkutatója volt a 2017/18-as tanévben. Kutatási területe a fizikai limnológia, a hidrometeorológia, különös tekintettel a víz-levegő határfelület turbulens cserefolyamatainak örvény kovariancia elvű mérésére, a tavak hőháztartása, valamint a numerikus hidrodinamikai modellezésére. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2023 óta tagja.



REHÁK ANDRÁS MIKLÓS 2009-ben a Debreceni Egyetemen környezettudományi (geográfus szakirány) diplomát szerzett. 2009-2012 között a Smaragd GSH KFT környezetvédelmi és vízgazdálkodási cégnél, majd 2012 májusa óta a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken tanszéki mérnök. 2023-ban Sztoczek József Emlékéremben részesült a laboratóriumban és terepi méréseken végzett munkájáért. Az ELTE Földtudományi Doktori Iskolájában 2018-ban abszolutóriumot szerzett a Molnár János barlanggal foglalkozó témájával.



RESKA ZSOMBOR JÁNOS 2023-ban írta első Tudományos Diákköri Konferenciára dolgozatát hidrometeorológia témában a Hévízi-tóról, mellyel 3. helyezést ért el és jelölte a kar az Országos Tudományos Diákköri konferenciára. 2024-ben a Dulovics Junior Szimpóziumon elnyerte a leginnovatívabb előadás díját és közönség díjas is lett. 2024-ben szerzett építőmérnök BSc diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. 2024 június óta a Zielinski Szilárd Építőmérnöki Szakkollégium Vízépítő tagozatának Tagozatvezetője. Jelenleg Infrastruktúra-építőmérnök mesterszakos hallgató víz- és vízi környezetmérnöki szakirányon. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2024 óta tagja.



A tükörsima felszíni – véderdő hatása a Hévízi-tavon (Fotó Nagy Judit Barbara)
The smooth-as-glass surface – The effect of shelter wood on Lake Hévíz (Photo by Barbara Judit Nagy)