Borics Gábor MTA doktori értekezésének bírálata

Az értekezés általános bírálata

Borics Gábor MTA doktori értekezése 8 db referált folyóiratban megjelent cikkre támaszkodik, melyek mindegyikének első szerzője a jelölt. Az értekezés 5 fő téma köré csoportosítva mutatja be az eredményeket. A témaköröket egyetlen rendező elv fűzi össze, amit az értekezés címe pontosan tükröz: hogyan lehet felszíni vizeink ökológiai állapotát megítélni a fitoplankton alapján? Vizeink ökológiai állapotértékelésének reneszánszát az EU Víz Keretirányelve indította el, ami az értekezés szempontjából nézve azt jelenti, hogy a téma aktuális, elméleti és gyakorlati értelemben fontos. A függelék nélkül 133 oldal terjedelmű dolgozatot 44 ábra és 17 táblázat teszi szemléletessé. Jó ötlet volt az üres töredék-oldalakat szép – és felteszem, taxonómiai szempontból tökéletes – alga-rajzokkal díszíteni. A hivatkozott közlemények száma 300 körüli.

Borics Gábor 20 évig dolgozott a Tiszántúli Környezetvédelmi Felügyelőségen – ennek pozitív és negatív lenyomatát az értekezés is tükrözi. A pozitívumok, melyek egyszersmind az értekezés erősségei is, a következők: (i) erős fogékonyság a gyakorlati szempontból fontos problémák iránt, (ii) a vizsgált vizek zömének (vagy mindegyikének) személyes ismerete, (iii) jó megfigyelőképesség és (iv) a drága pénzen gyűjtött, de tudományosan soha ki nem értékelt nagy adatbázisok elemzése adta lehetőségek kihasználása.

A negatívumok egyben az értekezés gyönge pontjai is. Ide sorolom azt a szinte mágikus jelentőséget, amit a hatóságok a törvényi szabályozás miatt a határértékeknek kénytelenek tulajdonítani, és amit a hatósági szerepre soha nem kényszerített kutató inkább nagyságrendként értelmez, mint komolyan veendő, konkrét értékként. Ilyen példa az, amikor a jelölt sekély tavak évszakos hőmérsékleti rétegezettségéről értekezik. Teljesen mindegy, mekkora a tó abszolút mélysége, ha évszakos hőmérsékleti rétegeződés fejlődik ki benne, akkor a tó mély, ha a hőmérsékleti rétegeződés csak időszakos (néhány óráig vagy napig tart), akkor sekély, a sekélység-mélység minden szelekciós, dinamikai, tápanyagforgalmi, táplálékhálózati, bentikus-pelágiális és littorális-pelágiális kapcsolati következményével együtt. Más kérdés, hogy a hatóság a víz-mintavétel módját az abszolút mélység alapján határozza meg: erről tényleg le kell beszélni. A jelölt motivációja ez utóbbi körülmény lehetett. Az első lépés megfelelő volt: néhány hatóságilag helytelenül sekélynek tekintett

tóban vizsgálta a rétegeződést és annak következményeit a fitoplankton térbeli eloszlására. Ugyanakkor hiányzik a következő lépés: az általánosítás és a hatóság számára könnyen használható módszer kidolgozása. A példánál maradva: a tavak évszakos hőmérsékleti rétegződésének valószínűségét becsülni lehetne egyszerű hőháztartási modellel, majd az eredmények alapján megadni azokat a morfometriai (mélység, szabad szélút, felület, felület/térfogat arány, kerület/felület arány stb.) és más paraméter-tartományokat (pl. befolyó vizek hőmérséklete a tó hőmérsékletéhez képest) és együtt-állásokat, melyeknél a stabil hőmérsékleti rétegezettség valószínűsége nagy, közepes vagy kicsi. Ehelyett a jelölt arra utal, hogy egyedileg meg kellene tudni, melyik kis tavunk rétegezett és melyik nem.

Negatívum az elméleti ismeretek időnként megfigyelhető hiányossága és a hazai szakirodalom gyakori mellőzése - ezekre az értekezés részletes elemzése során visszatérek.

Nem nevezhető negatívumnak, de sajnálatos tény, hogy az értekezésben az állóvizek vizsgálatának súlya sokkal nagyobb, mint a vízfolyásoké. Ha a Duna-kutató Intézet Tiszakutató Osztályának vezetője is elsősorban állóvizek vizsgálatára alapozza MTA doktori értekezését, ki fogja vizsgálni vízfolyásainkat?

Az értekezés tartalmát illetően két átfogó kérdés merül föl. Az első kérdés módszertani. A jelölt több témakörben hatósági fitoplankton adatbázisokat dolgozott föl, a fitoplankton mennyiségét minden esetben a klorofill koncentrációval jellemezte, nem az összes biomasszával. Szemtanúja voltam, amikor Padisák Judit egyszer hosszú időt töltött azzal, hogy egy hatósági fitoplankton adatbázis hihetetlenül alacsony össz biomassza értékeit korrigálja. Azért használta a jelölt a klorofill adatokat, mert az algaszámlálás alapján megadott össz biomassza az általa használt adatbázisokban sem tűnt jónak? Mennyire megbízható a fitoplankton összetétele akár funkcionális csoport szinten, ha az össz biomassza nyilvánvalóan nem jó? Feltételezhető-e ilyenkor, hogy a taxonok (vagy kodonok) egymáshoz viszonyított aránya valós?

A második kérdés összetettebb. A jelölt szerint a vizek állapotértékelésében használható legrobusztusabb mérőszám a biomassza (klorofill koncentráció). Tavaknál nem javasolja a fitoplankton összetételéből levezetett mérőszámok használatát a minősítésben,

vízfolyásoknál a diverzitás használatát megfontolandónak tartja. A kérdés alkérdése, hogy vajon ezek a megállapítások helytállók-e? A 2. táblázatból úgy tűnik, N_2-kötő fonalas cianobaktériumok nem fordulnak elő például kicsi, sekély, asztatikus tavakban, melyek természetes állapota hipertróf. A természetesen oligo- vagy mezotróf tavakban az ilyen fajok tömegessé válása sokak által megfigyelt módon az eutrofizálódás velejárója, amiből a limnológusok régóta arra következtetnek, hogy van olyan összetételbeli változás, amely fokozott tápanyagterhelést jelez. Másfelől a biomassza- és a diverzitás-indexek kapcsolata ritrális és potamális vízfolyásokban igen gyönge volt (a legjobb determinációs koefficiens 0,18 illetve 0,24 volt; 16. táblázat). Ezek az r^2 értékek a nagy mintaszám (109, illetve 310) miatt lettek szignifikánsak, a Prairie-féle felbontóképesség (resolution power) index értéke jóval 2 alatti. Ez azt jelenti, hogy ha tudjuk a biomasszát, még azt sem tudjuk megmondani kellő bizonyossággal, hogy ahhoz kicsi vagy nagy diverzitás tartozik-e (ld. Prairie, Y. T. 1996. Evaluating the predictive power of regression models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 490-492.). Erősebben fogalmazva: ezek a kapcsolatok valójában nem léteznek, vagy ha léteznek, gyakorlati szempontból értéktelenek. Végül a kérdés: ha a klorofill a fitoplankton alapú állapotértékelés legrobusztusabb mutatója, akkor szükség van-e a fitoplankton összetételének hatósági vizsgálatába ölni a pénzt, nem járnánk-e jobban, ha a sokkal olcsóbb klorofill mérések számát sokszoroznánk meg? Nem kapnánk-e a biomassza alapú minősítéshez hasonló, de a beavatkozásokat közvetlenül segítő eredményt a következő „határozókulccsal”:

1. Mekkora a tápanyag terhelés (mennyi a tápanyag)?
   A) Kicsi. Ez a tó jó állapotú, nem kell beavatkozni.
   B) Nagy. Menj 2-re
2. Mekkora a fitoplankton biomassza?
   A) Kicsi. Menj 3-ra
   B) Nagy. Menj 4-re
3. Nagy tápanyag terhelés, kicsi biomassza.
   A) Nagyon sekély, extrémen zavaros tó (az eltartóképesség fényfüggő). Ez a tó jó állapotú, a „regime shift” kockázata csekély. Vitatható, hogy kell vagy nem kell beavatkozás.
   B) Extrém makrofiton borítottság (az eltartóképesség tehát fényfüggő). Ez a tó jó állapotú, de a „regime shift” kockázata nagy. Tanácsos beavatkozni.

C) Mérsékelt makrofiton borítottság, nagytestű szűrő zooplankton dominancia. Ez a tó jó állapotú, de a „regime shift” kockázata nagy. Tanácsos beavatkozni.

4. Természetes okokból nagy-e a tápanyag terhelés?
   A) Igen (pl. vízimadarak nagy száma miatt). Ez a tó jó állapotú, nem kell beavatkozni.
   B) Nem. Ez a tó rossz állapotú, feltétlenül be kell avatkozni.

Sok a tartalmi szempontból pontatlan hivatkozás. Néhány példa:

- 4. oldal: Kalff (a dolgozatban mindenhol helytelenül „Kalf”) a jelölt szerint 1991-ben vízgyűjtő szemléletet sürgetett, mert a felszíni vizek állapota a kibocsájtások csökkentése ellenére sem csökkent a társadalom elvárásainak megfelelő mértékben. Először: egyes tavaké nem javult, másoké javult; a jelölt sommás megállapítása messze esik a valóságtól. Másodszor: Kalff idézett cikkében megállapítja, hogy a limnológusok (külön kiemelve Vollenweidert) pont azért tudtak hozzájárulni az eutrofizálódás problémájának megoldásához, mert a részletek helyett az egésszel foglalkoztak és ezt a vízgyűjtő szemlélet keretében tették. Azt nehezményezi, hogy az azóta előtérbe került problémák (savasodás, toxikus anyagok) vizsgálatában nincs meg ez a szemlélet, illetve megvan, de nem a limnológusok körében. Hozzáteszem: A 70. oldalon a jelölt álláspontja megváltozik: ott a vízgyűjtő szemléletet az 1970-es évekre datálja. Még ez is túl késői időpont, de jobb, mint az 1990-es évek.

- 18. oldal: Padisák és mtsai. nem egyszerűen azt igazolták, hogy a felkeveredés miatt csökken a biomassza. Volt ilyen is. De volt olyan is, hogy a meroplankton felkeveredése miatt nőtt a Balatonban az alga biomassza. A Fertő-tóban Padisák, (más igen sekély tavakban más kutatók) kimutatták, hogy a biomassza a meroplankton miatt nő a felkeveredés hatására. A fényviszonyok romlása erős felkeveredéskor általában nem a biomasszát csökkenti (van ilyen is), hanem az elsődleges termelést (ezt mindig). A felkeveredés hatása attól függ, milyen időskálán vizsgáljuk. Azonnali hatásként nő vagy csökken a biomassza, csökken a fotoszintézis, ugyanakkor a megnövekedett belső terhelés miatt néhány nap elteltével a termelés és a biomassza is nőhet.

- 25: oldal. Padisák és Reynolds (2003) cikke több szempont alapján azt járja körbe, hogy a sekély tavakat nem lehet abszolút mélységük alapján definiálni, nem arról szól, hogy a sekélység határa 5 m lenne.

- 40. oldal: Nagyon kevesen mérnek késleltetett fluoreszcencia alapján. Az általánosan elterjedt módszerek a direkt fluoreszcenciát használják ki, ez merőben más jelenség, mint a késleltetett fluoreszcencia (hivatkozás egyik módszerre sincs). A 109. oldalon említett folyó-monitorozó állomások – melyek már a disszertáció elkészítésének idején sem működtek – szintén direkt fluoreszcenciát mértek.

- 76. oldal: Reynolds (2000) cikke azt fejtegeti, hogy miért nem mosódnak ki az algák a folyókból, hogyan tudnak ott növekedni. Szó sincs arról, hogy a folyó alapvetően heterotróf rendszer lenne. Ez utóbbi a Folyó Kontinuitás Elmélet (Vannote és mtsai. 1980) része volt, amit az elmúlt közel 4 évtizedben számos más elmélet követett, köztük olyanok, melyek szerint bizonyos rendűség fölött a folyók kifejezetten autotróf rendszerek.

- 77. oldal: Sem Stoyneva (1994), sem Istvánovics és Honti (2011) nem azt mondja, hogy a folyóvízi fitoplankton inokulumai lassú folyású vagy holt folyóágak lennének. Stoyneva szerint az algák a sekély meder-részek aljzatáról jutnak a vízbe, mi pedig kifejezetten úgy gondoljuk, hogy folyóvizekben csak meroplanktonikus algák lehetnek perzisztensek, ezek inokulumainak nem kell kívülről bekerülniük a folyóba, mert soha nem mosódnak ki teljesen.

- 101. oldal: Wiens (1989) kifejezetten az ökológia térbeli skáláival foglalkozik, az időbeli skálákat csak annyiban említi, amennyiben azok a különböző tér-skálájú folyamatok megfigyelése szempontjából fontosak. Egyensúlyról egyetlen mondat szerepel, amit én őszintén bevallva nem tudok pontosan értelmezni: skálafüggő, hogy látunk vagy nem látunk egyensúlyt, és nem világos, hogy a körülményektől függően a finomabb skálákon jelentkező káoszból születhet-e rend és stabilitás a durvább skálákon, vagy a finomabb skálákon megnyilvánuló determinizmus vezethet-e durvább skálákon káoszhoz?

- 101. oldal: Reynolds és mtsai. (1993) definíciója a zavarásról lényegesen összetettebb, mint amit a jelölt állít. Jelölt: a zavarás „olyan hatás, amely meggátolja az ekvilibrium állapot kialakulását”. Az idézett cikk: a zavarások elsősorban nem biotikus, stochasztikus események, melyek jellegzetes és hirtelen összetételbeli változást idéznek elő és interferálnak az önszerveződés és ökológiai egyensúly felé irányuló, belülről vezérelt folyamatokkal; ezen események gyakorisága az algák generációs idejének skáláján mozog.

Az értekezés többféle formai szempontból kifogásolható.

i) Az irodalomjegyzék nem követi a szokásos szabályokat. Az első szinten az első szerző szerinti ABC sorrendet alkalmazunk. Ha egy szerzőtől több cikket idézünk, a második szinten ezeket a megjelenés éve szerint rendezzük. Ha ugyanezen szerző társszerzős cikkét/cikkeit is idéztük, ezeket a harmadik szinten az egy szerzős közlemények után az első társszerző szerinti ABC sorrendben adjuk meg, és így tovább. Tehát: Padisák (1980), Padisák (2015), Padisák és Borics (2005), Padisák és Borics (2014), Padisák és Reynolds (2001), Padisák, Reynolds és Borics (1998) stb.

ii) A központozás gyakran nem követi nyelvünk helyesírási szabályait. Más helyesírási hibák is bőven akadnak. Számos szakkifejezésnek van pontos magyar megfelelője, a jelölt mégis a latin eredetű kifejezést használja.

iii) A táblázatok rendre fittyet hánynak a helyi értékeknek.

iv) Zavaró, hogy a „terhelés” kifejezést a jelölt sokszor az „antropogén hatás” szinte tökéletes szinonimájaként, teljesen kvalitatív módon használja, máskor viszont követi a környezettudományok terminológiáját, ahol a terhelés (load) az időegység alatt a vizsgált befogadóba érkező anyagmennyiséget jelenti.

Az értekezés részletes bírálata

1. Témakör: Hidromorfológiai tó-típusok biológiai validációja. A jelölt fontos eredménye, hogy kimutatja: a hidromorfológia alapján 16 típusba sorolt tó a klorofill koncentráció alapján 4 csoportba vonható össze; a fitoplankton funkcionális csoportjainak összetétele és

diverzitása alapján a csoportok nem válnak szét. Ez az egyszerűsítés jól megalapozott és gyakorlati szempontból fontos. A munka további érdeme, hogy felhívja a figyelmet arra a tényre: kis méretű, sekély, asztatikus tavaink természetes állapota a hipertrófia lehet.

12. oldal: A kiválasztás kritériumai nem homogenizálják a tavakat diffúz terhelésük vonatkozásában. Az olyan nagy tavaknál, mint a Balaton vagy a Fertő, előfordulnak pontszerű terhelések és előbbinél a part legalább kétharmada nem természetes. A jelöltnek a kiválasztás ténylegesen alkalmazott szempontjait kellett volna ismertetnie, hiszen ezek a kritériumok meghatározzák, milyen eredményekre juthatunk.

Nagyon hiányos az adatelemzés leírása. Az 1.3.2. szakasz szerint 9 éven át 6 hónapig mintáztak. Akkor tehát tavanként 54 minta volt, vagy a nagy tavakból több helyen vettek mintát? Hány tavat vizsgált az egyes hidromorfológiai csoportokon belül? Milyen módon (sorrendben) átlagolta az adatokat? (i) Évente – tavanként – csoportonként. (ii) Tavanként – csoportonként. (iii) Csak csoportonként.

1. ábra: A klorofill koncentráció évszakos, évek közötti és tavankénti változékonyságát tekintve nem értem, hogy lehetett ilyen kicsi a szórás? Például a 3-4 m átlag mélységű tavak kategóriájában a klorofill nagyjából 20±2 volt mg m^{-3} volt.

Nekem nem tetszik, hogy bár tudjuk, hogy a Fertőben és a Balatonban nem ugyanazon okok miatt kicsi az alga biomassza, azért ezek a tavak a jelölt szerint egy csoportba vonhatók össze. Elfogadva az utóbbi logikát, a statisztika (2. ábra) szerint a Fertő és a Balaton tökéletesen belefér a sekély, makrofitonok által dominált tavak csoportjába. Akkor tehát a vizsgálat szempontján kívül eső, az értekezésben nem említett egyéb szempontokat is figyelembe kell vennünk a biológiai validálás során? Melyek ezek a szempontok?

2. Témakör: Állóvizek fitoplanktonjának mintázása körüli bizonytalanságok. A mintavételi gyakoriság okozta bizonytalanságról szőrmentén megemlékezve a jelölt részletesen vizsgálja néhány tó évszakos hőrétegeződését és annak hatását a planktonikus mikroorganizmusok és vízminőségi változók eloszlására. Ezt a fitoplankton térbeli eloszlásában megfigyelhető heterogenitás vizsgálata követi egy holtmederben. A fejezet a jelölt saját mérési adataira

épül, melyek hátterében - a fitoplankton vonatkozásában - jól tervezett terepi mintavételek és rengeteg feldolgozási munka áll. A fejezet legerősebb része néhány algafaj térbeli mintázatának összehasonlító vizsgálata.

22. oldal: A fitoplankton mintavétel időbeliségéről írott rész gyönge. Az ideális mintavételi gyakoriság nem heti, hanem inkább heti kétszeri, a Balatonban pl. 1-2 napi (Istvánovics és mtsai. 2005. Continuous monitoring of phytoplankton dynamics in Lake Balaton (Hungary) using on-line delayed fluorescence excitation spectroscopy. Freshwater Biology 50: 1950 - 1970). Mély, rétegezett tavakban talán a heti is elég. Mindez nem hasraütés, hanem idősor analízis kérdése.

25. oldal: A rétegeződést a jelölt technikai szempontból nagyon elavult és bizonytalanságot generáló módszerrel vizsgálta: a hőmérséklet-profilokat a Ruttner mintavevő beépített hőmérőjével mérte, pedig manapság a nagy gyakoriságú, hosszú időtartamú automatikus hőmérséklet-mérés olcsón megvalósítható. A rétegeződéssel jellemzően nem hidrobiológusok, hanem fizikusok és mérnökök foglalkoznak, ez a hidrodinamika tárgyköre. A jelölt mégis csaknem kizárólag limnológusokra (pl. Padisák, Salmaso, Reynolds, Berman, Pollinher, Scheffer stb.) hivatkozik. Sekély tavak átmeneti rétegeződése régóta ismert jelenség. Hogy itthon maradjunk, Entz Béla ennek a jelenségnek nagy jelentőséget tulajdonított a Balatonban és mérési eredményeit több közleményben publikálta. Mi 2000 óta 5 mélységben, 10 perces gyakorisággal mérjük a Keszthelyi-medence egy pontján a vízhőmérsékletet, 2 mélységben az üledék hőmérsékletét (pl. Vörös et al. 2010. Applicability of the Flake model to Lake Balaton. Boreal Environment Research 15: 245-254.; Torma, P., and T. Krámer. 2016. Modelling wave action in the diurnal temperature stratification of a shallow lake. Period. Polytech. Civ. Eng. doi10.3311/PPci.8883).

37. oldal: A jelölt megállapítja, hogy a hőváltó réteg mélysége és az epilimnion vastagsága a szabad szélút függvénye. Magyarázata szerint a metalimnion mélysége közvetlenül a széltől függ, az epilimnion vastagságára azonban közvetett módon, a párolgási hőveszteség növelésén keresztül hat. Csakhogy a párolgási veszteség nem függ a szabad szélúttól! Természetesen az epilimnion vastagsága is közvetlenül függ a szabad szélúttól.

40. oldal: A terepi megfigyeléseket segítő fizikai modellek szép, de nem hivatkozott példája SCHEURING, I.; KÁROLYI, G.; PÉNTEK, Á.; TÉL, T.; TOROCZKAI, Z. 2000. A model for resolving the plankton paradox: coexistence in open flows. Freshwater Biology 45: 123-132.

44. oldal: A jelölt az egyes fajok egyenetlen térbeli eloszlásának jellemzésére bevezeti a heterogenitás indexet. Ennek számlálója az adott taxon variációs koefficiense a különböző pontokon vett mintákban, nevezője pedig a taxon megszámolásának variációs koefficiense egy kiválasztott minta 5 al-mintájában. Vélhetően egyedszámokról van szó, nem biomasszáról. A számlálásból adódó variációs koefficienst a jelölt egy hatványfüggvénnyel számolta ki a vizsgált taxonokra; a függvényt a nagyméretű taxonok számlálásával nyerte. E taxonok „gyakorisága széles skálán mozgott" - hogy ez pontosan mit jelent, az nem derül ki. Tudván, hogy a kisméretű taxonok egyedszáma sokkal nagyobb lehet, mint a nagyoké, a leírás alapján arra következtethetünk, hogy a függvény alkalmazása esetenként jelentős extrapolációval járhatott. Így volt-e? Jobb lett volna legalább 1-2 gyakori, kisméretű taxon számolási hibáját bevonni a regresszióba, hogy ne extrapolálni, hanem interpolálni kelljen a függvényt.

44. oldal: A „littorális" és „pelágiális" kifejezés itt nem a parti övet és a tó nyílt vizét jelenti, hanem azt a teljes keresztszelvényt, ahol több, illetve kevesebb volt a makrofiton. Jó lett volna ezt defniálni.

A 6. táblázat olvashatatlan, mert nem látszik, melyik szám melyik oszlophoz tartozik. A helyiértékek „szokás szerint" el vannak csúszva. Nem lehet tudni, hogy ahol nincs szám, ott az adott faj nem fordult elő, vagy előfordult, de az IH index értéke kicsi volt, ezért nem szerepel a táblázatban. Ezt a két esetet jelöni kellett volna (pl. 0 és -), ami az oszlopok felismerését is megkönnyítette volna. A címben „nagy heterogenitási index" helyett jelölt megadhatta volna azt a küszöbértéket, amit alkalmazott (valószínűleg IH>4).

A 22. ábrán a 9c jelű pont tényleg kiugróan alacsony. A másik 20 ponton a cianobaktériumok aránya 50-75% közötti, az átlag durván 60% lehet. Tényleg sokkal jobb minőségű az a tó, amelyikben „csak" 50% N_2-kötő, fonalas cianobaktérium van, mint az, ahol 75% van? Nem lehet-e nagyobb az egyes évek közötti különbség, vagy a cianobaktériumos időszakon belül

az időbeli változékonyság? Magyarán: tényleg annyira fontos a tudományos értelemben érdekes eredmény a gyakorlat számára?

3. Témakör: A trofikus kapcsolatok szerepe a fitoplankton összetételének és biomasszájának alakításában. A fejezet első része a jelölt saját adataira épül, de az előző témakörtől eltérően látszik, hogy a mintavételezést nem a váratlanul bekövetkezett halpusztulás következményeinek minél tökéletesebb leírására tervezték. A mintavételezés a hatósági rutint követte, és bár a jelölt megpróbálja kimagyarázni, hogy a Mézeshegyi-tó 0,5 és 0,8 m között ingadozó átlag mélysége miatt a „felső rétegből merített" fitoplankton minta reprezentatív volt, ez nem túl hihető. A 7. táblázat szerint a legnagyobb klorofill koncentráció 1,6 g m^{-3} volt, ami még 0,5 m átlag mélységgel számolva is 800 mg m^{-2} klorofillt jelent. Korábban maga a jelölt mutatott rá helyesen, hogy a mi szélességi körünkön 600 mg kl m^{-2} körüli lehet a maximum. A másik érv, hogy a tó fitoplanktonját domináló *Cylindrospermopsis raciborskii* nem szokott vízvirágzást okozni. Ez igaz, de épp a jelölt mutatta meg az előző fejezetben (21A ábra), hogy a faj vertikális eloszlása meglehetősen heterogén, ha a víz rétegezett, márpedig a mi égövünkön erős időszakos hőrétegeződés bármely sekély tóban előfordulhat. Összefoglalóan: nem volt helyes a felső vízréteget mintázni, de nem érdemes magyarázkodni sem, mert a megfigyelt markáns mintázatok aligha változtak volna meg gyökeresen, ha a teljes vízoszlopot mintázták volna. Érdemes lett volna a történetet pár mondatban befejezni: mi történt a Mézeshegyi-tó fitoplanktonjával 1995. óta? Visszaállt a *Cylindrospermopsis* dominancia és a nagy biomassza?

A fejezet második részében a jelölt ismét hatósági adatbázisokat használ a vegetációs periódus átlagos fitoplakton biomasszájának (klorofill) modellezésére kis tavakban. 24 tó 51 tóévnyi adatát sikerült összegyűjtenie, a vizsgált tó-populáció elég nagy és reprezentatív minta volt. A 4 független változó bevonásával készített két regressziós és egy neuronhálózati modell közül az utóbbi a klorofill változékonyságának 73%-át írta le, ami a gyakorlat számára is értékes eredmény. Az ilyen modellezés logikája azonban az, hogy megpróbáljuk csökkenteni a független változók számát úgy, hogy a modellekből egymás után kihagyjuk a független változókat (az adott esetben TP, TN, tóhasználat sorrendben), és valamelyik információs kritériummal (pl. Akaike) mérjük, hogy van-e olyan csekély magyarázó erővel bíró változó, amelyet nyugodtan elhanyagolhatunk. Gyanús, hogy a statisztika kiejtette volna

a tápanyagokat, sőt, talán a tóhasználatot is. Ez utóbbi attól függ, hogy hány tó, illetve tóév esett egy-egy tóhasználati kategóriába, és hogy a mélység és tóhasználat mennyire korrelált (pl. nagyobb volt-e a halsűrűség a sekélyebb tavakban) - ilyen információval azonban a jelölt nem szolgál.

A modellezés irodalmi felvezetése hiányos. A jelölt nem említi, hogy számos foszfor-klorofill modell explicit módon figyelembe vette a magasabb trofikus szintek hatását (pl. Mazumder és Hevens 1998. Nutrient-chlorophyll-Secchi relationships under contrasting grazer communities of temperate versus subtropical lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 1652-1662; Jones and Lee 1986. Eutrophication modeling for water quality management: an update of the Vollenweider-OECD Model. WHO's Water Quality Bulletin 11: 67-74). A vizsgálat célját abban jelöli meg, hogy megállapítsa: bő tápanyagkínálatú tavakban hogyan becsülhető a fitoplankton biomassza. Csakhogy a vizsgált tavakban a vegetációs időszakban az átlagos összes P koncentráció 10 – 1500 mg P m^{-3}, az összes N 200 – 15.000 mg N m^{-3}, a klorofill 2 - 600 mg kl m^{-3} volt, azaz az adatok egyáltalán nem csak bő tápanyag kínálatú, eu- és hipertróf tavakból származtak. Abban teljesen igaza van a jelöltnek, hogy a normalizált terhelésen alapuló vollenweideri modellek számos sekély tavunkra nem alkalmazhatók, mert azok időszakosak, és/vagy mert a hozzáfolyás és terhelés jelentős hányadát felszín alatt kapják. Nem használhatók Phillips és mtsai. (2008) modelljei sem, de alapvetően nem azért, mert a biomassza előrejelzésének bizonytalansága nagy trofitású tavakban bizonytalanabb, hanem azért, mert ezek a modellek csakis és kizárólag a 100 mg P m^{-3} és 1700 mg N m^{-3} összes tápanyag koncentráció alatti tartományra érvényesek.

52. és 72. oldal: Jeppesenék (és a 72. oldalon idézett más szerzők) azért nem gondolják sikeresnek a hipertróf tavak biomanipulációját, mert a rendszer instabil lesz és folyamatos, költséges beavatkozások nélkül nem maradna alacsony a fitoplankton biomasszája. Valószínű, hogy néha a folyamatos beavatkozások is csődöt mondanának – nem tudom, van-e ilyen vizsgálati eredmény az irodalomban. A biomanipulált tavak általában sem szoktak teljesen önfenntartók lenni, de nem mindegy, milyen gyakran és milyen mértékben kell beavatkozni. A „biomanipulált" hipertróf rendszer tökéletes instabilitására jó példa volt a Kis-Balaton Felső Tározójának Kazettája, amikor abban az összes hal elpusztult.

58. oldal: Havi adatok alapján növekedési rátát becsülni bármely fitoplankton fajra elfogadhatatlan.

59. oldal: Tudtommal a Balatonban nem volt *Planktothrix* - *Cylindrospermopsis* csere. Amíg csak a Kis-Balaton hipertróf Felső Tározója működött, az ott kialakult hatalmas *Planktothrix* tömeg (Mátyás Kálmán publikációja) akadálytalanul lejutott a Keszthelyi-medencébe, ezért ott kisebb csúcsai alakultak ki, emlékeim szerint elsősorban a *Cylindrospermopsis* tömegprodució letörése után. Ez az Ingói-berek elárasztása után nem volt többé megfigyelhető.

64. oldal: Hogy lehet az átlagos mélységet az ismert víztérfogatból becsülni? A területet és a mélységet meg lehet közvetlenül mérni, a térfogatot ezekből szokták becsülni.

Miért lineáris regresszióval (pontosabban a kétszeres logaritmus miatt hatványfüggvénnyel) vizsgálta a klorofill és a potenciális független változók kapcsolatát? Jobb lett volna Spearman-féle rang-korrelációt számolni. GLM és több változós lineáris regresszió helyett is célszerűbb lett volna többváltozós nemlineáris regressziót számolni. A neuronhálózati modellben N=41 volt a tanuló adatok száma és N=10 a teszt adatoké. Mire vonatkozik a 10. táblázatban az r^2=0,73 érték? Úgy tűnik, a teljes adatsorra (N=51), mert a 31c ábra is az összes adatot mutatja. Az adatsor kettébontásának logikája a modell verifikációja, ehhez azonban meg kellett volna adni, hogy mennyire volt sikeres a kalibráció (r^2=?, N=41), és mennyire boldogult a kalibrált modell a teszt adatokkal (r^2=?, N=10).

10. táblázat: Az egyenletek paramétereinek pontossága nem lehet 9 tizedes. Csak az értelmes, a bemenő adatok pontosságához igazodó számú tizedest szabad megadni. A GLM egyenletekkel valami nem stimmel: a megadott értékek szerint a Tóhasználat 2 kategóriában a többi változó azonos értéke mellett kisebb lesz a klorofill, mint a Tóhasználat 1 kategóriában, pedig a 30f ábra szerint ennek nem így kell lennie.

A jelölt a fitoplankton biomassza feltételezett fogyasztó oldali kontrollját úgy építette modelljeibe, hogy bevonta a becsült halsűrűséget, mint „dummy” változót (sajnos nem tudom, mi a magyar megfelelője a „dummy variable”-nek). Maga a változó kétségtelenül

erős hatással volt a klorofillra (30f ábra), ebből azonban egyáltalán nem következik, hogy a jelölt konklúziójának megfelelő magyarázó erejét a fogyasztók mennyiségének számszerűsítése adta volna. Ez a konklúzió azért is ellentmondásos, mert az eredmények értékelésében megtudjuk, hogy nálunk ritkán telepítenek planktivor halakat, általában inkább tápanyag pumpaként működő bentivor halakra kell gondolnunk. Emellett a horgászok nagy mennyiségű etetőanyagot szórnak a vízbe. Röviden: az értékeléskor a halsűrűséget a tápanyag terheléssel gondolhatjuk arányosnak, a konklúzióban már a fogyasztó oldali kontrollal. Nyilvánvaló, hogy semmilyen regressziós modell nem igazolhat semmiféle oksági kapcsolatot.

68., 70. és 72. oldal: Egyáltalán nem meglepő, hogy egy mesterségesen lehatárolt tó körüli zóna területhasználata nincs hatással a fitoplankton biomasszájára, különösen ha a felszínalatti vízforgalom miatt tényleg nehezen megfogható vízgyűjtő egészén valószínűleg nincs nagy különbség a vizsgált tavak között: mindenütt a mezőgazdaság dominál. A területhasználat hatása a vizek trofitására sokszorosan bizonyított tény, nem vélekedés kérdése. [Néhány hazai irodalom: Kovács AS, Honti M, Clement A. (2008) Design of best management practice applications for diffuse phosphorus pollution using interactive GIS. Water Sci Technol 57:1727–33.; Kovács A, Fülöp B, Honti M. (2012) Detection of hot spots of soil erosion and reservoir siltation in ungauged Mediterranean catchments. Energy Procedia, 18: 934–943.; Kovács A, Honti M. (2008) Estimation of diffuse phosphorus emissions at small catchment scale by GIS-based pollution potential analysis. Desalination, 226: 72-80.; Honti M, Istvánovics V, Kovács A. (2010) Balancing between retention and flushing in river networks – optimizing nutrient management to improve trophic state. Science of the Total Environment, 408: 4712-4721.; Kovács, A., M. Honti, M. Zessner, A. Eder, A. Clement, G. Blöschl (2012) Identification of phosphorus emission hotspots in agricultural catchments. Science of the Total Environment 433: 74–88.]

72. oldal: A jelölt gyakorlati tanácsa, hogy a vízmélység növelése fontos lépés a vizek ökológiai állapotának javítása terén, és ezt figyelembe kell venni mesterséges állóvizek tervezésekor is. A tanács első részével nem árt óvatosan bánni, mert a vízmélység növelése együtt járhat a vízjáték csökkentésével (ld. Balaton), ami kifejezetten rontja a tavak littorális övének ökológiai állapotát. A második része elég viccesen hangzik egy olyan lapos országban,

mint a mienk. Ráadásul ha csinálnak egy mesterséges állóvizet, eleve minél mélyebbet szeretnének csinálni, hogy ne száradjon ki, vagy hogy több vizet lehessen betározni. Az üzenet inkább az lehet, hogy minél sekélyebb egy állóvíz, annál nagyobb valószínűséggel lesz hipertróf, különösen ha még intenzív halastónak is használják; már a megvalósítás előtt becsülni kellene, hogy a kialakítandó mesterséges tó várható vízminősége megfelel-e majd a tervezett vízhasználatoknak.

A modellezés eredményével kapcsolatban felmerül még egy kérdés: hogyan befolyásolja a vizsgált tavakban az évi átlag algabiomasszát a vízmélység? A vízmélység és klorofill koncentráció közötti regressziós modellel (9. táblázat) a vizsgált tavak átlagos mélységéből (8. táblázat) számolt klorofill koncentráció 8 és 60 mg kl m^{-3} között változott, alapterületre vetítve azonban minden tóban gyakorlatilag egyforma, 36,3 és 38,7 mg kl m^{-2} közötti volt. Mi ennek a magyarázata? Egy lehetőség, hogy a termékenyebb tavak oda „húzták” a regressziós egyenest, ahol a fény határozza meg a tavak fitoplankton eltartó képességét. A mélységtől valójában csak az függött, hogy mekkora térfogatban oszlott el ez a fénylimitált biomassza. A 40 mg kl m^{-2} biomassza a maximálisan lehetséges 600 mg kl m^{-2}-nek csak töredéke, de a vegetációs periódusban a globál sugárzás átlaga kb. harmada lehet a maximumnak, és a fitoplankton biomassza vélhetően ennél nagyobb évszakos változást mutat, így nem irreális, hogy a vegetációs periódusra átlagolt fényfüggő alga eltartó képesség 40 mg kl m^{-2} körüli legyen. Érdemes lenne az alapadatok birtokában ezt a hipotézist is megvizsgálni.

4. Témakör: Állapotértékelő mérőszámok kidolgozása folyóvizekre, a diverzitás bevonása az állapotértékelésbe tavakban és vízfolyásokban. Ez a témakör részben átfed az 1. témakörrel, ahol a jelölt már bemutatta, hogy a biomassza alapján 4 tócsoport különíthető el, de a fitoplankton összetétele és diverzitása ezekben nem különbözik szignifikánsan. A 4. Témakör ismét megerősíti, hogy tavakban a fitoplankton összetételén alapuló mérőszámok nem használhatók jól az állapotértékeléshez, egyrészt azért, mert a biomassza csak a diverzitás felső határát befolyásolja, másrészt mert nem ismerjük elég jól a fajok autökológiáját. Az itt bemutatott vizsgálat erőssége, hogy a jelölt négyféle diverzitás indexet használ, melyek mindegyike a Rényi diverzitás index-család tagja. A jelölt a fitoplankton biomassza és diverzitás alapján is értékelhetőnek tartja vízfolyások ökológiai állapotát – az ezzel kapcsolatos fenntartásaimat az általános értékelésben taglaltam.

75. oldal: Mit jelent az, hogy az egyes alga nemzetségeknek összes foszfor optimuma van? Egyszerűen az empirikus előfordulási gyakoriságokra kell gondolnunk? Vagy valamilyen fiziológiai mechanizmusra a foszfor felvétele/hasznosítása terén? Az első esetben nem beszélhetünk optimumról, hanem csak arról a koncentráció-tartományról, amelyben az adott nemzetség általában vagy többnyire előfordul.

80. oldal: A szöveg szerint a planktontípus kifejlődéséhez szükséges idő alapján a bentikus taxonok 5-öst kaptak, a 12. táblázatban azonban csak a T_B csoportnak van 5-öse, pedig a T_C és T_D asszociáció is bentikus (ld. 82. oldal). Melyik verzió a helyes?

83. oldal: Uherkovich (1971) szerint télen (a hideg évszakban) a nagy folyókban (Tisza és nagy mellékfolyói) is a bentikus-tichoplanktonikus algák dominálnak, a felső szakaszokon egész évben ez a csoport jellemző. Ezt a fajta természetes évszakos különbséget a kidolgozott Q index nem veszi figyelembe. „Folyásirányban lefelé haladva a fitoplankton nagy F értékű csoportokkal bővül" – ez elírás, nem?

14. táblázat: Tényleg annyira más a minőség, ha EQR értéke 1 vagy 0,99 vagy 0,97? Mi az az „elméleti relatív gyakoriság" a 15. táblázat címében? Van valami elmélet, amelyik megmondja, mennyinek kell lennie a csoportok relatív gyakoriságának? Ez a rész érthetetlen: a 15. táblázatban a csoportok végtelenül sok lehetséges kombinációjának egy apró töredékét látjuk, és egyáltalán nem érthető, hogy ez alapján milyen megfontolások vezették a jelöltet az EQR határok megadásában. Ráadásul a továbbiakban csak a Q értékekről esik szó, a bemutatott példákban az EQR nem szerepel.

84. oldal: A jelölt által megadott értékek szerint a Kösely átlagos vízhozamának 58%-a szennyvíz! Tényleg reális, hogy egy ilyen rettenetesen szennyezett vízfolyás ökológiai állapota elég sokszor jónak, sőt, a lehető legjobbnak adódik a Q index alapján? A vizsgált időszak átlagát tekintve a Kösely jobb állapotú volt, mint a Duna! Az is furcsa, hogy a Tisza ökológiai állapota jónak minősül Tiszalöknél, ahol gyakorlatilag csak az eutróf Szamos miatt van annyi alga, amennyi van. Persze – ahogy arra Uherkovich (1971) rámutatott – ezek az algák télen bentikusak, ami a javasolt minősítési rendszerben automatikusan jó állapotot

eredményez. A 34. ábra szerint a Dunában is hasonló lehet a helyzet, bár itt kevesebb a bentikus algák aránya télvíz idején – érdekes kérdés, hogy ez nem a rengeteg felvízi tározó hatása-e, ami a referencia állapothoz képest jelentős romlásként értelmezendő? Akkor tehát télen jó, nyáron rossz a Tisza és a Duna állapota?
98. oldal: Miért versenyeznek egymással a potamális folyók euplanktonikus algái, ha egyszer a tápanyagok nem korlátozzák a növekedést, a fény meg elsősorban a hordaléktól függ, nem a fitoplankton önárnyékolásától? Ha folyóban van versengés, akkor inkább a ritrálisban lehet, mert a valódi bentikus algák versenyezhetnek egymással a helyért és a fényért (amíg a következő árhullám le nem nyírja a bevonatot, fel nem borogatja a bevont köveket). A versengés, illetve kifejezetten a planktonalgák közötti versengés témakörben van két elgondolkodtató ajánlott irodalom: Keddy P.A. (2001) Competition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. és Siegel, D.A. (1998) Resource competition in a discrete environment: why are plankton distributions paradoxical? Limnology and Oceanography 43: 1133-1146.

5. Témakör: A zavarás és stressz elkülönítése elméleti alapon. Megítélésem szerint ez a fejezet az értekezés leggyöngébb része. Kiinduló pontjai kétségesek, a bemutatott elméletet semmilyen konkrét eset nem igazolja.

Az elgondolás „olyan modellre épül, mely ... négy alapfeltételből indul ki”. Már ez sem egészen világos: ennek a négy alapfeltételnek kell teljesülnie ahhoz, hogy a modellt használni lehessen? A 3. alapfeltétel szerint a hatás frekvenciája ismert, és alapvető fontossággal bír. Frekvenciája csak periodikus jelenségnek van, stochasztikus jelenségeknek előfordulási gyakorisága, visszatérési ideje stb. van, frekvenciája nincs. Emellett az ökológiai rendszerek esetében a környezeti változókat jó esetben mérni tudjuk, de hogy adott változó adott mértékű változása hatás-e vagy sem, az külön vizsgálat tárgya, mert az a rendszer pillanatnyi állapotától, rezílienciájától is függ. Röviden: próbálkozhatunk a „hatás” objektív mérésével, de nem könnyű (Honti, M., V. Istvánovics and A. Osztoics, 2007. Stability and change of phytoplankton communities in a highly dynamic environment - the case of large, shallow Lake Balaton (Hungary). Hydrobiologia 581: 225 – 240.); a hatásoknak pedig általában nincs frekvenciája.

A 4. alapfeltétel szerint „feltételezzük, hogy a rendszer leíró változói a rendszer ekvilibrium állapotában nem mutatnak lényeges változást”. A rövid generációs idejű fitoplankton biomasszájának nagy időbeli felbontású mérése egyértelműen bizonyítja, hogy egyensúlyi állapot a természetben csak nagyon speciális esetekben alakulhat ki. A szukcesszió nem a versengés-kiszorítás hardini elveinek megfelelő determinisztikus végállapot felé irányuló folyamat, a társulások egy folyton mozgó-változó állapot felé konvergálnak. Kétségtelen, hogy Padisák Judit vezetésével ma erős „ekvilibrium iskola” létezik a fitoplankton ökológiában, így természetes, hogy a jelölt is ennek az iskolának a követője. Ugyanakkor nem világos, hogy mely mennyiségek állandóságát feltételezi az egyensúly. A „rendszer leíró változóin” belül feltétlenül különbséget kellene tenni az állapotváltozók (pl. fitoplankton biomassza) és a folyamatok (pl. fitoplankton produkció) között. Az egyensúly pragmatikus definíciója, hogy 1-2 héten át közel állandó biomassza mellett 1-3 faj adja a biomassza legalább 80%-át (Sommer és mtsai. 1983). Leíró változó lehet pl. a fitoplankton biomasszája, amely egy integratív változó, vagy a produkciója, amelyik a pillanatnyi környezeti viszonyoktól (is) függ. Ha mondjuk egy nagy cianobaktérium tömegprodukció idején egy teljes napon át nagyon borult az idő, előfordulhat, hogy a biomassza nem változik jelentősen, de a produkció igen. Hasonló módon: egy idős erdő biomasszája nagyjából állandó, ez azonban nem jelenti azt, hogy csapadékos években ne lenne nagyobb a produkció, mint száraz időszakokban.

A jelölt számos stressz, illetve zavarás hatására adott rendszerszintű válaszgörbét dedukál, de kivétel nélkül minden esetben csak kvalitatív példákkal szolgál: „az is ilyen válasz, amikor ez meg ez történik”. Elméletének bizonyítéka az lenne, ha valós adatokon kimutatná, hogy a rendszer válasza olyan lefutású, mint az általa rajzolt válaszgörbék.

Végül egy utolsó megjegyzés: az emberi tevékenység nemcsak fokozhatja, de enyhítheti is a stresszt, és utóbbi révén épp olyan súlyosan károsíthatja a rendszer szerkezetét és működését, mint az előbbivel. Például a jelölt által említett eutrofizálódás a tápanyag kínálat növelésével felszabadítja a rendszert a súlyos tápanyag-hiány stressze alól, egyszersmind ellehetetlenítve azokat a fajokat, melyek az erős stressz átvészelésére kifejlesztett alkalmazkodásaik révén maradhattak a rendszer alkotóelemei.

Összefoglaló értékelés

Összességében az értekezés megfelel a tartalmi és formai követelményeknek, hiteles adatokon nyugszik és nyilvános vitára alkalmas. Az értekezés „Összegezés és kitekintés” c. fejezete tartalmazza a téziseket (noha ezeket a jelölt csak a tézisfüzetben nevezi ténylegesen téziseknek). A 6 tézis közül az első ötöt elfogadom, az utolsót, amely az 5. témakörre épül, nem fogadom el új tudományos eredménynek.

Készítette: Istvánovics Vera

s.k.