

OLDOTT ÉS FORMÁLT SZERVESANYAGOK A SZIKES TAVAK VIZÉBEN

V.-BALOGH KATALIN – NÉMETH BALÁZS – VÖRÖS LAJOS
MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet

Bevezetés

Az európai összehasonlításban is gazdagnak számító hazai szikes tavak hidrobiológia kutatása félévszázados múltra tekint vissza (Megyeri, 1959). A korábbi kutatások elsősorban e sós tavak sajátos ionösszetételének, és a bennük élő planktonikus algaegyüttesek minőségének megismerésére irányultak (Tamásné Dvihalny, 1999; Schmidt, 2003; Fehér és Schmidt, 2003). Újabb kutatások arra hívták fel a figyelmet, hogy e tavaknak nemcsak az ionösszetétele, hanem a planktonikus algaösszetétele is sajátos. Az új, epifluoreszcens mikroszkópi technika alkalmazásának köszönhetően kiderült, hogy az algaegyütteseket a pikoplankton uralja az u.n. fehér vizű tavakban (Vörös et al., 2005). Vizük esztétikai megjelenése alapján a szikes tavakat fehér vagy fekete vizű kategóriába sorolják. A fehér vizű tavak zavaros szürkésfehér színűek, a fekete vizűek pedig sötét színűek, de átlátszóak. A fehér vizű szikes tavak legnagyobb számban a Duna-Tisza közén találhatóak. Feltételezhető, hogy e tavak unikálisak nemcsak az ion- és az algaösszetétel, hanem más komponensek tekintetében is. Ilyen komponensek lehetnek az oldott szervesanyagok, amelyekre eddig nem fordítottak kellő figyelmet. Ezért irányult kutatásunk az oldott és formált szervesanyagok vizsgálatára fehér vizű szikes tavakban.

Anyag és módszer

Hét fehér vizű szikes tavat (1. táblázat) vizsgáltunk februártól októberig havi gyakorisággal 2004-ben.

1. táblázat. A vizsgált fehér vizű szikes tavak GPS koordinátái

| Sorszám | Név | Szélesség | Hosszúság |
|---------|---------------------------|-----------|-----------|
| 1 | Kardoskúti Fehér-tó | 46°28' N | 20°37' E |
| 2 | Pusztaszeri Búdös-szék | 46°33' N | 20°02' E |
| 3 | Szabadszállási Búdös-szék | 46°52' N | 19°10' E |
| 4 | Zab-szék | 46°50' N | 19°10' E |
| 5 | Kelemen-szék | 46°49' N | 19°11' E |
| 6 | Solti Bogárczó-szék | 46°48' N | 19°09' E |
| 7 | Böddi-szék | 46°46' N | 19°08' E |

Mértük a fajlagos vezetőképességet WTW hordozható mérőműszerrel. Vízmintákat vettünk, melyeket hűtőtáskában természetes hőmérsékleten laboratóriumba szállítottuk, ahol elvégeztük az analíziseket.

A vizek szervesanyagait a szerves szén koncentráció alapján kvantifikáltuk. A szerves szén analízishez Elementar High TOC szerves szén analizátort használtunk. A mintaadagolás PS 60 E automata adagolóval történt, amely a mérendő minta homogenitását beépített mágneses keverővel biztosítja. A méréshez a vízminták pH-ját 37 %-os HCl-val 2-re csökkentettük. Ez a minták tartósítása mellett a szerves szén kiűzését is szolgálta, melyet a minták keverésével és szellőztetésével is elősegítettünk. Az összes szerves szén (TOC) koncentráció méréséhez szűretlen víz szolgált. A szűretlen vízmintákat Cole Parmer 4710 homogenizátorral szonikáltuk az esetleg összetapadt részecskék miatt. Rendkívül nagy lebegőanyag koncentrációjú vízminták mérésénél 10-szeres hígítást alkalmaztunk.

Az oldott szerves szén (DOC) koncentráció analízisét 0,45 µm pórusméretű 450 °C-on előzetesen kiizzított GF-5 üvegszálalás filteren szűrt vízmintákból végeztük.

Vizsgáltuk az oldott szervesanyagok optikai tulajdonságait, azaz mértük a fényabszorbanciát Shimadzu UV-160A spektrofotométerrel. Ehhez 100 ml vizet szűrtünk 0,45 µm pórusméretű cellulóz-acetát membránfilteren. A fotometriás méréseket MQ vízzel szemben kvarc küvettával végeztük. Felvettük az abszorpciós spektrumokat 280 és 750 nm között. A mért abszorbancia értékeket korrigáltuk a vak értékekkel, illetve a minták 750 nm-en mért értékeivel. Kiszámítottuk az abszorpciós koeficiens értékeket a következő képlet szerint (Kirk, 1996):

$$a \text{ (m}^{-1}\text{)} = 2,303 D/r$$

ahol: a = abszorpciós koeficiens; D = mért abszorbancia; r = fényút (m-ben).

A víz barna színintenzitását (Pt egység) Cuthbert & del Giorgio (1992) módszere szerint a 440 nm-en mért abszorbancia értékek alapján számítottuk:

$$\text{Szín}_{440} \text{ (mg Pt liter}^{-1}\text{)} = 18,216 a_{440} - 0,209$$

ahol: a = abszorpciós koeficiens 440 nm-en (m⁻¹).

Az összes partikulált szerves szén (POC) koncentrációt a TOC és DOC értékek különbsége adta. A POC ismeretében 50%-os széntartalmat alapul véve becsültük a szervesanyagok tömegét. A felszíni vizek partikulált vagy más szóval formált szervesanyagai között általában a planktonikus algasejtek a legjelentősebbek, ezért mértük a fitoplankton klorofill-a-ban kifejezett koncentrációját metanolos extrakcióval Shimadzu UV-160A spektrofotométerrel (Felföldy, 1980). A klorofill-a koncentrációból a fitoplankton száraztömege becsülhető, ehhez Reynolds (1984) arányszámát (1:100) használtuk. A fitoplankton száraztömegének közelítően 50%-a szén, így becsülhető a POC fitoplanktonnak tulajdonítható része (POC_{FP}).

Mivel kíváncsiak voltunk arra, hogy e lebegőanyagoktól zavaros vizekben a lebegőanyagok mekkora hányadát adják a szervesanyagok, mértük az összes lebegőanyagok (TSS) koncentrációját gravimetriás módszerrel. Ehhez 105 °C-on előszárítottunk 0.45 µm pórusméretű cellulózacetát filtereket és lemértük tömegüket. A vízmintákat ezeken szűrtük, az átszűrt vízmennyiség a lebegőanyagok mennyiségétől függően 100-1500 ml-ig terjedt. A filtereket a szűrlettel 105 °C-on 48 óráig szárítottuk, majd ismét elvégeztük a tömegmérést. A mérésekhez CHYO YMC SM-200 analitikai mérleget használtunk.

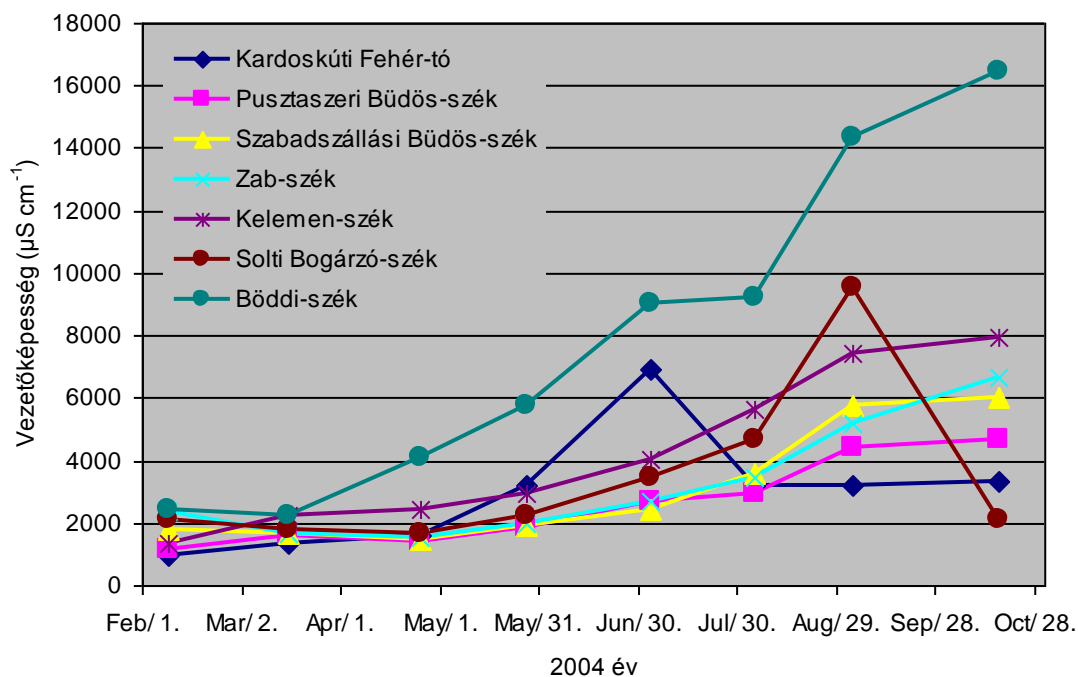
Statisztikai elemzést végeztünk az összefüggések szignifikanciájának megállapításához OriginPro 8 program felhasználásával.

Eredmények és megbeszélés

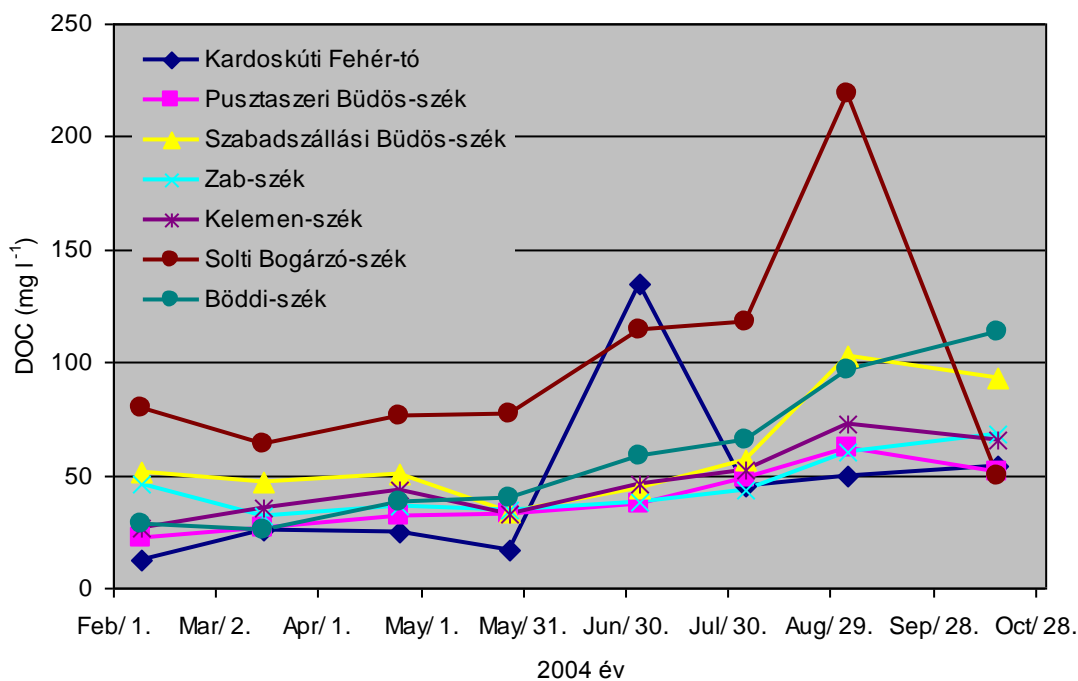
A vizsgált szikes vizek szalinitásának mutatója, a fajlagos vezetőképessége (1. ábra) 960 és 16500 µS cm⁻¹ között változott, a legkisebb értéket a Kardoskúti Fehér-tóban februárban, a legnagyobbat a Böddi-székben októberben mértük. A Böddi-székben a legkifejezettebb ugyanakkor a szikes tavaknál megszokott jelenség, hogy különösen aszályos években a párolgás túlsúlya miatt a víz téltől ősziig „töményedik”. Az átlagos vezetőképesség (7958±5340 µS cm⁻¹) is a Böddi-székben volt a legnagyobb, a vezetőképesség átlagértéke a többi tóban feleakkora, vagy annál is kisebb volt.

Ami az oldott szervesanyagokat illeti, az oldott szerves szén (DOC) koncentráció értékek 12 és 220 mg l⁻¹ közöttiek voltak (2. ábra). E komponens tekintetében a Solti Bogárczó-szék tűnik ki, a DOC koncentráció a februári 80 mg l⁻¹-es értékről szeptemberig 219 mg l⁻¹-re nőtt, az átlagkoncentráció 100±53 mg l⁻¹ volt. A többi tó átlagos DOC koncentrációja (45 és 60 mg

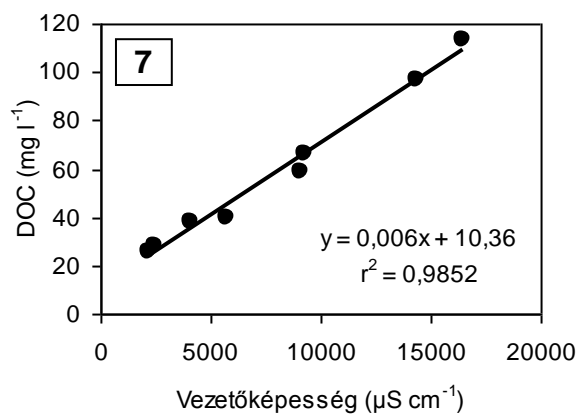
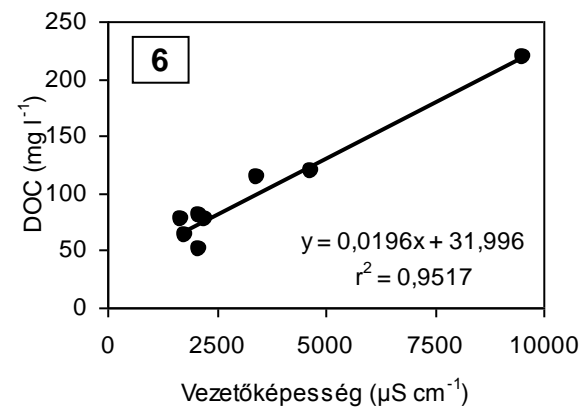
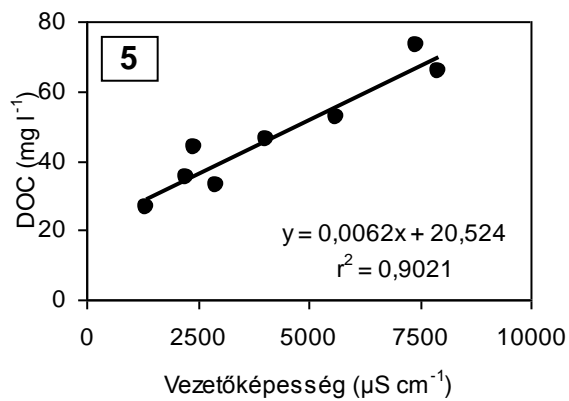
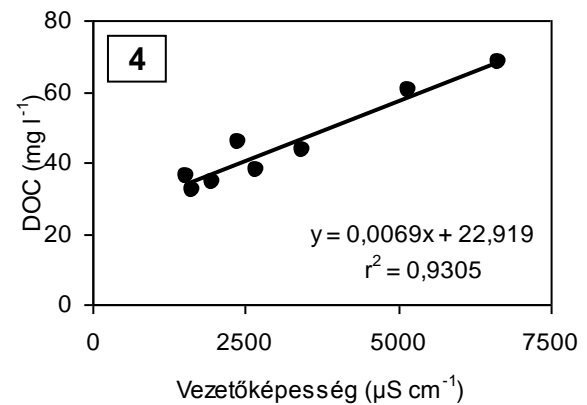
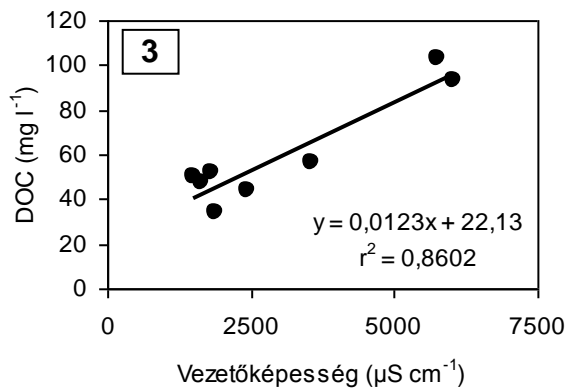
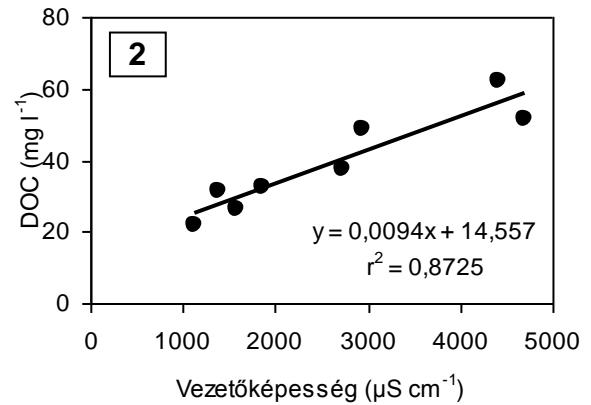
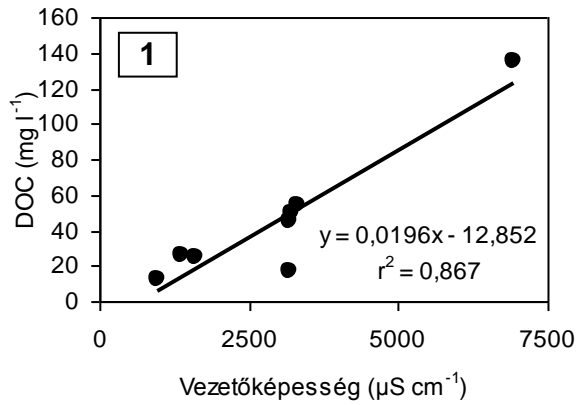
l^{-1} körüli értékek) egymástól szignifikánsan nem különbözött ($P > 0,05$). E vizekhez képest pl. a Balaton átlagos DOC koncentrációja 5-ször kisebb, $9\text{ mg } l^{-1}$ körüli (V.-Balogh, 2009).



1. ábra. A fajlagos vezetőképesség változása februártól októberig hazai fehér vizű szikes tavakban



2. ábra. Az oldott szerves szén koncentráció változása februártól októberig hazai fehér vizű szikes tavakban

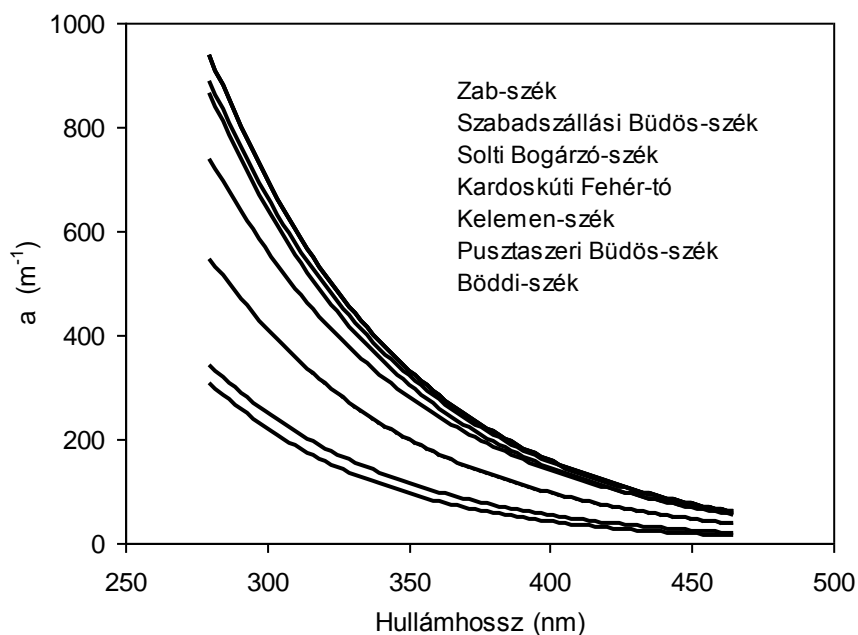


3. ábra. Összefüggés a vezetőképesség és az oldott szerves szén koncentráció között hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben:

- (1) Kardoskúti Fehér-tó
- (2) Pusztaszeri Büdös-szék
- (3) Szabadszállási Büdös-szék
- (4) Zab-szék
- (5) Kelemen-szék
- (6) Solti Bogárzó-szék
- (7) Böddi-szék

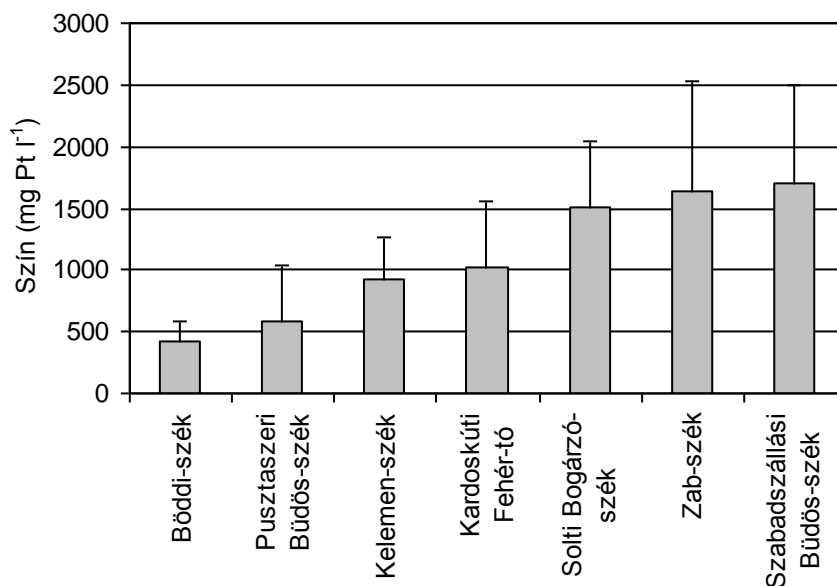
A vezetőképesség és a DOC koncentráció között szignifikáns ($P < 0,001 - < 0,05$) korrelációt találtunk mind a hét vizsgált tóban. Ez az eredmény arra utal, hogy ezekben a rendkívül sekély tavakban a párolgás és csapadékviszonyok nemcsak a szerves ionok koncentrációját (töményedés vagy hígulás) befolyásolják, hanem ugyanígy hatnak az oldott szervesanyagokra is. Más vizekben az allochton szervesanyagok kioldódása a hőmérséklettel mutat pozitív összefüggést.

Az oldott szervesanyagok tulajdonságai között figyelmet érdemelnek az optikai tulajdonságok. E sajátos tulajdonságuk miatt szerepük jelentős lehet a vízalatti fényelnyelésben – különös tekintettel a kisebb hullámhosszú ultraibolya sugárzásra – (Kirk, 1996, V.-Balogh et al., 2009). A vizsgált tavakban az oldott szervesanyagok abszorpciós koefficiens értéke exponenciálisan csökken a hullámhossz növekedésével (4. ábra). Az exponenciális egyenletek r^2 értéke 0,986 és 0,993 közötti volt, az összefüggés minden tó esetében szignifikáns ($P < 0,05$). Az egyenletek regressziós koefficiens (S-slope) értékei utalnak a hullámhosszfüggésre, amely viszont az oldott szervesanyagok anyagi minőségével is összefügg. Az S érték 0,0138 és 0,0167 nm^{-1} között változott, a legkisebb a Kardoskúti Fehér-tavat, a legnagyobb a Böddi-szék jellemezte, az átlagérték $0,015 \pm 0,0009 \text{ nm}^{-1}$ volt. Ez az érték közelebb van a tengervizekre kapott átlagértékhez, amely $0,014 \pm 0,0004 \text{ nm}^{-1}$, mint az édesvízi $0,017 \pm 0,0007 \text{ nm}^{-1}$ -es átlaghoz (Markager & Vincent, 2000).



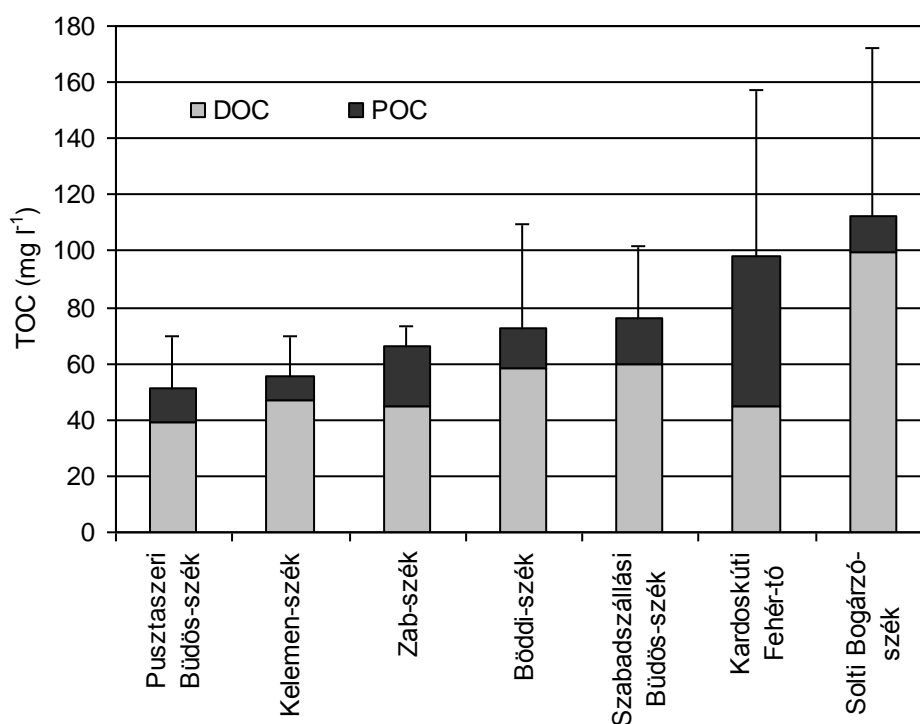
4. ábra. Az oldott szervesanyagok abszorpciós koefficiens átlagértékeinek exponenciális függése a hullámhossztól hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

Mint már szó volt róla, a vizsgált tavak az u.n. fehérvizű szikes tavak csoportjába tartoznak. Szűrt vizük színe ugyanakkor egyáltalán nem fehér vagy színtelen, hanem barna. A vizsgált időszakokra a Pt-egységben kifejezett átlagos színkoncentráció 423 ± 155 és $1708 \pm 781 \text{ mg Pt l}^{-1}$ között változott, „legvilágosabb” a Böddi-szék, legsötétebb a Szabadszállási Búdös-szék vize volt (5. ábra). Annak érdekében, hogy milyen sötét vizekről van szó, megemlítjük, hogy a Kis-Balaton tározókon átfolyó barna vizű Zala folyó átlagos színintenzitása hasonló időintervallumra csak 90 mg Pt l^{-1} (V.-Balogh et al., 2009), ami azt jelenti, hogy a vizsgált vizek ehhez képest legalább 5-ször, de akár közel 20-ször sötétebbek.



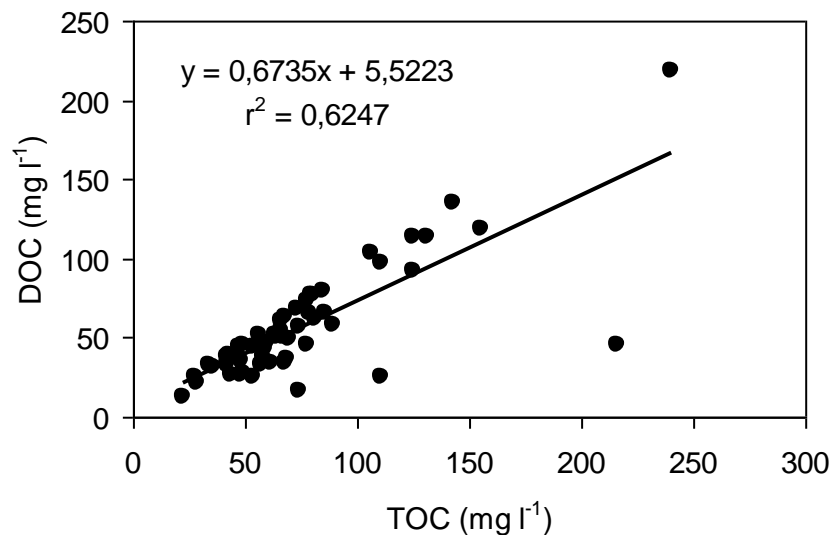
5. ábra. A víz barna színkoncentráció átlaga hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

Sekély hazai tavakra vonatkozóan azt találtuk, hogy a DOC koncentráció növekedésével a Pt-szín koncentráció szignifikánsan nő, az összefüggés nemlineáris (V.-Balogh et al., 2009). E vizekre ezt az összefüggést egy kivételtől (Kardoskúti Fehér tó) eltekintve nem tudtuk kimutatni.



6. ábra. Az összes szerves szén (DOC -oldott és POC partikulált együtt) koncentráció átlag hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

Az összes szerves szén (TOC) koncentráció átlag $51 \pm 19 \text{ mg l}^{-1}$ és $113 \pm 60 \text{ mg l}^{-1}$ között változott a vizsgált tavakban, a legkisebb TOC átlagérték a Pusztaszeri Búdös-székre, a legnagyobb a Solti Bogárvó-székre adódott (6. ábra). Ami az összes szerves szén fő komponensei, az oldott (DOC) és szilárd (POC) frakciók megoszlását illeti, a tavak többségében a DOC bizonyult döntőnek, 70-90%-ot tett ki. E megállapítás alól egyetlen kivétel van, a Kardoskúti Fehér-tó, ahol a POC 54%-át adja a TOC-nak. Ezen eredmények alapján nem meglepő, hogy szignifikáns ($P < 0,0001$) lineáris összefüggés van a TOC és DOC koncentráció értékek között (7. ábra).

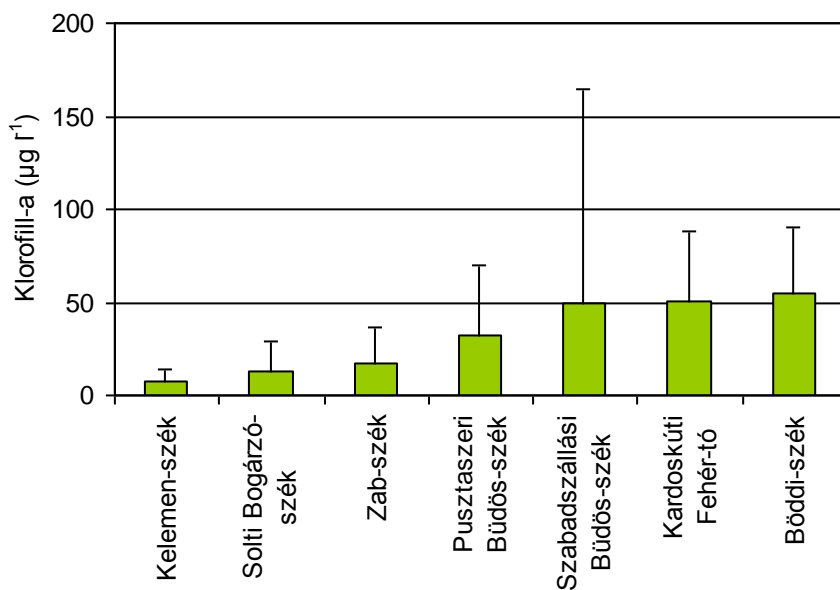


7. ábra. Összefüggés az összes és oldott szervesszén koncentráció között hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

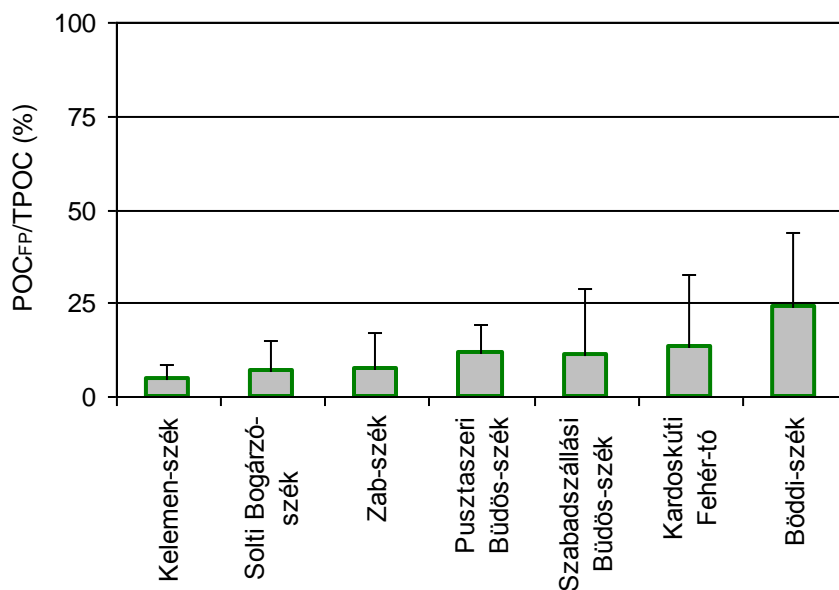
Fontos azonban megjegyezni, hogy az „oldott” megnevezés a limnológiai gyakorlatban nem ugyanazt jelenti, mint a klasszikus kémiai értelmezés, ami egyszerű közelítésben szabadon mozgó ionokat jelent, ezzel szemben a limnológiai gyakorlat a 0,45 nm-es filteren átszűrhető minden anyagi részecskét tekinti oldott fázisnak. Így, e sajátos, lebegőanyagokban gazdag vizekben az oldott fázisban finom eloszlású szerves lebegőanyag részecskék is lehetnek, amelyek a DOC koncentráció relatív növekedését eredményezhetik a POC-hoz képest.

Felszíni vizekben általában a partikulált szervesszén döntő hányadát a planktonikus algák adják. A vizsgált vizekben az algák klorofill-a-ban kifejezett átlagos koncentrációja $7,4 \mu\text{g l}^{-1}$ és $54,5 \mu\text{g l}^{-1}$ közötti volt (8. ábra), a nagy szórásértékek ugyanakkor jelzik, hogy esetenként e vizek lehetnek hipertrófok, mint például a Szabadszállási Búdös-szék, amikor októberben a klorofill-a koncentráció $332 \mu\text{g l}^{-1}$ volt. A klorofill-a koncentráció értékekből számított alगतөmeg szervesszén koncentrációja (POC_{FP}) az összes partikulált szerves szénből csupán 5-25%-ot tesz ki (9. ábra), ami arra utal, hogy e vizek abban is különböznek a felszíni vizek többségétől, hogy a partikulált szervesanyagok döntő hányadát nem az algaszervezetek adják. Az algakoncentráció és a POC-ból való százalékos részesedés között szoros lineáris összefüggés ($y = 0,2641x + 2,9417$; $r^2 = 0,689$) mutatható ki.

Fentiek előrevetítik, hogy e tavakban nincs összefüggés a TOC és a klorofill-a koncentráció között. Felvetődik ugyanakkor a kérdés, hogy ha nem az algákból, akkor honnan származnak a partikulált szervesanyagok ezekben a vizekben. Ezen anyagok minden bizonnyal a makrofitonok bomlástermékeiből és a vízimadarak anyagcsere-termékeiből származhatnak, azaz döntően allochton eredetűek. Ezzel az eredménnyel összecseng e tavak nettó heterotrófiája (Vörös et al., 2008).

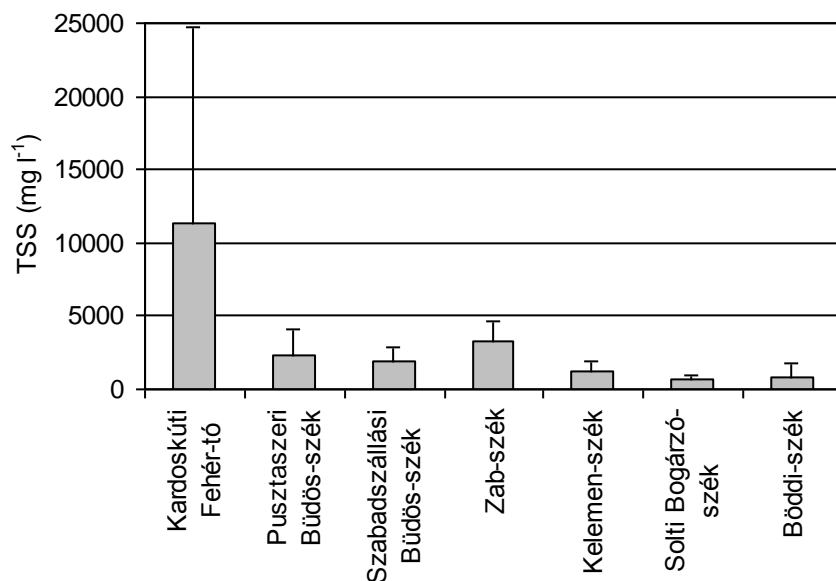


8. ábra. Átlagos klorofill-a koncentráció hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

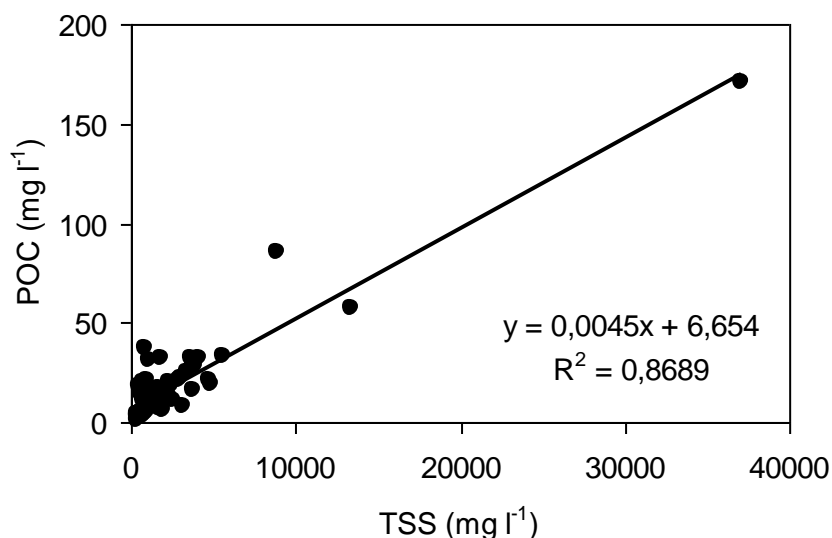


9. ábra. A fitoplanktonnak tulajdonítható partikulált szerves szén százalékos részesedése az összes partikulált szervesszénből hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

Mint már szó volt róla, e vizek lebegőanyagokban rendkívül gazdagok, átlagos lebegőanyag koncentrációjuk 1000 mg l⁻¹ körüli értéktől akár 10000 mg l⁻¹-t meghaladó is lehet (10. ábra). A tavak többségében a lebegőanyagok koncentrációja a vizsgált időszakban meglehetősen kiegyenlített volt, kivétel e megállapítás alól a Kardoskúti Fehér-tó, ahol a TSS koncentráció jelentős havi eltérést mutatott, értéke a februári 1433 mg l⁻¹-hez képest augusztusban 37132 mg l⁻¹ volt.



10. ábra. Az összes lebegőanyagok (szerves és szervesetlen együtt) koncentráció átlaga hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben



11. ábra. Összefüggés a lebegőanyagok és a partikulált szerveszén koncentráció között hazai fehér vizű szikes tavakban 2004-ben

A lebegőanyagok koncentrációja szignifikáns ($P < 0,0001$) lineáris összefüggést mutatott a partikulált szerveszénnel, ami arra utal, hogy e vizek lebegőanyagainak szervesanyag hányada meglehetősen kiegyenlített. A „fehérvizi” jelleget adó lebegőanyagok azonban döntően szervesetlen anyagok, szervesanyagtartalmuk átlagosan csupán 2% körüli ($1,97 \pm 1,60$), a szélső értékek 0,5 és 8%.

Következtetések összefoglalása

A vizsgált hazai fehérvízű szikes tavakban, a vezetőképesség és az oldott szerves szén koncentráció között szignifikáns összefüggést mutattunk ki, ami arra utal, hogy ezekben a rendkívül sekély tavakban a párolgás és csapadékviszonyok nemcsak a szerves ionok koncentrációját (töményedés vagy hígulás) befolyásolják, hanem ugyanígy hatnak az oldott szervesanyagokra is.

Az oldott szervesanyagok optikai tulajdonságai (abszorpciós koefficiensek hullámhosszfüggése) alapján e tavak jobban hasonlítanak a tengervízhez, mint az édesvizekhez.

A tavak vizében az összes szervesszén döntő hányada oldott. Az oldott szervesszén koncentrációja sokszorosán meghaladja a felszíni édesvizekét, e fehérvízű tavak szűrt vize a színes oldott szervesanyagok miatt nagyon sötét (barna) színű.

E tavakban nem volt összefüggés az összes szerves szén és az algák mennyisége között. E vizek abban is különböznek a felszíni vizek többségétől, hogy a partikulált szervesanyagok döntő hányadát nem az algaszervezetek adják, hanem azok allochton eredetűek.

Vizük piszkosfehér színe rendkívül nagy lebegőanyagkoncentrációjukkal függ össze, mely azonban szervesanyagot jelent, a szerves hányad elenyésző (2%).

Köszönetnyilvánítás

A munka az OTKA által támogatott K 63296 projekt keretében készült.

IRODALOM

- Cuthbert, I. D. & P. del Giorgio (1992) Toward a standard method of measuring color in freshwater. *Limnol. Oceanogr.* **37**: 1319-1326.
- Fehér G. & Schmidt A. (2003) A kiskunsági szikes tavak (KNP II) algológiai vizsgálata. *Természetvédelmi Közlemények* 10: 163-176.
- Felföldy L. (1980) A biológiai vízminősítés. *Vízügyi Hidrobiológia* 9. VIZDOK, Budapest, 264 pp.
- Kirk, J. T. O. (1996) *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. 2nd Ed. Reprinted. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 509.
- Markager, S. & W. F. Vincent (2000) Spectral light attenuation and the absorption of UV and blue light in natural waters. *Limnol. Oceanogr.* **45**: 642-650.
- Megyeri J. (1959) Az alföldi szikes vizek összehasonlító hidrobiológiai vizsgálata. *Acta Academiae Paedagogicae Szegediensis* II. 91-170.
- Reynolds, C. S. (1984) *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press pp. 400.
- Schmidt A. (2003) A kiskunsági szikes tavak (KNP II) összehasonlító vízkémiai vizsgálata. *Természetvédelmi Közlemények* 10: 153-162.
- Tamásné Dvihalhy Zsuzsanna (1999) Hazai Szikes vizeink kémiai jellege. *Acta Biol. Debr. Oecol. Hung.* **9**: 281-292.
- V.-Balogh, K., B. Németh & L. Vörös (2009) Specific attenuation coefficients of optically active substances and their contribution to the underwater ultraviolet and visible light climate in shallow lakes and ponds. *Hydrobiologia* (in press).
- Vörös L., V.-Balogh K. & Boros E. (2005) Pikoplankton dominancia szikes tavakban. *Hidrológiai Közlöny* **85**: 166-168.
- Vörös, L., Somogyi, B., Boros, E. (2008) Birds cause net heterotrophy in shallow lakes. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **54**: 23-34.