

XXXII. OTDK Biológia Szekció

**Kisrák zooplankton közösségek szezonális mintázatai
kiskunsági asztatikus szikes tavakban**

Senánszky Vera

Hidrobiológus MSc II. évf.

Debreceni Egyetem

Témavezetők: Dr. Horváth Zsófia, Vad Csaba Ferenc

Tartalomjegyzék:

1. Bevezetés:	2
1.1. Az asztatikus szikes tavak bemutatása:	2
1.2. Zooplankton a szikes tavakban:	4
2. Célkitűzés:	8
3. Anyag és módszer:	8
3.1. A mintavételi élőhelyek rövid jellemzése:	8
3.2. Mintavételezés és mintafeldolgozás:	10
3.3. Adatelemzés:	11
4. Eredmények:	12
4.1. Vízkémiai és egyéb lokális környezeti tényezők szezonális változásai:	12
4.2. Fajkompozíció	17
4.3. A kisorák közösségek denzitásának és fajszámának tér- és időbeli mintázatai	23
4.4. A kisorák közösségek fajszámának összefüggése a tavak vezetőképességével	24
4.5. A planktonikus kisorák közösségek időbeli változása az év során	25
5. Eredmények értékelése:	27
5.1. Környezeti változók	27
5.2. A kisorák zooplankton fajkészlete	27
5.3. A kisorák zooplankton közösségek mintázatai	29
6. Konklúzió:	31
7. Irodalom:	32
8. Köszönetnyilvánítás:	34

1. Bevezetés:

1.1. Az asztatikus szikes tavak bemutatása:

Sós tavakat közel azonos arányban találhatunk a Földön, mint édes vizűeket. Azonban ezek között megkülönböztetünk thalasszikus, vagyis tengeri eredetű, elsősorban Na^+ és Cl^- iondominanciájú sós állóvizeket, valamint athalasszikus a kontinensek belsejében elhelyezkedő sós tavakat, amelyek eltérő vízkémiai sajátosságokkal rendelkeznek.

A szikes vizekben elsősorban a Na^+ , a CO_3^{2-} , és a HCO_3^- ionok a meghatározóak, ennek következményeként, a vízben oldott nátrium-hidrogénkarbonátoknak köszönhetően alkalikus környezet ($\text{pH} > 9$) alakul ki (Hammer, 1986). Minden kontinensen találhatók hasonló vízkémiai tulajdonságokkal rendelkező tavak, így Afrikában, Közép-Amerikában, Ázsiában és Ausztráliában is (Hammer, 1986; Seaman et al., 1991; Williams, 1991; Alcocer et al., 1999), azonban ezekről az élőhelyekről még viszonylag kevés adat áll rendelkezésünkre. Európában kizárólagosan a Kárpát-medencében találkozhatunk szikes vizekkel. Elterjedésük főleg a magyarországi Alföldre koncentrálódik, de Ausztriában (a Fertőzugban) valamint Szerbiában (a Vajdaságban) is megtalálhatók. Egyedül az Ibériai-félszigeten lelhetőek fel némiképp hasonló jellegű kontinentális athalasszikus állóvizek, ezek azonban ionösszetételüket tekintve nem sorolhatók a szikesek közé, itt a kloridok és a szulfátok az uralkodók (Hammer, 1986; Comín & Alonso, 1988).

A szikes tó kifejezés alatt egyrészt érthetjük az állandó vizű szikes tavainkat, a Fertőt és a Velencei-tavat, másrészt számos kisebb szikes vizünket, melyek többnyire sekély, időszakos vizes élőhelyek. Utóbbiak ismérve a nagy felületi kiterjedés (akár több száz hektárnyi vízfelszínnel), ugyanakkor a vízmélység nem haladja meg az 1 m-t. Emiatt az ilyen típusú szikes tavakban nem figyelhető meg hőmérsékleti rétegződés. A víz gyorsan követi a hőmérséklet változásait, az élőhely télen fenéig befagy, a nyár folyamán felmelegszik és rendszerint ki is szárad. Elsősorban ennek az asztatikus vízforgalomnak köszönhető, hogy ezekben a tavakban nem találhatóak halak. További jellemzőjük, hogy kiterjedt nyílt víztükörrel rendelkeznek és vízi makrovegetáció nem vagy csak a part mentén, gyéren fordul bennük elő. Keletkezhetnek folyók eróziós tevékenysége, a szél deflációs hatása révén, vagy a laza löszös-homokos üledék felületi berogyásával (Boros, 1999).

A víz színe alapján korábban két csoportba sorolták őket: fehér, illetve fekete vizű szikesekre (Megyeri, 1959; Boros, 1999). A fehér vizűeket az igen nagy mennyiségű lebegő,

szervetlen kolloid szemcsék (mészsók, ásványi anyagok) teszik zavarossá, a Secchi-átlátszóság mindössze pár cm. A nyári bepárlódás során a mederfenéken kikristályosodik a szikso. A fekete vizűek többnyire a fehér szikesek szukcessziós folyamata által alakulnak ki, medrükben üledék halmozódik fel. Átlátszóságuk jóval magasabb, a barnás színüket a vízben oldott szerves humin-anyagok adják. Újabban ezeket a csoportokat zavaros és színanyagotavakként emlegetik, egy átmeneti jellegekkel rendelkező csoportot is megkülönböztetve (Boros E. et al., 2013). A szikes tavak a Kárpát-medencében a kontinentális sós vizek általános osztályozása alapján főleg a hipo- és a mezoszalin ($3000-20000 \text{ mg l}^{-1}$ $20000-50000 \text{ mg l}^{-1}$; Hammer, 1986) kategóriákba tartoznak, de a sókoncentráció az év folyamán a változó vízszint szerint jelentősen ingadozik.

Ezek az asztatikus szikes tavakként definiált vizes élőhelyek rendkívüli természeti értékeket rejtene magukban. Egyrészt ez abból adódik, hogy különleges környezeti feltételeket teremtenek, mely életteret nyújt számos ritka és védett faj számára. Ilyenek például a sótűrő és sókedvelő élőlények, sziki növény- és állatfajok. A fehér szikesek zavarossága miatt a nagyobb méretű zöldalgák helyét a pikoalgák veszik át a primer produkció terén (Padisák & Dokulil, 1994). További jellemzőjük, hogy nagy mennyiségű elérhető tápanyagforrással rendelkeznek, melyért nagyrészt a madarak általi szerves allochton bevitel (guanotrófia) felelős, másrészt a víz sekélységéből kifolyólag az üledék könnyen felkeveredik, így a tápanyagok, elsősorban a foszfor könnyebben remineralizálódnak, melyet tovább fokoz a magas sótartalom és pH (Boros E., 2002; Boros et al., 2008). Ennél fogva kiemelkedő termelőképeséggel bírnak ezek az élőhelyek. A baktériumokkal, algákkal és mikrozooplanktonnal táplálkozó zooplankton biomasszája (szekunder produktivitása) világszinten is kivételes mértékű. Köztük számos tágtűrűsű ubiquista, valamint világszerte, az édes vizekre is jellemző kozmopolita faj fordul elő, de emellett akadnak unikálisak is. A szikesekre egy faj specializálódott igazán, ez az evezőlábú rákokhoz (Copepoda) sorolt natronofil *Arctodiaptomus spinosus* (sziki lebegőkandics), mely ennél fogva Tóth és mtsai. (2014) munkája szerint a legmegfelelőbb indikátor szervezete a természetes állapotban lévő szikes vizeknek.

A szikes tavak a zooplankton szervezetek nagy mennyiségének köszönhetően kiváló táplálkozó- és pihenőhelyül szolgálnak a vándorló madarak számára. Elsődlegesen a sekély, nyílt vizeket kedvelő gázló madaraknak, és a kistrákokat fogyasztó gulipánnak (*Recurvirostra avosetta*), kanalas récenak (*Anas clypeata*), kanalas gémnek (*Platylea leucorodia*) nyújt tökéletes táplálkozóhelyet. A hatalmas tápanyag ellátottság miatt a szikesekben „bottom-up” (alulról felfelé történő) szabályozás jellemző, mely főleg a madarak helyválasztásában

nyilvánul meg. A gulipán és a kanalas réce egyedszáma a tavaszi vándorlásuk során szoros kapcsolatot mutat a tócsarások (Anostraca) valamint a sziki lebegőkandics denzitásával a Kárpát-medencei szikes tavakban (Horváth et al., 2013).

A Duna-Tisza közén fellelhető szikes tavak már nagyon régóta állnak a kutatások célkeresztjében. Az első zooplankton vizsgálatokat Daday (1984) végezte el, majd Nógrádi (1956) és Megyeri (1973) tanulmányozták az itt fellelhető különleges mikrofaunát. A tavak védetté nyilvánítása után számos újabb felmérésre került sor. Két nagyobb horderejű kutatás irányult a területre, melyek az általunk vizsgált tavakról is szolgáltatnak korábbi adatokat. Az egyik 1998-99 között történt (Forró, 2003), mely az élőhelyek széles körű állapotfelmérését is magában foglalta, kiterjedt a vízkémiára, növény és állat közösségek feltárására. A másik részletes vizsgálat 2009–2010 folyamán zajlott, mely során 110 asztatikus szikes tó zooplankton közösségéről nyertek átfogó ismereteket (Tóth et al., 2014). Ezek között a tavak között szerepeltek az általunk megfigyelésre kijelölt élőhelyek is.

Habár ezek a vizes élőhelyek kivételes értékeket képviselnek az elmúlt évszázadok nem kímélték őket. Főként az antropogén beavatkozások következtében (melioráció, lecsapolás, szennyezés, halastóvá alakítás) és a klímaváltozás hatására a szikes tavak körülbelül 80%-a pusztult el, és a fennmaradók között is számos degradálódott. Jelenleg hazánkban *ex lege* védettek az 1996. évi LIII a természet védelméről szóló törvény által. Emellett sokuk Nemzeti Parkok felügyelete alatt áll illetve nemzetközi egyezmények listáján szerepel, úgymint a Ramsari Egyezmény, Natura 2000, UNESCO Világörökség. Az utóbbi két évtizedben igyekeztek rehabilitálni és rekonstruálni a leromlott állapotú szikes vizeinket. A helyreállító munkálatok megtervezéséhez, kiértékeléshez, az ökológiai állapot monitorozásához, valamint a konzervációs folyamatok kialakításához rendkívül fontos a szikesekről megszerzett ismereteink minél szélesebb körű bővítése, a szikesek mélyreható ökológiai kapcsolatainak feltárása, a szezonálisan végbemenő változások feltérképezése.

1.2. Zooplankton a szikes tavakban:

A „plankton” elnevezés egy görög eredetű szó, amely jelentése „lebegő”, „sodródó”. A plankton szervezetek mozgása, mint ahogy a nevük is utal rá, nagyban függ a víz áramlásától, a szél keltette hullámzásoktól, örvényektől. A planktonikus élőlények adaptálódtak a lebegő életmódhoz, kiálló, akár tűskeszerű képletekkel, fajsúlycsökkentő gázok, olajcseppek raktározásával, melyekkel a felhajtóerőt képesek növelni. A növényi

tulajdonságokkal rendelkező, fotoszintetizáló planktonikus szervezetek alkotják a fitoplankton, míg a zooplankton az állatokhoz hasonlóan heterotróf élőlények gyűjtőneve.

A zooplanktonnak minden víztérben kiemelkedően fontos szerepe van. A szűrő táplálkozású zooplankton szervezetek az algák természetes fogyasztóiként az esetek többségében sikeresen megátolják a fitoplankton túlzott elszaporodását, ezáltal befolyásolják a vizek átlátszóságát. Ezen kívül hídként funkcionálnak az elsődleges termelők (primer producensek) és a magasabb trofikus szinteken lévő élőlények között. Például halak és madarak számára kitűnő táplálékforrást jelentenek, így az anyagforgalomban és az energiaáramlásban játszott nélkülözhetetlen szerepük vitathatatlan.

Az asztatikus szikes vizekben a jelentőségük még kifejezettebb, ugyanis az ilyen típusú víztérben halak hiányában kiugróan nagy egyedsűrűségekben fordulnak elő, bár a fajsámuk közel sem ér el olyan magas számokat, mint édesvizekben (Boros et al., 2006). A szikesek különleges adottságaihoz, úgymint a magas sótartalomhoz és az időszakos kiszáradásokhoz csak bizonyos fajok tudnak alkalmazkodni (Vörös L. et al., 2011). A zooplankton nagy részét a rákok (Crustacea) egyes mikroszkópikus méretű csoportjai alkotják, a Cladocera és Copepoda taxonok.

Az ágascsapú rákok (Cladocera) testfelépítésére általánosan jellemző, hogy két oldalról héj borítja őket, mely alulról nyitott. Mivel szelvényeik nem látszódnak élesen többnyire csak a fej és a testet különböztetjük meg rajtuk. Méretük 0,25-18mm között mozog. Az első csápjuk érzékszervként működik. A második pár csápjuk ágascsap, melyről a taxon a nevét kapta, ennek köszönhetően tudják a táplálékot a szájníylásukhoz sodorni, valamint ennek segítségével képesek ugráló mozgással előrehaladni. Szaporodásuk során az ivaros és az ivartalan szakaszok váltják egymást. Kedvező körülmények között a nőstények szűznemzéssel hozzák létre a partenogenetikus petéket, melyek a költőüregükben fejlődnek. E szaporodásmódnak köszönhetően képesek viszonylag gyorsan elszaporodni a vizekben, míg a kedvezőtlen körülmények beálltakor kifejlődő hím egyedekkel történő ivaros szaporodás biztosítja a genetikai változatosságot. Az ivaros kopuláció eredményeként egy úgynevezett tartós pete (ephippium) fejlődik ki, mely ezután képes átvészelni a zord időszakot (Gulyás & Forró, 1999). Lárvaállapotuk (a *Leptodora kindtii* üvegrák kivételével) nincs.

Az evezőlábú rákoknak (Tóth et al., 2014) (Copepoda) elsődlegesen két csoportja figyelhető meg a zooplankton közösségekben, ezek a Calanoida és a Cyclopoida taxonok (a Harpacticoida csoport tagjai elsősorban bevonatlakók). A Copepodák általában 1-2 mm nagyságúak. Testüket kitinpáncél fedi, a szelvényezettség jól látható, így a test fejre, torra és potrohra tagolható. A csoport jellegzetessége az első négy torszelvénnyen található hasadt

lábak, melyeket evezőlábaknak hívnak, ennek segítségével ügyesen úsznak. Az ötödik torláb elcsökevényesedett és igen fontos határozóbélyeg. Az első csáp mérete taxononként változó, a Calanoidák esetében általában hosszabb, 25 ízből áll, míg a Cyclopodáknál 8-17 között mozog az ízok száma. A szájszervük igen fejlett, a Calanoidák első állkapcsán sörtefésű található mely hatékony szűrést tesz lehetővé, a Cyclopoidák állkapcsai fogószervvé módosultak. Ebből is látható, hogy a két taxon másféle táplálkozási stratégiát folytat. A Calanoidák inkább szűrő táplálkozásúak, a Cyclopodiák, melyek közül sok a növényzetben dús élőhelyet preferálja, lehetnek növényevők, ragadozók vagy mindenevők. A Copepodák váltivarúak és ivaroson szaporodnak. A Calanoidák egy, míg a Cyclopodiák két petecsomóval rendelkeznek. Az evezőlábú rákoknak 6 lárvális (naupliusz) állapotuk és 5 kopepodit stádiumuk van (Gulyás & Forró, 2001).

Szikes vizekben gyakran előforduló fajok:



1. kép: *Daphnia magna*
(Fotó: Horváth Zsófia)



2. kép: *Daphnia atkinsoni*
(Fotó: www.flickr.com)

- ***Daphnia magna* és *Daphnia atkinsoni*:**

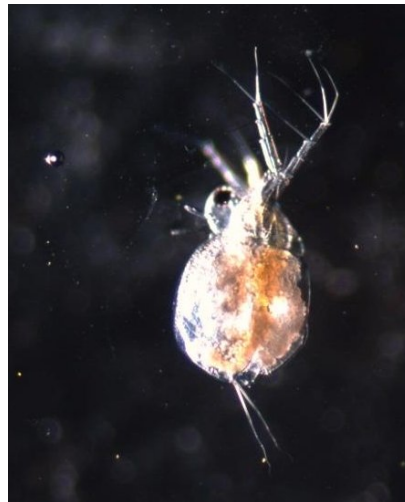
A *D. magna* és a *D. atkinsoni* gyakran fordulnak elő asztatikus szikes vizekben, akár egyidejű jelenlétük sem kizárt, de általában az év különböző időszakaiban dominálnak. A *D. magna* igen elterjedt nagyobb testméretű Cladocera faj, mely inkább meleg kedvelő, de a hidegebb időjárást is eltűri (1,5-27°C között). Szűrőszervezet, elsősorban baktériumokkal, mikroalgákkal és finom detritusszal táplálkozik. Nagyobb mérete és könnyű tenyésztetősége végett előszeretettel használják tesztorganizmusként. Tavasszal és nyáron is domináns fajként léphet fel a szikes tavakban. A *D. atkinsoni* a tavasz folyamán válhat dominánssá a szikes vizekben (Tóth et al., 2014).

- ***Moina brachiata*:**

Kiszáradó kis tavakban, mocsarakban előforduló ágascápú rák. Szikes vizek igen gyakori faja, ugyanis magas sótűréssel rendelkezik. Nyáron a *M. brachiata* magas denzitásokat érhet el, többnyire az *A. spinosus*sal együtt fordul elő. A nyár folyamán indikátor szervezetként használható a szikes vizekben (Tóth et al., 2014).

- ***Arctodiaptomus spinosus*:**

Az *A. spinosus*, más néven sziki lebegőkandics, egy natronofil Calanoida faj, mely tulajdonsága teszi őt a természetes és természetközeli állapotban lévő szikes tavak egyik domináns fajává. Jellemző pirosas színű, melynek köszönhetően nagy egyedsűrűségek esetében a vízben szabad szemmel is látható. Tóth és mtsai. (2014) kimutatták, hogy a szikes tavakban szignifikáns összefüggés van a jó konzervációs index és az *A. spinosus* jelenléte és dominanciája között, ezért kiváló indikátor szervezete ezeknek a víztér-típusoknak. A vonuló madarak élőhely-választásában is jelentős szerepet játszik, elsősorban a kanalas réce és a gulipán esetében. Ezen vízimadarak tavaszi vonulásuk során megállóhelyül a nagy *A. spinosus* denzitással rendelkező tavakat preferálják (Horváth és mtsai. 2013).



3. kép: *M. brachiata*
(Fotó: Horváth Zsófia)



4. kép: *A. spinosus*
(Fotó: Horváth Zsófia)

2. Célkitűzés:

A kutatásunk elsődleges célja a tipikus (zavaros, színanyagos és átmeneti) szikes tavakban élő planktonikus kiskárók közösségeinek szezonális mintázatainak feltárása volt. Ehhez kapcsolódóan részletes kérdéseink az alábbiak voltak:

1. Milyen szezonális változások figyelhetők meg a tavak környezeti változói esetén?
2. Milyen fajok alkotják a kiskunsági asztatikus szikes tavak kiskárók zooplankton közösségeit? Milyen a szikes tavi indikátorfaj, az *Arctodiptomus spinosus* éves denzitás-mintázata a kiválasztott tavakban?
3. Milyen a kiskárók közösségek denzitásának és fajszámának tér- és időbeli mintázata?
4. Hogyan függ össze a közösségek fajszáma a vezetőképességgel az egyes tavakban?
5. Milyen a közösségek szezonális összetétele, és melyek az ezekkel összefüggésbe hozható legfontosabb lokális tényezők?

3. Anyag és módszer:

3.1. A mintavételi élőhelyek rövid jellemzése:

A kutatásunk helyszínéül választott szikes tavak az Alföldön találhatók (1. ábra). A ható mindegyike szerves részét képezi a Kiskunsági Nemzeti Parknak, ritka és egyedi növényeknek és állatoknak nyújtanak élőhelyet, illetve jelentős madárállományt tartanak el az év során, különösen a vándorlási időszakban. Fülöpszállás-Szabadszállás közelében terül el a Kelemen-szék, a Zab-szék, a Zabhalom valamint a Fehér-szék, a Böddi-szék és a Sósér pedig Dunatetőtlen mellett. Ezen területek jelenleg a Kiskunsági Nemzeti Park gondozása és védelme alatt állnak.

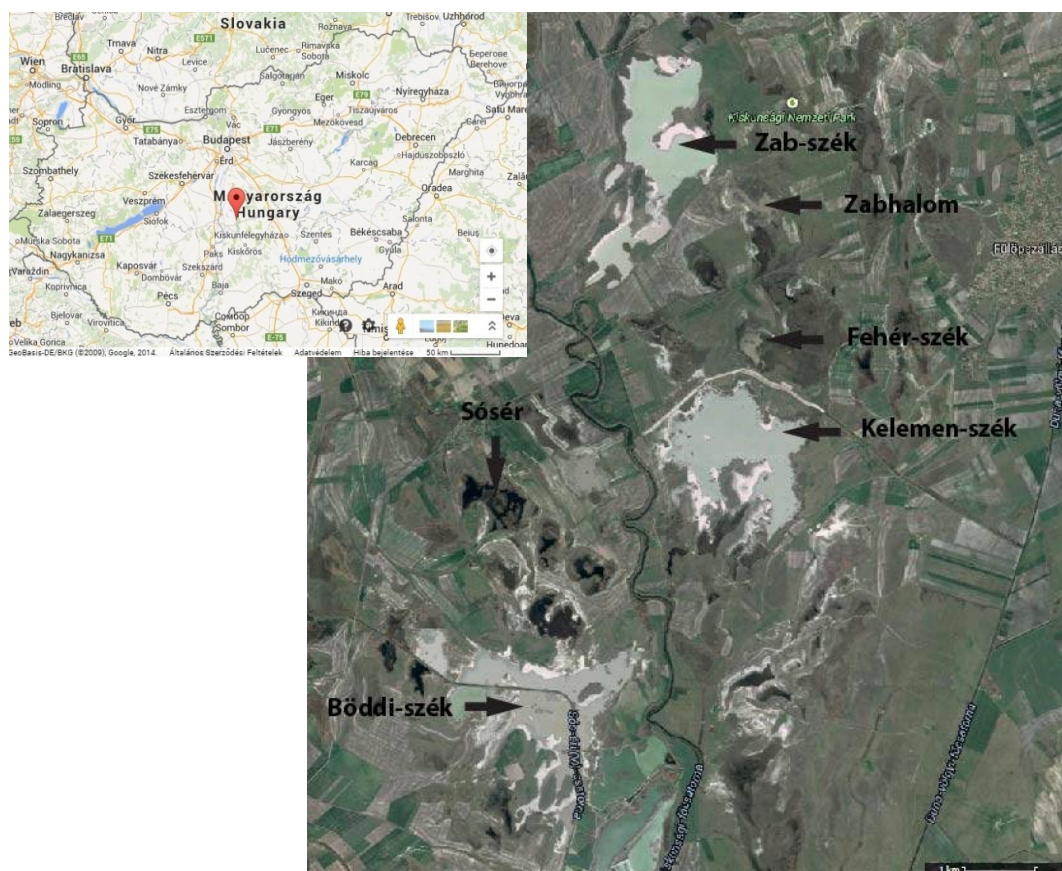
Forró (2003) vizsgálatai során megállapította, hogy a Kelemen-szék, Zab-szék és a Böddi-szék jó állapotban lévő tipikus zavaros szikesek, míg a Fehér-szék, melyen a megelőző évek során dús makrovegetáció jelent meg, az 1997-es rekonstrukciós tevékenységet (mederkotrás, szántás) követően még nem érte el a természetes zavaros szikesekre jellemző állapotot. Továbbá a környék kiskárók közösségét megfelelően gazdagnak ítélte meg eredményeinek a korábbi faunisztikai vizsgálatokkal és a Fertőzug területén lévő kiskárókra vonatkozó adatokkal (Löffler, 1959) való összevetése alapján.

Tóth és mtsai. (2014) nyomán megállapítható, hogy a legjobb konzervációs index- szel rendelkező terület a Zab-szék, de mellette nem sokkal marad el a Kelemen-szék és a Böddi-

szék sem. Ezek a tavak természetes állapotban lévő, jellegzetes zavaros szikes vizek, vagyis jellemző rájuk a magas turbiditás és lebegőanyag-tartalom (TSS), a nagyfokú átlátszatlanság, a nagy nyílt víztér és a növényzet teljes hiánya vagy a csupán a partszegélyen megjelenő ritka növényzet, ezen felül a halaktól mentes víztér. A Fehér-szék még ekkor (2009-2010) sem nyerte igazán vissza az eredeti állapotát. A Sósér egy tipikus színanyagos szikes tó, amelyek esetében a makrovegetáció megjelenése gyakori. A tó átlátszósága lényegesen nagyobb az előzőekénél, a vízben a fehér szikesekkel ellentétben az oldott huminanyagok dominálnak a szervesetlen lebegő kolloidok helyett. A Tóth és mtsai. (2014) által létrehozott konzervációs index értéke valamivel alacsonyabb, de még természetközeli állapotot feltételez.

A Zabhalom, amelyből szintén gyűjtöttünk mintákat, eddig nem vizsgált, újonnan kialakulóban lévő, színanyagos szikes tó. A Zab-szék közelében húzódó területen bivalyok legeltetése zajlik, melyek a korábbi évek során kitaposták a Zabhalom medrét. Az ebben megjelenő víz más jellegű, mint a Zab-székben megfigyelhető, ebből is látszik, hogy nem a Zab-szék lefűződéséről van szó. A pár centiméteres mélységű, időszakos vizes élőhely a tavasz folyamán rendelkezett mintázható vízmennyiséggel, az év nagy részében kiszáradt állapotban volt.

1. ábra: A mintavételi pontok földrajzi elhelyezkedése



3.2. Mintavételezés és mintafeldolgozás:

A fent említett szikes tavakban a mintavételezésre a 2013-as évben került sor. A gyűjtések, melyeket igyekeztünk a hónapok közepére időzíteni, áprilistól novemberig havi rendszerességgel történtek. Az év előrehaladtával (általában a nyár közepére) a tavak többsége teljesen kiszáradt. A már igen alacsony vízmélységű (pár centiméter) vagy kiszáradt tavakból gyűjtés nem történt. A mintavételt a tavak nyílt vízterének közepén végeztük. Általában 10 l (a júliusi minták esetében 20 l) vizet merítettünk ki, melynek összegyűjtését random végeztük, egy műanyag meregetőedény segítségével, számos, egymástól pár lépés távolságban lévő pontról. Az összegyűjtött vízmintát 30 µm-es lyukbőségű planktonhálón szűrtük át. A mintákat 4%-os formaldehiddel tartósítottuk. A gyűjtések alkalmával a legfontosabb biotikus és abiotikus változók mérésére is sor került. A vízmélységet és a víz átlátszóságát Secchi-koronggal határoztuk meg, a pH-t, a vízben oldott oxigén mennyiségét, a víz hőmérsékletét és vezetőképességét (fajlagos elektromos vezetőképesség) pedig WTW MultiLine (P 8211) terepi mérőműszer segítségével. Az a-klorofill koncentrációját a forró metanolos extrakciós módszerrel (Wetzel & Likens, 2000), a lebegőanyagok (TSS) mennyiségét pedig gravimetriás módszerrel határoztuk meg, a színyanyagok (platinaegységben kifejezve; Pt) mérését pedig laborban végeztük Cuthbert & Del Giorgio (1992) szerint.

A kisrákok identifikálására Gulyás és Forró (1999, 2001) valamint Einsle (1993) határozókulcsát használtuk. A *Cyclops* genus esetében nem történt faji elkülönítés, ezt a csoportot az elemzések során *Cyclops* spp.-ként kezeltük. A fajok meghatározása sztereomikroszkóppal, illetve preparálás után fénymikroszkóppal történt. A magas egyedsűrűséggel rendelkező – több mint 300 egyedet tartalmazó – minták esetében a feldolgozáskor almintázást használtunk (McCauley, 1984). Ezt vagy csak egy adott (domináns) fajra (amennyiben voltak mellette kis egyedszámban jelen levő taxonok, azok egyedsűrűségét a teljes mintából becsültük), vagy az egész mintára alkalmaztuk (ha az előzetes átnézéskor nem találtunk ritka, néhány egyeddel képviselt taxonokat). Az almintázás a következők szerint történt: a teljes (leszűrt) mintát csapvízzel 80 ml-re hígítottuk, majd annak 10%-át (8 ml) vettük ki a számláló téglyébe. A kapott kvantitatív adatokból egyenes arányossággal számítottuk ki az 1 literre eső egyedszámot.

3.3. Adatelemzés:

Az adataink normáloszlásának ellenőrzése Shapiro-tesztel történt. A környezeti tényezőkön belül a pH és hőmérséklet kivételével valamennyi tényező transzformációra szorult ($p < 0,05$). A TSS esetében köbgyökös, a többi változó esetén n -alapú logaritmikus transzformációval értük el a normáloszlást. A függő változók közül a fajok denzitás adatai esetében szintén köbgyökös transzformációt alkalmaztunk, hogy az ordinációk esetén csökkentsük a kiugró adatok hatását, illetve, hogy az összdenzitás adatok esetén elérjük a normál-eloszlást. A statisztikai elemzések során minden alkalommal ezeket a transzformált adatokat használtuk.

A kiskák közösségek évszakos mintázatainak denzitás adatok alapján történő bemutatására, valamint a domináns fajok kimutatására főkomponens-analízist (PCA) alkalmaztunk. Szintén ezzel az ordinációs eljárással szemléltettük a vizsgált tavakban a vízkémiai háttérváltozók alakulását az év folyamán (ebben az esetben terjedelemmel való standardizált PCA-t használtunk, hogy a különböző skálákon mért környezeti változók változásai jobban összemérhetőek legyenek (Podani, 1997)).

A kiskákok időbeli eloszlása és a környezeti változók közti összefüggések ábrázolására redundancia-analízist (RDA) használtunk.

Ismételt méréses varianciaanalízissel (repeated measures, azaz RM ANOVA) mutattuk ki, hogy a kiskákok fajszáma illetve denzitása esetében a tavak egyedisége vagy a szezonális-e a meghatározó tényező. Először megvizsgáltuk, van-e a fajszámra szignifikáns hatása a hónapoknak (ekkor a hónapot fix faktorként, a tavakat pedig random faktorként használtuk a modellben), majd a tavaknak (ekkor a tavakat használtuk fix faktorként, és a hónapokat random faktorként). Ezután ugyanezeket az elemzéseket elvégeztük az összdenzitás esetében is. Mivel a random faktor egyetlen alkalommal sem bizonyult szignifikánsnak, ezért az elemzéseket a fix faktorok megtartásával megismételtük egyváltozós ANOVA-ként. Azon alkalmakkor, amikor az egyváltozós ANOVA-ban szignifikáns különbséget találtunk, *post hoc* Tukey HSD tesztel derítettünk fényt arra, hogy mely csoportok térnek el egymástól. A varianciaanalíziskor a Zabhalmot kivettük az értékelésből, mivel a korai kiszáradása miatt túl kevés adattal szolgált a statisztikai elemzéshez.

A fajszám és a vezetőképesség valamint az összdenzitás és a vezetőképesség közti összefüggéseket lineáris regresszióval mutattuk be.

Az elemzéseket az R programmal (R Development Core Team 2012) végeztük, a „vegan” és „field” programcsomagok segítségével (Furrer et al., 2009; Oksanen et al., 2012).

Az ezen kívül felmerülő táblázatokat és diagramokat Microsoft Excel segítségével készítettük el.

4. Eredmények:

4.1. Vízkémiai és egyéb lokális környezeti tényezők szezonális változásai:

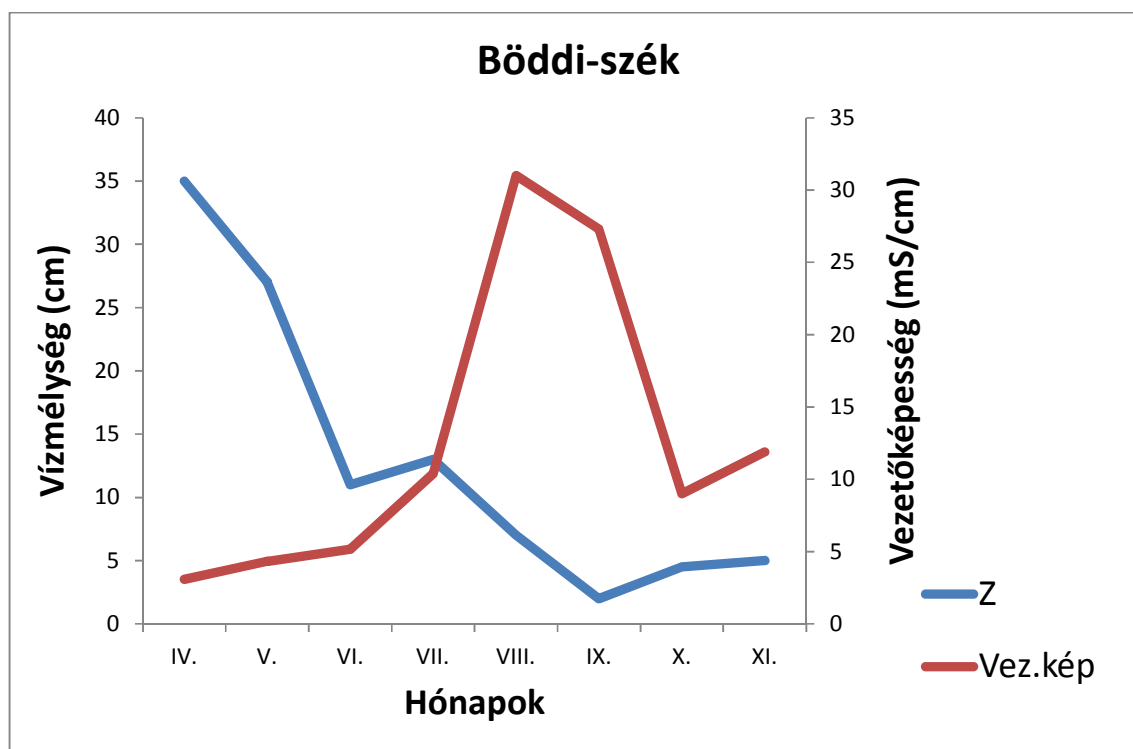
A vizsgált szikes tavak abiotikus és biotikus környezeti háttérváltozóit szemlélteti a következő táblázat, mely a minimum és a maximum értékeket foglalja magában (1. táblázat).

1. táblázat: Zab-szék, Böddi-szék, Fehér-szék, Kelemen-szék, Sósér és Zabhalom vízkémiai változóinak minimum és maximum értékei. Z: vízmélység, Zs: Secchi-átlátszóság, TSS: lebegőanyag tartalom, Vez.kép.: vezetőképesség, Pt: színanyag, Chl: klorofill tartalom, T: hőmérséklet, pH: kémhatás, O₂ %: oxigéntelítettség

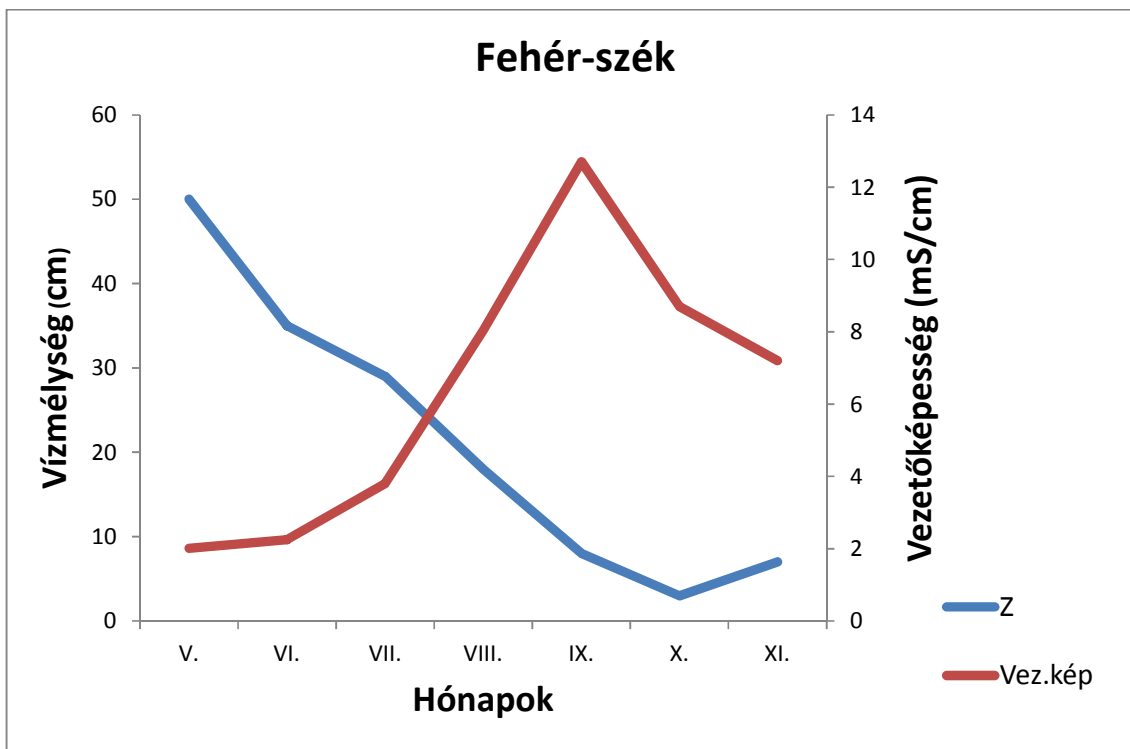
	Zab-szék		Böddi-szék		Fehér-szék		Kelemen-szék		Sósér		Zabhalom	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Z (cm)	3,5	45	2	35	3	50	10	43	4	50	14	31
Zs (cm)	0,5	7	0,5	13	1	27	0,5	8	1	25	2	15
TSS (mg/l)	375,5	2264	160,6	7532	17,2	2408	322	2174	3,4	291	14,1	1668
Vez.kép. (mS/cm)	2,4	12,3	3,1	31	2,0	12,7	1,9	10,7	1,9	23,6	2,5	5,4
Pt	165,7	952,3	148,9	801,3	717,4	1877,3	283,2	1069,8	1069,8	12598	1019,4	2909,3
Chl	1,7	430,2	4,3	220,2	2,6	400,3	2,6	42,6	0,5	463	1,9	23
T (°C)	10,6	30,8	6	29,1	9,6	31,5	16,8	29	8	29,9	17,4	35
pH	9,1	10,2	8,8	10,4	8,4	10,0	8,9	9,8	8,3	10,0	8,4	9,2
O ₂ %	57	120	75	110	59	106	78	126	41	106	54	71

A legmagasabb vezetőképességet a Böddi-szék érte el (31 mS/cm), de a többi tó esetében is magas értékek mutatkoztak, elsősorban késő nyáron és ősszel. Nagy különbségek észlelhetők a vezetőképesség minimuma és maximuma között. Az a-klorofill legmagasabb koncentrációja a Sósérben volt megfigyelhető és itt mértük a legalacsonyabb TSS-koncentrációt is. A Sósérben valamint a Zabhalomban találtuk a legmagasabbnak a színanyagok mennyiségét. A pH 8,3 és 10,3 között változott, a legalacsonyabb éves maximum-értékeket a Kelemen-székben és a Zabhalomban mértük.

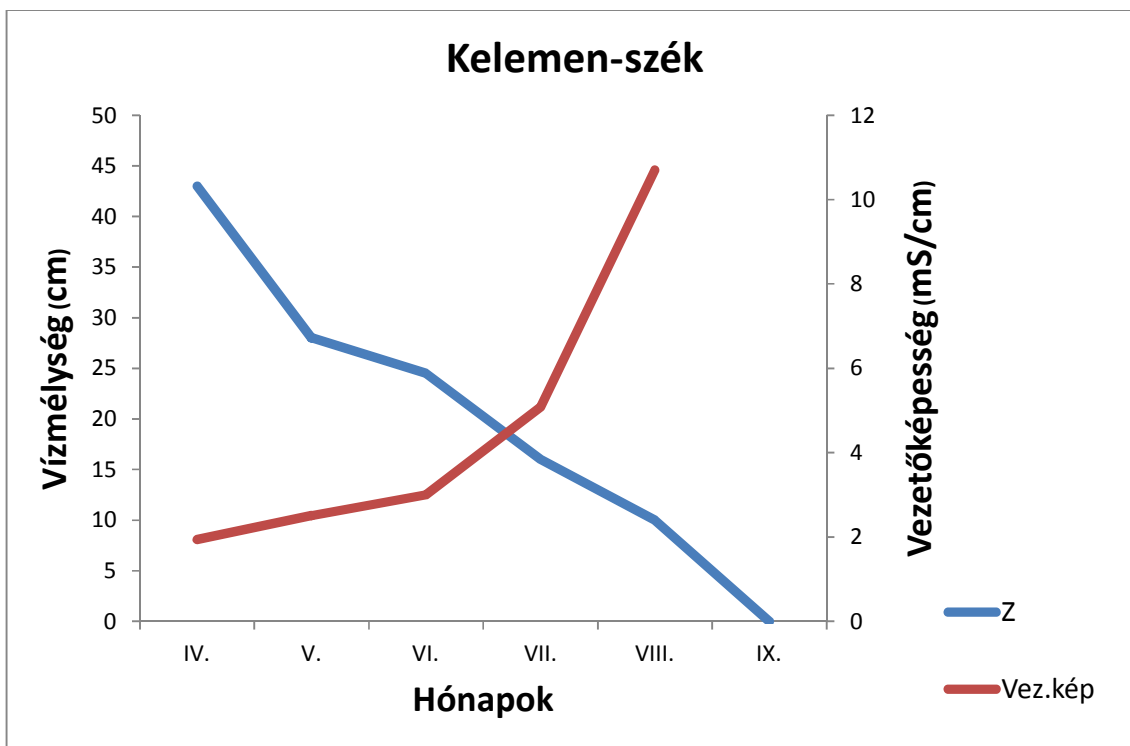
Az időszakos szikes tavak esetében az egyik legfontosabb környezeti tényező a nyár közepe felé bekövetkező kiszáradás. A vízmélység és a vezetőképesség időbeli változásainak szemléltetésével követhetjük nyomon (ld. 2-7. ábra) magát a kiszáradás folyamatát, a bemutatott változók közt tapasztalható összefüggéssel egyetemben. Megfigyelhető, hogy a vezetőképesség és ezáltal a sókoncentráció a vízmélység csökkenésével növekszik, vagyis a tavakban a kiszáradás előtt egy betöményedési folyamat játszódik le. Az ősz és a tavasz folyamán esőzések és elárasztások által növekedő vízmélység alacsonyabb vezetőképességekkel társul.



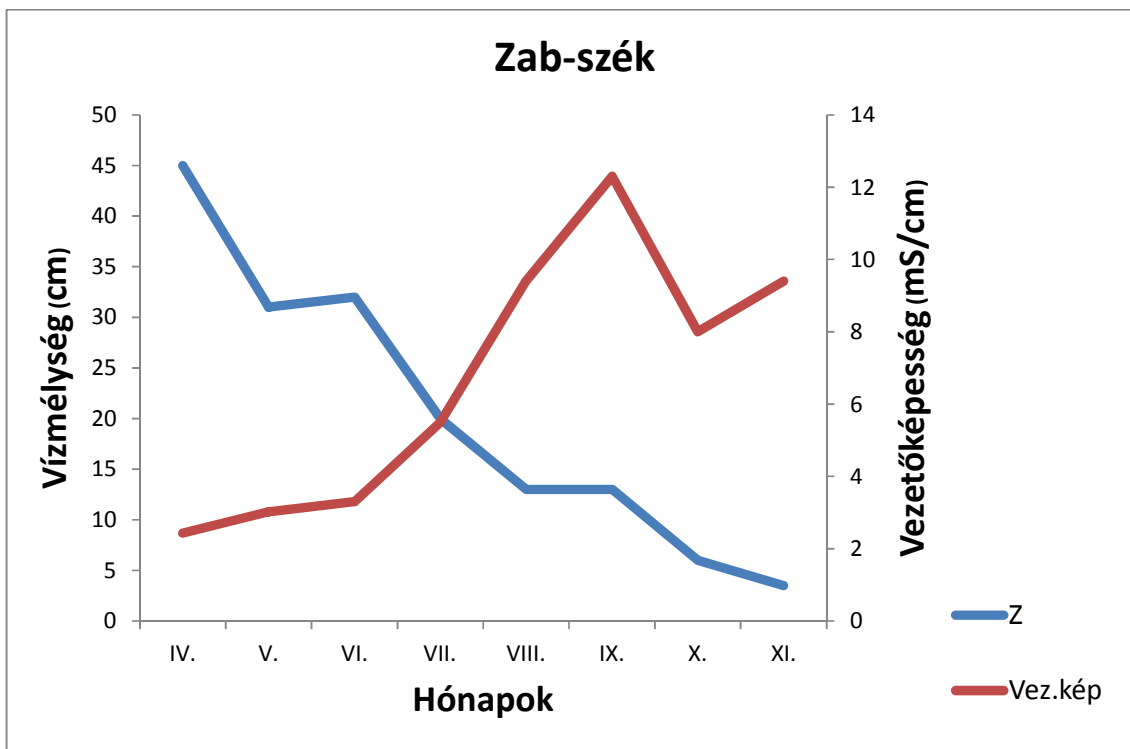
2. ábra: A Böddi-szék vezetőképességének és vízmélységének változása az év során



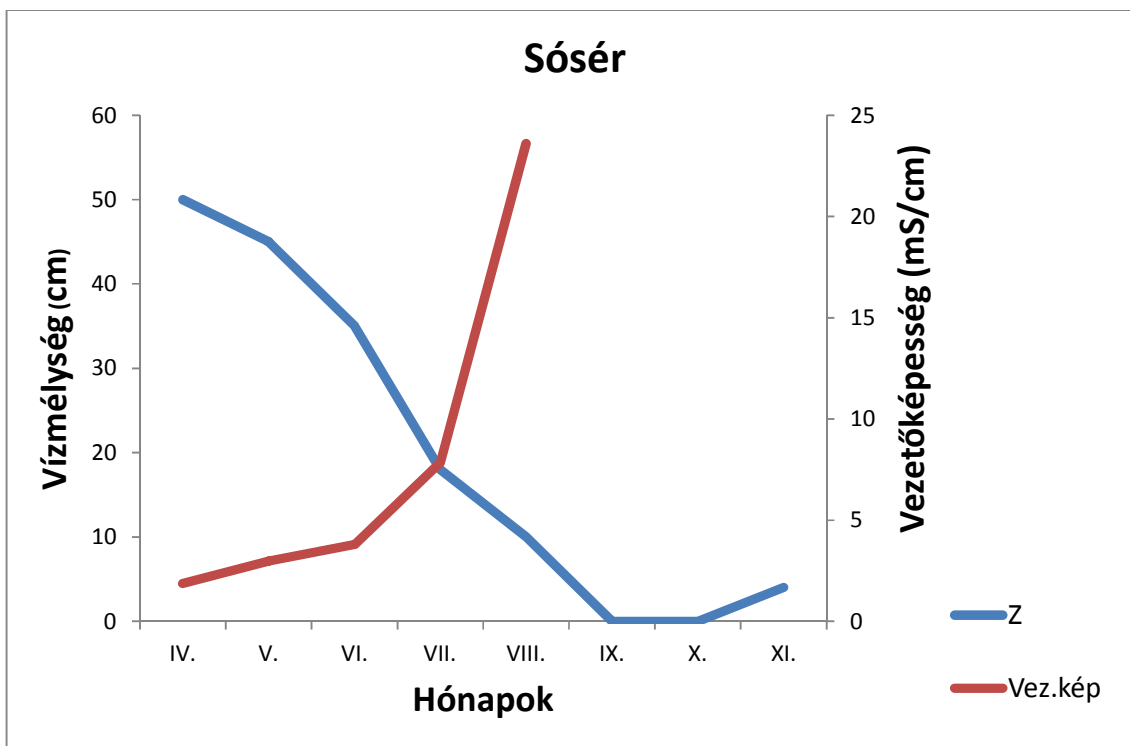
3. ábra: A Fehér-szék vezetőképességének és vízmélységének változása az év során



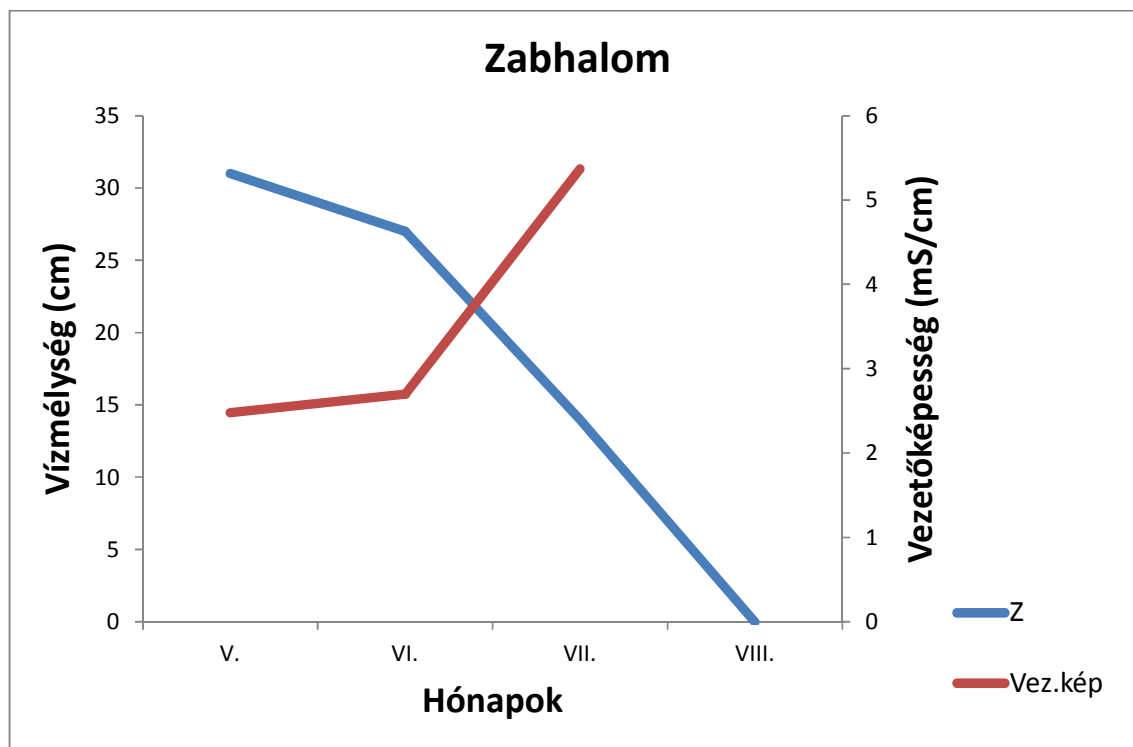
4. ábra: A Kelemen-szék vezetőképességének és vízmélységének változása az év során



5. ábra: A Zab-szék vezetőképességének és vízmélységének változása az év során

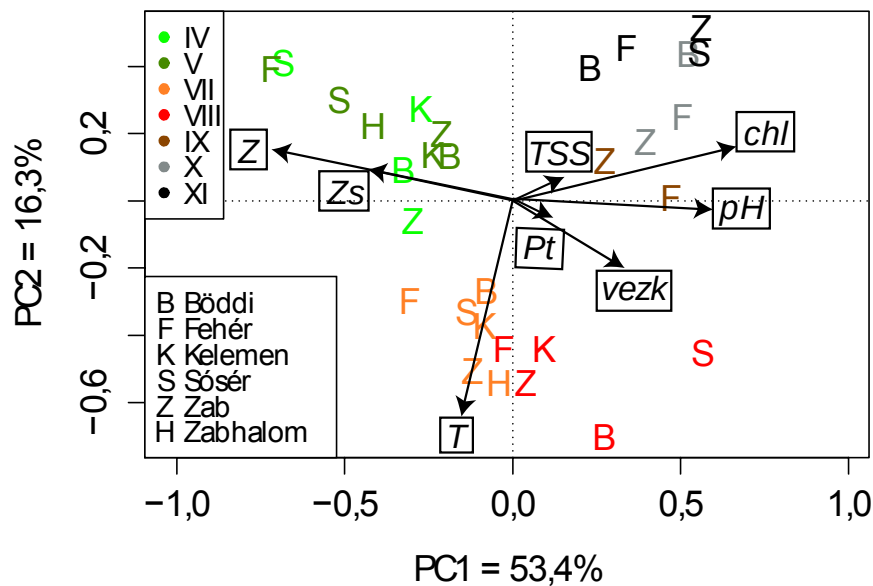


6. ábra: A Sósér vezetőképességének és vízmélységének változása az év során



7. ábra: A Zabhalom vezetőképességének és vízmélységének változása az év során

A környezeti változók időbeli különbségeit az egyes tavakban főkomponens analízis (PCA) segítségével vizsgáltuk. A terjedelemmel standardizált környezeti változók adataival dolgozó PCA diagramon a különböző évszakok mintái határozottan elkülönülnek egymástól, és így megállapítható, hogy az évszakokra hasonló környezeti feltételek jellemzőek az egyes tavakban (8. ábra). A nyári időszakban a hőmérséklet, a vezetőképesség és valamelyest a szénanyagok mennyiségének növekedése látható, míg a tavaszi mintákra a nagyobb vízmélység és átlátszóság jellemző, amely a vezetőképességet szemléltető nyíllal ellentétes irányba fut. A hőmérséklet és az a-klorofill koncentrációja a nyári időszakban tapasztaltaknál alacsonyabb értékeket mutat. Az ősz folyamán a vezetőképesség magasabb, mint a tavasz során. A hőmérséklet jelentősen lecsökken, de a lebegőanyag-tartalom és az a-klorofillkoncentráció ezeknél a mintáknál éri el a legmagasabb értékeket.



8. ábra: A környezeti változók szezonális mintázatai az egyes tavakban (PCA). A változók rövidítései (keretezett) az 1. táblázat címében olvashatóak, a tavak és a hónapok jelölése az ábrán látható

4.2. Fajkompozíció

A kutatásunk során feltérképeztük az általunk vizsgálatra kijelölt, kiskunsági szikes tavakban a 2013-as év folyamán fellelhető planktonikus kisrákok fajösszetételét. A kapott fajlistánkat összevetettük korábbi vizsgálatok eredményeivel. Forró (2003) a 1998-99 közötti időszakban tanulmányozta a területet, míg Tóth és mtsai. (2014) 2009-10 között készítették az egész Kárpát-medencére kiterjedő faunisztikai felmérést a szikes tavak zooplankton szervezeteiről, így az általunk vizsgált tavakról is rendelkezünk adatokkal ebből az időszakból is.

A tavak fajkészletének alakulását az 2-7 táblázatok szemléltetik, míg a legjelentősebb fajok éves eloszlását a 9-11. ábrák mutatják.

2. táblázat: A Zab-szék fajlistája

Zab-szék	Forró (2003)	Tóth és mtsai. (2014)	Jelen munka (2013)
Cladocera:			

<i>Alona rectangula</i> Sars (1862)	x		x
<i>Daphnia atkinsoni</i> Baird 1859		x	x
<i>Daphnia magna</i> Straus 1820	x		x
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867		x	
<i>Moina brachiata</i> (Jurine 1820)	x	x	x
Copepoda:			
<i>Arctodiaptomus spinosus</i> (Daday 1890)	x	x	x
<i>Cyclopoida</i> juv.			x
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus 1857)			x
<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg 1880)		x	
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)			x
Fajszám	4	5	7

3. táblázat: A Fehér-szék fajlistája

Fehér-szék	Forró (2003)	Tóth és mtsai. (2014)	Jelen munka (2013)
Cladocera:			
<i>Alona costata</i> Sars 1862		x	
<i>Alona rectangula</i> Sars (1862)	x		
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine 1820)			x
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller 1776)	x	x	
<i>Daphnia atkinsoni</i> Baird 1859	x	x	
<i>Daphnia curvirostris</i> Eylmann 1887	x		
<i>Daphnia longispina</i> (O. F. Muller 1776)	x		
<i>Daphnia magna</i> Straus 1820	x	x	x
<i>Diaphanosoma mongolianum</i> Ueno 1938	x		x
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867	x		
<i>Macrothrix rosea</i> (Jurine 1820)	x		
<i>Megafenestra auriata</i> (Fischer, 1849)	x		
<i>Moina brachiata</i> (Jurine 1820)	x	x	
<i>Moina micrura</i> Kurz 1875	x		
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus 1758)	x		
<i>Scapholeberis rammneri</i> Dumont & Pensaert 1983	x		
Copepoda:			
<i>Acanthocyclops robustus</i> Sars 1863	x		
<i>Arctodiaptomus bacillifer</i> (Koelbel 1885)	x		x
<i>Arctodiaptomus spinosus</i> (Daday 1890)	x		x
<i>Canthocamptus staphylinus</i> (Jurine 1820)		x	
<i>Cyclops</i> spp.		x	x
<i>Cyclops sternuus</i> Fisher 1851	x		
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus 1857)	x	x	x
<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg 1880)		x	
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer 1851)	x		
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)	x	x	x
<i>Mixodiaptomus kupelwieseri</i> (Brehm 1907)	x	x	
Fajszám	22	11	8

3. táblázat: A Kelemen-szék fajlistája

Kelemen-szék	Forró (2003)	Tóth et al. (2014)	Jelen munka (2013)
Cladocera:			
<i>Alona rectangula</i> Sars (1862)	x		
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller 1776)	x		
<i>Daphnia atkinsoni</i> Baird 1859	x	x	x
<i>Daphnia magna</i> Straus 1820	x	x	x
<i>Diaphanosoma mongolianum</i> Ueno 1938	x		x
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867			x
<i>Macrothrix rosea</i> (Jurine 1820)	x		
<i>Megafenestra auriata</i> (Fischer, 1849)	x		
<i>Moina brachiata</i> (Jurine 1820)	x	x	x
<i>Oxyurella tenuicaudis</i> (Sars 1862)	x		
<i>Scapholeberis rammneri</i> Dumont & Pensaert 1983	x		
<i>Wlassicsia pannonica</i> Daday 1904	x		
Copepoda:			
<i>Arctodiaptomus spinosus</i> (Daday 1890)	x	x	x
<i>Cyclops</i> spp.		x	
<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg 1880)		x	
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)	x		
Fajszám	13	6	6

4. táblázat: A Böddi-szék fajlistája

Böddi-szék	Forró (2003)	Tóth et al. (2014)	Jelen munka (2013)
Cladocera:			
<i>Alona rectangula</i> Sars (1862)	x		
<i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Muller 1776)	x		
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller 1776)	x		
<i>Daphnia atkinsoni</i> Baird 1859	x	x	x
<i>Daphnia magna</i> Straus 1820	x	x	x
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867		x	
<i>Macrothrix rosea</i> (Jurine 1820)	x		x
<i>Moina brachiata</i> (Jurine 1820)	x		x
<i>Moina macropa</i> (Straus, 1820)	x		
<i>Simocephalus exspinosus</i> (Koch 1841)	x		
<i>Wlassicsia pannonica</i> Daday 1904	x		
<i>Oxyurella tenuicaudis</i> (Sars 1862)			x
Copepoda:			
<i>Arctodiaptomus bacillifer</i> (Koelbel 1885)	x	x	
<i>Arctodiaptomus spinosus</i> (Daday 1890)	x	x	x
<i>Cyclops</i> spp.		x	x
<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg 1880)		x	
Fajszám	12	7	7

5. táblázat: A Sósér fajlistája

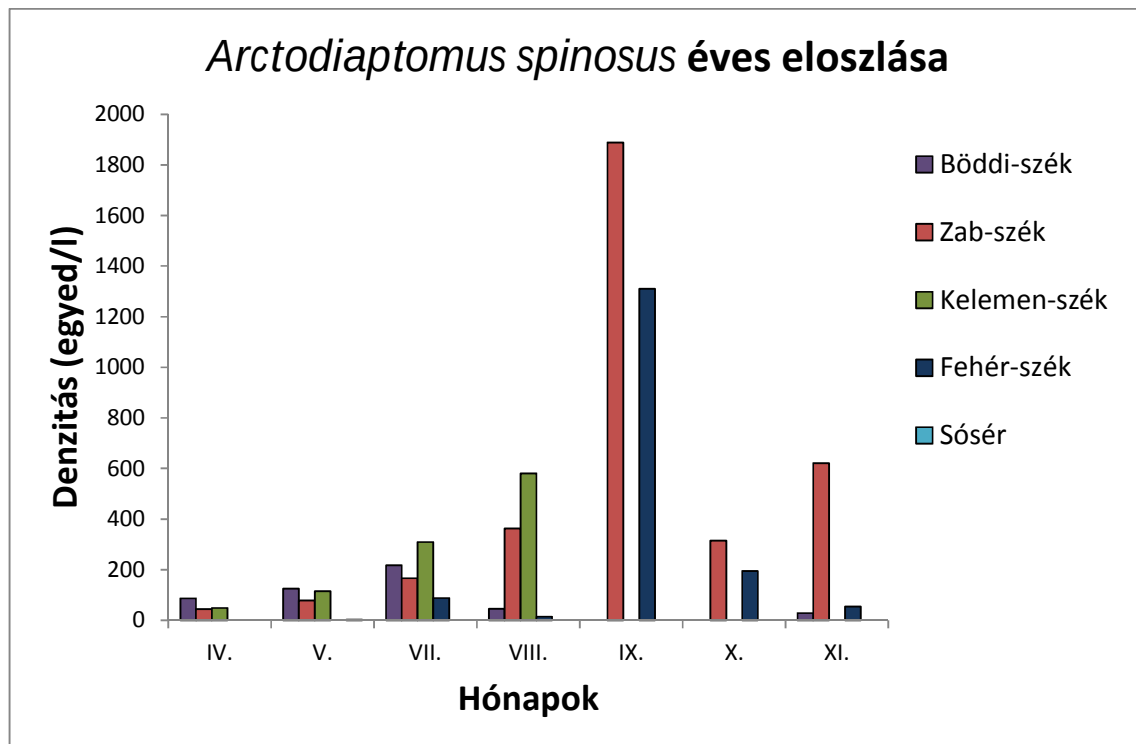
Sósér	Tóth et al. (2014)	Jelen munka (2013)
Cladocera:		
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine 1820)	x	x
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller 1776)		x
<i>Daphnia curvirostris</i> Eylmann 1887		x
<i>Daphnia magna</i> Straus 1820	x	x
<i>Diaphanosoma mongolianum</i> Ueno 1938		x
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867		x
<i>Moina brachiata</i> (Jurine 1820)		x
<i>Moina micrura</i> Kurz 1875		x
<i>Simocephalus exspinosus</i> (Koch 1841)		x
Copepoda:		
<i>Arctodiaptomus bacillifer</i> (Koelbel 1885)	x	
<i>Arctodiaptomus spinosus</i> (Daday 1890)	x	x
<i>Cyclops</i> spp.	x	x
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus 1857)	x	x
<i>Diacyclops bisetosus</i> (Rehberg 1880)	x	x
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)	x	x
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus 1857)		x
<i>Mixodiaptomus kupelwieseri</i> (Brehm 1907)		x
Fajszám	8	16

6. táblázat: A Zabhalom fajlistája

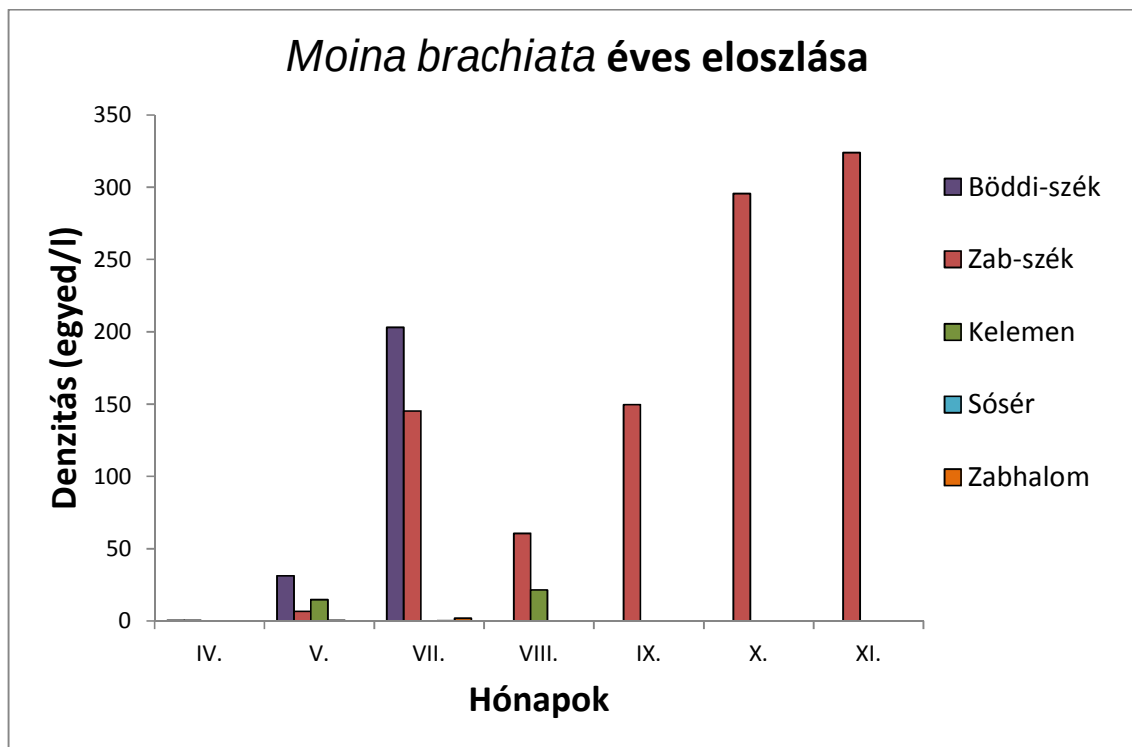
Zabhalom	Jelen munka (2013)
Cladocera:	
<i>Alona rectangula</i> Sars (1862)	x
<i>Daphnia magna</i> Straus 1820	x
<i>Moina brachiata</i> (Jurine 1820)	x
Copepoda:	
<i>Arctodiaptomus bacillifer</i> (Koelbel 1885)	x
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus 1857)	x
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)	x
Fajszám	6

A Zab-szék esetében 8 fajt azonosítottunk a vizsgálatunk alatt. Az év folyamán az *Arctodiaptomus spinosus* volt a tóban a leggyakrabban előforduló faj. Az év során minden hónapban jelen volt ebben a szikes tóban, különösen nagy denzitásokat a nyár folyamán ért el (9. ábra). Ez a faj a korábbi vizsgálatok alatt is megfigyelhető volt a Zab-székben a *Moina*

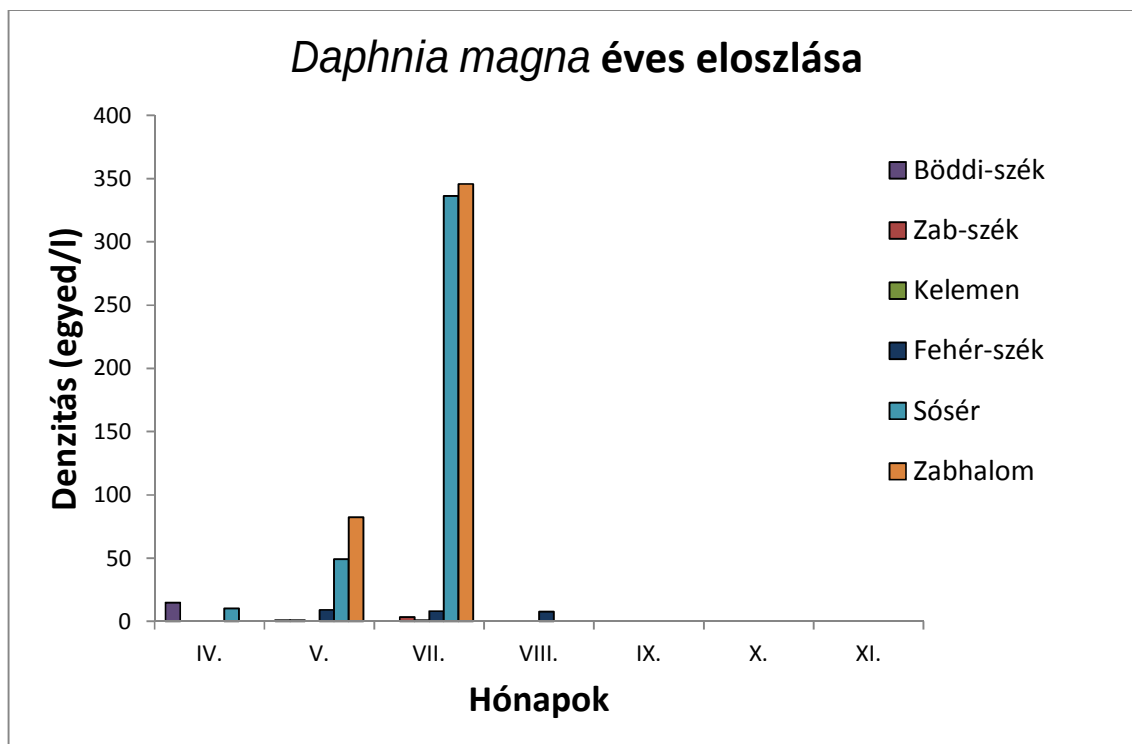
brachiata-val egyetemben, mely az *A. spinosus* után a második leggyakoribb fajnak bizonyult, mivel az áprilist kivéve valamennyi mintában előfordult.



9. ábra: Az *Arctodiaptomus spinosus* évszakos eloszlása a vizsgált tavakban



10. ábra: A *Moina brachiata* évszakos eloszlása a vizsgált tavakban

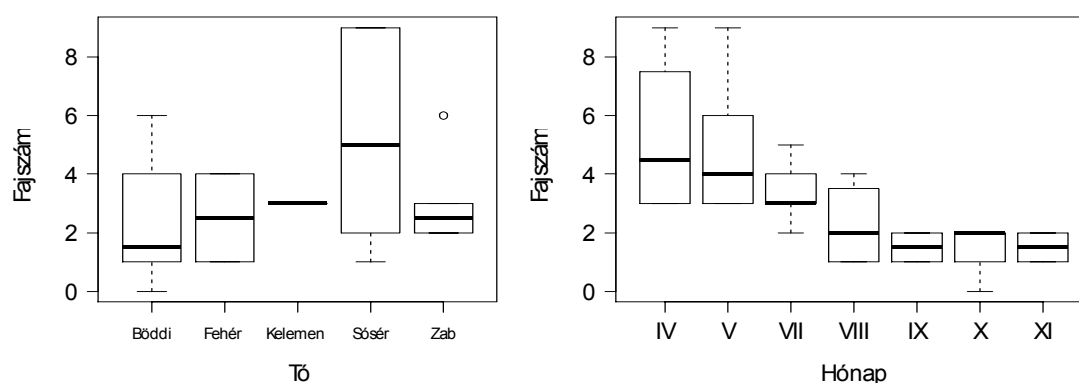


11. ábra: A *Daphnia magna* évszakos eloszlása a vizsgált tavakban

A Böddi-szék esetében 7 fajt indentifikáltunk az év folyamán. Az *Arctodiptomus spinosus* itt is gyakran fordult elő a *Moina brachiata*-val egyetemben. A nyár végi kiszáradás előtt ez a két faj dominált a víztérben. A Kelemen-székben 6 fajt találtunk. Itt is az *A. spinosus* bizonyult a domináns fajnak, a *M. brachiata* pedig kisebb gyakorisággal fordult elő, mint az előző két tóban. A Fehér-szék fajkészlete 8 fajból tevődött össze. Az élőhelyet az *A. spinosus* dominanciája jellemezte. A *M. brachiata* helyett inkább a *D. magna* volt az uralkodó a Cladocera csoporton belül. A Sósérből került elő a legtöbb (16) faj. A Sósér leggyakoribb faja a *D. magna* volt. A Zabhalom esetében 6 faj került feljegyzésre az év tavaszi időszaka alatt, még a víztér kiszáradása előtt. A domináns fajként a *D. magna* jellemezte.

4.3. A kiskisrások közösségeinek denzitásának és fajszámának tér- és időbeli mintázatai

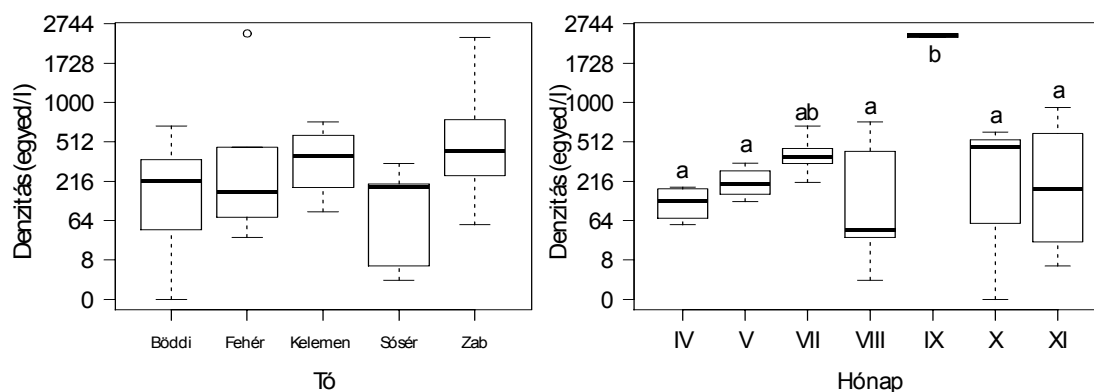
Variancia-analízis (ANOVA) segítségével megvizsgáltuk, hogy az adott szikes tavakban előforduló planktonikus kiskisrások fajszámát, illetve denzitását tekintve láthatóak-e szezonális vagy tavak közti különbségek. A fajszám esetében azt tapasztaltuk (12. ábra), hogy az egyes tavak fajszáma az év során nem tér el szignifikánsan ($F_{(4,16)}=2,1$; $p>0,05$), az egyes hónapokban kapott fajszám azonban igen ($F_{(6,16)}=3,6$; $p=0,02$). A *post hoc* Tukey-próba alapján a hónapok csak marginálisan tértek el, ám az év előrehaladtával csökkenő tendencia így is jól kivehető a 12. ábrán. A legmagasabb fajszám-értékeket a Sósérben mutattuk ki.



12. ábra: A közösségek fajszáma az egyes tavakban (balra) és hónapokban (jobbra)

A kiskisrások denzitásával kapcsolatban hasonló eredményeket kaptunk (13. ábra). A tavak denzitás-értékei nem különböztek szignifikánsan ($F_{(4,16)}=0,8$; $p>0,05$), a hónapok értékei

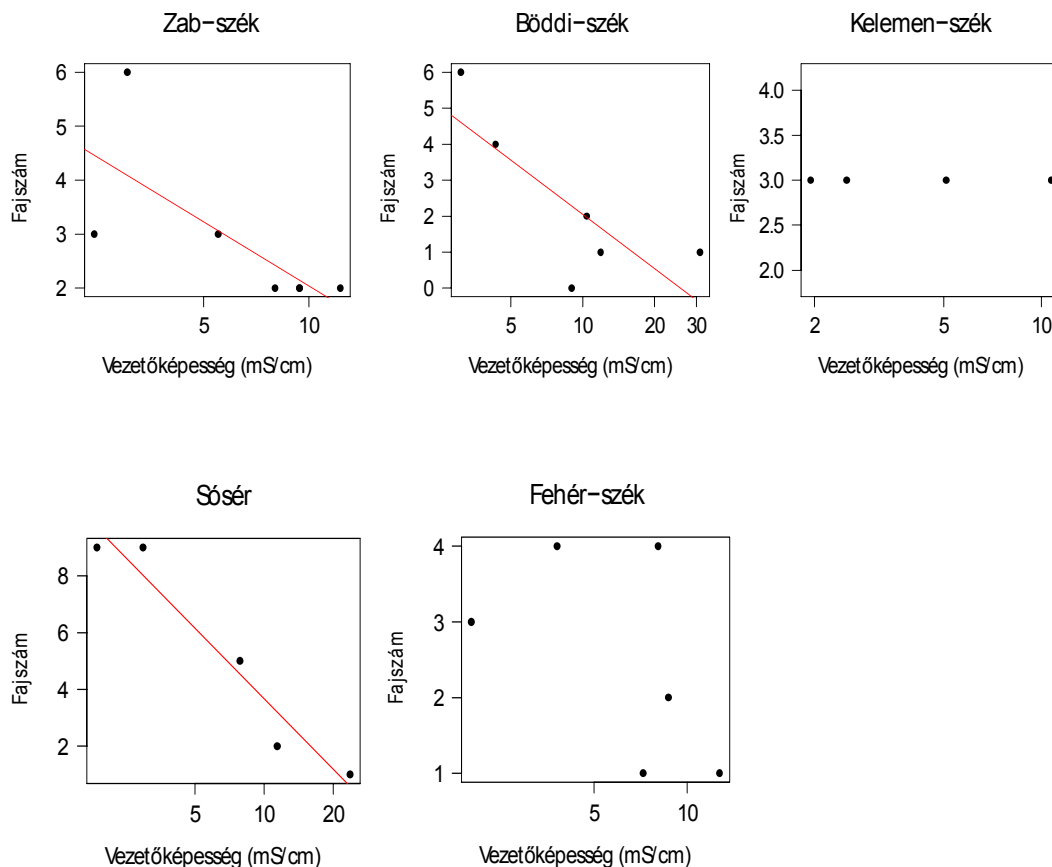
azonban igen ($F_{(6,16)}=2,7$; $p<0,05$). A *post hoc* Tukey-próba ebben az esetben több szignifikáns különbséget is kimutatott. A szeptemberi értékek a júliust kivéve valamennyi hónapnál magasabbnak tekinthetők, míg a többi hónap szignifikánsan nem tért el egymástól.



13. ábra: A közösségek denzitása az egyes tavakban (balra) és hónapokban (jobbra; itt a *post hoc* Tukey-próba alapján azonos denzitásúnak tekinthető hónapok azonos betűjelet kaptak)

4.4. A kiskrak közösségek fajszámának összefüggése a tavak vezetőképességével

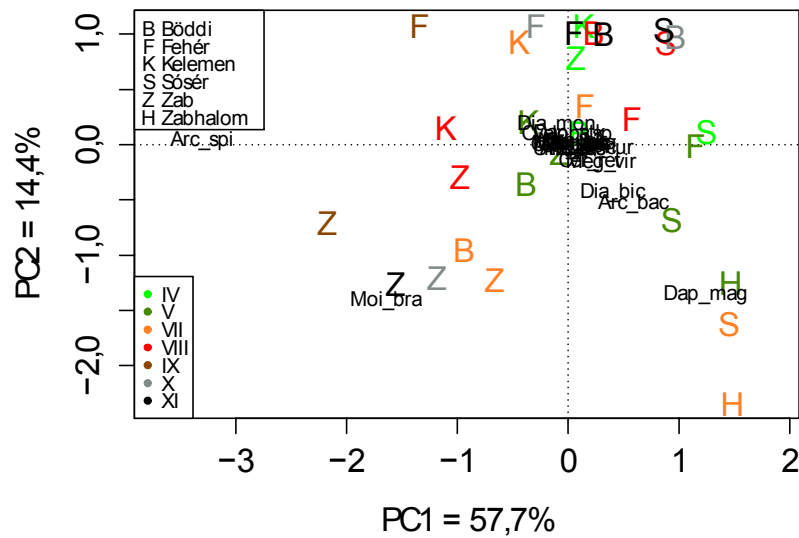
A fajszám és a vezetőképesség között lineáris regresszióval kerestünk összefüggéseket. A 14. ábra mutatja be az egyes tavakban megfigyelt fajszámok és a vezetőképesség kapcsolatát. A Kelemen-szék az év során végig azonos fajszámokkal rendelkezett, míg a Fehér-székben kapott fajszámok nagy szórást mutattak, így ezekben a tavakban nem kaptunk szignifikáns összefüggést ($p>0,05$). A Zab-szék ($R^2=0,52$, $p=0,07$), Böddi-szék ($R^2=0,61$, $p=0,06$) és Sósér ($R^2=0,94$, $p<0,01$) esetében a vezetőképesség növekedésével a fajszám szignifikáns (a Zab-szék és Böddi-szék esetében marginálisan szignifikáns) csökkenése volt megfigyelhető.



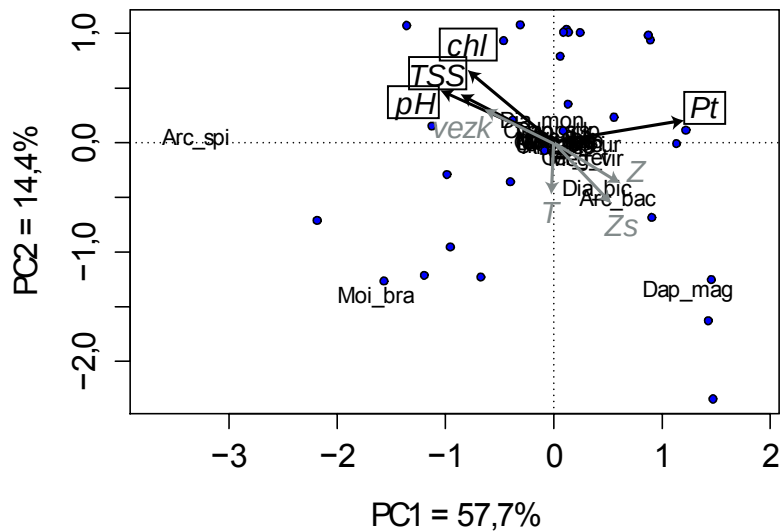
14. ábra: A fajszám összefüggése a vezetőképességgel az egyes tavakban (a lineáris regresszióval kapott szignifikáns és marginálisan szignifikáns összefüggéseket az ábrákon piros vonallal jelentettük meg)

4.5. A planktonikus kiskák közösségek időbeli változása az év során

A denzitás adatokon alapuló PCA (15. ábra) jól mutatja az év során jórészt megmaradó, tavak közti különbségeket. Az ábrán az egy időben vett minták elszórtan helyezkednek el, a minták inkább a tavak szerint csoportosulnak (pl. a Sósér mintái az ábra jobb felén, a Zab-szék mintái a bal alsó régióban, a Fehér-székéi fent). A minták eltérseiért elsősorban az *Arctodiaptomus spinosus*, a *Moina brachiata* és a *Daphnia magna* voltak felelősek (az ábrán ezek a legkiugróbb, tehát a legnagyobb egyedsűrűségeket elérő fajok), de a *Diacyclops bicuspidatus* és az *Arctodiaptomus bacillifer* is kitűntek a többi, centroidban maradó faj közül. Ez utóbbi fajok a Sósérben és a Zabhalomban késő tavasszal és kora nyáron értek el nagy egyedszámokat.



15. ábra: Avizsgált szikes tavak szezonális közösségösszetétel-beli különbségeinek szemléltetése, köbgyökösen transzformált denzitás adatokon alapuló PCA. A fajok nevei a 3–8. táblázatokban felsorolt fajok hatbetűs rövidítései.



16. ábra: A környezeti tényezők és a közösségek összetétele közötti összefüggések, RDA (a szignifikáns tényezők feketével, kerettel, míg az egyéb tényezők szürkével jelölve). A változók rövidítései az 1. táblázat címében olvashatóak, a fajok nevei a 3–8. táblázatokban felsorolt fajok hatbetűs rövidítései.

Egy másik ordinációs elemzéssel, redundancia-analízissel (RDA) vizsgáltuk az összefüggéseket a környezeti tényezők és a közösségek összetétele között (16. ábra). Az elemzés eredményeként megállapítottuk, hogy a vízkémiai háttérváltozók közül a lebegőanyag-tartalom (TSS), a színanyagok koncentrációja (Pt), az a-klorofilltartalom (chl) és

a pH hatásai szignifikánsak. A szürke színnel jelölt környezeti változók az analízis során nem bizonyultak jelentősen meghatározónak, ám a vezetőképesség (vezk) láthatóan a TSS és a pH irányával megegyezően változik, ezekkel pedig ellentétes irányba mutat a vízmélység (Z) és az átlátszóság (Zs).

5. Eredmények értékelése:

5.1. Környezeti változók

Az asztatikus szikes tavak közösségeinek életében nagyon fontos szerepet játszik az év során bekövetkező kiszáradás. A tavasz folyamán a csapadékkal és az elárasztásokkal töltődnek fel a tavak ekkor az éves átlaghoz képest magasabb vízmélységgel rendelkeznek, majd folyamatos vízmélység-csökkenés figyelhető meg a tavakban a nyár közeledtével. A Kelemen-szék, Sósér és Zabhalom esetében a tómeder teljesen kiszáradt a nyár végére, de a többi szikes tó vízmélysége is centiméteres nagyságúra csökkent. A víz elpárolgásával egyidejűleg a víz vezetőképessége, és így a sókoncentrációja fokozatosan határozott növekedésnek indult a szikes tavakban. A vezetőképesség minimum és maximum értékei között nagymértékű eltérések ennek a betöményedési folyamatnak köszönhetők, mely minden vizsgált szikes tó esetében megfigyelhető volt. Forró (1989) a Kiskunsági Nemzeti Park területén lévő szikes tavakban végzett szezonális kutatásokat. A vízmélység és a vezetőképesség ily módon történő éves változását ő is megfigyelte.

A legmagasabb mért színanyag (Pt) értéket a Sósér és a Zabhalom esetében mértük, mely jól mutatja a színanyag szikes vizek karakterisztikáját. A zavaros vizű szikes tavaknál a színanyag tartalom maximumai jóval alacsonyabb szintet értek el. A lebegőanyag tartalom ezzel ellentétesen alakult. A Zab-szék, Böddi-szék, Kelemen-szék és Fehérszék esetében a TSS értékei jóval magasabbnak bizonyultak mint a Sóséré vagy a Zabhalomé.

A környezeti változók mintázatait szemléltető PCA-n a tavak pontjai évszakonként külön csoportokban helyezkednek el. Vagyis a környezeti változókat a szezonális jelentősen befolyásolja.

5.2. A kiskrak zooplankton fajkészlete

A Zab-szék fajkészletének a korábbi adatokkal történő összevetése során észlelhető egy kisebb fajszámbeli növekedés. Forró (2003) által vizsgált időszakban nem mutattak előfordulást a Cylopoidák, ám Tóth és mtsai. (2014) és esetünkben már igen. A *Moina brachiata* és az *Arctodiaptomus spinosus* jelenléte mind a három tanulmány során

megfigyelhető volt, és ezen fajok a vizsgálatunk alatt igen dominánsak voltak a Zab-székben, legnagyobb denzitásukat a nyár folyamán érték el.

A Fehér-szék esetében Forró (2003) által felállított fajlista lényegesen hosszabb, mint a Tóth és mtsai. (2014) vagy az általunk készített. Ez nagyrészt annak köszönhető, hogy Forró vizsgálata nem sokkal a tó helyreállító munkálatait követően folyt. Előtte a dús makrovegetáció több és más karakterű fajoknak kedvezett. A Tóth és mtsai. (2014) által felállított konzervációs index szerint még a 2009-2010 közötti években sem bizonyult a víztér kifejezetten jó állapotban lévőnek. Azonban abból az időszakból nem jelentettek *A. spinosus* előfordulást, ellenben a mi vizsgálatunkkal. Tóth és mtsai. (2014) megállapították, hogy az *A. spinosus* jelenléte illetve a dominanciája a nyári időszakokban jó konzervációs indexekkel társul. A vizsgálatunk során az *A. spinosus* már tavasztól megfigyelhető volt a Fehér-székben, és jelenléte a nyár folyamán is megmaradt. Szeptemberben egy hirtelen növekedés következett be, és ekkor kiugróan magas egyedsűrűséget ért el a populáció. Ez is utal arra, hogy a Fehér-szék jelenleg egy átmeneti jellegű szikes tó. *A. spinosus* jelenléte utalhat a természetes állapotban lévő zavaros szikes tavakra, de az ezzel társuló magas nyári denzitások nem voltak a Fehér-székben tapasztalhatóak. Az *A. spinosus* mellett a tóban ekkor a *D. magna* dominált, ami a színanyag szikes tavak karaktere. Az *A. spinosus* szeptemberi nagy előretörése jól mutatja, hogy az év elején inkább színanyag szikes jellegekkel rendelkező Fehér-szék állapota megváltozott és a zavaros szikesek jegyei mutatkoztak meg rajta. A gondolatot igazolja a mért lebegőanyag tartalom értékei (augusztus: 890 mg/l; szeptember: 2408 mg/l).

A Kelemen-szék fajszáma 6 mind az általunk leírt mind a Tóth és mtsai. (2014) által készített fajlistában. A fajok a korábbi adatokkal nagyfokú egyezést mutatnak. Mind a három időszakban megtalálható volt ugyanis a *M. brachiata*, a *D. magna*, a *D. atkinsoni* és az *A. spinosus*. A Kelemen-székben a nyár folyamán megfigyelhető volt a *M. brachiata* és az *A. spinosus* magasabb denzitása. Az *A. spinosus* a kiszáradás előtti hónapokban jelen volt és az idő múlásával a denzitása lépcsőzetesen fokról-fokra növekedett.

A Böddi-szék esetében leírt fajsám megegyezik a Tóth és mtsai. (2014) általival. Az *A. spinosus* már a vizsgálatunkat megelőzően is megfigyelhető volt a Böddi-székben, ám Tóth és mtsai. (2014) a *M. brachiata* előfordulását nem jelentették munkájuk során. A mi vizsgálatunk során azonban a *M. brachiata* július folyamán kiemelkedően meghatározónak bizonyult a víztérben, magasabb denzitással bírt mint az *A. spinosus*.

A Sósér mint színanyag szikes tó, nem meglepő módon a leghosszabb fajlista birtokosa lett, a vizsgálatunk alatt 16 fajt sikerült indentifikálunk a víztérből. Ez jóval több,

mint amennyit Tóth és mtsai. (2014) jelentettek, de új fajok felbukkanásán túl a fajkészletek közel azonosak. A *D. magna* dominancia és magas Cyclopoida arány volt megfigyelhető a víztérben. Az augusztusi időponban gyűjtött mintánkban csupán egyetlen *Megacyclops viridist* találtunk 20 mS l^{-1} feletti vezetőképesség mellett. Ez igen szokatlan, ugyanis a *M. viridis* ugyan jó sótűrővel rendelkezik, de előfordulását idáig kisebb határértékek mellett jelentették (Wolfram et al., 1999).

A Zabhalomról korábbi adatokkal nem rendelkezünk, de itt is a barna vizű szikesekre jellemző módon inkább a *D. magna* mutatott magasabb denzitásokat, és Cyclopoidák is nagyobb arányban mutatkoztak.

Tóth és mtsai. (2014) megállapították, hogy a kevésbé jó állapotban lévő szikes vizekben inkább a *D. magna* jelentkezik uralkodó fajként. A színanyag szikes tavak alapvetően a zavaros szikes tavak szukcessziós folyamatával jönnek létre, így a fő jellegzetességeiket fokozatosan elvesztik. A makrovegetáció megjelenése kedvez a Cyclopoidák megjelenésének, mely tapasztalható volt a Zabhalom és a Sósér esetében, valamint a lebegőanyag tartalom lecsökken, ami az érzékeny, könnyen eltömődő szűrőkészülékkel rendelkező *Daphnia* fajok számára teremt ideálisabb feltételeket.

A zavaros szikes tavakban (Zab-szék, Fehér-szék, Kelemen-szék, Böddi-szék) elsősorban *A. spinosus* dominált az év során, és mellette a *M. brachiata*, mely a nyári hónapokban volt meghatározó. Tóth és mtsai. (2014) vizsgálatuk során megállapították, hogy a *M. brachiata* a nyári hónapokban dominálni tud a szikes vizekben, míg az *A. spinosus* az egész év folyamán, és gyakran ez a két faj nyáron közösen jelenik meg, ezek megegyeznek az általunk tapasztaltakkal. Tóth és mtsai. (2014) nyomán azt mondhatjuk, hogy ezek a tavak jó ökológiai állapotban vannak, ugyanis ezen két fajt nevezték meg mint a természetes állapotban lévő szikes vizek indikátorait. A Forró (1989) által végzett szezonális vizsgálatok során is hasonló megfigyelésekre derült fény.

Az összehasonlításoknál általában Forró (1989) több fajt identifikált a vízterekből, és a fajszámaink inkább a Tóth és mtsai. (2014) leírásai szerint alakultak. Ennek az oka valószínűleg az, hogy míg mi és Tóth és mtsai. (2014) nyílt víztérből gyűjtöttük a mintákat, addig Forró (1989) a part menti növényzettel szegélyezett területekről is merített, mely esetben az ezeket az élőhelyeket preferáló kiskrák fajok is befoghatók.

5.3. A kiskrák zooplankton közösségek mintázatai

A fajszám és a denzitás tekintetében a tavak lokális, egyedi tényezői nem mutattak szignifikáns különbséget, amely alapján megállapíthatjuk, hogy a tavak által adott sajátos

feltételek nem befolyásolják a fajszámot és denzitást jelentős mértékben. A hónapok közötti különbségek azonban marginálisaknak bizonyultak mind a fajszámra mind a denzitásra, ezért elmondható, hogy szezonális nagyobb hatást fejtett ki rájuk. Az év előrehaladtával a fajszám csökkenő tendenciát mutat, míg a denzitás az év kezdetétől a nyár közepéig növekvőt.

A kiskisrák közösségeket nagyban befolyásolja a vezetőképesség, vagyis a vizek sókoncentrációja, mely az év során a szikes tavakban nagyon széles skálán mozog. Mint ahogy azt már fentebb említettük, a kiszáradás előtt egy betöményedési folyamat játszódik le, mely komoly stresszfaktor az élőlények számára. Ehhez az extrém környezetnek már csak pár bizonyos faj tud alkalmazkodni, így a fajszámban csökkenés következik be. Horváth és mtsai. (2014) folytattak erre irányuló megfigyeléseket, melyben megállapították, hogy ugyan a szikesekben előforduló fajok közül sok eurihalin, és akár brakk vizekben is megjelennek (pl. *D. magna*, *Ceriodaphnia reticulata*, *M. brachiata*), de a legmagasabb sótűréssel a szikes specialista *A. spinosus* és a *M. brachiata* rendelkezik, melyek a nyár folyamán a magas sókoncentráció mellett is megfigyelhetők. Horváth és mtsai. (2014) szerint a lecsökkent fajszám mellé növekvő denzitás társul. Ez esetünkben is tapasztalható volt. A legmagasabb fajszámok a kiszáradást megelőző időszakban voltak megfigyelhetők.

A kiskisrák közösségek összetételére a denzitási adatokon alapuló PCA szerint tavak lokális adottságai nagyobb kihatásúak mint az időbeli változások. A zavaros szikes tavakban domináns fajként az *A. spinosus* és a *M. brachiata* lépnek fel, míg a színanyag szikesekben a *D. magna* kerül előtérbe. Ezen három faj közösséget meghatározó szerepéről Tóth és mtsai. (2014), valamint Forró (1989) cikke is tanúskodik. A környezeti változók között a TSS és a pH szignifikáns hatást gyakorol a zooplankton közösségekre, melyek mellett a vezetőképességgel hasonlóan változnak. Az év folyamán a növekvő vezetőképesség növekvő TSS tartalommal is társul. A lebegőanyag-tartalom növekedése a szűrőgető *Daphnia* fajok számára kedvezőtlen faktorként jelenik meg, azonban a szelektivitást lehetővé tevő szájszervvel rendelkező *A. spinosus* számára nem jelent hátrányt. A színanyag szikesek kisebb lebegőanyag-tartalmukkal tehát a *Daphnia magna* számára optimálisabb életkörülményeket biztosítanak. A növekvő vezetőképesség kedvez a *M. brachiata* és az *A. spinosus* dominanciájának. Az a-klorofill tartalom a turbid, lebegőanyag tartalommal gazdagabb zavaros szikesekben volt magasabb, mely az ezen élőhelyeken domináns és nagy biomasszát elérő pikoalgákkal lehet kapcsolatos (Pálffy et al., 2014). A színanyag, mely a huminanyag tartalomra utal a színanyag szikes tavak közösségeire hat elsősorban.

6. Konklúzió:

A szikes tavak környezeti változóinak többsége az év során szélsőségesen változik. A kiszáradás folyamata a környezeti tényezők drasztikus változását vonja maga után. A vezetőképesség, a turbiditás valamint a pH megnő. Ezek a szezonálisan bekövetkező változások nagyban kihatnak a szikes tavak planktonikus kistrák faunájának fajszerájára és denzitására. A fajszerában csökkenés tapasztalható, ugyanis a kialakuló környezet okozta stresszt csak pár faj képes tolerálni. Azonban a denzitás ezzel ellentétesen növekedésnek indul és az egyedszerák a nyár közepére jelentősen megemelkednek. A közösségekre szignifikáns hatást a lebegőanyag-tartalom, a pH, az a-klorofill- és a színanyag-tartalom gyakorolt.

A kiskunsági szikes tavak kistrák zooplankton közösségeinek legdominánsabb fajaként az *A. spinosus*, a *M. brachiata* és a *D. magna* határoztuk meg. Az *A. spinosus* és a *D. magna* tavasszal és nyáron is nagy szerázalékát tették ki a közösségeknek, míg a *M. brachiata* populáció csak nyár folyamán vált meghatározóvá. A zavaros szikes tavakban az *A. spinosus* dominanciája volt jellemző sok esetben a *M. brachiata*-val karöltve. A színanyagos, kevesebb lebegőanyagot tartalmazó szikes tavakban a *D. magna* ért el nagy egyedsűrűségeket. Az *A. spinosus* indikátor szerepéről ezen vizsgálat során is szerát adott. A zavaros szikes tavakban a fajról korábban megállapított jellemzők általunk is megfigyelhetők voltak, az év folyamán erősen dominált a közösségekben és magas egyedszerákat ért el nyáron. Az átmeneti jellegű Fehér-szerk szeptemberi karakterváltozását is jól leköveti a faj populációban beálló változás. A magas vezetőképesség és turbiditás (zavaros szikes jelleg) mellett hatalmas egyedszerájú *A. spinosus* populáció fejlődött ki, míg az előtte lévő időszak alacsonyabb turbiditása mellett csak alacsonyabb denzitások jelentkeztek.

Az *A. spinosus* valamint a kistrák zooplankton közösségek ökológia kapcsolatainak, és működésük megismerésének segítségével, lévén ezek a legmeghatározóbb, legnagyobb biomasszerát produkáló szervezetek a szikes vizekben, megfelelő rehabilitációs stratégiák dolgozhatók ki az egyre csökkenő szerájú, de egyedi élőviláguk miatt kiemelt természetvédelmi jelentőségű, valamint a többek között számos védett és fokozottan védett vízimadar fontos élő- és táplálkozóhelyeül szolgáló asztatikus szikes tavak megőrzéséhez.

7. Irodalom:

- Alcocer*, J., E. G. Escobar, A. Lugo, & L. A. Oseguera, 1999. Benthos of a perennially-astatic, saline, soda lake in Mexico. *International Journal of Salt Lake Research* 8: 113–126.
- Boros, E., 1999. A magyarországi szikes tavak és vizek ökológiai értékelése. Article in Hungarian]. *Acta Biol. Debr. Oecol. Hung* 9: 13–80.
- Boros E., 2002. Szikes tavak. Környezetvédelmi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal, Budapest.
- Boros, E., S. Bánfi, & L. Forró, 2006. Anostracans and microcrustaceans as potential food sources of waterbirds on sodic pans of the Hungarian plain. *Hydrobiologia* 567: 341–349.
- Boros E., Ecsedi Z., & Oláh J., 2013. Ecology and Management of Soda Pans in the Carpathian Basin. *Hortobágy Természetvédelmi Egyesület* p. 551.
- Boros, E., L. Forró, G. Gere, O. Kiss, L. Vörös, & S. Andrikovics, 2008. The role of aquatic birds in the regulation of trophic relationships of continental soda pans in Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54: 189–206.
- Comín, F. A., & M. Alonso, 1988. Spanish salt lakes: Their chemistry and biota In Melack, J. M. (ed), *Saline Lakes*. Springer Netherlands: 237–245, http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-3095-7_18.
- Cuthbert, I. D., & P. Del Giorgio, 1992. Toward a standard method of measuring color in freshwater. *Limnology and Oceanography* 37: 1319–1326.
- Daday J., 1984. Adatok az alföldi szikes vizek mikrofaunájának ismeretéhez. *Math. Természettud. Ért.* 12: 10–43.
- Einsle, U., 1993. Bd. 8/4-1: Crustacea: Copepoda: Calanoida und Cyclopoida. Stuttgart: Fischer, <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/587239>.
- Forró, L., 2003. A Fülöpszállás-Szabadszállás környéki szikes vizek rákfaunája. Article in Hungarian]. *Természetvédelmi Közlemények* 10: 241–250.
- Forró, L., L. Forró, É. Murai, Z. Korsós, & L. Pintér, 1989. Composition and seasonal changes of the microcrustacean fauna of sodic waters near Fülöpháza (Kiskunság National Park, Hungary). *Miscellanea Zoologica Hungarica* 5:, http://publication.nhmus.hu/pdf/misczool/Miscnea_zool_hung_1989_Vol_5_33.pdf.
- Furrer, R., D. Nychka, S. Sain, & M. D. Nychka, 2009. Package “fields.” R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.idg.pl/mirrors/CRAN/web/packages/fields/fields.pdf> (last accessed 22 December 2012) , <http://cran.um.ac.ir/web/packages/fields/fields.pdf>.
- Gulyás, P., & L. Forró, 1999. Az ágascsapú rákok (Cladocera) kishatározója [A Guide for the Identification of Cladocera Occurring in Hungary—in Hungarian with English abstract]. *Vízi természet-és környezetvédelem* 9:
- Gulyás, P., & L. Forró, 2001. Az evezőlábú rákok (Calanoida és Cyclopoida) alrendjeinek kishatározója [A Guide for the Identification of Copepoda (Calanoida and Cyclopoida) Occurring in Hungary—in Hungarian with English abstract]. *Vízi természet-és környezetvédelem* 14:

- Hammer, U. T., 1986. Saline Lake Ecosystems of the World. Springer Science & Business Media.
- Horváth, Z., C. F. Vad, L. Vörös, & E. Boros, 2013. The keystone role of anostracans and copepods in European soda pans during the spring migration of waterbirds. *Freshwater Biology* 58: 430–440.
- Löffler, H., 1959. Zur Limnologie, Entomostraken-und Rotatorienfauna des Seewinkelgebietes (Burgenland, Österreich). Springer, http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-24636-8_1.
- McCauley, E., 1984. The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters 228–265.
- Megyeri, J., 1959. Az alföldi szíkes vizek összehasonlító hidrobiológiai vizsgálata. *Szegedi Ped. Fisk. Évk* 91–170.
- Megyeri, J., 1973. Összehasonlító zooplankton vizsgálatok három szíkes tavon. *Acta Acad. Paed. Szeged II* 63–84.
- Nógrádi T., 1956. Adatok a Fülöpszállás környéki szíkes tavak limnológiájához. *Hidrológiai Közöny* 130–136.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O’Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. N. Stevens, & H. Wagner, 2012. Package “vegan”—Community Ecology Package, version 2.0-4. .
- Padisák, J., & M. Dokulil, 1994. Meroplankton dynamics in a saline, turbulent, turbid shallow lake (Neusiedlersee, Austria and Hungary) In Descy, J.-P., C. S. Reynolds, & J. Padisák (eds), *Phytoplankton in Turbid Environments: Rivers and Shallow Lakes*. Springer Netherlands: 23–42, http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2670-2_3.
- Pálffy, K., T. Felföldi, A. Mentés, H. Horváth, K. Márialigeti, E. Boros, L. Vörös, & B. Somogyi, 2014. Unique picoeukaryotic algal community under multiple environmental stress conditions in a shallow, alkaline pan. *Extremophiles* 18: 111–119.
- Podani, J., 1997. Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldtárás rejtelseibe. Scientia Kiadó, Budapest .
- Seaman, M. T., P. J. Ashton, & W. D. Williams, 1991. Inland salt waters of southern Africa. *Hydrobiologia* 210: 75–91.
- Tóth, A., Z. Horváth, C. F. Vad, K. Zsuga, S. A. Nagy, & E. Boros, 2014. Zooplankton of the European soda pans: Fauna and conservation of a unique habitat type. *International Review of Hydrobiology* 99: 255–276.
- Vörös L., V.-Balogh K., Tóth V., G. Tóth L., Tóth A., Balogh Cs., Móra A., & Takács P., 2011. Balatoni természetkalauz. MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet.
- Wetzel, R. G., & G. E. Likens, 2000. *Limnological analyses*. 2000. WB Saunders .
- Williams, W. D., 1991. Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview. *Hydrobiologia* 210: 39–66.
- Wolfram, G., K. Donabaum, M. Schagerl, & V. A. Kowarc, 1999. The zoobenthic community of shallow salt pans in Austria—preliminary results on phenology and the impact of salinity on benthic

8. Köszönetnyilvánítás:

Végezetül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni mindenkinek, aki hozzájárult ahhoz, hogy ez a dolgozat sikeresen elkészüljön.

Hatalmas köszönet illeti a témavezetőimet, Dr. Horváth Zsófiát és Vad Csaba Ferencet, akik lelkesedésükkel és szakmai hozzáértésükkel támogattak a munkálatok leelejétől a végéig. Köszönöm a szellemi javakat, amiket töletek kaptam.

Továbbá köszönet illeti Kaszáné Dr. Kiss Magdolna tanárnőt, akihez mindig bátran lehet fordulni, ha bármilyen kérdésünk adódna.

Ezenkívül nagyon hálás vagyok a Balatoni Limnológiai Intézet munkatársainak, akik a mintavételezésben és a laboratóriumi munkálatokban voltak segítségemre, név szerint: Dr. Tóth Adrienn, Dr. Boros Emil, Dr. Somogyi Boglárka és Németh Balázs.