

# **Biológiai szennyvíztisztító energiafelhasználásának csökkentése a tápanyag eltávolítás hatásfokának növelésével**

Ditrói János szennyvízágazati főmérnök Debreceni Vízmű Zrt.

*A Debreceni Vízmű Zrt 2009-ben célul tűzte ki a technológiai folyamat belső tartalékainak feltárásával, a szennyvíztisztítás üzemeltetési költségének további csökkentését.*

*Ezt egyrészt a tisztított víz összes nitrogén koncentrációjának csökkentésével, másrészt a technológiai paraméterek (oldott oxigén, lebegőanyag koncentráció) optimalizálásával kívánta elérni.*

## **Bevezetés**

Debreceni szennyvíztisztító üzem az elmúlt években, a nyári időszakban megnövekedett – ipari eredetű termelés okozta – KOI terhelést, biotechnológiai optimalizálással sikeresen megoldotta, de ez nem járt együtt a tisztított vízben oldott ásványi nitrogén (ammónium és nitrát) koncentrációjának csökkentésével.

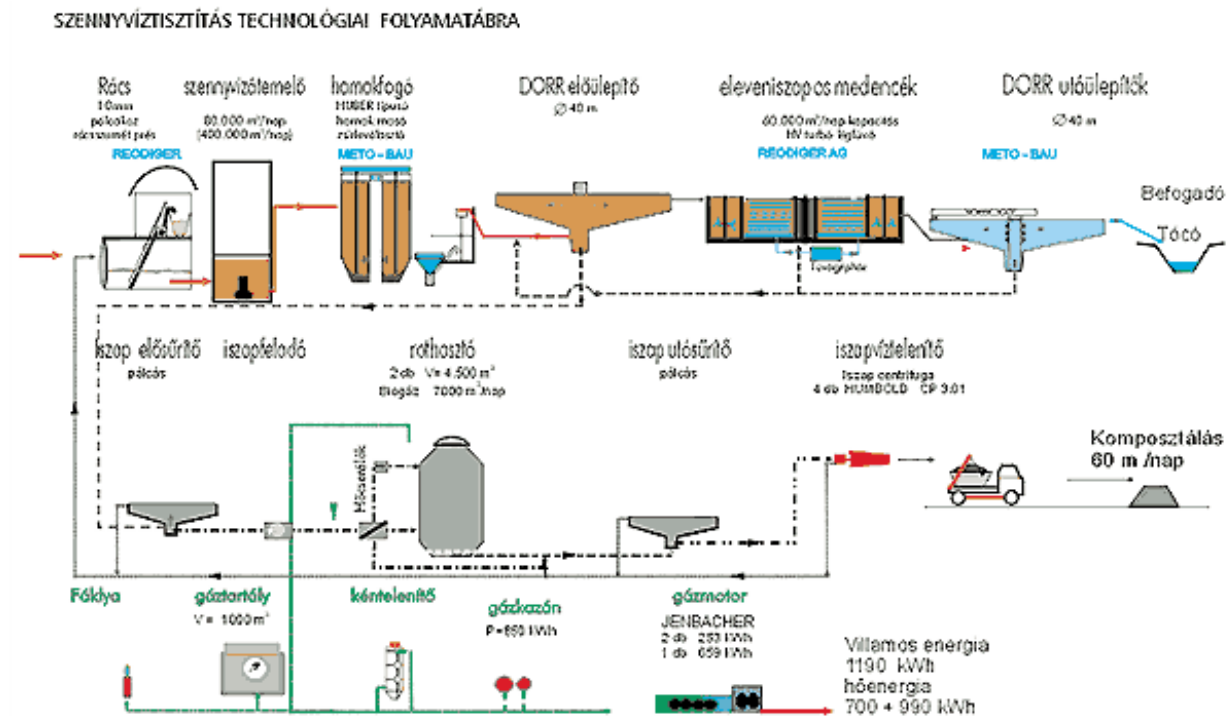
2009 –ben biotechnológiai fejlesztéssel a tisztított szennyvíz nitrát és ammónium nitrogén koncentrációját sikerült az elmúlt évek átlagának közel felére csökkenteni, aminek eredményeképp nemcsak a környezetterhelési díj, de a biológiai reaktorterek, eleveniszapos medencék levegőztetésének energia felhasználása is jelentősen csökkent.

Az **Investchem Kft** által kifejlesztett mikroflóra módosító starter kultúrákkal amellet, hogy üzemeltetési költséget és a kibocsátási paraméterek (TN) koncentrációját csökkenteni lehet, ily módon a rendszerben a fonalasodás is megszüntethető teljes kiépítettségű nagy telepek és előülepítő nélküli kis szennyvíztisztítók esetén egyaránt.

A szennyvíz részletes vizsgálati módszereit, annak eredményeit a Debreceni szennyvíztelepen vett minták elemzésével mutatjuk be.

## Tisztítási technológia leírása:

A biológiai szennyvíztisztítás kapacitásnövelés, a tisztított szennyvíz nitrogénkoncentráció és energia felhasználás csökkentés a biológiai reaktorterekben valósul meg, ezért a technológia magyarázatát továbbiakban erre a területre szűkítjük.



1. ábra

A tisztítómű biológiai reaktorai 2 db. egyenként 1440 m<sup>3</sup> térfogatú párhuzamos működtetésű denitrifikáló (anox), 4 párhuzamos működtetésű levegőztető és levegőztető-denitrifikáló medence rendszerként működnek. Egy-egy levegőztető medence térfogata: 3800 m<sup>3</sup>, míg a levegőztető-denitrifikáló medence egyenként: 2950 m<sup>3</sup>. Így egy tisztító ágon 3800m<sup>3</sup> + 2950m<sup>3</sup> térfogat áll rendelkezésre a KOI lebontásra és a nitrifikációra.

### ***A tisztítandó szennyvíz jellemző paramétereit***

A Debreceni Szennyvíztisztító telep a kommunális szennyvizeken kívül, időszakosan jelentős mennyiségű, ipari eredetű vizet is fogad.

A magas szervesanyag koncentrációjú ipari szennyvizek általában lökésszerűen érkeznek, s a kommunális szennyvízzel keveredve, a biológiai tisztítóegység átlagos terhelését egyik napról a másikra 50-100%-al növelhetik.

Az előülepített, a biológiai tisztító blokkokban naponta tisztított 36.000-50.000 m<sup>3</sup> szennyvíz forrás szerinti terhelésingadozását, a nem specifikus havi, illetve éves átlagos mérési adatok egyáltalán nem tükrözik (**1. és 2. táblázat**).

#### 1. táblázat

Az előülepített szennyvíz mennyisége és komponenseinek (nem specifikus minőségi jellemzőinek) forrás szerinti megoszlása

Forrás	Időszak	Mennyiség	KOI	NH <sub>4</sub> -N
		1000 m <sup>3</sup> /nap	[mg/L]	[mg/L]
Kommunális eredetű vizek	folyamatos	30-40	200-400	30-40
Ipari eredetű vizek				
gyógyszeripari	10-15 naponta 2-5 napig	1-3	1000-2000	10-100
konzervgyári	június-október	1-10	1000-2000	5-10
Rothasztó csurgalékvize	folyamatos	0,6-0,7	800-1000	600-900
előülepített víz		40	450	50
2007	éves átlag	40,6	430	52,7
2008	éves átlag	39,3	465	49,8
2009	éves átlag	37,6	448	49,0

2. táblázat Az előülepitett és tisztított szennyvíz mennyisége és a nem specifikus paraméter koncentrációja

2007.	Előülepitett szennyvíz			Biológiailag tisztított			Energia.biol kWh/d	Lebegőanyag g/L
	Q	KOI	NH <sub>4</sub> N	KOI	NH <sub>4</sub> N	NO <sub>3</sub> N		
	m <sup>3</sup> /d	mg/L						
jan	37 859	624	54,18	59	8,19	7,69	12 606	5,44
febr	41 030	453	49,97	52	4,00	10,01	12 307	3,87
márc	40 037	466	53,06	89	3,63	12,15	14 439	4,09
ápr	40 545	413	56,67	59	2,28	17,69	13 347	3,95
máj	42 505	287	58,29	56	1,53	27,40	13 406	3,58
jún	40 821	415	72,46	43	10,94	25,34	13 730	3,62
júl	40 707	385	49,97	39	0,82	19,31	12 548	3,69
aug	38 077	599	43,87	38	0,64	9,96	13 784	4,63
szept	40 174	440	45,73	29	0,70	11,36	11 373	4,70
okt	39 736	382	48,93	34	2,83	16,39	11 974	4,24
nov	42 983	357	52,48	33	2,26	29,06	10 123	3,48
dec	39 973	338	46,19	31	0,40	23,53	10 384	3,98

2008.	Előülepitett szennyvíz			Biológiailag tisztított			Energia.biol kWh/d	Lebegőanyag g/L
	Q	KOI	NH <sub>4</sub> N	KOI	NH <sub>4</sub> N	NO <sub>3</sub> N		
	m <sup>3</sup> /d	mg/L						
jan	38 287	390	53,1	36	1,6	17,0	11 052	3,64
febr	38 448	396	55,8	43	1,5	18,7	11 879	2,98
márc	39 104	413	54,4	57	1,6	16,5	10 045	2,49
ápr	42 416	350	48,7	45	1,0	15,6	11 157	2,68
máj	40 932	399	48,5	41	2,4	10,8	13 626	3,65
jún	41 737	615	43,9	61	5,9	2,7	12 470	4,82
júl	40 238	384	38,4	30	1,3	6,4	11 577	4,11
aug	38 075	625	45,6	37	2,7	6,3	14 558	5,63
szept	37 946	624	51,6	41	3,2	10,7	13 297	5,07
okt	35 870	449	57,7	37	13,1	15,7	11 245	3,59
nov	35 393	434	58,2	44	17,0	11,4	12 000	3,24
dec	36 286	354	53,9	36	9,1	11,0	12 000	3,39

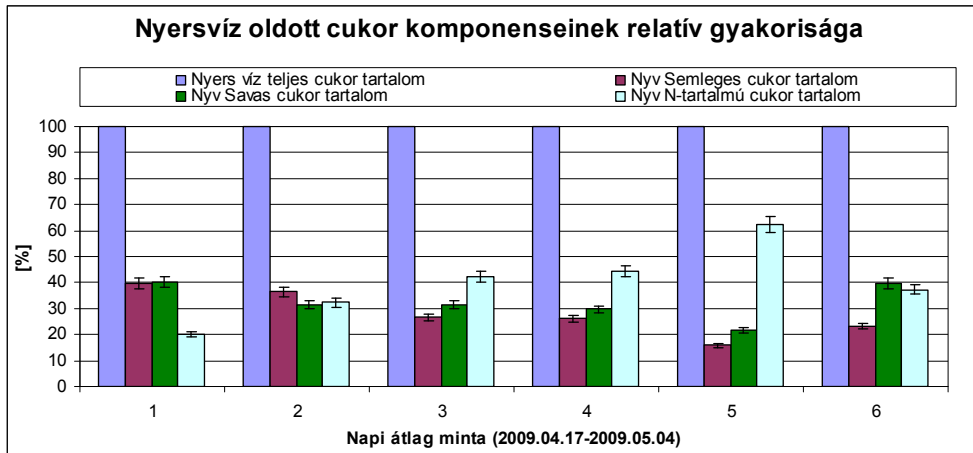
2009.	Előülepített szennyvíz			Biológiailag tisztított			Energia.biol kWh/d	Lebegőanyag g/L
		KOI	NH <sub>4</sub> N	KOI	NH <sub>4</sub> N	NO <sub>3</sub> N		
	m <sup>3</sup> /d	mg/L		mg/L				
jan	37 030	404	54,9	46	18,7	5,1	11 500	2,80
febr	40 195	411	55,1	97	23,5	3,9	12 000	3,09
márc	42 392	490	46,6	61	10,6	3,2	11 700	3,47
ápr	37 725	551	51,0	68	5,4	10,0	11 300	2,47
máj	38 541	509	49,5	62	4,2	8,9	7 592	2,19
jún	41 053	505	44,8	57	1,1	5,8	8 384	2,75
júl	36 489	400	44,0	62	4,7	6,6	7 755	2,28
aug.	34222	389	46,0	55	4,1	11,9	8 084	2,44
szept	33955	358	50,1	46	7,8	12,3	7 583	2,22
okt	35163	425	45,4	67	2,3	11,4	7 505	2,50
nov	38370	389	43,0	57	1,2	12,9	7 382	2,70
dec	36414	469	52,1	52	2,4	11,6	7 347	2,72

Az előülepített szennyvíz oldott KOI-ja főként (~90%-ban) a kommunális eredetű oldott cukorpolimerek koncentrációjától függ.

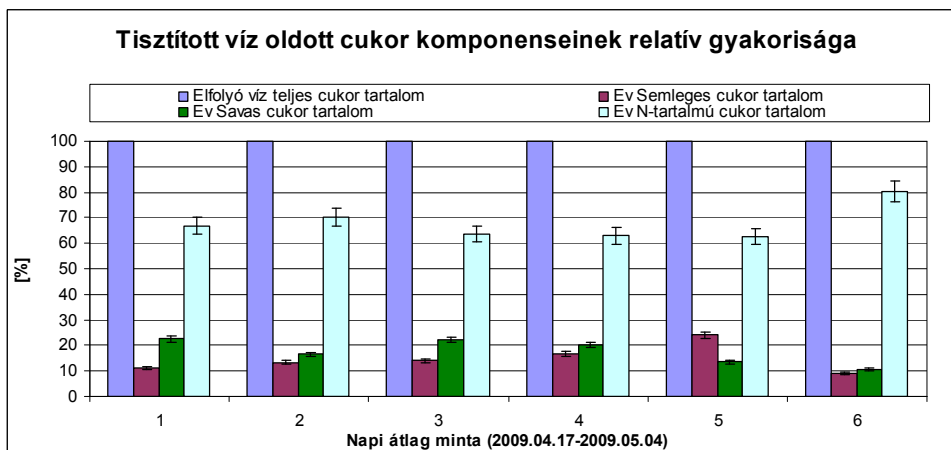
**A semleges:savas:nitrogén-tartalmú** cukorpolimerek **relatív aránya** általában **1 : 1 : 1**, ami a napi átlagmintákban meglehetősen tág határok között változik.

Debrecenben egyik napról a másikra leginkább – a főként mikrobiális eredetű -, szerves-nitrogén tartalmú cukorpolimerek (proteoglikánok) koncentrációja változott, amelyek előfordulási aránya az elfolyó vízben ~70% (**2., 3. és 4/a,b. ábra**).

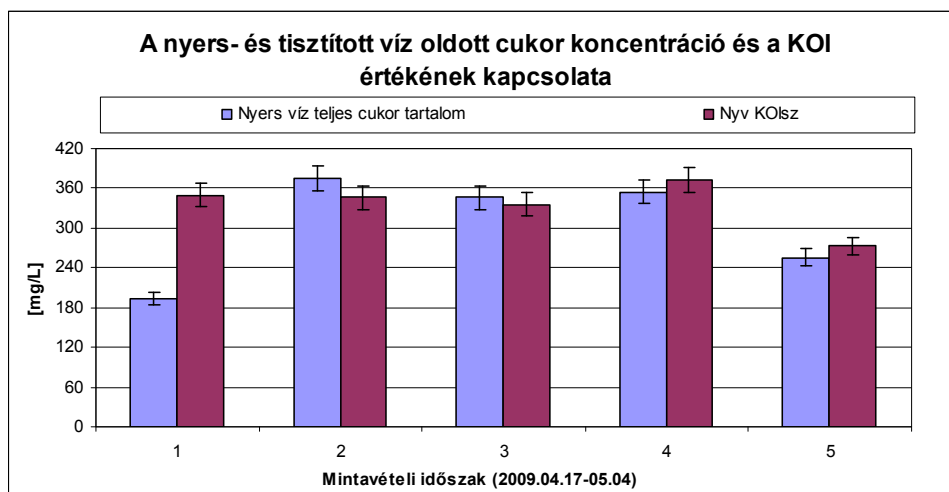
2. ábra: A nyersvíz oldott cukor komponenseinek relatív gyakorisága



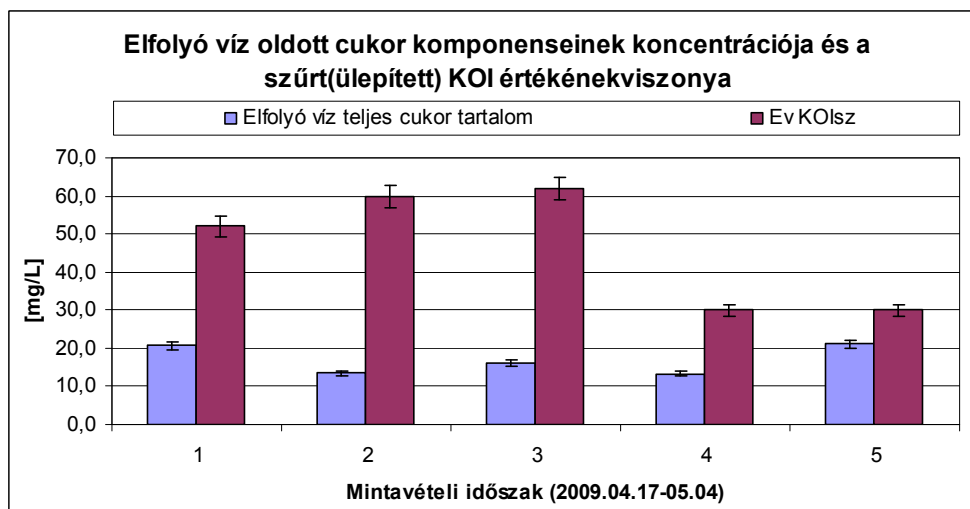
3. ábra: A tisztított víz oldott cukor komponenseinek relatív gyakorisága



4/a. ábra: A nyersvíz oldott cukor koncentráció és a KOI érték kapcsolata  
(mindkét mérés hibája  $\pm 10\%$ )



4/b. ábra: A tisztított víz oldott cukor koncentráció és a KOI érték kapcsolata  
(mindkét mérés hibája  $\pm 10\%$ )



### A szennyvíz szervesanyag tartalom változása az eleveniszapos terekben

A tisztítatlan és a tisztított víz UV/VIS (**5. ábra**) jelzi, hogy

- a nyers szennyvizet az előülepítőben fölös iszappal keverve ~30%-al csökken – a fotometriásan mérhető – oldott anyag koncentrációja, miközben a KOI feleződik
- a biológiai tisztító egységekben a fotometriásan mérhető koncentráció csökkenés ~50%-os, míg a KOI csökkenés nagyobb 90%-nál
- a tisztított vízben megjelennek – az ismeretlen kémiai összetételű- másodlagos fermentációs termékek (<250nm hullámhosszknál)

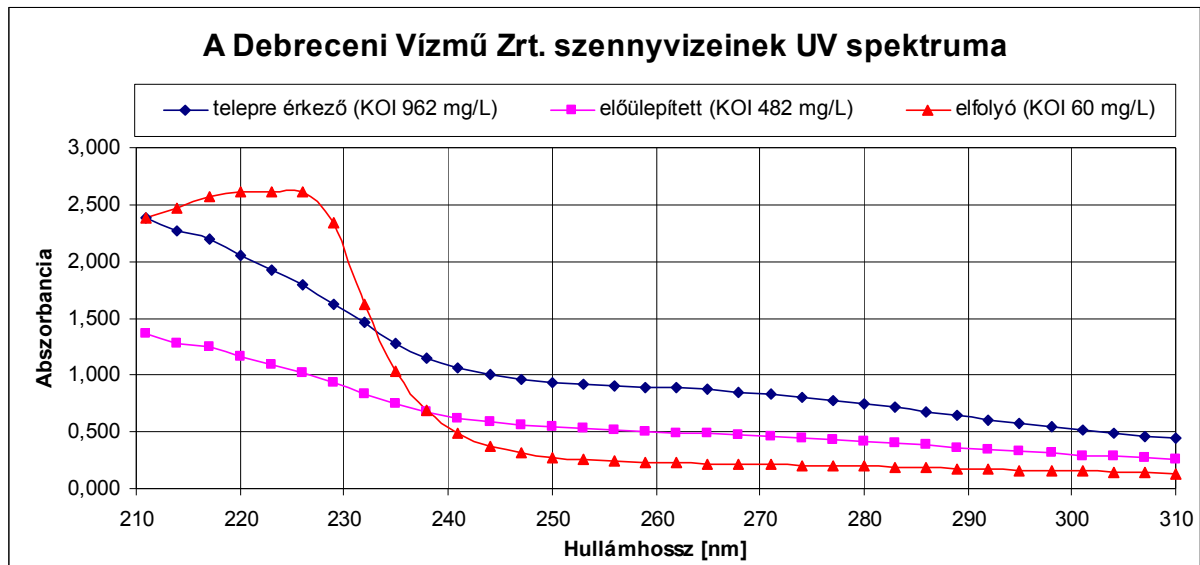
Míg a nyers és az előülepített szennyvíz oldott KOI-jának és a mért abszorbanciájának aránya jól tükrözi a tisztítási folyamatot, addig a biológiára érkező és a tisztított víz esetén a tapasztalatok más mutatnak.

Debrecenben a KOI/BOI-val és a cukor komponensek koncentrációjával mért tisztulás nagyobb, mint 90%, ezzel szemben fotometriás módszerrel mindössze ~50%-os csökkenés mérhető (4. és 5. ábra). A vizsgálati eredményekből látható, hogy

- fotometriás módszerrel -250-270 nm hullámhossz tartományban - a tisztított víz csak bizonyos (elsősorban aromás és/vagy telítetlen csoportokat tartalmazó) összetevőinek koncentráció változása követhető
- a tisztított vízben a cukorkomponensek koncentrációja általában a KOI-val mérhető szennyezettség fele
- a KOI érték jól követi az összes oldott és lebegőanyag koncentrációját, de nem mutatja az eleveniszap mikrobái által termelt, illetve a nyersvíz lebegőanyagának 'széteséséből' származó szennyezőanyagok megjelenését.



5. ábra: A Debreceni Vízmű Zrt. tisztító telepén fogadott, előülepített és tisztított (elfolyó) vizeire jellemző UV/VIS spektrum



A biológiára érkező szennyvíz szerves anyag koncentrációjának egy napon belüli változását folyamatos - fotometriás elven működő, 5 perces mintavételi gyakoriságú – műszerrel követve (5. ábra) láthatóvá vált a bejövő víz -250-270 nm hullámhossz tartományban mérhető- szennyezettségének 4 fő szakasza

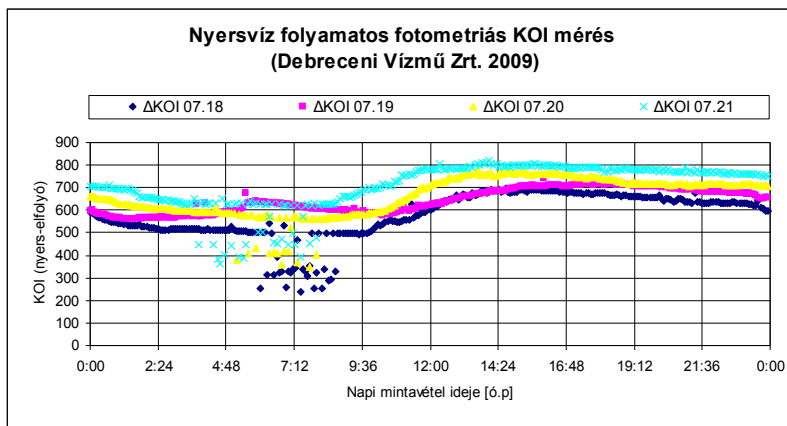
- 0-5 óra között általában csökkenő tendenciájú 5-10% ingadozású
- 5-9 óra között >15% változás
- 9-15 óra között nő a terhelés, kis (~5%) ingadozással
- **15-24 óra között legnagyobb terhelésnél a legkisebb (~2%-os) az ingadozás**

A biológia műtárgyakba jutó KOI terhelés  $650 \pm 150$  mg/L –egy rövid 5-9 óra közötti szakaszt leszámítva - viszonylag kis ingadozású, ami az eleveniszapos terekbe érkező a 10÷20-szoros hígulás miatt még egyenletesebbé válik. Azaz a biológiai tisztító terhelése általában egyenletesnek tekinthető (6. ábra), amit tükröz az oldott oxigén koncentrációval vezérelt légbefúvók energiafogyasztásának napi ingadozása is (7. ábra).

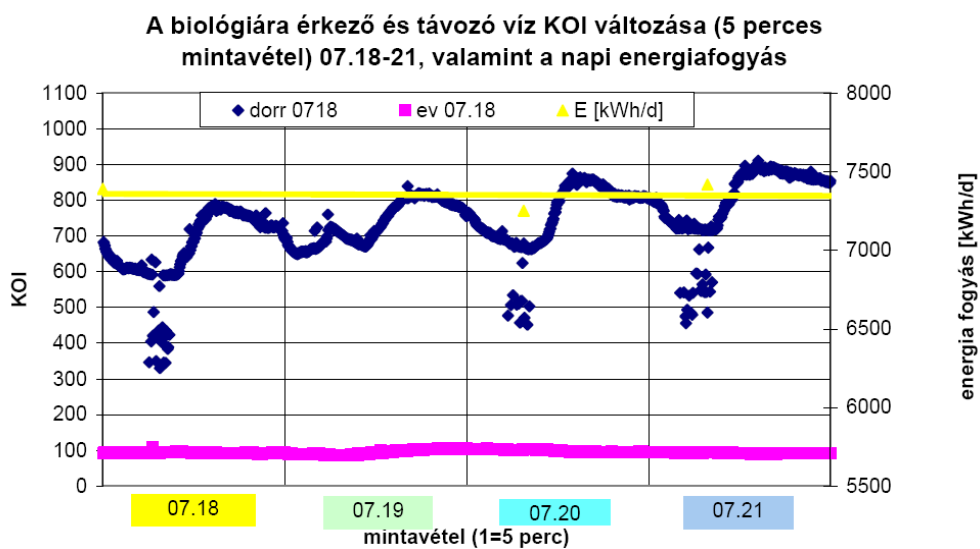
*A tisztítómű biológiai reaktortereibe érkező nyersvíz és a tisztított víz kémiai összetételének változása jól követhető a három módszer – fotometriásan mérhető vegyületek, és a cukorpolimerek koncentrációja, valamint a víz KOI értéke - egyidejű alkalmazásával, továbbá a szerves és szervetlen **nitrogén koncentráció** alakulásának mérésével.*

***Ezen módszerek vizsgálati eredményének ismeretében kiválaszthatók azok a mikroba közösségek, amelyekkel az eleveniszap mikroflóráját módosítva a nyersvízzel érkező szennyezőanyagot a leghatékonyabban képesek eltávolítani.***

6. ábra: A biológia műtárgyakba érkező KOI terhelés napon belüli változása



7. ábra: A biológia műtárgyakba érkező KOI terhelés és a tisztított víz KOI, valamint a levegőztetés energia igényének változása négy egymást követő napon



### A módosított mikroflórájú eleveniszap hatása a víz minőségre és az üzemeltetési költségre

A Debreceni vízmű Zrt célja a szennyvíztisztítás ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGÉNEK CSÖKKENTÉSE és a NITROGÉN eltávolítás hatékonyságának növelése, míg a Hajdúvíz Zrt Balmazújvárosi telepén ezeken túl, cél volt a fonalásodás okozta problémák megszüntetése is.

A fenti célok elérése érdekében kifejlesztett starter kultúra egyidejűleg kielégíti az alábbi szempontokat:

- képes az átlagosnál kétszer nagyobb nitrogén felvételére
- Jelentősen lecsökkenti a fonalásodást
- átlagos generációs ideje 1 napnál rövidebb
- a biológiai medencékben eltávolított nitrogén a szennyvíziszap rothasztó csurgalékvizével nem jut vissza a biológiai reaktorterekbe, az eleveniszapos medencékbe.
- a tisztított víz KOI értéke kibocsátási határértéken belül marad
- környezetkárosító hatása nincs.

A Debreceni szennyvíztelepen a 2008-as KTD csökkentést célzó mikroflóra módosítás levegőztetési energiaigényét (**3. táblázat**), gyakorlatilag nem változtatta meg.

#### 3. táblázat A biológiai tisztító egység napi energia igénye

időszak	Biológiai egység fajlagos energiaigénye		
	2007 [kWh/m <sup>3</sup> ]	2008 [kWh/m <sup>3</sup> ]	2009 [kWh/m <sup>3</sup> ]
nem oltott	<b>0,310</b>	<b>0,305</b>	<i>0,296</i>
oltott		0,339	<b>0,209</b>

A 2009. április 17-én a Debreceni szennyvíztelepen, a rendszerbe juttatott – a víz kémiai összetételének ismeretében összeállított nyári időszaki- starter kultúra mikróbai április 25.-re elérték a hatékony működéshez szükséges koncentrációt.

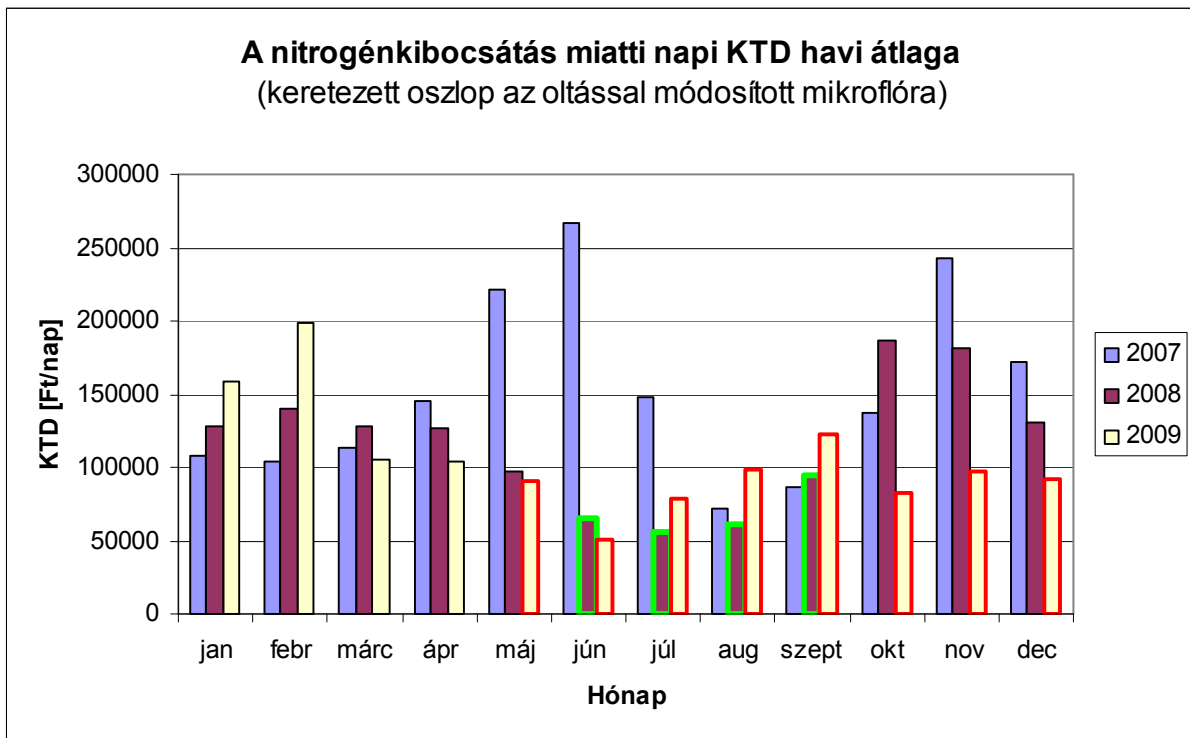
Annak ellenére, hogy májusban a biológiai tisztító a levegőztető elemek éves tervezett karbantartása miatt, <sup>3</sup>/<sub>4</sub> térfogati kapacitással fogadta tisztítandó vizet, a 2,5 g/L iszap koncentrációjú biológiai tisztító egységben már ebben az időszakban is ~20%-al csökkent az összes nitrogén kibocsátás és ~30%-al a napi energiafogyasztás.

A normál üzemmenet visszaállítása után a környezetterhelési díj (hasonlóan a 2008-as évhez) jelentősen csökkent, annak ellenére, hogy 2009 szeptemberében jelentős szaporodás gátló szennyezőanyag érkezett a telepre, amely csak november közepén ürült ki a rendszerből (**8. ábra**).

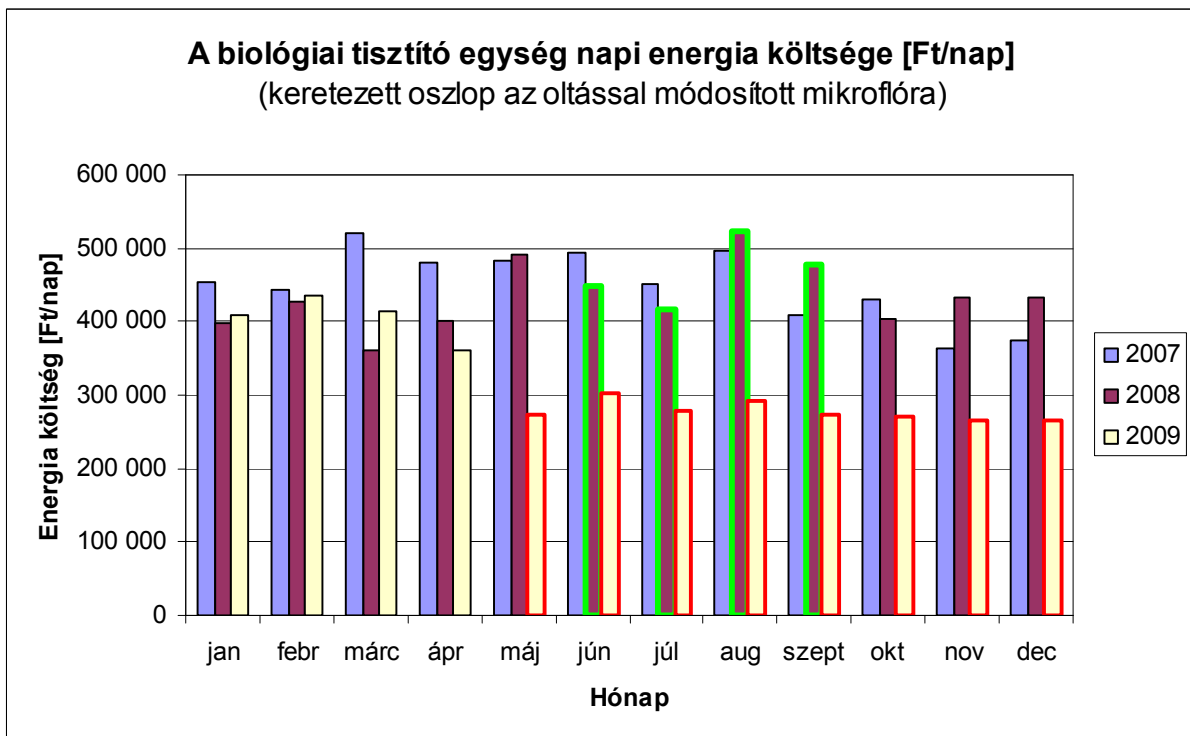
Az oltóanyaggal megváltoztatott mikroflóra lehetővé tette, az iszap 2-2,5 g/L-re (3-5 g/L-ről), az oldott oxigén koncentráció 1,3-1,5 mg/L-re (2,2-2,5 mg/L-ről) csökkentését. Ezek a paraméterváltoztatások ~30%-os energiaköltség megtakarítást eredményeztek (**9. ábra**).

A technológia módosítás költsége kevesebb volt, mint az üzemeltetési költség csökkenés 1/3-a, így a költség szintű nettó eredményesség javulás több mint 20%. A szennyvíztelep energia igényének és a rothasztó toronyban termelt biogázból előállított energia aránya jól szemlélteti, hogy a mikroflóra módosítás nem rontja a biogáz hozamot (**10. és 11. ábra**).

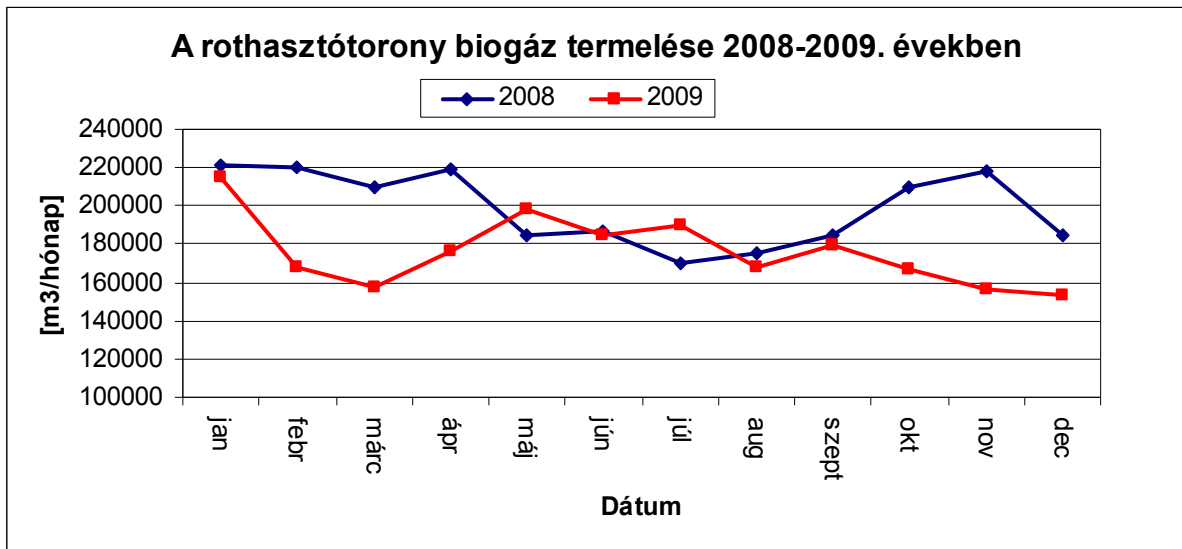
8. ábra A biológiai tisztító környezetterhelési díjának havi átlaga 2007-2009 években



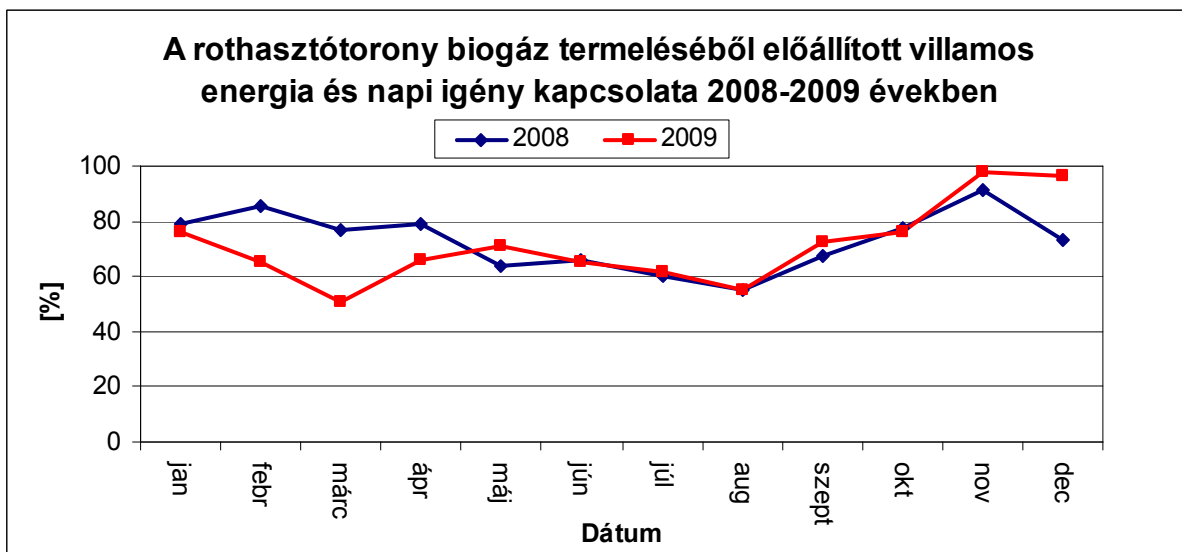
9. ábra: A biológiai tisztító egység napi energiaköltsége (havi átlag) 2007-2009 években



10. ábra: A rothasztótorony biogáz termelése (havi átlag) 2008-2009 években



11.sz ábra: A rothasztótorony biogáz termeléséből előállított villamos energia és a napi energiaigény kapcsolata (havi átlag) 2008-2009 években



### **Balmazújvárosi biotechnológiai optimalizálás tapasztalatai**

Balmazújvároson a 3580 m<sup>3</sup> eleveniszapos terű– OMS rendszerű biológiai tisztító hidraulikai terhelése a 2009-es ~1800 m<sup>3</sup>/nap-ról a belvíz miatt több mint 1,5-szeresére (~3000 m<sup>3</sup>/nap) nőtt. A fogadott szennyvíz *előülepítés nélkül* kerül a biológiai műtárgyakba. A szennyvíztelepen az utóülepítő és eleveniszapos tér aránya ~20% (Debrecenben ~50%), a hidraulikai tartózkodási idő ~1-2 nap (Debrecenben 1 nap). 2010. május 27.- én, a szennyvíztelep oxidációs rendszerébe juttatott – a víz kémiai összetételének ismeretében összeállított – starter kultúra mikrobái a 2 hét alatt érték el a hatékony működéshez szükséges ~3 g/L iszapkoncentrációt (4-4,5 g/L helyett) a kívánatos 1,2 mg/L maximális oldott oxigén koncentráció mellett. A paraméter optimalizálást követően az utóülepítő lebegőanyag koncentrációja szemmel láthatóan lecsökkent. Az ásványi Nitrogén koncentráció 16,4-ről a 13°C-nál magasabb vízhőmérséklet időszakában kevesebb, mint 2 mg/L-re csökkent és a leghidegebb és legnagyobb hidraulikai terhelésű időszakban is 16 mg/L alatt maradt. A légbefúvók alacsonyabb energia fogyasztása miatt a telep éves átlagos villamos-energia felhasználása ~22 %-kal csökkent.

**A balmazújvárosi tapasztalatok jól mutatják, hogy mikroflóra módosítással a közepes kapacitású, előülepítő nélküli szennyvíztelepeken is jelentős minőségi paraméter javulás és költségmegtakarítás érhető el.**

## Összefoglalás

A tisztítás üzemeltetési költsége függ az iszap tápanyag felvevő képességének (szervesanyag + oxigén) sebességétől.

Azaz a mikroflóra szaporodási dinamikája (szennyezőanyag koncentráció csökkenéséből az iszapképzésre fordított hányad) és az ehhez szükséges oxigén rendszerbe juttatásának költsége együtt határozza meg az üzemeltetési költség ~90%-át.

A tápanyag eltávolítás hatékonyságát jelentősen rontja a mikrobiálisan lassan - vagy a rendelkezésre álló idő alatt mérhető sebességgel nem – bontható az aktív iszapot hígító, nagy lebegőanyag koncentrációjú nyersvíz.

A szennyezőanyag eltávolítás akkor a leghatékonyabb és a másodlagos termékek koncentrációja a legalacsonyabb, ha a levegőztetett térben az eleveniszap koncentráció növekedése 20-35% és az oldott oxigén koncentráció alacsony (0,2-1,5 mg/L). Azaz ha 500 mg/L oldott KOI-t 1,8-2,5 g/L iszap koncentrációval és <1,5 mg/L oldott oxigénnel távolítunk el.

**A Debreceni Vízmű Zrt.-nél és a Balmazújvárosi OMS rendszerű szennyvíztelepen a technológia módosítás költsége kevesebb volt, mint az üzemeltetési költség csökkenés 1/3-a, így a költség szintű nettó eredményesség javulás több mint 20%.**

**A biotechnológiai optimalizálás a tápanyag eltávolítás hatékonyságának növelésén túl, az üzemeltetési költségcsökkentés hatékony eszköze, ha olyan mikroorganizmusokat telepítünk az anoxikus és levegőztetett medencékbe, amelyek**

- a szerves és a szerves amino vegyületeket képesek az átlagosnál legalább 2x nagyobb mennyiségben nitrogén-forrásként használni,
- a szennyvíz oldott szervesanyag tartalmán szaporodva jelentősen lecsökkentik annak KOI/BOI értékét
- visszaszorítják a fonalasodást
- a nitrifikálóknál sokkal gyorsabban szaporodnak, 10 napnál rövidebb iszapkor és kisebb iszap koncentráció esetén is jobb hatásfokkal képesek a bevitt nitrogént hasznosítani, mint a rendszerben állandóan jelen lévő mikrobák,
- a kisebb iszap koncentráció, és a nitrogén hatékony felhasználása (a sejt saját folyamataira) miatt csökken a rendszerbe juttatandó oxigén igény,
- a lebontható szervesanyag koncentráció változásával párhuzamosan változik a koncentrációjuk
- alkalmazásuknak természetkárosító hatása és biológiai kockázata nincs.

Ezzel a módszerrel **műtárgybővítés** és folyamatos segédanyag adagolás nélkül

- **jelentősen csökken** a tisztított víz **összes nitrogén** koncentrációja (<10mg/L]
- **oldott oxigén** koncentráció **0,2-1,5 mg/L**-re csökkenthető
- a **levegőztetés energia költsége > 20 %-al** csökkenthető
- bizonyos működési paraméter tartományban (hőmérséklet, tápanyag) **önszabályozó**, azok megváltozásakor az oltóanyag mikrobái kiürülnek a rendszerből