

Trábert Zsuzsa

# **Bentonikus kovaalga vizsgálatok a Dunán a környezeti tényezők függvényében**

– *Doktori értekezés* –

DOI azonosító:  
10.15476/ELTE.2023.043

Témavezető:  
Dr. Ács Éva, DSc  
kutatóprofesszor  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Vízellátási és  
Csatornázási Tanszék

**Környezettudományi Doktori  
Iskola**  
Iskolavezető: Dr. Turányi Tamás,  
DSc

**Környezetbiológia Doktori  
Program**  
Programvezető: Dr. Tóth Erika,  
DSc



Készült:

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest  
2023

## I. Bevezetés és célkitűzések

A Duna több millió ember ivóvízellátását biztosítja. Ezen kívül kiemelt jelentőséggel bír gazdasági (vízierőművek energiatermelése, hajózás), árvízvédelmi, élelmezési (halászat), turisztikai, természetvédelmi (pl. biodiverzitás védelem) szempontból egyaránt (Sommerwerk és mtsai. 2022). A Duna jelentőségét mutatja, hogy számos nemzetközi egyezményt, kutatási és monitorozó programot hoztak létre a folyó és vízgyűjtő területe védelme érdekében (pl. Joint Danube Survey, AquaTerra Danube Survey, a TransNational Monitoring Network, Modelling Nutrient Emissions in River Systems), amelyeket az 1998 óta működő ICPDR (International Commission for the Protection of the Danube River) fogja össze (<https://www.icpdr.org/main/>). A nagy folyókban végbemenő összetett folyamatok miatt (Stojković 2017) az élőviláguk – köztük a bevonatalkotó kovaalgáké – és a folyó által biztosított környezet közötti kapcsolatok megértése és kézzel foghatóvá tétele olykor nehézkes, így többoldalú vizsgálatot igényel (Segurado és mtsai. 2018).

A kovaalgák a vízi ökoszisztémák fontos tagjai (Kelly és mtsai. 2008, Burliga és Kociolek 2016). Jelentős a biomassza termelésük (Ertl és Tomajka 1973, Rosemarin 1975, Falkowski és mtsai. 1998, Field és mtsai. 1998, Poulíčková 2008), ezáltal a táplálékhálózatok kulcsfontosságú elemei (Allan and Castillo 2007, Turner és Edwards 2012). Ellenálló, szilícium-dioxidban gazdag kovavázuk jól strukturált, amely a morfológiai elkülönítésük alapját képezi. A bevonatalkotó kovaalgák széles körben elterjedtek, a bevonatban gyakran erős dominanciát érnek el. Rögzült életmódjuknak köszönhetően hosszabb távon ki vannak téve adott környezeti hatásnak; a környezeti tényezők változására, stressz hatására fajösszetételük, mennyiségi viszonyaik megváltozásával reagálnak, ezáltal képesek hosszabb távon jelezni a vizek ökológiai állapotában végbemenő változásokat, azaz jó bioindikátorok. Továbbá, jól definiálható az egyed fogalma, valamint könnyen kezelhető, tartós preparátum készíthető belőlük. Mindezekből fakadóan a bevonatalkotó kovaalgák vízminősítésre alkalmas szervezetek (Economou-Amilli 1980, Heinonen 1984, Stevenson 1984, Watanabe és mtsai. 1988, Makovinská és Hlúbiková 2014). Ennek köszönhetően 2000-ben az Európai Unió a Víz Keretirányelv részeként – négy másik élőlény csoport mellett – a bevonatalkotó kovaalgákat felvette azon élőlények listájára, amelyek alapján kötelező rendszeresen monitorozni a felszíni vizeket, célja felszíni vizeink vonatkozásában a jó ökológiai állapot/potenciál elérése (European Union 2000, Cüneyt és Ács 2011, Ács és mtsai. 2015a).

Az állapotfelmérés során a felszíni vizek vízminőségének leírására különböző mutatókat fejlesztettek. Ezek az indexek a kovaalga együttesek fajösszetétele, illetve a taxonok relatív abundancia értékei alapján különböző tényezők (pl. szerves szennyezés, növényi tápanyag kínálat, sótartalom, pH) szempontjából jellemzik a mintát (Ács és mtsai. 2015b). A gyakorlatban a felszíni vizek állapotfelmérése során ez a fajta vízminősítés (vagyis amikor az egyes taxonok szennyezés érzékenysége és azok relatív abundanciája alapján vízminőségi mutatót számítanak a felszíni vizek ökológiai állapotának jellemzésére) terjedt el (Ector és mtsai. 2002, Kelly és mtsai. 2008, Makovinská és Hlúbiková 2014, Ács és mtsai. 2015b). A bevonatalkotó kovaalgák a Dunában szinte folyamatosan jelen vannak, változó abundanciával, ami lehetőséget teremt a folyó rendszeres vizsgálatára. A Duna esetében használt vízminőségi mutató, az ún. 'szennyezés érzékenységi index', az IPS (Indice de Pollusensibilité Spécifique) (Cemagref 1982, Lecoite és mtsai. 1993, Makovinská és Hlúbiková 2014, Ács és mtsai. 2015b), amelynek hidromorfológiai stresszorfüggése vizsgálataink elkezdésekor nem nyert igazolást (az IPS indexet elsődlegesen a tápanyag terhelés kimutatására fejlesztették ki). A kovaalga fajok nemcsak szennyezés érzékenységük alapján jellemezhetők, hanem csoportosíthatjuk őket funkcionális jellegeik, ún. traitek alapján is, amelyek szintén stresszor- és diszturbancia függők (Tapolczai és mtsai. 2016). A traitek olyan morfológiai, fiziológiai vagy fenológiai tulajdonságok, amelyek egyedi, sejtés és szervezeti szinten egyaránt mérhetők, és vizsgálatuk nem igényli a környezeti feltételek vagy egyéb szerveződési szintek ismeretét

(Violle és mtsai. 2007). Az elmúlt bő egy évtizedben egyre nagyobb figyelem irányult a traitekre mint az ökológiai állapotértékelés lehetséges jövőbeli (kiegészítő) eszközeire (Berthon és mtsai. 2011, Rimet és Bouchez 2012). Közülük is eleinte az ún. kovaalga ökológiai csoportok (korábbi elnevezésük szerint 'guildek') voltak e munkák fókuszában (Passy 2007, Rimet és Bouchez 2012), ennél fogva kutatótársaimmal a doktori témámban nagyobb hangsúlyt helyeztünk ennek a traiteknek az ökológiai állapotértékelésben való alkalmazhatóságának elemzésére. A kovaalgák fénymikroszkópos határozása olykor kihívások elé állítja az algászokat. A szakirodalom szerint ennek a módszernek a hasznosságát növelné, hogy nem igényelne nagy taxonómiai ismeretet, elég lenne csak nemzetség szinten besorolni a kovaalgákat (Berthon és mtsai. 2011). Később ezeket a kutatásainkat kiterjesztettük több, elsősorban fiziológiai tulajdonságokhoz köthető (pl. a van Dam által javasolt (1994), de faj szinten megnyilvánuló kovaalga jelleg vizsgálatára is, amelynek az IPS alapú módszerrel való összehasonlítását szintén bemutatom a dolgozatomban. Továbbá több éves, elsősorban a Duna bevonatalkotó kovaalgáira irányuló vizsgálataink során lehetőségünk nyílt a kovaalgák inváziós jelenségének megfigyelésére is, amely végső soron emberi tevékenységhez köthető (Richardson 2008), illetve összefüggésbe hozható a globális felmelegedéssel (Duleba és mtsai. 2014, Spaulding és mtsai. 2010).

Munkámat az alábbi három nagy kérdéskörre építettem, amelynek során a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg:

### **I.1 Az ökológiai állapotértékelés során gyakran használt kovaalga index (IPS) és a kovaalga ökológiai csoportok összehasonlítása a Duna esetében (középtávú gyűjtés a sodorvonalból, keresztaszelvény mintavétel, kagylóhéjak felszínén végzett vizsgálatok)**

A kovaalga ökológiai csoportok és a tápanyagtartalom közötti összefüggések feltárása a Dunában.

A kovaalga ökológiai csoportok és a hidromorfológiai paraméterek közötti összefüggések feltárása a Dunában.

Saját álláspontunk kialakítása nagy folyókra vonatkozóan arról, az irodalomban többször felvetett gondolatról, hogy a fitobentosz élőlénycsoport esetében is helyettesítheti a faj alapú ökológiai állapotértékelést a traitek alapú, vagy legalábbis fontos kiegészítője lehet.

Eszerint a következő hipotéziseket vizsgáltuk: i) a mozgásra képes és a magas profilú kovaalga ökológiai csoport illetve a tápanyagok között szignifikáns, pozitív korrelációt, az alacsony profilú csoporttal azonban negatív korrelációt vártunk az irodalomban leírtak alapján; ii) szignifikáns negatív korreláció a mozgásra képes, a magas profilú és az IPS között, de szignifikáns, pozitív korreláció a alacsony profilú és az IPS között; iii) szignifikáns negatív korrelációt vártunk a magas profilú és a vízhozam között, és szignifikáns pozitív korrelációt a vízhozam és az alacsony profilú között.

### **I.2 Budapest hatása a Duna bentonikus kovaalga közösségére**

A Budapest feletti és alatti különbségek kimutatása a bentonikus kovaalga közösség vizsgálatával becsülhető ökológiai állapot és a fizikai-kémiai változók tekintetében.

A nagyváros okozta terhelés hatására bekövetkező változások feltárása a kovaalga közösség fajösszetételében és funkcionális traitekjeiben (köztük a kovaalga ökológiai csoportokban).

Eszerint a következő hipotéziseket vizsgáltuk: i) szignifikáns eltérést vártunk a fizikai-kémiai változók értékében Budapest alatt és felett; ii) a bentonikus kovaalga közösség alapján a Duna

vízminősége Budapest alatt rosszabb, mint felette és ez visszatükröződik a fajösszetétel mellett a funkcionális traitekben is.

### **I.3 Egy invazív kovaalga faj, az *Achnantheidium delmontii* Pérès, Le Cohu & Barthès 2012 gyors terjedése a Dunában és mellékfolyóiban**

Arra törekedtünk, hogy a minél pontosabb határozást elősegítve részletes taxonómiai leírást közöljünk a kérdéses fajról.

Megvizsgáljuk a faj megjelenését és terjedését a Duna vízgyűjtőjén (kiemelten a Dunában, valamint hazai vízfolyásainkban).

18 környezeti változó elemzésével és a társfajok figyelembevételével jellemezzük a faj autökológiai tulajdonságait, megadjuk a faj optimumát és tolerancia érték határait.

Az SBC index (Helyspecifikus Biológiai Szennyezési Index, Site-specific Biological Contamination invasion index) alkalmazásával megbecsüljük az invazív fajok megjelenésének és terjedésének kockázatát, illetve megvizsgáljuk a szóban forgó invazív faj bevonatközösségre gyakorolt hatását.

Eszerint a következő hipotéziseket vizsgáltuk: i) az *A. delmontii* invazív faj, melynek expanziója összefügg a globális felmelegedéssel; ii) egy invazív faj megjelenése a bevonatban jelentős hatással van a közösség összetételére.

## **II. Anyag és módszer**

### **II.1 Az ökológiai állapotértékelés során gyakran használt kovaalga index (IPS) és a kovaalga ökológiai csoportok összehasonlítása a Duna esetében (középtávú gyűjtés a sodorvonalból, keresztaszelvény mintavétel, kagylóhéjak felszínén végzett vizsgálatok)**

Kutatásaimat három nagy kérdéskör köré csoportosítottam. 1) Vizsgáltam, hogy mennyiben válthatná ki a faj alapú ökológiai állapotértékelést a kevesebb szaktudást igényelő trait alapú megközelítést a fitobentosz élőlénycsoport esetében. Ehhez a módszereket úgy választottam meg, hogy a Dunában jelenlévő két legfontosabb stresszor, a tápanyag-, és a hidromorfológiai stresszor hatásait tudjam tanulmányozni.

Három éven át (2010. január – 2012. december) havonként vettem bevonatlakó kovaalga mintákat a Duna litorális régiójából, Gödnél (középtávú gyűjtés), melynek során a hidrológiai körülmények és a tápanyagkínálat is változott. A bevonat mintavétellel párhuzamosan a víz fizikai-kémiai változóinak mérése is megtörtént.

Három alkalommal (2012, 2013 és 2014 májusában) végeztem keresztaszelvény mentén vizsgálatokat, ugyancsak Gödnél. Hat különböző mélységből gyűjtöttem a bevonatlakó kovaalga mintákat. Ekkor a hidromorfológiai különbségek hatását tudtam tanulmányozni (a kémiai változók tekintetében a Dunakutató munkatársai által elvégzett szondás keresztaszelvény vizsgálatok eredményei alapján kémiai szempontból a szelvényt homogénnek tekintettük).

Továbbá bekapcsolódtam egy egy hónapon át tartó kísérletsorozatba, amelynek keretében kagylóhéjakon növesztett bevonatot vizsgáltam Budapestenél (a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem főépületével szemközt található, Zöldszigetnek nevezett mesterséges úszószigetnél), amikor is mind a hidromorfológiai körülmények, mind pedig a fizikai-kémiai változók tekintetében azonos feltételek voltak, a különbség mindössze az aljzatok méretében és felületi érdességében volt.

### **II.2 Budapest hatása a Duna bentonikus kovaalga közösségére**

A Duna két szakaszának jobb és bal partját választottuk ki a vizsgálatunkhoz. A vizsgált felső szakasz Budapeستől kb. 20 km-re, északra, az alsó szakasz pedig attól kb. 12 km-re, délre

található. 2018. június 20. és július 30. között, hetenként vettünk mintát. A felső szakasz jobb partján található a Szentendrei-sziget, amely ritkán lakottnak számít, és nem folyik a területén intenzív mezőgazdasági tevékenység; ezért antropogén hatások által kevésbé befolyásolt terület. Továbbá ez a rész egy nagy, védett területet is magában foglal, amely Budapest lakosságának kb. 90%-át látja el ivóvízzel. A másik három mintavételi terület antropogén hatásokkal erősen terhelt. A felső szakasz bal partján található Dunakeszi városa. Két vízierőmű és egy szennyvíztisztító üzem tartozik a városhoz. Alagimajor a város peremi területén található, ahol mezőgazdasági tevékenység folyik. Az alsó szakaszon a főváros hatása érvényesül. A fitobentosz mintavételekkel párhuzamosan a víz fizikai-kémiai változóit, illetve fémes, félfémes és nemfémes elemek koncentrációit is mértük.

### **II.3 Egy invazív kovaalga faj, az *Achnanthydium delmontii* Pérès, Le Cohu & Barthès 2012 gyors terjedése a Dunában és mellékfolyóiban**

Összesen 142, különböző helyekről származó fitobentosz minta eredményéből létrehoztunk egy 'ADMO'-adatbázist (ADMO – az *Achnanthydium delmontii* nevű kovaalga faj OMNIDIA szoftver által használt rövidítése). A mintákat 2013 és 2020 között gyűjtöttük (1) a 3. és 4. Joint Danube Survey (JDS3 és JDS4) mintavételi helyeiről, 2013 és 2019 között a Duna magyarországi felső, középső és alsó szakaszáról (Liška és mtsai. 2021), (2) a teljes magyarországi Duna-szakaszból, és (3) 2018 és 2019-ben egy hazai felmérés keretében Magyarország felszíni vizeiből. Az adatbázis 79 mintájában található meg az ADMO. Ebből 65 minta a Dunából származik, 14 pedig a Duna magyarországi mellékfolyóiból. 128 mintát választottunk ki a kiindulási adatbázisból, amelyeket a Dunából gyűjtöttünk. A biológiai szennyezettség mértékének megállapításához a 'Site-specific Biological Contamination (SBS) indexet használtuk (Liška és mtsai. 2008, Csányi és mtsai. 2021). Továbbá felhasználtuk a JDS4 metabarkód vizsgálati eredményeit ahhoz, hogy megbizonyosodjunk az ADMO előfordulásairól és dunai elterjedéséről (Zimmermann és mtsai. 2021).

**Az I.1, 2 és 3** pontokban megfogalmazott célkitűzések és kérdések megválaszolásához a vizsgálatunk során az aljzatról nyert bevonat mintákat a helyszínen 4%-os formaldehiddel tartósítottuk. A laboratóriumban a kovaalgák szilícium-dioxid alapanyagú vázát hidrogén-peroxiddal és sósavval tisztítottuk. A tisztított vázakat 1.7 törésmutatójú Naphrax gyantába ágyaztuk. A kovaalga taxonokat Olympus IX70, differenciál interferencia kontraszttal felszerelt (DIC optika), fordított mikroszkóppal határoztuk, 1500-szoros nagyításon. Mintánként minimum 400 valva egyedet határoztunk meg, faj (vagy ahol ez nem volt lehetséges, legalább nemzetség) szinten. Azokat a mintákat, amelyekben sok sugaras szimmetriájú kovaalga, illetve kisméretű taxon (pl. az *Achnanthydium* nemzetség fajtái) fordult elő, pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM, Zeiss EVO MA 10) is vizsgáltuk.

Az első (**I.1**) nagy kérdéskör megválaszolására irányuló vizsgálatunk során a kovaalga egyedek mikroszkópos meghatározását követően mindegyik fajt hozzárendeltük a megfelelő ökológiai csoporthoz (az egyik legszélesebb körben elterjedt kovaalga trahéz), így az alacsony, a magas profilú, a motilis (Passy 2007), valamint a kiüledett kovaalgákat magába foglaló, ún. planktonikus csoporthoz (Rimet és Bouchez 2012). Továbbá az IPS biotikus kovaalga indexet alkalmaztuk, melyet az OMNIDIA 5.3 (Lecoite és mtsai. 2008) szoftver segítségével számoltunk ki a kovaalga relatív abundancia adataink alapján. Ezt követően statisztikai eljárásokkal elemzéseket végeztünk (variációs koeficiens számítás, redundancia analízis (RDA)).

A második nagy kérdéskörünk (**I.2**) megválaszolására az 1) kérdéskörhöz (**I.1**) hasonlóan jártunk el annyi kiegészítéssel, hogy a kovaalga ökológiai csoporton kívül más trahétek (nitrogén felvételi metabolizmus, pH, oxigénigény, trofitás, szaprobitás, valamint sejt méret (van Dam és

mtsai. 1994)) szerint is kiértékeljük a mintáinkat. Továbbá az alábbi statisztikai eljárásokat alkalmaztunk: variációs koefficiens számítás, ANOVA, PERMANOVA, nem-parametrikus multivariancia analízis (NMDS).

A harmadik kérdéskör (I.3) esetében fény- és pásztázó elektronmikroszkóp segítségével körbejártam a szóban forgó invazív faj morfológiai bélyegeit. Adataink statisztikai kiértékeléséhez súlyozott átlag regressziót, valamint NMDS analízist végeztünk.

### **III. Új tudományos eredmények Tézisek**

#### **III.1 Az ökológiai állapotértékelés során gyakran használt kovaalga index (IPS) és a kovaalga ökológiai csoportok összehasonlítása a Duna esetében (középtávú gyűjtés a sodorvonalból, keresztaszvénymintavétel, kagylóhéjak felszínén végzett vizsgálatok)**

A Dunában végzett vizsgálatok alapján rámutattam, hogy a kovaalga ökológiai csoportok elsősorban a hidromorfológiai hatások igazolására alkalmasak, és nem adnak megbízható információt a tápanyag-tartalomról. A fitobentosz esetében az ökológiai csoport alapú állapotértékelés nagy vízhozamú folyók esetében nem helyettesítheti a taxon alapút.

#### **III.2 Budapest hatása a Duna bentonikus kovaalga közösségére**

Megállapítottuk, hogy a főváros hatása a szennyvíztisztításnak köszönhetően a víz fizikai-kémiai állapotának meghatározására szolgáló környezeti változók tekintetében nem mutat jelentős különbséget sem az észak-déli irányultsága, sem a partok szerint. A statisztikai elemzés során kapott különbségeket elsősorban a vízjárással lehetett összefüggésbe hozni.

Azonban a környezeti hatásokat hosszabb távon integráló bevonatlakó kovaalga fajösszetétel alapján, valamint a kovaalga ökológiai csoport kivételével a kovaalga traitek (sejtméret, a pH, a N-adaptáció, a szaprobítás, a trofitás, az oxigénigény szerinti traitek) alapján a Budapest feletti és a Budapest alatti minták, illetve a jobb és a bal parti minták eltérő környezetre utaltak. A traitek közül azonban az ökológiai csoportok alapján elsősorban a part szerint váltak el a minták, ami megerősíti ennek a kovaalga jellegnek hidromorfológiai stresszorfüggését. Az urbanizáció hidromorfológiai hatásait a kovaalga ökológiai csoportok tükrözték, míg a tápanyag terhelést elsősorban a fajösszetétel.

#### **III.3 Egy invazív kovaalga faj, az *Achnanthydium delmontii* Pérès, Le Cohu & Barthès 2012 gyors terjedése a Dunában és mellékfolyóiban**

Elsőként mutattuk ki a faj dunai jelenlétét, így magyarországi előfordulását is.

Felhívtuk a figyelmet a faj inváziós jellegére, elsőként használva a fitobentosz esetében az SBC indexet, megbecsülve ezzel az invázió mértékét is. Rávilágítottunk a faj elterjedése és a globális felmelegedés következtében felszíni vizeink átlaghőmérsékletében tapasztalható növekedés közötti összefüggésre. Továbbá felhívtuk a figyelmet a faj pontos meghatározásához szükséges morfológiai bélyegekre is, ami egy domináns faj esetében azért fontos, mert az ökológiai állapotértékelés faja alapú, a fajok ökológiai igénye eltérő lehet, így a minősítés eredményét nagymértékben befolyásolhatja a hibás meghatározás.

### **IV. Irodalomjegyzék**

Ács É., Borics G., Boda P., Csányi B., Duleba M., Engloner A., Erős T., Földi A., Grigorszky I., György Á. I., Kiss K. T., K. Szilágyi E., Lukács B. A., Nagy-László Zs., Pozderka V., Sály P., Szalóky Z., Szekeres J., Trábert Zs., Várbíró G. (2015a): Magyarország felszíni vizeinek ökológiai állapotértékelő módszerei. Magyar Kémikusok Lapja 70(11): 374-380.

Ács É., Borics G., Kiss K. T., Várbíró G. (2015b): Módszertani útmutató a fitobentosz élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez,

Berthon V., Bouchez A., Rimet F. (2011): Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: A case study of rivers in south-eastern France. *Hydrobiologia* 673: 259–271. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0786-1>

Burliga A. L., Kociolek J. P. (2016): Diatoms (Bacillariophyta) in rivers. - Orlando Necchi J. R. (szerk.): *River Algae*, Springer, Cham, p: 93-128. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1>

Csányi B., Weiperth A., Zorić K., Bammer V., Borza P., Trichkova T., Weigand A., Cardoso A. C., Očadlík M., Bubíková K., Stanković I., Teodorov M., Botev I., Kenderov M., Hubenov Z., Paunović M. (2021): Invasive alien species (Chapter 10) - Igor Liška, Franz Wagner, Manfred Sengl, Karin Deutsch, Jaroslav Slobodník and Momir Paunović (szerk.): *Joint Danube Survey 4 Scientific Report: A Shared Analysis of the Danube River*. International Commission for the Protection of the River Danube, Vienna, Austria p: 93–106.

Cüneyt N. S., Ács É. (2011): Water quality monitoring in European and Turkish rivers using diatoms. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 11: 329-337. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2011.0218>

Duleba M., Ector L., Horváth Zs., Kiss K. T., Molnár L. F., Pohner Z., Szilágyi Zs., Tóth B., Vad Cs. F., Várbíró G., Ács É. (2014): Biogeography and phylogenetic position of a warm-stenotherm centric diatom, *Skeletonema potamos* (CI Weber) Hasle and its long-term dynamics in the River Danube. *Protist*. 165(5): 715-729. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2014.08.001>

Economou-Amilli A. (1980): Periphyton analysis for the evaluation of water quality in running waters of Greece. *Hydrobiologia* 74(1): 39-48.

Ector L., Kingston J. C., Charles D. F., Denys L., Douglas M. S. V., Manoylov K., Michelutti N., Rimet F., Smol J. P., Stevenson R. J., Winter J. G. (2002): Workshop Report. Freshwater diatoms and their role as ecological indicators. *Proceedings of the 17th International Diatom Symposium*, Ottawa, ON, Canada, 25–31 August 2002, p: 469-480.

Ertl M. és Tomajka J. (1973): Primary production of the periphyton in the littoral of the Danube. *Hydrobiologia* 42: 429-444.

European Commission. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23rd October 2000 Establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Off. J. Eur. Communities* 2000, 327: 1-72.

Falkowski P. G., Barber R.T., Smetacek V.V. (1998): Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science* 281: 200-207

Field C. B., Behrenfeld M. J., Randerson J. T., Falkowski P. (1998): Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

Heinonen P. (1984): Early warning of eutrophication in rivers by analysis of periphyton chlorophyll-a. - Pascal D., Edwards R. (szerk.): *Freshwater Biological Monitoring*, Pergamon Press, Oxford and New York, pp. 45–52.

Kelly M. G., King L., Jones R. I., Barker P. A., Jamieson B. J. (2008): Validation of diatoms as proxies for phytobenthos when assessing ecological status in lakes. *Hydrobiologia* 610(1): 125-129. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9427-8>

Lecointe C., Coste M., Prygiel J. (1993): "Omnidia": Software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269: 509-513. <https://doi.org/10.1007/BF00028048>

Liška I., Wagner F., Slobodník, J. (2008): Joint Danube Survey 2: Final Scientific Report. International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna, Austria.

Liška I., Wagner F., Sengl M., Deutsch K., Slobodník J., Paunović M. (2021): Joint Danube Survey 4 Scientific Report: A Shared Analysis of the Danube River. International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna, Austria.

Makovinská J., Hlúbiková, D. (2014): Phytobenthos of the River Danube. - Liška I. (szerk.): The Danube River Basin. The Handbook of Environmental Chemistry, Springer, Berlin, Heidelberg 39: 317-340. [https://doi.org/10.1007/698\\_2014\\_310](https://doi.org/10.1007/698_2014_310)

Passy S. I. (2007): Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*. 86: 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018>

Pouličková A., Hašler P., Lysáková M., Spears B. (2008): The ecology of freshwater epipellic algae: an update. *Phycologia* 47(5): 437-450. <https://doi.org/10.2216/07-59.1>

Richardson D. M., Pyšek P. (2008): Fifty years of invasion ecology - the legacy of Charles Elton. *Diversity and Distributions* 14(2): 161-168. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00464.x>

Rimet F., Bouchez A. (2012): Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. – *Knowl. Managem. Aquat. Ecosyst.* 406: 01, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1051/kmae/2012018>

Rosemarin A. S. (1975): Comparison of primary productivity (14C) per unit biomass between phytoplankton and periphyton in the Ottawa River near Ottawa, Canada. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 19: 1584-1591. <https://doi.org/10.1080/03680770.1974.11896223>

Segurado P., Almeida C., Neves R., Ferreira M. T., Branco P. (2018): Understanding multiple stressors in a Mediterranean basin: Combined effects of land use, water scarcity and nutrient enrichment. *Science of The Total Environment* 624: 1221-1233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.201>

Sommerwerk N., Bloesch J., Baumgartner C., Bittl T., Čerba D., Csányi B., Davideanu G., Dokulil M., Frank G., Grecu I., Hein T., Kováč V., Nichersu I., Mikuska T., Pall K., Paunović M., Postolache C., Raković M., Sandu C., Schneider-Jacoby M., Stefke K., Tockner K., Toderas.I., Ungureanu, L. (2022): The Danube River Basin. – Tockner K., Zarfl C., Robinson C. T. (szerk.): *Rivers of Europe*. Elsevier, p: 81-180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102612-0.00003-1>



Spaulding S. A., Pool J. R., Castro S. I., Hinz F. (2010): Species within the Genus *Encyonema* Kützing, Including Two New Species *Encyonema reimeri* sp. nov. and *E. nicafei* sp. nov. and *E. stoermeri* nom. nov., stat. nov. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 160(1): 57-71. <https://doi.org/10.1635/053.160.0107>

Stevenson R. J. (1984): Epilithic and epipellic diatoms in the Sandusky River, with emphasis on species diversity and water pollution. *Hydrobiologia* 114: 161-175. <https://doi.org/10.1007/BF00031868>

Stojković M., Plavšić J., Prohaska S. (2017): Annual and seasonal discharge prediction in the middle Danube River basin based on a modified TIPS (Tendency, Intermittency, Periodicity, Stochasticity) methodology. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 65(2): 165-174. <https://doi.org/10.1515/johh-2017-0012>

Tapolczai K., Bouchez A., Stenger-Kovács C., Padisák J., Rimet F. (2016): Trait-based ecological classifications for benthic algae: Review and perspectives. *Hydrobiologia* 776: 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2736-4>

Turner T. F., Edwards M. S. (2012): Aquatic foodweb structure of the Rio Grande assessed with stable isotopes. *Freshwater Science* 31(3) 825-834. <https://doi.org/10.1899/11-063.1>

van Dam H., Mertens A., Sinkeldam, J. (1994): A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*. 28: 117-133. <https://doi.org/10.1007/BF02334251>

Violle C., Navas M. L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. (2007): Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116(5): 882-892. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>

Watanabe T., Capblancq J., Dauta A. (1988): Utilisation des bioessais "in situ" (substrats artificiels) pour caractériser la qualité des eaux de rivière à l'aide du périphyton. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 24(2): 111-125. <https://doi.org/10.1051/limn/1988009>

Zimmermann J., Mora D., Tapolczai K., Proft S., Chonova T., Rimet F., Bouchez A., Fidlerová D., Makovinská, J., Weigand A. (2021): Metabarcoding of phytobenthos samples (Chapter 15) - Igor Liška, Franz Wagner, Manfred Sengl, Karin Deutsch, Jaroslav Slobodník and Momir Paunović (szerk.): *Joint Danube Survey 4 Scientific Report: A Shared Analysis of the Danube River*. International Commission for the Protection of the River Danube, Vienna, Austria.

## V. Az értekezés témájában készült publikációk

### V.1. Referált tudományos folyóiratokban megjelent cikkek

Az ökológiai állapotértékelés során gyakran használt kovaalga index (IPS) és a kovaalga ökológiai csoportok összehasonlítása a Duna esetében (középtávú gyűjtés a sodorvonalból, keresztiszelvény mintavétel, kagylóhéjak felszínén végzett vizsgálatok):

Trábert Zs., Kiss K. T., Várbíró G., Dobosy P., Grigorszky I., Ács É. (2017): Comparison of the utility of a frequently used diatom index (IPS) and the diatom ecological guilds in the ecological status assessment of large rivers. *Fundamental and Applied Limnology*. 189(2): 87-103.

DOI: <https://doi.org/10.1127/fal/2016/0933>

Budapest hatása a Duna bentonikus kovaalga közösségére:

Trábert Zs., Duleba M., Bíró T., Dobosy P., Földi A., Hidas A., Kiss K. T., Óvári M., Takács A., Várbíró G., Záray Gy., Ács É. (2020): Effect of land use on the benthic diatom community of the Danube River in the region of Budapest. *Water*. 12(2): 479.

DOI: <https://doi.org/10.3390/w12020479>

Egy invazív kovaalga faj, az *Achnantheidium delmontii* Pérès, Le Cohu & Barthès 2012 gyors terjedése a Dunában és mellékfolyóiban:

Buczko K., Trábert Zs., Stenger-Kovács C., Tapolczai K., Bíró T., Duleba M., Földi A., Korponai J., Vadkerti E., Végvári Zs., Ács É. (2022): Rapid expansion of an aquatic invasive species (AIS) in Central-European surface waters; a case study of *Achnantheidium delmontii* *Ecological Indicators* 135: 108547.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108547>

### V.2. Konferencia absztraktok az értekezés témájában

Az elért kutatási eredmények az alábbi konferenciákon kerültek bemutatásra:

I.1 Az ökológiai állapotértékelés során gyakran használt kovaalga index (IPS) és a kovaalga ökológiai csoportok összehasonlítása a Duna esetében (középtávú gyűjtés a sodorvonalból, keresztiszelvény mintavétel, kagylóhéjak felszínén végzett vizsgálatok):

Szilágyi, Zs., Szekeres, J., Csányi, B., Kiss, K.T., Tóth, B., Ács, É. (2013): Spatially extended sampling method of benthic diatoms and macroinvertebrates for ecological status assessment of large rivers. – SIL XXXII. Congress. Budapest, 4-9. August 2013. (poszter)

Szilágyi, Zs., Szekeres, J., Csányi, B., Kiss, K.T., Tóth, B., Ács, É. (2013): A few important factors effecting on the ecological status of a Hungarian river (River Danube) based on phytobenthos. – 7th Central European Diatom Meeting (CE-Diatom), Thonon-les-Bains, France, 18-20. September 2013. (előadás)

Szilágyi, Zs., Kiss K.T., Ács, É. (2015): Might there be any hydromorphological impacts of ecological guilds of phytobenthos and the IPS diatom index? – a cross-section study in the River Danube, in Hungary. – 9th Central European Diatom Meeting (CE-Diatom), Bremerhaven, Germany, 10-13. March 2015 (poszter)

Trábert, Zs., Kiss K.T., Tóth, B., Ács, É. Alkalmazhatóak-e a kovaalga ökológiai guildék az ökológiai állapotbecslésére a Duna esetében? – IDK Konferencia, Pécs, 2015. május 14-15. (előadás)

Trábert Zs., Kiss K.T., Ács É., Tóth B. (2015): Alkalmazhatóak-e a kovaalga ökológiai guildék az ökológiai állapot becslésére a Duna esetében? In: Szilávik, Lajos, Gampel, Tamás, Szigeti, Edit (szerk.) XXXIII. Országos Vándorgyűlés: Szombathely, 2015. július 1-3.: A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXIII. Országos Vándorgyűlés dolgozatai. Budapest, Magyarország: Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) (2015) p. 8/9. szekc., 16 p.(előadás)

Trábert, Zs.; Kiss, K.T.; Tóth, B.; Ács, É.. Diatom ecological guilds – might be useful tools for water quality assessment in case of the River Danube?, SIL-Austria Meeting, October 14-16, 2015., pp. 49., 1 p. (előadás)

Trábert, Zs., Kiss, K.T., Grigorszky, I., Várbíró, G., Ács, É. Robustness of metrics used for the ecological status assessment of large rivers: a case study on River Danube (Hungary). 10th Central European Diatom Meeting, April 20-23, 2016, Budapest, Hungary. pp. 76, 1 p. (poszter)

### **I.2 Budapest hatása a Duna bentonikus kovaalga közösségére Budapest környékén:**

Trábert Zs., Duleba M., Bíró T., Buczkó K., Dobosy P., Földi A., Hidas A., Kiss K.T., Óvári M., Takács A., Várbíró G., Zárny Gy., Ács É. A tájhasználat hatása a Duna bentonikus közösségére Budapest térségében (Effect of land use on the benthic diatom community of the Danube River in the region of Budapest). XVI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, 2021. március 30.-április 1. online (előadás)

### **I.3 Egy invazív kovaalga faj, az Achnantheidium delmontii Pérès, Le Cohu & Barthès 2012 gyors terjedése a Dunában és mellékfolyóiban:**

Trábert, Zs., Buczkó K., Stenger-Kovács, Cs., Tapolczai K., Bíró T., Duleba, M., Földi, A., Korponai, J., Vadkerti E., Ács, É: Rapid expansion of an aquatic invasive species (AIS) in the Central-European surface waters; a case study of Achnantheidium delmontii. Online International Diatom Symposium 2021, August 23-25. 2021., online, Japan., pp. 122, 1 p. (poszter)