

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
Természettudományi és Informatikai Kar
Környezettudományi Doktori Iskola
Ökológiai Tanszék

**AZ AKVAKULTÚRA HATÁSA A
ZOOPLANKTON KÖZÖSSÉGEK
SZERVEZŐDÉSÉRE**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

TÓTH FLÓRIÁN

Témavezető: Dr. Körmöczi László
Dr. Kerepeczki Éva



Szeged
2022

1. Bevezetés és célkitűzés

A növekvő mezőgazdaság és az akvakultúra a természet értékeit és forrásait próbálja kiaknázni a folyamatosan növekvő emberi populáció élelmezésének biztosítására. A mezőgazdasági kutatások fő iránya emiatt a növekvő igény kiszolgálására irányul, hogy minél gazdaságosabb és fenntartható legyen. Nem mehetünk el szó nélkül amellett, hogy ezzel párhuzamosan legalább olyan fontos a kizsákmányolás és a természetkárosítás elkerülése, minimalizálása. Így a termelés fokozására irányuló kutatások mellett legalább olyan fontos a természetre gyakorolt növekvő hatás elemzése, valamint a káros hatások csökkentési lehetőségeinek vizsgálata. A természetes életközösségek, mint a vizes élőhelyek is, minden elemükkel védendők. Az együtt élő élőlények sokaságában mindegyiknek megvan a saját helye, nem nevezhetjük egyiket sem feleslegesnek vagy fontosabbnak a másiknál. A rendszer stabilitásához, a megfelelő anyag- és energiaáramláshoz, valamint a biológiai sokféleség megőrzéséhez mind hozzájárulnak. A természet forrásainak a mezőgazdaság számára történő haszonvételével megváltoztatjuk a rendszer abiotikus, élettelen környezeti feltételeit, ami az életközösségek struktúrájában is kedvezőtlen változást okozhat. Ezzel a rendszer stabilitását kockáztatjuk. Mindezek miatt kellő hangsúlyt kell fektetnünk az agroökológiai kutatások fontosságára is. Az akvakultúra termelés is hatást gyakorol a természetes ökoszisztémákra, emiatt fontos, hogy vizsgálat tárgyát képezze. Ennek a termelésnek, valamint a természetes rendszereknek is fontos elemét képezik a zooplankton közösségek, mivel egyrészt a termelt halak természetes táplálékát, valamint a természetes vízi ökoszisztémák energia piramisának is nélkülözhetetlen elemét jelentik.

Dolgozatomban célul tűztem ki egy komplex, rendszerszintű elemzés elkészítését az akvakultúra és a zooplankton közösségek kapcsolatára nézve. Vizsgáltam közvetlenül a tógazdasági haltermelés halastavi közösségeit eltérő takarmányok hatásai szerint, egy intenzív, átfolyóvizes rendszerű, afrikai harcsanevelő (*Clarias gariepinus*) telepről származó elfolyóvíz „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”-rel való kezelése során kialakult közösséget, valamint a Békésszentandrás (Kákafoki) Holt Körös, mint a természetes

befogadó víztest közösségeit. Utóbbihoz olyan funkcionális és filogenetikai megközelítéseket is használtam, ami a modern ökológiában egyre inkább előtérbe kerül. Dolgozatom alap hipotézise szerint tápanyagdús környezetben kevésbé diverz közösségek alakulnak ki, mint tápanyagszegényebb viszonyok között. E hipotézis mentén következő kérdésekre keresem a választ:

- Van-e különbség a kereskedelembe kapható halliszt és halolaj tartalmú haltáp, egy kísérleti növényi olaj alapú haltáp, valamint a hagyományos szemes takarmány tógazdasági használata mellett kialakult zooplankton közösségek között?
- Okoz-e az említett kísérleti haltáp olyan terhelés a zooplankton közösségekre, ami alapján annak halastavi alkalmazhatósága megkérdőjelezhetővé válik?
- Milyen zooplankton közösség alakul ki egy intenzív akvakultúrából származó, tápanyaggazdag elfolyóvíz kezelését végző „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer” tavaiban?
- Az akvakultúrából származó elfolyóvíz hogyan befolyásolja a természetes befogadó víztér kerekeshéreg közösségeinek funkcionális, filogenetikai és taxondiverzitását?

3. Anyag és módszer

3.1 Vizsgálati és mintavételi helyek.

A Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem – Halászati Kutató Központ (MATE - HAKI) (Korábban Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Halászati Kutatóintézet) központi telepének nettó tóterülete 90 497 m². Általánosságban elmondható, hogy a tavak tavasszal kerülnek feltöltésre, és télen lecsapolásra. A tavak feltöltése és leengedése az intézet szomszédságában levő Szarvas – Békésszentandrás (Kákafoki) Holt-Körösből, illetve a holtágba vissza történik. Ebből a tómenyiségből 4 tó, összesen 11 871 m² területtel egy kísérleti, ún. „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”-ként üzemel, mely működése során egy intenzív, elfolyóvízes afrikai harcसानेवő telep (*Clarias gariepinus*) elfolyóvizét kezeli, ami szivattyúzás során kerül a rendszerbe. A kezelt víz a vízkezelő rendszerből folyamatosan, gravitációs úton folyik tovább az említett holtágba.

Ennek a komplex rendszernek három különböző tápanyagellátottságú egységében történtek vizsgálatok a zooplankton közösségekre nézve. Ezek a következők:

- Halastavi kísérletben eltérő pontytakarmányozás mellett felnövő zooplankton közösségek (későbbi említés: Halastavi kísérlet).
- Intenzív afrikai harcsanevelő telep elfolyóvizét kezelő „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer” egyik távában vizsgált zooplankton közösség (későbbi említés: „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”).
- A MATE-HAKI kísérleti tavainak és a „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”-ből kijutó elfolyóvíz befogadó vízterét jelentő, a Szarvas – Békésszentandrási (Kákafoki) Holt-Körös különböző pontjainak kerekeselegre vizsgálata (későbbi említés: Kákafoki Holt-Körös).

3.1.1 Halastavi kísérlet

A halastavi vizsgálat egy ponty takarmányozási kísérlet során történt. Ennek elsődleges célja a halliszt alapú kereskedelembe kapható takarmány, egy kísérleti növényi liszt- és olaj alapú takarmány és a hagyományos szemes takarmány halakra gyakorolt hatásának összevetése volt. Minden ilyen kísérletnek fontos eleme egy környezeti hatásvizsgálat, így vízkémiai és zooplankton összetételi vizsgálatok is történtek. A kísérletet egységes méretű halastavakban végeztük a MATE HAKI kísérleti tavaiban 2015-ben. A tavak átlagos területe $1754 \pm 74 \text{ m}^2$, az átlagos mélység 1,3 méter volt. A kísérlethez használt takarmányt a halak félig intenzív tenyésztési körülményeinek megfelelően állítottuk össze. A két takarmány közötti fő különbség a halliszt és a szója tartalmában van. A harmadik típusú takarmány a gabonafélék voltak, amelyet Magyarországon hagyományosan használnak. A kísérletet kilenc földmedrű tóban végeztük, takarmányonként három ismétléssel. A tavakat a közeli Kákafoki Holt-Körösből töltötték fel. Minden tóban 200 db 2+ éves ponty (átlagos súly: $745 \pm 80 \text{ g}$) egyed volt.

3.1.2 A „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”

A létesített vizes élőhelyi kísérleti vízkezelő rendszert a MATE - HAKI központi telepének négy földmedrű halastavából

alakították ki 2000-ben. A rendszer egységeinek alapterülete egyenként megközelítőleg 2500 m², összesen 1 ha; a vízmélység az első két tóban átlagosan 1,5 m, a vízinövényes tavakban 50 cm volt. A tavak 2001 óta folyamatosan működnek. 2011-ig a haltermelő telep vizét részlegesen kezelte. 2012-ben a W1, W2 egységek felújításra kerültek. 2013-tól a telep szabályozza a tavakra kerülő víz mennyiségét. Az afrikai harcसानevelő telep elfolyóvizét közvetlenül a W1 jelzésű stabilizációs tóba szivattyúzzák, amelynek mennyiségét napi szinten regisztráltam. Ez 2016-ban összesen közel 333 500 m³, míg 2017. első felében megközelítőleg 177 000 m³ volt. Innen gravitációs úton jutott tovább a víz a W2 jelzésű stabilizációs tóba, ahonnan párhuzamosan a W3 és W4 jelzésű vízinövényes egységekbe folyt. Mintavételeim a W2 jelzésű tóból történtek.

A vízi makrofitákkal telepített tavak közül a W3 jelzésűben a közönséges nád (*Phragmites australis*), míg a W4 jelzésűben gyékény fajok (*Typha latifolia* és *Typha angustifolia*) dominanciája tapasztalható a nád terjedése mellett. A vizsgálat évében a tavakba haltelepítés nem történt. Az ezekből az egységekből kifolyó kezelt víz közös kivezető csatornában egyesül, és jut a MATE HAKI L1 csatornáján keresztül a Kákafoki Holt-Körös vizébe.

3.1.3 Kákafoki Holt-Körös

A Szarvas és Békésszentandrás településeket összekötő Kákafoki-holtág a Tisza vízgyűjtőjének legnagyobb területű ármentesített holtága és egyben Magyarország ötödik legnagyobb állóvize. 29 km hosszú, 207 hektáron terül el, átlagos mélysége 2,2 m, 4,5 millió m³ vizet tart. A tó szemipaleopotamikus, ahol az élő folyótól átpumpálva lehetőség van a víz kiegészítésére vagy pótlására. A holtágat az év elején feltöltik, év végén téli szintre engedik. E két esemény között jelentős vízmozgás vagy áramlás nincs, ezért állóvíznek tekintetem. Így a fajok beáramlása az év során nem lehetséges. A holtág a szárazföldi felesleges és öntözővíz tárolására, valamint különféle tevékenységekre (horgászat, halászat, vízi sportok és rekreáció) szolgál.

Egy 3,5 km-es szakaszon öt mintavételi pontot (K1-K5) választottam ki különböző helyeken, az afrikai harcसानevelő telep (*Clarias gariepinus*) termálvíz eredetű elfolyóvíz és a MATE HAKI kísérleti tavaiból származó lecsapolt víz hatásának vizsgálatára. A holtág ezen szakaszán nem ismert más bevezetés. A K1 helyszínen

található beáramlás tápanyagokban gazdag volt és részben geotermikus eredetű. A holtágba való bevezetés előtt a „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”-rel történt kezelésen esett át. A kezelési folyamat során a harcsafarm termálvize lehűlt, így a beáramlás helyén nem történt termikus szennyezés. További mintavételi pontokat választottam a holtág jellemzői alapján. Mivel nem volt jelentős vízhozam, csak a beáramlástól számított távolságot vettem figyelembe. A K2 pont 500 m-nél, a K3 2,5 km-nél volt (K1 és K3 pontok között intenzív halmintavételre került sor, ezért itt nem jelöltem ki mintavételi pontokat), a K4 3,0 km-nél és a K5 3,5 km-re volt a beáramlási ponttól.

3.2 Mintavételek

A vízkémiai paraméterek vizsgálatára oszlop mintavevővel vett vízminta szolgált, mely során két méter magas vízszlopot mintáztam. A halastavak és a „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer” tavainak esetében vízmintát a kifolyó műtárgynál vettem, míg a holtágon a kijelölt pontoknál a középvonalon. A vízminták térfogata 1,5 liter volt. A különböző paraméterek (összes nitrogén, ammónium-nitrogén, összes foszfor, összes lebegőanyag, klorofill-a és vezetőképesség) vizsgálatát a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem – Egyetemi Laborközpont – akkreditált Környezetanalitikai Vizsgálólaboratórium végezte a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet szabványai szerint.

Zooplankton vizsgálatokhoz minden mintavétel esetében 100 liter vizet szűrtem 50 µm szembőségű plankton hálón. A leszűrt mintákat (100 ml) egy 120 ml-es műanyag palackba tettem, formaldehid (4% végkoncentráció) hozzáadásával tartósítottam, és a laboratóriumba vittem, ahol a taxonok azonosításáig 4 ° C-on tároltam. A zooplankton vizsgálatok során a csoportot alkotó legnagyobb jelentőségű taxonokat vizsgáltam: Cladocera, Copepoda és Rotifera. A fajszintű meghatározáshoz Zeiss márkájú fénymikroszkópot, valamint Nikon ShuttlePix P-400Rv típusú digitális mikroszkópot használtam, mely során az 5 ml-es számláló kamra egyes részeiben számoltam a vizsgált mintában az egyedeket, majd egyed/m³ egységben adtam meg az összetételt. Denzitástól függően vizsgáltam a számlálókamra teljes vagy részterületét. A fajszintű azonosítás volt a cél, de ez egyes csoportoknál nem

lehetséges, így ilyen esetekben magasabb taxonómiai kategóriát jelöltem meg.

A szükséges biomassza-becsléseket fajlagos adatok segítségével számítottam. A vizsgálat során előkerült, de az irodalomban nem szereplő fajok esetében hasonló fajok fajlagos tömegével történt a számolás.

3.3 Statisztikai elemzések

A környezeti tényezők hatásait a zooplankton közösségek szerkezetére kanonikus korrespondencia analízissel (CCA) elemeztem R szoftverkörnyezetben *vegan* programcsomag használatával. Az elemzésben az egyes taxonok számolt egyedszámait használtam, míg a környezeti változók a vízkémiai paraméterek (összes ammónium-nitrogén, összes nitrogén, összes foszfor, összes lebegő szilárd anyag, elektromos vezetőképesség, kémiai oxigénigény, klorofill-a) és az összes takarmány-összetevő (halliszt és szójakomponens, valamint takarmánybúza) koncentrációit tartalmazták.

Az elfolyóvíz holtmedri kerekeshéreg közösségekre gyakorolt hatásának vizsgálata során a rang-abundancia görbék statisztikai elemzését *vegan* programcsomaggal hajtottam végre R-ben. A görbéket az EXCEL alkalmazásban.

A mintahelyek közötti kerekeshéreg biodiverzitás összehasonlításához a Rényi-diverzitási függvényt használtam.

A kerekeshéreg fajok funkcionális jellemzőinek elemzése során nyolc ökológiai és élettörténeti tulajdonságot használtam fel: testméret, rágó típus, táplálkozási típus, fizikai védelem, kültakaró típusa, kerékszerv típusa, élőhelypreferencia, tolerancia. A funkcionális jellegek alapján vett távolságot a fajok között Gower-féle távolság méréssel határoztam meg a *StatMatch* programcsomagot használva. Ezek az értékek a módszer sajátosságai alapján 0 és 1 közötti tartományban változtak.

A filogenetikai távolságok meghatározására az irodalomban fellelhető filogenetikai fákban az ágak hosszát mértem, ami a közös őstől vett távolságot jelzi. Ezeket előbb egymással standardizáltam, majd a távolságokat 0 és 1 közötti tartományra konvertáltam. Ez a funkcionális és a filogenetikai távolságok közös skálázása miatt volt szükséges.

A funkcionális és filogenetikai távolságmátrixok közötti kapcsolatot Mantel teszttel vizsgáltam *ade4* csomaggal 9999 random ismétlésben. Ez után értékelhető a funkcionális jellegek evolúciója, és hogy hogyan őrződtek meg az idők során.

Mivel a fajok közötti különbségekről a funkcionális és filogenetikai jellemzők egymást kiegészítő információt hordoznak, ezeket és kombinációjukat használtam dolgozatomban.

A funkcionális és filogenetikai diverzitás kvantifikálását Rao kvadratikus entrópia segítségével számoltam. Ezt a *SYNCSA* programcsomaggal végeztem.

4. Eredmények

1. A halastavi kísérletben eltérő pontytakarmányozás mellett felnövő zooplankton közösségek vizsgálata során a következő eredmények születtek:

- Haltermelési szempontból a zooplankton közösségek mennyisége és minősége megfelelő volt a vizsgált tavakban, és a kezelések között nem volt szignifikáns különbség a közösségi struktúrában.
- A tavakban az „el nem fogyasztott” zooplankton sűrűség és biomassa alapján a közösségek a ponty monokultúrára jellemző mennyiségben (0,06-70 g m⁻³) és összetételben (a *Bosmina-Cyclopidae* dominanciája) alakultak ki.
- A 23 Rotifera, 14 Cladocera és 2 Copepoda fajt találtam.
- A közösség összetételében több idegenhonos faj is jelen volt. A Rotiferák közül a *Brachionus variabilis* epizoidikus (a *Daphnia*, *Ceriodaphnia* felszínére tapadó) vagy szabadon élő életmódú lehet. A Cladocerák közül a *Daphnia ambigua* és a *Daphnia parvula* elterjedt az amerikai kontinensen, de Európában csak nemrég jelentek meg. A zooplankton taxonból a legmeglepőbb Cladocera előfordulás a *Ceriodaphnia rigaudi* volt, amely a legmelegebb, trópusi, szubtrópusi zónára jellemző.
- A környezeti háttérfaktorokat és a takarmánykomponenseket vizsgálva a különböző kezelések az elvárásainknak megfelelően alig befolyásolták a közösségek összetételét. A közösség felépítését inkább az évszak, mintsem a kezelés határozta meg.

Általában a közösségek nem kapcsolódnak különböző takarmányösszetevőkhöz.

- Az eredmények alapján a növényi alapú kísérleti takarmány nem gyakorolt negatív hatást a plankton együttesekre, ami alkalmassá teszi fenntartható haltápként a tavi akvakultúrában.

Az eredmények a Water folyóiratban lettek publikálva:

Tóth, F., Zsuga, K., Kerepeczki, É., Berzi-Nagy, L., Sándor, Z., Körmöczi, L. 2020 The Effect of Feed Composition on the Structure of Zooplankton Communities in Fishponds. Water, 12, 1338. IF.: 3.103 <https://doi.org/10.3390/w12051338>

További magyar publikációk a témában:

Tóth F., Zsuga K., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Jakabné Sándor Zs., Körmöczi L. 2020. Halastavi zooplankton közösségi összetételben rejlő különbségek eltérő takarmányösszetevők használata mellett, XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2020. 09. 23-24. Halászatfejlesztés 37. 93-96.

Zsuga K., Tóth F., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L. 2018. *Ceriodaphnia rigaudi* (Richard 1894), Új Cladocera faj megjelenése a hazai faunában. Hidrológiai Közlöny 98. évfolyam (különszám), 102-105

2. Az intenzív afrikai harcsanevelő telep elfolyóvizét kezelő „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer” egyik tavában felnövő zooplankton közösség vizsgálata során a következő eredményekre jutottam:

- A vízkezelő rendszer W2-es jelzésű egységében természetesen felnövő zooplankton közösségek közül három Cladocera, kilenc Rotatoria fajt és a Copepoda csoport jelenlétét sikerült kimutatni.
- Az ágascsapú rákok közül két nagyméretű faj, a *Daphnia magna* és a *Moina macrocopa*, mint rendszerbe került tápanyagok fő újrahasznosítója jelentkezett nagy denzitással, a vizsgálati idő alatt váltott dominanciával.

Az eredmények a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ fiatal kutatói konferenciájának kiadványában lett publikálva:

Tóth F., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L. 2018. Megújuló energiára alapozott létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer hatékonysága, és a benne rejlő zooplankton termelési lehetőségek, Kutatói utánpótlást elősegítő program II. szakmai konferenciája, 35-44, ISBN 978-615-5748-09-7

3. A MATE-HAKI kísérleti tavainak és a „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”-ből kijutó elfolyóvíz befogadó vízterét jelentő, a Szarvas – Békésszentandrás (Kákafoki) Holt-Körös különböző pontjainak kerekeshéreg közösségeinek vizsgálata során tapasztalt eredmények:

- A felmérés során fajgazdag Rotifera faunát mutattam ki 26 taxonnal. Tavasszal a biodiverzitás a beáramlás helyétől növekvő távolsággal nőtt, de egy nyári átmeneti időszak után az ősz folyamán a helyzet részben megfordult.
- Az általam megállapított jelleg konzervativizmus szerint a közelebbi rokoni kapcsolatban lévő taxonok hasonlóbb jellegekkel rendelkeznek.
- Tavasszal a befolyási pontnál kialakult közösség esetében a környezeti hatás és a funkcionális és filogenetikai csoportosulás kimutatható. Ezen a ponton tavasszal a mezozaprobikus indikátor, főleg *Brachionus* fajok megjelenése és tömegessé válása a kerekeshéreg közösségben a bekerülő elfolyóvíznek, tehát antropogén hatásnak köszönhető, ami csökkenti a közösség biodiverzitását.
- Nyáron sem a közösségi kapcsolatok, sem a környezeti körülmények nem játszanak szerepet a közösség struktúrájának kialakulásában. A befolyóvíz nyáron nem befolyásolja a közösség alapján kimutathatóan a környezeti feltételeket.
- Ősszel a közösségszerveződés mozgatórugója a biotikus interakciók felé tolódik, viszont már ebben az időben a befolyási ponttól távolodva egyre inkább fajszegény közösségek alakultak ki. A befolyási pontnál viszont egyértelműen a fajok közötti interakciók járulnak hozzá a szerveződéshez.

Az eredmények taxondiverzitást érintő része a Water folyóiratban lettek publikálva:

Tóth, F., Zsuga, K., Kerepeczki, É., Berzi-Nagy, L., Körmöczi, L., Lövei, G.L. 2020 Seasonal Differences in Taxonomic Diversity of Rotifer Communities in a Hungarian Lowland Oxbow Lake Exposed to Aquaculture Effluent. *Water*, 12, 1300. IF.: 3.103 <https://doi.org/10.3390/w12051300>

A funkcionális és filogenetikai diverzitást érintő rész benyújtva az *Ecology and Evolution* folyóirathoz

További magyar publikáció a témában:

Tóth F., Zsuga K., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Körmöczi L., Lövei G. 2021. A Kákafoki Holt-Körös kerekeshéreg közösségének diverzitásváltozásai akvakultúrából származó elfolyóvíz hatására, XLV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2021. 09. 8-9. Halászatfejlesztés 38. 48-52.

5. Új tudományos eredmények

1. Félintenzív tavi haltermelési körülmények között felmért zooplankton közösségben 23 kerekeshéreg, 14 ágascápú rák és 2 evezőlábú rák fajt mutattam ki. Ezek közül a Rotifera *Brachionus variabilis*, a Cladocera *Daphnia ambigua*, *Daphnia parvula* és *Ceriodaphnia rigaudi* Magyarországon új idegenhonos fajok.

2. Megállapítottam, hogy a növényi alapú kísérleti takarmány nem gyakorolt negatív hatást a zooplankton együttesekre, ami alapján lehetséges az alkalmazhatósága fenntartható haltápként a tavi akvakultúrában.

3. Megállapítottam az intenzív akvakultúrából származó, tápanyagban gazdag elfolyóvíz hatását az azt kezelő „létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer”-ben felnövő zooplankton közösségekre, mely fajszegény, összesen 12 fajtól álló közösség, változó dominanciával. A *Moina macrocopa* májusi nagy egyedszámát augusztusi megjelenés után szeptemberre a *Daphnia magna* dominanciája váltotta.

4. Elsőként mértem fel részletesen a Kákafoki-holtág kerekeshéreg közösségét, mely sajátos közösséget tart fent 26 taxonnal, ami több ponton eltér a szomszédos és hasonló holtágakban leírt közösségektől. A holtágban előforduló kerekeshéreg taxonok funkcionális és filogenetikai kapcsolatai szerint jelleg konzervatívizmust állapítottam meg, azaz a közelebbi rokoni kapcsolatban lévő taxonok hasonlóbb

jellegekkel rendelkeznek. A holtágot érő tápanyagterhelés hatása szezonálisan változik: míg tavasszal a környezeti hatás a legjelentősebb a közösségszerveződésre, addig őszi a biotikus interakciók válnak meghatározóvá.

6. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek **Dr. Kerepeczki Évának** és **Dr. Körmöczy Lászlónak** minden segítségükért és támogatásukért. Köszönettel tartozok **Dr. Zsuga Katalinnak** és **prof. Dr. Lövei L. Gábornak**. Négycsillag nélkül ez a dolgozat nem készülhetett volna el, és szakmai és emberi segítségükért mindig hálás leszek.

A mintavételek során nyújtott segítségükért mondok köszönetet egykori és jelenlegi kollégáimnak: **Berzi-Nagy Lászlónak**, **Révész Norbertnek**, **Palásti Péternek**, **Dr. Havasi Máténak**, **Molnár Zsuzsannának**, **Bogár Katalinnak** és két halórnek: **Filip Andrásnak** és **Tusjak Zoltánnak**.

Ez úton mondok köszönetet a **Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem – Egyetemi Laborközpont – akkreditált Környezetanalitikai Vizsgálólaboratórium munkatársainak** a szükséges kémiai vizsgálatok elvégzéséért.

Köszönet illeti **Dr. Marco Ferrantét** az R program parancssorainak megírása során nyújtott segítségéért.

Szeretném megköszönni **barátaim**, valamint a **Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem – Halászati Kutató Központ munkatársainak** támogatását, külön kiemelve a **Hidrobiológiai Osztály munkatársait**.

Köszönöm a **Szegedi Tudományegyetem Ökológiai Tanszékének**, hogy doktori témámat befogadta.

A dolgozat anyagának egy része az **ARRAINA** (Advanced Research Initiatives for Nutrition & Aquaculture, Grant Agreement number 288925) projekt keretében valósult meg, amiért hálás vagyok

a projekt intézeti vezetőjének **Dr. Jakabné Dr. Sándor Zsuzsannának**.

A dolgozat megvalósulása során volt alkalmam a dániai **Aarhus Egyetem Agroökológiai Tanszékén** 3 hónapot eltölteni, amit **Campus Mundi** ösztöndíjjal a **Tempus Közalapítvány** támogatott. Ezúton mondok köszönetet a befogadásért, és a támogatásért.

Külön szeretnék köszönetet mondani **szüleimnek**, akik nélkül létre sem jöhöttem volna.

7. Teljes publikációs jegyzék (kiemelve a disszertációban felhasznált közlemények)

Tóth Flórián MTMT azonosítója: 10052967

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10052967>

7.1. Teljes cikk idegen nyelven

Szalóki, T., Székely, Á., Tóth, F., Tarnawa, Á., Valkovszki, N., Jancsó, M. 2022 Evaluation and Comparative Analysis of Meteorological Data, Moisture Content, and Rice Panicle Threshability. *Agronomy* 12, 744. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030744>

Ljubobratović, U., Fazekas, G, Nagy, Z, Kovács, Gy, Tóth, F, Fehér, D, Zarski, D. 2022 Fish with larger pre-seasonal oocytes yields lower egg quality in season – A case study of outdoor-cultured domesticated Pikeperch (*Sander lucioperca*) *Animal Reproduction Science*, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.106936>

Ljubobratović, U., Demény, F, Tóth, F, Kwiatkowski, M. 2021 Effects of hormonal treatment before warming synchronises the spawn while oocyte size determines the egg quality in pre-seasonal pikeperch (*Sander lucioperca*) reproduction. *Animal Reproduction Science*, 106712. **IF.: 2.145** <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106712>

Berzi-Nagy, L., Mozsár, A., Tóth, E., Gál, D., Nagy, Z., Nagy, S.A., Kerepeczki, É., Antal, L., Sándor, Zs. Effects of Different Fish Diets on the Water Quality in Semi-Intensive Common Carp (*Cyprinus carpio*) Farming. *Water* 2021, 13, 1215. **IF.: 3.103** <https://doi.org/10.3390/w13091215>

Tóth, F., Révész, N., Demény, F., Uhljar, A., Berzi-Nagy, L., Molnár, Z., Bíró, J., Gál, D., Kerepeczki, É., Sándor, Z. 2021 Effects of diets containing dried distiller's grain with solubles (DDGS) on the water quality of the carp rearing ponds. *AACL Bioflux* 14(2):1057-1067. **IF.: 0.990**

Sándor, Z., Révész, N., Varga, D., Tóth, F., Ardó, L., Gyalog, G. 2021 Nutritional and economic benefits of using DDGS (distiller' dried grains soluble) as feed ingredient in common carp semi-intensive pond culture. *Aquaculture Reports*, 21, 100819 **IF.: 3.216** <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100819>

Tóth, F., Zsuga, K., Kerepeczki, É., Berzi-Nagy, L., Körmöczi, L., Lövei, G.L. 2020 Seasonal Differences in Taxonomic Diversity of Rotifer Communities in a Hungarian Lowland Oxbow Lake Exposed to Aquaculture Effluent. *Water*, 12, 1300. **IF.: 3.103** <https://doi.org/10.3390/w12051300>

Tóth, F., Zsuga, K., Kerepeczki, É., Berzi-Nagy, L., Sándor, Z., Körmöczi, L. 2020 The Effect of Feed Composition on the Structure of Zooplankton Communities in Fishponds. *Water*, 12, 1338. **IF.: 3.103** <https://doi.org/10.3390/w12051338>

Fazekas, G., Vass, V., Demény, F., Tóth, F., Ljubobratović, U. 2020 The effect of different surface cleaning devices on the success of swim bladder inflation in pikeperch (*Sander lucioperca* L.) larvae. *North American Journal of Aquaculture* **IF.: 1.717 IF**<https://doi.org/10.1002/naaq.10172>

Révész, N., Tóth, F., Berzi-Nagy, L., Demény, F., Rónyai, A., Gál, D., Kerepeczki, É. 2019. Effects of sustainable fish feed on water quality in semi-intensive ponds. XXI. századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában, II. Víz tudományi Nemzetközi Konferencia, Konferencia kötet 329-335

7.2. Teljes cikk magyar nyelven

Tóth E., Vítál Z., Mozsár A., Árva D., Fazekas D., Udvari Zs., Halasi-Kovács B. 2022. Ívóhelyek ökológiai vizsgálata a Ráckevei-Soroksári Dunaágon, XLVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2022. 05. 25-26. Halászatfejlesztés 39. 87-92.

Tóth F., Zsuga K., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Körmöczi L., Lövei G. 2021. A Kákafoki Holt-Körös kerekeshéreg közösségének diverzitásváltozásai akvakultúrából származó elfolyóvíz hatására, XLV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2021. 09. 8-9. Halászatfejlesztés 38. 48-52.

Gyalog G., Berzi-Nagy L., Tóth F., Békefi E., Bojtárné L. M. 2021. A hazai pontyhozamokat meghatározó tényezők és a termelést korlátozó erőforrások elemzése termelési függvény alapján. *Gazdálkodás*, 65. évfolyam, 2. szám, 2021 (130–140) <https://ageconsearch.umn.edu/record/310593>

Tóth F., Zsuga K., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Jakabné Sándor Zs., Körmöczi L. 2020. Halastavi zooplankton közösségi összetételben rejlő különbségek eltérő takarmányösszetevők használata mellett, XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2020. 09. 23-24. Halászatfejlesztés 37. 93-96.

Zsuga K., Tóth F., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L. 2018. *Ceriodaphnia rigaudi* (Richard 1894), Új Cladocera faj megjelenése a hazai faunában. Hidrológiai Közlöny 98. évfolyam (különszám), 102-105

Tóth F., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L. 2018. Megújuló energiára alapozott létesített vizes élőhelyi vízkezelő rendszer hatékonysága, és a benne rejlő zooplankton termelési lehetőségek, Kutatói utánpótlást elősegítő program II. szakmai konferenciája, 35-44

Berzi-Nagy L., Jakabné Sándor Zs., Adorján Á., Tóth F., Rónyai A., Gál D., Dankó I., Csengeri I., Kerepeczki É. 2017. Különböző összetételű haltakarmányok hatása a halastavak vízminőségére. Halászat – Tudomány 3. évfolyam/2. szám, 7-13

Tóth F., Berzi-Nagy L., Gál D., Kerepeczki É. 2016. Szemiakvatikus növények tápanyag-akkumulációja létesített vizes élőhelyeken. Hidrológiai Közlöny, 96. évfolyam (különszám), 90-92

Berzi-Nagy L., Adorján Á., J. Sándor Zs., Nagy Z., Tóth F., Gál D., Kerepeczki É. 2016. Előzetes eredmények a halastavak üledék- és vízminőségi paramétereinek változásairól különböző takarmányok alkalmazása mellett, Hidrológiai Közlöny, 96. évfolyam (különszám), 18-21

Tóth F., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Gál D. 2016. Létesített vizes élőhelyek hasznosítása az intenzív haltermelés elfolyóvizének kezelésében, Kutatói utánpótlást elősegítő program I. szakmai konferenciája, 39-42

7.3. Nyomtatásban vagy elektronikus formában megjelent konferencia kivonat idegen vagy magyar nyelven

Fazekas D. L., Antal L., Ardó L., Halasi-Kovács B., J. Sándor Zs., Pirger Zs., Serfőző Z., Tóth F., Vitál Z., Specziár A., Mozsár A. 2022. Eltérő összetételű etetőanyagok hatása a halak növekedésére és immunitására: előzetes eredmények XVII. Magyar Haltani Konferencia, Debrecen, 2022. 04.29-30. Absztraktkötet p. 8.

Tóth, F., Zsuga, K., Kerepeczki, É., Berzi-Nagy, L., Körmöczi, L., Lövei, G. 2019. Effects of aquaculture effluent on the seasonal Rotifera community in the Kákafok oxbow lake . In Endrédi A., Piross I. S., Dobosy P., Abonyi A. (Eds.), 2019. FBFW 2019 Book of Abstracts - Abstracts of the 6 th Fresh Blood for Fresh Water Conference, 23-27 April 2019, Tihany, Hungary, FBFW 2019 Organizing Committee pp. 166-167.

Bojtárné L. M., Berzi-Nagy L., Tóth F., Gyalog G. 2019. Tógazdasági termelési mutatók régiók és üzemméret szerinti megoszlása XLIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2019. 05. 29-30. Absztraktkötet p. 66-70.

Tóth F., Zsuga K., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Körmöczi L., Lövei G 2018. A Szarvas-Békésszentandrás (Kákafoki) Holt-Körös kerekfűfreg (Rotatoria) közössége taxonómiai, funkcionális és filogenetikai diverzitásának szezonális változásai. LX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2018. 10. 3-5. Absztraktkötet p. 30.

Tóth F., Zsuga K., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L., Körmöczi L., Lövei G 2018. Akvakultúrából származó elfolyóvíz hatása a Szarvas-Békésszentandrás (Kákafoki) Holt-Körös kerekfűfreg (Rotatoria) közösségének szezonális biodiverzitására. 11. Magyar Ökológus Kongresszus, Nyíregyháza, 2018. 08. 28-30. Absztraktkötet p. 107.

Berzi-Nagy L., Gyalog G., Csukás B., Varga M., Tóth F., Mozsár A., Rónyai A., Kerepeczki É. 2018. Halastavi táplálékszervezetek populációdinamikai modellezése és előzetes validálási eredmények. 11. Magyar Ökológus Kongresszus, Nyíregyháza, 2018. 08. 28-30. Absztraktkötet p. 84

Zsuga K., Tóth F., Kerepeczki É., Berzi-Nagy L. 2017. *Ceriodaphnia rigaudi* (Richard 1894), Új Caldocera faj megjelenése a hazai faunában. LIX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2017. 10. 4-6. Absztraktkötet p. 27.

Tóth F., Berzi-Nagy L., Kerepeczki É. 2017. A Bikazugi Holt-Körös legfontosabb vízminőségi paramétereinek előzetes értékelése XLI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2017. 06. 14-15. Absztraktkötet p. 52.

Berzi-Nagy L., Tóth F., J. Sándor Zs., Kerepeczki É., Zsuga K., Körmöczi L. 2017. A vízminőség és a zooplankton közösség kapcsolata a halastavi takarmányok összetételével – sokváltozós megközelítés. 6. Kvantitatív Ökológiai Szimpózium, Budapest, 2017.10.13. Absztraktkötet p. 32

Tóth F., Zsuga K., Berzi-Nagy L., Gál D., Kerepeczki É. 2016. Halastavak zooplankton állományának kvalitatív és kvantitatív vizsgálata különböző összetételű takarmányok alkalmazása mellett XL. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2016. 06. 15-16. Absztraktkötet p. 50.

Tóth F., Zsuga K., Berzi-Nagy L., Gál D., Kerepeczki É. 2016. Az idegenhonos *Daphnia ambigua* és *Daphnia parvula* legújabb előfordulása Magyarországon. LVIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2016. 10. 5-7. Absztraktkötet p. 25.

Berzi-Nagy L., J. Sándor Zs., Adorján Á., Tóth F., Gál D., Kerepeczki É. 2016. Különböző összetételű takarmányok hatása halastavak anyagforgalmára. XL.

- Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2016. 06. 15-16. Absztraktkötet p. 26.
- Berzi-Nagy L., Adorján Á., J. Sándor Zs., Nagy Z., Tóth F., Gál D., Kerepeczki É. 2016. Előzetes eredmények különböző összetételű takarmányok halastavak anyagforgalmára kifejtett hatásáról LVIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2016. 10. 5-7. Absztraktkötet p. 9.
- Kerepeczki E., Berzi-Nagy L., Adorján A., Tóth F., Sándor Zs. J. and Gál D. 2016. Nutrient budget of experimental carp ponds with different diet compositions, Aquaculture Europe 2016, Edinburg 20-23th Sept 2016. Absztraktkötet pp. 510-511.
- Kerepeczki, E., Berzi-Nagy, L., Adorján, A., Tóth, F., Sándor, Zs. and Gál, D. 2016. Effects of different fish diet compositions on water and sediment quality in a pond experiment. Aquaculture Europe 2016, Edinburg 20-23th Sept 2016. Absztraktkötet pp. 512-513.
- Tóth, F., Nagy, Z., Berzi-Nagy, L., Gál, D., Kerepeczki, É. 2015. Effluent treatment of a flow-through fish production system by constructed wetlands in Hungary, Fresh Blood for Fresh Water Meeting, Mondsee, Ausztria, 2015. 04. 14-17. Absztraktkötet p. 33. http://www.uibk.ac.at/limno/fbfw/fbfw_bookofabstracts-2015-mondsee.pdf.
- Tóth F., Nagy Z., Berzi-Nagy L., Gál D., Kerepeczki É. 2015. Lebegőanyagok eltávolítási hatékonysága létesített vizes élőhelyeken. XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2015. 05. 20-21. Absztraktkötet p. 71.
- Tóth F., Berzi-Nagy L., Gál D., Kerepeczki É. 2015. Szemiakvatikus növények tápanyag-akkumulációja létesített vizes élőhelyeken. LVII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2015. 10. 7-9. Absztraktkötet p. 42-43. http://www.bli.okologia.mta.hu/sites/default/files/LVII_HB_napok_absztraktkotet.pdf.
- Berzi-Nagy, L., Tóth F., Sándor, Zs., Nagy, Z., Gál, D., Kerepeczki, É. 2015. Effects of plant-based fish diets on the water quality in a pond experiment. Fresh Blood for Fresh Water Meeting, Mondsee, Ausztria, 2015. 04. 14-17. Absztraktkötet p. 34. http://www.uibk.ac.at/limno/fbfw/fbfw_bookofabstracts-2015-mondsee.pdf.
- Berzi-Nagy L., Adorján Á., J. Sándor Zs., Nagy Z., Tóth F., S. Kumar, Gál D., Kerepeczki É. 2015. Növényi eredetű takarmányösszetevők hatása a halastavak üledékére. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2015. 05. 20-21. Absztraktkötet p. 43.
- Kerepeczki É., Tóth F., Nagy, Z., Kosáros, T., Kumar M.S., Pekár, F., Gál, D. 2015. Constructed wetland system as natural treatment method of freshwater

aquaculture effluents. Aquaculture 2015, Cutting Edge Science in Aquaculture, Montpellier, France, 23-25. August, 2015.

Berzi-Nagy L., Adorján Á., J. Sándor Zs., Nagy Z., Tóth F., Gál D., Kerepeczki É. 2015. Előzetes eredmények a halastavak üledék- és vízminőségi paramétereinek változásairól különböző takarmányok alkalmazása mellett. LVII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2015. 10. 7-9. Absztraktkötet p. 34. http://www.bli.okologia.mta.hu/sites/default/files/LVII_HB_napok_absztraktkotet.pdf.

Berzi-Nagy, L., Adorján, Á., Tóth, F., Sándor, Zs., Nagy, Z., Gál, D., Kerepeczki, É. 2015. Effects of different fish diet compositions on water and sediment quality in a pond experiment. Aquaculture, Nature and Society, Rotterdam, Hollandia, 2015. 10. 20-23. Absztraktkötet p. 535-536. <http://www.was.org/easonline/documents/AE2015/RotterdamAbstracts.pdf>.

Kerepeczki É., Tóth F., Józsa V., Gyalog G., B. Békefi E., Gál D. 2014. Halászati kutatások összhangban a természetvédelem céljaival. IX. Magyar természetvédelmi biológiai konferencia Szeged, 2014. 10. 20-23. Absztraktkötet p. 71. http://www.mtbk.hu/mtbk09/doc/IX.MTBK_AbsztraktKotet.pdf.

7.4. Konferencia előadás

5th International Scientific Conference on Water „5th ISCW 2022”, Szarvas, Hungary 2022. 03.22-23. Angol nyelvű előadás

XLVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2022. 05. 25-26. Előadás

XLV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2021. 09. 8-9. Előadás

XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2020. 09. 23-24. Előadás

XXI. századi vízgazdálkodás a tudományok metszéspontjában, II. Víz tudományi Nemzetközi konferencia, Szarvas, 2019 03. 22. Angol nyelvű előadás

6. Fresh Blood for Fresh Water Meeting, Tihany, Hungary, 2019. 04. 23-27. Angol nyelvű poszter

LX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2018. 10. 3-5. Előadás

11. Magyar Ökológus Kongresszus, Nyíregyháza, 2018. 08. 28-30. Poszter

XLI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2017. 06. 14-15. Poszter

Kutatói utánpótlást elősegítő program II. szakmai konferenciája, Szeged, 2017. 12. 14-15. Előadás

XL. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2016. 06. 15-16. Poszter

LVIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2016. 10. 5-7. Poszter

Kutatói utánpótlást elősegítő program I. szakmai konferenciája, Gödöllő, 2016. 03. 3-4. Előadás

4. Fresh Blood for Fresh Water Meeting, Mondsee, Ausztria, 2015. 04. 14-17. Angol nyelvű poszter

XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2015. 05. 20-21. Poszter

LVII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2015. 10. 7-9. Poszter

IX. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia Szeged, 2014. 10. 20-23. Poszter

7.5. Tudományos ismeretterjesztő cikk

Tóth F. 2022. Árral sodródó indikátorszervezetek - kerekeshéreg-közösségek a vízminőségi vizsgálatokban. Természet Világa 153. évf. 3. sz. p. 103

8. Summary

In my thesis, I aimed to conduct a complex, system-wide analysis of the relationship between aquaculture and zooplankton communities. I directly examined the communities of fishpond of the pond fish production according to the effects of different feeds, the community formed during the treatment of effluent water from an intensive, raceway culture from the African catfish farm (*Clarias gariepinus*) with the “artificial wetland water treatment system” and the communities of the Kákafok Oxbow lake as the natural recipient water body.

In the experiment of the replacement of fish feed containing fishmeal and fish oil with plant raw materials communities were formed in the quantity and quality typical of carp monoculture. I detected 23 species of Rotifera, 14 species of Cladocera and 2 species of Copepoda. From the point of view of fish production, the quantity and quality of

zooplankton communities were adequate in the studied lakes, and there was no significant difference in the community structure between the treatments. Several non-native species were present in the community: *Brachionus variabilis*, *Daphnia ambigua*, *Daphnia parvula* *Ceriodaphnia rigaudi*. Based on these results, the plant-based experimental feed did not have a negative effect on plankton assemblages, which does not preclude its use as a sustainable fish feed in pond aquaculture.

The treatment of effluent water from an African catfish farm with an “artificial wetland water treatment system” has shown the presence of three Cladocera species, nine Rotatoria species, and the presence of Copepoda taxa. Between cladoceran two large species, *Daphnia magna* and *Moina macrocopa*, emerged with high density, changing their dominance during the study period.

During the assessment of the impact of effluent water from aquaculture on the Rotifera communities of the Kákafok oxbow lake, I detected a species-rich Rotifera fauna with 26 taxa. In the spring, the biodiversity increased with increasing distance from the inflow site, but after a summer transition period, the situation partially reversed during the autumn. I have found, taxa with a more closely related relationship have more similar characteristics. In the spring, the environmental impact and the functional and phylogenetic clustering can be demonstrated in the community formed at the point of influence. In summer, neither community relations nor environmental conditions play a role in shaping community structure. In the autumn, the driving force of community organization shifts towards biotic interactions.