

# KÖRNYEZETI VÁLTOZÓK HATÁSA RÁKKÖZÖSSÉGEK SZERKEZETÉRE

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Baranyai Eszter**

**Témavezető: Prof. Dr. Padisák Judit**

*Intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA doktora  
Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet,  
Limnológia Intézeti Tanszék, Veszprém*

**Témavezető: Prof. Dr. G.-Tóth László**

*Tudományos tanácsadó, egyetemi tanár, az MTA doktora  
MTA ŐK Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany*

**Pannon Egyetem**

**Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola**

**Veszprém**

**2012**



## 1 Bevezetés

A Balaton zooplanktonját zömmel a Protozoa, a Rotatoria, a Crustacea, és a Mollusca-lárvák alkotják. Kutatásunk alanyai, az alsóbbrendű rákok a tó egyik legrészletesebben tanulmányozott szervezetei közé tartoznak. Mindezek mellett, a planktonikus rákok területi és vízoszlopon belüli elterjedését befolyásoló környezeti tényezők komplex vizsgálatára eddig még nem került sor. Különösen érdekes lehet, hogy a szél felkeverő hatásának olyannyira kitett Balatonban a turbulens áramlások miként befolyásolják a rákok életkörülményeit. A Balaton nagy kiterjedésű vízfelülete lehetővé teszi, hogy a szél nagy mennyiségű energiát adjon át a víztömegnek. Sekélysége (átlagosan 325 cm) következtében a kinetikai energia elnyelődésére csak kevés tér áll rendelkezésre, melynek következtében a tó vize általában erősen turbulens. A tengerekben és más tavakban sok kutatást végeztek arra vonatkozóan, hogy az élénk vízmozgás milyen hatást gyakorol a plankton fejlődésére, táplálkozására (Rotschild & Osborn 1988; Mackas et al. 1993; Alcaraz et al. 1994; Kiørboe & Saiz 1995; Lagadeuc et al. 1997; Incze et al. 2001; Lewis & Pendley 2001; O'Brien 2002, O'Brien et al. 2004). A Balatonban ilyen jellegű vizsgálatot még nem folytattak. Célul tűztük ki, hogy a tó eltérő vízmélységeiben megvizsgáljuk más környezeti paraméterek mellett a turbulencia hatását is a zooplanktont alkotó rákközösség egyedfejlődésére, mortalitására, és szerkezetére.

## 2 Célkitűzés

Kutatásunk célja a sekély, élénk hidrodinamikájú Balatonra jellemző turbulencia viszonyok és környezeti paraméterek feltérképezése, hatásuk vizsgálata a zooplankton társulás szerkezetére, elhelyezkedésére, a különböző fajok és egyedfejlődési stádiumaik fejlődési sebességére. A vizsgálatok kiterjedtek a tó eltérő környezeti adottságokkal rendelkező víztereire, valamint laboratóriumban hullámozás generátor műszerrel folytatott kísérletekre. A kutatási irányok a következők voltak:

1. A zooplankton minőségi és mennyiségi viszonyainak elemzése a Balaton eltérő kinetikai tulajdonságokkal rendelkező élőhelyein (pl. nádas, litorál, nyíltvíz);
2. A turbulencia a tó zooplankton állományára gyakorolt hatásának feltérképezése más környezeti paraméterek (pl. hőmérséklet, vízátlátszóság) jelentőségéhez képest;
3. A zooplankton vertikális vándorlásának 24 órás vizsgálata eltérő turbulencia viszonyok mellett (erősen szeles és szélcsendes időben);
4. Kísérleti rendszerben a turbulencia hatásának vizsgálata a különféle Cladocera és Copepoda rákok egyedfejlődésére és mortalitására.

### **3 Anyag és módszer**

#### **3.1 Zooplankton mintavétel és a minták feldolgozása**

A zooplankton mintákat heti gyakorisággal, a felszíntől lefelé félméterenként, 60  $\mu\text{m}$  lyukbőségű planktonhálóval ellátott 50 cm magas és 34 liter térfogatú Schindler-Patalas-féle mintavevővel vettünk a tó eltérő sajátságú medencéinek különböző vízmélységű pontjain. Az egyes mintákat 100  $\text{cm}^3$  térfogatban tömörítve 3,5 % végkoncentrációjú formalinnal tartósítottuk és Zeiss-Opton fordított plankton mikroszkóppal dolgoztuk fel. Minden esetben 5 ml-es almintákat véve minimum három párhuzamos számolást végeztünk. A meghatározás Gulyás & Forró (1999), Einsle (1993) és Flößner (2000) határozókönyvei alapján történt. Az egyedsűrűséget egyed  $\text{l}^{-1}$  egységben adtuk meg. Eltérő időpontokban a különböző mérőpontokon összesen 119 alkalommal végeztünk gyűjtést.

#### **3.2 A zooplankton tér- és időbeni eloszlásának vizsgálata a Balatonban**

A balatoni zooplankton szerkezetét 2006. áprilisától 2007. októberéig heti gyakorisággal vizsgáltuk különböző vízrétegekben az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Kutatóintézet (BLKI) előtti litorálban három helyen: a nádasban (vízmélység 55 cm), valamint onnan 25 m (vízmélység 220 cm), illetve 200 m távolságban (vízmélység 330 cm). Emellett vizsgáltuk a zooplankton közösségek szerkezetét a Balaton hossz tengelye mentén 5 mérőponton: Keszthely (vízmélység: 310-330 cm), Szigliget (400-410 cm), Zánka (430-440 cm), Tihany (410-430 cm), Siófok (430-460 cm), szintén vízrétegenkénti bontásban havi gyakorisággal.

### 3.3 A zooplankton napszakos vándorlásnak vizsgálata

A 2003-ban két 24 órás vizsgálat zajlott, szélcsendes, derült időben a Kutatóintézet előtt, a parttól kb. 800 m távolságban (vízmélység 270-280 cm). A mérésekre augusztus 4.-5.-én és augusztus 25.-26.-án került sor, 12, 15, 19, 23, 3, 7, 10, 13, 15 órai időpontokban. 2003-ban turbulencia mérés még nem volt.

2007-ben augusztus 18.-19.-én, 2 mérőponton, 17, 19, 3.30, 6.30, 11, 14.30 órakor történtek gyűjtések és turbulencia mérések. A 2007-es vizsgálat időpontját időjárási prognózis alapján úgy választottuk ki, hogy alkalmunk nyíljon a nap során egy előre jelzett, és beköszönő erős szél hatását megfigyelni a balatoni zooplankton vertikális szerkezetére. Az erősen szeles időjárás 18.-án este 20 óra után köszöntött be. A vizsgálatokat a különböző vízrétegek turbulenciája mérésével is kiegészítettük. Mind a mintavétel, mind a minták feldolgozása, valamint a turbulencia mérés megegyezett a heti mintavételeknél alkalmazott módszerekkel. 2007-ben az egyik mérőponton két mintavétel kimaradt a viharos időjárás miatt. A 24 órás mérések során a korábbi irodalmi adatokra támaszkodva (Entz & Sebestyén 1942; Ponyi & Tamás 1964; Ponyi & H. Péter 1986) a *Daphnia cucullata x galeata*, és az *Eudiaptomus gracilis* vertikális vándorlást vizsgáltuk. Meghatároztuk a zooplankton populációkra jellemző mindenkori átlagos tartózkodási mélységet (mean residence depth: MRD; Armengol & Miracle 2000):

$$MRD = \frac{\sum (N_i \times d_i)}{\sum N_i}$$

ahol  $N_i$  az  $i$ -edik mélységben mért egyedkoncentráció, és  $d_i$  az  $i$ -edik minta mélysége. A kapott MRD érték a populáció képzeletbeli súlypontját adja meg, azt jelzi, hogy a populáció nagy része milyen mélyen tartózkodik az adott időpontban.

### 3.4 A vizsgált környezeti változók

A zooplankton mintavétellel párhuzamosan a következő környezeti paramétereket vizsgáltuk Horiba U-10 típusú vízanalitikai mérőműszer segítségével: vízmélység, hőmérséklet, vezetőképesség, pH. Secchi-koronggal vizsgáltuk a víz átlátszóságát.

Mértük továbbá a különböző vízrétegekben a turbulencia értékeket. A turbulens kinetikai energiadisszipációs ráta és a Kolmogorov-távolság számításához a szélesebbesség adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat Siófoki Observatóriumától szereztük be.

### 3.4.1 Turbulencia mérés

A turbulencia mérés a zooplankton mintavétellel térben és időben párhuzamosan történt, 16 MHz-es MicroADV 3 D SonTek típusú Akusztikus Doppler Velociméterrel (ADV).

A mérések során a műszer szondafejét a kívánt mélységnek megfelelően egy 5 m hosszú rúdra rögzítettük, amelynek a végén nehéz vasgallérral ellátott ásó helyezkedett el. A szondafej az aljzattól és a rúdtól való megfelelő távolságát egy csúsztatható fémrögzítés biztosította. A szondafej rögzítése után a mérések alkalmával a csónakból a rudat a függőlegesen az üledékbe döftük. A vízoszlop fél méteres mélységeiben 10-10 perces mérést végeztünk a zooplankton mintavétellel párhuzamosan 50 Hz-en.

A turbulenciát a 3D turbulens sebesség-fluktuációk négyzetes középértékének gyökével (Root Mean Square, RMS-turbulence) jellemeztük és  $\text{cm s}^{-1}$  mértékegységben adtuk meg (Tennekes & Lumley 1972; Reynolds 1992).

$$RMS[V_x'] = \sqrt{(V_x')^2} = \sqrt{\frac{\sum V_x^2 - (\sum V_x)^2 / n}{n-1}}$$

A velociméterrel kapott 3D sebesség-idősorokat WinADV szoftverrel dolgoztuk fel.

A turbulens kinetikai energiadisszipációs rátát és a Kolmogorov-távolságot különböző szélességek és vízszintek mellett Tennekes & Lumley (1972) és MacKenzie & Leggett (1993) nyomán számoltuk ki. A turbulens kinetikus energiadisszipációt ( $\varepsilon$ ,  $\text{m}^2 \text{s}^{-3}$ ) a mintavételi pontok átlagos vízmélységével ( $Z$ ) és a szélességgel ( $W$ ) számoltuk MacKenzie & Leggett (1993) után:

$$\varepsilon = \left( \left( \frac{\rho a}{\rho w} \right) C_D \right)^{\frac{3}{2}} \times \left( \frac{W^3}{0,4 z} \right) \times \left( \frac{1 W \text{ m}^{-3}}{0,001 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}} \right) = (6,045 \times 10^{-6}) \frac{W^3}{z}$$

A szél sebességét ( $W$ ) a következő értékekben adtuk meg: 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 és 32  $\text{m s}^{-1}$ . A tó átlagos mélységeiként mintavételi pontjaink átlagos mélységével számoltunk, azaz 0,5; 2,2; 3,3; 4; 4,3; 4,45 m-rel. A levegő sűrűsége ( $\rho a$ ) 1,2  $\text{kg m}^{-3}$ , a víz sűrűsége ( $\rho w$ ) 998  $\text{kg m}^{-3}$ , a vízfelszín és a szél közötti ellenállási együttható ( $C_D$ ) 0,0015 és a von Karman állandó 0,4.

A turbulens kinetikus energiadisszipációs rátát a mintavételi pontok közepes vízmélységében a Taylor-egyenlettel (Luettich & Harleman 1990) is számoltuk:

$$\varepsilon = A \times RMS^3 l^{-1}$$

ahol az RMS az ADV velociméter által mért RMS-turbulencia, az A állandót 1-nek, és a helyi hosszúságot ( $l$ ) 25 cm-nek feltételeztük, ami a Balaton átlagos hullámmagassága (G.-Tóth et al. 2011).

A Kolmogorov-távolságot ( $\eta_k$ , mm) a disszipációs rátából ( $\varepsilon$ ) és a kinematikus viszkozitásból ( $\nu = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) számoltuk Tennekes és Lumley (1972) után:

$$\eta_k' = \left( \frac{\nu^3}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{4}}$$

### 3.5 Turbulencia generátoros kísérletek

O'Brien et al. (2004) nyomán a Pannon Egyetem Alkalmazott Gépészet Intézeti Tanszékének (Veszprém) közreműködésével turbulencia generátort terveztünk és készítettünk, hogy a turbulencia zooplanktonra gyakorolt hatását laboratóriumi körülmények között modellezhessük.

2006. októbertől és 2007. szeptembere között kilenc, 18-21 napos kísérletsorozatot hajtottunk végre a 64x64x96 cm-es, turbulencia generátorral ellátott kísérleti akváriumokban. A kontroll és a kísérleti akváriumokat 80 cm-es magasságig a Balatonból származó vízzel töltöttük fel, melyet 24 órán át ülepítettünk, és a kiülepített ásványi lebegőanyagot szivással óvatosan eltávolítottunk. A víz felső rétegében mozgott vertikális irányban a turbulencia generátor műanyag rácsozata (lyukbőség 5,8 x 5,8 cm) 1,033 s<sup>-1</sup> frekvenciával (Giovanni elektromos motor), 5 illetve 10 cm-es amplitúdóval. A kísérleteket megelőzően 3D Akusztikus Doppler Velociméterrel mindkét amplitúdó alkalmazása mellett feltérképeztük az akvárium turbulencia viszonyait, amelyet egymástól 10-20 cm távolságra elhelyezkedő képzeletbeli rácspontok mentén mértünk az adott vízoszlop 10 cm-enkénti mélységeiből. Az előzetes mérések alapján a 10 cm-es amplitúdójú rácsmozgás használata mellett döntöttünk, mely leginkább modellezte a Balatonra jellemző turbulencia viszonyokat. Az akvárium vízoszlopában így az RMS-turbulencia értékek, a kiszámított energiadisszipációs ráta, és a Kolmogorov-távolság a Balaton közepes vízmozgású vizének felelt meg.

A turbulens akvárium energiadisszipációs rátáját ( $\varepsilon$ , m<sup>2</sup> s<sup>-3</sup>) a rács által hullámoztatott akváriumokra kidolgozott egyenlet alapján (O'Brien et al. 2004) becsültük a rács legalsó helyzetétől számított 10 cm-es távolságokban:

$$\varepsilon = \frac{1}{\beta} \left( \frac{2C_1^2 + C_2^2}{3} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{M^{\frac{3}{2}} S^{\frac{9}{2}} f^3}{Z^4}$$

ahol a konstans értékek  $\beta = 0,1$ ;  $C_1 = 0,18 \pm 0,04$ ;  $C_2 = 0,22 \pm 0,05$ ; a rács lyukbősége  $M = 6$  cm, mozgási hossz  $S = 0,1$  m, a rács frekvenciája  $f = 1,033 \text{ s}^{-1}$  és  $Z$  a ráctól való távolság (m) volt.

A turbulens energiadisszipációs ráta Taylor-egyenlet szerinti becslését a terepi méréseknél tárgyaltak szerint számoltuk, ahol a legnagyobb örvény átmérőnek a hullámozgató készülék 5,8 cm lyukbőségét adtuk meg.

A Kolmogorov-távolságot ( $\eta_k$ ) a turbulens kinetikai energiadisszipációs rátából és a kinematikai viszkozitásból számoltuk a terepi méréseknél leírtak szerint.

Az akváriumot nappal 12 órán át mesterséges fényforrással megvilágítottuk, éjjel sötétben állt. A kísérleti hőmérséklet 16 - 25 °C volt. Az akváriumba vontatóhálójával gyűjtött és 1-2 napon át 50 l térfogatú műanyagbordókban adaptált balatoni zooplankton telepítettünk. A turbulens akvárium mellett kontrollként egy 75x75x100 cm-es akváriumot használtunk fel, amelybe a kísérleti akváriumhoz hasonló környezeti viszonyok mellett arányosan hasonló mennyiségű zooplankton telepítettünk. Az elpusztult zooplankton a kísérlet megkezdése előtt leszívással eltávolítottuk az akváriumok aljáról. A zooplankton etetésére mind két akváriumban laboratóriumban tenyésztett *Selenastrum capricornutum* és *Chlamydomonas reinhardti* zöldalgát adagoltunk két naponta (algaszám:  $7-8 \times 10^6$  egyed  $l^{-1}$ ). A kontroll és a kísérleti akváriumból kétnaponta vettünk zooplankton mintát 60  $\mu\text{m}$  lyukbőségű, a teljes vízoszlopot átszűrő vertikális planktonhálójával. A mintavételek alkalmával alkalmanként 8 liter vizet szűrtünk át, amelynek zooplankton tartalma a mintavevő 175 ml térfogatú rozsdamentes acél tölcserében koncentrált. Az így kapott mintából 10 ml térfogatú mennyiséget 70%-os alkohollal tartósítottunk, és a maradékot visszaöntöttük az akváriumba. Minden alkalommal három párhuzamos mintát vettünk. A zooplankton Zeiss-Opton fordított plankton mikroszkóppal számláltuk.

A rendelkezésre álló algák mennyiségét is rendszeresen ellenőriztük direkt számlálással a fenti mikroszkóppal. Rendszeresen mértük továbbá az akváriumok vizének vezetőképességét és oldott oxigén tartalmát. Az oldott oxigén koncentráció 60-91% (kontroll akvárium) és 70-95% (kísérleti akvárium) körül, a vezetőképesség  $\sim 760 \mu\text{S cm}^{-1}$  körül mozgott.



A kilenc kísérlet eredményeinek értékelésénél az egyes fajok és lárvastádiumok abszolút egyedszámának (egyed l<sup>-1</sup>) alakulását és a kísérleti/kontroll egyedszám arányok alakulását értékeltük.

## 4 Tézisek

- 1 A környezeti paraméterek vizsgálata során megállapítottuk, hogy a Balaton eltérő vízmélységű medencéiben a Secchi átlátszóság és a turbulencia értékeiben jelentős különbségek mutatkoztak. A víz átlátszósága a tó medencéiben keletről nyugati irányba haladva csökkent. Az RMS-turbulencia értékek a Szigligeti-, és a Keszthelyi-medencében voltak a legmagasabbak. Az RMS-turbulencia a szél- és hullámozás mentes tóban 1,1 - 1,5 cm s<sup>-1</sup> körüli, 100 - 200 cm s<sup>-1</sup> szélesség és enyhe hullámozás mellett pedig 1,5 - 3 cm s<sup>-1</sup> volt. 400 - 600 cm s<sup>-1</sup> szélesség, és az ehhez tartozó felszíni hullámozás közepette pedig 4 - 13 cm s<sup>-1</sup> RMS-turbulenciát mértünk. Az eltérő mélységű vízoszlopok turbulencia viszonyainak vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a nádas előtti, illetve a 2 méter körüli vízréteg könnyen felkeveredik, és az aljzat felé haladva a különböző mélységek között általában nem alakul ki olyan kisebb turbulenciájú réteg, ami a zooplankton társulás szempontjából kedvező lenne. A 3 - 4,4 méteres vízoszlopok esetében a szél felkeverő hatása csak kisebb mértékben érvényesül, az egyes vízrétegekben nagy eltéréseket mutató turbulencia értékek alakulnak ki, ami lehetőséget nyújt a zooplankton társulások rétegződésére. Az energiadisszipációs ráta értékei a kétféle becslés alapján a tóban 1,70 10<sup>-7</sup> és 3,60 10<sup>-1</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-3</sup> között, illetve 2,4 10<sup>-4</sup> és 2,5 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-3</sup> között változtak, a sekélyebb vízoszlopban sokkal nagyobbak bizonyultak, mint a tó mélyebb víztereiben. A szigligeti és keszthelyi mintavételi pontok esetében megfigyelhető kiugró értékek alapján a Balaton e területei fokozottan ki vannak téve a turbulencia felkeverő hatásának. A 3,25 m átlagos vízmélységű, nagy felszíni kiterjedésű Balatonban kevés tér áll rendelkezésre a szél keltette energia elnyelődésére. A kétféle energiadisszipációs értékekből számolt Kolmogorov-távolság értékek 0,25 – 0,42 mm, illetve 0,15 és 0,27 mm között alakultak. A tóban a legkisebb örvények átmérője sokkal kisebb, a turbulens nyírófeszültségek értéke pedig sokkal nagyobb, mint a mélyebb tavakban, illetve a tengerekben.

Mivel a balatoni zooplankton mérettartománya átlagosan 0,25 - 2,5 mm közé esik, az adatokból kitűnik, hogy a Kolmogorov-távolság a Balaton vízterében a vízmélység és a szélesség függvényeként gyakran olyan mérettartományba esik, amely a zooplankton méretével megegyezik. Szakirodalmi adatok alapján a planktonszervezetek nagysága egy adott víztestben nem lehet nagyobb a felszíntől lefelé terjedő turbulens áramlások legkisebb átmérőjénél, ellenkező esetben az érzékenyebb planktonszervezeteket a rájuk ható nyírófeszültség roncsolja. Számításaink alapján kapott Kolmogorov-távolságok szerint a Balaton turbulens viszonyai gyakran kedvezőtlen környezetet teremtenek a zooplankton társulás számára.

- 2 A zooplankton egyedsűrűsége a nyugati medencék felől a keletiek felé haladva csökkent. A planktonikus rákok vízmélység szerinti eloszlása fajonként és fejlődési stádiumonként egyedi sajátosságokat mutatott. A nauplius lárvák aránya a parti sávban majdnem a duplája volt a nyíltvízben tapasztaltnak. A Cladocera fajok esetében ellentétes tendencia volt megfigyelhető, arányuk a nyíltvízben mintegy háromszorosa volt a litorális övben tapasztalhatónál. A Copepoda esetében nem figyelhető meg egységes tendencia, fajonként eltérő képet kaptunk. A nyíltvízhez képest az *Eudiaptomus gracilis* előfordulása csökkent a litorális zónában. A Cyclopoida százalékos arányában nem mutatkozott számottevő különbség a mintavételi pontok között.
- 3 Az elemzések alapján a zooplankton társulás szerkezetére, egyedszámára az évszakos és a területi hatás mellett a turbulencia, a vízmélység, a napszak, a Secchi átlátszóság, a vízhőmérséklet, és a zooplankton ragadozó fajok, mint másodlagos befolyásoló tényezők hatottak. A felsorolt tényezők jelentősége az egyes planktonikus csoportok esetében nagyon eltérő volt. A zooplankton egyedszám változásával szoros összefüggést mutatott a vízhőmérsékleti adatok szezonális mintázata. A környezeti tényezők közül az egyes Cladocera fajok (pl. *Alona affinis*, *Diaphanosoma brachyurum*), a fejlődési stádiumok és a petés nőstények esetében a hónapoknak, és a napszakoknak volt döntő hatása. A *Cyclops vicinus* és a *Leptodora kindtii* ragadozó fajok jelenléte a többi környezeti paraméter hatásához képest elhanyagolható volt. A Secchi átlátszóság legerősebben a Cladocera csoportra gyakorolt hatást. A vízhőmérséklet két rákcsoportot érintett, a Cladocera fajokat és a *Mesocyclops leukarti*-t.
- 4 A zooplankton szervezetek eltérő érzékenységet mutattak a turbulencia hatásával szemben. A turbulencia a szűrő szervezetekhez tartozó Cladocera fajok, és kisebb mértékben a Copepoda *Eudiaptomus gracilis* egyedfejlődésére, mortalitására és térbeli elhelyezkedésre gyakorolt jelentős hatást.

E jelenség hátterében a szakirodalmi adatok alapján a turbulencia élénkülésével megnövekedő lebegőanyagoknak a táplálkozás hatékonyságára gyakorolt negatív hatása, valamint a nyírófeszültségek roncsoló hatása áll.

- 5 A 24 órás terepi megfigyelésekből megállapítható, hogy a *Daphnia cucullata x galeata*, valamint az *Eudiaptomus gracilis* szélsőséges időben napi vertikális vándorlást végez, melynek során napközben a mélyebb vízrétegekben tartózkodnak, éjszaka pedig vízrétegenként egyenletesen helyezkednek el. Eredményeink szerint a Balatonban  $3 - 3,5 \text{ cm s}^{-1}$  -os RMS-turbulencia tartományban kezdődik a zooplankton vertikális rétegzettségének felbomlása, amely a szeles napok aránya alapján gyakori jelenség a tóban. A zooplankton vízrétegenkénti eloszlásában a különböző vízmélységű mintavételi pontok között különbséget tapasztaltunk, a mélyebb víztestben az állatok egyenletesebben helyezkedtek el, míg a sekélyebb vízben az állatok zöme a középső 100-150 cm-es vízrétegben tartózkodtak.
- 6 Laboratóriumi vizsgálataink alapján a balatoni zooplankton fajösszetételére, az egyedek mortalitására kevés lebegőanyag tartalom mellett is erősen hat a turbulencia. A turbulens és a kontroll akvárium zooplankton állományának összehasonlítása alapján a Cladocera rákok bizonyultak a legérzékenyebbeknek a turbulencia kedvezőtlen hatásával szemben.

## 5 Irodalomjegyzék

- Alcaraz M., Saiz E., Calbet A. (1994): Small-scale turbulence and zooplankton metabolism: Effects of turbulence on heartbeat rates of planktonic crustaceans. *Limnology and Oceanography* 39: 1465-1470.
- Armengol X., Miracle M. R. (2000): Diel vertical movements of zooplankton in lake La Cruz (Cuenca, Spain). *Journal of Plankton Research* 22: 1683-1703.
- Einsle U. (1993): Crustacea, Copepoda: Calanoida und Cyclopoida, Gustav Fischer Verlag Stuttgart Jena New York.
- Entz G., Sebestyén O. (1942): A Balaton élete, Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest.
- Flößner D. (2000): Die Haplopoda und Cladocera Mitteleuropas. Backhuys Publishers, Leiden.
- Gulyás P., Forró L. (1999): Az ágascsapú rákok kishatározója 2. bővített kiadás, Környezetgazdálkodási Intézet.
- G.-Tóth L., Párpala L., Balogh Cs., Tátrai I., Baranyai E. (2011): Zooplankton community response to enhanced turbulence generated by water-level decrease in Lake Balaton,

- the largest shallow lake in Central Europe. *Limnology and Oceanography* 56: 2211-2222.
- Incze L. S., Hebert D., Wolff N., Oakey N., Dye D. (2001): Changes in copepod distributions associated with increased turbulence from wind stress. *Marine Ecology Progress Series* 213: 229-240.
- Kjørboe T., Saiz E. (1995): Planktivorous feeding in calm and turbulent environments, with emphasis of copepods. *Marine Ecology Progress Series* 122: 135-145.
- Lagadeuc Y., Boulé M., Dodson J. J. (1997): Effect of vertical mixing on the vertical distribution of copepods in coastal waters. *Journal of Plankton Research* 19: 1183-1204.
- Lewis D. M., Pedley T. J. (2001): The influence of turbulence on plankton predation strategies. *Journal of Theoretical Biology* 210: 347-365.
- Luetlich R. A., Harleman D. F. (1990): A comparison between measured wave properties and simple wave hindcasting models in shallow water. *Journal of Hydraulic Research* 28: 299-308.
- Mackas D. L., Sefton H., Miller C. B., Raich A. (1993): Vertical habitat partitioning by large calanoid copepods in the oceanic subarctic Pacific during spring. *Progress in Oceanography* 32: 259-294.
- MacKenzie B. R., Leggett W. C. (1993): Wind based models for estimating the dissipation rates of turbulent energy in aquatic environments: empirical comparisons. *Marine Ecology Progress Series* 94: 207-216.
- O'Brien K. (2002): The effect of turbulent mixing on vertical distribution and biomass of phytoplankton populations, PhD. Thesis, Centre for Water Research, University of Western Australia, Crawley, 6009 Australia.
- O'Brien K. R., Meyer D. L., Waite A. M., Ivey G. N., Hamilton D. P. (2004): Disaggregation of *Microcystis aeruginosa* colonies under turbulent mixing: laboratory experiments in a dried-stirred tank. *Hydrobiologia* 519: 143-152.
- Ponyi J., Tamás G. (1964): Napszakos változások vizsgálata a tihanyi Belső-tó fito- és zooplanktonjában. *Állattani Közlemények* 51: 105-124.
- Ponyi J., H. Péter I. (1986): Az *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars) napszakos vertikális vándorlása a Balatonban, *Állattani Közlemények* 73: 69-77.
- Reynolds C. S. (1992): Turbulent Intensity and dissipation rate. In: Giller, P.S., Hildrew, A.G. and Raffaelli, D.G. (Eds): *Aquatic ecology, scale, pattern and process*. The 34th Symposium of the British Ecol. Soc. Univ. Coll. Cork. Blackwell Sci. Publ. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna.
- Rotschild B. J., Osborn T. R. (1988): Small scale turbulence and plankton contact rates. *Journal of Plankton Research* 10: 465-474.

Tennekes H., Lumley J. L. (1972): A first course in turbulence. The MIT press, Cambridge, Massachusetts 1-310.

## 6 A Tudományos tevékenység adatai

### 6.1 Publikációk

- Baranyai E., Forró L. (2004): Rekonstruált szikes tavak Cladocera és Copepoda faunájának összetétele, szezonális dinamikája és összefüggése a vízkémiai paraméterekkel. 2. Szünzoológiai Szimpózium, Budapest, 12-13.
- Baranyai E., Forró L., Herzig A. (2004): Artenzusammensetzung und saisonale Dynamik der Cladocera- und Copepoda-Fauna in künstlichen Natrongewässern. Archives des Sciences, IF: 0,261.
- Baranyai E., Forró L. (2006): Cladocera-Copepoda fauna kapcsolata a fizikai-vízkémiai paraméterekkel rekonstruált szikes tavakban. Hidrológiai Közlöny 86 (6): 42-44.
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2007): Az egyes zooplankton fajok és fejlődési stádiumaik viszonya a könnyen felkeveredő Balaton turbulenciájával. Hidrológiai Közlöny 87 (6): 14-17.
- G.-Tóth L., Parpala L., Baranyai E., P. Klein T. (2008): A zooplankton tömege és termelése 1999 és 2007 között a Balatonban. Hidrológiai Közlöny 88 (6): 58-61.
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2008): Kritikus turbulencia tartományok vizsgálata a balatoni zooplankton szempontjából. Hidrológiai Közlöny 88. (6): 18-21.
- G.-Tóth L., Parpala L., Baranyai E., Balogh Cs. (2009): A turbulencia növekedés hatása a zooplanktonra a vízszint csökkenésekor. Hidrológiai Közlöny 89 (6): 12-14.
- G.-Tóth L., B. Muskó I., Balogh Cs., Baranyai E., Parpala L., Szalontai K. (2009): A balatoni zooplankton struktúrája és funkciója 1999 és 2008 között. In: Bíró P., Banczerowsky J: A Balaton-kutatások fontosabb eredményei 1999-2009. Budapest: MTA, 2009. 82-96.
- Baranyai E., G.-Tóth L., Homonnay Z. G. (2009): A balatoni zooplankton vertikális szerkezetének napszakos változása eltérő turbulencia viszonyok között. Hidrológiai Közlöny 89 (6): 9-11.
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2010): The influence of turbulence on vertical distribution of zooplankton in shallow, kinetic Lake Balaton (Hungary). Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 30 (10): 1505-1508.

- G.-Tóth L., Parpala L., Baranyai E., B. Muskó I., Balogh Cs. (2010): A *Dreissena* lárvák tömegének változása a Balatonban (1999-2009). *Hidrológiai Közlöny* 90 (6): 29-31.
- Baranyai E., G.-Tóth L., Vári Á., Homonnay Z. G. (2011): The effect of variable turbulent intensities on the distribution of zooplankton in the shallow, large Lake Balaton (Hungary), *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 400: 07, IF: 0,304
- G.-Tóth L., Parpala L., Balogh Cs., Tátrai I., Baranyai E. (2011): Zooplankton community response to enhanced turbulence generated by water-level decrease in Lake Balaton, the largest shallow lake in Central Europe. *Limnology and Oceanography* 56: 2211-2222, IF: 3,385

## 6.2 Prezentációk

- Baranyai E., Forró L. (2004): Rekonstruált szikes tavak Cladocera és Copepoda faunájának összetétele, szezonális dinamikája és összefüggése a vízkémiai paraméterekkel. 2. Szünzoológiai Szimpózium, Budapest, márc. 8-9. Poszter
- Baranyai E., Forró L. (2005): Cladocera-Copepoda fauna kapcsolata a fizikai-vízkémiai paraméterekkel rekonstruált szikes tavakban. XLVII: Hidrobiológus Napok, október 5-7. Poszter
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2006): Az egyes zooplankton fajok és fejlődési stádiumaik viszonya a könnyen felkeveredő Balaton turbulenciájával. XLVIII: Hidrobiológus Napok, október 4-6. Poszter
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2007): Kritikus turbulencia tartományok vizsgálata a balatoni zooplankton szempontjából. XLIX. Hidrobiológus Napok, október 3-5. Poszter
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2007): The influence of turbulence on the vertical distribution of zooplankton in the shallow lake Balaton (Hungary). 30th Congress of the International Association of Theoretical and Applied Limnology, August 12-18, Montreal (Canada). Poszter
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2008): The effect of turbulence on zooplankton assemblages in shallow lake Balaton (Hungary). Shallow Lakes Conference, 2008. 11. 23-28. Punta del Este (Uruguay). Poszter
- Baranyai E., G.-Tóth L. (2008): A balatoni zooplankton vertikális szerkezetének napszakos változása eltérő turbulencia viszonyok között. L. Hidrobiológus Napok, október 1-3. Előadás