

ZÁRÓJELENTÉS

ÁRAMLÁSI HOLTTEREK ELOSZLÁSA ÉS ÖKOLÓGIAI JELENTŐSÉGE A TISZA MAGYAR SZAKASZÁN

(OTKA K-63340)

Vezető kutató:

Dr. Istvánovics Vera



Készült a BME Víziközmű és Környezetmérnöki Tanszéken

Budapest, 2010. január 31.

TARTALOMJEGYZÉK

1. A projekt munkahipotézise és célkitűzései.....	3
2. Hosszelvény menti mérőexpedíció - új kérdések	4
3. Kiszemelt folyószakaszok részletes vizsgálata - gázlók szerepe a fitoplankton dinamikájában	7
4. A folyóvízi fitoplankton biomasszájának függése a tartózkodási időtől és a tápanyag ellátottságtól; gyakorlati következmények.....	16
5. A Tisza fitoplanktonjának dinamikája -ugrásszerű környezeti gradiensek hatása	21
6. Következtetések.....	28
7. Irodalomjegyzék	32
8. A projektben készült publikációk jegyzéke	34
9. A személyi feltételek és a kutatási feladatok változása a projekt során - Indoklás	36
10. Köszönetnyilvánítás.....	38

1. A projekt munkahipotézise és célkitűzései

A folyókban a valódi fitoplankton szaporodása a kisebb-nagyobb áramlási holtterek sokaságához kötődik (Reynolds 1994, Reynolds és Descy 1996, Reynolds 2000, Schiemer *et al.* 2001, Thorp *et al.* 2006, Walks 2007). A planktonalgák még a hígulásból és kimosódásból adódó veszteségeiket sem tudnák pótolni, ha a víz közepsebességével sodródának lefelé. Lassan áramló "vízcsomagok", holtterek nélkül optimális fényviszonyok és tápanyag ellátottság mellett sem népesíthetnék be folyóinkat. A holttereknek elég izoláltnak kell lenniük ahhoz, hogy a sodorbelinél melegebb és a kiüledés miatt átlátszóbb vízben a fitoplankton jelentősen elszaporodhasson, ugyanakkor a víznek elég gyorsan kell cserélődnie a főárammal ahhoz, hogy a holtterek a folyó egészének trofitására lényeges hatást gyakoroljanak (Reynolds 1994). A koncepciót erősítő konkrét példák izolált öblökre (Reynolds 2000) és mellékágakra (Schiemer *et al.* 2001, Hein *et al.* 2003) vonatkoztak.

Józsa és Krámer (2002) modell-számításai szerint a mederszelvény harmadáig benyúló sarkantyú holttere 2-3 órával növeli meg a víz tartózkodási idejét, enyhén meanderező mederben a növekmény inkább csak perc nagyságrendű. A Tisza a szabályozások ellenére is heterogén medrű, meanderező folyó, átlagos szinuozitása 1,7 körüli. Kiinduló hipotézisünk az volt, hogy ez a folyó iskolapéldája lehet az áramlási holtterek fitoplankton dinamikában betöltött szerepének.

Célkitűzéseink a következők voltak:

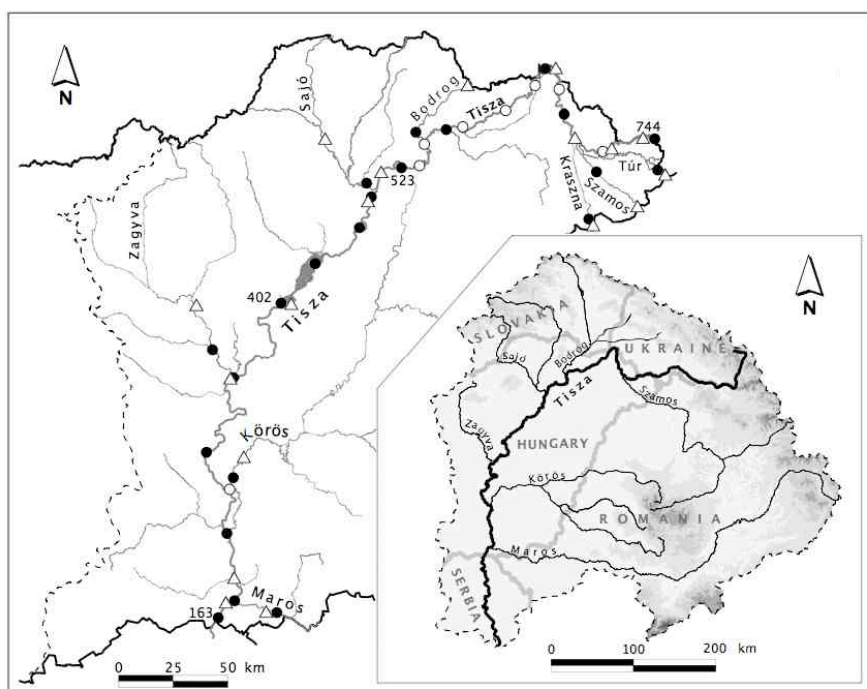
- (i) A Tisza hajózható magyar szakaszán az automatizált mérés technika által lehetővé tett finom térbeli felbontással feltérképezzük a fitoplankton biomasszáját és összetételét.

- (ii) A hidrodinamikai és ökológiai modellezés eszközeit felhasználva értékeljük mérési eredményeinket, kvantifikáljuk az áramlási holtterek aggregált hatását a folyami fitoplankton dinamikájára.
- (iii) Megmutatjuk, hogy milyen jelentős többlet-információhoz jutunk, ha az ökológiai megfigyeléseket akárcsak a legegyszerűbb hidrodinamikai modellel összekapcsolva értelmezzük.

2. Hosszelvény menti mérőexpedíció - új kérdések

2006. júliusában a Túr-bukótól (fkm 729) a déli országhatárig (fkm 161), majd vissza Jándig (fkm 688) feltérképeztük a fitoplankton biomasszáját, összetételét és a növekedését

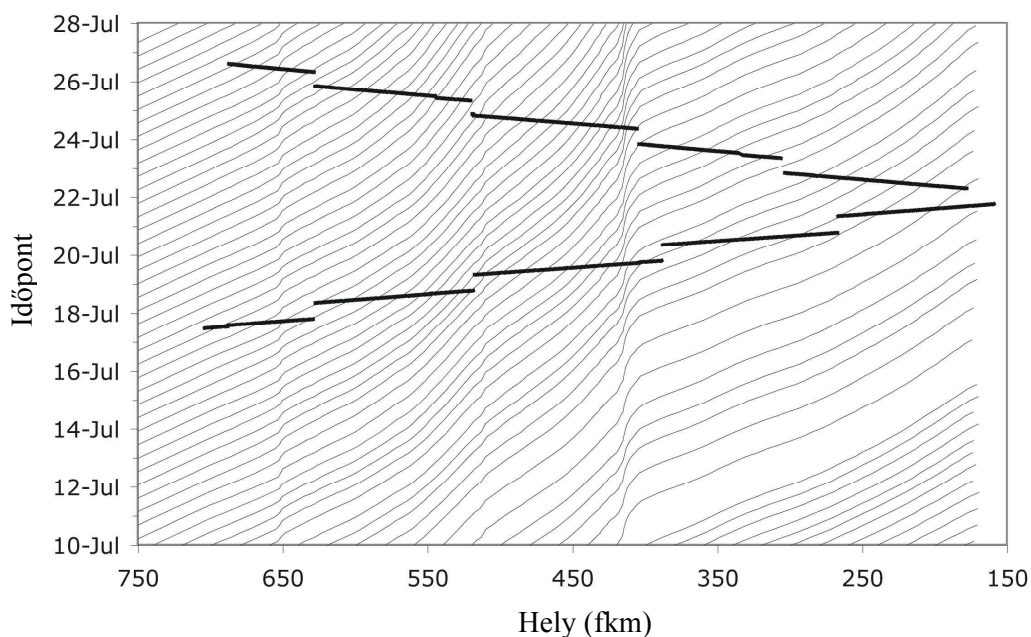
- 1. ábra:** A Tisza vízgyűjtője és magyar szakasza. (Fekete kör - az országos vízminőség monitorozó rendszer mintavételi helyei. Fehér kör - kiegészítő fitoplankton mintavételi helyek 2000-ben. Háromszög - vízhozam mérő pontok. A számok folyamkilométert jelölnek. A tiszalöki duzzasztó fkm 523-nál, a kiskörei fkm 402-nél található.)



alapvetően befolyásoló környezeti tényezőket (vízhőmérséklet, zavarosság, tápanyagok koncentrációja; 1. ábra; Istvánovics *et al.* 2008).

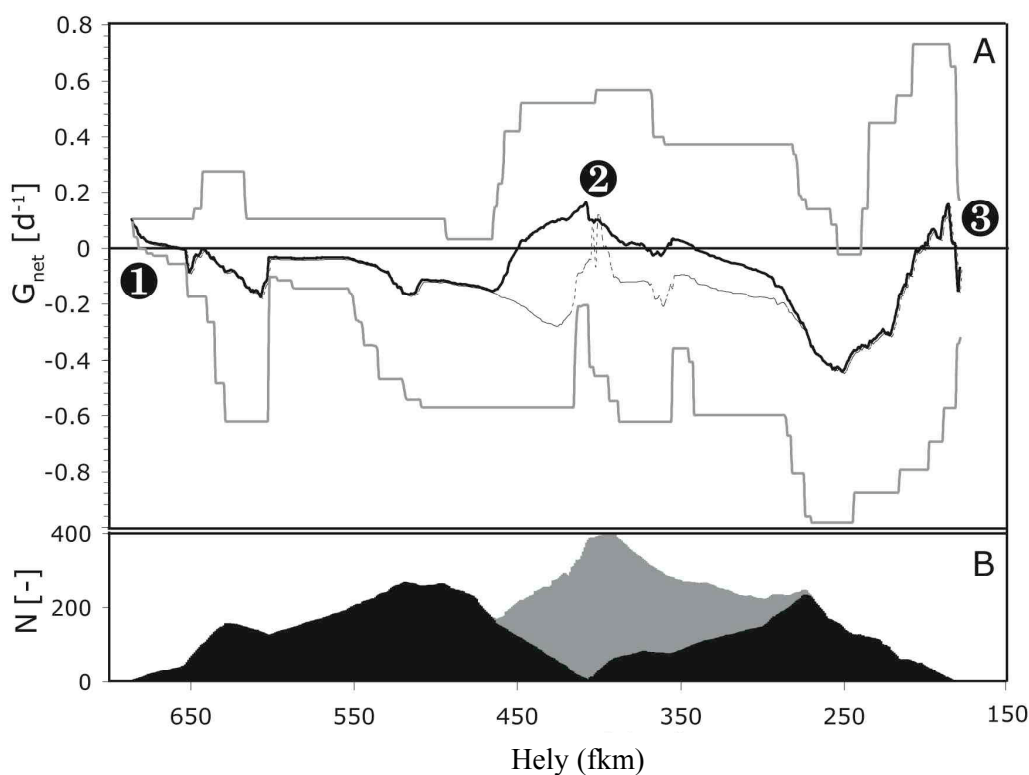
A Tisza árvízi hozamaira kalibrált 1D hidrodinamikai modellt (Koncsos 2006) átkalibráltuk az expedíció idején jellemző, 70% meghaladási valószínűségű vízhozamok levonulásának leírására (Koncsos és Kozma, nyomtatásban). Ismerve (i) a mérőhajó pályáját (az 1 másodpercenként rögzített GPS koordinátákból) és (ii) a Tiszabecsnél 5 percenként, azaz a fitoplankton biomassa mérésekkel azonos időközönként elindított „vízcsomagok“ trajektóriumát (a hidrodinamikai modellel végzett szimulációból), megállapítottuk, hogy mikor és hol mértünk ugyanabban a „vízcsomagban“ (2. ábra, Honti *et al.* 2008). Így lehetővé vált, hogy az egyazon „vízcsomagban“ különböző időpontokban mért alga

2. ábra: A Tiszabecsnél (fkm 744) 12 óránként elengedett „vízcsomagok“ trajektóriuma (vékony vonalak) és a mérőhajó pályája (vastag vonal). (Az utóbbi az éjszakai leállások miatt nem folytonos).



biomassából becsüljük a nettó növekedési rátát (3. ábra). A bizonytalanságok ellenére egyértelmű volt a következtetés: a magyar Tiszán levonuló fitoplankton zömét a Szamos szállítja a folyóba, ahol azután az algák inkább pusztulnak, semmint növekednek. Az áramlási holtterek szerepe jelentéktelen és térben korlátozott, csak a Felső-Tiszán jöhet számításba.

3. ábra: A fitoplankton nettó növekedési rátája (G_{net}) a Tisza mentén. (A 3A ábrán a vékony vonalak az adott helyen becsült minimum-maximum értékeket mutatják. A vastag, illetve a vékony szaggatott vonal az átlagos növekedési ráta abban az esetben, ha a Kiskörei gáton átnyúló trajektóriumokat bele vesszük, illetve kihagyjuk az átlagolásból. A 3B ábra mutatja, hány egyedi becslést tartalmaz egy-egy átlagérték. A szürke terület a Kiskörei gáton átnyúló trajektóriumok száma. A becslés bizonytalanságát az átnyúló trajektóriumok kihagyása az esetszám csökkentésével, benthagyása viszont azzal növeli, hogy az 1D modell szükségszerűen felülbecsülte a Kiskörei tározó mentén a víz középsebességét.)



Erdeményeink két újabb kérdést vetettek fel. (i) Lehetséges, hogy az áramlási holtterek jelentős szerepét azért nem tudtuk igazolni a Tiszán, mert az erősen vízhozam függő? (ii) Lehetséges, hogy a Tisza azért nem viselkedett az irodalom alapján elvárható módon, mert medre más, hasonló középvízhozamú folyókhoz képest feltűnően mély? Mi a helyzet például a sokkal sekélyebb Szamosban?

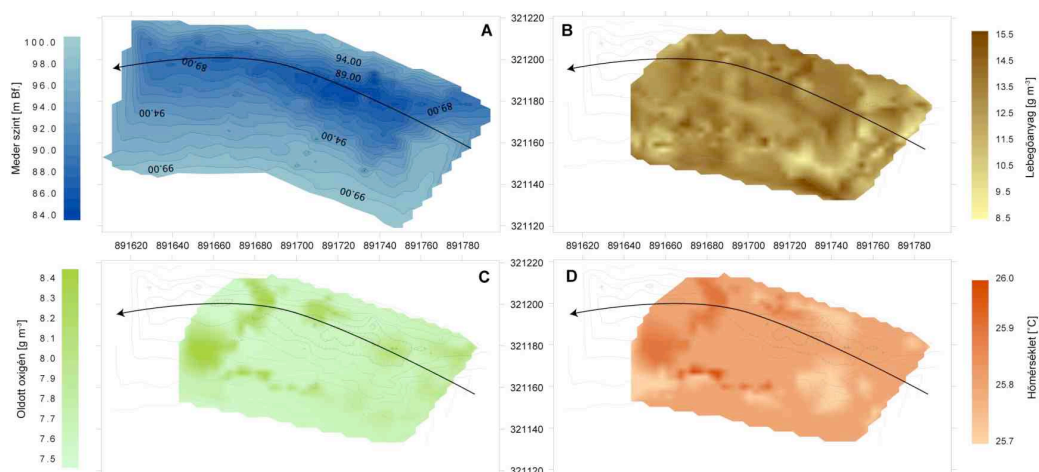
3. Kiszemelt folyószakaszok részletes vizsgálata – gázlók szerepe a fitoplankton dinamikájában

Az új kérdések megválaszolásához módosítottuk eredeti mérési tervünket. 2007-ben a Szamos torkolata alatt a Tiszán, valamint a Tiszánál 40-50%-kal kisebb hozamú és lényegesen sekélyebb Szamoson jelöltünk ki olyan 150-200 m hosszúságú szakaszokat, ahol viszonylag jelentős méretű áramlási holtterek voltak (kisebb öblök, homokpadok árnyéka stb.). Ezeket az előző évvel azonos módszerekkel, de igen finom felbontásban térképeztük fel. Ugyanazt a szakaszt különböző vízállásoknál vizsgáltuk, de jelentős keresztmetszeti- vagy mélységmenti változékonyságot nem találtunk sem az algák mennyiségében, sem a víz hőmérsékletben vagy az oxigén, lebegőanyag és a tápanyagok koncentrációjában (4. ábra). Sem a Tiszán, sem a magyar Szamoson nem igazolódott, hogy a planktonikus algák a holtterek vizében szaporodnának el és innen jutnának a főáramba.

A magyar Szamoson az algák hosszú távú (1997-2006) nyári medián koncentrációja már Csengernél (fkm 49) is magas, 39 mg kl-
a m⁻³ volt (Istvánovics és Honti, közlésre benyújtva). Lehet, hogy a kevésbé szabályozott medrű romániai Szamosban mégiscsak

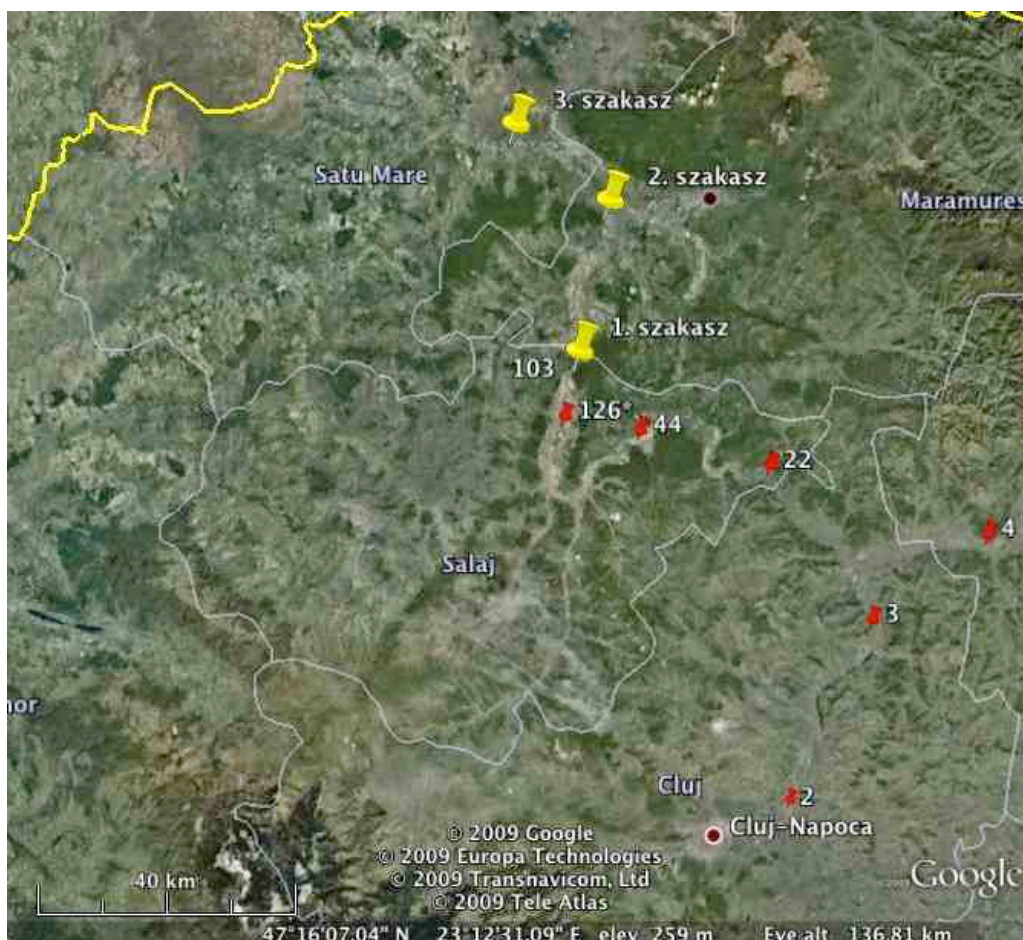
fontosak az áramlási holtterek? 2009. júliusában 80% meghaladási valószínűségű vízállásnál Kolozsvártól végigmintáztuk a folyót,

4. ábra: A vízmélység (A), lebegőanyag koncentráció (B), oxigén koncentráció (C) és vízhőmérséklet változása a Tisza egyik részletesen feltérképezett szakaszán. (Tizzaszalka, fkm 677, 2007. július 25. A 99 m mBF szintvonal 1.5 m vízmélységnek felelt meg. A térképek EOVS koordináta-rendszerben készültek. Az észlelt különbségek igen csekélyek, de a nagy számú észlelés miatt létezőek. A kanyar belső íve mentén a sekély alvizen a kissé magasabb O_2 koncentráció és vízhőmérséklet a holtteret leválasztó örvény part felőli peremén alakul ki és a jelzi, hogy itt az algák tartózkodási ideje valamivel hosszabb, mint a sodorban.)



három szakaszon pedig részletes térbeli vizsgálatot végeztünk a 2007-es mérések mintájára (5. ábra; Istvánovics *et al.*, előkészületben). A kisvízi meder szabályozását „megúsza” a

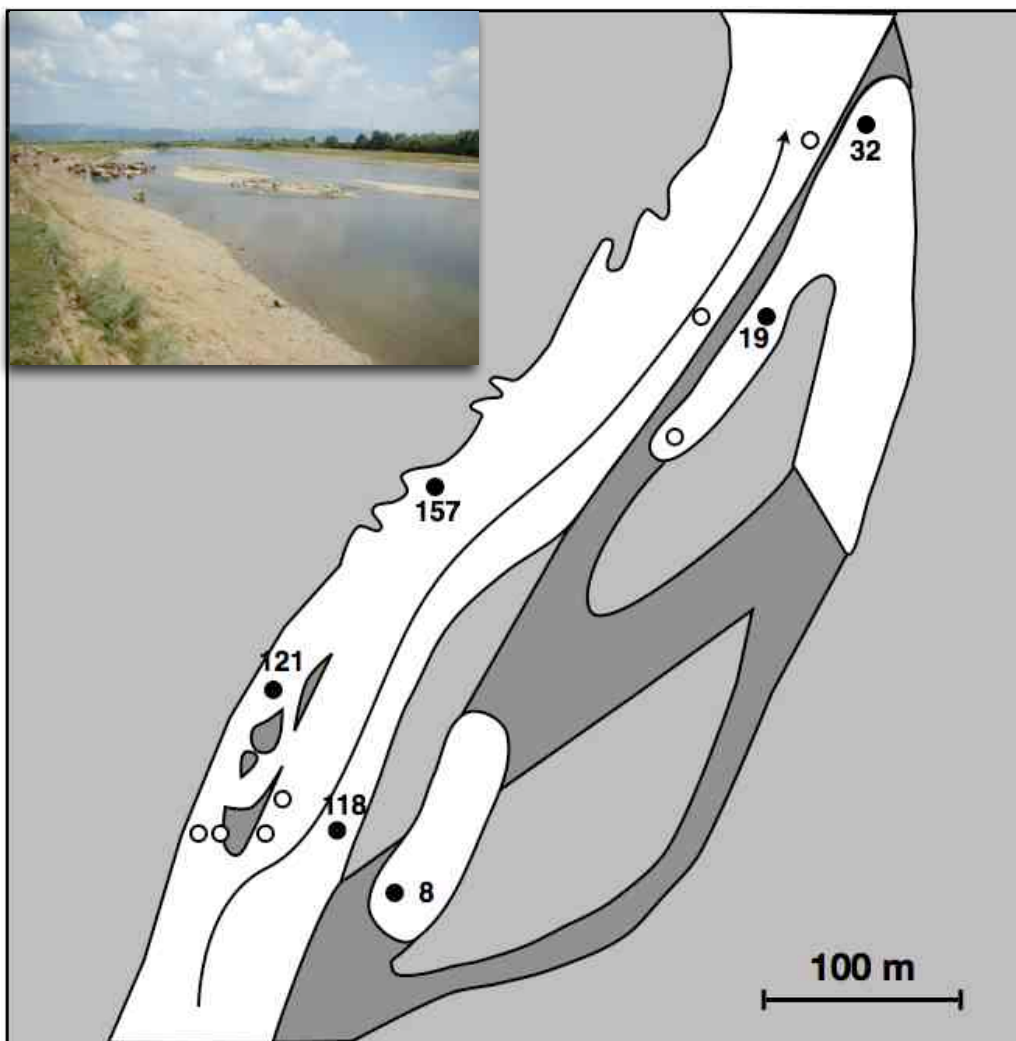
5. ábra: Mintavételi helyek a Szamos romániai szakaszán. (Piros jel - pontszerű mintavételi hely. Sárga jel - részletesen feltérképezett szakasz. A jelek mellé írt számok a klorofill koncentrációt jelentik mg kl-a m⁻³-ben.)



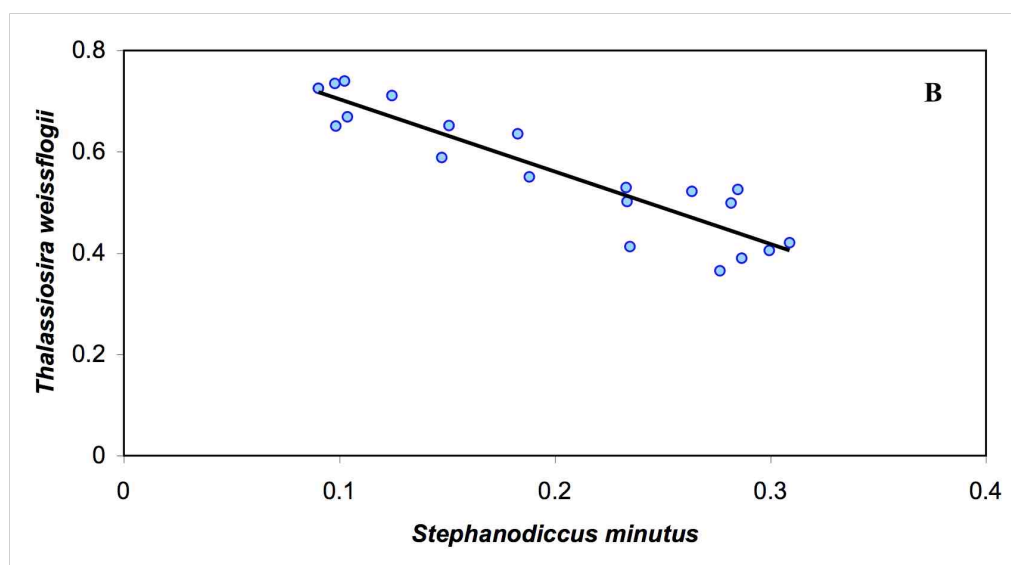
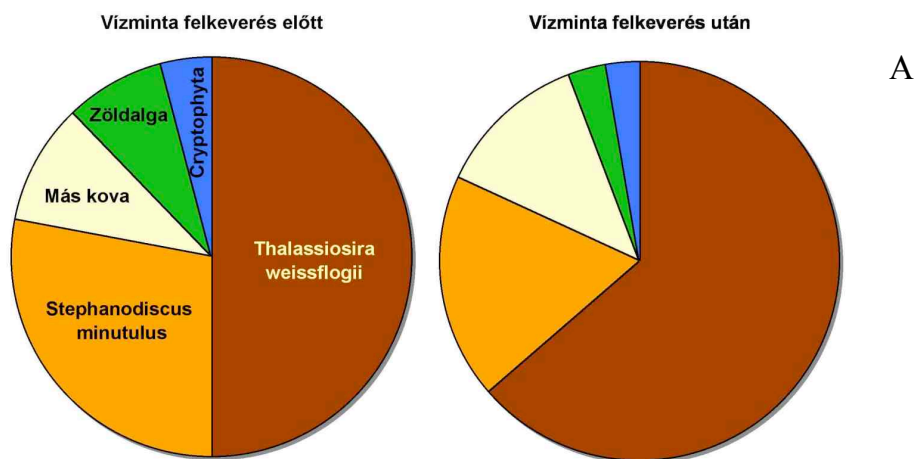
romániai Szamos medre rendkívül szabálytalan (6. ábra). A részletesen feltérképezett szakaszokon a vízmélység a keresztmetszvény 60-80%-án 0.5 m-nél sekélyebb, fenéig átlátszó volt. A sekély, lassan áramló vízből a viszonylag nagy *Thalassiosira weissflogii* (3140 μm^3) szelektíven kiüledett és az aljzaton elszaporodott (7A. ábra). A kisebb kovaalgák (pl. a *Stephanodiscus minutulus*; 100 μm^3), a zöldalgák és a mozgékony Cryptophyta

algák aránya a vízben nagyobb volt, mint az igen csekély fizikai behatásra felkeveredő „bentoszban“. Összes mintáinkat együtt

6. ábra: A 2. szakasz helyszínrajza és fényképe. (A nyíllal jelölt sodorvonalat pontszerű vízsebesség-mérés és szonáros vízmélység térképezés alapján jelöltük be. A sodorban a vízmélység 2-2,5 m között változott, az ezt körülvevő 15-20 m széles „csatornán“ kívül a vizsgált szakasz mindenütt sekélyebb volt 0,5 m-nél. A sötétszürke terület a középvízi meder szárazon álló része. A fekete körök melletti számok mg kl-a m^{-3} -ben az alga biomaszt mutatják. Az élő mederben a *Thalassiosira weissflogii* és a *Stephanodiscus minutulus* adta a fitoplankton 80%-át. A felső holtágban egy *Euglena*, az alsóban egy *Chromulina* faj dominált, mindkettőt Cryptophyta kísérte. A holtágak vize 2-3°C-szal volt melegebb az élő meder vizénél. Az alsó holtág kb. 10 cm-rel magasabb vízállásnál már bekapcsolódik az élő mederbe.)



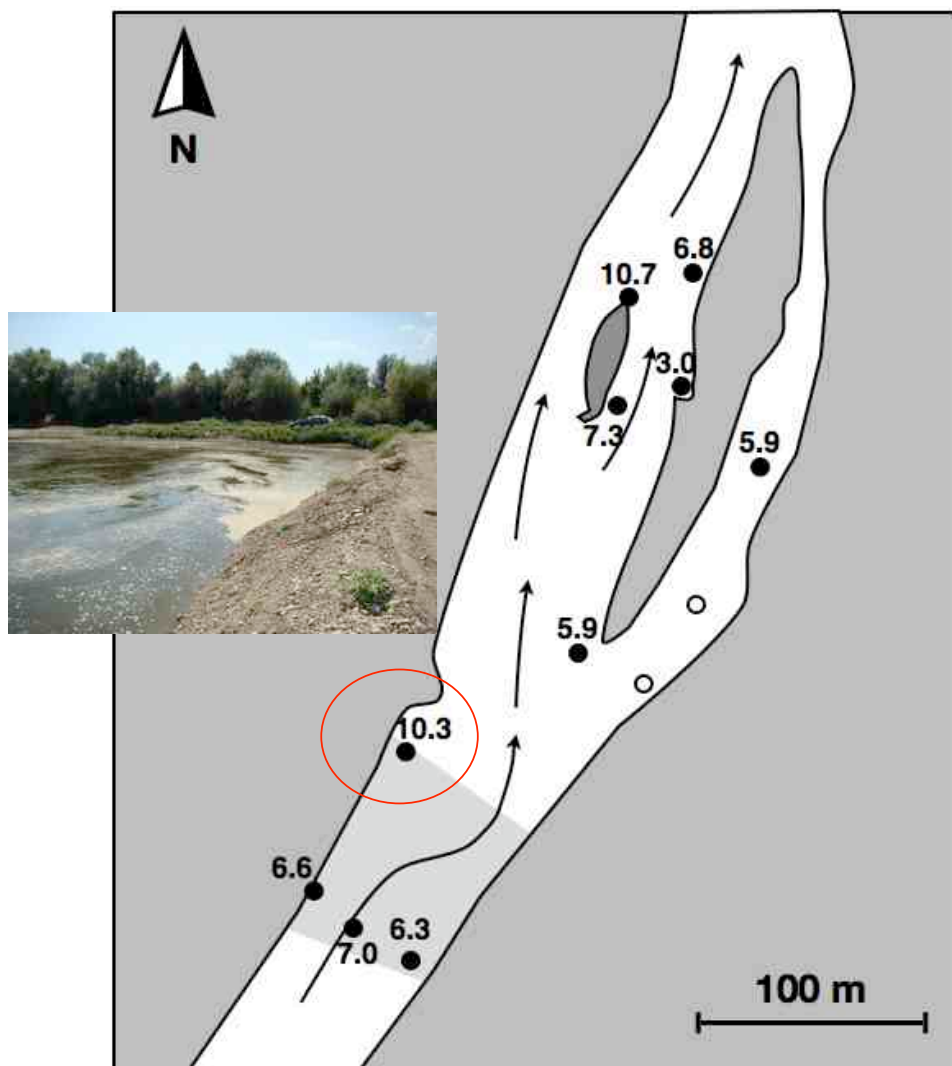
7. ábra: A fitoplankton összetétele az 1. szakasz egyik zátonya mellett vett zavartalan vízmintában és az ugyanott enyhe fizikai behatás után vett mintában (A) és a két legfontosabb kovaalga faj arányának viszonya az összes szamosi mintában (B). (7A ábra: a fitoplankton össz tömege 20.9 illetve 81 g m⁻³, a vízmélység 30 cm volt. 7B ábra: r²=0,84; N=23.)



tekintve a *T. weissflogii* és a *S. minutulus* aránya szoros inverz kapcsolatot mutatott (7B. ábra). Következtetésünk az, hogy a gázlók elsősorban a nagyobb méretű kovaalgáknak nyújtanak szelektív előnyt. Ezzel összhangban a Szamos két legnagyobb kovaalgája, a *Thalassiosira* és a *S. rotula* 2000-ben április közepén, 300 m³s⁻¹ körüli hozamnál jelent meg a vízben, majd együttes arányuk október elejéig fokozatosan 55-65%-ra nőtt (Istvánovics *et al.* 2010).

A kiüledett algák a jó megvilágítás és bőséges tápanyagkínálat közepette olyan intenzíven fotoszintetizáltak, hogy a felszálló oxigénbuborékok tömegesen ragadták őket magukkal az áramló vízbe (8. ábra). A buborékok késő délutánra vastag habbá álltak össze a víz felszínén. A habba csapdázódott kovaalgák valószínű sorsa a pusztulás, ezt a folyamatot azonban nem vizsgáltuk.

8. ábra: A fitoplankton O_2 termelése ($\mu g O_2 [\mu g \text{ kl-a}]^{-1} \text{óra}^{-1}$) az 1. szakaszon. (A fekete körök melletti számok mutatják. Az O_2 termelést. A fénykép a bekarikázott holttér kora délutáni állapotát dokumentálja.)



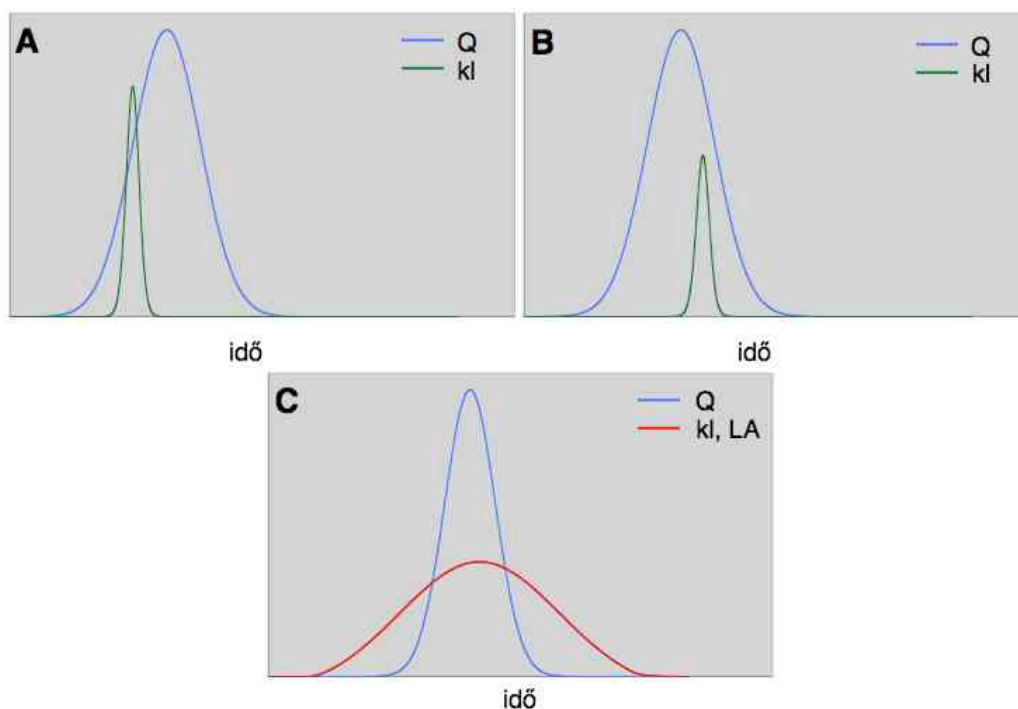
Stoyneva (1994) a bulgár Duna gázlós területein ismerte fel a fenti folyamatok jelentőségét a fitoplankton dinamikájában. Munkáját gyakran idézik, de úgy tűnik, a mechanizmust nem tartják általános érvényűnek. Ennek oka az lehet, hogy a kisvízi meder szabályozása a gázlókat felszámolja, márpedig az intenzíven vizsgált folyók többnyire hajózhatók is, így nem kerülhették el ezt a beavatkozást.

Eredményeinkből arra következtetünk, hogy a nagy síkvidéki folyók hidromorfológiai referenciaállapotát kis vízhozamoknál az jellemzi, hogy a „planktonalgák“ tartózkodási ideje a kiüledés-felkeveredés-kiüledés spirálja miatt nagyságrendekkel hosszabb, mint a vízé. Tudomásunk szerint a gázlók ilyen szerepére vonatkozó következtetésünk új, noha kis (első- és másodrendű) patakokban a jelenséget kísérletesen is vizsgálták. Thomas és munkatársai (2001) például megállapították, hogy a ^{14}C izotóppal jelölt, élő *Asterionella* kovaalga üledési sebessége 1 mm s^{-1} körüli. A Szamos gázlós szakaszain a 0,5 m-nél sekélyebb vízben $0,1 - 0,3 \text{ m s}^{-1}$ közötti sebességeket mértünk. Ez azt jelenti, hogy a kovaalgák 50 - 150 méteren belül újra és újra kiüledhettek.

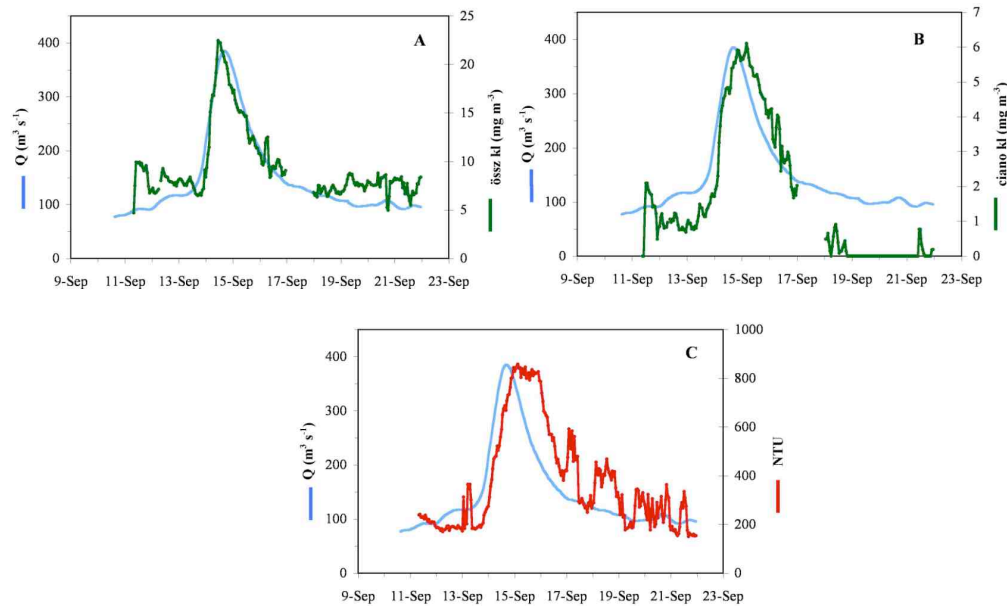
Következtetésünket a Szamos csengeri (fkm 49), a Berettyó pocsaji (fkm 68) és a Hernád hernádszurdoki (fkm 95) mérőszelvényében működő monitoring állomások hosszú távú, órás gyakoriságú adatai is igazolták (www.rivermonitoring.hu; Istvánovics *et al.*, előkészületben). Modell számításaink szerint valamely folyó kiszemelt pontján az árhullám és a fitoplankton biomassa hullám egymáshoz viszonyított dinamikájából következtethetünk arra, hogy honnan kerültek a főáramba az algák. Ha a fitoplankton az áramlási holtterek vizéből sodródik be, adott alvízi ponton (esetünkben a csengeri szelvényben) az árhullám mintegy maga előtt tolja a biomassa hullámot, mert a holtterek a

maximális vízállást megelőzve kapcsolódnak a főáramba, a hígulás viszont az árhullám maximumában a legnagyobb (9A. ábra). Ha a fitoplankton az elárasztott ártéri állóvizekből származik, akkor a biomassa hullám az apadó ágra tolódik, mert az áramlás fő vektora akkor fordul az ártérről a meder irányába (9B. ábra). Ha a kiülepedés-felkeveredés-kiülepedés spirálja a fő szaporodási mechanizmus, a forrás nem merül ki olyan gyorsan, mint a holtterek vizében való szaporodás esetében, így az árhullám hígító hatása csekély, a biomassa hullám képe hasonló az árhullám és a lebegőanyag hullám képéhez (9C. ábra). A vizsgált folyókban sokféle viszonyt figyeltünk meg az árhullám és biomassa hullám

9. ábra: A biomassa-hullám és az árhullám képe a folyó kiszemelt pontján modellszámítások alapján. Az algák az áramlási holtterek vizéből mosódnak be (A); az ártér elárasztott állóvizeiből kerülnek a folyóba (B); a sekély mederben kiülepedve nőttek (C). (Q - vízhozam, kl - klorofill koncentráció, LA - lebegőanyag koncentráció.)



10. ábra: A biomassza-hullám és az árhullám képe a Szamos csengeri mérőszelvényében óránkénti mérések alapján. (A - össz biomassza. B - cianobaktérium biomassza. NTU - a lebegőanyag koncentrációval arányos zavarosság. Q - vízhozam. A vizsgált árhullám 2007-ben vonult le.)



között, a leggyakoribb mintázat azonban az utóbbi mechanizmus túlsúlyát jelezte (10. ábra).

Összefoglalóan a gázlók a fitoplankton tartózkodási idejét jelentősen megnövelő „áramlási holtterként“ is felfoghatók, de működési módjuk egészen más, mint amit a holtter-hipotézis kidolgozói leírtak (Reynolds 1994, Reynolds és Descy 1996, Reynolds 2000, Schiemer *et al.* 2001). Mennyire általános az az állítás, hogy a folyóvízi fitoplankton biomasszáját meghatározó tényezők sorában a pontos mechanizmustól függetlenül a tartózkodási idő áll a hierarchia csúcsán? Az irodalomban a válaszok a teljes spektrumot lefedik az általánosíthatótól (pl. Søballe és Kimmel 1987, Reynolds 2000) a részben általánosíthatón (pl. van Nieuwenhuysse és Jones 1996) át a nem igazolhatóig (pl. Basu és Pick 1996). Az utóbbi két válasz-típus képviselői a tápanyag, ezen belül is a foszfor ellátottságot teszik első helyre. A

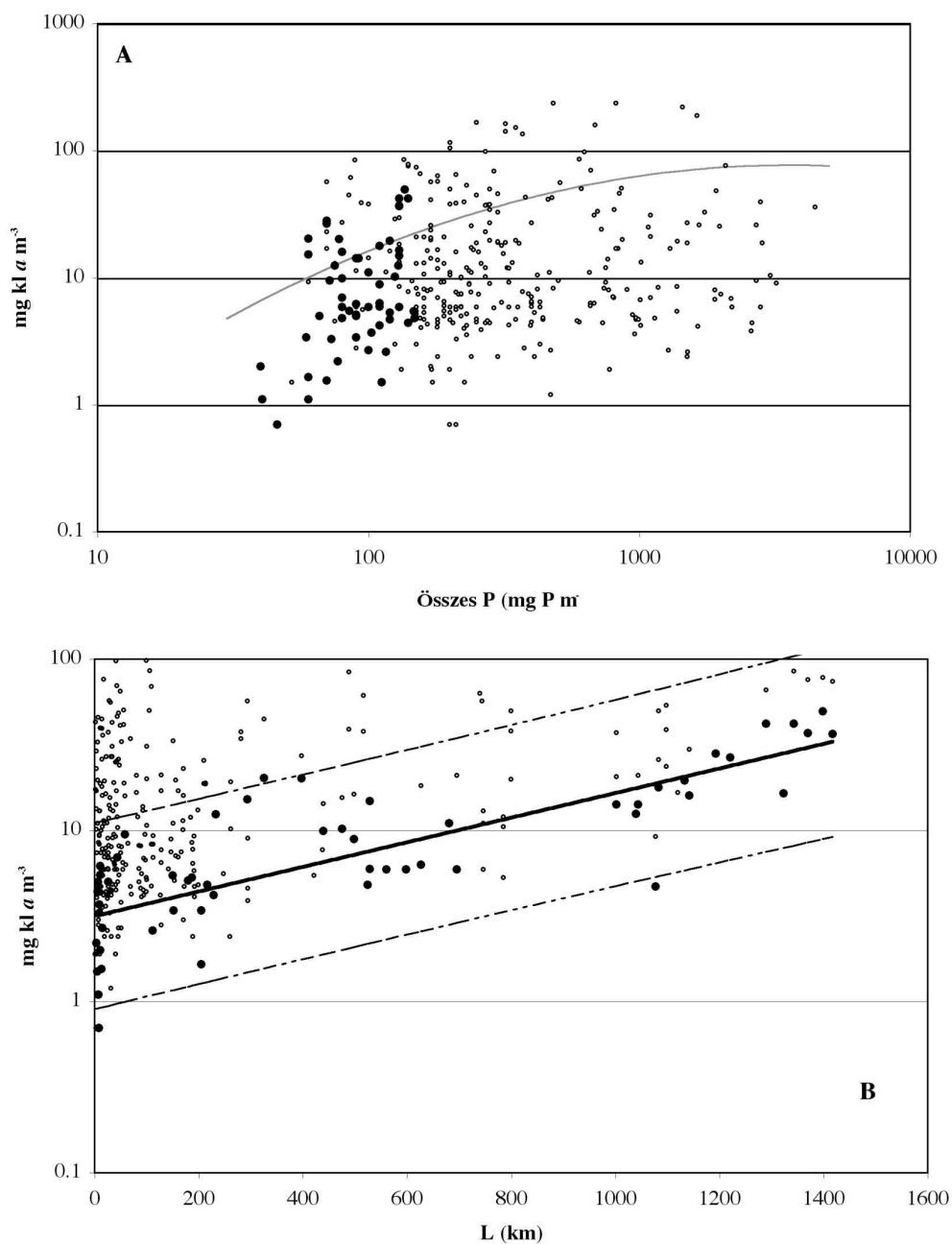
Tisza és a Szamos nagyon eltérő viselkedését tapasztalva magunk is választ kerestünk az általánosíthatóság kérdésére.

4. A folyóvízi fitoplankton biomasszájának függése a tartózkodási időtől és a tápanyag ellátottságtól; gyakorlati következmények

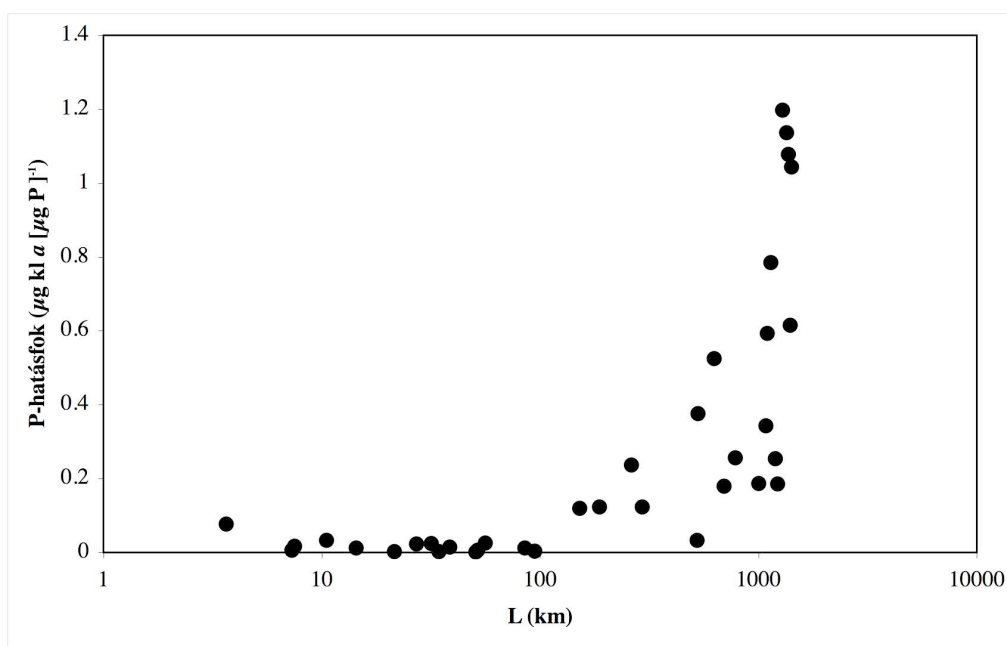
Az Országos Vízügyi Igazgatóság Adatbázisából (OVMA) kigyűjtöttük minden olyan nem mesterséges hazai vízfolyás hosszú távú adatait, ahol a klorofill koncentrációját is mérték (Istvánovics és Honti, közlésre benyújtva). Az adatok statisztikai elemzése azt mutatta, hogy a tartózkodási idő volt a fitoplankton biomasszáját meghatározó legfontosabb tényező (11. ábra).

A 100 km-nél rövidebb vízfolyásokban, azaz kb. 2 nap tartózkodási idő alatt a tápanyag kibocsátás csökkentése gyakorlatilag nem befolyásolta a fitoplankton tömegét. A küszöbértéknél hosszabb folyókban a tartózkodási idő mellett a tápanyag ellátottság szerepe is kimutatható volt (12. ábra). A hatás a Tiszához hasonlóan mély és zavaros folyókban sokkal kisebb volt, mint a hasonló méretű, de sekély folyókban, főleg ha azok kismélységi medrét nem, vagy csak korlátozottan szabályozták (Szamos, Maros, Dráva, Rába). A Dunában fkm 1300 alatt (kb. 3 hét tartózkodási idő fölött), Dunaföldvártól a foszfor gyakran korlátozhatja a fitoplankton biomasszáját, amiben persze szerepet játszhat annak az 59 tározónak az ülepítő (a fényviszonyokat javító) és tartózkodási időt növelő hatása, amely a felső 1000 km-es szakaszon épült (vö. Kiss 1994, ICDRP 2005, Dokulil 2006).

11. ábra: A nyári (május-szeptember) medián fitoplankton biomassza kapcsolata az összes P koncentrációval (A) és a vízfolyás mérőpont fölötti hosszúságával (B). (Nagy kör - különböző vízkémiai komponensek alapján referenciának tekinthető vízfolyások; kicsi kör - szennyezett vízfolyások. Az utóbbiak zömében a klorofill koncentráció nem különbözött statisztikai értelemben a referencia vízfolyásokban megfigyelttől. A 11A ábrán a vonal van Nieuwenhuysen és Jones (1996) statisztikai modelljét ábrázolja. A 11B ábrán a referencia helyek adataira illesztett függvény a következő: $[chl\ a] = 3.2 \pm 1.1 \exp(0.0017 \pm 0.0002 \cdot L)$, $r^2=0.63$, $N=56$, $p<0.001$.)



12. ábra: A P kibocsátás csökkentésének hatása a fitoplankton biomasszájára. (A P hatásfokot az évenkénti nyári (május-szeptember) medián klorofill, illetve P koncentrációra illesztett lineáris trendek iránytangensének hányadosaként becsültük. Csak azokat a mintavételi pontokat látjuk, ahol legalább 8 évnnyi adat állt rendelkezésre és mindkét trend legalább $p < 0.05$ szinten szignifikánsnak bizonyult.)



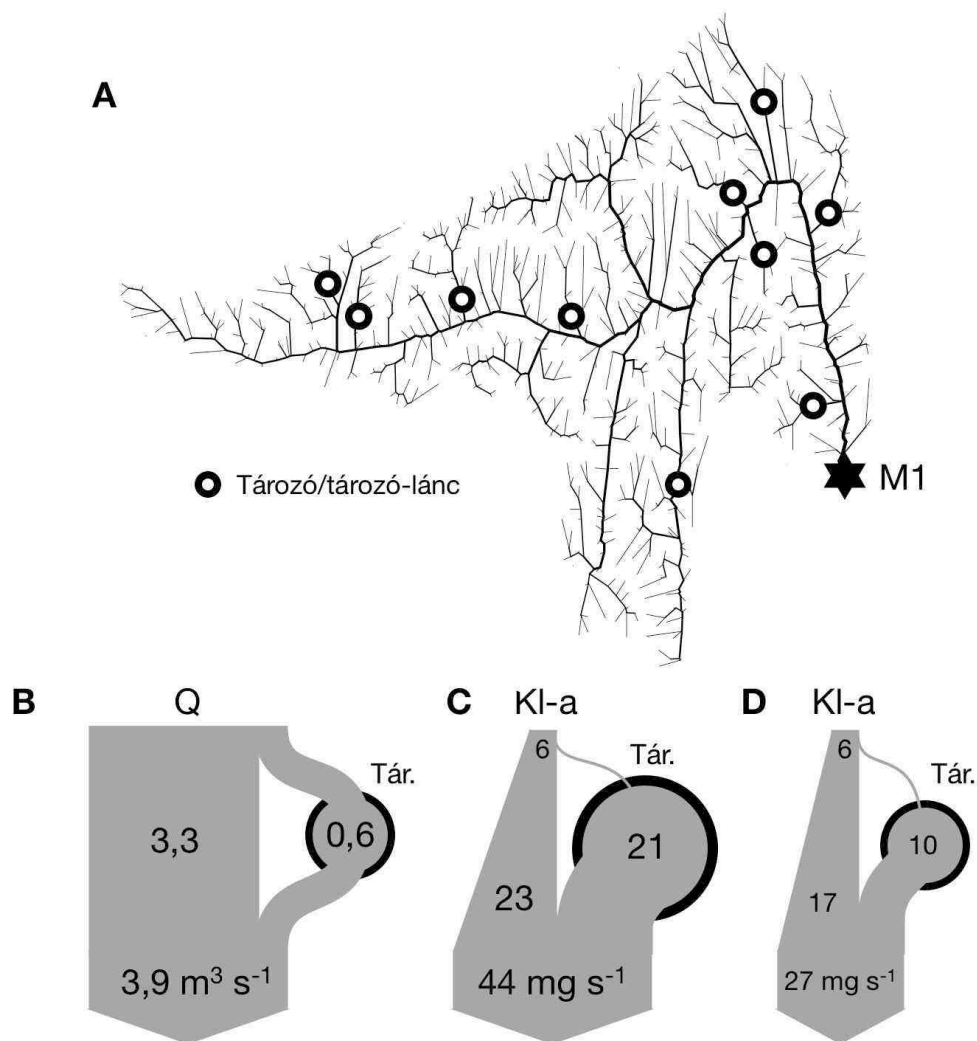
Becslések szerint a Duna vízgyűjtőjén 40-50%-kal csökkent a tápanyag kibocsátás a rendszerváltást követő általános gazdasági visszaesés és a csatornázás-szennyvíztisztítás rohamos fejlődése miatt (Schreiber *et al.* 2005, ICPDR 2005, Csathó *et al.* 2007). Ha azonban ez a páratlan mértékű csökkenés ilyen csekély hatást gyakorolt folyóink trofitására, akkor vajon a Víz Keretirányelv által kiemelten kezelt terhelés-csökkentéssel elérhető-e a cél, azaz a vízfolyások “jó ökológiai állapota”? Ezt a kérdést a Zala Kis-Balaton fölötti folyóhálózatának példáján vizsgáltuk (Honti *et al.*, közlésre benyújtva). Az alkalmazott módszer miatt a “jó ökológiai állapotnak” csupán egyetlen vetületét ragadtuk ki: az alga biomassza ne haladja meg a jó állapotnak megfelelő szintet.

Rendelkezésünkre állt a Zala vízgyűjtőre korábban sikerrel kalibrált, GIS alapú PhosFate modell, amely a teljes vízgyűjtő hidrológiáját és P transzportját szimulálja (Kovács *et al.* 2008). Kifejlesztettünk és kalibráltunk egy új modult, amely az algák növekedését írta le. A növekedéshez rendelkezésre álló időt, azaz a víz korát a PhosFate segítségével becsültük. A maximális biomasszának az időn túl csak a hozzáférhető foszfor által meghatározott eltartóképesség szabhatott korlátot. Az algák növekedésének ez a leírása nagyon leegyszerűsített, de jól tükrözi a korlátozó tényezőknek azt a hierarchikus viszonyát, melyet a hazai vízfolyások vízminőségi adatainak statisztikai vizsgálatával igazoltunk (11. és 12. ábra).

A Zala vízhálózatának természetes hidromorfológiai viszonyait alapvetően megváltoztatta az a 37 tározó, melyek zömét csekély vízhozamú másod- és harmadrendű patakokon létesítették. Noha a tározókon a zalaapáti mérőszelvényben (M1) mért teljes vízhozamnak ($3,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) csupán 15%-a, $0,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ folyik át, a víz átlagos kora a tározók nélküli vízgyűjtőre jellemző 36 órától 320 órára növekedett. Ha ez nem ütközne a környezeti eltartóképesség korlátjába, azonos nettó növekedési ráta (k , nap^{-1}) mellett $\exp(11,8 \cdot k)$ -szor több alga termelődhetne a mai vízhálózatban, mint egy tározók nélküliben. A P korlát miatt a különbség természetesen kisebb, ám nem elhanyagolható: az M1-en áthaladó biomassza fluxus felét írhatjuk a tározók számlájára (13. ábra).

A Zala vízhálózatának nagyobbik hányadán a fitoplankton nem tudta kimeríteni a P meghatározta eltartóképességet, a biomassza a víz korától függött. Kivételt a döntően erdővel borított vízgyűjtőjű elsőrendű patakok és 21 víztározó jelentett. Ha a foszfor sehol nem korlátozna, a fitoplankton mennyiségét csak a hidromorfológiai viszonyok visszaállításával tudnánk csökkenteni. Ez a tározók felszámolását jelentené, ami egyfelől a hálózaton

13. ábra: A Zala Kis-Balaton fölötti vízgyűjtője (A); a tározók hatása a vízmérlegre (B) és a trofitásra (C és D). (C - jelenlegi állapot, D - a P kibocsátás és az alga biomassza egyidejű csökkentésére optimalizált területhasználat-váltás után kialakuló steady-state állapot. M1 - a vízgyűjtő kifolyója, azaz a Zala zalaapáti mérőszelvénye, fkm 23.)



belüli tápanyag visszatartás csökkentésén át növelné a Balaton terhelését, másfelől számos társadalmi-gazdasági okból elfogadhatatlan. Az, hogy a hálózat algáinak jelentős hányada olyan tározókban terem, melyek eltartóképessége P-függő, más megoldásokat is lehetővé tesz. Ha ezeknek a tározóknak a P

terhelését csökkentjük, a hálózat teljes alvízi részén kevesebb lesz az alga, miközben a P visszatartás hatásfoka sem romlik.

Olyan optimalizált beavatkozási javaslatot dolgoztunk ki, amely a teljes vízgyűjtőnek csupán 6%-át érintő területhasználat váltással (számos kisvízfolyáson védőzóna és a tározók többsége fölött erdősítés) az összes P kibocsátást 70%-kal, a kifolyó alga biomasszákat 40%-kal csökkentette (13D ábra; Honti *et al.*, közlésre benyújtva). A korábbi javaslatok csak a tápanyag visszatartás szempontját mérlegelték, kétszer ekkora terület átalakításával hasonló mértékű terhelés csökkentést értek el, de ez semmilyen hatást nem gyakorolt az alga biomasszára (Kovács *et al.* 2008). A következtetés az, hogy a tápanyag terhelés csökkentése még akkor is javíthatja a vízfolyás ökológiai állapotát, ha a víz tartózkodási idejétől függ a fitoplankton (és általában az elsődleges termelők) biomasszája, de a hálózat felvízi részén vannak olyan víztározók, ahol az eltartóképességet a foszfor határozza meg. Ezt a csökkentést azonban - a kibontakozófélben levő gyakorlattal szemben - a vízhálózat fitoplankton szempontból vett topológiai viszonyait figyelembe véve kell megtervezni.

5. A Tisza fitoplanktonjának dinamikája – ugrásszerű környezeti gradiensek hatása

Láttuk, hogy a Tisza fitoplanktonjának dinamikáját sem a holttér hipotézis „klasszikus“ (Honti *et al.* 2008, Istvánovics és Honti 2008) vagy „gázlós“ változata (Istvánovics és *et al.*, előkészületben), sem a tápanyag hipotézis (Istvánovics és Honti, közlésre benyújtva) nem magyarázta. Mitől függ hát az algák mennyisége ebben a folyóban? Választ Dr. Vörös Lajos (MTA Baltoni

Limnológiai Kutatóintézet) részletes fitoplankton adatsorának értékelésével kaptunk (Istvánovics *et al.* 2010).

A cianid szennyezés után, 2000. februárja és októbere között szokatlanul nagy gyakorisággal monitorozták a Tiszát és fontosabb mellékvizeit (1. ábra). A mintázás kiterjedt a fitoplanktonra is. A jelen projekt keretében ez utóbbi adatokat dolgoztuk fel a már említett 1D hidrodinamikai modell (Koncsos és Kozma, nyomtatásban) segítségével és az OVMA vonatkozó adatainak felhasználásával.

Az algák növekedését befolyásoló környezeti viszonyok alapján 3 nagy hidrogeomorfológiai foltot (Thorp *et al.* 2006) különböztettünk meg a Tisza magyar szakaszán (1. táblázat). A felső és alsó meanderező foltot (MF1 és MF2) a tiszalöki és kiskörei duzzasztónak a mintavételezés szerény térbeli felbontása miatt egybeolvadó hatásterülete (DHT) választja el egymástól. MF1 felső határa a Szamos, alsó határa attól függ, hogy a löki gát meddig duzzasztja vissza a Tiszát. A kisvízi időszakban ez a hatás Dombrádig is felér (fkm 590). MF2-t a kiskörei gát és a Maros határolja. A Bodrog és a Hármaskörös magyar szakasza DHT-nek minősíthető, a Kraszna medre mesterséges csatorna, a többi befolyó (Szamos, Túr, Sajó, Zagyva, Maros) alapvetően MF típusú.

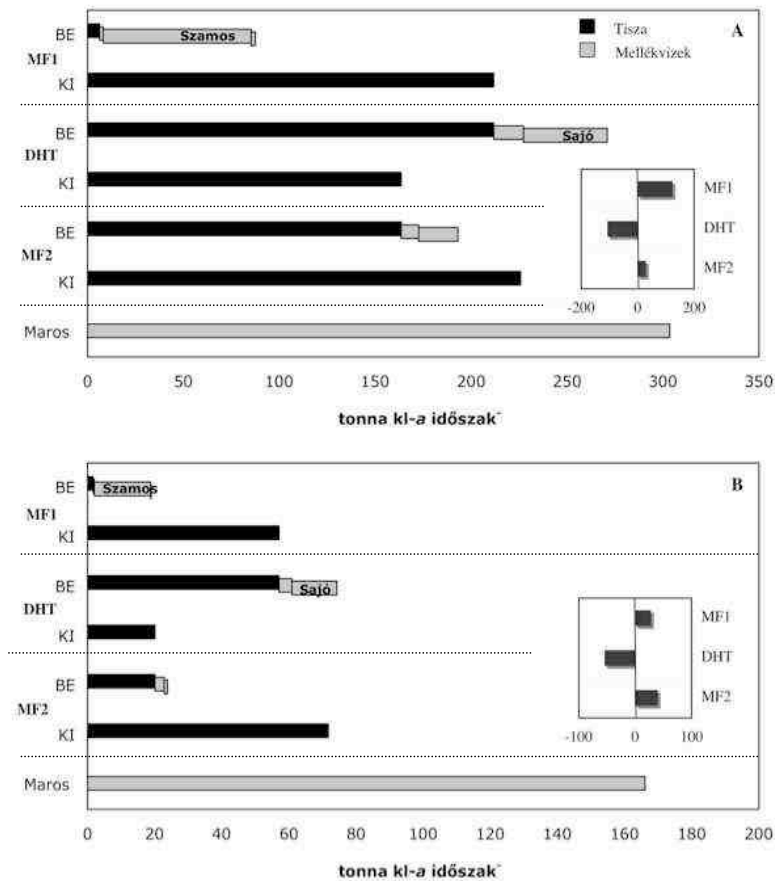
A Tisza magyar szakaszán a nagyvízi (március-június) időszakban 9.800 tonna, a kisvíziben (július-október) 3.000 tonna biomassa termelt nedves tömegben számolva. A befolyók, elsősorban is a Szamos háromszor annyi algát - döntően kovaalgát - szállítottak a Tiszába, mint amennyi az utóbbiban termelt (14. ábra). A tavaszi nagyvizek jelentős mennyiségű Chryso- és Euglenophyta algát szállítottak az elárasztott holtágakból, és más állóvizekből a folyóba. A bevételt nem tudtuk számszerűsíteni, fontosságára abból kövekeztettünk, hogy még a levonuló nagy

1. táblázat: A magyar Tisza három nagy hidrogeomorfológiai foltjának fontosabb jellemzői a kisvízi időszakban.

	MF1	DHT	MF2
A környezet jellemzői			
Felső határ	Szamos (fkm 686)	Hozam-függő, akár fkm 590	Kiskörei duzzasztógát (fkm 402)
Alsó határ	Hozam-függő, akár fkm 590	Kiskörei duzzasztógát (fkm 402)	Maros (fkm 177)
Meder hossza (km)	100	185	225
MVh (%)	54	24	25
Árhullámok jellege	Rövid, elkülönült csúcsok	Lemaradó-siető csúcsok	Tartós, szuperponálódott
Medián sebesség (m s ⁻¹) ^a	0.3 (0.12-1.05)	0.2 (0.11-0.38)	0.44 (0.30-0.71)
Medián levonulási idő (nap) ^a	4.9 (3.1-6.1)	12.8 (6.8-15.2)	4 (5.3-6.5)
Szinuozitás	1.7	1.3	1.7
Homokpadok száma (db km ⁻¹)	0.23	0.04	0.03
Átlagos vízhőmérséklet (°C) ^a	18.2 ± 2.8	21.1 ± 3.1	22.7 ± 2.3
Z_{ed}/Z_{mix}	0.61	0.35	0.44
Z_{ed} -ban töltött idő aránya	0.36	0.34	0.45
Tápanyag ellátottság (P és N)	P hiány időnként előfordulhat	Túlkínálat	Túlkínálat
Nettó biomassza változás			
Mértéke (tonna kl-a) ^b	152	-162	70
Fő okai	Szamos hatása, kovaalgák tiszabeli növekedése	Kovaalga ülepedés > Cryptophyta bejutás a tározótérből	Kovaalgák tiszabeli növekedése.

MF1, MF2 – felső és alsó meanderező folt; DHT – a két duzzasztó egyesült hatásterülete; MVh – a mellékvizek medián vízhozamának százalékos aránya a foltból kilépő vízhozamon belül; a – a zárójelben megadott érték a 10 és 90 percentilis; b – március és október között; Z_{ed} (m) – eufotikus vízmélység, eddig hatol le a beeső fény 1%-a, eddig van elegendő fény a fotoszintézishez; Z_{mix} (m) – az átkeveredett vízréteg vastagsága, ezt azonosnak tekintjük a keresztiszelvény átlagos vízmélységével. Összesen 337 szelvény átlagos mélységét becsültük a vízállás függvényében.

14. ábra: A magyar Tisza három nagy hidrogeomorfológiai foltjának és jelentősebb mellékvizeinek klorofillban kifejezett biomassza árama a nagy- (A) és a kisvízi (B) időszakban. (A betét-diagram a nagy foltok klorofill mérlegét mutatja. MP1 és MP2 - felső és alsó meanderező folt, DHT - a két duzzasztó együttes hatásterülete.)



víztömegben is jól érzékelhetően megváltozott a fitoplankton összetétele. A tápanyagok zöme az algákhoz hasonlóan a Szamoson át jutott a magyar Tiszába. Adatainkból egyértelműen látszott, hogy a Maros ugyanolyan mértékben nyomja rá pecsétjét a szerb Tisza ökológiai állapotára, mint a Szamos a magyar Tiszáéra.

A Tiszába kívülről bekerült algák gyökeresen más környezettel szembesültek, mint amilyen „eredeti” környezetük volt. Az ugrásszerű változás számos vetületét feltártuk, a fitoplankton legérzékenyebben érintő különbség mind közül a

fényviszonyok hirtelen romlása volt (vö. Uherkovich 1971). Miközben például az algák a kisvízi Szamos teljes víztömegében fotoszintetizálhattak, MF1-en átutazva idejük 64%-át teljes sötétségben töltötték (1. táblázat). Könnyen belátható, hogy a sekély mellékvizekben „edződött” algák növekedési rátájának a sokkal kevezőtlenebb tiszai környezetben csökkenie kellett. Tegyük ehhez még hozzá azt a hígulást, amit a Tiszának a mellékvizeknél nagyobb hozama jelentett, és máris érthető, hogy az algák biomasszája a Tiszán levonulva gyakran nem növekszik, hanem csökken (pl. 3. ábra), 2000-ben pedig a teljes kisvízi időszak nettó biomassza mérlege csak szerény pozitívumot mutatott (1. táblázat, 14. ábra).

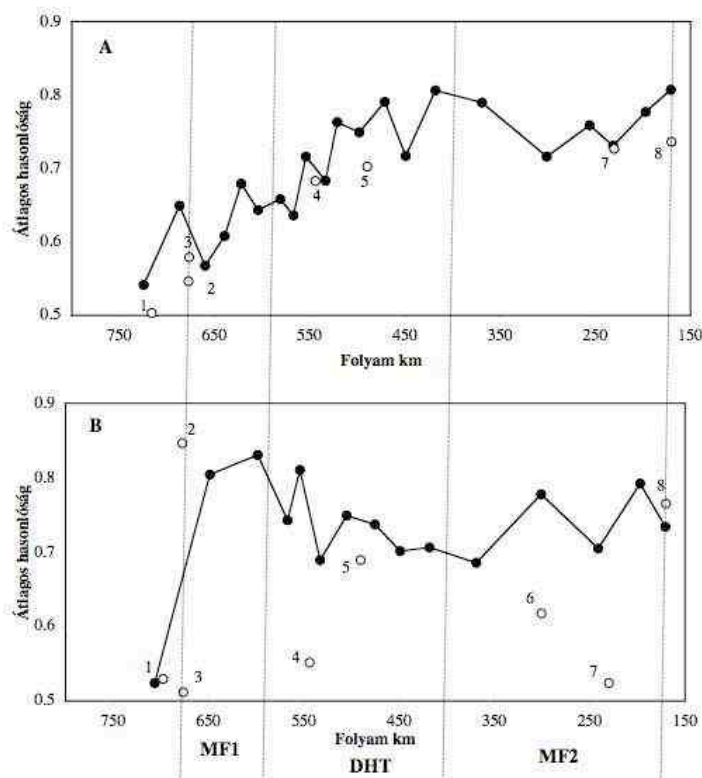
A duzzasztás a mellékvíz - Tisza váltásnál is nagyobb környezeti ugrást jelent a Tiszán utazó algák számára (1. táblázat). Ezzel a nyári fitoplankton 80-90%-át kitevő “planktonikus” kovaalgák nem is tudnak megbirkózni: a $0,4 \text{ m s}^{-1}$ alá lassuló vízből kiüledtek, arányuk 20% körülire zuhant. Helyükbe a csöndesebb vizekben sikeres, a tározóterekben elszaporodó Cryptophyta és zöldalgák léptek, melyek azonban messze nem tudták kompenzálni a kovaalgák kiüledéséből adódó biomassza veszteséget. Így azután a meanderező foltoktól eltérően DHT-ben a biomassza a nagy- és kisvízi időszakban egyaránt tetemesen csökkent (14. ábra).

A tározóterek - elsősorban is a Tisza-tó - a hozam csökkenésével egyre jobban elszigetelődnek a főmedertől. Ennek megfelelően tavasszal növekedett, nyáron csökkent a fajok száma a Tisza DHT foltja mentén. Noha Uherkovich (1971) idejében még csak a löki duzzasztó működött, ő a gát fölött olyan szélsőséges DHT-hatást is megfigyelt, amikor már a kifejezetten állóvizekre jellemző *Ceratium hirundinella* is megjelent. (A nagy méretű, több tízezer μm^3 térfogatú, szabálytalan alakú dinoflagelláta algákat a turbulencia specifikusan károsítja, minden alga közül ők viselik

legkevésbé a turbulens környezetet; Peters és Marrasé 2000). 2000-ben ilyen mértékű DHT-hatást csak a Bodrogon és a Hármas-Körösön tapasztaltunk. Itt nyár végére a cianobaktériumok váltak dominánssá. Külön érdekesség, hogy a cianobaktériumok jelenléte és a tápanyag túlkínálat ellenére éppen ebben a két folyóban volt a legkisebb a fitoplankton biomasszája: a 90 percentilis érték csupán 8, illetve 14 mg kl-a m⁻³ volt.

Az ugrásszerű gradiensek hatását legszemléletesebben a Tisza szomszédos pontjain vett fitoplankton minták egymáshoz viszonyított hasonlósága tükrözi (15. ábra). A mellékvizek

15. ábra: A szomszédos tiszai fitoplankton minták (fekete kör) valamint a befolyók és a leközelebbi alvízi tiszai minta fitoplanktonjának (fehér kör) hasonlósága a nagyvízi (A) és kisvízi (B) időszakokban. (A számok a befolyókat jelölik. 1 - Túr, 2 - Szamos, 3 - Kraszna, 4 - Bodrog, 5 - Sajó, 6 - Zagyva, 7 - Hármas-Körös, 8 - Maros. A szaggatott vonalak a két meanderező folt (MF1 és MF2) és a duzzasztók egyesült hatásterülete (DHT) határait jelölik.)



fitoplanktonja és a legközelebbi alvízi tiszai minta hasonlóságát is megadtuk. A hasonlóságot az egyes fajok relatív gyakoriságából úgy számoltuk, hogy a mutató maximuma (=1) a teljes azonosságot, minimuma (=0) a teljes különbözőséget fejezze ki. Jól látszik, hogy (i) a mellékvíz - Tisza váltás és a DHT hatás is sokkal erősebb a kisvízi időszakban, mint tavaszi áradáskor és (ii) nyáron MF1 (\approx Felső-Tisza) fitoplanktonja jobban hasonlít a Szamoséra, mint saját Szamos fölötti planktonjára. A magyar Tisza esetében az ökológiai állapot érdemi javításának kulcsa Románia kezében van.

Noha a két duzzasztó hatását nem tudtuk jól szétválasztani a rendelkezésre álló fitoplankton adatok alapján, a Tisza-tó hatása a Tiszára lényegesen jelentősebb, mint a löki duzzasztásé. Ezt elsősorban a fizikai környezet folyásiránymenti változása jelzi, ez ugyanis sokkal finomabb térbeli felbontásban ismert vagy becsülhető. A körei gát fölött jobban lelassul az áramlás (Koncsos és Kozma, nyomtatásban), ennek megfelelően nagyobb a hordalék kiülepedése (Kovács *et al.* 2009), mint a löki gát fölött. A Tisza-tavat a Tiszára gyakorolt ökológiai hatása alapján tényleg nem nevezhetjük "víz tározónak": szokatlanul nagy áramlási holtterként funkcionál (vö. Zsuga 1998, Szabó *et al.* 2005). A Tisza-tó esete rávilágít a "klasszikus" holttér hipotézis egyik gyöngye pontjára: a folyami algák számára a holttér csak akkor kedvező élőhely, ha ott is elég nagy a turbulencia, a turbulencia viszont csak akkor elég nagy, ha a holttér nem nagyon elszigetelt. Az aktív mozgásra legalább valamilyen mértékig képes zooplankton és halivadék esetében (ld. Schiemer *et al.* 2001) nincs ilyen buktatója a "klasszikus" hipotézisnek.

6. Következtetések

- (i) A magyar Tisza algái zömében allochton forrásokból, elsősorban a Szamosból származnak, az autochton termelés kicsi. Ennek oka az erős fényhiány és a duzzasztógátak fölötti nagy sebesség-esés. Ezek együttes hatására a kovaalgák kiülednek és elpusztulnak, a biomassa csökkenést a roppant nagy áramlási holtterként fölfogható Tisza-tóból kimosódó Cryptophyta és zöldalgák nem tudják kompenzálni. A Tisza fitoplanktonjának összetételét és biomasszáját a Szamos elsődleges termelése és az a két ugrásszerű környezet-változás határozza meg, melyet a Szamos-Tisza váltás, illetve magán a Tiszán a szabadon áramló-duzzasztott átmenet jelent. A meder erősen heterogén, de még kisvizeknél is túl mély: az áramlási holttereknek nincs nagy jelentősége a fitoplankton dinamikájában.
- (ii) A „klasszikus“ holtter hipotézisben a holtterek algatermő képességét az a többlet tartózkodási idő határozza meg, amely a holtterek vize és a középsebességgel levonuló víz között alakul ki. Mi ezzel szemben arra a következtetésre jutottunk, hogy nem a többlet tartózkodási idő, hanem az áramlási holtter aljzatának megvilágítottsága a kucstényező. „Gázlós“ holtter hipotézisünk szerint a sekély áramlási holtterekben a planktonikus kovaalgák gyorsan kiülednek a jól megvilágított aljzatra, ahol azután intenzíven fotoszintetizálnak. Az átlagos „bentikus“ tartózkodási idő a határfelületen felgyülemlett biomassa-készlet nagyságától és a transzport folyamatok sebességétől függhet, utóbbin belül a fotoszintézist kísérő O_2 -felszabadulás, a vízjárás és a bioturbáció a

legfontosabb. Minél gyorsabb a kiülepedés, annál sűrűbb a kiülepedés-felkeveredés-kiülepedés spirálja, annál nagyobb tartózkodási idő többletre tesznek szert az algák. Ezért a sekély holtterek a viszonylag nagy kovaalgáknak nyújtanak szelektív előnyt. A fő veszteségi folyamatok a kimosódás, a zoobentosz legelése, és a felszálló oxigénbuborékokból összeálló habba való becsapdázódás lehetnek.

- (iii) A „gázlós“ holttér hipotézis minden eleme ismert az irodalomból, tudomásunk szerint azonban senki nem vetette fel, hogy a mechanizmus általános érvényű és kvantitatív értelemben sokkal fontosabb lenne, mint a holtterek vizében való szaporodás. A Szamos romániai szakaszán végzett terepi méréseink és a csengeri mérőszelvény nagy gyakoriságú adatsorainak elemzése egyaránt alátámasztotta a „gázlós“ hipotézist. Az utóbbi módszer a Hernád szlovákiai és a Berettyó romániai szakaszára is igazolta a hipotézist. Feltételezzük, hogy a „gázlós“ mechanizmus a legtöbb természetes medrű nagy folyóra jellemző lehetett, azt a kisvízi meder szabályozása szorította háttérbe. Kivételek természetesen vannak: a Tisza kisvízi medre például már a szabályozások előtt is túl mély lehetett ahhoz, hogy a fény az aljzatig lejusson.
- (iv) A „gázlós“ hipotézis két olyan kérdésre is egyszerű választ kínál, amely a „klasszikus“ holttér hipotézis kereteit feszegeti. Ha a holttér vize annyira izolált, hogy ott az algák jelentősen elszaporodhatnak, akkor a fizikai környezet olyan mértékben differenciálódhat a sodorbelitől, hogy a fitoplankton összetétele is jelentősen megváltozik a főárammal sodródó fitoplanktonhoz képest. Ennek szélsőséges de szemléletes példáját ismerhetjük fel

a Tisza-tó hatásában a mederbeli fitoplanktonra. A túlzott átöblítődés ugyanakkor nem engedi meg azoknak a hatásoknak a kifejlődését, melyek miatt egyáltalán értelme van a holtter megkülönböztetésének. A „gázlós“ hipotézisben a sekély holtter izoláltsága/ átöblítettsége tág határok között változhat, mert ez csak az aljzat/víz határfelületen zajló kicserélődés sebességét befolyásolja.

- (v) A másik elvi probléma, hogy a „klasszikus“ holtter hipotézisből hiányzik az a tartalék, amely a zavarások (pl. az algák szaporodása szempontjából tartósan - napokon át - kedvezőtlen viszonyok, váratlan árhullámok) utáni gyors megújuláshoz elegendően nagy inokulumot tudna biztosítani. Ez bizony kockázatos stratégia lenne, ha figyelembe vesszük a zavarásoknak a folyóvizekre jellemző nagy gyakoriságát és a vízjárás véletlenszerűségét. A „gázlós“ holtter hipotézisben az aljzaton felhalmozódott biomassa biztosítja a rendszer folytonosságát és a viszonylagos stabilitását.
- (vi) A pontos mechanizmustól függetlenül a kis patakoktól a Dunáig igaz az a tétel, hogy a hosszú távú medián alga biomasszákat a tartózkodási idő határozza meg, a tápanyagok alárendelt szerepet játszanak a hidromorfológiai viszonyokhoz képest. Nagyjából 100 km felvízi hosszúság volt az a küszöb, ahol a tápanyag terhelés csökkentése egyáltalán befolyásolni kezdte a fitoplankton biomasszáját. A küszöb fölött a beavatkozás határfoka (az egységnyi tápanyag koncentráció csökkentés kiváltotta biomassa csökkenés) növekedett. A Dunában a P kibocsátás felére csökkenésével Dunaföldvártól (≥ 1300 km) jelentősen nőtt a fitoplanktont potenciálisan korlátozó alacsony foszfát koncentráció előfordulási gyakorisága, és

itt a beavatkozás hatásfoka elérte a tavakra jellemző $1 \mu\text{g kl-a } [\mu\text{g P}]^{-1}$ értéket. Nem teljesen világos, hogy ennek milyen mértékben volt előfeltétele az, hogy a Duna és mellékvizeinek hidromorfológiai átalakítása jelentősen javította a magyar Duna átlátszóságát.

- (vii) A tápanyagok alárendelt szerepe ellenére a teljes vízgyűjtőn lehet úgy csökkenteni a tápanyag kibocsátást, hogy a vízhálózat kevesebb algát teremjen. Ez csak akkor lehetséges, ha a felső szakaszokon vannak olyan tározók, amelyekben a biomasszát a foszfor korlátozza, és ha a kibocsátás csökkentését a vízhálózat releváns topológiai viszonyainak ismeretében tervezzük meg. Durva becslésünk szerint a közepes és nagy európai folyók zömén vannak ilyen tározók.

7. Irodalomjegyzék

- Basu, B. K. & F. R. Pick, 1996. Factors regulating phytoplankton and zooplankton biomass in temperate rivers. *Limnology and Oceanography* **41**:1572-1577.
- Csathó, P., I. Sisák, L. Radimsky, S. Lushaj, H., Spiegel, M. T. Nikolova, N. Nikolov, P. Čermák, J. Klir, A. Astover, A. Karklins, S. Lazauskas, J. Kopiński, C. Hera, E. Dumitru, M. Manojlovic, D. Bogdanović, S. Torma, M. Leskošek & A. Khristenko, 2007. Agriculture as a source of phosphorus causing eutrophication in Central and Eastern Europe. *British Society of Soil Science Supplement* **23**: 36-56.
- Dokulil, M., 2006. Short and long term dynamics of nutrients, potamoplankton and primary productivity in an alpine river (Danube, Austria). *Archiv für Hydrobiologie Supplement Large Rivers* **16**: 473-493.
- Hein, T., C. Baranyi, G. J. Herndl, W. Wanek & F. Schiemer, 2003. Allochthonous and autochthonous particulate organic matter in floodplains of the River Danube: the importance of hydrological connectivity. *Freshwater Biology* **48**: 220-232.
- Honti, M., V. Istvánovics & Z. Kozma, 2008. Assessing phytoplankton growth along Tisza River (Hungary). *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* **30**: 87-89.
- Honti, M., V. Istvánovics & Á. Kovács, közlésre benyújtva. Balancing between retention and flushing in river networks - optimizing nutrient management to improve trophic state. *Science of the Total Environment*
- ICPDR, 2005. The Danube River Basin District. Part A - Basin-wide overview. <http://www.icpdr.org/pub>.
- Istvánovics, V. & M. Honti, 2008. Longitudinal variability in phytoplankton and basic environmental drivers along the Tisza River, Hungary. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* **30**: 105-108.
- Istvánovics, V., M. Honti, L. Vörös & Zs. Kozma, 2010. Phytoplankton dynamics in relation to connectivity, flow dynamics and resource availability—the case of a large, lowland river, the Hungarian Tisza. *Hydrobiologia* **637**: 121-141.
- Istvánovics, V. & M. Honti, közlésre benyújtva. Efficiency of nutrient management in controlling eutrophication of running waters - expectations and observations. *River Research and Applications*.
- Istvánovics, V., M. Honti, L. Vörös & E. Sárkány-Kiss, előkészületben. Shallows and the concept of „aggregated dead zones“ - analysis of field measurements and high frequency monitoring data from River Szamos (Romania/Hungary).
- Józsa, J. & T. Krámer, 2002. Evaluation of flushing in complex river flows by water age simulation In D. Bousmar & Y. Zech (Eds.) *Proceedings of River Flow* **1**: 521-526.
- Kiss, K. T., 1994. Trophic level and eutrophication of the River Danube in Hungary. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* **25**: 1688-1691.
- Koncsos, L., 2006. *A Tisza Árvízi Szabályozása a Kárpát-medencében*. Magyar Természetvédők Szövetsége, Budapest.
- Koncsos, L. & Zs. Kozma (nyomtatásban) Development of a 1 D hydrodynamic model for assessing phytoplankton dynamics in River Tisza (Hungary). *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. **30**:
- Kovács, A., M. Honti & A. Clement, 2008. Design of best management practice applications for diffuse phosphorus pollution using interactive GIS. *Water Science and Technology* **57**: 1727-1733.

- Kovács, Á., Zs. Kozma, V. Istvánovics & M. Honti, 2009. Phosphorus retention patterns along the Tisza River, Hungary. *Water Science and Technology* **59**: 391-397.
- Peters, F. & C. Marrasé, 2000. Effects of turbulence on plankton: an overview of experimental evidence and some theoretical considerations. *Marine Ecology Progress Series* **205**: 291-306.
- Reynolds, C. S., 1994. River plankton: the paradigm regained. In: D. Harper & A. J. D. Ferguson (eds.): *The Ecological Basis for River Management*. Wiley, Chichester, pp. 161-174.
- Reynolds, C. S., 2000. Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow. *Hydrological Processes* **14**: 3119-3132.
- Reynolds, C. S. & J.-P. Descy, 1996. The production, biomass, and structure of phytoplankton in large rivers. *Archiv für Hydrobiologie Supplement* **113**: 161-187.
- Schiemer, F., H. Keckeis, W. Reckendorfer & G. Winkler, 2001. The 'inshore retention concept' and its significance for large rivers. *Archiv für Hydrobiologie Supplement* **135**: 509-516.
- Schreiber, H., H. Behrendt, L. T. Constantinescu, I. Cvitanic, D. Drumea, D. Jabucar, S. Juran, B. Pataki, S. Snishko & M. Zessner, 2005. Nutrient emissions from diffuse and point sources into the River Danube and its main tributaries for the period of 1998-2000 - results and problems. *Water Science and Technology* **51**: 283-290.
- Søballe, D. M. & B. L. Kimmel, 1987. A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes and impoundments. *Ecology* **68**: 1943-1954.
- Stoyneva, M. P., 1994. Shallows of the lower Danube as additional sources of potamoplankton. *Hydrobiologia* **289**: 171-178.
- Szabó, K., K. T. Kiss, G. Taba & É. Ács, 2005. Epiphytic diatoms of the Tisza River, Kisköre reservoir and some oxbows of the Tisza River after the cyanide and heavy metal pollution in 2000. *Acta Botanica Croatica* **64**: 1-46.
- Thomas, S. A., J. D. Newbold, M. T. Monaghan, G. W. Minshall, T. Georgian & C. E. Cushing, 2001. The influence of particle size on the deposition of seston in streams. *Limnology and Oceanography* **46**: 1415-1424.
- Thorp, J. H., M. C. Thoms & M. D. DeLong, 2006. The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time. *River Research and Applications* **22**: 123-147.
- Uherkovich, G., 1971. *A Tisza Lebegő Paránynövényei*. Szolnok Megyei Múzeum Adattár, Szolnok, Hungary.
- Van Nieuwenhuysse, E. E. & J. R. Jones, 1996. Phosphorus- chlorophyll relationship in temperate streams and its variation with stream catchment area. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53**: 99-105.
- Walks, D. J., 2007. Persistence of plankton in flowing water. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64**: 1693-1702.
- Zsuga, K., 1998. Spatial heterogeneity and mosaic-like structure of zooplankton in Kisköre Reservoir. *International Review of Hydrobiology* **83**: 199-202.

8. A projektben készült publikációk jegyzéke

- Honti, M., V. Istvánovics & Z. Kozma, 2008. Assessing phytoplankton growth along Tisza River (Hungary). *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* **30**: 87-89.
- Honti, M., V. Istvánovics & Á. Kovács, közlésre benyújtva. Balancing between retention and flushing in river networks - optimizing nutrient management to improve trophic state. *Science of the Total Environment*
- Istvánovics, V. & M. Honti, 2008. Longitudinal variability in phytoplankton and basic environmental drivers along the Tisza River, Hungary. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* **30**: 105-108.
- Istvánovics, V., M. Honti, L. Vörös & Zs. Kozma, 2010. Phytoplankton dynamics in relation to connectivity, flow dynamics and resource availability—the case of a large, lowland river, the Hungarian Tisza. *Hydrobiologia* **637**: 121-141.
- Istvánovics, V. & M. Honti, közlésre benyújtva. Efficiency of nutrient management in controlling eutrophication of running waters - expectations and observations. *River Research and Applications*
- Istvánovics, V., M. Honti, L. Vörös & E. Sárkány-Kiss, előkészületben. Shallows and the concept of „aggregated dead zones“ - analysis of field measurements and high frequency monitoring data from River Szamos (Romania/Hungary).
- Koncsos, L. & Zs. Kozma (nyomtatásban) Development of a 1 D hydrodynamic model for assessing phytoplankton dynamics in River Tisza (Hungary). *Verhandlungen der internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. **30**:

Kovács, Á., Zs. Kozma, V. Istvánovics & M. Honti, 2009. Phosphorus retention patterns along the Tisza River, Hungary. *Water Science and Technology* **59**: 391-397.

9. A személyi feltételek és a kutatási feladatok változása a projekt során - Indoklás

Osztóics András 2007-től munkahelyet és foglalkozást váltott, már nem kutatóként dolgozik. Kiesett munkáját Kovács Ádám (BME Víziközmű és Környezetmérnöki Tanszék, BME VKKT) pótolta, noha formálisan továbbra sem lett projektünk résztvevője. Ádám a 2006-os tiszai expedíció adatait felhasználva kalibrált egy modellt a Tisza lebegőanyag és foszfor visszatartására (Kovács *et al.* 2009). Egy másik projekt keretében kidolgozta azt a PhosFate modellt (Kovács *et al.* 2008), mellyel a jelen projektben a Zala példáján vizsgáltuk, hogy ha a vízfolyásaink fitoplankton biomasszáját nem a tápanyagok korlátozzák, akkor javítható-e egyáltalán ezek ökológiai állapota a tápanyag kibocsátás csökkentésével (Honti *et al.*, közlésre benyújtva).

Kozma Zsolt PhD ösztöndíja 2009-től lejárt. Ő a BME VKKT tanársegédje maradt, ám ebben a minőségében nem kívánta folytatni projektünkben a munkát. Mivel a projekt teljesítéséhez feltétlenül szükséges feladatokat (vízállás és vízhozam adatok összegyűjtése, az 1D hidrológiai modell kalibrálása különböző időszakokra) már megoldotta, az új feladatokhoz pedig munkája nem volt nélkülözhetetlen, pótlását nem tartottuk szükségesnek a hátralevő 1 évben.

Honti Márk 2008-ban a BME Építőmérnöki Karának Vásárhelyi Pál Doktori Iskolájában PhD fokozatot szerzett. Értekezésének részét képezte a jelen projektben végzett munkája is. Állását az MTA Vízgazdálkodási Kutatócsoportjában 2009. júniusától elvesztette. Minthogy közreműködése nélkül a projektet nem lehetett volna sikeresen befejezni, őt az OTKA engedélyével a

projekt terhére teljes munkaidejű tudományos munkatársként szerződtette a BME VKKT.

A kutatás kiinduló hipotézise a Tiszára nem állta meg a helyét. Ezt már a projekt első évében, az eredeti munkatervvel összhangban végzett mérések, majd az eredmények értékelése nyomán megértettük. Eredményeink újabb kérdéseket vetettek fel. Módosított hipotézisenket csak a tervezettnél nem kisebb munkabefektetéssel, de sok szempontból eltérő módon tudtuk ellenőrizni. Úgy gondoljuk, a projekt célkitűzései ennek ellenére teljesültek. Eredményeinket mi legalábbis sokkal érdekesebbnek tartjuk, mint ha azt sikerült volna igazolnunk, hogy a Tiszára is igaz egy széles körben elfogadott hipotézist.

10. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük az OTKA-nak az anyagi támogatást és Vécsei Krisztián segítőkészségét. Három tagú adminisztratív akciócsoporthoz - Fintáné Kern Zsuzsa, Stubán Tímea és Váryné Mészáros Anna - asszonyos helytállással kezelte projektünket. (Majdnem) zokszó nélkül szolgáltak és tűrtek.

A projekt tartalmi kimunkálásához sok kollégánk járult hozzá. A maga nemében mindannyiuk segítségével nélkülözhetetlen volt - fontossági sorrend nem lévén, időrendben említjük őket.

Kovács Szilárd hívta fel figyelmünket a 2002 óta órás gyakoriságú és korlátozás nélkül hozzáférhető adatokat szolgáltatató automatikus tiszai mérőhálózatra, melynek kiépítésében és karbantartásában neki nagy szerepe volt/van. A kiegészítő vízhozam adatsorokat és szükséges egyéb információt Lucza Zoltántól (Felső-Tisza-vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság) és Nagy Zoltántól (Tiszántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság) kaptuk.

A Felső-Tisza-vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság segítségével ez a projekt nem valósulhatott volna meg. Köszönet illeti Bodnár Gáspár Igazgató Urat. A vásárosnaményi Szakasz mérnökség (VSZM) bocsátotta rendelkezésünkre kutatóhajóját, vendégszobáját és néhány mérőeszközét. Tiszai expedíciónk megszervezéséért Uray Károlyt, a VSZM vezetőjét és Scholtz Andort illteti köszönet. Molnár Gábor (VSZM) még elfürészelt kézzel is készségesen állt rendelkezésünkre, számtalan hasznos információval és tanáccsal látott el minket (nemcsak a Tiszával és a Szamossal, hanem a Bereg feltétlenül felkeresendő természeti értékeivel kapcsolatban is). Mindig türelmesen magyarázta el, hogy a küldött adatfájlban már régen benne volt, amit most kérünk, csak nem vettük észre. Zsolti és Árpai (VSZM), a kutatóhajó kapitánya és mancsaftja nagy igyekezettel tett eleget bogaras ötleteinknek, miszerint menjünk még közelebb a parthoz, álljunk meg a homokpad alatt, menjünk cikk-cakkban, tartsák egy helyben a hajót a zúgó (kiszívó) árral szemben, hajózzunk fel a befolyókon. Nem elég, hogy minden kívánságunkat teljesítették, közben még rengeteg történetet is hallottunk a Tiszáról, halakról, halászokról, gereblyezésről, méhekről, cigicsempészekről, elsüllyedt uszályokról, kísértethajókról meg minden másról is. Épp csak egy picit akadtak ki, hogy éjszakára nyitva kellett hagyni a kajüt ajtaját a sok vezeték miatt. Azt mondták, nem ragaszkodnának a szűnyogok látogatásához...

A laboratóriumi mérésekben Turay Norbert (2 évig a projekt alkalmazottja) és Poór Gábor (MTA BLKI) volt segítségünkre. Esetükben csak az lett volna feltűnő, ha valamit nem pontosan és pecízen csináltak volna. Norbi a

terepmérésekben is hozta szokásos formáját és kiderült, hogy szakácsnak sem utolsó.

Dr. Sárkány-Kiss Endre nélkül aligha tudtunk volna levergődni a romániai Szamoshoz. Rengeteget tanultunk tőle a nagy erdélyi folyókról és arról, hogy milyen kevés idő kellett a degradációjukhoz. Ha kellett - és általában kellett - evezett, ha kellett - szerencsére csak egyszer kellett - a vízbe borult felszerelést mentette. Nyéki Hunor, a szatmári Kölcsey Ferenc Főgimnázium tanulója lelkesen segített a mérésekben. A szamosardói iskola bentlakásában szíves vendéglátásban részesültünk János Igazgató Úr és a Gondnokasszony jóvoltából. A nagy diófa alatt megértettük, milyen erőfeszítéseket követel egy kisebbségtől nemzeti identitásának megőrzése, és hogy hogyan válik ez az erőfeszítés közösségformáló erővé.

A Szamoson gyűjtött mintákból Dr. Vörös Lajos (MTA BLKI) számolta a fitoplankton. Megkaptuk tőle a 2000-es cianid szennyezést követően vett több száz fitoplankton minta adatait is. Dr. Clement Adrienne (BME VKKT) bocsátotta rendelkezésünkre az Országos Vízügyi Adatbázisban szereplő vízfolyások adatsorait. Kovács Ádám (BME VKKT, majd Bécsi Egyetem) nem volt projektünk formális résztvevője, mégis hatékonyan pótolta Osztóics András hiányát. Raam Lászlótól (BME VKKT) fantasztikus terepkütyüket kaptunk kölcsön méréseinkhez.