

A Hévízi-tó vízháztartásának vizsgálata

Nagy Judit Barbara¹, Hajnal Géza², Szieberth Dénes³, Torma Péter⁴

¹ Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: nagy.juditbarbara@edu.bme.hu)

² Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: hajnal.geza@emk.bme.hu)

³ Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: szieberth.denes@vbk.bme.hu)

⁴ Víz tudományi és Víz biztonsági Nemzeti Laboratórium, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (e-mail: torma.peter@emk.bme.hu)

DOI:10.59258/hk.24796



Kivonat

A Hévízi-tó egyedülálló termálkarsztos forrástó, amelynek vízháztartásának megállapítása rendkívül összetett feladat. A vízmérleg számszerű meghatározását nehezíti, hogy a forráskráteren belépő források hozama közvetlenül nem mérhető. Jelen tanulmány célja a tó 2024. évi havi és éves vízháztartási mérlegének meghatározása a rendelkezésre álló monitoring adatok feldolgozásával. A vizsgálat során a vízháztartási egyenlet komponenseit – csapadék, párolgás, Északi-vízlevezető csatorna és Hévíz-folyás (Lefolyó-csatorna) vízhozamai, közvetlen vízkivételek, valamint vízszintváltozás – mérésekkel és számításokkal határoztuk meg. A párolgás számítását örvény-kovariancia mérések előzték meg, amelyből levezettük a párolgás számításához szükséges átviteli tényezőt. A látens hőáram meghatározása így az alap hidrometeorológiai paraméterek ismeretében történt. A csapadékatokat az HungaroMet meteorológiai állomás adataival egészítettük ki. Mindkét vízelvezető csatorna műtárgyánál a folyamatosan regisztrált vízhozamokat több alkalommal ellenőriztük. Az eredmények alapján a tó vízmérlegének meghatározó eleme a forrásbarlangon keresztül érkező termál karsztvíz míg a párolgás és a csapadék hozzájárulása kisebb mértékű. A 2024-es adatok alapján a tó vízszintváltozása kismértékű, mintegy 10 cm nagyságrendű. A vízháztartási mérleg alapján a forráshozam indirekt módon meghatározhatóvá vált, ugyanakkor a legnagyobb bizonytalanságot a kifolyó vízhozamok mérési hibái és a zsilipek üzemeltetési sajátosságai okozzák. Ennek kiküszöbölésére saját fejlesztésű áramlásmérő eszköz fejlesztését kezdtük el, amely lehetőséget biztosít a forrásbarlangból kilépő víz sebességének közvetlen meghatározására. Az eredmények hozzájárulnak a Hévízi-tó hidrológiai működésének pontosabb megértéséhez és a fenntartható vízgazdálkodási döntések megalkotásához.

Kulcsszavak

Hévízi-tó, vízháztartási egyenlet, termálkarszt, monitoring-rendszer, vízhozammérés, hidrogeológia, hidrometeorológia.

Investigation of the water balance of Lake Hévíz

Abstract

Lake Hévíz is a unique thermal karst lake, fed by springs and featuring a complex water balance system. The unknown discharge of the springs entering through the crater makes it difficult to quantify this balance. This study aims to determine the monthly and annual water balance of the lake for 2024 using available monitoring data. During the analysis, the components of the water balance equation – precipitation, evaporation, discharge through the northern and southern outlets, direct water withdrawals, and water level changes – were determined using measurements and calculations. Evaporation estimation was based on eddy covariance measurements, from which the transfer coefficient was derived. The latent heat flux was subsequently calculated using routine hydrometeorological parameters. Precipitation data were supplemented with data from a meteorological station operated by the Hungarian Meteorological Service. Discharge measurements at both outlet structures were verified on multiple occasions. The results show that the dominant component of the lake's water balance is the inflow from the thermal karst springs entering through the spring cave, while evaporation and precipitation have a smaller contribution. Based on the 2024 data, water level fluctuations were minor, on the order of approximately 10 cm. The spring discharge could be indirectly estimated by closing the water balance; however, the greatest uncertainties arise from measurement errors in the outflow discharge and from operational characteristics of the sluice structures. To reduce these uncertainties, the development of a self-designed flow measurement device has been initiated, enabling the direct determination of flow velocity at the spring cave outlet. The results contribute to a more accurate understanding of the hydrological functioning of Lake Hévíz and support informed decision-making for sustainable water management.

Keywords

Lake Hévíz, water balance, thermal karst, monitoring system, discharge measurement, hydrogeology, hydrometeorology.

BEVEZETÉS

A Hévízi-tó a Dunántúli-középhegység termálkarsztos forrásrendszere által táplált forrástó. A meleg vízű tó hidrológiai, hidraulikai és hidrogeológiai szempontból egyedülálló, miközben turisztikai és gyógyászati hasznosítása

révén kiemelkedő társadalmi és gazdasági jelentőséggel is bír. A tó működését meghatározó termálkarsztos forráscsoport azonban érzékenyen reagál mind a természetes, mind az antropogén hatásokra, ami indokoltá teszi a vízháztartási folyamatok vizsgálatát. Mindemellett a vízháztartási

egyenlet számszerű meghatározásával lehetővé válik a társadalom szükségleteivel – jelen esetben a turisztikával, rekreációval – való hatékonyabb összehangolás.

A térség karsztvízháztartása a 20. század második felében jelentős változásokon ment keresztül, ugyanis az 1950-es évektől meginduló, regionális léptékű bányászati vízkimelések következtében a karsztvízszintek jelentősen csökkentek (Rétvári és Tóza 1998). A Hévízi-tó esetében mindez a forráshozam és a vízhőmérséklet csökkenésében is megmutatkozott (Kádár 1972, Böcker 1975a, 1975b, 1978, Horányi és Sugár 1975, Müller 1975, Lorberer 1979).

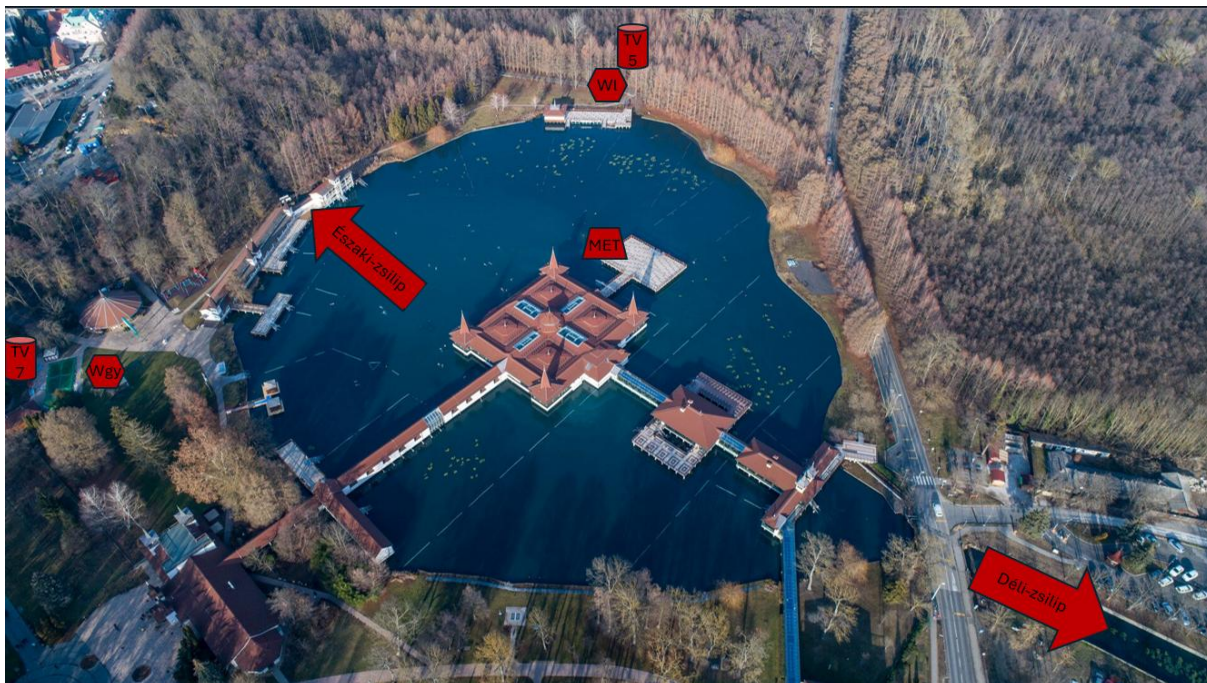
A Hévízi-tó vízháztartásának meghatározására a korábbiakban részlegesen került sor, melynek fő oka a tóba belépő, azt tápláló, valamint a tó áramlásának legmeghatározóbb elemét jelentő források vízhozamának mérése jelenti. A tó legmélyebb pontján található forrásbarlangba ugyanis több forrás is belép, mint a felszín alatti karsztos víztartó rendszer különböző áramlási pályáinak megcsapolódása, eltérő hőmérséklettel, valamint vízhozammal. Ezen források hozama, hőmérséklete, illetve helye is változott az idők során és ennek közvetlen mérése is komoly kihívást jelentett.

A Hévízi-tó vízháztartásának vizsgálatában meghatározó szerepet játszottak a 20. század második felében végzett vízhozam-megfigyelések. Szilágyi és társai (1984) részletes sorozatmérések alapján rámutattak arra, hogy a forrásbarlangból kiáramló víz közvetlen vízhozammérése műszaki okokból nem megoldható, ezért a forráshozam elsősorban a kifolyó vízhozam és a vízszintváltozás együttes

figyelembevételével becsülhető. Vizsgálataik során egyértelművé vált, hogy az egyedi vízhozammérések jelentős szórást mutathatnak, míg a többórás sorozatmérések közép vízhozam értéke maximálisan csak 9%-os hibával terhelt. A mérések emellett rövid idejű forráshozam-ingadozásokra is felhívták a figyelmet, amelyek okát geofizikai hatásokban, a forráskráter időszakos eltömődésében vagy éppen a pillanatnyi tározódás/leürülés miatt létrejövő eltérésben látták.

A Hévízi-tó vízháztartására vonatkozó későbbi vizsgálatok jellemzően regionális léptékben, a karsztos utánpótlódás és a vízkitermelések összefüggésében értelmezték a rendszer működését. A tó lokális léptékű, mérési adatokon alapuló vízháztartási egyenletének egységes módszertan szerinti, havi időléptékű számszerű meghatározása azonban mindeddig nem valósult meg. Az utóbbi években rendelkezésre álló, nagyobb időbeli felbontású vízszint-, vízhozam- és meteorológiai adatsorok, valamint a monitoringrendszer célzott fejlesztése (1. ábra) új lehetőséget teremt a vízháztartási folyamatok pontosabb vizsgálatára.

A Hévízi-tó vízháztartása összetett rendszer, amelyben a domináns beérkező tagot a mélyből feltörő termálkarsztos források adják. A kilépő oldalon a vízelvezető csatornák műtárgyain távozó vízhozam jelentős, míg a párolgás, a közvetlen tó felszínére hulló csapadék, a felszíni hozzá- és elfolyás, a talajvízzel való kapcsolat szerepe alárendelt. A tó vízszintváltozásán keresztül a tározott vízmennyiség időbeli ingadozása ugyanakkor a vízháztartási mérleg meghatározó eleme, különösen rövidebb időléptéken vizsgálva.



1. ábra. A Hévízi-tó vízháztartási mérlegéhez szükséges mérési helyszínek. TV5, TV7: talajvízkutak, Wgy, Wl talajnedvesség- és vízhőmérséklet-mérés, MET meteorológiai állomás.

Figure 1. Measurement locations required for the water balance of Lake Hévíz. TV5, TV7: groundwater wells, Wgy, Wl soil moisture and water temperature measurement, MET meteorological station.

Jelen vizsgálat célja a Hévízi-tó vízháztartásának elemzése a 2024-es évre, a rendelkezésre álló monitoring adatok felhasználásával, különös tekintettel a vízmérleg fő

elemeinek – a forrásvizek utánpótlódása, az elfolyó vízhozam, a párolgás, a csapadék és a vízszintváltozás – számszerű jellemzésére. A tanulmány célja továbbá a

vízháztartási egyenlet felállítása, bizonytalanságainak felmérése, amely hozzájárulhat a Hévízi-tó hidrológiai működésének mélyebb megértéséhez, valamint a tó hosszútávú, fenntartható vízgazdálkodásához, a klímaváltozás hatásának kimutatásához.

A tó hidrológiai jellemzői, levezető műtárgyak

A Hévízi-tó egy természetes termálkarszt-forrás felett kialakult forrástó. A tó vízfelülete 46 350 m², térfogata 127 950 m³, átmérője közel 250 m. A tó túlfolyó vízszintje 108,80 mBf, átlag mélysége 2,76 méter, a forrásbarlang bejáratának mélysége 38 méter, a tó vizének napi utánpótlása jelenleg kb. 39 millió liter, a víz becsült tartózkodási/kicszerelődési ideje 3-4 nap (*Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. 2007*). 1996-ban a déli zsilipet átalakították, azóta a tó átlagos üzemvízszintje 108,78 mBf, vízszintje 108,73-108,83 mBf szint között tartható, uszadékkezelés esetén az engedélyezett minimális vízszint 108,47 mBf (*Vas Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztály 2022*).

A tóból északon és délen két zsilipen keresztül történik a tó vízhozamának elvezetése. 2017 és 2023 között ezek a műtárgyak rekonstrukción estek át, melynek célja a Hévízi-tó vízszintszabályozási és vízkormányzási rendszerének felújítása, valamint a vízhozammérő rendszerek rekonstrukciója volt. Az Északi-zsilip egy az Északi-vízlevezető csatorna 0+012 km szelvényében kialakított 0,94 m nyílású, fektethető acél zsiliptábla. A műtárgynál a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (NYUDUVIZIG) kezelésében található automata vízszintregisztráló segítségével az átbukás függvényében számítják a vízhozam értékét.

A Déli-zsilipen a tó vízhozamának nagyjából ¾-ét vezetik le. A kombinált műtárgyat (két zsilip három kamrával) a Hévíz folyáson (2+727 és 2+740 km szelvény között) alakították ki. A felső zsilipen nincsen átbukás, csak az uszadék elvezetése esetén. A középső kamrához érkezik a zsilip alatt átvezetett NA 800 mm átmérőjű EMAP vízhozammérő cső, melyben egy ultrahangos vízhozammérő került elhelyezésre. A telepített vízhozammérő rendszert a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő (továbbiakban Gyógyfürdő) üzemelteti. A tó vízszintjének szabályozását az alsó zsiliptábla biztosítja, ahol a két szélső kamrá történik a túlfolyó víz elvezetése.

A VÍZHÁZTARTÁSI MÉRLEG TAGJAI

Csapadék

A Hévízi-tó közvetlen környezetében a vizsgált időszakra vonatkozóan nem állt rendelkezésre teljes, folyamatos csapadékmérési adatsor. A vízháztartási számításokhoz ezért a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató adatbázisából származó csapadékadatokat (3. ábra) használtuk fel. A tóhoz legközelebbi, Keszthely–Tenyészt (azonosító: 26505) meteorológiai mérőállomás napi csapadékadatait szolgálták az idősor kiegészítésére (URL).

A módszer bizonytalanságát elsősorban a lokális csapadékesemények, záporok térbeli változékonysága jelenti, azonban a tó vízháztartásában a csapadék szerepe kisebb

jelentőségű, így a regionális állomás adatai megfelelő közelítést biztosítanak az éves és havi mérlegszámításokhoz.

A 2. ábrán látható az általunk 2023 nyarán a tóközépen található központi fürdőépület teraszán felállított hidrometeorológiai mérőállomás által mért csapadékidősről, valamint a Keszthely–Tenyészt mért napi csapadékok. Több hónapos idősről alapján azt tapasztaltuk, hogy a csapadékösszegekben nincs nagy eltérés: a fenti időszakban mindössze 4 mm. A korreláció értéke erős, $R=0,72$ a két adatsor között.

Párolgás

A telepített (majd a fürdőépület lezárása miatt azóta ideiglenesen üzemben kívül helyezett) hidrometeorológiai mérőállomás rögzítette többek között a szélsőbességet és -irányt, a léghőmérsékletet, a relatív páratartalmat, a szelvényes és látens hőáramokat, a csapadékot, valamint a rövid- és hosszuhullámú sugárzási komponenseket (*Reska és társai 2025*). A telepített műszerek között szerepelt egy örvény-kovariancia műszeregység (*Foken 2008*), amely közvetlenül mérte a turbulens hőfluxusokat, így a látens (evaporatív) hőáramot vagyis a tó párolgást.

A vizsgált időszakban a fent említett meteorológiai adatokból számíthatóvá vált a látens hőáram az (1) egyenlet alapján, ahol a ρ_a a levegő sűrűsége [kg/m³], a λ a víz párolgási hője [J/kg], az U a szélsőbesség [m/s], a C_q az átviteli tényező ($C_q = 0,9 \cdot 10^{-3}$), amelyet egy TDK dolgozat (*Reska 2024*) keretében számítottunk ki. Ennek segítségével a későbbiekben az alap meteorológiai paraméterek ismeretében, örvény-kovariancia műszeregység (szónikus szélsőbességmérő és gázanalizátor, ami a 10 Hz mintázási gyakoriságnak köszönhetően a fluktuációk kovarianciájából számíthatóvá teszi a fluxust) nélkül számíthatóvá válik a párolgás értéke (*Lükő és társai 2022*). Az (1) egyenlethez szükség volt még a q_l és q_v ismeretére, ami a mérés magasságában lévő levegő és a vízfelszín feletti levegő fajlagos páratartalma [kg/kg].

$$LE \left[\frac{W}{m^2} \right] = \rho_a \cdot \lambda \cdot C_q \cdot U \cdot (q_l - q_v) \quad (1)$$

Ehhez a (2) egyenletet használtuk, ahol a p a levegő nyomása, és az e a pillanatnyi vízgőznyomás értéke, melyet a (3) egyenletből számítottunk, ahol az RH a relatív páratartalom, az E a telített vízgőznyomás.

$$q = 0.622 \cdot \frac{e}{p - 0.378 \cdot e} \quad (2)$$

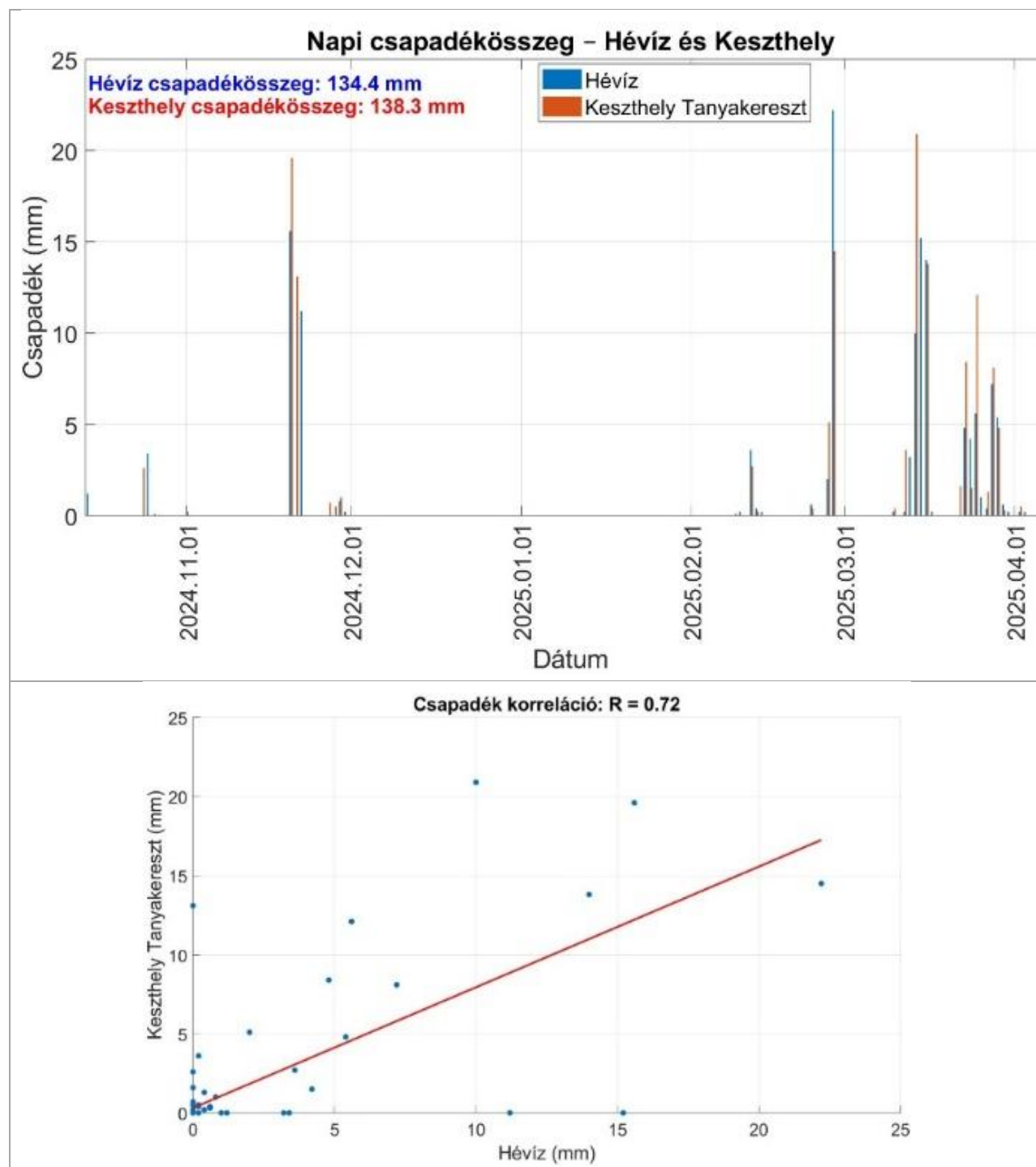
$$e = RH \cdot E \quad (3)$$

A telített vízgőznyomás meghatározása a Magnus–Tetens (4) egyenlet segítségével történt, ahol t a levegő hőmérséklete.

$$E = 6.112 \cdot \frac{17.62 \cdot t}{243.12 + t} \quad (4)$$

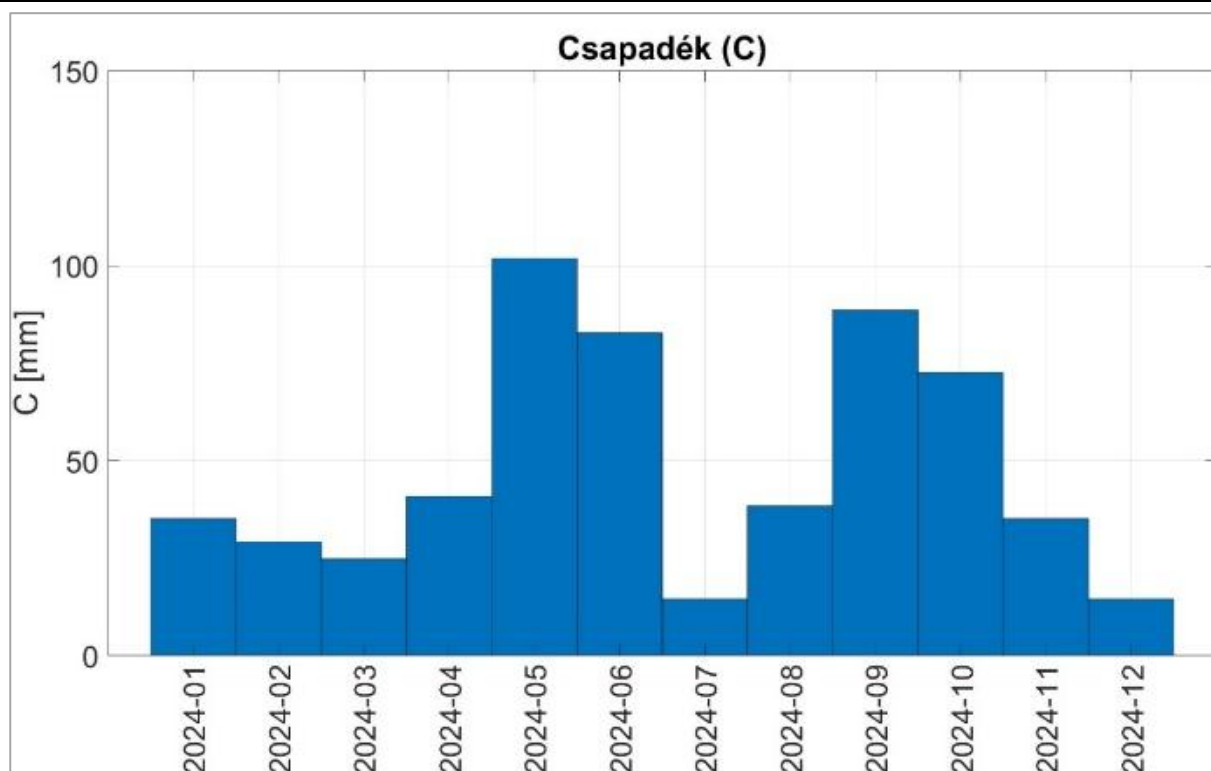
A látens hőáram számítása után már a párolgás értéke mm-ben kiszámítható a Δt időlépték és a ρ_v víz sűrűsége [kg/m³] figyelembevételével az alábbi (5) egyenlettel.

$$P [mm] = \frac{LE \cdot \Delta t}{\rho_v \cdot \lambda} \quad (5)$$

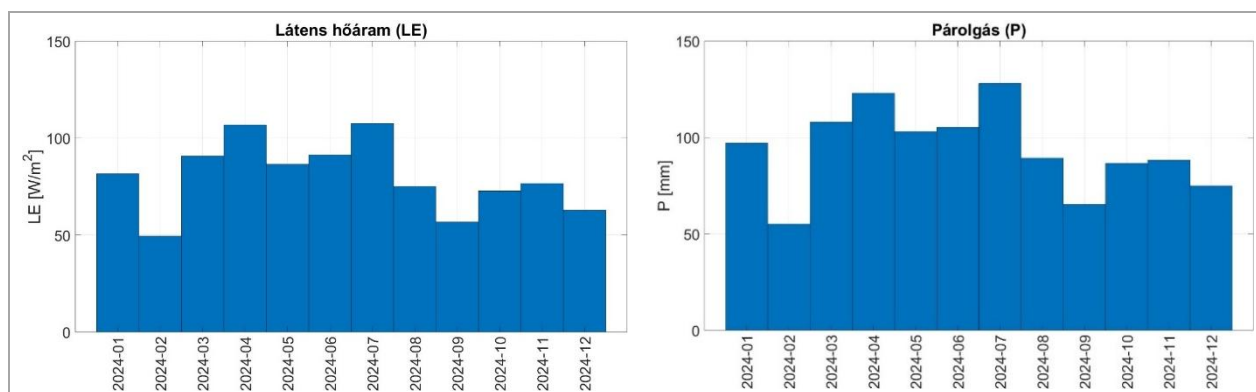


2. ábra. A Hévízi-tónál felállított meteorológiai állomás és a HungaroMet (Keszthely Tanyakereszt) állomásonál mért napi csapadék-összegek összehasonlítása

Figure 2. Comparison daily precipitation amounts measured at the meteorological station set up at Lake Hévíz and the HungaroMet (Keszthely Tanyakereszt) station



3. ábra. 2024-es havi csapadékösszegek a Hévízi-tónál
Figure 3. Monthly precipitation at Lake Hévíz in 2024



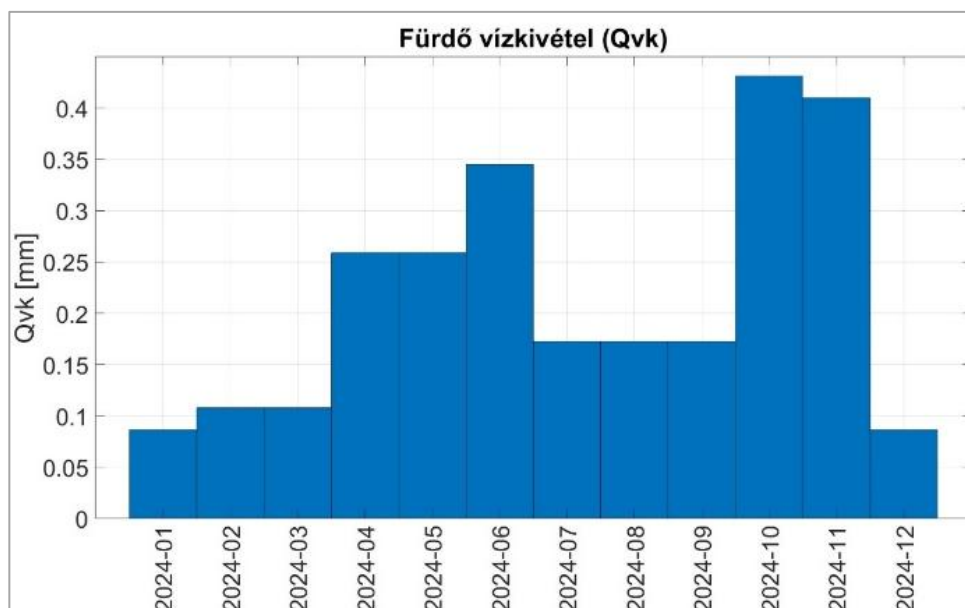
4. ábra. 2024-es havi látens hőáram (balra) és párolgás (jobbra) értékek a Hévízi-tónál
Figure 4. Monthly latent heat flux (left) and evaporation (right) values at Lake Hévíz in 2024

Február hónapban néhány napig nem üzemelt az állomás, ezért a meteorológiai adatsorban hiány lépett fel, így a látens hőáram és a párolgás értékek (4. ábra) alacsonyabbak, mint a tényleges havi értékek.

Szilágyi és társai (1984) a párolgás értékét $0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra becsülték permanens vízhozamot feltételezve, ami a mi számításaink alapján (havi átlag értékből számítva) $0,0017 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő vízfelhasználása

A Hévízi-tóból közvetlenül kivett vízmennyiség elsősorban a Tófürdő közcélú vízigényét szolgálja, amely a tó teljes vízháztartásához viszonyítva csekély mértékű. Az intézmény gyógyvízzel töltött medencéinek vízigényét két, a tó környezetében elhelyezkedő termelőkút biztosítja. A közvetlen vízkivételekre vonatkozó adatokat (5. ábra) a Gyógyfürdő bocsátotta rendelkezésünkre, amelyeket a vízháztartási mérlegben külön tételként vettünk figyelembe. Az adatokat m^3 -ben kaptuk meg, majd ebből számítottunk mm értéket, a tó felületével való osztás után.



5. ábra. A 2024-es havi közvetlen vízkivételek a tóból
Figure 5. Monthly direct water withdrawals from the lake in 2024

Vízhozam

A Hévízi-tó vízháztartásának egyik legmeghatározóbb eleme a két leeresztő műtárgyon – az Északi-zsilipen és a Déli zsilipen – távozó vízhozam. A vizsgálat során több alkalommal végeztünk ellenőrző vízhozamméréseket mindkét műtárgynál.

Az Északi-zsilip esetében az áramlási sebesség mérésére a Doppler-elven működő ADV (Nortek Vector) műszert alkalmaztunk, a szelvény geometriai felmérésével kiegészítve. A mérések során különböző bukónyi-tási állapotok mellett határoztuk meg a bukótényezőt a folytonossági egyenlet és a bukóképlet segítségével

(Nagy és társai 2025). A további alkalmak során új szelvényeknél is megismételtük, a bukó mozgatása nélkül a mérést.

A Déli zsilip esetén a mérések során folyamatosan változtatásokra volt szükség. Az általunk használt ADCP általános felhasználási területe a nagyobb, Duna méretű folyók. Ebből kifolyólag a mérési beállítások és a helyszín megfelelő megválasztása kiemelkedően fontos volt. Utóbbi esetén a kezdetekben a zsilip alatt végeztünk méréseket, azonban a későbbiek során a zsilip felett, a kemping területén (1. fénykép) találtunk egy viszonylag egyenletes áramlási szelvényt.



1. fénykép. A Déli-zsilipnél végzett közös vízhozammérés a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatósággal
Photo 1. Joint flow measurement with West-Transdanubian Water Directorate (NYUDUVIZIG) at South Lock

Az 1982-ben végrehajtott hosszú idejű sorozatmérések eredményei az alábbi, 1. táblázatban láthatóak. A hosszú idejű sorozatmérések átlagos értéke eltérő volt, 0,351 m³/s és 0,423 m³/s között változtak. A VITUKI 1981

szeptemberében és 1982 januárjában hasonló, 5 órás mérést végzett, melyek eredménye 0,360 m³/s és 0,330 m³/s volt (Szilágyi és társai 1984).

1. táblázat. Az 1982-ben végrehajtott hosszú idejű vízhozam sorozatmérések eredményei (Szilágyi és társai 1984)
Table 1. Results of the long-term flow series measurement carried out in 1982 (Szilágyi et al. 1984)

Időpont	Időtartam DT	Hozammérések száma	Nyitott zsi- lip	Dh	Átlagos forrás- hozam	3 σ	
	[h]	[db]		[cm]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[%]
Március 15-16.	18	18	D	6,1	0,351	+/- 0,030	9
április 05.	4	5	D	0	0,362	+/- 0,023	6
április 26.	8	9	D	2,3	0,386	+/- 0,015	4
április 25.	7	5+5	D, É	0	0,423	+/- 0,039	9

2. táblázat. Az Északi- zsilipnél (É) és Déli-zsilipnél (D) 2023. szeptember 5. és 2024. november 25. között végzett vízhozammérések eredményei

Table 2. Results of discharge measurements at the North (É) and South (D) Locks on September 5, 2023, and November 25, 2024

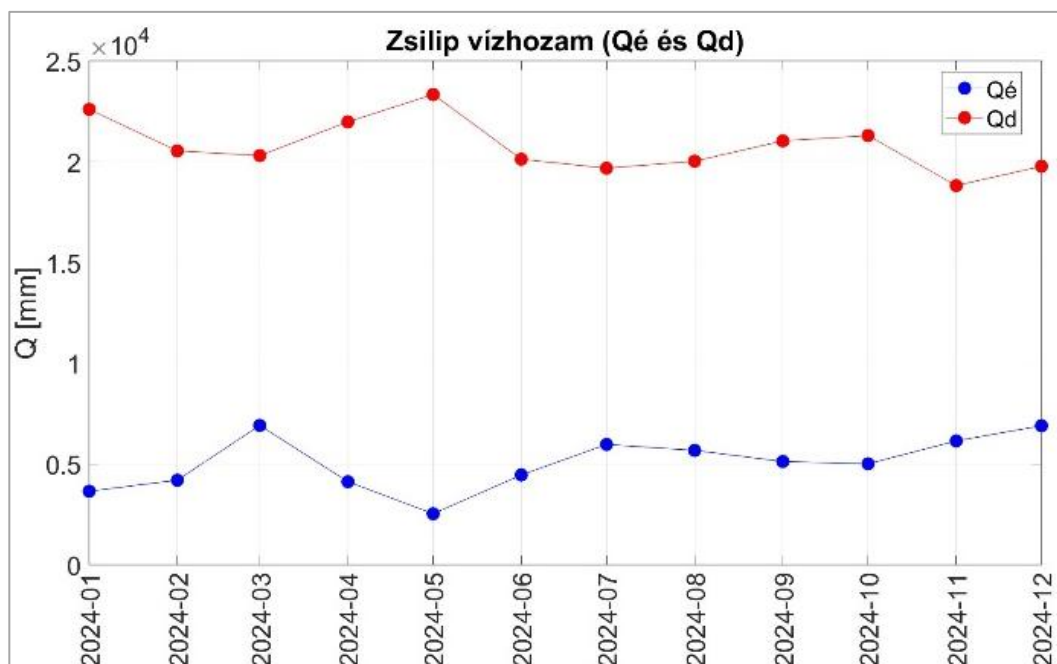
Zsi- lip	Időpont	Nyit- tás	Vízhozammérési eredmények [l/s]			Eltér- és [l/s]	Relatív hiba [%]
			BME	NYUDUVI- ZIG	Gyógyfürdő		
É	2023.09.05.	ere- deti	108	107	-	1	0,9
É	2023.09.05.	10 cm nyitás	192	191	-	1	0,5
É	2023.12.13.	ere- deti	66	71	-	-5	-7,0
D	2023.12.13.	nem	396	-	405	-9	-2,3
É	2024.01.25	ere- deti	62	61	-	1	1,6
D	2024.01.25	nem	409	-	391	18	4,6
D	2024.08.07	igen	511	-	124	387	312,1
D	2024.08.07	igen	346	-	119	227	190,8
D	2024.08.07	igen	480	-	122	358	293,4
D	2024.08.07	igen	250	-	125	125	100,0
D	2024.10.14	igen	350	-	122	228	186,9
D	2024.11.25	nem	336	-	336	0	0,0
D	2024.11.25	nem	331	-	335	-4	-1,2

A 2. táblázatban látható, hogy az Északi-zsilip esetén a vízhozammérés eredményei a NYUDUVIZIG berendezése által folyamatosan észlelt adatsorokkal jó egyezést mutatnak, a legnagyobb eltérés 7%-os hibát jelentett.

A Déli-zsilipnél az augusztusi, szeptemberi és októberi hónapokban normál esetben csak uszadék levezetésre mozgatót felső zsiliptáblákat üzemeltetési okból nyitva tartották, így a mérőrendszer kialakítása miatt a vízhozam nagyobb része méretlenül folyt át a szelvényen. Ennek következményeként több hónapon keresztül az átlagos vízhozam közel harmadára csökkent ezekben a hónapokban a beépített vízhozammérő cső adatai szerint. Az augusztusi és októberi mérések esetén ezért látható, hogy az általunk és a Gyógyfürdő kezelésében található vízhozammérő által mért vízhozamok között akár 300%-ot meghaladó eltérés is kialakult. Az általunk és a NYUDUVIZIG által végzett ellenőrző vízhozammérések alapján ezekben a hónapokban a beépített vízhozammérő által mért vízhozamok nagyjából háromszorosa

a valódi átfolyás. Ezek alapján a 2024.08.07-én mért 346 l/s-ot és a 2024.10.14-én mért 350 l/s-ot elfogadtuk.

A Déli-zsilipnél, azoknál a hónapoknál, ahol az ellenőrző mérések kis eltéréseket mutattak, a Gyógyfürdő kezelésében lévő berendezés által észlelt adatsorokkal dolgoztunk. A nyers adatokat ellenőriztük, a kiugró értékeket (pl. rövid, néhány órás zsilipnyitás az uszadékkezelés miatt) kiszűrtük. Annál a három hónapnál (augusztus, szeptember, október), amikor a Déli-zsilip végig nyitva volt, kétféle módon számítottunk vízhozamot. Az egyik esetén az ellenőrző vízhozammérésekből számított átlagértékeket határoztunk meg az adott hónapra. A másiknál a beépített műszer által mért adatsor értékeit egy arányszámmal korrigáltuk. Az arányszám az ellenőrző mérések (saját, illetve NYUDUVIZIG) és a beépített vízhozammérő adatai alapján háromszoros szorzást jelentett. Megjegyezzük, hogy ez természetesen nem felel meg a pontos vízhozamoknak, de véleményünk szerint megfelelő közelítést adhat az átfolyt vízhozam értékére. A két módszer közötti számszerű eltérés a 3. táblázatban látható.



6. ábra. 2024-es havi átlag elfolyó vízhozamok az Északi- és Déli-zsilipen
Figure 6. Average monthly discharges at the North and South locks in 2024

A Déli-zsilipnél a vízhozam-meghatározás bizonytalansága miatt további, sűrűbb ellenőrző mérések indokoltak, amelyek megvalósítása a NYUDUVIZIG-gel együttműködésben történik.

A NYUDUVIZIG ellenőrzőmérései és a Gyógyfürdő kezelésében lévő berendezés által észlelt adatsorok között 5-50 l/s-os eltérések (2-13%-os relatív hiba) jellemzőek abban az esetben, ha csak a mérőcsövön folyik át a vízhozam.

Tó és talajvíz kapcsolata

A tó és a környező talajvíz kapcsolatának feltárására 2024 októberében két kijelölt talajvízkútban (TV5 – Lótusz terasz TV7 – Gyermekmedence) vízszintregisztrálókat helyeztünk el (1. ábra). A kutak és a tó közötti szelvényben két mélységben (20 cm és 40 cm) talajnedvesség- és hőmérsékletérzékelő műszereket telepítettünk.

A rendelkezésre álló adatsor hossza a vizsgált évben korlátozott (1,5 hónap), továbbá a mérési időszakban műszaki okokból (kábel elrágása, elvágása) adathiányos időszakok is előfordultak.

A 7. ábrán látható, hogy a Lótusz terasznál elhelyezett nedvességmérő sokkal közvetlenebb kapcsolatot mutat a csapadék értékével, hiszen kisebb csapadék (0,6 mm) esetén is megnőtt a talajnedvesség értéke a felszínhez közelebb és a mélyebben elhelyezett talajnedvességmérő esetén is. A gyermekmedencénél ugyanaz a csapadék nem mutatkozik meg a talajnedvesség értékekben. Ennek oka, hogy a gyermekmedence elnevezésű mérőhely a homokkőves hegy lábánál található, míg a Lótusz Terasz a véderdő felőli,

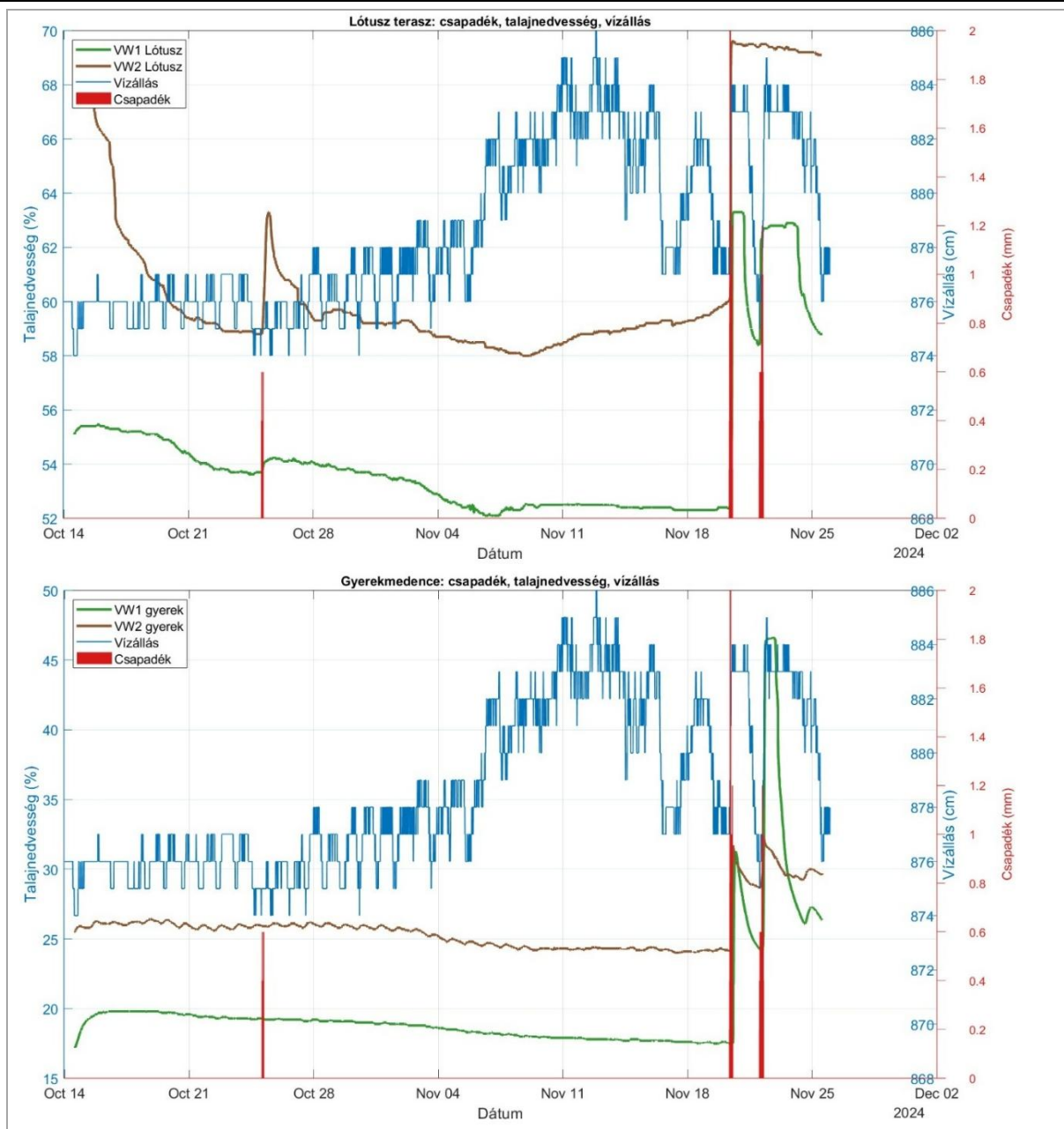
tőzeges talajjal jellemezhető oldalon. A nagyobb intenzitású csapadékeseményre (2 mm 15 perc alatt) azonban a gyermekmedencénél elhelyezett talajnedvességmérő is magasabb értékeket mért.

A talajnedvesség és a tó vízállása között ez a kapcsolat a rövid idősor alapján nem mutatható ki egyértelműen. Ugyan az idősor végén, november 20-án és november 22-én, épp a két csapadékos napon a vízállás magasabb értéket mutat, azonban az előtte lévő időszakban a magasabb vízállás nem befolyásolta a talajnedvesség értékeit a gyermekmedence esetében. A Lótusz terasznál azonban november 7-én mind a vízállásban mind pedig – kis késleltetéssel – a mélyebben elhelyezett talajnedvességmérő által mért értékekben felfutás látható.

Szilágyi és társai (1984) a munkájukban az elszívárgás értékét 0,005-0,02 m³/s-ra vette fel permanens vízhozamot feltételezve, aminek forrásaként az Aluterv-FKI 1982-es munkáját jelölik meg. Mivel nem áll rendelkezésünkre ez a forrás, így nem ismert a módszer, amivel ezt az értéket számították.

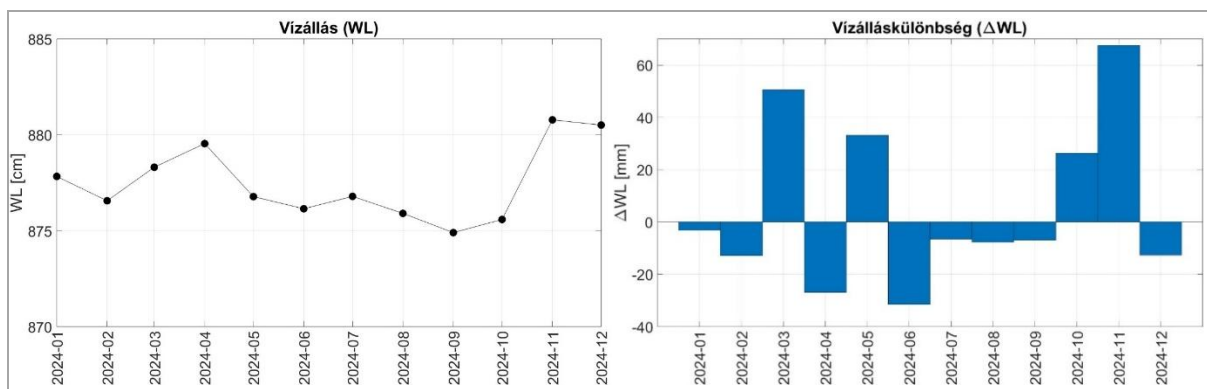
Vízszint

A vízkészletváltozás meghatározásához a NYUDUVIZIG által mért tóközép vízszint-adatsort használtuk fel. A tó vízszintingadozása a vizsgált időszakban 12 cm alatti volt (8. ábra), amelyet elsősorban a vízelvezető csatornák műtárgyainak üzemeltetése befolyásolt. A napi vízszintek változásából számítottuk a tározott vízmennyiség változását, amely a havi vízháztartási mérleg egyik meghatározó eleme.



7. ábra. Talajnedvesség, csapadék és vízállás kapcsolata

(Lótusz terasz fent, gyerekmedence lent)

Figure 7. Relationships between soil moisture, precipitation, and water level
(Lótusz terrace upstairs, children's pool downstairs)

8. ábra. A Hévízi-tó havi átlag vízállásai (balra), és a napi vízállásokból számított különbségek (jobbra)

Figure 8. Monthly average water levels of Lake Hévíz (left), differences calculated from daily water levels (right)

Vízháztartási egyenlet

A Hévízi-tó havi vízháztartási mérlegének pozitív oldalát a forrásbarlangon keresztül belépő termálkarsztos víz, a csapadék, valamint – elméleti lehetőségként – a talajvízből történő beszívargás adja.

A mérleg negatív oldalán a vízelvezető csatornák műtárgyain távozó vízhozam, a párolgás, a talajvíz irányába történő elszívargás, valamint a Gyógyfürdő vízkivétele szerepel. Mivel a források hozamának közvetlen mérése eddig nem volt megoldható, a forrásbarlangban belépő vízhozamot a vízháztartási mérleg zárásával becsültük.

A tó vízkészletének időbeli változása a beérkező és távozó vízmennyiségek különbségeként adódik:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{\text{forrás}} + C \cdot A - P \cdot A - Q_{\text{é}} - Q_D - Q_{vk} \quad (6)$$

ahol,

V a tó tározott vízmennyisége [m^3],
 $Q_{\text{forrás}}$ a forrásbarlangon keresztül a tóba belépő vízhozam [m^3/nap],
 C a tófelszínre hulló csapadék magassága [m/nap],

P a párolgás [m/nap],
 A a tó aktuális vízfelszíni területe [m^2],
 $Q_{\text{é}}, Q_D$ az Északi-zsilipen és a Déli-zsilipen távozó vízhozam [m^3/nap],
 Q_{vk} a tóhoz közvetlenül kapcsolódó vízkivételek (Gyógyfürdő) [m^3/nap].

Ez a megközelítés összhangban van a Hévízi-tónál korábban alkalmazott vízháztartási vizsgálatokkal, amelyek szintén a kifolyó vízhozamok és a vízszintváltozás alapján becsülték a források hozamát.

A vízháztartási egyenlet felírásakor feltételeztük, hogy a tó és a környező talajvíz közötti közvetlen vízcsera a vizsgált időléptékben elhanyagolható. A vízháztartási egyenlet pontosságát így a különböző tagok mérési pontossága határozza meg.

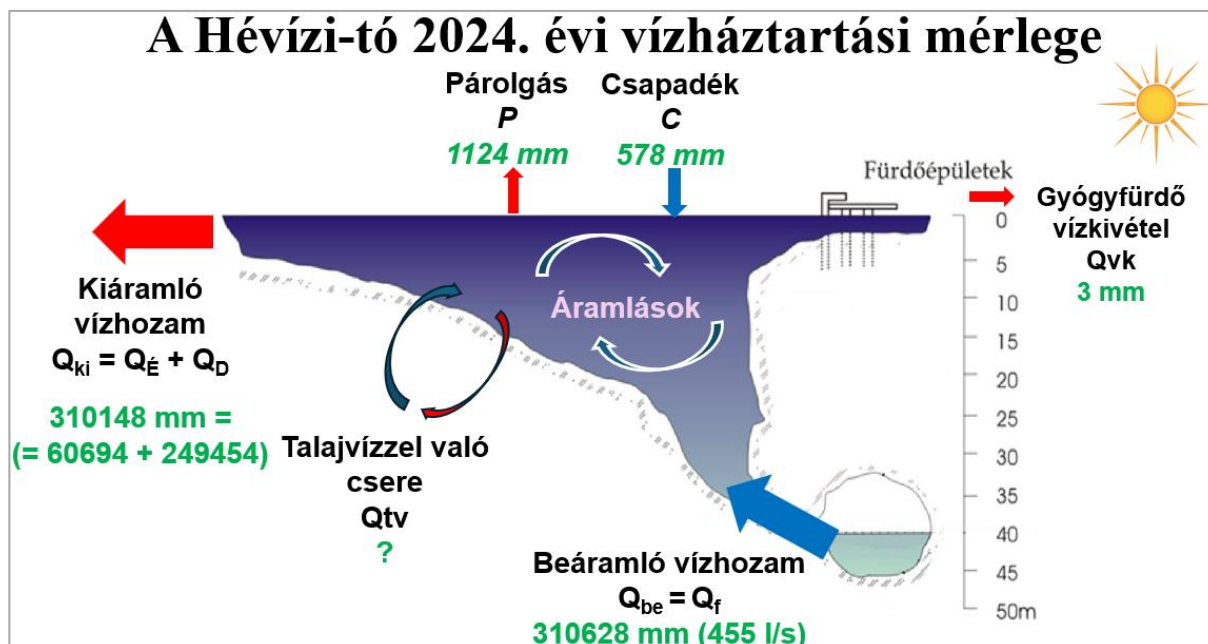
A 3. táblázat tartalmazza a havi léptékű vízháztartási egyenlet tagjait mm mértékegységben, valamint a negyedéves vízmérleget. A táblázatban feltüntetésre került a vízhozam fejezetnél felvázolt, Déli-zsilipnél alkalmazott kétféle számítási módszer, valamint az ezekhez tartozó relatív eltérés értéke.

3. táblázat Hévízi-tó havi és negyedéves vízháztartási mérlege 2024-ben
 Table 3. Monthly and quarterly water balance of Lake Hévíz in 2024

Dátum	P [mm]	C [mm]	Qé [mm]	Qd [mm]		Qvk [mm]	dWL [mm]	Qf [l/s]		Relatív eltérés [%]
				Átlagból	Szorótényező			Átlagból	Szorótényező	
2024. január	97,15	35,10	3 649,29	22 596,97		0,09	-3,13	455,32		
2024. február	55,15	29,10	4 198,61	20 532,41		0,11	-12,90	458,21		
2024. március	108,03	24,80	6 913,03	20 301,26		0,11	50,58	471,51		
2024. április	123,00	40,80	4 123,79	21 973,13		0,26	-26,88	468,62		
2024. május	103,06	101,80	2 532,98	23 329,74		0,26	33,23	447,01		
2024. június	105,30	82,70	4 456,23	20 120,83		0,35	-31,56	440,46		
2024. július	128,04	14,50	5 969,12	19 674,63		0,17	-6,56	445,85		
2024. augusztus	89,31	38,30	5 673,47	20 022,99	20 920,70	0,17	-7,71	445,70	461,23	-3,4
2024. szeptember	65,38	88,50	5 124,28	21 026,80	20 382,45	0,17	-6,98	467,35	455,82	2,5
2024. október	86,63	72,60	5 010,52	21 294,29	21 352,73	0,43	26,35	455,00	456,01	-0,2
2024. november	88,33	35,10	6 144,96	18 812,34		0,41	67,51	446,04		
2024. december	74,83	14,40	6 898,02	19 768,51		0,09	-12,65	462,73		
Első negyedév	260,33	89,00	14 760,93	63 430,64		0,30	34,55	1 385,05		
Második negyedév	331,36	225,30	11 112,99	65 423,71		0,86	-25,21	1 356,09		
Harmadik negyedév	282,74	141,30	16 766,86	60 724,41	60 977,78	0,52	-21,25	1 358,89	1 362,91	-0,3
Negyedik negyedév	249,79	122,10	18 053,50	59 875,15	59 933,59	0,93	81,22	1 363,77	1 364,78	-0,1

A 9. ábrán szemléletes módon látható a Hévízi-tóra felállított éves vízháztartási mérleg, illetve annak tagjai mm mértékegységben meghatározva. Ezek alapján egyértelműen látható, hogy a Gyógyfürdő tóból való közvetlen

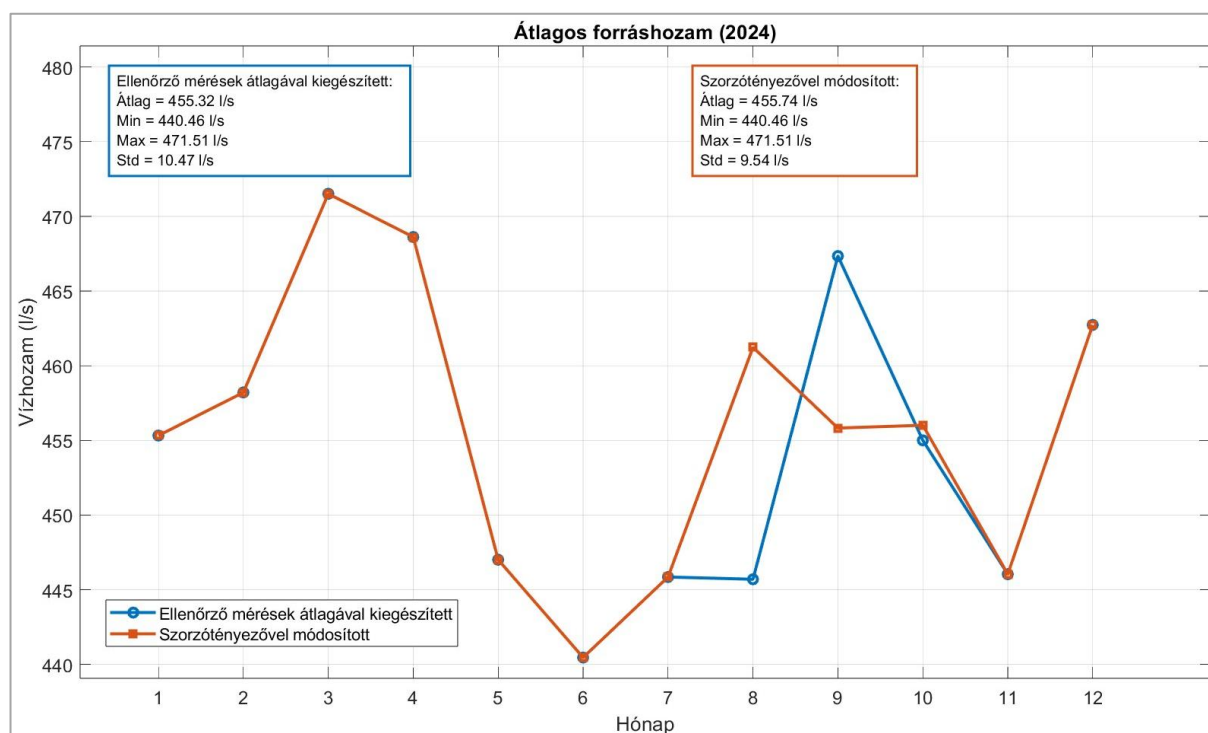
víz kivétele vízháztartási mérleg szempontjából elhanyagolható mértékű, valamint a párolgás és csapadék is sokkal kisebb nagyságrenddel szerepel, mint a forrásokból beáramló / zsílipeken elfolyó vízhozamok.



9. ábra. Hévízi-tó 2024-es vízháztartási mérlege
Figure 9. Water balance of Lake Hévíz in 2024

A 10. ábrán a kétféle módszerrel becsült havi átlagos forráshozam értékei láthatóak, alap statisztikai

paraméterekkel. Az ábra alapján a forrás hozamában szezonális mutatók mutatkozik.



10. ábra. Hévízi-tó átlag forráshozama 2024-ben
Késsel az ellenőrző mérések átlagával, narancssárgával a szorótényezővel módosított adatsor alapján számítva

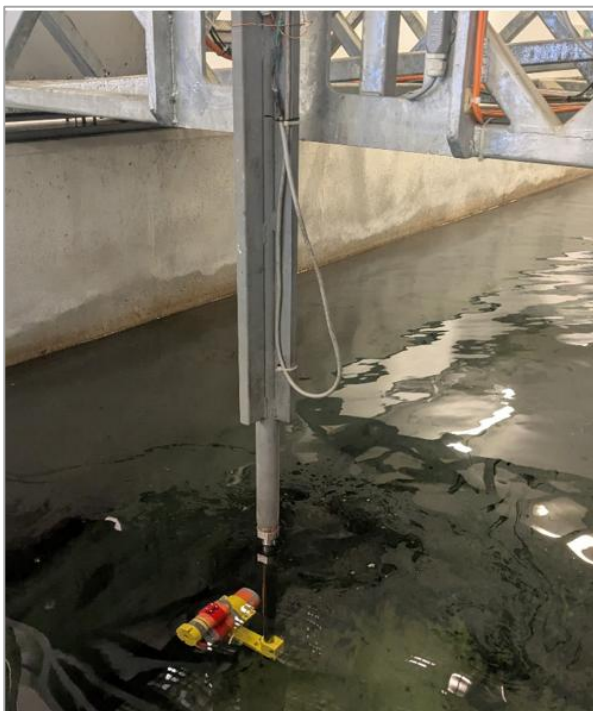
Figure 10. Average spring yield of Lake Hévíz in 2024

With blue, calculated based on the average of the control measurements; with orange, calculated based on a data set modified with a multiplication factor.

KITEKINTÉS

A központi fürdőépület jelenlegi üzemén kívüli állapota lehetőséget teremtett a forrásbarlangból kiáramló vízsebesség közvetlen mérésére egy saját fejlesztésű, forgószárnyas áramlásmérő alkalmazásával (2. fénykép). A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék laboratóriumának felújítása miatt a mérőcsatornában való kalibrációra nem volt lehetőség. A vízrajzi szolgálat számára a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVVIZIG) keretében működtetett Országos Műszerkalibrációs Labor és Vízsebességmérő Csatornájában Berke Barnabás mérnökkel (VITUKI volt munkatársa) két alkalommal több mérési tartományra kalibráltuk a műszert. A kalibrálást követően a kutatóbúvárokkal együttműködve a műszer elhelyezésre került a Hévízi-tó forrásbarlang bejáratánál,

azonban a rögzítése nem volt megfelelő, így a kalibrált műszert az áramlás elragadta. A búvárok a későbbi merülések során sem találták meg azt. Azóta a prototípus alapján egy új műszert készítettünk. Ezzel a műszerrel már megvalósultak mérések a tóban, így rövidebb időszakra rendelkezésre áll adatsor. Egy alkalommal a műszer úgy rögzítette a fordulatszámokat, hogy mellette a Déli-kifolyónál a NYUDUVIZIG munkatársaival párhuzamosan vízhozamokat mértünk. Ezen mérés segítségével egy időben ismertté válhat a tóba forrásszájon belépő és a tóból az Északi-vízlevezető csatornán, valamint a Hévíz-folyáson (Lefolyó-csatorna) elvezetett vízhozam, ehhez viszont még szükséges az új műszer utókalibrációja. Ezzel a víz-háztartási mérleg eddig ismeretlen tagjának értéke közvetlenül is meghatározható volna, pontosítható lenne a felállított víz-háztartási egyenlet.



2. fénykép. Saját fejlesztésű áramlásmérő kalibrációja és elhelyezése a forrásbarlang bejáratánál
Photo 2. Calibration and installation of the in-house developed flow meter at the entrance to the spring cave

Mindezek mellett a jövőben fontos lenne, hogy megfelelően dokumentálva legyenek a Déli-zsilip esetén az uszádekkevezetés miatti zsilipnyitások.

A tó és talajvíz kapcsolatának számszerűsítése zajlik, azonban ennek mértéke valószínűleg jóval kisebb, mint pl. a vízhozammérések hibái.

A későbbiek során fontosnak tartanánk, hogy létrejöjjön egy olyan rendszer, ahol a hévízi és Hévízi közeli termálkutak (szállodák, Gyógyfürdő) üzemeltetési rendje, vízkivétele nyomon követhető.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton is köszönjük a Hévízi Szent András Reumakórház és Gyógyfürdő munkatársainak és a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóságnak az együttműködésüket és az adatszolgáltatást, valamint Berke Barnabásnak, aki a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (KDVVIZIG) Műszerkalibrációs Labor és Vízsebességmérő Csatornájában segítette a sebességmérő műszer kalibrációját.

Nagy Judit Barbarát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program támogatta. Torma Pétert az MTA Bolyai János ösztöndíj (00906/23) támogatta.

A közleményben bemutatott kutatás az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával, a Széchenyi Terv Plusz program keretében valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Balaton Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. (2007). Hévízi-tó átfogó tóvédelmi programja, előkészítő tanulmány. A Balaton Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht., VITUKI Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht. Magyar Állami Földtani Intézet közreműködésével. <https://doi.org/10.21862/vkkv2024.339>

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. ülésszak: A szénbányászattal kapcsolatos karsztvíz kérdések. 11 p.

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

Foken, T. (2008). Micrometeorology. Springer, Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74666-9>

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.

Lorberer Á. (1979). Regionális vízföldtani vizsgálatok a Hévízi-tó tágabb környezetében. VITUKI III. C. 5. pp. 1-19.

Lükő, G., Torma, P., Weidinger, T. (2022). Intra-Seasonal and Intra-Annual Variation of the Latent Heat Flux Transfer Coefficient for a Freshwater Lake. Atmosphere, 13(2), 352. <https://doi.org/10.3390/atmos13020352>

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.

SZERZŐK



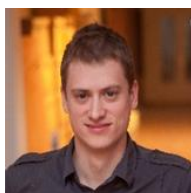
NAGY JUDIT BARBARA építőmérnöki BSc oklevelét 2021-ben, majd okleveles infrastruktúra-építőmérnöki MSc diplomáját 2023-ban szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének doktorandusza. Kutatási tevékenységét alapképzéses hallgatóként kezdte, a Molnár János-barlanghoz kapcsolódó vizsgálatokkal. Doktori kutatásának témája a Hévízi-tó és térségének hidrogeológiai vizsgálata. A Víz tudományi 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 kutatózott számos egyetemen (Kaiserslautern, Leuven, Antwerpen, Edinburgh, Sendai, Torino). 2014 óta érdeklődése a karsztvizek felé fordult, a vízanalitika 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 modellezése.

Nagy J.B., Hajnal G., Szieberth D., Torma P., Rehák A.M., Reska Sz.J. (2025). A Hévízi-tó monitoring hálózata, annak fejlesztése, kiegészítése kampányjellegű mérésekkel. Hidrológiai Közöny 105. évf. 1. szám pp. 23-35. <https://doi.org/10.59258/hk.18347>

Reska Zs.J., (2024). A Hévízi-tó áramlási viszonyainak numerikus modellvizsgálata különböző időléptékek mentén. Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat, Budapest, konzulensek: Torma P., Hajnal G., Lükő G., Nagy J.B.

Reska, Zs.J., Szieberth, D., Anderson, J., Nagy, J.B., Hajnal, G., Torma, P., Wu C., Lükő, G. (2025). Sudden seasonal turnovers and circulation patterns in a large geothermal lake in Europe. In IAGLR 68th Annual Conference: Creating Great Lakes Resilience, pp. 195-195.

Rétvári L., Tóza I. (1998). An environmental conflict in Hungary: bauxite or medicinal water? Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 21: 1 pp. 71-74.

Szilágyi E., Takács L., Hamza I. (1984). Vízhozam sorozatmérések a Hévízi-tónál. Vízügyi Közlemények, LXVI. évf. 2. füzet pp. 230-238.

Vas Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztály (2022). Hévízgyógyfürdő és Szent András Reumakórház vízellátási mélyvíz üzemeltetési engedélye

URL1. <https://www.met.hu/>