

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Az antropogén terhelések  
és az abiotikus tényezők változásának  
hidroökológiai elemzése**

Somlyai Imre

Témavezető: Dr. Grigorszky István



**DEBRECENI EGYETEM**  
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2020

# 1. Bevezetés

A víztereiink állapotának jellemzésére régóta és általánosan használjuk a fizikai és kémiai változókat, melyek jelentős mértékben hozzájárulhatnak egy adott víztér jellegének meghatározásához, az egyes élőlények előfordulási viszonyainak alakításához, s információkat adhatnak a lezajló folyamatok lehetséges irányáról. Igen sok esetben jól ismert a szerepük a vízben lejátszódó folyamatokban, míg máskor nem tisztázott, hogy mely konkrét abiotikus tényező vagy tényezők játszanak kulcsszerepet egy-egy konkrét vízi vagy vizes élőhelyhez köthető folyamatban és adott élőlény, vagy élőlényegyüttes előfordulásában.

A vízi és a vizes élőhelyek esetében a különböző antropogén tevékenységek hatásai nem csak a víz mennyiségét befolyásolhatják jelentősen, hanem annak minőségi állapotát is (Sabater és mtsai. 2019). A 19. század közepétől jellemző volt, hogy víztereiink árterületeinek nagy része tájhasználatváltás következtében mezőgazdasági művelés alá került. Vizeink mellől eltűntek a korábban meglévő facsoportok és cserjés területek, kedvezőtlen állapotokat idézve elő. Emellett a mezőgazdasági termelés hatásfokát olyan beavatkozásokkal és műtárgyakkal igyekeztek növelni, amelyek megszüntették az időszakos árvízi elöntést, aminek hiányában a talajvízszint jelentősen csökkent. A különböző víztereiinkre települt szabályozatlan és helytelen vízhasználatok (pl. öntözés, halas- és horgásztavak feltöltése) következtében sokszor a vízi ökoszisztéma fennmaradásához szükséges minimális vízmennyiség sem biztosított. A települések környéki vagy azokon átfolyó víztereiink gyakran szenvednek modern urbanizációs hatásoktól, ami elsősorban vízminőségi állapotuk kedvezőtlen irányú változásában nyilvánul meg. Az emberi tevékenységek jelentős szerepet játszanak a vizek tápanyag-ciklusában (Grizzetti és mtsai. 2008; Markovics és mtsai. 2010), és a tápanyagok felhalmozódása gyakran a víz trófikus szintjének növekedéséhez vezet (Vitousek és mtsai. 1997). A vízminősítésben általánosan használt fizikai és kémiai változók alkalmasak a víztereket ért antropogén hatások felderítésére is.

Számos tanulmány foglalkozik a nagyobb vízfolyásokkal. A bennük végbemenő folyamatokat és a rájuk ható eseményeket – beleértve az éghajlatváltozást és a különféle emberi tevékenységeket – alaposan tanulmányozták (Ács és Kiss 1993; Kiss és mtsai. 1994; Bowes és House 2001; Dévai és Miskolczi 2001; Erős és mtsai. 2005; Tu 2011; Chen és Lu 2014; Mainali és Chang 2018). A kisebb vízfolyásokkal kapcsolatban eddig kevés kutatást végeztek. Fontos lenne a kisvízfolyásokban zajló folyamatokat is ismerni, mivel a vízgyűjtő területüket a mezőgazdasági és az erdészeti hasznosítás növekvő mértékben érinti (Chesterton 2009; Elozegi és mtsai. 2010). Végző soron, a kisebb vízfolyások hozzájárulnak a vízfolyások alsóbb szakaszait, így azok hatása nem elhanyagolható (Biggs és mtsai. 2017). Az éghajlatváltozással egy kisvízfolyás vízminősége tovább romolhat (Gomi és mtsai. 2002), ugyanakkor a csökkenő csapadékmennyiség a csapadékhiányos időszakokkal együtt azt jelentheti, hogy azok időszakossá válnak (Georgakakos és mtsai. 1987; Schertzer és mtsai. 2002; Rigby és mtsai. 2010).

A fajok elterjedési mintázata mögött meghúzódó tényezők megértése a hidrobiológia egyik központi kérdése. Egy adott víztér algaközösségének dominanciaviszonyaiban, szezonális dinamikájában eltéréseket, különbségeket találhatunk, akár az egymást követő években is, miközben az abiotikus tényezők jelentős része minden évben

hasonló. Annak ellenére, hogy régóta próbálják megérteni az egyes algataxonok előfordulását befolyásoló tényezőket, az algataxonok jelentős része esetében kevésbé vagy alig ismerjük, mely fizikai és kémiai változók játszanak szerepet a fajok előfordulásában és együttélésében. A mérsékeltövi állóvizekben az algaplankton fajai általában szezonális dinamikát mutatnak, a tavaszi alga-tömegprodukción pedig az éves termelés nagy részét adja (Reynolds 1984a; Reynolds és mtsai. 1987). A tavaszi algák okozta tömegprodukción – akár ugyanabban a víztérben és évenként változó dominanciával – jellemzően a kovaalgák (Bacillariophyceae) és a páncélos ostorosok (Dinoflagellata) tagjai közül alakítja ki az egyik meghatározó taxon a mérsékeltövi vizekben (Sommer és mtsai. 1986; Grigorszky és mtsai. 2000; Gligora és mtsai. 2015). A kovaalgák és a páncélos ostorosok az édesvízi algaplankton kulcscsoportjai, és elsődleges termelőkként különösen fontosak a biogeokémiai ciklusokban és a táplálékhálózatban. Feltételezik, hogy a fiziológiai körülményeik és élekciklusaik fontos szerepet játszanak az algaplankton összetételének szabályozásában (Drebes 1966; Durbin 1978; Anderson 1980; Bravo és mtsai. 2010). Azonban a biotikus tényezők, melyek az élekciklusukat, valamint az egyes élekciklus-átmeneteket szabályozzák, kevésbé ismertek. Valószínűsíthető, hogy a dominanciaviszonyok alakításában a cisztából való kifejlődésnek hasonlóan fontos szerepe lehet, mint a cisztaképzésnek, még ha jelenleg ezeket a folyamatokat kevésbé ismerjük is.

A víztározókban az algataxonok által is jelzett eutrofizáció jelentős probléma lehet. Az eutrofizáció magában foglalja a magas klorofill-a szintet (Boynton és mtsai. 1982; Nixon és Pilson 1983; Conley és Malone 1992), a rendkívül nagy makrofíton-biomasszát, az alga-tömegprodukciónkat, az anoxia és a hipoxia előfordulását is (Gerlach 1990; Franks 1997; Seda és mtsai. 2000; Oudra és mtsai. 2002; Jeppesen és mtsai. 2015). Antropogén tevékenységeknek köszönhetően jelentős mennyiségű tápanyag kerülhet be a vízterekbe, mely felhalmozódik a tározókban. Az algaplankton alkotóelemei, mint elsődleges termelők, tükrözik a vízi ökoszisztémákban bekövetkező változásokat, és magukban hordozzák az alapvető információkat, amelyek szükségesek a víztér trofikus és vízminőségi állapotának felméréséhez. Az algaplanktontaxonok eloszlását és egyedsűrűségét nagymértékben befolyásolják olyan tényezők, mint a fény és a tápanyagok rendelkezésre állása, amelyek szinergikusan hatnak más fizikai és kémiai tényezőkkel. Fejlődésük a belső közösségorientált folyamatok és a külső kényszerítő erők közötti kölcsönhatás eredménye, vagyis az abiotikus és biotikus tényezők (Kiss 1996; Reynolds 2000; Reynolds 2003). Úgy tartják, hogy a kisebb nitrogén:foszfor arány elősegítheti a cianobakteriális tömegprodukción kialakulását (Smith 1983). A tározókban bekövetkező alga-tömegprodukción okait és folyamatát megismerve lehetőség van a nem kívánt hatások elkerülésére vagy enyhítésére.

## 2. Célkitűzések

Munkám során az alábbi célkitűzéseket fogalmaztam meg:

- (i) ***Antropogén hatások vizsgálata abiotikus tényezők segítségével a Tóción.***
  - (I.) *Egy eltérő antropogén hatásoknak kitett kisvízfolyás különböző szakaszainak elkülönítése fizikai és kémiai változók alapján a különböző évszakokban.*
  - (II.) *Azoknak a változásoknak a felderítése, melyeket az antropogén hatások okoztak a vízterre vonatkozóan.*
- (ii) ***Algataxonok dominancia-viszonyaira ható abiotikus tényezők vizsgálata a Német-zugi-Holt-Körösön.***
  - (III.) *Annak meghatározása, hogy mely abiotikus tényező vagy tényezők eredményezik, hogy egy vízterben két egymást követő évben más algaközösség lesz a domináns. Ezt vizsgáltam a *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller és a *Palatinus apiculatus* (Ehrenberg) Craveiro, Calado, Daugbjerg & Moestrup taxonokra vonatkozóan egy körös-vidéki holtmederben, ahol a két faj dominanciájának változását tanulmányoztam a 2013-as és 2014-es évben.*
- (iii) ***Algataxonok időbeli és térbeli mintázatait szabályozó tényezők vizsgálata a Lázberci-tározóban.***
  - (IV.) *Az időbeli és térbeli mintázatok kapcsolatának meghatározása a víztározókban gyakran és nagy mennyiségben előforduló, ezáltal jelentős vízminőségi problémát okozó *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin (páncélos ostoros) és *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (cianobaktérium) alga taxonok között.*
  - (V.) *Felderítése annak, hogy mely abiotikus tényező vagy tényezők okozzák a két vizsgált taxon együttes előfordulását.*
  - (VI.) *A hidrológiai rendszer szerepének tisztázása a *M. aeruginosa* tömeges előfordulása vonatkozásában.*

## 3. Anyag és módszer

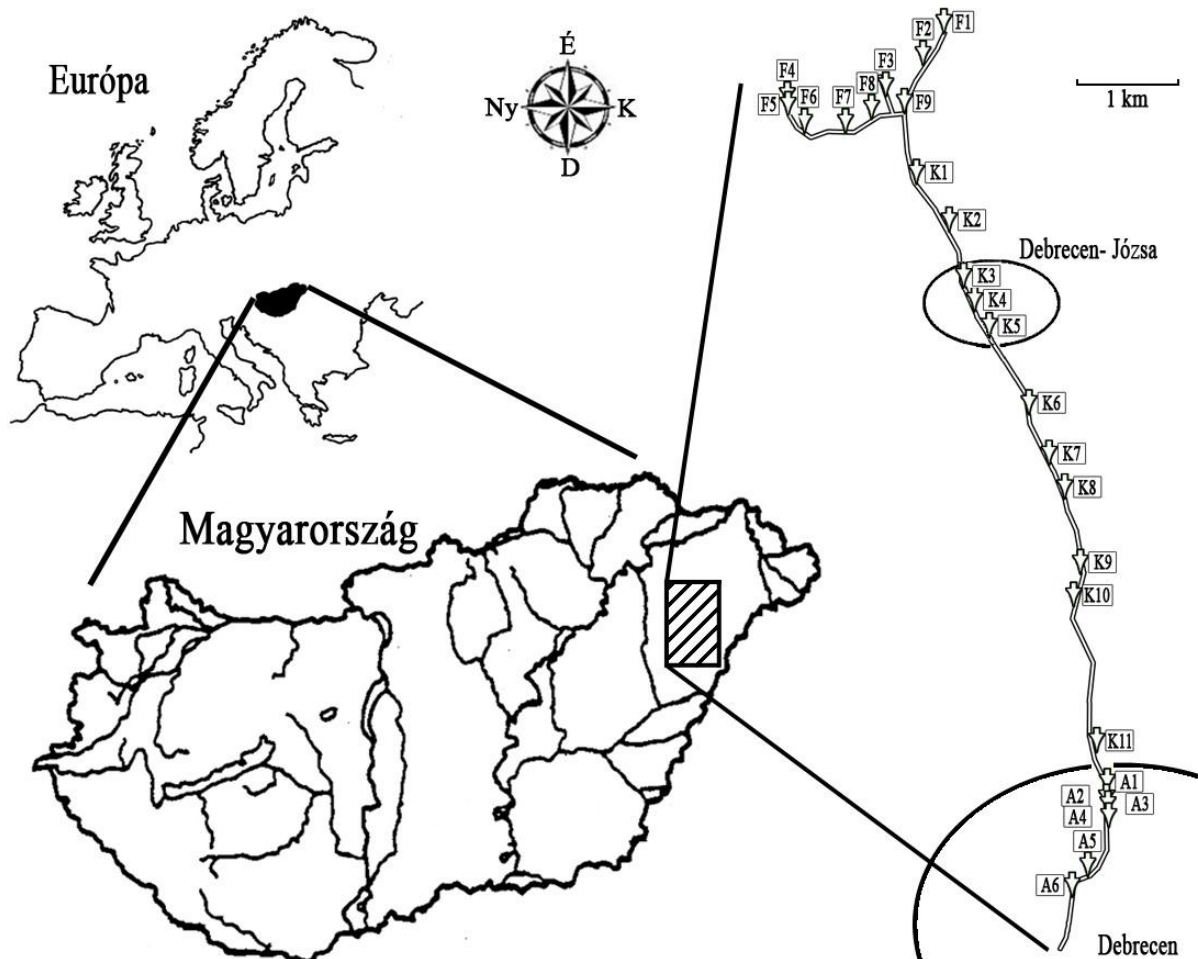
### 3.1. ***Antropogén hatásoknak kitett kisvízfolyás vizsgálata abiotikus tényezők segítségével***

#### 3.1.1. A Tóció, mint az antropogén hatások vizsgálatára kiválasztott kisvízfolyás bemutatása

Kisvízfolyásaink jellegzetes típusai az erek, melyek kis szintkülönbségű és csekély lefolyású területeken alakulnak ki, így jellemzőek rájuk a lassú folyású, szinte pangóvízes szakaszok. Unikális élőhelynek tekinthetők, kis méretük és csekély vízhozamuk ellenére is. Az alföldi ér típusú kisvízfolyások egyik jellegzetes képviselője

a Tóció, melynek völgye a Dél-Nyírség és a Hajdúhát érintkezési sávjában (Dövényi 2010), északi-déli irányban fekszik. Forrásáigait a Hajdúhát déli részein találjuk, Debrecen után a Kondorossal egyesül, majd vizük nyugati irányban Kösely néven vezetődik le a Hortobágy-medencében. A vízfolyás hossza 25 km, vízgyűjtő területe 130 km<sup>2</sup>. A terület évi csapadékösszege 550 mm körül alakul. A kisvízfolyás vízellátása nagymértékben függ a talajvízkészlettől. A terület vízfolyásaira kora tavasszal vagy nyár elején jellemző csak a bővebb vízhozam. A vizes élőhelyek területe a Tisza szabályozása következtében jelentősen kisebb lett. A régiót egyre növekvő csapadékhiány jellemzi, az éves csapadékmennyiség csökkenése mellett annak időbeli eloszlása is változott. A Tóció völgyének területe jóval nagyobb annál, mint amit a mostani vízjárási viszonyok alapján az ér létre tudott volna hozni. Ugyanakkor a régió tipikus tájhasználatát megváltozott, egyre jellemzőbbé vált az intenzív szántóföldi gazdálkodás, kisebb lett az erdővel borított területek aránya. Manapság ez a kisvízfolyás a mezőgazdasági tevékenységekből származó hatások mellett modern városi problémáktól is szenved.

Elmondható, hogy a Tóció forrása és folyása mentén sokféle tájhasználati típus megtalálható. A kisvízfolyás eredésétől a nagyvárosig tartó szakaszát három, egymástól különböző egységre lehet osztani (1. ábra).



**1. ábra.** A kisvízfolyás mintavételi területe és a Tóción kijelölt mintavételi helyek. Felső terület: F1-F9; Középső terület: K1-K11; Alsó terület: A1-A6.

A Felső-szakaszon (F) találhatóak a vízfolyás eredési ágai, amit kisebb vagy nagyobb pufferzónákkal körülvett szántóföldek vesznek körül. A szakaszon működik egy

állattartó telep, valamint az egyik eredési ág mellett halad el a 35-ös számú főútvonal. A Tóció több helyi jelentőségű védett természeti területet is érint. Földrajzi helyzetének és irányának köszönhetően zöld folyosóként is jelentős szerepet játszik. A Középső-szakasz (K) az eredési ágak összefolyásától Debrecen határáig tart. Ennek az elején egy viszonylag természetközeli, vízminőség tekintetében kedvező állapotú szakasz található. Ezt követően a Tóció átfolyik egy kisebb, de gyors fejlődésnek indult településen, a Debrecenhez tartozó Józsan. A terület további részén időnként visszaduzzasztás történik. Az Alsó-szakasz (A) egy városi vízkormányzási beavatkozásokkal és rendszeres csapadékvíz-bevezetésekkel jellemezhető nagyvárosi terület.

### 3.1.2. A mintavétel és a mintafeldolgozás

A mintavételi időszak 2013. április 28-tól 2015. március 31-ig tartott. Ezen időszak alatt a Tóciót minden tipikus időszakban és a jellemző hidrológiai viszonyok között vizsgáltuk. A mintavételi időpontok a következők voltak: 2013. április 28., 2014. augusztus 2. és 5., 2014. november 5. és 2015. március 31. (a Tóció az év különböző évszakaiban kiszáradt, így nem tudtuk egy egész éven át vizsgálni). Mintavételi helyeinket a Tóció eredési ágaitól – Debrecen-Józsan át – Debrecenben a 33-as számú főútig jelöltük ki, kb. 15 km hosszan.

A mintavételi helyek meghatározását Garmin eTrex30 típusú GPS készülékkel végeztük. A mintavételi helyeken a víz hőmérsékletet, a pH-t, a vezetőképességet ( $\text{mS cm}^{-1}$ ), az összes oldott szilárd anyagot ( $\text{mg L}^{-1}$ ), az oxigén telítettséget (%), az oldott oxigént ( $\text{mg L}^{-1}$ ), a zavarosságot (FNU), a klorofill-a koncentrációját ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), a cianobaktérium-koncentrációt ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) mértük az YSI EXO-2-S3 szondával. A mintákat tiszta műanyag edényekben gyűjtöttük, melyeket a laboratóriumi feldolgozásig hűtőtáskában tároltuk. A laboratóriumi vizsgálatok során a nitrition, a nitrácion, az oldott ortofoszfácion, az ammóniumion koncentrációját és a kémiai oxigénigényt ( $\text{KOI}_k$ ) állapítottuk meg a Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes (United States Environmental Protection Agency 1983) alapján. A nitrition koncentráció meghatározása az Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynökségének (EPA) 354.1:1971 szabványán, míg a nitrácion koncentráció meghatározása az EPA 352.1:1971 szabványán alapul. Az ortofoszfácion koncentráció meghatározása az EPA 365.3:1978 szabványa, míg az ammóniumion koncentráció meghatározását az EPA 350.2:1974 szabványa szerint történt. A  $\text{KOI}$  meghatározását az EPA 410.3:1978 szabványa alapján végeztük.

### 3.1.3. Alkalmazott statisztikai módszerek

Főkomponens-analízissel (PCA) határoztuk meg a kulcstrendeket a Tóció jellemzésére kiválasztott változók mintavételi helyenkénti alakulása között. A változók normál eloszlását Mardia-teszttel ellenőriztük. Az adatsorok linearizálására logaritmus transzformációt alkalmaztunk. Az összes adatelemzést PAST (PAleontological STatistics) szoftverrel végeztük (Hammer és mtsai. 2001).

Csak azokat az adatsorokat mutatjuk be, amelyek az egyes évszakokra és hidrológiai állapotokra jellemzőek voltak, s a következtetéseket ezen adatsorok elemzése alapján vontuk le.

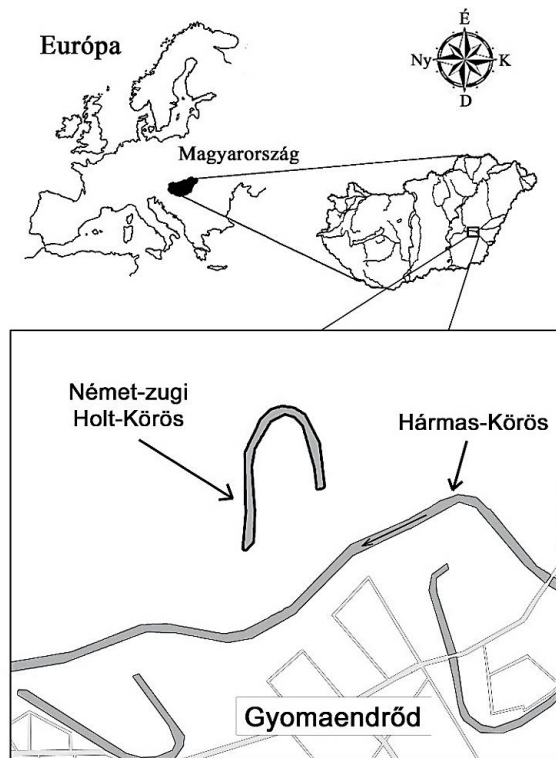
### 3.2. Algataxonok dominanciaviszonyaira ható abiotikus tényezők vizsgálata

#### 3.2.1. A Német-zugi-Holt-Körös, mint az algataxonok dominanciaviszonyainak vizsgálatára kiválasztott holtmeder bemutatása

A vizsgált holtmeder DK-Magyarországon, Békés megyében, Gyomaendrőd település határában (2. ábra), a Hármaskörös jobb partján, a mentett oldalon található. A területe 12 hektár ( $A_0 = 12 \text{ ha}$ ), maximális mélysége 3,5 m ( $d_{\max} = 3.5 \text{ m}$ ), az átlagos mélysége 2,2 m ( $d_{\text{avg}} = 2.2 \text{ m}$ ), hossza 2 km. Feliszapolódása és makrovegetációval való borítottsága kis mértékű. Többcélú hasznosítás jellemzi, a belvíz- és öntözővíz-tározás mellett a horgászat is jelentős. Ennek ellenére természeti értékekben gazdag maradhatott, mivel vízutánpótlása a Hármaskörösből megoldott (Pálfai 1995).

#### 3.2.2. A mintavétel és a mintafeldolgozás

A vízminták gyűjtése január és június között havonta történt 2013-ban és 2014-ben. A vízmintákat oszlopmintavevővel vettük, így a teljes vízoszlopot mintáztuk. A kémiai elemzéshez és az algák számlálásához a mintákat súlyozott műanyagcsővel gyűjtöttük a holtmeder legmélyebb részén. A fizikai és kémiai változókat a magyar vízminőség-ellenőrző szolgálat nemzetközileg elfogadott analitikai módszerei alapján mértük. A víz hőmérséklet, a pH, a vezetőképesség, és az oldott oxigén tartalom mérését az YSI EXO-2-S3 szondával a mintavételi helyen végeztük el. A víz zavarosságának meghatározása az MSZ EN ISO 7027:2000, az összes foszfor mérése az MSZ 260-20:1980, a nitrátion és a nitrition meghatározása az MSZ 1484-13:2009 szerint történt. Míg a kalcium, a magnézium, a nátrium, a kálium és a kén mennyiségi meghatározását az MSZ EN ISO 11885:2009 szabvány szerint végeztük. Az üledéket a ciszta- és a spóraszámolásához „Hargrave-típusú” üledék-mintavevővel gyűjtöttük. Az Utermöhl-féle fordított mikroszkópos algaszámlálási technikához a mintákat azonnal a terepen Lugol-oldattal tartósítottuk. A mikroszkópos vizsgálatot Olympus-IX73 fordított és Olympus-BX53 mikroszkóppal végeztük fáziskontraszt és Nomarski-kontraszt technológiák alkalmazásával.



2. ábra. A vizsgált holtmeder (Német-zugi-Holt-Körös) a Hármaskörös mentén.

#### 3.2.3. Alkalmazott statisztikai módszerek

Lineáris regresszió-analízist végeztem a koegzisztens kovaalgák és a páncélos ostorosok vegetatív sejtjeinek, valamint a kovaalgák spóráinak és a páncélos ostorosok cisztáinak korrelációjának vizsgálatára. A statisztikai elemzéshez a PAST

(Paleontological Statistical Software Package) 1.78 verzióját használtuk (Hammer és mtsai. 2001).

### 3.3. Algataxonok időbeli és térbeli mintázatait szabályozó tényezők vizsgálata

#### 3.3.1. A Lázbérci-tározó, mint az algataxonok időbeli és térbeli mintázatait szabályozó tényezők vizsgálatára kiválasztott tározó bemutatása

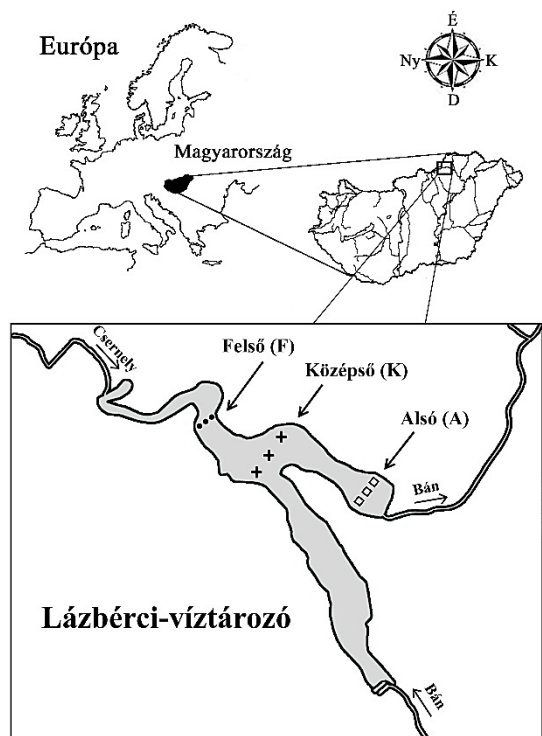
A Lázbérci-tározó Magyarország északkeleti részén, egy alacsony hegyvidéki területen található. 1967 és 1969 között építették, hogy biztosítsák az ivózellátást Észak-Magyarország gyorsan növekvő régiójában. A tározó térfogata 5,9 millió m<sup>3</sup>. Átlagos mélysége 7,5 m, maximális mélysége 17,2 m. A tározó területe 77 ha, amelyet az árvízvédelmi műveletek során 92,2 ha-ra lehet kiterjeszteni. A tározó befolyói a 23,9 km hosszú Bán-patak és a 17,2 km-es Csernely. A tározó retenciós ideje körülbelül 1 év. Vízyűjtő területe közel 217,5 ha.

Az éves csapadékmennyiség a tározó területén 2007-ben 806 mm volt, 2008-ban pedig 911 mm, ami jóval meghaladja az átlagos csapadékmennyiséget Magyarországon (500–700 mm). A hőmérséklet mindkét évben júliusban érte el a maximális értéket. A szél intenzitása tavasszal (áprilistól-júniusig) és késő nyártól ősziig (szeptembertől novemberig) növekedett.

#### 3.3.2. A mintavétel és a mintafeldolgozás

A víztározókban a fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok szerint megkülönböztethető hosszanti gradiensek vannak, 'folyó-tó hibrid' természetük miatt. E gradiensek jellemzése céljából kilenc mintavételi helyet választottunk ki a tó morfológiája alapján (főleg hely és mélység), amiket három kategóriába soroltunk (felső, középső és alsó régió) (3. ábra). A mintavételi időszak 2007. áprilistól novemberig tartott, mely időtartam alatt a kilenc mintavételi helyen havonta vettünk mintákat. A minták különböző mélységekből történő begyűjtéséhez 2 literes Van-Dorn-féle mintavevőt használtunk. Az adott mintavételi helyeken a következő mélységekben vettünk mintát: felszín/0,25 m, 1,5 m, 3 m, 6 m, 9 m és 12 m. Az algaplankton számlálását Utermöhl (1931) szerint fordított mikroszkóppal (Axiovert-100) végeztük. A mintákat legalább 400 egyedig számoltuk, így a 95%-os pontosságú megbízhatósági határ 10%-nál kisebb a teljes algaplanktonra vetítve. Az algaplankton biomasszájának meghatározása a fajok térfogatának kiszámításán alapult.

Az NO<sub>3</sub>-, NO<sub>2</sub>-, NH<sub>4</sub>- és PO<sub>4</sub>-meghatározására vett mintákat az elemzés előtt 0,45 µm-es ionkromatográfiás akrodiszken



3. ábra. Mintavételi helyek a Lázbérci-tározón. Felső régió: tele kör (●); Középső régió: kereszt (+); Alsó régió: üres négyzet (□).

szűrtük át. A nitrát-, a nitrit-, és az ortofoszfátion mennyiségi meghatározása az MSZ EN ISO 10304-1:1998, míg az ammóniumion koncentrációjának mérése az MSZ ISO 7150-1:1992 szerint történt. A mintavétel során mértük a hőmérsékletet, a vezetőképességet, az oldott oxigént és a pH-t, melyeket a Hydrolab - Multiparameter Sonde műszerrel végeztünk. Az összes nitrogén (TN) és az összes foszfor (TP) koncentrációját fotometriкус eljárással határoztuk meg (Ebina és mtsai. 1983). A teljes lúgosságot titrimetriásan mértük (APHA 1995). A klorofill-a koncentrációjának meghatározása az MSZ ISO 10260:1993 szabvány szerint történt, amit feofitin-a-val korrigálva, fotometriкусan határoztuk meg. Az összes laboratóriumi vizsgálatot a minta begyűjtésétől számított 48 órán belül elvégeztük.

### 3.2.3. Alkalmazott statisztikai módszerek

Shapiro & Wilks-tesztet használtunk a csoportokon belüli vezetőképesség, a TP és az  $\text{NH}_4^+$  normalitásának vizsgálatára. A többváltozós normalitás feltételeit a többváltozós kanonikus varianciaanalízishez (CVA) Mardia-tesztel állapítottuk meg a vezetőképesség, a TP és az  $\text{NH}_4^+$  esetében. Mivel az utóbbi tesztnek nagyon hasonlóak voltak a normál eloszlásai, a tározó felső, középső és alsó részét CVA-t alkalmazva hasonlítottuk össze. A csoportok összehasonlítását egyirányú ANOVA és Tukey post hoc tesztel (normál eloszlás esetén), vagy Kruskal & Wallis- és Mann & Withney-tesztel (nem-normál eloszlás esetén) végeztük. A statisztikai elemzéshez a PAST (Paleontological Statistical Software Package) 1.78 verzióját használtuk (Hammer és mtsai. 2001).

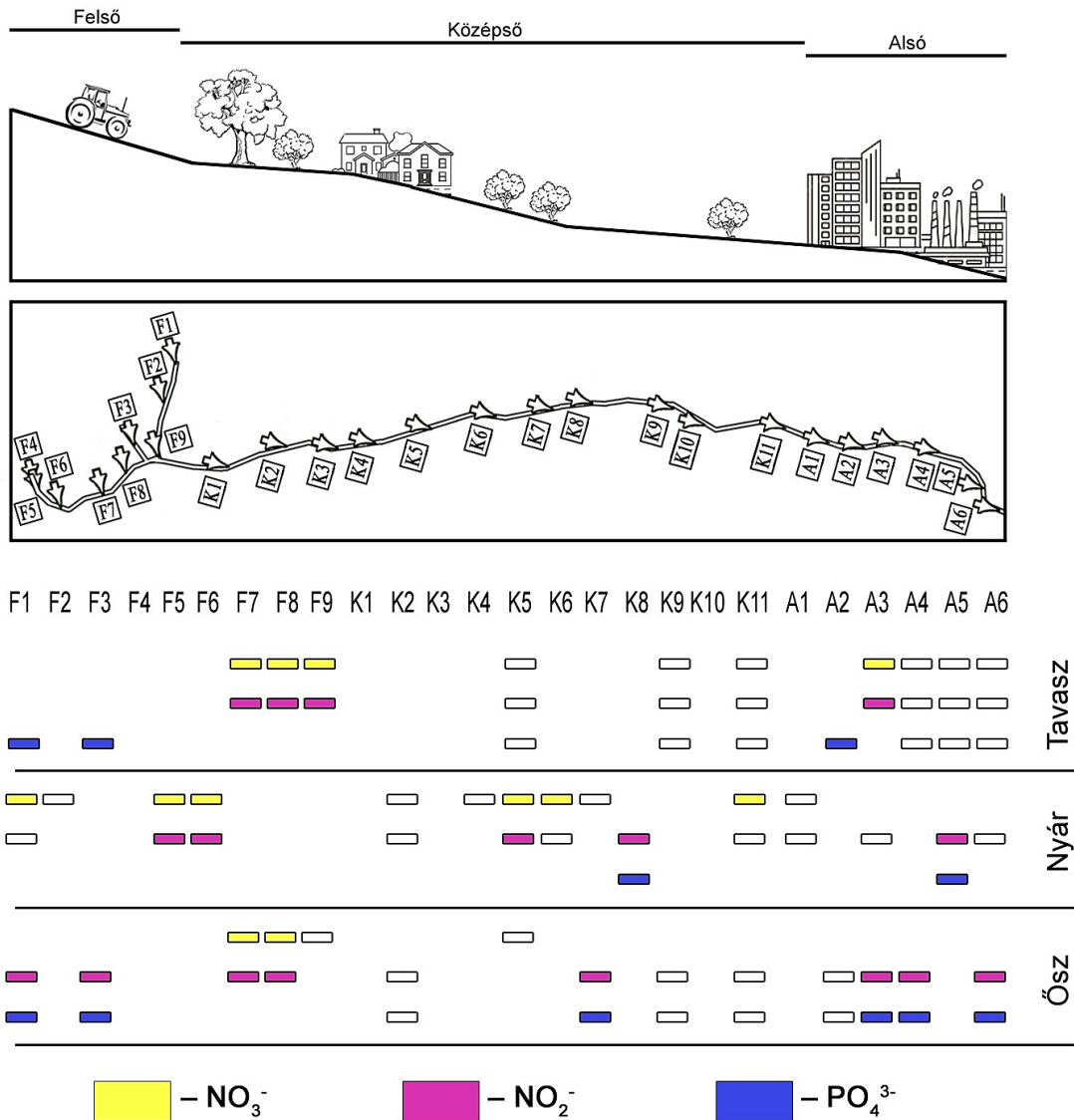
## 4. Eredmények és értékelésük

Az eredmények bemutatása az alábbi módon történik: alfejezetekben tárgyaljuk a célkitűzésekben megfogalmazott egyes témaköröket, melyek dőlt-formátumban tartalmazzák a konkrét célkitűzéseket.

### *4.1. Antropogén hatások vizsgálata abiotikus tényezők segítségével a Tócon*

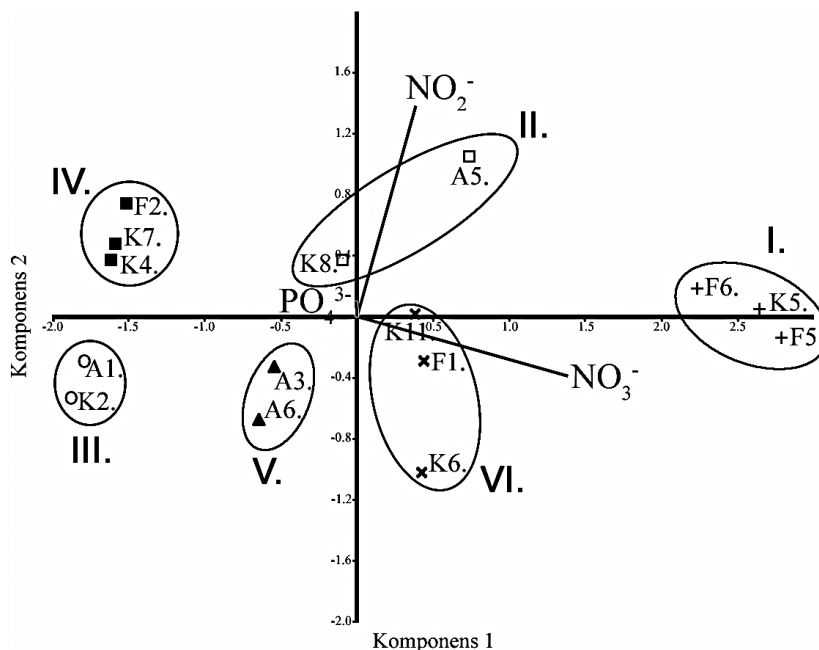
#### *I. Egy eltérő antropogén hatásoknak kitett kisvízfolyás különböző szakaszainak elkülönítése fizikai és kémiai változók alapján a különböző évszakokban.*

Eredményeink alapján elmondható, hogy a vizsgált vízfolyás mintavételi pontjainak elkülönülését legnagyobb mértékben befolyásoló fő változók koncentrációi (nitrit-, nitrát- és ortofoszfátion) igen változatosan alakultak a különböző mintavételi helyeken – mind azonos időszakban, mind a három évszakra vonatkoztatva (4. ábra).



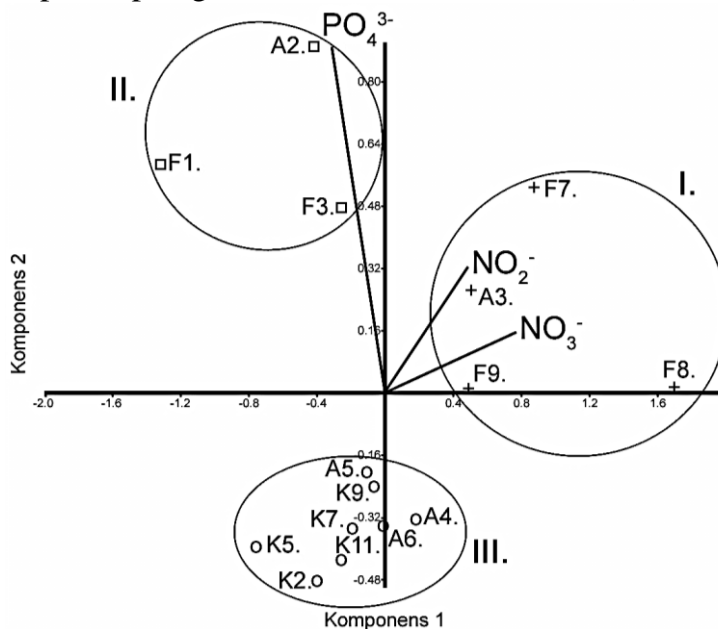
4. ábra. A Tócsa egyes mintavételi helyeinek elkülönülését okozó változók mennyiségi viszonyainak ábrázolása a kisvízfolyás vizsgált szakaszán. A nitrátion színe sárga, a nitrition színe lila, az ortofoszfátion színe kék. Tele sáv: a PCA alapján az adott változó nagy koncentrációja jellemző az adott mintavételi helyre. Üres sáv: a PCA alapján az adott változó kis koncentrációja jellemző az adott mintavételi helyre.

Nincs egyetlen olyan mintavételi hely sem, ahol valamennyi vizsgált évszakban ugyanaz lenne az élőhely jellemzőit és vízminőségi állapotát befolyásoló fő változó. Szintén nem különíthetők el egymástól egy-egy karakterisztikus változó alapján a különböző szakaszok (Felső-, Középső- és Alsó-szakasz).



**5. ábra.** A nyári időszakban a Tóció mintavételi helyein mért fizikai és kémiai változókra alkalmazott főkomponens-analízis eredménye. I. csoport: kereszt (+), II. csoport: üres négyzet (□), III. csoport: üres kör (o), IV. csoport: tele négyzet (■), V. csoport: tele háromszög (▲), VI. csoport: forgatott kereszt (x); Felső-szakasz: F1-F9, Középső-szakasz: K1-K11, Alsó-szakasz: A1-A6.

Egy-egy évszak vizsgálata során is azt tapasztaltuk, hogy az egyes szakaszokon belüli mintavételi helyek között is markáns eltérések vannak. A legváltozatosabb képet nyáron találtuk, amikor a főkomponens-analízis alapján 6 csoportot különítettünk el (5. ábra). A legkevesebb csoportot pedig tavasszal tudtuk elkülöníteni (6. ábra).



**6. ábra.** A tavaszi időszakban a Tóció mintavételi helyein mért fizikai és kémiai változókra alkalmazott főkomponens-analízis eredménye. I. csoport: kereszt (+), II. csoport: üres négyzet (□), III. csoport: üres kör (o); Felső-szakasz: F1-F9, Középső-szakasz: K1-K11, Alsó-szakasz: A1-A6.

A csoportokat alkotó mintavételi pontok szinte minden esetben a három szakasz közül legalább kettőhöz tartoztak. A vízfolyás vízminőségi állapotát ugyanazon a szakaszon nagyon különböző feltételek és hatások határozzák meg.

## *II. Azoknak a változásoknak a felderítése, melyeket az antropogén hatások okoztak a vízterre vonatkozóan.*

Munkánk során igen nagy változatosságot találtunk a mintavételi pontok között a vizsgált kisvízfolyás esetében. A főkomponens-analízis alapján sokszor kis földrajzi távolságon belül is eltérő mértékű terhelést találtunk. A vízfolyás minőségi állapota és a terhelés mértéke nem csak földrajzi távolságok alapján, de időben is változott. Ugyanarra a mintavételi helyre igen sok esetben más terhelés volt jellemző a különböző évszakokban.

A különböző antropogén terhelések nem egy jól elhatárolható nagyobb területen és nem állandóan jelentkeztek a Tóció mentén. Minden egyes régióban találunk olyan kisebb szakaszokat, ahol nem jelenik meg terhelés a vizsgált évszakokban. Ilyen a Tóció forráságainak összefolyása utáni terület, ahol minden évszakban természetközeli állapotot találtuk. Ugyanakkor azt is kijelenthetjük, hogy a vizsgált kisvízfolyás több része jelentős és változatos antropogén hatásnak van kitéve.

A forráságak mentén markánsan megjelenik az elégtelen pufferzónával övezett mezőgazdasági területek terhelése, aminek mértéke és helye évszakonként változik.

Különböző mértékben kimutatható a 35-ös számú főút csapadékvízének a Tócióba vezetése által okozott terhelés a Tóció egyik forráságán. Bár a kisvízfolyás aszályosabb időben rendszerint vízhiánnyal küzd, gyakran ki is szárad, ennek ellenére a vízutánpótlást nem csak mennyiségi oldalról kell megközelíteni, az ökológiai vízigénynek minőségi oldala is van.

A Tóción több helyen találunk duzzasztásokat, melyek az áramló vizet szinte állóvá alakítják.

A Tóció alsóbb részén a vízfolyás a 'modern városi problémáktól' is szenved: medrét több helyen mesterségesen alakították, találunk duzzasztást, jellemzőek a szűk átereszek, a csapadékvíz-bevezetések pedig ugyancsak jelentős terhelést jelentenek.

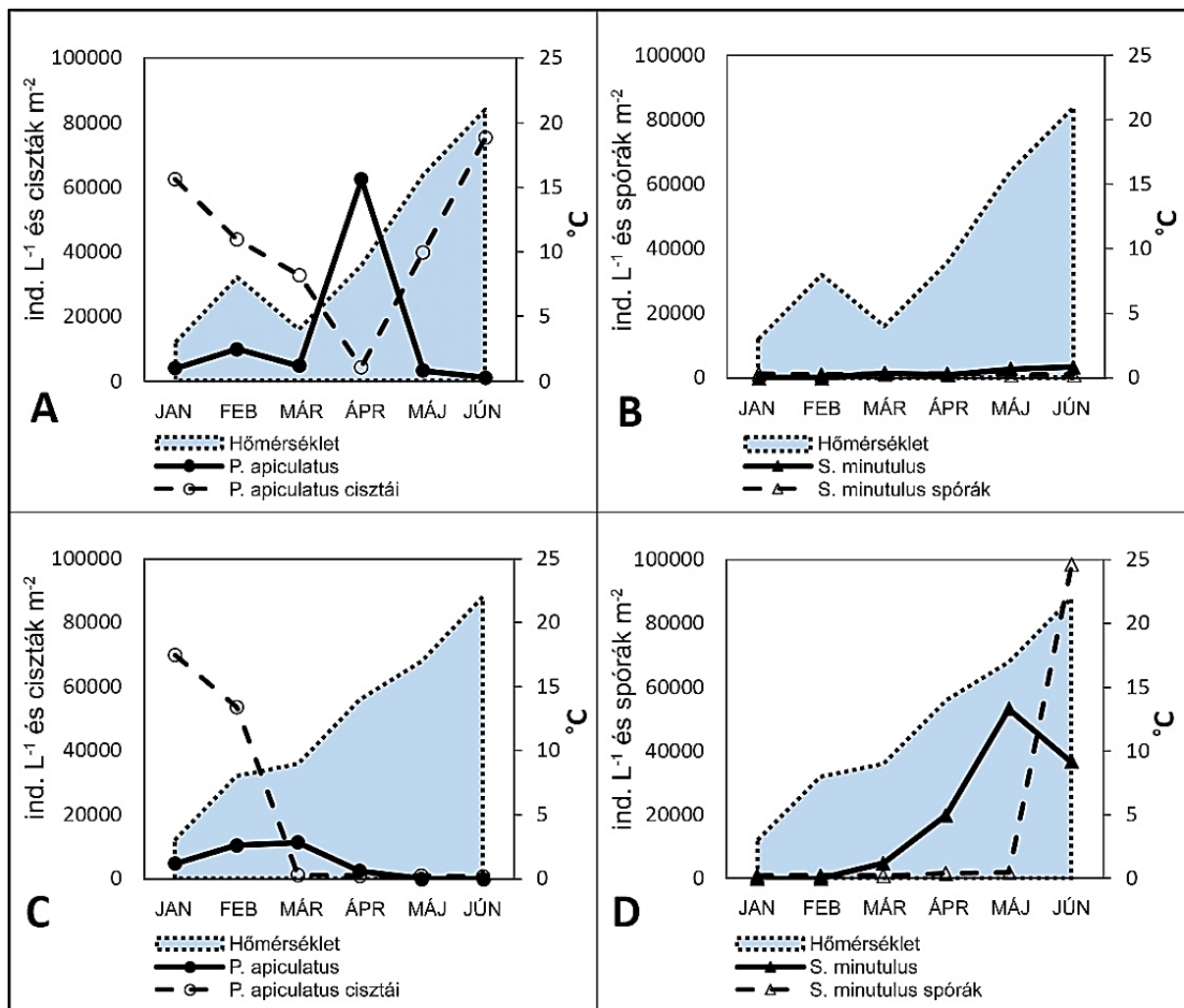
Mindez igen sok esetben az alföldi ér vízminőségi állapotának változását, és természetes jellegének elvesztését eredményezi. Vizsgálatunkkal igyekeztünk rámutatni, hogy egy kisvízfolyás esetén is fontos a nagyobb részletességű monitorozás, mint amit esetükben például az EU VKI előír.

## **4.2. Algataxonok dominanciaviszonyaira ható abiotikus tényezők vizsgálata a Németzugi-Holt-Körösön**

### *III. Annak meghatározása, hogy mely abiotikus tényező vagy tényezők eredményezik, hogy egy vízterben két egymást követő évben más algaközösség lesz a domináns.*

A vizsgált *S. minutulus* kozmopolita faj, ugyanakkor a *P. apiculatus* gyakori a mérsékelt övben és Európa hidegebb területein is. A két vizsgált faj esetében a tápanyagok elérhetőségének szezonális különbségei nem befolyásolják az előfordulásukat, viszont eltérően reagálnak a tavaszi hőmérsékleti viszonyokra különböző életciklusuk miatt. A hőmérséklet tavaszi lassú növekedése a *P. apiculatus* vegetatív sejtjeinek fejlődését segíti elő, míg cisztaképződésüket késlelteti, így lehetőséget teremt tavasszal a páncélos ostorosok dominanciájának kialakulásához. Ellenben a gyorsan növekvő tavaszi víz hőmérséklet sietteti a *P. apiculatus* cisztaképződését, ami a kovaalga-dominanciát segíti elő (7. ábra).

Számos tanulmány foglalkozott a fajok kitartó képleteinek képzésére ható tényezőkkel, ugyanakkor az életciklusban és a dominanciában létrejövő változások kialakulásának megértéséhez ugyanolyan fontos az életciklusok egyik meghatározó fázisát, a vegetatív sejtek cisztából való kialakulásának feltételeit is ismerni. Szeretnénk hangsúlyozni, hogy a jövőbeli tanulmányoknak többet kellene a szervezetek biológiai tulajdonságaira is összpontosítani az algaplanktonfajok esetében is. Ezek a sajátosságok hosszú evolúciós folyamatok során fejlődtek ki, így ez lehet egy adott faj biotikus potenciálja – azaz a lehető legmagasabb életképességi mutatója –, amikor legnagyobb a születési és legkisebb a halálozási arány. Egy adott faj előfordulásának megértéséhez elengedhetetlen a biológiai tulajdonságainak ismerete, különös tekintettel a sok változóval szemben tágtűrésű fajoknál.

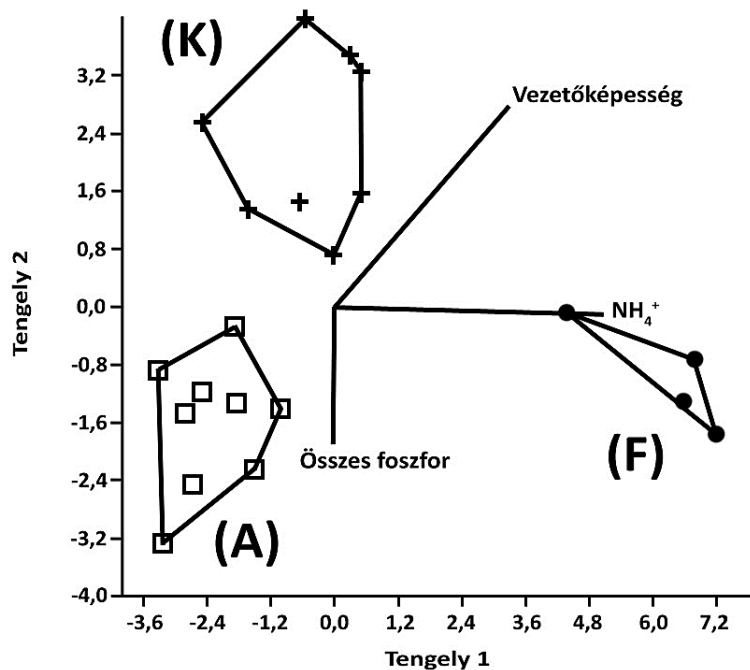


**7. ábra.** A vízhőmérséklet értékének, ill. a két vizsgált algafaj vegetatív sejtjeinek és szaporító képleteinek mennyiségi változása a Német-zugi-Holt-Körösben 2013-ban és 2014-ben. **A** = a vízhőmérsékletnek, a *Palatinus apiculatus* vegetatív sejtjeinek és cisztáinak szezonális eloszlása 2013-ban. **B** = a vízhőmérsékletnek, a *Stephanodiscus minutulus* vegetatív sejtjeinek és spóráinak szezonális eloszlása 2013-ban. **C** = a vízhőmérsékletnek, a *Palatinus apiculatus* vegetatív sejtjeinek és cisztáinak szezonális eloszlása 2014-ben. **D** = a vízhőmérsékletnek, a *Stephanodiscus minutulus* vegetatív sejtjeinek és spóráinak szezonális eloszlása 2014-ben.

### 4.3. Algataxonok időbeli és térbeli mintázatait szabályozó tényezők vizsgálata a Lázbérci-tározóban

IV. Az időbeli és térbeli mintázatok kapcsolatának meghatározása a víztározókban gyakran és nagy mennyiségben előforduló, ezáltal jelentős vízminőségi problémát okozó *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin (páncélos ostoros) és *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (cianobaktérium) alga taxonok között.

A kémiai változóknál elvégzett kanonikus varianciaanalízis (CVA) alapján az egyes mintavételi helyek és a hozzájuk kapcsolódó két algafaj előfordulása elkülönül a tározó területén. A tározó három különböző régióra osztható fel. Különálló csoportot képeznek azok a minták, amelyek a tározó felső régiójából (F) származnak, itt az év folyamán a két faj egyike sem fordult elő. A tározó középső régiójából (K) származó minták is külön csoportot képeztek, ezeken a helyeken csak a *C. hirundinella* fordult elő. A tározó alsó régiójára (A) a *C. hirundinella* és a *M. aeruginosa* együttes előfordulása volt jellemző (8. ábra).



**8. ábra.** A kanonikus varianciaanalízis eredménye a Lázbérci-tározó és a főbb abiotikus változók vonatkozásában. Az első tengely szignifikáns ( $p < 0,0001$ ) volt, és a teljes variancia 74,76 %-át adta. A második tengely szintén szignifikáns volt ( $p < 0,0001$ ) és a teljes variancia 25,24 %-át magyarázta. Az adott mintavételi helyen: nincs vizsgált faj: tele kör (•); csak a *C. hirundinella* van jelen: kereszt (+); a *M. aeruginosa* és a *C. hirundinella* együttesen van jelen: üres négyzet (□).

V. Felderítése annak, hogy mely abiotikus tényező vagy tényezők okozzák a két vizsgált taxon együttes előfordulását.

A vizsgált taxonok együttes előfordulásában meghatározó jelentőségű abiotikus tényező volt az ammoniumion- és az ortofoszfátion-koncentráció, a vezetőképesség, a kialakuló oxigénhiány, a víz hőmérséklet, a megváltozott fényáteresztési és zavarossági viszonyok, ugyanakkor a légköri nitrogénnek is fontos szerepe volt a nitrogénkötő cianobaktériumok tömegtermelésében.

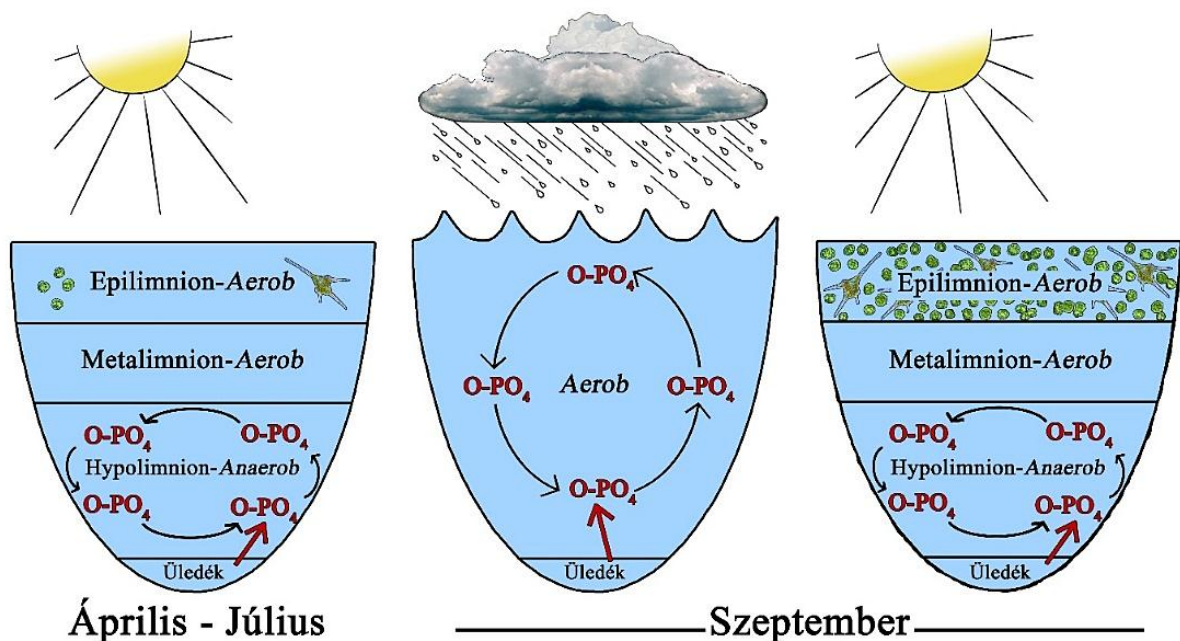
Egész évben azokon a mintavételi helyeken volt a legnagyobb az ammóniumion-koncentráció, ahol a vizsgált fajok egyike sem fordult elő. Itt találtuk továbbá a legnagyobb változást is az ammóniumion-koncentrációban a vizsgálati időszak alatt. Az ammóniumion-koncentráció éves átlaga szignifikánsan kisebb volt azokon a mintavételi helyeken, ahol csak a *C. hirundinella* fordult elő. Az ammóniumion-koncentráció azokon a mintavételi helyeken volt a legkisebb, ahol mindkét vizsgált faj előfordult.

Az egész év átlagát tekintve az ortofoszfátion koncentrációja a legnagyobb volt azokon a mintavételi helyeken, ahol a vizsgált fajok egyike sem fordult elő. Az ortofoszfátion-koncentráció éves átlaga szignifikánsan alacsonyabb volt azokon a mintavételi helyeken, ahol csak a *C. hirundinella* fordult elő. A legalacsonyabb viszont azokon a mintavételi helyeken volt, ahol mindkét faj előfordult, itt változott leginkább az ortofoszfátion koncentrációja a vizsgálati időszak alatt.

A tározó alsó régiójában volt a legnagyobb az algabiomassza, ugyanakkor itt a tápanyag-koncentrációk kicsik voltak, mivel a nagy mennyiségű élőlény felhasználta azokat, csökkentve ezzel a víztestben a tápanyagok mennyiségét.

#### VI. A hidrológiai rendszer szerepének tisztázása a *M. aeruginosa* tömeges előfordulása vonatkozásában.

Vizsgálataink alapján leírtuk a cianobaktériumok és az eukarióta algák tömegprodukciónak kialakulását elősegítő okokat és folyamatokat, melyek az előzőekben bemutatott eredményeinkkel együtt értelmezhetőek (9. ábra).



9. ábra. A cianobaktériumok és az eukarióta algák tömegprodukciónak kiváltó folyamata a Lázberci-tározóban.

Egy szeptemberi esős, hideg időszak után az algabiomassza mennyiségének növekedését figyeltük meg. A megelőző időszakban anoxikussá vált a hipolimnion, ami a tápanyagok belső felszabadulását eredményezte az üledékből. Az esős időszak alatt a tározóban rövid ideig rétegzettség nélküli állapot alakult ki. Így ezek a speciális hidrológiai és időjárási körülmények lehetővé tették, hogy a felkeveredéssel a foszfor a

felső, fotikus rétegbe kerüljön, ezáltal a cianobaktériumok és az eukarióta algák tömegprodukciója következett be.

Számos bizonyíték utal arra, hogy a rendelkezésre álló tápanyagok mennyiségi különbségei elősegíthetik a cianobaktériumok dominanciáját. Ennek magyarázata meglehetősen nyilvánvaló, hiszen a légköri nitrogént megkötni képes cianobaktérium-taxonok kompetitív előnyt élveznek kis nitrogénkoncentrációjú környezetben. Adataink alátámasztják azt a hipotézist, miszerint a kis nitrogénkoncentráció elősegíti a cianobaktériumok dominanciáját, ha elegendő foszfor áll rendelkezésre.

Míg a tápanyagok koncentrációkülönbségei fontosak voltak a *M. aeruginosa* fejlődésének elősegítésében, a tó hidrológiai rendszere szintén fontos szerepet játszott a *C. hirundinella* biomasszájának növekedésében. A vízszlop felső részében megnőtt a cianobaktérium-biomassza, s ennek az árnyékoló hatása a felkeveredés következtében megváltozott fényviszonyokat tovább csökkentette. Az így kialakuló kisebb átlátszóság – pozitív visszacsatolásként – elősegítette a fényszegényebb viszonyokat kedvelő *C. hirundinella* elszaporodását.

## Új tudományos eredmények összefoglalása

- Kimutattam, hogy a vizsgált alföldi ér típusú kisvízfolyás, a Tóció vízminőségi állapotát leginkább befolyásoló fő változók koncentrációi (nitrit-, nitrát- és ortofoszfátió) igen változatos és különböző mértékű antropogén terhelést jeleznek a vízfolyás mintavételi helyein – mind földrajzi távolságban, mind különböző időszakokban.
- Nincs a Tóciónak egyetlen olyan mintavételi helye sem, amely esetében valamennyi vizsgált évszakban ugyanaz lenne az élőhelyi jellemzőket és a vízminőség állapotát befolyásoló fő változó, így nem különíthetők el egymástól egy-egy karakterisztikus változó alapján a vizsgált vízfolyás különböző szakaszai (Felső-szakasz, Középső-szakasz, Alsó-szakasz).
- Leírtam, hogy a vizsgált alföldi ér típusú kisvízfolyást érő antropogén hatások a Tóció esetében milyen változásokat okoztak.
- Vizsgálataimmal rámutattam, hogy egy kisvízfolyás esetén is fontos a nagyobb részletességű monitorozás, mint amit esetükben például az EU VKI előír.
- Megállapítottam, hogy a hőmérséklet tavaszi lassú növekedése a *Palatinus apiculatus* vegetatív sejtjeinek fejlődését segíti elő, míg cisztaképződésüket késlelteti, így lehetőséget teremt tavasszal a páncélos ostorosok dominanciájának kialakulásához. Ellenben a gyorsan növekvő tavaszi víz hőmérséklet sietteteti a *P. apiculatus* cisztaképződését, ami a *Stephanodiscus minutulus* tömegprodukcióját segíti elő.
- Meghatároztam, hogy milyen térbeli és időbeli mintázattal jellemezhető a *Ceratium hirundinella* és a *Microcystis aeruginosa* előfordulása a Lázberci-tározóban.

- Azonosítottam azokat az abiotikus tényezőket, amelyek elősegítették a *Ceratium hirundinella* és a *Microcystis aeruginosa* együttes előfordulását.
- Leírtam a Lázbérci-tározóban azt a hidrológiai rendszert, ami a cianobaktériumok és az eukarióta algák tömegprodukciónak kialakulását lehetővé teszi.
- Vizsgálati eredményeimmel alátámasztottam azt a hipotézist, miszerint – a rendelkezésre álló foszfor mellett – a kis nitrogénkoncentrációk elősegítik a nitrogénkötő cianobaktériumok tömegprodukciónak kialakulását.



Nyilvántartási szám: DEENK/31/2020.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Somlyai Imre  
Neptun kód: QMDDKI  
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10059188

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

1. Grigorszky, I., Kiss, K. T., Szabó, L. J., Dévai, G., Nagy, S. A., **Somlyai, I.**, Berta, C., Gligora-Udovič, M., Borics, G., Pór, G., Muwafaq, Y. M., Hajredini, A., Tumurtogoo, U., Ács, É.:  
Drivers of the Ceratium hirundinella and Microcystis aeruginosa coexistence in a drinking water reservoir.  
*Limnetica*. 38 (1), 41-53, 2019. ISSN: 0213-8409.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.23818/limn.38.11>  
IF: 0.574 (2018)
2. **Somlyai, I.**, Berta, C., Nagy, S. A., Dévai, G., Ács, É., Szabó, L. J., Nagy, J., Grigorszky, I.:  
Heterogeneity and Anthropogenic Impacts on a Small Lowland Stream.  
*Water*. 11 (10), 1-14, 2019. ISSN: 2073-4441.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w11102002>  
IF: 2.524 (2018)
3. Grigorszky, I., Kiss, T. K., Pór, G., Dévai, G., Nagy, S. A., **Somlyai, I.**, Berta, C., Duleba, M., Trábert, Z., Ács, É.: Temperature and growth strategies as the essential factors influencing the occurrence of *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller and *Palatinus apiculatus* (Ehrenberg) Craveiro, Calado, Daugbjerg & Moestrup.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 189 (2), 167-175, 2017. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2016/0941>  
IF: 1.361





### További közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

4. Berta, C., Gyulai, I., Szabó, J. L., Simon, E., Nagy, S. A., **Somlyai, I.**, Grigorszky, I.: Cladocerans as indicators in the importance of passive nature conservation.  
*Biologia*. 73 (9), 875-884, 2018. ISSN: 0006-3088.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/s11756-018-0097-3>  
IF: 0.728

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 5,187**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
4,459**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2020.02.14.





**SHORT THESIS FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)**

**Hydro-ecological analysis of changes in anthropogenic loads and  
abiotic factors**

by Imre Somlyai

Supervisor: Dr. István Grigorszky



UNIVERSITY OF DEBRECEN  
DOCTORAL SCHOOL OF PÁL JUHÁSZ-NAGY

DEBRECEN, 2020

# 1. Introduction

We have long and commonly used physical and chemical variables to characterize the status of our water bodies. These variables determine the nature of the given water body, the occurrence of individual organisms, and may indicate the possible direction of the ongoing processes. In many cases, they are well known for their role in aquatic processes. While it is not always clear, which specific abiotic factor or factors plays the key role in processes of aquatic or wetland habitat and the co-occurrence of a given species or assemblages?

In the case of aquatic or wetland habitats, the effects of different anthropogenic activities can significantly affect not only the quantity of water but also its quality status (Sabater et al., 2019). From the middle of the 19<sup>th</sup> century, it was typical that most of the floodplain areas of our water bodies were under cultivation due to land-use change. Formerly existing forestry and shrubby areas beside our water bodies disappeared, causing unfavourable conditions. Besides, the efficiency of agricultural production has been increased by interventions and regulatory structures that have eliminated the periodic floods, without which the groundwater level has fallen significantly. Due to the unregulated and improper use of water (e.g. irrigation, filling of angling and fish pond), the minimum amount of water required for the survival of the aquatic ecosystem is often not provided. Water bodies in or around settlements often suffer from the effects of modern urbanization. It is primarily manifested in unfavourable changes in their water quality status. Human activities play an important role in the nutrient cycle of waters (Grizzetti et al., 2008; Markovics et al., 2010), and nutrient accumulation often leads to an increase in trophic levels of water (Vitousek et al., 1997). Physical and chemical variables commonly used in water qualification are also suitable for detecting anthropogenic effects on water bodies.

Numerous studies deal with larger streams. Their processes and the events affecting them, including climate change and various human activities, have been extensively studied (Ács and Kiss, 1993; Kiss et al., 1994; Bowes and House, 2001; Dévai and Miskolci, 2001; Erős et al., 2005; Tu, 2011; Chen and Lu, 2014; Mainali and Chang, 2018). Fewer researches have been done so far on smaller watercourses. It is also important to know the processes in small watercourses as their catchment area is increasingly affected by agricultural and forestry use (Chesterton, 2009; Elozegi et al., 2010). After all, smaller watercourses creating the lower sections of streams, so their impact is not negligible (Biggs et al., 2017). Climate change may further deteriorate the water quality of a small watercourse (Gomi et al., 2002), while the decrease of precipitation with periods of lack of rain may mean that they become temporal water bodies (Georgakakos et al., 1987; Schertzer et al., 2002; Rigby et al., 2010).

Understanding the underlying factors behind species distribution is a central issue in ecology. We can find differences in the dominance and seasonal dynamics of the algal community of a given water body – even in successive years –, while the majority of abiotic factors are similar in every year. Despite long-term attempts to understand the factors influencing the occurrence of certain algae taxon, for most of them, we have little or no knowledge which physical and chemical variables that play a role in species occurrence and coexistence. In temperate standing water bodies, planktonic algae species generally show seasonal dynamics and the spring algal bloom accounts for the

majority of annual production (Reynolds, 1984a; Reynold et al., 1987). The mass production of spring algae, even in the same water body and with varying dominance every year, is typically formed by one of the dominant taxa of diatoms (Bacillariophyceae) and dinoflagellate in temperate water bodies (Sommer et al., 1986; Grigorszky et al., 2000; Gligora et al., 2015). Diatom and Bacillariophyceae are key groups of freshwater algae and are particularly important as primary producers in biogeochemical cycles and in the food web chain. Their physiological conditions and life cycles are thought to play an important role in the regulation of algal plankton composition (Drebes, 1966; Durbin, 1978; Anderson, 1980; Bravo et al., 2010). However, the biotic factors that control their life cycle and individual life cycle transitions are little known. It is likely that the development from a cyst may play a similar role in the formation of dominance as cyst formation, even though we are less familiar with these processes at present.

Eutrophication, indicated by algae taxons in reservoirs, can be a major problem. Eutrophication includes high chlorophyll-a levels (Boyton et al., 1982; Nixon and Pilson, 1983; Conely and Malone, 1992), extremely high macrophytes biomass, algal mass production and occurrence of anoxia and hypoxia (Gerlach, 1990; Franks, 1997; Seda et al., 2000; Oudra et al., 2002; Jeppesen et al., 2015). Due to anthropogenic activities, a significant amount of nutrients can enter into our water bodies, which accumulate in reservoirs. Components of algae, as primary producers, reflect changes in aquatic ecosystems and carry the essential information needed to assess the trophic and water quality status of the water body. The distribution and density of planktonic algae taxons are greatly influenced by factors such as light and nutrition availability that interact synergistically with other physical and chemical factors. Their development is the result of interactions between internal community-oriented processes and external compulsion forces, these are the abiotic and biotic factors (Kiss, 1996; Reynolds, 2000; Reynolds, 2003). It is believed that lower nitrogen: phosphorus ratio may promote cyanobacterial mass production (Smith, 1983). By knowing the causes and processes of algae mass production in reservoirs, it is possible to avoid or mitigate unwanted effects.

## 2. Objectives

During my work I set the following objectives:

**(i) Investigation of anthropogenic effects on the Tóció based on abiotic factors.**

- (I.) Separation of different sections of a small watercourse exposed to different anthropogenic influences based on physical and chemical variables in different seasons.
- (II.) Identifying changes caused by anthropogenic influences on the watercourse.

**(ii) Investigation of abiotic factors affecting the relationship of algae taxon dominance in the Német-zugi-Holt-Körös.**

- (III.) To determine, which abiotic factor or factors leading to the predominance of another algal community in the same water body for two consecutive years. I investigated the taxa of *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller and *Palatinus apiculatus* (Ehrenberg) Craveiro, Calado, Daughjerg & Moestrup in an oxbow lake near Körös, where I examined the changes in the dominance of these two species in 2013 and 2014.

**(iii) Investigation of factors controlling temporal and spatial patterns of algae taxon in the Lázberc-reservoir.**

- (IV.) Determine the relationship between temporal and spatial patterns of *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin and *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, which are frequent in large reservoirs and cause significant water quality problems.
- (V.) Determine which abiotic factor or factors cause the coexistence of these two taxa examined.
- (VI.) Investigate the role of the hydrological system in the mass occurrence of *M. aeruginosa*.

## 3. Material and Methods

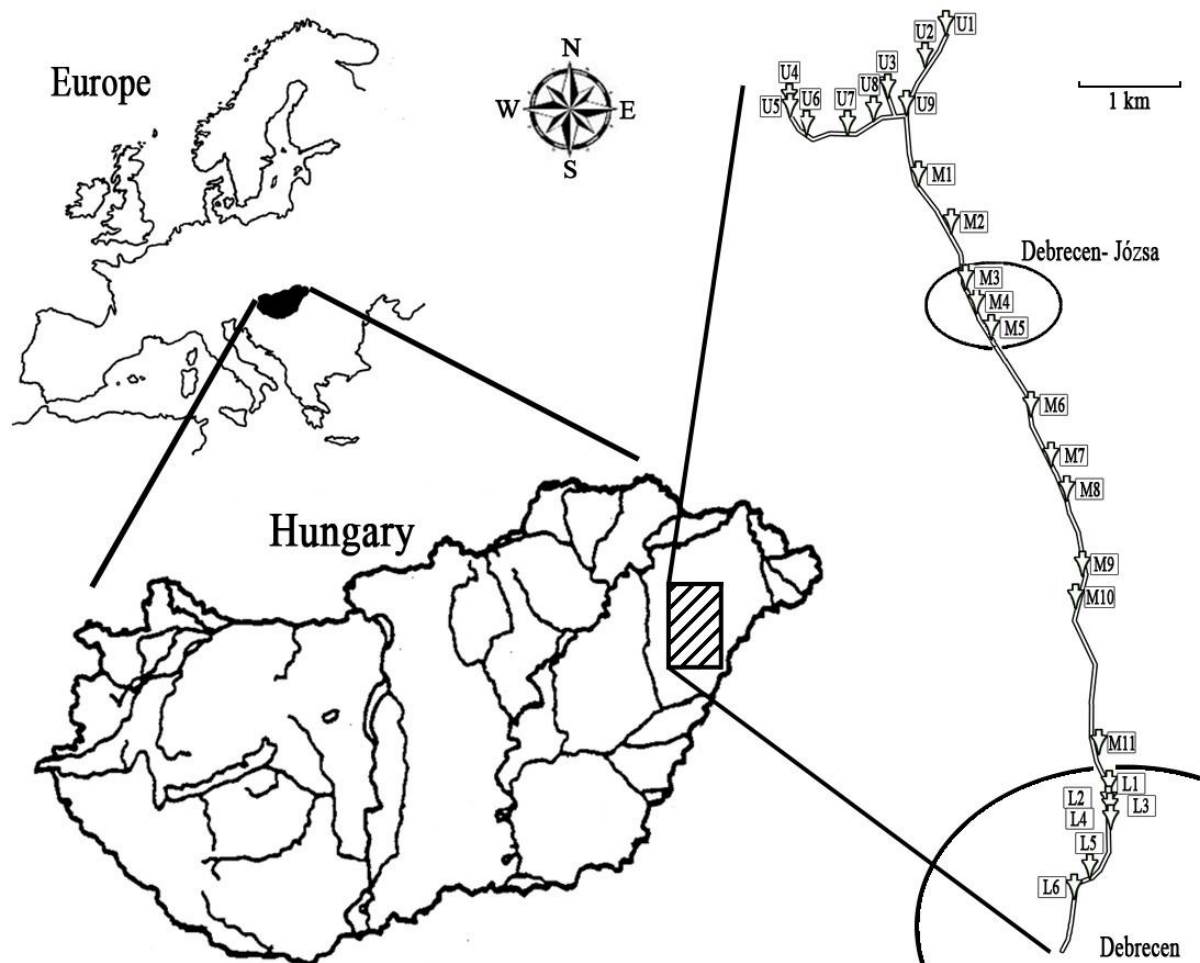
### 3.1. Investigation of a small watercourse exposed to anthropogenic effects using abiotic factors

#### 3.1.1. Introduction of Tóció, as a small watercourse selected for the study of anthropogenic effects

Typical types of our small watercourses are the streamlets, which develop in areas with low ground level differences and low runoff places, so they are characterized by slow-flow, with almost stagnant water sections. They are considered to be unique habitats, despite their small size and low water discharge. Tóció is one of the typical representatives of the streamlets in The Great Plain, the valley of which lies in the contact zone of the S-Nyírség and the Hajdúhát (Dövényi, 2010), situated in N-S

direction. Its spring branches can be found in the southern part of the Hajdúhát, after the city of Debrecen it merges with the Kondoros streamlet, and then its water flows downwards in the Hortobágy-basin as the Kösely streamlet. The length of the watercourse is 25 km and its catchment area is 130 km<sup>2</sup>. The annual precipitation in the area is around 550 mm. The water supply of the small watercourse depends to a large extent on the water resource of the soil. The watercourses of the area are only characterized by increased water discharge in early spring or early summer. The area of wetlands has been significantly reduced due to the regulation of the Tisza River. The whole region is characterized by an increasing lack of precipitation, and the annual distribution of precipitation has also changed within time. The area of the Tóció valley is much larger than what the streamlet could have created under the current hydrological conditions. At the same time, the typical landscape use of the region has changed, intensive arable farming has become more common, and the proportion of forest-covered areas have decreased. Nowadays, this small watercourse suffers from the effect of agricultural activities as well as modern urban problems.

It can be said that there are many types of land use along the source and the branches of Tóció. The section from the origin of the streamlet to the big city can be divided into three distinct units (Figure 1.).



**Figure 1.** Sampling area of the small watercourse and the designated sampling sites in the Tóció. Upper area: U1-U9; Middle area: M1-M11; Lower area: L1-L6.

The Upper area (U) is the origin branches of the small watercourse, surrounded by smaller or larger buffer zones. There is a livestock farm along this section and there is the Main road 35 along one of the origin branches. Tóció touches several protected natural areas of local importance. It also plays an important role as a green corridor due to its geographical location and directions. The Middle area (M) extends from the confluence of the origin branches to the border of Debrecen. In the beginning, it is relatively close to nature, favourable for water quality. Subsequently, the Tóció flows through a small but rapidly developing settlement, Józsa. Occasionally, in the remaining section, we can find swellings. The Lower area (L) is a metropolitan area characterized by urban water management interventions and regular rainwater inlets.

### 3.1.2. Sampling and sample processing

The sampling period lasted from April 28, 2013, to March 31 2015. During this period, the Tóció was examined at all typical periods and under typical hydrological conditions. Sampling dates were: April 28 2013, August 2 and 5 2014, November 5, 2014, and March 31 2015 (Tóció dried out at different times of the year, so we could not test it all year round). Our sampling sites were selected from the Tóció origin – through Debrecen-Józsa – to Debrecen 33 Main road, approx. 15 km in distance.

Coordinates of sampling locations were determined using a Garmin eTrex30 GPS device. At the sampling sites, water temperature, pH, conductivity ( $\text{mS cm}^{-1}$ ), total dissolved solids ( $\text{mg L}^{-1}$ ), oxygen saturation (%), dissolved oxygen ( $\text{mg L}^{-1}$ ), turbidity (FNU), chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ), and cyanobacterial concentration ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) was measured with a YSI EXO-2-S3 sonde. Samples were collected in clean plastic containers and stored in a refrigerator bag till laboratory processing. During laboratory tests we have determined the nitrite-ion, nitrate-ion, dissolved ortho-phosphate-ion and ammonium-ion concentrations and the chemical oxygen demand (COD) according to the Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes (United States Environmental Protection Agency, 1983). The determination of the concentration of nitrite-ion is based on the EPA standard 354.1:1971, while that of nitrate-ion is based on EPA standard 352.1:1971. Concentrations of ortho-phosphate-ion were determined according to EPA standard 365.3:1978 and ammonium-ion according to EPA standard 350.2:1974. Chemical oxygen demand was determined according to EPA standard 410.3:1978.

### 3.1.3. Statistical methods

By Principal Component Analysis (PCA), we determined the key trends between the sampling sites of the selected variables to characterize the Tóció. Mardia-test was used to check the normal distribution. Logarithmic transformation was used to linearize the data series. All data analyses were performed using PAST (Paleontological Statistics) software (Hameer et al., 2001).

Only the data series that are representative of each season and hydrological status are presented, and conclusions are drawn from the analysis of these data series.

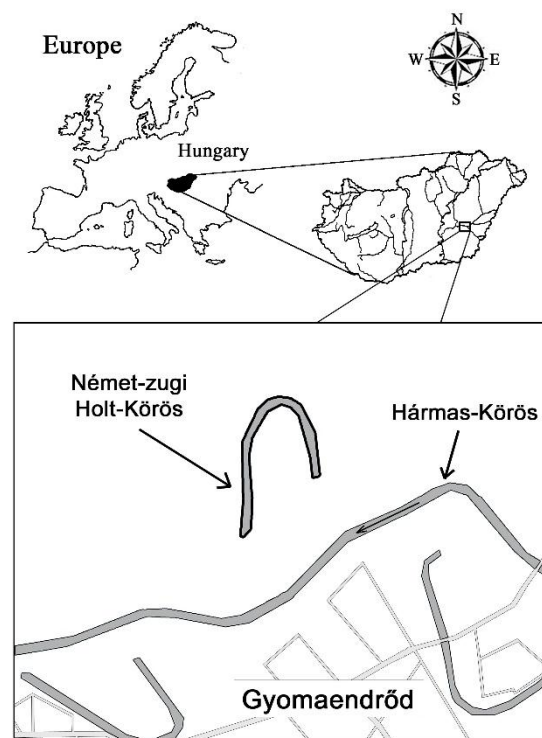
### 3.2. Investigation of abiotic factors affecting the relationship of algae taxon dominance

#### 3.2.1. Introduction of the Német-zugi-Holt-Körös, as an oxbow lake selected for the investigation of the relationship of algae taxon dominance

The investigated oxbow lake can be found on the protected right side of the Hármas-Körös in S-E Hungary, Békés County, on the border of Gyomaendrőd settlement (Figure 2.). Its area is 12 hectares ( $A_o = 12$  ha), maximum depth is 3.5 m ( $D_{max} = 3.5$  m), average depth is 2.2 m ( $D_{avg} = 2.2$  m) and length is 2 km. It has a low amount of sludge and macro vegetation coverage. It is characterized by multi-purpose utilization, besides inland- and irrigation water storage, fishing is also significant. Nevertheless, it could remain rich in natural values, as its water supply from the Hármas-Körös was solved (Pálfai, 1995).

#### 3.2.2. Sampling and sample processing

Water samples were collected monthly between January 2013 and June 2014. Water samples were taken with a column sampler to sample the entire water column. For chemical analysis and algae counting, samples were collected with a weighted plastic tube at the deepest part of the oxbow lake. Physical and chemical variables were measured according to the internationally accepted analytical methods of the Hungarian Water Quality Control Service. Water temperature, pH, conductivity and dissolved oxygen content were measured with an YSI EXO-2-S3 sonde at each sampling site. Turbidity was determined according to MSZ EN ISO 7027:2000, total phosphorus was determined according to MSZ 260-20:1980, and nitrate- and nitrite ion were determined according to MSZ 1484-13:2009. Whilst calcium, magnesium, sodium, potassium and sulfur were quantified according to MSZ EN ISO 11885: 2009. Sediment samples were collected using a Hargrave sediment sampler for cyst and spore counting. For Utermöhl inverse microscope algae counting technique (Utermöhl, 1930), samples were immediately preserved with Lugol's solution in the field. Microscopy was performed with an Olympus-IX73 reverse and an Olympus-BX35 microscope using phase contrast and Nomarski contrast technologies.



**Figure 2.** The investigated oxbow lake (Német-zugi-Holt-Körös) along the Hármas-Körös River.

#### 3.2.3. Statistical methods

Linear regression analysis was performed to investigate the correlation between the vegetative cells of the co-existence diatoms and dinoflagellates and the correlation of

the cysts of dinoflagellates and spores of diatoms. Statistical analysis was performed using PAST (Paleontological Statistics) software (Hameer et al., 2001).

### 3.3. Investigation of factors controlling temporal and spatial patterns of algae taxon

#### 3.3.1. Introduction of the Lázberc-reservoir as a reservoir selected for the study of the factors controlling the temporal and spatial patterns of algae taxon

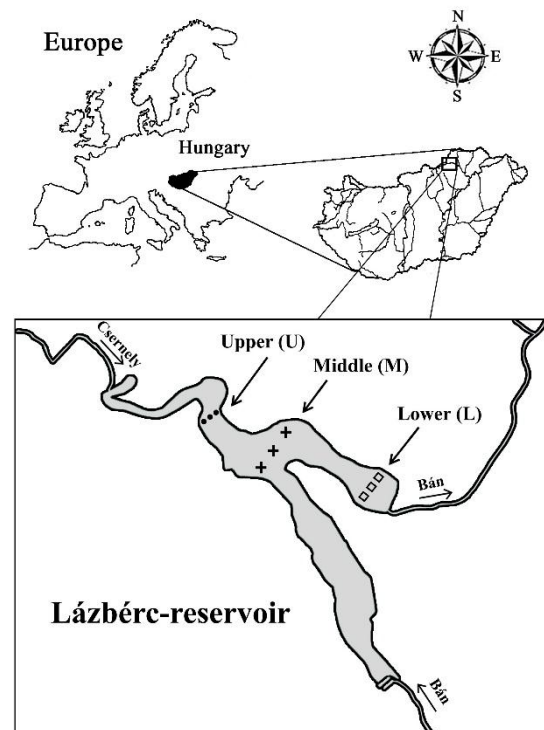
The Lázberc-reservoir is located in a low mountain area in the N-E of Hungary. It was built between 1967 and 1969 to provide drinking water supply in the fast-growing region of Northern Hungary. The volume of the reservoir is 5.9 million m<sup>3</sup>. Its average depth is 7.5 m and its maximum depth is 17.2 m. Its area is 77 ha, which can be extended to 92.2 ha during flood protection operations. The inflows of the reservoir are the 23.9 km long Bán small watercourse and the 17.2 km long Csenely streamlet. The retention time of the reservoir is approx. 1 year. Its catchment area is approx. 217.5 ha.

Annual precipitation at the reservoir area was 806 mm in 2007 and 911 mm in 2008, well above the average precipitation in Hungary (850-700 mm). Maximum temperatures peaking in July each year. Wind intensity increased in spring (8 April to June) and late summer to autumn (September to November).

#### 3.3.2. Sampling and sample processing

Reservoirs have distinct longitudinal gradients based on physical, chemical and biological properties due to their 'lake-river hybrid' nature. To characterize these gradients, nine sampling sites were selected based on lake morphology (mainly location and depth), which were classified into three categories (upper, middle and lower section) (Figure 3.). The nine sampling sites were sampled monthly from April to November. A two-litre van Dorn sampler was used to collect samples from different depths. The following depths were sampled at the respective sampling sites: surface/0.25 m, 1.5 m, 3 m, 6 m, 9 m and 12 m. Algae counts were performed using an inverted microscope (Axiovert-100) according to Utermöhl (1931). Samples were counted for at least 400 individuals, resulting in a 95% confidence limit of less than 10% relative to total algal plankton. Determination of algal biomass was based on the calculation of species volume.

Samples for the determination of nitrate-ion, nitrite-ion, ammonium-ion and orthophosphate were filtered through a 0.45 µm ion chromatography on an acrodisk before analysis. The determination of nitrate, nitrite and orthophosphate ions was carried out according to MSZ EN ISO 10304-1: 1998, while the



**Figure 3.** Sampling sites of Lázberc-reservoir. Upper region: full circle (●); Middle region: cross (+); Lower region: empty square (□).

concentration of ammonium ion was measured according to MSZ ISO 7150-1:1992. During the sampling, temperature, conductivity, dissolved oxygen and pH were measured using Hydrolab – Multiparameter Sonde. Concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were determined photometrically (Ebina et al., 1983). Total alkalinity was measured titrimetrically (APHA, 1995). Chlorophyll-a concentration was determined according to MSZ ISO 10260: 1993, which was determined photometrically, corrected for phaeophytin-a. All laboratory tests were performed within 48 hours from sample collection.

### 3.2.3. Statistical methods

Shapiro & Wilks test was used to examine the intrinsic conductivity, TP and ammonium-ion normality. Multivariate normality conditions for multivariate canonical variance analysis (CVA) were determined by Mardia-test for conductivity, TP and ammonium-ion. Since these tests had very similar normal distributions, the upper, middle and lower sections of the reservoir were compared using CVA. Groups were compared by one-way ANOVA and Tukey post hoc test (in case of normal distribution) or Kruskal & Wallis and Mann & Withney test (in case of non-normal distribution). Statistical analysis was performed using PAST (Paleontological Statistical Software Package) version 1.78 (Hammer et al., 2001).

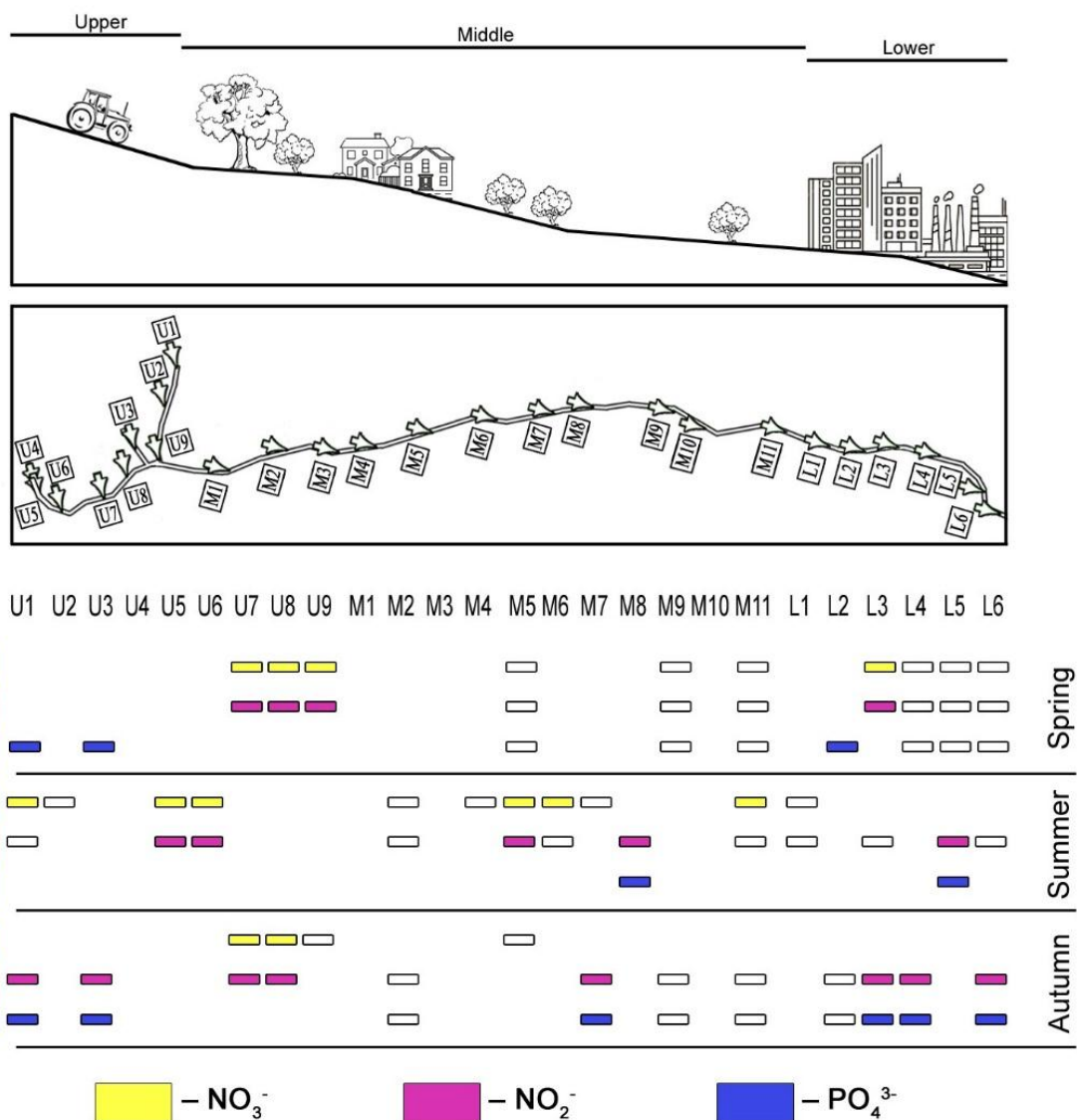
## 4. Results and evaluation

The results are presented as follows: in the sub-chapters, we discuss topics formulated in the objectives, which contain the specific objectives in italics.

### *4.1. Investigation of anthropogenic effects on the Tóció based on abiotic factors*

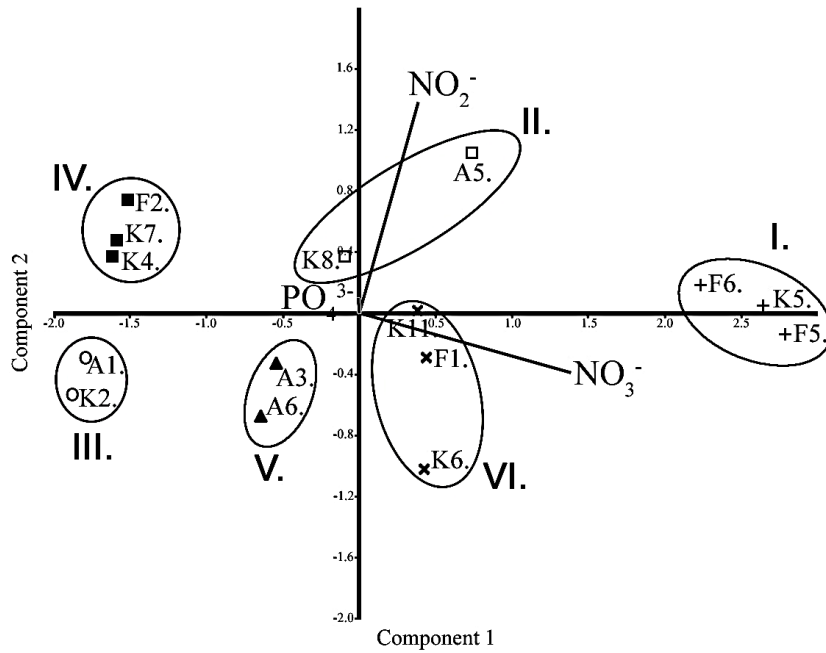
#### *I. Separation of different sections of a small watercourse exposed to different anthropogenic influences based on physical and chemical variables in different seasons.*

Based on our results, the concentration of the main variables (nitrite-, nitrate- and ortho-phosphate-ions) have the greatest influence on the separation of the investigated sampling sites, varied significantly – both over the same period and over the three seasons (Figure 4.).



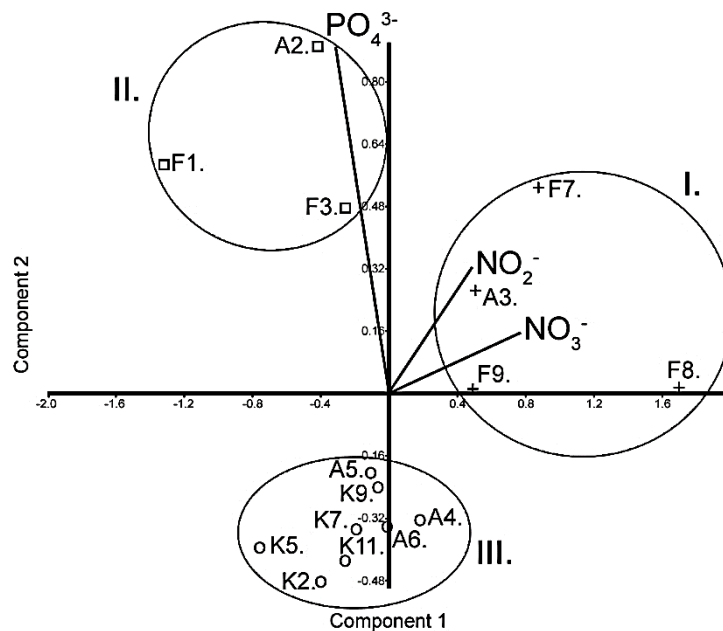
**Figure 4.** Representation of the quantitative relationship of the variables causing the separation of the individual sampling sites of the Tóccó in the examined sections. Nitrate-ion is in yellow, nitrate-ion is in purple and the ortho-phosphate is in blue. Full bar: high concentration of the given variable based on PCA. Blank bar: low concentration of a given variables based on PCA.

There is no single sampling site where the habitat characteristics and water quality status influenced by the main variable is the same for all the seasons studied. Also, the different section (Upper, Middle and Lower section) cannot be distinguished on the basis of a characteristic variable.



**Figure 5.** The result of the principal component analysis of physical and chemical variables measured at sampling sites in the Tóccó during the summer period. Group I: cross (+), Group II.: empty square ( $\square$ ), Group III: empty circle (o), Group IV: full square ( $\blacksquare$ ), Group V: full triangle ( $\blacktriangle$ ), Group VI: rotated cross (x); Upper section: F1-F9, Middle section: K1-K11, Lower section: A1-A6.

During the examination of each season, we also found that there are significant differences between the sampling sites within each section. The most diverse picture was found in summer when 6 groups were identified based on principal component analysis (Figure 5.). The smallest number of groups were in spring (Figure 6.).



**Figure 6.** The results of the principal component analysis of physical and chemical variables measured at sampling sites in the Tóccó during the spring period. Group I: cross: (+), Group II: empty square ( $\square$ ), Group III: empty circles (o); Upper section: F1-F9, Middle section: K1-K11, Lower section: A1-A6.

In almost all cases, the sampling sites constituting the groups belonged to at least two of the three sections. The water quality status of the streamlet in the same section is determined by very different conditions and impacts.

## *II. Identifying changes caused by anthropogenic influences on the watercourse.*

During our work, we found a great variety between the sampling sites in case of the examined small watercourse. Based on the principal component analysis, we often found varying degrees of load within a short geographical distance. The quality of the watercourse and the extent of the load varied not only by geographical distances but also in time. In many cases, the same sampling site was subject to different loads in different seasons.

The various anthropogenic loads are not well-defined over a larger area and do not occur continuously along the Tóció. In each area, there are smaller sections where no load appears during the studied seasons. Such as the area after the confluence of the source branches of the Tóció, where near-natural states were found at all seasons. At the same time, it can also be stated that many parts of the examined small watercourse are subject to significant and varied anthropogenic effects.

Along the source branches, load from agricultural areas surrounded by an inadequate buffer zone is appearing, the extent and location of which vary seasonally.

To a varying extent, the load caused by the discharged rainwater from the 35. Main road into the Tóció can be detected on one of the source branches. Although small watercourses usually struggle with water scarcity during drought conditions, they often dry out, but water supply needs to be approached not only from a quantitative point of view, but there is also a qualitative side to the ecological water demand.

In the Tóció, we can find dykes that make the flowing water almost stationary.

In the lower part of Tóció, the watercourse also suffers from ‘modern urban problems’: the riverbed has been artificially shaped in many places, we find weirs, narrow culverts and significant loads from rainwater inlets.

In many cases, this results in a change in the water quality status of this streamlet and the loss of its natural character. With our research, we tried to point out that even in the case of a small watercourse it is important to monitor in greater detail such as those required by the EU WFD.

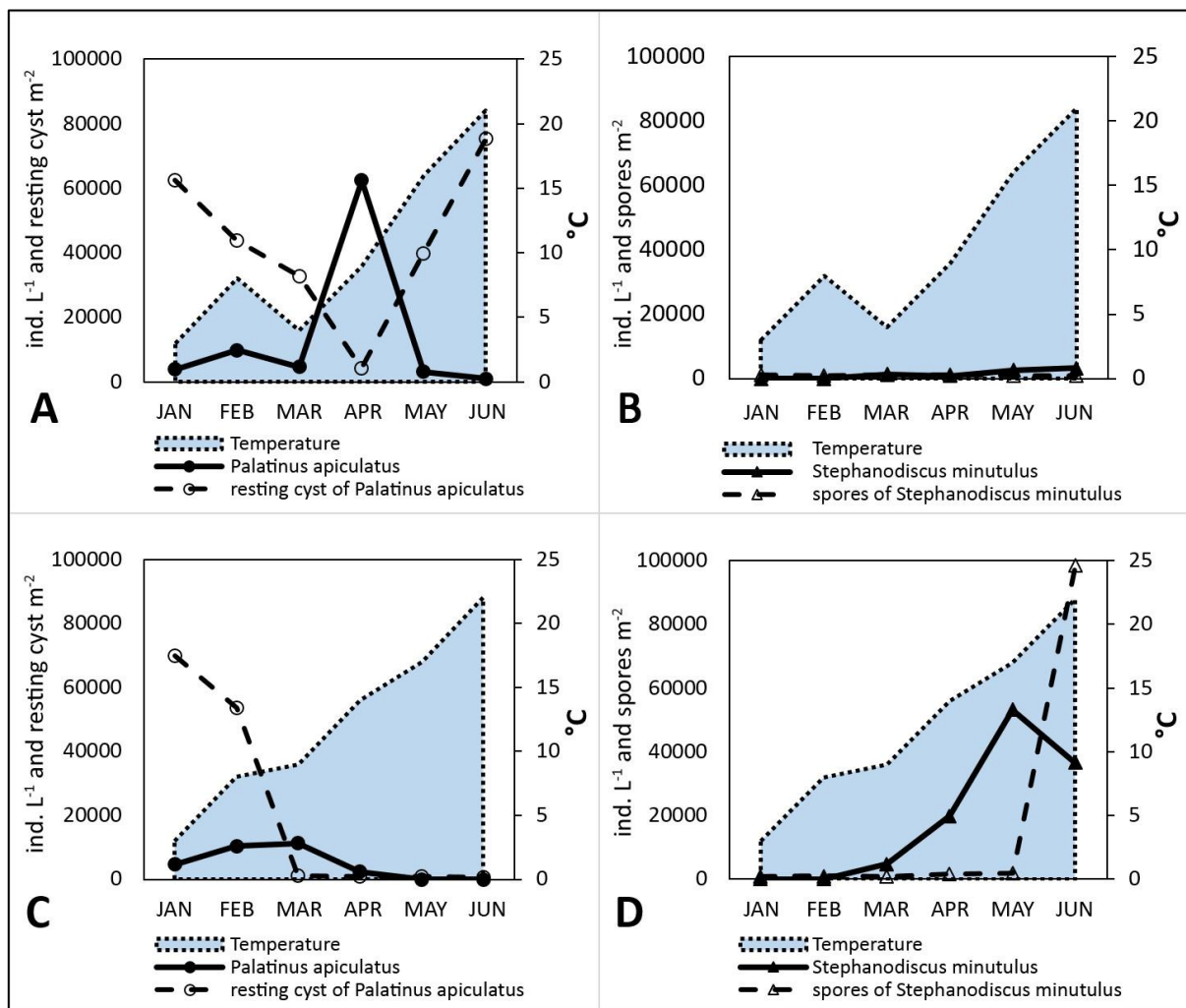
### ***4.2. Investigation of abiotic factors affecting the relationship of algae taxon dominance in the Némét-zugi-Holt-Körös***

## *III. To determine, which abiotic factor or factors leading to the predominance of another algal community in the same water body for two consecutive years.*

The *S. minutulus* is a cosmopolitan species, while *P. apiculatus* is common in temperate zones and in colder regions of Europe. Seasonal differences in nutrient availability for these two species do not affect their occurrence, but they respond differently to spring temperature due to their different life cycles. The slow increase in temperature in spring promotes the development of the vegetative cells of *P. apiculatus*, while delaying their cyst formation, thus providing an opportunity for the dominance of

dinoflagellates in spring. In contrast, the rapidly rising water temperature hastens the cyst formation of *P. apiculatus*, which promotes diatom dominance (Figure 7.).

Numerous studies have dealt with the factors that contribute to the formation of resting formulas of species. At the same time, in order to understand the changes in life cycle and dominance, it is equally important to know one of the decisive stages of the life cycle, the conditions for the formation of vegetative cells from the cyst. We would like to emphasize that future studies should also focus more on the biological properties of the organism in planktonic algae species. These characteristics have evolved over long evolutionary processes, so they can be the biotic potential of a particular species – that is the highest possible viability index – at highest birth rates and lowest mortality rates. In order to understand the occurrence of a particular species, it is essential to know its biological properties, especially for species with broad tolerance to many variables.

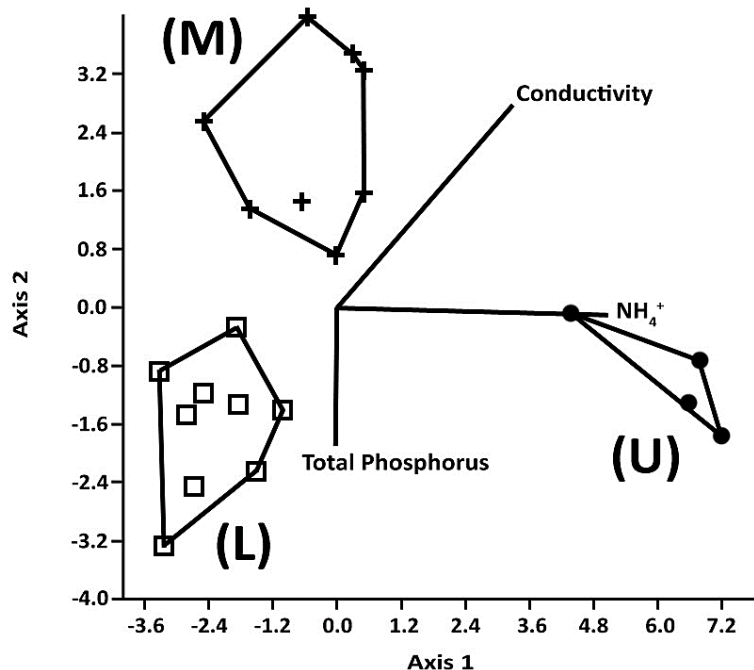


**Figure 7.** Changes in water temperature and in the vegetative cells and propagation formulas of the two algae species in the Némét-zugi-Holt-Körös in 2013 and 2014. **A** = seasonal distribution of water temperature, vegetative cells and cyst of *Palatinus apiculatus* in 2013. **B** = seasonal distribution of water temperature, vegetative cells and spores of *Stephanodiscus minutulus* in 2013. **C** = seasonal distribution of water temperature, vegetative cells and cysts of *Palatinus apiculatus* in 2014. **D** = seasonal distribution of water temperature, vegetative cells and spores of *Stephanodiscus minutulus* in 2014.

#### 4.3. Investigation of factors controlling the temporal and spatial patterns of the algal taxon in the Lázberc-reservoir

IV. Determine the relationship between temporal and spatial patterns of *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin and *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, which are frequent in large reservoirs and cause significant water quality problems.

Based on the Canonical Variance Analysis (CVA) of chemical variables, the sampling sites and the two related algae species in the reservoir area are separating from each other. The reservoir can be divided into three different regions. Samples from the upper region of the reservoir (U) form a separate group, with none of the two species occurring during the year. Samples from the Middle region of the reservoir (M) also formed a separate group, where only *C. hirundinella* was found. The Lower region of the reservoir (L) was characterized by the co-occurrence of *C. hirundinella* and *M. aeruginosa* (Figure 8.).



**Figure 8.** The result of Canonical Variance Analysis (CVA) for the Lázberc-reservoir and its major abiotic variables. The first axis was significant ( $p < 0.0001$ ) and represented 74.76% of the total variance. The second axis was also significant ( $p < 0.0001$ ) and explained 25.24% of the total variance. At the given sampling site: so species: black dot (•); only *C. hirundinella* is present: cross (+); *M. aeruginosa* and *C. hirundinella* present together: empty square (□).

V. Determine which abiotic factor or factors cause the coexistence of these two taxa examined.

Abiotic factors determining the co-occurrence of the investigated taxa were the ammonium-ion and ortho-phosphate-ion concentration, the conductivity, the resulting oxygen deficiency, the water temperature, the changed light transmission and turbidity conditions, and also played an important role in the mass production of nitrogen-fixing cyanobacteria. Ammonium-ion concentrations were high throughout the year at sites where none of the species occurred. We also found the largest change here in ammonium-ion concentration during the study period. The annual average ammonium-

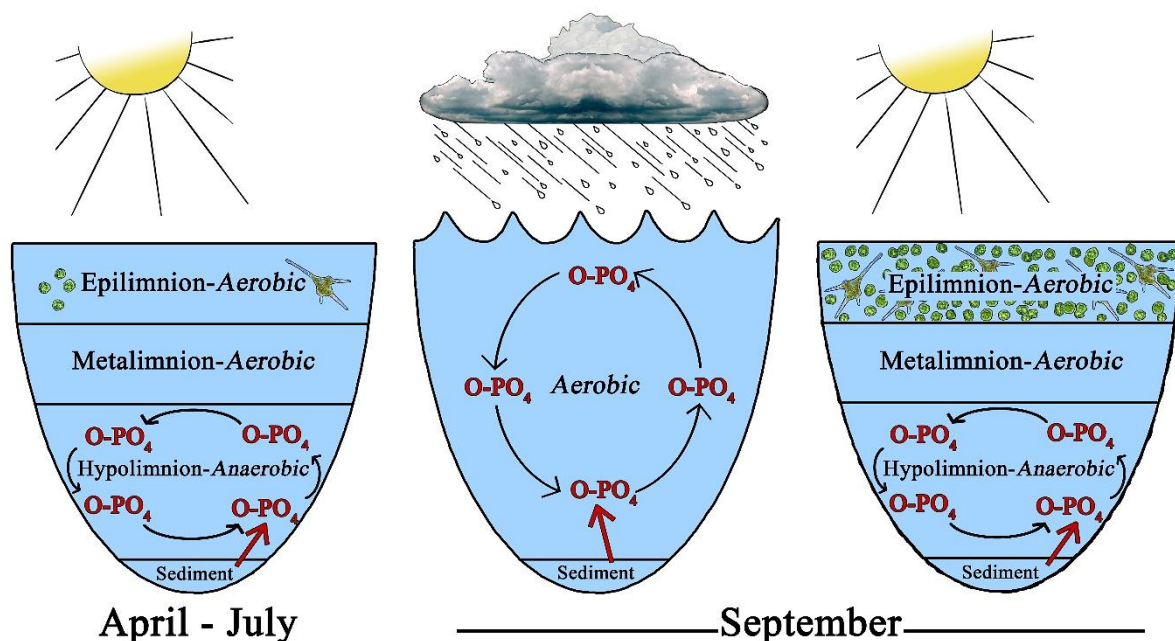
ion concentration was significantly lower at a sampling site where only *C. hirundinella* occurred. Ammonium-ion concentration was the lowest where both species occurred at the same time.

Looking at the annual mean concentration of ortho-phosphate-ion were the highest in sampling sites where none of the species occurred. The annual average ortho-phosphate-ion concentration was significantly lower at a sampling site where only *C. hirundinella* occurred. However, the lowest concentrations were observed at those sampling sites where both species occurred, here the concentration of ortho-phosphate-ion changed the most during the studied period.

The Lower region of the reservoir had the highest algal biomass, but here the nutrient concentration was low because of the large number of living organisms that utilize it, thus reducing the amount of nutrients in the water body.

VI. Investigate the role of the hydrological system in the mass occurrence of *M. aeruginosa*.

Based on our research, we have described the causes and processes promoting the mass production of cyanobacteria and eukaryotic algae, which can be interpreted together with the results presented above (Figure 9.)



**Figure 9.** A process leading to the mass production of cyanobacteria and eukaryotic algae in the Lázberc-reservoir.

After a cold and rainy September, an increase in algal biomass was observed. During the preceding period, hypolimnion became anoxic, resulting in an internal release of nutrients from the sediment. During the rainy period, we found a short period without stratification. Thus, these special hydrological and climatic conditions allowed the phosphorous to enter the upper, photic layer by mixing, resulting in mass production of cyanobacteria and eukaryotic algae.

There is numerous evidence that differences in the amount of available nutrients may contribute to the dominance of cyanobacteria. The reason for this is quite obvious since

cyanobacteria capable of absorbing atmospheric nitrogen have a competitive advantage in low nitrogen concentrations. Our data support the hypothesis that low nitrogen concentration promotes the dominance of cyanobacteria when sufficient phosphorus is available.

While nutrient concentration differences were important in promoting the development of *M. aeruginosa*, the lake's hydrological system may also have played an important role in the growth of *C. hirundinella*'s biomass. Cyanobacterial biomass in the upper part of the water column increased, and its shading effect further reduced the changes in light conditions due to mixing. The resulting lower transparency, as a positive feedback, promoted the proliferation of *C. hirundinella*, which favoured poor light conditions.

## Summary of new scientific findings

- I have demonstrated that the main variables (nitrite-ion, nitrate-ion and ortho-phosphate-ion) which influencing the water quality status of the Tóció (lowland streamlet) shows a very diverse and varying degree of anthropogenic loads at the sampling sites – both over time and geographical distance.
- There is not a single sampling site in the Tóció, where the main variables influencing the habitat characteristics and water quality status are the same in all investigated seasons. Thus, different sections of the examined watercourse (Upper section, Middle section and Lower section) cannot be separated from each other on the basis of a characteristic variable.
- I described the changes caused by anthropogenic effects on the examined plain streamlet type small watercourse in case of the Tóció.
- With my research, I pointed out that even in the case of a small watercourse, it is important to monitor in greater detail than is required by the EU WFD.
- It was found that the slow increase of the temperature in spring promotes the development of the vegetative cells of *Palatinus apiculatus*, while it slows down their cyst formation, thus providing an opportunity for the dominance of dinoflagellate in spring. Conversely, the rapidly rising water temperature in spring is accelerating the cyst formation of *P. apiculatus*, which promotes the mass production of *Stephanodiscus minutulus*.
- I determined the spatial and temporal patterns of the occurrence of *Ceratium hirundinella* and *Microcystis aeruginosa* in the Lázberc-reservoir.
- I identified the abiotic factors that promoted the coexistence of *Ceratium hirundinella* and *Microcystis aeruginosa*.
- I have described the hydrological system in the Lázberc-reservoir that allows the mass production of cyanobacteria and eukaryotic algae.

- With the results of my research I supported the hypothesis that, besides the available phosphorous, low nitrogen concentrations promote the mass production of nitrogen-fixing cyanobacteria.

## Irodalomjegyzék / References

- Ács É.; Kiss K. T., Effects of the water discharge on periphyton abundance and diversity in a large river (River Danube, Hungary), *Hydrobiologia*, 1993 249: 125-133
- Anderson, D. M., Effects of temperature conditions on development and germination of *Gonyaulax tamarensis* (Dinophyceae) hypnozygotes, *J. Phycol.* 1980 16: 166-172.
- Association Apha. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, D. C., 1995
- Biggs, J.; von Fumetti, S.; Kelly-Quinn, M., The importance of small waterbodies for biodiversity and ecosystem services: implications for policy makers, *Hydrobiologia*, 2017 793: 3–39.
- Bowes, M.J.; House, W.A., Phosphorus and dissolved silicon dynamics in the River Swale catchment, UK: a mass-balance approach, *Hydrol. Process.*, 2001 15: 261–280.
- Boynton, W. R.; Kemp, W. M.; Keefe, C. W., Estuarine comparisons, A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production, Academic Press, New York, 1982, 69-90 DOI: 10.1016/B978-0-12-404070-0.50011-9
- Bravo, I.; Fraga, S.; Figueroa, R. I.; Pazos, Y.; Massanet, A.; Ramilo, I., Bloom dynamics and life cycle strategies of two toxic dinoflagellates in a coastal upwelling system (NW Iberian Peninsula), *Deep-Sea Res. Part II*, 2010 57(3-4): 222-234.
- Chen, J., Lu, J., Effects of land use, topography and socio-economic factors on river water quality in a mountainous watershed with intensive agricultural production in East China, *PLoS One*, 2014 (9(8)) e102714.
- Chesterton, C., Environmental impacts of land management, Nature England, England, Sheffield, 2009, 175.
- Conley, D. J.; Malone, T. C., Annual cycle of dissolved silicate in Chesapeake Bay: implications for the production and fate of phytoplankton biomass, *Marine Ecology Progress Series*, 1992 81(2): 121-128. DOI: 10.3354/meps081121
- Dévai G.; Miskolczi M., Alapvetés a szitakötőkkel (Insecta: Odonata) végzett hosszú távú biodiverzitás-monitorozáshoz a Tisza-mente Tiszabercel és Balsa közötti szakaszán (MNBM Program, Pilot Projekt), *Studia Odonatologica Hungarica*, 2001 7: 13-37.
- Dövényi Z., Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2010.
- Drebes, G., On the life history of the marine plankton diatom *Stephanopyxis palmeriana*, *Helgoland Mar. Res.*, 1966 13(1): 101-114.
- Durbin, E. G., Aspects of the biology of resting spores of *Thalassiosira nordenskiöldii* and *Detonula confervacea*, *Mar. Biol.*, 1978 45(1): 31-37.
- Ebina, J.; Tsutsui, T.; Shirai, T., Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation, *Water Research*, 1983 17(12): 1721-1726. DOI: 10.1016/0043-1354(83)90192-6
- Elosegi, A.; Díez, J.; Mutz, M., Effects of hydromorphological integrity on biodiversity and functioning of river ecosystems, *Hydrobiologia* 2010 657(1): 199-215.
- Erős T.; Sevcsik A.; Tóth B., Abundance and night- time habitat use patterns of Ponto-Caspian gobiid species (Pisces, Gobiidae) in the littoral zone of the River Danube, Hungary, *J. Appl Ichthyol*, 2005 21: 350-357
- Franks, P. J. S., Spatial patterns in dense algal blooms, *Limnology and Oceanography*, 1997 42(5): 1297-1305. DOI: 10.4319/lo.1997.42.5\_part\_2.1297
- Georgakakos, K. P., Kavvas, M. L., Precipitation analysis, modeling, and prediction in hydrology, *Rev Geophys.*, 1987 25(2): 163–78.

- Gerlach, S. A., Nitrogen, phosphorus, plankton and oxygen deficiency in the German Bight and in Kiel Bay, *Kieler Meeresforschungen, Sonderheft*, 1990 7: 341.
- Gligora, U. M.; Žutinić, P.; Borojević, K. K.; Plenković-Moraj, A., Co-occurrence of functional groups in phytoplankton assemblages dominated by diatoms, chrysophytes and dinoflagellates, *Fundam. Appl. Limnol.*, 2015 187: 101-111.
- Gomi, T.; Sidle R. C., Richardson, J. S., Understanding processes and downstream linkages of headwater systems, *Bioscience*, 2002 52: 905–916.
- Grigorszky, I.; Nagy, S.; Krienitz, L.; Kiss, K. T.; Mikó, H. M.; Tóth, A.; Borics, G.; Máthé, C.; Kiss, B.; Borbély, G.; Dévai, G.; Padisák, J., Seasonal succession of phytoplankton in a small eutrophic oxbow and some consideration to the PEG model, *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 2000 27(1): 152-156.
- Grizzetti, B.; Bouraoui, F.; De Marsily, G., Assessing nitrogen pressures on European surface water, *Global Biogeochem. Cy.*, 2008 22: GB4023.
- Hammer, Ø.; Harper, D. A. T.; Ryan, P. D., PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis, *Palaeontologia Electronica* 2001 4(1): art. 4, 1-9. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Jeppesen, E.; Brucet, S.; Naselli-Flores, L.; E. Papastergiadou; K. Stefanidis & T. Nöges, Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity, *Hydrobiologia*, 2015 750(1): 201-227. DOI: 10.1007/s10750-014-2169-x
- Kiss K. T.; Ács É., Kovács A., Ecological observations on *Skeletonema potamos* (Weber) Hasle in the River Danube, near Budapest (1991- 92, daily investigations), *Hydrobiologia* 1994 289: 163-170.
- Kiss, K. T., Diurnal change of planktonic diatoms in the River Danube near Budapest (Hungary), *Arch. Hydrobiol. Algol. Studies*, 1996 80: 113-122.
- Magyar szabvány MSZ 12749, Felszíni vizek minősége, minőségi jellemzők és minősítés. [Quality of surface water, quality characteristics and classification], Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 1993.
- Mainali, J.; Chang, H., Landscape and anthropogenic factors affecting spatial patterns of water quality trends in a large river basin, South Korea, *J. Hydrol.*, 2018 564: 26-40.
- Markovics, R.; Kanduc, T.; Szramek, K.; Golobocanin, D.; Milacic, R., Ogrinc, N., Chemical dynamics of the Sava riverine system, *J. Environ. Monitor.*, 2010 12: 2165–2176.
- Nixon, S. W.; Pilson, M. E. Q., Nitrogen in the marine environment, Nitrogen in estuarine and coastal marine ecosystems, Academic Press, New York, 1983, 565-648
- Oudra, B.; Loudiki, M.; Sbyyaa, B.; Sabour, B.; Martins, R.; Amori, A., Detection and variation of microcystin contents of *Microcystis* blooms in eutrophic Lalla Takerkoust Lake, Morocco, Lake and Reservoirs, Research and Management, 2002 7(1): 35-44. DOI: 10.1046/j.1440-1770.2002.00165.x
- Pálfai I., Tisza-Völgyi holtágak, Közlekedési, Hírközlési és Vizügyi Minisztérium, Budapest, 1995.
- Reynolds, C. S., Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability, *Freshwater Biology*, 1984a 14 (2): 111-142. DOI: 10.1111/j.1365-2427.1984.tb00027.x
- Reynolds, C. S., Phytoplankton designer - or how to predict compositional responses to trophic-state change, *Hydrobiologia*, 2000 424(1-3): 123-132. DOI: 10.1023/A:1003913330889
- Reynolds, C. S., The development of preceptions of aquatic eutrophication and its control, *Ecohydrology and Hydrobiology*, 2003 3(2): 149-163.
- Reynolds, C. S., The response of phytoplankton communities to changing lake environments, *Swiss J. Hydrol.*, 1987 49: 220-236.

- Reynolds, C. S.; Rod, L. O.; Walsby, A. E., Cyanobacterial dominance: The role of buoyancy regulation in dynamic lake environments, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1987 21(3), 379-390. DOI: 10.1080/00288330.1987.9516234
- Rigby, J. R.; Porporato, A., Precipitation, dynamical intermittency, and sporadic randomness, *Adv. Water Resour.*, 2010 33(8): 923-932.
- Sabater, S.; Elosegi, A.; Ludwig R., Multiple Stressors in River Ecosystems, *Defining Multiple Stressor Implications*. Elsevier, Amsterdam, Netherland, 2019, 1-22.
- Schertzer, D.; Tchiguirinskaia, I.; Lovejoy, S.; Hubert, P.; Bendjoudi, H.; Larcheveque, M., Discussion of “evidence of chaos in the rainfall-runoff process”, *Hydrolog. Sci. J.*, 2002 47(1): 139–48.
- Seda, J.; Hejzlar, J.; Kubecka, J., Trophic structure of nine Czech reservoirs regularly stocked with piscivorous fish, *Hydrobiologia*, 2000 429(1-3): 141-149. DOI: 10.1023/A:1004048415779
- Smith, V. H., Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton, *Science*, 1983 221(4611): 669–671. DOI: 10.1126/science.221.4611.669
- Sommer, U.; Gliwicz, Z. M.; Lampert, W.; Duncan, A., The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters, *Arch. Hydrobiol.*, 1986 106: 433-471.
- Tu, J., Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression, *Appl. Geogr.*, 2011 31: 376–392.
- United States Environmental Protection Agency. *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*; Office of Research and Development: Washington, DC 20460, United States, 1983.
- Utermöhl, H., Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons (mit besonderer Berücksichtigung des Ultraplanktons), *Verhandlungen Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 1931 5(2): 567-596. DOI: 10.1080/03680770.1931.11898492
- Vitousek, P. M.; Aber, J. D.; Howarth, R. W.; Likens, G. E.; Matson, P. A.; Schindler, D. W.; Schlesinger, W. H.; Tilman, D. G., Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences, *Ecol. Appl.*, 1997 7: 737–750.



Registry number: DEENK/31/2020.PL  
Subject: PhD Publikációs Lista

Candidate: Imre Somlyai

Neptun ID: QMDDKI

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10059188

### List of publications related to the dissertation

#### Foreign language scientific articles in international journals (3)

1. Grigorszky, I., Kiss, K. T., Szabó, L. J., Dévai, G., Nagy, S. A., **Somlyai, I.**, Berta, C., Gligora-Udovič, M., Borics, G., Pór, G., Muwafaq, Y. M., Hajredini, A., Tumurtogoo, U., Ács, É.: Drivers of the *Ceratium hirundinella* and *Microcystis aeruginosa* coexistence in a drinking water reservoir.  
*Limnetica*. 38 (1), 41-53, 2019. ISSN: 0213-8409.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.23818/limn.38.11>  
IF: 0.574 (2018)
2. **Somlyai, I.**, Berta, C., Nagy, S. A., Dévai, G., Ács, É., Szabó, L. J., Nagy, J., Grigorszky, I.: Heterogeneity and Anthropogenic Impacts on a Small Lowland Stream.  
*Water*. 11 (10), 1-14, 2019. ISSN: 2073-4441.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w11102002>  
IF: 2.524 (2018)
3. Grigorszky, I., Kiss, T. K., Pór, G., Dévai, G., Nagy, S. A., **Somlyai, I.**, Berta, C., Duleba, M., Trábert, Z., Ács, É.: Temperature and growth strategies as the essential factors influencing the occurrence of *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller and *Palatinus apiculatus* (Ehrenberg) Craveiro, Calado, Daugbjerg & Moestrup.  
*Fundam. Appl. Limnol.* 189 (2), 167-175, 2017. ISSN: 1863-9135.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/fal/2016/0941>  
IF: 1.361





### List of other publications

Foreign language scientific articles in international journals (1)

4. Berta, C., Gyulai, I., Szabó, J. L., Simon, E., Nagy, S. A., **Somlyai, I.**, Grigorszky, I.: Cladocerans as indicators in the importance of passive nature conservation.

*Biologia*. 73 (9), 875-884, 2018. ISSN: 0006-3088.

DOI: <http://dx.doi.org/10.2478/s11756-018-0097-3>

IF: 0.728

**Total IF of journals (all publications): 5,187**

**Total IF of journals (publications related to the dissertation): 4,459**

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

14 February, 2020

