

**A BALATON-KUTATÁSOK
FONTOSABB EREDMÉNYEI
1999–2009**



**MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
Budapest, 2009**

320317

5

A BALATON-KUTATÁSOK FONTOSABB EREDMÉNYEI 1999–2009

szerkesztették:

**BÍRÓ PÉTER
BANCZEROWSKI JANUSZNÉ**

MTAK



0 00003 22364 2

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
Budapest
2009

MTAK

KA-969.541

A Balaton-kutatások fontosabb
eredményei, 1999-2009

201005154

A Nemzeti Fejlesztési és Gazdasági Minisztérium, a
Balaton Fejlesztési Tanács és a Magyar Tudományos
Akadémia támogatásával készült kiadvány

MÁGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

201005154

© Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 2009
ISBN 978-963-508-584-2

A címlapfotót BANCZEROWSKI JANUSZSNÉ készítette

Felelős kiadó: NÉMETH TAMÁS
Technikai munkatárs: SZEKERESNÉ CZUCZOR ZSUZSA

Készült 300 példányban, B/5 formátumban
Fotokész anyagról a nyomdai kivitelezést végezte:
Akaprint Kft. F. v.: Freier László

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó <i>Bíró Péter</i>	5
A balatoni fitoplankton nitrogénigénye és a különböző nitrogénforrások jelentősége <i>Présing Mátyás, Kenesi Gyöngyi, Hesham M. Shafik, Spróber Péter, Kovács W. Attila, Takátsy Anikó és Tom Preston</i>	7
Oldott szervesanyagok (döntően huminanyagok) szerepe a Balaton vízminőségének alakításában <i>V.-Balogh Katalin</i>	21
A mikrobiális plankton foszforforgalma: <i>Herodek Sándor, Hiripi László, Hesham M. Shafik és Leitold Helga</i>	33
A Balaton algaegyütteseinek szerepe és szabályozó tényezői <i>Vörös Lajos</i>	45
A balatoni fitoplankton tér- és időbeli mintázata <i>Padisák Judit, Hajnal Éva, Soróczki Pintér Éva, Kiss Gábor és Zámbóné Doma Zsuzsanna</i>	61
A makrofitonok elterjedését befolyásoló tényezők a Balatonban <i>Herodek Sándor és Tóth Viktor</i>	70
A balatoni zooplankton struktúrája és funkciója 1999 és 2008 között <i>G.-Tóth László, B. Muskó Ilona, Balogh Csilla Baranyai Eszter Laura Parpala és Szalontai Krisztina</i>	82
A Balaton bevonatlakó gerinctelen állatvilága 1999–2008-ban <i>B. Muskó Ilona, Balogh Csilla, G.-Tóth László, Görög Szilvia, Bakó Beáta és Bence Melinda</i>	97

A Balaton és vízgyűjtőjének természetes halfaunája <i>Specziár András, Erős Tibor, Takács Péter, Sály Péter és Bíró Péter</i>	113
Halállományok eloszlása és a betelepített halfajok állománya a Balatonban <i>Tátrai István, Paulovits Gábor, Józsa Vilmos, Boros Gergely, György Ágnes Irma és Héri János</i>	129
Környezettoxikológiai kutatások a Balatonon <i>Farkas Anna, Vehovszky Ágnes és Győri János</i>	142
Gazdasági és társadalmi folyamatok a Balaton régióban <i>Oláh Miklós, Dombi Gábor és Retz Tamás</i>	153

ELŐSZÓ

Kötetünk a Balaton kutatásának az elmúlt évtizedben elért eredményeit mutatja be. A tó fizikai-kémiai-biológiai struktúrájának és a folyton változó környezeti hatásoknak a naprakész ismerete széles körű kutatásokon alapul. E kötet azokat az eredményeket ismerteti, amelyek az elmúlt tíz év során a legtöbb új alapismerettel szolgáltak.

A Balaton kutatásának anyagi hátterét az 1960–70-es években országosan kiemelt programok biztosították, majd az 1980–90-es években a Miniszterelnöki Hivatal, a 2000-es évek közepén pedig több kormányzati szerv járult hozzá a kutatási feltételek biztosításához. A kutatásokat a Magyar Tudományos Akadémia kiemelten kezelte és koordinálta évtizedek óta, a témakör áttekintésére több konferenciát rendezett. Az MTA honlapján rendszeresen megtalálhatók a tó állapotát érintő közérdekű információk. A kutatási témákat jóváhagyott középtávú kutatási terv foglalta keretbe. Az elmúlt időszakban évente jelentek meg a Balaton kutatásának újabb tudományos eredményeit közlő kötetek, amelyek az utóbbi években felkerültek a Magyar Tudományos Akadémia honlapjára is (www.mta.hu).

Köztudott, hogy a Balaton vízminősége évek óta kiváló. Ehhez az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet több évtizedes eredményes munkája jelentősen hozzájárult.

A Balaton vízminősége, jelenlegi ökológiai egyensúlyban lévő élővilága nagyon könnyen károsodhat, ennek számos példája ismert. A megbomlott egyensúly helyreállításához több év munkájára és megfelelő anyagi forrásra van szükség, többre, mint amennyi a kár megelőzéséhez szükséges. A tó egészséges állapotának fenntartásához nélkülözhetetlen a folyamatos hidrobiológiai, ökológiai monitorozás és a széles körű kutatómunka. A kutatás szempontjából kieső évek nem pótolhatók, szakszerű kutatások nélkül pedig a tóban lezajló folyamatok jellege, iránya nem ismerhető meg.

A természetes víztest állapota csak hathatós védelemmel lehet állandó. Több tényező, köztük a globális klímaváltozás előre nem látható hatásai azt megváltoztathatják. Mind a jelenlegi – igen kedvező –

vízminőségi állapot megőrzése, mind a tó biológiai válaszreakcióinak megismerése és értelmezése, a változások kedvező irányba terelése, jogos igény.

Feladatunk a Balaton jó vízminőségét és egészséges élővilágát a jövő nemzedékek számára is biztosítani.

A kötet összefoglaló tanulmányai mind a döntéshozók, mind a szélesebb szakmai közvélemény, és a Balaton sorsát szívükön viselők érdeklődésére számot tarthat. A korábbi kötetekhez hasonlóan haszonnal forgathatják oktatási intézmények hallgatói is.

Tihany, 2009. november

Bíró Péter
akadémikus

A BALATONI FITOPLANKTON NITROGÉNIGÉNYE ÉS A KÜLÖNBÖZŐ NITROGÉNFORRÁSOK JELENTŐSÉGE

Présing Mátyás¹, Kenesi Gyöngyi¹, Hesham M. Shafik¹,
Spröber Péter¹, Kovács W. Attila¹, Takátsy Anikó¹ és Tom Preston²

¹MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

²Scottish Universities Environmental and Research Centre, Glasgow

Összefoglalás. Az utóbbi évtized Balatonkutatásainak keretében ¹⁵N-technika felhasználásával meghatároztuk a tó fitoplanktonjának nitrogénfelvételét és nitrogénkötését. Megállapítottuk, hogy a leginkább preferált és a legnagyobb mennyiségben felvett nitrogénforma az ammónium, amit a karbamid és a nitrát követ. A fitoplankton legfontosabb nitrogénforrása a tóban újratermelődött ammónium, amelynek döntő hányada a vízoszlopban képződik. A vízfolyásokból származó külső nitrogénterhelés nyáron, a legkritikusabb időszakban, szinte elhanyagolható. Ősztől tavaszig az újratermelődésből és a vízfolyásokból származó nitrogén együttesen elegendő az elsődleges termelés nitrogénigényéhez, de nyaranta ez kevés lehet. Ekkor egyetlen forrásként a légköri nitrogén áll rendelkezésre, amely kizárólagos versenyelőnyt jelent a nitrogénkötő cianobaktériumok számára.

A balatoni fitoplankton nitrogénkötését a tóban előfordulóknál magasabb koncentrációban hozzáadott nitrát, és erőteljesebben az ammónium csökkenti. *C. raciborskii*-val végzett kísérleteink a terepiekhez hasonló eredményekre vezettek. A hozzáadott ammónium a sejtek nitrogéntartalmától függően csökkentette a nitrogénkötést. Foszforhiányos közegben a csak N₂-kötő, vagy nitráttal ellátott tenyészetek e két nitrogénforma asszimilációjának fokozott foszforigénye miatt kisebb biomasszát képesek létrehozni, mint az ammónium nitrogénforráson élők. A nitrogénkötő cianobaktériumok káros túlburjánzásának megakadályozása és dominanciájuk visszaszorítása a tóba jutó foszfor visszatartásával és a nitrogénterhelés csökkenésének elkerülésével lehetséges.

Bevezetés

Az 1994-es utolsó nagy kékalgaprodukciónál óta a Balaton vízminősége tartósan megjavult. A nyári fitoplankton társulások meghatározói azonban továbbra is a nitrogénkötő kékalgák, vagy más néven cianobaktériumok. A külső foszforterhelés csökkenésével együtt a tóba jutó nitrogén is kevesebb lett és a nitrogén/foszfor arány csökkent. A foszforlimitált tóban előfordulhatnak nitrogénhiányos időszakok (*Présing és Spröber 2001*), és ez nyáron a légköri nitrogén kötésére képes cianobaktériumok elszaporodásának kedvez. A kétségtelen vízminőség

javulás ellenére továbbra is fontosnak és indokoltnak tartottuk és tartjuk a tó, ill. a cianobaktériumok nitrogénforgalmának kutatását.

Az első nitrogénforgalmi mérések a Balaton vizében és üledékében folyó nitrogénkötés, nitrifikáció és denitrifikáció megállapítását célozták (Oláh és Tóth 1987, Pekár és mtsai 1989), amelyekhez az akkoriban elterjedt ún. acetilén technikát alkalmazták. Az egymásba is átalakuló, különböző nitrogénformák tavon belüli bonyolult forgalmának egyes részei – mint például az algák nitrogénfelvétele, vagy az ammónium újratermelődése – csak stabilizotóp (^{15}N) jelöléssel mérhetők. Mint később kiderült, a nitrogénkötés és a denitrifikáció nagysága is csak ezzel a módszerrel állapítható meg pontosan.

Ezekben a kutatásokban igazi áttörést a kilencvenes évek közepétől intézetünkben működő tömegspektrométer hozott, amely lehetővé tette az ^{15}N technika alkalmazását. Kísérleteinkben sikerült meghatározni, hogy a balatoni fitoplankton milyen nitrogénformákat, milyen környezeti körülmények között, milyen ütemben és mennyiségben képes asszimilálni. Nitrogénfelvételi eredményeink és a külső terhelési adatok szerint nyáron, a fitoplankton által a vízből felvett nitrogénnek csak kisebb része érkezik külső forrásokból, döntő hányada a tavon belüli újratermelődésből kell, hogy származzon. Erről azonban egyetlen mért adattal sem rendelkezünk. Ismerete pedig kulcsfontosságú, hiszen ez nyújthat támpontot az algapopulációk nitrogénellátásáról és az esetleges nitrogénhiányról. A mérésekhez szükséges stabilizotóp-technika alapvetően rendelkezésünkre állt, de még sok módszertani problémát, mint pl. ammónium kinyerését és mérhetővé tételét, meg kellett oldanunk. A tó külső nitrogénterhelésének további része, és egyben a nitrogénkötő kéalgák döntő versenyelőnye, a nitrogénkötés meghatározása is bizonytalan volt. A rendelkezésre álló acetilén redukciós eljárás, a módszer természetéből és hangsúlyozottan nem a működtetők hibájából adódóan, többszörösen alul- vagy felülbecsülheti a valódi értékeket. Érthető, ha az egyszerűbb és olcsóbb acetilén redukciós eljárást nem sokkal felfedezése után (Graham és mtsai 1979), de különösen az utóbbi évtizedekben (Montoya és mtsai 1996) csak a $^{15}\text{N}_2$ -módszerrel kalibrálva ajánlották használni. Munkánk során sikerült kidolgoznunk és hazánkban először alkalmaznunk a cianobaktériumok N_2 -kötésének nehéznitrogén ($^{15}\text{N}_2$) jelzéssel alapuló mérési módszerét. Meghatároztuk a Balaton egyes medencéiben a fitoplankton által

megkötött nitrogén mennyiségét, a különböző nitrogénformák, valamint a foszfor hatását a fitoplankton nitrogénkötésére és szaporodására.

A Balaton nitrogénforgalmának megismerése mellett, a cianobaktériumok versenyképességének megértéséhez a terepi méréseken kívül laboratóriumi kísérletek is szükségesek. A foszforral jól ellátott vagy a foszforlimitált körülmények befolyásolhatják az egyes nitrogénformák asszimilációját, az oldott nitrogénformák felvételének és a légköri nitrogén kötésének viszonyait. Ezért folyamatos algatenyésztő berendezésekkel olyan kísérletsorozatot végeztünk, amelyben az eddigi legnagyobb vízvirágzást okozó *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya et Subba Raju nitrogénkötő kékalga faj növekedését vizsgáltuk különböző foszfor- és nitrogénellátás mellett. A kemosztát berendezések ilyen jellegű használata stabilizotóp-technikával párosítva teljesen új megközelítésnek tekinthető.

Anyag és módszer

Mintavétel és kísérleti területek

A kísérletekhez szükséges víz- és üledékmintákat minden esetben a tó medencéinek közepén, csőmintavevővel vettük. A vízmintákat zooplankton hálón azonnal átszűrjük és az üledékmintákhoz hasonlóan a tóvíz hőmérsékletén, sötétben tartva, további feldolgozásra laboratóriumba szállítottuk.

A fitoplankton N-felvételének és N₂-kötésének mérése

A különböző nitrogénformák (ammónium, karbamid, nitrát) felvételének mérésénél ¹⁵N izotóptechnikát alkalmaztunk. A környezeti koncentrációktól és a várható felvételi sebességtől függően vagy az ún. nyomjelzéses (tracer), vagy a telítési kinetikán alapuló (Michaelis-Menten) módszerrel dolgoztunk (Présing és mtsai 2003, 2004). A mintákat klímakamrában a Balaton-víz hőmérsékletén, különböző fényintenzitás (0-500 μmol m⁻²sec⁻¹) mellett inkubáltuk. Az inkubációs idők hossza az évszaktól, a hőmérséklettől, valamint a vizsgált nitrogénforma felvételi sebességétől függően 20 perc és 2 óra között változott. Az inkubációs időket és ¹⁵N-hozzáadást úgy választottuk, hogy az algákban a turnover időnél rövidebb idő alatt, koncentrációfüggő izotópdúsulást mérjünk. Az algák nitrogénkötésének mérésekor a zárt kísérleti edények légtérét 3-5 atom%-ra dúsítottuk ¹⁵N₂-nel, és a mintákat állandó keverés mellett a fentiekhez hasonlóan inkubáltuk, majd

meghatároztuk a légtér és az algák nitrogéntartalmát és ^{15}N %-át. A tápelemek hatását a N_2 -kötésre úgy vizsgáltuk, hogy az egyes medencék vizéhez $200 \mu\text{g l}^{-1}$ NH_4^+ -N-t, NO_3^- -N-t vagy PO_4^{3-} -P-t adva különböző idejű inkubációk után mértük a fitoplankton N_2 -kötését és szaporodását (Kenesi és mtsai 2009).

A globál sugárzási adatokból, a kísérletek idején mért extinkciós koefficiensekből és a felvételek, ill. a kötés fényfüggésének paramétereiből számoltuk az egy négyzetméter feletti vízoszlop napi nitrogénfelvételét és kötését (Présing és mtsai 2004).

Az ammónium újratermelődés meghatározása vízben és üledékben

Nyomjelzéses mérési módszerrel a vízmintákat $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ -dal dúsítottuk. A megfelelő inkubációs idők és ^{15}N hozzáadás lehetővé tették, hogy az algákban mérhető izotópdúsulást, a Balaton-vízben pedig értékelhető izotóphígulást kapjunk, amelyekből a vízoszlopban folyó ammónium regeneráció kiszámítható. A homogenizált üledéket a KCl-os kioldású pórúsvíz ammóniumkoncentrációjának 5 és 10 atom% közötti értékével szintén $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ -dal dúsítottuk, és a megfelelő inkubálás után az izotóphígulásból számoltuk az ammónium újratermelődését (Présing és mtsai 2002). A Balaton-vízből és a pórúsvízből is mikrodiffúzióval nyertük ki az ammóniumot.

A C. raciborskii szaporodása különböző tápanyag ellátottságnál

A kísérleteket a Balatonból izolált *Cylindrospermopsis raciborskii* (ACT 9502) kékalga törzsszel, folyamatos tenyésztésre szolgáló, átfolyó rendszerű, 3000 ml térfogatú lombikokban, kemosztátokban végeztük, amelyeket $23\text{-}26^\circ\text{C}$ -on, folyamatos $120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ megvilágítás mellett tartottunk. A tápoldat $300 \mu\text{g/l}$ ammónium-, ill. nitrát-N-t és bőséges (5 mg/l) PO_4 -P-t tartalmazott (Présing és Spröber 2001). Másik kísérletsorozatunkban a két nitrogénforma befolyó koncentrációja 4 mg N/l , a foszforé pedig limitáló, csak $200 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ volt. Egyensúlyi állapotokban ($0,25\text{-}1,5 \text{ nap}^{-1}$) mértük a tápanyagok és a klorofill-*a* koncentrációját, meghatároztuk a szárazsúlyt, az összes nitrogén- és széntartalmat, valamint az algatenyészetek N_2 -kötését (Présing és mtsai 2005, 2007, Kenesi és mtsai 2006).

A különböző kísérleteinkből származó valamennyi minta partikulált nitrogén- és széntartalmát, valamint $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ arányát egy automata minta-előkészítővel ellátott tömegspektrométerrel (Automated Nitrogen/Carbon

Analyzer - Mass Spectrometer, ANCA-MS System, Europa Scientific, UK) határoztuk meg.

Eredmények

A balatoni fitoplankton nitrogénfelvétele

Egész éves kísérletsorozatokkal, több éven át megismételt mérések eredményei szerint a felvételi sebesség – a fitoplankton mennyiségének megfelelően – mindig a keleti medencében volt alacsonyabb. Egyedül az ammónium felvétele, és csak júliustól haladta meg az $1,0 \mu\text{g N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$ értéket (1. táblázat). Tavasztól késő nyárig az ammónium felvételi sebessége és felvett mennyisége volt a legnagyobb. Februárban és márciusban azonban esetenként a nitrát felvételi sebessége és a napi felvett nitrát mennyisége is meghaladhatta a többi nitrogénformáét. A karbamid felvételi sebessége és az algák által felvett mennyisége is az ammóniumnál és nitrátnál megállapított értékek közé esett. A féltelítési állandók mindhárom nitrogénformánál a környezeti koncentrációkhoz hasonló nagyságúak voltak. A maximális felvételi sebesség, a klorofill-*a*-ra vonatkoztatott maximális felvételi sebesség, valamint a maximális felvételi sebesség és a féltelítési konstans hányadosa is mindig az ammóniumnál volt a legmagasabb. Ezt követték sorrendben a karbamid, majd a nitrát felvételi jellemzői. A klorofill-*a*-ra vonatkoztatott maximális felvételi sebesség kiemelkedően nyár elején a legnagyobb. Ezután az augusztus végi, eleji, majd az áprilisi értékek következnek. A maximális felvételi sebesség és a féltelítési konstans hányadosa szintén júniusban volt az átlagnál magasabb.

A Keszthelyi-medencében a felvételi sebességek sokkal magasabbak voltak, különösen a nyár második felétől, mint a Siófoki-medencében (1. táblázat). Néhány kisebb eltérést kivéve azonban az ott elmondott általános jellemzők és azok változásai itt is igazak. Így pl. a nitrát felvétele tavasszal kevésbé volt jelentős a nyugati medencében, és jóval az ammónium felvételi sebessége és felvett mennyisége alatt maradt. A klorofill-*a*-ra vonatkoztatott maximális felvételi sebesség, valamint a felvételi görbék meredeksége augusztus végén volt a legmagasabb, majd az augusztus eleji és a júniusi értékek következtek.

Mindhárom nitrogénforma felvételének fényfüggése exponenciális telítési görbét követett. Általában az ammónium felvétel fényigénye volt a legalacsonyabb (legkisebb fényadaptációs paraméterek), amelyet a karbamid és a nitrát követett. Az I_K értékek augusztustól szeptemberig

1. táblázat: A fitoplankton nitrogénfelvételének jellemző értékei a Siófoki- és a Keszthelyi medencében (2002)

Siófoki-medence										Keszthelyi-medence										
Dátum	Kl- α	N- formák	S _n	K _s	V _{max}	V _{max} /Kl	V _{max} /K _s	V _{max} /K _s	v	mg N/m ² /nap	Dátum	Kl- α	N- formák	S _n	K _s	V _{max}	V _{max} /Kl	V _{max} /K _s	v	mg N/m ² /nap
02.21.	3,1	A	3,9	6,7	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	6,0	03.19.	6,3	A	4,0	7,9	2,9	0,5	0,4	1,0	41,7
		N	61,1						1,0	45,5			N	3,4	6,2	0,2	0,0	0,0	0,1	2,3
		K	29,7						0,0	1,1			K	16,8	9,4	0,7	0,1	0,1	0,5	18,0
03.12.	5,3	A	6,5	5,2	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	16,9	04.02.	10,5	A	4,9	4,3	4,2	0,4	1,0	2,2	95,2
		N	25,2			0,0	0,0	0,3	0,3	15,0			N	2,4	3,6	0,6	0,1	0,2	0,2	7,8
		K	10,0	29,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2			K	1,0	2,5	1,1	0,1	0,4	0,3	11,9
04.02.	2,5	A	4,5	1,7	0,6	0,2	0,3	0,4	0,4	24,2	05.02.	5,0	A	6,0	1,4	1,4	0,3	1,0	1,2	48,9
		N	4,8	2,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	6,6			N	3,6	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	4,2
		K	11,6						0,2	7,9			K					0,4	13,9	
04.29.	3,6	A	5,1	3,1	1,3	0,4	0,4	0,8	0,8	48,2	06.24.	14,2	A	8,3	4,4	9,8	0,7	2,2	6,4	272,5
		N	3,2	1,4	0,2	0,0	0,1	0,3	0,3	13,7			N	4,6	0,5	0,4	0,0	0,9	0,3	11,3
		K	11,3					0,2	0,2	11,6			K	21,5	1,4	1,0	0,1	0,7	0,9	35,2
06.24.	1,2	A	8,7	1,6	1,5	1,2	0,9	1,2	1,2	74,1	07.22.	45,6	A	5,9	4,0	16,1	0,4	4,0	9,6	407,7
		N	4,8	1,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1			N	11,6	11,6	1,1	0,0	0,9	0,8	27,2
		K	44,2	0,7	0,5	0,4	0,8	0,5	0,5	27,6			K	4,0	4,0	3,2	0,1	0,7	1,4	51,3
07.22.	7,9	A	4,5	2,3	1,5	0,2	0,7	1,0	0,2	8,7	08.5.	25,3	A	7,7	8,2	11,2	0,4	1,4	5,4	230,1
		N	4,0	3,0	0,3	0,0	0,1	0,2	0,2	59,9			N	2,5	4,0	0,4	0,0	0,1	0,2	5,2
		K	16,7	2,8	0,7	0,1	0,3	0,6	0,6	12,6			K	22,3	11,8	3,6	0,1	0,3	2,4	88,8
08.05.	6,9	A	7,2	5,5	2,8	0,4	0,5	1,6	1,6	96,0	08.26.	31,2	A	7,7	1,3	23,4	0,8	18,6	20,1	853,5
		N	4,4	3,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	6,3			N	2,0	2,0	3,0	0,1	1,5	1,5	48,1
		K	17,2					0,4	0,4	19,4			K	2,0	2,6	8,0	0,3	3,1	3,5	130,6
08.27.	9,7	A	8,5	3,1	5,1	0,5	1,6	3,7	3,7	220,6	KI- α , S _n – a klorofill- α és a nitrogénformák (A = NH ₄ -N, N = NO ₃ -N, K = Karbamid) vízben mért koncentrációja (μ g/l), K _s – feltöltési állandó (μ g/l), V _{max} – maximális felvételi sebesség, v – aktuális felvételi sebesség (μ g N l ⁻¹ óra ⁻¹)									
		N	4,0	3,4	0,3	0,0	0,1	0,2	0,2	7,8										
		K	22,2					0,9	0,9	49,4										

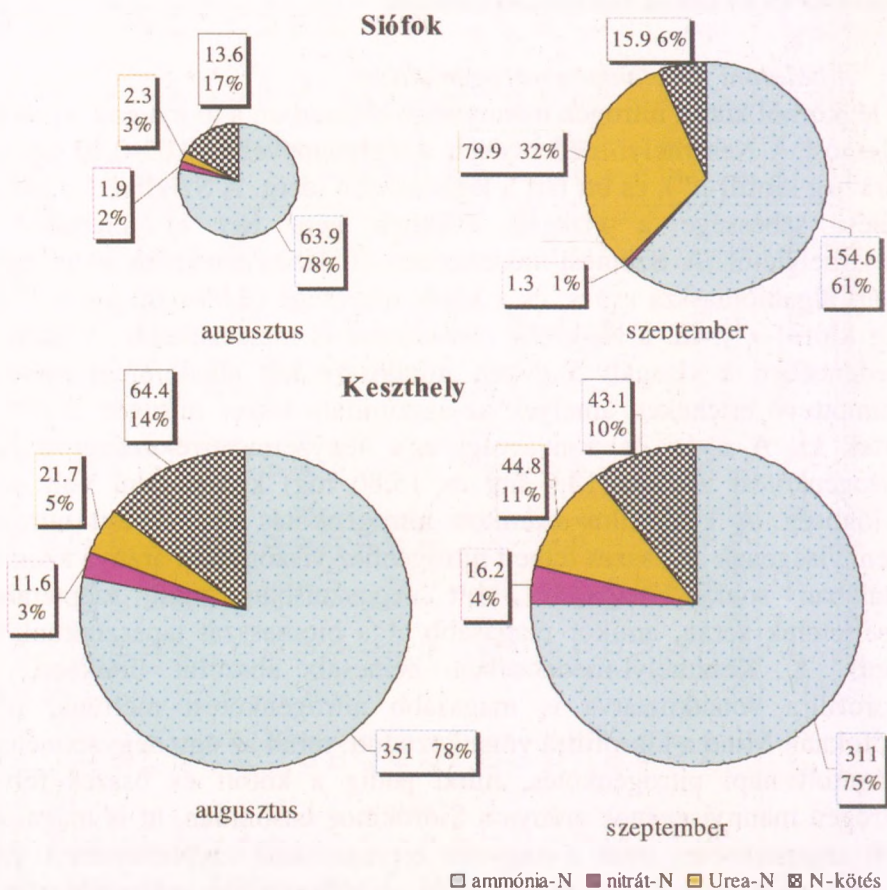
minkét medencében csökkenek. A sötétben mért felvételek között mindig az ammóniumé volt a legmagasabb, amely az optimális megvilágításon mért felvétel sebességének 60-80%-a körül változott. Ez az érték a karbamidnál 40-60%, a nitrátnál pedig 10-30% körül volt.

A mért felvételi sebességeket és azok fényfüggését is figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy nyáron a fitoplankton mindkét medencében ammóniumból vette fel a legnagyobb mennyiséget (1. ábra). Kivétel nélkül ezt követte a karbamid, majd a nitrát felvétele. Méréseink és számításaink ellenőrzésére a nitrogénfelvételi sebességeket (és kötési adatokat) átszámítottuk a tó egy négyzetméter feletti vízoszlopának napi felvételére, hogy az elsődleges termelési adatokkal összevethetők legyenek. A kapott szén/nitrogén felvételi arányok általában a Redfield számhoz (5,6) közeli értékeknek adódtak.

A balatoni fitoplankton nitrogénkötése

A légkörből kötött nitrogén mennyisége elsősorban a tó nyugati területein jelentős. A Keszthelyi-medencében a legintenzívebb ($0,05-0,10 \mu\text{g N l}^{-1}\text{óra}^{-1} \mu\text{g klorofill-}a^{-1}$), és ott tart a leghosszabb ideig. A Szigligeti-medence kötési sebessége a vizsgált években nem tért el jelentősen a Keszthelyiétől. A Szemesi-medencében általában rövidebb ideig tart a nyári algabiomassza csúcs, és a kötés sebessége ($0,05-0,06 \mu\text{g N l}^{-1}\text{óra}^{-1} \mu\text{g klorofill-}a^{-1}$), ill. a N_2 -kötők részeseződése is mérsékeltebb. A Siófoki-medencében a vizsgált 5 évben mindössze két alkalommal mértünk számottevő értékeket, amelyek az asszimilált összes nitrogén 2-16%-át tették ki. A nyári és a nyárvégi egy négyzetméterre számított napi nitrogénkötési adatok (13,6 mg és 15,86 mg) között nem volt nagy különbség. A klorofillra számított nitrogénkötés és a kötött nitrogén mennyiségének az összes felvett nitrogénhez viszonyított aránya azonban általában sokkal magasabb volt augusztusban, mint szeptemberi kísérleteink során, amikor magasabb alga biomasszát tapasztaltunk (1. ábra). A Keszthelyi-medencében nemcsak abszolút értékben, de klorofillra vonatkoztatva is magasabb nitrogénkötést mértünk, mint Siófoknál. Mind a klorofillra vonatkoztatott, mind az egy négyzetméterre számított napi nitrogénkötés, mind pedig a kötött és összes felvett nitrogén mennyiségének aránya a Siófokihoz hasonlóan, itt is magasabb volt augusztusban, mint a nagyobb biomasszájánál szeptemberben. Míg nyáron gyakran az ammónium után a legfontosabb nitrogénforrás a karbamiddal váltakozva a légköri nitrogén volt, szeptemberben a N_2 már

az ammónium és/vagy a karbamid után következett. Vizsgáltuk, hogy NH_4^+ , NO_3^- és PO_4^{3-} hozzáadása ($100\text{-}200 \mu\text{g l}^{-1}$) hogyan befolyásolja a N_2 kötést és a fitoplankton szaporodását. Néhány órás kísérletekben a NO_3^- és a PO_4^{3-} hatása kevésbé érvényesült, szemben az NH_4^+ -mal, amely a vizsgálat időpontjától függetlenül mind a négy medencében 50-60%-ára csökkentette a N_2 kötést. Az inkubációs idővel ez a hatás fokozódott. A 2. nap után már a foszfor N_2 -kötést segítő, és a NO_3^- kötést gátló hatása is kimutatható volt. PO_4^{3-} és NH_4^+ együttes hozzáadása esetén inkább az NH_4^+ gátlása érvényesült. A vizsgálat időpontjától és helyétől függetlenül, az összes algabiomasszát a N és P együttes hozzáadása növelte meg a legnagyobb mértékben. Leggyorsabban az NH_4^+ és PO_4^{3-} hatása volt kimutatható.



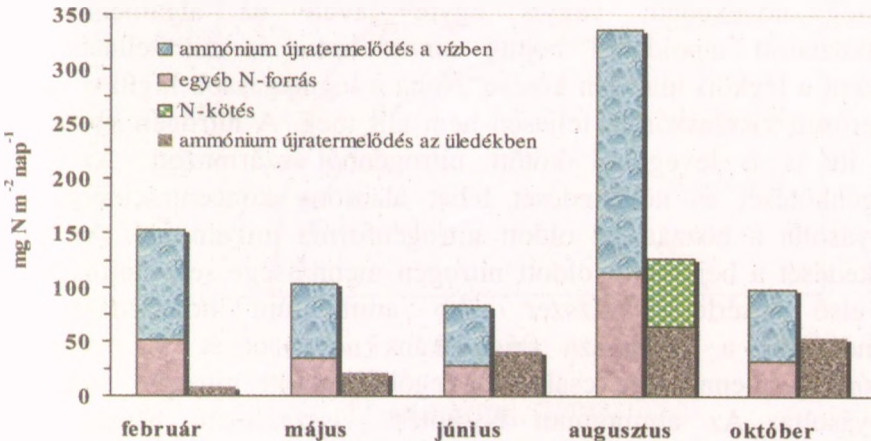
1. ábra. A fitoplankton nitrogénfelvételének mennyisége ($\text{mg N m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) és a különböző nitrogénformák aránya (%) a Siófoki- és a Keszthelyi-medencében 2003-ban

A belső nitrogénterhelés. Az ammónium újratermelődése a vízszlopban

A Siófoki-medence vízében, májusban és augusztusban az ammónium-felvétel sebessége mintegy $2 \mu\text{g NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$, az ammónium újratermelődéséé pedig $1 \mu\text{g NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$ körül volt. Júniusban ennél jelentősen magasabb felvételi (kb. $6 \text{ NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$) és újratermelődési (kb. $10 \mu\text{g NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$) sebességeket mértünk. Az ammónium újratermelődése tehát a felvételi sebességek 50-90 %-a között változott. A Keszthelyi-medencében júniusban $4,5 \mu\text{g NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$ felvétel mellett, meglepően alacsony ammónium újratermelődési értéket ($0,5 \text{ NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$) találtunk. Az augusztusi kékalga tömegprodukciónak kezdetén az ammónium felvételi sebessége ($17,8 \mu\text{g NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$) és újratermelődése ($21,2 \mu\text{g NH}_4\text{-N l}^{-1}\text{óra}^{-1}$) is jelentősen magasabb volt, mint az addig mért értékek.

Az ammónium újratermelődése az üledékben

A tél végi kísérletekben, amikor az üledék felső 5 cm-ének hőmérséklete $5 \text{ }^\circ\text{C}$ körül volt, a Siófoki- és a Keszthelyi-medencében is viszonylag alacsony ammóniumtermelődést tapasztaltunk ($0,13$, ill. $0,16 \mu\text{g cm}^{-3}\text{nap}^{-1}$). Ez egy négyzetméter területű 5 cm mély üledékrétegben napi 6-8 mg ammóniumtermelődésnek felel meg (2. ábra), ami naponta mintegy 2, ill. 3 μg ammónium eredetű nitrogénellátást biztosíthatott a Siófoki- és a Keszthelyi-medence 3,5, ill. 2,5 m mély vizének minden literébe.



2. ábra. A fitoplankton nitrogénigénye és az üledék ammónium újratermelődésének összevetése a Balaton Keszthelyi-medencéjében 2001-ben

Tavasszal, amikor a hőmérséklet 8-15 °C-ra nőtt, az ammónium-termelődés a keleti, ill. nyugati medencében 0,4, ill. 0,6 $\mu\text{g N cm}^{-3}\text{nap}^{-1}$ értékre emelkedett (mintegy 20, ill. 30 $\text{mg N cm}^{-3}\text{nap}^{-1}$), ami naponta mintegy 5, ill. 11 μg ammónium eredetű nitrogénellátást biztosíthatott literenként a medencék vizébe.

Júniusban mindkét medence átlaghőmérséklete 20 °C körüli volt, és az ammóniumprodukciónapi 1 $\mu\text{g N/cm}^3$ körül változott. Augusztusra a Siófoki-medence üledéke általában 23-24 °C-ra melegedett, de nem találtunk szignifikáns különbséget a júniusi és az augusztusi eredmények között. Ezzel ellentétben a Keszthelyi-medencében (25-26 °C) csaknem megkétszereződött az ammóniumregeneráció sebessége (0,8 $\mu\text{g N/cm}^3\text{nap}^{-1}$ -ről 1,3 $\mu\text{g N cm}^{-3}\text{nap}^{-1}$ -ra). Ez már naponta 65 mg N/m^2 termelődést és literenként több mint 25 μg ammónium ellátást jelenthet.

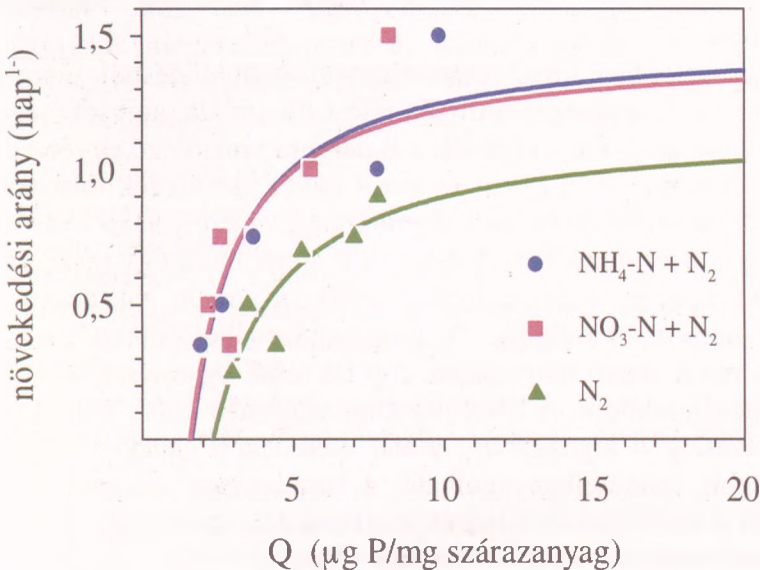
A tavaszi felmelegedés idején az inkubálást az aktuálisnál 5 és 10 °C-kal magasabb hőmérsékleten végezve, a Siófoki-medencében mintegy háromszoros, a Keszthelyiben pedig több mint négyszeres ammónium újratermelődési sebességet tapasztaltunk.

A C. raciborskii N₂-kötése és szaporodása

Bőséges foszforellátás és optimálisnak tartott egyéb környezeti feltételek mellett a *C. raciborskii* egyformán jól növekedett nitrát és ammónium tápoldaton. Az algák a hozzáadott mindkét oldott nitrogénformát minden hígítási aránynál szinte maradéktalanul felvették, a hiányzó nitrogént pedig a levegőből kötötték. Ahogy az átfolyási sebesség növekedett, vagyis egyre javult az algamennyiségre vonatkoztatott tápoldattal bejutó ammónium- és nitrátellátás, úgy csökkent a légköri nitrogén kötése. Noha a legmagasabb hígítási rátánál már erősen visszaszorult, teljesen nem állt meg. A nitrogén kb. 30%-a még itt is a levegőből kötött nitrogénből származott. Az algák nitrogénkötését és növekedését tehát alacsony koncentrációban nem befolyásolta a hozzáadott oldott nitrogénforma milyensége. Az algák növekedését a bejuttatott oldott nitrogén mennyisége sem befolyásolta. Az első kísérletnél tízszer több ammónium hozzáadása sem eredményezte a biomassa szignifikáns növekedését. A hozzáadott ammónium mennyisége csak a levegőből kötött nitrogén nagyságát befolyásolta. Az ammónium N₂-kötést visszaszorító hatása akkor érvényesült legjobban, ha azt löketszerűen, háromnaponként adtuk a tenyészetekhez. A nitrogénkötés a löket hozzáadása után kb. 4 órával

csökkent, illetve állt le a $0,35-0,65 \text{ nap}^{-1}$ hígítási arányoknál és mintegy 8 óra múlva a $0,75$ -nél, majd a hígítási aránytól függően 8-24 óra múlva állt vissza a löklet előtti kötés szintjére.

A *C. raciborskii* foszforlimitált tenyészetekben ettől eltérő eredményeket kaptunk. A legkisebb növekedési sebességet a csak nitrogénkötésből élő algák mutatták. A maximális növekedés (Monod modell) az ammónium ellátottságú tenyészetekben csaknem kétszer akkora volt ($\mu_{\max} = 1,8$), mint a légköri nitrogénkötés esetén ($\mu_{\max} = 0,92$). A nitrátnál kapott maximális növekedési sebesség az előbbi két érték közé esett ($\mu_{\max} = 1,32$). A „nulla növekedéshez”, vagyis algák fenntartásához szükséges belső foszfortartalom (Droop modell) alacsonyabb volt az ammóniummal ($Q_0 = 1,61$) és nitráttal ($Q_0 = 1,56$) is ellátott tenyészetekben, mint a csak légköri nitrogénkötésből élőkénél ($Q_0 = 2,32$). Az ammónium és nitrát ellátású tenyészetekben szignifikánsan nagyobb maximális növekedési sebességet tapasztaltunk ($\mu^*_{\max} = 1,5$ és $1,45$), mint a csak nitrogénkötésből élő ($\mu^*_{\max} = 1,2$) algáknál (3. ábra). A növekedési paraméterek értékei megerősítik azt, amit a biomasszák változásai is mutatnak; az oldott nitrogénformákkal ellátott *C. raciborskii* tenyészetek azonos foszforkoncentráció mellett nagyobb biomasszát voltak képesek fenntartani.



3. ábra. A szárazanyagra vonatkoztatott belső foszforhányad (Q) értékei az egyes állandósult állapotoknál

Következtetések, javaslatok

A balatoni fitoplankton nitrogénfelvételének főbb jellemzői alapvetően nem változtak az utóbbi években. Az aktuális és ideális tápanyag ellátásnál mérhető maximális felvételi sebességek az algák biomasszájával együtt a Siófoki-medencétől a Keszthelyi-medence felé nőttek. Szinte kivétel nélkül mindig a legkevesebb energiaigénnyel felvehető ammónium volt a preferált nitrogénforrás, amit a karbamid és a nitrát követett. A V_{\max} , a $V_{\max}/\text{klorofill-}a$, a V_{\max}/K_s , valamint a sötétben mért felvétel általában az ammóniumnál volt a legmagasabb, így az asszimilált nitrogénformák közül is általában az ammóniumé volt a legnagyobb mennyiség. Esetenként télen a Siófoki-medencében több volt a felvett nitrát mennyisége, mint az ammóniumé. Preferált nitrogénforrásnak ekkor is az ammónium tekinthető, hiszen ilyenkor a nitrát koncentrációja nagyságrenddel meghaladta ammóniumét. Nyár végére a karbamid részesezése általában megnőtt. Valószínűleg az algacsúcs összeomlásának idején ebből a forrásból már több állt rendelkezésre. Az I_K értékek augusztustól szeptemberig történő szignifikáns csökkenése minden valószínűség szerint a cianobaktériumok előretörésével és azok alacsonyabb fényigényével magyarázható. Az algák nitrogénigénye nyáron a cianobaktérium dominanciájú fitoplankton elszaporodásakor és gyakran a tavaszi algacsúcs idején volt a legnagyobb.

A vízoszlopban folyó ammónium újratermelődésből származhat a fitoplanktonnak szükséges nitrogén fele-kétharmada, ami jól megegyezik a nemzetközi eredményekkel, ill. a Balatonra vonatkozó egyéb adatokkal (Glibert és mtsai 1982, Vörös és mtsai 1996). Az üledék felső rétegében tél végén–tavasszal termelődő ammónium-N mennyisége nyár derekára akár meg is tízszeresződhet. A képződött ammónium egy része az üledék felső részében és a vízoszlopban uralkodó aerob viszonyok mellett gyorsan nitráttá oxidálódik. A fitoplankton által felvett és a vízben található nitrát döntő hányadának forrása tehát ugyancsak a tavon belül képződött ammónium. A befolyásokból származó külső nitrogénterhelés ősztől tavaszig a legnagyobb, utána meredeken csökken és nyáron a legkevesebb, szinte elhanyagolható. A fitoplankton nitrogénfelvételének vizsgálati eredményei és a terhelési adatok szerint nyáron a fitoplankton nitrogénellátásának csak mintegy századrésze származik külső forrásokból. Ősztől tavaszig a két regenerációs forrásból (víz és üledék) és a befolyásokból származó nitrogén együttesen elegendő az elsődleges

termelés nitrogénigényéhez. A tavaszi és a nyári algacsúcok kialakulásakor megemelkedett nitrogénigény kielégítéséhez azonban a két újratermelés összesen is kevés lehet. Ráadásul nyáron, a tavaszi időszakkal ellentétben, ez nem egészül ki a vízfolyások nitrogénjével. Ekkor egyetlen forrásként csak a légköri nitrogén áll rendelkezésre, amely kizárólagos versenylőnyt jelent a nitrogénkötő cianobaktériumok számára.

A balatoni fitoplakton nitrogénkötése nem áll le oldott nitrogénformák jelenlétében. A nyáron előfordulóknál jóval magasabb koncentrációban hozzáadott nitrát, és még inkább az ammónium, a kötés visszaszorulását eredményezi. Az algák szaporodását leginkább a foszfor és ammónium együttes hozzáadása serkenti. Hasonló eredményre vezettek a *C. raciborskii*-val végzett laboratóriumi kísérleteink is. Bőséges foszforellátás esetén az algák szaporodását a hozzáadott oldott nitrogénforma milyensége és mennyisége sem befolyásolta. A hozzáadott ammónium a nitrogénkötés nagyságára volt hatással, amely nem állt le blokkolásszerűen, csak a sejtek nitrogéntartalmától függően csökkent. Foszforhiányos közegben a csak N_2 -kötő, vagy nitráttal ellátott tenyészetek, e két nitrogénforma asszimilációjának fokozott foszforigénye miatt, kisebb biomasszát képesek létrehozni, mint az ammóniumon élők. A nitrogénkötő cianobaktériumok káros túlbujánzásának megakadályozása és dominanciájuk visszazorítása a tóba jutó foszfor visszatartásával és a nitrogénterhelés csökkenésének elkerülésével lehetséges.

Irodalom

- Glibert P.M. (1982) Regional studies of daily, seasonal and size fraction variability in ammonium remineralization. *Marine Biology* 70: 209-222.
- Graham B.M., Hamilton R.D., Campbell N.E.R. (1980) Comparison of the Nitrogen-15 Uptake and Acetylen Reduction Methods for Estimating the Rates of Nitrogen Fixation by Freshwater Blue-Green Algae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 488-493.
- Montoya J.P., Voss M., Kahler P. & Capone D.G. (1996) A Simple, High-Precision, High-Sensitivity Tracer Assay for N_2 Fixation. *Applied Environmental Microbiology* 62: 986-993.
- Oláh J., Tóth L. (1987) Biológiai nitrogénkötés sekély tavakban. In: Jermy T. (Eds) *Biológiai tanulmányok*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 14: 191.
- Pekár F., Oláh J., Tóth L. (1989) Nitrifikáció halastavakban és természetes vizekben. II. Nitrifikáció a nyílt vízben és az üledékben. *Vízügyi Közlemények LXXI* (2).
- Vörös L., V.-Balogh K., Herodek S. (1996) Microbial food web in a large shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia* 339: 57-65.

Az összefoglaló alapjául szolgáló közlemények

- Présing M., Spróber P. (2001) A fitoplankton nitrogénfelvételének jellemzése és a belső nitrogénterhelés vizsgálata. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (eds) A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. Kiadja a MTA a Miniszterelnöki Hivatal megbízásából és támogatásával, Budapest, 43-50.
- Présing M., Spróber P., Shafik H.M., Herodek S. (2002) A fitoplankton nitrogénfelvételének jellemzése és a belső nitrogénterhelés vizsgálata II. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (eds) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. Kiadja a MTA a Miniszterelnöki Hivatal megbízásából és támogatásával, Budapest, 36-45.
- Présing M., Spróber P., Shafik H.M., Herodek S. (2003) A fitoplankton nitrogénfelvételének jellemzése és a belső nitrogénterhelés vizsgálata III. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (eds) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Kiadja a MTA a Miniszterelnöki Hivatal megbízásából és támogatásával, Budapest, 26-34.
- Présing M., Kovács A., H. M. Shafik, Kenesi Gy. (2004) A balatoni fitoplankton nitrogénigényének és a különböző nitrogénforrások jelentőségének vizsgálata. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (Eds) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 36-44.
- Présing M., Kovács W.A. Kenesi Gy., Vörös L. (2005) A balatoni fitoplankton nitrogénigényének és a különböző nitrogénforrások jelentőségének vizsgálata II. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (Eds) A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 36-45.
- Kenesi Gy., Présing M., Shafik H.M., Kovács W.A., Herodek S. (2006) A balatoni fitoplankton nitrogénigényének és a különböző nitrogénforrások jelentőségének vizsgálata III. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (Eds) A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 26-35.
- Présing M., Kenesi Gy., Shafik H.M., Kovács W.A., Herodek S. (2007) A *Cylindrospermopsis raciborskii* nitrogénkötő kékalga szaporodása különböző nitrogénforrásokon. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (Eds) A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 27-36.
- Kenesi Gy., Présing M. (2009) A fitoplankton N₂-kötése a Balaton eltérő trofitású medencében és annak változása tápanyagok hatására. In: Bíró Péter, Banczerowski J.-né (Eds) A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei. MTA Budapest.

OLDOTT SZERVESANYAGOK (DÖNTŐEN HUMINANYAGOK) SZEREPE A BALATON VÍZMINŐSÉGÉNEK ALAKÍTÁSÁBAN

V.-Balogh Katalin

MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

Összefoglalás. Az 1997–2008 közötti időszakban végzett kutatás célja az oldott szervesanyagok (döntően huminanyagok) és bomlástermékeik vízminőséget befolyásoló szerepének feltárása volt. A kutatás színtere elsősorban maga a Balaton volt, de kiterjedt az allochton huminanyag forrásnak minősülő befolyókra, kiemelten a Zala-folyóra, illetve az azon létesített Kis-Balaton tározókra. A kutatómunka a következő főbb területekre fókuszált. A szerves szén frakciók koncentrációjának tér- és időbeli változása a Balaton és a befolyók vizében. Talajok szervesanyag leadása a Kis-Balaton elárasztandó területén. Az üledék szerves szén frakcióinak koncentrációja a Balatonban. A Zala-folyó oldott szervesanyag hozama a hidrometeorológiai változások tükrében. Az oldott szervesanyagok fiziko-kémiai tulajdonságainak változása a Balatonban való tartózkodás során. A fényabszorpciós tényezők (színes szervesanyagok, lebegőanyagok, algák,) szerepe a víz alatti fényklíma alakításában. Oldott szervesanyagok mennyiségét csökkentő folyamatok: felületadszorpció, fotolízis, mikrobiális bontás (biológiai hozzáférhetőség). A fotolitikus bomlástermékek hatása (közvetlen és közvetett) a mikrobiális planktonszervezetekre. A DOC biológiai hozzáférhetősége és az ultraibolya sugárzás módosító szerepe.

Bevezetés

A Kis-Balatonon átfolyó Zala-folyó, – amely a Balaton befolyók általi vízutánpótlásának több mint 50%-át adja –, különösen az alsó tározó 1992-es elárasztása óta, jelentős mennyiségben szállít barna színű oldott szervesanyagokban (döntően huminanyagok) gazdag vizet a Balaton Keszthelyi-medencéjébe (V.-Balogh & Vörös 1996). A huminanyagok forrása a láptalajok 'valahavolt' növényei és a ma élő növényborítottság (V.-Balogh et al 1998, V.-Balogh et al 2006). Az oldott szerves(humin)anyagok (40% széntartalom) alapvető ökológiai jelentősége a szénforgalomban betöltött szerepben rejlik, elsődleges szubsztrátumként szolgálnak a baktériumok számára (Williamson et al 1999). Napjainkban egyre inkább felismerik, hogy a vizek egyik kritikus összetevője az oldott szerves szén (DOC), amely a fizikai, kémiai és biológiai folyamatok széles spektrumára van hatással. Ráadásul a napsugárzás, elsősorban annak ultraibolya tartománya, szerepet játszik felszíni vizekben a színes szervesanyagok (huminanyagok)

tulajdonságainak átalakulásában (Miller & Zepp 1995), miközben a biológiailag hozzáférhető szerves vegyületek mennyisége nő (Bertilsson & Allard 1996). Ugyanakkor toxikus oxigéntartalmú szabadgyökök is képződnek (Cooper et al 1989), melyek szintén hatással lehetnek a mikrobiális planktonra. A külső allochton szervesanyagok ellenállóbbak, míg a tóban termelődő autochton szervesanyagok turnover gyors, kevésbé „tettenérhető”. E folyamatok jelentősen befolyásolhatják a globális szén ciklust, és a kihatnak a vízminőségre. Ugyanakkor számos egyéb úton is befolyásolhatják a vízminőséget, a víz alatti fényklíma megváltoztatásával, komplexképző tulajdonságaikkal, stb. amelyek szintén hatással vannak a mikrobiális planktonszervezetek életfeltételeire. E folyamatokról alig rendelkezünk információval a Balatonra, ezért a kutatások célja volt széleskörű ismeretek szerzése az oldott szervesanyagok (döntően huminanyagok) és bomlástermékeik vízminőséget befolyásoló szerepéről a Balatonban.

Anyag és módszer

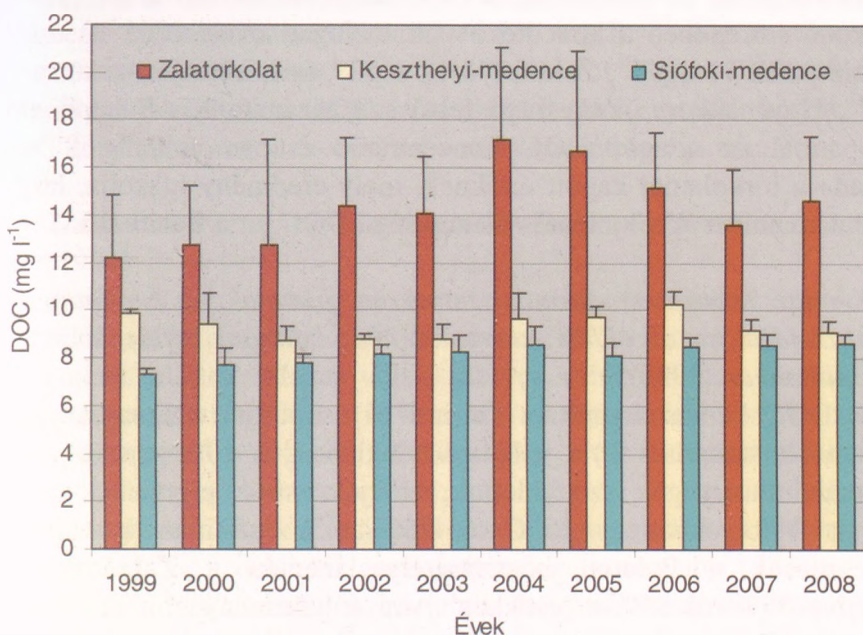
A felsorolás szintjén maradván, a kutatásokhoz a következő főbb módszertani és műszeres eszköztárat használtuk. Az összes, oldott és partikulált (TOC=DOC+POC) szerves szén koncentrációt Elementar High TOC szerves szén analizátorral mértük. A víz színintenzitását (Pt-egység) Shimadzu UV 160A spektrofotométerrel határoztuk meg. Az oldott szervesanyagok fluoreszcencia intenzitását Hitachi F-4500 fluoreszcens spektrofotométerrel mértük. Az oldott huminanyagokat, fulvosavakat és huminsavakat (HS=FA+HA) XAD módszerrel kis nyomású folyadékkromatográfiával izoláltuk. Az oldott szervesanyagok molekulatömeg szerinti frakcionálását frontális ultraszűrővel végeztük Amicon® 8400 keverőcella alkalmazásával. A víz alatti látható, vagy fotoszintetikusán aktív (PAR) sugárzás intenzitását síkfelületű (2π) szenzorral LI-COR típusú radiométerrel (LI-185B), majd később PUV 2500 radiométerrel mértük, mely utóbbi a víz alatti ultraibolya sugárzás (UV-A és UV-B) mérésére is alkalmas. A klorofill-a koncentrációt forró metanolos extrakcióval Shimadzu UV 160A spektrofotométerrel mértük. A hidrogénperoxid koncentrációt scopoletin-tormaperoxidáz módszerrel Hitachi F-4500 fluoreszcens spektrofotométerrel mértük. A bakterioplankton szaporodását radioizotópos (^3H -timidin) módszerrel követtük nyomon, a radioaktivitást LKB 1211 RACKBETA

folyadékszcintillációs számlálóval mértük. A DOC fotolízis közvetett hatását egy cianobaktérium, a *Cylindrospermopsis raciborskii* (ACT 9502), valamint egy zöldalga, a *Scenedesmus soói* (ACT 9710) laboratóriumi törzstenyészetével vizsgáltuk, szaporodásukat Hitachi F-4500 fluoreszcens spektrofotométerrel követtük nyomon. Laboratóriumi kísérletben vizsgáltuk a DOC felületadszorpcióját, bakteriális és fotolitikus bonthatóságát, és utóbbiak interakcióját. Statisztikai eljárásainkhoz Excel és OriginPro 7,5 programot használtunk.

Válogatás az 1997–2008 közötti időszak eredményeiből

Oldhatóság szerinti szerves szén frakciók koncentrációja a Balaton vizében (1999–2008)

A Balatonban az összes szerves szén (TOC) kisebb hányada (3-18%) partikulált (POC), következésképpen a döntő hányad oldott (DOC).



1. ábra. Az oldott szerves szén koncentráció (éves átlag januártól decemberig) évtizedes változása a Balatonban

A Zala-folyó torkolatában a DOC koncentráció a Kis-Balaton tározók elárasztását követően nőtt, és az éves átlag 2008-ban is 14 mg l⁻¹

volt. Az intervallum tág, télen 10 mg l^{-1} , nyáron 20 mg l^{-1} is lehet a DOC érték, – a hőmérséklet emelkedése kedvez a kioldódásnak – ezt tükrözik a relatíve nagy szórásértékek. A Balaton két legtávolabbi medencéjének nyíltvízi területén a DOC értékek szezonálisan kevésbé változnak, sőt a Keszthelyi-medencében a DOC a 10 év alatt 9 mg l^{-1} érték közelében állandósult. A Siófoki-medencében viszont a DOC koncentráció lineárisan ($r^2 = 0,783$, $P < 0,001$) nőtt $7,3 \text{ mg l}^{-1}$ -ről $8,6 \text{ mg l}^{-1}$ -re.

Oldhatóság szerinti szerves szén frakciók koncentrációja balatoni befolyók vizében (1999, 2000)

A vizsgált befolyók közül az Egervíz-patak, a Zala-folyó és az Imremajori-csatorna torkolati szakaszán a szerves szén 90 vagy azt meghaladó %-ban oldott állapotú. A legnagyobb arányú partikulált szervesanyagot a Nyugati-övcatorna szállítja a Balatonba, itt az oldott frakció átlagosan 78%-ot tett ki. A DOC átlagkoncentráció a befolyókban emelkedő sorrendben a következő volt: Nyugati övcatorna 10 mg l^{-1} , Egervíz-patak 11 mg l^{-1} , Zala-folyó 12 mg l^{-1} és Imremajori-csatorna 44 mg l^{-1} . Ugyanakkor a Zala-folyó felső szakaszán (a Kis-Balaton előtt) Zalaapátnál az átlagos DOC koncentráció csupán $4,5 \text{ mg l}^{-1}$ volt, harmada a torkolatnál kapott értéknek, mely eredmény igazolja, hogy a Kis-Balaton tározókból jelentős mennyiségű DOC jut a Balatonba.

Kémiai természet szerinti szerveszén frakciók – huminanyagok hozzájárulása az oldott szerves szénhez balatoni befolyókban és a Balatonban (1999)

A DOC kémiai természet szerinti fő csoportjai a huminanyagok, (fulvosavak, huminsavak) – jellemző tulajdonságuk a barna szín – és az ún. nemhuminanyagok (szénhidrátok, fehérjék, zsírok, pigmentek stb.). A vizsgált befolyókban a DOC 65-75%-át a huminanyagok adják. Részesedésük a Balaton hossz tengelye mentén a Zala-torkolattól kiindulva 75%-ról 55%-ra csökken. Ami a huminanyagok két oldható frakcióját illeti, a befolyókban a huminanyagok 17-25%-át adják a huminsavak, a Balatonban pedig részesedésük a Zala-torkolatban 25%, ami keleti irányban jelentősen csökken. Következésképpen a Balatonban és befolyóiban hasonlóan a felszíni vizeknél tapasztaltakhoz a huminanyagok döntő hányadát a fulvosavak adják.

Színes oldott szervesanyagok koncentrációja balatoni befolyókban és a Balatonban (1997–2008)

Kiragadva az 1999-es évet, a színes oldott szervesanyagok okozta átlagos barna színkoncentráció a vizsgált befolyók közül az Imremajori-csatorna vízében volt a legnagyobb (270 mg Pt l^{-1}) az Egervíz-patak (56 mg Pt l^{-1}) és a Nyugati-övcatorna (42 mg Pt l^{-1}) vize világosabb volt.

A Balaton legnagyobb vízhozamú befolyója, a Kis-Balaton tározókon átfolyó Zala-folyó átlagos színkoncentrációja $85 \pm 15 \text{ mg Pt l}^{-1}$ volt 1999-ben. Az alacsonyabb értékek az év hidegebb, míg a magasabbak az év melegebb időszakára estek. A víz színe a Keszthelyi-medencében hirtelen közel harmadára (25 mg Pt l^{-1}) fakult, és a színérték tovább csökkent kelet felé a tó hossz tengelye mentén 8 mg Pt l^{-1} értékig, illetve a Siófoki-medencében esetenként a barna szín műszeresen nem is volt mérhető.

A Balatonba ömlő Zala-folyó színterhelése az évek során nem csökkent, 2008-ban a színérték 42 és 133 mg Pt l^{-1} között változott, az éves átlag $76 \pm 25,7 \text{ mg Pt l}^{-1}$ volt. Szoros ($P < 0,0001$) pozitív összefüggést kaptunk a DOC és színkoncentráció értékek között, azaz a DOC koncentráció növekedésével a színkoncentráció is nő.

Talajok szervesanyag leadása a Kis-Balaton elárasztandó területén (1997)

A Kis-Balaton még el nem árasztott talajainak szervesanyag vizsgálata során a legtöbb szerves szenet (28%) a Zimánynál vett tőzeges láptalajban találtuk. Magas volt a szerves széntartalom a terelőtöltésnél vett tőzeges láptalajban is (24%), míg az északkeleti részről származó kotus láptalaj és a Diás-sziget közelében lévő síkláptalaj előbbiekhöz képest feleannyi szerves szenet tartalmazott. A nátriumhidroxiddal kioldható Pt-szín érték Zimánynál volt a legmagasabb ($1804 \text{ mg Pt g}^{-1}$ száraz talaj) és a diási síkláptalajnál a legalacsonyabb (582 mg Pt g^{-1} száraz talaj). Ezek az adatok azt jelzik, hogy az elárasztás után a talajok hosszú évekig adnak még le, jelentős mennyiségben barna színű huminanyagokat.

Az üledék szerves szén frakcióinak koncentrációja a Balatonban (2002, 2004)

A Balatonban az üledék szervesanyagokban sokkal szegényebb, mint a kis-balatoni talajok. 2004-ben a Keszthelyi-medence keresztiszelvényében a déli parton 0,16-0,27% volt a szerves szén koncentráció, a tóközépen 2,04% és az északi parti mélyvízben 2,85%. A Szigligeti-medencében a Keszthelyi-medencéhez hasonlóan a déli parton alacsonyabb (0,18%-0,23%) míg az északon, magasabb (2,25%) volt az üledék TOC koncentrációja. Az üledék szervesanyagai döntően (72%-76%) oldhatatlanok, a huminanyagok harmadik, oldhatatlan vegyületsorozatjába az ún. „humin” frakcióba sorolhatók.

Az aszály miatt a Balatonfenyves előtt képződött zátony környezetében legalacsonyabb TOC koncentrációt, 0,16%-ot a nyíltvízben mértük, míg a zátony part felőli pontjain nagyságrenddel nagyobb, 1,73% és 2,17% volt a TOC koncentráció. A déli parti zátonyok mellett kialakult áramlási holtterekre az északi parti üledékhez hasonló nagyobb szerves szén koncentráció (2-3%) jellemző, szemben a déli parti hullámverésnek kitett üledék alacsonyabb szervesanyag tartalmával (0,2-0,4%).

A Zala-folyó oldott szervesanyag hozama a hidrometeorológiai változások tükrében (2003, 2004)

A Zala-folyó torkolatában szoros pozitív összefüggést találtunk a hőmérséklet és a barna szín, valamint a hőmérséklet és a DOC koncentráció között 2003-ban és 2004-ben is, míg a napi közép-vízhozammal az összefüggés a csapadékosabb 2004-ben nem volt szoros. Ez arra utal, hogy a folyó jelentősen megnövekedett vízhozamának a szervesanyagoknak a Kis-Balatonból való kimosásában nagyobb szerepe van, mint koncentrációjuk felhígításában. A közép-vízhozam értékek alapján számított DOC terhelés 2004-ben a tavaszi áradáskor (350 tonna 2 hét⁻¹) kétszerese, nyáron tízszerese volt a 2003 évének. (Előbbi összetétele: nemhuminanyagok: 136 tonna 2 hét⁻¹, fulvosavak 206 tonna 2 hét⁻¹, huminsavak 6 tonna 2 hét⁻¹.) A 2004 évi több csapadék jelentősen növelte a Zala-folyó vízhozamát és ezáltal oldott huminanyag terhelését, amelynek hatására azonban a Balatonban csak kismértékben nőtt a DOC koncentráció.

Az oldott szervesanyagok fiziko-kémiai tulajdonságainak változása a Balatonban való tartózkodás során (1997, 1999)

A Balaton hossz tengelye mentén az oldott szervesanyagok minőségileg átalakulnak. Legszenbetűnőbb, hogy barna színüket elveszítik „kifakulnak”, de ugyanakkor fluoreszcencia intenzitásuk is csökken, miközben kromoforokban és fluoroforokban egyre szegényebbekké válnak. Ugyanakkor a szervesanyagok molekulaméret összetétele is változik. E változások azt eredményezik, hogy az oldott szervesanyagok a tóban való tartózkodás során egyre ellenállóbbá, perzisztensebbé válnak.

A fényabszorpciós komponensek: színes szervesanyagok, lebegőanyagok, algák szerepe a víz alatti fényklíma alakításában (2006)

Többváltozós regresszióval megkaptuk a fényabszorpciós komponensek specifikus extinkciós koefficiens értékeit, melyek alapján kiszámítható a parciális extinkciós koefficiens (K_d) érték, azaz megadható a fényabszorpciós komponensek hozzájárulása a víz alatti fényelnyeléshez. Balatoni méréseink nemcsak a fotoszintetikusan aktív (PAR), hanem elsőként az ultraibolya sugárzásra is kiterjedtek. Megállapítottuk, hogy a víz alatti ultraibolya fényklímát az allochton színes szervesanyagok jelentősen meghatározzák a Balatonban, de a szervesetlen lebegőanyagok szerepével is számolni kell. Az ultraibolya fényklíma alakításában az algák részesedése elenyésző. A PAR hullámhossztartományban a meghatározó szerepet a lebegőanyagok veszik át, de a színes szervesanyagok parciális PAR K_d részesedése meghaladja az algákét.

Oldott szervesanyagok mennyiségét csökkentő folyamatok: felületadszorpció (2002)

Kísérleteink során északi és déli partról származó üledékmintákat huminanyagokban viszonylag gazdag Zala-vízzel rázattunk, és mértük a DOC és Pt-szín koncentráció változását. Az északi parti üledékeknél a víz színe 15-20%-kal a déli partiaknál 10%-kal csökkent. A DOC csökkenés 2-4% volt. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a vízi huminanyagok eliminációjában az üledék szerepe, azaz a felületadszorpció különösen szélcsendes időben nem nagyon jelentős.

Oldott szervesanyagok mennyiségét csökkentő folyamatok: fotolízis (1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2008)

Az oldott szervesanyagok fotolízise során csökken a DOC koncentráció, az oldott szervesanyagok minőségileg átalakulnak, miközben oxigéntartalmú szabad gyökök, mint bomlástermékek képződnek (az ezekből képződött H_2O_2 a felszíni vizekben mérhető).

21 napig Nap-szimulátorban besugározva a vizeket azt kaptuk, hogy a DOC 24%-a bomlott a Zala-torkolatban, és 1,6%-a a Siófoki-medencében. A Zala-torkolati vízben a huminsavak színe 58%-kal, a fulvosavaké 31%-kal csökkent, míg a nemhumanyagok részesezése 1,6%-kal nőtt. Az oldott szervesanyagok abszorpciós és fluoreszcens tulajdonságai is változtak, ezek intenzitása csökkent. E változást jól szemlélteti, hogy 21 nap alatt a Zala-víz színe a kezdeti 90 mg Pt l^{-1} értékről 15 mg Pt l^{-1} értékre csökkent, mely a Keszthelyi-medencére jellemző érték. E változások mértéke a tó hossz tengelye mentén kelet felé haladva drasztikusan csökkent.

A Balatonban pl. 2000-ben a hidrogénperoxid koncentráció 110 és 780 nM l^{-1} között változott, kelet felé csökkent. Ennél magasabb értéket a vizsgált befolyók közül a Kis-Balaton alsó tározó kifolyásánál mértünk, $1351 \pm 267 \text{ nM l}^{-1}$ -t. Amikor a színes huminanyagokat nagyobb koncentrációban tartalmazó Zala-torkolatból származó vizet természetesen vagy kísérletesen ultraibolya sugárzás hatásának tettük ki, a H_2O_2 koncentráció nagyságrenddel ($6000\text{-}9000 \text{ nM l}^{-1}$) nőtt.

A fotolitikus bomlástermékek hatása (közvetlen és közvetett) a mikrobiális planktonszervezetekre (1999, 2000, 2001, 2002)

Ultraibolya sugárzást követően a huminanyagokból fotolitikusan képződő bomlástermékek jelentős mértékben gátolták a Balatonban, illetve a befolyó vizekben az egysejtű algák szaporodását. Eredményeink szerint a zöldalgák kevésbé voltak érzékenyek a szervesanyagokból képződött szabad gyökökre, mint a cianobaktériumok. A huminanyagokból természetes körülmények között napsugárzás hatására keletkező oxigéntartalmú szabad gyököknek jelentős közvetett hatása is van a vizek ökológiai rendszerére, melyek közül a vas biológiai hozzáférhetőségére kifejtett hatás kiemelkedő jelentőségű. Ennek hátterében az áll, hogy a Fe-humin komplexek formájában hozzáférhető

vas huminanyag tartalmú vizekben UV-sugárzás hatására gyorsan hozzáférhetetlenné válik az algák számára, ami szaporodásgátlást okoz.

Oldott szervesanyagok mennyiségét csökkentő folyamatok: mikrobiális bontás (biológiai hozzáférhetőség) (2003, 2004, 2005)

A bakterioplankton által viszonylag gyorsan felvehető biológiailag hozzáférhető oldott szerves szén (BDOC) koncentráció a Zala-torkolatól a Keszthelyi-medencén át a Siófoki-medencéig csökkent. A Siófoki-medencében a bakterioplankton DOC felhasználását nemcsak a DOC perzisztenciája, hanem a tápelemlimitáció is korlátozta nyáron, máshol egyébként szignifikáns szezonális eltérés a BDOC értékek között általában nem volt. A BDOC koncentráció a Zala-torkolatban 1,4-1,9 mg l⁻¹ közé esett (9-15%), a Keszthelyi-medencében 0,4-0,8 mg l⁻¹ (4-9%), a Siófoki-medencében 0,1-0,7 mg l⁻¹ (1-4%) volt.

A bakteriális bontás hatására is változott a szervesanyagok minősége, a huminsavak és nemhuminanyagok koncentrációja csökkent, a fulvosavak koncentrációja nem változott.

Az ultraibolya sugárzás DOC biológiai hozzáférhetőséget módosító szerepe (2008)

Összehasonítottuk a természetes vízzel (B), és 7 napig Nap szimulátorban előzetesen besugárzott vízzel (NB) 21 napig végzett kísérletek eredményeit. A korábbi eredményekhez hasonlóan azt kaptuk, hogy a biológiailag hozzáférhető oldott szerves szén (BDOC) mennyisége a Keszthelyi- és Siófoki-medence eredeti vizében szignifikánsan ($P < 0,05$) különbözött, a Keszthelyi-medencéhez képest a Siófoki-medencében a BDOC értéke csak feleakkora volt (sorendben: $0,53 \pm 0,10$ és $0,26 \pm 0,14$ mg l⁻¹, előbbi 5,57 utóbbi 2,93%-ot tesz ki). A BDOC bomlási sebessége is kisebbnek bizonyult a tó keleti területén, mint a nyugatin. E különbség hátterében – mint, már szó volt róla – az áll, hogy a tóban való tartózkodás során a tó hossz tengelye mentén az oldott szervesanyagok minősége változik, kelet felé haladva perzisztensebbekké válnak. Az előzetesen mesterséges napfénykezelt vizekkel végzett kísérletek eredményei szerint a tó két medencéjében a BDOC koncentráció értékek szintén szignifikánsan ($P < 0,05$) különböztek, nagyobb volt a Keszthelyi- ($1,08 \pm 0,13$), mint a Siófoki-medencében ($0,82 \pm 0,02$), de a legszembetűnőbb, hogy a BDOC

koncentráció mindkét mintavételi helyen szignifikánsan ($P < 0,05$) nőtt az eredeti vízre kapott értékekhez képest. Eredményeink szerint tehát a 7 napos besugárzás következtében a BDOC mennyisége 2-3-szor nagyobb lett, és bomlási sebessége is szignifikánsan ($P < 0,05$) nőtt az előzetesen besugárzott vizekben .

Következtetés

Az eredmények azt mutatják, hogy a DOC koncentráció a Balatonban a 10 év alatt jelentősen nem változott. Ez a viszonylagos stabilitás azonban egyáltalán nem jelenti azt, hogy ezek a vegyületek nem vesznek részt a tavi anyagforgalomban, illetve nincsenek hatással a vízi ökológiai rendszerek működésére. A DOC koncentrációban bekövetkező kis változások is nagyjelentőségűek a szénciklus és az ökoszisztéma anyagforgalma szempontjából mivel a „pool” nagy (Cole et al 2000). A Balaton esetében pl. 1 mg l⁻¹-es DOC csökkenés 2000 tonna szerves szén veszteséget jelent. A DOC koncentrációban bekövetkező változások hátterében pl. a hidrometeorológiai tényezők (hőmérséklet, csapadék) változása áll, melyek döntően befolyásolják az allochton, humintermészetű szervesanyagok képződését és kioldódását, valamint pl. a fényintenzitás változása, amely szerepet játszik a DOC fotolízisében és a baktériumok általi hasznosulás alakításában. A felmelegedéssel járó klímaváltozás miatt a tavakban nőhet a víz tartózkodási ideje, ami a DOC koncentrációjának csökkenését és az ultrabolya sugárzás víz alá hatolásának növekedését vonja maga után (Curtis, 1998), ami a Balaton esetére is prognosztizálható.



Köszönetnyilvánítás

Az évtizedes időintervallum alatt a kutatások a következők anyagi támogatásával valósultak meg: Miniszterelnöki Hivatal (1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004); Magyar Tudományos Akadémia (2004, 2005, 2006, 2008); Országos Területfejlesztési Hivatal (2005); Önkormányzati és Területfejlesztési Minisztérium (2006); Nemzeti Fejlesztési és Gazdasági Minisztérium (2008) Balaton Fejlesztési Tanács (2008).

A témában 1997-2008 közötti támogatott Balaton-kutatási jelentések alapján készült publikációk (a megjelenés éve a kutatási évet követő év)

- Herodek S., V.-Balogh K., Vörös L., Présing M. & Koncz E. (1998) A Kis-Balaton Alsó-tározó szervesanyag forgalmának vizsgálata. In: Salánki J. & Padišák J. (Eds) A Balaton kutatásának 1997-es eredményei. VEAB-MeH Veszprém ISBN 963 7385 48 7, 36-40.
- Herodek S., V.-Balogh K. & Présing M. (1999) A Kis-Balaton tározó szervesanyag forgalmának vizsgálata. A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. In: Salánki J. & Padišák J. (Eds) MTA VEAB, MeH, Veszprém ISSN 1419-1075, 28-32.
- V.-Balogh K., Vörös L. & Kovács A (2000) Oldott huminanyagok hatása a Balaton vízminőségére. A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei. In: Somlyódi L. & Banczerowski J.-né (Eds.) Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 151-160.
- V.-Balogh K., Vörös L. & Kovács A. (2001) A huminanyagok vízminőségre gyakorolt hatásának kutatása. A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 60-68.
- V.-Balogh K., Vörös L. & Kovács A. (2002) A huminanyagok vízminőségre gyakorolt hatásának kutatása. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 55-63.
- V.-Balogh K., Vörös L. & Kovács A. (2003) A huminanyagok vízminőségre gyakorolt hatásának kutatása. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 52-60.
- V.-Balogh K., Tóth N. & Vörös L. (2004) Meteorológiai és hidrológiai változások hatása az oldott szerves(humin)anyagok vízminőség alakító szerepére a Balatonban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 45-53.
- V.-Balogh K., Tóth N. & Vörös L. (2005) Meteorológiai és hidrológiai változások hatása az oldott szerves(humin)anyagok vízminőség alakító szerepére a Balatonban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 46-55.
- V.-Balogh K., Tóth N. Somogyi B. & Vörös L. (2006) Meteorológiai és hidrológiai változások hatása az oldott szerves(humin)anyagok vízminőség alakító szerepére a Balatonban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 36-44.
- V.-Balogh K. & Vörös L. (2007) Allochton és autochton szervesanyagok szerepe a Balaton vízminőségének alakításában. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 37-45.

- V.-Balogh K., Keresztes Zs. Gy., Németh B., Somogyi B., Vörös L. (2009) Szervesanyagok szerepe a Balaton vízminőségének alakításában. In: Bíró P. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest (in press).

Irodalom

- Bertilsson, S., & B. Allard. (1996) Sequential photochemical and microbial degradation of refractory dissolved organic matter in a humic freshwater system. Arch. Hydrobiol. /Adv. Limnol. 48: 133-141.
- Cole J. J., M. L. Pace, S. R. Carpenter & J. F. Kitchell. (2000) Persistence of net heterotrophy in lakes during nutrient addition and food web manipulation. Limnol. Oceanogr. 45: 1718-1730.
- Cooper, W. J., D. R. S Lean & J. H. Carey. (1989) Spatial and temporal patterns of hydrogen peroxide in lake waters. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 1227-1231.
- Curtis, P. J. (1998) Climatic and hydrologic control of DOM concentration and quality in lakes. In: Ecological Studies 133, Hessen, D. O. & L. J. Tranvik (Eds) Aquatic humic substances. Springer, 93-105.
- Miller, W. L. & G. Zepp. (1995) Photochemical production of dissolved inorganic carbon from terrestrial organic matter: Significance to the oceanic organic carbon cycle. Geophys. Res. Lett. 22: 417-420.
- V.-Balogh K. & Vörös L. (1996) Oldott huminanyagok a Kis-Balatonban és hatásuk a Keszthelyi-medencére. 2. Kis-Balaton Ankét. PATE. Keszthely, 555-565.
- V.-Balogh, K., M. Présing, L. Hiripi & L. Vörös. (1988) Stable carbon and nitrogen ratios of dissolved humic substances in a shallow reservoir covered by macrophytes. Int. Revue ges. Hydrobiol. 83: (Spec. Issue) 203-206.
- V.-Balogh, K., M. Présing, L. Vörös, & N. Tóth. (2006) A study of the decomposition of reed (*Phragmites australis*) as a possible source of aquatic humic substances by measuring the natural abundance of stable carbon isotopes. Int. Rev. Hydrobiol. 91: 15-28.
- V.-Balogh, K., B. Németh. & L. Vörös. (2009) Specific attenuation coefficients of optically active substances and their contribution to the underwater ultraviolet and visible light climate in shallow lakes and ponds. Hydrobiologia 632: 91.
- Williamson, C. E., D. P. Morris, M. L. Pace & O. G. Olsen. (1999) Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm. Limnol. Oceanogr. 44: 795-803.

A MIKROBIÁLIS PLANKTON FOSZFORFORGALMA

Herodek Sándor, Hiripi László, Hesham M. Shafik és Leitold Helga
MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

Összefoglalás. A Balaton algásodását sikerült a foszforterhelés csökkentésével visszaszorítani, de a fitoplankton összetételét rontják a fonalas kékmoszatok, amelyek aránya sokkal magasabb, mint az 1960-as években volt. Különösen a *Cylindrospermopsis raciborskii* nyári inváziója okoz gondot. Sem a foszforlimitált tavak vizében a foszfát töménységét, sem az egyes algafajok tényleges foszforfelvételét nem ismerjük, mert szűrés közben a sejtek egy része sérül és kifolyik a tartalma, a kémiai meghatározásnál pedig hidrolizálnak a szerves foszforvegyületek. Ezért úgy jártunk el, hogy a *Cylindrospermopsis raciborskii* kemosztát tenyésztéséhez ismert fajlagos aktivitású ortofoszfátot folyattunk, ill. a Siófoki-medencéből vett vízmintákhoz jelzett ortofoszfátot adtunk, majd az izotóp egyensúly beállta után szűrés helyett dializáltunk, a dializátumból oszlopkromatográfiával elválasztottuk az ortofoszfátot, és mértük a radioaktivitását. A *C. raciborskii* foszfátfelvételének féltelítési állandója $0,2 \mu\text{g PO}_4\text{-P}$ -nek adódott, ami nagyságrenddel alacsonyabb, mint a kémiai módszerrel mért érték, a Siófoki-medencében pedig, ahol 2006-ban nem jutott uralomra a *C. raciborskii*, $10^{-2} \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ nagyságrendű volt az ortofoszfát töménység. Itt a fitoplankton ortofoszfát felvétele a vegetációs periódusban $17\text{-}88 \text{ ng PO}_4\text{-P l}^{-1}\text{óra}^{-1}$, a bakterioplanktoné $8\text{-}45 \text{ ng PO}_4\text{-P l}^{-1}\text{óra}^{-1}$ tartományban változott. A foszforforgalomban fontos szerepe van az alkalikus foszfatáz aktivitásnak. A legnagyobb aktivitást mindig nyár végén találtuk. A vizsgált években ennek értéke a Siófoki-medencében $0,6\text{-}1,2$, a Keszthelyi-medencében $1,9\text{-}4,0 \mu\text{mol liter}^{-1}\text{óra}^{-1}$ tartományban változott. A keszthelyi nagy csúcs a kékalga vízvirágzások idején alakult ki, értéke pedig a más tavaknál talált legnagyobb aktivitásokéhoz volt hasonló. Az enzimatikusan hidrolizálható foszfor nyári töménysége a Siófoki-medencében az egyes években $12\text{-}18$, a Keszthelyi-medencében $23\text{-}39 \mu\text{g PO}_4\text{-P/liter}$ volt. Ez a nagymennyiségű foszfor nem ülepszik, így jelentősen hozzájárulhat ahhoz, hogy kékalga dominancia esetén az üledékből felszabaduló foszfor a vízben marad, segítve a nagy biomasz csúcscok kialakulását.

Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a tavak vízminőségét leggyakrabban az algák túlszaporodása rontotta. Kimutatták, hogy a fitoplankton mennyisége, amit a víz klorofill tartalmával szoktak a gyakorlatban jellemezni, erősen korrelál a víz összes foszfor tartalmával, az pedig a tavat érő fajlagos foszforterheléssel (*Vollenweider és Kerekes 1980*). A Balaton esetében idejében sikerült kimutatni az algák szervesanyag termelésének növekedését, és azt, hogy ez ott a leggyorsabb, ahol a tó a legtöbb foszforterhelést kapja. Ha a tó vizéhez hordozómentes jelzett ortofoszfátot adtunk, az percek alatt épült be a fitoplanktonba, ami a

foszfát nagyon alacsony töménységére és az algák foszforéhségére utalt, arra, hogy a fitoplankton gyarapodásának a foszforutánpótlás szab határt (*Herodek 1986*). A kutatásokra alapozott program során sikerült a tó külső foszforterhelését a felére csökkenteni. Az üledékben felhalmozott foszfor néhány évi késleltetést okozott, 1995-re azonban a tó nyugati részén hipertrófról eutrófra, keleti részén pedig eutrófról mezotrófra javult a vízminőség. A fürdőzők kifogástalannak találják a vizet, megszűnt az idegenforgalmat fenyegető veszély, és nemzetközileg is sikertörténetként tartják számon a Balaton esetét. Ökológiai szempontból azonban még nem lehetünk teljesen megelégedettek. A cél az, hogy állítsuk vissza az 1960-as évek vízminőségét. Ehhez nemcsak a fitoplankton tömegét kellene a tó nyugati részén mezotróf, keleti részén oligo-mezotróf szintre csökkenteni, hanem az összetételét is javítani kellene. Jelenleg a tó nyugati részén rendszeresen, a keleti részén gyakran a fonalas kéalgák uralkodnak a nyári planktonban, míg az 1960-as évek elején ez még nem fordult elő. A célok elérését a terhelés forrásainak megismerése mellett az eutrofizálódás tavon belüli folyamatainak a felderítése is segítheti.

Az algák a foszfort ortofoszfát formájában veszik fel a vízből, nem tudjuk azonban, hogy mekkora a tényleges ortofoszfát töménység a tavakban. Az ortofoszfát mérésére az ammónium-molibdenátos színreakciót használják, viszont már *Riegler (1966)* kimutatta, hogy ez felülbecsül. Ha tóvízhez különböző töménységben adott ortofoszfátot, és mérte a jelzett ortofoszfát felvételét, a linearizált Michaelis-Menten egyenlethől megkapta a féltelítési állandó és az eredeti ortofoszfát mennyiség összegét. Ez kisebb volt, mint a tavakban kémiailag mért ortofoszfát töménység, amit az magyarázhat, hogy a kémiai reakció savanyú közegben zajlik, amikor a szerves foszfor egy része hidrolizál. Ez nem okoz különösebb gondot a szennyvizek vagy a folyóvizek foszfát tartalmának meghatározásánál, ahol sokkal több az eredeti ortofoszfát, mint az oldott szerves foszfor, de nagy a pontatlanság a tóvíznél, ahol az ortofoszfátért versengő mikroorganizmusok nagyon alacsonyra tudják csökkenteni a töménységet. Ezért a szakirodalom a kémiailag mért ortofoszfát töménységet oldott reaktív foszfornek (ORP) nevezi, annak a foszfornek, amely a molibdenáttal reagál. Számos tó vizsgálata alapján arra a megállapításra jutottak, hogy azokban a tavakban, amelyekben a foszfor korlátozza az algák növekedését, az ORP töménysége $4 \mu\text{g PO}_4\text{-P/liter}$ (*Sas 1989*) alatt van, ami természetesen nem azt jelenti, hogy

ekörül van a tényleges töménység, hiszen az anyag nagy része műtermék, csak annyit, hogy biztosan ez alatt van. Limnológusok hajlamosak a tényleges ortofoszfát töménységet a Riegler foszforéval azonos nagyságrendűnek tekinteni, ami rendszerint $0,1-1,0 \mu\text{g PO}_4\text{-P/liter}$ lenne, feltételezve, hogy a tényleges töménység és a féltelítési állandó azonos nagyságrendű. De ez nincs így. Ha az ORP-t osztjuk a turnover idővel, azt kapjuk, hogy a fitoplankton több foszfort vesz föl, mint amennyi sznet a fotoszintézis során megköt. Csakhogy, ha a Riegler foszfort osztjuk a turnover idővel, az is irreálisan magas foszforfelvételt ad.

A jelzett foszfor felvételét *Lean (1973)* évtizedeken keresztül vizsgálta. Ha jelzett foszfort adott tóvízhez, majd rövid időközönként leszűrt belőle egy hányadot, és mérte az oldatban lévő radioaktivitást, akkor az először gyorsan, elsőrendű kinetikához hasonlóan csökkent, majd a görbe ellaposodott, végül az időtengellyel párhuzamossá vált. Ilyenkor az eredeti aktivitásnak rendszerint $1-5\%$ -a van a szűrtletben. A jelenséget úgy lehetett értelmezni, hogy a foszfát körforgalom zöme a sejtek és a vízben oldott ortofoszfát között zajlik, és amikor a sejtek már annyi jelzett foszfort adnak le, mint amennyit felvesznek, beáll az egyensúly. Ilyenkor a jelzés megoszlása a víz és a partikulumok között az összes foszfor megoszlását tükrözi, csakhogy így megint $0,1-1,0 \mu\text{g PO}_4\text{-P/liter}$ töménységeket kapunk a vízre. A turnover idők a raktárak nagyságával fordítva arányosak, az ortofoszfát turnover idejéből és az izotóp megoszlásból így az adódna, hogy az algasejtekben a foszfor néhány órát tölt, ami sokkal kevesebb, mint a sejtek élettartama, tehát a foszfor zömét az élő sejtek visszafolyatják a vízbe. Ez elképzelhető, és születtek is ezzel kapcsolatos elméletek, csak nehéz elfogadni, hogy elfolyassák azt az elemet, amelynek a birtoklása döntő a fajok közötti versengésben.

A paradoxonra végül *Fisher és Lean (1992)* egyszerű magyarázatot talált. Ha a szűrés helyett dializáltak, az egyensúlyi állapotban sokkal kevesebb lett az oldatban lévő foszfor radioaktivitása, a foszfát folyatás tehát műtermék, amit az okozhat, hogy szűrésnél, még ha óvatosan végezzük is, sérül az algák sejthártyája. Ezzel a módszerrel azonban csak egy tóban, a kanadai Jacks Lake-ben egy alkalommal végeztek vizsgálatot, amikor is $0,015 \mu\text{g/l}$ ortofoszfát töménységet határoztak meg.

Munkánk egyik célja az volt, hogy ezzel az új módszerrel határozzuk meg a Balatonban, a vízben lévő ortofoszfát töménységét és a mikrobiális plankton foszfát felvételének sebességét.

Másik célunk, hogy a dialízises oszlopkromatográfias módszert kemosztátos algatenyészetnél is kipróbáljuk, hiszen az összes ilyen vizsgálatokat eddig szűréssel és kémiai méréssel végezték, ami nyilván ott is felülbecslésekhez vezethetett.

Harmadik célunk az volt, hogy megismerjük a balatoni planktonban az alkalikus foszfatáz szerepét az ortofoszfát regenerálásában.

Anyag és módszer

Az összes foszfor meghatározásához a teljes vízmintát, az összes oldott foszfor meghatározásához a GF/C üvegszűrőn szűrt vízmintát roncsoltuk *Menzel és Corwin (1965)* szerint. A víz oldott reaktív foszfor tartalmát GF/C üvegszűrőn szűrt vízmintából *Murphy és Riley (1962)* módszerével határoztuk meg. A klorofill méréshez 500 ml vizet GF/C üvegszűrőre szűrtünk, a pigmentet forró metanollal vontuk ki az algákból, és meghatároztuk az extraktum adszorbancia spektrumát (*Iwamura és mtsai 1970*). Az elsődleges termelést a ^{14}C -módszerrel (*Herodek és mtsai 1982*) mértük.

A mikrobiális plankton foszforfelvételének a vizsgálatához a Balaton nyíltvizéből az intézettől 1 km-re vett 2 liternyi tóvizet a tó hőmérsékletére beállított fénytermosztátban $120 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ fotonáram sűrűség mellett inkubáltuk. Ehhez hordozómentes $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ -t adtunk, majd 0, 2, 3, 5, 10, 15, 30 és 60 perc, továbbá 2, 3, 6, 12, és 24 óra múlva részmintákat vettünk belőle, és mértük ezek szűrletének radioaktivitását. A 12. órában dializáló zsákot helyeztünk a vízmintába, melyet újabb 12 óra elteltével kivettünk, és meghatároztuk a dializátum radioaktivitását. Gélkromatográfiával mind a szűrletben, mind a dializátumban meghatároztuk a radioaktivitás megoszlását a foszfor frakciók között.

A kemosztát kísérletet a Balatonból izolált *Cylindrospermopsis raciborskii* kékalga törzssel végeztük. BG-11 tápoldatot használtunk, amelyben a befolyó $\text{PO}_4\text{-P}$ töménység $200 \mu\text{g/liter}$ volt. A tenyészet térfogata 500 ml, az átfolyási sebessége 125ml/nap , hőmérséklete 26°C , a felszínét érő fotonáram sűrűség $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ volt. Amikor a tenyészet elérte az állandósult állapotot, hordozómentes $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ -t adtunk a befolyó tápoldathoz, és így még két hétig futtattuk a tenyészetet. A 14. napon 12 órára dializáló zsákot lógattunk a tenyészetbe, majd mértük a dializátum radioaktivitását, és gélkromatográfiával meghatároztuk, ennek mekkora részét adja az oldott ortofoszfát.

Az alkalikus foszfatáz aktivitását a Keszthelyi- és a Siófoki-medencében vett vízmintákban is vizsgáltuk. A mintákhoz 0,5-50 μM közötti 8 különböző töménységben adtunk 4-metilumbelliferil foszfátot. Ezt az enzim ortofoszfáttá és 4-metilumbelliferonná alakítja. Utóbbi mennyiségét fluoreszcenciája alapján mértük.

Az algákat, a baktériumokat és a részecskementes vizet eleinte a más tavaknál használatos centrifugálással próbáltuk elkülöníteni. Rájöttünk azonban, hogy a Balatonnál ez a módszer nyáron nem válik be, mert a fonalas kéalgák egy részének olyan kicsi a fajsúlya, hogy azok a kis méretük miatt lassan ülepedő baktériumokkal kerülnek egy frakcióba. A szűréssel való frakcionálást a Balaton esetében az teszi nehezzé, hogy a sok lebegő iszap gyorsan eltömi a membránszűrő pórusait. Sikerült azonban egy speciális szűrési eljárást kidolgozni, amellyel elkülöníthettük az egyes méretcsoportokat. A teljes minta és az 1,2 μm -es szűrlet különbsége adta a fitoplankton, az 1,2 μm -es és a 0,2 μm -es szűrlet különbsége a bakterioplankton enzim aktivitását, a 0,2 μm -es szűrlet pedig az oldott alkalikus foszfatáz aktivitást.

Eredmények és értékelésük

A foszfátfelvétel és ortofoszfát töménység a Siófoki-medence vizében

Tihanynál a Balatonból 2006 februárjától októberig havonta vett vízmintákban az összes partikulált foszfor töménysége 8,3-23,8 $\mu\text{g/liter}$, az összes oldott foszfor töménysége 4,6-23,2 $\mu\text{g/liter}$ között változott. A legtöbb tóban a partikulált foszfor zöme a mikrobiális planktonban van. A sekély, de nagy felületű Balatonban az erős hullámozás sok szerves üledéket kavart fel, és a partikulált foszfor jelentős része a mészkristályokhoz lehet kötve. Így sem a bakterio-, sem a fitoplankton foszfortartalmát nem tudjuk külön meghatározni. Elégé elfogadott azonban az a becslés, hogy a fitoplankton foszfortartalmát a klorofill tartalommal veszik azonosnak. Utóbbi 3,5-13,9 $\mu\text{g/liter}$ között változott. A klorofill értékek mezotróf szintűek, és önmagukban is mutatják, hogy a tó eutofizálódása valóban megfordult. Az oldott foszfor zömmel szerves foszfor lehetett, és ebből műtermékként képződhetett a kémiai meghatározás során a 2,5-5,1 $\mu\text{g/liter}$ között változó oldott reaktív foszfor.

A jelzett foszfor hozzáadása után a vízmintákban gyorsan csökkent az oldatban maradó radioaktivitás. A felvétel kezdeti meredekségéből számítva a vízben lévő ortofoszfát turnover ideje márciusban másfél óra

volt, áprilisra azonban 9 percre csökkent, nyáron végig alacsony maradt, és csak szeptemberben nőtt fél órára. A hozzáadás után néhány órával a szűret radioaktivitása már nem csökkent tovább, de még egy nap után is az összes radioaktivitás néhány százalékát tette ki, a dializátumban viszont a teljes aktivitásnak csak 0,31-0,76%-át találtuk meg. A kromatogramok szerint a szűrt vízben eléggé hasonló volt a szerves foszfor és az ortofoszfát aránya, míg a dializátumban mindig kevesebb volt a szerves foszfor, mint az ortofoszfát. Az eredmények jól mutatják, hogy szűréskor a sérült sejtekből mennyi műtermék keletkezik. A dializátumban lévő ortofoszfát aktivitása a teljes aktivitásnak mindössze 0,16-0,64%-át tette ki. Ha úgy számolunk, hogy a turnover idő egyensúlyi helyzetben fordítva arányos az izotóp megoszlással, az izotóp megoszlásból és a vízben lévő ortofoszfát turnover idejéből az adódik, hogy ez a partikulumokban, azaz az algákból és baktériumokból álló mikrobiális planktonban májusban és júniusban 2,3 nap, szeptemberben 14,3 nap, októberben pedig 5,5 nap. Ezek az értékek szeptember kivételével hasonlítanak a fitoplankton generációs idejéhez.

Egyensúlyi állapotban, amikor a mikroorganizmusokban lévő foszfor fajlagos aktivitása megegyezik a vízben lévő ortofoszfátéval, az ortofoszfát kémiai mennyiségét megkaphatjuk, ha a mikrobiális plankton foszfortartalmát szorozzuk az ortofoszfátban és a planktonikus szervezetekben mért radioaktivitás hányadosával. A Balaton esetében az okoz különös nehézséget, hogy a plankton szervezeteket nem lehet elkülöníteni a lebegő üledéktől. Ha foszfortartalmukat az összes partikulált foszforral vettük azonosnak, úgy a vízben oldott ortofoszfát töménysége 0,036-0,080 $\mu\text{g/l}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ tartományban mozgott, és ez is biztosan felülbecslés. Ha azzal a szokásos becsléssel élünk, hogy a mikrobiális plankton foszfortartalma a klorofilléval egyezik, a töménységek a 0,011-0,022 $\mu\text{g/l}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ tartományba esnek. A valódi ortofoszfát töménység tehát két nagyságrenddel alacsonyabb az oldott reaktív foszforénál, és ez a nagyon kis mennyiség magyarázza a rövid turnover időket. A planktonikus algák és baktériumok olyan kis töménység esetében is hatékonyan tudják a foszfátot felvenni, amilyenre korábban csak mikroelemek esetében ismertünk példát.

Ha a fenti módon becsült foszfát töménységeket osztjuk az ortofoszfát turnover idejével, megkapjuk a foszfát felvételi intenzitását. A foszfát felvétele után az algákat és baktériumokat szétszűrve azt is megtudjuk, azok hogyan osztoznak ezen a felvételen. A fitoplankton

felvétele 17-88 ng PO₄-P/liter/óra, a bakterioplanktoné 8-45 ng PO₄-P/liter/óra között változott. Az eredmény jól mutatja, hogy a baktériumok, amelyekről korábban azt vélték, hogy fő szerepük a szerves anyagból a foszfát felszabadítás, valójában versengenek az algákkal a foszfátért. Bár szervesanyag termelésük nagyságrenddel elmarad a fitoplanktonétól, foszfát felvételük azokéhoz hasonló, amit sokkal magasabb foszfortartalmuk magyaráz.

A foszfát felvétele kemosztátban

A természetes vizek ortofoszfát tartalmát a fenti módszerrel csak becsülni lehet, hiszen nem ismerjük pontosan a mikrobiális plankton foszfortartalmát, azon belül nem egészen homogén az izotóp eloszlás, a víz ortofoszfátja és a mikrobiális plankton nem alkotnak teljesen zárt rendszert. Bár a felkavart üledékből származó terhelés kisebb, mint a planktonon belüli áramlás, erős vihar emelheti az ortofoszfát szintet. A tó nyugati részén, különösen a Keszthelyi-öbölben is több lehet az oldott ortofoszfát, mint a most tanulmányozott Siófoki-medencében. Ha viszont kemosztátban több generációs időn keresztül ismert specifikus aktivitású foszfáttal tenyésztünk algát, úgy a rendszerben homogén lesz az izotóp eloszlás. Ha ezután a dializátumban meghatározzuk a radioaktivitást, majd kromatografálva azt, hogy ennek hány százaléka van ortofoszfátban, úgy pontosan megkapjuk az ortofoszfát töménységet. Kemosztátban azonban eddig ilyen vizsgálatot sehol nem végeztek, az ortofoszfátot mindig szűréssel és kémiai mérésel határozták meg, ami súlyos felülbecsléshez vezet. Kísérleteinkhez a *Cylindrospermopsis raciborskii* fonalas kéalgát használtuk. Ez a faj 1978-ban jelent meg a Keszthelyi-öbölben, 1982-ben azonban a teljes tavat elárasztotta. Ugyancsak az egész tóra kiterjedő invázió volt 1984 nyarán, és még súlyosabb 1994 nyarán. A tó foszforterhelésének csökkentése után a faj tömege visszaszorult, de a Keszthelyi-medencében még most is minden nyáron jelentős vízszíneződést okoz, egyes nyarakon pedig még a Siófoki-medencében is uralkodó fajjává válik. A vízminőség további javulásához elsősorban ezt a fajt kellene visszaszorítani.

Miután két héten keresztül izotóppal jelzett, 200 µg/liter PO₄-P-t tartalmazó tápoldatot folyattunk át 0,25/nap hígítási rátával az állandósult állapotban lévő tenyészetben, annak dializátumában a tenyészet teljes radioaktivitásának 0,384%-át találtuk, és ennek 9,8%-át adta az ortofoszfát. A *C. raciborskii* tehát 0,075 µg PO₄-P/liter külső foszfát

töménységénél 0,25/nap növekedési rátával tud tenyészni, azaz négynaponta osztódik, ami a természetben is nagyon tisztességes sebességnek számítana. Ez a töménység azonos nagyságrendű, de magasabb, mint amekkorára 2006-ban a Siófoki-medence vizének foszfát töménységét becsültük és ebben az évben, ebben a medencében nem is jutott uralomra a *C. raciborskii*. Korábbi vizsgálatok szerint a *C. raciborskii* maximális növekedési rátája pont 1,0/nap. Ha Monod képletébe azt helyettesítjük be, hogy 0,075 µg/l PO₄-P töménységénél 0,25/nap volt a növekedési ráta, és 1/nap a maximális növekedési sebesség, azt kapjuk, hogy a növekedés féltelítési állandója 0,225 µg PO₄-P/liter, ennél a töménységénél kétnaponta tudná ez a faj megduplázni a tömegét. A tapasztalatok szerint ezt a sebességet a faj a Keszthelyi-medencében a legnagyobb vízvirágzások idején is csak megközelíteni tudta, így nincs indokunk feltételezni, hogy a Balatonban az ortofoszfát szint meghaladta volna a 0,2 µg PO₄-P/liter-t.

Az alkalikus foszfatáz enzim aktivitása

A vízben oldott szerves foszfor vegyületek egy része a vízgyűjtőről vagy a parti öv növényállományából származik, másik részét a bomló planktonikus mikroorganizmusok adják. Ez az utóbbi teszi ki az enzimatikusan hidrolizálható foszfor (EHP) zömét, és jelentős szerepe lehet a plankton foszforforgalmában. Az EHP 50%-a az 1000-nél kisebb, 42%-a pedig az 1000 és 3000 molekulatömeg közötti szerves foszforvegyületekben volt. Dieszteráz, dezoxiribonukleáz és ribonukleáz enzimek jelenlétében az alkalikus foszfatáz által hidrolizált ortofoszfát mennyisége maximum 20-25%-kal nőtt. Mennyisége a Keszthelyi-medencében lényegesen magasabb volt, mint a Siófoki-medencében, és mindkét térszerületen évszakosan változott. A Siófoki-medencében 2000-ben 3-18, 2001-ben 6-12, a Keszthelyi-medencében 2000-ben 3-39, 2001-ben 6-15, 2002-ben 4-39, 2003-ban 3-23 µg EHP/liter töménységeket találtunk. Az EHP csúcs időben jól összeesik a kékalga biomassza csúccsal, az EHP mennyisége pedig hasonló az ugyancsak µg/literben megadott klorofill töménységhez. Ez arra utal, hogy az EHP főként az algák, különösen pedig a fonalas kékalgák lízise során keletkezik.

A maximális alkalikus foszfatáz aktivitás, amelyet szubsztrát telítésnél ér el a rendszer, jellegzetes évi ciklus szerint változott. A legnagyobb aktivitást nyár végén találtuk. Ennek értéke a Siófoki-

medencében 2000-ben 0,8, 2001-ben 1,2, 2006-ban 0,6, a Keszthelyi-medencében 2000-ben 8,3, 2001-ben 4,0, 2002-ben 3,8, 2003-ban 1,9, 2004-ben 2,2 $\mu\text{mol/liter/óra}$ volt. A keszthelyi nagy aktivitási csúcs a kékalga vízvirágzás idején alakul ki, értéke pedig a más tavaknál talált legmagasabb aktivitásokéhoz (Chrost és Overbeck 1987, Hino 1988, Kalinowska 1997) hasonló. Az enzimaktivitás mindig az algafrakcióban volt a legnagyobb, és a vízvirágzás idején ez a frakciók közötti különbség nagyságrendnyire nőtt.

Az oldott és a bakteriális frakció féltelítési állandói az év folyamán a hőmérséklet növekedésével csökkentek. Az algáknál ilyen évszakos tendenciát nem találtunk, az értékek 0,9-3,7 μM tartományban mozogtak.

Következtetések

A Balaton külső foszforterhelésének csökkentésével sikerült a fitoplankton mennyiségét úgy visszaszorítani, hogy az a Víz Keretirányelv szerint jónak minősül. A fitoplankton összetételét azonban rontják a fonalas kékmoszatok, amelyek aránya sokkal magasabb, mint az 1960-as évek elején volt. Különösen a *Cylindrospermopsis raciborskii* nyári inváziója okoz gondot. Erről a szubtrópusi eredetű fajról sikerült tisztázni, hogy csak meleg vízben csírázik ki, a Balatonban leggyorsabban 2 naponta duplázódott az állomány tömege, nitrogénkötésre képes, és más fajkéhez képest alacsony az ammónium felvételének a féltelítési állandója. (Kovács és mtsai 1998, Padisák 1997, Spröber és mtsai 2003). Nem ismertük viszont sem a faj foszforfelvételének féltelítési állandóját, sem a Balaton vizében a valódi ortofoszfát töménységet. Ez a többi fajokkal és nagyon kis kivétellel a többi tavakkal is így van, mivel az ortofoszfátot szűrt vízből az ammónium-molibdenátos színreakcióval határozzák meg, szűréskor pedig a sejtek egy hányada sérül és sejtartalmuk kiszökik, a kémiai reakció pedig savanyú közegben zajlik, ahol a szerves vegyületekből hidrolizálódhat a foszfor. Mi a szűrést dializálással helyettesítettük, a foszfát töménységét pedig úgy határoztuk meg, hogy a dializátumban mértük az oszlopkromatográfiával elválasztott, ismert fajlagos aktivitású ortofoszfát radioaktivitását. A *C. raciborskii* foszforfelvételének féltelítési állandója 0,2 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/liternek}$ adódott, ami nagyságrenddel alacsonyabb, mint a kémiai módszerrel mért érték. Nincs szükség tehát feltételezni azt, hogy akár a Keszthelyi-öböl vízvirágzásai során ennél magasabb legyen a foszfát töménység. A Siófoki-medencében viszont

2006-ban nem jutott uralomra a *C. raciborskii*, és itt mindig 10^{-2} $\mu\text{g PO}_4\text{-P/liter}$ nagyságrendű volt az ortofoszfát töménység a vízben. Az itt élő algák tehát ilyen töménységnél is hatékonyan tudtak ortofoszfátot felvenni.

A vízben lévő foszfor mennyiségét az üledékből való felszabadulás és a kiülepedés sebességének a különbsége határozza meg. A nyári kékalgá csúcsok idején nem csak az üledékből való felszabadulás nőhet, hanem az is szerepet játszhat, hogy a heterocisztás fonalas algák lassabban ülepsznek, mint más fajok. Méréseink szerint viszont a pusztuló kékalgákból nagyon sok enzimatikusan hozzáférhető oldott szerves foszfor szabadul fel, ami egyáltalán nem ülepszik, így fontos szerepe lehet a planktonikus foszforforgalomban és a kékalgá csúcsok kialakításában.

Az algásodás visszaszorításához általában csökkentenünk kell a tó foszforterhelését. Ha viszont ezen belül a kékalgá uralom megszüntetésére és a tó eredeti plankton összetételének visszaállítására is törekszünk, kevésbé kell csökkentenünk a nitrogén-, mint a foszforterhelést. Ezt tesszük pl. a kommunális szennyvizek kémiai úton történő foszfortalanításával, míg pl. a Kis-Balaton nádasai a bennük folyó erős denitrifikációval az átfolyó vízből sokkal hatékonyabban távolítják el a nitrogént, mint a foszfort, ami a nitrogénkötő kékalgáknak kedvez.

Irodalom

- Chrost R.J., Overbeck J. (1987) Kinetics of alkaline phosphatase activity and phosphorus availability for phytoplankton and bacterioplankton in Lake Plusssee (North German eutrophic lake). *Microbial Ecology* 13: 229-248.
- Fisher T.R., Lean D.R.S. (1992) Interpretation of radiophosphate dynamics in lake waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 252-258.
- Herodek S. (1986) Phytoplankton changes during eutrophication and P and N metabolism. In: Somlyódy L., van Straten G. (eds.) *Modelling and Managing Shallow Lake Eutrophication with Application to Lake Balaton*. Springer Verlag, 183-203.
- Herodek S., Vörös L., Tóth F. (1982) A fitoplankton tömege, termelése és a Balaton eutrofizálódása. III. Balatonszemesei-medence 1976–1977, Siófoki-medence 1977. *Hidrológiai Közlöny* 62: 220-229.
- Hino S. (1988) Fluctuation of algal phosphatase activity and the possible mechanisms of hydrolysis of dissolved organic phosphorus in Lake Barato. *Hydrobiologia* 157: 77-84.
- Iwamura T., Nagai H., Ishimura S. (1970) Improved methods for determining contents of chlorophyll, protein, ribonucleic and desoxyribonucleic acid in planktonic populations. *International Review of Hydrobiology* 55: 131-147.

- Kalinowska K. (1997) Eutrophication process in a shallow, macrophyte dominated lake – alkaline phosphatase activity in Lake Luknajno (Poland). *Hydrobiologia* 342/343, 395-399.
- Kovács W.A., Hiripi L., Présing M., Vörös L. (1998) A fény és a hőmérséklet együttes hatása a *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolosz.) Seenayya et Subba Raju szaporodására és pigmentösszetételére. *Hidrológiai Közlemény* 78: 293-295.
- Lean D.R.S. (1973) Movements of phosphorus between its biologically important forms in lake water. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 30: 1525-1526.
- Menzel D.H., Corwin N. (1965) The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by persulphate oxidation. *Limnology and Oceanography* 10: 280-282.
- Murphy J., Riley J.P. (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27: 31-36.
- Padisák J. (1997) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Voleszyńska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Archiv für Hydrobiologie/Supplementband* 107: 563-593.
- Riegler R. (1966) Radiobiological analysis of inorganic phosphorus in lake waters. – *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 16: 465-470.
- Sas H. (1989) Lake Restoration and Reduction of Nutrient Loading: Expectations, Experiences, Extrapolations. *Academia Verlag Richarz, St. Austin.*
- Spróber P., Shafik H.M., Présing M., Kovács W.A., Herodek S. (2003) Nitrogen uptake and fixation in the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* under different nitrogen conditions. *Hydrobiologia* 506-509: 169-174.
- Vollenweider R.A., Kerekes J.J. (1980) OECD Cooperative Program on Monitoring Inland Waters (Eutrophication Control). *Synthesis Report, OECD, Paris.*

A beszámoló alapján szolgáló jelentések

- Hiripi L., Nagy L. (2001) Exoenzimiek szerepe a Balaton anyagforgalmában. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk). *A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei*. MTA, Budapest, pp. 34-42.
- Hiripi L., Shafik H.M., Herodek S. (2002) A fitoplankton foszforfelvételének kutatása, különös tekintettel az exoenzimiek szerepére. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk). *A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei*. MTA, Budapest, pp. 26-34.
- Hiripi L., Filla A., Shafik H.M., V.-Balogh K., Herodek S. (2003) A fitoplankton foszforfelvételének kutatása, különös tekintettel az exoenzimiek szerepére. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei*. MTA, Budapest, pp. 18-25.
- Hiripi L., Filla A., Herodek S. (2004) A fitoplankton foszforfelvételének kutatása, különös tekintettel az exoenzimiek szerepére. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei*. MTA Budapest, pp. 27-25.
- Hiripi L., Filla A., Herodek S. (2005) A fitoplankton foszforfelvételének kutatása, különös tekintettel az exoenzimiek szerepére. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei*. MTA, Budapest, pp. 65-74.

- Herodek S., Hiripi L., Shafik H.M., Filla A., Leitold H. (2006) A mikrobiális plankton foszfor forgalma. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 16-25.
- Herodek S., Hiripi L., Shafik H.M., Filla A., Leitold H. (2007) A mikrobiális plankton foszfor forgalma. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. MTA Budapest, pp. 16-26.

A BALATON ALGAEGYÜTTESEINEK SZEREPE ÉS SZABÁLYOZÓ TÉNYEZŐI

Vörös Lajos

MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

Összefoglalás. Az 1999–2009 közötti időszakban a balatoni fitoplankton biomaszra változásának nem volt határozott trendje. Figyelemreméltó, hogy 2002 és 2003 nyarán a tó alacsony vízállású időszakában sem volt kiugróan magas a fitoplankton tömege egyik medencében sem. Az fitoplankton tömege alapján az OECD kritériumok szerint a Siófoki-medence mezotróf, a Szemesi-, a Szigligeti- és a Keszthelyi-medence pedig eutróf vízminőségű. A fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok nyári dominanciája a Balaton minden területére jellemző.

Megállapítottuk, hogy a bakteriális méretű ún. pikoalgák az év minden szakában jelentős egyedszámban fordulnak elő a Balaton egész területén. Részeseződésük esetenként eléri az 50%-ot a fitoplankton teljes biomaszájából úgy az eutróf Keszthelyi- mint a mezotróf Siófoki-medencében. Munkánk során a Balatonkutatás történetében először dokumentáltuk, hogy a téli hónapokban gazdag, eukarióta dominanciájú pikoplankton együttesek alakulnak ki a jéggel borított, fényszegény 0,5°C–1°C hőmérsékletű vízben. Fotoszintézis mérésekkel megállapítottuk, hogy a pikoplankton részeseződése a balatoni fitoplankton elsődleges termelésében a tó vízminőség javulásával nőtt, és nagyon jelentős (25–50%) mértékű. A Balatonban a pikoplankton pigment összetétele és a víz alatti fényviszonyok (vertikális extinkciós koefficiens= K_d) összefüggése alapján javaslatot készítettünk a pikoalgák felhasználására az EU VKI szerinti vízminősítéshez.

Éves mérésorozattal meghatároztuk a Balatonban és a főbb tápláló vízfolyásokban az algák számára hozzáférhető, ún. kelátolható vas mennyiségét, ami két nagyságrenddel kisebb, mint a mérhető összes Fe koncentrációk. Balatoni természetes algaegyüttesekkel végzett kísérletekkel megállapítottuk, hogy a fonalas nitrogénkötő kékalgák Fe igénye meghaladja a többi algáét.

Megállapítottuk, hogy a fitobentosz biomaszáját a víz alatti fényviszonyok szabályozzák, ezért a fitobentosz tömege a Keszthelyi-medencében a legkisebb és keleti irányban nő. A Siófoki- és a Szemesi-medence nyíltvízi területein a fitobentosz produkciója alatta maradt a fitoplankton termelésének és jelentős tömege ellenére alárendelt szerepet játszott a tó anyagforgalmában. Egészen más a helyzet a déli part sekélyebb (<2 m) vízterületein, ahol a fitobentosz produkciója többszöröse a planktonénak. Eredményeink szerint a déli part sekély vízterei hipertróf termelésűek, ilyen mértékű produktivitást korábban csak a Keszthelyi-medence planktonikus cianobaktérium tömegprodukciónak korából ismerünk, de ennek a magas produkciónak ökológiai jelentősége és vízminőségi következményei jelenleg még feltáratlanok.

A bentikus kovamoszatoknak határozott napszakos vertikális migrációja van a Balatonban. Ez megmutatkozik abban, hogy a reggeli és az esti órákban az üledék felszínén jelentősen kevesebb kovamoszat van, mint a déli órákban. A mérések adatai azt is egyértelművé teszik, hogy ez a jelenség olyan kifejezett, hogy az üledék algaflórájának kutatásakor, vagy monitoringja esetén nem hagyható figyelmen kívül.

Kísérletes úton megállapítottuk, hogy a Balaton fitobentosa pozitív fototaxist mutat. Ez megmagyarázza azt, hogy miért van a déli órákban sokkal több alga a tó üledékének felszínén, mint reggel vagy este. Kísérletekkel bizonyítottuk, hogy a Balaton bentikus algáinak mélyebb üledékrétegekbe való vándorlása az intersticiális víz gazdag ásványi tápanyagforrásaiért történik.

Megállapítottuk, hogy 2002 és 2003 júliusában a Balaton déli partjának nádmentes területein mindenütt gazdag *Cladophora glomerata* gyep alakult ki, a mező szélessége 60 és 120 méter között változott, átlagosan 100 m széles volt és tömege a vízmélységgel csökkent, 40 centiméternél mélyebb vízben nem tudott kialakulni. A *Cladophora* tömegprodukciónak nem vízszennyezés, hanem az alacsony vízállás következménye volt, 2004-ben a vízszint megemelkedésével a jelenség megszűnt.

Bevezetés

A Balaton planktonikus algaegyütteseinek elsődleges termelése képezi a tó anyagforgalmának energetikai alapját. Mindemellert a lebegő mikroszkópikus algák alapvető meghatározói a vízminőségnek és egyben indikátorai is, ezért 1999 és 2009 között rendszeresen vizsgáltuk a balatoni fitoplankton tömegének és összetételének változását. A korábbi években már bebizonyosodott, hogy a Balaton fitoplanktonjának monitoringja és tudományos kutatása nem nélkülözheti a bakteriális méretű, ún. pikoalgák mennyiségi és minőségi meghatározását, ezért a nano- és a mikrop plankton mellett nyomon követtük a pikoplankton változásait is. A terepvizsgálatok mellett, az észlelt történések okainak megértése céljából természetes balatoni algaegyüttesekkel és a tóból izolált algatörzsekkel laboratóriumi és terepi kísérleteket is végeztünk. Többek között meghatároztuk a pikoplankton hozzájárulását a tavi elsődleges termeléshez, és pigment típusainak vízminőség indikációs szerepét. Felmértük a balatoni fitobentosz tömegét, és meghatároztuk jelentőségét a tavi elsődleges termelésben. Kísérletesen vizsgáltuk a fitobentosz vertikális migrációját a Balaton üledékében. Az alacsony vízállású időszakban (2002 és 2003) felmértük a *Cladophora glomerata* fonalas zöldalga elterjedését, és meghatároztuk a szaporodását szabályozó tényezőket a Balatonban. 1999 és 2002 között vizsgáltuk a vas szerepét a balatoni planktonikus algaegyüttesek szabályozásában. A jelen munka ennek az évtizedes kutatásnak rövid összefoglalását adja, a témában eddig megjelent publikációk (lásd irodalomjegyzék) alapján.

Anyag és módszer

A fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) intenzitását LI-1400 radiométerrel, gömb felületű (4π) szenzorral mértük. A vízoszlopban az

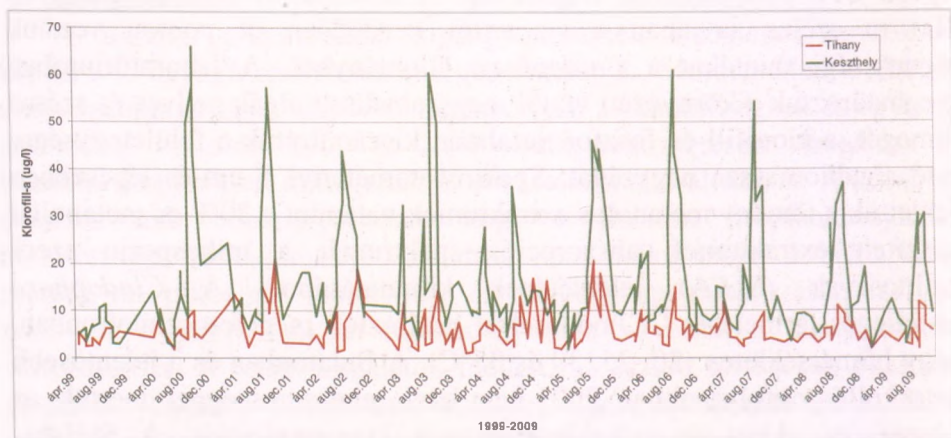
a-klorofill koncentrációt spektrofotometriával, a fitobentosz tömegére utaló a-klorofill koncentrációkat fluoreszcens spektrofotométerrel, forró metanolos extrakciót követően határoztuk meg. A pikoplanktont frissen gyűjtött rögzítetlen vízmintákból epifluoreszcens mikroszkóppal, a nano- és mikrop planktont Lugol-oldattal fixált mintákból fordított planktonmikroszkóppal vizsgáltuk. A fitoplankton és a felszíni (2,5 mm) üledék fitobentoszának elsődleges termelését fotoszintetronban ^{14}C -módszerrel mértük. A fitobentosz vertikális migrációját kísérletesen vizsgáltuk. A déli part *Cladophora* vegetációjának felmérését 2003 nyarán végeztük. A mintavételi pontok földrajzi koordinátáit GARMIN II típusú GPS berendezéssel rögzítettük. A kiválasztott keresztshelvények 100 m széles sávjában a vízparttól kezdődően öt ponton vettünk mennyiségi mintákat a *Cladophora* állományból. A laboratóriumban meghatároztuk a környezeti víztől megszabadított algák nedves és száraz tömegét, a-klorofill és foszfor tartalmát, kiszámítottuk a felületegységre jutó algabiomassza nagyságát. Spektrofotométerrel 5 nm-es lépésekben felvettük a tömény metanolos extraktumok valamint a 20%-os metanollal készített extraktumok abszorpciós spektrumát a mikosporin szerű aminosavak (MAA) jelenlétének kimutatásához. A *Cladophora* elsődleges termelését ^{14}C -módszerrel határoztuk meg fotoszintetronban, négy hőmérsékleten (20, 25, 30 és 35°C). A Balatonban és a jelentősebb betorkolló vízfolyásokban 2001-ben havi rendszerességgel mértük az összes, az oldott és a kelátolható vas koncentrációját. A Siófoki-medencében és a Keszthelyi-medencében havi gyakorisággal mértük a fitoplankton fotoszintézisét és határoztuk meg az oxinnal történő vasmegvonás hatására bekövetkező gátlás mértékét. Kemosztát kísérletekben vizsgáltuk a Fe-kínálat hatását természetes balatoni fitoplankton együttesekre.

Eredmények

A fitoplankton tömegének és összetételének változásai

Az 1999–2009 közötti időszakban az a-klorofill koncentráció maximális értékét úgy a Keszthelyi-, mint a Siófoki-medencében nyáron érte el. Az évenkénti maximális klorofill-a koncentráció értékek a Keszthelyi-medencében 11,3 $\mu\text{g/l}$ és 66,0 $\mu\text{g/l}$ közöttiek voltak, a változásnak nem volt határozott trendje. A Siófoki-medencében a maximális értékek 6,3 $\mu\text{g/l}$ és 21,3 $\mu\text{g/l}$ közöttiek voltak, itt sem volt határozott trendje a változásnak (1. ábra). Figyelemreméltó, hogy 2002 és

2003 nyarán a tó alacsony vízállású időszakában sem volt kiugróan magas a fitoplankton tömege egyik medencében sem. Az algák tömege alapján az OECD kritériumok szerint a Siófoki-medence mezotróf, a Keszthelyi-medence pedig eutróf vízminőségű. A hossz-szelvény vizsgálatok eredményei szerint az esetek túlnyomó részében a keletről nyugatra növekvő fitoplankton biomassza mind a mai napig jellemzője a tónak, ezzel együtt gyakran előfordul, hogy a Szigligeti-medencében a fitoplankton tömege megegyezik a Keszthelyi-medencével, és a Szemesi-medencében is eutróf vízminőség alakul ki (a-klorofill maximum 37 $\mu\text{g/l}$).



1. ábra. A fitoplankton tömegének változása a Keszthelyi- és a Siófoki-medencében 1999–2009 között

A fitoplankton összetételére tavasszal a tó egész területén a Centrales kovamoszatok dominanciája a jellemző, nyaranta pedig megjelennek a fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok (*Aphanizomenon spp.*, *Cylindrospermopsis raciborskii*). Utóbbiak rendszerint a fitoplankton tömegének legnagyobb részét teszik ki, mellettük az *Aulacoseria granulata* kovamoszat és a fecskemoszat (*Ceratium hirundinella*) fordul elő jelentősebb mennyiségben. Ez alól az általános tendencia alól 2006 nyara képezett kivételt, amikor a Siófoki-medencében nem fordultak elő fonalas nitrogénkötő kéalgák. Differenciál-interferencia kontraszt fénymikroszkópi módszerrel 2008-ban egy, a Balatonból eddig ismeretlen Haptophyta (*Chrysochromulina parva* Lackey) algát azonosítottunk a Siófoki-medencében. Biomasszáját tekintve ez az

újjonnan észlelt szervezet a Siófoki-medence második legtömegesebb algájává lépett elő, maximális biomasszája (nedves tömeg) 1170 $\mu\text{g/l}$ volt. Késő ősszel és télen az év legkisebb biomasszájú időszakában a fitoplankton tömegének alakításában jelentős szerephez jutottak még a piko-méretű zöldalgák (lásd lentebb), a *Monoraphidium contortum* és *Cryptophyta*-fajok (*Cryptomonas* spp., *Rhodomonas minuta*).

A fotoautotróf pikoplankton változásai

Megállapítottuk, hogy pikoalgák az év minden szakában jelentős egyedszámban fordulnak elő a Balaton egész területén. Részeseedésük esetenként eléri az 50%-ot a fitoplankton teljes biomasszájából úgy az eutróf Keszthelyi-medencében mint a mezotróf Siófoki-medencében. A fitoplankton összetételének szezonális változása alapján megállapítható, hogy a pikoplankton részesezése a nyári fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok tömeges megjelenése idején nagymértékben csökken. Ez az ellentétes tendencia az eutróf Keszthelyi-medencében erősen kifejezett, de a Sófoki-medencében is felismerhető. Mindezek az eredmények arra utalnak, hogy a világ számos tavából leírt, de mind a mai napig kellően nem értett, a trofitás és a pikoplankton részesezése közötti inverz összefüggés mögött az is meghúzódik, hogy az édesvízi pikocianobaktériumok nem képesek a légköri molekuláris nitrogén megkötésére, ezért kompetitív hátrányba kerülnek a nyári időszakban elszaporodó fonalas nitrogénkötő cianobaktériumokkal szemben. Ezt bizonyítja az is, hogy a fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok biomasszája és a pikoplankton részesezése közötti inverz összefüggés a Balatonban lényegesen szorosabb ($r^2=0,84$) mint amit a fitoplankton összes biomasszája és a pikoplankton részesezése között meghatároztunk ($r^2=0,43$).

Munkánk során a Balaton-kutatás történetében először dokumentáltuk, hogy a téli hónapokban gazdag, eukarióta dominanciájú pikoplankton együttesek alakulnak ki a jéggel borított, fényszegény 0,5°C–1 °C hőmérsékletű vízben. Évszakos dinamikájukat tekintve megfigyeltük, hogy a jégborítás megszűntével a pikoeukarióták fokozatosan eltűntek, a 6–7 °C-nál melegebb vízből már csaknem teljes mértékben hiányoztak, helyüket pedig átvették az év túlnyomó részében domináns, fikocianin és fikoeritrin pigmentdominanciájú cianobaktériumok. Ősszel, a vízhőmérséklet 15 °C alá süllyedése során a

pikocianobaktériumok száma drasztikusan csökken és újra a pikoeukarióta algák szaporodnak el.

A pikocianobaktériumok pigment típusa a Keszthelyi- és a Siófoki-medencében jelentősen eltért. A pikocianobaktérium együttesekben a Keszthelyi-medencében a fikocianinos formák, a Siófoki-medencében a fikoeritrines formák uralkodtak. Ez a jelentős különbség a két terület eltérő (vízminőségével) víz alatti fényviszonyaival áll összefüggésben. A Keszthelyi medencében a vízoszlop átlátszósága lényegesen kisebb, a vertikális extinkciós koefficiens (K_d) értékei 1999 és 2009 között $0,5$ és $7,8 \text{ m}^{-1}$ közöttiek voltak, az átlagos érték $2,2 \text{ m}^{-1}$ volt. A tisztább vizű Siófoki-medencében a K_d értékei $0,4$ és $3,5 \text{ m}^{-1}$ közöttiek voltak, átlagos értéke pedig $1,3 \text{ m}^{-1}$ volt.

A pikoplankton mint az ökológiai állapot indikátora

A fikoeritrines (PE), illetve a fikocianinos (PC) formák elszaporodása valamint ezek aránya a víz alatti fényviszonyokkal áll összefüggésben. A víz átlátszóságát csökkentő, a fényextinkciót növelő tényezők, az élő és élettelen lebegőanyagok, valamint a színes oldott szervesanyagok (humanyagok) erőteljesebben abszorbeálják a rövidebb hullámhosszú sugárzást, mint a vöröset, ezért a K_d érték (fényextinkció) növekedése a fény spektrális összetételének megváltozásával jár (vörös eltolódás). Ezt a változást tükrözik az algák pigmentjei is. A pikoplankton fikoeritrinben gazdag formái a kék és a zöld tartományban abszorbeálnak erősebben, a fikocianin pigmentdominanciájú formák pedig a vörösben. A vízoszlop extinkciójának (K_d) függvényében ábrázolva a pikoplankton kétféle pigment típusának részarányát, egyértelmű az összefüggés. Tekintettel arra, hogy a pikoplankton minden víztípusban minden időben jelen van, indikációs célra kiválóan megfelel. A balatoni eredmények pedig egyértelművé teszik, hogy segítségükkel az EU VKI-szerinti minősítés egyszerűen, gyorsan, precízen, szubjektív hibától mentesen végrehajtható.

A Balaton esetében, mint a felszíni vizek többségében az átlátszóság csökkenése vízminőség romlást jelent. Természetesen vannak olyan vizek, és különösen igaz ez a sekély tavakra, ahol a víz átlátszóságát a természetes úton előforduló lebegő ásványi anyagok, illetve az oldott színes szervesanyagok jelentős mértékben csökkentik, és ennek mértéke olyan lehet, hogy mindenfajta szennyezés nélkül is a vörös fény lesz a víz alatt uralkodó. Ennek következtében az ilyen vizekben kizárólagosan a

fikocianinos pikoalgák dominálnak. Ott azonban, ahol az oldott huminanyagok koncentrációja alacsony, az átlátszóság tendenciózus csökkenése a vízminőség romlását, az ökológiai állapot kedvezőtlenebbé válását indikálja, pl. annak következtében, hogy a víz eutrofizálódik, algákban gazdagabbá válik. Ezért az általunk javasolt EU VKI szerinti minősítési kategória beosztás (1. táblázat) nem univerzális, csak megszorításokkal érvényes. Természetes barna vizekben és természetes zavaros vizekben nem használható, ott egyébként fikoeritrines formák egyáltalán nem is fordulnak elő.

1. táblázat. A Balaton 1986 és 2008 közötti pikoplankton adatai alapján készített ökológiai minősítő rendszer (a PE% értékei éves átlagok)

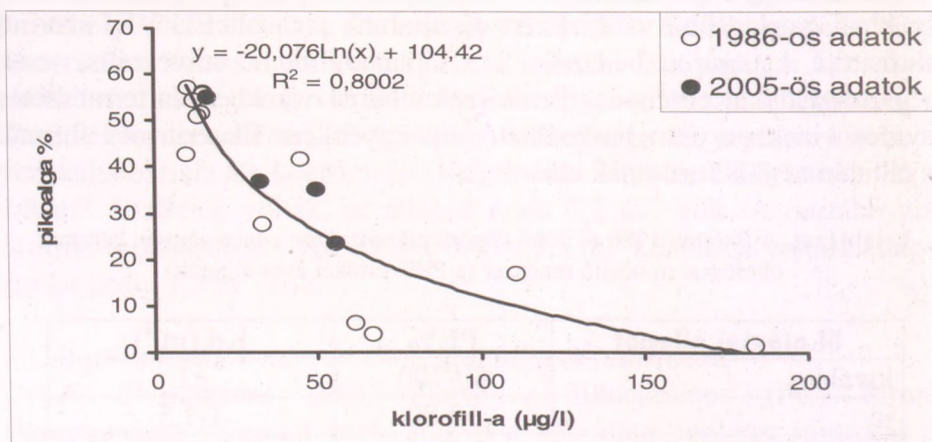
ökológiai állapot	PE%	Kd (m ⁻¹)
kiváló	80-100	<1
jó	50-80	1-1,5
közepes	20-50	1,5-2,5
tűrhető	10-20	2,5-3
rossz	<10	>3

A Keszthelyi-medence algásodottsága a múlt század kilencvenes éveiben jelentős mértékben csökkent, ezt egyértelműen jelzi a fitoplankton összes tömegének csökkenése, de indikálja a fikoeritrin pigmentdominanciájú pikocianobaktériumok részeseződésének növekedése is. Az EU VKI szerinti minősítési rendszerben ez a változási tendencia azt mutatja, hogy a Keszthelyi-medence ökológiai állapota a tűrhető kategóriából a közepes ökológiai állapotba került, a Siófoki-medence pedig jó minősítést kapott.

A pikoplankton elsődleges termelése

2005 augusztusában mértük a fitoplankton elsődleges szervesanyag termelését a Balaton négy medencéjében. Keszthelynél kaptuk a legmagasabb, Tihanynál pedig a legalacsonyabb értéket (P_{max} : Keszthelyi-medence: 210 $\mu\text{gC/l/óra}$, Szigligeti-medence: 157 $\mu\text{gC/l/óra}$, Szemesi-medence: 103 $\mu\text{gC/l/óra}$, Siófoki-medence: 72 $\mu\text{gC/l/óra}$). A pikoalgák részeseződése az elsődleges szervesanyag termelésből ezzel ellentétben a Keszthelyi-medencében volt a legalacsonyabb, míg a kevésbé eutróf Siófoki-medencében a legmagasabb. A Balaton hossz tengelyében a trofitás csökkenésével a Keszthelyi-medencétől a

Siófoki-medence felé a pikoalgák részesedése az összes termelésből növekedett (Keszthelyi-medence: 23%, Szigligeti-medence: 35%, Szemesi-medence: 37%, Siófoki-medence: 54%).



2. ábra. A pikoplankton részesedése a fitoplankton elsődleges termeléséből a Balatonban a trofitás (fitoplankton biomassa) függvényében

2005 augusztusában a maximális elsődleges termelés a trofitás csökkenésének megfelelően a Keszthelyi-medencében jelentősen kisebb volt, mint a nyolcvanas években, ezzel ellentétben a pikoalgák részesedése jelentősen 1%-ról 23%-ra nőtt. A Siófoki-medencében az elsődleges termelés az elmúlt 20 évben számottevően nem változott, a pikoplankton hozzájárulása 1986-ban és 2005-ben egyaránt igen nagy (42%; 55%) volt. Az a tény, hogy a pikoplankton az alacsonyabb trofitású területeken/időszakokban az elsődleges termelés nagyobb hányadért felelős, mutatja, hogy a pikoplankton jó indikátora a vízminőség változásának (2. ábra).

A vas szerepe a balatoni fitoplankton együttesek szabályozásában

Az összes vas, az oldott vas és a kelátolható vas 2001-ben a Keszthelyi- és Siófoki-medencében mért koncentrációinak összevetése alapján elmondható, hogy a vasformák között közel nagyságrendnyi a különbség. Az összes vas átlagos koncentrációja méréseink idején 194 µg/l és 166 µg/l, az oldott vasé 15,8 µg/l és 16,8 µg/l, a kelátolható vasé (algák számára hozzáférhető Fe) 2,33 µg/l és 1,42 µg/l volt. A Keszthelyi-medencében az összes vas mennyisége átlagosan 80-szor

múlta felül a kelátolhatóét, ezzel szemben a Siófoki-medencében a különbség 170-szeres volt. A befolyó vizek egész évre kiterjedő mérésorozatának eredménye szerint a Zala-folyó szerepe kiemelkedik a tó Fe utánpótlása szempontjából, a kelátolható vas koncentrációja a Zala-folyóban volt a legnagyobb (25 µg/l).

A 75 napos, hosszú időtartamú, Balaton-vízzel és természetes balatoni planktonegyüttessel végzett kemosztát kísérletben megállapítható volt, hogy a Fe-hiányos kemosztátokban alapvetően eltért a faji összetétel a vasdúsítást is kapott edényekétől. A foszforral és nitrogénnel dúsított kemosztátban a kezdeti szaporodást követően a nitrogénkötő cianobaktériumok kimosódtak a rendszerből. A kísérlet második felében már csak kovamoszatok (*Nitzschia* fajok) és egy fonalas, de nitrogénkötésre képtelen cianobaktérium (*Planktolyngbya limnetica*) versengett, amely versenyből a kísérlet végén a *Nitzschia actinastroides* került ki győztesen

A P, N és Fe dúsítást is kapott kísérletben mindvégig a fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok uralkodtak, először az *Aphanizomenon flos-aquae* szaporodott el, majd fokozatosan átadta a helyét az *Anabaena aphanizomenoides*-nek. A nitrogénkötők mellett azonban folyamatosan jelen voltak az előző kemosztátokból már megismert *Nitzschia*-fajok és a *Planktolyngbya limnetica* is, bár tömegük töredéke volt csak a nitrogénkötőkének. Úgy is fogalmazhatunk, hogy Fe dúsítás hatására a nitrogénkötő cianobaktériumok szuperponálódtak a kemosztátok eredeti algaflórájára. A nitrogéndúsítást nem, csak P és Fe dúsítást kapott kemosztátban alakultak ki a legszélsőségesebb viszonyok, ebből a kemosztátból minden alga eltűnt és a kísérlet végére versenytárs nélkül maradt az *Anabaena aphanizomenoides*. Kemosztát kísérleteink eredményei egyértelműen bizonyítják, hogy a Fe dúsítás nélkül a fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok nem képesek elszaporodni a Siófoki-medence szűrt vizében. Itt a Fe készletek erőteljesen korlátozzák az algák szaporodását, ezt a viszonylagos Fe hiányt egyes eukarióta algafajok jobban tolerálják, mint a nitrogénkötő algák. A fotoszintézis mérések eredményei szerint a környezetben levő vas oxin (8-hydroxiquinoline) kelátképző által történt megvonásának hatására mind a Keszthelyi-medence, mind a Siófoki-medence fitoplanktonjának fotoszintézise jelentős mértékben csökkent. A gátlás mértéke erősen függött az alkalmazott fényintenzitástól. Alacsonyabb fényintenzitáson a vasmegvonás hatására a fotoszintézis gátlásában határozott szezonális

mintázatot figyelhettünk meg az év során. A "gátlás görbe" a maximális értékeit akkor érte el, amikor a fitoplankton együttesben a nitrogénkötő cianobaktériumok jutottak uralomra. Ezek az eredmények a kemosztát kísérletekkel együtt egyértelműen bizonyítják a fonalas nitrogénkötő cianobaktériumoknak a többi algát meghaladó Fe igényét.

A fitobentosz területi változásai

A fitoplankton tömegének csökkenésével megváltozott, felértékelődött a fitobentosz szerepe a Balatonban. Ezért 2000-ben több mint egy évtizedes szünet után újra elkezdtük a fitobentosz komplex, mennyiségi és minőségi viszonyokat egyaránt felölelő tanulmányozását. A vizsgálat első évében a fitobentosz tömegének és összetételének megismerése volt a fő cél. A mennyiségi adatok azonban semmiféle információval nem szolgálnak a fitobentosz anyagforgalmi szerepéről, ezért a 2001. esztendőben megkezdtük a fitobentosz elsődleges termelésének rendszeres mérését is. Az üledék felszínén a Keszthelyi-medencében a klorofill-a koncentráció 2001 júniusa és 2002 októbere között átlagosan $0,65 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ volt. A Siófoki-medence mélyvizében ennek kereken háromszorosát találtuk, átlagosan $1,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ -t. A déli part sekély vizében azonban ez utóbbinál is sokszorta több klorofill-a fordult elő, átlagosan $7,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Ezeknek az eltéréseknek a hátterében a víz alatti fényviszonyok állnak. A Keszthelyi-medence sekélyebb volta ellenére itt jut a legkevesebb fény az üledék felszínére. Méréseink szerint itt a fotoszintetikusan aktív sugárzás vertikális extinkciós koefficiense átlagosan $2,3 (\text{m}^{-1})$, szemben a Siófoki-medencével, ahol ez az érték csupán $1,2 (\text{m}^{-1})$ volt. Másképpen fogalmazva az eufotikus réteg átlagos mélysége Keszthelynél mindössze 2,0 méter, a Siófoki-medencében pedig 3,8 m.

A déli part sekély vizében bőségesen jut fény az üledék felszínére, ezért itt kedvezőek a feltételek a bentikus algák szaporodásához. Ezt jelzi az üledékfelszín tartósan magas klorofilltartalma, a bentikus kovamoszatok aranysárga bevonata pedig szabad szemmel is jól megfigyelhető az év minden szakában.

A fitobentosz elsődleges termelése

A Siófoki-medence nyíltvízi területein a fitobentosz produkciója jelentősen alatta maradt a fitoplankton termelésének. 2001-ben végzett méréseink szerint a fitoplankton becsült elsődleges termelése 210 g

$C/m^2/év$ volt szemben a fitobentosz termelésével, amely $40\text{ g } C/m^2/év$ -nek adódott. Másképpen fogalmazva a Balaton mélyvízi területein a fitobentosz – jelentős tömege ellenére – alárendelt szerepet játszik a tó anyagforgalmában.

Egészen más a helyzet azonban a déli part sekélyebb ($<2\text{ m}$) vízterületein. Ha a fitoplankton és a fitobentosz területegységre vonatkoztatott biomasszáját vetjük össze, már akkor egyértelművé válik a fitobentosz meghatározó szerepe, hiszen itt a bentosz biomassza átlagosan 9-szerese a planktonénak. Ha ugyanezen a tóterületen a fitoplankton és a fitobentosz termelésének viszonyát vetjük össze, akkor azt az eredmény kapjuk, hogy az utóbbi produkciója rendre magasabb, mint a planktoné, és átlagosan mintegy 3,5-szeresen múlja felül azt.

Összegezve a fitoplankton és a bentosz produktivására vonatkozó eredményeinket elmondhatjuk, hogy a Siófoki-medence nyíltvízi planktonjának termelése megfelel a medence korábról már jól ismert trofikus státuszának, hiszen pl. 1977-ben a Siófoki-medence fitoplanktonjának éves elsődleges termelése $182\text{ g } C/m^2/év$ volt. A 2001-évi $210\text{ g } C/m^2/év$ -re becsült planktonikus elsődleges termeléshez képest a három méter mély víz fitobentoszának $40\text{ g } C/m^2/év$ elsődleges termelése nem jelentős. A sekély 0,5-2,0 méteres vízben ellenben a fitobentosz termelése többszöröse a planktonénak, másfél méteres mélységet feltételezve a fitobentosz becsült éves produkciója $700\text{ g } C/m^2/év$, amihez hozzáadódik a felette lévő vízoszlop termelése is. Ez azt jelent, hogy a déli part sekély vízterei hipertróf termelésűek, ilyen mértékű produktivitást korábban csak a Keszthelyi-medence planktonikus cianobaktérium tömegprodukcióinak korából ismerünk a Balatonban, de ahol a javuló vízminőséggel a fitoplankton produktivitása erőteljesen lecsökkent és pl. 1996-ban már csak $370\text{ g } C/m^2/év$ volt a becsült évi produkció. A 2002 tavaszán megkezdett rendszeres méréseink a balatonszemesi térségben megegyeznek a Zamárdinál végzett mérések eredményeivel. Ezek az adatok egybehangzóan azt mutatják, hogy a déli part sekély vízterei különösen nagy produktivitású területek, de ennek a magas produkciónak ökológiai jelentősége és vízminőségi következményei jelenleg még feltáratlanok.

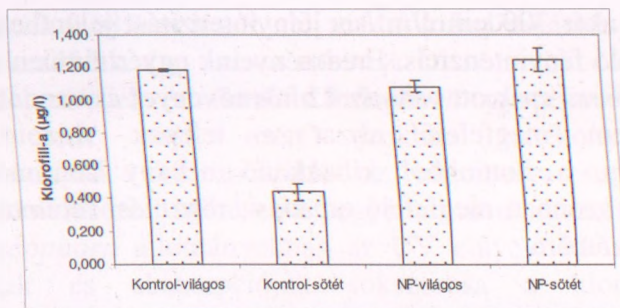
A fitobentosz vertikális migrációja

A bentikus kovamoszatoknak határozott napszakos vertikális migrációja van a Balatonban. Ez megmutatkozik abban, hogy a reggeli és

az esti órákban az üledék felszínén jelentősen kevesebb kovamoszat van, mint a déli órákban. A mérések adatai azt is egyértelművé teszik, hogy ez a jelenség olyan kifejezett, hogy az üledék algaflórájának kutatásakor, vagy monitoringja esetén nem hagyható figyelmen kívül. Csak azonos időben, azonos órában vett minták adatai vethetők össze. Fontos körülmény az is, hogy a jelenség viharos időben nem figyelhető meg. Az erős hullámozás homogenizálja az üledékfelszínt, amit mérésekkel igazoltunk.

A vertikális migráció okait kísérletesen vizsgáltuk. Az első kísérletekben a fény hatását vizsgáltuk. A kísérleti berendezésben a déli partról származó üledékminta egy részét sötétben tartottuk, másik részét pedig megvilágítottuk $425 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ fényintenzitással. A fény serkentette az algák felszínre való vándorlását, annak hiányában a felvándorlás mértéke kismértékű volt. A kísérletekből levonható egyértelmű következtetés az, hogy a Balaton fitobentosa pozitív fototaxist mutat. Ez megmagyarázza azt, hogy miért van a déli órákban sokkal több alga a tó üledékének felszínén, mint reggel vagy este.

A további kísérletekben a lefelé történő mozgás okait határoztuk meg. Méréseink megmutatták, hogy az üledék intersticiális vizében az oldott reaktív foszfor és az ammónium-N koncentrációja már 1 cm-es mélységben is 2 nagyságrenddel nagyobb, mint a felette lévő vízoszlopban. Ebből az következik, hogy az algáknak érdemes energiát fordítani a mélyebb üledékrétegek felkeresésére az ásványi tápanyagok bősége miatt. Az erre irányuló kísérletben az üledékminták felszínére szűrőpapírt helyeztünk, majd erre szűrt Balaton-vizet rétegeztünk. Az így kezelt mintákat ezután világosban tartottuk, és négy óra elteltével meghatároztuk a szűrőpapírra átvándorolt algák mennyiségét a-klorofill mérésel. A fennmaradó minták egy részében az üledék feletti tóvizet nitrogénnel és foszforral dúsítottuk, majd a kísérleti edények felét világosra, felét, pedig sötétbe helyeztük további 4 órás időtartamra. Amint az a természetben történik, a tiszta Balaton-vizet tartalmazó mintákban világosban az algák fennmaradtak az üledékfelszínen, ellenben a sötétben tartott mintákban mennyiségük drasztikusan csökkent, mert levándoroltak a mélyebb, tápanyagban dúsabb üledékrétegbe. Ezzel szemben a P+N dúsítást kapott mintákban sem világosban sem sötétben nem vándoroltak le a kovamoszatok a mélyebb üledékbe (3. ábra).



3. ábra. A vertikális migráció gátlása nitrogén és foszfor dúsítás hatására

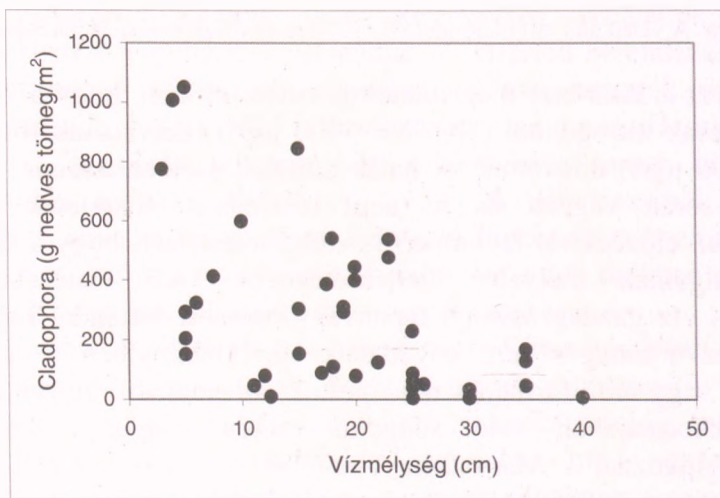
Ugyanezt a kísérletet megismételtük olyan módon, hogy a kísérleti edényeket csak nitrogénnel ($\text{NO}_3\text{-N} = 5000 \mu\text{g/l}$) illetve csak foszforral ($\text{PO}_4\text{-P} = 500 \mu\text{g/l}$) dúsítottuk. A hatás mindkét esetben azonos volt. A későbbiek során végzett és itt nem részletezett kísérletek tovább erősítették az előzőekből levonható következtetést, azt, hogy a Balaton bentikus algáinak mélyebb üledékrétegekbe való vándorlása az intersticiális víz gazdag ásványi tápanyagforrásaiért történik. Tápanyag bőségben ez a mozgás nem következik be. Amennyiben a nitrogént ammónium vagy urea formájában adagoltuk, az eredmény ugyanaz volt, mint nitrát-formájában való adagolás esetén. Végül a kísérletet elvégeztük glükózzal is. Már $0,2 \text{ mg/l}$ -es glükózkoncentráció lényegesen lecsökkentette az algák üledékbe történő vándorlását, ami arra utal, hogy a Balaton bentikus kovamosztratai is képesek a kismolekulájú szerves vegyületeket tápanyag és energia forrásként használni, ami az egysejtű algák világában meglehetősen elterjedt jelenség.

Cladophora tömegprodukción a Balaton déli-partján

Megállapítottuk, hogy 2002 és 2003 júliusában a Balaton déli partjának nádmentes területein mindenütt gazdag *Cladophora glomerata* gyepek alakultak ki, a mező szélessége 60 és 120 méter között változott, átlagosan 100 m széles volt.

2003 nyarán végzett méréseink szerint az egységnyi tófelületre eső *Cladophora* tömeg rendszerint a partközeli területeken volt a legnagyobb és a parttól távolodva csökkent, miközben a vízmélység nőtt, 40 centiméternél mélyebben a Balaton déli partján nem tudott kialakulni (4. ábra). Mélységbeli elterjedését azonban nem a fény szabályozta, hiszen a Balatonban 1 méter mélyre a felszínre érkező fotszintetikusan aktív sugárzásnak legalább 15%-a lejut, ez pedig egy

nyári napon akár $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ fényintenzitást jelenthet, amely több mint a limitáló fényintenzitás. Eredményeink egyértelműen azt mutatták, hogy *Cladophora* csak ott van, ahol hínárnövények is vannak. A déli part homokja nem megfelelő aljzat a telepek rhizoid sejtjeinek megtapadására, a homokból kibukkanó néhány centiméteres fiatal hínárhajtások azonban megfelelő tapadási, rögzülési felületet kínáltak a *Cladophora* számára.



4. ábra. A *Cladophora* állományok tömegének változása a vízmélység függvényében a Balaton déli partján

Az a parthossz, ahol a *Cladophora* dúsan tenyészett, méréseink szerint 55 kilométerre tehető, ami egyben azt is jelenti, hogy a *Cladophora* becsült össztömege a Balaton déli partján 230 tonna szárazanyag volt. Összehasonlításként megemlíjtük, hogy 2003. július végén a planktonikus algák becsült össztömege a Balatonban 270 tonna száraz anyagot tett ki, azaz a *Cladophora* gyepek szervesanyag tömege gyakorlatilag megegyezett a tó egész nyíltvizének planktonikus algatömegével.

A hínárokhoz tapadó fonaltömegeket a tó hossz tengelyére merőleges uralkodó szél által keltett hullámok nem tudják a partra kivetni, ugyanakkor a gyakran cserélődő víztömegek gondoskodtak a folyamatos, bár alacsony koncentrációjú tápanyag (P és N) utánpótlásról. A sejtek

száraz tömegének 0,08% volt a P, ami erős foszforlimitációt jelez, hiszen az 0,16%-nál kezdődik.

A víz felszínével érintkező *Cladophora* gyepeket a víz UV-abszorpciója sem védi, ezért azokban hatékony védekező mechanizmus(ok)nak kell működni az ultraibolya sugárzás káros hatásainak kivédésére. Méréseink egyértelműen igazolták, hogy a balatoni *Cladophora* állományokban az UV elnyelő MAA vegyületek jelen vannak és abszorpciójuk sokszorosa a klorofillének, a vegyületcsoport előfordulását ebből az alganemzetségből eddig még nem közölték. A *Cladophora* fotoszintézise 1000-1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ megvilágításnál érte el a fénytélítési szakaszt és még 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ esetén sem tapasztaltunk fénygátlást. A fotoszintézis intenzitása 20 és 35 °C-között lineárisan nőtt.



Köszönetnyilvánítás

Az évtizedes időintervallum alatt a kutatások a következők anyagi támogatásával valósultak meg: Miniszterelnöki Hivatal (1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004); Magyar Tudományos Akadémia (2004, 2005, 2006, 2008); Országos Területfejlesztési Hivatal (2005); Önkormányzati és Területfejlesztési Minisztérium (2006); Nemzeti Fejlesztési és Gazdasági Minisztérium (2008) Balaton Fejlesztési Tanács (2008, 2009).

Irodalom

- Vörös L., Présing M., Hiripi L., Kovács A., Koncz E., Nagy L., Kiss T. & Shafik, H. M. (1998) A balatoni kéalgák elszaporodását befolyásoló tényezők és toxicitásuk kutatása. In: Salánki J. & Padisák J. (Eds) A Balaton kutatásának 1997-es eredményei. VEAB-MeH Veszprém. ISBN 963 7385 48 7, 64-67.
- Vörös L., Hiripi L., Koncz E., Kovács A., Nagy L., Présing M. & Shafik H. M. (1999) Mikrobiális élőlénygyüttesek szerepe a Balaton vízminőségének alakításában. A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. In: Salánki J. & Padisák J. (Eds) MTA VEAB, MeH, Veszprém ISSN: 1419-1075, 18-22.
- Vörös L., Kovács A., V.-Balogh K. & Koncz E. (2000) Mikrobiális élőlénygyüttesek szerepe a Balaton vízminőségének alakításában. A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei. In: Somlyódi L. & Banczerowski J.-né (Eds.) Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 24-32.
- Vörös L., Kovács A., V.-Balogh K. & Tólos A. (2001) A fitoplankton és a fitobentosz változásainak kutatása. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 25-33.
- Vörös L., Farkas A., Shafik H. M., Kovács A. & V.-Balogh K. (2001) A vas szerepének kutatása az algásodásban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton

- kutatásának 2000. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 51-59.
- Vörös L., Kovács A. & V.-Balogh K. (2002) A fitoplankton és a fitobentosz változásainak kutatása. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 13-21.
- Vörös L., Kovács A., Farkas A., Shafik H. M., & V.-Balogh K. (2002) A vas szerepének kutatása az algásodásban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 46-54.
- Vörös L., Kovács A. & V.-Balogh K. (2003) A fitoplankton és a fitobentosz változásainak kutatása. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 9-17.
- Vörös L., Kovács A., Farkas A., Shafik H. M., & V.-Balogh K. (2003) A vas szerepének kutatása az algásodásban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 43-51.
- Vörös L., Kovács A., Pajer Gy. & Mózes A. (2004) A Balaton planktonikus és üledéklakó algaegyütteseinek szerepe és szabályozó tényezői. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 7-15.
- Vörös L., Kovács A., Mózes A., Bányász D. & Németh B. (2005) A Balaton planktonikus és üledéklakó algaegyütteseinek szerepe és szabályozó tényezői. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 7-15.
- Vörös L., Somogyi B., V.-Balogh K. & Németh B. (2006) A Balaton planktonikus és üledéklakó algaegyütteseinek szerepe és szabályozó tényezői. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 7-15.
- Vörös L., Somogyi B., Bányász D. & Németh B. (2007) A Balaton algaegyütteseinek szerepe a tó vízminőségének alakításában. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest ISSN 1419-1075, 7-15.
- Vörös L., & Somogyi B. (2009) A Balaton algaegyütteseinek szerepe a tó vízminőségének alakításában. In: Bíró P. & Banczerowski J.-né (Eds.) A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest (in press)

A BALATONI FITOPLANKTON TÉR- ÉS IDŐBELI MINTÁZATA

Padisák Judit¹, Hajnal Éva², Soróczki Pintér Éva¹, Kiss Gábor³ és Zámbóné Doma Zsuzsanna¹

¹Pannon Egyetem, Limnológia Intézeti Tanszék, Veszprém

²Budapesti Műszaki Főiskola, Regionális Oktatási és Innovációs Központ, Székesfehérvár

³Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség, Székesfehérvár

Összefoglalás. Jelen összefoglalásban a Balaton ökológiai állapotának hosszú távú alakulását írjuk le a tó keleti, illetve nyugati medencéjében a történeti adatok kezdeteitől 2006-ig. A fitoplankton fajokat funkcionális csoportokba sorolva kidolgoztunk egy állapotindexet (Q), mely az egyes csoportok relatív gyakorisága alapján becsli az ökológiai állapotot. E munkához létrehoztuk az ALMOBAL adatbázist, mely jelenleg több mint 60.000 egyedi fitoplankton adatot tartalmaz mintegy 3000 vízmintából. Az állapotrekonstrukció alapján megállapítható, hogy:

(i) Tihanynál az 1960-as évek végéig a tó ökológiai állapota egész évben jó-kiváló volt, a jónak megfelelő állapotok (melynél ebben az időszakban rosszabb nem volt kimutatható) jellemzően a február-áprilisi időszakban alakultak ki. Az 1970-es évektől bekövetkező rohamos eutrofizálódás elsősorban a nyári-őszi időszakban jelentkezett és mélypontját 1994-ben érte el: ebben az évben kiváló állapot az év egyetlen hónapjában sem volt detektálható. 1994-et követően a tó keleti térségében nagyobb tér- és időbeli kiterjedésű vízvirágzások nem jelentek, ennek ellenére a Q index jelzi, hogy – elsősorban a nyári-őszi időszakban – a tóba az eutrofizálódás során betelepült cianobaktérium fajok relatív mennyisége még mindig igen jelentős.

(ii) A Keszthelyi-medencében a nyár végi gyenge ökológiai állapot egyes években már a rohamos eutrofizálódás előtti időszakban is kialakult. Az 1980-as évben a fitoplankton összetétel egész évben atipikus volt, majd ezt követően 1994-ig a teljes június-októberi időszakra jellemző volt gyenge-rossz ökológiai állapot. A javulás 1997-től látványos: a gyenge állapotok csak 1-2 hónapra alakultak ki a nyári-őszi időszakban, s az évek egyéb évszakaiban a jó állapotok jellemzőek, időnként akár kiválóak is kialakultak.

(iii) A Q index – minthogy alapvetően nem a mennyiségi viszonyokat, hanem a társulásszerkezetet vizsgálja – megmutatta, hogy az 1994 utáni mennyiségi adatokban jelentkező látványos vízminőség javulás ellenére a tó algaközösségeinek regenerációja még nem ment végbe. A legutóbbi időszakokig jelentős a tóba az eutrofizálódás során betelepült kékalga fajok populációinak sűrűsége a nyári időszakban, s jelenlétük miatt antropogén vagy klimatikus eredetű hatások miatt a gyenge ökológiai állapotok időszakos kialakulásának a veszélye nem elhanyagolható.

Bevezetés

A fitoplankton fajok a Balatont érő szerves tápanyagok – mindenekelőtt a foszfor – elsődleges, gyors reakcióképességű hasznosítói. Fajaik száma 500 körüli, ezek előfordulása, mennyisége és főbb csoportjaik relatív biomassza-részesedése a tavat érő szinte minden klimatikus vagy antropogén hatást igen gyorsan jelez. Részletes minőségi és mennyiségi adatokkal a tó tihanyi térségére vonatkozóan mintegy 75 éve, a keszthelyi térségre pedig mintegy 55 éve rendelkezünk.

1992 és 1996 között az OTKA támogatásával végeztünk rendszeres mennyiségi és minőségi fitoplankton vizsgálatokat a Balatonon (Keszthelynél és Tihanynál), majd 1996–1998-ban, valamint 2001–2004-ben a MEH, 2006–2007 között pedig NKFP támogatásával. Ezen vizsgálatok – s legfőképp folytonosságuk – alapvetők a Balaton állapotának, vízminősége várható alakulásának prognosztizálásában. Tekintettel arra, hogy a MEH támogatása e hosszú távú ökológiai kutatást biztosította a jelzett években, az eredményeket nem választjuk el a – legalábbis a nyolcvanas évek végétől – folyamatos adatsortól.

Az 2000-ben kiadott Víz Keretirányelv (EC Parliament and Council, 2000) megkövetelte, hogy a Balaton VKI szempontú minősítési rendszerét kidolgozzuk, s a rendelkezésre álló adatok alapján a balatoni fitoplankton tér-idő változásait jellemezzük.

A balatoni fitoplankton VKI-nek megfelelő állapotindexe

A VKI tipológiai besorolása szerint a Balaton a hazai 1-es típusba tartozik, melynek egyúttal egyetlen képviselője. Emiatt referenciaállapotát önmagához (az általunk ismert „legjobb” ökológiai állapothoz) kell mérni. A VKI lehetőség szerint faji szintű indikátorokra alapozott minősítést ír elő. A fitoplankton alapú minősítésre a *Reynolds és mtsai (2000)* által kidolgozott funkcionális csoportokat használtuk fel. Ennek során a fajokat először a jelenleg ismert 40 funkcionális csoport (*Padisák és mtsai 2009*) egyikébe osztottuk be. Ezt követően az egyes funkcionális csoportok relatív biomassza részesedéséből (n_i), az öszbiomasszából (N) egy típus-specifikus súlyfaktor (F) alkalmazásával számítjuk a Q állapotindexet:

$$p_i = n_i/N; n_i \quad (1)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n p_i F_i \quad (2)$$

Az indexérték minimuma 0, maximuma 5. VKI szerinti állapotbesorolás:

- 0 - < 1: rossz
- 1 - < 2: gyenge
- 2 - < 3: mérsékelt
- 3 - < 4: jó
- ≥ 4: kiváló

A kapott értéket öttel osztva – ha szükséges – megkapjuk a VKI által egységesen megkövetelt 0 és 1 közé eső EQR értéket.

A Q index elméleti háttérének részleteit, a kiszámításával kapcsolatos útmutatót, alkalmazásának előnyeit és hátrányait több közleményben részleteztük (*Padisák és mtsai 2006; Hajnal és Padisák 2008; Padisák és Borics in press*). Ehelyütt a Q index két fontos sajátosságát kell kiemelni: minthogy nem abszolút, hanem relatív faji szintű biomassa adatokon alapul

a) nagyrészt kiküszöböli a fitoplankton mennyiségének becslése során alkalmazott különböző metodikák (előülepítés, direkt ülepítés, Kolkwitz-jellegű kamra, fordított mikroszkóp) által feltehetően okozott mennyiségi különbségeket valamint

b) „elsimítja” azokat az eltéréseket, melyet a különféle taxonómiai koncepcióváltozások, az egyes vizsgálok némiképp különböző taxonómiai ismeretei vagy felfogása okoznak.

E két feltétel teljesülése miatt, valamint mert faji szintű mennyiségi fitoplankton adatokkal az 1930-as évektől rendelkezünk, lehetővé válik a Balaton ökológiai állapotának rekonstrukciója.

A Q indexet a VKI céljaira, típus-specifikusan kidolgozott, fitoplankton abszolút biomassa alapú besorolással (*Mischke és mtsai., 2002*) összevetve megállapítottuk, hogy a kettő tendenciájában hasonló változásokat mutat (*Padisák et al 2004, 2005*).

A Balaton VKI szempontú minősítéséhez felhasznált adatok és azok adatbázisa

Az ebben az összefoglalásban fitoplankton mennyiségi felhasznált adatok különféle forrásból származnak. Az első adatok a 30-as évekből

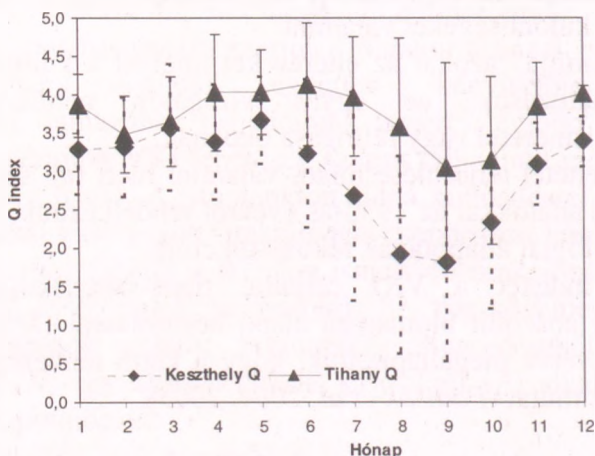
valók (Entz et al 1937). Az 1970-es évekig az adatokat nyomtatott táblázatok formájában publikálták (Tamás, 1955, 1965, 1967, 1969, 1972, 1974, 1975; Sebestyén 1960; Herodek & Tamás 1973, 1975; G.-Tóth & Padisák 1978). A MEH által támogatott kutatások adatai nyomtatott, táblázatos formában nagyrészt hozzáférhetőek (Padisák és Ács 1999; Padisák 2002; Padisák és mtsi 2003, 2004, 2005). Egyéb adatok saját, valamint a Közép-dunántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség kézírásos, valamint elektronikus archívumaiból származnak. Ezen adatok tárolására és analizálásra kidolgoztuk és felépítettük az ALMOBAL adatbázist (Hajnal és Padisák 2008; Hajnal 2009), mely alkalmas a szinonímák kezelésére, az egyedszám-biomassza konverzióra valamint a Q index direkt becslésére.

Az adatbázis jelenleg több mint 60.000 egyedi fitoplankton adatot tartalmaz mintegy 3000 vízmintából. Az alábbi eredményeket ezen adatmennyiség alapján elemezzük.

Eredmények és értékelés

A Q index jellegzetes szezonális változásokat mutat. A leggyengébb állapotot rendre a július-októberi időszakban mutatja (1. ábra).

a) Az ökológiai állapot konzekvensen gyengébb a nyugati tórészekben, mint a keletiben, összhangban a hidroeográfiai viszonyokkal, illetve a vízgyűjtő területi megoszlásával;



1. ábra. Az ökológiai állapotindex (Q) havonkénti megoszlása a Balaton keleti, és nyugati medencéjében az ALMOBAL adatbázis összes adata alapján

b) a leggyengébb ökológiai állapot kialakulása a nyári-kora őszi időszakban mutatkozik, mégpedig oly módon, hogy a

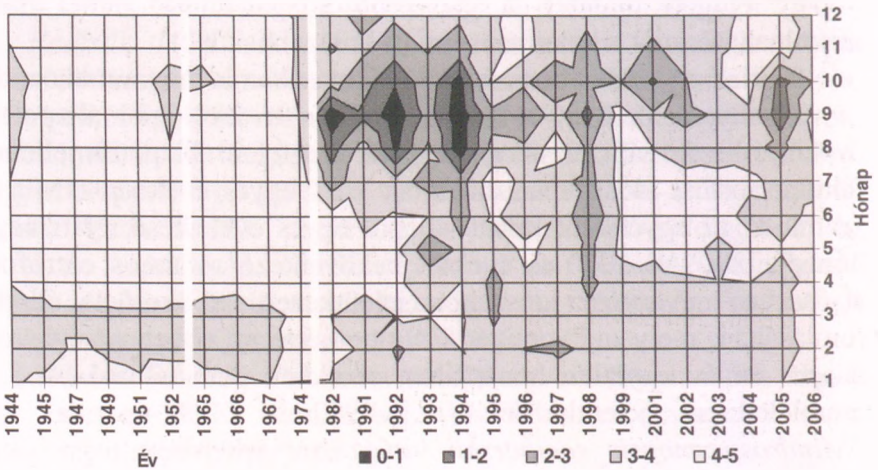
c) nyugati tórészen a gyengébb állapotok 4-6 héttel hamarabb alakulnak ki, mint a keletiben, emiatt hosszabbak is.

Fentiek a Q index hosszú távú alakulásában is megmutatkoznak.

Tihanynál az 1960-as évek végéig a tó ökológiai állapota egész évben jó-kiváló volt (2. ábra). A jónak megfelelő állapotok jellemzően a február-áprilisi időszakban alakultak ki, s egyes években erre a szintre „romlott” az egyébként kiváló állapot egyes évek késő nyári vagy őszi hónapjaiban. Az 1970-es évektől bekövetkező rohamos eutrofizálódás elsősorban a nyári-őszi időszakban jelentkezett a tó ökológiai állapotának romlásában, mely mélypontját 1994-ben érte el: ebben az évben kiváló állapot az év egyetlen hónapjában sem volt detektálható. A 2. ábrán szemléletesen jelentkeznek az 1982-es, 1992-es és 1994-es *Cylindrospermopsis raciborskii* virágzással jellemzett rossz ökológiai állapotok. 1994-et követően a tó keleti térségében nagyobb tér- és időbeli kiterjedésű vízvirágzások nem jelentkeztek, a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság adatai szerint a víz klorofill-a tartalom alapján mezotrófnak volt minősíthető (http://www.kvvm.hu/balaton/lang_hu/klab_elo.htm). Mindezzel együtt a Q index jelzi, hogy – elsősorban a nyári-őszi időszakban – a tóba az eutrofizálódás során betelepült cianobaktérium fajok (Padisák és Kovács 1997) relatív mennyisége még mindig igen jelentős. Az ökológiai állapot javulása elsősorban az április-júliusi időszakban jelentkezett, s megfigyelhető az is, hogy a késő nyári – őszi közepes állapotok hossza rövidül.

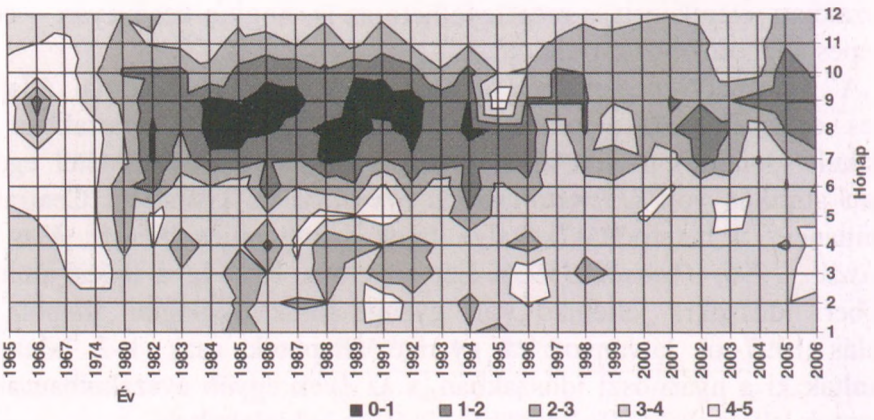
A Keszthelyi-medencében a nyár végi gyenge ökológiai állapot egyes években már a rohamos eutrofizálódás előtti időszakban is kialakult (3. ábra). Az 1980-as évben a fitoplankton összetétel egész évben atipikus volt (*Planktolyngbya limnetica* és kisméretű Centrales dominancia, a heterocitás kékalga fajok szinte teljes hiánya; Kiss és Padisák 1990; Padisák 1993). Ezt követően 1994-ig a teljes június-októberi időszakra jellemző volt gyenge–rossz ökológiai állapot. A javulás 1997-től látványos: a gyenge állapotok csak 1–2 hónapra alakultak ki a nyári-őszi időszakban, s az évek egyéb évszakaiban a jó állapotok jellemzőek, időnként akár kiválóak is kialakultak.

Q index értékel Tihanynál



2. ábra. Az ökológiai állapotindex (Q) alakulása 1944 és 2006 között, valamint havonként megoszlása a Balaton keleti medencéjében (minősítési kategóriák: $0 < 1$: rossz; $1 < 2$: gyenge; $2 < 3$: mérsékelt/közepes; $3 < 4$: jó; ≥ 4 : kiváló)

Q Index értékel Keszthelynél



3. ábra. Az ökológiai állapotindex (Q) alakulása 1965 és 2006 között, valamint havonként megoszlása a Balaton legnyugatibb medencéjében (minősítési kategóriák: $0 < 1$: rossz; $1 < 2$: gyenge; $2 < 3$: mérsékelt/közepes; $3 < 4$: jó; ≥ 4 : kiváló)

A Q index – minthogy alapvetően nem a mennyiségi viszonyokat, hanem a társulásszerkezetet vizsgálja – megmutatta, hogy az 1994 után a mennyiségi adatokban jelentkező látványos vízminőség javulás ellenére a tó algaközösségeinek regenerációja még nem ment végbe. A legutóbbi időszakokig jelentős a tóba az eutrofizálódás során betelepült kékalga fajok populációinak sűrűsége a nyári időszakban, s jelenlétük miatt antropogén vagy klimatikus eredetű hatások miatt a gyenge ökológiai állapotok időszakos kialakulásának a veszélye nem elhanyagolható.

Irodalom

- EC Parliament and Council. (2000) Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. European Commission PE-CONS 3639/1/100 Rev 1, Luxembourg.
- Entz. G., J. Kottász & O. Sebestyén. (1937) Quantitatív tanulmányok a Balaton bioszesztonján. *Annales Instituti Biologici Tihany* 9: 1-144.
- G.-Tóth, L. & J. Padisák. (1978) Short term investigations on the phytoplankton of Lake Balaton at Tihany. *Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae* 24: 187-204.
- Hajnal, É. (2009) Fitoplankton adatbázisok létrehozása, és alkalmazásuk tavak ökológiai állapotának vizsgálatához. PhD Értekezés, Pannon Egyetem, http://twilight.vein.hu/phd_dolgozatok/hajnaleva/Hajnal_theses.pdf.
- Hajnal, É. & J. Padisák. (2008) Analysis of long-term ecological status of Lake Balaton based on the ALMOBAL phytoplankton database. *Hydrobiologia* 599: 227-237.
- Herodek, S. & G. Tamás. (1973) The primary production of phytoplankton in Lake Balaton April–September 1972. *Annales Instituti Biologici Tihany* 40: 207-218.
- Herodek, S. & G. Tamás. (1975) The primary production of phytoplankton in the Keszthely Basin of Lake Balaton in 1973-74. *Annales Instituti Biologici Tihany* 42: 175-190.
- Kiss, K. T. & J. Padisák. (1990) Species succession of Thalassiosiraceae: Quantitative studies in a large, shallow lake (Lake Balaton, Hungary). In H. Simola (szerk.) *Proceedings of the 10th Internat. Symp. on Living and Fossil Diatoms*: 481-490, Koeltz Scientific Books, Koenigstein.
- Mischke, U., Nixdorf, B., Hoehn, E. & Riedmüller, U. (2002) Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons – Aktueller Stand in Deutschland. *Aktuelle Reihe* 5/02: 25-37, BTU, Cottbus.
- Padisák, J. (1993) The influence of different timescale disturbances on the species richness, diversity and equitablity of phytoplankton in shallow lakes. *Hydrobiologia* 249: 135-156.
- Padisák, J. (2002) A fitoplankton diverzitása és különböző taxonómiai csoportjainak szezonális változásai a Balatonban. In: Mahunka, S. & Banczerowski, J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei*, ISSN 1419-1075: 208-217, MTA, Budapest.

- Padisák, J. & É. Ács. (1999) A fitoplankton diverzitása és különböző csoportjainak szezonális változásai a Balatonban II.. In: Salánki, J. & J. & Padisák (szerk.) A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. MTA-VEAB, Veszprém, ISSN 1419-1075: 13-17.
- Padisák, J. & G. Borics. (in press). Felszíni vizeink ökológiai állapotának minősítése a fitoplankton alapján. Acta Biologica Debrecina.
- Padisák, J., G. Borics, I. Grigorszky & É. Soróczki-Pintér. (2006) Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. Hydrobiologia 553: 1-14.
- Padisák, J., L. O. Crossetti & L. Naselli-Flores. (2009) Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. Hydrobiologia 621: 1-19.
- Padisák, J. & A. Kovács. (1997) *Anabaena compacta* (Nygaard) Hickel - új kékalga faj a Balaton üledékében és planktonjában. Hidrológiai Közöny 77: 29-32.
- Padisák, J., É. Soróczki-Pintér & Zs. Zámóné Doma. (2003) A fitoplankton diverzitása, tér- és időbeli mintázata a Balatonban, 2002-ben. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei, ISSN 1419-1075, MTA, Budapest, 35-42.
- Padisák, J., É. Soróczki-Pintér, É. Hajnal & Zs. Zámóné-Doma. (2004) A balatoni fitoplankton tér- és időbeli mintázata 2003-ban. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei: 16-26, MTA-Amulett'98, Budapest.
- Padisák, J., É. Soróczki-Pintér, É. Hajnal & Zs. Zámóné-Doma. (2005) A balatoni fitoplankton tér- és időbeli mintázata 2004-ben. In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei: 16-26, MTA-Amulett'98, Budapest.
- Reynolds, C. S., V. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores & S. Melo. (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. Journal of Plankton Research 24: 417-428.
- Sebestyén, O. (1960) Állományokról, különös tekintettel a tavi planktonra (Balatoni tanulmányok alapján). [Über Bestände, mit besonderer Berücksichtigung des See-Planktons (auf Grund von Balaton-Studien)] Annales Instituti Biologici Tihany 27: 93-113.
- Tamás, G. (1955) Mennyiségi planktontanulmányok a Balatonon VI. A negyvenes évek fitoplanktonjának biomasszája. Annal. Biol. Tihany 23: 95-110.
- Tamás, G. (1965) Horizontale Plankton-Untersuchungen im Balaton VI. über das Phytoplankton im südwestlichen Teil des Sees auf Grund von Schöpf- und Netzfilterproben vom July 1962. Annales Instituti Biologici Tihany 32: 229-245.
- Tamás, G. (1967) Horizontale Plankton-Untersuchungen im Balaton V. Über das Phytoplankton des Sees auf Grund der im Jahre 1965 geschöpften und Netzfilterproben. Annales Instituti Biologici Tihany 34: 191-231.
- Tamás, G. (1969) Horizontal plankton investigations in Lake Balaton VII. on the phytoplankton of Lake Balaton, based on scooped samples and filtrates taken in 1966. Annales Instituti Biologici Tihany 36: 257-292.

- Tamás, G. (1972) Horizontal Phytoplankton studies in Lake Balaton based on scooped samples and filtrates taken in 1967. *Annales Instituti Biologici Tihany* 39: 151-188.
- Tamás, G. (1974) The Biomass Changes of Phytoplankton in Lake Balaton during the 1960s. *Annales Instituti Biologici Tihany* 41: 323-342.
- Tamás, G. (1975) Horizontally occurring quantitative phytoplankton investigations in Lake Balaton, 1974. *Annales Instituti Biologici Tihany* 42: 219-280.

A MAKROFITONOK ELTERJEDÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK A BALATONBAN

Herodek Sándor és Tóth Viktor

MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

Bevezetés

A tavak életében fontos szerepet töltenek be a parti zóna makrofiton állományai, amelyek számos faj számára egyedüli élőhelyet, másoknak szaporodási, táplálkozási vagy búvóhelyet nyújtanak. A Sió-zsilip megnyitása (1863) előtt a Balaton vízállása a mostaninál sokkal magasabb volt, és a Kis-Balaton és Nagy-Berek a tó makrofitonokban gazdag hatalmas öbleit jelentették. Ezek elvesztése után különösen fontos megőrizni a tó megmaradt nádasait és hínarasait.

Napjainkban a Balaton 240 km hosszú partvonalából 110 km-t öveznek nádasok, melyek együttes területe 12 km². Az állományok zöme a szélvédett, iszapos talajú északi parton, annak is főként az öbleiben fordul elő, kisebbik része a hullámverte, homokos talajú déli part Fonyódtól nyugatra eső részein, míg a déli part keleti területein nincsenek számottevő nádasok. Az északi parton általában 1,5 m mélységig, helyenként akár 2 m-ig hatol be a nádas, míg a déli parton 1 m a mélységi határ.

A tóban számos hínárfaj található, legnagyobb állományokat azonban a gyökerező, alámerült hínáros békaszőlő (*Potamogeton perfoliatus* L.) és füzéres süllőhínár (*Myriophyllum spicatum* L.) alkot, amelyek az északi part nádas előtti területein 2,2 m mélységig is behatolnak a tóba. Jelentős tömeget ér el a Balaton egyik melegkedvelő, lebegő hínárfaja, az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum* L.), amely 150 cm-es mélységig az erősen feliszapolódó helyeken található, de a vegetációs periódus nagyobbik részében az üledék felszíne feletti 20-40 cm-es rétegben alkot sűrű gyepszönyeget, és csak a nyár végén jelenik meg a víz felszínén. A nagy tüskéhínár (*Najas marina* L.) gyökerező, alámerült faj, amelyik június második felében jelenik meg pázsitszerűen az üledék felszíne fölötti 10-20 cm-es rétegben. A víz további felmelegedésével kezd gyorsabban nőni, augusztusban már erősen zavarhatja a fürdőzést.

Az utóbbi évtizedekben a Balaton egyik legnagyobb környezetvédelmi gondját a nádasok pusztulása jelentette. Az 1980-as

évek elejétől a korábban homogén nádasokban tarfoltok, lagúnák keletkeztek, a nád zombékos csomókra, babákra bomlott, végül a babákat kidöntötték a hullámok. A nádpusztulás megállítását, a nádasok rehabilitációját kormányhatározatok írták elő, eredmény azonban csak az okok ismeretében remélhető. Ezekről számos elképzelés született. Felmerült a hullámozás mechanikai hatása, a klorid és nitrát terhelés, a gombák, rovarok okozta károsítás, az amur, a hattyúk vagy a pézsmapocok nádfogyasztása is. A balatoni nádpusztulás nem egyedülálló jelenség. Számos európai tóban figyeltek meg hasonló folyamatot. Teljesen egyértelmű magyarázatot az Eured program sem adott, leginkább azonban az eutrofizációban, az üledékben folyó szerves anyag bomlásában és a vízállás változásában keresik az okot (Van der Putten 1997). Mivel nálunk a tó hipertróf nyugati részén, de a mezotróf keleti részen is voltak ép és pusztuló állományok, az eutrofizálódás hatását kevésbé tartottuk valószínűnek, ezért az üledék redox potenciál változására és annak következményeire összpontosítottunk.

A nád rizómája oldható cukrok és keményítő formájában sok nem strukturális szénhidrátot tartalmaz, amelyek az új hajtások kifejlődéséhez szükségesek, és fontos energiaforrást is jelentenek. Azonos energia termeléséhez anaerob erjedés mellett sokkal több cukor használdik fel, mint oxidatív foszforiláció esetén, ezért feltételezték, hogy a tartós anaeróbia során elpazarlódnak az új hajtások fejlesztéséhez szükséges tartalékok, és ez vezethet pusztuláshoz (Cizkova és mtsai 1992, Kubin és mtsai 1994).

A nád azok közé a ritka növények közé tartozik, amelyek szellőztető rendszert fejlesztettek ki a gyökérszóna oxigenálására. A leveleken a sztóma alatti üregben magasabb a páratartalom, mint a külső levegőben, ezért alacsonyabb a többi gáz parciális nyomása, és ezek befelé diffundálnak. A levelekben áramlás keletkezik, amely a száron és rizómán viszonylag kis ellenállással halad keresztül, és az előző évből visszamaradt száraz nádszálon vagy torzson keresztül szellőzik ki. Az így levegőztetett rizómákból a gyökéren keresztül oxigén diffundál az üledékbe (Brix és mtsai 1992, Beckett és mtsai 2001). Erősen anaerob üledékben rövid szénláncú zsírsavak, kénhidrogén és más mérgező anyagok keletkezhetnek. Ezek hatására kallusz képződik a nád rizómáiban, és elzárulnak a szellőzőjáratok, ami szintén pusztulást okozhat (Armstrong és Armstrong 1999).

A balatoni nádpusztulás vizsgálatára a Kerekedi-öböl egy ép és egy pusztuló állományában jelöltünk ki mintaterületet, ahol 2000-től 2004-ig kutathattunk. Ez váratlanul szerencsés időszak volt, hiszen 2000-ben kezdődött a hatalmas, négy éves aszály, amitől a vízállás fél méterrel a megengedett minimum alá csökkent, egyedülálló lehetőséget adva a vízállásváltozás hatásainak a kutatására.

Míg a nádasoknál a pusztulás, a hinaraknál időnként a túlszaporodás okoz gondot, hiszen a strandok és kikötők előtt a hínár zavarhatja a fürdözést és csónak közlekedést. A hinarasodás a 19. század végén, majd a 20. században, a harmincas években és a hatvanas évek végén okozott riadalmat az üdülők körében, a hetvenes évekre azonban erősen visszaszorult. A déli parton egyértelműen az erős hullámozás akadályozza a hínár terjedését, az északi oldalon viszont eltértek a vélemények abban, hogy a hullámozás vagy a fényhiány szabja-e meg a gyökerező hinarak számára a 2,0-2,2 méteres határt. A Balaton nagy felületén erős hullámozás alakulhat ki, amely a sekély fenékről sok üledéket kavar fel. Ezért más tavakhoz képest a Balaton átlátszósága viszonylag kicsiny, és a széljárás függvényében erősen változó. A tó mezotróf részén, ahol az algák még kevésbé befolyásolják az átlátszóságot, a vertikális átlagos fénykioltási együttható $1,69 \ln m^{-1}$, míg a Keszthelyi-medencében a sekélység és az üledék lazasága miatti nagyobb felkeveredés és az algásodás miatt ez az érték $3,3 \ln m^{-1}$ volt (*Herodek és Tamás 1976, Herodek és mtsai 1982*). Az egyes fajok esetében meghatározva a fotoszintézis fénytől való függését és a légzésük intenzitását, a fénykioltási együttható ismertében kiszámíthatjuk azt, hogy milyen mélységben éri el a fotoszintézis intenzitása a légzését, és ezt összevethetjük a tényleges elterjedés mélységi határával.

Eredmények

A nád növekedése, a nádas vizének és üledékének kémiai jellemzői

A nád növekedése a vízzel borított mélyebb területeken korán megindul, március végén a víz alatt már 40 cm volt a nád hossza, a sekélyebb részeken viszont lényegesen rövidebb. Április-májusban volt a legintenzívebb a növekedés. Ekkor a pusztuló állományban még gyorsabban nőttek a nádszálak, mint az ép állományban. A pusztuló állományban május végére nagyon lelassult a növekedés, az ép állományban viszont július végéig tartott. A virágzat augusztus közepére alakult ki. A nádszálak magassága az ép nádas belsejében 3 m, a

pusztulóban 2,5 m körül volt. A szár vastagsága az ép nádasban 8 mm, a pusztulóban 6 mm volt. Egészséges virágzat az ép nádasban a nádszálak nagyobbik, a pusztulóban csak kisebbik részén volt látható.

A nádas vízében az oxigén és nitrát töménysége a nádas belseje felé haladva csökkent, a foszfáté és ammóniumé nőtt. Az ép nádas belsejében a foszfát maximuma meghaladta a 100 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/litert}$. A beteg nádas vízében mindig több ammónium volt, mint az ép nádasban, maximuma elérte a 130 $\mu\text{g NH}_4\text{-N/litert}$. A magas koncentráció erős bomlási folyamatokat jelez. Az üledék pórusvizében mind a foszfát-, mind az ammóniumtartalom magasabb volt a beteg nádasok belsejében, mint az ép nádasokéban. A pórusvíz pH-ja 6,7-7,7 között változott. Az üledékben nagyon híg felső, szürke iszapos középső, fekete tözeges alsó, és barnás legalsó réteget lehetett megkülönböztetni. A beteg nádas üledékének szervesanyag tartalma magasabb volt, mint az ép nádasé.

A nádas üledékének redox potenciálja

Az üledék redox potenciálja az év folyamán szabályosan változott, és nyár végén, a legmelegebb időben mutatta a legnegatívabb értékeket. A redox potenciál a víz felszínétől lefelé haladva egyre csökkent, és 50 cm-es üledékmélységben érte el a legnegatívabb értékeket. A redox potenciál a nádas keresztmetszetében is erősen változott. A víztől a part felé haladva először csökkent, a nádas szélétől kb. 8 méterre érte el a minimumot, majd innen emelkedett. A pusztuló nádasban mindig negatívabb volt a redox, mint az ép állományban. Nyáron a nádasok belsejében 50 cm mélyen mért redox potenciál az ép nádasokban a 2000–2002 években -160 mV körül mozgott, 2003-ra azonban -81 mV -ra nőtt, a pusztuló nádasban viszont 2000-ben -360 mV , 2001-ben -270 mV volt, 2002-ben -220 mV , 2003-ban -112 mV volt. A vízállás csökkenésével tehát a redox viszonyok akkorát javultak, hogy a sekély vízzel borított pusztuló nádas belsejében jobbak lettek, mint amelyeneket a korábbi években az ép nádasban találtunk. Ezek az eredmények alátámasztják azt az elképzelést, hogy a nádpusztulást az üledékben folyó fokozott szervesanyag lebomlás miatti alacsony redox potenciál okozza, és azt mutatják, hogy a redox potenciál csökkenéséért a vízállás megemelése lehet felelős.

A rizómák szénhidrát tartaléka

Annak ellenőrzésére, hogy az üledék anaerobiája a nem strukturális szénhidrát tartalékok kimerítésén keresztül okozza-e a pusztulást, 2002–,

2003– és 2004-ben vizsgáltuk az ép és pusztuló nádasokban a horizontális rizómák oldható cukor és keményítő tartalmát. A három év adatait összevetve megállapíthatjuk, hogy az oldható cukrok mennyisége általában télen volt a legmagasabb, tavasszal csökkent, a szárazanyag 5%-a alá azonban csak 2003-ban esett. Az egyes éveken belül eléggé hasonlóan változott a cukrok és a keményítő mennyisége a különböző helyeken, az egyes évek között azonban nagyok az eltérések. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a nem strukturális szénhidrátok nemcsak a nádszálak tavaszi kifejlődését szolgálják, hanem a rizómákét is, amelyek az üledékben és vízben nyáron, ősszel, vagy akár koratavasszal is fejlődhetnek. A vizsgált nád rizómákban átlagban az oldható cukor a szárazsúly 20%-a, a keményítő a 10%-a körül volt, de a minimum is magasabb annál, hogy az korlátozná a hajtások fejlődését. A rossz nádasok rizómaiban átlagban több oldható cukor és keményítő volt, mint a jó nádasokban, ami ellene mond annak az elképzelésnek, hogy a nádasok leromlását a szénhidrát tartalékok kiürülése okozná.

Légáramlás a nádban

A nádszálakban folyó légáramlás napszakosságát a sönt módszerrel (Beckett és mtsai 2001) mértük. A Kerekedi-öböl ép nádasának szélén és belsejében lévő nádszál víz fölötti alsó három internódiumát megszabadítottuk a levelektől. A középső internódiumot glicerinnel víz 1:1 arányú elegyével töltöttük fel, így megakadályozva a benne folyó légáramlást, a felső és alsó internódiumot pedig vékony műanyag csővel kötöttük össze, amelyhez sorba kötöttük az áramlásmérőt, párhuzamosan pedig a nyomásmérőt. 2003. augusztus 23-án 9 órától augusztus 24. 17 óráig félóránként mértük az áramlási sebességet, a nyomást és a fényerősséget. A fényerősség 9-17 óra között mindkét napon 1500-2100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ PFD tartományban volt, a sötétség 21 óra táján állott be, és 4 órakor hajnalodott. Mind az áramlás, mind a dinamikus nyomás jól követte a fény alakulását. A 9-17 óra közötti szakaszban a nádas szélén 4-5 ml, a belsejében 1,5-2,5 ml levegő áramlott át percenként a nádszálon, míg a nyomás a nádas szélén 110-150, a belsejében 50-100 Pa volt. A nádas belsejében talált kisebb értékeket az állomány önárnyékolása magyarázza.

A fényerősség hatását a légáramlásra mesterséges árnyékolással is vizsgáltuk. A Kerekedi-öböl ép nádasának legszélén álló nádszálba söntöt ültettünk be, majd az áramlás és nyomás stabilizációja után a növény mellé szűrt karókra fényelnyelés szempontjából semlegesnek

vehető fóliát helyeztünk. 15 percen keresztül 2 percenként mértük az áramlás, dinamikus gáznyomás, fotonáram sűrűség, hőmérséklet és relatív páratartalom értékeit. Ezután helyeztük fel a következő fóliát, és megismételtük a méréseket. A teljes sötétítéshez fekete fóliát használtunk. A légáramlás és nyomás nagyon hasonlóan változott a fotonáram sűrűség (PFD) függvényében, mint a fény természetes, napszakos változása alkalmával. Mindkét esetben $600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ PFD körül érte el az áramlás a $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ PFD-nél mért érték felét. Ez azt jelzi, hogy valóban a megvilágításnak lehet döntő szerepe a levegőáramlás meghatározásában. A fénynek ez a hatása természetesen nem a fotoszintetikus O_2 termelésen, hanem a sztómák nyitottságának szabályozásán keresztül érvényesül. A nádszálban kialakuló dinamikus nyomás szigmoid görbe szerint nőtt a PFD-vel, és az áramlás a dinamikus nyomás növelésével telítési görbe szerint változott.

Több ép és pusztuló nádas nádszálaiban folyó levegőáramlás vizsgálatához egyszerűbb eljárást (*Beckett és mtsai 2001*) használtunk. A nádszálakat a víz fölé magasodó első nádusz felett metszettük el. Az áramlásmérőt a kettévágott internódium műanyag csővel összekötött két része közé sorba kötöttük, a nyomásmérőt pedig ehhez párhuzamosan csatlakoztattuk. Az áramlás és nyomás 1-1,5 perc alatt stabilizálódott. Az így mért nyomást dinamikus nyomásnak nevezzük. Ezután a nyomásmérőt közvetlenül a nádszál végére húztuk rá. Ilyenkor nincs levegőáramlás. Az így kapott nyomást sztatikus nyomásnak hívjuk. Közben vigyáztunk, hogy a levágott nádszál az eredeti fény- és páráviszonyok között maradjon.

A sztatikus nyomás az ép nádas frontján volt a legmagasabb, ahol május közepétől augusztus elejéig folyamatosan emelkedett 105 Pa-ról 210 Pa-ig. A pusztuló állomány frontján a sztatikus nyomás májusban hasonló volt az ép állományéhoz, innen azonban augusztusig 90 Pa-ra csökkent. Láttuk, hogy a pusztuló állomány május közepére befejezi a növekedést. Lehet, hogy a későbbi, mérsékelt csökkenés a levelek élettani állapotának romlására utal. A sztatikus nyomás a nádas belsejében kétharmada lehetett a vízfelőli szélen mért értéknek, és a pusztuló állományban mindig alacsonyabb volt, mint az épben. A dinamikus nyomás a sztatikus nyomásnak valamivel több, mint a fele volt, és az ép nádas belsejében 44-88 Pa, a pusztulóéban 15-38 Pa tartományban mozgott. Maximumát az ép állományban, júliusban, a pusztulóban június végén érte el. A rizóma nyomás az ép nádas frontján

20-31 Pa, a pusztuló nádas frontján 20-39 Pa, az ép nádas belsejében 6-36 Pa, a pusztulóéban 9-17 Pa tartományban változott. Az áramlási sebesség az ép nádas frontján május közepétől júliusig 8 ml/perc-ről 14 ml/percre emelkedett, majd augusztusra csökkent. A 14 ml/perc az irodalomban található legmagasabb értéknek felel meg. A pusztuló nádasban a maximális áramlás a tőfelőli fronton 5 ml/perc volt, és a nyomáshoz hasonlóan május végétől már csökkent. Az ép nádas belsejében 1-3 ml/perc, a pusztulóéban 1-2 ml/perc tartományban mozgott május végi maximumokkal. Így egy-egy nádszálon az ép nádas belsejében negyedannyi, a pusztuló belsejében harmadannyi levegő áramlott át egy nádszálon, mint a szabadon álló vízfelőli élen.

A nagyobb általánosíthatóság kedvéért 2002 augusztusában a kettévágott, majd összeillesztett nádszálak módszerével a Kerekedi-öböl mellett a Bozsai-öböl, Szigligeti-öböl és Fenékpusztva területén is vizsgáltunk egy-egy ép és pusztuló nádas. A sztatikus és dinamikus nyomás és az áramlás mindenütt nagyobb volt a nádasok vízfelőli szélén, mint a belsejében, a pusztuló állományokban pedig csak annyival volt kisebb, mint az épekben, amennyit a nádszálak eltérő mérete indokolt. A dinamikus és sztatikus nyomás hányadosa és az áramlási sebesség és dinamikus nyomás hányadosa gyakorlatilag nem mutatott különbséget az ép és a pusztuló nádasok között. Ez azt jelenti, hogy a rizómákban nem keletkeztek kóros elzáródások, hiszen akkor adott sztatikus nyomáshoz nagyobb dinamikus nyomás, adott dinamikus nyomáshoz pedig kisebb áramlási sebesség tartozna.

A hinarak fotoszintézise

A Tihanyi-félsziget körül gyűjtött hinarak fotoszintézisét a ^{14}C és az O_2 eljárással is mértük. Mindkét esetben a frissen gyűjtött hínárdarabokat szűrt tóvizet tartalmazó üvegpalackokba helyeztük. Az izotópos eljárásnál *Filbin és Hough (1984)* módszerét követve $\text{Na}_2^{14}\text{CO}_3$ -ot adtunk minden üveghez. Egy órás inkubáció után a leveleket lemostuk, lemértük friss tömegüket, majd dimetilszulfOXiddal kivontuk belőlük a fotoszintézis elsődleges termékeit, és mértük azok radioaktivitását. Az oxigénes eljárásnál elektródával meghatároztuk az inkubáció elején és végén a víz O_2 tartalmát, és ehhez hozzáadva a sötétben mért oxigénfogyasztást, ami a légzés intenzitását mutatja, kaptuk a fotoszintézis intenzitását. A fotoszintézis kis fényerőnél lineárisan nő a fotonáram sűrűséggel, majd fokozatosan telítésbe megy át. A

fotoszintézis intenzitásának fényfüggését a Webb képlettel írtuk le, amely szerint

$$P = P_{\max} \times (1 - e^{-I/I_k})$$

ahol P a fotoszintézis intenzitása I fényerősség mellett, P_{\max} a maximálisan elérhető fotoszintézis, I_k pedig az elméleti fénytelítődési intenzitás, az a PFD, amely mellett akkor érné el a fotoszintézis a P_{\max} -ot, ha a kezdeti meredekséggel végig lineárisan nőne. A fotoszintézis intenzitását szárazanyagra (sz.a.) vonatkoztatva adjuk meg.

A hínáros békaszőlő (*Potamogeton perfoliatus* L.) maximális fotoszintézise a tavaszi 18,8 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹-ről nyár közepére 34,15 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹-ra nőtt. A sötét légzés nem mutatott egyértelmű évszakos változást, a mért értékek magasak voltak, és a 8-22 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹ tartományba estek. A fotoszintézis kezdeti szakaszának fényfüggése tavasszal meredekebb volt, mint nyáron, az elméleti fénytelítési intenzitás pedig a tavaszi 45 μmol m⁻²sec⁻¹-ről nyárára 173 μmol m⁻²sec⁻¹-re nőtt. A kompenzációs fényintenzitás, ahol a fotoszintézis a légzéssel egyensúlyban van, a vegetációs időszak kezdetén csak 12,5 μmol m⁻²sec⁻¹ volt, míg nyár közepére 23,7 μmol m⁻²sec⁻¹-ra nőtt, tehát közel megduplázódott.

A füzéres süllőhínár (*Myriophyllum spicatum* L.) fénytelítésnél mért fotoszintézise, ellentétben a *P. perfoliatus*-szal, nem mutatott évszakos változást. Szárazanyagra vonatkoztatva ez a faj érte el a legmagasabb maximumokat, a P_{\max} értéke 34 és 53 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹ között ingadozott. A nagy fotoszintézishez erős légzés is társult. Ennek értékei 8 és 22 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹ között mozogtak, és ez sem mutatott monoton évszakos változást. A fotoszintézis görbe kezdeti meredeksége és így az elméleti telítődési fényintenzitás erősen változott az évszakkal, előbbi tavasztól nyárig a felére csökkent, utóbbi a 86 μmol m²sec⁻¹-ről 179 μmol m²sec⁻¹-re emelkedett. A kompenzációs fényintenzitás tavasztól nyárig 10 μmol m²sec⁻¹-ről 19,5 μmol m²sec⁻¹-ra nőtt.

Az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum* L.) fénytelítődési fotoszintézise (P_{\max}) mutatta a legnagyobb évszakos változást, tavasszal mindössze 7,3 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹, míg nyár végén 42,8 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹ volt, mutatva, hogy ez nagyon melegigényes növény. Ennél a fajnál találtuk a legkisebb sötét légzést, amely tavasztól nyárig 1,0 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹-ről 6,9 mg O₂ g sz.a.⁻¹óra⁻¹-ra nőtt. Az elméleti telítődési fényintenzitás nemhogy nőtt volna, inkább kissé csökkent a hőmérséklet

növekedésével a tavaszi $273 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ -ről a nyár végi $216 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ -ra. A kompenzációs fényintenzitás tavasszal $45 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ fölött volt, nyárára viszont $19 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ -ra esett.

A nagy tuskeshínár (*Najas marina* L.) fényteltődési fotoszintézise a víz felmelegedésével 11-ről $36 \text{ mg O}_2 \text{ g sz.a.}^{-1}\text{óra}^{-1}$ -ra nőtt, sötét légzése viszont végig $4,3 \text{ mg O}_2 \text{ g sz.a.}^{-1}\text{óra}^{-1}$ körül mozgott. Az elméleti telítődési fényintenzitás itt sem nőtt a hőmérséklettel, hanem $78,9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ átlag körül ingadozott. A kompenzációs fényintenzitás a *C. demersum*-hoz hasonlóan ennél a fajnál is csökkent a hőmérséklettel, méghozzá 30,5-ről $6,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{sec}^{-1}$ -ra. Utóbbi a kísérleteink során észlelt legkisebb ilyen érték.

A hinarak elterjedése

A hinarakat a tó északi partján a Kerekedi-öböltől a Zala-torkolatáig 1999-től 2003-ig gumicsónakból mértük fel helyzet-meghatározó készülékkel, az elkészült térképeket pedig mágneslemezen tároljuk.

1999-ben a *Potamogeton perfoliatus* állományai sokkal kisebbek voltak, mint az 1969-1970-es felmérés során. A legjelentősebb összefüggő állományt még a Szigligeti-öbölben találtuk. Másutt elsősorban a nádasok előtti 10-60 méteres területen figyeltünk meg kisebb foltokat. Egyedeinek többsége 1,8 méternél sekélyebb területen nőtt, csak egy-egy példány mutatkozott 2,0-2,3 m mélyen. A faj biomasszája a kisebb foltokban $0,9\text{-}2,2 \text{ kg}$, az összefüggőbb állományokban $1,4\text{-}2,9 \text{ kg élősúly/m}^2$ között változott. A *Myriophyllum spicatum* a vegetációs periódus első felében csak $0,5\text{-}2$ méter átmérőjű foltokban mutatkozott, augusztusban azonban a nádasok előtt $30\text{-}80 \text{ m}$ széles, többé-kevésbé összefüggő sávot alkotott, és $1,9\text{-}2,1 \text{ m}$ mélységig hatolt a nyíltvízbe. Ez a faj töltötte ki a nádasokban keletkezett kisebb beöblösödések is. Élősúlya elérte a $2,2 \text{ kg/m}^2$ -t. A *Ceratophyllum demersum* főként az 1 m -nél sekélyebb, könnyen felmelegedő területeken jelent meg, rendszerint $40\text{-}80 \text{ m}^2$ nagyságú foltokban. Állományának élősúlya a vízmélységtől függően $4\text{-}7 \text{ kg/m}^2$ között változott. A *Najas marina* szélvédett sekély vizekben képezett $10\text{-}40 \text{ m}^2$ területű nagyobb állományokat, melyekben az élősúlya $2\text{-}5 \text{ kg/m}^2$ volt.

2000 és 2002 között a hínárállományok nem nőttek, helyenként inkább még jobban visszaszorultak.

2003-ban a nagyon sekély vízben a Kerekedi-öbölben július végére hatalmas *N. marina* állomány alakult ki, amely a nádas előtt $200\text{-}260 \text{ m}$ széles sávot képezett. Augusztusra tömege az 5 kg/m^2 -t is elérte. A

Bozsai-öbölben ez a faj lett egyeduralkodó a nádistól 150 m távolságig terjedő összefüggő sávban. A Szigligeti-öbölben a többi fajok is nagyobb állománnyal jelentkeztek, mint 2000–2002-ben. A *P. perfoliatus* és *M. spicatum* apró foltjai a parttól 500 méterre is előfordultak. A Keszthelyi-öbölben, ahol már 2001-ben sok volt a *N. marina*, erre az évre hatalmas állomány fejlődött ki. A nagy tüskeshínár rohamos terjedése sok helyen erősen zavarta a fürdőzést.

Következtetések

A vízellátás a növények alapvető igénye, mégis nagyon kevés faj tud vízzel elárasztott területen élni, mert ezek talaja anaerób. Az anaeróbia leküzdésére a nád, néhány más fajhoz hasonlóan speciális szellőztető rendszert fejlesztett ki. A levelek sztómáin beáramló levegő végighalad a száron és a rizómákon, miközben egy része a gyökereken át diffundálva a gyökérzónát oxigenálja. Árnyékolási kísérletekkel, napszakos vizsgálatokkal és a jól megvilágított szegélyen és a nádasok önárnyékoló belsejében növő nádszálak összehasonlításával azt találtuk, hogy az áramlás sebessége alapvetően a sztómák nyitottságát szabályozó megvilágítástól függ.

2000-ben a pusztuló nádasok üledékében sokkal negatívabb redox potenciált mértünk, mint az ép nádasokéban. Ez azt mutatja, hogy bizonyos körülmények között az üledék annyira redukálttá válik, hogy a szellőző rendszer már nem tudja annak hatását kellően kompenzálni, és ez vezethet a nád pusztulásához.

Volt olyan elképzelés, hogy az oxigénhiány azért pusztítja el a nádat, mert anaerób erjedésnél több szénhidrát használódik el az energiatermelésre, mint oxidatív foszforilációnál, így kimerülnek a hajtások fejlesztésére szolgáló tartalékok. Mi azonban nem találtunk kevesebb oldható cukrot és keményítőt a pusztuló nádas rizómáiban, mint az ép állományéban, és tavasszal sem merültek ki egyik helyen sem ezek a tartalékok.

Más elképzelés szerint az anaerób üledékben képződő rövidszénláncú zsírsavak vagy a kénhidrogén mérgező hatásának kiküszöbölésére képződő kallusz elzárna a szellőző járatokat. Csakhogy a balatoni nádasok üledékében magas volt a pH, ami miatt a zsírsavak disszociált állapotban vannak, és így kevésbé mérgezőek. Kénhidrogén is kevés volt az üledékben, mert bár a redox kellően alacsony a képződéséhez, az üledékben nincs sok kén. A légáramlás intenzitásának a

nyomáshoz való viszonyában nem észleltünk olyan különbséget az ép és pusztuló állományban növvő nádszálak között, ami elzáródásra utalna.

Elképzelhető viszont, hogy az erősen anaerób üledékben a növekvő rizómák erősen oxigénigényes csúcsrügyei pusztulnak el. Az apikális dominancia megszűntével felélednek a függőleges rizómák alvó rügyei, és ez vezethet a kusza, zsombékszerű növekedéshez, a pusztulásra jellemző babásodáshoz.

Nagy szerencsénkre a vizsgálat pont a nagy aszály négy évére esett, így megfigyelhettük, hogy a pusztuló nádas üledékének redox potenciálja a vízállás csökkenésével fokozatosan javult, és elérte a jó nádasra jellemző szintet. A redox csökkenéséért és a nád pusztulásáért tehát a magas vízszint lehetett felelős. Korábban a tó alsó szabályozási vízszintje + 40 cm-en volt, és ezt 1977-ben emelték +70 cm-re. A nádpusztulás ez után indult el. A nagy aszály végére nemcsak a redox potenciál emelkedett, hanem a tó több nádasában a terepen is mértük a nádasok kiterjedését. A vízszintváltozások ilyen hatását a folyamatban lévő légifénykép elemzések is igazolják. A vízállás több módon is hathat az üledék redox potenciáljára. Az egyik lehetőség, hogy magas vízállásnál a vízmozgások nem öblítik ki annyira a nádasok alját, mint teszik azt sekély víz esetén.

Fontos lenne tovább kutatni, hogyan hat a vízszint újbóli megemelése a nádasok üledékére és a növényzet állapotára. Javasolható olyan vízszint szabályozási rendszer kidolgozása, amelyik figyelembe veszi a nádasok igényeit.

Méréseink azt mutatták, hogy a tó két legfontosabb gyökerező, alámerült hínára, a *P. perfoliatus* és a *M. spicatum* esetében átlagos fény- és zavarossági viszonyok mellett 2 m mélységben jut egyensúlyba a fotoszintézis a léggéssel, ezért nincsenek e hínárok ennél mélyebben a tóban. Az időjárás azonban évről évre eltérő lehet, így alakulhatnak ki hínárosabb és kevésbé hínáros évek. Ha tavasszal sokáig viharos az idő, a sok felkavart üledéktől nem jut a mélyebb területen elég fény a fenékre. A hínárok megpróbálhatják tartalékaikból a növekedést, de ez nem mindig vezet sikerre. Több sikertelen év után az állomány kipusztulhat, és úgy látszik, olyan helyen is, ahol adottak a jó növekedés feltételei, hosszú ideig tart, amíg újra megtelepszik.

A *C. demersum* és a *N. marina* a sekély, nyugodt vizet kedveli. Elterjedésüket nem a fény, hanem a vízmozgások szabják meg. Olyan

alacsony vízállás megismétlődésének, amelyik a nagy tüskés hínár 2003. évi invázióját okozta, minimális a valószínűsége.

Irodalom

- Armstrong J., Armstrong W. (1999) Phragmites die-back: toxic effects of propionic, butiric and caproic acids in relation to pH. *New Phytology* 142: 201-217.
- Beckett P.M., Armstrong W., Armstrong J. (2001) A modelling approach to the analysis of pressure-flow in Phragmites stands. *Aquatic Botany* 69: 269-291.
- Brix H., Sorrel B.K., Orr P.T. (1992) Internal pressurization and convective gas flow in some emergent freshwater macrophytes. *Limnology and Oceanography* 37: 1420-1443.
- Cizkova-Concalova H., Kvet J., Thompson K. (1992) Carbon starvation: a key to reed decline in eutrophic lakes. *Aquatic Botany* 43: 105-113.
- Filbin G.J., Hough R.A. (1984) Extraction of ¹⁴C-labeled photosynthate from aquatic plants with dimethyl sulfoxid (DMSO). *Limnology and Oceanography* 29: 426-428.
- Herodek S., Tamás G. (1976) A fitoplankton tömege, termelése és a Balaton eutrofizálódása. *Hidrológiai Közöny* 56: 219-228.
- Herodek S., Vörös L., Tóth F. (1982) A fitoplankton tömege, termelése és a Balaton eutrofizálódása III. Balatonszemese-medence 1976-1977, Siófoki-medence 1977. *Hidrológiai Közöny* 62: 220-229.
- Kubin P., Melzer A., Cizkova H. (1994) The relationship between starch content in rhizomes of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. and trophic conditions of habitat. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 102B: 433-438.
- Van der Putten W.H. (1997) Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: an overview of the European research programme on reed die-back and progression (1993-1994). *Aquatic Botany* 59: 263-275.

A beszámoló alapjául szolgáló jelentések

- Herodek S., Tóth V., Présing M. (2000) A makrofitonok elterjedését befolyásoló tényezők a Balatonban. In: Somlyódy L., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei., MTA, Budapest, 33-41.
- Herodek S., Tóth V., Présing M. (2001) A makrofitonok elterjedését befolyásoló tényezők a Balatonban II. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei, MTA, Budapest, 98-106.
- Herodek S., Tóth V. (2002) A makrofitonok elterjedését befolyásoló tényezők a Balatonban III. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei, MTA, Budapest, 93-101.
- Herodek S., Tóth V. (2003) A makrofitonok elterjedését befolyásoló tényezők a Balatonban IV. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei, MTA, Budapest, 85-92.
- Herodek S., Tóth V. (2004) Ép és pusztuló balatoni nádasok összehasonlító kutatása. In: Mahunka S., Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei, MTA, Budapest, 64-72.

A BALATONI ZOOPLANKTON STRUKTÚRÁJA ÉS FUNKCIÓJA 1999 ÉS 2008 KÖZÖTT

G.-Tóth László¹, B. Muskó Ilona¹, Balogh Csilla¹ Baranyai Eszter^{1,2,3},
Laura Parpala⁴ és Szalontai Krisztina^{1,5}

¹MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

²Magyar Hidrológiai Társaság, Budapest

³Pannon Egyetem, Analitikai, Környezettudományi és Limnológiai
Intézet, Limnológia Intézeti Tanszék, Veszprém

⁴Román Akadémia Biológiai Intézete, Bukarest

⁵Ilyés Gyula Általános és Zeneiskola, Tihany

Összefoglalás. A Balatonba 1950-ben betelepített *Limnomysis benedeni* a betonos-köves partok mentén 1-4, és a vízínövényzet között 300 és 7075 egyed m⁻² populáció sűrűséget ér el, s évente két generációja fejlődik ki. A faj a betonozott és köves partok mentén naponta 0,0017 és 0,236 mgC m⁻², és a vízínövényzetben 0,82 és 246 mgC m⁻² szénét éget el, illetve legalább ennek megfelelő mennyiségű táplálékot fogyaszt.

A Balatonban elterjedt *Cylindrospermopsis raciborskii* kékalga a *D. galeata*-ra nem toxikus.

1999 és 2008 között, a zooplanktonban a veligera lárvák egyedsűrűsége átlagosan 14,5 a Rotatoria-ké 77,5, a Crustacea-ké 166 és a teljes zooplanktoné 255 ind lit⁻¹, a Cladocera/Copepoda arány 0,39%, és a predátor/összes arány 0,07% volt. A veligera plankton tíz éves átlagos száraz tömege 1,20 a Rotatoria 5,65, a Crustacea 831 és a teljes zooplankton 838 tonna volt a Balatonban. A veligera produkció 0,21, a Rotatoria 1,19 a Crustacea 34,04 és a teljes zooplankton 35,44 tonna száraz tömeg 24 h⁻¹ Balaton⁻¹ volt. A Rotatoria-k biomasszája átlagosan 6,12, a Cladocera-ké 10,91 és a Copepoda-ké 16,92, a teljes zooplanktoné 13,05 naponta újult meg. A zooplankton nettó produkciója a fitoplankton termelésének 6,17%-át, és bruttó produkciója fitoplankton termelés 25%-át tette ki. A zooplankton preferencia sorrendje a különböző alga csoportok fogyasztásában Xanthophyceae > Bacillariophyceae > Cryptophyceae > Chrysophyceae > Chlorophyceae > Euglenophyceae > Cyanophyceae volt. A zooplankton nyáron a tó víztömegének 14-28%-át, télen 1-4%-át tisztította meg az algáktól naponta. A zooplankton hatékonysága a megváltozott fitoplankton fogyasztásában a megelőző két évtizedhez képest 1,5-2 szeresre növekedett.

2000 és 2003 években a Balaton vízszintje 28%-os csökkenésével párhuzamosan sok planktonikus Rotatoria, Cladocera faj, és az *Eudiaptomus gracilis* (Calanoida, Copepoda) egyedsűrűsége is 70-80%-kal csökkent. A tó turbulenciája, és a különböző vízszintekre és sebességekre becsült energia disszipációs ráták szerint a Balaton a világ legturbulensebb tava azok között, amelyekben ezt mérték, és a tó turbulencia intenzitása a vízszint csökkenésekor nőtt. A turbulencia szimulátorban végzett kísérleti eredményeink alátámasztották azt a feltételezést, hogy 2000 és 2003 között a megnövekedett turbulens nyíróerők okozták számos zooplankton taxon abundanciájának csökkenését a Balatonban.

Bevezetés

Az 1999 és 2008 közötti tíz év zooplankton kutatása során, az időszak elején még a zooplankton szerkezeti, és funkcionális válasza képezte vizsgálataink tárgyát a Balaton vízminőségének örvendetes javulása tükrében. Ekkor már jelentősen előrehaladt a fitoplankton visszaformálódása az 1930-as évekbeli referencia állapot felé az előző évtizedekben jellemző súlyosan eu- és hipertrófikus állapothoz képest. Az eu- és hipertrófikus időszakban ugyanis a tó természetesen magas ásványi lebegőanyagai mellett a *Cylindrospermopsis raciborskii* fonalas kékalga bénította a szűrő zooplankton táplálkozását, és rontotta tisztítási hatékonyságát. Ezért 1998–1999-ben megismételtük az eu-hipertrófikus periódusban végzett (G.-Tóth 1980) „in situ” táplálkozási kísérleteinket a tóba kihelyezett szemipermeábilis falú dializáló zsákokban, újra meghatározva a növényevő zooplankton algafogyasztásának mértékét a megújuló fitoplanktonon. Kísérletesen vizsgáltuk azt is, hogy az időközben dr. Kovács Attila (BLKI, Tihany) által izolált balatoni *C. raciborskii* toxikus-e a zooplanktonra? 1999-ben kezdődött el a balatoni zooplankton eddigi legkövetkezetesebb monitorozása is, amely a fajösszetétel, az egyedszám, a biomassa, a nettó és bruttó produkció, a Cladocera/Copepoda arány, a ragadozó/növényevő arány, a fekunditás és a biomassa turnover idő (P/B) rendszeres, 2-3 hetenkénti vizsgálatát jelentette a tó öt reprezentatív pontján tíz éven keresztül. A kutatások egy oldalágát, egyben szép fejezetét jelentette a pontusi tanúrák (*Limnomysis benedeni*) biológiájának vizsgálata a Balatonban, amelyet 1950-ben telepített a tóba Dr. Woynárovich Elek, de a tóban meghonosodott populáció abundancia viszonyait és ökológiai szerepét ötven éven át homály fedte. Számos zooplankton faj abundanciája csökkenésének egybeesése a Balaton 2000 és 2003 közötti drámai vízszint csökkenésével, amely egy négyéves, kontinens-léptékű aszály következménye volt, egy merőben új kutatási irányt is kijelölt a rendszeres kutatások mellett. Felmerült, hogy a vízszint csökkenésével növekedhet a tó turbulencia intenzitása, és a megnövekedett turbulens nyíróerők bedarálják a sérülékenyebb, csendesebb vízhez adaptálódott tavi fajokat. A monitoring mellett ennek intenzív terepi, és kísérletes bizonyítása képezte munkánk későbbi szakaszát.

*A planktonikus rákközösségek algafogyasztásának, és a Balatonból izolált *Cylindrospermopsis raciborskii* kékalga toxikusságának vizsgálatai (1998 – 2002)*

Annak vizsgálatára, hogy a vízminőség javulását követően a fitoplankton mely kategóriái jelentik az anyag - energiaáramlás csatornáit a zooplankton felé, 1998-1999-ben megismételtük a tó korábbi, euhipertrófikus időszakában végzett vizsgálatainkat (G.-Tóth 1980). Ismét dializáló zsákokban (5-10 nm pórusnagyság, 600 cm³ térfogat, Kalle 6202, Wiesbaden-Biebricht) inkubáltunk szüretlen (Rotatoria és Crustacea zooplankton is tartalmazó), és 60 µm-es planktonhálón szűrt tóvizet 10 alkalommal az E (Tihany), G (Zánka), K (Szigliget) és M (Keszthely) standard mintavételi szelvények (Sebestyén 1960) tóközépi pontjain. A zooplankton által fogyasztott algák mennyiségét algafajonként, direkt számlálással állapítottuk meg Zeiss-Opton fordított plankton mikroszkóppal (G.-Tóth 1988). A tisztítási rátákat Gifford (1993) nyomán számítottuk ki, és korreláltattuk az algafajok méretével és sűrűségével. A Balatonban az 1980-as évek végéig rendszeres nyári tömegprodukción okozó *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyta) toxikusságát, annak a BLKI-ban fenntartott törzse pusztuló fázisából készült sejtmentes levéből előállított hígítási sorozatokban vizsgáltuk balatoni *Daphnia galeata* túlélésén, fekunditásán, és posztembrionális fejlődési sebességén.

A dializáló zsákos inkubációk azt bizonyították, hogy a balatoni zooplankton a fitoplanktonon belül elsősorban 30 µm-nél kisebb kovamoszatokkal (Bacillariophyceae), és 3-15 µm közötti méretű sárgászöld és sárgás moszatokkal (Xanthophyceae, Chrysophyceae) táplálkozik, és a kékalgákat (Cyanophyta) elutasítja. Mintegy 140 balatoni algafajra számítottunk ki a zooplankton közösségi tisztítási rátáját, amely -30 és 270 µl ind⁻¹ h⁻¹ között változott. A nanofitoplankton tagjaira magasabb (20-60 µl ind⁻¹ h⁻¹), a nagyobb algákra alacsonyabb (3-5 µl ind⁻¹ h⁻¹) értékeket kaptunk. A tisztítási ráták alapján a zooplankton preferencia sorrendje a különböző alga rendszertani csoportokra a következő volt: sárgászöld moszatok (Xanthophyceae) > kovamoszatok (Bacillariophyceae) > cryptophyta moszatok (Cryptophyceae) > sárgamoszatok (Chrysophyceae) > zöldmoszatok (Chlorophyceae) > euglénák (Euglenophyceae) > kékalgák (Cyanophyceae). Azon algafajok esetében, amelyeknél a ráta negatív volt, a zooplankton anyagcsere termékei stimulálhatták azok szaporodását. A zooplankton az E-

szelvényben a melegvízi (> 20 °C) időszakban a tóvíz 18%-át, a G-szelvényben 28%-át, a K-szelvényben 19%-át és az M-szelvényben 14%-át tisztította meg az algáktól naponta. Télen a közösségi tisztítási ráta 1-4% volt. Az eredmények szerint a zooplankton hatékonysága az algák eliminálásában a Balaton vízminőségének javulása, és a kékalga tömegprodukciónak elmaradása után javult. A Balatoni *C. raciborskii* a *D. galeata*-ra nem volt toxikus (G.-Tóth et al 1999, 2000).

A pontusi tanúrák (Limnomysis benedeni) biológiájának vizsgálatai (1999–2002)

1999 és 2002 között intenzíven vizsgáltuk az 1950-ben a Balatonba Dr. Woynárovich Elek által betelepített a pontusi tanúrák (*Limnomysis benedeni*) sűrűségét, populáció dinamikáját, és oxigénfogyasztása alapján anyagforgalmát. E vizsgálat célja az volt, hogy felmérjük, mennyire találta meg a faj ökológiai helyét a Balaton parti zónájában, mert erre nézve addig nem történtek vizsgálatok. Az állatokat 24 hónapon át hetente gyűjtöttük négyszögletes, 50x50 cm peremű, 300 µm lyukbőségű nyeles planktonhálózattal a tihanyi személyhajó kikötő, és a Balatoni Limnológiai Kutatóintézet mólója mentén 10-10 m hosszú horizontális szakaszon, a vízfelszíntől a fenéig, s hasonló eljárással, négy alkalommal a Balaton északi partja mentén további négy helyen: Balatonfüzfő, Zánka, Szigliget és Keszthely, betonozott és köves partok mentén és a hínárosban. A hínárosban 1 m² tófelszín alatti teljes hínárállományt emeltünk ki speciális, köpönyeg alakú 300 µm lyukbőségű planktonhálóból készült készséggel, bűvár technikával, kvantitatívan, majd a hínárról eltávolított állatokat tömörítettük, és konzerváltuk. Minden alkalommal meghatároztuk a populációk tavi sűrűségét, az állatok méret- és koreloszlását, nemét, és 1300 állat testhosszának és száraz tömegének mérése alapján meghatároztuk a testhossz-testtömeg összefüggést. A száraz testtömeget az előzőleg lemért testhosszú példányok 60 °C-on történő 48 órás szárítását követően Mettler-mikromérlegen mértük. Összesen 4000 különböző méretű és nemű (hím, nőstény, petés nőstény) állat oxigénfogyasztását határoztuk meg a két év alatt Winkler-módszerrel (Muskó és mtsai 1995) 0, 5, 10, 15, 20 és 23 °C-on, és abból kalkuláltuk légzési szénveszteségüket, és minimális táplálék- fogyasztásukat a Balatonban.

A *L. benedeni* sűrűsége a betonozott partok mentén 1 és 45, és a hínárosokban ennél 2-3 nagyságrenddel több, 300 és 7075 egyed m⁻²

között alakult. A nőstények mennyisége közel kétszerese volt a hímekénél. A populáció reprodukciója áprilisban kezdődött, a nőstények április elejétől október közepéig termeltek petéket. Évente 3 generáció fejlődött ki, s a harmadik generáció kifejlett egyedei áttelelve indították el a következő évi első generációt áprilisban. A *L. benedeni* testhossz-testtömeg összefüggése $y = 0,0137e^{0,541x}$ (mm, mg száraz tömeg) volt. Oxigénfogyasztása hatványfüggvény szerint függött a testtömegetől, és a hőmérséklettől, fajlagos oxigénfogyasztásának ($\text{mg O}_2 \text{ g száraz tömeg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) testhossz függése 20, ill. 23 °C-on $y = 0,0223e^{-0,233x}$, és $y = 0,0296e^{-0,27x}$ volt. A fajlagos oxigénfogyasztást a balatoni populáció abundanciájára extrapolálva, és légzési szénvesztésre átszámítva, a betonozott és köves partok mentén a *L. benedeni* naponta 0,0017 és 0,236 mg C m^{-2} , míg a vízínövényzetben 0,82 és 246 mg C m^{-2} szenet égetett el, illetve legalább ennek megfelelő mennyiségű táplálékot fogyaszthatott. Az eredmények szerint a *L. benedeni* jól adaptálódott a balatoni körülményekhez és az ma már a Balaton egyik jellegzetes litorális és vízínövénylakó faja (G.-Tóth és mtsai 2000, 2001, 2002, 2003, Szalontai és mtsai 2000, 2002, 2003).

A zooplankton szerkezetének és anyag-energiaforgalmának vizsgálatai (1999–2008)

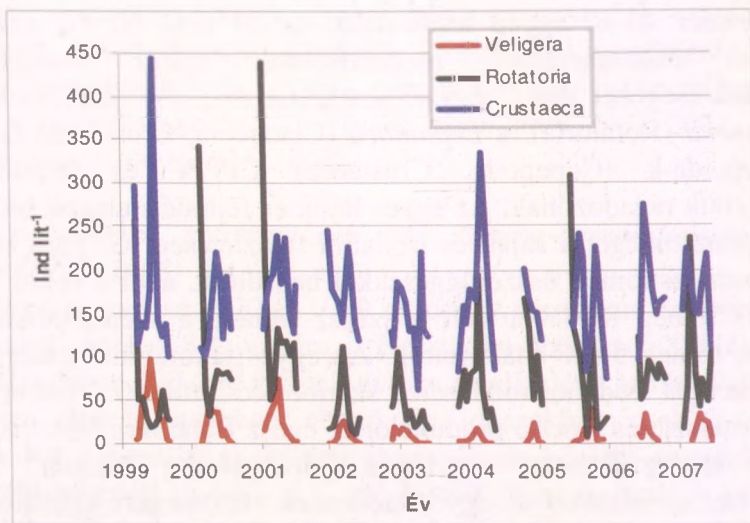
A fitoplankton termelése 1970 és 1990 között, az eutrófikus Balatonban a korábbi eredeti érték 4-8-szorosára, a Keszthelyi-öbölben 600-800, és a keleti medencékben 200-250 $\text{g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ -re emelkedett (Misley 1988). A zooplankton tömege azonban ebben az időszakban csak x 1,5-3 mértékben nőtt, a Keszthelyi-öbölben szezonálisan 0,3-1,08 és a mélyebb keleti tóterületeken 0,16-1,12 g C m^{-2} között, mert a fonalas kékalga tömegprodukciók, és a tó magas ásványi lebegőanyag tartalma gátolták a növényevő zooplankton szűrését. Ezért a zooplankton az eutrofizáció évtizedeiben a fitoplanktonnak mindössze 0,1-12,5%, átlagosan < 3,5%-át hasznosította (Zánkai 1985, G.-Tóth et al 1986). 1995-re azonban visszaállt a Balaton eredeti „jó” ökológiai állapota, megszűntek a nyári kékalga tömegprodukciók, és azóta a tó 120 $\text{g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ körüli planktonikus elsődleges termeléssel „működik” (Vörös et al 2000). Az elmúlt 10 évben a balatoni zooplankton kutatás legkövetkezetesebb iránya a zooplankton egyedsűrűségének, biomasszájának, produkciójának és fitoplankton hasznosításának monitorozása volt. Ennek során 1999–2008 években április és október között 2-3 hetes gyakorisággal vettünk

zooplankton mintát öt standard tóközépi mintavételi helyen: Keszthely (1. medence, M-szelvény), Szigliget (2. medence, K-szelvény), Balatonakali – Zánka (3. medence, G-szelvény), Tihany (4. medence, A-szelvény) és Siófok (5. medence, E-szelvény) 50 cm magas és 34 liter térfogatú Schindler-Patalas-féle mintavevővel, amelynek tölcsére 58 μm lyukbőségű hálóval volt ellátva. A vízmélységtől függően 6-9 egymás alatti vízrétegből vettünk mintát, amelyeket egyesítettünk, és 100 cm^3 térfogatban tömörítve 3,5% végkoncentrációjú formalinnal tartósítottunk. A mintákat azután Zeiss–Opton fordított plankton mikroszkóppal dolgoztuk fel, a számolásokat mindaddig folytatva, ameddig az előkerülő újabb taxonómiai egységek száma telítésbe hajlott. Okulár hálómikrométerrel, majd 2002-től számítógépes image analízissel (Colim, Pictron Kft.) rendszeresen lemértük fajonként és fejlődési alakonként 40-80 egyed testhosszát, és 24 órás 60 °C szárítás után Mettler mikromérlegben meghatároztuk száraz tömegüket. Az egyedsűrűségeket ind l^{-1} egységben adtuk meg. Az elemzések során az *Asplancha* (Rotatoria), a *Leptodora* (Cladocera, Crustacea) fajokat és a Cyclopoida-k (Copepoda, Crustacea) CIV-V és felnőtt alakjait tekintettük ragadozónak. Az egyes fajok és fejlődési alakok biomasszáját és száraz tömegét a saját, és irodalmi (részletesen: *G.-Tóth et al 2008*) testhossz-testtömeg összefüggésekkel becsültük, ahol a fajtól függően a nedves tömeg 8-14%-a volt a száraz tömeg, a széntartalmat pedig a nedves tömeg 5-6%-ának vettük. Az egyes taxonómiai kategóriák nettó produkcióját irodalmi módszerek szerint becsültük (*G.-Tóth et al 2008*). A biomasszáját és a nettó produkciót az egész Balatonra fejeztük ki (tonna száraz tömeg Balaton⁻¹ és tonna száraz tömeg Balaton⁻¹ 24 óra⁻¹), amelyhez az adatokat az egyes medencék víztömegére számítottuk át. A medencék térfogatát 75 cm vízállásnál érvényes mélységük (*Misley 1988*) és a tó éppen aktuális vízállása (Balatoni Integrációs Közhasznú Nonprofit Kft.) szerint számítottuk ki. A turnover időket a $B/P_{24\text{h}}$ hányadossal jellemeztük, ahol B az adott csoport aktuális biomasszája és $P_{24\text{h}}$ annak 24 órás nettó produkciója.

A zooplanktonban az elmúlt 10 év során vett 495 tóközépi mintában összesen 16 Rotatoria, 11 Cladocera, 6 Copepoda és 1 Lamellibranchiata faj (*Dreissena polymorpha* veligera lárvái), illetve fejlődési alakokkal együtt összesen 87 taxonómiai egység fordult elő.

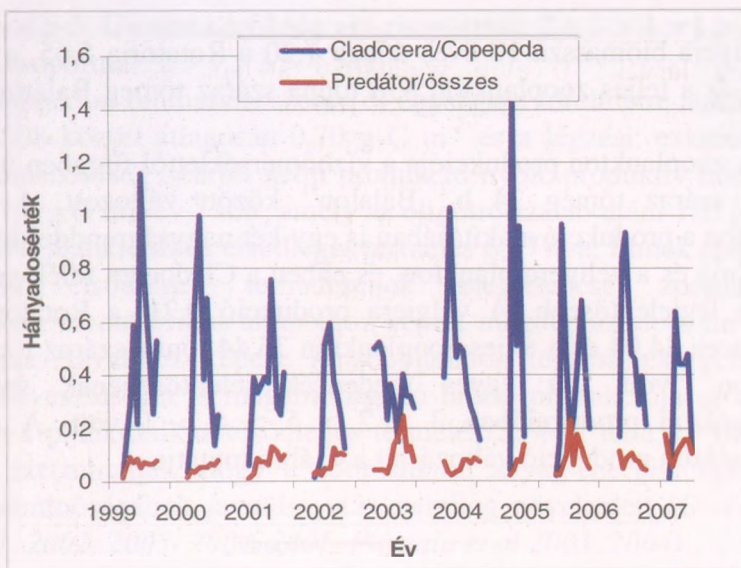
A fő csoportokat említve a veligera-k száma 0 és 221, Rotatoria-ké 2,3 és 1178), a Cladocera-ké 1,6 és 384, a Copepoda-ké 21,8 és 393,

illetve a Crustacea-ké összevonva 25 és 595 ind lit⁻¹ között változott. A veligera lárvák 10 évre vonatkozó átlagos egyedsűrűsége 14,5 a Rotatoria-ké 77,5, a Crustacea-ké 166 és az egész zooplanktoné 255 ind lit⁻¹ volt. Az egyedűrség a keleti tóterületek felől nyugati irányban haladva általában nőtt, de nem a Keszthelyi-öbölben (M szelvény), hanem a Szigligeti-medencében (K szelvény) találtuk a legsűrűbb zooplanktont. Az 1. ábrán jól látható, hogy a veligera és a Crustacea plankton sűrűsége 2001–2003 rendkívül alacsony vízállású éveiben, az egész tóban lecsökkent. Ezekben az években a Cladocera/Copepoda arány is jelentősen csökkent, jelezve a Cladocera-félék nagyobb érzékenységét az apadásra. A ragadozók aránya azonban ezekben az években nőtt (2. ábra).

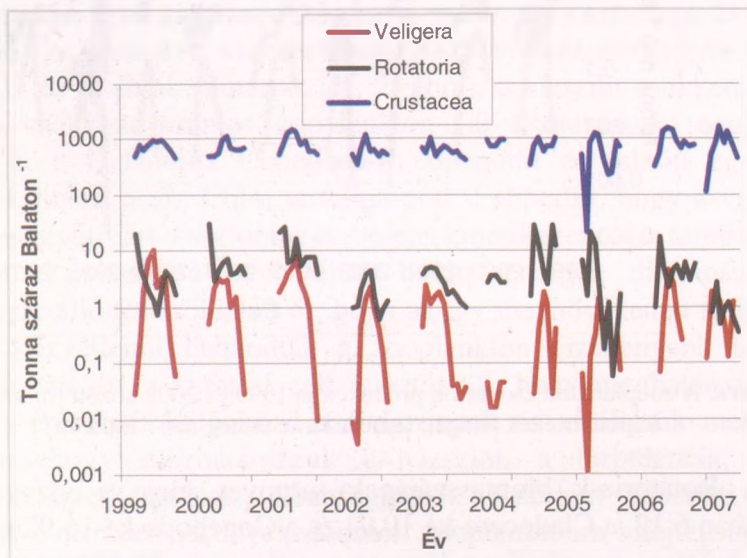


1. ábra. A zooplankton csoportok egyedsűrűsége a Balatonban 1999 és 2008 között (öt medencében kapott értékek átlagai)

A zooplankton száraz tömegben kifejezett biomasszája 1999 és 2008 között az egész tóban 332 és 1472 tonna között változott, amelynek a döntő részét a Crustacea plankton, ezen belül a Copepoda csoport tette ki. Ennél egy-két nagyságrenddel kevesebb volt a Rotatoria és a veligera plankton biomasszája. Az egyes medencékben a teljes zooplankton biomasszája a medencék nagyságától is függött. Így a legnagyobb biomasszákat a legnagyobb, 3. medencében (Balatonakali-Zánka) becsültük.



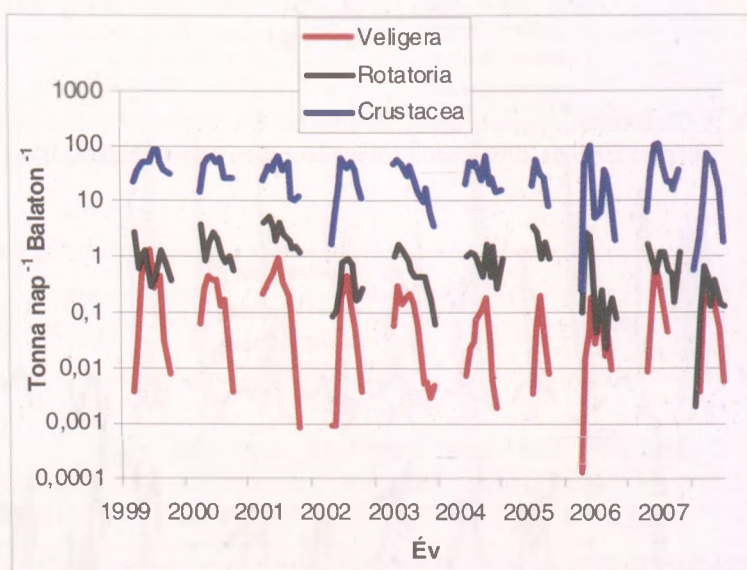
2. ábra. A Cladocera/Copepoda arány, és a ragadozók aránya az összes zooplanktonhoz képest 1999 és 2008 között (öt medencében kapott értékek átlagai)



3. ábra. A zooplankton csoportok biomásszája 1999 és 2008 között (öt medencében kapott értékek átlagai; tonna száraz tömeg Balaton⁻¹)

A veligera biomassza 10 éves átlaga 1,20 a Rotatoria 5,65, a Crustacea 831,0 és a teljes zooplankton 838 tonna száraz tömeg Balaton⁻¹ volt (3. ábra).

A zooplankton produkciója a vízhőmérséklettől függően 9,04 és 113 tonna száraz tömeg 24 h⁻¹ Balaton⁻¹ között változott. A Crustacea plankton a produkció alakításában is egy-két nagyságrenddel felülmúlta a Rotatoria és a veligera plankton, és ebben a Cladocera félék produkciója volt a legjelentősebb. A veligera produkció 0,21, a Rotatoria 1,19 a Crustacea 34,04 és a teljes zooplankton 35,44 tonna száraz tömeg 24 h⁻¹ Balaton⁻¹ volt. Az egyes medencék jelentőségének sorrendje a zooplankton produkcióban 3 > 2 > 5 > 4 > 1 volt. A teljes tavi zooplankton produkció változásait a 4. ábra mutatja.



4. ábra. A zooplankton csoportok produkciója 1999 és 2008 között (öt medencében kapott értékek átlagai; tonna száraz tömeg nap⁻¹ Balaton⁻¹)

A Rotatoria-k biomasszájának turnover ideje a vizsgált 10 év átlagában 6,12, a Cladocera-ké 10,91 és a Copepoda-ké 16,92 nap volt. A teljes balatoni zooplankton biomassza átlagosan 13,85 naponként újult meg. Az egyes medencék sorrendje a Rotatoria-k turnover idejében:

1 ~ 2 ~ 3 > 4 > 5. Ugyanez a Cladocera csoportnál: 2 ~ 3 > 4 > 1 > 5 és a Copepoda csoportnál: 2 > 1 > 3 > 4 > 5.

A zooplankton biomassza szénre és egységnyi tófelületre átszámítva 1999 és 2008 között átlagosan $0,70 \text{ g C m}^{-2}$ és a légzési, exkréciós és vedlési szénvesztés nélküli nettó produkció nyolc produktív hónappal számolva $7,4 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ volt, amely az oligotrofizáció utáni $120 \text{ g C m}^{-2} \text{ év}^{-1}$ becsült planktonikus elsődleges termelés 6,17%-a. Ennek alapján a fitoplankton elsődleges termelésének megjelenése zooplankton biomasszában az eutrófikus állapothoz képest megduplázódott, de így is alacsony más tavakhoz képest. A zooplankton légzési, exkréciós, és vedlési szénvesztését is magába foglaló bruttó produkciója az elmúlt évtizedben a planktonikus elsődleges termelés 25%-át tette ki. Ezek az adatok is azt mutatják, hogy a zooplankton anyag-energiaforgalma a Balaton vízminőségének javulása után némileg növekedett (G.-Tóth és mtsai 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, Parpala et al 2003, 2004).

A vízszint csökkenésével járó turbulencia növekedés hatásának vizsgálatai a zooplanktonra

Az elmúlt évtized legszembetűnőbb balatoni hidrológiai jelensége a 2000–2003 években bekövetkezett nagy vízszint csökkenés volt, amelynek során a tó vízszintje 22 cm-re apadt, és víztömege 28%-kal zsugorodott. A kívánatos vízszint csak 2005 nyarára állt helyre. Mint ahogy az 1. és 2. ábrák mutatják (1., 2. ábra), a vízszint csökkenésével egyidőben csökkent számos zooplankton faj (Rotatoria-k, nagytestű Cladocera-k, a Calanoida Copepoda-k copepodit és felnőtt egyedei) sűrűsége is, holott a víz Chl-a tartalma nőtt. Felmerült, hogy a vízszint csökkenése együtt járt a víztömeg turbulens kinetikai energia tartalmának növekedésével, mert a szél által bevitt energia disszipációjára rendelkezésre álló tér csökkent, és, hogy az így megnövekedett turbulens nyíróerők közvetlenül bedarálták a zooplankton érzékenyebb tagjait. Ezért 2006-ban azt a kutatási célt is kitűztük, hogy meghatározzuk a turbulencia erősségét különböző szélviszonyok és vízállások mellett a Balatonban, hogy meghatározzuk a vízszint, a turbulencia, és a zooplankton szerkezetének összefüggéseit, valamint kísérleti úton bizonyítsuk a turbulencia növekedésének zooplanktonra kifejtett negatív hatását. Ezért 2006-tól minden mintavételi helyen, és minden zooplankton mintavétel alkalmával 3D-Acoustic Doppler Velocimeter-el (SonTek, USA) mértük a víz turbulenciáját, és Horiba U-10 hordozható műszerrel

a víz hőmérsékletét, pH-ját, vezetőképességét, és oldott oxigén tartalmát is a felszíntől lefelé 0,5 m rétegenként. 2006–2007-ben hetente egyszer további öt sekély litorális tihanyi mérőponton is mértük a turbulencia intenzitását, párhuzamosan a zooplankton vertikális eloszlásának vizsgálatával. A velociméterrel kapott 3D sebesség-frekvencia adatokat WinADV szoftverrel dolgoztuk fel, és a turbulenciát a sebesség fluktuációk négyzetes középértékével (RMS-turbulencia, cm sec^{-2}) jellemeztük. A turbulens kinetikai energia disszipációs rátáját, és a legkisebb örvényátmérőt különböző szélességek és vízszintek mellett irodalmi összefüggésekkel (*G.-Tóth és mtsai 2009*) számoltuk ki. A szélesség és a turbulencia összefüggéseit pedig Pearson-korreláció számítással közelítettük. A vízszint, a vízhőmérséklet, a Chl-a és a különböző zooplankton csoportok varianciáinak erősségét kanonikus korrespondencia analízissel vizsgáltuk. A turbulencia zooplanktonra kifejtett hatásának kísérletes vizsgálatára turbulencia generátort készítettünk, amely egy $64 \times 64 \times 96$ cm üvegdád volt, amelyben egy mozgó rács gerjesztette a turbulenciát (*G.-Tóth és mtsai 2009*). A turbulens, és egy azzal azonos méretű kontroll kádba lebegőanyagban szegény, ülepített tóvizet töltöttünk, és természetes zooplanktont telepítettünk, amelyet *Selenastrum capricornutum* és *Chlamydomonas reinhardti* zöldalgával etettünk (biomassza: 3 mg l^{-1}). A turbulens kád rácsának mozgásának amplitúdóját és frekvenciáját úgy állítottuk be, hogy a kádban különböző, de a tóra jellemző turbulencia viszonyok alakuljanak ki. 2007–2008 években kilenc, egyenként 21-24 nap hosszú kísérletben követtük nyomon a kádakban a különböző zooplankton fajok, fajcsoportok és fejlődési stádiumok túlélését bő táplálék és minimális ásványi lebegőanyag tartalom mellett kétnapos mintavételi gyakorisággal. A turbulencia hatást $S = (C2-C1)/C2$ képlettel fejeztük ki, ahol C1 a kontroll, és C2 a turbulens kádban tapasztalt egyedszám, és ha S értéke negatív volt, akkor a turbulens, ha pozitív, akkor a kontroll kád populációja mortalitása volt a nagyobb.

Az RMS-turbulencia a Balatonban csendes víztükör esetén $1,1-1,5 \text{ cm sec}^{-1}$ körüli volt és $1-2 \text{ m sec}^{-1}$ szélességnél $1,5-3 \text{ cm sec}^{-1}$ -re emelkedett, és 4 m sec^{-1} és annál nagyobb szélességnél esetenként 10 cm sec^{-1} (maximálisan $18,87 \text{ cm sec}^{-1}$) értékeket is mértünk. A turbulencia intenzitását nem a pillanatnyi, hanem általában a mérést megelőző harmadik óra, órás átlagos szélerőssége határozta meg. Hasonló szélviszonyok mellett a sekélyebb medencékben az RMS-

turbulencia és a becsült energia disszipációs ráta jóval nagyobb volt, és a legkisebb örvények átmérője jóval kisebb, mint a mélyebb medencékben. Egy adott mérési helyen pedig az RMS-turbulencia a felszíntől lefelé csökkent. A turbulens kinetikai energia disszipációs ráta a mélységtől és a szélességtől függően $1,64 \cdot 10^{-7}$ és $8,61 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-3}$ között, a legkisebb örvényátmérő pedig 0,06 és 1,69 mm között változott az időjárástól és a vízmélységtől is függően. A Balaton $3,2 \text{ m sec}^{-1}$ éves átlagos szélessége mellett az energia disszipációs ráta a különböző mélységű medencékben $4,31 \cdot 10^{-5}$ és $8,61 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-3}$ és a legkisebb örvényátmérő 0,35-0,4 mm közötti volt. Ezen átlagos értékek, valamint a kapott szélsőértékek alapján a Balaton a világ legturbulensebb tava azok között, amelyekben hasonló mérések, illetve becslések történtek (G.-Tóth és mtsai 2009). A 10 éves tavi adatsorok kanonikus korrespondencia analízise szerint a vízhőmérséklet, a Chl-a, és a pillanatnyi vízszint közül a vízszint ingadozása állt a legerősebb kölcsönösségben a veligera-k, a Cladocera-k (*Daphnia cucullata*, *Daphnia galeata*, *Bosmina coregoni*), és számos Rotatoria faj (epl. *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*) és a Calanoida *Eudiaptomus gracilis* copepodit és felnőtt populációinak alakulásával. Alacsonyabb vízállások periódusaiban egyes taxonok sűrűsége 70-80% mértékben gyérült, és 75-80 cm-nek adódott az a kritikus balatoni vízszint, amely alatt a fenti zooplankton csoportok populációi szignifikánsan gyérülnek. Ez az a kritikus vízszint, amelyhez már minden medencében $<10^{-5} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-3}$, tehát nagyon erős energia disszipációs ráta és $<0,3 \text{ mm}$, tehát a szervezetek egy részének méreténél már jóval kisebb turbulens örvényátmérő társul a mélyben.

A kísérleti eredmények alátámasztották azt a hipotézist, hogy a túlsó erős turbulenciája tetemes nyíróerőt jelent, amely az érzékenyebb plankton szervezeteket megöli. A turbulens kádban, amelyben a turbulencia intenzitás a Balatonét reprezentálta 4 m sec^{-1} és annál nagyobb szélerőnél, a *Daphnia*, a *Bosmina*, és a *Keratella* fajok populációinak sűrűsége már a második-negyedik napra szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest. Némelyik kísérletben pedig a *Daphnia*-félék már a második, negyedik napra kipusztultak a turbulens kádból. Továbbá, a hatodik-nyolcadik napra jelentős különbség alakult ki az *E. gracilis* kezelt és kezeletlen populációinak sűrűségében is. Mivel a kísérleti kádakban nem volt hal, és az ásványi lebegőanyag tartalom is minimális volt ($<0,5 \text{ mg}$ száraz lebegőanyag lit^{-1}), a táplálékot viszont rendszeresen pótoltuk, a hatást egyértelműen a turbulencia okozhatta.

Eredményeink rávilágítottak arra, hogy a sekély Balatonban a vízszint csökkenése és turbulencia ezzel járó növekedése fundamentális hatással van a zooplankton struktúrájára, és szelektív tényezőként játszik szerepet az egyes fajok, és életforma csoportok uralomra jutásában, vagy háttérbe szorulásában (Baranyai és mtsai 2007, 2008, 2009).



Köszönetnyilvánítás

A balatoni zooplankton 1999 és 2008 közötti töretlen, és eredményes kutatása nélkülözhetetlen anyagi támogatásáért köszönetünket fejezzük ki a Miniszterelnöki Hivatalnak és a Magyar Tudományos Akadémiának. A kísérletekhez szükséges algatenyészetek biztosításáért köszönetünket fejezzük ki Kovács Attilának, a fitoplankton vizsgálatok során nyújtott segítségért Padisák Juditnak és Zámbóné Doma Zsuzsannának. A kérdéses taxonómiai hovatartozású zooplankton egyedek azonosításáért Forró Lászlónak, Nédli Juditnak és Ponyi Jenőnek tartozunk köszönettel. Nélkülözhetetlen gyakorlati segítségükért Dobos Gézát, Németh Pétert, és Polgárdiné Klein Tündét illeti hálás köszönetünk. A meteorológiai, és a vízállás, és a Chl-a adatok rendelkezésre bocsátásáért köszönetünket fejezzük ki a Balatoni Integrációs Közhasznú Nonprofit Kft.-nek (Siófok), illetve Kutics Károlynak és Suchman Tamásnak.

Irodalom

- Baranyai E. és G.-Tóth, L. (2007) Az egyes zooplankton fajok és fejlődési stádiumok viszonya a könnyen felkeveredő Balaton turbulenciájával. Hidrológiai Közl. 87/6: 14-16.
- Baranyai E. és G.-Tóth L. (2008) Kritikus turbulencia tartományok vizsgálata a balatoni zooplankton szempontjából. Hidrológiai Közlöny 88/6: 18-21.
- Baranyai, E., G.-Tóth, L. és Homonnay, Z. G. (2009) A balatoni zooplankton vertikális szerkezetének napszakos változása eltérő turbulencia viszonyok között. Hidrológiai Közlöny 89/6: 9-11.
- Gifford, D. J. (1993) Consumption of protozoa by copepods feeding on natural microplankton assemblages. In: Kemp, P. F., E. B. Sherr and J. J. Cole (eds.): Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Lewis Publishers, Roca Racon, Ann Arbor, London, Tokyo: 723-731.
- G.-Tóth, L. (1980) The use of dialysing sacks in estimation of production of bacterioplankton. Arch. Hydrobiol. 89: 474-482.
- G.-Tóth, L., K.V. Balogh and N.P. Zánkai (1986) Significance and degree of abioseston consumption in the filter-feeder *Daphnia galeata* Sars em Richard (Cladocera) in Lake Balaton. Arch. Hidrobiol. 106: 45-60.
- G.-Tóth, L., B.Muskó, I., Szalontai, K. és Langó, Zs. (1999) Az eutrofizáció hatása a planktonikus és bentikus gerinctelen állatvilág táplálkozására, produkciójára és anyagforgalmára a Balatonban. In: Somlyódy, L. és Banczerowski J.-né (Eds.): A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. MTA Veszprémi Akadémiai Bizottsága és a Miniszterelnöki Hivatal támogatásával. Veszprém: 76-80.

- G.-Tóth L., B. Muskó I. és Szalontai K. (2000) A rákközösségek szerepe a fitoplankton eliminációjában és a halak táplálék ellátásában, a Balatonban. In: Somlyódy, L. és Banczerowski J.-né. (Eds.): A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei. MTA, Budapest: 45-53.
- G.-Tóth, L., B. Muskó, I., Szalontai, K. és Kiszely, P. (2001) A nyílt víz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka, S. és Banczerowski, J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. MTA, Budapest: 115-123.
- G.-Tóth, L., B. Muskó, I., Szalontai, K. és Kiszely, P. (2002) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka, S. és Banczerowski, J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. MTA, Budapest: 111-119.
- G.-Tóth, L., B. Muskó, I., Szalontai, K., Kiszely, P. és Németh P. (2003) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka, S. és Banczerowski, J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. MTA, Budapest: 100-108.
- G.-Tóth, L., B. Muskó, I., Balogh, Cs. és Németh, P. (2004) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka, S. és Banczerowski, J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. MTA, Budapest: 73-81.
- G.-Tóth, L., B. Muskó, I., Balogh, Cs., Németh, P. és Kiszely, P. (2005) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka, S. és Banczerowski, J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. MTA, Budapest: 75-83.
- G.-Tóth, L., Parpala, L. Baranyai, E. és P.Klein, T. (2008) A zooplankton tömege és termelése 1999 és 2006 között a Balatonban. Hidrológiai Közl. 88/6: 58-60.
- G.-Tóth, L., Parpala, L., Baranyai, E. és Balogh, Cs. (2009): A turbulencia növekedés hatása a balatoni zooplanktonra a vízszint csökkenésekor. Hidrológiai Közl. 89/6: 12-14.
- Misley, K. (1988) Lake Balaton research and management. Bp. Necus 1-111.
- Muskó, I. B., L. G.-Tóth and E. Szabó (1995): Respiration and respiratory electron transport system (ETS)-activity of two amphipods: *Corophium curvispinum* G. O. Sars and *Gammarus fossarum* - Pol. Arch. Hydrobiol. 42: 547-558.
- Parpala, L., L.G.-Tóth, V. Zievici, K. Szalontai and P. Németh. (2003) The summer zooplankton structure and productivity in Lake Balaton. Shallow Lakes 2002., Hydrobiologia 506-509: 347-351.
- Parpala L, L. G. Tóth L, V. Zinevici and K. Szalontai. (2004) Ecological parameters of zooplankton in Lake Balaton (Hungary). Proceedings of the Institute of Biology of the Romanian Academy, 6: 93-103.
- Sebestyén, O. (1960) Horizontális plankton vizsgálatok a Balatonon. I. Tájékoztató a planktonrákok horizontális elterjedéséről. Annal. Biol. Tihany 27: 115-130.
- Szalontai, K., G.-Tóth, L., Szabó T. és B. Muskó I. (2000) A balatoni *Limnomysis benedeni* Czern. (Crustacea: Mysidacea) testhossz-testtömeg összefüggése és oxigénfogyasztása. Hidrológiai Közl. 81: 348 - 350.
- Szalontai, K., Muskó, I. és G.-Tóth, L. (2002) A pontusi tanúrák (*Limnomysis benedeni*) mennyisége és anyagforgalma a Balaton északi partjai mentén. Hidrológiai Közl. 82: 153-156.

- Szalontai, K., L.G.-Tóth and I. B. Muskó. (2003) Oxygen consumption of *Limnomysis benedeni* Czernovsky, 1882 (Crustacea: Mysidacea) a pontocaspian species in Lake Balaton, Hungary. *Shallow Lakes 2002. Hydrobiologia* 506-509: 407-411.
- Vörös, L., Kovács, A., Balogh, K. és Koncz, E. (2000) Mikrobiális élőlényegyüttesek szerepe a Balaton vízminőségének alakításában. In: Somlyódy L. és Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton Kutatásának 1999. évi eredményei*. MTA, Budapest: 24-32.
- Zánkai, N. (1985) Kékalga vízvirágzás hatása a rákplankton összetételére. *Hidrológiai Közlöny* 65: 78-84.

A BALATON BEVONATLAKÓ GERINCTELEN ÁLLATVILÁGA 1999–2008-ban

**B. Muskó Ilona, Balogh Csilla, G.-Tóth László, Görög Szilvia,
Bakó Beáta és Bence Melinda**

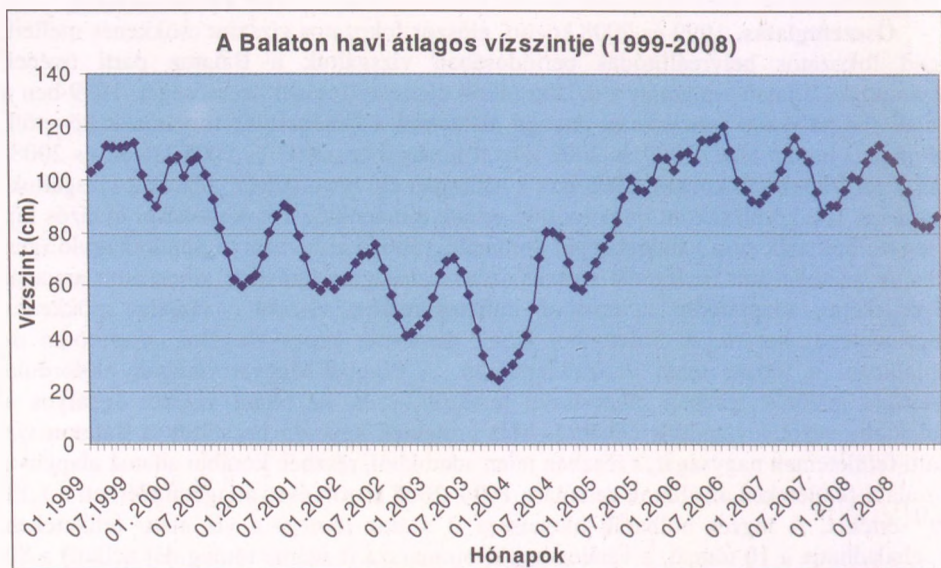
MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

Összefoglalás. 1999 és 2008 között, először fokozatos vízszint csökkenés mellett, majd fokozatos helyreállítódás periódusában vizsgáltuk a Balaton parti övének bevonatlakó állatait, valamint a tízlábú rákok újratelepítésének lehetőségét. 1999-ben a Balatonba helyezett természetes anyagú alzatokon a benépesülés folyamatát követtük nyomon 2 hónap alatt, 2000 és 2002 között hínárosban, 2003 és 2005 között és 2008-ban a parti kőszórás kövein, 2006-ban a nádasban élő bevonatlakó állatokat vizsgáltuk. Összesen 100 körüli taxont mutattunk ki, szinte mindenütt a két pontokáspi invázós faj, a tegzes bolharák és a vándorkagyló dominált, változó arányban. A vándorkagyló igen jelentős szerepet tölt be légzési szerves szénvesztésébe, szűrése és kibocsátott anyagai révén, képes adaptálódni az erősödő hullámveréshez, viszont a vízszint csökkenés kedvezőtlenül hat rá. A Balatonból kihalt nemesrák képes megélni, szaporodni és táplálkozni a tóban, tehát visszatelepíthető. A Nyugat-Magyarországon előforduló amerikai jelzórák részben rákpestissel fertőzött, ezért az ottani vizeket aggályos a Balatonba vezetni vízpótlás céljából. Más projektek kapcsán becsültük a Balaton víz alatti felületeinek nagyságát, s részben jelen adatokból, részben korábbi adatok alapján a víz alatti felületeken az állatok denzitása 1994–2005 között éves átlagban elérheti a 1,13 10¹¹ értéket. A tegzes bolharák biomassa (t száraz tömeg) a víz alatti felületeken meghaladhatja a 10 tonnát, a vándorkagyló biomassa (t száraz tömeg héj nélkül) a 80 tonnát.

Bevezetés

1999 és 2008 között jelentős változáson ment keresztül a Balaton az éghajlat változása következtében, ugyanis 2000-tól 2004-ig fokozatosan csökkent a vízszint, csak 2005-ben állt helyre a korábbi érték (1. ábra). E változás nagymértékben befolyásolta a parti öv különböző szubsztrátumain élő, bevonatlakó állatok életterét és viselkedését. 1996-ban a Balatonba helyezett, mesterséges anyagú szubsztrátumokon (állványra erősített kémcsőkefék) az 1930-as években behurcolt tegzes bolharák (*Chelicorophium curvispinum* (korábbi nevén *Corophium curvispinum*, *C. devium* és *C. curvispinum f. devium*) és a vándorkagyló (*Dreissena polymorpha*) alkotta a bevonatlakó állatok többségét, időben eltérő dominanciával, nevezetesen először a tegzes bolharák dominált, később (a kísérlet 4. hetében) a vándorkagyló (Muskó és Russo 1998, 1999). A tegzes bolharák maga készítette lakócsőben él, amit el is

hagyhat. A hím a vedlés után a viszonylag puha nőstényt termékenyíti meg, amely a hasi oldalon levő költőüregbe juttatja a megtermékenyített petét, s a juvenilis állatok ott kelnek ki és fejlődnek. A vándorkagyló is váltivarú, a nőstény peték tömegét bocsátja a vízbe, a hím pedig spermium felhőt, megtermékenyítve a petéket. A kikelt lárvák csakhamar héjat növesztenek (vitorlás lárvá), szabadon úsznak a vízben, s megfelelő



1. ábra. A Balaton vízállása 1999 és 2008 között. Az 1999–2001. évi adatok heti értékek (*Muskó 2009*) átlagolásából születtek, a továbbiak a VITUKI honlapjáról származnak

fejlettség után megtelepsznek bizzuszfonalaik segítségével, de azután is helyet is tudnak változtatni, korlátozott mértékben.

Fenti tényezők irányították figyelmünket a parti öv bevonatlakó állatainak vizsgálatára, a két domináns, behurcolt faj előtérbe helyezésével. Jelen közleményben a Balatonba helyezett (partközelen és a parttól 100 m távolságban), természetes anyagú szubsztrátumokon megtelepedő állatok kolonizációs sebességét, intenzitását, az esetleges konkurencia viszonyokat és a bevonat egyes elemeihez való viszonyát, valamint 2000–2002 között a partmenti hínárosokon, 2003–2005 között és 2008-ban a parti öv megerősítésére szolgáló kőszórásain élő bevonatlakó állatok minőségi és mennyiségi viszonyait mutatjuk be.

2006-ban, a nádasban mértük fel a bevonatlakó gerinctelen állatvilágot. Ezen túlmenően az egyik domináns állatfaj, a vándorkagyló hossz-tömeg összefüggését, légzési energia veszteségét, szűrését és a hullámozás hatására adott válaszát elemezzük, valamint bemutatjuk a tízlábú rákok (Decapoda) kutatásainak eredményeit.

Természetes anyagú alzatokon megtelepedő gerinctelen állatok minőségi és mennyiségi viszonyai

Megfelelően szerkesztett állványon fenyőfa lapokat és tenyérszerű köveket helyeztünk a Balatonba partközébe és a parttól 100 m távolságban, három különböző szinten, 1999 nyarán, s nyolc héten át, kéthetenként vett mintákban követtük nyomon a megtelepedés sebességét és a dominancia viszonyokat (*Muskó és Görög 2000, G.-Tóth és mts 2000*). A mintákban a 300 μm -nél nagyobb állatokat vizsgáltuk.

Minden szubsztrátumon a pontokáspi, behurcolt állatok (tegzésbolharák és vándorkagyló) telepedtek meg jelentős mennyiségben, a parttól távolabb határozott rétegzettségűt mutatva. A megtelepedett állatok fajösszetétele lényegesen különbözött a partmentén behelyezett és a parttól távolabb helyezett szubsztrátumokon. A tegzésbolharák a parttól távolabb a köveket preferálta, partközébe viszont a falapokat. A vándorkagyló a parttól távolabb nem mutatott preferenciát, partközébe viszont a köveket preferálta. A szubsztrátumokon megtelepedett vándorkagylók növekedtek a kísérlet előrehaladtával, ugyanakkor mindig voltak frissen megtelepedő, juvenilis állatok a populációban. A szintén behurcolt *Dikerogammarus* fajok (*D. haemobaphes*, *D. villosus* és *D. bispinosus*) és a *Jaera istri* elsősorban a partközébe telepedtek meg, a Chironomida lárvákkal együtt. A parttól 100 m-re vízipoloskák (*Micronecta* sp.) jelentős mennyiségű petét raktak le, amelyek időközben kikeltek és elhagyták az alzatokat. A partközébe sokkal több bevonat rakódott a szubsztrátumokra, mint a parttól távolabb, s a bevonat aklorofill tartalma is magasabb volt a kísérlet időtartama alatt.

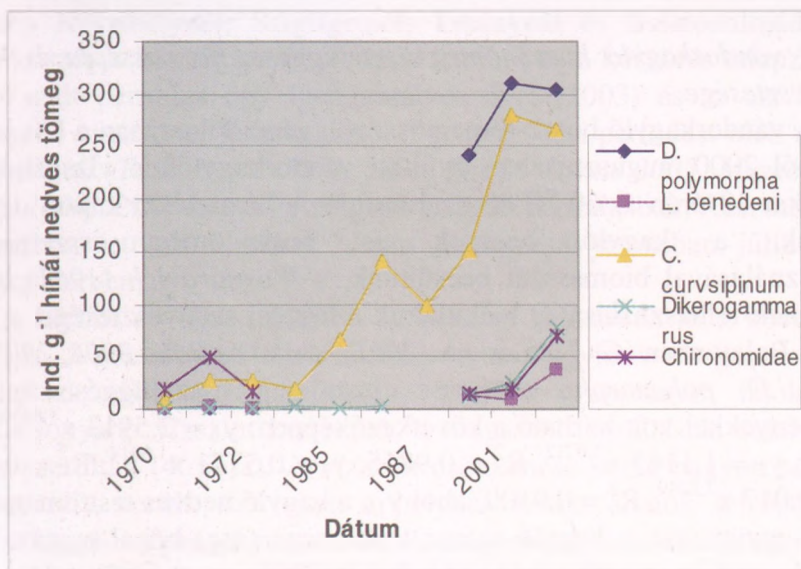
Hínárosban élő gerinctelen állatok minőségi és mennyiségi viszonyai 2000–2002 között

2000-ben májusban, júliusban és októberben, 2001-ben és 2002-ben májusban, júliusban, szeptemberben és októberben vettünk mintát a Balaton északi partvonalán mentén négy ponton (Keszthely, Szigliget, Tihany és Balatonalmádi) *Biró és Gulyás (1974)* által leírt, kissé

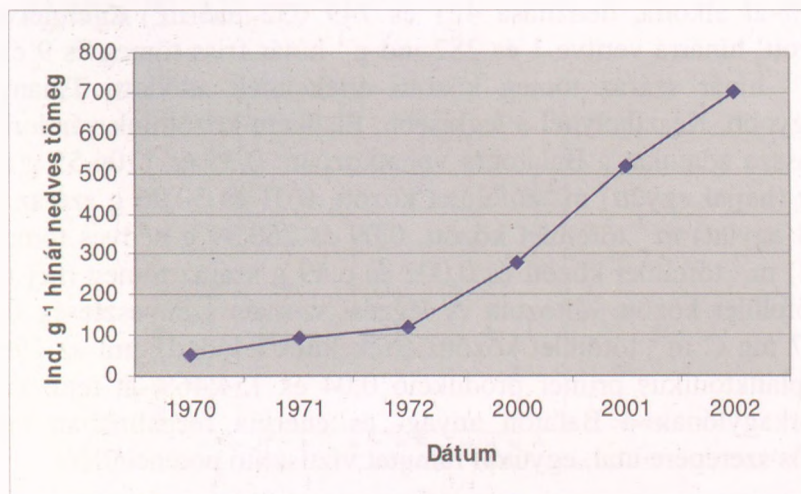
módosított, zsákszerű mintavevő eszközzel, amely lehetővé teszi a hínár és az azon megtelepedett, 300 μm -nél nagyobb állatok kvantitatív gyűjtését (G.-Tóth és mts 2001, 2002, 2003, Muskó és Leitold 2003, Muskó és mts 2007, Muskó 2009). A vizsgálati periódusban fokozatosan csökkent a Balaton vízszintje (1. ábra).

A hínárfajok közül általában a *Potamogeton perfoliatus* és a *Myriophyllum spicatum* dominált, évről évre és évszaktól függően különböző arányban. A hínár száraz tömege (g m^{-2}) a vizsgált periódusban 6 és 381 között változott, fokozatosan csökkent, a maximális érték közel $\frac{1}{4}$ -ére 2002-ben. A hínáron élő állatok összegyedszáma (ind m^{-2}) 7170 és 874020 változott, fokozatosan csökkent, kevesebb, mint $\frac{1}{3}$ -ára 2002-ben. Összesen 96 fajt és egyéb taxont azonosítottunk, melyek közül a vándorkagyló az összes állat 84,85%-át is elérhette. Nyáron és koraősszel igen magas a vándorkagyló denzitása (maximális érték 749032 ind m^{-2} , 2000. júliusában). A tegzes bolharák hasonlóképpen nagy %-ban fordult elő, az összes állat 80,34%-át is kitehette, tavasszal-koranyáron igen magas denzitással (maximum: 235756 ind m^{-2} , 2001. június elején). A *Dikerogammarus* fajok jelentős arányt képviseltek, különösen Keszthelynél (max. 54,65%, 2001. májusában), közülük a *D. haemobaphes* dominált, de a *D. bispinosus* és *D. villosus* is előfordult (Muskó és Leitold 2003). A Balatonra nézve új fajként találtuk meg a következő fajokat: *Hyalinella punctata* (Bryozoa: Phylactolaemata), *Paludicella articulata* (Bryozoa: Gymnolaemata), *Agraylea sexmaculata* (Trichoptera). Újra megtaláltuk a *Valvata naticina*-t (Gastropoda: Prosobranchia), amely 1980-ban eltűnt a tóból (Richnovszky 1981). Előkerült a Balatonból kipusztultnak hitt balatoni hínárbogár (*Macrolea mutica balatonica*) néhány példánya is. Tihany bizonyult a legkedvezőbb mintavételi helynek mind hínáron élő állatok abundanciája, mind a fajgazdagság tekintetében, ugyanez érvényes a hínár fajgazdagságára és denzitására vonatkozóan is. Hosszú távú adatsorok összevetése (Bíró és Gulyás 1974, Muskó 1989, 1992) eredményeképpen megállapítható, hogy az 1970-es évekhez viszonyítva a vándorkagyló és a tegzes bolharák előretörése a legszembetűnőbb, de más felemáslábú rákok denzitása is többszöröse az 1970-es évekbeli értékeknek (2. ábra), de a hínáron élő állatok összegyedszáma is jelentősen megnövekedett napjainkra (3. ábra). A vándorkagyló és a tegzes bolharák denzitása világviszonylatban is magas, ami arra mutat,

hogy a Balaton, 70 évvel e pontokáspi fajok inváziója után is kedvező életfeltételeket nyújt számukra.



2. ábra. A jelentősebb hínárlakó állatok denzitása (1970–72-es adatok Bíró és Gulyás 1974 alapján, a többi saját adat)



3. ábra. A hínárlakó állatok denzitása (1970–72-es adatok Bíró és Gulyás 1974 alapján, a többi jelenlegi adat)

A fokozatosan csökkenő vízszint jelentősen csökkentette mind a hínár, mind a rajta megtelepedett állatok mennyiségét.

A vándorkagyló hossz-tömeg összefüggése, biomasszája és légzési szénvesztesége

A vándorkagyló hossz-tömeg összefüggését Tihanyban a köves parti zónából 2000. augusztusában gyűjtött vándorkagylókon vizsgáltuk. Az állatokat 48 órán át 60 °C-on szárítottuk. A hínárosban kapott denzitás értékek, a kagyló hosszok és hossz-tömeg összefüggések felhasználásával biomasszát becsültünk, s *Woynárovich (1961)* légzési adatainak felhasználásával kalkuláltuk a légzési szénveszteséget a 2000. évre a Balatonban (*G.-Tóth és mts. 2001, Muskó és Bakó 2002, 2005*).

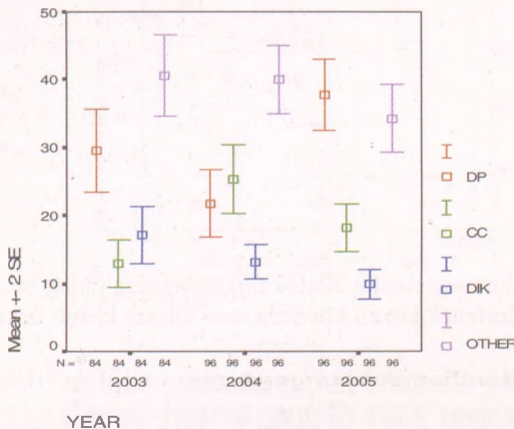
A *D. polymorpha* testhossz- testtömeg összefüggése hatványfüggvényekkel volt leírható a következőképpen: $y_1 = 2,5913 x^{1,8456}$, $R^2 = 0,921$; $y_2 = 1,1163 x^{2,6712}$, $R^2 = 0,9855$; $y_3 = 0,5771 x^{1,6614}$, $R^2 = 0,8091$; $y_4 = 0,017 x^{2,2249}$, $R^2 = 0,9109$, ahol y_1 = a kagyló nedves testtömege (mg) héjjal együtt, y_2 = a kagyló száraz testtömege (mg) héjjal együtt, y_3 = a kagyló nedves testtömege (mg) héj nélkül, y_4 = a kagyló száraz testtömege (mg) héj nélkül, x = a kagyló héjhossza (mm), R^2 = korrelációs koefficiens.

A vándorkagyló 2000-ben a hínáron megtelepedett összes állat 2,48-84,85%-át alkotta, denzitása 421 és 749 032 ind m^{-2} tófelület között változott, hínárra vetítve 1 és 282 ind g^{-1} hínár friss tömeg és 9 és 2032 ind g^{-1} hínár száraz tömeg közötti értékeknek adódott, Tihanynál a legnagyobb, Keszthelynél a legkisebb. Elsőként közöltünk vándorkagyló biomassza adatokat a Balatonra vonatkozóan: 0,35 és 1106,55 g nedves tömeg (héjjal együtt) m^{-2} tófelület között, 0,01 és 50,96 g száraz tömeg (héjjal együtt) m^{-2} tófelület között, 0,09 és 260,39 g nedves tömeg (héj nélkül) m^{-2} tófelület között és 0,002 és 6,49 g száraz tömeg (héj nélkül) m^{-2} tófelület között változott. A légzési szerves szénveszteség 0,15 és 338,27 mg C m^{-2} tófelület közötti értékeknek adódott, ami az 1999-ben mért planktonikus primer produkció 0,04 és 154,46%-át tette ki, ez a vándorkagylónak a Balaton anyag- és energia forgalmában betöltött jelentős szerepére utal, egyúttal rámutat víztisztító potenciáljára.

A köves parti zónában élő gerinctelen állatok minőségi és mennyiségi viszonyai 2003–2005 között és 2008-ban

2003 és 2005 között évente négy alkalommal (májusban, júliusban, szeptemberben és októberben) vettünk mintát a Balaton északi partja mentén Keszthelynél, Szigligetnél, Tihanynál és Balatonalmádinál, a parti kőszórás két rétegéből (felszínközlelből és a kőszórás talapzatáról). A vizsgált periódus egy igen aszályos évet (2003) és az azt követő, növekedő vízzinttel jellemezhető, regenerálódási periódust öleli magába (1. ábra) (G.-Tóth és mts 2004, 2005, Muskó és mts 2005, Muskó és mts 2006, 2008). 2008-ban, egy magas vízállású periódusban, Keszthelyen és Tihanyban vettünk mintákat, három alkalommal júniusban, júliusban és szeptemberben.

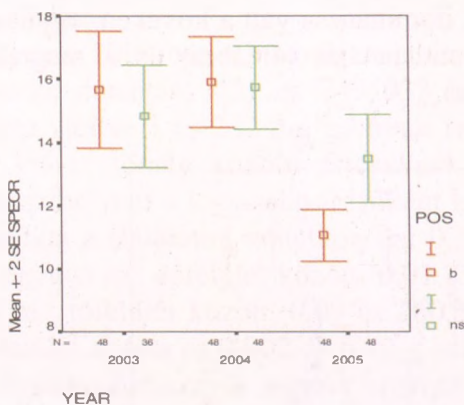
A három év alatt összesen 101 taxont mutattunk ki a köves parti zónában. A jelentősebb fajok közül a vándorkagyló és a tegzes bolharák egymással ellentétesen változott, a *Dikerogammarus* fajoknak a legalacsonyabb vízszint kedvezett, a magasabb vízállásnál fokozatosan visszaszorultak (4. ábra). A vízszint csökkenése során nagyon sok parti kő szárazra került, melyeken a helyhez kötött állatok (elsősorban a vándorkagyló) tömegei pusztultak el, megnehezítve a következő évi újra népesülést. 2005-ben, amikor ismét víz alá kerültek az addig szárazon levő kövek, a vándorkagyló számára kedvező meglepedési felületet biztosítva, e kagylófaj dominánssá vált a köveken, egyúttal csökkentve a többi állat relatív abundanciáját (4. ábra) és a meglepedett állatok fajgazdagságát (5. ábra).



4. ábra. A köveken élő állatok fontosabb fajainak relatív abundanciája a vizsgált három év átlagában (átlag és standard error). DP= vándorkagyló, CC= tegzes bolharák, DIK= Dikerogammarus fajok, OTHER= összes többi faj

Emellett magas vízállásnál (2005) lényeges különbség volt az alsó és felső szint fajgazdagsága között, mint a szárazabb években: felül több taxon fordult elő, mint alul (5. ábra), ahol a két behurcolt faj, a vándorkagyló és tegzes bolharák uralta a köveket.

2008-ban összesen 31 taxont (fajokat és egyéb taxonómiai egységeket) detektáltunk, melyből 18 minden mintavétel során előfordult és 9 taxon 5%-nál nagyobb relatív abundanciával fordult elő az egyes mintákban. A biodiverzitás mindkét mintavételi ponton csökkent 2008-ban a korábbi évekhez képest. A két pontokáspi inváziós faj, a tegzes bolharák és a vándorkagyló még inkább előtérbe került, együttes relatív abundanciája elérhette a 90%-ot is, Tihanynál a tegzes bolharák dominált, Keszthelynél a vándorkagyló. A *Dikerogammarus* fajok relatív abundanciája a korábbi évekhez képest csökkent. Általában a pontokáspi fajok egy állandó összetételű állatközösséget alkotnak, melynek tagja a Balatonban általunk nemrégiben megtalált telepes hidroidpolip (*Cordylophora caspia*) is (Muskó és mts 2008), melynek jelenléte a korábbi évekhez képest állandósult a kövezésen.



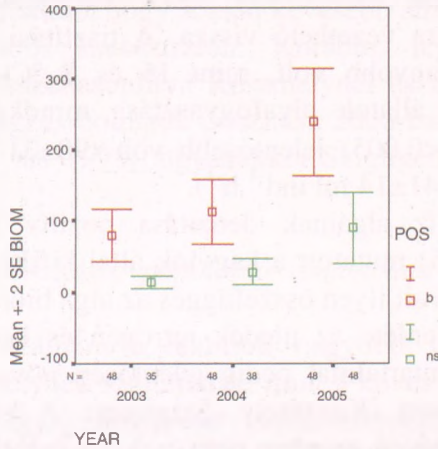
5. ábra. A köveken megtelepült állatok fajgazdagsága (átlag és standard error). B= mederfenék közeli köveken, ns= felszín közeli köveken

A köveken élő állatok összegyedszáma (ind m^{-2} köfelület) 1256 és 132354 között változott 2003 és 2005 között, az alsó szinteken általában nagyobbak voltak az értékek, mint a felső szinten, különösen igaz ez a magasabb vízállású, 2005-ös évben. 2008-ban az összegyedszám 20916 és 295396 között változott (Balogh és G.-Tóth 2009), lényegesen

magasabb, mint korábban. A vízfelszín közelében mindkét mintavételi helyen nagyobb volt az összegyedszám, mint a mederfenék kövezésén, ez ellentétes a korábbi adatokkal.

A vándorkagyló denzitása és biomasszája 2003–2005 között és 2008-ban

2003–2005 között számottevően nagyobb volt a vándorkagyló denzitása mélyben, mint felszín közelben, azonban Tihanyban mindkét mélységben kevés a vándorkagyló (*Balogh és mts 2008*). A denzitás 2003-ról 2004-re, ha minimálisan is de csökkent, 2005-re azonban közel háromszorosára nőtt. Az aszályos 2003-as évvel és az azt követő regenerálódás kezdetével (2004) összehasonlítva szignifikánsan megnövekedett a vándorkagyló biomassza, mely mindig sokkal nagyobb volt a mederfenék közelében, mint a felszínközeli köveken (6. ábra). 2008-ban a vándorkagyló a legjelentősebb mennyiségben, szeptemberben fordult elő Tihanyban, ekkor denzitása elérte a 44064 ind m^{-2} -t (köfelület egységben), tófelület egységben ez az érték $156068 \text{ ind m}^{-2}$ -t, ekkor a megtelepedett állatoknak mindössze a 23%-át alkotja.



6. ábra. A vándorkagyló biomassza (g m^{-2} köfelület) a kövek pozíciója szerint csoportosítva (átlag és standard error). ns: vízfelszín közelében, b: a mederfenék közelében

A korábbi években jellemző júliusi denzitás növekedést nem tapasztaltuk 2008-ban, sőt Tihanyban júliusra jelentősen csökkent a kagyló

mennyisége. A detektált legnagyobb kagyló hossza 23,7 mm volt, átlagosan pedig 4,3 mm hosszúak voltak az állatok. A biomassa 58,8 és 1088,8 g száraz tömeg héjjal együtt m^{-2} között változott.

A vándorkagyló tisztítási rátája és hatása a szedimentre

A vándorkagyló tisztítási rátájának vizsgálata céljából 2005-ben három alkalommal (május, július, szeptember) a tó négy, trofításban eltérő pontján (Keszthely, Szigliget, Tihany, Balatonalmádi) a parti kőszórás mentén begyűjtött állatokat használtuk fel (*Balogh és mts 2007*). A tisztítási ráta vizsgálata céljából a-kagylókat Balaton-vízből készített, meghatározott ($4-60 \times 10^6$ sejt l^{-1}) töménységű *Selenastrum capricornutum* és *Chlamydomonas spp.* algakultúra szuszpenzióba helyeztük. A tisztítási rátát *Gifford (1993)* szerint kalkuláltunk. A vándorkagyló szedimentre kifejtett hatásának vizsgálata céljából az egyes területekről kagylókolóniákat és szedimentet is gyűjtöttünk. CHNS analízátorral elemeztük az egyes mintákban a szenet, nitrogént, hidrogént és ként.

A tisztítási ráta 30-80 ml kagyló $^{-1}$ óra $^{-1}$ között változott, a *Chlamydomonas spp.* algából a kagylók jelentősebb mennyiségben fogyasztottak, mint *Selenastrum capricornutum*-ból, mely valószínűleg morfológiai okokra vezethető vissza. A tisztítási ráta 24 °C-on volt a legjelentősebb, nagyobb volt, mint 15 és 8 °C-os hőmérsékleten. A nagyobb méretű állatok algafogyasztása mindkét algakultúra esetén szignifikánsan ($p < 0,005$) jelentősebb volt (90 ± 31 ml $ind^{-1} h^{-1}$), mint a kisebb kagylóké (41 ± 14 ml $ind^{-1} h^{-1}$).

A Balaton-víz algáinak denzitása pozitív korrelációt (Pearson: $R=0,680$, $p < 0,005$) mutatott a kagylók által kifiltrált algamennyiséggel, ugyanakkor nem volt ilyen összefüggés az alga biomassa tekintetében.

A kagyló jelenléte az üledék nitrogén és kén koncentrációját kis mértékben, a széntartalmat pedig jelentősen növeli, főként a nagyobb trofítású területeken (Keszthely, Szigliget). A bevonatlakó élőlények koegzisztenciája révén azonban nem csak a vándorkagyló fejt ki hatást a szedimentre, ugyanakkor a kagyló dominanciája (*G.-Tóth és mts 1999; Muskó és mts 2005; Balogh és Muskó, 2004; Muskó és Bakó 2005*) következtében hatása feltételezhetően a legjelentősebb.

A Balaton parti öve nádasainak bevonatlakó állatvilága

A parti öv jelentős élettere a nádas, melynek bevonatában a korábbi (1992–1994) eredményeink alapján (*Muskó és mts 1998*) igen sok tegzes

bolharák él, denzitása elérheti a 77000 ind m⁻² értéket. A nádasok bevonatában élő más gerinctelen állatokra vonatkozóan nincsenek részletes mennyiségi adatok, pedig jelentős haltáplálék szervezetek.

A nádas élőbevonata gerinctelen faunájának vizsgálati céljára a Balaton északi partvonala mentén három alkalommal (május, július és október) Keszthelynél, Szigligetnél, Tihanynál és Balatonalmádinál vettünk mintát (*Muskó és Balogh 2007*).

2006-ban összesen 42 taxont (fajokat és egyéb taxonómiai egységeket) mutattunk ki a nádon. Egy eddig még a Balatonban ismeretlen mohaállatot is megtaláltunk: *Cristatella mucedo* (Bryozoa), illetve szivacs is volt a mintákban, de nem számláltuk. A Shannon-féle diverzitás index Keszthelynél nem változott lényegesen az év folyamán, mindenütt másutt májusban lényegesen magasabb, mint később, ami a két pontokáspi inváziós faj, a tegzes bolharák és a vándorkagyló előretörésének következménye. Telepes hidroid polipot (*C. caspia*) is találtunk Szigligetnél (májusban).

Az összegyedszám (ind m⁻²) 9696 és 378076 között változott, szezonális ingadozást mutatva. Jelenlegi adatainkat a korábbi, hínárosban és köves parti zónában kapott adatokkal (*Muskó és mts 2004, 2005 és 2006*) összehasonlítva feltűnő, hogy sokkal kevesebb állatfaj fordult elő a nádasban, mint a többi szubsztráton. Korábbi, tegzes bolharákra vonatkozó adatokkal összehasonlítva Keszthelynél és Balatonalmádinál jóval nagyobb volt a tegzes bolharák denzitása 2006-ban, mint az 1990-es években (*Muskó és mts 1998*), ugyanakkor Szigligetnél és Tihanynál jóval kisebb.

A vándorkagyló denzitása, populáció dinamikája és biomasszája balatoni nádasban

A vándorkagyló számára a nádasok nagyobb vízszintingadozás esetén is stabilabb élőhelynek számítanak, mint a köves parti zóna. Fenti mintákban a vándorkagyló hosszokat okulármikrométer segítségével mértük a populáció összetétel elemzése céljából. Mérettartományok szerinti csoportosítással (*Griffits 1993*) követtük nyomon a vándorkagylók növekedését (*Muskó és Balogh 2007*). A biomasszát a denzitás, az állatok hossza és a hossz-tömeg összefüggés (*Muskó és Bakó 2005*) ismeretében kalkuláltuk.

A nád élőbevonatában a vándorkagyló maximális denzitása 283 000 ind m⁻², relatív abundanciája szintén 72%. Tihanynál és Keszthelynél kis

kagyló denzitások voltak jellemzőek. Júliusban erős negatív korrelációt találtunk a biodiverzitás és a kagyló relatív abundanciája tekintetében (Pearson korreláció, $p=-0,761$, 0,01 szignifikancia szinten), ami a kagyló inváziószerű térhódítását jelzi.

A populáció összetétel az átlaghosszokban tükröződik. A nyugati és a keleti medence között különbség mutatkozott az átlaghosszokban és a biomasszában. A nádon megtelepedett kagylók átlagosan 3,6 mm hosszúak voltak, a maximális kagylóméret, pedig elérte az 1,7 cm-t (Keszthelyen, októberben), mely azonban jelentősen elmarad az egyéb európai vizekben tapasztaltaktól (lásd. Balogh és mts 2008). A maximális biomassa 66,8 g száraz tömeg héjjal együtt m^{-2} volt. A vándorkagyló fontos szerepet tölt be az ökoszisztémában (Specziár 1994, Specziár és mts 1997, Balogh és mts 2006, 2007, 2008, Muskó és mts 2006) és jelenlegi eredményeink azt mutatják, hogy domináns, mennyisége számottevő a balatoni nádasban.

Hullámverés hatása a vándorkagyló aktivitására

Hullámkeltő berendezéssel (Balogh és mts 2009), valamint a vízszint fokozatos csökkentésével párhuzamosan, laboratóriumi körülmények között követtük nyomon Balatonból kiemelt és akváriumba helyezett köveken megtelepedett kagyló viselkedését. A hullámvás során a párolgás következtében fokozatosan csökkent a vízszint úgy, hogy a végén már csak vízpermet érte a kagylókat (Balogh és G.-Tóth 2009, Balogh és mts 2009).

A laboratóriumi hullámkeltő berendezésünk jól reprezentálta a Balatoni hullámokat. 50 1/perc fordulat mellett kezdetben a vándorkagyló héja rövid ideig nyitva maradt, majd félig zárt állapotba került, ezután újra kinyitott és zavartalanul szűrt az állat. A 100 1/perc fordulatnál a hullámverés hasonló reakciót váltott ki kezdetben, mint az 50 1/perc fordulat, de a nyitott állapotot gyorsabban követte a félig zárt állapot, ezután a kagyló teljesen összezárult, majd megszokva az erősebb hullámverést, ismételten kinyitott és szűrt. A vízszint csökkenése következtében a hullámvás hatására a vándorkagylók egy része ($12,34 \pm 4,67\%$ -a), főként kisebbek, a kísérlet előrehaladtával elhagyták a követ, többségük pedig a rögzült helyen elpusztult. A kísérlet általában 6-8 napig tartott. Attól kezdve, hogy a követ már csak vízpermet érte, általában 3-6 napon belül elpusztultak az állatok. Fokozatosan csökkenő vízszint mellett, hullámvás hatására a rögzült vándorkagylók többsége

elpusztult. Elsősorban a kisebb méretű vándorkagylók hagyták el az alzatot, melyhez hasonlót tapasztaltak *Zhang és mts (1998)*.

A Balatonban a 2008. szeptemberi laboratóriumi kísérlethez gyűjtött állatok közt találtunk rá a *Dreissena bugensis*-re, melyet már a balatoni iszapban is megtaláltak (Majoros, szóbeli közlés). A *D. bugensis* első példányát a Bug folyóban találta Andrusov (*Andrusov 1897*), innen a név „bugensis”. E faj a vándorkagylóhoz hasonlóan intenzív szűrő szervezet és főbb tulajdonságaikban megegyeznek. Keszthelyen nagy mennyiségben találtunk az iszapban amuri kagylót (*Anodonta woodiana*), szifója körül ökol nagyságú vándorkagyló telepekkel, mely Balatonalmádiban és Szigligeten csak sporadikusan fordult elő.

Tízlábú rákok kutatása

A tízlábú rákok (Decapoda) jelentős szerepet játszottak a Balatonban a hal- és kagylótetemek eliminációjában, egészen az 1960-as években bekövetkező kipusztulásukig. Egyik potenciális ellenségük, az angolna telepítésének felfüggesztése után indokolttá vált visszatelepítésük megkísérlése. Ezzel kapcsolatban végeztünk kísérleteket 2000–2005 között (*G.-Tóth és mts 2001, 2002, 2003, 2004; Muskó és mts 2006*). A folyami rák (*Astacus astacus*) megél, kielégítően táplálkozik és szaporodik a Balatonban, tehát visszatelepítése sikeres lehet, melynek módszerét is kidolgoztunk. A Balaton vízszintjének drasztikus csökkenése idején felmerült a vízpótlás lehetősége különböző folyóinkból. Mivel vizsgálataink alapján a Nyugat-magyarországi vizekben élő, behurcolt tízlábú rák, az amerikai jelzórák (*Pacifastacus leniusculus*) egyes példányai rákpestissel fertőzöttek, melyet át is adtak a nemes ráknak, a vízpótlással e betegséget behurcolnák a Balatonba.

Más projektek felhasználásával becsültük a Balaton parti öve szilárd felületeinek mennyiségét, a jelen adatok és korábbi adatok felhasználásával kalkuláltuk a szilárd felületeken élő gerinctelen állatok denzitását, valamint a legtömegesebb gerinctelen állatok, a behurcolt, pontokáspi eredetű tegzes bolharák és vándorkagyló biomasszáját 1994 és 2005 között (*Muskó és mts 2007*). Az állatok denzitása 1994–2005 között éves átlagban elérheti a $1,13 \cdot 10^{11}$ értéket. A tegzes bolharák biomassza (t száraz tömeg) a víz alatti felületeken meghaladhatja a 10 tonnát. A vándorkagyló biomassza (t száraz tömeg héj nélkül) a 80 tonnát. Fenti adatok legalacsonyabb értékei 2003-ra, legmagasabb értékei 1996-ra jellemzőek.

Irodalom

- Andrusov N. I. (1897) Fossil and recent Dreissenidae of Eurasia. Trudy Sankt Peterburgskogo Obschestva Estestvoispitelei. Depart. Geol. Mineral. 25: 1-683 [in Russian with German summary].
- Balogh Cs. és G.-Tóth L. (2009) A Balaton bevonatlakó gerinctelen állatvilágának vizsgálata a 2008. évben. Benyújtott dolgozat, MTA jelentés.
- Balogh Cs. és B. Muskó I. (2004) A vándorkagyló (*Dreissena polymorpha*) populációdinamikája balatoni hínárosban. Hidrol. Közl. 84: 14-16.
- Balogh Cs., Muskó I. B., G.-Tóth L. and Nagy L. (2008) Quantitative trends of zebra mussels in Lake Balaton (Hungary) in 2003–2005 at different water levels. Hydrobiologia 613: 56-69.
- Balogh Cs., B. Muskó I., G.-Tóth L. és Purgel Sz. (2009) A vándorkagyló (*Dreissena polymorpha*) vízszint csökkenésre és betöményedésre adott reakciója különböző laboratóriumi beállítások mellett. Hidrol. Közlöny 89: 88-89.
- Balogh Cs., Muskó I. B., Zámbóné D. Zs. és Padisák J. (2007) A vándorkagyló mennyiségének alakulása, valamint anyagforgalomban betöltött szerepe. Hidrológiai Közlöny 87: 11-13.
- Bíró K. and Gulyás P. (1974) Zoological investigations in the open water *Potamogeton perfoliatus* stands of Lake Balaton. Annal. Biol. Tihany 41: 181-203.
- Gifford D. J. (1993) Consumption of protozoa by copepods feeding on natural microplankton assemblages. In: Kemp P. F., Sherr E. B. and J. J. Cole (eds.): Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 723-731.
- Griffiths R. W. (1993) Effects of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on the benthic fauna of Lake St. Clair. In: T. F. Nalepa and D. W. Schloesser (eds.) Zebra mussels: Biology, Impacts, Control. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 415-437.
- G.-Tóth L., B. Muskó I., Balogh Cs., Németh P., Homonnay Z. és Kiszely P. (2004) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. MTA, Budapest, 73-81.
- G.-Tóth L., B. Muskó I., Balogh Cs., Németh P. és Kiszely P. (2005) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2004 évi eredményei. MTA, Budapest, 75-83.
- G.-Tóth L., B. Muskó I. és Szalontai K. (2000) A rákközösségek szerepe a fitoplankton eliminációjában és a halak táplálék ellátásában, a Balatonban. In: Somlyódy L. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 1999-es eredményei. MTA, Budapest, 45-53.
- G.-Tóth L., B. Muskó I., Szalontai K. és Kiszely P. (2001) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. MTA, Budapest, 115-123.
- G.-Tóth L., B. Muskó I., Szalontai K. és Kiszely P. (2002) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatainak kutatása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. MTA, Budapest, 111-119.

- G.-Tóth L., B. Muskó I., Szalontai K., Kiszely P. és Németh P. (2003) A nyíltvíz és a parti öv gerinctelen állatvilágának kutatása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.): A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. MTA, Budapest, 100-108.
- G.-Tóth L., Muskó I. B., Szalontai K. és Langó Zs. (1999) Az eutrofizáció hatása a planktonikus és bentikus gerinctelen állatvilág táplálkozására, produkciójára és anyagforgalmára a Balatonban. In: Salánki J. és Padisák J. (szerk.) A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. Kiadja: MTA Veszprémi Területi Bizottsága a Miniszterelnöki Hivatal anyagi támogatásával, Veszprém, 76-80.
- Muskó I. B. (1989) Amphipoda (Crustacea) in the littoral zone of Lake Balaton (Hungary). Qualitative and quantitative studies. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 74: 195-205.
- Muskó I. B. (1992) Life history of *Corophium curvispinum* G. O. Sars (Crustacea:Amphipoda) living on macrophytes in Lake Balaton. *Hydrobiologia* 243/244: 197-202.
- Muskó I. B. (2009) Behurcolt állatfajok. A Balaton parti övének gerinctelen állatai, mint haltáplálék szervezetek. In: Balaton-kutatásról mindenkinek. Magyar Tudományos Akadémia Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany, VSP Nyomda Kft., Várpalota, 137-154.
- Muskó, I. B. és Bakó B. (2002) A vándorkagyló (*Dreissena polymorpha*) denzitása, biomasszája és légzési szénvesztesége balatoni hínárosban. *Hidrol. Közl.* 82: 13-14.
- Muskó I. B. and Bakó B. (2005) The density and biomass of *Dreissena polymorpha* living on submerged macrophytes in Lake Balaton (Hungary). *Arch. Hydrobiol.* 162: 229-251.
- Muskó I. B. és Balogh Cs. (2007) A Balaton bevonatlakó gerinctelen állatvilága vizsgálata a 2006. évben. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.): A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. MTA, Budapest, 66-74.
- Muskó I. B., Balogh Cs., Bakó B., Leitold H. és Tóth Á. (2004) Gerinctelen állatok szezonális dinamikája balatoni hínárosban, különös tekintettel néhány pontokáspi inváziós fajra. *Hidrol. Közl.* 84: 12-13.
- Muskó I. B., Balogh Cs., Tóth Á. P., Varga É. and Lakatos Gy. (2007) Differential response of invasive malacostracan species to lake level fluctuations. *Hydrobiologia*. 590: 65-74.
- Muskó I. B., Balogh Cs. és G.-Tóth L. (2007) A halak rendelkezésére álló gerinctelen táplálékbázis a Balaton parti övében. *Hidrol. Közl.* 87: 5-7.
- Muskó I. B., Balogh Cs. és Kiszely P. (2006) A Balaton bevonatlakó gerinctelen állatvilága és a tízlábú rákok kutatása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. MTA, Budapest, 57-65.
- Muskó I. B., Balogh Cs., Varga É. és Tóth Á. P. (2005) Gerinctelen állatok szezonális dinamikája a Balaton köves parti zónájában az aszályos 2003. évben, különös tekintettel néhány pontokáspi inváziós fajra. *Hidrol. Közl.* 85: 7-9.
- Muskó I. B., Bence M. and Balogh Cs. (2008) Occurrence of a new Ponto-Caspian species, *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Hydrozoa:Clavidae) in Lake Balaton (Hungary). *Acta Zool. Acad. Sci. Hung.* 54: 169-179.
- Muskó, I. B. és Görög Sz. (2000) Természetes alzatok benépesülési dinamikája a Balatonban. Módszer és előzetes eredmények. *Hidrol. Közl.* 80: 278-281.

- Muskó I. B., Balogh Cs. és G.-Tóth L. (2007) A halak rendelkezésére álló gerinctelen táplálék bázis a Balaton parti övében. Hidrol. Közl. 87: 5-7.
- Muskó, I. B., Lakatos Gy., Bíró P. and Zólyomi Zs. (1998) Aspects of the population dynamics of *Corophium curvispinum* G. O. Sars in the reed belts along with a trophic gradient in Lake Balaton (Hungary). Int. Rev. Hydrobiol. 83: 419-433.
- Muskó I. B. és Leitold H. (2003) Hínárosban élő felsőrendű (Malacostraca) rákok minőségi és mennyiségi viszonyai a Balaton különböző medencéiben. Hidrol Közl. 83: 14-16.
- Muskó, I. B. és Russo A. R. (1998) Amphipoda rákok betelepülése mesterséges alzatra a Balatonban Tihanynál. Hidrol. Közl. 78: 269-272.
- Muskó, I. B. and Russo A. R. (1999) Importance of *Corophium curvispinum* G. O. Sars, 1895 (Crustacea: Amphipoda) in Lake Balaton (Hungary) A colonization study. Crustaceana, spec. vol. 1999: Crustaceans and the Biodiversity Crisis. Proc. Fourth Int. Crust. Congress, Amsterdam, The Netherlands, vol. I. Ed.: Frederick R. Schram and J. C. von Vaupel Klein, Brill, Leiden, Boston, Köln 1999: 445-456.
- Specziár A., Tölg L. and Bíró P. (1997) Feeding strategy and growth of cyprinids in the littoral zone of Lake Balaton. J. Fish Biol. 51: 1109-1124.
- Specziár A. (1999) Öt pontyféle táplálkozási kölcsönhatása és táplálkozási feltételei a Balatonban. Halászat 99/4, 92: 166-172.
- Wojnárovich, E. (1955) Vorkommen der *Limnomysis benedeni* Czern. im ungarischen Donauabschnitt. Acta Zool. Acad. Sci. Hung. 1: 177-185.
- Zhang Y., Stevens S. E. J. and Wong T-Y. (1998) Factors affecting rearing of settled zebra mussels in a controlled flow-through system. Progr. Fish-Culturist 60: 231-235.

A BALATON ÉS VÍZGYŰJTŐJÉNEK TERMÉSZETES HALFAUNÁJA

Specziár András¹, Erős Tibor¹, Takács Péter¹, Sály Péter² és
Bíró Péter¹

¹MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézete, Tihany

²Szent István Egyetem, Gödöllő

Összefoglalás. Az alábbiakban az elmúlt bő évtized azon, elsősorban az őshonos halfajokat érintő halbiológiai kutatásait tekintjük át, amelyek a középtávú Balaton-kutatási Programok keretében folytak. Összegezzük a Balaton és befolyó vizein végzett legfontosabb halfaunisztikai, közösségszerkezeti, állomány- és populációdinamikai, valamint táplálkozás ökológiai vizsgálatok eredményeit.

Bevezetés

A Balaton kutatásának helyzete mindig is különleges volt. Egyfelől a tó kutatása, így a halállomány vizsgálata is, igen régre nyúlik vissza; másfelől pedig, az itt folyó kutatásokat soha sem pusztán a tóban és vízgyűjtőjén zajló folyamatok iránti tudományos kíváncsiság hajtotta, hanem minden időszaknak megvoltak az égető gyakorlati vonatkozású problémái is. A tó gazdasági jelentősége egyaránt megkívánja e kérdések megválaszolását.

Az elmúlt mintegy két évtized során jelentős változások történtek mind a tó belső folyamataiban és környezetében, mind pedig a tó hasznosításának prioritásaiban. Mindezen változások súlyos, de izgalmas halbiológiai kérdéseket is felvetettek. A szélesebb körű kutatásoknak kedvezett ugyanakkor, hogy 1995 és 2005 között kielégítő szintű támogatás állt rendelkezésre (azóta ez már közel sem mondható el) és hogy, emelkedett a tó vízgyűjtőjén tevékenykedő kutatók száma. Az elmúlt bő évtized halbiológiai kutatásai ennek megfelelően meglehetősen széles spektrumot ölelhettek fel. Az alábbiakban ezek közül a középtávú Balaton-kutatási Programhoz köthető alapkutatási és gyakorlati vonatkozású vizsgálatok eredményeit igyekszünk tömören áttekinteni.

A kutatások irányvonalai és azok főbb eredményei

A Balaton halállományának kutatása

A halállomány vizsgálatával kapcsolatos módszertani kérdések

A szóban forgó Balaton-kutatási Programnak alapvető szerepe volt

abban, hogy megvalósulhasson a Balaton halállományának hosszú távú tudományos igényű mintavételeken alapuló monitorozása. Ennek első lépése volt, hogy a hazai gyakorlatba is bevezettük a tavak halállományának vizsgálatára alkalmas paneles kopolyúhálók használatát (*Specziár és mtsai 1997b*), illetve standardizáltuk az elektromos halászgép alkalmazását (*Specziár és mtsai 1997d*). 2005-ben az Európai Unió szabványosította a tavak halállományának vizsgálati módszereit, amely a balatoni kutatások gyakorlatát is érintette. A felmerülő kérdések tisztázása és a szabvány honosításának optimalizálása érdekében alapos vizsgálatok készültek (*Specziár 2001, Specziár és Takács 2007, Specziár és mtsai 2007, 2009, Erős és mtsai 2008, 2009*). Ezen vizsgálatok eredményei alapján kizárólag az EU szabvány bentikus kopolyúhálójának alkalmazásával a tó halállománya – különösen a 1,5 m-nél mélyebb élőhelyeken – nem vizsgálható megfelelő megbízhatósággal. Ezen élőhelyeken rendszerint alapvető fontosságú lehet a felsőbb vízrétegek mintázását biztosító kiegészítő hálók alkalmazása, míg a parti zónában az elektromos halászgép alkalmazása adhat jelentős plusz információkat.

Faunisztika

Az elmúlt 10-12 év során minden eddiginél alaposabban vizsgáltuk a tó halfaunáját. Összesen 32 halfaj jelenlétét sikerült bizonyítani, amelyből azonban több faj mindössze 1-3 példányban került elő (*Specziár és mtsai 1997d, 2000, Bíró 2001, 2002a, 2003a*). Ugyanakkor, igen szomorú tanulság, hogy az alkalmi előfordulók és a faunaidegen fajok mellett, öfenntartó állománnyal a tavon belül jelenleg csak 18 őshonos halfaj rendelkezik. A tóban ma már csak két védett halfaj, a szivárványos ökle (*Rhodeus sericeus*) és a halványfoltú küllő (*Romanogobio albipinnatus*) tömeges, míg a réti csík (*Misgurnus fossilis*) és a lápi póc (*Umbra krameri*) csak nagyon ritka vendégek a tóban.

Halközösségek szerveződése

A halközösségek összetételének és mennyiségi viszonyainak tanulmányozása képezte az elmúlt évtizedben folytatott munka egyik legjelentősebb részét (*Bíró és mtsai 1998, 1999a, Bíró és Specziár 2000, Bíró 2001c, Bíró és mtsai 2002b, 2003b*). A vizsgálatok a nyíltvízen paneles kopolyúhálószerűen, míg a nádas és kövezéses partszakaszokon

elektromos halászgéppel folytak. A halállomány összetételét elsősorban az élőhelyi különbségek és a hosszú távú folyamatok befolyásolják, míg a halállomány mennyiségére a trofitásnak van kiemelt hatása. A nyíltvízi őshonos halállományt döntő részben a küsz (*Alburnus alburnus*), a dévérkeszeg (*Abramis brama*) és a garda (*Pelecus cultratus*) képezik. E területek fő ragadozója a fogassüllő (*Sander lucioperca*). A partközeli területekre kevésbé jellemző a garda, itt a küsz és a dévérkeszeg mellett jelentősebb arányt képvisel a bodorka (*Rutilus rutilus*), a karika keszeg (*Blicca bjoerkna*) és a ponty (*Cyprinus carpio*). A nádasokban a küsz és a bodorka mellett, számottevő még a karika keszeg, a dévérkeszeg, a ponty, az angolna (*Anguilla anguilla*) és az amur (*Ctenopharyngodon idella*) aránya. A kövezések halállományát egyedszámban egyértelműen a küsz dominálja. Gyakori halfaj még a bodorka, a folyami géb (*Neogobius fluviatilis*), a naphal (*Lepomis gibbosus*) és az angolna. A védett kikötői öblökben szintén a küsz fordul elő a legnagyobb egyedszámban, amelyet gyakoriságban a naphal és a bodorka követ. Helyenként számottevő még a folyami géb egyedszáma, a dévérkeszeg, az ezüstkárász (*Carassius gibelio*) és a szivárványos ökle előfordulása (*Specziár és mtsai 1997d, Tölg L. és mtsai 1998, 2000, Specziár és Takács 2007, Tátrai és mtsai 2008*).

A nyíltvíz halállományának sűrűsége erős növekvő trendet mutat a Siófoki-medencétől a Keszthelyi-medence irányában, a tó trofikus gradiensének megfelelően. A két szélső medencében a halállomány sűrűsége jellemzően két-háromszoros eltérést mutat (*Specziár és mtsai 2000, Specziár és Takács 2007*). Alapos vizsgálatok készültek a halállomány vertikális rétegződését illetően is. Ennek megfelelően a nyíltvízen a bentikus régióban található a legtöbb halfaj, ezek biomasszában azonban a halállománynak mindössze harmadát-felét teszik ki. A garda egyértelműen a vízoszlop középső rétegeit preferálja, míg kifejezetten a felszín közelében tömeges a küsz, amelynek mennyisége a tó nyugati és középső területein ér el különösen magas értéket (*Specziár és mtsai 2007, 2009*). Összességében a halállomány sűrűsége a tó északi parti nádasában és az azok előtt elterülő partközeli területeken éri el maximumát.

Jelentősnek mutatkoztak ugyanakkor a kopoltyúhálós fogási értékek napszakos és évszakos eltérései is, amely elsősorban a halak mozgási aktivitásának változásaival hozhatóak összefüggésbe (*Specziár 2001*).

Populáció dinamika

Az egyes halfajok állományának szerkezete és egyedeinek átlagos növekedési üteme nagyon fontos indikátorai az adott halfaj életkörülményeinek, így e jellemzők fontos szerepet töltenek be a vízi ökoszisztémában zajló folyamatok értékelése mellett a halgazdálkodás tervezésében is. Az elmúlt bő évtized során ennek megfelelően jelentős hangsúlyt fektettünk ezen, a Balaton kutatásában jelentős hagyományokkal bíró vizsgálatokra (*összefoglalók: Bíró 1997, Tölg I. és Bíró 1997*). Leírtuk a tó néhány jelentős halfajának a méret- és korstruktúráját, meghatároztuk növekedési mutatóit és elemeztük az azok minőségét befolyásoló környezeti hatásokat (*Bíró 1997, Specziár és mtsai 1997a,c, Tölg L. és mtsai 1997a,b, Specziár és Bíró 2002*). Kimutattuk, hogy a környezeti változásokra, elsősorban a táplálkozási feltételeket alapvetően befolyásoló trofitásbeli ingadozásokra, a dévérkeszeg állománya igen érzékenyen reagál, amely mind az állomány méretében, koreloszlásában és növekedésében tetten érhető (*Specziár 1999b, Specziár és Tölg L. 2000*). A legtöbb vizsgált halfaj esetében kimutatható a trofitási gradiens mentén a növekedés, kedvező (gyorsuló) változása (*Bíró 1997, Specziár és Tölg L. 2000, Bíró és mtsai 2008*). A kősüllő (*Sander volgensis*) esetében kifejezetten szembeötlő a második életév során is fennmaradó nagy mortalitás és a halfogyasztásra történő áttérés nehézsége miatti átmeneti megtorpanás a növekedésben (*Specziár és Bíró 2003, Specziár 2007*).

A halivadék mennyisége, növekedése és túlélése

A halállományok stabilitása döntő mértékben függ az ivadék mennyiségétől és túlélési esélyétől. Különösen fontos ez a kérdés a Balaton esetében, ahol a halak szaporodási lehetőségeit az emberi beavatkozások jelentősen lerontották, míg ugyanakkor az ivarérett állományok jelentős halászati (és a közelmúltig szintén nagy halászati) terheltséggel sújtottak. A Balaton-kutatási Program keretében éppen ezért halivadék vizsgálatokra is sor került (*Specziár és Bíró 2004, 2005c, 2006*). Elsősorban a jelenleg még többé-kevésbé jó természetes szaporulattal rendelkező fogassüllő, kősüllő, dévérkeszeg és bodorka ivadékát kutattuk. Kimutattuk, hogy a fogassüllő ivása sikeres a tóban, amelyet korai ivadékának rendkívül magas mennyisége bizonyít

(*Specziár 2004a, 2005c, 2006*). Ugyanakkor, az ivadék túlélése nagyon gyenge, így a fogassüllő állomány a tartósan magas horgászati és orvhalászati nyomást stabilan csak az anyaállomány fokozottabb védelme és az egynyaras ivadék intenzívebb telepítése esetén lehet képes tartósan elviselni. A fogassüllő ivadék gyenge túléléséért a nagyfokú kifalás, ideértve a korcsoporton belüli és kívüli kannibalizmust is (*Specziár 2002c, 2005, Specziár és Bíró 2004b*), valamint a kedvezőtlen táplálkozási feltételek jelentős mértékben okolhatóak (*Specziár 2004a, 2005b*). Az ivadék növekedése alapján a táplálékkészlet méreteloszlása miatt korlátozott (*Specziár 2002c, 2005a,b*), ami visszahat a túlélési esélyre. A kősüllő ivadékának helyzete az első szezón során kissé jobbnak tűnik, ám e halfaj esetében még a második év során is jelentős mortalitás (*Specziár és Bíró 2002, 2003*). A két süllőfaj, a vágódurbincs (*Gymnocephalus cernuus*), a dévérkeszeg és a bodorka ivadékának növekedése nagyon szoros összefüggést mutat a 10–14 °C feletti hőösszeggel (*Specziár 2002d, 2005c, 2006*), ugyanakkor, az első négy faj ivadékának növekedése enyhe pozitív korrelációt mutat a trofitással is. Az ivadék mennyisége a tó hossz tengelye mentén, főként nyár közepétől, szintén korrelál a trofitással, ami a táplálkozási feltételek jelentőségét bizonyítja a túlélési esélyt illetően. Meglepő módon azonban az ivadék mennyiségének hosszú távú ingadozásai nem mutattak statisztikailag igazolható kapcsolatot a két legfontosabbnak vélt időjárási tényezővel, a hőmérséklettel és a szélerősséggel.

Táplálkozás ökológia

Az elmúlt évtized kutatásainak talán leghangsúlyosabb részét a táplálkozás-biológiai kutatások tették ki, amelyek során az egyes halfajok táplálkozási szokásai és táplálkozási kapcsolatrendszerei kerültek leírásra. Összesen 15 halfaj táplálékát írtuk le a testméret, az élőhely és az évszak függvényében (*Specziár és mtsai 1997c, 1998a,b, Specziár 1999a, 2002c,d, 2004b, 2005a,b, Specziár és Bíró 2002, 2003, 2004b, Rezsü és mtsai 2003, 2004, 2005, Rezsü és Specziár 2005, 2006*). Feltártuk az egyes halfajok növekedése során bekövetkező táplálékváltásokat, és egy újszerű grafikus eljárással elemeztük a korcsoportok közötti táplálékmegosztást (*Rezsü és Specziár 2006, Specziár 2007, Specziár és Rezsü 2008, 2009*). Feltártuk a fajok közötti táplálékmegosztást, és meghatároztuk a tó halállományának döntő részét reprezentáló

táplálkozási csoportokat (Rezsú és Specziár 2006, Specziár és Rezsú 2008, 2009). Kimutattuk, hogy első sorban a nyíltvízi bentoszt fogyasztó halfajok (pl. dévérkeszeg) növekedése tekinthető gyengének, míg a parti sáv puhatestűit hasznosító halfajok (ponty, bodorka) növekedése kimagasló (Specziár és mtsai 1997, Specziár 1999b). Ezen eredmények jó összhangban vannak a szóban forgó táplálékforrások mennyiségi viszonyaival és szezonális dinamikájával (Specziár és Vörös 2001, Muskó és mtsai 2004, 2007, Balogh és Muskó 2006, Balogh és mtsai 2008, Specziár 2008a). Szintén megállapítható, hogy a tóban talán a legélesebb versengés a zooplankton fogyasztásáért van, ám ezt azon fajok, amelyek képesek más táplálékra váltani, sikeresen kikerülhetik (Specziár 1999b, Specziár és Rezsú 2009). Más halfajok kompetíciójától viszonylag védettek az egyedi táplálékot fogyasztó ezüstkárász (detritusz) és vörösszárnyú keszeg (hínár fajok) (Specziár és Bíró 1999, Specziár 1999b, Specziár és Rezsú 2009). A ragadozó halak esetében feltűnő a halfogyasztásra történő átállás nehézsége (Specziár 2002c, 2005b, 2007). A táplálkozási gondok a fogassüllőt mintegy 50 cm-es méretig elkísérik. Öt jelentősebb pontyféle esetében leírtuk a táplálék bélrendszerből történő ürülésének dinamikáját a hőmérséklet függvényében (Specziár 2000 2002a), illetve becsültük a napi és éves táplálékfogyasztásukat (Specziár 2002b). A táplálékfogyasztás (képessége) szintén jó összefüggést mutatott azzal, hogy az adott halfaj növekedése milyen jóságúnak tekinthető a Balatonban. Nevezetesen, a dévérkeszeg éhezése és a ponty „jóllakottsága” e tekintetben is szembeötlő (Specziár 1999b, 2002b). A táplálkozás biológiai vizsgálatok eredményeit a táplálékforrás adatokkal ötvözve mélységeiben elemeztük a tó anyagforgalmát a halak szempontjából (Bíró 1997, 2006b, Bíró és mtsai 1999b).

A halállomány hosszú távú változásai

Az elmúlt évtizedek során a Balaton ökoszisztémáját számos olyan hatás érte, amelyek nagyon jelentős hatást gyakoroltak a halállományra. Ezek közül a part és vízszintszabályozások, a szennyezések, a trofitás növekedése, majd csökkenése és a globális éghajlati folyamatok emelhetőek ki. Ugyanakkor, a halállományt számos közvetlen emberi hatás is érte, így például esztelen mértékben kerültek betelepítésre az idegenhonos halfajok, és évtizedekig a tudományos álláspontokat figyelmen kívül hagyó módon folyt a halászat. A halállományban

bekövetkezett változásoknak számos részletét sikerült feltárni a kutatások során. A tó termelékenységében bekövetkezett változásoknak elsősorban a halállomány mennyiségi mutatóira volt hatásuk (Bíró 1997, 2000, 2001a,b, 2002, *Specziár és Tölg L. 2000, Specziár 2004b*). Így a trofitás növekedésével az 1980-as évek elején megfigyelhető volt egyes halfajok állományainak kisebb növekedése, majd a vízminőség javulásával számos tömeges halfaj állománya csökkent, míg az egyedek növekedése romlott. Ugyanakkor, a legmarkánsabb változások mégis az idegen fajok térnyeréséhez köthetők. E fajok, mint például a busa (*Hypophthalmichthys molitrix* × *H. nobilis*), az angolna, az ezüstkárász és több kisebb testű halfaj, térnyerése a Balatonban egyértelműen az őshonos fajok rovására történt. A felerősödő táplálkozási konkurencia (*Specziár 1999b, Specziár és Tölg L. 2000*), ikra- és ivadékfalás hatására több őshonos halfaj állománya jelentősen visszaszorult, míg több régebben a tóban élő faj teljesen kiszorult a vízgyűjtő perifériális területeire (Bíró és *mtsai 2003a*). A bekövetkezett kedvezőtlen változások a tó jellegzetes halainál, a dévérkeszegnél és a fogassüllőnél a legszembeötlőbbek (Bíró 1997, *Specziár és Tölg L. 2000*), de például a kösüllő esetében is bizonyítható az állomány tizedelődése (*Specziár és Bíró 2002, 2003*).

A kutatások tapasztalatai alapján rendszeresen készültek beavatkozási javaslatok, amelyeket a vonatkozó jelentéseken és szűk szakmai fórumokon kívül, a szélesebb publikum számára is elérhető ismeretterjesztő írásokban is helyet kaptak (pl., Bíró és *Specziár 2003, Bíró 2003, 2006a, Specziár 2008b, 2009*).

A befolyóvizek halállományának kutatása

A Balatonba folyó vízfolyások halfaunisztikai-halbiológiai kutatása hosszú múltra tekint vissza (pl. *Herman 1887, Entz és Sebestyén 1942*). Részletes, egy-egy vízfolyás faunáját, halegyütteseinek összetételét minél alaposabban feltáró dolgozatokkal azonban csupán a XX. század utolsó évtizedétől kezdődően találkozunk (pl. *Przybylski és mtsai 1991, Bíró és Paulovits 1994, Harka és Juhász 1996, Keresztessy 1998*). Az 1990-es évek második felétől kezdődően pedig az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézete különös figyelmet fordít a Balatont tápláló vízfolyások halállományának kutatására (Bíró és *mtsai 2001, 2002a,b, 2003a,b, Lendvai és Keresztessy 2004*). E kezdeti kutatások igazolták, hogy a

Balaton vízgyűjtőjén erős antropogén hatásnak kitett vízfolyások találhatóak, amelyeknek halfaunája hosszú távon igen sérülékenynek tekinthető. A vízfolyásokban számos védett halfaj fordul elő és olyan őshonos, de nem védett fajok populációi, amelyeknek állománya a tóban igen megritkult az utóbbi évtizedekben (pl. sügér *Perca fluviatilis*). A felmérések jelezték ugyanakkor több idegen-honos faj jelenlétét is (pl. naphal), hasonlóan a Balatonban történő megfigyelésekhez. Kimutatták továbbá, hogy a Balaton északi befolyóinak halfaunája a nyugati területektől eltekintve (Tapolcai-medence vízfolyásai, Egervíz) igen szegényes, egyes vízfolyásokban nem is sikerült halat gyűjteni az ezredfordulót követően. Mindezek a felmérések felhívták a figyelmet arra, hogy a Balaton vízgyűjtőjén fontos kutatási feladat a halegyüttesek sokféleségének, az állományok összetételének hosszú távú monitorozása. A térbeli és időbeli változások részletes megismerése fontos adatokkal szolgál például az őshonos, természetvédelmi oltalom alatt álló fajok állományainak nagyságáról, az idegen-honos fajok terjedéséről, az inváziós fajok jelentőségéről, a klímaváltozás esetleges hatásairól. Ez az információ pedig alapul szolgál a természetvédelmi (fajvédelem, élőhelyvédelem és revitalizáció) és a környezetvédelmi célú (ökológiai állapot/potenciál meghatározása) beavatkozások megtervezéséhez, kivitelezéséhez. A viszonylag rendszertelen, a halegyüttesek térbeli és időbeli változásait mélyrehatóan nem taglaló halfaunisztikai dolgozatokból azonban nehéz megalapozott következtetéseket levonni a halegyüttesek sokféleségében bekövetkezett változásokról és ennek okairól. Ezért az ezredfordulót követő első évtizedben kutatásaink fő feladata a monitorozás módszertanának tudományos alapozása, a halegyüttesek sokféleségét meghatározó tényezők minél alaposabb megismerése volt, a továbbra is fontosnak tekintett faunisztikai kutatás mellett. Ezek a kutatások, amelyekből alább adunk ízelítőt, megteremtik a lehetőséget a halegyüttesek hosszú távú dinamikai folyamatának megismeréséhez.

A vízgyűjtő egészét érintő első felmérésünket 2006–2007-ben kezdtük meg, kezdetben a Balatont közvetlenül tápláló patakok, majd a Zala vízrendszerének vizsgálatával. E felmérések keretében számos, korábban még nem vizsgált vízfolyás halállományát tanulmányoztuk (*Takács és mtsai 2007, 2008*). Számos vízfolyásban igazoltuk az idegenhonos fajok nagyarányú tömegességét, amely elsősorban a

vízfolyásokon létesített halastavaknak tulajdonítható. Rámutattunk arra, hogy az idegenhonos fajok nagyobb arányban és szélesebb elterjedéssel fordulnak elő a balatoni befolyókban, mint a Zala vízrendszerében. Fokozódó tömegességük a vízfolyások halegyütteseinek egyhangúsodásához vezethet (Sály és mtsai 2008). A térben és időben igen részletes monitorozásnak köszönhetően elsőként igazoltuk egy újabb inváziós halfaj, az amurgéb (*Perccottus glenii*) előfordulását a Dunántúlról (Erős és mtsai 2008b). A Marótvölgyi vízfolyásból kimutatott faj feltehetően a vízfolyás felső szakaszán található halastavakból jutott ki a vízfolyásba. Állományának várható növekedése komoly veszélyt jelenthet a Marótvölgyi-vízfolyás, illetve a Kis-Balaton lápi póc (*Umbra krameri*) állományára. Az amurgéb rohamos terjedése a vízgyűjtőn szintén megjósolható.

Míg a Balatonba folyó patakok halfaunája viszonylag jól feltárt volt és jelenleg is intenzíven kutatott (pl. Keresztessy 1998, Weiperth és mtsai 2008), a Zalába folyó patakok halállományáról hiányos ismeretekkel rendelkezünk (pl. Sallai és Györe 1999). A Zala vízgyűjtőjére vonatkozó felméréseink, az ország hasonló jellegű vizeivel összevetve azt mutatták, hogy a Zala vízgyűjtőjének fajkészlete viszonylag szegényes, ami a Zala nagyobb vízfolyásoktól való elzártágával magyarázható. Ugyanakkor a magasabban fekvő vízfolyásszakaszok szinte mindegyikében a védett fürge cselle (*Phoxinus phoxinus*) és kövi csík (*Barbatula barbatula*) nagy állományait találtuk. Az adventív fajok alacsony egyedszámaránya, a speciális élőhely igényű fajok sok esetben nagy, de elszigetelt állományai, valamint a síkvidéki kisvízfolyások eredeti arculatát és halfauna elemeit tükröző, mára azonban szabályozott csatorna szakaszok tekinthetők a Zala vízgyűjtő talán legfontosabb természeti értékeinek.

A vízgyűjtő halfaunisztikai vizsgálatát követően, az eddig vizsgált közel 100 mintavételi helyből leválogattuk azokat, amelyek összességében jól tükrözik a vízgyűjtő halfaunájának sokféleségét. Jelenleg mintegy félszáz mintavételi helyen monitorozzuk a halegyüttesek szerkezetét évszakos felmérések alapján, lehetőségeinkhez mérten. A monitorozást egységes módszertani keretek között végezzük, amelynek kialakítását a vízgyűjtő 7 jellegzetes kisvízfolyásának 8 mintavételi helyszínén végzett felméréseink alapozták meg (Sály és mtsai 2009a). Vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy sík és dombvidéki kisvízfolyásainkban az ismételt halászat az egyszeri halászathoz képest

nem növeli jelentősen a minta reprezentativitását, illetve a közösség szerkezeti jellemzők becslési megbízhatóságát. Ellenben a mintavételi szakasz hosszának növelésével mind a megbízhatóság, mind a reprezentativitás, telítődési jelleggel növekszik. A legtöbb esetben egy 150 m-es szakasz egyszeri halászata elektromos halászgéppel kellően reprezentatív képet nyújt a halállományt jellemző változókról (fajszám, együttes összetétel, relatív egyedsűrűség) adott helyszínen.

Az ökológiai kutatások egyik legfontosabb kérdése annak meghatározása, hogy milyen mértékben határozzák meg környezeti tényezők a közösségek szerveződését, azaz mennyire „jósolható” meg a környezeti változók alapján egy adott élőhely közössége. A Balaton vízgyűjtőjén az erős antropogén hatások miatt (pl. bányászat, halastavak létesítése, telepítések, medermorfológiát érintő beavatkozások) azonban igen fontos a történeti hatások szerepe is a halállomány összetételének kialakulásában. Hazánkban először végeztünk olyan vizsgálatot, amelynek keretében számszerűsítettük 1) a tájléptékű változók (pl. vízgyűjtő területe, tájhasználat formája – Corine 2000 adatbázis alapján az élőhelytípusok aránya stb.), 2) a lokális, azaz a patak szakasz hidromorfológiai szerkezetét leíró változók (pl. medermorfológia, vízmélység, vízsebesség stb.), illetve 3) a térbeli hatások (mintavételi hely pozíciója a vízgyűjtőn) jelentőségét a halegyüttesek összetételének kialakításában, a félszáz helyszínen (54 db) vonatkozó felméréseink alapján. A rendkívül széles spektrumot felölelő abiotikus változók ellenére a többváltozós elemzések a halegyüttesek összetételében rejlő változatosság kevesebb, mint 60%-át tudták leírni (*Sály és mtsai 2009b*). Az eredmények szerint igen nehéz a halegyüttesek összetételét pontosan „megjósolni” az élőhely környezeti sajátosságainak ismeretében az emberi hatások által erősen befolyásolt vízgyűjtőn. Jövőbeni kutatásaink egyik fontos feladata lesz annak megismerése, hogy az idegenhonos, sok esetben inváziós halfajok milyen szerepet játszanak hosszú távon az állományok összetételének módosulásában, illetve, hogy az egyre inkább nyilvánvalóvá váló klímaváltozás milyen hatást gyakorol a vízgyűjtő halegyütteseinek sokféleségére. A szélsőséges időjárási viszonyok (pl. aszályos évek) előrevetítik az aktív természetvédelmi célú beavatkozások szükségességét a halállományaik alapján különösen értékesnek ítélt vízfolyásokon.



Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket szeretnénk kifejezni mindazon kollégáknak, akik az évtizedes munkában érdemi módon részt vettek. Külön is szeretnénk megköszönni Dobos Géza, Báthory István, Bereczki Csaba, György Ágnes Irma, Keresztessy Katalin, Maroskövi Bea, Rezsü Emese, Szecsődi Béla és Tölg László munkáját.

Irodalom

- Balogh Cs. & Muskó I. B. (2006) The population dynamics of zebra mussels on different substrata in Lake Balaton (Hungary). *The Malacologist* 46: 10.
- Balogh Cs., Muskó I. B., G.-Tóth L. & Nagy L. (2008) Quantitative trends of zebra mussels in Lake Balaton (Hungary) in 2003–2005 at different water levels. *Hydrobiologia*. 613: 57-69.
- Bíró P. (1997) Temporal variations in Lake Balaton and its fish populations. *Ecol. Freshwat. Fish* 6: 196-216.
- Bíró P. (2000) Long-term changes in Lake Balaton and its fish populations. *Adv. Ecol. Res.* 31: 599-613.
- Bíró P. (2001a) Halhozam-változások trendje a Balatonban. *Hidrol. Közlöny* 81. 5-6: 326-328.
- Bíró P. (2001b) Freshwater biodiversity: an outlook of objectives, achievements, research fields, and co-operation. *Aquat. Ecosyst. Health Manage.* 4: 251-261.
- Bíró P. (2001c) A Balatonban őshonos halpopulációk minőségi-mennyiségi felmérése, állomány-dinamikáik és trofikus kapcsolataik. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 142-148.
- Bíró P. (2002) A Balaton halállományának hosszú idejű változásai. *Állattani Közl.* 87: 63-77.
- Bíró P. (2003) Az érdekek ütköző zónájában: Töprengések a Balatonról. *Új Horizont (Veszprém)* 31 (4): 1-7.
- Bíró P. (2006a) Ha csordultig a Balaton...: Kiváló vízminőség, koplaló élővilág. *Természetbúvár* 2006 (5): 10-12.
- Bíró P. (2006b) A Balaton halállományának anyagforgalmi szerepe és hosszú távú változásai. In: Vizi E. Sz. (szerk), *Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián, 2001*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest. pp. 241-286.
- Bíró P. és Paulovits G. (1994) Evolution of fish fauna in Little Balaton Water Reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 2164-2168.
- Bíró P. és Specziár A. (2000) Balatoni halpopulációk minőségi-mennyiségi felmérése, állománydinamikáik és trofikus kapcsolataik. In: Somlyódi L. és Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 71-79.
- Bíró P. és Specziár A. (2003) Visszafordíthatatlan folyamat? - A balatoni állatvilág változása. *Új Balaton* 2003 (június-szeptember): 90-95.
- Bíró P., Specziár A. és Tölg L. (1998) A Balaton halállományának minőségi-mennyiségi felmérése (1995–98) In: Salánki J. és Padišák J. (szerk.) *A Balaton kutatásának 1997-es eredményei*. VEAB és MEH BT, Veszprém, pp. 134-137.

- Bíró P., Specziár A. és Tölg L. (1999a) A Balaton halállományának és bentikus táplálékbázisának minőségi-mennyiségi felmérése. In: Salánki J. és Padisák J. (szerk.) A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. MTA Veszprémi Területi Bizottsága és a Miniszterelnöki Hivatal, Veszprém, pp. 85-92.
- Bíró P., Specziár A. és Tölg L. (1999b) Táplálékhálózatok - anyagforgalom a Balatonban. *Hidrol. Közl.* 79 (6): 305-307.
- Bíró P., Specziár A. és Keresztessy K. (2001) A Balaton és befolyóinak halfajegyüttesei. *Halászat* 94: 110-114.
- Bíró P., Specziár A. & Keresztessy K. (2002a) Fish species assemblages in inflowing waters of Lake Balaton. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 28: 273-278.
- Bíró P., Specziár A. és Keresztessy K. (2002b) A Balatonban őshonos halpopulációk minőségi-mennyiségi felmérése, állomány-dinamikáik és trofikus kapcsolataik. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 140-148.
- Bíró P., Specziár A. & Keresztessy K. (2003a) Diversity of fish species assemblages distributed on the drainage area of Lake Balaton (Hungary). *Hydrobiologia* 506-509: 459-464.
- Bíró P., Specziár A. és Keresztessy K. (2003b) A Balatonban őshonos halpopulációk minőségi-mennyiségi felmérése, állomány-dinamikáik és trofikus kapcsolataik. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 131-139.
- Entz G. és Sebestyén O. (1942) A Balaton élete. Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest 366 p.
- Erős T., Specziár A. és Bíró P. (2008a) A halegyüttesek szerkezete a Balaton nádasaiban – az elektromos halászgép és a kopolyúháló összehasonlítása. *Hidrol. Közl.* 88 (6): 51-54.
- Erős T., Takács P., Sály P., Specziár A., György Á. I. és Bíró P. (2008b) Az amurgéb, a *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 megjelenése a Balaton vízgyűjtőjén. *Halászat* 101: 75-77.
- Erős T., Specziár A. & Bíró, P. (2009) Assessing fish assemblages in reed habitats of a large shallow lake – a comparison between gillnet sampling and electrofishing. *Fish. Res.* 96: 70-76.
- Harka Á. és Juhász P. (1996) A Zala halfaunája. *Halászat* 89/1: 8-10.
- Herman O. (1887) A magyar halászat könyve. Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 847 p.
- Keresztessy K. (1998) A study of the fish species populating the streams flowing into the Lake Balaton. *Hung. Agricult. Res.* 1: 4-6.
- Lendvai Cs. és Keresztessy K. (2004) A Balaton befolyóinak halfaunisztikai vizsgálata. *Term. Közl.* 11: 389-397.
- Muskó I. B., Balogh Cs., Bakó B., Leitold H. és Tóth Á. (2004) Gerinctelen állatok szezonális dinamikája balatoni hínárosban, különös tekintettel néhány pontokáspi inváziós fajra. *Hidrol. Közl.* 84: 12-13.
- Muskó I. B., Balogh Cs. és G.-Tóth L. (2007) A halak rendelkezésére álló gerinctelen táplálékbázis a Balaton parti övében. *Hidrol. Közl.* 87: 5-7.

- Przybylski M., Bíró P., Zalewski M., Tátrai I. & Frankiewicz P. (1991) The structure of fish communities in streams of the northern part of the catchment area of Lake Balaton (Hungary). *Acta Hydrobiol. (Kraków)* 33 (1/2): 135-148.
- Rezsü E. és Specziár A. (2005) A naphal (*Lepomis gibbosus*) táplálékának változása a növekedés során a Balaton keszthelyi medencéjében. *Hidrol. Közl.* 85 (6): 114-116.
- Rezsü E. & Specziár A. (2006) Ontogenetic diet profiles and size-dependent diet partitioning of ruffe *Gymnocephalus cernuus*, perch *Perca fluviatilis* and pumpkinseed *Lepomis gibbosus* in Lake Balaton. *Ecol. Freshwat. Fish.* 15: 339-349.
- Rezsü E., Specziár A., Nagy S. A. és Dévai Gy. (2003) A balatoni sügér (*Perca fluviatilis*) és a vágódurbincs (*Gymnocephalus cernuus*) táplálkozásbiológiai vizsgálata. *Halászatfejlesztés* 28: 153-162.
- Rezsü E., Specziár A., Nagy S. A. és Dévai Gy. (2004) A sügér (*Perca fluviatilis*) és a vágódurbincs (*Gymnocephalus cernuus*) táplálékának változása az egyedfejlődés során. *Hidrol. Közl.* 84 (5-6): 128-129.
- Rezsü E., Specziár A. és Nagy S. A. (2005) A naphal [*Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758)] táplálkozása a Balaton két eltérő trofitású térségében. *Halászat* 98: 30-36.
- Sallai Z. és Györe K. (1999) Az Őrség halfaunájáról. *Halászatfejlesztés* 24: 159-174.
- Sály P., Erős T., Takács P., Bereczki Cs. és Bíró P. (2008). Biológiai homogenizáció vagy differenciáció? Halegyüttesek sokféleségének változása a Balaton kisvízfolyásaiban. *Hidrol. Közl.* 88: 162-164.
- Sály P., Erős T., Takács P., Specziár A., Kiss I. & Bíró P. (2009) Assemblage level monitoring of stream fishes: the relative efficiency of single vs. double-pass electrofishing. *Fish. Res.* 99: 226-233.
- Sály P., Erős T., Takács P., Kiss I. & Bíró P. (2009) Responses of stream fish assemblages to spatial, landscape level and instream factors in a human modified landscape. The 6th Symposium for European Freshwater Sciences August 17th – 21st, 2009, Sinaia, Romania (Abstract Book, p. 112.)
- Specziár A. (1999a) Öt pontyféle tápláléka és táplálkozási stratégiája a Balaton főbb élőhelyein. *Halászat* 92 (3): 124-132.
- Specziár A. (1999b) Öt pontyféle táplálkozási kölcsönhatása és táplálkozási feltételei a Balatonban. *Halászat* 92 (4): 166-176.
- Specziár A. (2000) A bélürülési ráta hőmérséklet függésének *in situ* vizsgálata öt pontyfélénel. *Halászatfejlesztés* 24: 88-96.
- Specziár A. (2001) A halak mozgási aktivitásának hatása a kopolyúháló mintavételezések eredményeire: a CPUE napszakos és évszakos változásai a Balatonban. *Hidrol. Közl.* 81: 459-461.
- Specziár A. (2002a) *In situ* estimates of gut evacuation and its dependence on the temperature in five cyprinids. *J. Fish Biol.* 60: 1222-1236.
- Specziár A. (2002b) An *in situ* estimate of food consumption of five cyprinid species in Lake Balaton. *J. Fish Biol.* 60: 1237-1251.
- Specziár A. (2002c) A fogassüllő és a kőszüllő ivadék tápláléka a Balatonban. *Halászatfejlesztés* 27: 70-80.

- Specziár A. (2002d) A bodorka (*Rutilus rutilus* L.) és a dévérkeszeg (*Abramis brama* L.) ivadék táplálkozása és növekedése a Balatonban. *Hidrol. Közl.* 82: 111-113.
- Specziár A. (2004a) A fogassüllő és a kősüllő szaporulata a Balatonban. *Halászatfejlesztés* 29: 113-124.
- Specziár A. (2004b) Az árvaszűnyog fauna hosszú távú változásai és a halak táplálkozása a Balatonban. In: Fenyvesi O. (szerk.) *Tudományos előadások 2004.* MTA Veszprémi Területi Bizottsága, Veszprém, pp. 69-85.
- Specziár A. (2005a) Néhány halfaj ivadékkori állomány-dinamikája és táplálkozása a Balatonban. *Hidrol. Közl.* 85 (6): 124-126.
- Specziár A. (2005b) First year ontogenetic diet patterns in two coexisting *Sander* species, *S. lucioperca* and *S. volgensis*, in Lake Balaton. *Hydrobiologia* 549: 115-130.
- Specziár A. (2005c) Őshonos halfajok ivadékanak táplálkozási stratégiája, trofikus kapcsolatai, növekedése és túlélési esélye a Balatonban. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.), *A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei.* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 102-110.
- Specziár A. (2006) Őshonos halfajok ivadékanak táplálkozási stratégiája, trofikus kapcsolatai, növekedése és túlélési esélye a Balatonban. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei.* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 84-92.
- Specziár A. (2007) A halak egyedfejlődése során bekövetkező táplálékkváltások, illetve azok növekedést és táplálékbazis felosztást érintő hatásainak vizsgálata a Balatonban. In: Fenyvesi O. (szerk.) *Tudományos előadások 2007.* MTA Veszprémi Területi Bizottsága, Veszprém, pp. 127-135.
- Specziár A. (2008a) Life history patterns of *Procladius choreus*, *Tanytus punctipennis* and *Chironomus balatonicus* in Lake Balaton. *Ann. Limnol. Int. J. Limnol.* 44 (3): 181-188.
- Specziár A. (2008b) A Balaton halai sem élnek örökké. *Baltoni Futár* 15 (11): 25.
- Specziár A. (2009) A Balaton halállománya és horgászati célú fejlesztésének lehetőségei VII. Elvárások, lehetőségek és tennivalók. *Magyar Horgász* 63 (6): 76-78.
- Specziár A. és Bíró P. (1999) A Balaton üledéklakó árvaszűnyogainak tér és időbeni változásai, valamint jelentősége néhány halfaj táplálékában. *Halászatfejlesztés* 22: 128-137.
- Specziár A. és Bíró P. (2002) A balatoni kősüllő ökológiájáról. *Halászat* 95: 33-39.
- Specziár A. & Bíró P. (2003) Population structure and feeding characteristics of Volga pikeperch, *Sander volgensis* (Pisces, Percidae), in Lake Balaton. *Hydrobiologia* 506-509: 503-510.
- Specziár A. és Bíró P. (2004a) Őshonos halfajok ivadékanak táplálkozási stratégiája, trofikus kapcsolatai, növekedése és túlélési esélye a Balatonban. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) *A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei.* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 99-107.
- Specziár A. és Bíró P. (2004b) A fogassüllő (*Sander lucioperca*) ivadékkori kannibalizmusának jellemzői a Balatonban. *Hidrol. Közl.* 84 (5-6): 136-139.

- Specziár A. és T-Rezsú E. (2008) A halak egyedfejlődését kísérő táplálékváltások és azok kihatása a fajon belüli és fajok közötti táplálékfelosztásra a Balatonban. *Hidrol. Közl.* 88 (6): 188-191.
- Specziár A. & T.-Rezsú E. (2009) Feeding guilds and food resource partitioning in a lake fish assemblage: an ontogenetic approach. *J. Fish Biol.* 75: 247-267.
- Specziár A. és Takács P. (2007) Balaton és befolyói halállományának monitorozása az EU VKI irányelveinek figyelembe vételével. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.), *A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei.* Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 89-98.
- Specziár A. és Tölg L. (2000) A Balaton dévérkeszeg állományának vizsgálata. *Halászat* 93 (3): 135-144.
- Specziár A. & Vörös L. (2001) Long term dynamics of Lake Balaton's chironomid fauna and its dependence on the phytoplankton production. *Arch. Hydrobiol.* 152: 119-142.
- Specziár A., Tölg L. és Bíró P. (1997a) A bodorka, a dévérkeszeg, a karika keszeg és az ezüstkárász növekedése és táplálkozása a Balaton parti sávjában. *Hidrol. Közl.* 77 (1-2): 87-89.
- Specziár A., Tölg L. és Bíró P. (1997b) A halbiológiai mintavételezés eszköze: a paneles kopoltyúháló. *Hidrol. Közl.* 77 (1-2): 36-37.
- Specziár A., Tölg L. & Bíró P. (1997c) Feeding strategy and growth of cyprinids in the littoral zone of Lake Balaton. *J. Fish Biol.* 51: 1109-1124.
- Specziár A., Tölg L. és Bíró P. (1997d) A nádasok halállomány szerkezete a Balatonban. *Állattani Közl.* 82: 109-116.
- Specziár A., Bíró P. & Tölg L. (1998a) Feeding and competition of five cyprinid species in different habitats of the littoral zone in Lake Balaton. *Ital. J. Zool.* 65 (Suppl.): 331-336.
- Specziár A., Tölg L. és Bíró P. (1998b) A ponty (*Cyprinus carpio* L.) táplálkozása és táplálkozási konkurrencia viszonyai a Balatonban. *Halászatfejlesztés* 21: 46-57.
- Specziár A., Tölg L. és Bíró P. (2000). A Balaton halfaunájának vizsgálata. *Halászatfejlesztés* 24: 115-125.
- Specziár A., Bíró P. és Tátrai I. (2007) Tavaink halállománya az EU VKI görbe tükrében. *Hidrol. Közl.* 87 (6): 156-158.
- Specziár A., Erős T., György Á. I., Tátrai I. & Bíró P. (2009) A comparison between the Nordic gillnet and whole water column gillnet for characterizing fish assemblages in shallow Lake Balaton. *Annal. Limnol. Int. J. Limnol.* 45: 171-180.
- Takács P., Bereczki Cs., Sály P., Móra A. és Bíró P. (2007) A Balatonba torkolló kisvízfolyások halfaunisztikai vizsgálata. *Hidrol. Közl.* 87: 175-177.
- Takács P., Erős T., Sály P., Bereczki Cs. és Bíró P. (2008) A Zala vízrendszerének halfaunisztikai vizsgálata. *Hidrol. Közl.* 88: 199-201.
- Tátrai I., Specziár A., György Á. I. & Bíró P. (2008) Comparison of fish size distribution and fish abundance estimates obtained with hydroacoustics and gill netting in the open water of a large shallow lake. *Ann. Limnol. Int. J. Lim.* 44: 231-240.

- Tölg I. és Bíró P. (1997) Halbiológiai kutatások a Balatonon. In: Salánki J. és Nemesók J. (szerk.) A Balaton-kutatás eredményei 1981–1996. Magyar Tudományos Akadémia Veszprémi Területi Bizottsága és a Miniszterelnöki Hivatal Balatoni Titkársága, Veszprém, pp. 173-194.
- Tölg L., Specziár A. és Bíró P. (1997a) A balin (*Aspius aspius*) állományának vizsgálata a Balatonon. Állattani Közl. 82: 117-123.
- Tölg L., Specziár A. és Bíró P. (1997b) A Kis-Balaton és a Balaton pontyállományának vizsgálata. Hidrol. Közl. 77 (1-2): 52-54.
- Tölg L., Specziár A. és Bíró P. (1998). A halállomány fajszerinti összetételének vizsgálata paneles kopoltyúhálóval a Balaton parti sávjában. Halászatfejlesztés 21: 136-142.
- Weiperth A., Keresztessy K. és Sály P. (2008) A Tapolcai-medence patakjainak halfaunisztikai kutatása. Állattani Közl. 93: 59-70.

HALÁLLOMÁNYOK ELOSZLÁSA ÉS A BETELEPÍTETT HALFAJOK ÁLLOMÁNYA A BALATONBAN

Tátrai István¹, Paulovits Gábor¹, Józsa Vilmos², Boros Gergely¹
György Ágnes Irma^{1,3} és Héri János⁴

¹MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

²Halászati és Öntözési Kutatóintézet, Szarvas

³Pannon Egyetem, Veszprém

⁴Balatoni Halászati Részvénytársaság, Siófok

Összefoglalás. Vizsgálataink során mértük a potenciális prédahalállomány biomaszáját és hasznosításának mértékét. Megállapítottuk, hogy a ragadozó halak a rendelkezésére álló prédaállomány biomaszájának maximálisan 10%-át hasznosítja. A teleptett halak közül az angolna állomány térbeli eloszlása mozaikos. Becsült egyedszáma az intenzív lehalásztást követően 17-65 egyed/ha értékek között változott. becsült pillanatnyi biomaszája 2000–2002 között 7-20 kg/ha volt. A teljes angolna állomány a Balatonban mintegy 1000–1200 tonnára tehető. Hidroakusztikus méréseink szerint a busa térbeli eloszlása a Balatonban rendkívül mozaikos. Az átlagos egyedszám 38 ± 13 ind/ha volt. Domináltak azok a méretcsoportok (< 80 cm), amelyek nem szerepelnek a halászati hozamokban. A mért pillanatnyi busa biomasza rendkívüli mértékben szórt, és átlagosan 266 ± 156 kg/ha volt. A petefészkek állapotának, valamint a peték átmérőjének időbeni változásából arra következtettünk, hogy a busa nem szaporodik a Balatonban. A busa az alga szűrése mellett jelentős mennyiségben fogyaszt állati plankton (6-12%). Az állati plankton szűrésével a busa táplálék-konkurens lehet az őshonos halfajoknak.

Bevezetés

A Balaton halállományának a tó életében és vízminőség szabályozásában betöltött szerepének vizsgálata, a belső és külső környezeti tényezők periodikus változása okán tűnt indokoltnak az elmúlt évtizedben (*Specziár et al 1997, Bíró 2000, Tátrai et al 1998, 1999, 2000*). A ragadozó-prédahal állományok kölcsönhatása az egyik olyan belső környezeti tényező, amely meghatározza a tavi ökoszisztéma szerkezetét és működését. Ennek kapcsán ilyen irányú vizsgálataink legfőbb célkitűzése volt a prédahalak méretmegoszlásának, mennyiségi viszonyainak, a ragadozó fajok táplálékfogyasztásának és a prédahalak hasznosítása hatáskörének kutatása. Hidroakusztikus és kopolyúháló halászati módszerrel a halállományok nagyságáról és azok arányairól

kapott adataink alapján a prédahalállományok jelenlegi hasznosításának határfokát elemeztük. Ennek során vizsgáltuk:

- mekkora a Balaton halállománya, milyen a struktúrája, mely fajok dominálnak a potenciális prédahal állományok között a tó parti övében?
- mekkora az optimális állománynagyság, milyen mértékű ragadozó halbiomassza engedhető meg az adott víztérben és tartható fenn hosszabb távon ragadozó halak telepítésével, a halászat-horgászat szabályozásával?

Az 1960-as, 70-es évektől kezdődően ökológiai, (busa) illetve gazdasági céllal (angolna) telepített halfajok közül elsősorban a busa az, amely napjainkban is jelentős állománnyal bír a Balatonban, s egyes trofikus szinteken végbemenő változásokért feltételezhetően „felelős”. Állományaik nagyságára, térbeli sűrűségeloszlására és korszerkezetére, vagy a táplálkozására irányuló kutatások ugyanakkor a 80-as évek közepe óta nem folytak (*Virág 1998*). Az ismeretlen nagyságú, de sejtetően több ezer tonnára rúgó biomasszáik váratlan halehullásoknak vannak kitéve, veszélyeztetve ezzel a halállományok stabilitását és az ökoszisztéma működését. Az angolna állománya az 1991. évi nagy angolnapusztulást követően végrehajtott csaknem tíz éves intenzív elektromos trawl-háló halászatnak, valamint a telepítés beszüntetésének köszönhetően, negyedére-hatodára apadt (*Tátrai et al 2001, 2002, 2003*). A fentiekből kiindulva kutatásaink során célul tűztük ki:

- meghatározni az angolna és a busa élőhelyeinek mozaikosságát, behatárolni a sűrű állományú élőhelyeket,
- az angolna és a busa állományok halászati hozamát, annak struktúráját, korát, növekedését, előfordulás gyakoriságát a fogásban,
- az állományok méretstruktúráját, egyedszámát és biomasszáját,
- a busa szaporodását, termékenységet és táplálékfogyasztását.

Anyag és módszer

Halállományok eloszlása a parti övben

A Balaton parti-öve ragadozó-predahal állományainak szezonális vizsgálatához 1997–1999 között (Balatonalmádi, Zánka, Szigliget és Keszthely térségében) hazánkban elsőként alkalmaztunk multipaneles

kopoltyúhálót (*Kirjasniemi és mtsai 1997*). A fogási adatokat CPUE-ben (Catch per Unit Effort) adtuk meg (*Tátrai et al 1998, 1999, 2000*).

Hidroakusztikai mérések a parti övben

1997-ben cseh együttműködésben az őszi kopoltyúhálós halászattal párhuzamosan, hidroakusztikus mérést végeztünk a Balaton északi parti övében, a tó hossz tengelye mentén, különös tekintettel a hálós mintavételi területekre (*Tátrai et al 1998*). A mérések eredményeképpen becsültük a medencénkénti állományok méretstruktúráit, a prédaállományok biomassza viszonyait.

Betelepített halfajok állományának vizsgálata

Angolna

Az angolnavizsgálatokat 2000–2002 között végeztük. A vizsgálatokhoz szükséges angolnákat elektromos halászati módszerrel, május – október között, havi gyakorisággal gyűjtöttük a Balaton négy medencéjének parti sávjában. Ezzel párhuzamosan, reprezentatív minták alapján mértük a Balatoni Halászati Rt. által, a nyílt vízi területekről elektromos trawl-hálóval kifogott angolnák testhosszát, tömegét, egyedszámát. GPS segítségével becsültük a medencénkénti aktuális, relatív angolna sűrűségeket. Meghatároztuk a testhossz-testtömeg viszonyt, az állomány korszerkezetét, valamint növekedését otolith (*sagittae*) vizsgálatok alapján (*Tátrai et al 2000, 2001, 2002*).

Busa

A busa biológiai szerepét és hatását a Balatonban 2000-2008. évek között vizsgáltuk. A busa állományok struktúráját, méret- és koreloszlását, növekedését a Balatoni Halászati Rt. által kopoltyúhálóval kifogott egyedeken az esetek nagy részében mind a keleti, mind a nyugati medencében vizsgáltuk március-november hónapok között, véletlenszerűen kiválasztott minták alapján (*Tátrai et al 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2009*). Becsültük a balatoni busa populációk kopoltyúhálós hozamait (fogásokat) és CPUE értékben adtuk meg. A kifogott egyedek korát a pikkelymintákon található évgyűrűk alapján hatványfüggvénnyel határoztuk meg.

A busa állományok egyedszámát, méretfrekvenciáját és biomasszáját *in situ* a ma ismert legkorszerűbb, a sekély vízrendszerekre kifejlesztett

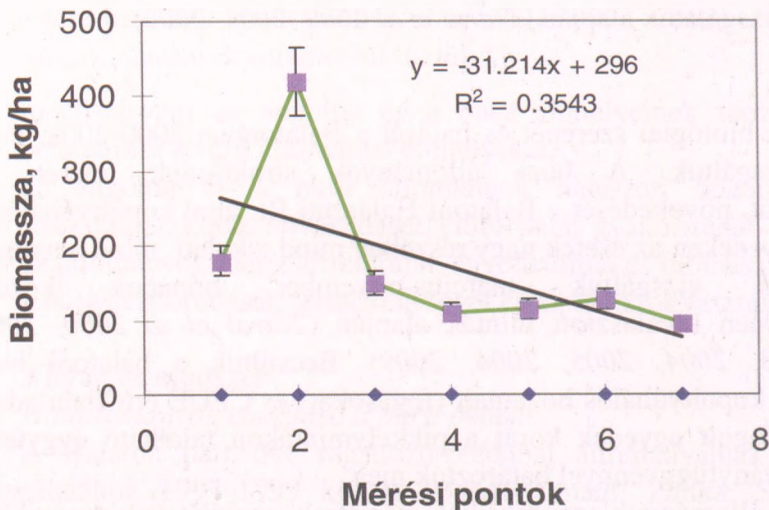
SIMRAD EK 60 (Simrad Co, Norvégia) hidroakusztikus mérőműszerekkel végeztük A GPS pozíciók segítségével, meghatároztuk a mintázott terület nagyságát. Egy-egy mérési helyen az átvilágított víz felülete 5-20 ha között változott.

A busa balatoni szaporodását többek között a peteátmérő havonkénti méretváltozása, valamint az ikrások petefészkek-fejlődésének szövettani vizsgálatával végeztük.

A busa táplálékfogyasztását béltartalmuk alapján vizsgáltuk. Az algák tömegét a táplálékban a bél elülső, 10 cm-es, szakaszából származó béltartalom klorofill-a koncentrációja alapján mértük meg. Mikroszkóposan vizsgáltuk az állati eredetű (elsősorban zooplankton, *Cladocera*-ágascsapú rákok, *Copepoda*-evezőlábú rákok, *Rotatoria*-kerekcsférgek és *Dreissena* sp. lárvák) előfordulási gyakoriságát és mennyiségét busa táplálékában.

Eredmények

A halállományok döntő többségét (70-80%-át) a Balaton parti övében az 1997–1999 között végzett vizsgálataink szerint a 0+- 1 + korcsoportú populációk teszik ki, amelyek potenciális forrásai a tó ragadozó halainak. A halbiomassza jelenleg csupán harmada-fele az 1980-as években becült értékeknek.



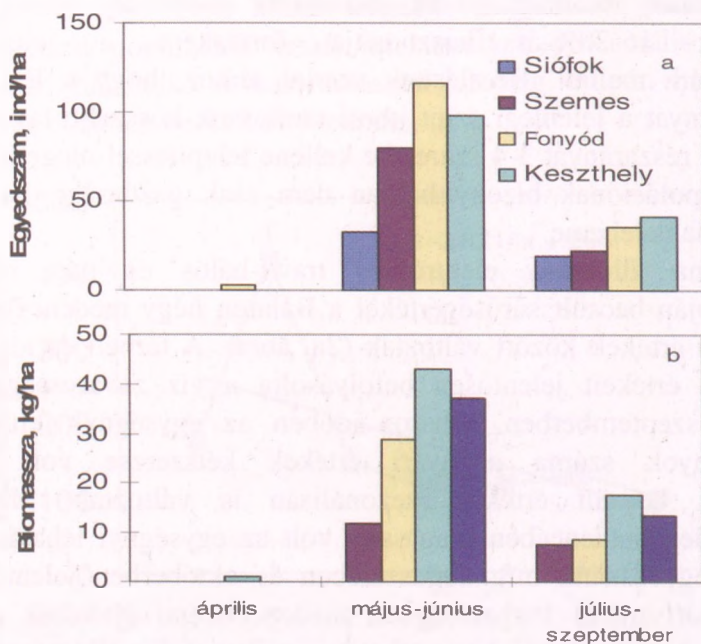
1. ábra. A hidroakusztikus mérések alapján becült halbiomassza átlagértékei ($\pm 1SD$) Keszthely (1. mérési pont) és Balatonalmádi (7. mérési pont) között. A trendvonal jelentős csökkenést mutat nyugat-kelet irányba haladva (1-Keszthely, 2- Szigliget, 3-Badacsony, 4-Zánka, 5-Tihany, 6-Paloznak, 7-Balatonalmádi)

A Balaton algásodásának csökkenése együtt járt a tápláléklánc szerkezetének, mennyiségi viszonyainak változásával, amely a legfőbb fogyasztók, a halak szintjén is éreztette hatását. A vízminőség javulásával azonban a Balatonban évtizedek óta létező ún. trofikus gradiens nem tűnt el. Hidroakusztikus méréseink az 1990-es évek közepén a jelezték a határozott biomassza csökkenést a tóban nyugat-keleti irányba, a trofikus gradiens mentén, haladva (1. ábra). Legnagyobb halbiomasszát Szigligetnél mértünk (277 kg/ha), de ebben, méreteloszlás alapján végzett becslésünknek megfelelően, 80-90 kg/ha értékben, az ebben a térségben koncentrálódó, az ún. busa állomány szerepel. A teljes fehér busa állomány a Szigligeti-medencében 1400 tonnára tehető. A keleti medencékben a halállomány nagysága elérte a manipulálható állomány nagyságot, azaz 95-128 kg/ha között változik.

Bioenergetikai modell felhasználásával szimuláltuk a potenciális prédahalállomány biomasszáját és a kihasználtság fokát. A modell szerint a prédahal állomány a Balatonban 70-150 kg/ha, a ragadozóké mindössze 5-16 kg/ha között változik. Ez a ragadozó halbiomassza a rendelkezésre álló prédaállomány biomasszájának mindössze 6-10%-át, biomassza produkciójának 16-20%-át hasznosítja forrásként a jelenlegi állománystruktúra mellett. Becslésünk szerint ahhoz, hogy a Balaton prédahalállományát a jelenlegi szint körül tarthassuk hosszabb távon, a ragadozó halak részarányát 3-4 szeresére kellene telepítéssel megemelni. Ennek a manipulációnak bizonyíthatóan nem csak gazdasági, hanem ökológiai haszna is lehetne.

Az angolna állomány elektromos trawl-hálós és part menti halászatok alapján becsült sűrűségértékei a Balaton négy medencéjében 17-65 egyed/ha értékek között változtak (2a. ábra). A térbeli és időbeli sűrűségeloszlás értékeit jelentősen befolyásolta a víz zavarossága és hőmérséklete: szeptemberben, viharos időben az egységnyi felületre vetített példányok száma a nyári értékek kétszerese volt. Az egyedsűrűségek becsült értékei szezonálisan is változtak. Május-júniusban minden medencében magasabb volt az egységnyi lehalászott felületre jutó egyedszám, míg augusztusban és októberben jelentősen csökkent. A part menti foghatóságban medencénkénti eltérések nem tapasztalhatók. A parti sávban kimutatható mozaikosság az állományban, amelynek fő oka, hogy az angolna preferálja a kőszórásos élőhelyeket. A medencék közötti sűrűség-különbségek mára erősen csökkentek, a

korábban mért Siófok < Keszthely trend a sűrűségekben azonban még ma is kimutatható, a Siófoki- és Keszthelyi-medence sűrűségei közötti eltérés 5-21% (2a. ábra). Az angolna becsült pillanatnyi biomasszája 2000–2002 között 7-20 kg/ha között változott (2b. ábra). Mint általában a halászati módszereken alapuló becslési eredmények, ez is alulbecsül, így a felső érték elfogadásával kisebb hibát vétünk. Figyelembe véve, hogy ez az érték a Balaton összes felületének legfeljebb 80%-ára vonatkoztatható, az így becsült angolna állomány nagysága mintegy 1000-1200 tonnára tehető. Az állomány nagysága az utóbbi tíz év alatt az intenzív halászati tevékenységnek, valamint a telepítés beszüntetésének köszönhetően, negyedére-hatodára apadt. Kormeghatározáson alapuló növekedés-vizsgálati eredményeink alapján a vizsgált példányok három korcsoportba voltak sorolhatók. A leggyakoribb, 9+ korcsoportba tartozó példányok aránya a mintában 74% volt. A 14+ korcsoport aránya 20%, míg a 16+ korcsoportba tartozó példányoké 6% volt. A szétművés mértékére jellemző, hogy a teljes testhosszak szélső értékei 470 és 745 mm, míg a testtömeg értékek 180-714 g között változtak.



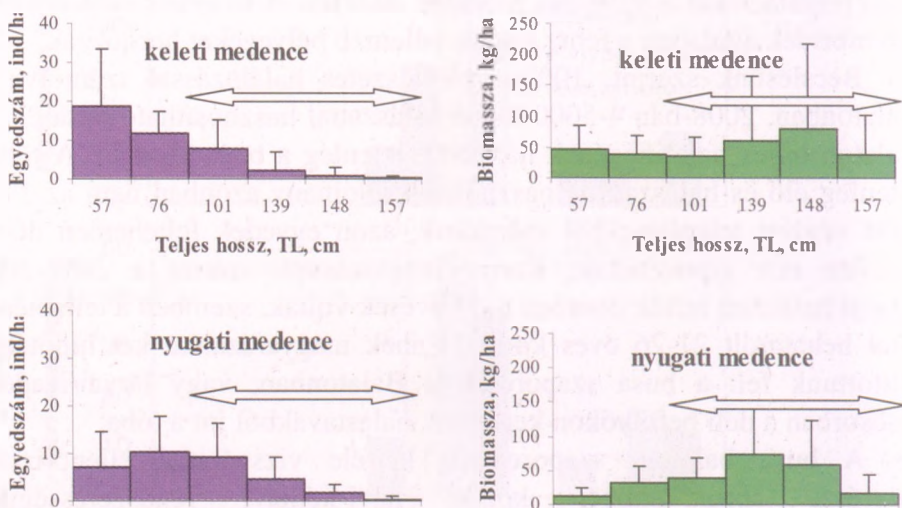
2. ábra. Az angolna pillanatnyi egyedszáma (a) és biomasszája (b) a Balaton négy medencéjében az intenzív angolnahalászatot követően 2000-2002 között

A Balatonba először 1973-ban telepítettek mintegy 30 tonna kétnyaras, tiszta vonalú fehér busát. A telepítés 1976-tól folyamatossá vált egészen 1983-ig. 1973 és 1983 között a Balatonba összesen 289 tonna kétnyaras busát telepítettek (Virág, 1995). Becslésünk szerint a busa állományok tömege és produkciója a Balatonban 1983-ra meghaladta a 800 tonnát, ami a potenciális élőhelyre vetítve 20 kg/ha tömegnek felel meg. A halászati hozam évről-évre ingadozott és csupán az elmúlt 5-6 évben haladta meg a 250-300 tonnát évente. Az 1975-2008 évek között összesen 3500 tonna busát távolítottak el a tóból. A busák a Balatonban jól érzik magukat, erőteljesen és gyorsan nőnek. Ha összevetjük a balatoni busák hossznövekedését más európai, vagy amerikai álló- és folyóvizekben élő populációk növekedésével, megállapíthatjuk, hogy a Balatonban élő populációk növekedése az egyik leggyorsabb. A Balatonba eredetileg fehér busát telepítettek (Virág 1995). Genetikai struktúráját tekintve a busa populáció mára jelentős mértékben átalakult, amennyiben szaporodó képes állománnyal van dolgunk, vagy a bevándorló populációk révén új genetikai struktúrájú állomány honosodott meg. Morfometriai vizsgálataink során megállapítottuk, hogy jelenleg a Balatonban a vizsgált élőhelyeken élő busa populációkat > 95%-ban hibridek alkotják. A tó keleti medencéiben élő hibridek általában a fehér busára jellemző bélyegeket hordozzák.

Becslésünk szerint, 10%-os természetes halálozással számolva, a Balatonban, 2008-ban 4-5000 tonna halászattal hasznosítható busa élt. A Balaton teljes haltömegének harmadát jelenleg a busa teszi ki. A tóban jelenleg élő és halászattal hasznosított állomány azonban nem az 1984 előtt végzett telepítésekből származik, azon egyedek feltehetően döntő részben már elpusztultak. Kormeghatározásunk szerint a 2002-2008 között halászott busák döntően 8-13 évesek voltak, szemben a telepítések által behatárolt 21-26 éves korral. Ennek magyarázatára két hipotézist állítottunk fel: a busa szaporodik a Balatonban, vagy lárvái/ivadéka elsősorban a déli befolyókon keresztül, halastavakból jut a tóba.

A busa balatoni szaporodását kétféle vizsgálattal ellenőriztük. Egyrészt április-október között havi-kéthavi rendszerességgel, boncolással vizsgáltuk a petefészkek állapotát (ikra jelenléte/hiánya). Másrészt mértük a peték átmérőjének időbeni változását. E két tényező változásából arra a megállapításra jutottunk, hogy a busa nem ívik a Balatonban. A hét év során összesen 863 nőstény petefészket vizsgáltuk

meg és mindössze 3 olyan nőtényt találtunk (0,3%) tó keleti medencéjében, amelyek petefészke üres volt. A nőtények 99,7%-nak petefészkében még a potenciális ívási ciklust követően (szeptember-október) is hiánytalanul megtaláltuk az ikrát. Ezzel szemben a hímek > 80%-a ivarszervei részben vagy teljes egészében üresek voltak. A részben vagy egészben redukált vagy fejletlen ivarszervek a hím egyedek szexuális inaktivitására utalhatnak (*Chapman 2009, szóbeli közlés*). Ez a megfigyelésünk is arra utal, hogy a busa nem szaporodik a Balatonban, mert nincsenek meg az ehhez szükséges környezeti feltételek (pl. vízáramlás). A busa peték átmérője a biológiai törvényszerűségeknek megfelelően júniusban, az ívási periódusban, a tavaszi hónapokhoz képest szignifikánsan nőtt, majd június-szeptember, illetve június-október között ugyancsak szignifikánsan csökkent. Júniusban, az ívási időszakban az ikrá átmérője maximumot ért el, a busa azonban nem ívott le. Elkezdődött ugyanakkor egy lassú reszorbcio. A petefészkek még szeptember-október hónapokban is tele voltak ikrával, tehát az ívás nem ment végbe. A peteátmérő változásából is arra a következtetésre jutottunk, hogy a busa nagy valószínűséggel nem ívik a Balatonban.



3. ábra. A hidroakusztikus módszerrel mért, a méreteloszlás alapján feltehetően busa állományok egyedszáma és biomasszája a Balaton keleti és nyugati medencéjében. (A nyílak a halászat által hasznosított állományok méretcsoportjait jelölik, átlag \pm sd)

A keleti-medencében (Balatonalmádi–Balatonvilágos–Balatonaliga–Siófok térsége) 2004–2008 között végzett nyíltvízi hidroakusztikus méréseink során találtunk nagyobb egyedszámban rajokba szerveződő, nagyobb méretű (> 50 cm) halat, amely nagy valószínűséggel busa volt. Az állomány térbeli eloszlása a medencén belül rendkívül mozaikos volt. A keleti-medencében az átlagos egyedszám 42 ± 11 ind/ha (min-max: 14-63) (3. ábra) volt. Domináltak azok a méretcsoportok (< 80 cm), amelyek általában nem szerepelnek a halászati hozamokban. A busa egyedszáma a nyugati-medencében (Fonyód és a Keszthelyi-öböl térségében) átlagosan alacsonyabb volt (34 ± 16 ind/ha, min-max: 7-63 ind/ha), mint a keleti térségben, a különbség azonban nem volt szignifikáns (3. ábra). Méreteloszlás alapján ebben a medencében is domináltak azok a méretcsoportok (< 80 cm), amelyek csak részben szerepelnek a halászati fogásokban.

A keleti-medencében mért pillanatnyi busa biomassa rendkívüli mértékben szórt, és átlagosan nagy volt ($297,7 \pm 183,7$ kg/ha, min-max: 27,6-839,5 kg/ha). Az átlagos biomassa csaknem 50%-át a halászat által ugyancsak nem hasznosított, idősebb egyedek tették ki (3. ábra). A maximális értékek viszonylag kis területre koncentráálódtak, oda ahol az állomány rajokba szerveződve vándorol. Az átlagos busa biomassa a nyugati-medencében csaknem 30%-kal volt alacsonyabb ($235,4 \pm 128,3$ kg/ha, min-max: 43,8-479,1 kg/ha), mint a keleti-medencében, a különbség azonban nem volt szignifikáns (3. ábra). A nyugati-medencében is a mért busa biomassa csaknem 50%-a volt az állománynak a halászat által nem hasznosított populáció.

Megfigyeltük, hogy a busa tömeg a Balaton nyíltvízi, mélyebb területén koncentráلódik, és jellemzően rajokba szerveződve vándorol. A lokálisan nagy biomasszájú busa állományok hatékonyabb halászata megfelelő technológia alkalmazásával megoldható lenne. A hatékonyabb busa halászatot elősegíthetik e halfaj ívási és vándorlási szokásai is. A busa migrációjának és vándorlási útvonalának meghatározásához további vizsgálatok szükségesek.

A nyári hónapokban vizsgáltuk a busák táplálkozását, hogy képet kaphassunk arról, hogy az eredetileg az eutrofizáció csökkentése okán a Balatonba telepített algaszűrő halak mivel táplálkoznak, és versengenek-e a táplálékért más, őshonos halfajokkal. A táplálékvizsgálatok során az algafogyasztást a halak béltartalmának klorofill-a koncentrációját mértük

meg. Megállapítottuk, hogy a 8-10 éves busapopuláció táplálékában az algák meghatározók voltak. Az algák ugyanis a pillanatnyi béltartalomnak döntő $60,7 \pm 25,8\%$ -át tették ki, amely szignifikánsan nem változott a testhosszal. Az alga aránya a béltartalomban szignifikánsan nem tért el a két medence között. Az algák mellett a busa táplálékában, jelentős mennyiségben találtunk állati eredetű táplálékot. A busa elsősorban a vízben lebegő *Dreissena sp.* lárváit és a *Rotatoria*-kat szűrte ki a vízből. A *Cladocera*-kat és a *Copepoda*-kat a busák kisebb mértékben, de fogyasztották. Az állati eredetű táplálék aránya a bélben, a nyugati-medencében átlagosan kétszerese volt (11,9%) a keleti-medencében mértnek (6,2%). Összességében megállapíthatjuk, hogy a balatoni busa populációk által kiszűrt formált lebegő anyag révén komoly táplálék-konkurrenciái lehetnek az újszülött, ökológiailag és gazdaságilag is jelentős halgenerációknak.

Következtetések és javaslatok

A halállományok döntő többségét (70-80%-át) a Balaton parti övében az 1997–1999 között végzett vizsgálataink szerint a 0+– 1 + korcsoportú populációk teszik ki, amelyek potenciális forrásai a tó ragadozó halainak. A halbiomassza jelenleg csupán harmada-fele az 1980-as években becsült értékeknek. Bioenergetikai modell felhasználásával szimuláltuk a potenciális prédahalállomány biomaszáját és a kihasználtság fokát. A modell szerint a prédahal állomány a Balatonban 70-150 kg/ha, a ragadozóké mindössze 5-16 kg/ha között változik. Ez a ragadozó halbiomassza a rendelkezésére álló prédaállomány biomaszájának mindössze 6-10%-át hasznosítja. A balatoni prédahal állományának jelenlegi szinten tartásához a ragadozó halak biomassza részarányát 3-4-szeresére kellene emelni, nem csak ökológiai, hanem gazdasági haszna is lehetne.

Az angolna állomány elektromos trawl-hálós és part menti halászatok alapján becsült sűrűségértékei az intenzív lehalásztást követően a Balaton négy medencéjében 17-65 egyed/ha értékek között változtak. A térbeli és időbeli sűrűségeloszlás értékeit jelentősen befolyásolta a víz zavarossága és hőmérséklete. E mellett az egyedsűrűség szezonálisan is változott. Az angolna elterjedésére a parti sávban mozaikosság volt a jellemző. Az angolna becsült pillanatnyi biomaszája 2000–2002 között 7-20 kg/ha volt. A teljes angolna állomány a Balatonban mintegy 1000-1200 tonnára

tehető. Az állomány nagysága az utóbbi tíz év alatt az intenzív halászati tevékenységnek, valamint a telepítés beszüntetésének köszönhetően, negyedére-hatodára apadt.

A busák a Balatonban jól érzik magukat, erőteljesen és gyorsan nőnek. Morfometriai vizsgálataink szerint a Balatonban élő busa populációt > 95%-ban hibridek alkotják. Becslésünk szerint a Balatonban, 2008-ban 4-5000 tonna halászattal hasznosítható busa élt, amely teljes haltömeg harmadát teszi ki. 1975–2008 évek között összesen 3500 tonna busát távolítottak el a tóból. A tóban jelenleg élő és halászatiilag hasznosított állomány nem az 1984 előtt végzett telepítésekből származik, azon egyedek feltehetően döntő részben már elpusztultak. Kormeghatározásunk szerint a 2002–2008 között halászott busák döntően 8-13 évesek voltak, szemben a telepítések által behatárolt 21-26 éves korrallal.

A 2004–2008 között végzett hidroakusztikus méréseink szerint a busa térbeli eloszlása a Balatonban az egyes medencéken belül is rendkívül mozaikos volt. A keleti-medencében az átlagos egyedszám 42 ± 11 ind/ha volt. Domináltak azok a méretcsoportok (< 80 cm), amelyek nem szerepelnek a halászati hozamokban. A busa egyedszáma a nyugati-medencében alacsonyabb volt (34 ± 16 ind/ha, min-max: 7-63 ind/ha), keleti-medencében mért pillanatnyi busa biomassa rendkívüli mértékben, mint a keleti térségben, a különbség azonban nem volt szignifikáns. A szórt, és átlagosan $297,7 \pm 183,7$ kg/ha volt. A biomassa csaknem 50%-át a halászat által ugyancsak nem hasznosított, idősebb egyedek tették ki. A busa biomassa a nyugati-medencében csaknem 30%-kal volt alacsonyabb (235.4 ± 128.3 kg/ha), mint a keleti-medencében. A busa a Balaton nyíltvízi, mélyebb területén koncentráldódik, és jellemzően rajokba szerveződve vándorol. A lokálisan nagy biomassájú busa állományok hatékonyabb halászata megfelelő technológia alkalmazásával megoldható lenne.

A petefészkek állapotának (ikra jelenléte/hiánya), valamint a peték átmérőjének időbeni változásából arra következtettünk, hogy a busa nem szaporodik a Balatonban.

A 8-10 éves busapopuláció egyedei jelentős mértékben szűrik ki az algákat a Balatonból. Az algák domináltak a busa béltartalmában ($60,7 \pm 25,8$ %). Az állati eredetű táplálék aránya ennél kisebb volt ugyan, de jelentős mértékű (6-2%). A busa elsősorban a *Dreissena sp.* lárváit és

a *Rotatoria*-kat szűrte ki a vízből. Az állati plankton szűrésével a táplálékkonkurens lehet az őshonos halfajoknak.



Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat a Nemzeti Fejlesztési és Gazdasági Minisztérium, a Balaton Fejlesztési Tanács és a Magyar Tudományos Akadémia között a Balaton kutatására létrejött megállapodás keretében a Magyar Tudományos Akadémia Titkársága megbízásából végeztük.

Irodalom

- Bíró, P. (2000) Long-term changes in Lake Balaton and its fish populations. Adv. Ecol. Res. 31: 599-613.
- Kirjasniemi, M., Kirjasniemi, J. and Tátrai, I. (1997) Use of multimesh gillnets in Lake Balaton: research, theory and practice. Halászat. 90: 43-48.
- Specziár, A., Tölg, L. and Bíró, P. (1997) Feeding strategy of cyprinids in the littoral zone of Lake Balaton. J. Fish.Biol. 51: 1109-1124.
- Tátrai I., Kirjasniemi J., Kirjasniemi M., Paulovits G., Józsa V. (1998) Halállományok szabályozása a Balatonban: ragadozó-préda kapcsolat a parti övben. In: A Balaton kutatásának 1997-es eredményei. Salánki J., Padisák J. (szerk.) MTA VEAB, Miniszterelnöki Hiv. Balatoni Titkársága, Veszprém, ISBN 963 7385 48 7, pp. 142-145.
- Tátrai, I., Paulovits, G., Józsa, V. (1999) Halállományok szabályozása a Balatonban: ragadozó-préda kapcsolat a parti övben. In: A Balaton kutatásának 1998-as eredményei. Salánki J., Padisák J. (szerk.) MTA VEAB, Miniszterelnöki Hiv. Balatoni Titkársága, Veszprém, ISSN 1419-1075, pp. 88-92.
- Tátrai, I., Paulovits, G., Józsa, V. (2000) Halállományok szabályozása a Balatonban: ragadozó-préda kapcsolat a parti övben. In: A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei. Somlyódi L. és Banczerowski J.-né (szerk.), MTA Budapest, Miniszterelnöki Hivatal. Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 80-88.
- Tátrai, I., Paulovits, G., Szabó, I. (2001) Betelepített halfajok állománya a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) MTA Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 149-157.
- Tátrai, I., Paulovits, G., Szabó, I. (2002) Betelepített halfajok állománya a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) MTA Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 149-159.
- Tátrai, I., Paulovits, G., Józsa, V., Szabó, I. (2003) Betelepített halfajok állománya a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) MTA Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 140-148.
- Tátrai, I., Józsa, V., Szabó, I. Paulovits, G. és Györe, K. (2004) A busa biológiai szerepének hatásának vizsgálata a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2003. évi eredményei. Mahunka S. és Banczerowski J.-né (szerk.) MTA Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 90-98.

- Tátrai, I., György, Á., Józsa, V. és Szabó, I. (2005) A busa biológiai szerepének és hatásának vizsgálata a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2004. évi eredményei. Mahunka S. és Banczerowski, J.-né (szerk.) MTA Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 93-101.
- Tátrai, I., Józsa, V., György, Á., Havasi M. és Szabó, I. (2006) A busa biológiai szerepének és hatásának vizsgálata a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. Szerk.: Mahunka S. és Banczerowski J.-né, MTA, Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 73-83.
- Tátrai, I., Józsa, V., György, Á., Boros, G. és Héri, J. (2007) A busa biológiai szerepének és hatásának vizsgálata a Balatonban. In: A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei. Szerk.: Mahunka S. és Banczerowski J.-né, MTA, Budapest, ISSN 1419-1075, pp. 75-88.
- Tátrai, I., Józsa, V., György, Á., Boros, G. és Héri, J. (2009) A Balatonba telepített halfajok biológiai szerepe és hatása. In: A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei. Szerk.: Bíró P. és Banczerowski J.-né, MTA, Budapest, ISSN 1419-1075 pp. 63-73.
- Virág, Á. (1998) A Balaton múltja és jelene. Egri Nyomda Kft., Eger, 904. p.

KÖRNYEZETTOXIKOLÓGIAI KUTATÁSOK A BALATONON

Farkas Anna, Vehovszky Ágnes és Győri János
MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany

Összefoglalás. A Balaton antropogén eredetű toxikus anyagterhelésének felmérésére irányuló kutatások eredményei azt mutatták, hogy a Balaton nyílt vízének és üledékének antropogén mikroszennyezése egészében csekély, és aligha jelent veszélyt a tó élővilágára. Ugyanakkor vannak jól körülhatárolható szennyezettebb zónák, elsősorban egyes befolyók torkolatánál, települések és fűtővonalak felszíni csapadékvíz bevezetőinél, hajókikötőknél, nagy forgalmú strandoknál és nem csatornázott települések közelében, melyek hosszú távú változását fontos lenne a jövőben is figyelemmel kísérni.

A Balaton és a Kis- Balaton víztározó cianobaktérium együtteseinek környezeti kockázat elemzésére irányuló kutatások, a cianobakteriális toxicitás eseti előfordulását jelezték. A Balatonból az elmúlt években izolált *Cylindrospermopsis raciborskii* törzsek hatásvizsgálata mérsékelt általános toxikus hatást mutatott, és a különböző tesztrendszerekben kiváltott toxicitás jellegében anatoxinokat termelő cianobaktériumokhoz hasonlitosak. A balatoni cianobaktérium izolátumok kivonatának analitikai vizsgálata anatoxinok termelését mutatta ki rendkívül kis mennyiségben, ami akár fokozott tömegprodukciónál esetén sem jelent számottevő környezeti- vagy közegészségügyi kockázatot.

Bevezetés

A Balaton vízminőségét és ökológiai védelmét szolgáló átfogó környezettoxikológiai kutatások célja az elmúlt tíz évben a tavat ért antropogén eredetű szerves és szervetlen toxikus anyagterhelés mértékének és változásának megismerése, annak rendszeres nyomon követése, valamint az anyagok akkumulációjának és a tóban élő szervezetek életfolyamataira kifejtett hatásainak tanulmányozására irányultak. Az emberi tevékenység eredményeként légköri kiülepedés útján, a tavat tápláló befolyók, valamint erózió következtében számos antropogén eredetű anyag, mint nehézfémek, szerves vegyületek, tápanyagok és mérgező anyagok kerülnek a tó vizébe. A partmenti települések, létesítmények, a gazdálkodó egységek, a közlekedési utak és a nyári idegenforgalom külön is figyelemre méltó, mint a Balatonba jutó toxikus anyagok nehezen ellenőrizhető forrása. Bár a mikroszennyezők igen kis koncentrációban kerülnek a tó vizébe, a folyamatos beáramlás és nagy stabilitásuk miatt hosszú távon számottevő kockázatot jelenthetnek a Balaton élővilágára.

A külső tápanyagterhelés külön kiemelt káros hatását a nitrogénkötő cianobaktériumok tömeges elszaporodása is fokozza (Carmichael 1997, Pitois és mtsai 2001). Az esetek mintegy 25%-ról bebizonyosodott, hogy a „vízvirágzást” toxintermelő kéalgák alkotják, így a cianobaktériumok elszaporodása számottevő kockázatot jelenthet a vízi életközösségre, de akár humán egészségügyi szempontból is, hiszen az algatoxinok tömeges elhullást is okozhatnak mind a háziállatok, mind a vadon élő állatok között (Carmichael 1997, Codd és mtsai 2005). Így a cianobakteriális tömegprodukciónak mind gyakoribb előfordulása indokoltá tette a vízvirágzást okozó algafajok toxicitásának vizsgálatát a hazai vizeinken is.

A Balaton vízminőségének vizsgálatával kapcsolatos környezettoxikológiai kutatások az elmúlt tíz évben három fő kérdéskörre csoportosíthatók: 1. toxikus anyagok forrásai, koncentrációi a Balaton vizében és az üledékben; 2. a mikroszennyező anyagok felhalmozódásának mértéke a balatoni szervezetekben; valamint 3. a cianobaktériumok által termelt bioaktív anyagok (cianotoxinok) környezeti kockázatának elemzése.

Célkitűzés

1. Adatok szolgáltatása az emberi egészségre veszélyes anyagok (toxikus fémek, szerves vegyületek) minőségéről és közelítő mennyiségéről, a mikroszennyezők forrásainak feltárása, az anyagok felhalmozódásának vizsgálata a tó vizében és az üledékben, a transzport és lebomlási folyamatok kutatása, az antropogén eredetű anyagterhelés tér- és időbeli változásának megismerése. A kutatások a csapadék, aeroszol, víz és üledék minták vizsgálatára irányultak, a Balatonon, annak környezetében és befolyóin.
2. Az antropogén eredetű anyagok bioakkumuláció dinamikájának vizsgálata, a tavat benépesítő élőlények néhány kiemelt képviselője esetén. A vizsgálatok a planktonikus rákok (*Crustacea*), a parti öv élőlény együtteseinek közül a vándorkagyló (*Dreissena polymorpha*), valamint halak közül a dévérkeszeg (*Abramis brama* L.), esetén a mikroszennyezők felhalmozódásának, tér- és időbeli változásainak tanulmányozására irányultak.
3. A Balaton és a Kis-Balaton víztározó cianobaktérium együtteseinek környezeti kockázatának elemzése, valamint e vizekből a korábbi

évek során izolált kékalga törzsek toxikus hatásmechanizmusainak és hatóanyagainak azonosítása.

Anyag és módszer

Mikroszennyező anyagok meghatározása az aeroszolban, vízben, üledékben, növényekben és állati mintákban. A PAH vegyületek azonosítása és mennyiségi meghatározása HPLC módszerrel történt (Hlavay és mts 1998, 2001). A mintákban lévő toxikus nehézfémek, ill. az abiotikus minták esetén a nehézfémek vegyületi formáinak minőségi és mennyiségi meghatározását szekvens kioldást követően atomspektrometriai módszerrel végeztük (Hlavay és mts 1998, 2001, 2002; Salánki és mts 1999, 2000, 2002, Farkas, 2003).

Az aeroszolak részletes minőségi és mennyiségi vizsgálata a régió három reprezentatív pontján (Tihanyban, Keszthelyen, Siófokon) történt (Hlavay és mts 2001, 2002). A feladat magában foglalta a légköri aeroszolakban lévő nehézfémek (Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Ni), a szerves szennyező vegyületek közül a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) azonosítását, valamint a légköri ülepedés hatásának becslését a Balaton vizének minőségére és az üledék szennyezettségére. A balatoni befolyók közül a Zala, Boronkai-patak, Nyugati-övcSATORNA, Pogányvölgyi-víz, Jamai-patak, Tetves-patak, Gyöngyös-patak (Hévíz-Páhoki-csatorna), Marótvölgyi-csatorna, Zala-Somogyi-határárok, Burnót-patak, valamint Búdösgáti-víz (Nagymetszés), víz- és üledékének minőségét ellenőriztük. A jelentősebb kikötők közül a Keszthely hajóállomás, Badacsony hajóállomás, Tihany rév, kompkikötő és hajóállomás, Tihany hajóállomás és vitorláskikötő, Balatonfüred Yacht Club kikötő, Balatonalmádi-Budatava, illetve Siófok vitorlás kikötő víz- és üledékének szennyezettségét vizsgáltuk.

Cianobakteriális toxicitás kockázatának vizsgálata. A Balaton és a Kis-Balaton víztározó cianobaktérium-együtteseinek környezeti kockázatát részletesebben 2006–2008 között vizsgáltuk. A keszthelyi valamint a tihanyi hajókikötők előtti nyíltvízi területről gyűjtött szesztón minták általános toxicitását az MSZ: 20359/2003 szabvány előírása szerint, a *Thamnocephalus platyurus* bioteszt (THAMNOTOX-F kit) alkalmazásával vizsgáltuk (Farkas és mts 2007, 2009). A balatoni *Cylindrospermopsis raciborskii* cianobaktériumok által termelt bioaktív anyagok általános hatását ToxAlert-100, Thamnotox-F, valamint ArTox bioassay vizsgálatok alapján vizsgáltuk (Persoone és mts 1994). A törzsek

által termelt bioaktív anyagok hatásmechanizmusát *in vivo* kísérletekben *Artemia salina* sórákon és *Dikerogammarus villosus* bolharákon elemeztük, három biokémiai marker enzim: glutation-S transzferáz (GST), tejsav dehidrogenáz (LDH) és acetilkolinészteráz (AChE) lehetséges aktivitásváltozásának követésével. A hatóanyagok jellemzését *in vitro* körülmények között CHO-K1 (*Chinese Hamster Ovary*, kínai hörcsög petefészkek) sejtenyészeteken végeztük, a sejtmembrán permeabilitásra, valamint az aktinváz szerkezetére kifejtett hatások alapján. A sejtmembrán permeabilitására kifejtett hatást a sejtekből felszabaduló tejsav dehidrogenáz (LDH) enzim mennyisége alapján becsültük (*Moran és Schnellmann, 1996*), míg a mikrofilamentáris hálózatban végbemenő változásokat immuncitokémiai eljárással (falloidin-FITC-cel történő festés után) Nikon Optiphot 2 epifluoreszcens mikroszkóppal figyeltük meg.

A cianobaktériumok által esetlegesen termelt cianotoxinok minőségi és mennyiségi meghatározását hitelesített analitikai módszerekkel végeztük *Meriluoto és Spoof (2008)* módszere alapján folyadék-kromatográfia és tömegspektrometria útján (*Farkas és mts 2009*). A cianobaktérium minták hatóanyagainak analitikai elemzése a Pannon Egyetem Környezettudományi Intézeti tanszék Levegőkémiai kutatócsoportjának laboratóriumában történt, Dr. Kiss Gyula szakmai irányításával.

Eredmények

Légekri aeroszolok mikroelem tartalma – légekri ülepedés hatása a Balaton vizének minőségére és az üledék szennyezettségére. Az aeroszol minták egyedi vegyületeinek koncentráció eloszlására jellemző, hogy az összes PAH-vegyület nagy részét a nagyobb, 4-5-6 gyűrűs vegyületek adják. A kisebb molekulák közül a három gyűrűs fenantrén jelenik meg néhány mintában, jelentősebb koncentrációban. A csapadékokban a PAH vegyületek átlagos koncentrációja tavasszal ~ 150 ng L⁻¹; nyáron ~ 100 ng L⁻¹; ősszel ~ 600; míg télen 1000 ng L⁻¹-nek adódott. A nedves ülepedés mértékét 280 µg m²*év, míg a száraz ülepedést 70 µg m²*év - nek találtuk. Ez 170 kg év⁻¹ és 40 kg év⁻¹ PAH vegyület-ülepedésnek felel meg. A légekri aeroszolok átlagos PAH koncentrációja 1,1 – 11,8 ng m³ között változott. A szennyezettség a Siófok<Keszthely<Tihany sorrendben növekedett, a legnagyobb értékek a tihanyi megfigyelési helyen adódtak, amelynek oka nagy valószínűséggel a főút közelsége a mintavételi helyhez. Ez az út köti össze Tihany központját a

komplikotóval és egész évben jelentős rajta a gépkocsiforgalom. Az aeroszolok átlagos fémkoncentrációja a következő értéktartományban változott: Al 54 – 72; Fe 59 – 151; Mn 36 – 107; Zn 32 – 113; Cd 0,67 – 2,6; Pb 11 – 57; Ni 3 – 12 ng m³. A vizsgált fémek döntő mennyisége (85-98%) a stabilis szerves vegyületek/szilikátok frakcióiban koncentráldott. Kivételt képezett a kadmium, amelynek mindössze 27-31%-a akkumulálódott a stabilis frakciókban. Az adatok azt mutatják, hogy a kadmium ionok mobilitása általában nagyobb, mint a többi elemé. Ez egyben azt jelenti, hogy a száraz ülepedéssel a felszínre kerülő élővízbe jutó Cd-vegyületek nagyobb hányada oldódik vízben. Az összes ólomnak a 73-83%-a a siófoki és tihanyi mintákban, a stabilis frakcióban koncentráldott, míg a keszthelyi mintákban mindössze 13%-ban. Az ólom-, a cink- és a kadmium ionok jelentős része a mobilis részben azonosítható. A nikkelt a karbonátokhoz/oxidokhoz kötődik leginkább. A Balaton környezetében (Tihany, Siófok, Keszthely) gyűjtött aeroszol minták között is jelentős különbségek tapasztalhatók, például a siófoki mintavételi hely mintáin határozottan kimutatható, hogy a város közepén, nagy forgalommal és hajókikötővel terhelt terület közelében volt a gyűjtés. Ennek megfelelően az ott gyűjtött mintákban többszörös nehézfém koncentrációkat mértünk, mint a másik két helyen vett mintákban. A nedves és a száraz ülepedés vizsgálata azt mutatta, hogy a Fe, Mn, Cd, Cu, Ni és Zn 72-95%-ban a nedves kiülepedéssel kerül a vízbe, talajba, a növények, egyéb élőlények felületére, és kisebb a száraz ülepedés mértéke. A három mintavételi helyen végzett vizsgálatok alapján mintegy 38 t vas, 8 t mangán, 2,5 t réz, 14 t cink, 3,46 t nikkelt, 1,4 t ólom, és 0,15 t kadmium ülepedik évente a Balatonba. A vas, mangán és nikkelt több mint a fele, míg a kadmium réz ólom, és cink csaknem teljes hányada kerül könnyen hozzáférhető formában a felszínre.

A balatoni régió aeroszol mintáiban talált fémkoncentrációk összevetése Magyarország más helyein és időpontban gyűjtött mintáival azt mutatja, hogy a fémionok koncentrációja jelentős mértékben nem tér el egymástól. Összehasonlítva más környezeti mintákkal, (pl. légköri aeroszol részecskék, az erőművi pernyék, vagy szemétegetői pernyék) azt találtuk, hogy hasonlóan jelentős hányada van a cink- és kadmium vegyületeknek könnyen oldható formában.

A Balatonban, a befolyókban és a kikötőkben gyűjtött üledékminták szennyezettsége. A balatoni fenéküledék minták átlagos PAH

koncentrációja a nyíltvízi területeken $130 \mu\text{g kg}^{-1}$ -nak ($50\text{-}300 \mu\text{g kg}^{-1}$) adódott. Az üledék minták PAH koncentrációja főként a hajókikötők közvetlen közelében változott számottevően: míg a Keszthelyi-hajókikötőben $91 \mu\text{g kg}^{-1}$ volt, a Fonyódi-hajókikötőnél $969 \mu\text{g kg}^{-1}$ -nak adódott. Az eloszlás változatossága azt mutatja, hogy helyi szennyező források okozzák a PAH vegyületekkel való szennyezést. A befolyók fenéküledékében a PAH-vegyületek összes koncentrációját 117 és $924 \mu\text{g kg}^{-1}$ között találtuk. Ezek az értékek nagyobbak, mint a Balatonból gyűjtött mintákban talált koncentrációk. A fenantrén/antracén (PHE/AN) és Fluorantén/pirén (FA/PY) arány azt mutatta, hogy a mintákban a PAH tartalom elsősorban pirogén eredetű. Megállapítottuk, hogy az üledék felső 10 cm-es rétege lényegesen szennyezettebb, mint a mélyebb rétegek. A mérési eredményeket az Interim Sediment Quality Guideline (ISQG) értékekkel és a Probable Effect Level (PEL) értékeivel összehasonlítva megállapítható, hogy a balatoni üledékekben a PAH tartalom okozta káros biológiai hatások nem észlelhetők. A kikötői üledék PAH tartalma elsősorban a hajók üzemanyagaitól származik. A minták nehézfém tartalmára irányuló vizsgálatok során kitűnt, hogy a balatoni befolyók vizének réztartalma csekély, számos helyen a kimutatási határ alatt volt ($0,1 \mu\text{g L}^{-1}$). Az ólomionok koncentrációja változatos képet mutatott, néhány helyen (Gyöngyös patak, Keszthelyi hajóállomás) $>20 \mu\text{g L}^{-1}$ -nek adódott. A $\mu\text{g L}^{-1}$ nagyságrendű koncentráció értékek azonban nem adnak okot semmiféle aggodalomra és intézkedési kényszerre. Az As-ionok koncentrációja egyetlen mintavételi helyen sem haladta meg a $10 \mu\text{g L}^{-1}$ -t, vagyis jóval alatta van az ivóvízre érvényes $50 \mu\text{g L}^{-1}$ értéknek. A Ni-vegyületek koncentrációja három mintában a $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ kimutatási határ alatt volt, de a hajókikötőkben elérte a $20 \mu\text{g L}^{-1}$ -t is. Az eredmények alapján egyértelműen megállapítható, hogy a vizsgált elemek koncentrációja a balatoni befolyókban minden mintavételi helyen nagyon kicsi. A befolyók fenéküledékében a Fe és Al, mint főkomponensek koncentrációja 3 és 30g kg^{-1} érték, míg a Mn-tartalom átlagosan $0,12\text{-}1,7 \text{g kg}^{-1}$ között változott. A Cu-tartalom néhány mintában a kimutatási határ alatt volt (5mg kg^{-1}), míg a legnagyobb értékeket a Balatonfüred Yacht Kikötő üledékében találtuk (150mg kg^{-1}). A Zn-tartalom $2\text{-}75 \text{mg kg}^{-1}$ között változott. Az átlagos Cd koncentráció általánosan a kimutatási határ alatt volt ($0,1 \text{mg kg}^{-1}$).

Toxikus szennyezők jelenléte és akkumulációja a befolyók- és balatoni szervezetekben. A balatoni befolyók medréből gyűjtött növényi minták vizsgálata során kitűnt, hogy a PAH tartalom nagyobb részét (80-90%) a naftalintól a pirénig terjedően, a 2-4 gyűrűs aromás szénhidrogének adják. A növényekben legnagyobb a naftalin koncentrációja (24-44 $\mu\text{g kg}^{-1}$), ezt követi sokkal kisebb koncentrációban (tipikusan $<5 \mu\text{g kg}^{-1}$) a fenantrén, fluorantén és pirén. A növényekben mért nehézfém koncentrációkban, mind területtől és évszaktól függően lényegesen nagyobb változatosság volt észlelhető. A felhalmozott mikroelemek koncentrációja nem utalt számottevő szennyezésre egyetlen esetben sem (Cd: 0,1 – 4,0; Cu: 1,5 – 35; Pb: 4 – 30 $\mu\text{g g}^{-1}$). A növényekben legkisebb mértékben a kadmium halmozódott fel, melyhez mérten számottevően nagyobb koncentrációban volt jelen az ólom (akár 2-8 szorososan is meghaladva a kadmium szinteket). A legnagyobb elemkoncentrációkat általánosan a növények gyökérzetében mértük, melyet csökkenő sorrendben a szár, majd a levelekben felhalmozott fémszintek követtek. A Balaton nyíltvízi területeiről gyűjtött planktonállományt a következő elemtartalom átlagok jellemezték: Cd $1,77 \pm 0,64$; Cu $21,8 \pm 6,7$; Pb $7,30 \pm 1,56$; Zn $49,1 \pm 12,4 \mu\text{g g}^{-1}$ száraztömeg. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a planktonikus rákokban felhalmozott Cd, Cu és Zn koncentrációk és a vízben oldott formában található elemek mennyisége között nincs szignifikáns összefüggés, ellenben a lebegőanyag elemtartalmával szignifikánsan pozitív kapcsolat van. A balatoni kikötők területén élő vándorkagylók lágyszövetében az elemtartalom az alábbiak szerint alakult: Cd 3,7 – 7,0, Cu 15,4 – 24,7, Pb 5,2 – 12,4, Zn 18,3 – 32,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ száraztömeg. A kagylók lágyszövetében az elemtartalom általánosan a nagyobb hajóforgalmat bonyolító kikötőkben volt nagyobb. Az előző évek megfigyeléséhez hasonlóan, a legnagyobb fémkoncentrációkat a Siófoki kikötőben mértük, melyet a Keszthelyi-, Balatonfüredi-, és Balatonalmádi kikötők követnek. A több éves vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a keszthelyi medencéből gyűjtött halakban a toxikus elemek (Cd, Hg, Pb), valamint a réz koncentrációja szignifikánsan nagyobb, mint a siófoki halak szerveiben. A halak izomzatában az elemek koncentrációja a következő tartományban adódott: Cd: 0,35 – 0,71; Cu: 1,78 – 2,24; Hg: 0,06 – 0,11; Pb: 0,85 – 1,58; Zn: 14,5 – 17,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ száraztömeg. A Balaton nyíltvízi területeiről gyűjtött vízi szervezetek mikroelem tartalma az élőhelyek nehézfém terhelésének

különbségeit jól tükrözte, egyben a korábbi felmérések eredményeihez mérten jelentős terhelésnövekedés nem volt kimutatható.

Balaton és *kis-balaton* cianobaktériumok toxikusságának vizsgálata. A Balaton és a Kis-Balaton víztározó cianobaktérium-együtteseinek környezeti kockázatelemzésére irányuló vizsgálatok a siófoki medencében Tihanynál (2006. 07. 04-én), valamint a Kis-Balaton területén 2006. 08. 22, illetve 2006. 10. 08-án észlelt *Microcystis* virágzások esetében jeleztek számottevő toxikusságot. A korábbi évek során a Balatonból izolált *Cylindrospermopsis raciborskii* törzsek környezeti kockázatának elemzésére irányuló vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az ACT törzsek toxikussága nagyságrenddel kisebb, mint a pozitív referenciaként alkalmazott (bizonyítottan cilindrospermopszin termelő) ausztrál *C. raciborskii* AQS törzs hatása. Az balatoni ACT 9504 és ACT 9502 cianobaktérium törzsek toxicitása az anatoxinokat bizonyítottan termelő *Oscillatoria formosa* PCC 6506 törzsének hatásával mérhető össze. A cianobaktérium törzsek akut hatásának elemzése során megállapítottuk, hogy a *Dikerogammarus villosus* amphipoda rákon szubletális koncentrációban az LDH enzim aktivitás jelentős megnövekedése történik, és a hatás mértéke erőteljes dózisfüggést mutatott. Az ACT 9502, ACT 9504, valamint PCC 6506-os törzsekkel kezelt amphipoda rákoknál, a korábbi sórák (*Artemia*) naupliákkal végzett vizsgálatok eredményeivel egyezően szignifikáns acetilkolinszteráz enzim gátlást is mértünk, ami a fenti cianobaktériumok által termelt hatóanyagok kolinszteráz gátló neurotoxikus hatását is jelzik. Az AQS, valamint az ACT 9503 és ACT 9505 törzsek kivonatai ugyanakkor nem váltottak ki szignifikáns hatást az acetilkolinszteráz aktivitásra, vagyis a fenti hatóanyagot feltehetően nem tartalmazzák. Az amphipoda rákokkal végzett akut vizsgálatok legjelentősebb eredményének tekinthető megállapítás, hogy bár az ökotoxicitási tesztekben a cilindrospermopszin termelő AQS törzs nagyságrenddel bizonyult toxikusabbnak, mint a balatoni, illetve a PCC 6506-os törzsek, az 1994-ben bekövetkezett balatoni *C. raciborskii* tömegprodukciónak egyező állapotnak megfelelő 10 mg l⁻¹ dózisban még a leghatásosabbnak bizonyuló AQS törzs kivonata sem okozott szignifikáns pusztulást a tesztállatokban, és nem váltott ki jelentősebb hatást a biokémiai marker enzimek aktivitásában sem. A cianobaktérium kivonatok *in vitro* tesztelése CHO-K1 sejtenyészeteken minden

algamintánál sejtlízist okozó hatóanyagok jelenlétét jelezték. A sejtek vázszerkezetében végbemenő morfológiai változások vizsgálata mind a négy balatoni cianobaktérium kivonatnál a CHO-K1 sejtek aktinhálózatának torzulását mutatta. Az ACT 9503-as törzset kivéve már 1 mg ml⁻¹ kezelés a mikrofilamentumok disszociációját okozta. Utóbbi változás legintenzívebben az ACT 9504 és ACT 9505 törzs kivonatával végzett kezeléseknél nyilvánult meg. A cianobaktérium minták analitikai elemzése az AQS törzs cilindrospermopszin termelését mutatta ki nagy mennyiségben. A PCC 6506 mintánál mindkét anatoxin homológ (anatoxin-a, homoanatoxin-a) jelenlétét kimutattuk, az irodalomban leírt mennyiségi különbségekkel egyezően. A balatoni alga-liofilizátumok analitikai elemzése alapján megállapítható, hogy az ACT törzsek is, bár kisebb mennyiségben, szintén termelnek anatoxinokat (anatoxin-a-t és homoanatoxin-a-t). A cianobaktérium kivonatokban anatoxinok jelenlétét mocsári csiga (*Lymnaea stagnalis*) központi idegrendszeri neuronokon végzett elektrofiziológiai vizsgálatok is valószínűsítették. Azonosított neuronokon a PCC 6506 törzs tisztított kivonata dóziszfüggő és közel reverzibilis módon gátolta a sejtek lokálisan applikált acetilkolin által kiváltott membránválaszát, dózis-hatás elemzések részben kompetitív, reverzibilis gátlást feltételeznek. A balatoni (ACT) törzsek hasonlóképpen tisztított frakciói jóval gyengébb, de lényegében azonos hatást fejtek a lokális acetilkolin-válaszra, ami szoros korrelációban van az alga minták (PCC 6506 és ACT törzsek) anatoxin tartalmával.

Következtetések, javaslatok

Az elmúlt évek során a szigorú környezetvédelmi intézkedéseknek köszönhetően a Balaton vízminősége jelentősen megjavult, és ennek következményeként a tó területén az antropogén eredetű mikroszennyezők halmozódása, néhány nagyobb agglomerációjú település környezetétől eltekintve nem számottevő.

Fontosnak tartjuk azonban a jövőben is a balatoni fitoplankton (elsősorban a cianobaktériumok megjelenésének és hatásának) környezeti kockázati elemzését, annak ellenére, hogy az utóbbi években a tó tápanyagterhelése is jelentősen csökkent. A tó cianobaktérium flórájának ökológiájáról, számos átfogó kutatómunka eredményének köszönhetően, nagyon gazdag és értékes ismeretanyag született. Ennek ellenére (a nemzetközi gyakorlathoz hasonlóan) a cianobaktériumok által szintetizált bioaktív vegyületek többségéről, ezeknek a vizes élőhelyek élőlény-

együtteseire kifejtett hatásairól lényegesen kevesebb adat áll rendelkezésünkre. Bár a cianobaktériumok által termelt „szekunder metabolitok” közül a legjelentősebb toxikus komponenseket sikerült eddig azonosítani, a tudomány jelen eredményei arra is utalnak, hogy a cianobakteriális anyagcseretermékek által alkotott komplexek tartalmazhatnak még nem-, vagy csak részben azonosított vegyületeket is, melyek toxikus tulajdonságai jelenleg kevésbé ismertek, illetve olyan komponenseket, melyek annak ellenére, hogy maguk nem toxikusak, közvetetten módosíthatják az ismert, „elsődleges” toxinok hatását. A világszerte folyó tudományos kutatások során az új cianobaktérium fajok és cianotoxinok felfedezése mellett ezen melléktermékek azonosítása és toxikológiai jellemzése is mind nagyobb teret nyer.

A fentieknek megfelelően, hazánkban is nagy jelentősége kell, legyen az édesvízi környezetben domináns cianobaktérium taxonok által termelt bioaktív vegyületek további azonosításának, az élő szervezetekre kifejtett fiziológiai hatásaik megismerésének, illetve az adatok alapján készített környezeti kockázatbecslések elkészítésének.

A kutatások eredményei új adatokat szolgáltathatnak a toxikus anyagcseretermékek küszöbkoncentrációit és hatásmechanizmusait illetően, így biztosítva a víztisztítási technológiák fejlesztéséhez szükséges legkorszerűbb információkat, külön hangsúlyt fektetve az ivóvíz ellátásra.

Irodalom

- Carmichael W.W., Evans W.R., Yin Q.Q., Bell P., Moczydlowski E. (1997) Evidence for paralytic shellfish poisons in the freshwater cyanobacterium *Lyngbya wollei* (Farlow ex Gomont) comb. nov. Appl. Environ. Microbiol. 63: 3104–3110.
- Codd G.A., Morrison L.F., Metcalf J.S. (2005) Cyanobacterial toxins: risk management for health protection. Toxicol. Appl. Pharm. 203: 264-272.
- Farkas, A. (2003) Toxikus környezetszennyező anyagok monitorozása a Balatonon és hatásaik vizsgálata vízi szervezetek főbb élettani funkcióira. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 2002. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 164-173.
- Farkas, A., Kovács W. A., Paulovits, G., Vehovszky, Á. (2007) Balatoni és kis-balatoni kéalgák toxikusságának vizsgálata. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 130-139.
- Farkas, A., Ács, A., Kovács W. A., Törő, N., Győri, J., Vehovszky, Á., Kiss, Gy. (in press). Balatoni és kis-balatoni kéalgák toxikusságának vizsgálata. In: Bíró P. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei. MTA, Budapest.

- Hlavay, J., Polyák, K., Weisz, M., Kiss, Gy., Varga, B., Gelencsér, A., Tolnai, B. (1998) Az élővilágra káros szervesanyagok és szerves vegyületek minőségi azonosítása és mennyiségi meghatározása a Balaton és vízgyűjtő területén. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 1997. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 161-167.
- Hlavay, J., Polyák, K., Lakatos, Á. (2001) Légköri ülepedés hatása a Balaton vizének minőségére és az üledék szennyezettségére. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 2000. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 184-195.
- Hlavay, J., Polyák, K., Bodnár, E. (2002) Légköri ülepedés és a fenéküledékek szennyezettségének vizsgálata a Balatonon és a vízgyűjtő területén. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 184-193.
- Meriluoto, JAO, Spoof LEM. (2008) Chapter 21: Cyanotoxins: sampling, sample processing and toxin uptake. In: Hudnell, H.K. (ed.) Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Advances in Experimental Medicine and Biology, vol. 619: 483-501.
- Moran, JH, Schnellmann RG. (1996) A rapid beta-NADH-linked fluorescence assay for lactate dehydrogenase in cellular death. Journal of Pharmacological and Toxicological Methods, 36 (1): 41-44.
- Pitois S., Jackson M.H., Wood B.J.B. (2001) Sources of the eutrophication problems associated with toxic algae: an overview. J. Environ. Health 64: 25– 32.
- Salánki, J., Farkas, A., Györi, J., Szűcs, A., Varanka, I. (1999) A Balaton és a vízgyűjtő élővilága toxikus kémiai anyagokkal való szennyezettségének felmérése (biomonitorozás). In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 1998. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 187-196.
- Salánki, J., Farkas, A., Györi, J., Molnár G., Varanka, I. (2000) A Balaton és a vízgyűjtő élővilága toxikus kémiai anyagokkal való szennyezettségének és azok hatásának monitorozása. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 1999. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 164-173.
- Salánki, J., Farkas, A., Molnár, G., S-Rózsa, K., Varanka, I. (2002) Toxikus környezetszennyező anyagok monitorozása a Balatonon 2001-ben, és azok hatása vízi szervezetekre. In: Mahunka S. és Banczerowski J.-né (Szerk.) A Balaton kutatásának 2001. évi eredményei. MTA, Budapest, pp. 187-196.

GAZDASÁGI ÉS TÁRSADALMI FOLYAMATOK A BALATON RÉGIÓBAN

Oláh Miklós, Dombi Gábor és Retz Tamás
Balatoni Integrációs Közhasznú Nonprofit Kft., Siófok

Bevezetés. „Európában és egy Európába készülő régióban a társadalmi folyamatok ismerete nélkül tervezés, fejlesztés, intézkedés és felkészülés nincs. Ma úgy látjuk, hogy információ és eszközrendszer híján a ma virtuális régió a valóságos társadalmi folyamatok ismeretével nem rendelkezik, erre viszont a munkájához alapvetően szüksége van.” – fogalmazott 2000-ben az Interrégió Konzorcium munkatársa, egy, a Balaton Fejlesztési Tanács számára készített tanulmányban.¹

Balaton-kutatás megnevezés alatt jó ideig természettudományi (főleg limnológiai), esetleg még környezetvédelmi vizsgálatokat volt szokás érteni. Hagyományosan így épült ki a tóval és környékével foglalkozó tudományos intézmény-, és kutatásfinanszírozási rendszer, és a kutatási eredmények kiadványozásának rendje is.² Annál megtisztelőbb a kötet szerkesztőinek azon felkérése, hogy foglaljuk össze azon gazdasági és társadalomtudományi elemzések eredményeit, melyek a Balaton Kiemelt Üdülőkörzet tervszerű és szakszerű fejlesztése érdekében a közelmúltban készültek a Balatoni Integrációs Közhasznú Nonprofit Kft.-nél.

E munka elvégzésének indokoltsága kettős természetű. A Balaton térségével, mint hazai és európai viszonylatban jelentős turisztikai desztinációval, való megkülönböztetett törődést egyrészt az érvényben levő területpolitikai dokumentumok³ teszik kötelezővé. A 2001-től folyó vizsgálatok eredményei másrészt egyértelműen kimutatták, hogy a Balaton régió nem csupán mint környezeti-, természeti képződmény kezelendő egységes egészként, de gazdasági és társadalmi értelemben is szerves, egységes entitással van dolgunk.

Előzmények

Annak ellenére, hogy a társadalomtudományi kutatások elmúlt évtizedekbeni szövete igen ritka, a régió helyi társadalma iránt érdeklődő vizsgálatok szerencsére nem teljesen előzmények nélküliek. A Lóczy Lajos által 1891-ben kezdeményezett átfogó akadémiai Balaton-

¹ A Balaton Régióra jellemző oktatási, kulturális, kutatási milió fejlesztését szolgáló program Interrégió Konzorcium, Kaposvár, 2000.

² Vö.: Dr. Salánki János, Dr. Bíró Péter: A Balaton-kutatás története a 18. századtól máig, História, 1999/056.

³ 1996. évi XXI. Tv. a területfejlesztésről és a területrendezésről, 2000. évi CXII. Tv. A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet Területrendezési Tervének elfogadásáról és a Balatoni Területrendezési Szabályzat megállapításáról, 97/2005. (XII.25.) OGY határozat az Országos Területfejlesztési Koncepcióról.

kutatások eredményeit közzé tevő sorozat részeként jelent meg pl. Jankó János nagylélegzetű és a maga idején igen sok korszerű társadalomstatistikai módszert is alkalmazó néprajzi munkája (*A Balaton-melléki lakosság néprajza*. Budapest, 1902).

A Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. felkérésére a Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem Környezettudományi Intézetének Gazdaságföldrajzi Tanszéke készített „A Balaton térség fejlesztési lehetőségeivel foglalkozó tanulmányok bibliográfiája” címmel egy összesítést. A 137 tagból álló írásból 63 az idegenforgalommal, turisztikai marketinggel, 29 a környezetvédelemmel, ökológiai kérdésekkel, 12 ágazati igazgatási problémákkal, 10 a szőlészettel, borászattal, 6 a vízgazdálkodással, 3 a halászással, horgászattal, 2-2 a hajózással és a régészettel foglalkozik, 1-1 pedig pénzügyi, néprajzi, hidrológiai, szervezetfejlesztési kérdéseket taglal. Az összeállítás megemlíti még Bertha Bulcsu: *Balatoni évtizedek* (Szépirodalmi, 1984), Moldova György: *A Balaton elrablása* (Dunakanyar, 2000, 1996), Virág Árpád: *A Balaton múltja és jelene* (Egri Nyomda, 1996), Bodrossy Leo: *A Balaton regénye* (Minerva, 2001) című kiadványát, melyek csupán érintőlegesen, és/vagy megkérdőjelezhető szakszerűséggel foglalkoznak a balatoni helyi társadalom közgazdasági, ill. szociológiai kérdéseivel.

Egy ennél lényegesen részletesebb bibliográfia⁴ 16 intézményi forrásból⁵ összesített 3884 címszavából összesen 33 munka tartalmaz a balatoni társadalommal, és mindössze 9 a gazdasággal kapcsolatos tematikát.

Későbbi megjelenése okán a szemléltetett két összesítés nem tartalmazhatja Buday-Sántha Attila: *A Balaton régió fejlesztése* (Saldo, Bp. 2007) c. értékes munkáját, melyhez a szerző számos esetben felhasználta kutatásaink elsősorban gazdasági aspektusú eredményeit, és az alább ismertetett munkákat sem.

⁴ Egerszegi Zita, Dr. Tarján Lászlóné: *A Balaton bibliográfiája*, Siófok, 2002.

⁵ BFT, MTA BLKI, MEH, KVVM, FVM, Dél-, Nyugat-, Közép-Dunántúli VÍZIG. VITUKI, MÁFI, BRIB, Veszprémi Egyetem, BMGE Központi Könyvtár, Fejér György Könyvtár, Országos Idegenforgalmi Hivatal, Pécsi TE Központi Kt.

A kutatóhely

A Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben⁶ kilencedik éve folynak átfogó tematikájú, tervszerű, elsősorban területfejlesztési célokat szolgáló, döntés-előkészítő jellegű, regionális kezdeményezésű gazdaság- és társadalomtudományi kutatások.

E munka a Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. (2009-től EU-jogharmonizációs okokból Nonprofit Kft.) szakmailag önálló Társadalomtudományi Kutatócsoportjában folyik Balatonfüreden. A csoport létrehozásáról a balatoni területpolitikai döntések előkészítésének tudományos ismeretekkel történő megalapozása, vagyis a regionális tervezés, programozás és monitoring feladatok ellátása céljából 2001. július 17-én határozott a Balaton Fejlesztési Tanács.

A mindössze hat fővel felállított csoport tagjai többnyire fiatalok, szakképzettségüket tekintve szociológus, geográfus, történész, ökológus, Európa-szakértő, informatikus, államigazgatási és kutatási asszisztens végzettségűek.

A tanulmányok zöme egy hét fős⁷, a közgazdaságtan, a szociológia, a geográfia, a regionális tudományok jeles képviselőit reprezentáló szaktekintélyekből álló tudományos tanácsadó testület felügyelete mellett, a BFT által elfogadott hosszú- és középtávú, valamint éves kutatási tervek alapján készült.

E tervek egyeztetése és a végrehajtásban való szakmai közreműködés, a tudományos bázis kiszélesítése érdekében a Kht. együttműködési megállapodással rendelkezik a Veszprémi Egyetem Idegenforgalmi Tanszékével, a keszthelyi Pannon Egyetem Georgikon Karának tanszékeivel, az ELTE Regionális Földrajz Tanszékével és a Kodolányi János Főiskola siófoki, idegenforgalmi képzést nyújtó intézetével. A csoport tagjainak többé-kevésbé formalizált szakmai kapcsolata van még az MTA Szociológiai Kutatóintézetével, az MTA Közgazdaságtudományi Intézetével, az MTA Regionális Kutatások

⁶ A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet kapcsán a 2000. évi CXII. Tv. A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet Területrendezési Tervének elfogadásáról és a Balatoni Területrendezési Szabályzat megállapításáról hozott törvény mellékletébe foglalt 164., a törvény 2008. szeptemberi módosítása révén 179-re emelt településből képzett funkcionális (turisztikai) régiót értjük. A tanulmányban szereplő vizsgálatok kivétel nélkül erre a térségre vonatkoznak.

⁷ A testület tagjai: Dr. Albert József, Dr. Csalagovits István, Dr. Csité András, Dr. Gajduschek György, Dr. Kóródi József, Dr. Lados Mihály, Dr. Nemes Nagy József.

Központjával és területi akadémiai bizottságaival, a Pécsi Tudományegyetem gazdaság- és társadalomtudományi tanszékeivel, valamint a Budapesti Corvinus Egyetem Gazdaságföldrajz Tanszékével, illetve a KSH igazgatóságaival, Népeségtudományi Intézetével, a VÁTI és az OECD szakembereivel.

A csoport kutatásainak vezérelve, egyben e vizsgálatok célja a fenntartható turizmusfejlesztés környezeti-gazdasági-társadalmi, valamint intézményi feltételeinek biztosítása. A természeti-környezeti értékek fenntarthatósága mellett a műhely feladatának tekinti a régió sikerességének, népességmegtartó erejének, a BKÜ helyi társadalma különös szociológiai minőségének megőrzését, és esetleges javulását elősegítő területpolitika tudományos eszközökkel történő segítését. Ennek megfelelően egyedi kutatások és meglévő adatbázisok másodelemzése által folyamatosan vizsgáljuk a régió hazai gazdasági súlyát, a tárgyi és az intézményi infrastrukturális javak állapotát, a helyi társadalom különböző szegmenseinek mennyiségi és minőségi jellemzőit, a turizmusban érintett és érdekelt szereplők gazdasági és társadalmi tulajdonságait, viselkedését, elégedettségét, ezek egymáshoz való viszonyát, végül, de nem utolsósorban környezettudatosságát. E munka során megkülönböztetett figyelmet fordítunk az állami és önkormányzati szerepvállalók mellett a gazdasági és a civil szektor részvételének vizsgálatára, a belső mikroregionális különbségek feltárására és ábrázolására, valamint az ellenérdekelt felek konfliktusos viszonyának tanulmányozására. Vizsgálataink során az empirikus adatgyűjtést magunk által toborzott és képzett 30 főnyi külső kérdezőbiztosi hálózat látja el.

A csoport működésének kezdeményezésére, illetve eredményeképpen e régió esetében készült Magyarországon először tetszőleges mikrorégiókra adaptált GDP-kutatás, és a fejlesztési források hatékonyságának mértékét elemző szakmai monitoring.

E program eredményeképpen eddig mintegy 40 önálló kutatási projekt zárótanulmánya készült el az ügynökségen, és tucatnyi újabb született külső kutatóhely által a megrendelésünkre.⁸ Az eredmények alapján került sor a Balaton Fejlesztési Tanács Középtávú Fejlesztési Stratégiájának átdolgozására, a Balaton Régió Részletes Fejlesztési Tervének elkészítésére, és folyik az erre épülő programozás és a

⁸ Ld.: a bibliográfiában.

projektek tervezése, mely munkák folyamatos korszerű környezeti-gazdasági és társadalmi szakmai monitoring munkával válnak teljessé. A kutatási eredmények nyilvánosak, a BFT és a Kft honlapján részben megtalálhatóak, az egyes szakpolitikák és tudományos szakterületek képviselői számára a részletes kutatási eredmények is rendelkezésre állnak, és jelentős szerepet játszottak a Balatonnal kapcsolatos intézkedésekről szóló 1075/2003-as, illetve az 1033/2004-es kormányhatározat által elrendelt feladatok megtervezésében és megvalósításában, valamint az Országos Területfejlesztési Konceptió, illetve az Új Magyarország Fejlesztési Terv (NFT–II) elkészítésénél a balatoni fejezetek kialakításában. A műhely vizsgálati eredményeinek eddigi legtömörebb összegzése a Balaton Kiemelt Üdülőkörzet 2020-ig szóló Fejlesztési Konceptiójának mintegy 200 oldalas helyzetelemző fejezetében érhető el.

A napvilágra kerülő kutatási eredmények beépültek a régió fejlesztési dokumentumaiba és a Balaton környékével kapcsolatos területpolitikai tevékenység szakmai monitoringjába. Hatásukra az utóbbi évtizedben egyre többen választják diplomadolgozatuk, doktori értekezésük tárgyául a régió gazdasági-társadalmi kérdéseit. 2001-től máig mintegy 60-70 aspiráns kereste fel a kutatóhelyet abból a célból, hogy itt kapjanak segítséget munkájuk elkészítéséhez.

A kutatási program finanszírozásáról 2001 és 2003 között a Magyar Köztársaság Kormánya és a Balaton Fejlesztési Tanács Együttműködési Megállapodás keretében gondoskodott, 2004-től az ügynökség vállalozási bevételekből és pályázati forrásokból igyekszik fedezni a költségeket.

Az alábbiakban e kutatási eredmények egy részének segítségével igyekszünk felvázolni az üdülőkörzet társadalmi és gazdasági állapotát, folyamatainak általunk vélt lényegét. Mivel a felvázolt trendek a vizsgált időszakban sok esetben kedvezőtlen tendenciákról szólnak, röviden bemutatjuk még, hogy milyen új, paradigmatis jelentőségű intézményfejlesztési alternatívákat látunk alkalmasnak ezek kezelésére.

Többrétegű és multikulturális helyi társadalom

„A néprajztudomány elmúlt száz évben publikált eredményeit kultúrtörténeti összefüggések, élettörténet-interjúk, szépirodalmi források,

sajtóanyagok és helytörténeti kutatások adataival együtt értelmezve⁹ elégtelennek és felelőtlenségnek bizonyulna a Balaton egyetlen arcáról, az »ösi«, »érintetlen« balatoni népi kultúráról értekezni. A hagyományos életformák átalakulása, a néprajztudomány tárgyának, a magyar parasztságnak az eltűnése természetesen a Kárpát-medence egészében viszonylagossá teszi az egyes térségek népi kultúrájáról kialakult képet, és új szempontok felvetését igényli. A Balaton-parti települések esetében azonban nem egyszerűen erről van szó. Nem csupán a polgárosulás hatásáról, amelyet az általános vélekedés szerint a térségbe irányuló korai és tartósan bizonyuló idegenforgalom erősít fel, és tesz – a népi kultúra elkötelezetteinek szemszögéből – végzetessé. Az »idegenek forgalma«, a »vendég éjszakák« számlálása, az »egynapos« vagy »egyhetes« turista révén kitáguló világ csak a változások egyik oldalát jelenti.” – tudható meg Schleicher Vera néprajzkutatótól a balatoni helyi társadalom gyökereiről.¹⁰

A balatoni helyi társadalom területileg hagyományosan megosztott volt: „...a Balaton északi és déli partja között, Tihany vidékét a vele szemben fekvő Zamárdi vidékével együtt kivéve, a népesség áramlása, kicserélése csaknem semmi, a Balaton víztükre a népeket nem kötötte össze, hanem inkább szétválasztott; a Balatonnak tehát a mellette élő népek kialakulásában egészen más szerep jutott, mint más hasonló vízfelületeknek, amelyek a parti lakosság teljes összekeveredésének útjával szolgáltak, s ennek oka kétségtelenül a népesség kizárólagosan szárazföldi természetében rejlik.” – írta 1902-ben Jankó János.¹¹

„A Balaton elválasztó szerepének kérdése ugyanis újra és újra fölvetődik. A partok közötti élénk kereskedelmi kapcsolatokra hivatkozva többen vitatják a Balaton elválasztó szerepét¹², míg más kutatók eredményei újabb és újabb adalékokat szolgáltatnak a házassági

⁹ Az adatgyűjtés a VEAB Néprajzi Munkabizottsága kutatócsoportjában végzett kutatás (Balaton az ezredfordulón – Jankó János nyomában) keretében folyik, az OTKA T048831 pályázat támogatásával. Ahol az adatok forrása külön nem kerül megjelölésre, úgy azok saját gyűjtésből származnak.

¹⁰ A fejezet néprajzi közelítésű bevezetője Schleicher Vera: Terek, képek, eszmék. A hagyományos kultúra és a hagyományhoz való viszony változatai a Balaton térségében c., 2005-ben a Balatoni Integrációs Kht. felkérésére megírt kézirat felhasználásával készült.

¹¹ Jankó János: A Balatonmelléki lakosság néprajza. Budapest, 1902.

¹² Csoma 1983, Knézy 1978 stb. Domanovszky György nyíltan szembehelyezkedik Jankó állításával, a „népi műveltség egységét” hangoztatva. Domanovszky 1943. 16.

kapcsolatok teljes hiányára, amely a part menti települések társadalmi-kulturális identitását a „szárazföld” felé, vagyis Veszprém, Somogy és Zala megyék egyéb kistérségei irányába terjedőnek tételezi.”¹³

A Magyar Néprajzi Atlasz adatainak számítógépes klaszteranalízise alapján megállapítható, hogy a Balaton 1900 körül kulturális határt képezett, amely a déli part és a kissé tagoltabb északi part között húzódik. Az elemzés további kulturális határnak tekinti Zala és Veszprém megyék mai határát, amely a Nyugat-Dunántúlt választja el az ún. nyugati régió többi részétől. A finomabb fokozatok azonban egy további *kis régiót* is kijelölnek a térségben, ez pedig nem más, mint a Balaton-felvidék Veszprém környéki településeiből és három észak-kelet-somogyi faluból álló egység: az ún. kelet-balatoni régió.¹⁴

A kimutatható mikroregionális különbségek okait a földrajzi adottságok által meghatározott gazdálkodási viszonyok, termékszerkezet és életmódbeli különbségek adják, ami lehetővé, ugyanakkor szükségessé is tette a más és más térségben élők közti cserét – úgy az áruforgalom, mint a kulturális javak tekintetében. „E több pilléren nyugvó, változatos kapcsolatrendszer ismeretében értelmezve a Balaton »tereit«, földrajzi és kulturális szerepét, némileg árnyalni kell az eddig kialakított képet. A tó »elválaszt« ugyan, ahogyan azt már Jankó állította, ugyanakkor viszont össze is köt, a megfelelő csatornákon és az éppen szükséges mértékben. Lehetőséget ad az elválasztottságnak, de mindenekelőtt a földrajzi-ökológiai különbségeknek megfelelően más-más irányba fejlődő kistérségek eltérő adottságainak kiegyenlítésére, miközben a jelentős és tartós népességmozgásoknak a hagyományos paraszti kultúra fennállásának időszakában mindvégig gátat szab. Valódi kulturális határ tehát a Balaton – a határszerep minden ismérvével, hátrányával és előnyével együtt.” – vonható le a hagyományos balatoni helyi társadalom kulturális konzisztenciájáról alkotott vélemények mérlege.¹⁵

A közlekedési viszonyok fejlődése, és a turizmusgazdaság megjelenése azonban annak ellenére is homogenizálta a régiót, hogy annak helyi társadalma más térségekével összehasonlítva jóval

¹³ Schleicher Vera: Terek, képek, eszmék. A hagyományos kultúra és a hagyományhoz való viszony változatai a Balaton térségében, 2005. Kézirat

¹⁴ Borsos Balázs: A magyar nyelvterület kulturális régióinak számítógépes meghatározása a Magyar Néprajzi Atlasz térképei alapján. (Előzetes eredmények) In: Népi kultúra–népi társadalom XXI. Budapest, 2003. 31–61.

¹⁵ Schleichert Vera: i. m.

bonyolultabb szerkezetűvé vált. Az állandó népesség mellett a XIX. század végétől fokozatosan megjelentek a hazai nyaralótulajdonosok, a XX. század végére pedig mintegy 50 ország polgárai váltak a régióban ingatlantulajdonosá.

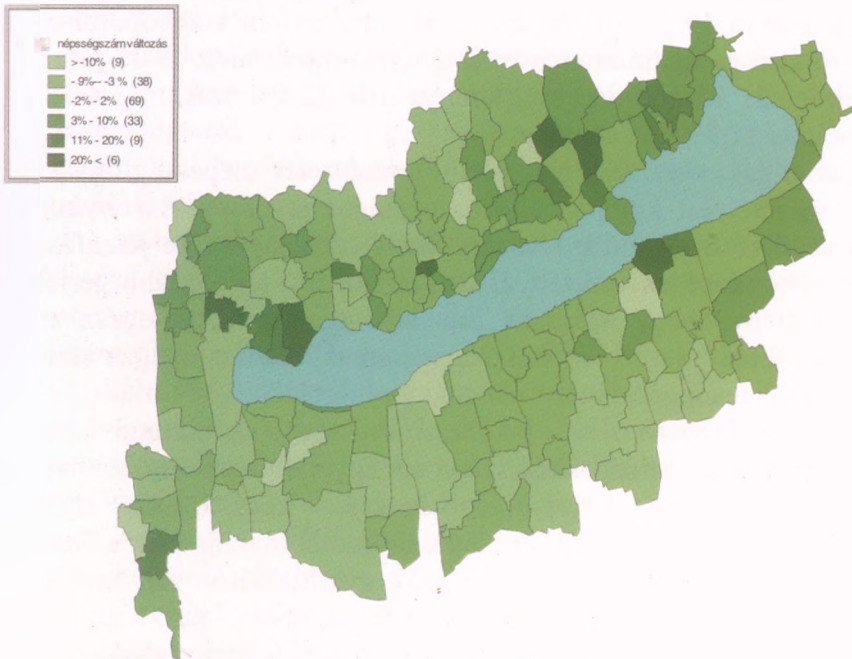
Állandó népesség

A Balaton régió lakónépessége a KSH 2001. évi népszámlálásának adatai alapján 251 490 fő, amely az ország népességének 2,5%-a volt. Szemben az országos 3,1%-os aránnyal az üdülőkörzet lakónépességének mindössze 1,9%-a (4831fő) vallotta magát valamely nemzeti kisebbséghez tartozónak. Ez utóbbiak zömét (71%) a cigányság teszi ki, mellettük száznál többen csupán a német (20%) és a horvát (2,3%) nemzetiségűek vannak, de csaknem ennyien vallották még magukat ukránnak (91 fő), románnak (62 fő), lengyelnek (55 fő).

A népesség 51%-a él városban, 49% községben. A legnépesebb település a 24 és fél ezres Siófok, a legkevesebben pedig a Veszprém megyei Óbudavárt lakják. A régió népességére a két utóbbi népszámlálás időpontja között a kismértékű, de folyamatos csökkenés és a nagymértékű előregedés volt a jellemző, amelynek a partközeli településeken a természetes szaporodás csökkenése, a térség egészében pedig a pozitív vándorlási egyenleg előbbi jelenséget kiegyenlíteni nem tudó mértéke az oka. A 2001-es népszámlálás alkalmával a KSH a régióban 105 ezer belterületi lakóingatlant regisztrált.

A Balaton régió népessége 1990 és 2000 között közel 2,4 százalékkal csökkent. Ezen belül a partközeli települések lakossága fogyott, míg a háttértelepüléseké kismértékben emelkedett. A KSH adatai szerint a régió állandó népessége 2000. év elején 250 051 fő, 2006 januárjában pedig 260 505 fő volt, vagyis egy lakóingatlanra átlagosan 2,36 fő jut. A +3,9 százalékpontos hat év alatti növekedés főleg az időskorú népesség partközeli településeket érintő megtelepedése által bekövetkező vándorlási nyereségnek a következménye. E folyamat a régióon belül elsősorban a Balaton-felvidék nyugati és keleti településein érezteti hatását.

Népességszám-változás a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben 2000–2005



Forrás: KSH T-STAR

A 164 településből álló BKÜ átlagos népsűrűsége 72 fő/km^2 . Egy négyzetkilométeren a zalai alrégióban élnek a legtöbben (86 fő/km^2), Somogyban a legkevesebben (67 fő/km^2), a Balaton-felvidéken pedig átlag közeli (71 fő/km^2) a betelepültség. Az állandó lakosság területi sűrűsége a parton több mint kétszer akkora (109 fő/km^2), mint máshol (53 fő/km^2). A legsűrűbben lakott települések közül a régióban kimagaslík Hévíz (595 fő/km^2), és Balatonfüzfő (470 fő/km^2), de az átlagot jóval meghaladó még Tapolca (276 fő/km^2), Keszthely (273 fő/km^2), Balatonboglár és Siófok (196 fő/km^2) megegyező tartalmú adata is. Válluson viszont csupán 7-en, Sáskán 9-en, Balatonhenyén, Barnagon és Somogytúron 12-en, Zalaújlakon 13-an élnek egy km^2 -en. A 179 településüvé bővült BKÜ állandó lakosságának a száma 274 068 fő, átlagos népsűrűsége $70,5 \text{ fő/km}^2$.

Jelentős strukturális problémákkal kell szembenézni a régió állandó népessége összetételének alakulásában. Az utóbbi másfél évtizedben

állandósult és felgyorsult az öregedési folyamat. A 18 éven aluli népesség aránya az 1990-es 24,4%-ról 2000-re jelentősen, csaknem 5 százalékponttal csökkent (19,6%). Ezzel egyidejűleg a 60 évesek és idősebbek aránya 19,2%-ról 20,2%-ra nőtt. Ez utóbbi korcsoportban az utóbbi öt évben gyorsuló aránynövekedés figyelhető meg. 2006-ra az itt élő 60 év feletti állandó népesség aránya már 22,5% volt, míg a 18 év alattiak aránya 17,3%-ra csökkent.

Az országos trendnek megfelelő természetes népességfogyást a régióban valamelyest kompenzálta az országos átlaghoz viszonyítottan kedvező vándorlási egyenleg, ez azonban a lakosság egyre jelentősebb mértékű előregedéséhez vezetett. E folyamatot jó ideje tovább gerjeszti az a körülmény, hogy elérhető árú lakóingatlanok és egész éves egzisztencia híján jelentős mértékű az újonnan végzett, magas szinten képzett fiatal korcsoporthoz tartozók régióból történő elvándorlása.

A viszonylagosan jó lakóhelyminőséget felmutatni képes üdülőkörzetben más térségekkel szemben egyértelműen kimutatható a kényszer. Megfelelő helyi egzisztencia, képzésük szerinti munkahelyek rendelkezésre állása esetén örömmel maradnának a fiatalok, hiszen olyan, több generáció óta itt élők gyermekeiről van szó, akik szeretnek itt élni. Megélhetési okból azonban a fővárosban, a Dunántúl nagyvárosaiban és külföldön próbálnak szerencsét. A régió népességének előregedését az a tény is erősítheti a jövőben, hogy a régióban üdülőingatlannal rendelkező magyar állampolgárok közül is az idősebbek részéről tapasztalható a régióba költözés szándéka, akik már inaktívként és biztos egzisztencia (nyugdíj) tudatában tennék meg e lépésüket.

A térség állandó lakosságának előregedését jól jellemzi, hogy 2006-ban 8184 fővel több 60 éven felüli lakos élt a régióban, mint 2000-ben. A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet öregedésének mértéke az ország egyéb régióihoz képest is különösen kedvezőtlen. Az üdülőkörzet területén 2004-ben 100 14 éves vagy annál fiatalabb életkorú személyre 156, 2005-ben 163, 2006-ban 171, 2007-ben 179, 2008-ban 184 60 éves vagy annál idősebb személy jutott,¹⁶ ez azt jelenti, hogy a BKÜ Magyarország egyik leginkább öregedő népességű térsége.

Az elmúlt másfél évtized demográfiai tendenciáit figyelembe véve elmondható, hogy a régió 2001-es időpontban regisztrált eredeti állandó

¹⁶ 2008 során a Balaton-törvényben rögzített területi változás alapján 179 település alapján végeztük el a számítást. A korábbi évekre vonatkozóan a 2000. évi CXII. Törvény alapján 164 település képezi a számítás alapját.

népessége vándorlási nyereség nélkül számolva 2041-re akár 215 ezerre is csökkenhet, a 65 évesek és az ennél idősebbek aránya pedig a jelenlegi 15%-ról megduplázódhat, vagyis elérheti a 30%-ot (Keszthely városé pl. akár a 40%-ot).

Mivel a legújabb népesedéstudományi számítások a régióba történő belföldi bevándorlás mérséklődésével számolnak, az üdülőkörzet népességmegtartó erejének viszonylagos megőrzése (jelentős területpolitikai beavatkozások híján) a jövőben már csak a nemzetközi migrációtól várható.¹⁷

Az utóbbi évek adatai szerint a Balaton Kiemelt Üdülőkörzet állandó népessége 2004 és 2008¹⁸ között 2983 fővel növekedett, miközben ugyanezen idő alatt az állandó népesség körében megfigyelhető születésszám–halálozás egyenlege 5924 fővel fogyatkozott, és az állandó belső vándorlás csupán 2744 fős pozitívummal zárt. Ez azt jelenti, hogy a belső vándorlás pozitív mérlege nem ellensúlyozta a természetes népességfogyatkozásból keletkezett népességvesztést, miközben az üdülőkörzet állandó lakossága évről évre növekedett. Ahhoz, hogy a Balaton Kiemelt Üdülőkörzet állandó népessége mégis olyan mértékben növekedhessen, amilyen mértékben a KSH-adatok alapján azt megfigyelhetjük, ahhoz az utóbbi öt év alatt még további, mintegy 6000 fős népességnyerés kellett, hogy érje a Balaton térségét.¹⁹

Abban az esetben, ha feltételezzük, hogy a KSH adatai pontosak, és ez a népességnyerés nem keletkezett belső vándorlásból, sem pedig természetes népszaporulatból, úgy más magyarázat nem kínálkozik a jelenségre, mint az, hogy a Balaton térségének megfigyelt népességnövekedése országhatárokon kívüli forrásból is táplálkozik, vagyis az országhatárokon kívülről és az országhatárokon belülről irányuló migráció szinergiája nyomán jöhet létre.²⁰

¹⁷ Habclicsek László: A Balaton régió demográfiai jellemzői és népesség előre becslése, a Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. megrendelésére 2002.

¹⁸ 2008-ban az összehasonlíthatóság érdekében 164 település alapján számolva.

¹⁹ Ha a BKÜ népessége 2004 és 2008 között 2983 fővel növekedett, miközben ez idő alatt 5924 fővel természetes módon fogyatkozott, és 2744 fővel többen vándoroltak a térség településeire, mint ahányan elköltöztek, úgy ahhoz, hogy 2983 fős népességnyerés keletkezzen a szükséges módon előálló -3180 fős népességvesztésből 6163 fős népességnyerésnek kellett keletkeznie, mivel ennyi a két megfigyelt gyakoriság limesz között a különbség.

²⁰ Habclicsek László, korábban már hivatkozott, 2002-ben írott, A Balaton régió demográfiai jellemzői és népesség előre becslése 1990–2041 c. tanulmányában is erre

Nyilván nemcsak a vizsgált évek metszete alapján mutatható ki a Balaton térségének nemzetközi vándorlásból eredő pozitív különbözete, hanem korábbi időszakok metszetei szerint is változó intenzitással, folyamatosan, hiszen a belső és a külső vándorlás pozitív mérlege mellett is folyamatos a népességveszteség, tehát ahhoz, hogy a népesség mégis töretlenül növekedjen, relatíve folyamatos, országhatárokon belüli és kívüli népességbeáramlásnak kell léteznie a Balaton térségében legalább másfél, talán két évtizede.²¹

A régió demográfiai tendenciáinak endogén elemei mellett e folyamat – különösen a gyógy-idegenforgalmi központok közelében és a Balaton-felvidék egyes településein – új turisztikai ágazattá (silver economy) fejlődhet.

E folyamatok turisztikai szempontok szerinti szem előtt tartása más szempontból azért lényeges, mert a régióban jelenlévő népességből elsősorban az aktív korú, állandó jelleggel itt élők azok, akik létrehozzák, működtetik és újratermelik azt a tárgyi (közüzemi szolgáltatások stb.) és intézményi (oktatás, egészségügy, közigazgatás, szolgáltatások) infrastruktúrát, amelyen – az állandó népesség egész éves gazdasági és társadalmi életének mederben tartásán túl – a szezonálisan megjelenő turizmus is bonyolódik.

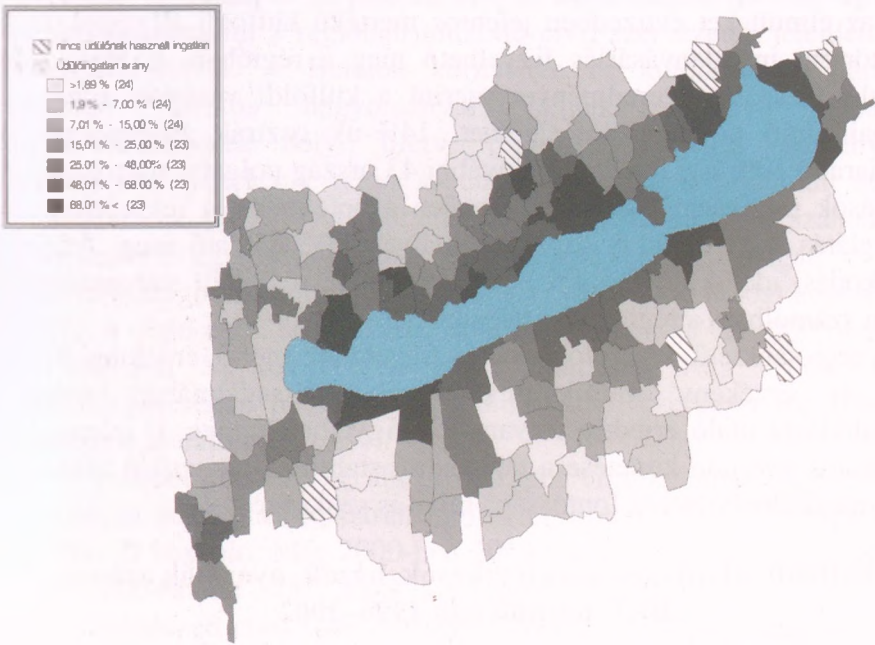
Üdülőtulajdonosok

A 2001-es népszámlálás időpontjában, a régióban 72 003 belterületi üdülő ingatlan volt található. A megegyező besorolású hazai ingatlanok 29%-a található itt, az üdülőkörzet tehát megközelítőleg egy átlagos megye lakóingatlan-vagyonával rendelkezik. Ha az üdülőingatlanok számát megszorozzuk az egy lakóingatlanra eső régióbeli átlagos népességszámmal (2,36 fő), akkor megközelítőleg megkapjuk a nyaralótulajdonosok és közvetlen családtagjaik számát (169 575 fő). Velük együtt az üdülőkörzetben turisták nélkül is 430 ezer fő lenne jelen, ha mindenki egy időben a saját ingatlanában tartózkodna.

az elméleti megállapításra jutott, és 5000 fő körüli nemzetközi vándorlásból keletkező népességnyereséget valószínűsített.

²¹ Vö.: Dombi Gábor: Demográfiai folyamatok hatásai a Balaton térségében, Comitatus, 2009. 7–8.

Az üdülési céllal hasznosított ingatlanok aránya az összes lakóingatlan közül a BKÜ településein (2001)



Forrás: KSH 2001/Népszámlálás/

A régió helyi társadalmát az állandó népesség soraiban regisztráltakon túl az üdülõtulajdonosok számát is figyelembe véve tehát csaknem fél millió polgár alkotja. Az e körre kiterjedő kutatások²² eredményei szerint az üdülõtulajdonosok átlagos itt tartózkodási ideje 107 nap évente. E balatoni társadalmi státuszcsoporthoz jelentős mértékben reprezentálódik a hazai politikai, gazdasági és kulturális elit.²³ A 2000–2005 közötti időszakban 1237 új üdülő besorolású ingatlanra adtak ki használatbavételi engedélyt.

²² Belföldi ingatlanulajdonlás a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben, Retz T., Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. 2003.

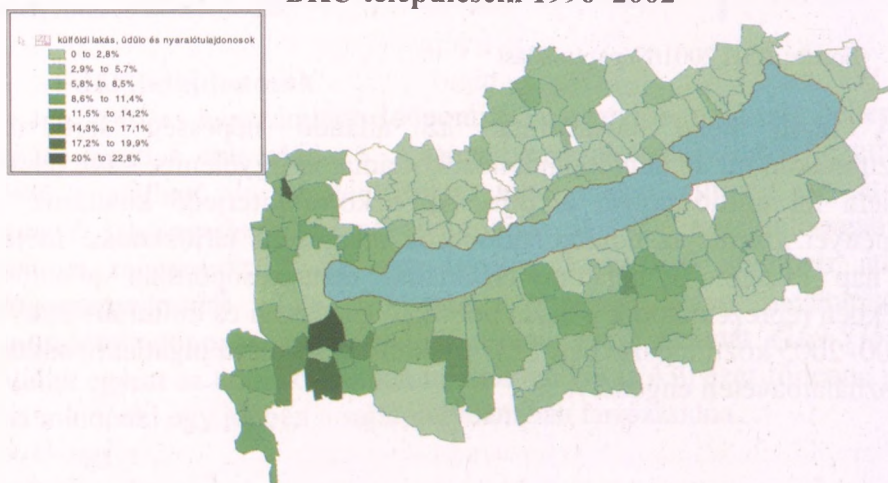
²³ BIFÜ Kht. TK (2006) A magyarországi elit balatoni kötődései Dombi, Oláh, Retz.

Külföldi állampolgárságú ingatlantulajdonosok

Tovább árnyalja az itt együtt élők helyi társadalmát az a körülmény, hogy az elmúlt két évtizedben jelentős mértékű külföldi állampolgárok által történt ingatlanvásárlás figyelhető meg a régióban. E témakörre irányuló vizsgálatok eredményei szerint a külföldi vásárlók zöme az Európai Unió polgára, 76% német, 14%-uk osztrák állampolgár, a fennmaradó 10%-nyi ingatlanon további 43 ország polgárai osztoznak. A vásárlások motivációi között jellemzően a befektetés, a rekreáció és a vendéglátás (kétharmaduk foglalkozik ilyennel) található meg. Átlagos tartózkodási idejük évente 4,6 hónap, vagyis e régióbeli státuszcsoporthoz méltán számolható a régió helyi társadalmához.²⁴

A régió sokrétű, szociológiailag is figyelemre méltó, érdektagoltsága miatt is érzékeny multikulturális helyi társadalmában érdekes integrálódásra utaló erjedési folyamatok figyelhetők meg. E jelenségek folyamatos nyomon követése a társadalmi stabilitás turisztikai funkciók miatti megkülönböztetett fontossága miatt is szükséges.

A külföldi tulajdonba került lakások, házak, nyaralók aránya a BKÜ településein 1996–2002



Forrás: KSH T-STAR, ill. Somogy-, Veszprém-, Zala megyei Közig. Hiv. adatai alapján

²⁴ Csité A., Kovács E., Oláh M.: A külföldi állampolgárok ingatlanszerzésének gazdasági és társadalmi hatása a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben, transznacionális áramlások, és együttélési modellek a Balaton régióban. Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. 2002.

Civil szervezetek, lakossági aktivitás, választói magatartás

A jó hatásokkal működtetett partnerkapcsolatokban a gazdasági élet szereplői, az állami és az önkormányzati oldal mellett ma már újra lehet és kell is számolni a régióban működő civil szervezetek jelenlétével és feladatellátásával. A Balaton környékén és különösen a partközeli zónában jelentős hagyományai vannak a civil társadalom önszerveződésének helyi, illetve regionális közéleti eseményekben játszott szerepének. A régió speciális összetételű, bonyolult szövésű társadalma az 1989. évi II. törvény által újból lehetővé és szabadabbá tett gyülekezés és egyesülés hatására gyorsan újra szervezte magát.

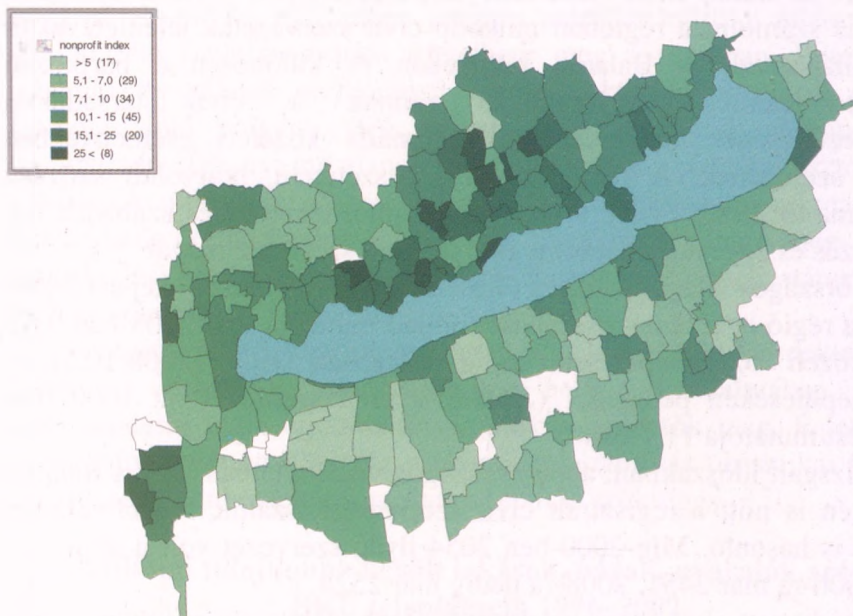
Az országos átlagmutatóhoz (7,6 szervezet/1000 lakos) képest 2006-ban pl. a régió egészének összehasonlítható mutatója 9,4 (2008-ban 9,6), a partközeli 52 településen pedig átlagosan 10,3 (2008:10,5), a háttértelepüléseken pedig 8,1 (2008:8,4) civil szervezet jut 1000 főre (Budapest mutatója 11,1-es).

A vizsgált időszakban, ahogy országos viszonylatban, úgy a Balaton környékén is nőtt a regisztrált civil szervezetek száma, s a növekedés mértéke is hasonló. Míg 2000-ben 2054 ilyen szervezet volt a régióban, addig 2006-ra már 2451, 2008-ra pedig már 2524.

A bejegyzett civil szervezetekhez köthető taglétszám megközelítőleg a régió állandó népességének a felére tehető. A személyi átfedések ellenére okkal állítható, hogy a régió minden 3. felnőtt korú lakosa kapcsolatban áll valamilyen civil szervezettel. Erre irányuló vizsgálatok eredményeinek birtokában elmondható, hogy a nyaralótulajdonosok civil aktivitása is hasonló mértékű. Megszakítással 105 éves hagyományokkal rendelkezik a Balaton-parti Fürdőegyesületek Szövetsége, amely meghatározó szerepet játszott a régió turisztikai jellegének kialakításában.

A régió civil szervezettségének mértéke a Balaton-felvidéken átlagot meghaladó (10,2), a déli parton ennél kevesebb (7,1), a nyugati parton pedig a kettő közti érték (8,9). A legjelentősebb civil potenciál a Káli-medence, a Tihanyi-félsziget és a Művészetek Völgye községeit jellemzi. Az sem teljesen véletlen, hogy elismert szakmai szervezetek véleménye alapján a 2000. év magyar civil szervezetéül Magyarországon a ma már 21 parti tagcsoporttal és mintegy 800 taggal rendelkező, Balatonfüreden bejegyzett Nők a Balatonért Egyesületet választották.

Ezer lakosra jutó nonprofit szervezetek száma a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben, 2005 (BKÜ átlag 9,51)



Forrás: KSH T-STAR

A régió civil szerveződéseit a környezethez képest a szabadidős-rekreációs szervezetek kiugróan magas aránya különbözteti meg. Magas még a közbiztonság érdekében (polgárőr egyesületek) dolgozó, a kutatásokat támogató, a környezet- és érdekvédő, illetve a nemzetközi kapcsolatokat támogató szervezetek aránya.

A környező megyék civil szervezettségéhez képest a hasonló célkitűzések megvalósításáért létrejött szervezetek kooperációja jellemzi még a Balaton környékét. Szövetségük van a helyi fürdőegyesületeknek (Balaton-parti Fürdőegyesületek Szövetsége 1904, 1992-), a horgászegyesületeknek, a szobakiadóknak, 2001. március 24-én pedig széleskörű és alapos szervezőmunka eredményeképpen létrejött a régió civil szektora egészét képviselni hivatott Balatoni Civil Szervezetek Szövetsége²⁵. A Szövetség a régióban kifejtett tevékenysége mellett ma már nemzetközi pályázatok résztvevője. A Balatoni Integrációs és

²⁵ A Nők a Balatonért Egyesület kezdeményezésére létrejött szövetség szervezésében a Veszprém megyei Civil Ház is közreműködött.

Fejlesztési Ügynökség Kht. társult tagságával együtt képviselik a Balatont 2004 óta a Living Lakes Hálózatban.

A civil szervezetek aktivitásának erősödését mutatja, hogy az elmúlt öt évben fokozatosan nőtt az általuk benyújtott pályázatok száma. Ezek magas arányú támogatottsága arra enged következtetni, hogy a forráselosztók felismerték az e szervezetekben rejlő erőt. A civil szervezetek hazai átlagot jóval meghaladó ereje és e szféra várhatóan gyors fejlődése és aktivitása egyben garancia lehet a balatoni identitás erősödésére, a Balaton régió egészének fejlődésére.

A Balaton térségének választási mintázata kilenc évtized távlatában egyértelműen konzervatív, a szélsőségeknek teret nem engedő nemzeti-jobboldali struktúrát rajzol ki. A nemzeti-jobboldali erők fölénye minden értelmezési dimenzióban meghatározó. A Balaton térségében a nem szabad választások időszakában is akad példa a totális hatalommal szembeni polgári ellenállásra.²⁶ A szabad választások ideje alatt egyetlen alkalommal, 1994-ben született a Balaton térségben baloldali siker, ez szignifikánsan eltérő eredmény a többi választás végeredményéhez képest.²⁷

A balatoni népesség jövedelmi viszonyai és életminőségének alakulása

A Balaton régió jövedelmi viszonyait vizsgálva a régióra jellemző egyedi tulajdonságokkal lehet találkozni, amelyek az alábbiak szerint határozhatók meg:

– a tó közelsége, amely több vállalkozási és munkahely-lehetőséget jelent, valamint a magánszálláshely-értékesítés, és ezzel az eltitkolható jövedelmek potenciális lehetősége is nagyobb,

– a település mérete, a nagyobb településeken, a jobb infrastrukturális feltételek, valamint a jelentősebb turistaforgalom miatt nagyobb a lehetőség a vállalkozásokra, és az elérhető jövedelmekre.

A 2005-ös évi egy lakosra jutó adóköteles jövedelem a régióban 517 ezer Ft, 97 ezer Ft-tal kevesebb, mint országosan, és 159 ezer Ft-tal több mint 2001-ben.

²⁶ Ld.: Sarusi Mihály: Balatoni fiúk. 15-18 éves Balaton-felvidéki ifjak az 1956 előtti nemzeti ellenállásban. Bp., Püski, 2003.

²⁷ Vö.: Dombi Gábor: Országgyűlési választások a Balaton térségében. Comitatus, 2006. különszám, szerk.: Oláh Miklós

A személyi jövedelemadó-alapot képező jövedelmek (legális jövedelem), az állandó lakosok viszonylatában a Balaton régióhoz tartozó településeken élők esetében magasabb, mint a régiót alkotó megyékben. Megfigyelhető, hogy az északi parton a jövedelmek meghaladják a déli parton élők jövedelmét, ami a somogyi háttértelepüléseken élők nagy arányú munkanélküliségének és az ott elérhető alacsonyabb kereseteknek tulajdonítható.

Megjegyzendő azonban, hogy a Balatonnal határos megyék adatainak tükrében viszonylagosan kedvező BKÜ-beli jövedelmi helyzetet az országos összehasonlítások eredményei beárnyékolják. Az egy főre eső adózott jövedelem az országos vidéki átlaghoz képest 2000-ben csupán 86%-, 2005-ben pedig 84%-os volt.

A turizmusgazdaság jelenlétének tulajdonítható, hogy ebben a régióban viszont jelentős mennyiségű „szürke” gazdaságban megtermelt jövedelmekről lehet beszélni. Számszerűsítése nehezen megoldható, de mindenképpen következtetni lehet rá egyéb mutatókból. Ilyen például az 1000 lakosra jutó személygépkocsik száma, ami a Balatonnál a régiók sorában, 2000-ben (270) és 2005-ben (317) is az országos átlagot (231, illetve 283) jóval meghaladó, csupán a Közép-Magyarország régió esetében magasabb.

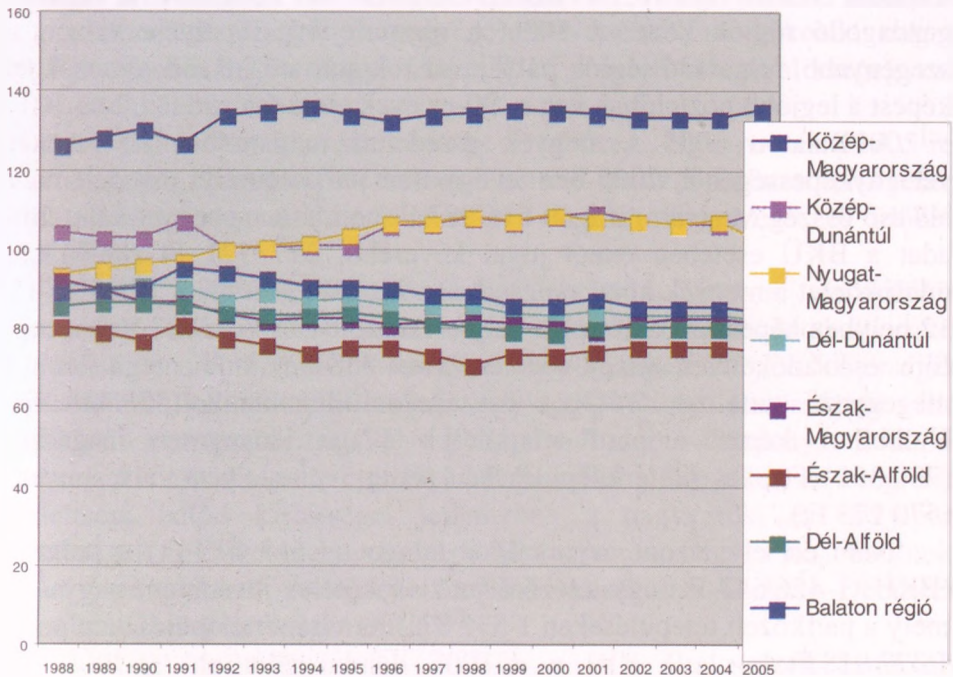
Az átlagosnál magasabb jövedelmi viszonyokat tükrözi a Balaton régióban épített lakások száma is, ami egyúttal a térség területi státuszértékének kiemeltsége mellett is érvel azzal együtt, hogy a legmagasabb értékről induló és egyre növekvő trend 2004-ben megtörni látszik.

A Balaton régió egy főre eső jövedelmének alakulása sajátos pályát írt le a rendszerváltás után. Az országos viszonylatban meghatározó ágazatokban, a többi térséghez képest a válságidőszak itt rövidebb ideig tartott és a visszaesés kisebb mértékű volt a nehézipari ágazatok csekély arányának és a magasabb vállalkezési aktivitásnak köszönhetően, viszont végig jelentős mértékben éreztette hatását az a körülmény, hogy az átalakuló turisztikai piac elvárásaira a hagyományos balatoni kínálat már nem megfelelő. Egyes ágazatok (pl. építőipar, a külföldi állampolgárok rendszerváltozást követő régióbeli ingatlanvásárlásai, az ezzel járó építési, átépítési és felújítási munkák által megtestesített piac²⁸ révén)

²⁸ A külföldi polgárok által vásárolt ingatlanok kutatási eredményeink szerinti átlagára 45000 euróra tehető. Ezen átlag teljes ingatlankörre való kiterjesztésével megállapítható, hogy a nevezett ingatlanok az utóbbi évtizedben megközelítőleg fél milliárd euróért

átmenetileg kedvező helyzetbe kerültek bár, ezek viszont nem voltak képesek kompenzálni más ágazatok viszonylagos sikertelenségét.

**A régiók egy főre jutó adóköteles jövedelme (országos átlag = 100%),
1988–2005**



Forrás: APEH SZJA-adatbázis alapján BIFŰ KHT, 2007.

(mintegy 110 milliárd forint) cseréltek gazdát, vagyis ezen ingatlanértékesítések jelentős mértékű tőkeképződést eredményeztek a BKŰ állandó lakói körében. Kutatásaink szerint a külföldi tulajdonosok 3/4-e már az ingatlan birtokba vételét követő felújítások, átépítések, építések során is fejenként átlagosan csaknem 20 000 eurót költött (e munkálatokkal kapcsolatos kiadások mintegy 145 millió eurós, vagyis 35 milliárd forintos piacot jelentettek a régió kis- és középvállalkozóinak), mára pedig a régió legjelentősebb foglalkoztatói közé sorolható e tulajdonosi kör. Vö.: Csíte A., Bokor I., Kovács E., Oláh M.: Sziget a magyar tengeren: külföldi ingatlantulajdonosok a Balatonnál. Szociológia 2004. 3. 79–107.

Az országos jövedelmi különbségek növekedésére utal a vonalak ujjszerű szétterülése: az 1990-es évtized első harmadára egyre nagyobb lett a különbség a legjobb és legrosszabb helyzetben lévő régiók között. Magasan kiemelkedik a többi közül a központi régió. A legdinamikusabban Nyugat-Magyarország fejlődik, a '90-es évek második felétől kezdve a Közép-Dunántúl is visszatért a tartósan gazdagodó régiók közé. A Balaton régió fejlődési pályája viszont a szegényebb, lemaradó régiók pályájával rokonítható inkább, de ezekhez képest a legjobb pozícióban van a '90-es évek eleje óta.

A Balaton régió a megyék jövedelmi rangsorában is veszített versenyképességéből. 2005-ben az egy főre jutó személyi jövedelemadó alá eső összeg Magyarországon 615 987 Ft volt.²⁹ A megegyező tartalmú adat a BKÜ esetében ennél jóval kevesebb, 517 721 Ft (84%). Az üdülőkörzet a megyék közti rangsorban a korábbi időszakot jellemző 11-12 helyhez képest 2005-re a 13. helyre csúszott vissza. 2008-ban az egy főre eső adóköteles átlagjövedelem (664 558 Ft) már meghaladta a megegyező tartalmú országos összehasonlító mutatót (578 446 Ft). Utóbbihoz képest a parti települések átlaga lényegesen magasabb (730 351 Ft), a háttértelepüléseké pedig valamelyest alacsonyabb (570 273 Ft).

Nem éri el viszont az országos átlagot (1 618 495 Ft) a balatoni (BKÜ: 1 456 643 Ft) egy adózóra jutó adóköteles jövedelem nagysága, mely a partközeli településeken 1 537 871 Ft, a háttértelepüléseken pedig 1 327 918 Ft.

Az egyszerű társadalomstatisztikai adatsorok tanulmányozásán túl a legújabb HDI-elemzések³⁰ eredményei lehetőséget adnak a népesség életminőségének időbeni és területi összehasonlító vizsgálatára.

²⁹ APEH SZJA adatok

³⁰ Az Emberi Fejlődés Indexe (HDI) három fejlődési dimenzió (a gazdasági teljesítmény, az élettartam és az oktatási teljesítmény) négy mutatószámmal mért súlyozott átlaga. A gazdasági teljesítmény indikátora az egy főre eső reál BHÉ vásárlóerő-paritáson vett értékének diszkontált változata. Helyzetelemzésünkben Csíste András és Németh Nándor: Az emberi fejlődés indexének (HDI) alakulása a magyarországi kistérségekben (1994–2005) című dolgozatának (kézirat) eredményeit és megállapításait használtuk fel. A témáról ld. még: Fóti K. (szerk.) (2000) Az emberi erőforrások jellemzői Magyarországon 1999. (A Human Development Report, Hungary, 1999 magyar nyelvű változata). MTA Világgazdasági Kutatóintézet, Budapest, ill. Fóti, K. ed. (2003) Towards Alleviating Human Poverty 2000–2002. Human Development Report Hungary, 2000–2002. Institute for World Economics of the Hungarian Academy of Sciences–

A HDI-értékek alapján Magyarország 2004-ben a „világranglista” 35. helyét foglalta el. A magyar HDI ekkor 0,869 volt, ami valamivel meghaladta Argentína értékét, de elmaradt Csehországtól.

A magyarországi megyék közt – 2005-ös HDI-értékük alapján – jelentős fejlettségbeli különbségek mutatkoztak. A legfejlettebb Budapest a németországi átlaggal megegyező HDI-értékkel rendelkezik, míg a legfejletlenebb Békés megye Costa Rica nemzeti átlagával megegyező HDI-értékkel bír.

A Csíte–Németh szerzőpáros 1994-re, 2001-re és 2005-re, kistérségekre elkészített elemzései lehetővé teszik a Balaton térségében élők életminőség-mutatóinak országon belüli elhelyezését és időbeli alakulását:

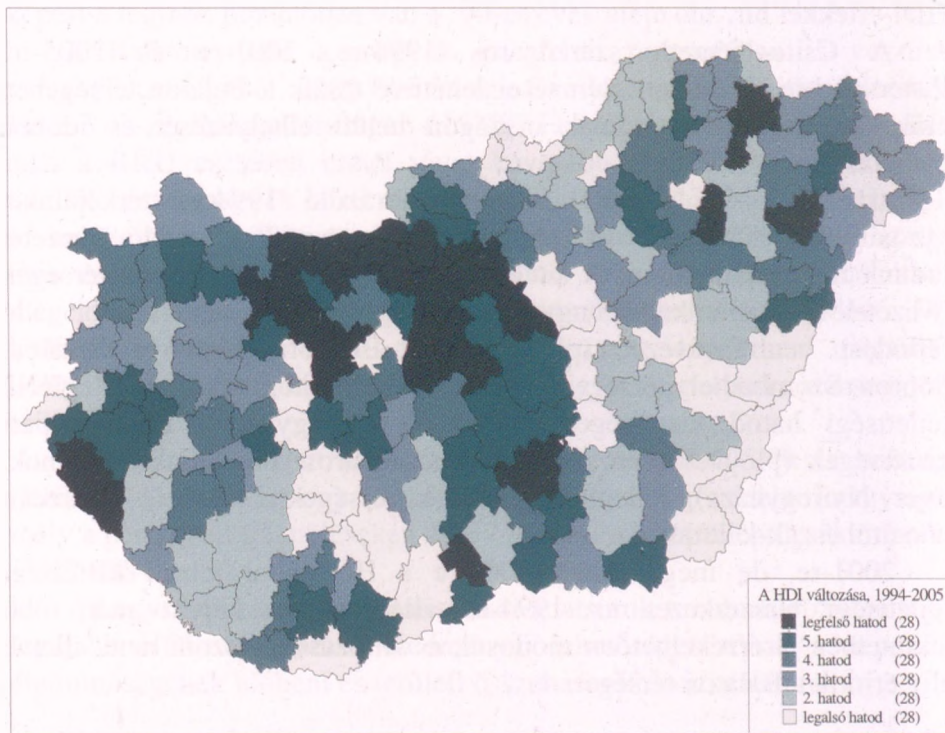
„Ha a kistérségi HDI-értékeket ábrázoló 1994-es térképünket vizsgáljuk, néhány több kistérségből álló, összekapcsolódó övezetet tudunk rajta elkülöníteni. A kevésbé vagy közepesen fejlett kistérségek övezeteiből kiemelkedik ugyan egy-egy néhány kistérségből álló fejlődési centrumövezet (pl. Budapest–Budaörs–Gárdony, Balaton, Sopron–Szombathely térsége, Győr és Komárom környéke), de a legfelső fejlettségi hatod kistérségei jellemzően a nagyvárosi és nagyipari kistérségek (pl. Debrecen, Szeged, Tiszaújváros, Pécs, Paks, Szolnok, Eger, Nyíregyháza). A legfejletlenebb kistérségek a Miskolc–Debrecen vonaltól észak-keletre húzódnak.”³¹

2001-re, de még inkább 2005-re a HDI által jelzett kistérségi fejlettségi térszerkezet az 1994-es állapotokhoz képest már több tekintetben is érzékelhetően módosul, e változások viszont nem, illetve alig érintik a Balaton térségét.

United Nations Development Programme: Budapest.
http://hdr.undp.org/docs/reports/national/HUN_Hungary/Hungary_2002_en.pdf,
Rechnitzer János, Smahó Melinda (2005) A humán erőforrások regionális sajátosságai az átmenetben. MTA Közgazdaságtudományi Intézet, Budapest, ill. Husz Ildikó (2002) Regionális különbségek Magyarországon, kísérlet a területi különbségek bemutatására az emberi fejlődés indexe alapján. In: Lengyel Gy. (szerk.): Indikátorok és elemzések. BKÁE: Budapest, 77–87.

³¹ Csíte András és Németh Nándor (2007) Az életminőség területi differenciái Magyarországon: a kistérségi szintű HDI becslési lehetőségei. Budapesti munkagazdaságtani füzetek, BWP. 2007/3. Budaepst, MTA KTI, Budapesti Corvinus Egyetem Emberi Erőforrások Tanszék.

Kistérségek HDI változása Magyarországon azonos esetszám alapján 1994–2005



Forrás: Csité A., Németh N.

A változás mértékét és irányát mutató térképeken látható, hogy a balatoni kistérségek relatív pozíciói nem változtak. A kistérségi HDI-értékek a kilencvenes évek eleje és 2005 között minden kistérségben nőttek. A csökkenésből és a növekedésből egyes kistérségek az átlagosat meghaladó mértékben részesedtek, ezek közül viszont jellemzően hiányoznak a balatoni kistérségek.

A számítások eredményei szerint korábban tehát országos viszonylatban magas életminőséggel volt jellemezhető a régió, és e

megállapítás még a balatoni turizmus recessziós periódusának egy olyan évére is igaz, mint az 1994-es esztendő. Az utóbbi másfél évtizedben viszont a térség már nem tud lépést tartani a hazai legfejlettebbekkel, emberi életminőség-mutatói az ország innovációs centrumaihoz képest kisebb mértékben nőnek.

A régió gazdasága

A Balaton régió – kiemelkedő kultúrtörténeti és természeti értékeinek köszönhetően – a hatvanas évek közepétől kezdődően a turizmusgazdaság kiépülésével párhuzamosan jelentős fejlődésnek indult. A Balaton – Budapestet megközelítően – az ország turizmusában a második legfontosabb célpont. Bár népszerűségéből az utóbbi években sokat veszített, jelenleg is Közép-Európa egyik leglátogatottabb üdülőhelye a tó és környéke.

A rendszerváltás az 1990-es évek első felében együtt járt a korábbi szervezeti rendszer gyökeres átalakulásával. A szerkezetátalakítás és a termelékenység javítása következtében a munkahelyek számottevően csökkentek, az egyéni vállalkozásként folytatható tevékenységek köre viszont bővült. Sor került a túlzottan centralizált nagyvállalkozások zömének privatizációjára, amelynek lebonyolításához általában szükség volt előzetes szétdarabolásukra³², a profiltisztításra és a területi egységek önállósítására. A szerkezetátalakítás és a termelékenység javítása következtében a munkahelyek számottevően csökkentek, az egyéni vállalkozásként folytatható tevékenységek köre viszont bővült. A vállalkozások száma a felsorolt jelenségek folytán az évtized eleje óta több mint kétszeresére (ezen belül a társas vállalkozásoké 4-5-szörösére, az egyénieké másfél-kétszeresére) növekedett.

Az idegenforgalom és a kereskedelem eredményes működtetése már a '60-as évektől egyre inkább megkövetelte a közvetlen személyes érdekeltség érvényesítését. A fenti folyamatok eredményeként 1999. év végén 24 930 működő vállalkozást regisztráltak a régióban, számuk a 2004. év végén a KSH adatai szerint 24 659 (98,95%). A régióban az összes Magyarországon működő vállalkozás 2,5%-a található.

³² A Központi Kárrendezési Irodától kapott adatok szerint a Balaton borrégió területén kárpótlás révén 4332 ültetvény került új tulajdonos érdekkörébe. Vö.: Dombi Gábor, Oláh Miklós, Retz Tamás: (2003) Szőlészek, borászok a Balaton borvidéken (agrárszociológiai vizsgálat).

Figyelembe véve, hogy a turizmushoz kötődő vállalkozások egy része a szezonon kívül szünetelteti tevékenységét, elmondható, hogy a működő vállalkozások jelenléte a nyári időszakban elérheti, esetleg meg is haladja a 27 ezret. 2003. évi vizsgálati eredmények szerint a régió területén szezonális jelleggel, ideiglenes működési- és telephelyengedélyek alapján ugyanis újabb mintegy 2000 olyan mikro-, és kisvállalkozás végez szolgáltatást az üdülőkörzet legforgalmasabb pontjain, amelyek székhelye a BKÜ-n kívül regisztrált.³³

Vállalkozási aktivitás

A vizsgált időszak első felében a vállalkozások 1000 lakosra vetített száma országos viszonylatban alig változott, valamelyest nőtt. Az átlag szintjén tapasztalható lassú növekedés azonban belső területi elmozdulásokat takar. Ebből az összehasonlításból 2000-hez képest 2004-re nyilvánvalóan kedvezőtlenül kerül ki a Balaton régió egésze. A csökkenés a parti településeken 2002-től, a háttértelepüléseken 2003-tól tapasztalható, miközben a vidéki Magyarország vállalkozásainak 1000 főre vetített száma 2004-et leszámítva végig nőtt.

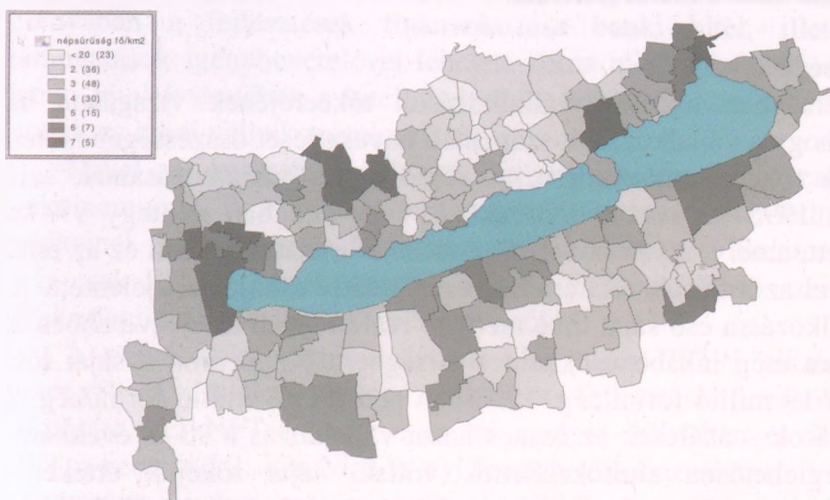
A lakosságszámhoz viszonyított vállalkozás-sűrűség az említettek következtében 2004-ben a Balaton környékén számottevően magasabb (95/1000 lakos) az országos – Budapest nélküli – vidéki átlagnál (74). A térségen belül elsősorban a partközeli települések (115/1000 fő) vonzzák a vállalkozásokat (öt évvel korábban még 124/1000 fő), a háttértelepülések (67/1000 fő) már csupán az országos átlagtól (86/1000 lakos) messze elmaradó mértékben (2000:71/1000 fő).

Ezer lakosra jutó működő vállalkozások száma 2000–2004

	2000	2001	2002	2003	2004
Magyarország	84,57	82,23	84,36	86,95	85,92
Budapest	142,31	139,03	143,16	148,2	145,9
Vidék	70,3	70,72	72,65	74,75	74,06
BKÜ	98,79	99,6	99,07	98,13	95,12
Part	123,84	124,67	121,8	120,47	115,44
Nem part	71,33	72,66	73,89	67,26	66,85

³³ Dombi Gábor: A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet területén kívüli székhellyel rendelkező mikro-, kis- és középvállalkozások üdülőkörzeten belüli érdekeltségei és működésük szezonális jellemzői. [Micro-, small and medium-sized enterprises outside the Balaton Holiday Region: Their activity within the holiday region and the seasonal characteristics of their operation.] Balaton Integration and Development Agency Plc. Research Group of Social Sciences. Balatonfüred, 2004.

1000 lakosra jutó vállalkozások száma településenként, 2004



Forrás: KSH T-STAR

A Balaton térségében 1999. év végén működő vállalkozások 71%-a (17 700 db) volt egyéni vállalkozás, ami 13 százalékponttal volt magasabb, mint az országos átlag. Öt évvel később arányuk már csak 64%-os. Az egyéni vállalkozások eloszlása a part mentén kissé alacsonyabb (62%), mint a háttértelepüléseken (72%). A ténylegesen partszakasszal rendelkező településeken az egyéni vállalkozások aránya 2004. év végén 61% volt. Ez azonban mindössze arra utal, hogy a szezonhoz rugalmasan alkalmazkodó egyéni vállalkozások nagyobb hányada szünetelteti tevékenységét a téli időszakban.

A Balaton térségében a vállalkozások gazdálkodási formája kevésbé függ a település méretétől, mint földrajzi helyzetétől. A part mentén jóval intenzívebb a vállalkozási tevékenység, és magasabb a nagyobb tökekoncentrációt feltételező (viszont ennek ellenére általában kis létszámot foglalkoztató) társas vállalkozási formák részaránya. A háttértelepüléseken az egyéni vállalkozások kiemelkedő szerepe arra utal, hogy önfoglalkoztatással sikerül a munkahelyek hiányából adódó megélhetési gondokat mérsékelni.

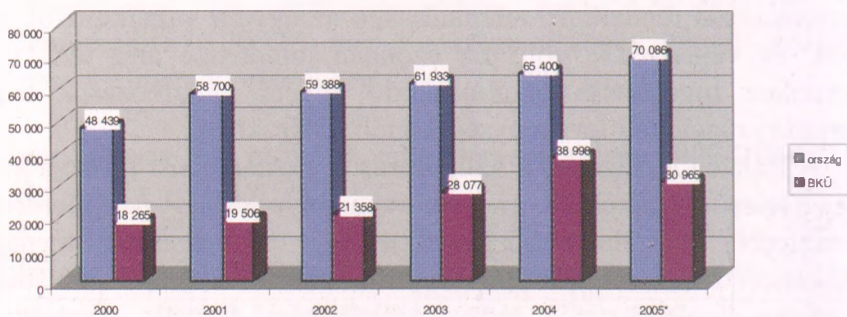
Az egyéni és a jogi személyiség nélküli társas vállalkozások döntő többsége ön- és családfoglalkoztató jellegű, esetleg néhány alkalmazottal működik. A nagyobb létszámot foglalkoztató vállalkozások – önálló jogi személyiséggel rendelkező társaságok – létszám-kategória szerinti

megoszlása is igazolja, hogy a Balaton környékének vállalkozásait az országosnál kisebb méret jellemzi.

Tőkeerő

A térségben működő vállalkozások tőkeerejének vizsgálata azt mutatja, hogy a vállalkozások számának növekedését összességében nem követte a tőkeerő növekedése. A régió társas vállalkozásainak saját tőkéje az 1995–99 közötti időszakban, éves átlagban mintegy 9%-kal növekedett, amely ugyan növekvő tendenciát mutat, azonban ez az érték nem érte el az inflációs ráta értékét, ezért relatív csökkenést jelentett. Az egy vállalkozásra eső saját tőke mértéke reálértékben kifejezve ebben az időszakban még inkább csökkent a térségben. Folyó áron a saját tőke 1995-ben 19 millió forint/cég, 1998-ban pedig 19,8 millió forint/cég. A vállalkozások – akárcsak az összes hazai vállalkozás a 90-es években – tehát meglehetősen alultőkésítettek voltak, saját tőkéjük értékének növekedése jelentősen elmaradt az inflációtól. A balatoni vállalkozások saját tőkéjének összege az elmúlt 7 évben messze elmarad az országos átlagtól. 2000-ben 38-, 2005-ben pedig 45%-a annak. Folyó áron számított alakulása – bár 2004-ig lassan közelített hozzá – sem olyan kiegyensúlyozott, mint az országos átlag.

Az egy társas vállalkozásra jutó saját tőke összege (E Ft)



Forrás: KSH T-STAR

* A 2005-os adatoknál a számításhoz szükséges működő társas vállalkozások számát becsléssel állapítottuk meg, mivel a KSH 2005-től csak regisztrált vállalkozásokat tart nyilván. A 2005-ös, egy társas vállalkozásra jutó saját tőke összegében látható drasztikus csökkenés (-8 E Ft) azt valószínűsíti, hogy a BKÜ-ben működő társas vállalkozások száma a becslétnél is nagyobb mértékben csökkent.

A fennálló pénz- és tőkehiány nagymértékben akadályozta a hagyományos balatoni vállalkozások megerősödését. Saját forrás hiányában a fejlesztések finanszírozása banki hitel, illetve egyéb támogatások igénybevételével lehetett volna megvalósítható, azonban a banki hitelek esetében a hitelkihelyezési feltételek szinte elérhetetlenek voltak az itteni vállalkozások számára.

Mivel a magyar területpolitika meghatározó jogszabályai és dokumentumai turisztikai jelentőségénél és környezeti-kultúrtörténeti értékeinél fogva kiemelt térségként tartják számon a Balatont, a régió már csak EU-tagságunk miatt is sokat várt a megújuló szemléletű és gyakorlatú területfejlesztés eredményeitől.

A pályázatok adataiból látható, hogy az NFT-I alkalmatlannak bizonyult a Balaton térség szükséges fejlesztési forrásokkal való ellátására. Az NFT-I forrásokon túl a régió 2004-ben és 2005-ben a BFT-n keresztül 2, 826 Mrd Ft-nyi forráshoz is hozzájutott. A BKÜ-ben két év alatt mindez egy főre vetítve 11 170 Ft-ot tesz ki, mely összeg az NFT-I keretében elnyert forrásokkal együtt is csupán 43 070 Ft, vagyis mindössze 60,9%-a az egy főre eső NFT-I források hazai átlagának.

Az NFT-II (Új Magyarország Fejlesztési Terv 2007–2013) keretében 2009 februárjáig 8056 pályázat részesült támogatásban, közülük a pályázó székhelye és a megvalósulás helye szerint számolt közös halmazt 183 projekt képezi, vagyis (2,27%) esik a BKÜ-be.

A ciklus első két évében a rendelkezésre álló adatok szerint (ÚMVP nélkül) 1 906,1 Mrd Ft forráskihelyezésre került sor, és ennek az összegnek a 0,6%-a (11,5 Mrd Ft) jutott a projektek megvalósulási helye szerint a BKÜ-be.

Az egy főre jutó ÚMFT fejlesztési forrás országos viszonylatban 187 425 Ft, míg az ugyanezen tartalmú érték a BKÜ-ben 44 064 Ft (az országos átlag 23,51%-a).

A pályázók székhelye alapján a főváros nélkül számított egy főre eső vidéki átlag 113 913 Ft. A BKÜ átlaga ennek kétötöde: 38,7%.

Mivel a BKÜ területén nem található megyeszékhely, illetve megyei jogú város, a még korrektebb összehasonlítás érdekében elkészítettük a BKÜ átlagának főváros, és MJV-k nélküli vidéki Magyarországhoz

mérését. A KÜ átlaga ez utóbbi egy főre eső átlagának (85 081 Ft) is mindössze csupán 49,4%-a.³⁴

A vállalkozások gazdasági ágankénti megoszlása az üdülőkörzetben

A Balaton környékén működő vállalkozások gazdasági ágankénti megoszlása az ágazat szerkezeti átalakulásokkal is magyarázható gyengeségei ellenére az idegenforgalom és a vele kapcsolatos kisegítő ágazatok kiemelt szerepét mutatja.

Az építőipari vállalkozások aránya is viszonylag magas, főként a háttértelepüléseken, ahol az építkezések élénkebb ütemben folynak, mint a korlátozás alá eső part mentén. Átlagos a mezőgazdasággal, erdőgazdálkodással, halászattal, valamint a szállítással foglalkozó, és az országonál kissé alacsonyabb az ipari vállalkozások részaránya. Korábban lényeges lemaradás volt tapasztalható a gazdasági tevékenységet segítő szolgáltatások arányában. Ez a helyzet azonban az utóbbi néhány évben megváltozott, 2004. év végén a vállalkozások 22%-a tartozott már ebbe a körbe.

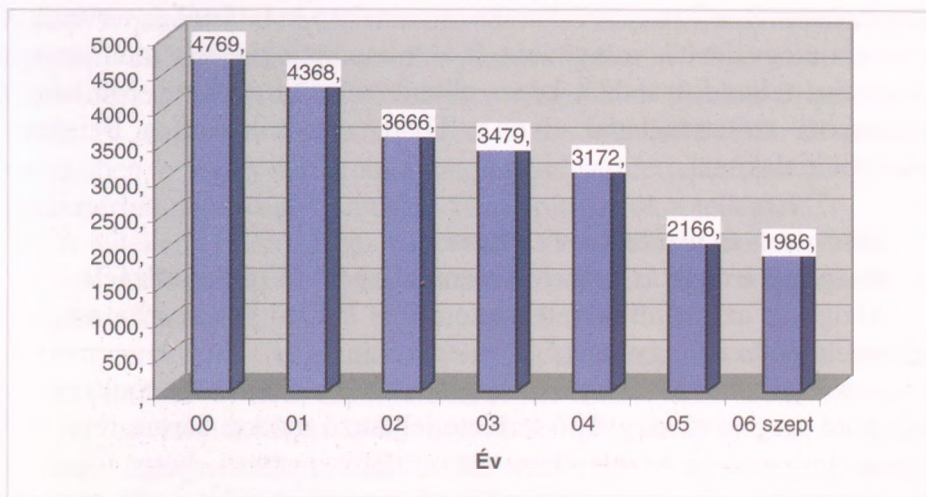
Öt év alatt csökkent az ipari, a kereskedelmi és a szállítással, raktározással foglalkozó, viszont nőtt a szolgáltató, az építőipari és a mezőgazdasági vállalkozások száma.

A vállalkozások számában, összetételében utóbbi években bekövetkezett leglátnyosabb változás viszont éppen a szálláshelyszolgáltatás, vendéglátás ágazatban figyelhető meg: az idegenforgalomhoz közvetlenül kapcsolódó gazdasági tevékenységet végző vállalkozások száma 2000-ben 4769 idegenforgalmi vállalkozó működött a régióban, addig 2006 szeptemberében már csak 1948 volt a számuk (-59,2%). A lemorzsolódás nyilvánvalóan magában hordja az utóbbi évek ágazaton belüli fejlesztéseinek, beruházásainak révén megvalósuló szerkezetváltás pozitív következményeit, viszont magával hozhatja a régió aktív korú népességmegtartó erejének további csökkenését.

³⁴ Dombi Gábor, Oláh Miklós, Retz Tamás: (2009) A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet pályázati aktivitása és forrásszerzési eredményessége az NFT-I-II. időszaka alatt országos összehasonlításban, Gyorsjelentés.

A negatív tendencia ellenére a Balaton régióban működő, és a turizmussal szoros kapcsolatba hozható vállalkozások (kereskedelem, javítás, ingatlanügyletek és gazdasági szolgáltatás, szálláshelyszolgáltatás, vendéglátás) részaránya a 2004-es 56%-hoz képest 2008-ra csaknem elérte a 60%-ot (a parti települések 2004-es 60%-áról pedig 68,9%-ra nőtt) vagyis teljes mértékben meghatározzák a térség gazdaságát.

Idegenforgalomban és vendéglátásban érdekelt (H nemzetgazdasági ág) vállalkozások számának alakulása, 2000–2006 (szeptember)



Forrás: KSH T-STAR

„A Balaton hanyatló desztináció³⁵ és újjáélesztése nem várthat magára tovább. Hanyatló desztináció, mert az 1990 előtti keresletet mindmáig nem sikerült újjal pótolni, sőt a külföldi forgalom visszaesését

³⁵ Desztináció: utazási-üdülési célterület. A régi közönségét elvesztő hanyatló desztinációk (declining destinations) sorsa újabbban az érdeklődés középpontjába került. A hanyatlás időbeni észlelésére és a gondok orvoslására az Európai Unió 2002-ben publikálta „Early warning system for identifying declining tourist destinations, and preventive best practices” c. kiadványát, amely a Balaton számára is hasznos módszereket ajánl. Egyebek között új stratégia kidolgozását, a megvalósítást irányító hatékony desztinációs menedzsmentszervezet kialakítását, kutatások által alátámasztott pontos adatbázisok kialakítását, a monitoringrendszer megszervezését, a lakossággal, a partnerszervezetekkel és a vállalkozókkal való érdemi együttműködést stb.

az utóbbi években már a belföldi kereslet lassú megélénkülése sem tudta ellensúlyozni, és a Balaton súlya a kereskedelmi szálláshelyek országos összforgalmában, az utóbbi években egyre csökkent. A balatoni desztináció újjáélesztése nem várthat magára tovább, mert az országnak szüksége van a turizmus teljesítményének fokozására, amire adottságai folytán leginkább a BKÜ képes és hivatott, a régió lakossága pedig biztos megélhetésre vágyik, amit leginkább a turizmustól remél” – állapította meg 2005-ben Dr. Lengyel Márton.³⁶ A megfelelő gyógmód nemzetközi tapasztalatokon alapuló elméleti alapjai adottak: alulról építkező, állami-magán együttműködéssel kialakított, felkészült szakemberekből álló és megfelelő forrásokkal rendelkező térségi menedzsmentszervezetet kell létrehozni, amely a kutatástól és tervezéstől kezdve a megvalósítás irányításán át az e-marketingig és a monitoringig a turizmus teljes folyamatát képes ellenőrizni és irányítani. Másként, a nemzetközi szóhasználatból élve: a TDM³⁷ modellt kell a Balatonon önerőből kialakítani.

Szervezet- és intézményrendszer

Központi irányítás helyett decentralizáció és regionalizáció

Ahogy az az iménti következtetésből is látható volt már, a meglévő szervezetrendszer gyengesége egyrészt a túlzott mértékű központosításban, továbbá a fragmentáltságában, széttagoltságában ragadható meg (a tó vízgyűjtő területe jellemző módon három regionális vízügyi igazgatóság kezelésében van), másrészt abban, hogy főként az együttműködést elősegítő szerveződések nincsenek jelen kellő számban és felhatalmazással a Balaton régióban, és – ahogy majd látjuk – teljes körűen a Balaton Fejlesztési Tanácsban sem.

Jelentős hiányosságokkal írható csak le a térség intézményi struktúrája. Mindez elsősorban a jobban szem előtt lévő területfejlesztési intézményrendszer működésének anomáliái szintjén tudatosul, viszont általánosan is igaz. A térség területén (a BKÜ-ből kirekesztett hagyományos megyeszékhelyekre telepítettség miatt) nincsenek meg, illetve hiányosan vannak jelen a középfokú szolgáltatások igazgatási, egészségügyi, oktatási, közművelődési, pénzügyi stb. elemei, intézményei. Balatonfüred és Balatonalmádi kistérség kivételével ezen

³⁶ LT Consorg Kft: A Balatoni turizmus fejlesztési koncepciója és programja (2005)

³⁷ Tourism Destination Management. A magyar szóhasználatban a térségi turisztikai menedzsment terjedt el.

szolgáltatások megközelíthetősége az ismert hazai lakossági térhasználati (utazási) szokások³⁸ miatt a régió területének többi részén a somogyi és a zalai megyeszékhelytől való távolságból fakadóan problematikus.

A területfejlesztési tanácsok az 1996. évi XXI. törvénynek megfelelően programjaikon és pénzügyi forrásaikon keresztül befolyásoló szereplői a régió munkaerőpiacának. A régió speciális helyzetéből adódóan 3 tervezési-statisztikai régió, 3 megyei fejlesztési tanács, valamint a Balatoni Regionális Idegenforgalmi Bizottság, illetve a Balaton Fejlesztési Tanács program területe, azonban a területi, ágazati fejlesztési elképzelések 2006-ig nem voltak egyeztetve, és kérdéses, hogy mikor, és miként kerülnek egymással valóban megnyugtató összhangba. Az 1999. január 1. és a 2003. december 31. közötti, BKÜ területére eső központi és regionális forráskihelyezések jelentős része esett kívül az adott időszakra érvényes fejlesztési stratégia által ajánlott fő prioritások körén. A meg nem felelés mértéke 6- és 36% közé esik, és növekvő sorrendben a megyei-, aztán a regionális területfejlesztési tanácsokat, minisztériumokat, végül a megyei közalapítványokat jellemzi.³⁹

A hatékony működéshez két további elem nélkülözhetetlen:

- a szervezetek megfelelő készségekkel és kompetenciákkal rendelkezzenek,
- a szervezetek kapcsolataik révén a feladatok ellátása mentén együttműködjenek, ezáltal működő rendszerre szerveződjenek.

Az együttműködésre való nyitottság és a stratégiai gondolkodás, tervezés hiánya erősen kihat a Balaton régió szervezetrendszerének hatékonyságára, hiszen a szervezetek azon képessége hiányzik, amely egy rendszerre szervezné a régió szervezeteit.

Az együttműködések megvalósulása két kritikus ponton a legkezdetlegesebb:

- Komoly hiányosságok tapasztalhatók a települési együttműködésekben. A többcélú kistérségi szerveződések megalakultak, munkájukat megkezdték, de a valós együttműködés, közös gondolkodás, fejlesztés, az érdekek összehangolása néhány kivételtől eltekintve nagyon kezdetleges szinten áll.

³⁸ Ld. Oláh Miklós. (2000) Adalékok a regionális identitás megrajzolásához. In: Glatz Ferenc (szerk.) (2000): Területfejlesztés és közigazgatás-szervezés. MTA, Bp.

³⁹ Dombi G., Oláh M., Retz T.: Pályázati úton történő központi és regionális forráskihelyezési gyakorlat 1999 és 2003 között a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben.

- Hiányos az együttműködés és kommunikáció az ágazatok, az érintett tervezési-statisztikai régiók, a megyék és a Balaton régió között. Mind a három tervezési-statisztikai régió elfogadja a Balaton egészére vonatkozó fejlesztések fontosságát, összehangolt megvalósítását, fontosnak tartja, hogy legyen gazdája a Balatonnak, hiszen fontos nemzeti kincs és jelentős turisztikai potenciál, sajátos problémákkal és lehetőségekkel. Ugyanakkor mind a három tervezési-statisztikai régióknak jelentős olyan területei vannak, amelyek eltérő mértékben ugyan, de hátrányos helyzetűek, ezért kevesebb figyelmet és forrást képesek fordítani a gazdaságilag fejlettebb balatoni térségre. A kooperációnak a szükséges mértékű fejlesztési források hiánya is akadályát képezi.

A koordinátlanság jeleit ma a legnagyobb mértékben talán az egymástól többnyire elkülönülten, szétaprózott, ágazati szemlélettel és érdekeltségekkel működtetett állami intézmények és vagyontárgyak viselik magukon. Integrációjukra már csak a tulajdonos állam valós érdekei szerint is mielőbb sort szükséges keríteni, amely fejlemény sürgető regionális érdek is egyben: A Balaton Fejlesztési Tanács (BFT) ezen önmaguk sorait megszervezni képes szektorok koordinátoraként tudná a leghatékonyabban ellátni speciális területpolitikai feladatait.

A BFT 1999. november 5-i megalakulása óta hétféle összetételben működött. Bár nem állítható, hogy a tanács különböző, területi-, intézményi-, hatalmi kötődésű tagjainak többséget élvező csoportjai pozíciójukkal bármikor is visszaéltek volna, érdemes azért ilyen szemmel is pillantást vetni a tagság összetételének átalakulására. 2002 szeptemberéig, vagyis háromféle összetételű tagság esetén, a helyi, kistérségi, tóval érintkező megyei szereplők élveztek többséget a tanácsban. Ha a vízvásztót a megyei és a regionális kötődésű tagok között húzzuk meg, akkor 2002–2003 telén kiegyenlítették voltak az erőviszonyok, 2003 februárjától viszont a regionális és a kormányzati szereplők élveznek többséget a BFT-ben.

A BFT előtt álló feladatok megtervezése az NFT–II időszakára való felkészülés jegyében a Balaton esetében is megtörtént. A 2007–2013-as tervezési időszakra vonatkozóan 2005 decemberében elkészült a Balaton Régió Területfejlesztési Stratégiája, Fejlesztési Programja, 2006-ban pedig a Balaton Régió Részletes Fejlesztési Terve. A tervek finanszírozása és menedzsmentje tekintetében azonban a partnerek között nincs konszenzus.

Az NFT-II időszakában megvalósítandó fejlesztések tervezésére a Kormány meghirdette a Balaton Zászlóshajó Programot (Egész évben Balaton). Kérdéses ugyanakkor, hogy a rendhagyó térségfejlesztés vonatkozásában milyen forrásokból, mely intézményi keretek között, miként valósulnak meg a térség fenntartható fejlesztését, versenyképessé tételét megcélzó tervek.

A három megyére, három fejlesztési-statisztikai régióra szabdalt idegenforgalmi régió jogi státuszát tekintve hivatalosan úgynevezett térségi tanács, funkcionális turisztikai területi egység, mely körülmény kontrasztjában jól kivehető jelei vannak viszont a spontán régióképződés informális megnyilvánulásainak. A Balaton Fejlesztési Tanács integrálókohéziós szerepe mellett nyilvánvalóan nem véletlen a települési önkormányzatok szövetségbe rendeződése (Balatoni Szövetség: 1904, 1991), mint ahogy a nonprofit szektor is hazai viszonylatban korán (2001. március 24.) hozta létre regionális szervezetét, a Balatoni Civil Szervezetek Szövetségét, a Balaton-parti Fürdőegyesületek Szövetsége pedig 105 éves múltra tekint vissza – megszakításokkal (1948–1992). E folyamat szintén érdekes eleme a BKÜ területén megtalálható öt történelmi borvidék hegyközségeinek 2003 februárjában történt Balatoni Borrégióvá alakulása, mely elhatározást a 62/2006 (IX.7.) FVM rendelet szentesítette a közelmúltban.

Más térségeket messze megelőzve 1990-ben mintegy 100 Balaton környéki vállalkozó az 1998. II. (ún. egyesülési) törvény alapján hozta létre a Balatoni Gazdasági Kamarát.

Alapszabályában a Kamara jogállásaként társadalmi szervezetként jelölte meg önmagát, amelyet a Balaton-parti kereskedelem, vendéglátás, idegenforgalom lebonyolításában részt vevő gazdálkodó szervezetek, intézetek, intézmények, egyéni cégek önkéntesen hoztak létre. Az 1994. XVI. (ún. kamarai) törvény megszületését követően a Balatoni Gazdasági Kamara kényszerűen „Balatoni Gazdasági Kör”-re változtatta nevét. A kötelező tagságú megyei kamarák térnyerésével a Balatoni Gazdasági Kör folyamatosan vesztett jelentőségéből. A tagvállalkozások sorában a '90-es évek elején végbemenő privatizáció sem kedvezett neki. E folyamat tudomásulvételeképpen 1998. május 25-én kelt levelükben kérték a Veszprém Megyei Bíróságtól a megszüntetésüket.⁴⁰

⁴⁰ A Kamara céljai, feladatai között jelölte meg a tagjait érintő érdekképviseleti, érdekegyeztetési, érdekközvetítő teendők mellett az etikai normák kialakítását és betartását, a térség gazdaságpolitikai koncepciójának kidolgozásában, a decentralizált

E hagyományok alapján a közelmúltban indított partnerségi program keretében zajlik a térség gazdasági szereplőinek közreműködésével a Balatoni Gazdasági Fórum megalakítása. A 2007. április 27-i, Siófokon megtartott nyitó rendezvényre 67-en fogadták el a meghívást.

Érdekes kísérlet a Balaton Fejlesztési Tanács munkaszervezete felkérésére a Balatoni Közlekedési Szövetség 2006-ban elkészített programja is.⁴¹ A régió közúti, vasúti, szárazföldi és légi tömegközlekedésének korszerűsítését és összehangolását célba vevő elképzelést a térség szereplőinek szimpátiája kíséri.⁴² Az EU által is támogatott megoldástól előzetes információk szerint a MÁV vezetői sem zárkoznak el.⁴³ A tervet a BFT 2007. május 24-i siófoki ülésén fogadta el.⁴⁴

A többnyire a megyékhez idomuló dekoncentrált államigazgatási szervek közül az egyik (FVM – Területi Főépítész) elemének illetékességi területét – helyesen – a BKÜ 164 (aztán 179) településéhez igazították. A korábbi osztott területi igazgatást meghaladóan 2004-től egységes hatósági intézményesültségű a régióban a természetvédelem (Balatoni Nemzeti Park Igazgatóság). A Magyar Távirati Iroda megyékre szervezett irodái és országos viszonylatban teljes lefedettségű tudósítói hálózata egyetlen ponton mutatott „következetlenséget”: az MTI-nek 2001–2004 között, illetve 2008-tól újra külön balatoni tudósítója is működik. Ezek a maguk nemében példaértékű döntések egyúttal arra is bizonyítékok, hogy a spontán regionalizmus adottságaira épülve igazgatástechnikailag kivitelezhető a BKÜ teljesebb értékű, valódi regionalizálása.

pénzalapok elbírálásában való részvételt, a nemzetközi kapcsolatok ápolását, a külföldi tőke beáramlásának elősegítését, ezzel is a balatoni kereskedelem, vendéglátás, idegenforgalom színvonalának elősegítését, a közvélemény tájékoztatását, az önkormányzatokkal, környezetvédelmi, egyéb társadalmi és érdekképviselői szervezetekkel való kapcsolattartást.

A nyújtandó szolgáltatások sorában a tanácsadást, gazdasági információkkal való tájékoztatást, a bel-, és külföldi kapcsolatépítés elősegítését, helyi vásárok, árubemutatók kezdeményezését és a külföldi vásárokon történő részvétel segítését említették.

⁴¹ Városi és Elővárosi Közlekedési Egyesület (VEKE)

⁴² BFT-határozat (42/2007. V. 24.) a Balaton Nagytérségi Közlekedési Stratégia és cselekvési program elfogadásáról.

⁴³ Suchman Tamás 2007. V. 24-i BFT ülésen adott tájékoztatója alapján.

⁴⁴ 42/2007. (V.24.) BFT határozat.

A közelmúltban végzett kutatások⁴⁵ eredményei azt bizonyítják, hogy a térség egészében (és nem csak a parton, bár ahhoz közeledve egyre erősebben) jelentős mértékű a polgárok Balatonhoz kötődése. A kapott identitásmutatók szerint az itt élők „balatonisága” a BKÜ területén alig kimutatható szintűre redukálja a máshol általános megyei identitást. Az üdülőkörzet felnőtt korú polgárainak 65%-a sorolja saját települését a Balaton régióhoz, 14% a Dél-Dunántúlhoz, 12% a Közép-Dunántúlhoz, 9% pedig Nyugat-Dunántúlhoz. A Balaton környéke önálló területi önkormányzatiságának ötletét 82% osztja, a Balaton régió önálló közigazgatási kategóriává tételével pedig a BKÜ állandó népességének 81%-a ért egyet és csupán 19% ellenzi azt. A régió önállóságának létjogosultságáról a térséghez kötődő hazai gazdasági, politikai és kulturális elit is ugyanilyen mértékben nyilvánít megegyező tartalmú véleményt.

Az önállóság mellett szóló értékek a parttól legtávolabb eső településeken is mindenhol többségi véleményt mutatnak. Az önálló területiség mellett kardoskodók soraiban a magasabb iskolai végzettségűek és a fiatalabb korcsoportokhoz tartozók jelentős mértékben felülreprezentáltak.

Mindezen körülmények részben arról is tanúskodnak, hogy – szemben az ország mesterségesen, a megyék csoportosításával nyert fejlesztési régióival – a Balaton térsége szerves szociológiai képződményt rejt magában, amelynek polgárai tisztában vannak a térség országos viszonylatban is jelentős gazdasági súlyával, de azzal is, hogy a környezetükben, közvetlenül vagy közvetve a közreműködésükkel létrejövő turisztikai produktum előnyeiből alulreprezentáltan veszik ki a részüket.

A balatoni identitás, mint rendhagyó jelenség, a valóban magával ragadó földrajzi-, természeti-kultúrtörténeti együtteshez való kötődés mellett e „periféria” esetenként szeparatizmusba hajló centrumellenes attitűdjével magyarázható még.

A közelmúltban megismert lakossági attitűdön túl, a régió státuszának dolgában a BFT hivatalos állásfoglalást alkotott a kérdésről, s a miniszterelnök részéről delegált új elnököt egy ideje csak azzal a feltétellel választja meg, ha az előbb hitet tesz az önálló Balaton régióra

⁴⁵ Oláh Miklós: (2007) A megtalált régió. Comitatus, 17. évf. 3. sz. 3–17.

törekvés mellett.⁴⁶ A Balaton-környék önkormányzatainak jelentős részét tömörítő Balatoni Szövetség (1904–1949, 1991–) állásfoglalása a kezdetektől máig egységesen autonómiapárti, amelyet a térség önkormányzati vezetőinek körében végzett hivatkozott felmérés azon eredményei is illusztrálhatnak, mi szerint a polgármesterek 82%-a az egységes és önálló, a területfejlesztési funkciókon túlmenő igazgatási, önkormányzati régiót ambicionál.

A régió meglehetősen nagy mértékű civil társadalmi (nonprofit) lefedettségéről feljebb szóltunk. A Balatoni Civil Szervezetek Szövetsége alapszabályában kezdetektől ott szerepel az önálló régió eszméjének képviselője. E cél elérése érdekében a Szövetség 2004 őszén ún. Kék-Zöld Szalag-mozgalmat indított.

Nagy jelentőségű a 19 tageszervezetben mintegy 6 ezer tagot számláló, üdültulajdonosok érdekeit képviselő Balaton-parti Fürdőegyesületek Szövetségének 2003. október 18-i, Balatonlellén hozott állásfoglalása alapján tett nyilatkozat a Balaton régió mielőbbi létrehozása érdekében. A Szövetség a demokratikusan létrehozott régió felállításának elveiről, szerveiről is szól. E szerint a régió legfőbb irányító szerve a Balatoni Állandó Konferencia, mely a három, egymástól markánsan elkülönülő oldalból (állami, önkormányzati, és üdültulajdonosok) áll.⁴⁷ A bár laikus tervezet fontos, rég számon tartott érdekellentéteket mutató feszültségeket rajzol ki. Ezek legfontosabbikában szavazati jogot követelnek maguknak a helyhatósági választásokon és a helyi népszavazásokon, illetve részönkormányzati jogosultságokra való igényt artikulálnak.⁴⁸ A Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. egy 2003-ban végzett felmérése szerint az üdültulajdonosok 41%-a tartja magát balatoni embernek, sokan élnének itt állandóan, soraikban jelentős arányban vannak olyanok, akik inaktív időszakokra tervezik végleges idetelepülésüket.

⁴⁶ 2007. 01.10-i megválasztásakor Suchman Tamás e felkérésnek nem tett eleget, 2009. június 12-én viszont már az önálló balatoni statisztikai régió szükségessége mellett érvel a „Szeressük a Balatont” c. Balatonfüreden megrendezett konferencián.

⁴⁷ Basa István, a Szövetség korábbi főigazgatója, 2006. május 20-i tisztújító közgyűlésük óta elnöke, május 22-én, a Balatoni Szövetség egy workshopján már Balatoni Parlamentet említett.

⁴⁸ A Balaton-parti Fürdőegyesületek Szövetségének Nyilatkozata, ld.: pl. Szemesi Újság, 2003. 12. 13. sz. 10. o.

Egy szintén új, a BFT felkérésére a hazai gazdasági, politikai és kulturális elit balatoni kötődéseit vizsgáló tanulmány⁴⁹ egyik legérdekesebb eredménye az, hogy az ezen elitcsoportokhoz sorolhatók négyötöde ért egyet a Balaton autonómiájával.

A Balaton önálló területi önkormányzatiságának, igazgatási önállóságának megvalósulása belátható időn belül nem sorolható a politikai realitások közé, a balatoni identitásban rejlő energiák, társadalmi aktivitás azonban jelentős szerepet játszhat a térség fejlesztésében.

A Balaton régió problémáiról szóló közbeszéd gyakori eleme az „önálló Balaton régió” szükségességének hangoztatása. A rendelkezésre álló kutatási eredmények alapján egyet lehet érteni azzal, hogy a térség gazdasági és társadalmi szereplőinek a lehetőségek szerinti minél nagyobb fokú önállóságra van szüksége ahhoz, hogy a régió elérje és megtartsa nemzetközi versenyképességét. Az önállóság mindenki által elfogadható formai és tartalmi kereteit azonban már nehezebb megadni. Mai területével és népességével a BKÜ nem lehet az európai területfejlesztés alapjául szolgáló NUTS–II-es kategóriába sorolt kedvezményezettégi területe, ennek alsó népességhatára ui. 800 ezer főnél kezdődik. A BKÜ területének további Balaton környéki kistérségek területével történő növelése (a szakmai indokoltságon túlmenően) azért sem jelentene megoldást, mert a BKÜ NUTS–II méretű területfejlesztési-statisztikai régióvá tétele már (éppen a szükséges népességszám miatt) ellehetetlenítené a vele ma érintkező három statisztikai-fejlesztési régió e státuszának megtartását.

Területi jellemzői és népességszáma alapján a BKÜ lehetne NUTS–III-ba sorolt megye. Kérdéses azonban, hogy ennek a változásnak mekkora a Balatonnal érintkező három megye polgárainak és vezetőinek körében mérhető támogatottsága. E változat vizsgálatakor a szükséges költség-haszon szempontú számítások eredményei szerint kérdéses, hogy a megyék közelmúltbeli és jelenlegi feladatainak és hatásköreinek ismeretében a Balaton megye rendelkezne-e a szükséges eszközökkel, vagyis hatáskörökkel és forrással.

Elemzéseink szerint a BKÜ olyan jól körülírható funkcionális régió, mely rendhagyó helyet foglal el az ország térségei között, és ennek megfelelően rendhagyó eszközöket igényel annak fejlesztése is. A

⁴⁹ Csité, Dombi, Oláh, Retz: (2007) A magyar gazdasági, politikai és kulturális elit balatoni kötődései. Kézirat.

Balaton térségét az itt végbemenő környezeti, gazdasági és társadalmi folyamatok sikerességében érdekelt partnerek együttműködése alapuló régiójává kell tenni. Olyan önálló operatív programmal rendelkező program-régióvá, amelynek működtetésében és fejlesztésében a szakpolitika tekintettel van a térség speciális igénybevételére és az ebből származtatható feladatokra, s melyben a balatoni fejlesztési elképzelésekkel, tervekkel, forrásokkal rendelkező partnerek maguk dönthetnek a térség jövőjéről. Ehhez fel lehet használni a már meglévő, fejlesztési feladatokra hasznos intézményi elemeket, némelyiküket (BFT) azonban alkalmassá kell tenni a hatékony feladatellátásra.

A jelenlegi jogszabályi és intézményi kereteken belül a meglévő (részben ezekből is levezethető) téves beidegződésekből és ellenérdekeltségekből adódó anomáliák (egymást átfedő feladat- és hatáskörök, a területi tervezés és a forráskoncentráció hiánya stb.) alapvetően a területpolitikai szereplők tevékenységének összehangolásával, együttműködéssel jelentős részben feloldhatók. Ennek eszköze a BFT, egyrészt a gazdasági, az állami és a magánszektor, másrészt a települési önkormányzatok, a kistérségek, az érintett három megye és három fejlesztési-statisztikai régió döntéshozatali és döntés-előkészítő szerveinek, valamint ügynökségeinek, illetve a kormány és az érintett tárcák kölcsönös előnyökön nyugvó, szerződésbe foglalt tartós együttműködése (tervszerződés). Nem másról van szó, mint arról, hogy a területfejlesztési törvény által a „térségi fejlesztési tanács” intézményi modelljére éppen az üdülőkörzet esetében kötelezően elrendelt, kijelölt és bevonható szereplőkkel és meghatározóan központi forrásokból működtetett modellt a feje tetejéről a talpára kell állítani. E természeti, gazdasági és társadalmi tulajdonságai alapján szerves régió hatékonyabb működtetése érdekében a fejlesztési intézményrendszert is alulról, vagyis a vállalkozások, a civil szereplők és az önkormányzatok szerepvállalásával együtt kell felépíteni, s ezt a képződményt tenni a központi és a regionális egyéb szereplők partnerévé. E partnerségi együttműködés kerete lehet egyfajta „balatoni parlamentként” a BFT, melynek hatáskörébe delegálhatnák az érintett partnerek a BKÜ területén értelmezhető idegenforgalmi-turisztikai fejlesztési, környezet- és természet-, valamint katasztrófavédelmi (esetleg egyéb) feladataik tervezését, programozását, monitorozását, az azokra szánt forrásokkal együtt. Mivel a forráskoordinációtól a koordinálatlan forrás-felhasználáshoz képest eleve előnyök remélhetők, az együttműködés

nyilvánvalóan pozitív végösszegű játszmaként írható le, az önkéntes cserék ezen túlmenően természetükből adódóan is eredményeznek allokatív hatékonyságot.

Mindez nem jelentené azt, hogy a megyék, régiók, ill. a kormány lemondanának a saját területükön megvalósuló területi fejlesztési folyamatok befolyásolásáról. BFT-be delegált tagjaik révén most is részt vesznek a folyamatokban (mivel a jelenlegi modellben a tagdíjon kívül semmit sem kockáztatnak, részvételük többnyire formális, aktivitásuk a delegált tag személyes ambícióinak, leterheltségének, szorgalmának függvénye csupán), de a tanácsban való részvételük csak most nyerne valódi értelmet. Nem másról van tehát szó, mint a regionális politika regionalizálásának egy speciális módjáról, melyben valódi esélyekkel valósulhatnának meg az olyan, ma még inkább csak hangoztatott, mint szem előtt tartott elvek, mint a decentralizáció, a szubszidiaritás, az adicionalitás vagy éppen a partnerség.

Az így működő, governance-típusú területpolitikai hatalomgyakorlás során az eddigi források felhasználásával is eredményesebb modellel lenne dolgunk, melynek révén jócskán növelhető a térség abszorpciós képessége és versenyképessége. A feljebb vázolt jövőkép-modell nem hagyhatja érintetlenül a Balaton Fejlesztési Tanács összetételét, vezetője, tagsága rekrutációjának módját, működésének kereteit és jellemzőit sem.

Mivel a térség versenyképességét garantáló folyamatok kulcsszereplői a helyi vállalkozások, szakmai és civil szervezetek, a helyi és területi önkormányzatok, a fejlesztési statisztikai régiók, ezért a Tanács összetételében biztosítani szükséges a térségi szereplők túlsúlyát.

A Tanács tagságában az eddigi hagyományoknak megfelelően helyet kaphat:

- a 3 területi (megyei) önkormányzat vezetője, azonban nem mint a kiüresített feladat-, és hatáskörű megyei területfejlesztési tanácsok elnökei, hanem mint a megyei önkormányzati elnökök.
- A területfejlesztési feladatok részbeni dekoncentráltága, illetve decentralizáltsága miatt indokolt, hogy a Tanács tagja legyen a 3-3-3 dunántúli megye és a kormány több szereplőjének munkáját koordináló, fejlesztési forrásokról döntő 3 regionális fejlesztési tanács elnöke (tehát nem képviselője).
- A kistérségi feladatellátás elterjedése, a többcélú kistérségi önkormányzati társulások teljes körű, területileg átfedésmentes

rendszerének kiépülése indokoltta teszik, hogy e társulások számára biztosított maradjon a Tanácsban való képviselet joga 3 képviselővel.

- Feltétlenül szükséges, hogy a Kormány a Balaton térségi területpolitikai céljainak képviselete céljából, összehangolva a területfejlesztésben érintett tárcák tevékenységét, képviseltesse magát 1 fővel a Tanácsban.

A fentiekén túl teljes jogú tagság kell, hogy megillessen minden, magát e területi léptéken (Balaton Kiemelt Üdülőkörzet) megszervezni képes gazdasági-, önkormányzati érdekérvényesítő, szakmai, illetve civil szervezetet is, vagyis

- a három megyei kereskedelmi és iparkamara 2007. 12. 11-i együttműködési megállapodása okán (ld. még: Balatoni Gazdasági Fórum) a térség vállalkozói szektorát,
- a térség egészében gondolkodni képes, 104 éves múltta visszatekintő önkormányzati szövetséget, a Balatoni Szövetséget,
- a Turisztikai Desztináció Menedzsmentszervezetek kiépülőben levő regionális szövetségének képviselőjét,
- a Balaton Borrégió képviselőjét,
- a BKÜ-ben regisztrált civil szervezetek területi szövetségeinek (Balaton-parti Fürdőegyesületek Szövetsége, Balatoni Civil Szervezetek Szövetsége, horgászegyesületek szövetségei) 1 közös képviselőjét,
- és esetleges további regionális szervezetek (pl.: Balatoni Regionális Közlekedési Szövetség, természet- és környezetvédő feladatokat ellátó, TDM-mintájú szerveződések) regionális szövetségének képviselőjét.

A BFT elnökét saját tagjai közül a Tanács választhatná kétharmados többséggel a választási ciklus időtartamával megegyező időre. Mivel a hatékonyabb munka elmélyültebb, strukturáltabb döntés-előkészítő munkát igényel, ezért megfontolandó a Tanács szakbizottságainak a létrehozása:

- Gazdasági és Pénzügyi Bizottság
- Turisztikai Bizottság
- Természet- és környezetvédelmi Bizottság
- Monitoring Bizottság

A bizottságokban a Tanács tagjaiból 1-1 fővel képviseltetheti magát a gazdasági érdekvédelmi, az önkormányzati, a turisztikai, a civil és a kormányzati oldal. A bizottságok munkáját állandó külső szakértő tagok erősíthetik.

Azzal természetesen egyet lehet érteni, ha a hazai NUTS-területbeosztás úgy alakulna át, hogy valamelyik statisztikai régióban a BKÜ egésze bekerülne.⁵⁰ Ez a változtatás azonban önmagában nem garantálná, csupán megkönnyíteni a fenti modellbe szervezett intézményi változat sikeres működését, vagyis a Balaton régió versenyképessé tételét és fejlesztésének fenntarthatóságát.

Bibliográfia

- BIFÜ Kht. TK. (2002) Az érintettek többségén nem múlik – Önkormányzati vezetők véleménye és javaslatai a Balaton régió területi kérdéseiről.
- BIFÜ Kht. TK. (2002) Akik állandóan itt élnek. A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet állandó, felnőtt népességének szociológiai vizsgálata 1.
- BIFÜ Kht. TK. (2002) Helyi és regionális identitás, környezettudatosság. A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet állandó, felnőtt népességének szociológiai vizsgálata 2.
- BIFÜ Kht. TK. (2002) A Balaton régió non-profit szektora.
- BIFÜ Kht. TK. (2002) Belföldi vendégforgalom a BKÜ-ben.
- BIFÜ Kht. TK. (2002) Külföldi vendégforgalom a BKÜ-ben.
- BIFÜ Kht. TK. (2003) A Balaton Kiemelt Üdülőkörzet területén kívüli székhellyel rendelkező mikro-, kis- és középvállalkozások üdülőkörzeten belüli érdekeltiségei és működésük szezonális jellemzői.
- BIFÜ Kht. TK. (2003) Szőlészek-borászok a Balaton borvidéken.
- BIFÜ Kht. TK. (2002) Csíte A., Kovács E., Oláh M.: A külföldi állampolgárok ingatlanszerzésének gazdasági és társadalmi hatása a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben (Transznacionális áramlások, és együttélési modellek a Balaton régióban). Balatonfüred.
- BIFÜ Kht. TK. (2003) Belföldi ingatlanulajdonlás a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben.
- BIFÜ Kht. TK. (2006) A magyarországi elit balatoni kötődései.
- Buday-Sántha A.: A Balaton-régió fejlesztése. Saldo, Bp., 2007.
- Csalagovits I. (2007) Parttalan viták a Balaton térségéről és a „Balaton szindróma” rejtett dimenziói. Comitatus 17. évf. 7–8. sz. 46–70.
- Csíte A., Németh N. Az emberi fejlődés indexének (HDI) alakulása a magyarországi kistérségekben (1994–2005).
- Forrásvíz Természetbarát Egyesület (2006) A balatoni nonprofit szektor helye és szerepe a civil társadalom fejlesztésében. NCA-kutatás.
- GKI Gazdaságkutató Rt. (2004 április) A Balaton térség nemzetgazdasági szintű jövedelemtermelő képességének vizsgálata.

⁵⁰ Elképzelések vannak pl. egy Somogy-Veszprém-Zala megyéből szervezett NUTS-II régióra, mely a Dunántúlon a Győr–Moson–Sopron – Komárom – Esztergom – Vas, illetve a Baranya – Fejér – Tolna megyéből álló NUTS-II régióval egészülne ki.

- Hablicsek L. (2003) A Balaton régió demográfiai jellemzői és népesség előre becslése, A Balatoni Integrációs és Fejlesztési Ügynökség Kht. megrendelésére készített tanulmány.
- Husz I. (2002) Az emberi fejlődés indexe. In: Lengyel Gy. (szerk.): Indikátorok és elemzések. Műhelytanulmányok a társadalmi jelzőszámok témaköréből. Budapest, BKÁE 23–34.
- Kalmár K., Oláh M. A kis- és középvállalkozói szektor és a regionális vállalkozásfejlesztés lehetőségei a Balaton környékén (VoxInfo Kft-vel közös munka)
- Kovács E., Csité A., Oláh M., Bokor I. (2004) Sziget a magyar tengeren: külföldi ingatlanulajdonosok a Balatonnál. Szociológiai Szemle 2004/3. sz. 79–107.
- Lőcsei H., Nemes Nagy J. (2003) A Balaton régió gazdasági súlya és belső térszerkezete in: Nemes Nagy J. (ed.): Kistérségi Mozaik. Regionális Tudományi Tanulmányok 8. ELTE Regionális Földrajzi Tanszék – MTA-ELTE Regionális Tudományi Kutatócsoport, Bp., 129–143.
- Lőcsei H., Németh N. (2006) A Balaton régió gazdasági ereje 1994–2004, Comitatus, 16. évf. 7–8. sz. 7–22.
- Balatoni Adaptációs Projekt. (2008) (GEF UNDP-BFT) Munkaanyagok.
- Oláh M. (2003) Egy rendhagyó régió helyi társadalmáról. Comitatus, 13. évf. 7–8. sz. 27–42.
- Oláh M. (2005) A Balaton térségének gazdasági-társadalmi jellemzői és regionális intézményfejlesztési alternatívái. Pécsi Egyetem (Politikai Tanulmányok II. szerk.: S. Szabó Péter).
- Oláh M. (2007) A megtalált régió. Comitatus, 17. évf. 3. sz. 3–17.
- Pályázati úton történő központi és regionális forrás kihelyezési gyakorlat 1999 és 2003 között a Balaton Kiemelt Üdülőkörzetben. (2003) Kutatási zárótanulmány. Balatoni Integrációs Kht.
- Schleicher V. (2007) Terek, képek, eszmék. A hagyományos kultúra és a hagyományhoz való viszony változatai a Balaton térségében. Comitatus, 17. évf. 7–8. sz. 124–159.



2000 -



