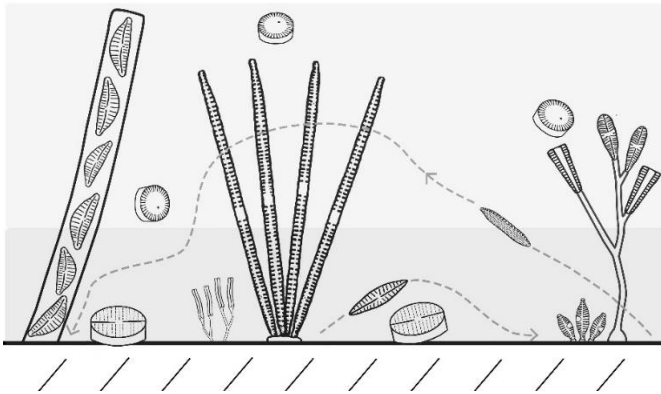


MTA Doktora pályázat

Doktori Értekezés Tézisei

**MINTÁZAT ÉS FUNKCIÓ:
BENTIKUS KOVAALGÁK FAJ- ÉS JELLEGALAPÚ
KÖZÖSSÉGI ELEMZÉSEI**



Stenger-Kovács Csilla

Veszprém, 2023

BEVEZETÉS

Az édesvizek központi szerepet töltenek be a Földön: minőségük és mennyiségük a természetes ökoszisztémák, a társadalom és a gazdaság szempontjából is kulcsfontosságú. Az éghajlatváltozásnak, a környezetszennyezésnek és az urbanizációnak súlyos következményei vannak a felszíni vizeinkre nézve. A biodiverzitás eddig nem látott mértékű változásának vagyunk szemtanúi (Butchart et al., 2010) és az édesvízért folytatott harc egyre fokozódik (Padányi, 2015). A víz, mint erőforrás megőrzése, a jó ökológiai állapot elérése és fenntartása az Európai Unió Víz Keretirányelvének legfontosabb célja (VKI; EC Parliament and Council, 2000). A VKI bevezetésével számos kutatás indult el annak érdekében, hogy módszereket dolgozzanak ki a felszíni vizek ökológiai állapotának becslésére. Egy másik nemzetközi politikai egyezmény (UNEP, 2011) is további kutatásokat szorgalmazott a témában a biodiverzitás csökkenésének megállítása érdekében. E két nemzetközi törekvés megköveteli tudásunk jelentős bővítését, hogy megértsük a közösségek és ökoszisztémák környezeti változásokra adott válaszait (Péru és Dolédec, 2010). Különösen fontos ez az olyan kevésbé kutatott élőlénycsoport esetén, mint a kovaalgák, ahol a szisztematikus taxonómiai és funkcionális vizsgálatok hiányoznak (Alahuta et al., 2019).

A VKI biológiai minőségi elemeinek egyike a fitobentosz, melyben főként kovaalgák dominálnak. A kovaalgaalapú állapotminősítések elsősorban a folyóvízi ökoszisztémákra és a trofitási állapot becslésre (tápanyagterhelésre) fókuszálnak és megbízható eredményeket adnak. Felszíni vizeinket azonban a tájhasználaton keresztül számos más jelentős közvetett és közvetlen hatás is éri, ahol nem veszik figyelembe a vízfolyások olyan alapvető tulajdonságát, mint a rendűség. A tavakkal foglalkozó tanulmányok száma pedig messze elmarad a folyóvizekétől, nem beszélve az olyan hazai és nemzetközi szinten is egyedülálló vízi ökoszisztémákról, mint

a szikes tavak, melyek esetében speciális megközelítésre van szükség. Az azonban egyértelmű, hogy alapkutatás nélkül nem lehet ajánlásokat tenni sem a gyakorlat, sem a döntéshozók számára.

A fent megfogalmazott problémakörök tanulmányozásához, a közösségek szerkezetének és biodiverzitás mintázatainak kialakulásáért felelős ökológiai és evolúciós folyamatok meghatározásához komplex, többirányú megközelítésre lenne szükség (Swenson, 2011). A forrásfelhasználáson és a bolygatásra való érzékenységen alapuló kovaalga ökológiai guilddek (Passy, 2007) és a fajok morfológiai, fiziológiai vagy fenológiai sajátosságai, azaz a jellegek (Violle et al., 2007) alkalmazása megbízható módszerek lehetnek (Stevenson et al., 2010). Ezek a megközelítések a fajok ökológiai és biológiai fontosságát hangsúlyozzák (Schneider et al., 2017), és a közösségszerveződés általános érvényű megértését teszik lehetővé (Flynn et al., 2011). A kovaalga guilddek ökológiai információt hordozó, könnyen mérhető jellegekkel (pl. sejtméret, hossz és szélesség aránya) való társítása pedig tovább segíti a kovaalgák és a környezet kapcsolatáról szerzett ismereteink elmélyítését és kibővítését (B-Béres et al., 2016). Ehhez azonban meg kell találni a kapcsolatot a jellegek és az élőhelyi jellemzők között, továbbá meg kell határozni, hogy az egyes jellegeknek mi a funkciója és milyen szerepet töltenek be az ökoszisztémák működésében.

Az értekezésben a kutatásaim azon részét mutatom be, melyek különböző vízi ökoszisztémák bentikus kovaalga összetételét, diverzitásmintázatát meghatározó fő környezeti tényezők megismerését célozták meg faj- és/vagy jellegalapú elemzésekkel, így a kovaalga ökológia és a bioindikáció területén új elméleti és gyakorlati eredményekhez vezettek. A dolgozat első része a vízfolyásokra fókuszál, míg a második része a szikes tavakban elért eredményeimet foglalja össze.

Három tanulmányban vizsgáltam a vízfolyások bentikus kovaalga közösség faj- és guildösszetételét meghatározó mesterváltozókat, melyekben

- igazoltam, hogy a vízfolyások rendűsége egy releváns tipológiai paraméter, amely alapvetően meghatározza a kovaalga diverzitást (1. téma).
- kimutattam, hogy a kovaalga ökológiai guildék hatékony eszközök a vízfolyások időben változó környezeti paramétereinek nyomon követésére (2. téma).
- összefüggést mutattam ki a vízgyűjtő szintű tájhasználat és a kovaalgák jellegösszetétele között (3. téma).

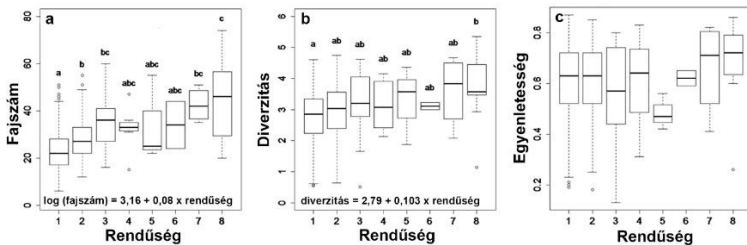
A szikes tavakra összpontosító négy tanulmány, a bentikus kovaalgák fajösszetételét és diverzitási mintázatait feltáró vizsgálatokat, valamint az ökológiai állapotuk meghatározását lehetővé tevő kovaalga indexek kifejlesztését foglalja magába. A szikes tavakra vonatkozó legfőbb eredményeim a következők:

- Feltártam, hogy a kovaalga összetételt főként a klímavezérelt változók a (vezetőképesség és a hőmérséklet) határozzák meg (4. téma).
- Kimutattam, hogy a Linné rendszertanán alapuló filogenetikai diverzitás metrikák (taxonómiai távolság és annak varianciája) jól jelezték a tavak trofitási állapotát, szemben a hagyományos diverzitás metrikákkal (fajgazdagság, Shannon diverzitás), melyek egyértelműen a szikes tavak speciális fizikai és kémiai (vezetőképesség) jellemzőire voltak érzékenyek (5. téma).
- Fajalapú és jellegalapú kovaalga indexeket fejlesztettem (DISP, TBI) a szikes tavak ökológiai állapotának becslésére (6. téma).
- Igazoltam, hogy a funkcionális diverzitási indexek jól alkalmazhatók a szikes tavak ökológiai állapotának értékeléséhez és természetvédelmi megőrzéséhez (7. téma).

ÉDESVÍZI ÖKOSZISZTÉMÁK

1. TÉMA: A PATAKOK RENDÜSÉGÉNEK HATÁSA AZ EPILITIKUS KOVAALGÁK DIVERZITÁSÁRA

Hazai vízfolyásokból gyűjtött 506 minta alapján kimutattam (Stenger-Kovács et al., 2014a), hogy ökorégió szinten az elsőtől a nyolcadrendű vízfolyásokig lineáris kapcsolat van a fajszám, diverzitás és a vízfolyások rendüségé között. A rendüség egységnyi növekedésével átlagosan 8%-os fajszámnövekedést (**1. a ábra**), míg a Shannon diverzitás 10,3%-os növekedését figyeltem meg (**1. b ábra**).



1. ábra: **a)** A fajszám, **b)** a diverzitás, **c)** az egyenletesség és a rendüség közötti kapcsolat.

(A boxplotok feletti betűk jelzik a Tukey post hoc teszt eredményeit [az azonos betűvel szereplő csoportok között nincs szignifikáns különbség, míg a különböző betűk a szignifikánsan különböző csoportokat jelölik]. Az egyenletek az adatok regressziós illeszkedését mutatják.)

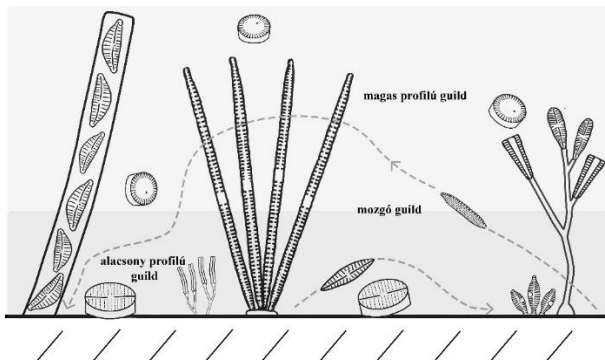
Az irodalomban megjelent tanulmányokat is figyelembe véve egy általános diverzitás mintázat rajzolódik ki (Gavioli et al., 2019), mely szerint az autotróf élőlények diverzitás mutatói növekedést mutatnak a vízfolyások rendüsege mentén, míg a heterotróf szervezeteké a közepes rendű folyóméretnél maximalizálódnak. Eredményeim azt mutatják, hogy a vízfolyások rendüsege olyan releváns tipológiai paraméter, melyet a Víz Keretirányelv szerinti állapotértékelésben is figyelembe kellene venni. A különböző rendűségű vízfolyásokban az egyenletes és nagyszámú mintavétel lehetővé tenné, hogy meghatározzuk egy adott rendűségű vízfolyás jellegzetes diverzitás értékeit,

ha az elemzésekből kizárjuk vagy minimalizáljuk azokat a vízfolyásokat/mintavételi helyeket, ahol tápanyagterhelés, szerves és toxikus szennyezés vagy hidromorfológiai módosítás van jelen. Az ilyen vizsgálatok jelentőségét az adná, hogy azonos mintavételi módszer mellett (Kelly et al., 2012) az eredmények összehasonlíthatók lennének (Kelly et al., 2009) nemcsak egy ökorégióon belül, hanem európai szinten is.

2. TÉMA: A KOVAALGA ÖKOLÓGIAI GUILDEK, MINT AZ IDŐBEN VÁLTOZÓ KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK ÉS BOLYGATÁSOK INDIKÁTORAI

A Torna-patakban 2008-2010 közötti heti rendszerességű vizsgálataim (Stenger-Kovács et al., 2013) SWOT analízise alapján megállapítottam, hogy a patakban az alacsony profilú guild (a bevonat alsó rétegében elhelyezkedő fajok, melyek az aljzathoz szorosan rögzülnek; **2. ábra**) legfontosabb erőssége a nagy vízhozammal szembeni ellenállóképessége (E = erősség) és az SRSi-től (E) való függetlenség. Nagy vízhozamú időszakokban ez a guild a fénysugárzást sokkal hatékonyabban hasznosította (L = lehetőség), viszont a magas SRP (oldott reaktív foszfor) és TN (összes szerves nitrogén) tartalom nem kedvezett neki (V = veszély). A magas profilú guild (a bevonat felső szintjét alkotó fajok; **2. ábra**) közvetlen hozzáférése néhány fontos forráshoz (SRP, SRSi [oldott reaktív szilícium], fény) (E) lehetővé tette, hogy a patakvízben lévő elérhető források kiváló indikátora legyen, szemben a többi guilddel. A magas profilú guild továbbá érzékeny volt a magas Cl⁻ koncentrációra és a megnövekedett vízhozamra (GY = gyengeség, V), ellentétben a mozgó guilddel, mely Cl⁻ toleránsnak mutatkozott (E). A mozgó guild pozitív kapcsolatot mutatott a vízhozammal, ami azt jelenti, hogy képesek változtatni a helyüket a bevonatban, így kerülvén el a lemosódást (E, L). A források közül a növekvő SRSi és fényintenzitás csökkentette a mozgó guild relatív abundanciáját (V). Kimutattam, hogy a szezonális kulcsszerepet

játszik a Torna-patak kovaalga közösségében. Az ökológiai guildok relatív gyakorisága és a guild- és fajdiverzitás is évszakosan változtak.



2. ábra: A vizsgált három ökológiai guild

A nyártól télig tartó időszakban az ismétlődő árvizek miatt csökkent a magas profilú guild aránya, ami jól mutatja a guild érzékenységet a vízáramlás nyíró hatásával szemben (Biggs és Thomsen, 1995; Yang et al., 2009). Nyárra az alacsony profilú ökológiai guild vált dominánssá. A téli időszakban az alacsonyabb hőmérsékletnek köszönhetően a mozgó fajok elérték relatív gyakoriságuk csúcsát, hiszen ez a guild valószínűleg olyan fajokat foglal magában, amelyek a hideghez és az alacsonyabb fényintenzitáshoz alkalmazkodtak. A guild- és a fajdiverzitás szezonális változásai hasonlóak voltak: a diverzitás nyáron volt a legnagyobb és a legkisebb télen, illetve a tavaszi kolonizációs időszakban. A guilddiverzitás egyértelműen jelezte a megemelkedett TN-t és vezetőképességet, mely a feljebb fekvő település szennyvizéből származhatott. Éppen ezért a guilddiverzitás jó választási lehetőség lehet az ökológiai állapot nyomonkövetésére is.


Az eredményeim igazolják, hogy a kovaalga ökológiai guildok és a guilddiverzitás látszólagos egyszerűségük ellenére, jelentős ökológiai információt hordoznak ahhoz, hogy a környezeti változásoknak kiváló indikátorai legyenek.

3. TÉMA: A TÁJHASZNÁLAT HATÁSA A VÍZFOLYÁSOK BENTIKUS KOVAALGÁIRA: HAGYOMÁNYOS ÉS FUNKCIONÁLIS ELEMZÉSEK


75 síkvidéki vízfolyás Víz Keretirányelvvel összhangban lévő, vízgyűjtő szintű elemzése hatékony eszköznek bizonyult a legfontosabb közvetlenül (környezeti változók) és közvetetten (tájhasználati formák) ható változók azonosítására (Stenger-Kovács et al., 2020a). Kimutattam, hogy az egyes vízgyűjtőkön a kovaalga faj- és jellegösszetételt, valamint a fajgazdagságot elsősorban a helyi környezeti változók határozták meg, másodsorban pedig a környezeti paraméterek és a tájhasználati formák együttes hatása. A funkcionális gazdagság varianciáját azonban elsősorban a tájhasználat egyedüli hatása okozta.


A nagy kiterjedésű erdőkkel jellemezhető vízgyűjtőkön, a közel természetes állapotú vízfolyásokban az alacsony profilú kovaalga ökológiai guild és kis sejtméretű fajok ($<100 \mu\text{m}^3$) voltak jellemzőek (3. ábra). Az alacsony profilú guild jól jelezte az alacsony tápanyagellátottságot. Az erdős területek csökkenésével és a mezőgazdasági területek növekedésével a vízfolyásokban a fény mennyiség nő. A mezőgazdasághoz kötődő tevékenységek azonban növelik a folyók zavarosságát és feliszapolódását, továbbá a víz ion- és tápanyagtartalma is emelkedik az intenzív öntözésnek és műtrágyázásnak köszönhetően. Ezen összetett változások hatására, olyan bentikus kovaalga közösség alakult ki, melyben a mozgó ökológiai guild és a közepes méretű ($300-600 \mu\text{m}^3$), lineáris-lánczús alakú (mint a *Navicula* és *Nitzschia* fajok) fajok domináltak (3. ábra). A mezőgazdaság sejtméretet módosító hatása tehát egyértelműen megmutatkozott, amit a bentikus gerincteleneknél is megfigyeltek (Krynak és Yates, 2020). A kovaalgák fényantennaként működő lineáris-lánczús alakja a szükséges mennyiségű napfényhez való hozzáférést (Stenger-Kovács et al., 2018), míg a mozgásra való képesség a legmegfelelőbb fényellátottságú élőhelyfoltok kiválasztását tette lehetővé.

Magyarító tájhasználati formák	Jellegek és diverzitás	Becslés	SE	t	r	p
Mezőgazdaság	M+LW4+S3	0,034	0,011	2,97	0,32	<0,01
	M+LW4+S3+MLW4+MS3	0,059	0,017	3,47	0,38	<0,001
	Funkcionális gazdagság	0,001	0,000	2,43	0,26	<0,05
Erdő	L+S1	0,037	0,016	2,30	0,25	<0,05
	L+S1+LS1	0,053	0,024	2,18	0,23	<0,05
	Funkcionális gazdagság	-0,001	0,000	-3,26	-0,35	<0,01
Fajgazdagság		-10,031	3,231	-3,10	-0,35	<0,01
Víztestek+Mesterséges felületek	LLW2	0,042	0,018	2,38	0,26	<0,05



Alacsony profilú guild
Kis sejtméret





Mozgó guild
Közepes sejtméret
Lineáris-lándzsa alak

3. ábra: A tájhasználati formák és a jellegek, diverzitások közötti kapcsolatok feltárására kifejlesztett lineáris modellek.

Az alacsony profilú guild és a $2 \leq LW2 < 4$ hossz-szélesség arányú fajok (*Amphora*, *Planothidium*, *Achnanthydium*, *Reimeria* és a *Halampora* nemzetségbe tartozó taxonok) jól jelezték a víz- és a mesterséges felületek megnövekedett arányát (3. ábra). A mesterséges felszínek (utak, parkolók, tetők) az elfolyások felgyorsításával (Sterling et al., 2013) pedig valószínűleg tovább támogatják e fajok terjedését. Ez azt is jelenti, hogy az urbanizáció hatásaként a mesterséges felületek növekedésével újabb és újabb utak nyílhatnak meg az ilyen jelleggel bíró invazív fajok terjedése előtt, hiszen ezeknek a fajoknak az alakja és az aljzathoz való rögzülési módja lehetővé teszi, hogy könnyebben megtelepedjenek a már kialakult bevonatban.

A kovaalga közösségek funkcionális gazdagsága növekedett azokon a vízgyűjtőkön, ahol a mezőgazdasági területek kiterjedése nagyobb volt. Ezekben a degradált ökoszisztémákban a magasabb tápanyagkoncentráció lehet felelős a funkcionális gazdagság növekedéséért. Az erdők arányának emelkedésével ugyanakkor mind a kovaalga faj-, mind a funkcionális

gazdagság is csökkent. Az erdős területeken ugyanis a növényzet képes visszatartani a vizet, a hordalékot és a tápanyagokat, így egy viszonylag állandó környezet (árnyékolás és stabil vízháztartás) alakul ki a vízfolyások felső szakaszán, mely alacsonyabb diverzitású kovaalga közösség kialakulásához vezet.

Ezek az eredményeim rávilágítottak arra, hogy a Pannon ökorégióban a mezőgazdaságnak jelentős hatása van a síkvidéki, alacsony rendűségű vízfolyások kovaalga közösségére. Az urbanizáció fokozódásával a mesterséges felületek aránya nőni fog és ennek kedvezőtlen hatása előre jelezhető. Az antropogén tájtalakítások mellett pedig az éghajlatváltozás hatásaival is számolnunk kell, mely további veszélyt jelent vizeink ökológiai állapotára.

SZIKES VÍZI ÖKOSZISZTÉMÁK

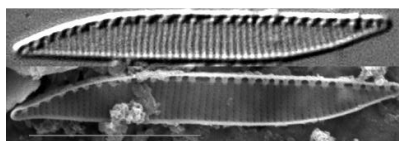
4. TÉMA: ELTŰNŐ VILÁG: KÖZÉP-EURÓPAI SZIKES TAVAK ÉS KOVAALGA ÖSSZETÉTELŰK

A Kárpát-medence 31 szikes tavának három évig tartó vizsgálata alapján kimutattam (Stenger-Kovács et al., 2014b), hogy a szikes tavakban a mozgó ökológiai guildbe tartozó *Nitzschia* és a *Navicula sensu lato* fajok a leggyakoribbak: azok a fajok, melyek a kontinentális sós tavakra is jellemzőek. E fajoknak túlélésük érdekében alkalmazkodniuk kell a szikes tavakban található különleges környezethez, melyet a nagy sótartalom, nagyfokú zavarosság, magas tápanyagkoncentráció, nagy napi hőmérsékletingadozás, valamint a tavak efemer jellege jellemez (Boros és Kolpakova, 2018).

A Kárpát-medence szikes tavainak két régiójára (Duna-Tisza-köze: DT; Fertő-Hanság: FH) jellemző indikátorfajokat azonosítottam, melyek nemcsak a magas vezetőképességet (pl. a *Nitzschia fonticola* a DT és a

Nitzschia salinarum az FH esetében), hanem a nagy tápanyagtartalmú környezetet is jelezték (pl. *Fistulifera saprophila* a DT esetében, *Hippodonta capitata* az FH esetében).

A kovaalga összetételben a regionális különbségek, a szélsőséges időjárási viszonyok és a természetvédelmi kezelés hatása is egyértelműen kimutatható volt. A Duna-Tisza közén található, szinte érintetlen szikes tavak (Kardoskúti-Fehértó, Böddi-szék, Bába-szék, Kelemen-szék) vize zavaros a nagy szuszpendált szervesanyag, szilárdanyag tartalom miatt. Vezetőképességük, pH-értékük és a tápanyagtartalmuk (NH_4^+ , SRP és TP) a legmagasabb a vizsgált tavak közül. E tavakban a *Nitzschia austriaca* (4. ábra) és a *Nitzschia etoshensis* volt domináns. Az átlagosnál magasabb mennyiségű csapadék hatására ezekben a tavakban 2006-ban a vezetőképesség alacsonyabb, míg a NO_3^- koncentráció a szokásosnál nagyobb volt a környező mezőgazdasági területekről történő lefolyás miatt. A tavak ennek ellenére megőrizték szikes jellegüket, a halofil fajok, mint például a *Nitzschia supralitorae* és a *Craticula halophila* domináltak. Mindazonáltal, az ionösszetételben és a domináns taxonokban bekövetkezett változások egyértelműen jelezték a szélsőséges időjárási viszonyokat.



4. ábra: A szikes tavak egyik jellegzetes kovaalga faja a *Nitzschia austriaca*.

A Fertő-Hanság régió szikes tavaira az alacsonyabb HCO_3^- tartalom és vezetőképesség jellemző. A régió belül azonban néhány tóban (pl. Cikes, Pap-rét, Nyéki-szállás, Herrnsee, Albersee) magasabb vezetőképesség és SO_4^{2-} iondominancia jellemző, melyekben az olyan halofil fajok uralkodnak, mint a *Nitzschia frustulum* és *N. aurariae*. A régió többi tavára (Borsodi-dűlő,

Legény-tó) a SO_4^{2-} mellett magasabb Cl^- és SRSi tartalom volt jellemző, de a vezetőképesség és az TP koncentráció alacsonyabbnak mutatkozott. Mindkét tó vízszintjét szabályozták, melynek során a víz fizikai és kémiai jellemzői jelentősen megváltoztak, melyet édesvízi fajok jeleztek.

A kovaalga közösségek összetételét magyarázó legfontosabb változók a vezetőképesség (HCO_3^- vagy SO_4^{2-} koncentrációnak köszönhetően) és a hőmérséklet voltak. Ezek a klímavezérelt környezeti változók kulcsfontosságúak a teljes élővilág összetételének alakításában és a sós tavak fennmaradásában is (Williams, 2002; Stenger-Kovács et al., 2023a).

A tavakban lévő vízhiány az éghajlatváltozás és az emberi beavatkozások miatt már régóta nyilvánvaló, napjainkban a helyzet azonban kritikus. A tavak területe jelentősen csökkent, egyes tavak teljesen vagy részben kiszáradtak (pl. Szappan-szék), jellegzetes élőviláguk eltűnt. A szikes tavak és különleges tulajdonságaik megőrzéséhez olyan országos és nemzetközi kezelési tervre és védelemre van szükség, amely úgy biztosítja a vízborítást, hogy szimulálja a természetes hidrológiai ciklusukat (Lengyel et al., 2019).

5. TÉMA: A HAGYOMÁNYOS DIVERZITÁS INDEXEK ÉS A TAXONÓMIAI TÁVOLSÁG TESZTELÉSE A KÁRPÁT-MEDENCEI SZIKES TAVAK BENTIKUS KOVAALGA KÖZÖSSÉGEIBEN

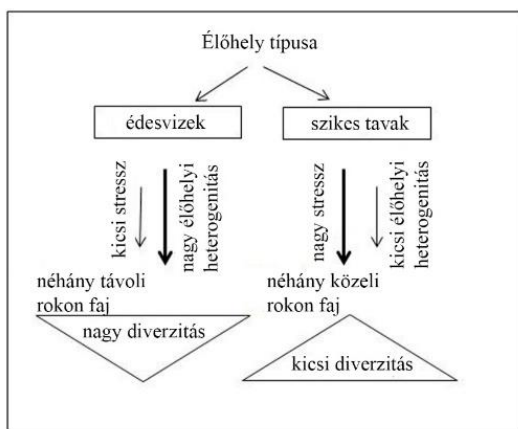
Ebben a vizsgálatban kimutattam (Stenger-Kovács et al., 2016), hogy a szikes tavak kovaalga fajszáma és Shannon diverzitása lényegesen alacsonyabb, mint a régióban és Európa más részein található édesvízi ökoszisztémáké (Gottshalk és Kahlert, 2012). A természetes állapotú szikes tavakban - ahol jelentős a fizikai és kémiai stressz - a hagyományos metrikák mellett az AvTD (átlagos taxonómiai távolság) is alacsonyabb, ahogy azt a zooplanktonnál (Horváth et al., 2014) is tapasztalták. A szikes tavak AvTD-je 64, ami átlagosan 4,5 távolsági szintet jelent a törzsfán két random módon kiválasztott faj között, ami a nemzetség és a család között található félúton. Ez az érték

kisebb, mint más édesvízi ökoszisztémáké (Leira et al., 2009). Ez a különbség még inkább szembeűnő a VarTD (átlagos taxonómiai távolság varianciája) esetében (400), amely az édesvízi tavakban (Leira et al., 2009) tapasztalt értékeknek csak a felét tette ki és mintegy 20%-a volt a folyóvizekben (Campbell et al., 2008) megfigyelt értékeknek. Az édesvízi rendszerekben jóval kisebb stressz éri az élőlényeket a sós vízi ökoszisztémákhoz képest, ami a taxonómiai távolság indexek és a hagyományos diverzitás mérőszámok növekedésében mutatkozik meg (5. ábra).

Egy erőteljesen stresszes környezetben - mint amilyenek a szikes tavak, ahol az élőhely heterogenitása kicsi - csak néhány, egymással szoros rokonságban álló faj dominanciája jellemző (5. ábra). Az ilyen típusú vízi ökoszisztémákban a természetvédelmi megőrzés fő céljának a kevésbé változatos, alacsony fajgazdagságú közösségek fenntartását kell tekinteni. E cél eléréséhez limnológiai ismeretekre van szükség, miszerint a szikesek jellegzetes fizikai és kémiai változóit és a természetes hidrológiai ciklusát kell biztosítani (Stenger-Kovács et al., 2014b; Lengyel et al., 2019).

Az érintetlen szikes tavakban a hagyományos diverzitásmutatók (fajgazdagság és Shannon diverzitás) és az AvTD hasonló tendenciát mutatott: jelentősen alacsonyabbak voltak, mint a rekonstruált és a degradált területeken, ellentétben számos tengeri vizsgálatban tapasztaltnal (Warwick és Light, 2002). Ez az eredmény rávilágít arra, hogy az olyan emberi tevékenység, amely módosítja a tavak hidrológiai ciklusát (például csatornákon keresztül), jelentősen megváltoztatják a tavak limnológiai paramétereit és az élőlényközösségek összetételét, még akkor is, ha az ilyen beavatkozások természetvédelmi célokat szolgálnak (Stenger-Kovács et al., 2014b; Tóth et al., 2014). Valamennyi vizsgált diverzitásmutató egyértelmű összefüggést mutatott a környezeti változókkal. A hagyományos diverzitásmutatóknak és a taxonómiai távolság mérőszámainak környezeti változókra adott válasza azonban alapvetően különbözött. A kovaalgák

taxonómiai távolság indexei elsősorban a tápanyagokkal voltak összefüggésben. Ezért a taxonómiai távolság indexek alkalmazását olyan típusú tavak esetében javasoljuk, ahol az ökológiai állapot alapvetően a trofitási szinttől függ (édesvízi tavak), illetve olyan esetekben, amikor fajgazdagság változása a trofitási gradiens mentén nem egyértelmű. Édesvízi tavakban a tápanyagterhelés növekedésével a taxonómiai távolság növekedése tapasztalható, ami aztán a trofitási spektrum végén néhány távoli rokon faj dominanciájához vezet (Leira et al., 2009). Ezzel ellentétben a vizsgált euhipertróf szikes tavakban csak kevés közeli rokonságban álló, oligopóliummal rendelkező faj volt jellemző (5. ábra).



5. ábra: A különböző stresszintenzitás és az élőhelyi heterogenitás hatása édesvizekben és a szikes tavakban.

A szikesek természetes okból (vízimadarak és az emlősök ürüléke; Stenger-Kovács et al., 2014b) rendelkeznek magas tápanyagtartalommal. Éppen ezért az olyan általánosan mért paraméterek, mint a TP nem informatívak az ökológiai állapotukra vonatkozóan. Néhány közösségi jellemző azonban, mint a fajgazdagság és a Shannon diverzitás jól jelzik a szikesek megőrzendő

limnológiai jellemzőit (vezetőképesség, pH, Cl⁻), így alkalmasak az állapotuk becslésére is. A fajgazdagság volt a legérzékenyebb a vezetőképesség változására, míg a Shannon diverzitás a pH-ra. Az AvTD azonban érzékenyebb és robusztusabb mutatója volt a pH-nak. A VarTD a tápanyagon kívül a hagyományos mérőszámokhoz hasonlóan a hőmérséklet indikátoraként is alkalmazható, ami fontos lehet, ha az éghajlatváltozásból származó változásokra gondolunk.

6. TÉMA: A BENTIKUS KOVAALGÁK JELLEGALAPÚ ELEMZÉSEINEK TOVÁBBFEJLESZTÉSE: JELLEG- ÉS FAJALAPÚ INDEXEK KIDOLGOZÁSA

A kontinentális, sós tavak nemzetközi szinten is kihívást jelentenek és speciális megközelítést igénylenek tudományos, természetvédelmi és vízgazdálkodási szempontból egyaránt. Legtöbbjük része a Víz Keretirányelv biológiai minőségi elemek (BQE) szerinti monitorozásnak és az ökológiai állapotbecslésnek. Megőrzésük és a Víz Keretirányelvben foglaltak harmonizációja szükségessé tette az ökológiai állapotukat megbízhatóan becsülő indexek fejlesztését a szakemberek és a döntéshozók számára. A szikes tavak kovaalga közösségének részletes ismerete (Stenger-Kovács et al., 2014b) lehetővé tette számomra mind a taxonómiai, mind pedig a funkcionális megközelítésen alapuló indexek kifejlesztését (Stenger-Kovács et al., 2018). Vezetőképességi modellt hoztam létre ezekre a különleges ökoszisztémákra, melynek segítségével 143 faj optimumát és a toleranciáját határoztam meg a fajalapú indexhez (DISP: Diatom Index for Soda Pans), ahol a_i =az i taxon relatív gyakorisága, s_i =az i taxon érzékenységi értéke és v_i =az i taxon indikátor értéke.

$$DISP = \frac{\sum_{i=1}^n a_i s_i v_i}{\sum_i a_i v_i}$$

A DISP értékei 1 és 6 között mozognak, ahol a nagyobb DISP érték jobb ökológiai állapotot jelez. A DISP index előnye, hogy típus-specifikus

(síkvidéki, magas sótartalmú, <10 km² területű, sekély [<3 m], asztatikus tavakra alkalmazható) és képes a természetesen magas vezetőképességet pozitív értéként kezelni. A DISP fajkészlete lényegesen nagyobb, mint a potenciálisan rendelkezésre álló korábbi indexeké (Ziemann et al., 1999; Ács, 2007), valamint a DISP index és a vezetőképesség (mint a szikes tavak ökológiai állapotának fő jellemzője) közötti kapcsolat is erősebbnek bizonyult. A DISP indexben szereplő valamennyi fajról teljes fotódokumentációt készítettünk a monitorozásban dolgozó biológusok és asszisztensek számára (Stenger-Kovács és Lengyel, 2015; Lengyel, 2017; Stenger-Kovács et al., 2018).

A hagyományos, faj vagy akár fajsint alatti taxonómiai felbontáson alapuló indexek alapossága és hasznossága nem kérdőjelezhető meg. Ezek alkalmazása azonban sok időt és jelentős szakértelmet igényel, amelynek nyilvánvaló korlátai, hátrányai és bizonytalanságai vannak. Ezek közé tartoznak a félrehatározások, a folyamatosan változó és kimerítő taxonómiai szakirodalom követése, a laboratóriumok eltérő szakértelme, valamint az ökorégiók különböző fajkészlete. A harmonizációs erőfeszítések ellenére is ezek a problémák jelentősen befolyásolhatják az ökológiai állapotértékelést. Habár az egyre precízebb DNS-alapú fajösszetétel meghatározások gyorsan fejlődnek (Leese et al., 2016), ezek ökológiai "oldala" még mindig feltárássra vár. Ennek megfelelően, a jellegalapú megközelítések "hidat" jelenthetnek és potenciális megoldást nyújthatnak az ilyen nehézségekre. A jellegalapú elemzések ideális esetben több tulajdonságot tartalmaznak, ezért a többféle jellegen ("multi-trait") alapuló megközelítést alkalmaztam (15 guild és morfológiai jelleg, illetve ezek kombinációi). Ezzel a részletes guild- és jellegalapú osztályozással sikerült a funkcióval rendelkező jellegek azonosítása, melyek jól jelezték a szikes tavak természetes (magas vezetőképességű) és a degradált (alacsony vezetőképességű) ökológiai

állapotát, mely alapján jellegalapú indexet (TBI: Trait-Based Index) tudtam kidolgozni:

$$TBI = \log_{10} \left[\frac{MS1 + MLW2 + MLW3 + 0.003}{P + S4 + H + L + 0.003} \right] + 4.5$$

ahol a számlálóban:

MS1: a mozgékony, kis sejttérfogatú ($< 100 \mu\text{m}^3$) kovaalga fajok relatív gyakorisága;

MLW2: az LW2 arányú ($2 \leq \text{hossz/szélesség} < 4$) mozgó kovaalga fajok relatív gyakorisága;

MLW3: az LW3 arányú ($4 \leq \text{hossz/szélesség} < 6$), mozgó kovaalga fajok relatív gyakorisága;

a nevezőben:

P: a planktonikus guildbe tartozó kovaalga fajok relatív gyakorisága;

S4: $600 \mu\text{m}^3$ és $1500 \mu\text{m}^3$ közötti sejt térfogattal rendelkező kovaalga fajok relatív gyakorisága, ökológiai guildtől függetlenül;

H: magas profilú ökológiai guildbe tartozó kovaalga fajok relatív gyakorisága;

L: az alacsony profilú ökológiai guildbe tartozó kovaalga fajok relatív gyakorisága.

A magas vezetőképességet, így az "érintetlen" ökológiai állapotot jelző ökológiai csoportot azok a mozgó guildet alkotó fajok alkották, melyek kis sejtmérettel (MS1) és kevésbé gömbölyded, inkább hosszúkás alakkal rendelkeztek (MLW2, MLW3). E jellegekkel rendelkező fajok dominanciáját a magas sótartalom mellett a szikes tavak további tulajdonságai, mint a magas tápanyagtartalom, a zavarosság, a csökkenő vízszint vagy az átmeneti kiszáradási fázisok is támogatták.

Azonosítottam a mozgó fajok kis sejtméretének és morfológiai tulajdonságainak funkcióját. A kis sejtméret fiziológiai alkalmazkodás lehet a

nagy sótartalmú környezethez, mint, ahogy a kovaalgák felszínének és a szilícium vázon lévő pórusméret változtatása is (Leterme et al., 2010). Ennek a morfológiai jellegnek a funkciója azonban a szikes tavakban a tapasztalt alacsony fényintenzitással is összefüggésbe hozható, hasonlóan az erdei, árnyékolt patakokhoz, ahol szintén a kisméretű fajok dominálnak, egyszerűbb közösségi struktúrával (Cibils-Martina et al., 2017). A mozgó, kis sejtméretű fajok (S1) továbbá könnyen elrejtőzhetnek a szervetlen iszapszemcsék között a tavak kiszáradó fázisában, amit üledékes, kiszáradó patakokban is megfigyeltek (Lange et al., 2016). A kevésbé gömbölyded, inkább hosszúkás forma - hasonlóan a kis sejtmérethez - szintén segítheti az iszapszemcsék közötti elrejtőzést vagy az üledékrészecskék közötti mozgást is. A másik lehetséges funkció, amely e jelleg mögött áll az, hogy zavaros, fénylimitált élőhelyeken ezek a hosszúkás sejtek antennaként/fénycsapdaként szolgálhatnak.

A jellegek (morfológiai tulajdonságok) és guildék erősen összefüggenek a vezetőképességgel, annak változásaira érzékenyen reagálnak, mely alátámasztja a több jelleget (multi-trait) magában foglaló funkcionális megközelítés létjogosultságát a kovaalga kutatásban. A jellegalapú bentikus kovaalga indexünk alkalmazása nem korlátozódik a Kárpát-medencére, a szikes tavak földrajzi elhelyezkedésétől függetlenül alkalmazható a biomonitorozásban és a természetvédelemben egyaránt.

7. TÉMA: FUNKCIONÁLIS DIVERZITÁS INDEXEK ALKALMAZÁSA A KÖRNYEZETI VÁLTOZÁSOK KOVAALGA KÖZÖSSÉGRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK MEGÉRTÉSÉHEZ

A szikes tavak vizsgálatát tovább folytatva (Stenger-Kovács et al., 2020b) megállapítottam, hogy a tavakat alacsony kovaalga funkcionális diverzitás jellemzi, ahogy alacsony a faji diverzitás is (Stenger-Kovács et al., 2016). Az alacsony funkcionális diverzitás fő okai: az alacsony élőhelyi heterogenitás, az erős környezeti szűrés és a zord környezet, ami a fajok és a megfelelő jellegek szelekciójához vezet (Teittinen et al., 2018). Csak a funkcionálisan hasonló fajok maradhatnak fenn, ami alacsony funkcionális diverzitást eredményez ezekben az extrém ökoszisztémákban, hasonlóan az aszály sújtotta időszakos vízfolyásokhoz (B-Béres et al., 2019) vagy a hegyvidéki területekhez, ahol szintén különleges környezeti feltételek uralkodnak (Schneider et al., 2017).

Kimutattam, hogy a tavak regionális elhelyezkedése, az állapota, valamint a víz színe is jelentős hatással volt a szikes tavak funkcionális diverzitására. Regionális léptékben a térbeli hatás erőssége magyarázta a legnagyobb mértékben a kovaalgák funkcionális diverzitásának változását, ami alátámasztja azt a feltételezést, hogy a térbeli folyamatok lényegesen befolyásolhatják a közösségek szerkezetét és funkcióját (Heino et al., 2015).

Azt tapasztaltam, hogy a funkcionális diverzitás indexek szignifikánsan alacsonyabb értékeket (érintetlen állapot) mutattak a természetes szikes tavakban, mint a leromlott állapotú, vagy a rekonstruált tavakban. Az emberi tevékenység tehát jelentős hatással van a biológiai sokféleségre mind taxonómiai- (Heino, 2005; Stenger-Kovács et al., 2016), mind funkcionális szinten.

A szikes tavakban a szintípusuknak megfelelő fényklíma szintén jelentős hatást gyakorol a jellegösszetételre és a funkcionális diverzitásra, ahogy azt a közösségei összetételében is tapasztalták (Földi et al., 2018). A

tavak szintípusára az FDis (funkcionális divergencia) és RaoQ (Rao kvadratikus entrópia) indexek voltak a legérzékenyebbek, ezek a három szintípusban szignifikánsan különböztek egymástól. Az indexek alacsony értéke a zavaros és a színes tavakban a nagyobb stresszt jelezte, melyet a szerves részecskék vagy a huminanyagok nagy mennyisége okozott.

Sem az évszakoknak és a hozzájuk kapcsolódó hidrológiai ciklusoknak, sem az aljzat típusának nem volt jelentős hatása a funkcionális diverzitásra. Taxonómiai szinten azonban a szezonális hatások a szikes tavak bentikus kovaalga (Lengyel et al., 2016), valamint planktonikus algaközösségeiben is kimutathatók (Alfonso et al., 2017). A mikrohabitat preferencia (az aljzat típusa) azonban taxonómiai szinten vizsgálva is elhanyagolható a szélsőséges környezeti feltételeknek köszönhetően (Lengyel et al., 2016).

A jellegalapú funkcionális diverzitás indexek környezeti változók által magyarázott varianciája ötször nagyobb volt (95,4%), mint a fajalapú közösségi elemzésekben (18,1%, Stenger-Kovács et al., 2014b). Minden funkcionális diverzitási index érzékeny volt a szikes tavak legjellemzőbb környezeti változóira (a vezetőképességre és a pH-ra), így nagyon hatékony és informatív mérőszámoknak tekinthetők. A funkcionális diverzitás indexek típusspecifikusnak bizonyultak, és mivel több környezeti változó hatását integrálták összetettebb indikátoroknak tekinthetők. Az indexek közül az FGR (posteriori funkcionális csoport gazdagság), FRic (funkcionális gazdagság), FDis és FDiv (funkcionális divergencia) bizonyultak a leghasznosabbnak a szikes tavak ökológiai állapotának és természetvédelmi értékének becslésében.

A funkcionális diverzitás indexek tehát olyan típuspecifikus, szubsztrátumtól és évszakosságtól független mérőszámok, mely lehetővé teszi ennek az élőhelytípusnak a globális szintű, funkcionális megőrzését.

A DOLGOZAT ÚJ EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA TÉZISEKBEN

1. A vízfolyások kovaalga fajszáma és Shannon diverzitása, valamint a rendűség között egyértelmű, lineáris kapcsolatot tártam fel. Regionális szinten a fajgazdagság átlagosan 8%-kal, míg a diverzitás 10%-kal nőtt a rendűség egységnyi növekedésével. Így megállapítható, hogy a kovaalgák nemcsak a felszíni vizek fizikai és kémiai változóinak jó indikátorai, hanem azok hidromorfológiai tulajdonságainak is. Ennek értelmében a folyóvizek rendűsége egy releváns tipológiai paraméter, amely alapvetően meghatározza a kovaalga diverzitást, ezért jól alkalmazható a biomonitorozásban is.

2. A kovaalga ökológiai guildeket vizsgálva igazoltam, hogy a guildek látszólagos egyszerűségük ellenére hatékony eszközök a vízfolyások időben változó környezeti paramétereinek nyomon követésére. Robosztus évszakos trend jellemző rájuk. Tavasszal és nyáron a megnövekedett besugárzás a magas és az alacsony profilú guildnek kedvez. Az áradási periódusokban a víz zavarosságának növekedésével az alacsony profilú guild kerül előnybe, rendkívül erős tapadásának és a magas profilú guild relatív abundanciája csökkenésének köszönhetően. Az alacsony profilú guild az alacsony tápanyagkoncentrációt (SRP és TN) indikálja, míg a magas profilú guild a forrásokban (SRP és SRSi) gazdag periódusokra jellemző. A mozgó ökológiai guild (mely ősszel és télen dominál) a legérzékenyebb a tápanyagokra (TN and SRSi) és más környezeti tényezőkre (hőmérséklet, Cl⁻) is.

3. Összefüggést mutattam ki a vízgyűjtő szintű tájhasználat és a kovaalgák faj- és jellegösszetétele között. A Kárpát-medence síkvidéki vízfolyásaiban a kovaalga- és jellegösszetételt, valamint a fajgazdagságot elsősorban a lokális környezeti változók határozzák meg. A funkcionális gazdagság változása azonban elsősorban a vízgyűjtő szintű tájhasználat hatásának tudható be. Egyértelmű jellegösszetételbeli különbség mutatható ki az erdős (alacsony profilú guild, kis sejt méret) és a mezőgazdasági területek

(mozgó ökológiai guild, közepes sejtméret, lineáris-lándzsa alak) között. A vízgyűjtő területen a vizes- és a mesterséges felületek nagyobb aránya az alacsony profilú, közepes méretű, kissé megnyúlt alakú kovaalga fajok terjedésének kedvez, és teret adhat az ilyen jellegekkel rendelkező fajok inváziójának is.

4. Kimutattam, hogy a szikes tavakban, a stressztoleráns, mozgó ökológiai guildbe tartozó taxonok dominálnak, mint amilyenek a *Nitzschia* és *Navicula sensu lato* fajok. A kovaalga összetételt főként a klímavezérelt változók határozzák meg, amilyen a vezetőképesség, a hőmérséklet és az ionkoncentráció. A tápanyagterhelés, az extrém időjárási események és a természetvédelmi tevékenységek egyaránt tükröződnek a kovaalga közösség összetételének megváltozásában.

5. Megállapítottam, hogy a természetes állapotú szikes tavi ökoszisztémák alacsony kovaalga diverzitásúak, amely az erős stressznek (magas vezetőképesség, pH, zavarosság, tápanyagtartalom és napi hőmérsékletingadozás) és a kicsi élőhelyi heterogenitásnak köszönhető. Ezekben a sós tavakban a közel rokonfajok oligopóliuma jellemző. A Linné rendszertanán alapuló filogenetikai diverzitás metrikák (AvTD és VarTD) jól jelezték a tavak trofitási állapotát, szemben a hagyományos diverzitás metrikákkal, melyek egyértelműen a szikes tavak speciális fizikai és kémiai (vezetőképesség) jellemzőire voltak érzékenyek. Az átlagos taxonómiai távolság (AvTD) a hagyományos indexekhez képest a pH precízebb indikátora volt. A szikes tavakban a természetes hidrológiai ciklus és az egyedi limnológiai tulajdonságok fenntartása csakúgy, mint az alacsony fajdiverzitás megőrzése kulcsfontosságú, hogy ezzel lehetőséget biztosítsunk a kovaalga közösségek klímaváltozáshoz való könnyebb alkalmazkodásához és hatásainak csökkentéséhez.

6. Fajalapú és jellegalapú kovaalga indexeket fejlesztettem (DISP, TBI) a szikes tavak ökológiai állapotának becslésére. Az indexek mindegyike megbízhatóan használható a szikes tavak ökológiai állapotbecslésére, azonban a jellegalapú indexek alkalmazása sokkal kevesebb erőfeszítést igényel, elkerüli a fajalapú indexek bizonytalanságait és korlátait, sőt ökorégiótól függetlenül alkalmazható. A jellegek közül a mozgó fajok, a kis sejtméretű és kevésbé kerek, inkább megnyúlt formák jelezték a szikes tavak természetes ökológiai állapotát, azaz a magas vezetőképességet. A planktonikus fajok, a magas és alacsony profilú guild tagjai és a nagy sejtméret pedig a rossz ökológiai állapotot (alacsony vezetőképességet) indikálták.

7. Felismertem, hogy a szikes tavak természetes jellemzői, mint az élőhelyek alacsony heterogenitása és a zord környezet bizonyos jellegek szelekciójához és alacsony funkcionális diverzitáshoz vezet. Az emberi tevékenység hatására azonban az édesvízi tulajdonságok lesznek jellemzők és a funkcionális diverzitás növekszik. A tavak regionális elhelyezkedésének és az állapotuknak (természetes, aktív természetvédelmi tevékenység alatt álló) van a legjelentősebb hatása a kovaalga funkcionális diverzitásra. A diverzitás környezeti változókkal magyarázott varianciája ötször nagyobb a jellegalapú elemzés alkalmazása esetén, mint a taxonómiai módszer esetén. A vizsgált funkcionális diverzitási indexek mindegyike érzékeny volt a legfontosabb környezeti változókra, típus-specifikusak és összetettebb mutatóknak bizonyultak, mint a taxonómiai mérőszámok. Négy funkcionális diverzitási index (FGR, FRic, FDis és FDiv) alkalmazható az ökológiai állapot globális szintű, funkcionális megőrzéséhez, s ezen indexek értékeit sem az aljzat típusa, sem pedig az évszakosság nem befolyásolja.

AZ ÉRTEKEZÉS ALAPJÁT KÉPEZŐ KÖZLEMÉNYEK

- Stenger-Kovács, C.**, Lengyel, E., Crossetti, L. O., Üveges, V., Padisák, J. (2013): Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small Torna-stream, Hungary. *ECOLOGICAL INDICATORS* 24: 138-147. **(IF: 3,23; Q1)**
- Stenger-Kovács, C.**, Tóth, L., Tóth, F., Hajnal, É., Padisák, J. (2014a): Stream order-dependent diversity metrics of epilithic diatom assemblages. *HYDROBIOLOGIA* 721: 67-75. **(IF: 2,275; Q1)**
- Stenger-Kovács, C.**, Lengyel, E., Buczkó, K., Tóth, M. F., Crossetti, O. L., Pellinger, A., Zábóné Doma, Z., Padisák, J. (2014b): Vanishing world: alkaline, saline lakes in Central Europe and their diatom assemblages. *INLAND WATERS* 4: 383-396. **(IF: 1,31; Q2)**
- Stenger-Kovács, C.**, Hajnal, É., Lengyel, E., Buczkó, K., Padisák, J. (2016): A test of traditional diversity measures and taxonomic distinctness indices on benthic diatoms of soda pans in the Carpathian basin. *ECOLOGICAL INDICATORS* 64: 1-8. **(IF: 3,898; Q1)**
- Stenger-Kovács, C.**, Körmendi, K., Lengyel, E., Abonyi, A., Hajnal, É., Szabó, B., Buczkó, K., Padisák, J. (2018): Expanding the trait-based concept of benthic diatoms: Development of trait and species-based indices for conductivity as the master variable of ecological status in continental saline lakes. *ECOLOGICAL INDICATORS* 95: 63-74. **(IF: 4,49; Q1)**
- Stenger-Kovács, C.**, Lengyel, E., Sebestyén, V., Szabó, B. (2020a): Effects of land use on streams: traditional and functional analyses of benthic diatoms. *HYDROBIOLOGIA*, 847: 2933-2946. **(IF: 2,912; Q1)**
- Stenger-Kovács, C.**; Lengyel, E., Buczkó, K., Padisák, J., Korponai, J. (2020b): Trait-based diatom functional diversity as an appropriate tool for understanding the effects of environmental changes in soda pans. *ECOLOGY AND EVOLUTION* 10: 320-335. **(IF: 2,912; Q1)**

AZ ÉRTEKEZÉSBEN NEM SZEREPLŐ, DE A TÉMAKÖRHÖZ KAPCSOLÓDÓ IMPAKT FAKTOROS KÖZLEMÉNYEK

- Stenger-Kovács, C.**, B-Béres, V., Buczkó, K., Tapolczai, K., Padisák, J., Selmeczy, G. B., Lengyel, E. (2023a): Diatom community response to inland water salinization: a review. *HYDROBIOLOGIA* <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05167-w> (IF: **2,822**; Q1)
- Stenger-Kovács, C.**, B-Béres, V., Buczkó, K., Al.Imari, J. T., Lázár, D., Padisák, J., Lengyel, E. (2023b): Review of phenotypic response of diatoms to salinization with biotechnological relevance. *HYDROBIOLOGIA* 10.1007/s10750-023-05194-7 (IF: **2,822**; Q1)
- B-Béres, V., **Stenger-Kovács, C.**, Buczkó, K., Padisák, J., Selmeczy, G. B., Lengyel E., Tapolczai, K. (2023): Ecosystem services provided by freshwater and marine diatoms. *HYDROBIOLOGIA* 850: 2707-2733. (IF: **2,822**; Q1)
- Buczkó, K., Trábert, Z., **Stenger-Kovács, C.**, Tapolczai, K., Bíró, T., Duleba, M., Földi, A., Korponai, J., Vadkerti, E., Végvári, Z., Ács, É. (2022): Rapid expansion of an aquatic invasive species (AIS) in Central-European surface waters; a case study of *Achnanthydium delmontii*. *ECOLOGICAL INDICATORS* 135: 108547. (IF: **6,263**; D1)
- B-Béres V., **Stenger-Kovács, C.**, Török, P., Török-Krasznai, E. (2021): Are recent protection strategies sufficient for maintaining diverse freshwater benthic diatom assemblages? *ECOLOGICAL INDICATORS* 127: 107782. (IF: **6,263**; D1)
- Lengyel, E., Szabó, B., **Stenger-Kovács, C.** (2020): Realized ecological niche-based occupancy–abundance patterns of benthic diatom traits. *HYDROBIOLOGIA* 847: 3115-3127. (IF: **2,694**; Q1)
- Lengyel, E., Lázár, D., Trájer, A. J., **Stenger-Kovács, C.** (2020): Climate change projections for Carpathian soda pans on the basis of photosynthesis evidence from typical diatom species. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 710: 136241 (IF: **7.963**; D1)
- Lengyel, E., Pálmai, T., Padisák, J., **Stenger-Kovács, C.** (2019): Annual hydrological cycle of environmental variables in astatic soda pans (Hungary). *JOURNAL OF HYDROLOGY* 575: 1188-1199. (IF: **4,5**; D1)

- Szabó, B., Lengyel, E., Padisák, J., **Stenger-Kovács, C.** (2019): Benthic diatom metacommunity across small freshwater lakes of the Carpathian Basin - driving mechanisms, β -diversity and ecological uniqueness. *HYDROBIOLOGIA* 828:183-198. (IF: 2,385; Q1)
- Szabó, B., Lengyel, E., Padisák, J., Vass, M., **Stenger-Kovács, C.** (2018): Structuring forces and β -diversity of benthic diatom metacommunities in soda pans of the Carpathian Basin. *EUROPEAN JOURNAL OF PHYCOLOGY* 53: 219-229. (IF: 2,526; Q1)
- Wang, C., B-Béres, V., **Stenger-Kovács, C.**, Li, X., Abonyi, A. (2018): Enhanced ecological indication based on combined planktic and benthic functional approaches in large river phytoplankton ecology. *HYDROBIOLOGIA* 818: 163-175. (IF: 2,325; Q1)
- Szabó, B., Padisák, J., Selmeczy, G. B., Krienitz, L., Casper, P., **Stenger-Kovács, C.** (2017): Spatial and temporal patterns of benthic diatom flora in Lake Stechlin, Germany. *TURKISH JOURNAL OF BOTANY* 41: 211-222. (IF: 1,066; Q2)
- Tapolczai, K., Bouchez, A., **Stenger-Kovács, C.**, Padisák, J., Rimet, F. (2017): Taxonomy- or trait-based ecological assessment for tropical rivers? Case study on benthic diatoms in Mayotte island (France, Indian Ocean). *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 607-608: 1293-1303. (IF: 4,61; D1)
- Lengyel, E., Padisák, J., Hajnal, É., Szabó, B., Pellingner, A., **Stenger-Kovács, C.** (2016): Application of benthic diatoms to assess efficiency of conservation management: a case study on the example of three reconstructed soda pans, Hungary. *HYDROBIOLOGIA* 777: 95-110. (IF: 2,056; Q1)
- 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. (IF: 2,056; Q1)
- Lengyel, E., Padisák, J., **Stenger-Kovács, C.** (2015): Establishment of equilibrium states and effect of disturbances on benthic diatom assemblages of the Torna-stream, Hungary. *HYDROBIOLOGIA* 750: 43-56. (IF: 2,051; Q1)

- Crossetti, L. O., **Stenger-Kovács, C**, Padisák, J. (2013): Coherence of phytoplankton and attached diatom-based ecological status assessment in Lake Balaton. *HYDROBIOLOGIA* 716: 87-101. **(IF: 2,212; Q2)**
- Hajnal, É., **Stenger-Kovács, C.**, Ács, É., Padisák, J. (2009): DILSTORE software for ecological status assessment of lakes based on benthic diatoms. *FOTTEA* 9: 351-354. **(IF: 1,762; Q2)**
- Szilágyi, F., Ács, É., Borics, G., Halasi-Kovács, B., Juhász, P., Kiss, B., Kovács, T., Müller, Z., Lakatos, G., Padisák, J., Pomogyi, P., **Stenger-Kovács, C.**, Szabó, K.É., Szalma, E., Tóthmérész, B. (2008): Application of Water Framework Directive in Hungary: Development of biological classification systems. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY* 58: 2117-2125. **(IF: 1,005; Q2)**
- Stenger-Kovács, C.**, Buczkó, K., Hajnal, É., Padisák, J. (2007): Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *HYDROBIOLOGIA* 589: 141-154. **(IF: 1,201; Q2)**
- Kovács, C.**, Kahlert, M., Padisák, J. (2006): Benthic diatom communities along pH and TP gradient in Hungarian and Swedish streams. *JOURNAL OF APPLIED PHYCOLOGY* 18: 105-117. **(IF: 0,746; Q3)**

AZ ÉRTEKEZÉSBEN NEM SZEREPLŐ, DE A TÉMAKÖRHÖZ KAPCSOLÓDÓ NEM IMPAKT FAKTOROS MONOGRÁFIA:

- Stenger-Kovács, C.**, Lengyel, E. (2015): Taxonomical and distribution guide of diatoms in soda pans of Central Europe. *STUDIA BOTANICA HUNGARICA* 46: 3-203.

A TELJES ÉLETMŰ ÖSSZESÍTETT IMPAKT FAKTORA: 123,712

A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT TOVÁBBI KÖZLEMÉNYEK

- Ács, É. (2007): A Velencei-tó bevonatlakó algáinak tér- és időbeli változása, kapcsolata a tó ökológiai állapotával. *Acta Biologica Debrecina Oecologica Hungarica* 17, *Hydrobiological Monographs* Vol. 1: 9-111.
- Alahuhta, J., Erős, T., Kärnä, O.-M., Soininen, J., Wang, J., Heino, J. (2019). Understanding environmental change through the lens of trait-based, functional, and phylogenetic biodiversity in freshwater ecosystems. *ENVIRONMENTAL REVIEWS* 27: 263-273.
- Alfonso, M. B., Zunino, J., Piccolo, M. C. (2017): Impact of water input on plankton temporal dynamics from a managed shallow saline lake. *ANNALES DE LIMNOLOGIE – INTERNATIONAL JOURNAL OF LIMNOLOGY* 53: 391-400.
- B-Béres, V., Lukács, Á., Török, P., Kókai, Z., Novák, Z., T-Krasznai, E., Tóthmérész, B., Bácsi, I. (2016): Combined eco-morphological functional groups are reliable indicators of colonisation processes of benthic diatom assemblages in a lowland stream. *ECOLOGICAL INDICATORS* 64: 31-38.
- B-Béres, V., Tóthmérész, B., Bácsi, I., Borics, G., Abonyi, A., Tapolczai, K., Rimet, F., Bouchez, Á., Várbíró, G., Török, P. (2019): Autumn drought drives functional diversity of benthic diatom assemblages of continental intermittent streams. *ADVANCES IN WATER RESOURCES* 126: 129-136.
- Biggs, B. J., Thomsen, H. A. (1995): Disturbance of stream periphyton by perturbations in shear stress: time to structural failure and differences in community resistance. *JOURNAL OF PHYCOLOGY* 31: 233-241.
- Boros, E., Kolpakova, M. (2018): A review of the defining chemical properties of soda lakes and pans: An assessment on a large geographic scale of Eurasian inland saline surface waters. *PLOS ONE* 13: e0202205.
- Butchart, S. H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P., Almond, R. E., Baillie, J. E., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., et al. (2010): Global biodiversity: indicators of recent declines. *SCIENCE* 328: 1164-1168.
- Campbell, W. B., Arce-Pérez, R., Gómez-Anaya, J. A. (2008): Taxonomic distinctness and aquatic Coleoptera: comparing a perennial and intermittent stream with differing geomorphologies in Hidalgo, Mexico. *AQUATIC ECOLOGY* 42: 103-113.
- Cibils-Martina, L., Principe, R. E., Márquez, J. A., Gari, E. N., Albariño, R. J. (2017): Succession of algal communities in headwaters: a comparison of pine afforested and natural grassland streams. *ECOLOGICAL RESEARCH* 32: 423-434.
- EC [European Commission] (2000): Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC. Establishing a Framework for community action in the field of water policy. European Commission, PECONS 3639/1/100 Rev 1, Luxembourg.

- Flynn, D. F., Mirotchnick, N., Jain, M., Palmer, M. I., Naeem, S. (2011): Functional and phylogenetic diversity as predictors of biodiversity–ecosystem-function relationships. *ECOLOGY* 92: 1573-1581.
- Földi, A., Ács, E., Grigorszky, I., Ector, L., Wetzel, C. E., Várbiro, G., Kiss, K. T., Dobosy, P., Trábert, Z., Borsodi, A. K., Duleba, M. (2018): Unexpected consequences of bombing. Community level response of epiphytic diatoms to environmental stress in a saline bomb crater pond area. *PLOS ONE* 13: e0205343.
- Gavioli, A., Milardi, M., Castaldelli, G., Fano, E. A., Soininen, J. (2019): Diversity patterns of native and exotic fish species suggest homogenization processes, but partly fail to highlight extinction threats. *DIVERSITY AND DISTRIBUTIONS* 25: 983-994.
- Gottschalk, S., Kahlert, M. (2012): Shifts in taxonomical and guild composition of littoral diatom assemblages along environmental gradients. *HYDROBIOLOGIA* 694: 41-56.
- Heino, J. (2005): Functional biodiversity of macroinvertebrate assemblages along major ecological gradients of boreal headwater streams. *FRESHWATER BIOLOGY* 50: 1578-1587.
- Heino, J., Melo, A. S., Siqueira, T., Soininen, J., Valanko, S., Bini, L. M. (2015): Metacommunity organisation, spatial extent and dispersal in aquatic systems: patterns, processes and prospects. *FRESHWATER BIOLOGY* 60: 845-869.
- Horváth, Z., Vad, C. F., Tóth, A., Zsuga, K., Boros, E., Vörös, L., Ptacnik, R. (2014): Opposing patterns of zooplankton diversity and functioning along a natural stress gradient: when the going gets tough, the tough get going. *OIKOS* 123: 461-471.
- Kelly, M., Bennett, C., Coste, M., Delgado, C., Delmas, F., Denys, L., Ector, L., Fauville, C., Ferréol, M., Golub, M. et al. (2009): A comparison of national approaches to setting ecological status boundaries in phytobenthos assessment for the European Water Framework Directive: results of an intercalibration exercise. *HYDROBIOLOGIA* 621: 169-182.
- Kelly, M. G., Gómez-Rodríguez, C., Kahlert, M., Almeida, S. F., Bennett, C., Bottin, M., Delmas, F., Descy, J.-P., Dörflinger, G., Kennedy, B. et al. (2012): Establishing expectations for pan-European diatom based ecological status assessments. *ECOLOGICAL INDICATORS* 20: 177-186.
- Krynak, E. M., Yates, A. G. (2020): Intensive agriculture alters the biomass size spectrum and body-mass of benthic insects: evidence from a reciprocal transfer experiment. *HYDROBIOLOGIA* 847: 1221-1235.
- Lange, K., Townsend, C. R., Matthaei, C. D. (2016): A trait-based framework for stream algal communities. *ECOLOGY AND EVOLUTION* 6: 23-36.
- Leese, F., Altermatt, F., Bouchez, A., Ekrem, T., Hering, D., Meissner, K., Mergen, P., Pawlowski, J., Piggott, J. J., Rimet, F. et al. (2016): DNAqua-Net: developing new

- genetic tools for bioassessment and monitoring of aquatic ecosystems in Europe. RESEARCH IDEAS AND OUTCOMES 2: e11321.
- Leira, M., Chen, G., Dalton, C., Irvine, K., Taylor, D. (2009): Patterns in freshwater diatom taxonomic distinctness along an eutrophication gradient. FRESHWATER BIOLOGY 54: 1-14.
- Lengyel, E. (2017): Stress and disturbance in benthic diatom assemblages. PhD Thesis, University of Pannonia.
- Leterme, S. C., Ellis, A. V., Mitchell, J. G., Buscot, M.-J., Pollet, T., Schapira, M., Seuront, L. (2010): Morphological flexibility of *Cocconeis placentula* (Bacillariophyceae) nanostructure to changing salinity levels. JOURNAL OF PHYCOLOGY 46: 715-719.
- Padányi, J. (2015): Vízkonfliktusok. HADTUDOMÁNY 25: 272-284.
- 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.
- Péru, N., Dolédec, S. (2010): From compositional to functional biodiversity metrics in bioassessment: a case study using stream macroinvertebrate communities. ECOLOGICAL INDICATORS 10: 1025-1036.
- Schneider, F. D., Morsdorf, F., Schmid, B., Petchey, O. L., Hueni, A., Schimel, D. S., Schaepman, M. E. (2017): Mapping functional diversity from remotely sensed morphological and physiological forest traits. NATURE COMMUNICATIONS 8: 1441.
- Sterling, S. M., Ducharme, A., Polcher, J. (2013): The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. NATURE CLIMATE CHANGE 3: 385-390.
- Stevenson, R. J., Pan, Y., van Dam, H. (2010): Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. In Smol, J. P., Stroemer, E. F. (eds), The diatoms: applications for the environmental and earth sciences. Cambridge University Press, Cambridge: 57-85.
- Swenson, N. G. (2011): The role of evolutionary processes in producing biodiversity patterns, and the interrelationships between taxonomic, functional and phylogenetic biodiversity. AMERICAN JOURNAL OF BOTANY 98: 472-480.
- Teittinen, A., Weckström, J., Soininen, J. (2018): Cell size and acid tolerance constrain pond diatom distributions in the subarctic. FRESHWATER BIOLOGY 63: 1569-1578.
- Tóth, A., Horváth, Z., Vad, C. F., Zsuga, K., Nagy, S. A., Boros, E. (2014): Zooplankton of the European soda pans: fauna and conservation of a unique habitat type. INTERNATIONAL REVIEW OF HYDROBIOLOGY 99: 255-276.
- UNEP [United Nations Environment Programme] (2011): Climate change and POPS: predicting the impacts. Report of the UNEP/AMAP Expert Group Secretariat of the Stockholm Convention, Geneva. pp. 62.

- 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: 882-892.
- Warwick, R. M., Light, J. (2002): Death assemblages of molluscs on St Martin's Flats, Isles of Scilly: a surrogate for regional biodiversity? *BIODIVERSITY & CONSERVATION* 11: 99-112.
- Williams, W. D. (2002): Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *ENVIRONMENTAL CONSERVATION* 29: 154-167.
- Yang, G. Y., Tang, T., Dudgeon, D. (2009): Spatial and seasonal variations in benthic algal assemblages in streams in monsoonal Hong Kong. *HYDROBIOLOGIA* 632: 189-200.
- Ziemann, H., Noltig, U., Rustige, K. H. (1999): Spezifische Indikatoren. Salzgehalt. In Tümping, W., Friedrich, G. (eds), *Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung. Band 2. Biologische Gewässeruntersuchung*, Gustav Fischer, Jena: 309-313.