

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

ELTÉRŐ VÍZTESTEK ÉS ÜLEDÉKEIK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Csizmarik Gábor

Témavezető: dr. Juhász Csaba PhD



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Debrecen, 2011

1. BEVEZETÉS

A víz a szárazföldi ökoszisztémák egyik legfőbb limitáló tényezője, a vízi ökoszisztémákban ökológiai közeg, vagyis olyan környezeti elem, amely biológiai és ökológiai szempontból nélkülözhetetlen az élővilág számára. A víz egyaránt életalkotó, életfeltétel, és természeti erőforrás.

A globális klímaváltozás egyre erősödő hatásai miatt a vízkérdés a 21. sz. központi problémájává válik (Láng *et al.*, 2007; Stern, 2007). Fosszilis energiahordozók nélkül a bioszféra már több mint 3,5 milliárd éve működik, víz nélkül azonban nincs élet.

Az Európai Közösség 2000. október 23-án kiadta a 2000/60/EK Víz Keretirányelvet, melynek fő célja a felszíni és felszín alatti vizek ökológiai és vízminőségi állapotának megőrzése és javítása.

A magyarországi vízminősítés alapja az MSZ 12749 szabvány, mely alapvetően a víztest kémiai jellemzői alapján minősíti a felszíni vizeket. A VKI iránymutatása alapján a kormány kiadta a 31/2004. KvVM rendeletet, mely a minősítésben figyelembe veszi a víztest ökológiai állapotát is.

A természetes vizes élőhelyek átmenetet jelentenek a vízi és a szárazföldi ökoszisztémák között, ezért megnövekedett biológiai diverzitás jellemző rájuk, melynek jelentőségét jól hangsúlyozza a Ramsari egyezmény is (1971).

A létesített vizes élőhelyekre (artificial wetlands) jellemző az intenzív anyagforgalom, így valóságos élő gépekként képesek feldolgozni a magasabb szervesanyag terheléseket is.

A vizes élőhelyek vízteste szerves egységet alkot az üledéssel, mely jelentős mértékben befolyásolja az anyagforgalmi dinamikát (Janurik - Szabó, 1985; Chapman - Reiss, 1999). A szervezet szintű vizsgálatok, melyek a mikrobiális közösség szerkezetét derítik fel, (Csizmarik, 1992) nem adnak elégséges információt a rendszer működésével kapcsolatban. Szükséges tehát a funkció szintű megközelítés, a közösségek aktivitásának vizsgálata is, mivel a vízi ökoszisztémákban az üledék a mineralizáció legfontosabb színtere.

Az üledék jelentősen befolyásolja a víztest minőségét is, mivel a vizes élőhelyek tápanyagraktára, így befolyásolja a trofitást. Az üledékben halmozódik fel az elhalt szervesanyag, ezért egyik meghatározó eleme a szabrobitásnak –és ezen keresztül- vizeink oxigénforgalmának is.

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

Kutatásaimmal a vízi környezeti állapot felmérési módszereinek továbbfejlesztésében kívántam közreműködni. A víz- és üledékvizsgálatokkal a vizes élőhelyek anyagforgalmi, ökoszisztéma szintű megközelítéséhez kívántam hozzájárulni. Méréseimet a szarvasi Kákafoki holtágban végeztem, összehasonlítva a szarvasi Halászati és Öntözési Kutató Intézet területén létesített magasabb trofitású és szaprobitású mesterséges ökológiai rendszerrel.

Főbb tudományos célkitűzéseim az alábbiak voltak:

I. A Szarvas-békésszentandrás Kákafoki holtág és egy létesített vizes élőhely környezeti állapot elemeinek vizsgálata:

- a víztestek minőségének vizsgálata;
- az üledék oxidációs-redukciós állapotának feltérképezése, kapcsolata a vízminőséggel;
- a holtág feltöltődési ütemének vizsgálata.

II. Az üledék mikrobiális lebontásának vizsgálatára alkalmas mérési módszer kialakítása:

- a mérőrendszer *in vitro* és *in situ* mérési lehetőségeinek tesztelése.
- a mineralizáció vizsgálata a CO₂ kibocsátáson keresztül;

III. A mikrobiális lebontás vizsgálata:

- a mikrobiális mineralizáció vizsgálata a halastó-wetland rendszerben;
- a mikrobiális mineralizáció vizsgálata a Kákafoki holtágban.

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

Mintavételi helyek

A Szarvas-Kákafoki holtág a Tiszántúl legnagyobb mentett ártéri holtága, amely a Hármaskörös bal oldalán terül el, 926,8 km²-es vízgyűjtő terület befogadjaként, hossza 28 km. A holtág mezo-eutróf, – mezoszaprób állóvíz, melyen 20 mintavételi pontot jelöltünk ki (1. ábra).



1. ábra. Mintavételi helyek (GoogleEarth segítségével, saját szerkesztés)

Másik mintavételi területünk a Halászati és Öntözési Kutató Intézet területén létesített mesterséges halastó-vízinövényes rendszer volt, mely eutróf – poliszaprób sekély állóvíz. A rendszer két halastóból és két vízinövényes tóból állt, a tavak alapterülete egyenként 2500 m², a halastavak vízmélysége átlagosan 1,2 m, víztérfogatuk egyenként mintegy 3000 m³ volt, a két vízinövényes tó területe szintén 2500 m², az átlagos vízmélység 0,5 m volt.

Helyszíni mérések

Az üledék redoxpotenciálját COLE-PARMER 59002-60 típusú redox-pH mérővel (mV/pH) mértem. A holtág víztestének vizsgálatához HORIBA U-10 típusú műszert használtam, mellyel párhuzamosan mértem a vezetőképességet, a pH-t, a hőmérsékletet, és az oxigénkoncentrációt. Mértük továbbá a vízmélységet és a lágy üledék vastagságát is.

Száranyag tartalom meghatározása

MSZ ISO 6060: 1991. szabvány alapján 105 °C-on tömegállandóságig történő szárítás, majd exikátorban történő hűtés után tömegméréssel történt.

Potenciometriás laboratóriumi módszerek

pH mérése:

megfelelően homogenizált mintából, elektrokémiai módszerrel, üvegelektród alkalmazásával METTLER TOLEDO MPC 227 pH és vezetőképesség mérővel történt MSZ 260-4:1971. 3. pont szerint.

Vezetőképesség mérése (EC):

megfelelően homogenizált mintából METTLER TOLEDO MPC 227 pH és vezetőképesség mérővel történt MSZ 448-32:1977. szerint.

Redoxpotenciál mérése:

megfelelően homogenizált mintából elektrokémiai módszerrel, TOA ORP METER RM-20P készüléken történt (TOA ELECTRONICS Ltd. Japan).

Összes szerves szén (TOC) meghatározása

TOC 5000A Total Organic Carbon Analyzer (SHIMADZU) készülékkel közvetlenül az eredeti mintából történt.

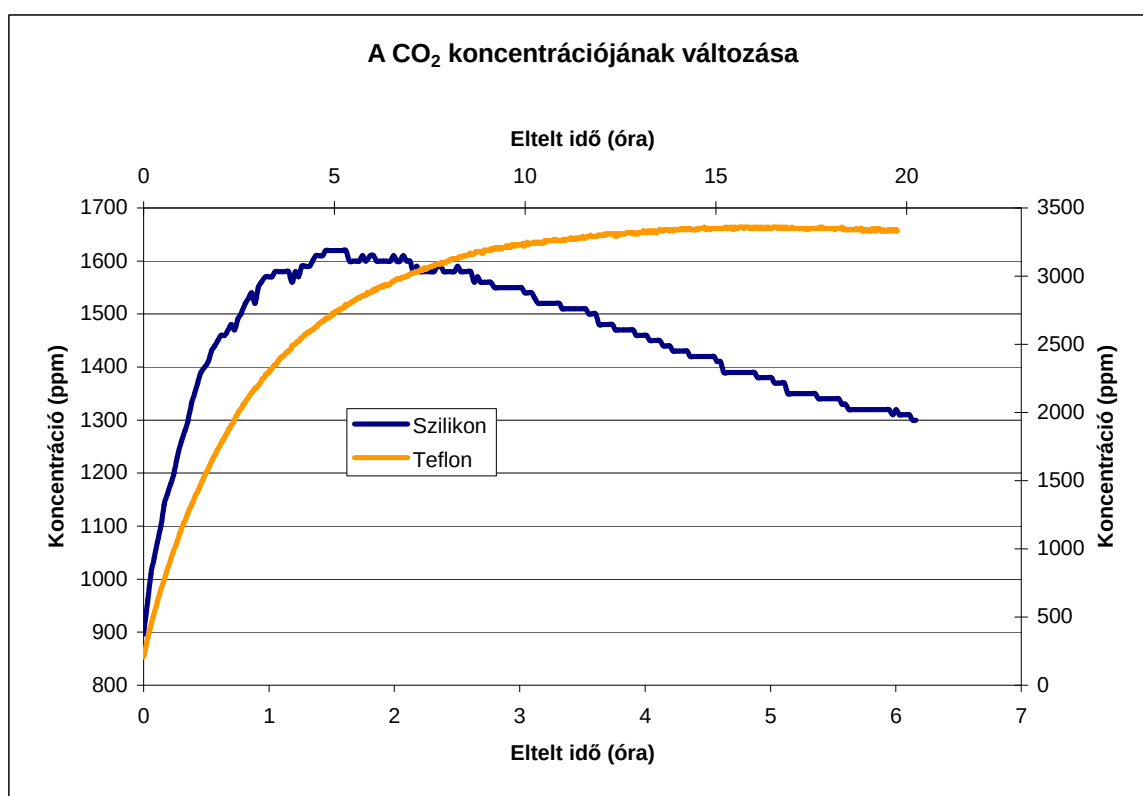
A módszer lényege, hogy a mintában jelenlévő szerves anyagokat széndioxiddá oxidáljuk. Az oxidáció folyadék fázisban történik platina katalizátor segítségével 750 °C-on. Az oxidációval keletkezett széndioxidot a készülék infravörös gázanalizálással határozza meg.

A mineralizáció vizsgálata

Az alkalmazott Brüel & Kjaer 1302 gázanalizátor a fotoakusztikus spektroszkópia PAS (PhotoAcoustic Spectroscopy) elvén közvetlenül az elnyelt infraenergiát detektálja a kibocsátott hangenergia mérése révén. Ez különösen nagy pontosságot tesz lehetővé, ugyanakkor csak kis mértékű instabilitással kell számolnunk.

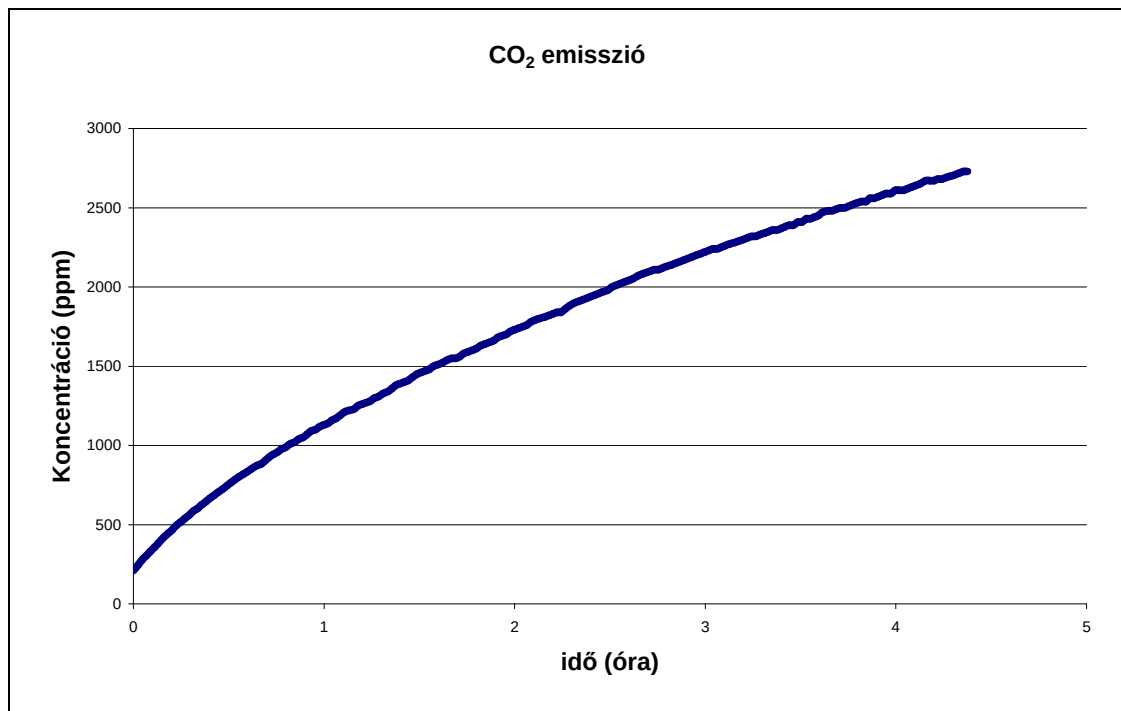
Az in vitro mérésekhez zárt rendszert alkalmaztam, recirkulációs üzemmódban. A mérőedények térfogata 766 ml volt, 100 g vízkapacitásig telített üledékmintákkal dolgoztam 25 °C inkubációs hőmérsékleten.

A légzés intenzitásának nyomon követéséhez rendkívül fontos a jó szigetelés, melyet nemcsak az illesztések pontossága, de a rendszerkomponensek anyagminősége is befolyásol. Bár a mérőműszer mérési stabilitása igen nagy, magát a mérőrendszert kalibrálni szükséges. Élettelen, szénsavas egyensúlyi rendszerben teszteltem a rendszer fizikai és anyagszerkezeti tömítettségét. A 2. ábrán jól látható, hogy a szilikonsöves összeköttetések miatt CO_2 veszteséget tapasztaltam, viszont teflonsövek alkalmazásával biztosítani lehet a rendszer szigeteltségét. Ebben az esetben gázszivárgás még hosszú idejű mérési sorozat esetén sem történt.



2. ábra. A CO_2 koncentráció változása élettelen rendszerben, szilikonsöves, illetve teflonsöves összeköttetés esetében

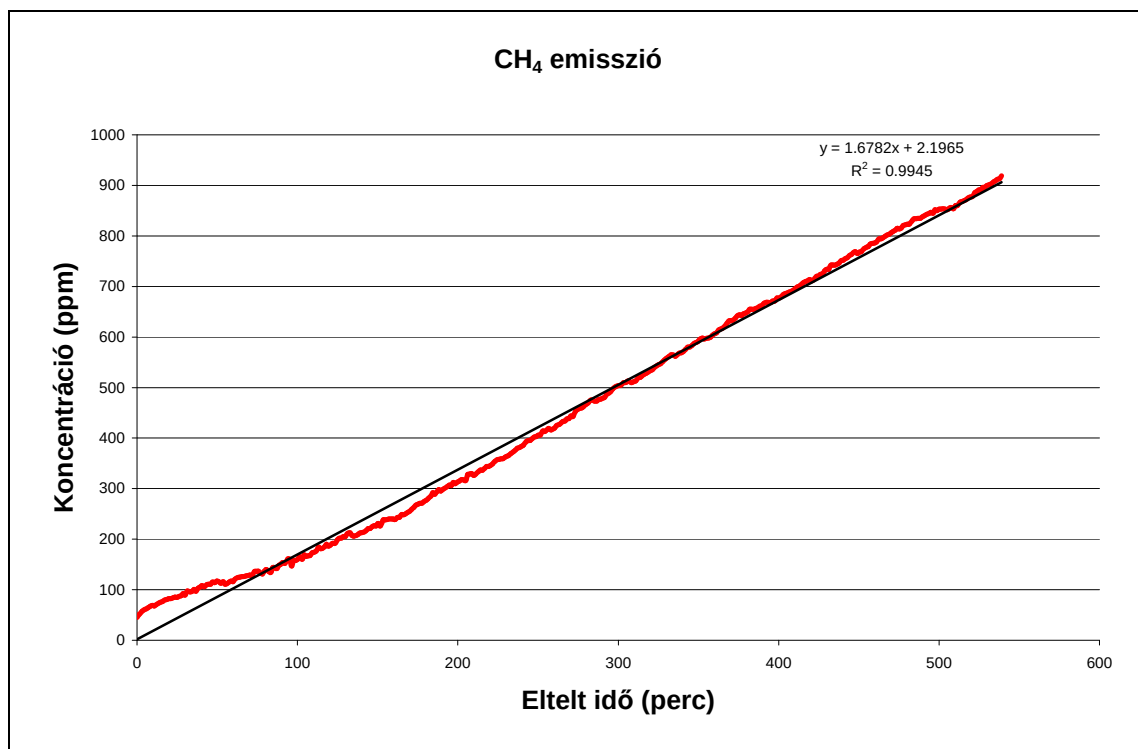
A zárt rendszerű, és viszonylag kis térfogatú mérési elrendezés miatt a CO_2 fejlődés telítési jelleget mutat. A megfelelő inkubációs időintervallum kiválasztása érdekében a tényleges légzésmérések előtt kalibrálni kell a rendszert. A 3. ábra jól szemlélteti, hogy a respiráció kalkulációjához és a helyes inkubációs idő megválasztásához a görbe lineáris szakaszát kell figyelembe venni.



3. ábra. A mérőrendszer kalibrációja szén-dioxid koncentrációk mérésével

A kalibrációt metánfejlődés esetében is elvégeztem.

A 4. ábra eredményein jól látszik, hogy az alacsonyabb metánkoncentrációk esetében és a helyesen megválasztott minta/gáztérfogat arány hatására a gázfejlődés sebessége egyenletes, a gázkoncentráció növekedése lineáris. Ezt az is bizonyítja, hogy a kapott 417 koncentráció adattal lineáris regressziót végezve $R^2=0,9945$ értéket kaptam.



4. ábra. A mérőrendszer kalibrációja metánkoncentrációk mérésével

A mérőedény pontos térfogata, az adott hőmérséklet, illetve az üledék tömegének ismeretében a CO₂ koncentrációból az alábbi összefüggés alapján számítható a légzés:

A gáztömeg az általános gáztörvény szerint határozható meg

$$N = \frac{P \times V}{R \times T}$$

N = Mólszám

P = Nyomás

V = A mért gáz térfogata

R = Univerzális gázállandó

T = Hőmérséklet

A mólszám alapján számítható a széntömeg (mg), így a légzés kiszámítható az inkubációs idő alatti tömegváltozásból 1g üledék szárazsúlyára vonatkoztatva.

$$R = \frac{\Delta M}{S \times T_{inc}} \left(\frac{mgC}{g \times \text{óra}} \right)$$

R = Légzés

ΔM = Gáztömegváltozás

S = A minta száraz tömege

T_{inc} = Inkubációs idő

A mérési összeállítás lehetővé teszi az *in situ* vizsgálatokat is (5. ábra) A rendszer sajátosságaiból következően a tömegre vonatkoztatott légzés kiszámítása nem lehetséges, ezért felületre vonatkoztatva adhatjuk meg a respirációt, mg C óra⁻¹ m².



5. ábra. A mérőrendszer *in situ* mérési elrendezése

4. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

A Szarvasi Kákafoki holtág vizsgálata

A holtág feltöltődésének becslése

1992-ben és 2006-ban 20 mintavételi ponton mértük a holtág lágy üledékének vastagságát. A 14 éves távlat lehetőséget ad arra, hogy megbecsüljük a feltöltődés ütemét.

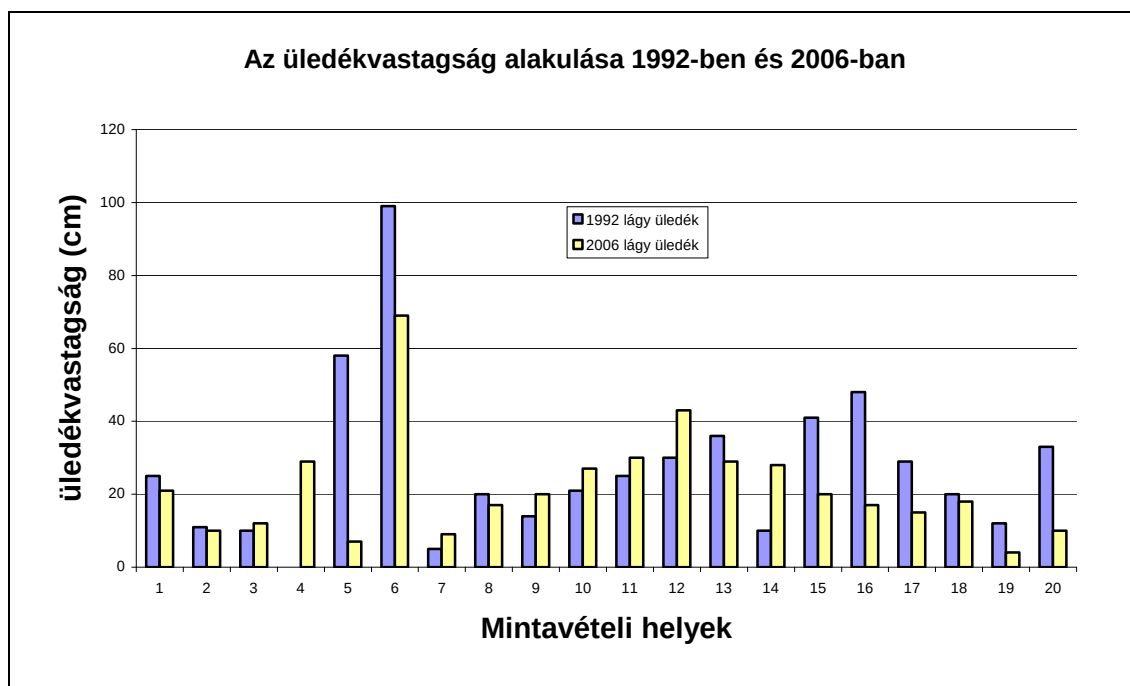
A feltöltődést több környezeti hatás is befolyásolja:

- a kommunális eredetű szerves anyag;
- a mezőgazdasági eredetű növényi tápanyag bemosódás, vagyis az eutrofizálódás;
- a holtág áramlási viszonyai;
- az üledék tömörödése.

A 7. mintavételi pontnál a mérések előtt kotrás történt, ami referenciapontként szolgálhat a feltöltődés sebességének megállapításához. A lágy üledék vastagsága itt 50 mm volt 1992-ben, és 90 mm 2006-ban, vagyis 14 év alatt 40 mm üledék rakódott le. Ebből következően a feltöltődés sebessége a $2,9 \text{ mm év}^{-1}$.

Az áramlás hatására jó példa az 5. mintavételi pont. A kiépített műtárgy miatt felgyorsult vízsebesség az üledékvastagságot 580 mm-ről 70 mm-re csökkentette.

A 9-11., és különösen a 12. mintavételi ponton jelentősen nőtt az üledék vastagsága. A növekedést a HAKI kacsatelepről történt szerves anyag- és növényi tápanyag bemosódás, a 12. ponton pedig az intenzív halnevelő telep elfolyó vizével bekerült jelentős mennyiségű formált szerves anyag okozta (6. ábra).



6. ábra. A holtág lágy üledékének vastagsága a mintavételi pontokon

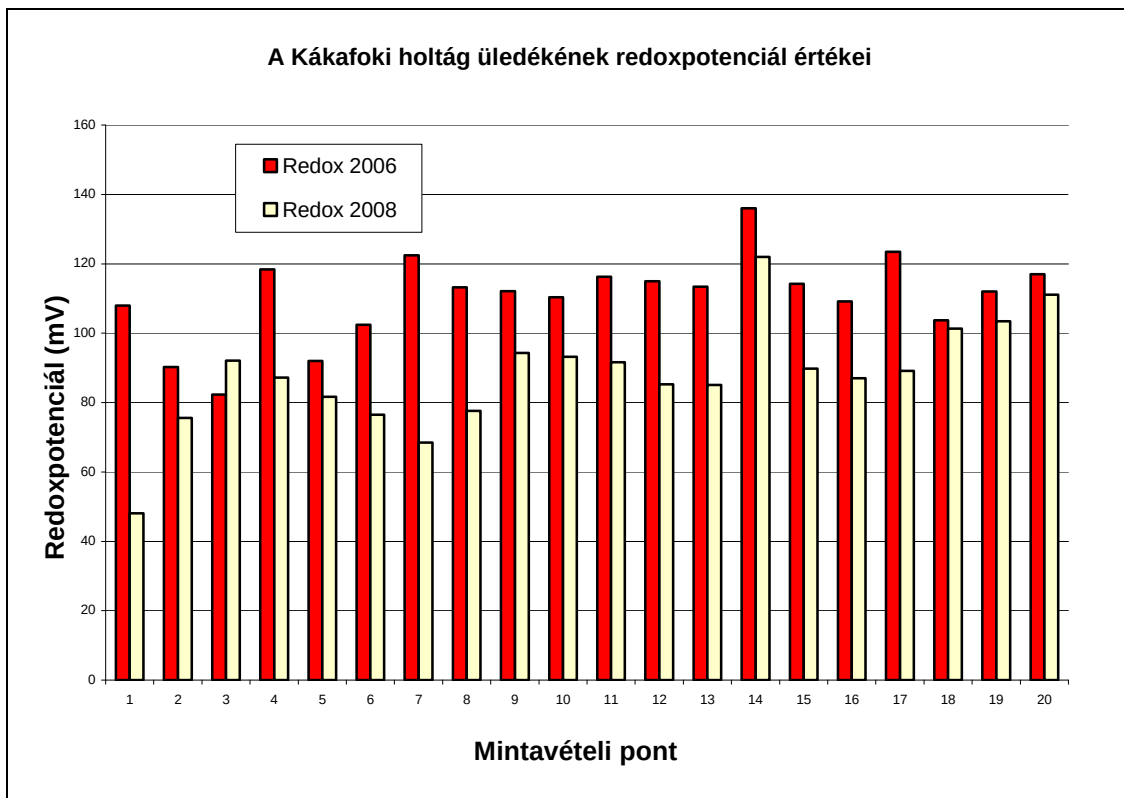
A 6. mintavételi pont a szennyvíztelepi befolyó, ami a legvastagabb – 990 mm üledékréteget eredményezte 1992-ben. Az üledék lágy konzisztenciája viszont lehetővé teszi a tömörödés mértékének becslését. 2006-ra az üledékvastagság 690 mm-re csökkent, tehát a tömörödés 30 % volt 14 év alatt, 2,4 % évente.

Fentiek alapján a holtág átlagos feliszapolódásának mértéke 4-5 mm-re tehető.

Ez az átlagos érték természetesen jelentősen módosulhat az egyes szakaszok jellegzetességeitől függően.

A Kákafoki holtág vízminőségi vizsgálata

A mintavétel helyszínén, 2006 szeptemberében, és 2008 augusztusában hordozható műszerrel mértem a víztest pH-ját, vezetőképességét, oxigéntartalmát és hőmérsékletét. Közvetlenül az üledékminta megvétele után mértem annak redox potenciálját (1. táblázat). Figyelemre méltó, hogy különösen a pH értéke és az oxigéntartalom változott szélsőségesen, az üledék redoxpotenciálja jóval kiegyenlítettebb ingadozásokat mutatott. 2008-ban a holtág egyes pontjain algavirágzást tapasztaltam, ami magas oxigénkoncentrációkat és pH emelkedést eredményezett. A 7. ábra jól mutatja, hogy a redoxpotenciál értékei 2008-ban alacsonyabbak voltak, amit a megnövekedett szervesanyag termelés magyarázhat.



7. ábra. A holtág üledékében mért redoxpotenciál értékek

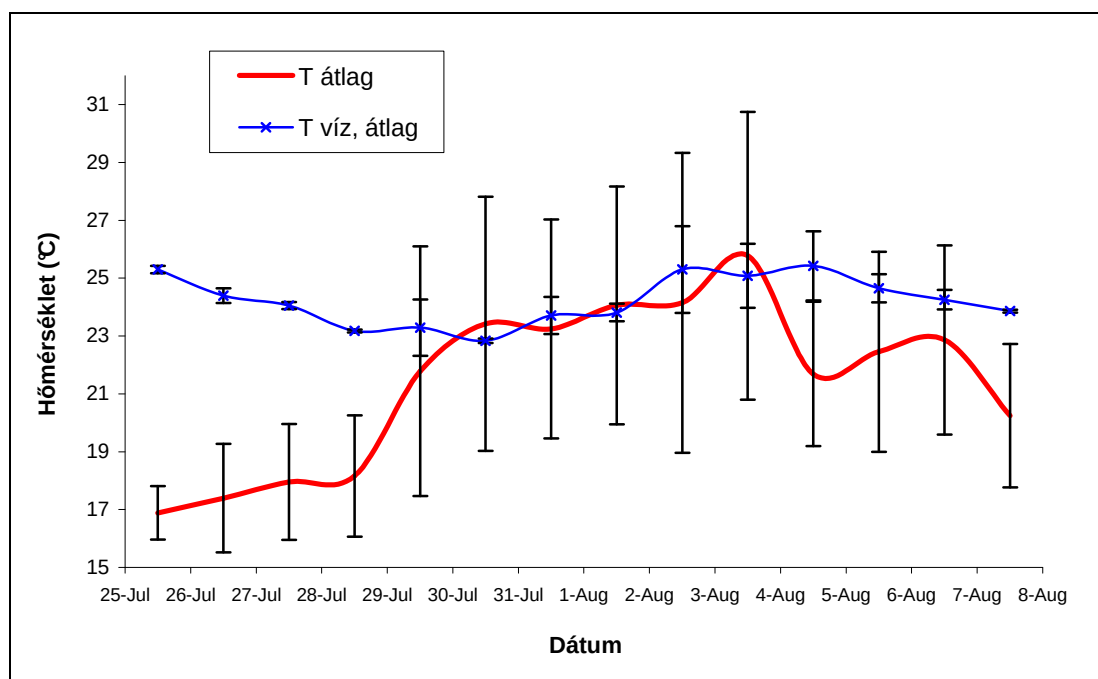
1. táblázat. A Szarvas- Kákafoki holtág helyszíni méréseinek eredményei

Mintahely	Idő	Üledék redox mV	pH	Vezetőképesség $\mu\text{S cm}^{-1}$	O ₂ mg l ⁻¹	Hőmérséklet °C
1	2006	108	7.6	415	7.1	18.3
	2008	48.1	8.38	383	8.4	24.6
2	2006	90.2	7.74	428	7.8	18.4
	2008	75.6	8.32	386	4.5	24.8
3	2006	82.3	7.68	412	7.9	18.4
	2008	92.1	9.2	345	7.8	24.9
4	2006	118.4	7.5	426	7.5	18.4
	2008	87.2	9.85	334	13.2	25.3
5	2006	92	7.68	430	7.1	18.6
	2008	81.7	9.7	338	10.9	25.3
6	2006	102.4	7.52	445	6.2	18.6
	2008	76.5	9.5	338	9.9	24.7
7	2006	122.4	7.52	420	6.2	18.8
	2008	68.5	9.3	341	8.45	24.6
8	2006	113.2	7.72	434	8.5	19.5
	2008	77.6	8.8	346	7.9	25.7
9	2006	112.1	7.7	428	6.3	18.7
	2008	94.3	9.62	405	13.65	27.2
10	2006	110.4	7.49	425	6.8	19.4
	2008	93.2	9.83	414	16.1	27.2
11	2006	116.3	7.9	459	9.6	19
	2008	91.6	9.58	433	15.35	27.1
12	2006	115	8.15	474	11	19.3
	2008	85.3	9.68	436	16.14	27.3
13	2006	113.4	8.1	490	11.3	19.6
	2008	85.1	9.22	445	10.82	26.9
14	2006	165.2	6.85	681	11.6	19.7
	2008	122	8.72	367	7.56	25.8
15	2006	114.2	7.48	434	7.5	19
	2008	89.8	8.8	353	8.9	25.8
16	2006	109.2	7.46	431	7.9	19
	2008	87	9.4	340	15	26.3
17	2006	123.5	7.51	459	7.5	19.2
	2008	89.1	9.3	361	12.3	25.6
18	2006	103.7	7.25	442	6.8	19.3
	2008	101.3	8.5	387	11.75	26.7
19	2006	112	7.25	443	7.55	19.6
	2008	103.4	9.73	389	11.2	26.6
20	2006	117	7.48	455	6.2	19.2
	2008	111.1	8.12	439	5.1	26.9

Bár irodalmi adatok szerint alacsony Ca^{2+} tartalmú víztestekben megnövekedhet a pH (Kant - Raina, 1990), a rendkívül magas értékek azonban szükségessé tették a további vizsgálatokat annak érdekében, hogy a vízminőség időbeli változásának tendenciáiról pontosabb képet kapjak. 2010 nyarán július 26. és augusztus 8. között újabb vizsgálatokat végeztem a víztestben. Ennek során napi két alkalommal, reggel és este, helyszíni méréseket végeztem, melynek során rögzítettem az oxigéntartalmat, a pH-t, a hőmérsékletet és a vezetőképességet. A meteorológiai adatokat a szarvasi Meteorológiai Állomásról kaptam.

A mintavétel a parti régióból, a sodorvonalból, illetve a kettő közötti pontból történt három különböző mélységben.

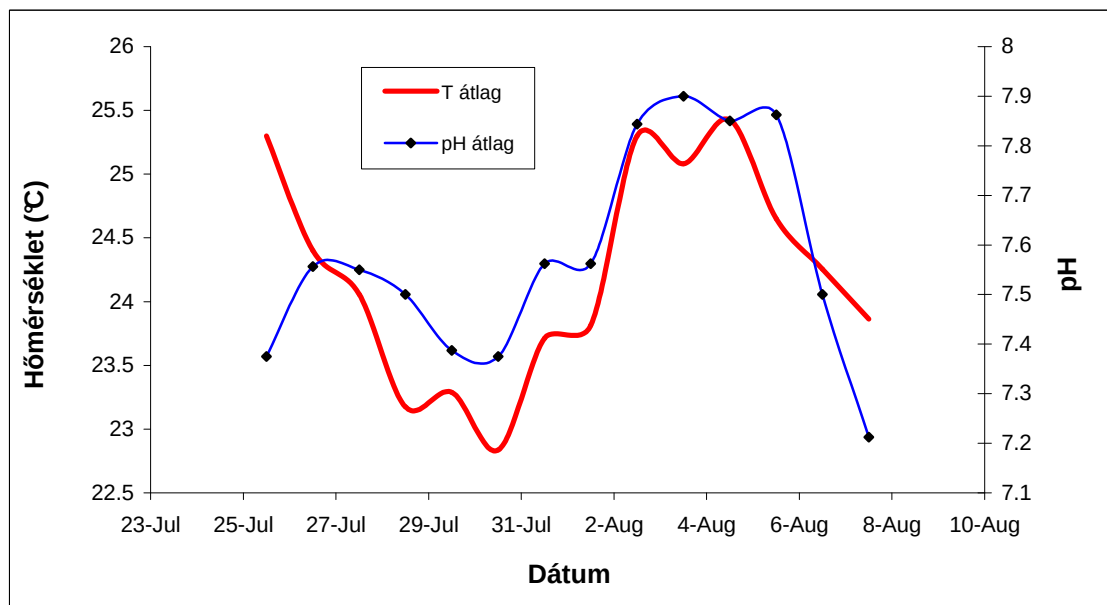
A mérések alatt jelentős időjárási változásokat tapasztaltam. Számítottam a napi átlaghőmérsékleteket, illetve ezek szórását. (8. ábra). A legalacsonyabb hőmérsékletet július 25-én mértem, a legmagasabbat augusztus 4-én. A levegő hőmérséklete nagy ingadozásokat mutatott, melyet a magas szórás értékek is jeleznek. A víztestben kiegyensúlyozottabb változásokat tapasztaltam, azonban a legmagasabb érték itt is $27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt. Az alacsony szórásértékek azt mutatják, hogy nem alakult ki termoklin, még a 4m mélységű középrészen sem. A holtág tehát sekély állóvízként klasszifikálható.



8. ábra. A levegő és a víztest átlaghőmérsékleteinek alakulása

A pH mérések alátámasztják a 2008-as magas értékek kialakulásának lehetőségét. A víz hőmérséklet emelkedésével a fotoszintézis intenzitása is növekedett, ami csökkentette a víztest CO_2 és HCO_3^- tartalmát, ami pH emelkedést eredményezett (9. ábra). Eredményeim jól

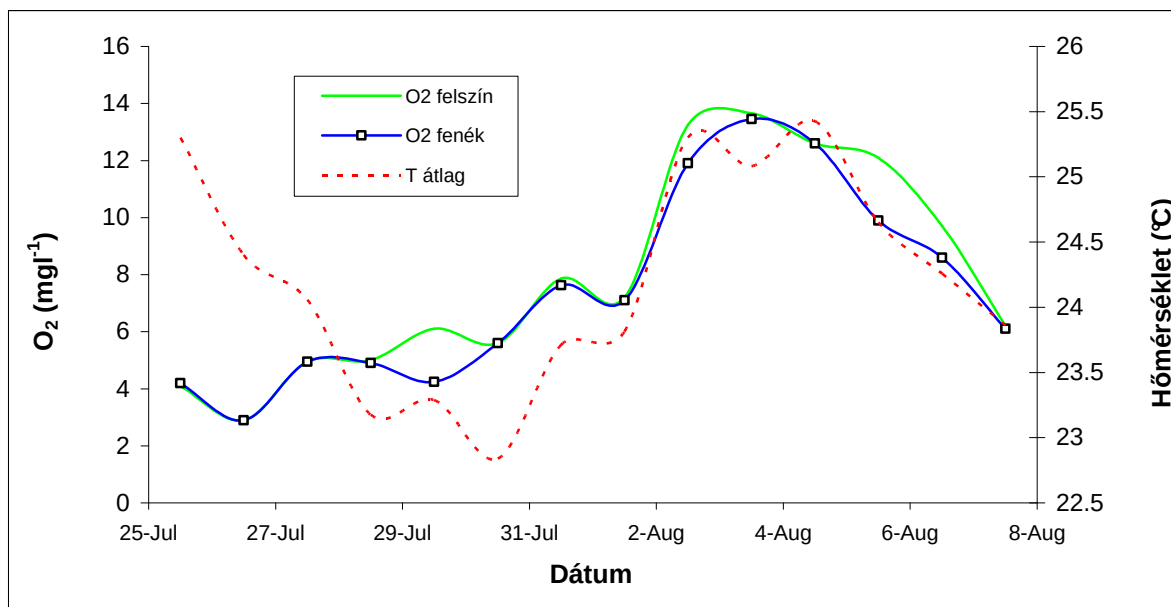
korrelálnak Schwoerbel (1999) megfigyeléseivel, aki jelentős pH ingadozásokat mért hegyi patakokban.



9. ábra. A pH változása a vízhőmérséklettel összehasonlítva

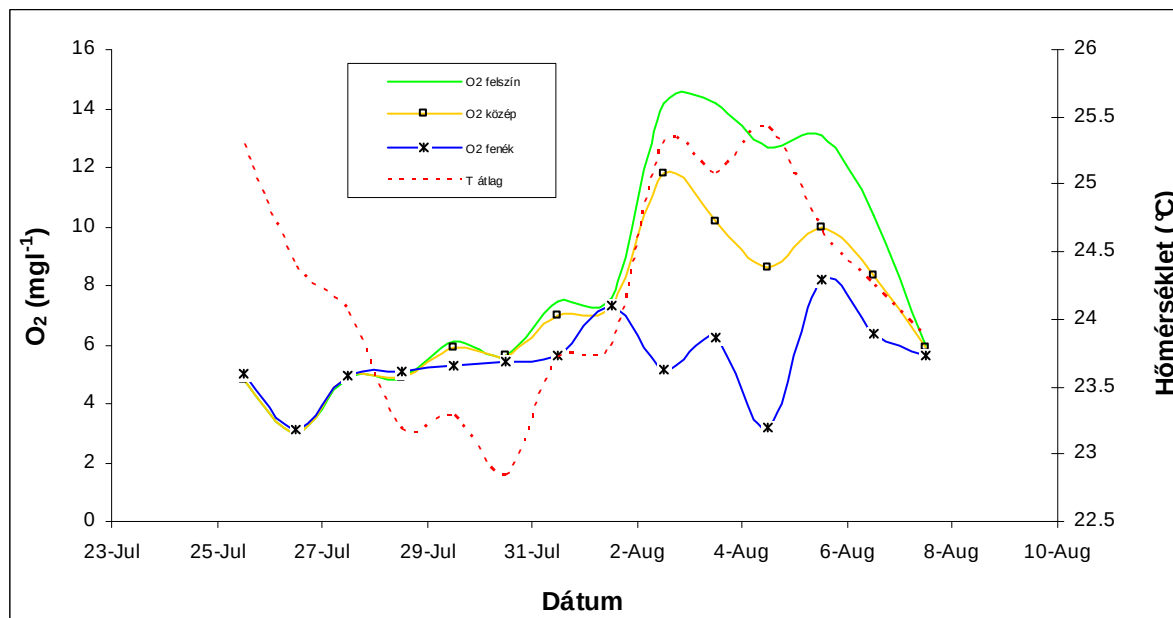
A mérési időszak alatt árhullám vonult le a Körösön, ami miatt július 30. és augusztus 3-a között megállították a vízutánpótlást. A lassú vízáramlás megszűnése jelentősen befolyásolta az oxigénviszonyokat.

A parti részen a felgyorsult fotoszintetikus aktivitás miatt megnövekedett az oxigéntartalom. A vízmélység itt azonban csak 1m volt, így a diffúzió a fenékre is elegendő mennyiséget juttatott (10. ábra).



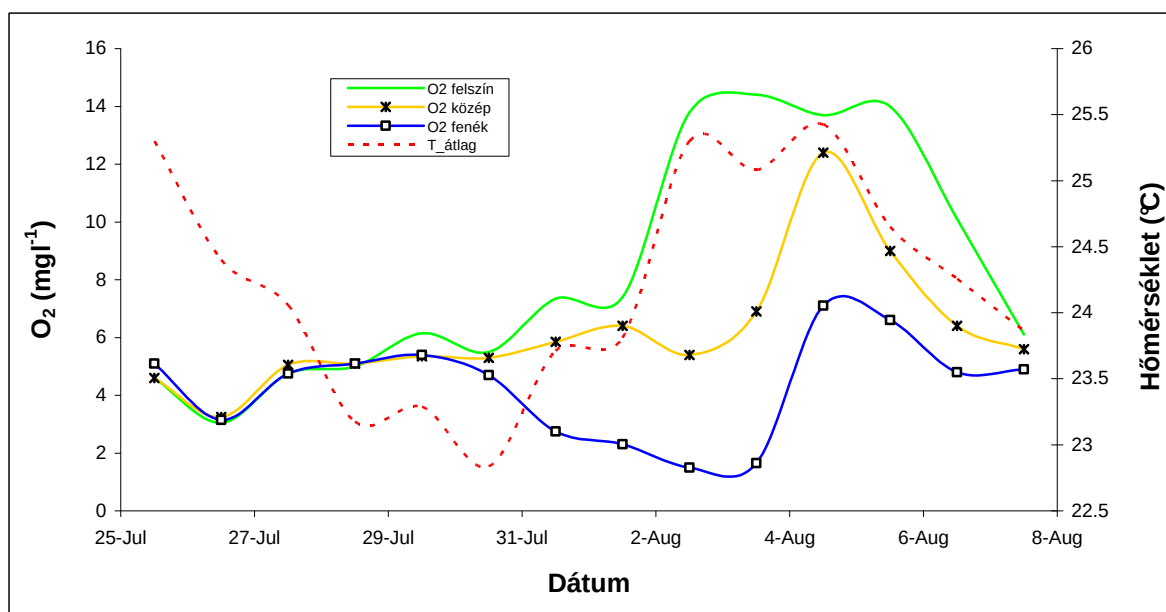
10. ábra. A parti régió átlagos oxigénviszonyainak változása a vízhőmérséklet tükrében

A középrészen a vízmélység 2,4m volt. A 11. ábrán jól látható, hogy az áramlás megszűntével oxigénrétegzettség alakult ki a magasabb hőmérséklet és fotoszintetikus aktivitás eredményeképpen. A vízhőmérséklet csökkenésével és a vízutánpótlás megindításával az oxigéntartalom kissé csökkent, de jóval kiegyensúlyozottabb volt mindhárom mélységben.



11. ábra. Az oxigéntartalom változása a középrészen a vízhőmérséklet tükrében

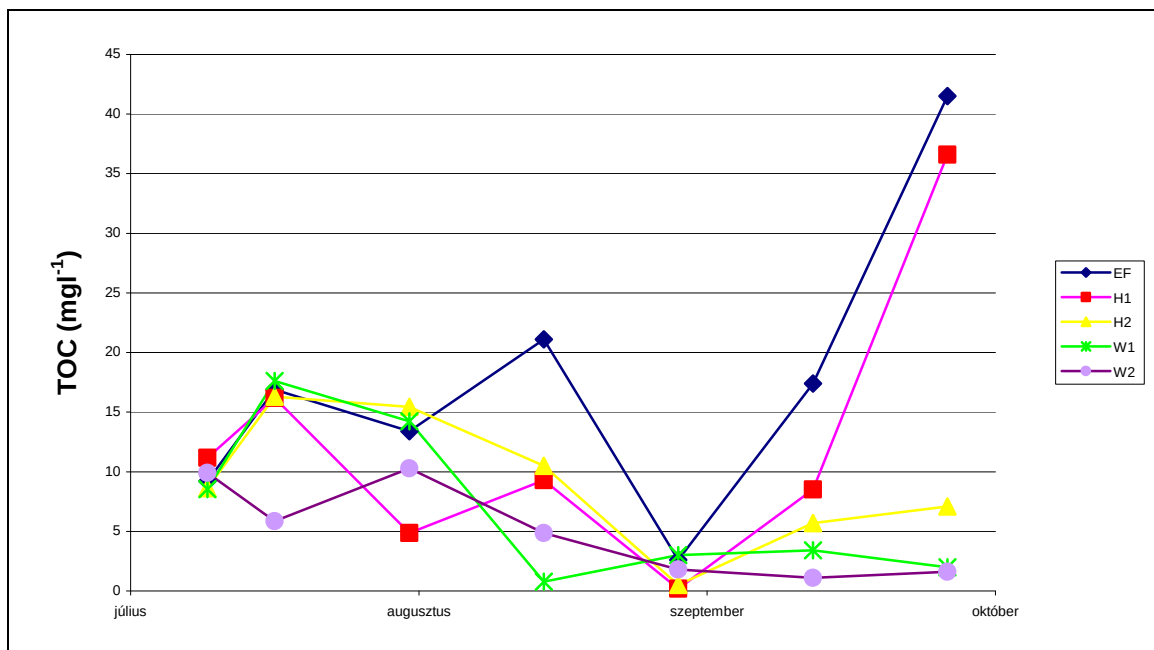
A legmélyebb sodorvonalban jóval erőteljesebb változásokat tapasztaltam. A felszínen az oxigéntartalom elérte a 18,2 mg/l értéket, míg a fenéken 1 mg/l értékre csökkent. A vízutánpótlás megjelenésével az oxigéntartalom közel egyforma, 5 mg/l értéken maradt (12. ábra.).



12. ábra. Az oxigéntartalom változása a sodorvonalban a vízhőmérséklet tükrében

A létesített vizes élőhely vizsgálata

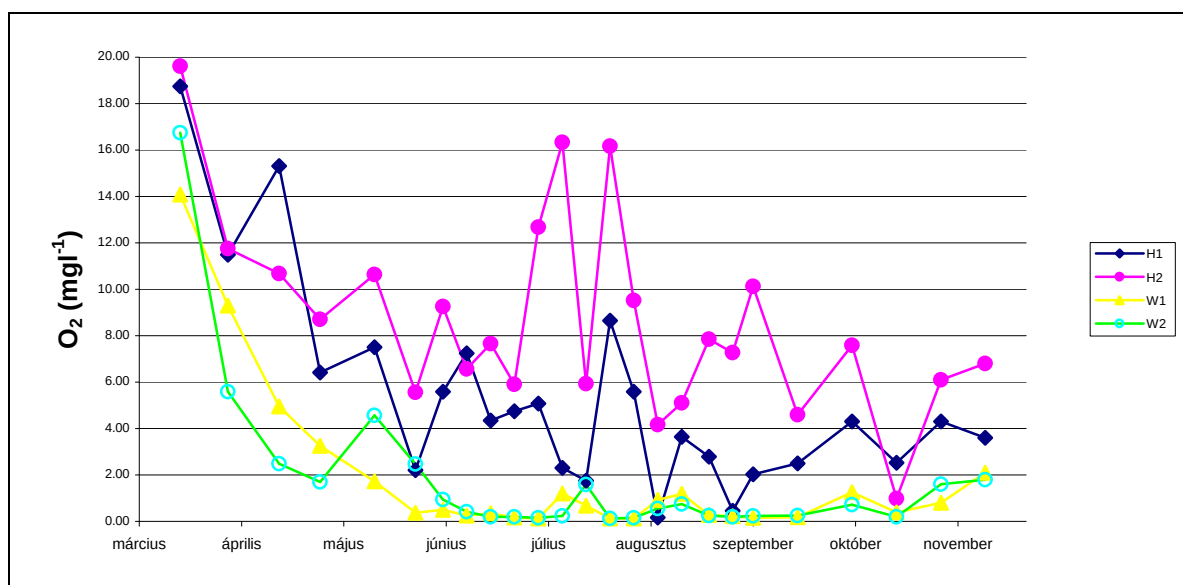
Az intenzív harcsanevelő telep elfolyó vizével $31,6 \text{ mg l}^{-1}$ lebegőanyag terhelés jutott a rendszerbe, melynek 57,3%-a volt szerves frakció. A szervesanyag mennyiségének változását 2002-ben TOC méréssel követtem nyomon a rendszerben (13. ábra).



13. ábra. A TOC változása a halastó- vízinövényes rendszerben

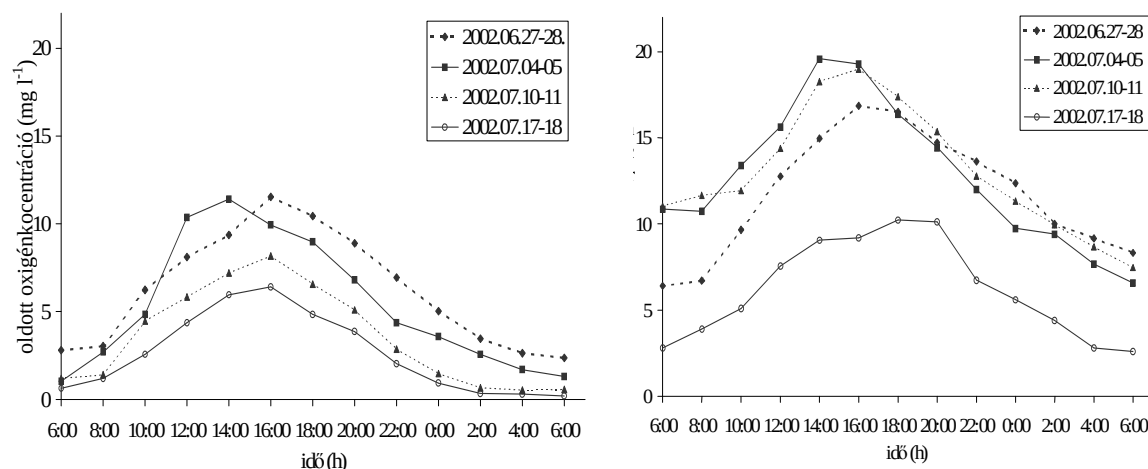
A mérési eredmények szerint a rendszer képes volt feldolgozni a megnövekedett terhelést, a holtágba már határérték alatti szervesanyag koncentrációjú kifolyó víz jutott.

A 2002. évben az oxigénforgalom erősen ingadozott, esetenként szélsőségesen alacsony értékeket vett fel (14. ábra).



14. ábra. Az oxigénkoncentrációk változása a halastó- vízinövényes rendszerben

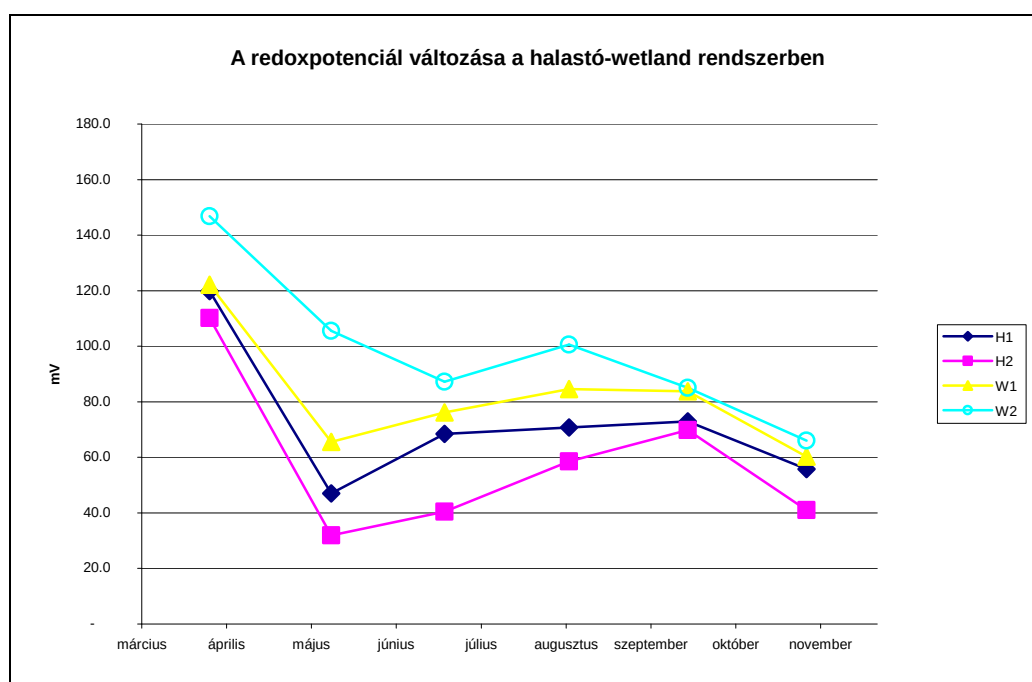
A változások különösen az oxigénháztartás napi ritmusában voltak megfigyelhetők (15. ábra)



15. ábra. Az oxigénháztartás napi ritmusa az 1. és 2. halastóban

Knud-Hansen (1998) szerint még a legtermékenyebb halastavakban sem csökken 3 mg l^{-1} alá az oldott oxigén koncentrációja, ha a szerves anyag kizárólag autochton termelésű. Jelen esetben viszont a külső terhelés miatt a hajnali órákban az oxigénkoncentráció az 1. tóban megközelítette az 1 mg l^{-1} értéket. Ez az érték már kritikus a halak számára (*Horváth*, 2000), ezért mesterséges oxigén utánpótlásra volt szükség.

Az üledék redoxpotenciál változásai nagyobb ingadozásokat mutatott, mint a holtágban (16. ábra).

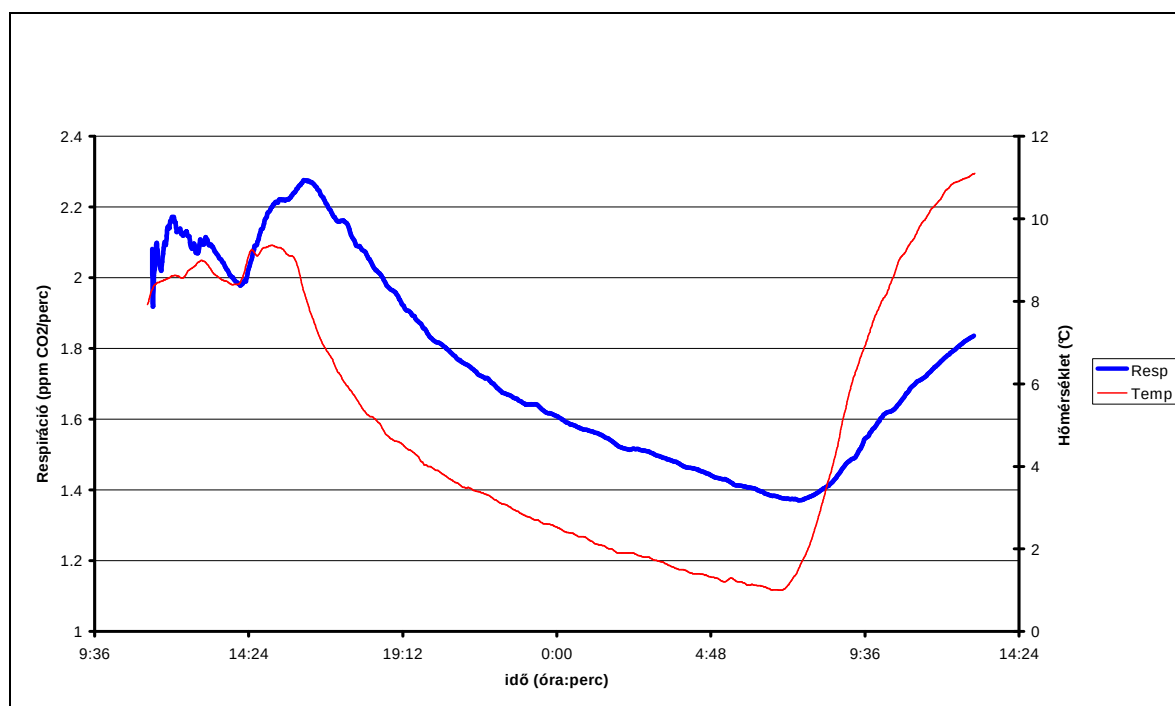


16. ábra. Az üledék redoxpotenciál változása az üledékben

Légzésvizsgálatok

In situ vizsgálatok

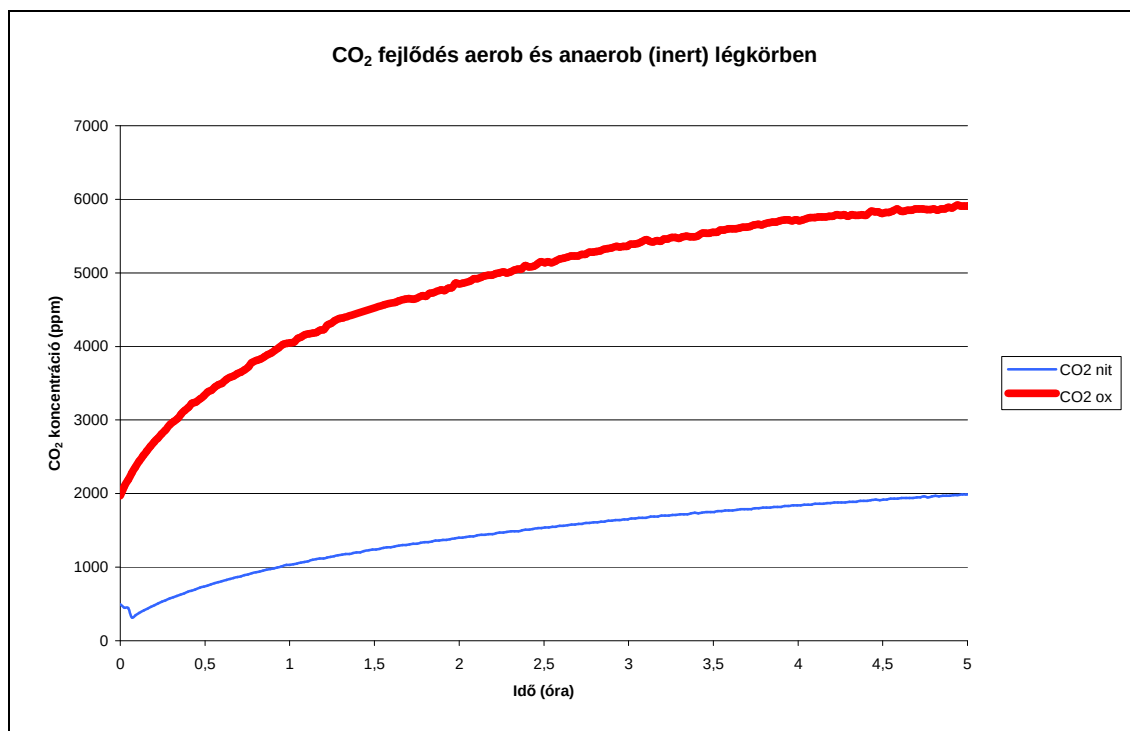
A lecsapolt halastóban 2002. novemberében 26 órás folyamatos mérés után 1500 adatból határoztam meg az üledék légzését. A hőmérsékletet külön mértem, az eredményeket a 17. ábrán ábrázoltam. A respiráció szoros korrelációt mutatott a hőmérsékleti változásokkal. A respirációs sebesség egy órás fáziseltolódással hűen követte a hőmérsékleti változásokat. Megfigyelhető, hogy a respiráció még 1 °C-on sem áll le, ami azt valószínűsíti, hogy az aeráció még a vegetációs perióduson kívül is felgyorsíthatja a mineralizációs folyamatokat. Ezek az eredmények párhuzamba hozhatók *Thamdrup - Fleischer* (1998) megfigyeléseivel, akik arktikus körülmények között mértek mikrobiális respirációt és nitrifikációt.



17. ábra. Üledéklégzés a lecsapolt halastóban

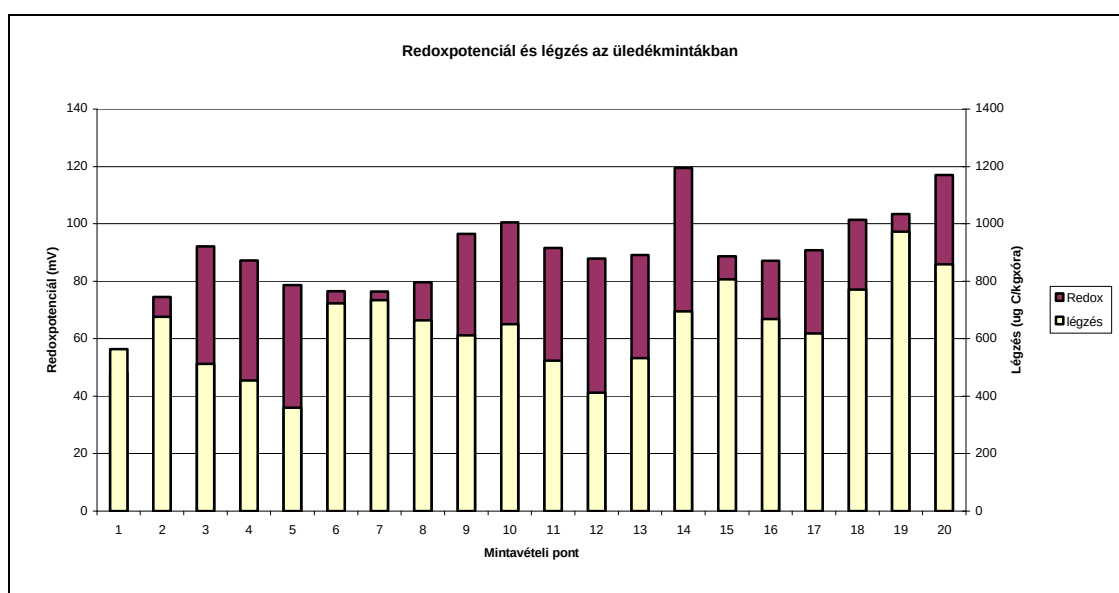
In vitro vizsgálatok

A halastó üledékének légzését *in vitro* körülmények között is vizsgáltam. Céлом az volt, hogy kiderítsem az aeráció üledéklégzésre gyakorolt hatását, ezért levegőztetett és inert gázzal (nitrogénnel) töltött mérőedényeket használtam. Eredményeimet a 18. ábrán mutatom be. Méréseim szerint oxidáló légkörben a respiráció háromszorosan haladja meg az inert légkörben tapasztalhatót, ami egyértelműen arra utal, hogy a vizes élőhelyeken a vízborítottság időszakos megszűnése jelentősen felgyorsíthatja a mineralizációs folyamatokat. Az eredmények korrelálnak *Lin et al.* (2003) megfigyeléseivel, akik a vízzoldható szervesanyag lebontását vizsgálták az üledékben.



18. ábra. Respiráció oxidáló és semleges légkörben

Az alkalmazott módszer a gáz halmazállapotú CO₂ koncentrációját detektálja, ezért a Szarvas-Kákafoki holtágban a vízborítottság miatt a helyszíni légzésmérés nem volt lehetséges. A gyűjtött üledékmintákat laboratóriumban vizsgáltam. A 19. ábrán együtt ábrázoltam a redoxpotenciál és a légzés értékeit. Figyelemre méltó a redoxpotenciálok és a légzésértékek mintázatának hasonlósága. *Catallo* (1999) árapály hatásának kitett üledékekben hasonló eredményeket kapott. Vizsgálatai szerint a légzés és az üledék redoxpotenciálja dinamikus kölcsönhatásban van egymással.



19. ábra. A légzés és a redoxpotenciál változása az üledékben

5. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1. A szarvasi Kákafoki-holtág lágy üledék vastagságának vizsgálata alapján meghatároztam a feliszapolódás sebességét. Ennek mértéke évi 4-5 mm. A feltöltődés üteme a vízminőségi adatokkal együtt azt mutatja, hogy a holtág eutrofizálódása megkezdődött és gyors ütemben folytatódik.
2. Az üledék mikrobiális légzés vizsgálatára alkalmas mérési eljárást dolgoztam ki a PAS technológia felhasználásával. A módszer a légzés által kibocsátott CO₂ alacsony koncentrációjú fotoakusztikus detektálásán alapszik. Nagy előnye, hogy alkalmas a respiráció in situ körülmények közötti nyomon követésére is. További előnye, hogy a monitoring típusú méréssel alkalmas a respiráció időbeli dinamikájának követésére.
3. Az *in vitro* kísérletek mérései szerint a respiráció mértéke oxidáló légkörben háromszorosa volt az inert légkörben mért légzéshez képest. Az aeráció hatása tehát lényegesen felgyorsítja az üledék mineralizációs sebességét, ezáltal csökkentve a szerves terheltséget a vízi ökoszisztémákban.
4. In situ vizsgálatokban kétperces időfelbontással mértem ki a mikrobiális légzés napi ritmusát. A respiráció mértéke egy órás fáziseltolódással követte a környezet hőmérsékletének változásait. A mérések során bebizonyosodott, hogy a vegetációs perióduson kívül is, alacsony, mindössze 1 °C hőmérsékleten is működnek a mineralizációs folyamatok.
5. A vizes élőhelyeken a víztest gyors reagálású anyagforgalmi dinamikája miatt a vízminőségi változások tér-időben igen eltérőek, esetenként szélsőségesek lehetnek. Az üledékben történő változások kiegyenlítettebbek, a lebontás sebességét nagymértékben befolyásolják az oxidációs-redukciós körülmények. Célszerű ezért a vízminőség megállapításakor az üledék redoxpotenciálját és a mikrobiális aktivitását is figyelembe venni.

6. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. Az üledékmérések eredményei alapján kalkuláltam a holtág feltöltődési sebességét. Az eredmények azt mutatják, hogy a holtág feliszapolódása az eutrofizáció hatására gyors mértékű. A VKI követelményrendszerével összhangban szükséges a holtág szennyezőforrásainak kontrollálása illetve megszüntetése.
2. A légzés méréséhez a CO₂ emissziót detektáltam. A módszer előnye az oxigénfogyásból számított légzésméréssel szemben az, hogy a CO₂ felszabadulásának mérésével az anaerob respirációt is tudjuk vizsgálni. Ily módon pontosabb képet kapunk a vízi ökoszisztémák üledék kompartmentjének szénforgalmáról.
3. A PAS technológia segítségével kidolgozott mérési módszer *in situ* méréseket tesz lehetővé, így a vizsgált ökoszisztéma valódi, saját környezetében történő anyagforgalmi működését tudjuk nyomon követni. Méréseimmel meghatároztam az üledéklégzés napi ritmusát. A módszer gyorsasága lehetővé teszi a valós idejű monitorozási feladatok megoldását is.
4. Az üledék vízborítottsága megszűnésének jelentőségét az adja, hogy a jelenlegi folyószabályozási rendszer folyóinkat szűk hullámtérre korlátozza, így az árhullámok által szállított víz- és tápanyagtöbblet gyors áramlású marad, eltávozik a vízgyűjtőről. Ennek következményeképpen az aerációs hatás nem érvényesül, vagyis csökken a mineralizációs sebesség, ezáltal csökkentve folyóink öntisztulási képességét.
5. A létesített halastó-vízínövényes rendszer nagymennyiségű szerves terhelést képes feldolgozni, ami természetközeli víztisztítási technológiák kidolgozását teszi lehetővé.

7. A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT IRODALOM

1. *Catallo, W. J.*: 1999. Hourly and daily variation of sediment redox potential in tidal wetland sediments. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Biological Science Report. USGS/BRD/BSR-1999-0001. 10.
2. *Chapman, J. L. – Reiss, M. J.*: 1999. Ecology: Principles and Applications. Cambridge University Press, 196-203.
3. *Csizmarik, G.*: 1992. Fluoreszcens mikroszkópos technikák alkalmazása a vízmikrobiológiában. A halhústermelés fejlesztése, 15: 9-15.
4. *Horváth, L. (szerk.)*: 2000. Halbiológia és haltenyésztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest
5. *Janurik, E. – Szabó, P.*: 1985. Nitrogén kompartmentek és áramlási utak. A halhústermelés fejlesztése, 12: 23-31.
6. *Kant, S. – Raina, A. K.*: 1990. Limnological studies of two ponds in Jammu. II. Physico-chemical parameters. Journal of Environmental Biology, 11(2): 137-144.
7. *Knud-Hansen, C. F.*: 1998. Pond Fertilization: Ecological approach and practical applications. In: McElwee et al. (ed.). The Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program, Oregon State University, Corvallis, Oregon. p. 40.
8. *Láng, I. – Csete, L. – Jolánkai, M.*: 2007. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok - A VAHAHA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, 220.
9. *Lin, C-H. M. – Pedersen, J. A. – Suffet I. H.*: 2003. Influence of Aeration on Hydrophobic Organic Contaminant Distribution and Diffusive Flux in Estuarine Sediments. Environ. Sci. Technol., 37 (16): 3547–3554.
10. *Schwoerbel, J.*: 1999. Einführung in die Limnologie. Gustav Fischer, Jena 456.
11. *Stern, N.*: 2007. The Economics of Climate Change - The Stern Review, Cambridge University Press, 712.
12. *Thamdrup B. – Fleischer S.*: 1998. Temperature dependence of oxygen respiration, nitrogen mineralization, and nitrification in Arctic sediments. Aquatic Microbial Ecology, 15: 191-199.
13. The Convention on Wetlands of International Importance, especially as Waterfowl Habitat: 1971. Ramsar.

14. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, külföldi lektorált folyóiratban:

- **Csizmarik G.**-Juhász Cs.-Simándi P.-Kocsis I.: (2010). Possibility of liquid manure utilization based on carbon emission measurements. *Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii*. ISSN: 1584-2363. (megjelenés alatt)
- Rácz I. Zs.-Simándi P.-Kocsis I.-**Csizmarik G.**: (2010). Chemical evaluation of water bases in the southern great plain. *Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii*. ISSN: 1584-2363. (megjelenés alatt)

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

- **Csizmarik G.**-Ligetvári F.- Juhász Cs.- Simándi P.: (2010). Monitoring the oxygen level in the Szarvas-Kákafok Deadarm. *Acta Agraria Debreceniensis. Suppl.* ISSN: 1588-8363. 170-173.
- **Csizmarik G.**-Juhász Cs.: (2010). Effect of different crops on the carbon flux of waste water sediment. *Acta Agraria Debreceniensis*. ISSN: 1587-1282. (megjelenés alatt)
- **Csizmarik G.**-Juhász Cs.- Kocsis I.- Simándi P.: (2010). Investigation of carbon mineralization in different sediments. *Bulletin of Szent István University*. ISSN: 1586-4502. (megjelenés alatt)
- **Csizmarik G.**: (2008). Microbial Respiration in a Drained Fish Pond Sediment. *Cereal Research Communications*. Vol.: 36. ISSN: 0133-3720. 36. 607-610. p.

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

- **Csizmarik G.**-Juhász Cs.: (2010). Eltérő víztestek és üledékeik összehasonlító vizsgálata. *Acta Agraria Debreceniensis*. ISSN: 1587-1282. (megjelenés alatt)
- **Csizmarik G.**-Juhász Cs.-Simándi P.-Kocsis I.: (2010). Szén-emisszió monitorozása természetes és mesterséges vizes élőhelyek üledékében. *Acta Agraria Kaposváriensis*. ISSN: 1418-1789. (megjelenés alatt)
- **Csizmarik G.**: (2005). Mikrobiális lebontás halastavak, víztározók, holtágak kiszáradó üledékében. *TSF Tudományos Közlemények*. Tom 5. no. 2. ISSN: 1587-6179. 95-104. p.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- Simándi P.-**Csizmarik G.**-Inubushi K.-Borossay J.: (1999). Mikrobiális lebontás halastavak, víztározók kiszáradó üledékében. 42. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, Veszprém. 174-177. p.
- **Csizmarik G.:** (1994). Bakteriális respiráció mérése gázanalizátorral lecsapolt halastó üledékében. XVIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas. Halászatfejlesztés. Vol.: 17. ISSN: 0324 3826. 129-137. p.
- **Csizmarik G.:** (1992). Fluoreszcens mikroszkópos technikák alkalmazása a vízmikrobiológiában. XVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas. A halhústermelés fejlesztése. Vol.: 15. ISSN: 0324 3826. 9-15. p.

Idegen nyelvű konferencia absztrakt:

- **Csizmarik G.**-Szabóné Komlovszky I.-Litkei J.-Bukovinszkyné Gajzer Gy.-Lauday B.: (2001). Carbon, Nitrogen, Iron and Manganese Bacterial Populations in the Hyporheon of River Körös, Hungary. ISME 9 International Microbial Ecological Conference. Hollandia, Amsterdam, 2001. aug. 26-31. Abstracts: 306. p.

Magyar nyelvű konferencia absztrakt:

- Szabóné Komlovszky I.-Bukovinszkyné Gajzer Gy.-**Csizmarik G.:** (2006). A békésszentandrási vízlépcső környékének növényökológiai állapotfelmérése. II. Magyar Tájökológiai Konferencia Debrecen, 2006 ápr. 7-9. Absztrakt kötet 32. p.
- **Csizmarik G.**-Janurik E.-Kepenyes J.-Rück I.: (1991). Ammóniamentesítés katalitikus hatású szűrőanyag felhasználásával. XV. Halászati Tudományos Tanácskozás. Szarvas. Absztrakt kötet 47. p.

Lektorált könyv, könyvrészlet, jegyzet:

- **Csizmarik G.:** (2011). Hidrobiológia. Jegyzet a környezetgazdálkodási agrármérnök BSc alapszak hallgatóinak. TÁMOP „Képzés és tartalomfejlesztés hiányszakmák korszerű oktatásához a Szent István Egyetem különböző képzési szintjein” című 4.1.2/A/2-10/1-2010-0019 számú projekt. (megjelenés alatt)
- **Csizmarik G.:** (2002). Mikrobiológia. PHARE elektronikus jegyzet. Tessedik Sámuel Főiskola, Mezőgazdasági, Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kar, Szarvas, 84. p.

Az értekezés témaköréhez szorosan nem kapcsolódó publikációk

Tudományos közlemény idegen nyelvű, külföldi lektorált folyóiratban:

- Kocsis I.-Simándi P.-Rácz I. Zs.-**Csizmarik G.:** (2010). Estimation of nitrate eluviation in crop fields. *Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii*. ISSN: 1584-2363. (megjelenés alatt)
- Simándi P.-Kocsis I.-Rácz I. Zs.-**Csizmarik G.:** (2010). Tracing of the changes of physical parameters of tilth by a penetrometer combined with psychrometer. *Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii*. ISSN: 1584-2363. (megjelenés alatt)

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- Szabóné Komlovszky I.-Litkei J.-Bukovinszky Gajzer Gy.-Lauday B.-**Csizmarik G.:** (2001). National and World Ecological Issues: (Ecological Case-study: Communities of Mites. (Acari) as Bioindicators in Natural- and Agroecological Systems in Hungary). ISINI (International Society of Intercommunication of New Ideas). 6 th International Conference, USA, Florida. 14-18th Aug. 2001. Proceedings in CD-ROM.
- Bukovinszky Gajzer Gy.-Szabóné Komlovszky I.-Litkei J.-Lauday B.-**Csizmarik G.:** (2000). Changes in the Intensity of Cellulose-Decomposing Microorganisms Under Certain Agro-Chemotechnical Treatments. Fifth International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, 12-14 September 2000. Proceedings in CD-ROM. 722.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- Kocsis I.-Simándi P.-**Csizmarik G.**-Lazányi J.: (2008). Humuszformák változása a WESTSIK homokjavító kísérletben. XXXII. Óvári Tudományos Nap. 2008 okt. 9. Mosonmagyaróvár. ISBN: 978-963-9883-05-5. CD kiadvány.
- Szabóné Komlovszky I.-Hoffmann K.-**Csizmarik G.:** (2007). A sziki kocsord (*Peucedanum officinale* L.) új élőhelyeinek felmérése a Nagy-Sárréten. I. Nemzetközi Környezettudományi és Vízgazdálkodási Konferencia, Szarvas. 2007 okt. 18-20. TSF Tudományos Közlemények. Tom 7. no. 1. 3. kötet. ISSN: 1587-6179. 701-705. p.

