



DEBRECENI EGYETEM
AGRÁR- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYOK CENTRUMA
MEZŐGAZDASÁG-, ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS
KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Dr. Nagy János DSc
a mezőgazdasági tudomány doktora

Témavezető:

dr. Juhász Csaba PhD

ELTÉRŐ VÍZTESTEK ÉS ÜLEDÉKEIK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Készítette:

Csizmarik Gábor
doktorjelölt

DEBRECEN

2011

ELTÉRŐ VÍZTESTEK ÉS ÜLEDÉKEIK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban

Írta: Csizmarik Gábor okleveles biológus

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**
a növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori programja keretében

Témavezető: Dr. Juhász Csaba PhD

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. fokozat
elnök:	Dr. Tamás János egyetemi tanár	DSc
tagok:	Dr. Ligetvári Ferenc egyetemi tanár	DSc
	Dr. Kátai János egyetemi tanár	CSc

A doktori szigorlat időpontja: 2010. szeptember 17.

Az értekezés bírálói:

Név	Tud. fokozat
Dr.	
Dr.	

A bírálóbizottság:

	Név	Tud. Fokozat	Aláírás
elnök:	Dr. ....	.....	.....
tagok:	Dr. ....	.....	.....
	Dr. ....	.....	.....
	Dr. ....	.....	.....
	Dr. ....	.....	.....
titkár:	Dr. ....	.....	.....

Az értekezés védésének időpontja: 20... ..

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1. A fontosabb biogeokémiai ciklusok a vízi ökoszisztémákban	6
2.1.1. A vízi ökoszisztémák szénforgalma	7
2.1.2. A vízi ökoszisztémák oxigénforgalma.....	15
2.1.3. Vízi ökoszisztémák nitrogén-forgalma	19
2.2. A vizek minősége.....	23
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	26
3.1. Mintavételezés	26
3.1.1. A Szarvas-Kákafoki holtág.....	26
3.1.2. Létesített vizes élőhely: halastó-vízinövényes rendszer	33
3.2. Fizikai-kémiai paraméterek meghatározása.....	35
3.2.1. Helyszíni mérések a holtágon	35
3.2.2. Szárazanyag tartalom meghatározása	36
3.2.3. Potenciometriás módszerek	36
3.2.4. Összes szerves szén (TOC) meghatározása	36
3.3. A mineralizáció vizsgálata.....	37
3.3.1. A mérőműszer	37
3.3.2. A mérési rendszer	39
4. EREDMÉNYEK	43
4.1 A Szarvas-Kákafoki holtág vizsgálata	43
4.1.1 A holtág vízmélység- és üledék tipológiája	43
4.1.2. Helyszíni mérések.....	45
4.2. A létesített vizes élőhely vizsgálata	52
4.2.1. A rendszer tápanyagtartalma	52
4.2.2. Oldott oxigén	52
4.2.3. Totál szerves szén (TOC)	54
4.3. Mineralizáció az üledékben	56
4.3.1. <i>In situ</i> vizsgálatok	56
4.3.2. <i>In vitro</i> vizsgálatok	56
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	59
6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	62
7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA	63

8. ÖSSZEFOGLALÁS	64
9. SUMMARY	66
PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK	73
MELLÉKLETEK.....	76

BEVEZETÉS

A víz az ókori világkép alapeleme, az élő anyagok egyik fő alkotóeleme, az élet alapfeltétele, az élet bölcsője. A víz nemcsak kiváló oldószer, de a biokémiai reakciók reagense is. A makromolekulák térszerkezetének strukturális eleme, ugyanakkor a hidrátburok információhordozó is. A víz tápanyag, mivel a két fotorendszerrel rendelkező fotoszintetikus szervezetek számára a víz a hidrogénforrás.

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

A víz megújuló természeti erőforrás. Természetes körforgása révén a vízkészletek állandóan megújulnak. A Föld teljes vízkészlete 26 600 millió km^3 -re becsülhető, amely magába foglalja a szilárd kéreg közegeiben és ásványaiban kémiaiilag megkötött körülbelül 30% vizet is. Ennek legnagyobb része 25 000 millió km^3 a litoszféra ásványaiban van; a hidroszférában mindössze 1400 millió km^3 víz mozog (Gleick, 1996). Ennek növelésére nincsen mód, az emberiség ezzel a mennyiséggel gazdálkodhat.

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

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 vizes élőhelyek vízteste szerves egységet alkot az üledékkel, mely jelentős mértékben befolyásolja az anyagforgalmi dinamikát (Chapman - Reiss, 1999). A szervezet szintű vizsgálatok, melyek a mikrobiális közösség szerkezetét derítik fel, (Garland - Mills, 1991; Csizmarik, 1992; Csizmarik *et al.*, 2001) nem adnak elégséges

információt a rendszer működésével kapcsolatban. Szükséges tehát a működés szintű megközelítés, a közösségek aktivitásának vizsgálata is.

Hipotézisem szerint a víztestben történő minőségi változások időben nagy ingadozásokat mutathatnak, ezért az üledék -mint az ökoszisztéma stabilizáló, raktározó és süllyesztő alrendszere- vizsgálata fontos adatokkal szolgálhat a vizes élőhelyek vízminősítéséhez.

Dolgozatomban a következő kutatási célokat tűztem ki:

- 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.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az angol „wetland” kifejezés definíciója szerint „olyan ökoszisztéma, mely vízszint megemelkedésével a talajban tartós anaerob viszonyokat hoz létre, és ehhez az ott élő biótának alkalmazkodni kell” (Keddy, 2010). A szó szerinti „nedves föld” fordítás nem szerencsés, mivel a kritériumnak a nedves láprét ugyanúgy eleget tesz, mint egy sekély tó, ártér, vagy holtág (Lakatos, 1998). Fentiek alapján Magyarországon a „vizes élőhely” kifejezést alkalmazzuk. A természetes vizes élőhelyek átmenetet jelentenek a vízi és a szárazföldi ökoszisztémák között, ezért megnövekedett biológiai diverzitás jellemző rájuk (Cowardin et al., 1979), melynek jelentőségét jól hangsúlyozza a Ramsari egyezmény is (1971).

A vizes élőhelyekre jellemző az intenzív anyagforgalom (Avnimelech, 1999; Seitzinger, 1994), így a létesített vizes élőhelyek (artificial wetlands) valóságos élő gépekként képesek feldolgozni a magasabb szervesanyag terheléseket is (Faulkner – Richardson, 1989; Kadlec - Hey, 1999; Costa-Pierce, 1998).

2.1. A fontosabb biogeokémiai ciklusok a vízi ökoszisztémákban

Az élő szervezetek és a környezet közötti állandó kölcsönhatás az anyagcsere, a metabolizmus révén valósul meg. Az összes életjelenség alapja az anyagcsere, ennek keretében történik a tápanyagok felvétele a környezetből, a szervezet energiaszerző, lebontó folyamatai (katabolizmus, disszimiláció), a felvett tápanyagok átalakítása az élőlények saját testanyagaivá (anabolizmus, asszimiláció), és végül a káros, illetve fel nem használt anyagok, anyagcsere-végtermékek eltávolítása (excrecio).

A biogeokémiai ciklusok tulajdonképpen az ökoszisztémák anyagcseréje, vagyis szupraindividuális szintű anyagcsere. Igen lényeges különbség azonban, hogy míg az egyedi szintű anyagcsere minimálisan genetikai szinten programvezérelt és öröklődő, addig az ökoszisztémákban központi vezérlés nincs, a biogeokémiai ciklusok visszacsatolós mechanizmusok által szabályozottan működnek. Ebből következően csak az ökoszisztéma alrendszerait alkotó élőlények evolúcióképesek, maga az ökológiai rendszer erre nem képes (Szathmáry, 2003).

A vízi ökoszisztémák egyik leglényegesebb anyagforgalmi jellemzője az, hogy a víztest miatt térben elkülönül a produkció és a mineralizáció. Állóvizeknél ez a szétválás vertikális, áramló vizek esetében még horizontális is. Ily módon nem egyszerűen anyagkörforgásról, hanem anyagspirálózásról beszélhetünk (Oláh – Oláh,

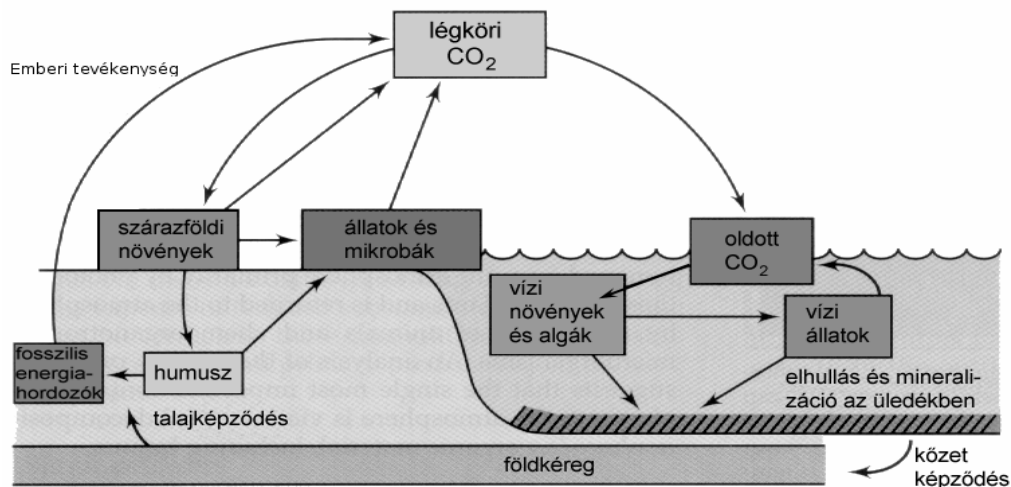
1996). Másik lényeges jellemző, hogy míg szárazföldi ökoszisztémákban a víz az egyik legnagyobb limitáló faktor, addig a vízi ökoszisztémákban az oxigén diffúziója limitálja a mineralizációs sebességet.

Anyagforgalmi szempontból a sekély tavak leglényegesebb jellegzetessége a tó vizének és üledékének igen szoros kapcsolata, amely a víztérfogat és az üledékfelszín mély tavaktól lényegesen eltérő arányából, valamint a szél és a hullámozás együttes hatásából adódik. Egy sekély tó, víztestét és felkeveredő üledékét egy egységben szemlélve különböző méretű és állapotú szerves és szervetlen anyagokat, valamint élő szervezeteket tartalmazó vizes közeg, amelyben különböző fizikai, kémiai és biológiai folyamatok mennek végbe.

A víztestet és az üledéket a víz és a makroszkopikus alkotórészek aránya különbözteti meg egymástól. A víztest (pelagikus, nyílt víz) nagy tömegű vízben relatíve sokkal kisebb mennyiségű oldott és lebegőanyagokat, az üledék a viszonylag nagyobb mennyiségű makroszkopikus testek között elhelyezkedő vizet tartalmaz (Szabó, 2001) Az üledékben ezt a különböző formákban és belső arányait tekintve változó mennyiségben jelen lévő vizet (kapilláris víz, pórusvíz, higroszkópos víz, az élő szervezetekben lévő víz, zárványvíz, kristályvíz), együttesen intersticiális víznek nevezzük.

2.1.1. A vízi ökoszisztémák szénforgalma

A legtöbb raktározott szén a karbonát tartalmú kőzetekben, a fosszilis szén- és olajtermékekben van. Elenyészően kevés nem biológiai változás mellett a szén dinamizmusát az élővilág okozza (1. ábra).



1. ábra. Szénkörforgalom vizes élőhelyeken.
Madigan et al., (1997) nyomán, saját módosítás

A biológiai ciklus központi vegyülete, szervesen kiinduló nyersanyaga vizeinkben a szén-dioxid (CO_2). A szén-dioxid részben a levegőből diffúzióval, részben a csapadékkal és a hozzáfolyással kerül a vízbe. A talajon átszivárgó víz különösen gazdag CO_2 -ban (60 cm mélyen homokos talajban 0,1-0,6, agyagosban 0,2-1,1, réti és lápi talajokban pedig 1,0-4% CO_2 van a talaj levegőjében, szemben az atmoszféra 0,3%-ával).

Magában a vízben az élőlények légzéséből, legnagyobb tömegben azonban az aerob mikroorganizmusok szervesanyag-bontó tevékenységéből keletkezik. Kivételesen származhat a meder karbonátos kőzeteiből is.

A vízben oldódó CO_2 részben szénsavvá (H_2CO_2) alakul, majd H^+ - és HCO_3^- ionokra disszociál: a hidrogén-karbonát tovább disszociál H^+ - és CO_3^{2-} ionra. A vizes oldatban lévő szerves szénformák (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) aránya elsősorban a pH-tól függ. pH 4 alatt csak szabad szén-dioxid található, pH 8,4-nél mindhárom forma egyidejűleg lehetséges, 7-10 pH közt a HCO_3^- dominál, pH 11 felett pedig a CO_3^{2-} jut túlsúlyba (Bohn *et al.*, 1985).

A szén-dioxid tartalmú vízben az egyébként gyakorlatilag vízoldhatatlan kalcium-karbonát (CaCO_3 , oldhatósága 20 °C-on 14 mg l^{-1}), mint kalcium-hidrogénkarbonát (kalcium-bikarbonát): $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ oldódik. A kalcium-hidrogénkarbonát azonban csak addig marad oldatban, amíg a vízben bizonyos szén-dioxid fölösleg van, amit egyensúlyi szén-dioxidnak hívunk. Ha az egyensúly szén-dioxid-elvonás révén megbomlik, annyi kalcium-hidrogénkarbonát oldhatatlan kalcium-karbonátra és szén-dioxidra hasad, amíg a maradék kalcium-hidrogénkarbonátnak megfelelő $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2:\text{CO}_2$ arány be nem áll. A keletkezett karbonát kicsapódik. A CaCO_3 kicsapódását Mg^{2+} és PO_4^{3-} ionok lassítják és az oldott szerves anyaggal együtt a természetes vizek és a tengervíz $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2^-$ túltelítettségét okozzák.

A szén-dioxid elvonás szervesen úton is bekövetkezik a víz felmelegedésével vagy pl.: a szén-dioxiddal túltelített forrásvizeknek a felszínre jutásával. Ilyen helyeken a kémiai mésztelenedés folyamata mészkő bevonatot juttat a kővek, gallyak és más szilárd tárgyak felületére. Ez a kiválás gyorsabb és nagyobb tömegű biológiai úton, mikor a mészkő a fotoszintetizáló vízinövények szárára, levelére rakódik, beépül a moszatok kocsonyaburkába, telepébe, vagy a vízben lebeg, és idővel leülepszik (=biogén mészkő-kiválás). Kötött szén-dioxid rakódik be a puhatestűek héjába, rákfélék

páncéljába és az egész szigeteket építő korallok testébe. A fotoszintézis miatt történő mészkiválásnak természetesen napi ritmusa van.

A biogén mész keletkezésében az élő szervezet néha csak annyiban szerepel, hogy a test vagy a lakás felületén halmozódik fel finom eloszlású kalcium-karbonát.

Ha a biológiai mésztelenítést a nyílt vízben a fitoplankton fotoszintézise okozza, igen finom, kolloidális mészkőkristályok keletkeznek, amelyek tömege leülepedve a „tavi-kréta” nevű fehér, ásványi üledéket alkothatja.

Azok a vizek, amelyek a kalcium-hidrogénkarbonát – szén-dioxid egyensúlynál több CO_2 -ot tartalmaznak, újabb kalcium-karbonát oldására képesek, de megtámadják pl. a vasat is. Különösen a csapadékból keletkező talajvíz tartalmaz sok ilyen agresszív szénsavat, ami mészkőhegyekben a karsztosodás alapja.

Azoknak a vizeknek, amelyekben az uralkodó kation a kalcium, a bennük kialakult szén-dioxid – hidrokarbonát – karbonát rendszer miatt nagy pufferkapacitása, tehát állandó pH értéke van, mert ha szabad CO_2 jelenik meg bennük, azt a CaCO_3 csapadék közömbösíti a szén-dioxid-elvonásra viszont a keletkező karbonát csapadék formájában kilép az oldatból. Emiatt az efféle tavak pH értéke 8,4 körül ingadozik. Ugyanakkor a víz szén-dioxid tartalma a Ca^{2+} ion koncentrációjával párhuzamosan rohamosan gyarapodik, és így a víz a levegő szén-dioxid-tartalmának parciális nyomásával egyensúlyban levő $0,37 \text{ mg l}^{-1}$ szén-dioxidnak hatvan- hetvenszeresét is raktározhatja a pH tetemes csökkenése nélkül.

Egészen más a helyzet ott, ahol a vízben nátrium vagy kálium az uralkodó kation, mert itt a fotoszintézis nyomán nem csapódik ki a karbonát, hanem oldatban marad, és a vizet szélsőségesen lúgosíthatja (Felföldy, 1981).

A szén-dioxid-rendszer az elsődleges szervesanyag-termelés nyersanyaga. Ebből a szempontból a különböző szénformák hasznosíthatósága, „hozzáférhetősége” fontos.

Többször felmerül az a kérdés, hogy a víz szén-dioxid-rendszerének elégtelensége válhat-e az elsődleges szervesanyag-termelés limitáló tényezőjévé? Olyan vizet, amelyben ne lenne nagy mennyiségben felesleges hozzáférhető szén-dioxid nem ismerünk. Legfeljebb néhány, szélsőségesen eutróf, sekély vízben a fotoszintézis miatt megnőtt pH akadályozhatja (lassíthatja) a szén-dioxid asszimilációt. Azt, hogy a különféle molaritású $\text{KOH-K}_2\text{CO}_3\text{-KHCO}_3\text{-CO}_2$ puffer rendszerben a fotoszintézist nem a hozzáférhető CO_2 mennyisége, hanem a közeg pH értéke állítja meg, kísérletileg bizonyították (Felföldy, 1974). Fontos a baktériumok által termelt szén-dioxid szerves anyaggal terhelt szennyvíztavakban, ahol a P és a N nagy feleslegben található. A

természetes vízi ökoszisztémák legfontosabb producense a fitoplankton, fotoszintetikus apparátusa aránylag gyorsan telítődik, természetes vizekben jóval a C-forrás kimerülése előtt és tovább működni csak szaporodás, új protoplazma létrehozása után tudnak, így válnak a vízben sokkal kisebb mennyiségben jelen lévő, de a plazma-szintéziséhez szükséges elemek, mindenekelőtt a nitrogén és a foszfor a termelés limitáló tényezőivé.

A szervesetlen szén-dioxid bekapcsolódása a szerves világ életfolyamataiba, annak redukciójával történik, amit a növények és egyes mikroorganizmusok vagy foto- vagy kemotróf módon végeznek (Szabó, 1989).

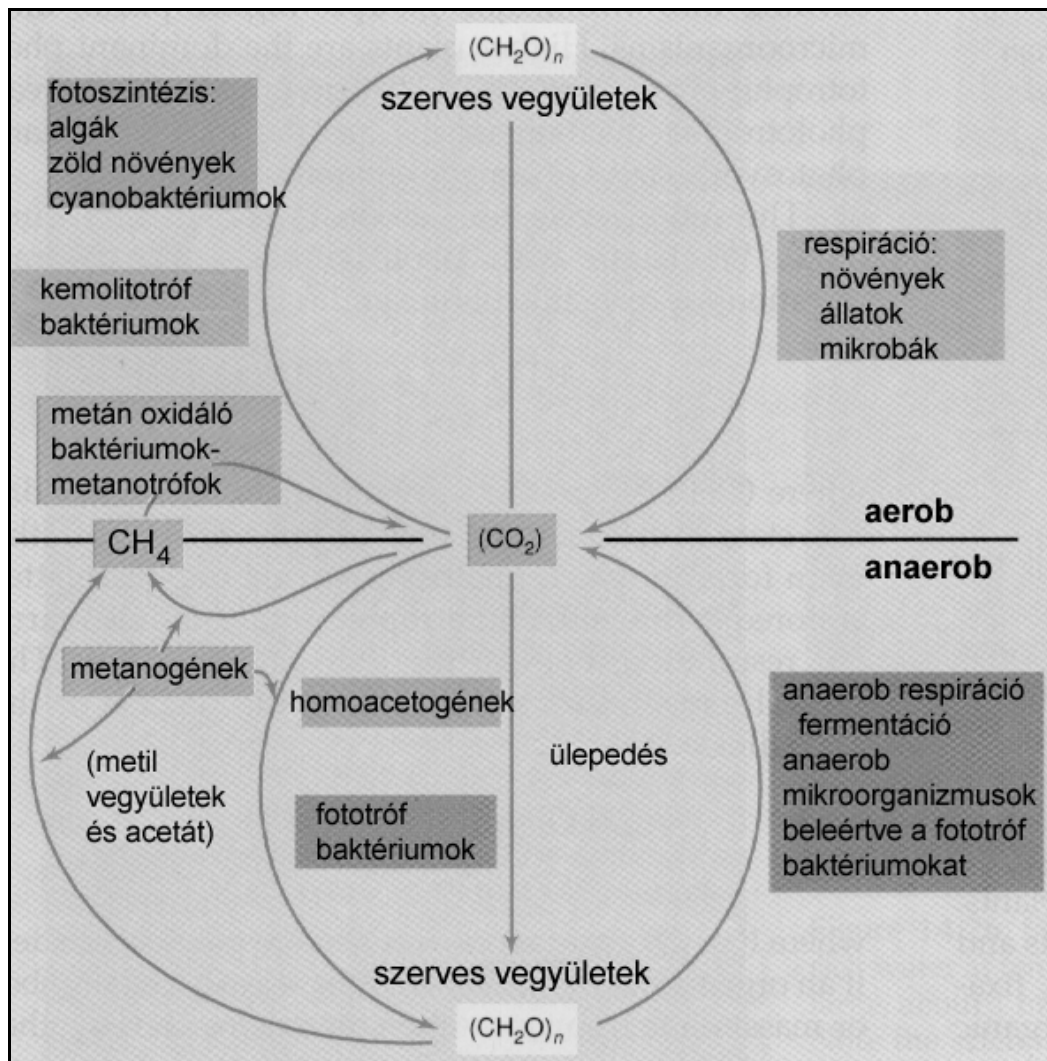
A fotoszintézis legáltalánosabb képlete: $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{A} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O} + 2\text{A}$, ahol a növények esetében az A oxigént, a kénbaktériumoknál pedig ként jelent.

A szén-dioxid hasznosítása sokkal általánosabb, és a heterotróf élőlények is asszimilálnak CO_2 -ot, de ehhez kész szerves vegyületeket is igényelnek. Ugyanakkor azt is tudjuk, hogy a legtöbb autotróf élőlény képes szerves kötésű szén hasznosítására is.

A heterotrófia és autotrófia közti különbség ebből a szempontból tehát elmosódik. Minden baktériumnak és protozoának van szén-dioxid igénye, sőt, igen valószínű, hogy minden élő sejtnak szüksége van rá. Ez a megállapítás természetesen nem hatástalanítja a növények és az állatok közti különbséget, csupán figyelmeztet, hogy a CO_2 nem csak a mennyiségileg egyébként döntő fontosságú fénytől függő növényi szén-dioxid asszimiláción és a kemolitotróf mikroorganizmusok tevékenységével jut a szerves világ körfolyamataiba, hanem a baktériumok és holozoikus egysejtűek karboxilációja révén is (Buesing - Gessner, 2006).

Az élőlényekben lévő szerves szén egy része CO_2 -dá oxidálódik az élőlények légzésekor, kisebb része lefolyással, szárazföldi ragadozók zsákmányaként, vagy a vízben fejlődött rovar kirepülésével tűnik el a vízi ökoszisztémából. Az elpusztult élőlények anyaga szerves törmelék formájában mozoghat a vízben, de legnagyobb részt leülepedve az üledéket gazdagítja. Az oldott és formált szerves anyag egyaránt szolgálhat táplálékkul és így ismét élőlények anyagává változik. Jelentős része azonban a lebontók segítségével CO_2 -dá mineralizálódik.

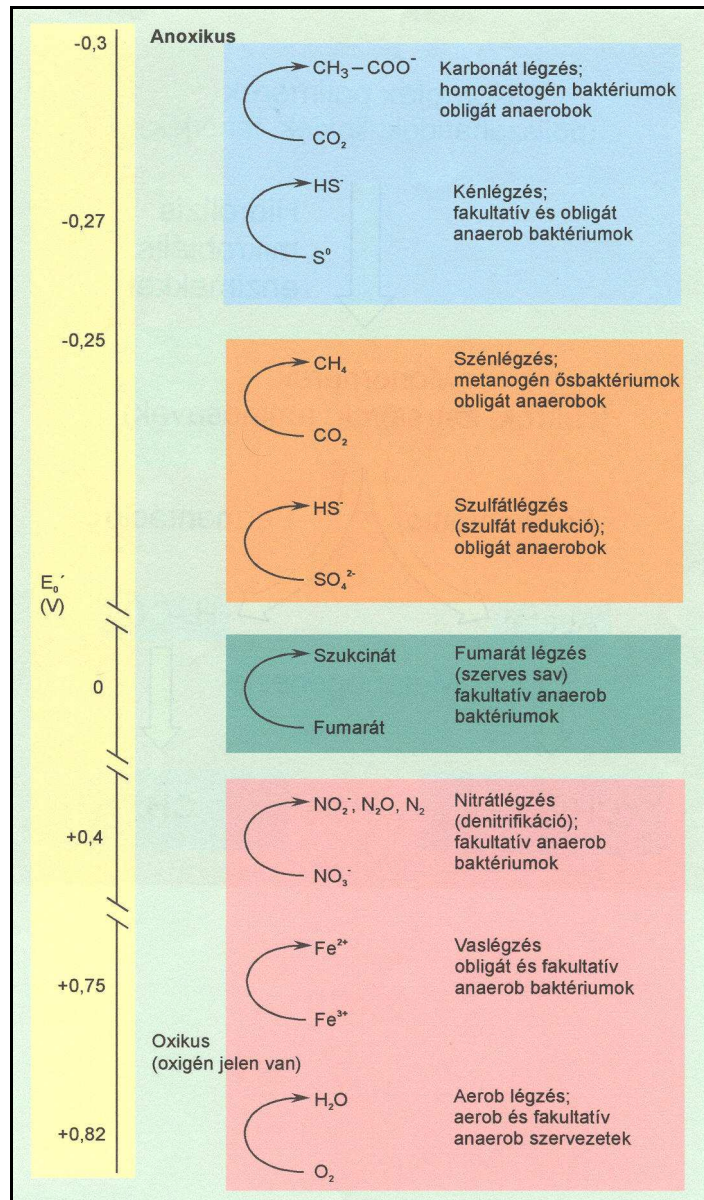
Ha a bomlás aerob úton történik, szén-dioxid lesz belőle, míg anaerob úton a szén egy része metánná redukálódik (2. ábra).



2. ábra. Aerob és anaerob szénkörforgás

Madigan et al., (1997) nyomán, saját módosítás

Aerob légzés esetén az oxigén az elektron-akceptor, vagyis elektronokat vesz át különböző elektron-donoroktól – pl.: NADH_2 . Az oxigénen kívül számos más alternatív elektron-akceptor létezik – pl.: Fe^{3+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2 ...stb. Az elektron-akceptorokról eddig úgy gondolták, szervetlen vegyületek, a kutatások eredményei azonban bebizonyították, hogy szerves vegyület is lehet elektron-akceptor (*Derek et al*, 1996) (3. ábra).



3. ábra. Alternatív elektron akceptorok

Madigan et al., (1997) nyomán, saját módosítás

Az alternatív elektronakceptorok segítségével végzett légzést hívjuk anaerob respirációnak. Az anaerob módon lélegző élőlények – bizonyos prokarioták – energiaforrása általában valamely szerves anyag (bár néhány kemolitotróf is képes anaerob légzésre), és rendelkeznek valamilyen tipikus elektron-transzport molekulával (citokrómok, kinonok stb.); légzőrendszerük egészen hasonló az aerob szervezetekéivel. Csakúgy, mint a denitrifikáló baktériumok, az anaerob mikroorganizmusok is képesek aerob légzésre. Oxigén jelenlétében aerob légzést folytatnak, anoxikus környezetben ez háttérbe szorul és átválnak alternatív elektronakceptorok használatára (Jorgensen, 1989). Természetesen vannak obligát anaerob

élőlények, amelyek a kataláz enzim hiánya miatt képtelenek aerob légzésre és oxigén jelenlétében elpusztulnak.

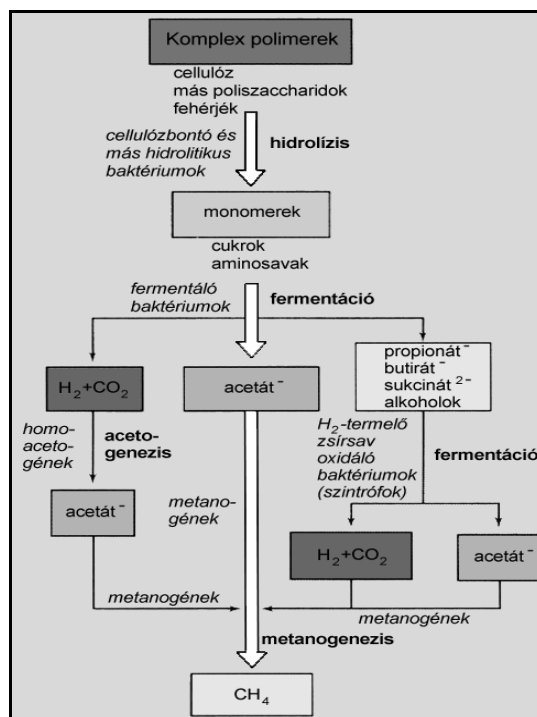
Az aerob oxidáció során felszabaduló energia sokkal nagyobb, mint egy anaerob környezetben, alternatív elektron-hordozóval történő oxidáció során felszabaduló energia. Az elméleti energiahozam az e^- -akceptor és az e^- -donor redox-potenciálja közötti különbséggel mérhető. Mivel az $O_2 \rightarrow H_2O$ páros a legoxidatívabb, ezen az úton nyerhető a legtöbb energia. A Fe^{3+} , a NO_3^- és a $NO_3^- - NO_2^-$ redox-potenciálja áll legközelebb az oxigénéhez.

Számos élőlény használ szerves vegyületeket (NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2) testfolyamataihoz. Az ilyen redukciók végtermékei általában amino- ($-NH_2$) és szulfhidril-csoportok ($-SH$), valamint szerves vegyületek. Bizonyos mértékig minden élőlénynek szüksége van kénre, nitrogénre és szénre.

A szerves vegyületek tápanyaggá redukálását és felhasználását asszimilatív anyagcserének hívjuk. A fenti vegyületek asszimilatív metabolizmusa élesen elkülönül azoktól a reakcióktól, ahol ugyanezen vegyületeket alternatív energiahordozókként használják energianyerés céljából. Ez utóbbi a disszimilatív metabolizmus. Az asszimilatív anyagcserénél elegendő a kiindulási anyag redukciója, így a mikroorganizmus, mint tápanyagot fel tudja használni. A redukált anyagok makromolekulákként hasznosulnak a sejten belül.

A disszimilatív anyagcserénél aránylag nagy mennyiségű elektron-akceptor redukálódik és a redukált végtermék kiválasztódik a környezetbe. Sok élőlény végez asszimilatív anyagcserét (baktériumok, gombák, algák, magasabb rendű növények), de csak a prokarioták végeznek disszimilatív metabolizmust.

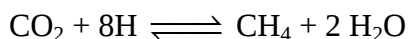
A metanogenezis két lépésben zajlik le (4. ábra). Az elsőben különböző fakultatív és obligát anaerobikus baktériumok a szerves anyagok fehérje-, szénhidrát- és zsírtartalmát hidrolízissel és fermentálással zsírsavakká alakítják (savképzők). A szigorúan anaerobikus metánképzők (*Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* és *Methanosarcina* fajok) a második lépésben ezeket a zsírsavakat hasznosítják: szén-dioxidot és metánt termelnek belőlük kétféle reakció segítségével (Szabó, 1989).



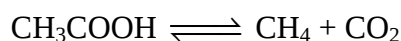
4. ábra. Metanogenezis

Madigan et al., (1997) nyomán, saját módosítás

Az elsőben szén-dioxid szerepel hidrogénakceptorként, ami a szerves savból enzimatikusan lehasított hidrogénnel metánná redukálódik:

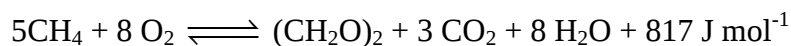


A másodikban a szerves vegyületekből származó leggyakoribb köztestermék (körülbelül 70%) az ecetsav alakul át szén-dioxiddá, a metil-csoport szene pedig metánná:



A keletkezett metán részben elvész az élővilág szempontjából, miközben a levegőbe távozó, buborékok okozta „metánkonvekció” üledék szemcséket és oldott anyagokat juttat a trofogenikus rétegbe. Az emiatt növekvő szervesanyag-termelés miatt nő az üledék szervesanyag-tartalma, az alsó réteg oxigénhiánya a metánképződés és fokozódik a metánkonvekció is. A folyamat láncreakcióként fokozza a mély tó eutrofizálódását.

Mély tavakban a metán nagy részét azonban a vizekben elterjedt, szigorúan aerob metánoxidáló baktériumok (pl. *Methanomonas methanica*) hasznosítják:



Ilyen úton részben sejtanyag, részben CO_2 keletkezik.

A vízben lévő „hozzáférhető” szervesanyag-kínálat és a lebontás intenzitása a víz biológiai minősítésében fontos szaprobitás alapja (Felföldy, 1987).

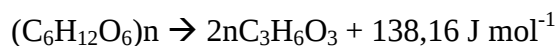
2.1.2. A vízi ökoszisztémák oxigénforgalma

Az életjelenségeket nem lehet elképzelni a fizikai- kémiából ismert oxidáció és redukció nélkül. Elektrokémiailag oxidációnak nevezzük azt a folyamatot, amelynek során egy ion vagy atom elektronokat veszít, vagyis pozitív töltése nő és redukciónak azt, ha az ion vagy atom elektronokat vesz fel, ami által pozitív töltése csökken.

Valamely redox-rendszer oxidáló- vagy redukáló képességét redox-potenciáljával tudjuk számszerűen kifejezni.

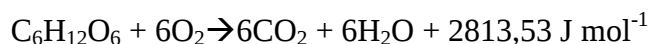
A legtöbb élőlény a levegő szabad oxigénjét, vagy a vízben oldott oxigént igényli (aerob élőlények). Különbőféle baktériumok, gombák, élesztősejtek, bélférgek, szabadon élő fonálférgek és más, rothadó iszapban élő állatok, amelyek átmenetileg vagy állandóan képesek szabad O₂ jelenléte nélkül élni (fakultatív és obligát anaerob élőlények). Ezek nagy része különféle szerves anyagokat (például szőlőcukor, glikogén) bont alkohollá, ecetsavvá, széndioxiddá, tejsavvá... stb., miközben a részleges belső oxidációval aránylag csekély energiamennyiséget használja életfolyamatai fenntartására.

A tejsavas fermentáció esetében a glikogénből tejsav keletkezik:



Az anoxibiózisnak ez a folyamata egyes élőlényeknél később erőteljes O₂ felvételt igényel, hogy a felhalmozódott tejsavat oxidálhassa.

A szőlőcukor és hasonló, más tápanyagok teljes oxidációja széndioxid és víz képződésével történik az alábbi egyenlet szerint:



A tápanyagoknak vagy a szervezetet alkotó anyagoknak testhőmérsékleten szabad oxigén felvétele közben lejátszódó lassú oxidálódását közönségesen légzésnek nevezzük. A biológiai oxigénforgalom legfontosabb irányait az alábbi négy képlettel írhatjuk le:

Fotoszintézis, elemi oxigén keletkezése: $H_2O + \text{fény} \rightarrow O_2$

A légzés, oxigén-felhasználás: $O_2 \rightarrow H_2O$

Bioszintézis, oxigénasszimiláció: $O_2 \rightarrow \text{szerves kötésű oxigén}$

Lebontási folyamatok: Szerves kötésű oxigén $\rightarrow H_2O$

A legtöbb élő szervezetnek szüksége van oxigénre protoplazmájában szteroidok, telítetlen zsírsavak és egyes aminosavak szintéziséhez, mások az oxigént elektron-akceptorként igénylik asszimilációs folyamataik során, a légzés azonban messze több elemi oxigént igényel, mint a bioszintézis. Míg a szárazföldi élet számára a légkör oxigénje a benépesedett területeken korlátlan mennyiségben hozzáférhető, a vízben, mint életközegben az oxigén korlátozott oldódó-képessége miatt más a helyzet.

Az oxigén forrásai a vízi ökoszisztéma számára

- Oxigén tartalmú befolyó víz;
- Diffúzió az atmoszférából;
- A fotoszintézis.

Az oxigén elhasználódása a következő formákban történik

- A légzés,
- Veszteség (kiszellőződés) az atmoszférába, csak túltelítődéskor,
- Veszteség a kifolyó vízzel.

Valamely víz oxigénmérlege tehát annál kedvezőtlenebb, minél kisebb felületen át történik a diffúzió és a növények fotoszintézise, illetve minél erőteljesebb a heterotrofikus élőlények működése. Ehhez még két általános megállapítást tehetünk.

A gyorsan mozgó, sekély, turbulens folyóvizek oxigénviszonyai kedvezőbbek, mint az állóvizeké.

Külső szerves anyagok vízbe jutása rontja az oxigénellátottságot, állóvizekben tartósabban, mint áramló vizekben.

A fotoszintézissel jelentős mennyiségű oxigén jut a vizekbe. Mérték már évi átlagként napi $6\text{ g O}_2\text{ m}^{-3}$ értéket is, aminek kevesebb, mint 5%-a távozott a légtérbe. Nagy és planktonban gazdag folyók, „biogén szellőzése” fontos szerepet játszik a természetes tisztulásukban.

Mély tavakban az oxigén diffúziója a vízbe felülről lefelé történik, sőt a növények oxigéntermelése is a felső, átvilágított rétegben folyik (eufotikus vagy trofogenikus réteg a termelés tere). Az a mélység, amelyben a fotoszintézis O_2 termelését a légzés (lebomlás) éppen ellensúlyozza annyira, hogy az oxigén töménysége nem változik a kompenzációs mélysége. A bomlási folyamatokból származó O_2 csökkenés ott mutatkozik, ahol fényhiány miatt nincs növényi élet, és ahol a szerves törmelék felhalmozódik, vagyis a mélységi tájékon (afotikus vagy trofolitikus réteg a bomlás tere).

A víz oldott oxigén tartalmát részben fiziográfiai sajátságok, a földrajzi fekvés, tengerszint feletti magasság, légnyomás, a meder mélysége, a környék éghajlata, a széljárás és a víz kémiai tulajdonságai is befolyásolják, de legfontosabbak a biológiai folyamatok, mert a természetes vizek oxigéntartalma a benépesedéssel és a vízi élet egész menetével szoros kapcsolatban van (Szalai, 1987).

A hőrétegzett tavak O_2 viszonyait a tavaszi felkeveredés állapotából kell vizsgálni, mikor víz egész tömege egyenletesen $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű. Az alacsony hőmérséklet kedvez az O_2 felvételnek: 760 mm Hg (1 bar) légköri nyomáson a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os víz kerekén 13 mg O_2 -vel telítődik literenként. A teljes cirkuláció a gáznemű bomlástermékektől (NH_3 , H_2S , CH_4) is megszabadítja a vizet. Ilyenkor „mély lélegzetet vesz” a tó. Az O_2 koncentráció görbéjének mélység szerinti lefutása a mélységi tengellyel párhuzamos egyenes vonal (ortográf).

A felmelegedéssel, a hőrétegzettség és a nyári pangás kialakulásával megváltoznak az O_2 viszonyok is. Az élet nyári kibontakozása és a melegebb víz a fedőrétegben élénk légzéssel, O_2 -elvonással jár, a fotoszintézis azonban ezt annyira pótolja, hogy itt rendszeren a hőmérsékletnek megfelelő telítettség keletkezik (Felföldy, 1981).

Az alsó réteg oxigénviszonyai a tó termelékenységevel vannak összefüggésben. Kevés növényi tápanyagot tartalmazó oligotrofikus mély tavakban a növényi élet szegényes, kevés szerves törmelék keletkezik, az élőlények légzéséhez és a bomláshoz szükséges O_2 elvonás csekély, az ilyen tavakban az oxigéngörbe futása nyáron sem követi a hőmérséklet görbét: egyenes, ortográf marad.

A bőven termő, eutrofikus mély tavakban viszont az erőteljes szervesanyag-termelés élénk állati életet, sok szerves törmeléket és intenzív mikrobiális lebontás eredményez (Kerepeczki et al., 2005), az O_2 görbe kijutva a megvilágított fedőrétegből, még a hőmérséklet görbéjénél is meredekebben törhet az O_2 hiányt jelentő 0 pont felé (megtört, klinográf görbe). A kifejezett oxigénhiány más kémiai tulajdonságok megváltozását is okozza.

Sekély tavakban biológiai okok miatt kémiai rétegzettség keletkezik: a hőgörbe nem törik a mélység függvényében (nincs termoklin). Az átvilágított fedőréteg és az oxigénelvonó, sötét vagy kevésbé megvilágított, alsó réteg biológiai aktivitásának függvényében bizonyos mélységen alul nincs oxigén (kémiai váltóréteg: kemoklin, amit ebben az esetben oxigén-váltórétegnek, oxiklin-nek is neveznek). Az ilyen vizekben az anaerob fenéken élénk a vas, a mangán és a foszfor felszabadulása, a szerves

nitrogénvegyületekből és a nitrátból sok ammónia, a szulfátból kénhidrogén keletkezik. A tápanyagoknak a trofogén rétegbe jutását nem akadályozza meg a hőrétegzettség kialakuló hőmérsékleti ellenállás, így a fedőrétegben nagyfokú eutrofizálódás keletkezik.

A sekély tavak O_2 viszonyok tekintetében is eltérnek a középmedy és mély tavaktól. Az oxigénszegény hipolimnion mintegy az üledék felszíne alá húzódik, ha hosszú, csendes és meleg időszakokban eléri az üledék felszínét az élénk tápanyag-felszabadulás látványos vízvirágzást okozhat. Oxigénben szegény vizet csak a nádasok alatti pangó, nyugodt vizeken találunk, ahol a felhalmozódott szerves törmelék nagyfokú bomlása miatt gyakori a teljes oxigénhiány.

Sekély tavakban, nyáron, a meleg vízben igen erőteljes a növényi élet, az elszaporodott növények egymást árnyékolása még a sekély vízben is okozhat fotoszintézis kiesést, a langyos vízben folyó élénk bakteriális tevékenység pedig oxigénhiánnyal jár. Ha ez nem is, az anaerob körülmények között folyó szulfátredukció kénhidrogént eredményezhet és a halakat ekkor kén-hidrogén mérgezés fenyegeti. A téli állapotot a tiszta jég alatt telítettség, sőt, gyakran tetemes túltelítettség jellemzi.

A vízi élőlények oxigénszükségletüket háromféle módon fedezik:

- a vízben oldott oxigént hasznosítják;
- a légkör levegőjéből lélegeznek;
- testük anyagaiból nyerik az oxigént vagy más e^- -akceptort használnak.

A víz O_2 tartalmában szélsőséges esetek, az O_2 túltelítettség és az O_2 hiány. Túltelítettségről akkor beszélünk, ha a víz több oldott O_2 -t tartalmaz, mint, amennyi a hőmérsékletének megfelel. Nyáron, dús algaélet esetén kisebb túltelítettség gyakori, néha azonban 110-130%-ra emelkedhet. Ha eléri a 450%-ot vagy, ha a túltelített víz hirtelen felmelegszik az O_2 gáz alakban kiválik. Ez a halak szempontjából veszélyes. Tulajdonképpen minden vízben oldott gáz okozhat úgynevezett buborékbetegséget vagy gázembóliát, ha valamilyen ok miatt (nyomáscsökkenés, hőmérsékletemelkedés) gáz alakban kiválik a hal testében, elsősorban azonban az O_2 nagyfokú túltelítettségével számolhatunk alga-tömegvegetáció idején, tiszta derült, szélcsendes, meleg időben.

A vizek oldott oxigéntartalma érzékenyen reagál a bennük folyó életjelenségekre. Az oxigénforgalom mutatóinak segítségével a vizek szerves terhelésének fokáról, a lebontás intenzitásáról, tehát a szaprobitásról tájékozódhatunk.

2.1.3. Vízi ökoszisztémák nitrogén-forgalma

Egy tó nitrogénforgalmának egy adott bonyolultsági szinten való leírásához a következő ismeretekre van szükség. Fel kell térképezni a rendszer számára rendelkezésre álló nitrogénkészletet és a készletet növelő és csökkentő külső folyamatokat. Meg kell ismerni a készletben lévő nitrogén megoszlását az egyes nitrogénvegyületek között, valamint ezek térbeli eloszlását a (levegő-) víz-üledék között. Fel kell tárni a nitrogénvegyületek egymásba való átalakulásainak és (levegő-) víz-üledék rendszerben való átmeneteinek irányát és sebességét, rávilágítva a nitrogénkészletet növelő, transzformáló, de megtartó és csökkentő belső folyamatokra is. Végül ki kell mérni mindezek napszakos és évszakos változását. Az előzőekben körvonalazott célok eléréséhez mérni kell, a rendszer és környezetének pillanatnyi és statikus állapotát: azaz az egyes nitrogén-vegyületek pillanatnyi koncentrációját. Mérni kell továbbá a rendszer pillanatnyi dinamikáját: azaz az egyes nitrogénvegyületek átalakulásainak és átmeneteinek irányát és sebességét. A vízi ökoszisztéma mérésre kerülő statikus és dinamikus jellemzőinek körét szükségszerűen leszűkítve jutunk el a nitrogénvegyületek (-formák) rendszerben betöltött helyének és szerepének értékeléséhez. Mérhetőségükkel eljutunk azok kompartmentalizációjához, és az így kialakított nitrogén-kompartmentek közötti, néhány esetben párhuzamosan többféle átalakulást és átmenetet magában foglaló áramlási utakhoz (Janurik – Szabó, 1985).

Az egyes nitrogén-kompartmentek szemléletesen a tavi rendszer nitrogénforgalmának „fogadóit” jelentik, amelyekben a nitrogén hosszabb rövidebb ideig megpihen, mielőtt ezekből a fogadókba kiinduló áramlási utak valamelyikén kisebb, vagy nagyobb sebességgel „elindulna”.

Az eutrofizáció, amely az anyag körforgalma során új energia (napfény) megkötésével van kapcsolatban, és ennek a tápanyagdúsulás következtében felgyorsult formája a mesterséges eutrofizáció folyamatában illetve a haltermelő rendszerek optimális termelőképességének kialakításában, a rendszer működése illetve szabályozhatósága szempontjából éppen ezeknek az egyes fogadókban való tartózkodási időnek, és a fogadók közötti „utazás” irányának és sebességének az ismerete a lényeges. Egy adott pillanatban a tó víztestében és üledékében lévő nitrogén különböző vegyületeiben található az adott rendszerre és időszakra jellemző megoszlásban, térben a fizikai, kémiai, biológiai törvényszerűségeknek megfelelően elkülönülve. Az egyes nitrogénformák bonyolult módokon, kisebb részben kémiai,

nagyobb részben biológiai folyamatokon keresztül egymásba alakulnak (transzformálódnak), illetve a (levegő-) víz-üledék rendszer elemei és a környezet között kicserélődnek (Janurik – Szabó, 1985). Egy tavi ökoszisztéma bonyolult nitrogénforgalmának leírásához az alábbi kompartmenteket és áramlási utakat különíthetjük el.

Nitrát (NO_3^-)

A nitrát a vízben és intersticiális vízben oldott szervesetlen nitrogénforma. Gyakorlatilag teljes mértékben ionos állapotban nitrát-ionként (NO_3^-) van jelen. A nitrátban a nitrogén oxidációs száma +5. A nitrát a nitrifikáció végterméke illetve a fitoplankton nitrát-felvételének és a nitrát-redukciónak a kiindulási anyaga.

Nitrit (NO_2^-)

A nitrit a vízben és intersticiális vízben oldott szervesetlen nitrogénforma. Disszociációs mértékének megfelelő mértékben ionos és molekuláris állapotban, főként nitrit-ionként (NO_2^-) és kisebb mennyiségben salétromsavként (HNO_3) van jelen. A nitritben a nitrogén oxidációs száma +3. A nitrit a nitrifikáció és a nitrát-redukció köztterméke, illetve a denitrifikáció kiindulási anyaga.

Dinitrogén-oxid (N_2O)

A dinitrogén-oxid vízben és intersticiális vízben molekulárisan oldott szervesetlen nitrogénforma. Pillanatnyi oldhatósága által meghatározott mértékben fordul elő, de jelenléte a vízben nem tartós, mivel koncentrációja a levegőben gyakorlatilag 0. A dinitrogén-oxidban a nitrogén oxidációs száma +1. A dinitrogén-oxid a denitrifikáció köztterméke.

Dinitrogén (N_2)

A dinitrogén vízben és intersticiális vízben molekulárisan oldott szervesetlen nitrogénforma. Oldhatóságától függő mértékben van jelen a vízben, a levegő dinitrogénjével egyensúlyban. A dinitrogénben a nitrogén oxidációs száma 0. A dinitrogén a denitrifikáció végterméke illetve a nitrogénkötés kiindulási anyaga.

Ammónium (NH_4^+)

Az ammónia vízben és intersticiális vízben oldott szervesetlen nitrogénforma. Disszociációs egyensúlyának megfelelően ionos és molekuláris állapotban, főként ammónium ionként (NH_4^+) és kisebb mennyiségben, úgynevezett szabad ammóniaként (NH_3 , illetve NH_4OH) van jelen. Az ammóniában a nitrogén oxidációs száma -3. Az ammónia az ammonifikáció végterméke illetve a fitoplankton ammónia felvételének és a nitrifikációnak a kiindulási anyaga.

Formált szerves nitrogén (FSN):

A formált szerves nitrogén a vízben és üledékben alakos állapotban lévő szerves nitrogénforma. A planktonikus szervezetek élő vagy elpusztult testében, testtörmelékében lévő fehérjék és nukleoproteidek építőeleme. A formált szerves nitrogén az ammónia-, nitrát- és aminosav-felvétel végterméke, illetve az ammonifikáció kiindulási anyaga.

Oldott szerves nitrogén (OSN)

Az oldott szerves nitrogén a vízben és intersticiális vízben oldott szerves kötésű nitrogénforma. Az élő szervezetek által kiválasztott anyagcseretermékekben és az elpusztult élőlények felaprózódott testtörmelékében van jelen. Az oldott szerves nitrogénben a nitrogén oxidációs száma túlnyomóan -3. Az oldott szerves nitrogén a kiválasztás és a bakteriális lebontás során keletkezik, illetve az aminosav-felvétel és az ammonifikáció kiindulási anyaga. A szerves kötésben lévő nitrogén kompartmentizációját az aminosavak oldaláról az összes aminosav, összes formált aminosav, összes oldott aminosav, oldott-kötött aminosav és oldott szabad aminosav kompartmentek megkülönböztetésével finomítjuk.

Humusz (H)

A humusz- nitrogén az üledékben felhalmozódó nehezebben bomló szerves anyagokban kötött nitrogén. A humusz az elhalt növényi és állati maradványokból és az élőlények életműködése folyamán keletkezik. A humuszban megkötött nitrogén a nitrogén-körforgásból hosszabb időre kikapcsolódhat. Az áramlási utakat a nitrogén-kompartmentek egymás közötti átalakulásai, illetve (levegő-) víz-üledék rendszerben való átmenetei alapján csoportosíthatjuk.

Az elemi N_2 -t nem számítva, ami a levegőben lévő molekuláris nitrogéngáz oldódásával jut a vízbe, három úton kerülhet új nitrogénvegyület a vízi ökoszisztémába:

- Az élőlények elemi nitrogénkötése által a molekuláris nitrogénkészletből,
- A csapadékkal bejutó NO_3^- - és NH_3 ,
- A befolyó vízzel érkező nitrogénformák (ide tartozik a mesterséges nitrogénszennyezés is).

Ami a nitrogénvegyületek eltávozását illeti, öt változat lehetséges:

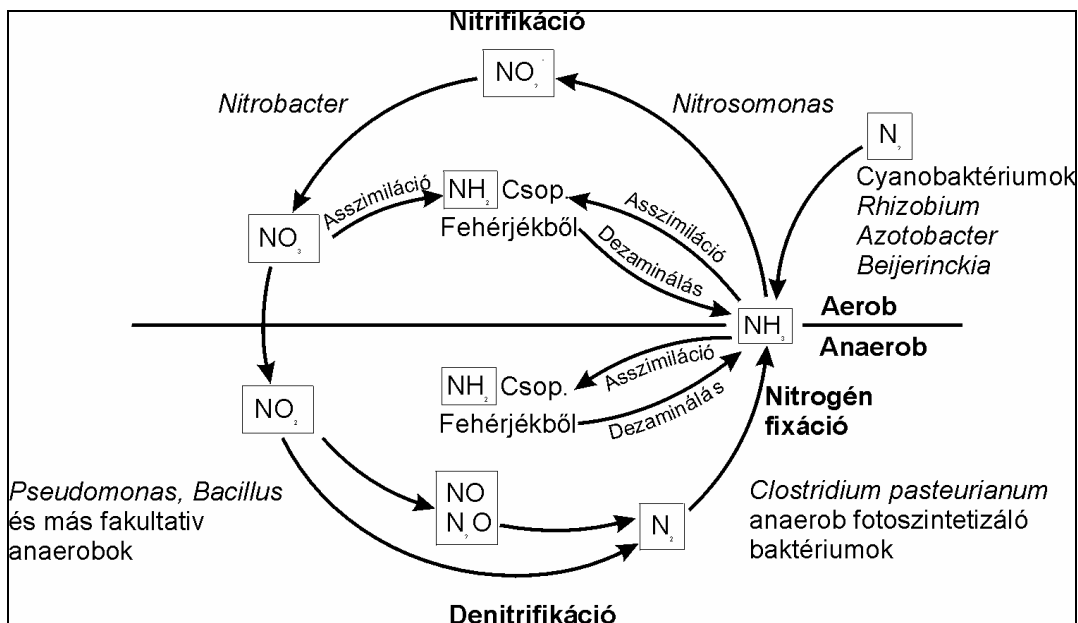
- Elfolyás az elfolyó vizekkel.
- Az élőlények okozta denitrifikálódás.
- Az elemi N_2 gáz kiszellőződése, például hőmérséklet emelkedéssel vagy más távozó gázbuborékokkal.
- Rovarok kirepülése, szárazföldi ragadozók zsákmánya, halászat, szerves törmelék eltávolítása hullámveréssel.
- Állandó nitrogéntartalmú üledék keletkezése.

A Föld egész területén tanulmányozható mesterséges eutrofizálódás hívta fel a figyelmet arra, hogy ezt a nitrogénmennyiséget, vagy legalább nagy részét a vízi élővilág tartja vissza a tó anyagforgalmában (tápanyagdúsulás).

A nitrogénformák legnagyobb rezervoárja a légkör.

A gáz halmazállapotú N_2 a legstabilabb nitrogén-forma (inert gáz).

A hármas kötés stabilitása egyben azt is jelenti, hogy relatív nagy energia szükséges felbontásához. Csak kevés baktérium képes a N-fixáció útján felhasználni a nitrogént, ezért a nitrogén-körforgásban fontos szerepet játszanak más, szintén nagy mennyiségben előforduló, könnyen elérhető N-formák, mint az ammónia, nitrit és a nitrát (Pekár *et al.*, 1989). Sok közegben limitáló tényező az elérhető nitrogénvegyületek mennyisége (5. ábra).



5. ábra. Az egyes nitrogénformák átalakulási fázisai

Madigan et al., (1997) nyomán, saját módosítás

2.2. A vizek minősége

A magyarországi hidrobiológia és vízminősítés terén úttörő jelentőségűnek számított *Felföldy* 1974-ben megjelent "A biológiai vízminősítés" című könyve, amelyben rávilágít arra, hogy a vízminőség az élettelen környezet és az élővilág közötti anyagcsere következményeként alakul ki. Az általa kidolgozott vízminősítési rendszerben négy tulajdonságcsoporthoz tartoznak a vízminőség jellemzői.

Halobitás: A víz biológiai szempontból fontos szerves- és kémiai jellege, a vízben oldott összes ion koncentrációjával és a nyolc főion viszonylagos mennyiségével jellemezhető tulajdonságcsoporthoz tartoznak a vízminőség jellemzői, amit az élővilág csak kis mértékben módosíthat – általában alkalmazkodik ehhez.

Trofitás: A szervesanyagot létrehozó és ezzel a víz minőségét befolyásoló adottságok és jelenségek gyűjtőfogalma. Három, minőségileg különböző tulajdonságot foglal magában: a szerves növényi tápanyagok minősége, mennyisége és változása a vízben, a szervesanyagot építő fotoautotróf élőlények minősége, mennyisége, valamint a fotoautotróf élőlények vízminőséget alakító anyagcsere-életfolyamatai. Meghatározása a víz térfogategységére vonatkoztatott a-klorofill mennyiségének, a fitoplankton állománysűrűségének vagy biomasszájának, illetve az elsődleges termelés intenzitásának a meghatározásával lehetséges.

Szaprobítás: A vízi ökoszisztéma szervesanyag bontó képessége, a szervesből szervetlen anyagot létrehozó és ezzel a víz minőségét befolyásoló adottságok és jelenségek gyűjtőfogalma, mely három minőségileg különböző tulajdonságot foglal magában: a biológiailag hozzáférhető szervesanyagok minősége, mennyisége és változása a vízben, az ezeket bontó, belőlük szervetlen növényi tápanyagokat létrehozó heterotróf élőlények minősége és mennyisége, valamint működésüknek a vízminőséget alakító folyamatai. Meghatározására több kémiai paraméter (nitrogénformák, kémiai, biokémiai oxigénigény stb.) mérése, valamint az élőlények szaprobiológiai indikációs elemzése ajánlott.

Toxicitás: A víz mérgezőképessége, ami a toxikus anyagok jelenlététől függ és a vízi élőlények aktivitás-csökkenésével, súlyosabb esetben elpusztításával hat a vízminőségre. Meghatározása különböző biológiai tesztekkel (baktérium-, alga-, Daphnia-, hal-, csíranövény-teszt) történik.

A halobitás, trofitás, szaprobítás és toxicitás mérőszámai által meghatározott folyamatok szorosan összefüggenek egymással, a négy tulajdonság csoport együttesen jellemzi a biológiai vízminőséget (*Felföldy, 1987*).

A hazai vízminősítésben új elméleti és gyakorlati irányzatot jelentett az ökológiai vízminősítési rendszer kidolgozása, (*Dévai, 1984; Dévai et al., 1992a; 1992b; 1992c*), amely figyelembe vette a Felföldy-féle minősítési rendszer alapgondolatait is. Az eljárás olyan állapotként értelmezi a biológiai vízminőséget, amely egyrészt az élőlények térbeli, időbeli és mennyiségi megjelenésével, előfordulásával, másrészt pedig ezeket az előfordulási sajátosságokat meghatározó tényezőkkel jellemezhető.

A vízminőség meghatározására sztatikus és dinamikus mutatók alapján kerül sor, a tipizálás kódszámrendszer segítségével történhet.

- A *sztatikus* mutatók körébe azok a paraméterek tartoznak, amelyek a víztérnek és környezetének állapotát hosszabb időtartamra, de legalább egy vegetációperiódus idejére meghatározzák (természetföldrajzi jellemzők, természetvédelmi és környezetgazdálkodási jellemzők, medermorfológiai és meder-anyag minőségi jellemzők, vízháztartási jellemzők), ezért többé-kévesbé állandónak tekinthetők.
- A *dinamikus* mutatók csoportjába azok a jellemzők sorolandók, amelyek az adott tulajdonság természetétől és a víztér sajátosságaitól függően szüntelenül változnak. Ezen belül három alcsoportot különítenek el:
 - a vízminőségi mutató alakulását nagyrészt az élettelen természet jelenségei határozzák meg (*reitás, loticitás, termitás, halobitás*),

- az élettelen és élő természet jelenségeinek egyformán fontos jelentőségűek (*luciditás, aerobitás, trofitás, szaprobitás, toxicitás*),
- a vízminőségi mutatók alakulását döntően az élőlények *termelési* (konstruktivitás) és *lebontási* (destruktivitás) életfolyamatai határozzák meg.

Ez az ökológiai alapokon nyugvó vízminősítés minden korábbi rendszertől eltérően figyelembe veszi azt a tényt is, hogy a dinamikus mutatók értékeiben, éves szinten jelentős különbségek figyelhetők meg. E miatt elkülöníti az aktuális (pillanatnyi érték) és a globális (minimum egy vegetációperiódusra vonatkozó adatsor) kódszámát, s a két tipológiát egymással szervesen összekapcsolva jellemzi a különböző víztereket.

Az ökológiai szempontú minősítő rendszer igen fontos eleme, hogy a hazai víztípusokat egyértelműen megkülönböztető víztér tipizálást tartalmaz. Ez teljesen hiányzott a korábbi minősítő eljárásokból, s ez olyannyira előre mutató volt, hogy a víztér tipológia a 2000-ben hatályba lépett EU Víz Keretirányelvnek is lényeges részét képezte.

A vízminőség értelmezésénél meg kell különböztetnünk a *kvalitást* (minőség) és a *bonitást* (jószág).

A vízminőség a víz objektíven létező, belső, lényegi meghatározottsága, tapasztalatok előtti, un. „a priori” kategória, ami a vizek általános jellemzésére szolgál.

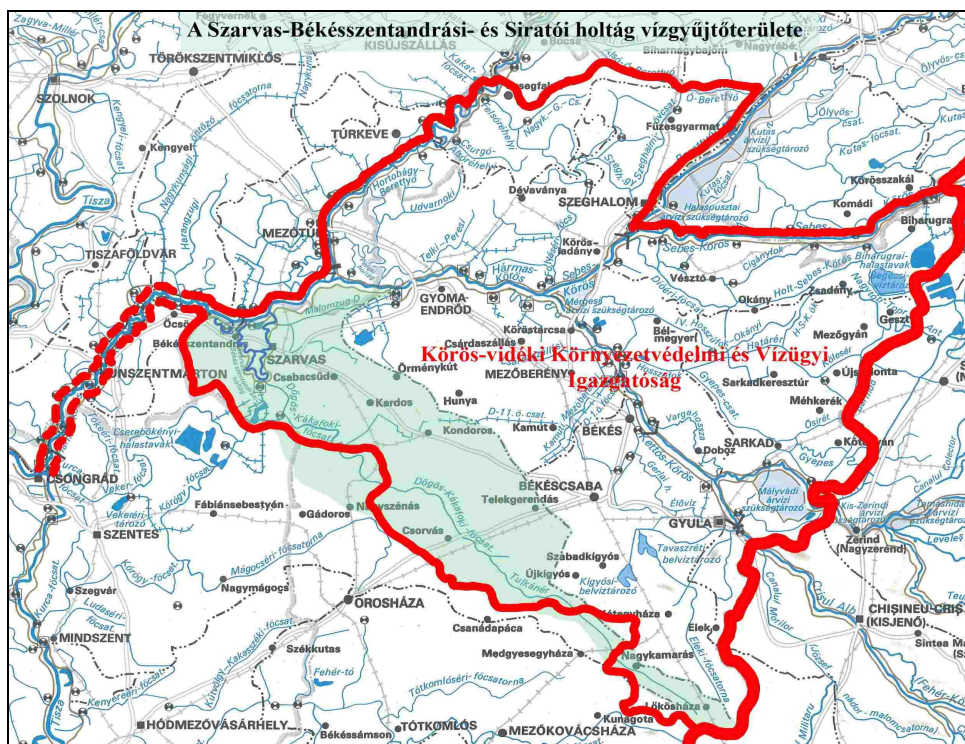
A vízjószág a víz lényegi, de külső – felhasználói szempontok szerinti – meghatározottsága. Tapasztalatok utáni, un. „a posteriori” kategória, ami mindig szubjektív (az egyes vízhasználatok szerinti) szempontokat érvényesít.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Mintavételezés

3.1.1. A Szarvas-Kákafoki holtág

A Szarvas-Kákafoki holtág a Tiszántúl legnagyobb mentett ártéri holtága, amely a Hármas-Körös bal oldalán terül el (Pálfi, 2001), 926,8 km²-es vízgyűjtő terület befogadjaként (6. ábra).



6. ábra. A Szarvas-Kákafoki holtág és a Siratói holtág vízgyűjtője (KÖVIZIG)

Teljes hossza 28 km, felülete 207 ha, átlagos mélysége 2,2 m, víztározó kapacitása 4.5 millió m³ (Pálfi 2002). A Szarvas-Kákafoki holtág vízföldtani szempontból a Körös-Berettyó süllyedék területen az Alsó-Tiszavölgy víztesten található.

A Szarvas-Kákafoki holtág környezetét sík fekvésű területek jellemzik. A térség tengerszint feletti magassága 82,0 és 84,0 mBf közötti. A legmagasabb terepszintű – változatos kiterjedésű – területek általában elszórtan a Szarvas-Kákafoki holtágtól Ny-ra helyezkednek el.

A Szarvas-Kákafoki holtág vízgyűjtője a meleg, mérsékelt száraz, forró nyarú éghajlati körzethez tartozik. Éghajlatában jól kimutatható az Erdélyi-szigethegység hatása, amely a csapadék kelet felé való mennyiségi növekedésében nyilvánul meg. Ez

a hatás már az országhatáron belül is érvényesül. A vízgyűjtő időjárása változatos, szélsőségekre hajlamos. Gyakoriak az évszakos átlagoktól erősen eltérő jelenségek.

A holtág medre a felszín alatti víz szempontjából kevésbé érzékeny területen fekszik. A vizsgált területen a fő talajvíztartó zárt tükrű. A talajvíz nyugalmi szintje a felszín alatt 1,0-2,0 m mélységben található. A legjobb vízáadó rétegek 500,0-850,0 m közöttiek. A talphőmérséklet mérések alapján a 450 m-nél mélyebben fekvő vízáadó rétegek kifolyó hőmérséklete meghaladja a 30 °C-ot.

Kialakulása

A Hármas-Körös vizsgált szakaszának szabályozására már 1834-ben terv készült. Ez a terv három kisebb folyó kanyarulatot lefűző átvágások megvalósítását javasolta. A Szarvas-Kákafoki holtág két ütemben alakult ki a 19. sz. második felében. Az első ütem 1834-ban valósult meg. Az Anna-ligeti átvágás 1100 fm hosszú volt és ezzel a déli ág vált holtmederré. A második pedig 1836-ban a Csengettyői átvágással, amely 3100 m hosszú (Anonymus, 1893). 1936 és 1942 között megépült a békésszentandrási duzzasztómű és hajózsilip, amelynek az volt a célja, hogy hajóutat létesítsen a Kettős-Körösön Békésig, a Sebes-Körösön Körösladányig, a Hortobágyon Túrkevéig. Ezzel lehetővé vált 20-25 ezer kataszteri hold öntözése, rizstelepek, halastavak vízellátása, valamint a holtág vízellátása (Ihrig, 1973).

Hidrológiai viszonyok

A Szarvas-Kákafoki holtág vízpótlási, vízcsere, vízkivezetési lehetőségét a békésszentandrási duzzasztómű biztosítja gravitációs úton. A holtág vízpótlását a szarvasi szivornyák (7 db) biztosítják $8,5 \text{ m}^3/\text{sec}$ teljesítménnyel. Duzzasztási szint feletti árhullám érkezésekor is működhetnek a szivornyák, azonban a gravitációs víz visszavezetésre ilyenkor nincs lehetőség. A Szarvas-Kákafoki holtág a levonuló belvizek vésztározója, melynek végső befogadója a Hármas-Körös. A vízbevezetés történhet gravitációsan és szivattyúzással ($7,8 \text{ m}^3/\text{s}$).

A holtág állóvíz jellegű, nyitott vízterű, azaz pontszerű felszíni hozzáfolyással és elfolyással egyaránt rendelkezik, ezáltal inhomogén víztömeget képez. A nagy és kis vízkör, valamint az elosztó műtárgyak segítségével jól elkülöníthető, önállóan üzemeltethető térségek, egyéni vízterek különíthetők el. Vízfelülete maximális üzemi vízszintnél 199,5 ha, minimális üzemi vízszintnél 120 ha.

A holtágrendszer EU VKI szerinti jellemzése:

A víztest kijelölése a következő tipológiai elemek alapján történt:

6. típus: síkvidéki meszes-szerves mederanyagú, mentett oldali holtág

Vízmélység: <4 m, vízfelület mérete: >0,5 km², vízborítás: állandó, alföldi típus, természetes víztest.

Kockázatossági besorolás:

Kockázatos az alábbi szempontok alapján:

A kotrás, mélyítés és fürdőhelyek kialakítása miatt a halak ívó helyei jelentősen lecsökkentek. A vízszintszabályozás a természetes készletváltozást +/- 20%-nál nagyobb mértékben befolyásolja. Parcellázott, parti, zártkertes, üdülő területéről illegálisan szennyvíz bevezetése történik. Jelentős a holtág diffúz terhelése is, amit a rendkívül nagy vízgyűjtő területéről bemosódó tápanyagok okoznak. Jelentős hosszon partvédő mű épült.

A Phare-program keretében az 1990-es évek elején a kiság torkolati szakaszán kotrás történt, valamint vízszabályozó műtárgy épült az 1836-os átvágás kezdeti szakaszán.

Üzemrend

A holtág üzemelési rendje lényegében a 19. század végétől változatlan. Két, egymástól jól elkülöníthető üzemi időszak szerint történik a vízszintszabályozás. A nyári, öntözési szakasz április elejétől szeptember végéig tart. A téli, belvíztározási szakasz pedig november elejétől március végéig

A kezelő Körös-Vidéki Vízügyi Igazgatóság Szarvasi Szakasztechnikusai az alábbi üzemrend szerint üzemelteti a holtágot. (Az üzemirányító vízmérce „0” pontja 77,10 mBf.)

Téli, kisvízes üzemállapot november 11-től február végéig tart.

Tavaszi belvízi üzemállapot március 1.-április 1. Az üzemállapot elsődleges jellemzője belvizek befogadása.

Feltöltési üzemállapot, április 1.-április 15. A Békésszentandrás vízlépcső üzembe helyezése előzi meg.

Öntözési üzemállapot április 15.-szeptember 30. A vízszint max. 360 cm.

Leürítési üzemállapot október 1.-november 10. A duzzasztás megszüntetésre kerül (Virág - Megyeri, 2007).

Vízminőség

A Szarvas-Kákafoki holtág vízminőségét alapvetően a tápvíz minősége, a vízutánpótlás, a vízfrissítés lehetősége és megvalósulása valamint a szennyezőanyag terhelés mértéke határozza meg. A vízminőség periódikusan változó, követve az üzemrendből következő és a terhelés mennyiségéből adódó változásokat. A Hortobágy-Berettyó és a Hármaskörös vízminősége alapvető meghatározója lehet a holtágon kialakult vízminőségi helyzetnek. A vízgyűjtőn jelentős vegyi, gép és élelmiszeripari létesítmények vannak. A Hortobágy-Berettyó torkolati szakaszán kialakuló vízminőséget nagymértékben meghatározza a tiszai vízátvezetés mennyisége.

A Hármaskörösbe történő termálvíz bevezetés október 15-e és március 15-e közötti időszakra lett korlátozva tekintettel a magas só és fenol tartalmára. A holtágra jellemző az állóvízi vízviszonyok miatt az algásodás mértékének növekedése, az eutrofizációs folyamatok felgyorsulása. Az 1970-es évekig a holtág partján többé-kevésbé összefüggő, 1-2 m széles nádsáv töltött be fontos szűrő szerepet. A gyékényesekkel, sárga nőszirmmal kiegészült növénytársulások jelentős területekről eltűntek vagy erősen degradált állapotban vannak, így nem töltik be azt a fontos szerepet, amelyet a vízminőség javításában betöltöttek.

A vízminőség jellemzői

A Körösvidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság önellenőrzési terv keretében ellenőrzi Szarvas-Kákafoki holtág vízminőségét. Vízmintákat vesz a szivornyáknál, a fahídnál, a Halászati és Öntözési Kutató Intézet (HAKI) bejárójánál és halrácsánál, Bikazugban, a Kákai szivattyútelepnél valamint a torkolati kifolyónál, a Ladányi csatornánál és azokat a saját laboratóriumában elemzi (1. táblázat).

1. táblázat A Szarvas-Kákafoki holtág holtág és a csatlakozó csatornák mintavételi helyei (Körösvidéki KÖVIZIG)

Sorszám	A felszíni víz neve	A mintavétel helye	Szelvény fm	Minták száma
1.	Szarvas-Kákafoki holtág	Szivornya	29+220	5
2.	Szarvas-Kákafoki holtág	Fahíd	22+716	5
3.	Szarvas-Kákafoki holtág	HAKI bejáró	0+950	5
4.	Szarvas-Kákafoki holtág	HAKI halrács	7+580	5
5.	Szarvas-Kákafoki holtág	Bikazug	14+826	5
6.	Szarvas-Kákafoki holtág	Kákafoki sztp., halrács	13+891	5
7.	Szarvas-Kákafoki holtág	Torkolat (torkolati kifolyó -Ladányi csat.)	0+100	5

Vízminőségi osztályba sorolás

A holtág vízminőségi osztályba sorolása az MSz 12749 szabvány szerint, az Alsó-Tisza-vidéki Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség által végzett vizsgálatok alapján történt. (2. táblázat). Minősítési időszak 1997. január 1 – 2006. december 31.

2. táblázat A holtág vízminőségi osztályba sorolása (Alsó-Tisza-vidéki KÖVIZIG)

Minta	Mintahely	n	A.	B.	C.	D.	E.
12FF08	Hármas-Körös 48,0 fkm. Bszentandrás	252	III	III	-	V	III
12FS01	Szarvasi-holtág 29+220 fm Szivornya	45	IV	IV	-	III	II
12FS02	Szarvasi-holtág 13+891 fm Kákafoki sztp.,	41	IV	IV	-	-	IV
12FS03	Szarvasi-holtág 7+580 fm HAKI halrács	49	IV	V	-	IV	IV
12FS04	Szarvasi-holtág 0+100 fm torkolat (tork.	48	IV	IV	-	III	IV
12FS05	Siratói-holtág 3+069 fm Horgai vízkivétel	10	IV	V	-	-	IV
12FS06	Siratói-holtág 0+050 fm szivornya	29	IV	V	-	-	II

A csoport: az oxigénháztartás jellemzői	I. osztály: kiváló víz
B csoport: nitrogén és foszforháztartás jellemzői	II. osztály: jó víz
C csoport: mikrobiológiai jellemzők	III. osztály: tűrhető víz
D csoport: mikroszennyezők toxicitása	IV. osztály: szennyezett víz
E csoport: egyéb jellemzők	V. osztály: erősen szennyezett víz

A holtág élővilága a VKI rendszere szerint a következő besorolásokat kapta:

Fenéklakó gerinctelen fauna: az EU 5 pontos skála szerint: 3 (mérsékelt)

Perifiton: az EU 5 pontos skála szerint: 3 (mérsékelt)

Makrofiton: az EU 5 pontos skála szerint: 3 (mérsékelt)

Halfauna: az EU 5 pontos skála szerint: 3 (mérsékelt)

Az értékekből kitűnik, hogy a holtág jelentős terhelésnek, illetve zavarásnak van kitéve.

Saját vizsgálataimat a holtág teljes hosszán végeztem, ahol 20 mintavételi pontot jelöltem ki. A mintavételi helyeket GPS koordinátákon rögzítettem (7. ábra).



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

Szelvényszám	Megnevezés	F.méter
1.	Nagy öböl - Pekár telek	1.135
2.	Malomzugi csatorna torkolata	1.345
3.	Arborétum - Hajóállomás	4.800
4.	Régi szennyvíz befolyó	6.625
5.	Anna ligeti torkolat - Pedagógus üdülő	7.450
6.	Szennyvíztelepi befolyó	8.535
7.	Macózug - Friss kotrás	10.750
8.	Kákafoki új őrház	15.035
9.	Furugy - Szilágyi tanya	16.500
10.	Hegyeszug - Zalka öntözőcsatorna torkolat	18.590
11.	HAKI III. kacsatelep közepe	19.880
12.	HAKI II. kacsatelep közepe	20.170
13.	HAKI I. kacsatelep közepe	20.720
14.	HAKI halketrecek	21.470
15.	HAKI öböl - Bszt.andrás felőli vége	21.675
16.	Anna-ligeti átvágás - HAKI vízkivétel (torkolattól)	570
17.	Pálinkás-éri csatorna torkolata	23.200
18.	Békésszentandrás strand	25.550
19.	Szőnyeggyári szennyvízbefolyó	26.300
20.	Békésszentandrás kifolyó körzete	29.150

A mintavételi pontokról készült fényképes dokumentáció a 1. mellékletben látható

Az üledékmintákat Eckmann-féle mintavevővel vettem, feldolgozásig 4°C-on tároltam (8. ábra).

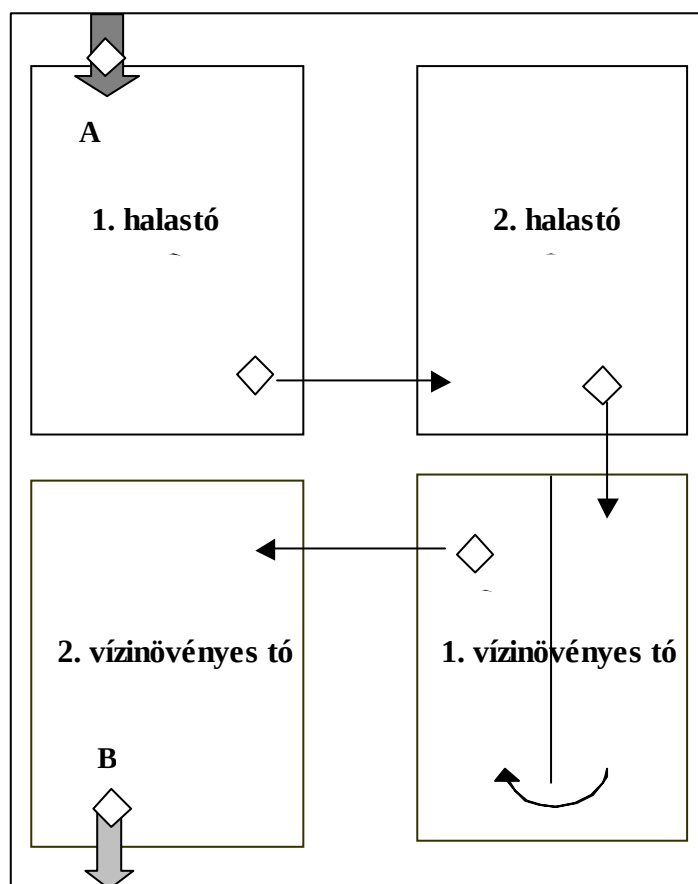


8. ábra. Üledék mintavételezés (saját fotó)

Az előzetes eredmények alapján a 2010. július 25. és augusztus 8. között újabb, két hetes méréssorozatot folytattam a 6000. fm mintavételi ponton.

3.1.2. Létesített vizes élőhely: halastó-vízinövényes rendszer

A halastavakból és vízinövényes tavakból álló kísérleti rendszer (9. ábra) kialakítása a Halászati és Öntözési Kutatóintézet központi telepének négy halastavából történt. A tavak a Szarvas-Fish Kft. afrikai harcsát előállító intenzív medencés telepének közelében helyezkednek el, így könnyen megoldható volt az elfolyóvíz rávezetése a halastavakra. A rendszer két halastóból és két vízinövényes tóból állt, a tavak alapterülete egyenként 2500 m^2 , a halastavak vízmélysége átlagosan $1,2 \text{ m}$, víztérfogatuk egyenként mintegy 3000 m^3 volt, a két vízinövényes tó területe szintén 2500 m^2 , az átlagos vízmélység $0,5 \text{ m}$ volt az évek során.



9. ábra. A kísérleti rendszer vázlatos rajza. **A**: elfolyóvíz bevezetésének helye, **B**: a rendszer kifolyója, a nyilak a víz áramlási irányát jelzik, $\diamond$: mintavételi hely

A tavak lineárisan voltak összekapcsolva egymással, a rendszer kifolyása a negyedik tó végén volt, a vízáramlást a gravitáció szabályozta (9. ábra). A bevezetett víz tartózkodási ideje a rendszerben kb. 30 nap volt, az átfolyást és az oxigénpótlást hígító víz adagolásával biztosítottuk. A harcsatelep elfolyóvizét csővezetéken keresztül közvetlenül az 1. halastóra szivattyúztuk.

A víz adagolása a nappali időszakban, egyenletesen elosztva másfél órás periódusokban történt hét alkalommal, éjszaka háromszor félórás működést iktattunk be, így a szivattyú összesen napi 12 órát üzemelt. Takarmányozás és tápanyagbevitel más forrásból nem történt. 2002 és 2003 években az oxigénhiány pótlására mesterséges levegőztetést alkalmaztunk.

A tavak feltöltésére minden évben tavasszal került sor, az időjárási körülményeknek megfelelően, ehhez a Holt-Körösből származó tározott vizet használtunk, ezt követően a tápanyagbevitelhez megkezdtek a kezelendő szennyvíz

rávezetését a tavakra, majd megtörtént a halak telepítése. A tavakat novemberben halásztuk le, a tavak vizét leengedtük 2001-ben és 2002-ben, míg 2003-ban a tavakban tartottuk a vizet és vizsgáltuk a rendszer működését a téli időszakban is.

Az elfolyóvíz tápanyagtartalmának csökkentése érdekében alakítottuk ki a különböző népesítési paramétereket a kísérleti évek folyamán. 2001-ben a két polikultúrák halastó népesítése vegyes korosztályú halállománnyal történt, melynek nagy részét a szűrő táplálkozású fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*) (70 %) tette ki, és jelentős volt az üledékben táplálkozó ponty (*Cyprinus carpio*) aránya is (30 %). A következő évben amurral (*Ctenopharygodon idella*) egészítettük ki a polikultúrát a nagy mennyiségben elszaporodó békalencse visszaszorítása érdekében.

3.2. Fizikai-kémiai paraméterek meghatározása

3.2.1. Helyszíni mérések a holtágon

Az üledék redoxpotenciálját COLE-PARMER 59002-60 típusú redox-pH mérővel (mV/pH) mértem. A holtág víztestének vizsgálatához 2006-ban és 2008-ban 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 (10., 11. ábra).



10. ábra. A redoxpotenciál mérése (saját fotó)



11. ábra. Vízminőségi paraméterek, valamint mélység- és üledékvastagság mérése
(saját fotó)

3.2.2. Szárazanyag tartalom meghatározása

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

$$\text{Száranyagtartalom \%} = \frac{\text{szárítás utáni tömeg}}{\text{bemért minta tömege}} \times 100.$$

3.2.3. Potenciometriás 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).

3.2.4. 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 vizes fázisban történik – amely szilárd lebegő anyagoktól mentes - platina katalizátor segítségével 750 °C-on. Az oxidációval keletkezett széndioxidot a készülék infravörös gázanalizálással határozza meg.

A szerves kötésű széntartalmú anyagok mellett a minta oldott széndioxidot hidrokarbonát és karbonát formájában tartalmazhat. Ezeket a szervesetlen széntartalmú vegyületeket (IC= Inorganic Carbon) savval történő reakció után szintén CO₂ formában méri, majd a TOC tartalmat az összes széntartalom és a szervesetlen széntartalom különbsége alapján határozza meg:

$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$$

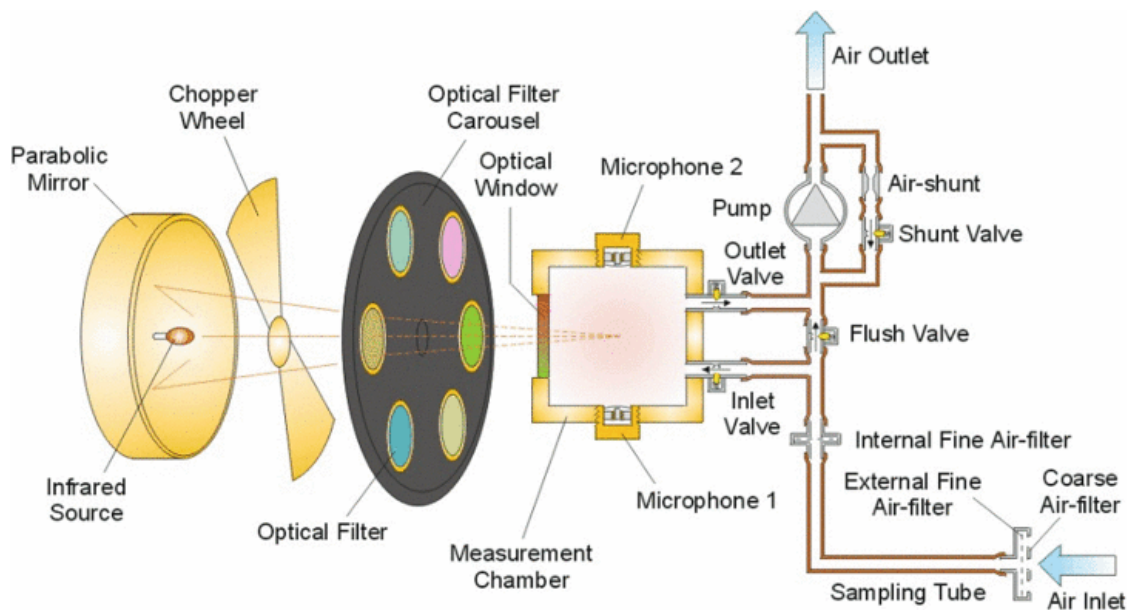
3.3. A mineralizáció vizsgálata

3.3.1. A mérőműszer

A fotoakusztikus spektroszkópia PAS (PhotoAcoustic Spectroscopy), közvetlenül az elnyelt infraenergiát detektálja a kibocsátott hangenergia mérése révén. Ez különösen nagy pontosságot tesz lehetővé, ugyanakkor csak kis mértékű instabilitással kell számolnunk. PAS-módszerrel a gázok és gőzök ugyanabban az egyszerű mérőkamrában mérhetők, mivel minden egyes anyagnak külön-külön hangfrekvenciás jel feleltethető meg (a „hagyományos” IR-mérésnél pl. a vízgőz jelenléte használhatatlanná teheti a teljes elnyelési spektrumot).

Másik jelentős különbség, hogy az IR rendszerben a kimutatás optikai elvű, míg egy PAS eszközben a detektor mikrofon vagy mikrofonrendszer.

A fotoakusztikus rendszer legfontosabb elemei: infravörös fényforrás, fényszaggató, optikai szűrő, optikai ablak, mintakamra, mikrofonok és a gázminta be-, illetve elvezető rendszer (12. ábra).



12. ábra. A PAS 1302 készülék optikai és mintavételi rendszerének sémája

Az eszköz működését a következőkben lehet összefoglalni: az infravörös forrás egy kb. 800°C-ra fűtött gömb alakú fekete test. A fényt egy elliptikus tükör fókuszálja, amely ezután egy chopperre (szaggatóra), optikai szűrőre, majd egy optikai ablakon keresztül a mérőkamrába kerül. Az optikai IR szűrő keskeny sáv szélességű.

A kamra fala nagymértékben visszaveri a sugarakat, tehát mintegy felerősödik az eredeti IR jel. Ha egy gázt fotonokkal (fénnel) sugárzunk be, az a beeső fényenergiának a koncentrációjával arányos részét abszorbeálja abban az esetben, ha a fény frekvenciája egybeesik a gáz abszorpciós sávjával. Az abszorbeált fényenergia hő formájában azonnal felszabadul, ez pedig nyomásnövekedést okoz. Ha a beeső fényt adott frekvenciával modulálják (a fényszaggató segítségével), a nyomásnövekedés a moduláló frekvenciával azonos periódusú lesz. Ez hanghullámokat kelt, amit mikrofonok segítségével mérhetünk (a frekvencia 20 Hz és 20 kHz közé esik).

A hangfrekvenciás jeleket két mikrofon fogja fel, amelyek keskeny csatornán keresztül kapcsolódnak a mérőkamrához. A duál detektálás előnye, hogy a környezet rezgéseit a rendszer képes kizárni, miután csak a koincidencia jelek kerülnek erősítésre, majd feldolgozásra.

A kibocsátott hang intenzitása több tényezőtől függ: az anyagi minőségtől és koncentrációtól, továbbá a beeső fény intenzitásától. Az automatikus mintavételre tervezett fotoakusztikai műszerekbe további egységeket is építenek: szivattyút,

levegőszűrőt, stb.. Egy teljes fotoakusztikai összeállítás így is eléggé kompakt, tehát akár hordozható műszerré is összeépíthető.

A monitoring rendszerű (folyamatos környezeti gázminta-elemzést biztosító) működés egyes fázisai a következők:

1. Egy szivattyú átöblíti a mintakamrát: az előző levegőminta távozik, helyére új kerül.
2. A gázmintát hermetikusan bezárjuk a mérőcellába (az inlet és az outlet szelepeket lezárjuk).
3. A cellát a standard frekvenciájú, keskenysávú IR-fénnyel sugározzuk be, amely előzőleg áthalad egy chopperen (fényszaggatón) és egy szűrőn.
4. A gáz - abban az esetben, ha az IR-frekvencia beleesik a gáz abszorpciós sávjába – a koncentrációjával arányos fény mennyiséget nyel el, és azt hővé alakítja.
5. A szaggatásnak megfelelően a gáz felmelegszik és lehűl.
6. A hőmérsékletváltozások nyomáshullámokat keltenek a cellában.
7. A nyomáshullámokat mikrofonok érzékelik. A jel amplitúdója arányos a vizsgált gáz koncentrációjával.
8. Az optikai szűrő másik állásba fordul (szűrőváltás történik) és a mérés a 4. ponttól ismétlődik annyiszor, ahányféle anyagra szeretnénk a mintát megvizsgálni.

A Brüel & Kjaer által gyártott PAS 1302 fotoakusztikus mérőműszer esetében a mérés időtartama egy gázra vagy vízgőzre 35 mp, ötfélére pedig mintegy 120 mp. A mintakamra térfogatának növelése egyben a mérési ciklus időtartamának a növekedését is jelenti, mivel annak átöblítéséhez több időre van szükség (*Brüel & Kjaer*, 1990).

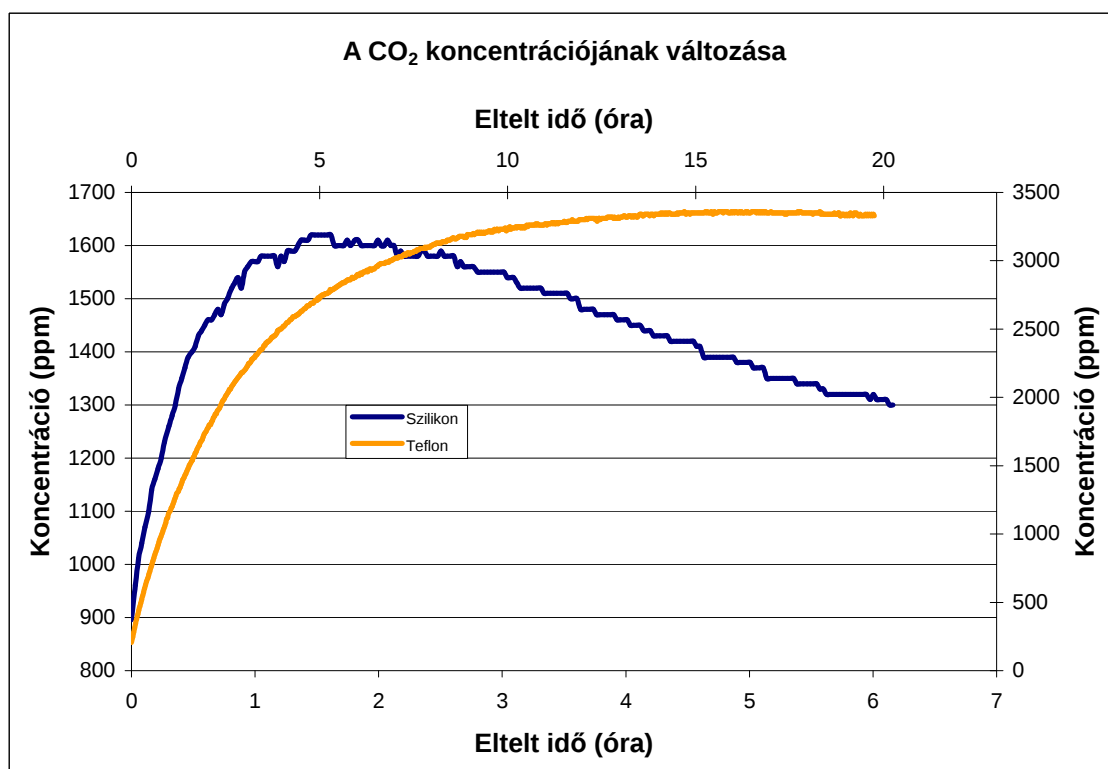
A PAS 1302 mérőműszer alkalmas levegőből, illetve gázkeverékekben öt komponens és a vízgőz kvalitatív és kvantitatív meghatározására. Detektálási küszöbe CO₂-ra 0,5 ppm, mely egy nagyságrenddel gyengébb, mint a gázkromatográfus módszereké, viszont a műszer kompaktsága lehetővé teszi a monitorozási vizsgálatokat is.

3.3.2. A mérési rendszer

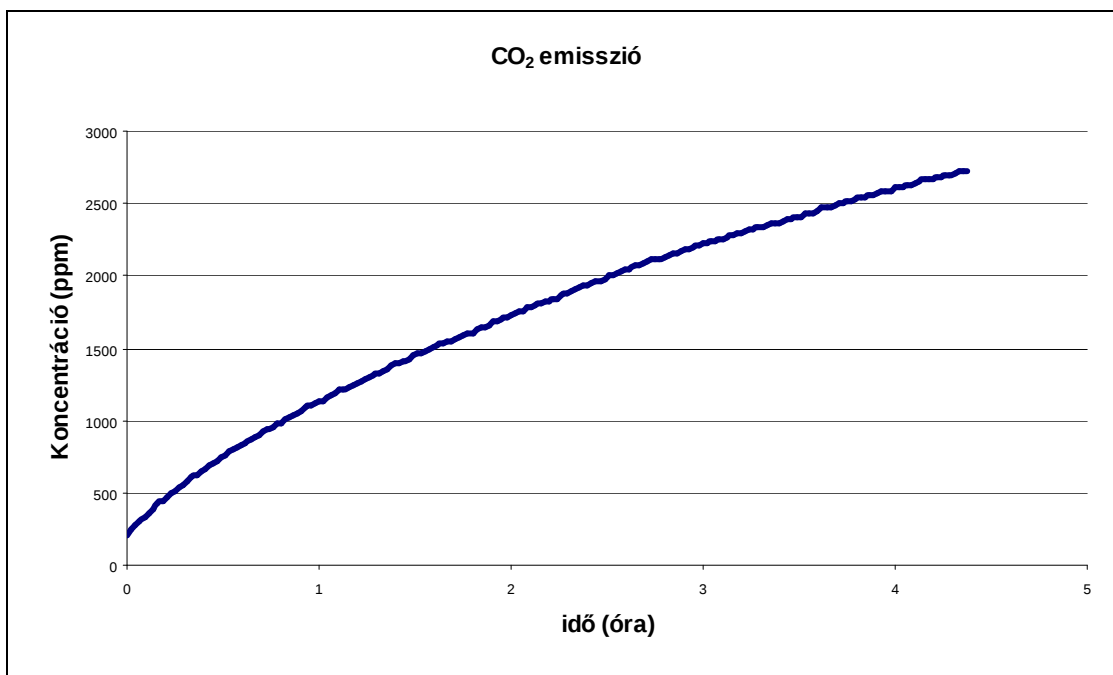
Az in vitro mérésekhez zárt rendszert alkalmaztam, recirkulációs üzemmódban. A mérőedények térfogata 766 ml volt, 100 g vízkapacitásig telített üledékmintákkal dolgoztam 25 °C inkubációs hőmérsékleten.

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 13. 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.

A zárt rendszerű, és viszonylag kis térfogatú mérési elrendezés miatt jelentős a kamrahatás. A CO_2 fejlődés telítési jelleget mutat, emiatt a megfelelő időintervallum kiválasztása érdekében, a tényleges légzésmérések előtt kalibrálni kell a rendszert. Rendkívül fontos a helyes mintatérfogat/gáztérfogat arány. A mérőrendszert teszteltem CO_2 , és CH_4 detektálással is. A 14. ábra jól szemlélteti, hogy a respiráció kalkulációjához és a helyes inkubációs idő megválasztásához a görbe lineáris szakaszát kell figyelembe venni.



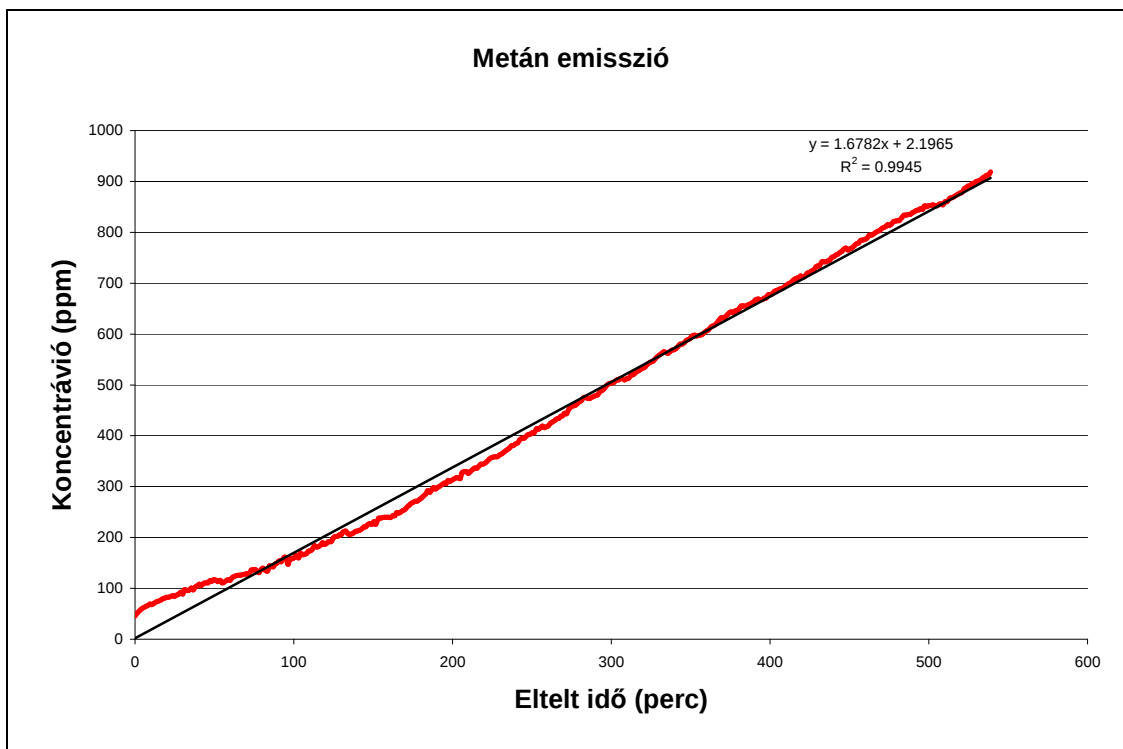
13. ábra. A CO_2 koncentráció változása élettelen rendszerben, szilikonsöves, illetve teflonsöves összeköttetés esetében



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

A kalibrációt metánfejlődés esetében is elvégeztem.

A 15. 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 adatokkal lineáris regresszió végezve $R^2=0,9945$ értéket kaptam.



15. 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 (16. ábra). Ezen rendszer sajátosságaiból következően a tömegre vonatkoztatott légzés kiszámítása nem lehetséges, ezért felületre vonatkoztatva adhatjuk meg a respirációt, mg C órá⁻¹ m⁻².



16. ábra. *in situ* mérési elrendezés

4. EREDMÉNYEK

A két élőhely közös sajátossága a víztest viszonylag magas szervesanyag tartalma. Megállapítható továbbá, hogy hasonló szervesanyag tartalomhoz eltérő oxigénkoncentrációk tartozhatnak.

A Kákafoki-holtág elfogadható vízminőségét az élő Körössel történő közvetlen vízcsera biztosítja. A vízminőség romlását elsősorban a kommunális eredetű szerves szennyezés okozza.

A halastó-wetland rendszer befolyó vize magas só- és szervesanyag-tartalmú a szuperintenzív afrikai harcsa nevelőrendszer elfolyó vize miatt. A magas sókoncentrációt az elfolyóvíz termál jellege okozza, mivel a tenyésztéstechnológia magasabb hőmérsékletet kíván.

4.1 A Szarvas-Kákafoki holtág vizsgálata

4.1.1 A holtág vízmélység- és üledék tipológiája

1992-ben és 2006-ban mértük a holtág vízmélységét és a lágy üledék vastagságát. A túlzott üledékmennyiség károsan befolyásolja a holtág minőségét, ezért egyes pontokon kotrás vált szükségessé (*Björk*, 1994). A mintavétel 14 éves távlata lehetőséget ad arra, hogy megbecsüljük a feltöltődés ütemét. Az eredményeket a 17. és 18. ábra szemlélteti. 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 $2,9 \text{ mm év}^{-1}$.

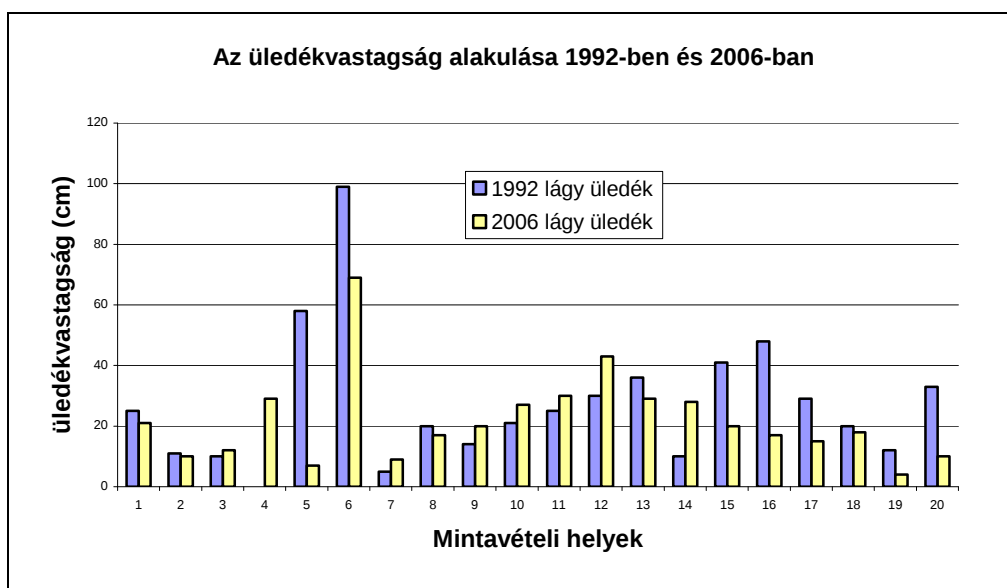
A feltöltődést azonban több tényező is befolyásolja:

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

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.

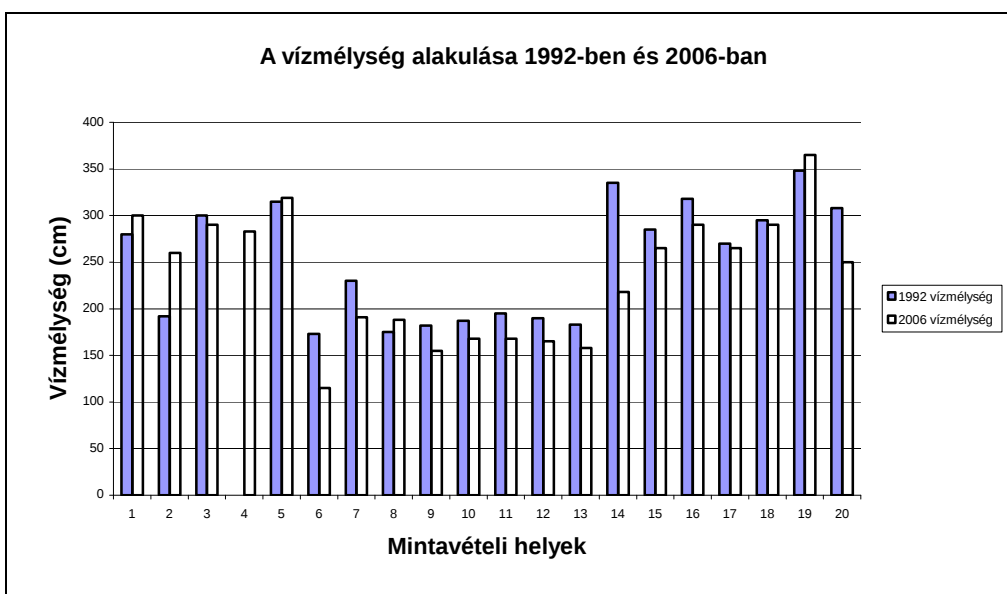


17. ábra. A holtág lágy üledékének vastagsága a mintavételi pontokon.

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 százalékos volt 14 év alatt, 2,4 % évente.

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

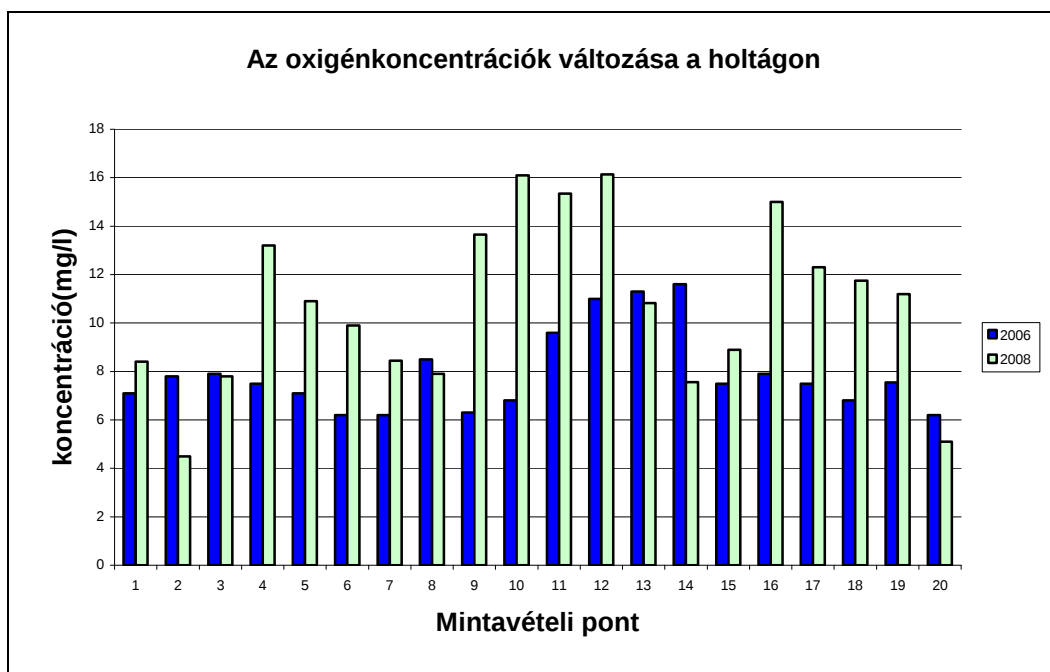
Ez az átlagos érték természetesen jelentősen módosulhat az egyes szakaszok jellegzetességeitől függően.



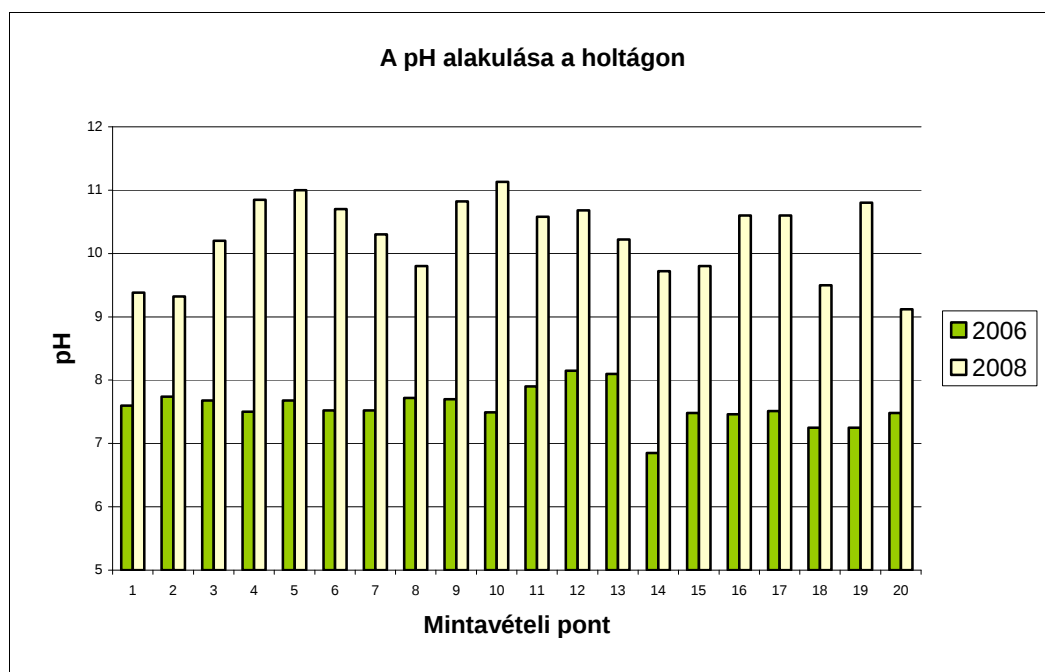
18. ábra. A holtág vízmélysége a mintavételi pontokon.

4.1.2. Helyszíni mérések

A helyszínen, a mintavételkor mértem hordozható műszerrel a víztest pH-ját, vezetőképességét, oxigéntartalmát és hőmérsékletét. Közvetlenül az üledékminta megvétele után mértem annak redox potenciálját. Figyelemre méltó, hogy különösen a pH értéke és az oxigéntartalom változott szélsőségesen (19., 20. ábra), az üledék redoxpotenciálja jóval kiegyenlítettebb ingadozásokat mutatott.



19. ábra. Az O₂ koncentráció változása a holtágban 2006-, 2008-ban.



20. ábra. A pH változása a holtágon 2006- és 2008-ban

2008-ban algavirágzást tapasztaltam, ami magas oxigénkoncentrációkat és pH emelkedést eredményezett (21. ábra).



21. ábra. Vízvirágzás és kagylópusztulás a 19. mintavételi ponton

A mintázást és a méréseket nappal végeztem, ezért az oxigénkoncentrációk magyarázhatók a megnövekedett fotoszintetikus aktivitással. Éjszaka viszont megnövekedett oxigénfogyasztás jellemzi ezeket a rendszereket, ami magyarázhatja a holtág élővilágának sérülését.

A mérések eredményeit a 3. táblázatban mutatom be.

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

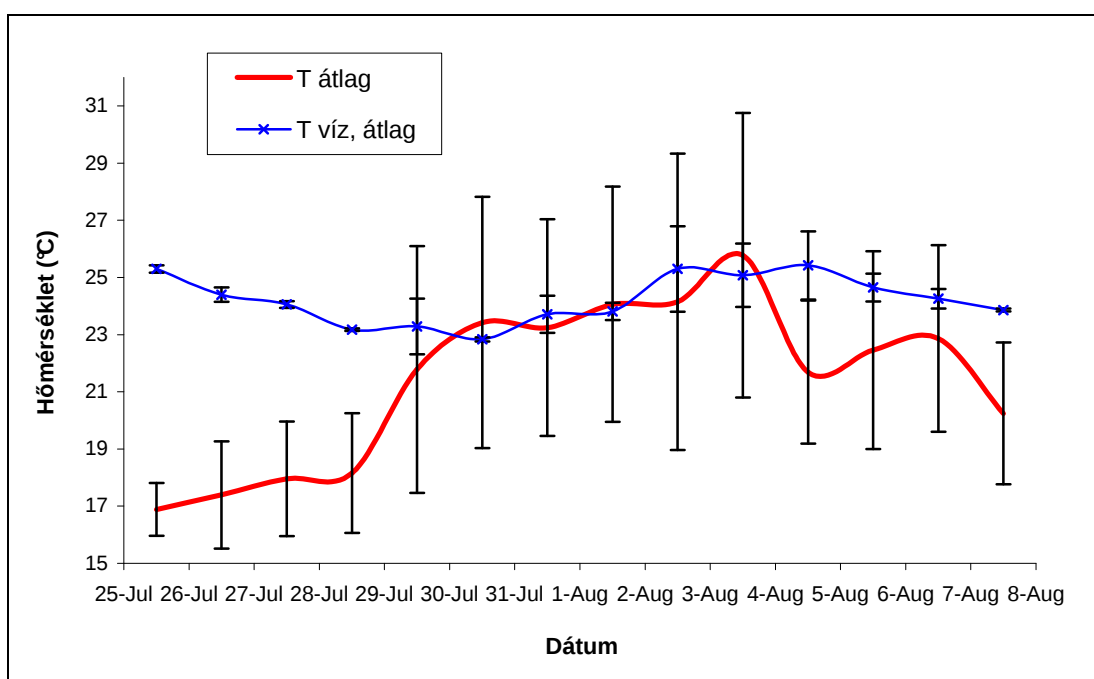
Mintahely		Üledék redox mV	pH	Vezetőképeség $\mu\text{S cm}^{-1}$	O ₂ mg l ⁻¹	Hőmérséklet °C
1	2006	108	7.6	415	7.1	18.3
	2008	48.1	9.38	383	8.4	24.6
2	2006	90.2	7.74	428	7.8	18.4
	2008	75.6	9.32	386	4.5	24.8
3	2006	82.3	7.68	412	7.9	18.4
	2008	92.1	10.2	345	7.8	24.9
4	2006	118.4	7.5	426	7.5	18.4
	2008	87.2	10.85	334	13.2	25.3
5	2006	92	7.68	430	7.1	18.6
	2008	81.7	11	338	10.9	25.3
6	2006	102.4	7.52	445	6.2	18.6
	2008	76.5	10.7	338	9.9	24.7
7	2006	122.4	7.52	420	6.2	18.8
	2008	68.5	10.3	341	8.45	24.6
8	2006	113.2	7.72	434	8.5	19.5
	2008	77.6	9.8	346	7.9	25.7
9	2006	112.1	7.7	428	6.3	18.7
	2008	94.3	10.82	405	13.65	27.2
10	2006	110.4	7.49	425	6.8	19.4
	2008	93.2	11.13	414	16.1	27.2
11	2006	116.3	7.9	459	9.6	19
	2008	91.6	10.58	433	15.35	27.1
12	2006	115	8.15	474	11	19.3
	2008	85.3	10.68	436	16.14	27.3
13	2006	113.4	8.1	490	11.3	19.6
	2008	85.1	10.22	445	10.82	26.9
14	2006	165.2	6.85	681	11.6	19.7
	2008	122	9.72	367	7.56	25.8
15	2006	114.2	7.48	434	7.5	19
	2008	89.8	9.8	353	8.9	25.8
16	2006	109.2	7.46	431	7.9	19
	2008	87	10.6	340	15	26.3
17	2006	123.5	7.51	459	7.5	19.2
	2008	89.1	10.6	361	12.3	25.6
18	2006	103.7	7.25	442	6.8	19.3
	2008	101.3	9.5	387	11.75	26.7
19	2006	112	7.25	443	7.55	19.6
	2008	103.4	10.8	389	11.2	26.6
20	2006	117	7.48	455	6.2	19.2
	2008	111.1	9.12	439	5.1	26.9

Ezeket az eredményeket *Kant - Raina* (1990) vizsgálatai is megerősítik, mely szerint a nagy intenzitású fotoszintézis miatt csökken a vizek szén-dioxid tartalma, ami pH növekedést okozhat.

A rendkívül magas, esetenként 10-es értéket is megközelítő pH értékek azonban szükségessé tették a további vizsgálatokat annak érdekében, hogy a vízminőség időbeli változásának tendenciáiról pontosabb képet kapjak. Ezért 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 Állomástól kaptam.

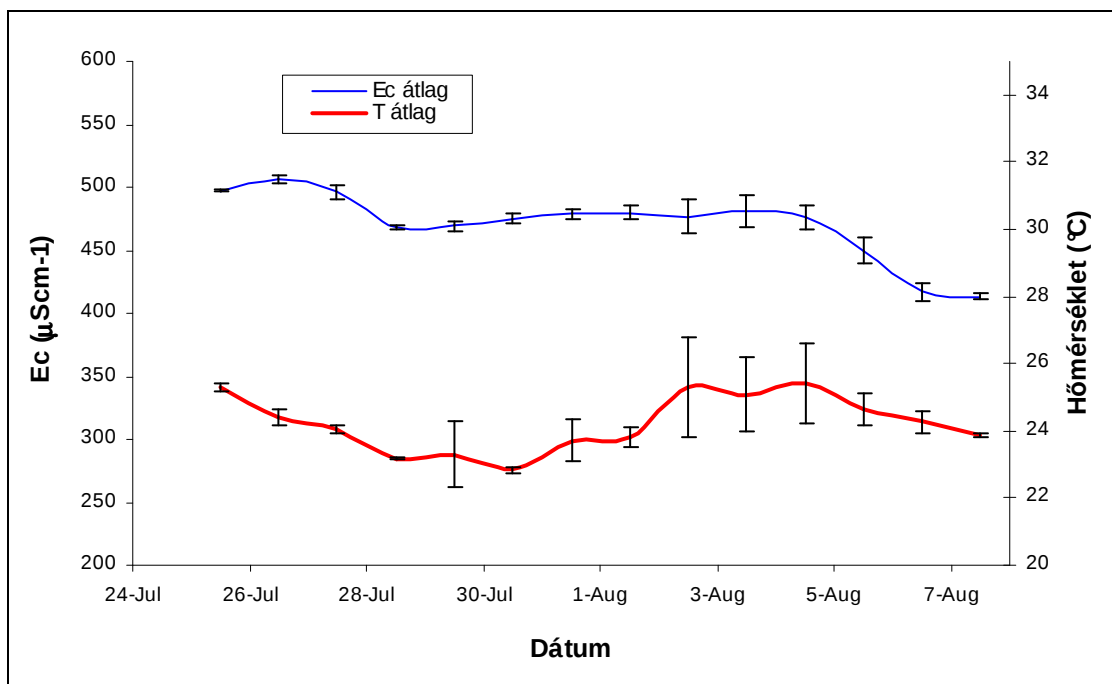
A mintavétel a parti szakasról, a sodorvonalból illetve a kettő közötti pontból történt három különböző mélységben.

A mérések alatt jelentős időjárási változásokat tapasztaltam. Számítottam a napi átlaghőmérsékleteket, illetve ezek szórását (22. 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 °C volt. Az alacsony szórásértékek azt mutatják, hogy nem alakult ki termoklin, még a 4 m mélységű közép részen sem. A holtág tehát sekély állóvízként klasszifikálható.



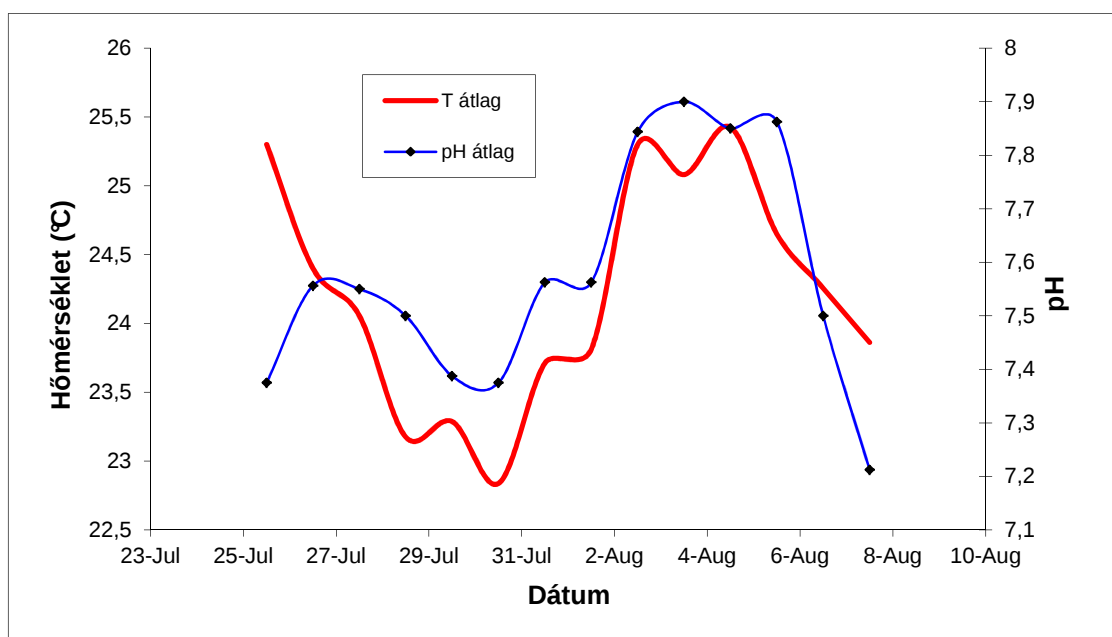
22. ábra. A levegő és a víztest átlaghőmérsékleteinek alakulása

A vezetőképesség nem mutatott jelentős változásokat, az átlagértékek 402 és 501 μScm^{-1} között ingadoztak, a szórás 13 alatt maradt. A kismértékű csökkenés a víz utánpótlásával magyarázható (23. ábra).



23. ábra. Az átlagos vezetőképesség változása összehasonlítva a vízhőmérséklettel

A pH mérések alátámasztják a 2008-as magas értékek kialakulásának lehetőségét. A vízhőmérséklet emelkedésével a fotoszintézis intenzitása is növekedett, ami csökkentette a víztest CO_2 és HCO_3^- tartalmát, ami pH emelkedést eredményezett (24. ábra). Eredményeim jól korrelálnak *Schwoerbel* (1999) megfigyeléseivel, aki jelentős pH ingadozásokat mért hegyi patakokban.

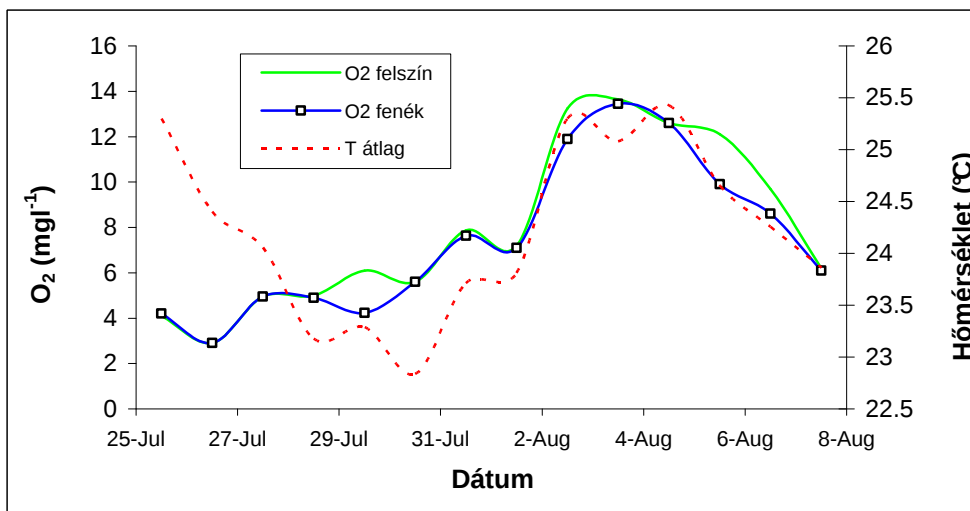


24. ábra. A pH változása a vízhőmérséklettel összehasonlítva.

Az oxigéntartalom változásai

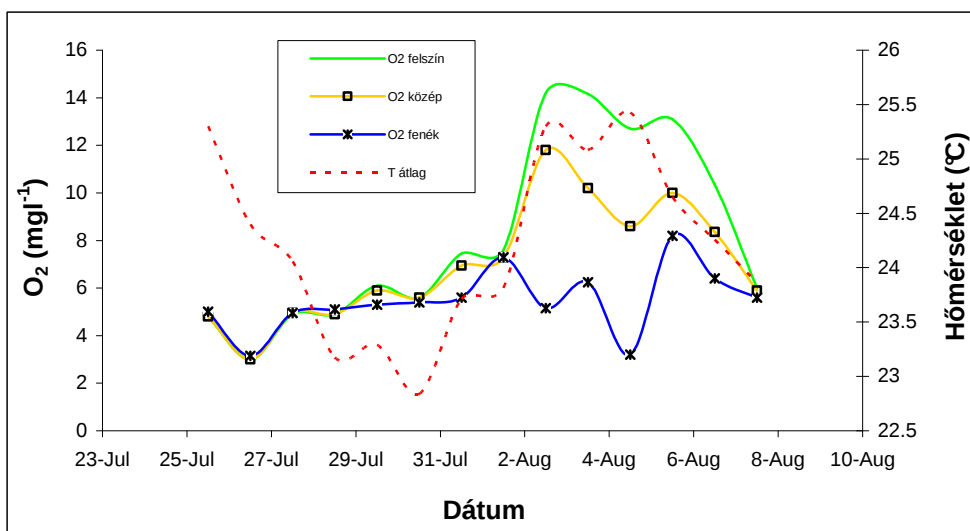
A mérési időszak alatt árhullám vonult le a Körösön, ami miatt a vízutánpótlást megállították július 30. és augusztus 3-a között. A lassú vízáramlás megszűnése jelentősen befolyásolta az oxigénviszonyokat.

A parti részen megnövekedett az oxigéntartalom a felgyorsult fotoszintetikus aktivitás miatt. A vízmélység itt azonban csak 1 m volt, így a fenéken is elegendő mennyiséget mértem (25. ábra).



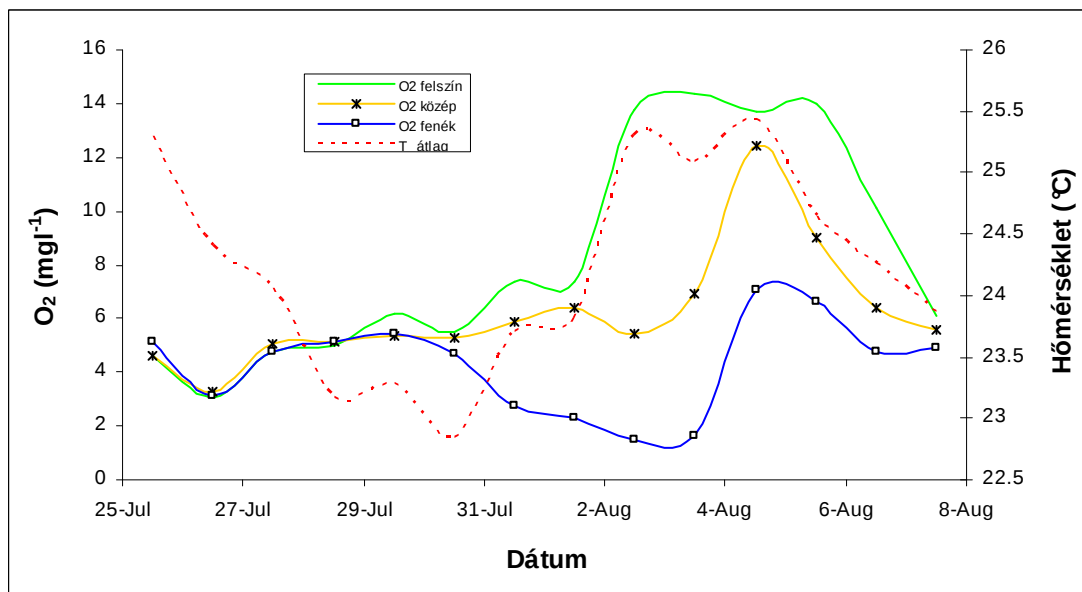
25. ábra. A parti régió átlagos oxigénviszonyainak változása a vízhőmérséklet tükrében.

A középrészen a vízmélység 2,4 m volt. A 26. 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.



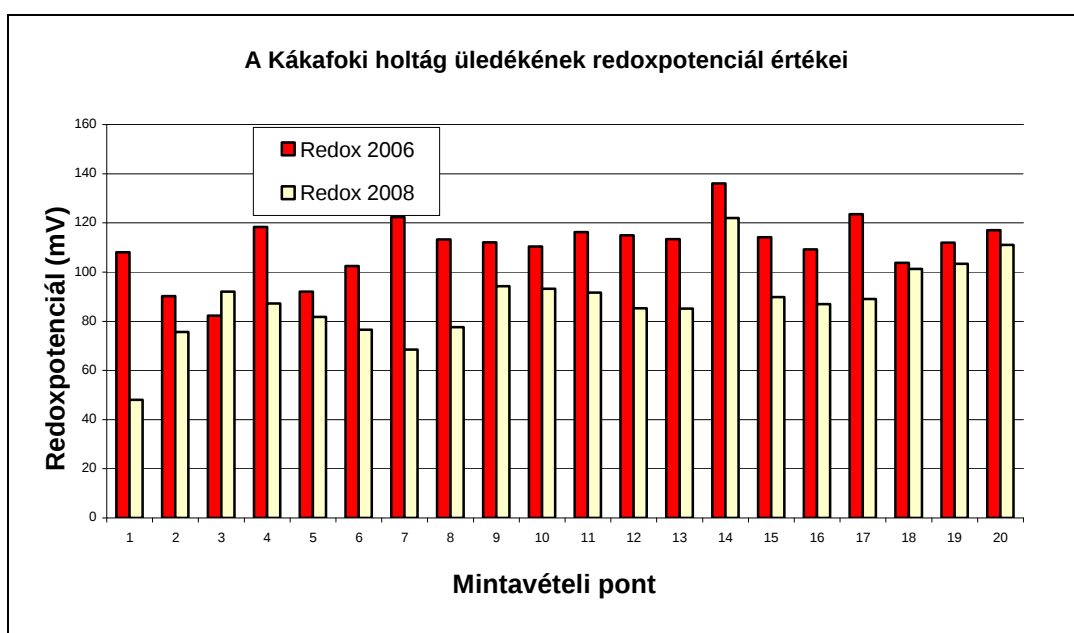
26. ábra. Az oxigéntartalom változása a középrészben a vízhőmérséklet tükrében.

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 (27. ábra.).



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

A holtág üledékének vizsgálatából megállapítható, hogy a redoxpotenciál értékei 2008-ban alacsonyabbak voltak (28. ábra), ami a megnövekedett szervesanyag termelés és lebontás nagyobb oxigén-felhasználásával magyarázható.



28. ábra. A holtág üledékében mért redoxpotenciál értékek

4.2. A létesített vizes élőhely vizsgálata

4.2.1. A rendszer tápanyagtartalma

A létesített vizes élőhelyi rendszerbe érkező, az intenzív harcsatelepről származó elfolyóvíz víz kémiai paramétereit a Halászati és Öntözési Kutató Intézet munkatársai mérték 2001 és 2003 között. A 4. táblázatban a 2001-2003 év átlagának adatai találhatók. A halnevelő telepen folyamatos haltermelés folyt, állandó körülmények között. Vízellátását termálkutakból oldották meg, ezért jellemző az elfolyó víz magas halobitására utaló magas vezetőképesség. A tenyésztési technológia miatt a halak által nem hasznosított táp növelte az elfolyóvíz szervesanyag tartalmát.

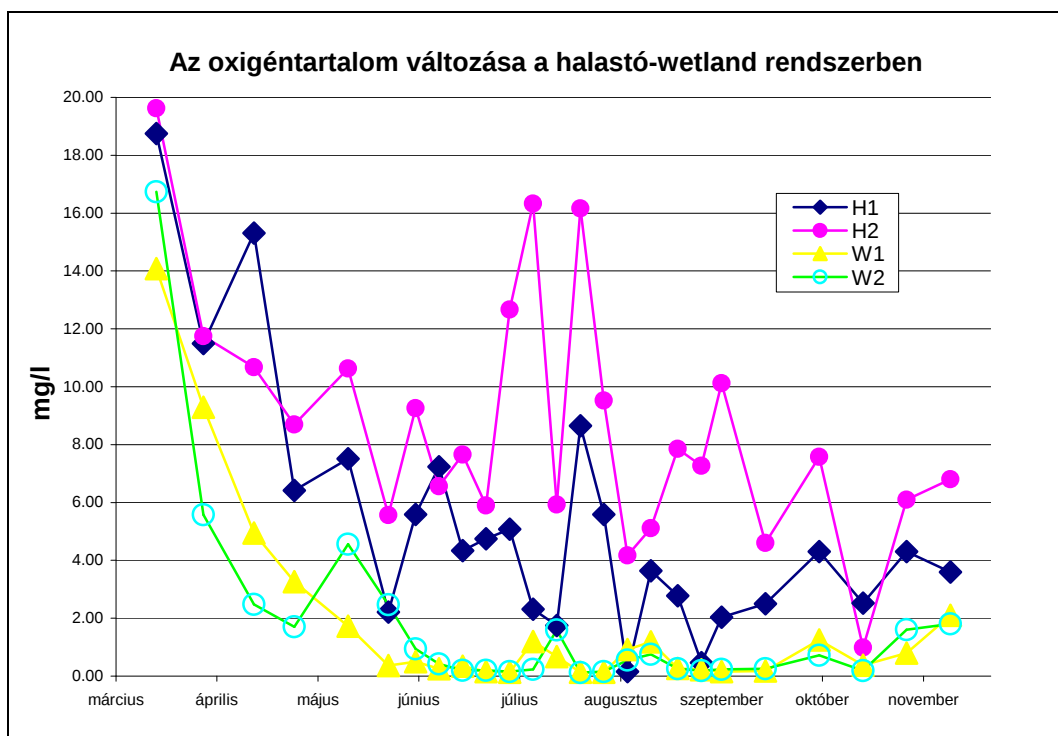
4. táblázat. Az intenzív harcsatelep elfolyóvizét jellemző paraméterek
(HAKI, 2001 - 2003 átlaga)

paraméter	egység	Átlag
pH	-	7,7
fajlagos vezetőképesség	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1320
nitrát nitrogén	mg l^{-1}	4,99
ammónium nitrogén	mg l^{-1}	5,29
ásványi nitrogén	mg l^{-1}	5,44
szerves kötésű nitrogén	mg l^{-1}	10,79
összes nitrogén	mg l^{-1}	66,38
összes lebegőanyag	mg l^{-1}	43,31
szerves lebegőanyag	mg l^{-1}	66,53
szerves lebegőanyag	%	65,25

4.2.2. Oldott oxigén

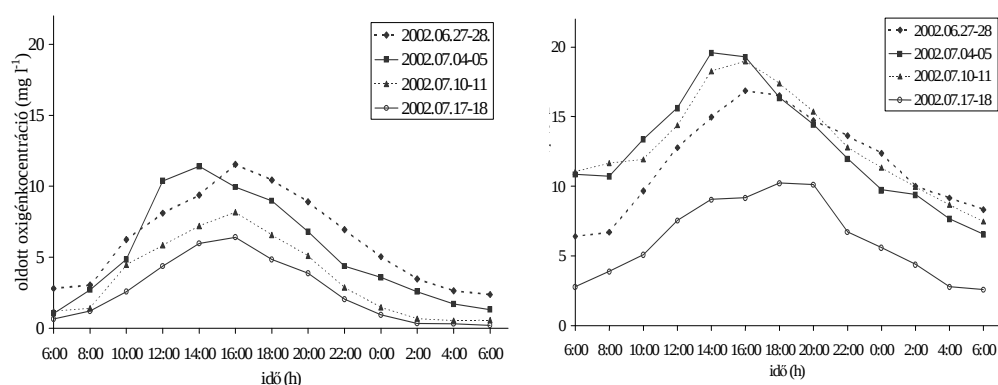
Az oxigénforgalom erősen ingadozott, esetenként szélsőségesen alacsony értékeket vett fel (29. ábra). Jellemzően az 1. halastóban alacsonyabb értékeket mértünk, mint a 2. tóban. A vízínövényes sekély tavakban tapasztaltuk a legalacsonyabb koncentrációkat,

valószínűsíthetően az alacsony vízmélység és a megnövekedett makrofiton gyökérlégzés miatt.



29. ábra. Az oxigénkoncentrációk változása a halastó-vízínövényes rendszerben (2002. március – november)

A változások különösen az oxigénháztartás napi ritmusában voltak megfigyelhetők. A halastavakban 2002-ben mért napi oxigénritmust mutatja be a 30. ábra. Az 1. halastóban alacsonyabb nappali maximumokat ($6,4\text{--}11,5\text{ mg l}^{-1}$) és minden alkalommal 5 mg l^{-1} alatti éjszakai értékeket mértünk, míg a 2. halastóban magasabb nappali értékeket (maximum: $10,2\text{--}19,6\text{ mg l}^{-1}$) és egy nap kivételével 5 mg l^{-1} feletti éjszakai koncentrációkat találtunk.



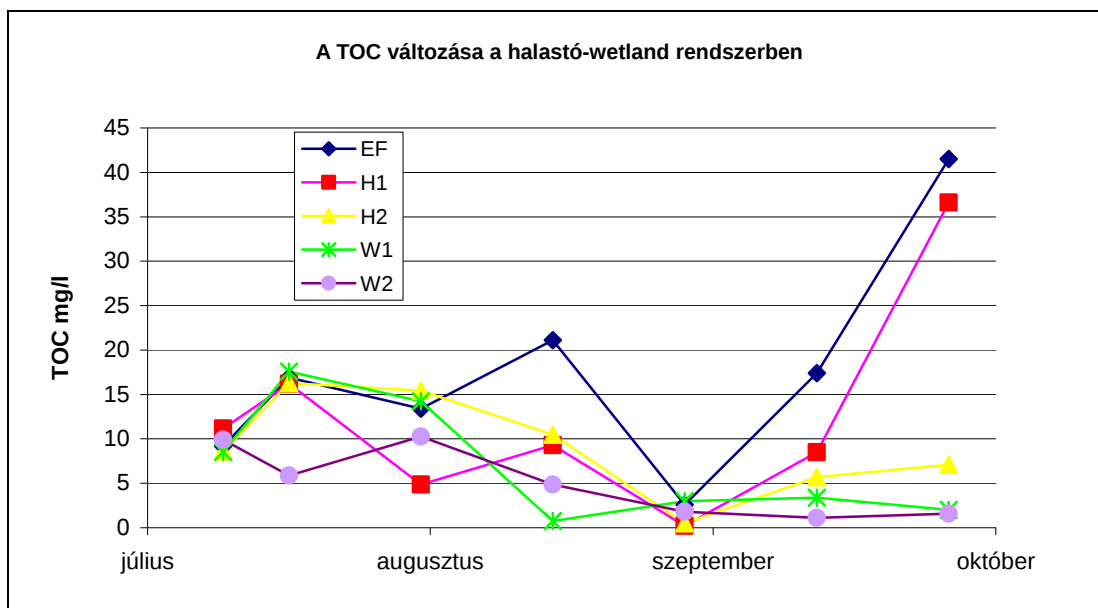
30. ábra. Az oldott oxigénkoncentráció változása az 1. és a 2. halastóban 2002-ben

2003-ban mindkét halastó napi oldott oxigénkoncentrációja hasonlóan alakult, mint a 2. halastóban az előző évben, és a vizsgált napokon nem süllyedt 5 mg l⁻¹ érték alá éjszaka sem, egy eset kivételével az 1. tóban.

Knud-Hansen (1998) szerint még a legtermékenyebb halastavakban sem csökken 3 mg l⁻¹ alá az oldott oxigén koncentrációja, ha a szerves anyag kizárólag magában a tóban termelődik. Ez azt jelenti, hogy a nappal megtermelt oxigén teljes mértékben képes fedezni az egész napi légzés oxigénigényét, feltételezhetően a rétegzettség éjszakai megszűnése és így a vízoszlop teljes keveredése révén. Amennyiben jelentős külső szervesanyag-terhelés éri a tavat, az oxigénigény olyan mértékben megnőhet, hogy hajnalban oxigénhiány is előfordulhat. A kísérletekben tapasztalt viszonylag alacsonyabb hajnali oldott oxigén koncentrációk jól egyeznek a fenti megfigyelésekkel, ugyanis halastavaink jelentős mértékű külső szervesanyag-terhelést kaptak. A két halastó, melynek oxigénforgalmát vizsgáltuk a kísérlet során, a rendszerben való elhelyezkedéséből adódóan különböző mértékű terhelést kapott. A vízoszlop oldott oxigén koncentrációjának napi változása jól mutatta a két halastó közötti eltérő állapotot: az 1. tóban a nappali oxigénkoncentráció derült időben megfelelő volt a halak számára, de éjszaka megközelítette a kritikus 1 mg l⁻¹ szintet (*Horváth*, 2000). Ezzel szemben a 2. halastóban a mérések időpontjában nem alakult ki oxigénhiány az éjszakai órákban sem, a magas oldott oxigéntartalom kedvezett a nitrifikációs folyamatoknak is, a tavak ammónium koncentrációja végig alacsony volt a tavak működése során (*Kerepeczki - Pekár*, 2005).

4.2.3. Totál szerves szén (TOC)

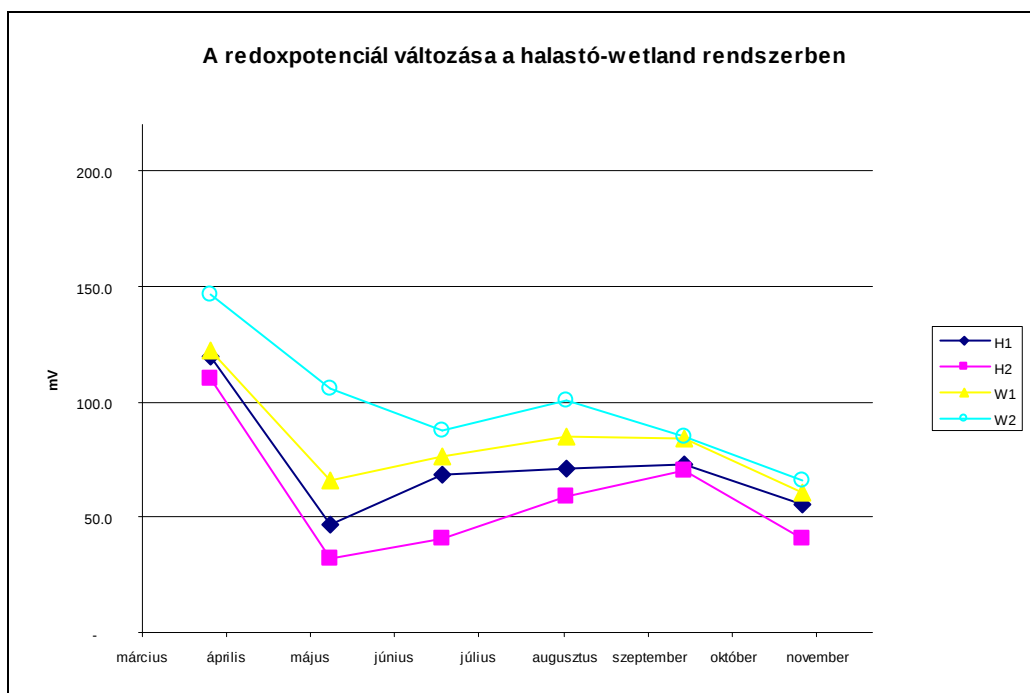
Az intenzív harcsanevelő telep elfolyó vizével 66.5 mg l⁻¹ lebegőanyag terhelés jutott a rendszerbe, melynek 65%-a volt szerves frakció. A szervesanyag mennyiségének változását TOC méréssel követtem nyomon a rendszerben (31. ábra).



31. ábra. A TOC változása a halastó-wetland rendszerben

A rendszer képes volt feldolgozni a megnövekedett terhelést, a holtágba már határérték alatti szervesanyag koncentrációjú kifolyó víz jutott. A HAKI munkatársai által mért adatok szerint a halastó-vízinyövényes rendszer ezenkívül csökkentette a nitrogén és foszfor terhelést is (Kerepeczki *et al.* 2003).

Az üledék redoxpotenciál változásai nagyobb ingadozásokat mutatott, mint a holtágban (32. ábra).

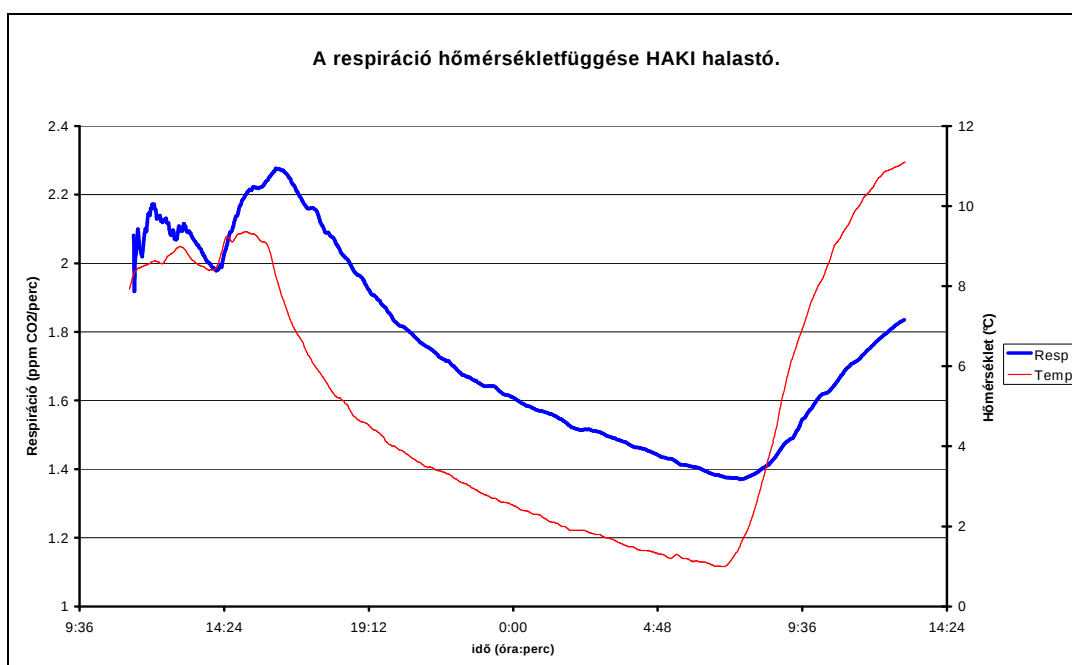


32. ábra. A redoxpotenciál változása az üledékben

4.3. Mineralizáció az üledékben

4.3.1. *In situ* vizsgálatok

A lecsapolt halastóban 26 órás folyamatos mérés után 1500 adatból határoztam meg az üledék légzését. A hőmérsékletet külön mértem, az eredmények a 33. ábrán kerültek összegzésre. A respiráció szoros korrelációt mutatott a hőmérsékleti változásokkal. A respirációs sebesség egy órás fáziseltolódással követte a hőmérsékleti változásokat. A mérési adatokat a 2. mellékletben tüntettem fel. 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.

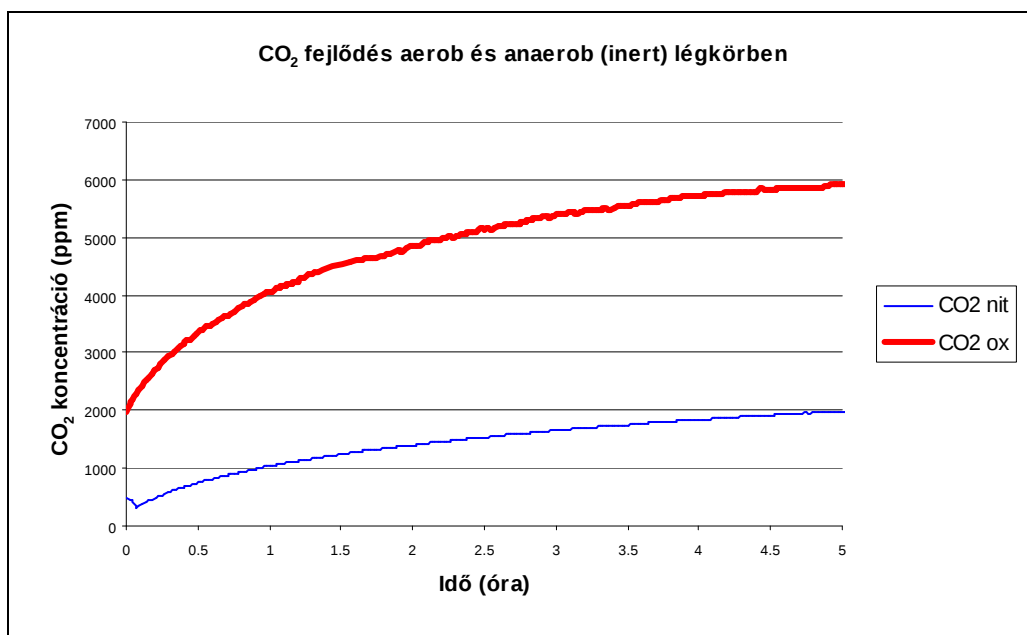


33. ábra. Üledéklégzés a lecsapolt halastóban

4.3.2. *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 34. ábrán mutatom be, a mérési adatok a 3. sz. mellékletben találhatók. Méréseim szerint oxidáló légkörben a respiráció háromszorosan haladja meg az inert légkörben tapasztalhatót, ami egyértelműen arra utal, hogy a vizes élőhelyeken a vízborítottság időszakos

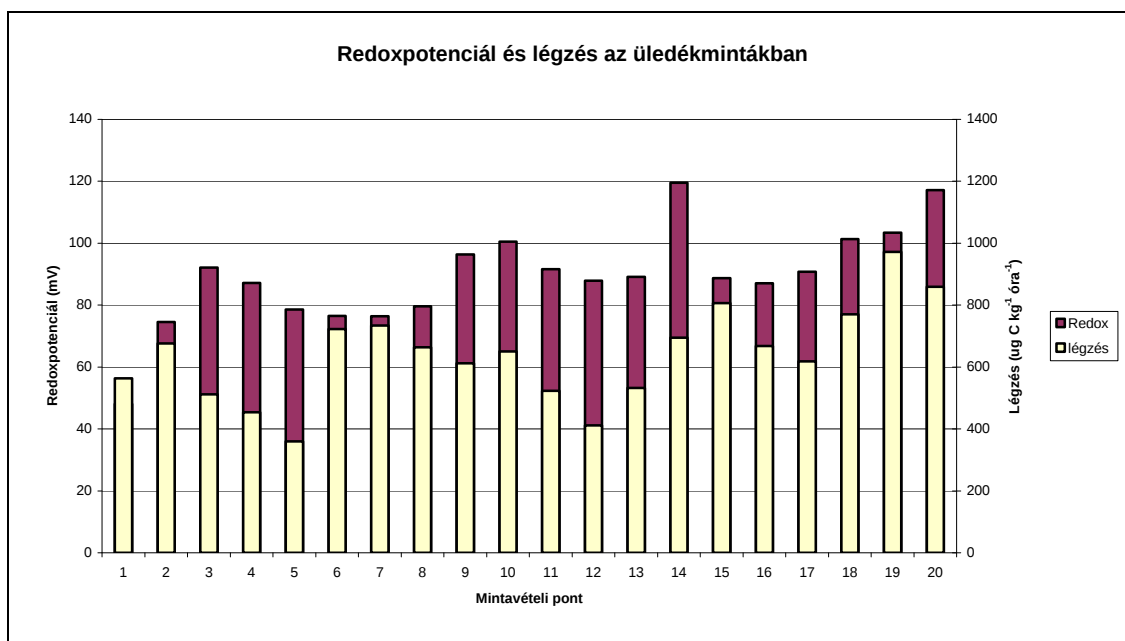
megszűnése jelentősen felgyorsíthatja az anyagforgalmi dinamikát. Az eredmények korrelálnak *Lin et al.* (2003) megfigyeléseivel, akik a vízdoldhatatlan szervesanyag lebontását vizsgálták az üledékben.



34. ábra. Respiráció oxidáló és semleges légkörben

A Szarvas-Kákafoki holtágban a vízborítottság miatt a jelenlegi módszerrel nem volt lehetséges a helyszíni légzésmérés, ezért a gyűjtött üledékmintákat laboratóriumban vizsgáltam, az eredmények a 10. táblázatban láthatók.

A 35. ábrán együtt ábrázoltam a redoxpotenciál és a légzés értékeit.



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

5. táblázat. Üledéklégzés a holtágból származó mintákban

Minta	t1 ó:p	CO ₂ 1 ppm	t2 ó:p	CO ₂ 2 ppm	Légzés µg C óra ⁻¹ g ⁻¹
1	12:36	2150	14:47	2929	563
2	12:46	2816	14:50	3723	676
3	12:48	2530	14:52	3369	512
4	12:52	2203	14:54	3074	454
5	12:54	2265	14:57	2913	360
6	12:57	3432	14:59	4633	723
7	12:59	2840	15:03	3492	734
8	13:01	3100	15:06	4084	664
9	13:04	2813	15:10	3248	612
10	13:06	2809	15:14	3372	650
11	13:09	3406	15:17	4333	523
12	13:12	3202	15:19	3859	412
13	13:15	2420	15:20	3740	532
14	13:17	2747	15:21	3826	695
15	13:20	3701	15:24	4972	806
16	13:22	2197	15:27	2471	668
17	13:36	2090	15:29	2449	618
18	13:38	3514	15:32	4474	770
19	13:41	3754	15:34	4787	972
20	13:43	3311	15:37	4177	859

Figyelemre méltó a redoxpotenciálok és a légzésértékek mintázatának hasonlósága. *Catallo* (1999) árapály hatásának kitett üledékekben hasonló eredményeket kapott. Kimutatta, hogy a légzés és a redoxpotenciál dinamikus kölcsönhatásban van egymással.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A dolgozatban két eltérő vízi ökoszisztéma jellemző paramétereit vizsgáltam.

A Szarvasi Kákafoki-holtág mezo- eutróf, mezoszaprób jellegű állóvíz kismértékű vízáramlással. A feltöltődés mértékét alapvetően az allochton és autochton szervesanyag mennyisége határozza meg. A lágy üledék vastagságának mérésével megbecsülhető a holtágmeder feliszapolódásának sebessége, mely a mérések alapján évi 4-5 mm-re becsülhető. A holtágon algavirágzást tapasztaltam, ami az eutrofizáció fokozódását jelezte. Az eutrofizáció előrehaladtával fokozódik a szervesanyag termelődése, így növekszik a holtág feltöltődési üteme is. Józsa (1994) vizsgálatai szerint a holtágon csökkent a természetes ívóhelyek száma is, ami tovább csökkenti az ökoszisztéma stabilitását. A vízvirágzások veszélyt jelenthetnek a holtág élővilágára, mivel nemcsak a szaprobitást - és ezen keresztül az oxigénviszonyokat - befolyásolják, hanem közvetlen toxikus hatásuk is lehet. Bizonyítja ezt a 19. mintavételi ponton, 2008-ban tapasztalt kagylópusztulás is. Szükséges tehát a szennyezőforrások csökkentése. A 2010-ben mért vízminőségi adatok alapján levonható az a következtetés, hogy a holtág víztestének oxigén- és pH viszonyait igen jelentősen befolyásolja az élő Körösből történő vízutánpótlás és a víz áramlása.

Szükségesnek tartom ezért a jövőben feltérképezni a holtág áramlási viszonyait, mivel ezek alapján lehet csökkenteni a pangó részeken az algavirágzás kialakulásának valószínűségét

A holtágra nézve terhelést jelent az intenzív halnevelő telepek elfolyó vizének magas tápanyag- és lebegőanyag tartalma is. Kimmel – Goldman (1977) mutatta ki az intenzív szedimentáció veszélyeit. A Halászati és Öntözési Kutató Intézet 2001-2003 között kísérleti jelleggel mesterséges vizes élőhelyet létesített két halastó és két vízínövényes tó sorbakapcsolásával, melybe bevezették a halnevelő telep elfolyó vizének egy részét. A HAKI vizsgálatok szerint a rendszer hatékonyan csökkentette a lebegő- és tápanyagtartalmat (Kerepeczki et al. 2003; Gál et al., 2003). Saját vizsgálataim szerint a rendszer hatékonyan csökkentette a szervesanyag tartalmat. TOC méréseim alapján megállapítható, hogy a holtágba már határértéken aluli koncentrációjú szerves szén jutott. A természetközeli rendszerek költséghatékonyabbak, mint a hagyományos tisztítási technológiák (Békefi – Kerepeczki, 2004).

A vizes élőhelyeken a víztest gyors reagálású anyagforgalmi dinamikája miatt a vízminőségi változások tér-időben igen eltérőek, esetenként szélsőségesek lehetnek

(Boyd, 1995). Ezt jól példázza a holtág és a halastavi rendszer oxigénforgalma. Az üledékben történő változások kiegyenlítettebbek, a lebontás sebességét nagymértékben befolyásolják az oxidációs-redukciós körülmények. A jelenlegi vízminősítési gyakorlatban viszont nem vizsgálják az üledék állapotát. Célszerű ezért a vízminőség megállapításakor az üledék redoxpotenciálját és mikrobiális aktivitását is figyelembe venni.

A mikrobiális aktivitás intenzitásának meghatározására több módszer is elterjedt. A légzés meghatározható az oxigénfogyással (Buesin – Gessner, 2006). A bakteriális elektrontranszport-rendszer aktivitását mérhetjük a tetrazólium sók redukciója alapján (mesterséges elektronakceptor). INT (jód-nitro-tetrazólium klorid) festéssel, áteső fénymikroszkóp segítségével, vagy CTC (ciano-ditolil-tetrazólium klorid) festéssel, epifluoreszcens mikroszkóppal meghatározható az aktívan légző baktériumok száma (Zimmermann *et al.*, 1978; King - Parker, 1988). Sejtszámlálás nélkül, fotometriával vagy fluorimetriával meghatározható a minta légzési aktivitása (Trevors *et al.*, 1982; Griebe *et al.*, 1997). Végül a respiratorikus aktivitás meghatározható a keletkező CO₂ fejlődési sebességével (Rochette *et al.*, 2000; Risk *et al.*, 2002). A CO₂ emisszió azonban az üledékben lejátszódó folyamatok komplex eredője, mely nem magyarázható pusztán az aerob légzés intenzitásával, helyesebb tehát szén-mineralizációról beszélnünk.

Az általam alkalmazott módszer esetében a CO₂ koncentrációkat gáztérben mértem, infravörös fotoakusztikus elvű detektálással.

A módszer előnye, hogy lehetővé teszi a CO₂ koncentrációk ppm nagyságrendű változásainak észlelését. A gyors mintavételezési lehetőség által folyamatos monitorozási feladatok is megoldhatók. Ily módon a lecsapolt halastó üledékében a helyszínen kimértem a szénmineralizáció napi ritmusát kétperces időfelbontással. A CO₂ emisszió jól követte a hőmérsékleti változásokat egy órás fáziseltolódással, és alacsony, pusztán 1 °C-os hőmérsékleten is folytatódott. A szervesanyagok bontása tehát még a vegetációs perióduson kívüli időszakban is folytatódhat.

Az *in vitro* kísérletekben az aerob és anaerob légkörben mért CO₂ emisszió alapján megállapítható, hogy az aeráció hatására a szén-mineralizáció sebessége azonos nedvességtartalomnál háromszorosára nőtt. Ebből levonható az a következtetés, hogy a vizes élőhelyeken a vízborítottság megszűnése jelentősen felgyorsítja az üledék szervesanyag tartalmának lebomlását. A módszer hátránya a gáz halmazállapotú mérésből következik. Ily módon a vízzel borított üledék szén-mineralizációját nem

lehetséges mérni. A jövőben szeretném továbbfejleszteni a rendszert vízfelszínen úszó mérőkamrás kialakításúra. Ebben az esetben lehetséges lenne a teljes vízi ökoszisztéma CO₂ kibocsátásának és elnyelésének in situ mérése is, ami lehetővé tenné a produkció és mineralizáció összehasonlítását egységnyi vízfelületre vetítve.

6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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 eredményeinek alapján megállapítottam, hogy a respiráció mértéke oxidáló légkörben háromszorosa volt az inert légkörben mért légzéshez képest. Az aeráció hatása lényegesen felgyorsítja az üledék mineralizációs sebességét, ezáltal csökkentve a szerves terheltséget a vízi ökoszisztémákban.
4. In situ méréseimmel kétperces időfelbontással mutattam ki a mikrobiális légzés napi ritmusát. A respiráció mértéke egy órás fáziseltolódással követte a környezet hőmérsékletének változásait. A mérések eredményeinek alapján bebizonyítottam, hogy a vegetációs perióduson kívül is - alacsony, mindössze 1 °C hőmérsékleten is - működnek a mineralizációs folyamatok.
5. Megállapítottam, hogy 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.

7. 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 tápanyagtöbbség 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.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A víz infraindividuális szinten az élőlények egyik legfontosabb alkotóeleme, szupraindividuális szinten a szárazföldi ökoszisztémák egyike legfőbb limitáló tényezője, a vízi ökoszisztémákban pedig ökológiai közeg, vagyis olyan környezeti elem, amely biológiai és ökológiai szempontból nélkülözhetetlen az élővilág számára.

A vizes élőhelyek vízteste szerves egységet alkot az üledékkel, mely jelentős mértékben befolyásolja az anyagforgalmi dinamikát, és a vízminőséget. Szükséges tehát az üledék jellemzése és a mikrobiális közösségek aktivitásának vizsgálata is.

Dolgozatomban a következő célokat tűztem ki:

- I. A Szarvas-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.

A Szarvas-Kákafoki holtágon 20 mintavételi pontot jelöltem ki.

2006-ban, 2008-ban és 2010-ben helyszíni és labormérésekkel vizsgáltam a vízminőségi jellemzőket, és az üledék oxidációs-redukciós állapotát. 1992-ben és 2006-ban mértem az üledék vastagságát, és ez alapján megbecsültem a holtág feliszapolódásának ütemét. *In situ* és *in vitro* módon, zárt mérőkamrás mérőrendszerrel mértem az üledék légzési aktivitását a CO₂ emissziók infravörös fotoakusztikus detektálásával. A Halászati és Öntözési Kutató Intézet területén létesített halastó-vízínövényes tó rendszerben 2002-ben 4 mintavételi ponton mértem a vízminőségi jellemzőket, az üledék redox állapotát és mineralizációs aktivitását.

A Szarvas-kákafoki holtág feltöltődése évi 4-5 mm-re becsülhető.

A holtágon 2008-ban algavirágzást, valamint kagylópusztulást tapasztaltam, ami az eutrofizáció fokozódását jelezte. A víztest oxigéntartalma 4,5 - 16,1 mg l⁻¹ koncentráció között változott, a pH magas, 9,9 értéket is elért. Az üledék redoxpotenciálja jóval kiegyenlítettebb, 48,1 - 111,1 mV közötti eltéréseket mutatott.

2010-ben mért adataim alapján igazolódott a korábbi magas pH értékek kialakulásának lehetősége. Az oxigénmérések kimutatták, hogy a lassú vízáramlás megszűnése vertikális oxigénrétegzettséget alakít ki a holtág víztestében. Kimutattam továbbá, hogy a mélyebb, fenékközeli rétegekben a víz oxigéntartalma kritikusan alacsony értékeket érhet el.

Fontos további kutatási iránynak tartom ezért a holtág áramlási viszonyainak pontos feltérképezését.

Az intenzív harcsanevelő telep elfolyó vizével 31,6 mg l⁻¹ lebegőanyag terhelés jutott a halastó-vízinövényes rendszerbe, melynek 57,3%-a volt szerves frakció. A szervesanyag mennyiségének változását totál szerves szén (TOC) méréssel követtem nyomon. A rendszer képes volt feldolgozni a megnövekedett terhelést, a holtágba már határérték alatti szervesanyag koncentrációjú kifolyó víz jutott.

A lecsapolt halastó üledékében a helyszínen kimértem a szénmineralizáció napi ritmusát képerces időfelbontással. A CO₂ emisszió jól követte a hőmérsékleti változásokat egy órás fáziseltolódással, és alacsony, pusztán 1 °C-os hőmérsékleten is folytatódott. A szervesanyagok bontása tehát még a vegetációs perióduson kívüli időszakban is folytatódhat.

Az in vitro kísérletekben az aerob és anaerob légkörben mért CO₂ emissziók alapján megállapítható, hogy az aeráció hatására a szén-mineralizáció sebessége azonos nedvességtartalomnál háromszorosára nőtt.

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, csökkentve ezáltal folyóink öntisztulási képességét.

9. SUMMARY

The water is one of the most important limiting factor in the terrestrial ecosystems, and in the aquatic ecosystems it is an ecological medium. Therefore, the water is such an environmental element, which is ultimately necessary for the biosphere. The water body and the sediment of the aquatic ecosystem make an organic unit, which strongly influences the material cycling and the energy flow into the aquatic biotopes. The sediment accumulates the dead organic matter, therefore it has an important role in the saprobity and the oxygen cycle of the aquatic ecosystems.

The main goal of the research were the following:

I. Examination of the environmental factors of the Szarvas-Kákafok deadarm and an artificial wetland:

- Examination of the quality of the water body;
- Examination of the oxido-reduction potential of the sediment and its relation to the water quality;
- Examination of the sedimentation rate of the deadarm.

II. Composition a suitable measurement system for examining the microbial decomposition in the sediment:

- Testing the possibilities of the *in vitro* and *in situ* measurements;
- Examination of the mineralization by measuring the CO₂ emission.

III. Examination of the microbial decomposition:

- Examination of the microbial respiration in the fish pond – makrophyte system;
- Examination of the microbial respiration in the Szarvas-Kákafok deadarm.

The parameters of the water quality and the oxido-reduction state of the sediment were examined in 2006, 2008 and 2010, *in situ* and *in vitro*. The thicknesses of the soft sediment were measured in 1992 and in 2006. Based on the measurements the sedimentation rate of the Szarvas-Kákafok Deadarm was estimated. The respiration activities of the sediment were measured *in situ* and *in vitro* by infrared photoacoustic detection of the CO₂ emission in a closed chamber measuring system. The parameters of the water quality, the oxido-reduction state and the respiration activities of the sediment were measured in an artificial wetland in the area of the Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Szarvas in 2002 at four sampling sites.

The sedimentation rate of the Szarvas-Kákafok Deadarm is estimated 4-5 mm in a year.

An algal bloom was detected in the deadarm in 2008, which indicates the increasing eutrophication processes. The oxygen content of the water body varied between 4.5-16.1 mg l⁻¹, the pH reached the high, 9.9 values. The oxido-reduction potentials of the sediment were more equalized, between 48.1-111.1 mV.

The measurements in 2010 proved the possibility of the high pH values in the water body. The data of the oxygen measurements showed, that the stopped water stream leads to oxygen stratification in the water body of the deadarm. It was proved, that the oxygen concentrations reached critical low values in the deeper water layers.

Therefore examining the exact hydraulic circumstances of the deadarm is an important future research goal.

The effluent of the intensive aquaculture system transferred 31,6 mg l⁻¹ particulated matter to the artificial wetland, which has 57,3% organic fraction. The changes of the quantities of the organic matter was followed by TOC measurements. Due to the results of the measurements the system was able to process the organic load.

The daily variation of the respiration in the sediment of the drained fish pond was measured by two minutes time resolution in situ. The respiration showed strong correlation to the temperature. The respiration rate followed the temperature variations by a one hour time shift. As the results indicates, the respiration continues at even 1 °C temperature. Due to the in vitro experiments, the rate of the respiration was three times higher in an oxidative atmosphere, than in anaerobic circumstances. Therefore, the aeration of the sediment may accelerate the mineralization processes. In the case of the present river policy, the water cannot go out to the floodplain, therefore the self cleaning capabilities of the rivers are decreased.

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- 31/2004. (XII. 30.) KvVM: 2004. Rendelet a felszíni vizek megfigyelésének és állapotértékelésének egyes szabályairól. Magyar Közlöny 2004/205
- Anonymus*: 1893. Körös folyók szabályozása. Vízügyi Közl. VII. 158-193.
- Avnimelech, Y.*: 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 130: 329-349.
- Békefi, E. - Kerepeczki, É.* 2004. A halastó-wetland vízkezelő rendszer ökonómiai értékelése. In: Csengeri (ed.) Halászatfejlesztés, 29: 83-89.
- Björk, S.*: 1994. Sediment Removal. In: Eiseltova, M. (ed.) Restoration of Lake Ecosystems. – IWRB Publications, 32: 82-89.
- Bohn, H. L. – Mcneal, B. L. - O'Connor, G. A.*: 1985. Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó – Gondolat Kiadó, Budapest. 363.
- Boyd, C. E.*: 1995. Exchange of dissolved substances between soil and water. In: Boyd, C.E. (ed.), Bottom soils, sediment and pond aquaculture. Chapman and Hall, New York. 348 pp.
- Brüel et Kjaer*: 1990. Instruction Manual for Multi-gas Monitor Type 1302
- Buesing, N. - Gessner, M. O.*: 2006. Benthic Bacterial and Fungal Productivity and Carbon Turnover in a Freshwater Marsh. *Appl Environ Microbiol.* 72(1): 596–605.
- 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 10pp.
- Chapman, J. L. – Reiss, M. J.*: 1999. Ecology: Principles and Applications. Cambridge University Press, 196-203.
- Costa-Pierce, B. A.*: 1998. Preliminary investigation of an integrated aquaculture-wetland ecosystem using tertiary-treated municipal wastewater in Los Angeles County, California. *Ecological Engineering*, 10: 341-354.
- Cowardin, L. M. - Carter, V. - Golet, F. C. - LaRoe, E. T.*: 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Fish&Wildlife Service, Washington, D.C., USA 103 pp.

- Csizmarik, G.: 1992. Fluoreszcens mikroszkópos technikák alkalmazása a vízmikrobiológiában. A halhústermelés fejlesztése, 15: 9-15.
- Csizmarik, G. - Szabo Komlós, 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.
- Derek, R. L. - Coates, J. D. - Blunt-Harris, E. L. - Phillips, J. P. - Woodward, J. C.: 1996. Humic substances as electron acceptors for microbial respiration. *Nature* 382: 445 – 448.
- Dévai, Gy.: 1984. Javaslat a vízminőség fogalomrendszerének egységes értelmezésére. - *Acta Biol. Debrecina*, 18: 53-81.
- Dévai, Gy. - Juhász-Nagy, P. - Dévai, I.: 1992a. A vízminőség fogalomrendszerének egy átfogó koncepciója 1. rész. A tudománytörténeti háttér és az elvi alapok. *Acta Biol. Debr. Suppl. Oecol. Hung.* 4. 13-28.
- Dévai, Gy. - Juhász-Nagy, P. - Dévai, I.: 1992b. A vízminőség fogalomrendszerének egy átfogó koncepciója 2. rész. A hidrobiológia és a biológiai vízminőség fogalomkörének értelmezése. *Acta Biol. Debr. Suppl. Oecol. Hung.* 4. 29-47.
- Dévai, Gy. - Dévai, I. - Felföldy, L. - Wittner, I.: 1992c. A vízminőség fogalomrendszerének egy átfogó koncepciója 3. rész. Az ökológiai vízminőség jellemzésének lehetőségei. *Acta Biol. Debr. Suppl. Oecol. Hung.* 4. 49-185.
- Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC: Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, Luxembourg, 23 October 2000.
- Faulkner, S.P. - Richardson, C.J.: 1989. Physical and chemical characteristics of freshwater wetland soils. In: Hammer, D.A. (ed.) *Constructed wetlands for wastewater treatment*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, USA, 41-72.
- Felföldy, L.: 1974. A biológiai vízminősítés. *Vízügyi Hidrobiológia*, 3. VÍZDOK, Budapest
- Felföldy, L.: 1981. A vizek környezettana. Általános hidrobiológia Budapest, Mezőgazdasági Kiadó
- Felföldy, L.: 1987. Biológiai vízminősítés. *Vízügyi hidrobiológia*. 16. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest.

- Gál, D. - Szabó, P. - Pekár, F. - Váradi, L.:* 2003. Experiments on the nutrient removal and retention of a pond recirculation system. *Hydrobiologia*, 506:(1-3) 767-772.
- Garland, J. L -Mills, A. L.:* 1991. Classification and Characterization of Heterotrophic Microbial Communities on the Basis of Patterns of Community-Level Sole-Carbon-Source Utilization. *Appl Environ Microbiol.* 57(8): 2351-2359.
- Gleick, P. H.:* 1996. Water resources. *in* Encyclopedia of Climate and Weather, (Schneider ed.). Oxford University Press, New York,. 2: 817-823.
- Griebe, T. - Schaule, G. - Wuertz, S.:* 1997. Determination of microbial respiratory and redox activity in activated sludge. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* 19: 118–122.
- Horváth L. (szerk.):* 2000. Halbiológia és haltenyésztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest,
- Ihrig, D.:* 1973. A magyar vízszabályozás története OVH kiadás, Bp.
- Janurik, E. - Szabó, P:* 1985. Nitrogén kompartmentek és áramlási utak. A halhústermelés fejlesztése, 12: 23-31.
- Jorgensen, S.E.:* 1989. Changes of redox potential in aquatic ecosystems. *Ecological engineering: an introduction to ecotechnology*, W.J Mitsch, S.E Jorgensen eds. John Wiley and Sons Inc.- New York, 341-355.
- Józsa, V.:* 1994. A Szarvas Kákafoki-holtágrendszer lehetséges ivó- és halbölcsőhelyeinek felmérése. XVIII. Halászati tudományos tanácskozás. Halászatfejlesztés 17:164-172.
- Kadlec, R.H. - Hey, D.L.:* 1994. Constructed wetlands for river water quality improvement. – *Water Science and Technology*, 19:159-168.
- 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.
- Keddy, P. A.* 2010. Wetland ecology principles and conservation. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kerepeczki, É. - Gál, D. - Szabó P. - Pekár, F.:* 2003. Preliminary investigations on the nutrient removal efficiency of a wetland-type ecosystem. *Hydrobiologia*, 506-509: 665-670.
- Kerepeczki, E. - Pekar, F.:* 2005. Nitrogen dynamics in an integrated pond-wetland ecosystem. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 29: 877-879.

- Kerepeczki, É. – Zsigri, A. - Pekár F.:* 2005. Hipertróf halastavak oxigénforgalma. Hidrológiai Közlöny, 85(6): 52-54.
- Kimmel, B.L. - Goldman, C.R.:* 1977. Production, sedimentation and accumulation of particulate carbon and nitrogen in a sheltered subalpine lake. In: Interactions Between Sediments and Freshwater (H.L. Golterman ed.). Dr.W.Junk, B.V. Publishers, The Hague, The Netherland.
- King L. K, - Parker B. C.:* 1988. A Simple, Rapid Method for Enumerating Total Viable and Metabolically Active Bacteria in Groundwater. Appl Environ Microbiol. 54(6): 1630–1631.
- 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.
- Lakatos, Gy.:* 1998. Vizes élőhelyek osztályozása és tulajdonságai. In: Kiszél (szerk.) Természetvédelem területhasználók számára. Göncöl Alapítvány, Vác. 91-117.
- Láng, I. – Csete, L. – Jolánkai, M.:* 2007. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok - A VAHAHA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, 220.
- 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.
- Madigan, M.T. - Martinko, J.M. - Parker, J.:* 1997. Biology of Microorganisms. Prentice Hall.
- MSZ 12749: 1993. Felszíni vizek minősége, minőségi jellemzők és minősítés
- MSZ 260-4: 1971. Szennyvizek vizsgálata. Hidrogén-ion koncentráció (pH-érték) meghatározása
- MSZ 448-32: 1977. Ivóvízvizsgálat. Fajlagos elektromos vezetőképesség meghatározása
- MSZ ISO 6060: 1991. A víz kémiai oxigénigényének meghatározása
- Oláh, J. - Oláh, M.:* 1996. Improving Landscape Metabolism in the Hungarian Lowlands. Ambio, 25(5): 331-335.
- Pálfi, I.:* 2001. Magyarország holtágai. Közlekedési és Vízügyi Minisztérium, Budapest.

- Pálfai, I.*: 2002. Adatok a Magyarországi holtágakról. *Vízügyi Közlemények* 2002:2.
- Pékár, F. - Oláh, J. - Tóth, L.*: 1989. Nitrifikáció halastavakban és természetes vizekben. II. Nitrifikáció a nyílt vízben és az üledékben. *Vízügyi Közlemények*, LXXI: 295-310.
- Risk, D. - Kellman, L. - Beltrami, H.*: (2002): Carbon dioxide in soil profiles: Production and temperature dependence. *Geophys. Res. Lett.* 29: 1087.
- Rochette, P. - Angers D. A. - Côté, D.*: 2000. Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Following Application of Pig Slurry for the 19th Consecutive Year. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1389-1395.
- Seitzinger, S. P.*: 1999. Linkages Between Organic Matter Mineralization and Denitrification in Eight Riparian Wetlands. *Biogeochemistry*, 25(1): 19-39.
- Schwoerbel, J.*: 1999. Einführung in die Limnologie. Gustav Fischer, Jena 456.
- Stern, N.*: 2007. The Economics of Climate Change - The Stern Review, Cambridge University Press, 712.
- Szabó, E.*: 2001. Az intersticiális víz fizikai és kémiai tulajdonságai a Fertő nádasában. *Hidrológiai Közöny* 81(5-6): 468-470.
- Szabó, I. M.*: 1989. A bioszféra mikrobiológiája, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Szalai, Gy.*: 1987. Ember és víz. Bp. Mezőgazd. Kiadó
- Szathmáry, E.*: 2003. Az élet keletkezése. *Magyar Tudomány* 48: 1220.
- Thamdrup B. - Fleischer S.*: 1998. Temperature dependence of oxygen respiration, nitrogen mineralization, and nitrification in Arctic sediments. *Aquatic Microbial Ecology* 15: 191-199.
- The Convention on Wetlands of International Importance, especially as Waterfowl Habitat 1971 Ramsar.
- Trevors, J. T. - Mayfield C. I. - Inniss W. E.*: 1982. Measurement of Electron Transport System (ETS) activity in soil. *Microbial Ecology* 8(2): 163-168.
- Virág B. - Megyeri M.*: 2007. A Szarvas-Békésszentandrás és a Siratói-holtág vízjogi üzemelési engedélyes terve.
- Zimmermann, R. - Iturriaga, R. - Becker-Birck, J.*: 1978. Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration. *Appl Environ Microbiol.* 36(6): 926–935.

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

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 mineralizáció 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.-Bukovinszkyné 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.
- *Bukovinszkyné 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. köte

MELLÉKLETEK

1. Mintavételi helyek a Szarvas-Kákafoki holtágon (saját fotók)



mintavételi pont, a felvégtől 1135 m-re, N 46° 53' 352", E 20° 32' 733"



2. mintavételi pont, malomzugi csatorna torkolat 1345 m,
N 46° 53' 274", E 20° 32' 632"



3. mintavételi pont, Arborétum-Hajóállomás 4800 m,
N 46° 52' 356", E 20° 31' 914"



4. mintavételi pont, régi szennyvíz befolyó 6625 m,
N 46° 51' 557", E 20° 32' 326"



5. mintavételi pont, Anna-ligeti torkolat 7450 m,
N 46° 531' 646", E 20° 32' 326"



6. mintavételi pont, szennyvíztisztító telep,
N 46° 51' 182", E 20° 32' 012"



7. mintavételi pont, Macózug- friss kotrás 10750 m,
N 46° 51' 141", E 20° 31' 525"



8. mintavételi pont, kákafoki új gátórház 15035 m.
N 46° 49' 439", E 20° 31' 849"



9. mintavételi pont, Furugy szilági tanya 16500 m,
N 46° 49' 844", E 20° 31' 021"



10. mintavételi pont, Hegyeszug Zalka csatorna befolyó 18590 m,
N 46° 50' 100", E 20° 30' 312"



11 mintavételi pont, HAKI III. kacsatelep közepe 19880 m,
N 46° 50' 791", E 20° 30' 753"



12. mintavételi pont, HAKI II. kacsatelep közepe 20170 m,
N 46° 50' 925", E 20° 30' 727"



13. mintavételi pont, HAKI I. kacsatelep közepe 20720 m,
N 46° 51' 115", E 20° 30' 726"



14. mintavételi pont, HAKI halketrecek helye 21470 m,
N 46° 51' 534", E 20° 30' 815"



15. mintavételi pont, HAKI öböl 21675 m,
N 46° 51' 633", E 20° 30' 747"



16. mintavételi pont, átvágás HAKI vízkivétel 570 m,
N 46° 51' 637", E 20° 31' 228"



17. mintavételi pont, Pálinkás éri csatorna torkolat 23200 m,
N 46° 51' 444'', E 20° 29' 816''



18. mintavételi pont, békésszentandrási strand 25550 m,
N 46° 52' 003'', E 20° 29' 297''



19. mintavételi pont, szőnyeggyári szennyvíz befolyó 26300 m,
N 46° 52' 244'', E 20° 29' 593''



20. mintavételi pont, békésszentandrási kifolyó,
N 46° 53' 221'', E 20° 29' 962''

2. A halastó üledékében *in situ* mért CO₂ koncentrációk. (HAKI, Szarvas, 2002. nov. 5.)

Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)
0	417	60	540	119	665	179	768	238	937
3	423	61	544	121	669	180	771	240	949
4	421	64	553	123	675	182	780	242	952
6	424	65	554	125	675	184	783	244	960
7	428	67	555	126	680	186	786	246	955
9	434	69	562	128	681	187	790	247	963
11	436	70	566	130	681	189	796	249	971
13	447	72	570	131	687	191	800	250	968
14	450	74	570	133	688	193	801	252	972
16	445	75	571	135	690	194	819	254	980
18	451	77	579	136	695	196	824	256	984
19	452	79	578	138	698	198	826	257	983
21	457	80	590	140	705	199	829	259	990
23	462	82	595	141	705	201	831	261	991
24	465	84	582	143	710	203	838	263	998
26	471	85	595	145	711	204	841	264	1000
28	468	87	601	146	714	206	851	266	1000
29	477	89	592	148	713	208	855	267	1010
31	482	90	595	150	718	209	855	269	1010
33	487	93	612	151	720	211	855	271	1020
35	483	94	621	154	727	213	873	273	1030
36	490	96	616	155	727	215	879	275	1030
38	496	97	619	157	730	217	877	276	1030
40	500	99	614	158	736	218	888	278	1040
41	503	101	615	160	735	220	890	279	1040
43	510	103	635	162	741	221	892	281	1050
45	510	104	638	164	741	223	897	283	1050
47	519	106	643	165	744	225	900	285	1050
48	518	108	644	167	746	227	910	286	1060
50	520	109	644	169	752	228	916	288	1070
51	525	111	646	170	753	230	918	290	1070
53	529	113	654	172	757	232	927	291	1080
55	537	114	652	174	758	233	934	293	1080
57	533	116	657	175	765	235	932	295	1080
58	541	118	662	177	766	237	930	296	1090

Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)
298	1090	359	1190	420	1270	481	1340	542	1400
300	1100	361	1190	422	1280	483	1340	544	1410
301	1100	363	1200	424	1280	485	1340	546	1410
303	1100	365	1200	426	1270	486	1350	547	1410
305	1110	366	1210	427	1280	488	1350	549	1410
307	1110	368	1210	429	1280	490	1340	551	1420
308	1110	369	1220	430	1280	492	1350	553	1420
310	1120	371	1220	432	1290	493	1360	554	1420
312	1120	373	1220	434	1290	495	1360	556	1420
314	1120	375	1220	436	1290	497	1360	557	1420
315	1130	376	1220	437	1300	498	1360	559	1420
317	1130	378	1220	439	1300	500	1360	561	1430
318	1130	380	1230	441	1300	502	1360	562	1430
320	1130	382	1230	442	1300	503	1360	564	1430
322	1140	383	1230	444	1300	505	1370	566	1430
324	1140	385	1220	446	1300	507	1370	567	1430
325	1140	386	1230	447	1300	508	1370	569	1440
327	1140	388	1220	449	1300	510	1360	571	1440
328	1150	390	1230	451	1300	512	1380	573	1440
330	1150	392	1240	453	1310	514	1380	574	1440
332	1150	394	1240	454	1310	515	1380	576	1430
334	1150	395	1240	456	1310	517	1380	578	1450
336	1160	397	1240	458	1320	518	1380	579	1440
337	1160	398	1240	459	1320	520	1380	581	1450
339	1160	400	1250	461	1320	522	1380	583	1450
340	1160	402	1260	463	1330	524	1380	585	1450
342	1160	404	1260	464	1320	525	1380	586	1450
344	1170	405	1260	466	1330	527	1390	588	1450
346	1170	407	1250	468	1330	529	1390	590	1460
347	1170	409	1260	469	1330	530	1390	591	1460
349	1170	410	1260	471	1330	532	1390	593	1460
351	1180	412	1270	473	1340	534	1390	595	1460
352	1180	414	1270	474	1330	535	1390	596	1460
354	1180	415	1270	476	1340	537	1390	598	1470
356	1180	417	1270	478	1330	539	1400	599	1470
357	1180	419	1270	479	1330	540	1400	601	1470

Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)
603	1480	664	1530	725	1610	786	1670	847	1740
605	1470	666	1530	727	1610	787	1670	848	1740
607	1480	667	1530	728	1610	789	1670	850	1740
608	1480	669	1540	730	1620	791	1670	852	1740
610	1480	671	1540	732	1620	793	1680	854	1740
612	1480	673	1540	733	1620	794	1680	855	1750
613	1480	674	1550	735	1620	796	1680	857	1750
615	1480	676	1550	737	1630	798	1680	859	1750
617	1490	678	1550	738	1620	799	1680	860	1750
618	1490	679	1550	740	1620	801	1690	862	1750
620	1490	681	1550	742	1620	803	1690	864	1750
622	1490	683	1550	743	1620	804	1690	865	1750
623	1500	684	1560	745	1620	806	1690	867	1760
625	1480	686	1560	747	1630	808	1690	869	1760
627	1490	687	1560	748	1630	809	1700	870	1760
628	1500	689	1560	750	1630	811	1690	872	1760
630	1500	691	1560	752	1640	813	1700	874	1760
632	1510	693	1570	754	1640	815	1700	876	1760
634	1510	695	1570	755	1640	816	1700	877	1760
635	1510	696	1570	757	1640	818	1700	879	1760
637	1510	698	1570	759	1640	820	1710	880	1760
639	1510	699	1580	760	1650	822	1710	882	1760
640	1510	701	1570	762	1650	823	1710	884	1760
642	1520	703	1570	764	1650	825	1710	886	1770
644	1520	705	1580	766	1650	826	1720	887	1770
645	1520	706	1580	767	1650	828	1720	889	1770
647	1510	708	1580	769	1650	830	1720	891	1770
649	1520	710	1580	770	1660	832	1720	892	1780
650	1520	711	1590	772	1660	833	1720	894	1780
652	1520	713	1590	774	1660	835	1720	896	1770
654	1530	715	1590	776	1660	836	1730	897	1780
655	1530	716	1590	777	1660	838	1730	899	1780
657	1520	718	1600	779	1660	840	1730	901	1780
659	1530	720	1600	780	1670	842	1740	903	1790
660	1530	722	1610	783	1670	843	1730	904	1790
662	1530	723	1610	784	1660	845	1740	906	1790

Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)
908	1790	968	1860	1029	1920	1090	1970	1152	2030
909	1800	970	1870	1031	1920	1092	1970	1154	2030
911	1800	972	1860	1033	1930	1094	1970	1156	2030
913	1810	974	1870	1034	1920	1095	1970	1157	2040
914	1810	975	1870	1036	1930	1097	1970	1159	2030
916	1810	977	1870	1038	1930	1099	1970	1161	2030
918	1810	978	1870	1039	1920	1100	1980	1162	2020
919	1810	980	1870	1041	1930	1102	1980	1164	2030
921	1810	982	1880	1043	1930	1104	1980	1166	2030
923	1820	983	1880	1044	1930	1106	1980	1168	2040
924	1820	985	1880	1046	1940	1107	1980	1169	2040
926	1820	987	1880	1048	1940	1109	1990	1171	2040
928	1820	988	1880	1049	1940	1111	1990	1173	2050
929	1820	990	1880	1051	1940	1113	2000	1175	2050
931	1830	992	1890	1053	1940	1114	1990	1176	2050
933	1830	994	1890	1055	1940	1116	1990	1178	2050
935	1830	995	1890	1056	1940	1118	2000	1180	2050
936	1830	997	1890	1058	1940	1119	2000	1182	2050
938	1840	999	1890	1059	1940	1121	2000	1183	2050
940	1840	1000	1890	1061	1950	1123	2000	1185	2050
942	1840	1002	1890	1063	1940	1125	2000	1187	2050
943	1840	1004	1890	1065	1950	1126	2000	1188	2060
945	1840	1006	1890	1066	1950	1128	2010	1190	2060
946	1840	1007	1890	1068	1950	1130	2010	1192	2070
948	1840	1009	1900	1070	1950	1131	2010	1194	2060
950	1840	1010	1900	1072	1960	1133	2020	1195	2060
951	1850	1012	1900	1073	1960	1135	2010	1197	2070
953	1850	1014	1910	1075	1960	1136	2020	1199	2070
955	1850	1016	1900	1076	1960	1138	2020	1200	2070
956	1850	1017	1910	1078	1960	1140	2020	1203	2070
958	1850	1019	1910	1080	1960	1142	2020	1204	2080
960	1850	1020	1910	1082	1970	1144	2020	1206	2080
962	1860	1023	1920	1084	1970	1145	2020	1208	2080
963	1860	1024	1910	1085	1970	1147	2020	1209	2080
965	1860	1026	1920	1087	1980	1149	2020	1211	2090
967	1860	1027	1920	1089	1980	1150	2020	1213	2090

Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)	Eltelt idő (perc)	CO ₂ (ppm)
1215	2090	1279	2230	1340	2480	1402	2710	1463	2950
1216	2090	1281	2240	1342	2460	1403	2720	1465	2960
1218	2090	1282	2240	1344	2500	1405	2730	1467	2970
1220	2100	1284	2260	1345	2490	1407	2730	1468	2980
1222	2100	1286	2260	1347	2520	1408	2750	1470	2980
1226	2100	1287	2270	1349	2530	1410	2740	1472	2990
1228	2110	1289	2270	1350	2530	1412	2770	1474	2990
1230	2110	1291	2280	1353	2540	1414	2760	1475	3000
1232	2120	1293	2290	1354	2530	1416	2770	1477	3010
1233	2120	1294	2290	1356	2530	1417	2770	1479	3010
1235	2120	1296	2290	1357	2550	1419	2790	1480	3020
1237	2130	1298	2300	1359	2570	1420	2800	1482	3020
1238	2130	1299	2320	1361	2570	1422	2810	1484	3030
1240	2130	1301	2330	1363	2570	1424	2820	1486	3040
1242	2140	1303	2340	1364	2590	1426	2820	1487	3050
1243	2140	1305	2340	1366	2600	1427	2830	1489	3060
1245	2140	1306	2350	1368	2570	1429	2820	1491	3060
1247	2150	1308	2340	1369	2610	1431	2840	1492	3060
1248	2150	1310	2360	1371	2620	1433	2850	1494	3070
1250	2160	1311	2360	1373	2610	1434	2860	1496	3080
1252	2160	1313	2370	1374	2630	1436	2860	1497	3090
1253	2170	1315	2360	1376	2640	1437	2860	1499	3090
1255	2160	1316	2370	1378	2640	1439	2880	1501	3100
1257	2180	1318	2390	1379	2660	1441	2880	1503	3110
1258	2180	1320	2390	1382	2670	1443	2890	1504	3110
1260	2180	1322	2390	1383	2660	1445	2890	1506	3110
1262	2190	1323	2410	1385	2660	1446	2900	1508	3120
1264	2200	1325	2400	1386	2660	1448	2900	1509	3130
1265	2200	1327	2390	1388	2680	1450	2890	1511	3140
1267	2200	1328	2400	1390	2660	1452	2910	1513	3140
1269	2210	1330	2400	1392	2680	1453	2910	1515	3140
1270	2210	1332	2420	1393	2670	1455	2920	1516	3150
1272	2220	1334	2450	1395	2680	1457	2920	1518	3160
1274	2210	1335	2480	1397	2690	1458	2930	1520	3170
1276	2220	1337	2480	1398	2710	1460	2940	1521	3180
1277	2230	1339	2480	1400	2700	1462	2950	1523	3180

3. Halastavi üledékből *in vitro* mért CO₂ koncentrációk (ppm) semleges (nit) és oxidáló (ox) légkörben. HAKI, Szarvas, 2002. november 7.

Idő nit	CO ₂ nit	Idő ox	CO ₂ ox	Idő nit	CO ₂ nit	Idő ox	CO ₂ ox
0.0	497	0.0	1970	0.8	917	0.8	3780
0.0	446	0.0	2100	0.8	930	0.8	3810
0.0	444	0.0	2190	0.8	941	0.8	3830
0.1	317	0.1	2280	0.8	952	0.8	3860
0.1	350	0.1	2360	0.9	965	0.9	3890
0.1	377	0.1	2440	0.9	975	0.9	3910
0.1	413	0.1	2520	0.9	985	0.9	3950
0.2	436	0.2	2580	0.9	997	0.9	3980
0.2	463	0.2	2640	0.9	1010	1.0	4030
0.2	484	0.2	2700	1.0	1030	1.0	4040
0.2	507	0.2	2750	1.0	1030	1.0	4050
0.2	530	0.2	2810	1.0	1040	1.0	4060
0.3	550	0.3	2860	1.0	1050	1.0	4110
0.3	574	0.3	2940	1.1	1060	1.1	4130
0.3	593	0.3	2980	1.1	1070	1.1	4160
0.3	611	0.3	3020	1.1	1080	1.1	4170
0.4	627	0.4	3080	1.1	1100	1.1	4180
0.4	645	0.4	3130	1.2	1110	1.2	4190
0.4	665	0.4	3170	1.2	1120	1.2	4220
0.4	679	0.4	3230	1.2	1120	1.2	4230
0.4	697	0.4	3240	1.2	1130	1.2	4290
0.5	721	0.5	3290	1.2	1140	1.2	4310
0.5	734	0.5	3330	1.3	1150	1.3	4350
0.5	749	0.5	3380	1.3	1160	1.3	4380
0.5	766	0.5	3400	1.3	1170	1.3	4390
0.6	781	0.6	3450	1.3	1180	1.6	4570
0.6	796	0.6	3480	1.4	1180	1.6	4600
0.6	809	0.6	3500	1.4	1190	1.6	4620
0.6	828	0.6	3550	1.4	1200	1.7	4640
0.6	839	0.6	3580	1.4	1200	1.7	4650
0.7	851	0.7	3600	1.4	1220	1.7	4640
0.7	864	0.7	3630	1.5	1230	1.7	4650
0.7	876	0.7	3650	1.5	1240	1.8	4690
0.7	890	0.7	3680	1.5	1240	1.8	4680
0.8	902	0.8	3720	1.5	1250	1.8	4720

Idő nit (óra)	CO ₂ nit (ppm)	Idő ox (óra)	CO ₂ ox (ppm)	Idő nit (óra)	CO ₂ nit (ppm)	Idő ox (óra)	CO ₂ ox (ppm)
1.6	1260	1.8	4730	2.3	1490	2.6	5210
1.6	1270	1.9	4770	2.3	1490	2.7	5230
1.6	1270	1.9	4760	2.3	1490	2.7	5230
1.6	1280	1.9	4790	2.4	1500	2.7	5230
1.6	1290	2.0	4800	2.4	1510	2.7	5250
1.7	1300	2.0	4860	2.4	1510	2.7	5250
1.7	1300	2.0	4850	2.4	1520	2.8	5280
1.7	1310	2.0	4860	2.5	1530	2.8	5280
1.7	1320	2.1	4890	2.5	1530	2.8	5290
1.8	1320	2.1	4920	2.5	1540	2.8	5300
1.8	1330	2.1	4920	2.5	1540	2.9	5320
1.8	1340	2.1	4940	2.6	1550	2.9	5330
1.8	1340	2.2	4960	2.6	1550	2.9	5340
1.8	1350	2.2	4970	2.6	1560	2.9	5360
1.9	1360	2.2	4970	2.6	1560	2.9	5350
1.9	1360	2.2	4990	2.6	1570	3.0	5360
1.9	1370	2.2	5000	2.7	1580	3.0	5360
1.9	1370	2.3	5010	2.7	1580	3.0	5390
1.9	1380	2.3	5000	2.7	1590	3.0	5390
2.0	1390	2.3	5010	2.7	1590	3.1	5400
2.0	1400	2.3	5040	2.7	1600	3.1	5420
2.0	1400	2.3	5050	2.8	1600	3.1	5450
2.0	1410	2.4	5050	2.8	1610	3.1	5430
2.1	1420	2.4	5100	2.8	1610	3.1	5420
2.1	1420	2.4	5080	2.8	1620	3.2	5440
2.1	1430	2.4	5090	2.9	1620	3.2	5430
2.1	1440	2.5	5120	2.9	1630	3.2	5460
2.2	1440	2.5	5150	2.9	1630	3.2	5460
2.2	1450	2.5	5140	2.9	1640	3.3	5480
2.2	1450	2.5	5150	2.9	1640	3.3	5480
2.2	1460	2.5	5140	3.0	1650	3.3	5470
2.2	1470	2.6	5160	3.0	1650	3.3	5490
2.3	1470	2.6	5190	3.0	1660	3.3	5500
2.3	1480	2.6	5200	3.0	1660	3.4	5490

Idő nit (óra)	CO ₂ nit (ppm)	Idő ox (óra)	CO ₂ ox (ppm)	Idő nit (óra)	CO ₂ nit (ppm)	Idő ox (óra)	CO ₂ ox (ppm)
3.1	1670	3.4	5490	3.8	1810	4.2	5760
3.1	1670	3.4	5500	3.9	1820	4.2	5770
3.1	1670	3.4	5540	3.9	1820	4.2	5770
3.1	1690	3.5	5540	3.9	1820	4.2	5790
3.2	1690	3.5	5540	3.9	1830	4.3	5780
3.2	1690	3.5	5550	3.9	1830	4.3	5790
3.2	1700	3.5	5550	4.0	1840	4.3	5770
3.2	1700	3.5	5580	4.0	1840	4.3	5790
3.2	1700	3.6	5580	4.0	1840	4.3	5780
3.3	1710	3.6	5600	4.0	1850	4.4	5780
3.3	1710	3.6	5600	4.1	1850	4.4	5790
3.3	1720	3.6	5600	4.1	1850	4.4	5780
3.3	1720	3.7	5610	4.1	1860	4.4	5840
3.3	1720	3.7	5620	4.1	1860	4.5	5830
3.4	1730	3.7	5620	4.1	1860	4.5	5830
3.4	1740	3.7	5630	4.2	1870	4.5	5810
3.4	1730	3.7	5650	4.2	1870	4.5	5820
3.4	1740	3.8	5660	4.2	1880	4.5	5820
3.5	1750	3.8	5650	4.2	1880	4.6	5840
3.5	1750	3.8	5670	4.3	1880	4.6	5870
3.5	1750	3.8	5680	4.3	1880	4.6	5840
3.5	1760	3.8	5690	4.3	1890	4.6	5840
3.5	1760	3.9	5690	4.3	1890	4.6	5850
3.6	1770	3.9	5710	4.3	1890	4.7	5850
3.6	1770	3.9	5720	4.4	1900	4.7	5870
3.6	1770	3.9	5720	4.4	1900	4.7	5870
3.6	1780	4.0	5710	4.4	1900	4.7	5870
3.7	1790	4.0	5720	4.4	1910	4.8	5860
3.7	1790	4.0	5710	4.5	1920	4.8	5860
3.7	1790	4.0	5720	4.5	1910	4.8	5870
3.7	1790	4.1	5740	4.5	1920	4.8	5850
3.7	1800	4.1	5750	4.5	1920	4.8	5870
3.8	1800	4.1	5750	4.5	1930	4.9	5870
3.8	1810	4.1	5760	4.6	1930	4.9	5890
3.8	1810	4.1	5760	4.6	1930	4.9	5880

Idő nit (óra)	CO ₂ nit (ppm)	Idő ox (óra)	CO ₂ ox (ppm)	Idő nit (óra)	CO ₂ nit (ppm)	Idő ox (óra)	CO ₂ ox (ppm)
4.6	1940	4.9	5920	5.4	2030	5.7	6020
4.6	1940	5.0	5910	5.4	2040	5.7	6030
4.7	1940	5.0	5910	5.4	2040	5.8	6030
4.7	1940	5.0	5910	5.4	2040	5.8	6020
4.7	1950	5.0	5920	5.5	2050	5.8	6010
4.7	1950	5.0	5920	5.5	2050	5.8	6000
4.7	1960	5.1	5920	5.5	2050	5.8	6020
4.8	1950	5.1	5920	5.5	2050	5.9	6000
4.8	1960	5.1	5930	5.6	2050	5.9	6020
4.8	1970	5.1	5930	5.6	2050	5.9	6060
4.8	1960	5.2	5940	5.6	2060	5.9	6040
4.9	1970	5.2	5940	5.6	2060	6.0	6040
4.9	1970	5.2	5950	5.7	2060	6.0	6040
4.9	1970	5.2	5940	5.7	2070	6.0	6050
4.9	1980	5.2	5950	5.7	2070	6.0	6050
4.9	1980	5.3	5940	5.7	2070	6.0	6040
5.0	1990	5.3	5930	5.7	2070	6.1	6070
5.0	1990	5.3	5950	5.8	2070	6.1	6080
5.0	1990	5.3	5950	5.8	2080	6.1	6080
5.0	1990	5.4	5960	5.8	2080	6.1	6070
5.1	1990	5.4	5960	5.8	2080	6.2	6080
5.1	2000	5.4	5980	5.9	2090	6.2	6080
5.1	2000	5.4	6000	5.9	2080	6.2	6080
5.1	2010	5.5	6010	5.9	2090	6.2	6080
5.1	2010	5.5	6000	5.9	2090	6.3	6100
5.2	2000	5.5	6000	5.9	2090	6.3	6070
5.2	2010	5.5	6000	6.0	2110	6.3	6080
5.2	2010	5.5	5990	6.0	2100	6.3	6080
5.2	2020	5.6	6010	6.0	2100	6.3	6080
5.3	2020	5.6	6020	6.0	2100	6.4	6080
5.3	2020	5.6	6030	6.1	2110	6.4	6090
5.3	2020	5.6	6020	6.1	2110	6.4	6080
5.3	2030	5.7	6020	6.1	2110	6.4	6100
5.3	2030	5.7	6020	6.1	2120	6.5	6090
5.4	2020	5.7	6020	6.1	2110	6.5	6100

NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Mezőgazdaság-Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán a Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem AGTC MÉK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogydoktorjelölt 200..... - 200..... között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 20

.....
a témavezető aláírása