

A sekély Pátkai-tározó ökológiai állapotváltozásainak nyomon követése az üledék árvaszúnyog-fauna (Diptera: Chironomidae) vizsgálata alapján

Tombor Eszter¹, Korponai János², Szabó Zoltán¹, Szalai Zoltán^{1,3}, Kóbor István⁴, Magyarai Enikő Katalin^{1,5}

¹ ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/C (e-mail: eszter.tombor@ttk.elte.hu, zoltan-szabo199@gmail.com, szalai.zoltan@csfk.org, eniko.magyarai@ttk.elte.hu)

² NKE Víz tudományi Kar, Vízellátási és Csatornázási Tanszék, 6500 Baja, Bajcsy-Zsilinszky u. 12-14. (e-mail: korponai.janos@uni-nke.hu)

³ Földrajztudományi Intézet, HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

⁴ Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 8000 Székesfehérvár, Balatoni út 6. (e-mail: kabor@kdtvizig.hu)

⁵ MTA-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoport, 1083 Budapest, Ludovika tér 2.

DOI: 10.59258/hk.16460



Kivonat

A Pátkai-tározót 1975-ben alakították ki a Velencei-tó vízellátásának szabályozására, de másodlagosan horgász-, illetve jóléti tóként is hasznosítják. A vízminőség a 90-es évektől drasztikusan leromlott valószínűsíthetően a mederkotrások elmaradása és a horgászok által vízbe szórt etetőanyag miatt, ezért a tározó csak korlátozottan alkalmas a Velencei-tó vízpótlására. Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium anyagi támogatásával megvalósuló projekt (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) keretén belül a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) vízminőség javítását és algavirágzások visszaszorítását célzó terveinek megalkotásához szeretnénk hozzájárulni a tározóból vett rövid (54 cm) üledékfurat árvaszúnyog-faunájának vizsgálatával. A fauna nagy felbontású vizsgálatával feltárhatjuk a vízminőség időbeli alakulását és a tározó életének eddigi állomásait (leeresztés, algavirágzások). Az elemzés során mértük az üledék a-klorofill tartalmát (SPDU) és egyéb geokémiai változóit (TOC: összes szerves széntartalom, TbN: összes kötött nitrogéntartalom, C/N arány) is. A tározó árvaszúnyog-közösségének időbeli alakulását vizsgálva 3 zónát tudunk elkülöníteni: a legalsó zóna faunája a tározó 1992-es leeresztésével és 1994-es visszatöltésével járó jelentős vízszintváltozásokat jelzi; a középső zónát jó oxigénellátottságot, de már mezotróf-eutróf viszonyokat jelző taxonok jellemzik; a legfelső zónát az oxigénhiányos állapotot és az eutróf-hipertróf közeget toleráló taxonok uralják. A futtatott főkomponens-analízis (PCA) egyes tengelye mentén a fajok trofikus tolerancia és oxigénigény alapján is elváltak. A vizsgált geokémiai változók közül a TOC, a TbN és az SPDU növekvő tendenciájú változása planktonikus eutrofizálódást jelezhet, amit a területileg illetékes vízügyi igazgatóság vízminőség-feltáró vizsgálati is kimutattak. Eredményeink alapján a fauna átalakulásának fontos befolyásoló a különböző eredetű tápanyagdúsulások és a tározó 1992-es leeresztése. A Víz Keretirányelv alapján is jó minőségű víz kiemelt fontosságú a tározóban, hiszen nemzetközi szinten is fontos nagy tavunk, a Velencei-tó vízpótlásának szükségessége az elmúlt években szinte kivétel nélkül felmerült. Az árvaszúnyog-fauna összetétele alapján a vízminőség javítása feltétlenül indokolt, mely a horgászat ésszerű keretek közt tartásával, a meder kotrásával, valamint a befolyó Császár-víz vízhozamának növelésével érhető el.

Kulcsszavak

Árvaszúnyog, víztározó, Velencei-tó, Pátka, eutrofizáció, humán hatás.

Changes in the ecological conditions of the shallow artificial Pátkai reservoir, based on the study of the chironomid fauna (Diptera: Chironomidae)

Abstract

The Pátkai reservoir was created in 1975 to regulate the water supply of Lake Velencei, but it is also used as a fishing and welfare lake. The water quality has deteriorated since the 90's, possibly due to the lack of dredging and the amount of bait thrown into the water by anglers. With this research supported by the National Multidisciplinary Laboratory for Climate Change (NKFIH-471-3/2021, RRF-2.3.1-21-2022-00014) we would like to contribute to the work of Central-Transdanubian Water Directorate (KDTVIZIG) for water quality improvement and algal bloom control by studying the chironomid fauna of the short (54 cm) sediment core collected from the reservoir. The high-resolution analysis of the fauna allows us to reveal the evolution of water quality and the history of the reservoir (draining, algal blooms). The analysis included measurements of the chlorophyll derivatives (SPDU) and other geochemical variables (TOC: total organic carbon, TbN: total bound nitrogen, C/N ratio) of the sediment. By examining vertically the chironomid community, we distinguished three zones: the first zone represented the significant water level changes due to the draining (1992) and refilling (1994) of the reservoir; the second zone was dominated by taxa indicating good oxygenation and mesotrophic-eutrophic conditions; the top zone was dominated by taxa tolerating oxygen deficiency and eutrophic-hypertrophic water. Along the first axis of the Principal Component Analysis (PCA), species separated according to their trophic tolerance and oxygen demand. The increasing trend in TOC, TbN and SPDU indicate planktonic eutrophication, as indicated by water quality monitoring studies by the regional water management agency. Our results suggest that nutrient enrichment and the water level changes in the 90's are the most important drivers of faunal changes. Water of good quality is a priority for the reservoir, as the need to replenish the water of Lake Velencei has been raised in recent years. The water quality improvement can be achieved by restricting angling, dredging the reservoir and increasing the inflow of the Császár-víz.

Keywords

Chironomids, reservoir, Lake Velencei, Pátka, eutrophication, human impact.

BEVEZETÉS

Empirikus bizonyítékok megerősítik, hogy a felmelegedés és az emberi tevékenység együttes hatása a különböző tengerszint feletti magasságban található tavak ökológiai közösségeiben előre nem várt mértékű változásokat okozott, amelyek veszélyeztetik a tavak stabil működési rendszerét (*Dearing és társai 2014, Haliuc és társai 2020, Szabó és társai 2020*). A tavi ökoszisztémákat érő atmoszférikus szennyezések (fokozott nehézfém-, nitrogén- és foszforterhelés légköri kiülepedésből, szerves szennyezők légköri bekerülése) és a magashegységekben jelentkező, az átlagosat meghaladó hőmérsékletemelkedés (*Valerio és társai 2015*) jelentős hatást gyakorol az életközösségekre.

A Duna-vízgyűjtő egyik legjelentősebb állóvizeként tartjuk számon a Velencei-tavat, Európa egyik legnyugatibb sztyepptavát. Területe 25 km², de jelentős részét nádasok fedik. Sekély (átlagosan 1,5 m mély), erősen feltöltött állapotú tó. Vízellátása (saját vízpótló rendszerének működtetése ellenére) rapszodikus, vízszintje változó. A Velencei-tó turisztikai jelentőségét növeli a fővároshoz közeli fekvése. A tóba a vízgyűjtő 67%-áról vizet szállító Császár-vízen két tározó létesült, melyeknek elsődleges hasznosítási célja a Velencei-tó vízpótlásának biztosítása. A Zámolyi- és a Pátkai-tározók üzemeltetésével fürdési idejében a minimális vízszint 90%-os valószínűséggel a 120 cm-es agárdi vízállás felett marad. A vízpótlás során a Császár-vízzel érkező szervesanyagok és tápanyag negatív hatással van a Velencei-tó természetvédelmi területén mérhető vízminőségre is, ez a vízminőségromlás elsősorban az algák fejlődését elősegítő foszforkoncentráció növekedésében és a víz a-klorofill tartalmának emelkedésében nyilvánul meg. Létesített és természetes vizek esetén is természetes folyamat ugyan az eutrofizálódás, de a turisztikailag, társadalmilag és ökológiailag is nagy jelentőségű Velencei-tó nyílt vizes területének vízellátása szempontjából a tározók vízminőségének javítása és fenntartása kulcsfontosságú lenne (*VGT3 2020*).

Közleményünkben a Velencei-tó vízminőségét a vízlevezetés révén jelentősen befolyásoló Pátkai-tározó árvaszúnyog-faunájának vizsgálatára fókuszálunk, amely során megállapítjuk, hogy ez a környezeti hatásokra, főképp a legmelegebb hónap középhőmérséklet-változásaira érzékenyen reagáló (*Eggermont és Heiri 2012*) makrogerinctelen közösség milyen változásokat mutat az általunk vizsgált üledékszakaszon, és hogy az átalakulásért mely környezeti változók és vízügyi beavatkozások lehetnek felelősek. A vizsgálat az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium projekt keretében (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) valósul meg. Kutatásunk jó alapot szolgáltat ahhoz, hogy a projekt keretén belül más vizsgálati módszereket is segítségül hívva meghatározhassuk azt a faunaösszetételt és vízkémiai paraméteregyüttest, amely a Velencei-tó vízpótlása szempontjából is elfogadható vízminőséghez kapcsolódik. Ismert tény, hogy a tavak biztonságos működési keretén belül a rendszer kismértékű ingadozást mutat az alapállapot körül, de még visszaáll eredeti állapotába (*Wang és társai 2012, Dearing és társai 2014*), míg a nagyobb hatások egy teljesen új, az eredetitől jelentősen eltérő rendszert is létrehozhatnak, ami a Pátkai-tározó esetében a tartósan rossz vízminőség eredményekép-

pen már esélyesnek látszik. Ennek magállapításához és a biztonságos működési keret felállításához nagy segítséget és alapot nyújt a tározó árvaszúnyog-közösségének vizsgálata. Az eredmények birtokában az RRF projekt keretében javaslatokat fogalmazunk meg az elmúlt években tapasztalható algavirágzások (*VGT3 2020*) elkerüléséhez és a vízminőség javításához.

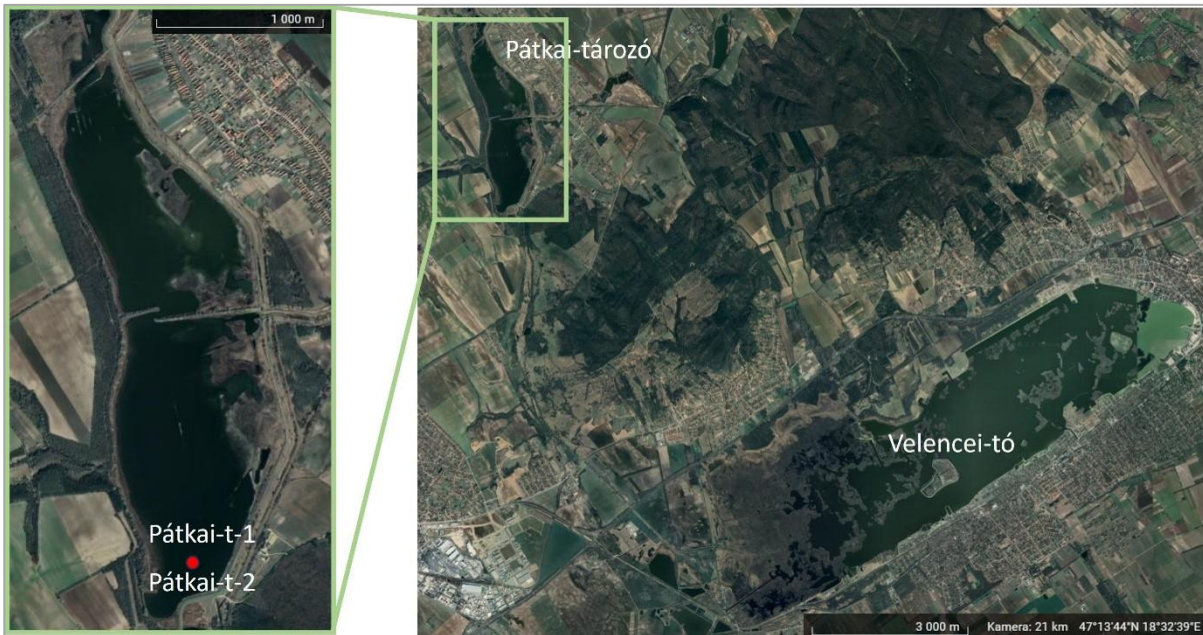
A KDTVIZIG és az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) által közzétett vízminőségi adatok, illetve a médiában rendszeresen megjelenő, halpusztulásokról tudósító hírek (<https://sokszinuvidek.24.hu/viragzo-videkunk/2024/01/26/remalomma-valt-a-patkai-viztarozo-tortenete-leuritik-es-lehalasszak-a-tavat/>) alapján úgy gondoljuk, hogy az árvaszúnyog-fauna összetétele a tározó létrehozása óta jelentős átalakuláson ment keresztül, elsősorban a tápanyagtartalom növekedése és a vízben oldott oxigéntartalom csökkenése miatt. Kutatásunk legfontosabb célja ennek a hipotézisnek az alátámasztása vagy cáfolása, valamint az egyéb, az árvaszúnyog-együttes összetételét befolyásoló hatótényezők feltárása.

Az árvaszúnyog-eredmények értelmezését segítette és alátámasztotta az üledékből elemzésre került teljes szerves széntartalom, összes kötött nitrogéntartalom, szén/nitrogén arány, illetve SPDU (a-klorofill) és szemcseméreteloszlás is.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgált terület bemutatása

A vizsgált tavunk az 1974-ben a Császár-víz visszaduzzasztásával létesített Pátkai-víztározó (*1. ábra*), amely a Zámolyi-tározóval együtt a Velencei-tó vízutánpótlását biztosítja. A mindössze 137 mBf magasságban található dombvidéki tározó területe 2,9 km², átlagos vízmélysége 2,5 m. Befolyó vízfolyásai a Császár-víz és a Rovájka-patak. Napjainkban horgászparadicsom és kedvelt üdülőövezet, de eredeti funkcióját csak korlátozottan tudja betölteni. Jelen állapotában szinte csak kora tavasszal vagy késő ősszel, télen alkalmas a tározó vize (*KDTVIZIG 2023*) a Velencei-tó vízpótlására a magas, a hipertróf határértéket akár kilencszeresen meghaladó a-klorofill tartalom miatt. A vízminőség a tározóban a 90-es évektől bizonyítottan nem volt jó, a 2000-es években pedig már 500 mg/m³ körüli éves klorofillcsúcsokat mértek (*KDTVIZIG 2023*). A vízminőségromlás okait viszont nem ismerjük pontosan, azok nincsenek tudományos igényvel feltárva. Feltételezések szerint a legfőbb ok a kotrások hiánya miatt felhalmozódott mederüledék, illetve a horgászok által beszórt nagy mennyiségű etetőanyag, amivel rengeteg plusz tápanyag kerül a vízbe (*VGT3 2020*). Egy öt napon keresztül, öt mérőponton, napi egyszeri mérési gyakorisággal végzett vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a Császár-vízen keresztül a Velencei-tóba vezetett víz minősége a megtett kb. 10 km alatt számottevően nem javult, a tóba jutó víz klorofilltartalma érdemben nem változott meg (<https://444.hu/2021/10/07/olyan-rossz-minosegunek-bizonyult-a-patkai-tarozo-vize-hogy-nem-lehet-beleengedni-a-velencei-toba>), ezért kulcsfontosságú, hogy a tározó vízminősége javuljon. A tározó vízminőség-monitorozását jelenleg a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság székesfehérvéri laboratóriumában végzik.



1. ábra. A Pátkai-tározó és az egymás melletti fúrásponatok (Pátkai-t-1 és Pátkai-t-2) elhelyezkedése (Google Earth)
Figure 1. Location of the Pátkai reservoir and adjacent drilling points (Pátkai-t-1 and Pátkai-t-2) (Google Earth)

Üledék-mintavétel

A Pátkai-tározó árvaszúnyog-faunáját és geokémiai jellemzőit a tó déli részéről (É.sz. 47,25°, K.h. 18,49°) származó rövid üledékfuratból vizsgáltuk (1. ábra). Az üledék-mintavétel 2022 szeptemberében zajlott gravitációs fúró segítségével 110 cm-es vízborítás alól. Ennek során két üledékfuratot vettünk, melyek közül a feldolgozott furat (Pátkai-t-2) hossza 54 cm volt. Az üledékfuratot 1 cm-enként osztottuk almintákra, és a további vizsgálatokig 4 °C-on tároltuk.

Laboratóriumi mérések

TbN, TOC, C/N mérések

A feldolgozott furatból 2 cm-enként 1-1 cm³ almintát vettünk az üledék összes szén (TC), szerves szén (IC) és összes kötött nitrogéntartalmának (TbN) meghatározásához. Az összes széntartalmat és az összes kötött nitrogéntartalmat Dumas-elven elemanalizátorral (Elementar varioMacroCube), a szerves széntartalmat (IC) pedig IC kemencével kombinált infravörös analizátorral (Shimadzu TOC-L SSM5000) határoztuk meg. Az összes szerves szén mennyiségét az összes szén és szerves szén különbsége alapján (TOC = TC - IC) számítottuk ki.

SPDU (klorofill-származékok) mérése

A fosszilis pigmentek, köztük a klorofill jól használható paleoökológiai alkalmazáshoz, amely kulcsfontosságú választ nyújthat a történelmi változásokra, a tavi produkcióra vagy a primer produkció összetételére (Smol és társai 2001) vonatkozóan. A paleopigment maradványok (SPDU: Sedimentary Pigment Degradation Unit) meghatározásához a furat minden centiméteréből vett mintákból (1 cm³) acetonnal kioldottuk a klorofilltartalmat, majd ülepítés után a folyadékfázisban spektrofotométerrel 666 nm és 750 nm hullámhossztartományban mértük az abszorbanciát. A szilárd fázis tömegét az acetoneleparólogtatása és tömegállandóságig tartó szárítás után határoztuk meg.

A paleopigment-tartalmat Vallentyne (1955) képlete alapján számoltuk a minták szárazanyag-tartalmához viszonyítva.

Szemcseméreteloszlás meghatározása

Az analízis előtti fizikai előkezelés – 130 W teljesítményű és 28 kHz frekvenciájú ultrahangos kezelés (McCave és Sivitski 1991) – az aggregátumok diszperzióját segítette, míg a kémiai előkezeléseket a ragasztóanyagok (a szerves anyag és a CaCO₃) eltávolítására használtuk (Gee és Bauder 1986). A kémiai előkészítéshez nátrium-pirofoszfátot alkalmaztunk (Madarász és társai 2012) hidrogén-peroxidos kezeléssel kiegészítve a szerves anyag eltávolítása céljából. A hidrogén-peroxid az eloszlásfüggvényt a finomabb szemcsék felé tolja el a szerves kötőanyagok hatásának a megszűnése kapcsán. A szemcseméreteloszlás meghatározását lézerdiffrakciós szemcseanalizátorral (Horiba gyártmányú LA-950) végeztük.

Az árvaszúnyog-fauna vizsgálata

A rovarok osztályán belül a kétszárnyúak (Diptera) rendjébe tartozó árvaszúnyogok családja (Chironomidae) széleskörűen használt indikátor a paleoökológiai kutatásokban. Az árvaszúnyogok lárvái szinte minden vizes és nedves élőhelyen nagy mennyiségben megtalálhatóak és rövid életciklussal rendelkeznek, aminek jelentős részét a víztestben töltik (Brooks és társai 2007). Jól ismert az érzékenyséjük a legmelegebb hónap középhőmérséklet-változásaira (Eggermont és Heiri 2012), de szintén érzékenyen reagálnak a tápanyagtartalom, a tavi élőhelyek és a táplálékforrás összetételének megváltozására (Holmes 2014). A lárvák kitinizált fejkapszulája a leggyakoribb fellelhető maradvány a tavi üledékekben (Brooks és társai 2007).

Az árvaszúnyoglárvák vizsgálata a Pátkai-tározó esetében nedves minták elemzése alapján történt. A feldolgozott üledék mennyisége változó volt a fejkapszulaszám függvényében (4-10 cm³). Az elemzés 5 cm-es felbontásban történt, de két egymást követő cm összevonásával (pl.

1-2 cm, 4-5 cm, 9-10 cm, 14-15 cm stb.). A néhol igen alacsony fejkapszula-koncentráció miatt az 1-2 cm és 4-5 cm minták, illetve a 49-50 cm és 53-54 cm minták összevonásra kerültek (3. ábra). A reprezentativitás eléréséhez minimum 45-50 db fejkapszula elemzése ajánlott (Heiri és Lotter 2010), de ezt a számot az elemzett minták összevonásával sem sikerült elérni a furat alján és tetején, ami az eredmények bizonytalanságát okozza. További minta felhasználását nem tartottuk szerencsésnek az egyéb vizsgálatok mintaiigénye miatt.

Az árvaszúnyoglárva fejkapszuláit 10%-os KOH oldatban való melegítés (15 perc, 85 °C) és 100 mikronos szűrés után Bogorov-számlálótálcáról (Gannon 1971), 40-szeres nagyítású sztereomikroszkóp alatt válogattuk ki, majd a fejkapszulákat az azonosításhoz Euparal® tartóközegben tárgylemezre rögzítettük. A fajok és fajcsoportok meghatározása Brooks és társai (2007) és Andersen és társai (2013) határozói alapján történt Olympus CX41 mikroszkóp segítségével 100-400-szoros nagyításon. A fajokat táplálkozásuk szerint csoportosítottuk Luoto és Nevalainen (2015) leírásához igazodva, ez alapján az üledékben előforduló fajokat szűrőgető (a vízoszlopban lebegő és oldott nagyon finom szemcsés szerves anyaggal táplálkozó), gyűjtőgető (az aljzaton található szemcsés törmelékkel táplálkozó), aprító (élő vagy lebomló növényi szövetekkel és durvább szemcsés szerves anyagokkal táplálkozó), illetve ragadozó (más állatokkal táplálkozó) csoportba soroltuk. A taxonok trofitási preferencia szerinti csoportosítása Brooks és társai (2007) és Moller Pillot (2013) trofitási beosztása alapján történt.

Statistikai módszerek

A relatív abundancia diagramot a C2 (<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/C2Home.htm>) programmal ábrázoltuk, míg az árvaszúnyog-adatsor zónahatárait hierarchikus klaszterelemzéssel (CONISS: Grimm 1987) határoztuk meg a Psimpoll 4.27 program segítségével (<https://chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>). A változóink között feltételezett lineáris kapcsolat miatt az árvaszúnyogadatok elemzéséhez főkomponens-analízist (PCA) választottunk, ezt megelőzően az adatokon Hellinger-transzformációt végeztünk (Legendre és Gallagher 2001). A főkomponens-analízis csak a tó feltételezett újbóli feltöltésétől kezdődő furatszakszon (CH-2 és CH-3 zóna) történt, az 5%-nál magasabb relatív abundanciát mutató taxonokat bevonva. Az árvaszúnyog-diverzitás (chironomid richness), azaz a mintákban található árvaszúnyog-lárva típusok száma konstans számú leszámolt fejkapszulára vonatkoztatva (Birks és Line 1992) az egyik legegyszerűbb módszer a múltbéli diverzitás meghatározására (Giesecke és társai 2014). A diverzitás mérteke ritkítással (rarefaction analysis) becsülhető meg, ehhez a mintákban összesen leszámolt fejkapszulák legalacsonyabb értékét vettük alapul (Birks és Line 1992).

EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az üledék TOC, TbN, C/N arány analízise, a szemcseméret és az SPDU változásai

Az üledékből közel homogén teljes szerves szén (TOC) eloszlást mutattunk ki, az 5-6% TOC értékek nem kifejezetten magasak, de összességében növekvő tendenciát mutatnak felfelé haladva (4,44-ről 6,41%-ra) (2. ábra). A 37. centiméternél látható egy csökkenés (5,37-ről 2,55%-ra).

A furatban felfelé folyamatosan emelkedő N-tartalom figyelhető meg, ami a belső produkció növekedésére, azaz eutrofizációra utal (0,43-ról 0,73%) (Taylor és társai 2013). A KDTVIZIG által rendelkezésünkre bocsátott összes nitrogéntartalomra vonatkozó adatok (1987-2023) is növekvő trendet mutattak, megerősítve mérésünk helyességét. A legfelső (P3, 0-17 cm) zónában a TOC is emelkedett (4,9-ről 5,6%-ra), de a C/N arány csökkent (9,06-ről 8,95-re). Ez szintén megnövekedett belső tavi produkciót jelez, azaz a többlet szervesanyag a tó belső folyamataiból származott, nem a tavon kívülről (Perdue és Koprivnjak 2007), amit az SPDU növekedése is alátámaszt. Összességében a Pátkai-tározó üledéke fokozódó eutrofizálódást mutat a növekvő összes kötött nitrogén (TbN: 0,43-ról 0,73%-ra), teljes szerves szén (TOC: 4,44-ről 6,41%-ra) és a csökkenő C/N arány alapján. A növekvő nitrogéntartalomhoz hozzájárulhatott N-bemosódás vagy a légkörből kiülepedő, műtrágyákból, közlekedésből származó szerves N is (Wolfe és társai 2001).

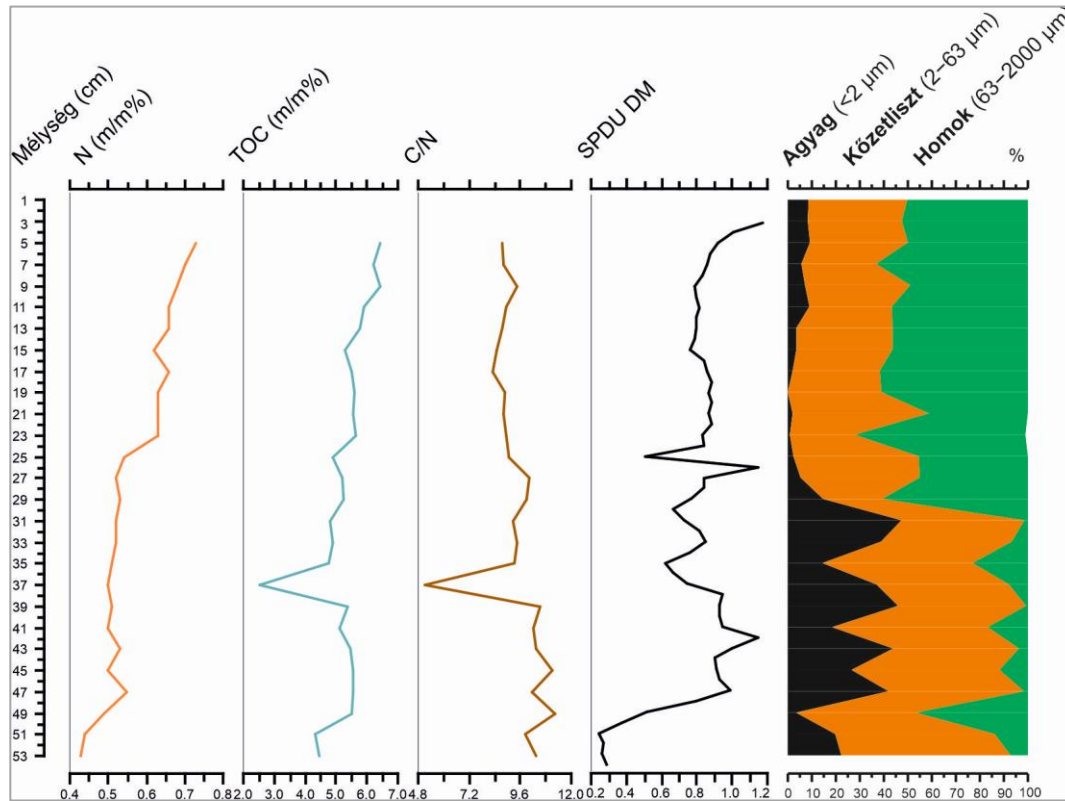
Az üledék szárazanyag-tartalmához viszonyított SPDU értékek összességében szintén növekvő tendenciát mutatnak az üledékfurat által lefedett időszakban (2. ábra), a planktonikus algák mennyiségi növekedését jelezve. Az 51. cm-től kezdődően a 47. cm-ig a klorofillszármazékok mennyiségének meredek emelkedését tapasztaltuk (0,25-től 1 ABS/gDM⁻¹). Az árvaszúnyog-fauna a következő fejezetben bemutatott változásai alapján ez a furatszaksz 90-es éveket fedi le. A 25. cm-nél egy hirtelen csökkenést mutattunk ki (1,14-ről 0,5 ABS/gDM⁻¹) majd az értékek újbóli meredek emelkedését, ami egyidejűleg a TbN és TOC adatsorban is látható volt. Ez a vízminőség rövid időn belüli gyors változására, többlettápanyag tározóba jutására utal. A legfelső üledékszakszonon, a felső 5 cm-en az SPDU értékek újbóli gyors emelkedését mértük. A gyors a-klorofill emelkedés adódhatott a tározóba jutó szervesanyag mennyiségi növekedéséből vagy az igen fiatal üledékmin-tákban még nem lebomlott pigmentek méréséből. A KDTVIZIG részéről 1986-tól állnak rendelkezésre a-klorofill adatok (bár 1991-1995 között nem történt mérés), amelyek erős fluktuációval, de szintén növekvő trendet mutattak.

Az üledék szemcseméret-eloszlása (2. ábra) jelentős változásokat mutat a furat mentén. A 31. cm-ig az agyag és a közetliszt arányának erőteljes változásai láthatók, ami a tározó vízszintváltozásaival lehet összefüggésben. Az agyagos közetliszt alkotta üledék ártéri öntéstalajnak feleltethető meg, ami szezonális áradásokra és ártéri üledék-képződésre utal. A 31. centimétertől felfelé a periodikus változás megszűnt, és az üledéket túlnyomóan homok alkotta (átlag: 54,7%), de a közetliszt is jelentős arányt kép-

viselt (átlag: 39,8%). Az agyagfrakció aránya a 11. cm-től kezdődően mutat újbóli emelkedést, de az üledék összetételéhez való hozzájárulása továbbra is alacsony marad (8% körül). Az agyagfrakció minimuma a 19. cm-nél volt mérhető, ahol az üledék egyáltalán nem tartalmazott az agyagfrakcióba tartozó méretű szemcséket, míg a maximumot a 31. cm-nél mértük (47,4%).

A kőzetliszt (iszap) magas aránya a kotrás hiányát és emiatt a tározó feliszapolódását is alátámaszthatja. Az üle-

dék összetételének változása a kisebb szemcseméretű kőzetliszt és agyag irányába (pl. 21. cm, 25-27 cm) a tópart növényzeti borítottságának növekedésére is utalhat, míg a homokfrakció felé való eltolódás a tóparti vegetáció csökkenését (Magyari 2015) vagy a Császár-víz időszakos vízhozam-változásait (Gábris 2022) jelezheti (pl. 29., 23., 7. cm). Az agyagtartalom a 19. cm-től a furat tetejéig terjedő üledékszakasban a TOC-hez és a TbN-hez hasonlóan emelkedő tendenciát mutatott (2-ről 8,7%-ra).



2. ábra. A Pátkai-tározó Pátkai-t-2 üledékéből mért összes kötött nitrogéntartalom (TbN), teljes szerves széntartalom (TOC), szén-nitrogén arány (C/N: carbon/nitrogen), a klorofillszármazékok aránya (SPDU) a száraz tömegre vonatkoztatva és a szemcseméret-eloszlás a mélység függvényében ábrázolva

Figure 2. Total bound nitrogen content (TbN), total organic carbon content (TOC), C/N ratio, ratio of chlorophyll-derivatives (SPDU) relative to dry weight and the result of the particle size analysis from the sediment of the Pátkai-t-2 gravity core

A Pátkai-tározó üledékfuratából elemzett

árvaszűnyog-fauna leírása és összetételbeli változásai

Az üledékből összesen 29 taxont határoztunk meg. Összességében a tározóra melegvízi, változó oxigén-ellátottságú, többnyire mezo-eutróf viszonyokat jelző fauna jellemző. A Pátkai-tározó árvaszűnyog-együtteseit a mélység mentén bemutató diagramon (3. ábra) CONISS alapján 3 fő zónát különítettünk el. A legélesebb váltást a faunában a 40. cm-nél tapasztaltuk. A 42. cm alatt, a P1 zónán belül (42-54 cm) az árvaszűnyog-közösség összetételét feltételezésünk szerint jelentősen befolyásolta a tározó 1992-es lecsapolása, majd 1994-es újra feltöltése (<https://geocaching.hu/poi.geo?id=17204>). A P1 zónára alacsony fajszám (15) és egyedszám (6,5 fejkapszula/cm³) volt jellemző. A zónán belül (főleg a 44,5. cm mintájában) viszonylag magas abundanciával találtuk az alacsony vízszintet, akár kiszáradt állapotot jelző fajokat is magában foglaló *Smittia/Parasmittia* taxont (10,2%) (Andersen és társai 2013), amely a tározó lecsapoló állapotával függhet

össze. A *Dicrotendipes notatus*-típus (7,6%) előfordulhat folyóvízi környezetben (Brooks és társai 2007), illetve a 44,5. cm mintájában kis abundanciában jelen lévő *Rheocricotopus effusus*-típus (3,9%) kifejezetten áramlás-kezdvelő (reofil) taxon (Brooks és társai 2007), melynek jelenléte a lecsapolás idején a területen elgátolás nélkül keresztülfolyó Császár-vízzel magyarázható. A *Chironomus plumosus*-típus (25,8%) elsősorban állóvízi, de vízfolyásokban is előforduló opportunist taxon (Brooks és társai 2007). Paterson és Fernando 1970-ben *Chironomus* fajokat azonosított egy kanadai víztározó első kolonizálóiként, ez alapján a taxon nagy gyakorisága a P1 zónán belül magyarázható a víztározó újbóli feltöltésével kialakuló új életterek gyors elfoglalásával. A magyar szakirodalomban is találunk eredményeket a sekély vízi tározók árvaszűnyog-faunájára vonatkozóan. Csépes és társai (2007, 2012) a Kiskörei-víztározó vizsgálata során az állóvízi környezetet jelölő *Chironomus plumosus*-típus elterjedését szintén a tározó létrehozásával hozták összefüggésbe;

Berczik a Velencei-tó árvaszúnyog-faunáját elemezve 1957-ben úgyszintén a *Chironomus plumosus*-típus dominanciáját mutatta ki (Berczik 1957), illetve Kucserka és társai (2008) eredményei is a *Chironomus*-t azonosították domináns csoportként a Major-tóban. Mindezek alapján az 51,5 cm mintájából feltárt fauna (a domináns *Chironomus plumosus*-típussal) a tározó lecsapolása előtti állapotot mutathatja, míg a zónán belül a 44,5. cm-ből vizsgált árvaszúnyog-közösséget a lecsapolás már jelentősen befolyásolta. Az üledékből mért SPDU-koncentráció, illetve TOC- és TbN-tartalom alapján a P1 zónán belül a lecsapolás előtti állapotot és vízminőséget jelölhetjük ki a furat által lefedett időszakon belül jó (a Velencei-tó vízpótlására alkalmas) ökológiai állapotnak, amelynek elérésére és fenntartására a vízminőség-javító intézkedések során törekedni kell.

A második zónában (P2, 17-42 cm, 3. ábra), az első zónától erősen eltérő faunát találtunk, ami a tározó eutrofizálódásával magyarázható. A *Polypedilum nubeculosum*-típus (12%) elterjedése mezo- és eutróf viszonyokra utal (Brooks és társai 2007). A legdominánsabb taxon, a *Cladotanytarsus mancus*-típus 2 (28%) változatos trofitási viszonyok között él, jelenléte általában meleg vizet és jó oxigénellátottságot jelöl (Gandouin és Franquet 2002) mezo-, illetve eutróf környezetben (Langdon és társai 2006). A *Cricotopus intersectus*-típus magas abundanciája (12,5%) és a *Glyptotendipes pallens*-típus (3,7%) jelenléte is jó oxigén-ellátottságú vizet jelez, emelkedő produktivitással (Langdon és társai 2006), valamint a vízínövényzet jelenlétét a parti (litorális) zónában (Andersen és társai 2013). A zóna közepén megjelenő *Psectrocladius sordidellus*-típus (2,3%) is kötődhet növényzethez (Brodersen és társai 2001). Az alacsony oxigéntartalmat jól toleráló *C. plumosus*-típus (Moller Pillot 2013) relatív abundanciájának csökkenése (25,8-ról 4,2%-ra) szintén alátámasztja a jó oxigénellátottságot. A *Cladopelma laccophila*-típus (7,3%), a *P. sordidellus*-típus (1,4%), a *Tanytarsus mendax*-típus (1,8%) és az *Endochironomus albipennis*-típus (2,9%) kis relatív abundanciával jelen vannak ebben a zónában, ami csökkenő pH-t, savanyodó környezetet jelezhet (Brooks és társai 2007). A zóna középső részében megjelenő *Paratanytarsus penicillatus*-típus (3,2%) és a *T. mendax*-típus is melegebb vizekhez kötődik (Brooks és társai 2007). Ezt a zónát összességében sekély vízszint), mezotróf-eutróf trofitási viszonyok, jó oxigénellátottság és savanyodó körülmények jellemezték. A fejkapszula-koncentráció (25,25 fejkapszula/cm³) és a fajszám (23) közel egyidejű tetőzése (29-35. cm) valószínűleg visszavezethető a duzzasztás miatt kialakult új élőhelyek benépesülésére. Számos szerző (Ali és társai 2002, Papas 2007, Tessier és társai 2008) pozitív összefüggést talált a makrogerinctelen közösségek diverzitása és mennyisége, valamint a vízi makrovegetáció komplexitása, heterogenitása között, így a kimutatott magas denzitás és taxonszám a növényállomány típusának változásaira is utalhat. A fajszám tetőzése akár közepes szintű zavarást is jelezhet, úgymint medertisztítást (Nagy és Andrikovics 2006) (ami a Pátkai-tározó esetében nem történt) vagy a növényzet levágását, ugyanis Csabai és társai (2001) szerint ilyenkor a növényzethez kötődő taxonok a vízbe menekülnek. Más vizsgálat megállapítása szerint a növényzet

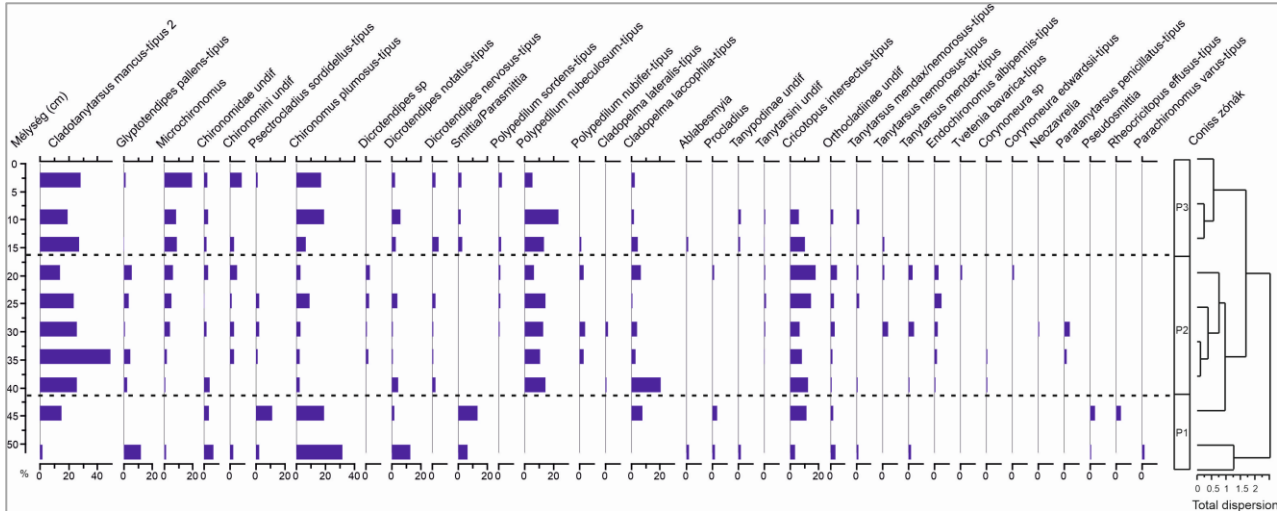
levágása nem befolyásolja a metafitikus árvaszúnyogok mintavételének hatékonyságát (Tóth és társai 2008), mert az egyedek nem menekülnek el, csak megbújnak a növények között. Szító (1997) a Kis-Balaton esetében a megnövekedett egyed- és fajszámot a magasabb oldott oxigéntartalmú környezettel magyarázta, ami a Pátkai-tározó P2-es zónájában adott volt az árvaszúnyog-fauna összetételét, azaz az oxigéntartalomra nézve szűktűrűsű taxonok magas abundanciájú jelenlétét tekintve. A magasabb oldott oxigéntartalom összefüggésben lehet vízkormányzással összefüggő vízáramlással is (Szító 1999), mert a vízmozgás miatt beoldódik annyi oxigén a vízbe, amennyi az alkalmazkodóképes árvaszúnyogfajok lárváinak már elegendő.

Méhes és társai (2017) nyugat-magyarországi tavakat és tározókat magában foglaló kutatása is elsősorban az eutróf és mezotróf vizekben jellemző, vízi vegetációhoz kötődő taxonok alkotta árvaszúnyog-együtteseket tárt fel a felszíni üledékből. Legnagyobb mennyiségben *Chironomus plumosus*-, *Dicotendipes nervosus*-, *Glyptotendipes pallens*-, *Polypedilum nubeculosum*-típusú, valamint *Microchironomus* és *Procladius* maradványokat találtak az üledékmintákban, ami a Pátkai-tározó üledékének 2. zónájában feltárt faunával igen nagy egyezést mutat.

A harmadik zóna (P3, 1-17 cm, 3. ábra) legszembetűnőbb változása a *C. plumosus*-típus relatív abundanciájának növekedése (4,2-ről 14,5%-ra), ami a tófenék oxigénellátottságának csökkenését jelzi (Moller Pillot 2013). A *C. plumosus*-típus arányának növekedése kapcsolatban állhat a szervesanyag-tartalom növekedésével (Brooks és társai 2007) is. Az alacsony oxigéntartalmat támasztja alá a *Glyptotendipes pallens*-típus arányának csökkenése is (3,7-ről 0,7%-ra) (Brodersen és társai 2001), a *C. intersectus*-típus fokozatos eltűnése és összességében a *Dicotendipes* fajok némileg magasabb aránya (6,7%) (Brodersen és Quinlan 2006). Az oxigénhiány nagy valószínűséggel a kotrás hiánya miatt a tározó aljzatára süllyedő nagy mennyiségű szervesanyag bomlására vezethető vissza (a leülepedő szervesanyag bomlása oxigént von el a környezetből). A *Smittia/Parasmittia* újbóli feltűnése (2,7%) alacsony vízszintet jelez, ami a könnyebb felmelegedésből adódóan az oxigénhiányos állapothoz szintén hozzájárulhatott. A szervesanyag-többlet származhat a Császár-víz felső szakaszán telepített halastavakból, illetve a horgászok által használt etetőanyagból is. A *Microchironomus* relatív abundanciája úgyszintén növekszik ebben a zónában (3,9-ről 12,6%-ra). Ez a két taxon (Brodersen és Lindegaard 1999) a *Polypedilum nubeculosum*-típussal együtt (Brooks és társai 2007) a fokozódó eutrofizáció indikátoraként is ismert. A vízínövényzet visszaszorulhatott a fúráspontra a furat tetején, ezt erősíti a *C. intersectus*-típus fokozatos eltűnése, az *E. albipennis*-típus eltűnése, illetve a *D. notatus*-típus és *D. nervosus*-típus csökkenése (2,9%-ra) (Brooks és társai 2007). Mindezek alapján a P3 zónát oxigénhiányos állapot, csökkenő vízínövényzet-borítottság és fokozódó trofitás jellemezte. A fajszám, a fajdiverzitás, illetve a fejkapszulaszám csökkenése szegényedő faunát jelez. Az árvaszúnyog-közösség szűkülő életviszonyait a tágtűrűsű taxonok magas relatív gyakorisága is mutatja.

Csépes és társai (2012, 2013) 2004 és 2008 közötti, a Kiskörei-víz-tározó tározóterének üledékében élő árvászúnyog-taxonjaira vonatkozó vizsgálata is a Pátkai-tározó P1-es és P3-as zónájában magas arányban jelen lévő *Chironomus plumosus*-típus nagy gyakoriságát mutatta ki a *Procladius* (*Holotanypus*) sp. és a *Chironomus annularius* fajokkal, amelyek együttesen >70%-os előfordulási gyakorisággal voltak jelen az üledékben. Ezen kívül a Kis-

körei-víz-tározóban a folyóvizekre jellemző taxonok (például a *Paratendipes* spp.) előfordulása azt jelzi, hogy a víz áramlása átmenetileg jelentős lehet az egyébként állóvízű területeken is. Ezzel szemben a Pátkai-tározó üledékében a tározó leengedésével, majd újra feltöltésével járó jelentős vízszintváltozásokat reprezentáló P1-es zónát leszámítva nem találtunk áramlásjelző taxonokat, azaz a tározó vízében jelentős mértékű áramlás nem tapasztalható a fauna alapján.



3. ábra. A Pátkai-t-2 furat üledékében található árvászúnyogfajokból készült relatív gyakorisági diagram.

A zónák megállapítása hierarchikus klaszter analízissel (CONISS) történt (Grimm 1987)

Figure 3. Relative abundance diagram of the chironomid taxa from the sediment of the Pátkai-t-2 gravity core.

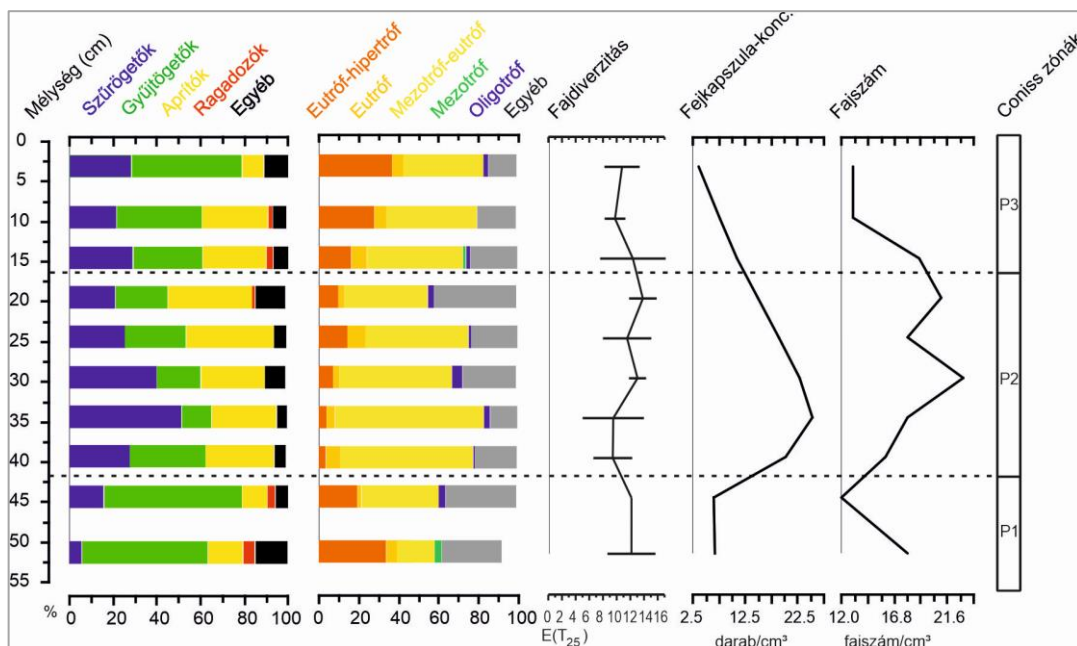
For zonation hierarchic cluster analysis (CONISS) was applied (Grimm 1987)

A Pátkai-tározó árvászúnyog-faunája – táplálkozási típusok, trofitási csoportok

A Pátkai-tározó árvászúnyog-taxonjait táplálkozási szempontjából is csoportosítottuk (4. ábra). Az alsó (P1) zónában a gyűjtőgetők magas aránya (60,1%) kevésbé finom szemcsés, a tőfenékre lerakódó szervesanyag bemosódására utal. Ez lehet a tározó 1992-es leeresztésének következménye, ugyanis 1994-ig a Császárvíz elgátolás nélkül folyt át a tározó területén, amely során behordhatott durvább szemcsés szervesanyagokat. A második zónában a szűrőgető (leginkább *C. mancus*-típus 2) és aprító taxonok aránya erőteljesen nő (10,7-ről 33,4%-ra), ami utalhat az eutrofizálódásra, a tavi tápanyagtartalom emelkedésére és a vízinövény-borítottság növekedésére (Luoto és Nevalainen 2015). A vízi növények szöveteivel táplálkozó aprítók arányának növekedése egybeesik az összes kötött nitrogéntartalom (2. ábra) 23. cm-nél tapasztalható kismértékű emelkedésével (0,54-ről 0,63%-ra), alátámasztva a fokozódó eutrofizációt. A legfelső zóna tetején az aprítók relatív gyakorisága csökken (34,1-ről 23,2%-ra), a gyűjtőgetők aránya pedig nő (40,2%) (a *C. plumosus*-típus és *Microchironomus* arányának növekedése miatt), ami a vízinövényzet visszaszorulását jelzi. A vízben lebegő és oldott, finom szemcsés szervesanyag-

gal táplálkozó szűrőgetők (Luoto és Nevalainen 2015) arányának a 35. cm-nél tapasztalható megnövekedése (28,4-ről 51,5%-ra) és a gyűjtőgetők arányának csökkenése a 37. cm-ben mérhető TOC-csökkenéssel és a C/N arány csökkenésével (2. ábra) állítható párhuzamba. Ezek a változások a külső eredetű, kevésbé finom szemcsés szervesanyag mennyiségi csökkenését jelezhetik (Perdue és Koprivnjak 2007), mivel a TbN-ben (0,5%) nem tapasztaltunk változást ennél a centiméternél.

A Pátkai-tározó faunája trofitási preferencia szempontjából is átrendeződést mutatott a tározó lecsapolását követő időszakban (42-0 cm) (4. ábra). A felső zónában emelkedett arányban jelen lévő *Microchironomus* és *Chironomus plumosus*-típus az eutróf-hipertróf vizek indikátoraként értelmezhető, illetve a *Chironomus* fajok terjedése mindenképpen növekvő trofitást jelez (Brodersen és Quinlan 2006). Ez alapján a fauna P3 zóna alján (17. cm) kezdődő átrendeződése a trofitás növekedésével is magyarázható. A *C. plumosus*-típus elterjedése a horgászok etetőanyagával, a felhalmozódó mederüledék miatt jelentkező magas foszfor-szinttel és a lebontó folyamatok intenzifikálódásából adódó gyakori anoxiával lehet magyarázható (Langdon és társai 2006).



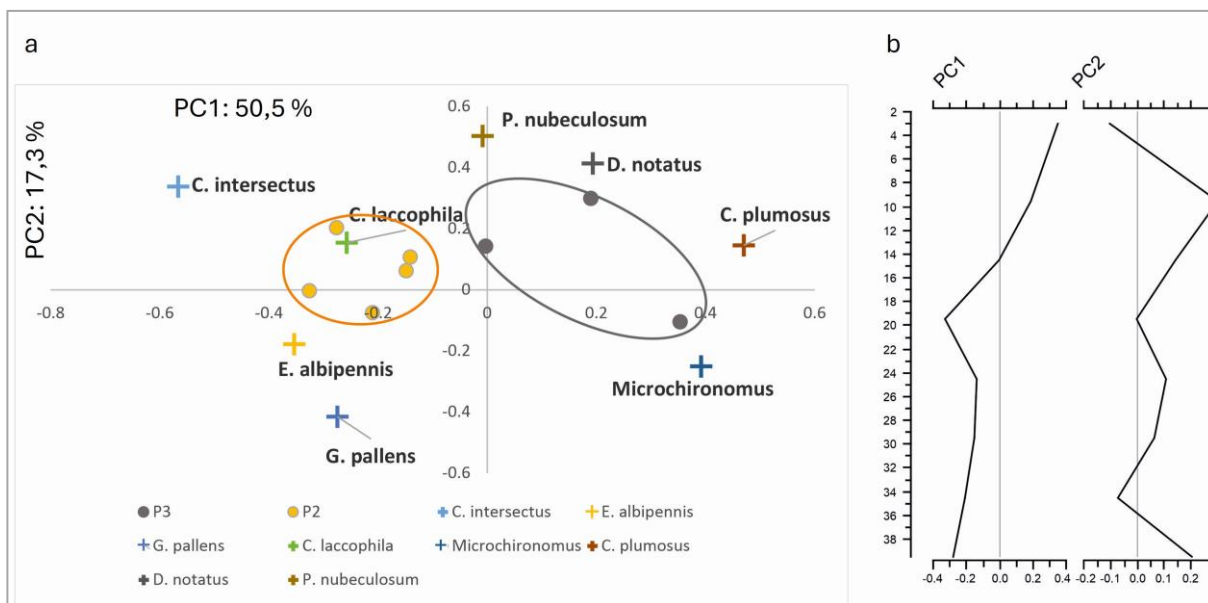
4. ábra. A Pátkai-t-2 furat üledékéből meghatározott árvászúnyog-taxonok táplálkozási típus szerinti osztályozása, trofitási tolerancia szerinti osztályozása, fajdiverzitás (chironomid richness), fejkapszula-koncentráció, fajszám. A zónák megállapítása hierarchikus klaszter analízissel (CONISS) történt (Grimm 1987)

Figure 4. Chironomid feeding guilds, composition regarding trophic tolerance, taxon diversity (chironomid richness), head capsule concentration and taxon number from the sediment of the Pátkai-t-2 gravity core. For zonation hierarchic cluster analysis (CONISS) was applied (Grimm 1987)

Milyen környezeti hatótényezők lehetnek felelősek a Pátkai-tározó árvászúnyog-közösségének változásáért?

A faunára futtatott PCA első két tengelye az összvariancia 68%-át magyarázza, az első tengely mentén az összvariancia 50,5%-át tudjuk kifejezni (5. ábra). A PC1-es tengely mentén pozitív főkomponens súlyokat („loading”) (Podani 1997) mutató taxonok a *Microchironomus* (0,39) és a *C. plumosus*-típus (0,47). Mindkét taxon relatív abundancianövekedése fokozódó eutrofizálódást jelez (Langdon és társai 2006). A PC1-es tengely mentén negatív fő-

komponens súlyokat mutató taxonok (*C. intersectus*-típus, *C. laccophila*-típus, *E. albipennis*-típus, *G. pallens*-típus) mezo-eutróf viszonyokhoz és jó oxigenizáltsághoz köthetők (Brooks és társai 2007), illetve vízínövények jelenlétét jelzik. Mindezek alapján a PC1 tengely felfogható oxigénellátottsági, trofitási, illetve vízínövény-borítottsági gradiénként. A PC2 tengely az összvariancia 17,3%-át magyarázza, a főkomponens súlyok elrendeződése alapján ökológiai értelemben a tengely nem értelmezhető a jelen kutatás során vizsgált változókat figyelembe véve.



5. ábra. Az árvászúnyog-faunára futtatott főkomponens analízis (PCA) első két tengelye mentén elhelyezkedő árvászúnyogzónák és -taxonok (a), valamint a főkomponens értékek mélység menti ábrája (b)

Figure 5. Chironomid zones and taxa along the first and second axis of the Principal Component Analysis (PCA) applied on the chironomid fauna (a) and the stratigraphic plot of the sample scores (b).

KONKLÚZIÓ

A furat által lefedett időszakban kétszer is jelentős mértékű fauna-átrendeződést tapasztaltunk. A P1 zóna fajösszetételére (42-54 cm) eredményeink alapján a vízszint változásai (a tározó 1992-es teljes leengedése, majd 1994-ben történt újbóli feltöltése) hatással voltak. A második nagymértékű átalakulás a P3 zónában (1-17 cm) a TOC, TbN és az SPDU növekvő tendenciájú változása és a trofikus státusz változásával szorosan kapcsolatban álló taxonok relatív abundancianövekedése alapján az eutrofizáció fokozódásával magyarázható. Ez alapján megerősítést nyert a feltevésünk, miszerint a növekvő tápanyagtartalom és a csökkenő oldott oxigéntartalom jelentős hatást gyakorol az árvaszűnyog-közösség összetételére. A mesterséges eredetű tavak esetében is természetes folyamat az eutrofizálódás, ám a Pátkai-tározó állapotváltozását a kotrás hiánya és a kívülről bejutott tápanyagok jelentősen felgyorsíthatják.

A Kék Bolygó Klímavédelmi alapítvány által megfogalmazott megoldási javaslatban (*Kék Bolygó Alapítvány 2022*) a Velencei-tó 2017 óta negatív vízmérlegének javítását az agárdi tisztított szennyvíz és a Rákhegy karsztvízének többlet engedése segíthetné, de a Zámolyi- és Pátkai-tározók vízminőségének javítása is szükséges a vízpótlási feladat ellátásához. Felmerült egy, a Pátkai-tározót elkerülő csatorna megépítése is, hogy a Császár-víz közvetlenül a Velencei-tóba juthasson, de ehhez a patak vízminőségén is javítani kell.

A kutatás jelenlegi állapotában a területileg illetékes vízügyi igazgatóság számára a vízminőség javítása érdekében megfogalmazható javaslataink a tározó mihamarabbi kotrása, a horgászat észszerű keretek közt tartása, valamint a befolyó Császár-víz vízhozamának növelése (vízviasztartás korlátozása). Ezek figyelembe vételével valószínűleg lehetővé válna az emberi hatásra fokozódó eutrofizáció mérséklése. Jelen helyzet fokozódásával az egyre gyakoribb száraz nyarakon számolnunk kell azzal, hogy a tározó területének nagy részét pangó víz tölti majd ki, amelyben oxigén alig lesz jelen. Az oldott oxigénszint csökkenésének és a szervesanyag növekedésének hatására az üledék-lakó árvaszűnyog-közösség már jelentős visszaszorulást mutatott a Pátkai-tározó P3 zónájában mind egyed-, mind fajszámot tekintve, de a következő években teljesen el is tűnhet a tározóból.

A munka további részében a recens árvaszűnyog-fauna vizsgálatát tervezzük, ami lehetőséget ad majd a vízi makroinvertebráták alapján történő vízminősítésre. Az Országos Vízügyi Főigazgatóság Duna részvízgyűjtőre vonatkozó információi (*OVF 2020*) között nincsenek árvaszűnyogadatok, így a tervezett vizsgálat eredményei jó kiegészítői lesznek a Duna részvízgyűjtő 2022-ben kiadott vízgazdálkodási tervének.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKFIH Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium projektjének (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) anyagi támogatásával valósult meg.

Az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékéhez tartozó Öskörnyezet- és Klímaváltozás Kutatócsoport Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium pro-

jektje (RRF-2.3.1.-21-2022-00014) a Pannon térség tavainak (pl. Balaton, Velencei-tó, Pátkai-tározó, déli-kárpáti magashegységi tavak) referenciaállapotának megadásával, a korai figyelmeztető jelenségek meghatározásával segíti majd a tervezést az ökoszisztémákra jellemző határérték-jellegű összeomlás elkerülésére a biztonságos működési tartomány meghatározásával (*Dearing és társai 2014*). Az 1975-ben létesített Pátkai-víztározót turisztikai és gazdasági jelentősége folytán tartjuk érdemesnek a vizsgálatra.

Köszönettel tartozunk Temesi Mihálynak, a velencei-tavi tófelügyelőség vezetőjének a rendelkezésünkre bocsátott hasznos információkért és adatokért. Köszönjük a KDTVIZIG, különösképpen Kiss Péter Dinnyési-fertő TT kapcsolattartó segítségnyújtását a fúrás során.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ali, A., Frouz, J., Lobinske, R.J. (2002). Spatio-temporal effects of selected physico-chemical variables of water, algae and sediment chemistry on the larval community of nuisance Chironomidae (Diptera) in a natural and a man-made lake in central Florida. *Hydrobiologia* 470, 181-193. <https://doi.org/10.1023/A:1015696615939>
- Andersen, T., Sæther O.A., Cranston, P.S., Epler, J.H. (2013). The larvae of Orthocladiinae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic Region – Keys and diagnoses. In: Andersen, T., Sæther, O. A., Cranston, P. S., Epler, J. H. (eds). *Chironomidae of the Holarctic Region. Keys and diagnoses. Larvae. Insect Systematics & Evolution, Suppl.* 66. pp. 189-386.
- Berczik Á. (1957). Chironomidák, és a tótipustan néhány hazai kérdése [Chironomiden und einige heimische Fragen der Seetypenlehre]. *Állattani Közlemények* 46/1-2. pp. 33-41.
- Birks, H.J.B., Line, J.M. (1992). The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data, *The Holocene* 2. pp. 1-10. <https://doi.org/10.1177/095968369200200101>
- Brodersen, K.P., Odgaard, B.V., Vestergaard, O., Anderson, N.J. (2001). Chironomid stratigraphy in the shallow and eutrophic Lake Søbygaard, Denmark: chironomid-macrophyte co-occurrence. *Freshwater Biology* 46(2). pp. 253-267. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00652.x>
- Brodersen, K.P., Quinlan, R. (2006). Midges as palaeoindicators of lake productivity, eutrophication and hypolimnetic oxygen. *Quaternary Science Review* 25 (15-16). pp. 1995-2012. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.020>
- Brodersen, K., Lindgaard, C. (1999). Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwater Biology*, 42. pp. 143-157. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.00457.x>
- Brooks, S.J., Langdon, P.G., Heiri, O. (2007). The Identification and Use of Palaeoartic Chironomidae Larvae in Palaeoecology. QRA Technical Guide No. 10. Quaternary Research Association, London. <https://doi.org/10.1007/s10933-007-9191-1>

- Csabai Z., Móra A., Müller Z., Dévai Gy. (2001). Az Aqualex mintavételi hatékonyságának elemzése. Hidrológiai Közlöny 81/5-6. pp. 337-338.
- Csépes E., Móra A., Aranyiné Rózsavári A., Bancsi I., Kovács P. (2007). A Kiskörei-tározó Sarudi- és Poroszlói medencéiben végzett üledék-vizsgálatok árvaszúnyog (Chironomidae) együttesekre vonatkozó faunisztikai eredményei. Hidrológiai Közlöny 87/6. pp. 61-63.
- Csépes E., Tóth M., Móra A. (2012). The chironomid fauna of the reservoir Kiskörei-tározó (Diptera: Chironomidae). Acta Biologica Debrecina Supplementum Oecologica Hungarica 27. pp. 15-26.
- Csépes E., Berényi Á., Teszárné Nagy M. (2013). A Kiskörei-tározó növényzet közötti árvaszúnyog faunájának (Diptera: Chironomidae) változása az elmúlt évek szélsőséges tiszai vízjárásának következtében. Hidrológiai Közlöny, 93. 5-6. pp. 23-26.
- Dearing, J., Wang, R., Zhang, K., Dyke, J., Haberl, H., Hossain, S., Langdon, P., Lenton, T., Raworth, K., Brown, S., Carstensen, J., Cole, M., Cornell, S., Dawson, T., Doncaster, P., Eigenbrod, F., Flörke, M., Jeffers, E., Mackay, A., Nykvist, B., Poppy, G. (2014). Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems. Glob. Environ. Chang. 28. pp. 227-238. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.012>
- Eggermont, H., Heiri, O. (2012). The chironomid-temperature relationship: expression in nature and palaeoenvironmental implications. Biol. Rev. 87 (2), pp. 430-456. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00206.x>
- Gábris Gy. (2022). A folyóvíz felszínalakító tevékenysége Magyarországon. Kiadó: Dr. Kacs Kovics Imre, az ELTE Természettudományi Kar dékánja, 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/A. p.183.
- Gandouin, E., Franquet, E. (2002). Late Glacial and Holocene chironomid assemblages in Lac Long Inférieur (southern France, 2090 m): palaeoenvironmental and palaeoclimatic implications. Journal of Paleolimnology 28(3). pp. 317-328. <https://doi.org/10.1023/A:1021690122999>
- Gannon, J. E. (1971). Two counting cells for the enumeration of zooplankton microcrustacea. Transaction of the American Microscopical Society 90. pp. 486-490. <https://doi.org/10.2307/3225467>
- Gee, G.W., Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute (szerk.): Methods for soil analyses. Part 1. (2nd ed.) Agron. Monogr. Vol 9. pp. 383-411. ASA and SSSA, Madison, WI. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- Giesecke, T., Ammann, B., Brande, A. (2014). Palynological richness and evenness: insights from the taxa accumulation curve, Vegetation History and Archaeobotany 23. pp. 217-228. <https://doi.org/10.1007/s00334-014-0435-5>
- Grimm, E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 Program for Stratigraphically Constrained Cluster Analysis by the Method of the Incremental Sum of Squares. Computer and Geosciences, 13. pp. 13-35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7)
- Haliuc, A., Buczkó K., Hutchinson, S., Ács É., Magyar E., Korponai J., Begy, R., Vasilache, D., Zak, M., Veres D. (2020). Climate and land-use as the main drivers of recent environmental change in a mid-altitude mountain lake, Romanian Carpathians. PLoS One 15. pp. 1-29. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239209>
- Heiri, O., Lotter, A.F. (2010). How does taxonomic resolution affect chironomid-based temperature reconstruction? Journal of Paleolimnology 44 (2). pp. 589-601. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9439-z>
- Holmes, N. (2014). Chironomid analysis: background, methods and geomorphological applications. Geomorphological Techniques 1 (3). pp. 1-12.
- KDTVIZIG (2023) A Közép-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KDTVIZIG) honlapján közzétett vízmérlegek (1986-2021), <http://www.kdtvizig.hu/kozep-dunantuli/vizgazdalkodas-vizszolgaltatas/csatolmanyok/velencei-to-vizmerleg>
- Kék Bolygó Alapítvány (2022). Javaslat a Velencei-tó fenntartható vízpótlására, Vízpótlási lehetőségek a tó vízhasználati feltételeinek biztosítására az időjárási szélsőségek, a területi és vízhasználati változások függvényében. A Kék Bolygó Alapítvány által felkért munkacsoport. p. 36.
- Kucserka T., Tátrai I., György Á.I. (2008). Makrozoobentosz tér- és időbeli eloszlása, valamint mennyiségi viszonyai a Kis-Balaton Tározó Major-taván [The spatial and temporal distribution of macrozoobenthos and its quantitative characteristics in Lake Major at Kis-Balaton Reservoir] – Hidrológiai Közlöny 88/6. pp. 118-120.
- Langdon, P.G., Ruiz, Z.O.E., Brodersen, K.P., Foster, I.D. (2006). Assessing lake eutrophication using chironomids: understanding the nature of community response in different lake type. Freshwater Biology 51(3). pp. 562-577. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01500.x>
- Legendre, P., Gallagher, E.D. (2001). Ecologically Meaningful Transformations for Ordination of Species Data. (September 2000). pp. 271-280. <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Luoto, T.P., Nevalainen, L. (2015). Climate-forced patterns in midge feeding guilds. Hydrobiologia 742 (1). pp. 141-152. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1973-7>
- Madarász B., Jakab G., Szalai Z., Juhas K. (2012). Lézeres szemcseösszetétel elemzés néhány előkészítő eljárásának vizsgálata nagy szervesanyag-tartalmú talajokon. Agrokémia és Talajtan 61:(2.). pp. 381-398. <https://doi.org/10.1556/agrokem.60.2012.2.11>
- Magyari E. (2015). A Kárpát-medence és DK-Európa késő pleniglaciális és holocén vegetációfejlődése különös tekintettel a gyors felmelegedési és lehülési hullámokra mutatott vegetációs válaszokra. MTA doktori értekezés. Budapest. p.176.
- McCave, N., Syvitski, J.P.M. (1991). Principles and methods of geological particle size analysis. In: Syvitski, J. P. M. (Eds.): Principles, methods and application of particle size analyses. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 3-22. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626142.003>

- Méhes N., Harangi S., Kundrá T., Korponai J. (2017). Nyugat-magyarországi tavak és víztározók árvaszúnyog (Diptera, Chironomidae) együtteseinek felmérése az üledékben megőrződött maradványok alapján. In: XIII. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia és Szakmai Találkozó (MaViGe) (2017). Program és kivonatok, szerkesztő: Móra Arnold, Pécs.
- Moller Pillot, H.K.M. (2013). HKM Chironomidae Larvae of the Netherlands and Adjacent Lowlands. Biology and Ecology of the aquatic Orhocladiinae. KNNV Publishing, Zeist. p. 270.
- Nagy B., Andrikovics S. (2006). Vízi gerinctelenek minőségi és mennyiségi változásairól egy gyakori természetvédelmi beavatkozás során (Szalajka-patak, BNP). In: III. Makroszkopikus Vízi Gerinctelenek Kutatási Konferencia (MaViGe) (2006). Programfüzet, szerkesztő: Dr. Oertel Nándor, Göd.
- OVF (2020). Az Országos Vízügyi Főigazgatóság által közreadott Vízyűjtő-gazdálkodási Tervek Duna részvízyűjtőre vonatkoztatott adatai - <https://vizeink.hu>
- Papas, P. (2007). Effect of macrophytes on aquatic invertebrates – a literature review. Freshwater Ecology, Arthur Rylah Institute for Environmental Research, Technical Report Series No. 158, Department of Sustainability and Environment, Melbourne; Melbourne Water, Melbourne, Victoria. p. 30. <https://doi.org/10.13140/2.1.1176.0327>
- Paterson, G.C., Fernando, C.H. (1970). Benthic Fauna Colonization of a New Reservoir with Particular Reference to the Chironomidae. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 27(2). pp. 213-232. <https://doi.org/10.1139/f70-030>
- Perdue, M., Koprivnjak, J. (2007). Using the C/N ratio to estimate terrigenous inputs of organic matter to aquatic environments, Estuarine, Coastal and Shelf Science Volume 73, Issues 1-2. pp. 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.12.021>
- Podani J. (1997). Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe, Scientia Kiadó, Budapest, pp. 211-219.
- Smol, J.P., Birks, H.J.B., Last, W.M. (Eds.) (2001). Tracking Environmental Changes Using Lakes Sediments. Kluwer, Dordrecht. pp. 43-66. <https://doi.org/10.1007/0-306-47671-1>
- Szabó Z., Buczkó K., Haliuc A., Pál I., Korponai J., Begy R., Veres D., Luoto T., Zsigmond A., Magyar E. (2020). Ecosystem shift of a mountain lake under climate and human pressure: A move out from the safe operating space. Sci. Total Environ. 743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140584>
- Szító A. (1997). Prognózis az üledékfauna szerepére és jelentőségére a Kis-Balaton II. ütem védőrendszerében. Hidrológiai Közlöny, 77/1-2. pp. 50-51.
- Szító A. (1999). Hínár növényeken élő árvaszúnyog fajok szezonális dinamikája és indikátor szerepe a Kis-Balaton Védőrendszer II. ütemében. Hidrológiai Közlöny, 79/6. pp. 378-380.
- Taylor, K.J., Potito, A.P., Beilman, D.W., Ghilardi, B., O'Connell, M. (2013). Palaeolimnological impacts of early prehistoric farming at Lough Dargan, County Sligo, Ireland. J. Archaeol. Sci. 40 (8). pp. 3212-3221. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.04.002>
- Tessier, C., Cattaneo, A., Pinel-Alloul, B., Hudon, C., Borcard, D. (2008). Invertebrate communities and epiphytic biomass associated with metaphyton and emergent and submergent macrophytes in a large river. Aquat. Sci. 70: 10-20. <https://doi.org/10.1007/s00027-007-0920-3>
- Tóth M., Móra A., Dévai Gy. (2008). A fitálhoz kötődő árvaszúnyoglárva-együttesek (Diptera: Chironomidae) összetételének alakulása közvetlen zavarás hatására. Hidrológiai Közlöny, 88/6. pp. 211-214.
- Valerio, G., Pilotti, M., Barontini, S., Leoni, B. (2015). Sensitivity of the multiannual thermal dynamics of a deep pre-alpine lake to climatic change. Hydrol. Process. 29. pp. 767-779. <https://doi.org/10.1002/hyp.10183>
- Vallentyne, J.R. (1955). Sedimentary chlorophyll determination as a paleobotanical method. Canadian Journal of Botany, 33(4). pp. 304-313. <https://doi.org/10.1139/b55-026>
- VGT3 (2020). Jelentős vízgazdálkodási kérdések 1-14- Velencei-tó vízyűjtő-gazdálkodási alegység, Vitaanyag, Székesfehérvár.
- Wang, R., Dearing, J.A., Langdon, P.G., Zhang, E., Yang, X., Dakos, V., Scheffer, M., (2012). Flickering gives early warning signals of a critical transition to a eutrophic lake state. Nature 492 (7429). pp. 419-422. <https://doi.org/10.1038/nature11655>
- Wolfe, A.P., Baron, S.J., Cornett, R.J. (2001). Anthropogenic nitrogen deposition induces rapid ecological changes in alpine lakes of the Colorado Front Range (USA), Journal of Paleolimnology 25. pp. 1-7. <https://doi.org/10.1023/A:1008129509322>

Internetes letöltések:

<https://sokszinuvidek.24.hu/viragzo-videkunk/2024/01/26/remalomma-valt-a-patkai-viztaro-tortenete-leuritik-es-lehalasszak-a-tavat/>

<https://444.hu/2021/10/07/olyan-rossz-minosegunek-bizonyult-a-patkai-tarozo-vize-hogy-nem-lehet-beleengedni-a-velencei-toba>

<https://www.staff.ncl.ac.uk/stephen.juggins/software/C2Home.htm>

<https://chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>

<https://geocaching.hu/poi.geo?id=17204>

<https://earth.google.com/web/>

A SZERZŐK

TOMBOR ESZTER okleveles geográfus, MSc diplomáját 2017-ben szerezte az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. 2021-től az ELTE TTK Környezettudományi Doktori Iskola Környezeti Földtudomány Programjának hallgatója, kutatási témája magashegyi tavak rövid üledékfuratainak árvésznyog- és pollenanalízise, illetve az emberi hatások kimutatása geokémiai analízis és az árvésznyog-fauna változásai alapján. 2022 óta az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium RRF-2.3.1.-21-2022-00014 projektjének munkatársa.



KORPONAI JÁNOS okleveles biológus (Kossuth Lajos Tudományegyetem, 1987), a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Vízi Környezettudományi Tanszékének vezetője. Mikroszkopikus rákok és azok maradványai alapján neo- és paleolimnológiai kutatásokat végez. Kutatásai központi témája a planktonrákok szerepének, trofikus kapcsolatainak vizsgálata vízi ökoszisztémákban, valamint az ökoszisztémák rövid- és hosszútávú változásainak elemzése. Az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium RRF-2.3.1.-21-2022-00014 projektjének munkatársa. 1983 óta a Hidrológiai Társaság tagja



SZABÓ ZOLTÁN okleveles geográfus, doktorjelölt, MSc diplomáját az ELTE TTK Környezet- és tájföldrajzi tanszékén szerezte 2018-ban. 2018-2022 között az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolájának hallgatója. Doktori témája: Árvésznyog-alapú öskörnyezet és paleoklíma rekonstrukció a Kárpáti Régióban. 2023 márciusáig az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén dolgozott mint egyetemi tanársegéd. Jelenleg a Tolna Vármegyei Kormányhivatal Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Hulladékgazdálkodási Főosztályon dolgozik környezetvédelmi szakügyintézőként. 2019 óta tagja a Magyar Hidrológiai Társaságnak.



SZALAI ZOLTÁN okleveles biológia-földrajz szakos tanár (1995) az Eötvös Loránd Tudományegyetem habilitált (2012) egyetemi docense illetve, a HUN-REN CSFK Földrajztudományi Intézet tudományos munkatársa és kutatócsoport-vezetője. Elsődleges szakterületei a környezeti földtudományok és a geoökológia, főbb kutatási területei az emberi tevékenységek táji léptékű hatásai, a talajerózió, a talaj szervesanyag-tartalmának stabilizálódása és a szerves mikroszennyezők talajban történő megkötődése.



KÓBOR ISTVÁN okleveles biológia-kémia szakos tanár (József Attila Tudományegyetem, Szeged, 1991), a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság laborvezetője, elsődlegesen tavak (Balaton, Velencei-tó), tározók és vízfolyások vizsgálatával foglalkozik. Legfontosabb feladatai folyamatos online monitoring rendszerek üzemeltetése és fejlesztése, tápanyagterhelési mérleg készítése, eutrofizációs folyamatok, algásodás vizsgálata. Szakterülete az algológia, a tavi tápanyagforgalmi viszonyok és a tápanyagterhelés. 1994 óta a Hidrológiai Társaság tagja.



MAGYARI ENIKŐ az MTA levelező tagja, biológus-ökológus (Kossuth Lajos Tudományegyetem, 1997), a földtudományok doktora (PhD, Debreceni Egyetem, 2001), egyetemi tanár az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén, illetve tudományos tanácsadó az ELKH-MTM-ELTE Paleontológiai Kutatócsoportban. Az Öskörnyezet- és Klímaváltozás Kutatócsoport és az Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium RRF-2.3.1.-21-2022-00014 alprojektjének vezetője. 2023 decemberéig tanszékvezető pozícióban dolgozott. Fő kutatási területei a pollen alapú vegetáció- és paleoklíma rekonstrukciók paleoökológiai módszerekkel Közép- és Délkelet Európában az elmúlt 30 ezer évre, a holocén és későglaciális vegetációdinamika, valamint paleogenetika.