

BIOLÓGIAI SZENNYVÍZTISZTÍTÓ VILLAMOS ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE A LEVEGŐZTETÉS SZABÁLYOZÁS OPTIMALIZÁLÁSÁVAL

SZERZŐK:

DITRÓI JÁNOS SZENNYVÍZÁGAZATI FŐMÉRNÖK

FÜLÖP ZOLTÁN TECHNOLÓGUS, DEBRECENI VÍZMŰ ZRT.

KÓNYA TIBOR, TRV ZRT.

PANDUR JÓZSEF, INVESTCHEM KFT.

DUDÁS ANITA, SB-CONTROLS KFT.

Kulcsszavak: biológiai szennyvíztisztítás, kísérleti mérés technika, Ladi Pr gázanalizátor, levegőszabályozás villamos energia felhasználás csökkentése

A szennyvíztisztítók levegőztetett műtárgyainak gázterében a mikróbák által termelt illékony komponensek koncentrációját mérő és a levegőztetést terhelésfüggően szabályozó berendezéssel, üzemszerű kísérlet eredményeinek tanúsága szerint, a tisztítómű összes villamos energia felhasználásnak 10-35% mértékű csökkentése érhető el, miközben a tisztított víz minőségi paraméterei nem változnak.

Bevezetés

A kisebb kapacitású, oldott oxigén koncentrációval és a pontmintáknak a gyorseszttel mért vizsgálati eredményei alapján vezérelt szennyvíztelepek, az üzemelési engedélyben rögzített tisztított vízminőséget biztonságosan csak túllevégőztetéssel tudják elérni. Mivel az oldott oxigénes szabályozás nem az eltávolítandó szervesanyag mennyiségét követi, a biológiai reaktorterekbe az levegőbevitel akkor is megtörténik, amikor az szükségtelen.

A legújabb kutatási eredmények és az elektronikai ipar fejlődése lehetővé tette, hogy a levegőztetett medencék vízfelszín feletti gázterében valós időben mérjük a mikróbák

által termelt illékony komponensek koncentrációját. Azaz a mikrobiális tevékenység egy 'elektronikus orr'-ként működő berendezéssel is követhető.

Ezúton próbálunk kísérletet tenni arra, hogy bemutassuk az eleveniszapos szennyvíztisztítók levegőztetett műtárgyainak gázterében a mikróbák által termelt illékony komponensek koncentrációját mérő és a levegőztetést terhelésfüggően szabályozó LadiPr berendezést.

Tisztázandó, és egyben az eljárás egészét lényegileg meghatározza, hogy a LadiPr gá-

zanalizátorral mért értékek (PV) milyen kapcsolatban vannak a tisztítandó víz KOI, BOI_5 , NH_4^+ és NO_3^- koncentrációjával. A méréseket a debreceni szennyvíztisztító üzemnek a párhuzamosan kapcsolt biológiai blokk 3 sz. reaktortérben végeztük. A LadiPr gázanalizátor által mért illékony anyag koncentráció tesztelését 30 napig végeztük, mivel ott online módon történik a tisztítandó és a tisztított víz KOI, NH_4^+ és NO_3^- mérése.

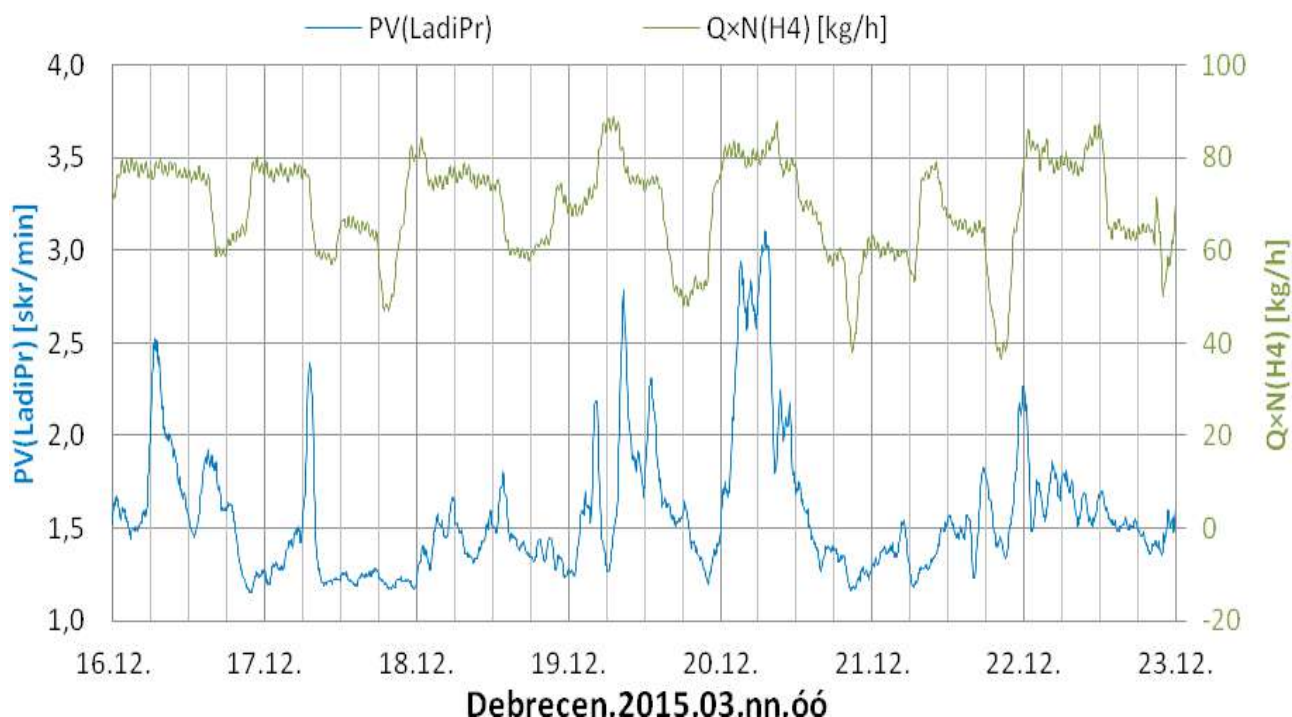
A Debreceni szennyvíztelepre érkező $35000 \pm 5000 \text{ m}^3/\text{nap}$ szennyvíz online mért ammónium-nitrogén terhelése és a gáztérben mért illékony szervesanyag koncentráció (PV_{LadiPr}) változásának dinamikája hasonló (**1. diagram**).

A 3-as biológiai medencében mért oldott oxigén koncentráció (DO) és a biológiai aktivitás (PV_{LadiPr}) időbeli változása jelentős, általában ellentétes irányú eltérést mutat (**2. diagram**). Az eltérés abból is látszik, hogy a két görbe nem hozható fedésbe egymással. A vegyületek és a fény kölcsönhatása időben is követhető abszorpcióváltozást okozhat 100nm-100µm hullámhossz tartományban. A koncentráció és az abszorpció közötti összefüggés a Beer-Lambert törvénnyel leírható.

Az oldott oxigén és a nitrát, valamint a mikrobiális aktivitás között sem látszik számszerűsíthető összefüggés (**3. diagram**).

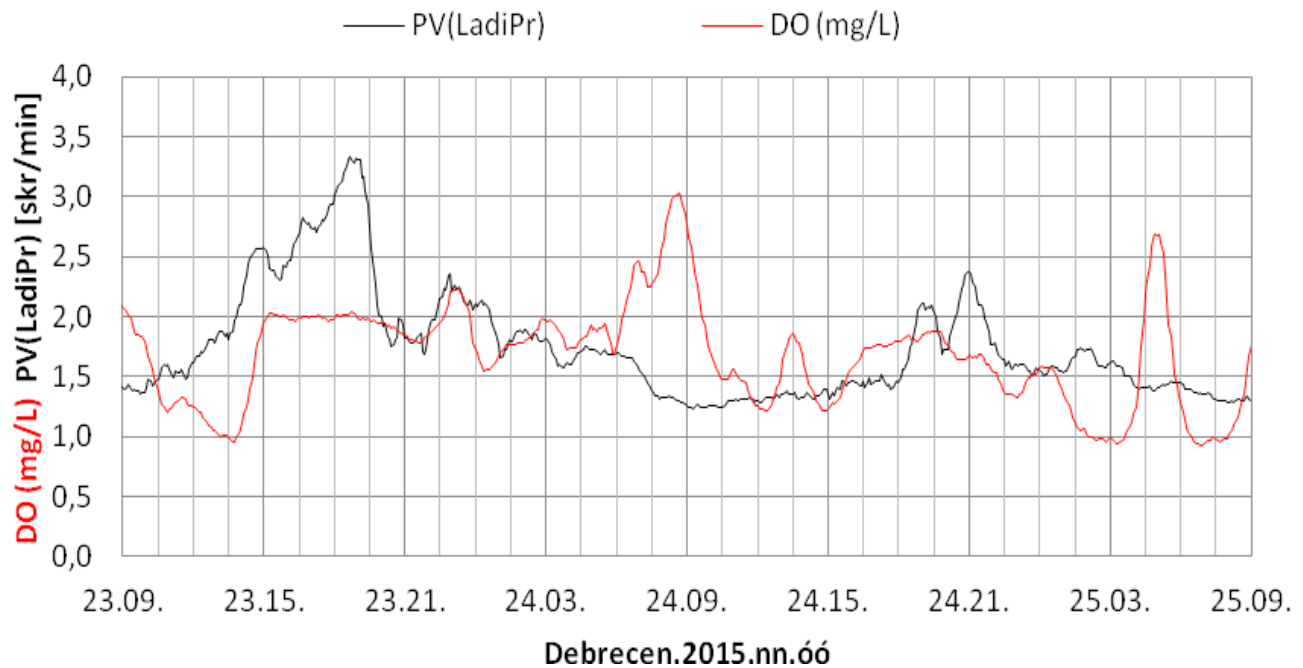
1.sz. diagram

Az online mért terhelés ($Q \times N$), valamint a 3-as levegőztetett medence biológiai aktivitásának PV(LadiPr) időbeli változása a Debreceni szennyvíztelepen



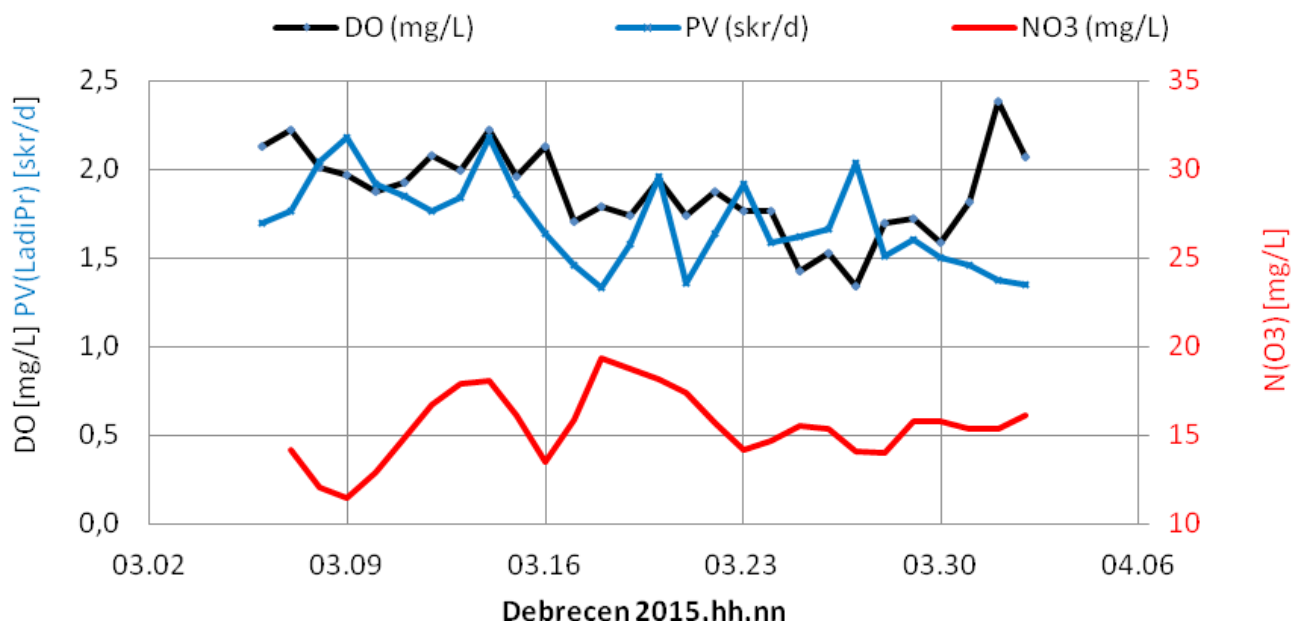
2.sz. diagram

Az oldott oxigén (DO) és a biológiai aktivitás (PV_{LadiPr}) időbeli változása a Debreceni szennyvíztelepen



3.sz. diagram

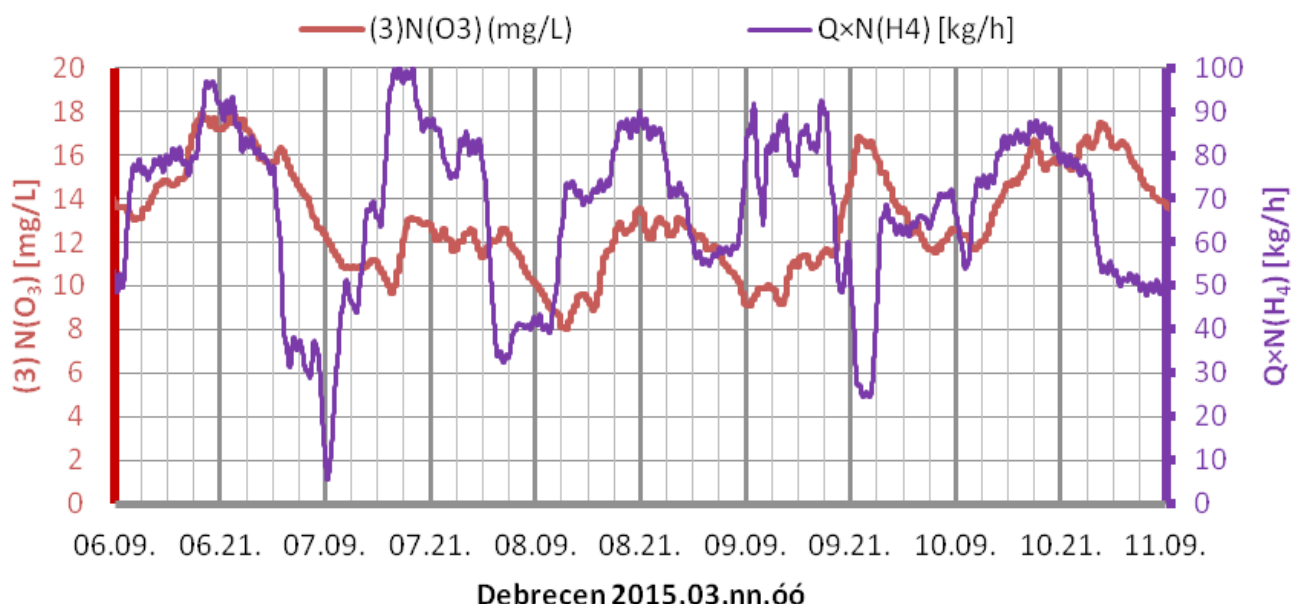
Az oldott oxigén (DO) a biológiai aktivitás (PV_{LadiPr}) és a nitrát koncentráció $N(O_3)$ napi átlagának időbeli változása a Debreceni szennyvíztelepen



A biológiai blokk ammónia terhelésének $\{Q \times N(H_4)\}$ és a 3-as medence nitrát koncentrációjának időbeli változás dinamikája sem mutat számszerűsíthető összefüggést (**4. diagram**).

4.sz. diagram

Az ammóniai terhelés $\{Q \times N(H_4)\}$ és a 3-as medence nitrát $\{N(O_3)\}$ koncentrációjának időbeli változása a Debreceni szennyvíztelepen



Azaz a fizikai-kémiai paraméterek többsége csak közvetett kapcsolatban van a levegőztetett eleveniszapos terek mikrobiális aktivitásával.

A levegőztetés szabályozása valós időben, a gáztérben mért biológiai aktivitással és a levegőztetett medence vizében mért oldott oxigénnel

A levegőztetett műtárgyban a lebontható szervesanyag mennyiségének napi változása sokkal nagyobb (30-50%) mint a fogadott szennyvíz mennyiségé ($\pm 10\%$). A LadiPr alkalmazásával lehetővé válik a szennyezőanyag eltávolítás valós idejű mérése. A 30 napos mérési eredmények igazolták, hogy az időegység alatt le-

bontott szennyezőanyag mennyisége arányos a gáztérben mért illékony szerves-anyaggal ($W \times PV$).

A Debreceni szennyvíztelepen végzett mérések alapján az online mért a fizikai-kémiai paraméterek közül az ammónia-terhelés (fogadott víz mennyiség $\times$ ammónium-ion koncentráció) és a levegőztetett eleveniszapos terek mikrobiális aktivitása a mérési eredmények által igazoltan szoros (az állításra vonatkozóan az **1. diagram** tartalmi része ad magyarázatot).

Az oldott oxigén és a vízben oldott anyagok koncentrációja között is mérhető az összefüggés. A kémiai reakciók (pl.: nitrifikáció, denitrifikáció, stb.) sebességének hőmérséklet függé-

se leírható az Arrhenius-egyenlettel. Ezért a biológiai medence gázterében mért illékony szerves anyaggal, az oldott oxigén koncentrációval és a vízhőmérséklettel háromparaméteres függvénykapcsolat készíthető. Ennek alkalmazásával online szabályozható a levegő igény, mivel a szennyvíztelep napi villamos energia fogyasztása (E) arányos a gázterben mért illékony szervesanyag mennyiségével. Azaz az alacsony terhelésű szakaszokban nem vagy kevésbé kell levegőztetni.

A 2014 augusztusában a Nyírlugoson telepített berendezés (LadiPr1) méri az aerob medence gázteréből (5 percenként) vett minta biológiai

aktivitását és összeveti az oldott oxigén koncentrációval. A két érték kombinálásával online szabályozza a levegőztetést (azaz optimalizálja a levegőztetés villamos energia fogyasztását). Nagyobb energia megtakarítást értünk el, amikor a szabályozást PLC kontrollálta (LadiPr2).

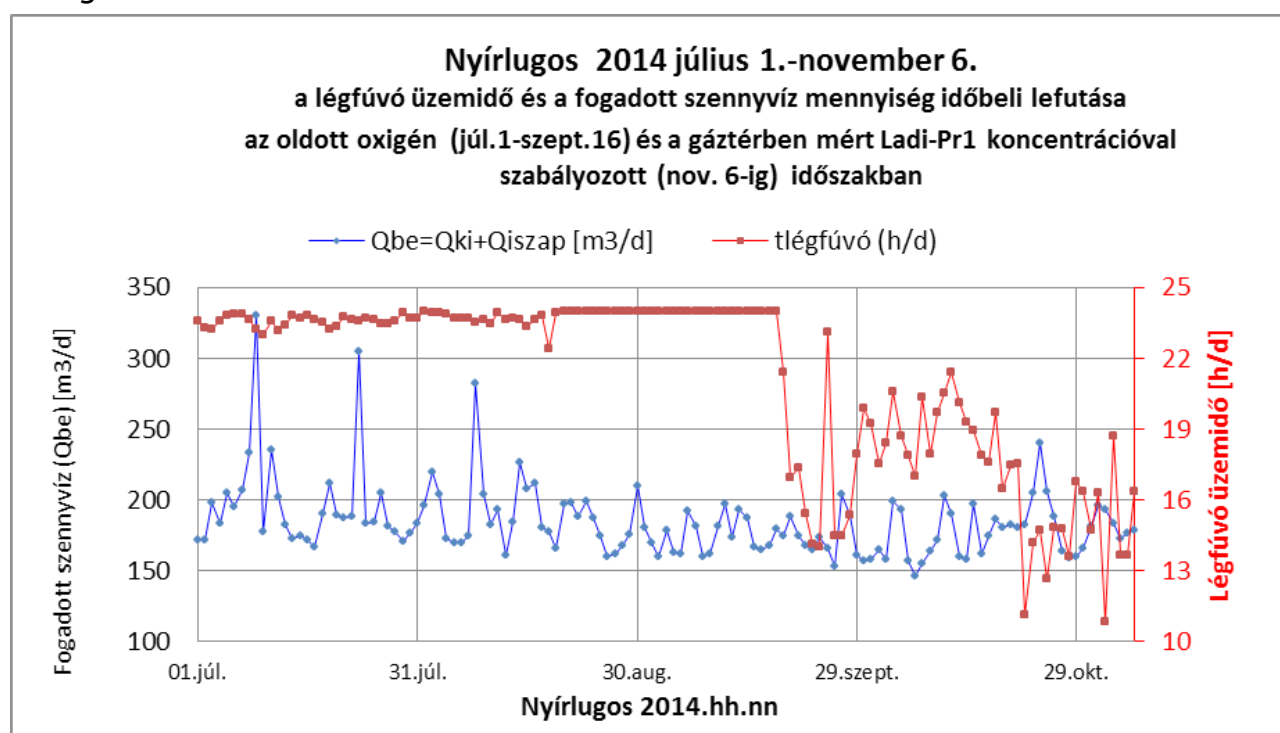
A Nyírlugosi szennyvíztelepre érkező $180 \pm 30 \text{ m}^3/\text{nap}$ szennyvíz mennyiségnek ugyanolyan mértékű tisztításához (1. táblázat) az oldott oxigénes szabályozással (DO) átlagosan 23,5 míg a gázterben mért LadiPr koncentrációval 12-18 légfúvó üzemóra szükséges (5. diagram).

1. táblázat

A Nyírlugosi szennyvíztelep termelési adatai 2014-2016 időszakban

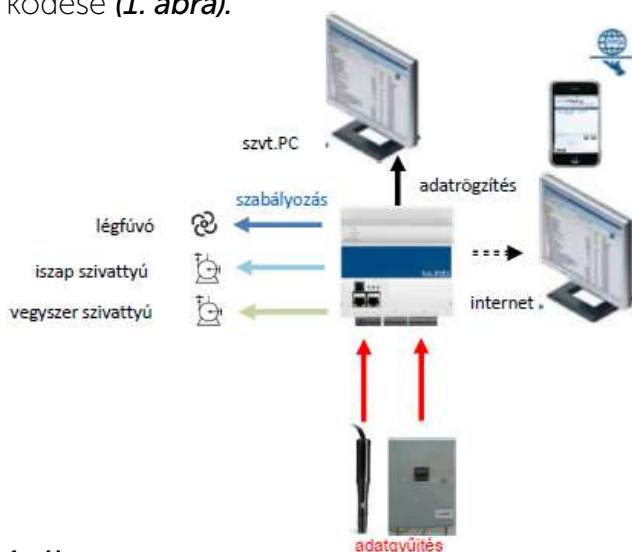
szabályozás módja	vizsgált időszak	E_{telep} (kWh/d)	Q_{be} (m^3/d)	E/Q (kWh/ m^3)	$t_{\text{fuv}(1+2)}$ (h/d)
oldott oxigén	2014.jan-aug	336	180	1,87	21,7
biológiai aktivitás	2014.09-2015.03.	265	171	1,55	17,6
LadiPr1	csökkenés (%)			16,98	19,04
biológiai aktivitás	2015.09-2016.03	242	172	1,41	15,2
LadiPr2 (PLC)	csökkenés (%)			24,6	30,0

5.diagram



A levegőztetés szabályozása LadiPr-PRS típusú berendezéssel

A TRV Zrt. Hajdúnánási szennyvíztelepén 2016. augusztusban üzembe helyezték a LadiPr-PRS típusú berendezést, amellyel távfelügyeleti rendszerben követhető a szennyvíztelep működése **(1. ábra)**.



1. ábra

A LadiPr-SBC működési elve

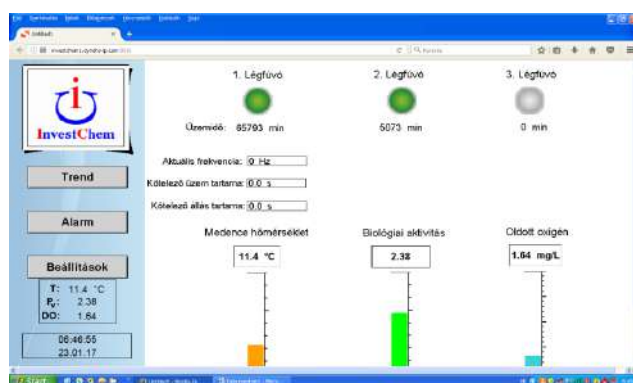
A LadiPr gázanalizátorral mérjük a biológiai aktivitást **(2. ábra)**. Az analizátor adatfeldolgozója egy Saia PCD vezérlőegység **(3. ábra)**, amely folyamatosan regisztrálja, tárolja a mért adatokat és egy router modem keresztül publikálja is azokat az illetékes szakemberek számára.



3. ábra

A Saia PCD és router elhelyezése a műszer szekrényben

Ezáltal a technológusok könnyedén ellenőrizhetik és követhetik a biológiai aktivitás (PV), oldott oxigén (DO), vízhőmérséklet (T) és a kompresszor kapcsolási állapot pillanatnyi értékét **(4. ábra)** irodai számítógépükről, vagy akár okostelefonjukról is.



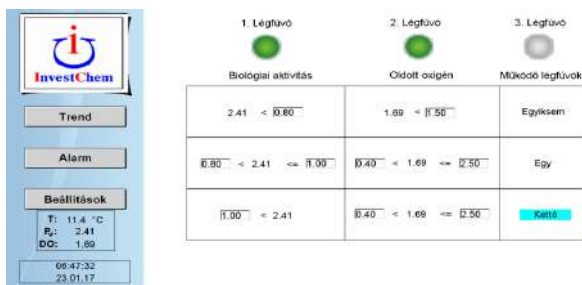
4. ábra

LadiPr-PRS aktuális paraméter tábla

2. ábra

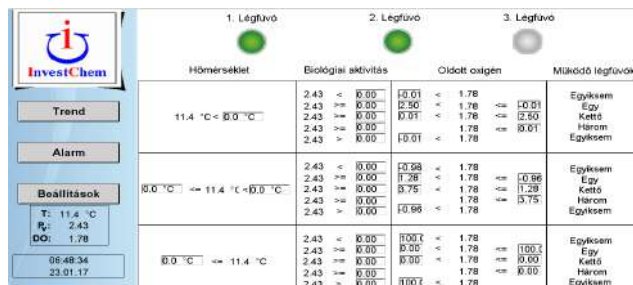
A biológiai medence oldalára szerelt LadiPr gázanalizátor

A levegőztetés szabályozása paraméter függő kapcsolási szintekkel **(5. ábra)** működik.



5. ábra

A biológiai aktivitás (PV) és az oldott oxigén (DO) kapcsolási szint LadiPr-PRS beállítási felülete



6. ábra

Hőmérséklet, biológiai aktivitás és oldott oxigén kapcsolási szint (LadiPr-PRS) beállítási felülete

Ha a kompresszorok frekvenciaváltóval szereltek, a berendezés idénytől -nyári ($T > 20^{\circ}\text{C}$), átmeneti ($14^{\circ}\text{C} < T < 20^{\circ}\text{C}$) és téli ($T < 14^{\circ}\text{C}$)- függően felkínálja a szabályozási paraméter tartományokat **(6. ábra)**. Ezeket szükség esetén az arra jogosult szakemberek meg tudják változtatni.

A biológiai aktivitás, az oldott oxigén koncentráció és a kompresszor kapcsolási állapot múltbeli változása követhető a trend diagramon **(7. ábra)**.



7. ábra

LadiPr-PRS napi trend diagram

Jelölések:

oldott oxigén (DO),
 biológiai aktivitás (Pv),
 kompresszor állapot (0: nem üzemel, 1: egy
 van bekapcsolva, 2: kettő üzemel)

Az analizátor a műszaki kialakításának, valamint a vezérlőegységnek köszönhetően alkalmas (a biológiai aktivitástól függő) iszap elvétel és vegyszerigény (pl. foszfát koncentrációt csökkentő reagens) optimalizálására, ha a telep vezérlő rendszere ezt lehetővé teszi.

Az aerob medence gázterében mért biológiai aktivitás és az oldott oxigén koncentráció változásával szabályozott levegőztetés eredményeképp az átlagosan 2680 m³/nap tisztított szennyvizet kibocsátó Hajdúnánási szennyvíztisztító telepen több mint 30% fajlagos villamos energia megtakarítás érték el **(2. táblázat)**, miközben a tisztított vízből (akkreditált módon) havonta, óránkénti átlagminták vizsgálati eredménye alapján - az előző évekhez képest - a tisztítás hatékonysága nem romlott.

2. táblázat

A Hajdúnánási szennyvíztelep havi átlag adatainak az oldott oxigénes és a LadiPr-PRS szabályozás időszakában

hónap	Oldott oxigén szabályozás			LadiPr-PRS szabályozás					
	E(2015) (kWh/hó)	Q(2015) (m ³ /hó)	E/Q (2015) (hó/hó)	E(2016) (kWh/hó)	Q(2016) (m ³ /hó)	E/Q (2016) (kWh/m ³)	ΔE/Q (%)	DO (mg/L)	Tox (°C/hó)
szept	48 780	71996	0,678	38 283	74669	0,513	-24,3	1,16	23,06
okt	49 881	71028	0,702	38 563	89081	0,433	-38,4	1,74	20,47
nov	49 639	75620	0,656	32 633	87398	0,373	-43,1	2,23	16,94
dec	52 622	76166	0,691	33 566	83395	0,402	-41,7	1,78	14,33
szept-dec	200 922	294 810	0,682	143 045	334 543	0,428	-37,3		

E: a telep havi villamos energia fogyasztása

Q: a havonta fogadott szennyvíz mennyisége

E/Q: a telep napi átlagos fajlagos villamos energia fogyasztása

ΔE/Q: fajlagos villamos energia megtakarítás > 100×E(2015)-E(2016)/E(2015)

DO: a percnként mért oldott oxigén koncentráció havi átlaga

Tox: a levegőztetett medence vízében percnként mért hőmérséklet havi átlaga

LadiPr-SBC: gázanalizátorral szabályozott

Túllegegőztetéssel a nitrifikáció nem javítható, ha a víz hőmérséklet 12°C alá csökken

A biológia nitrogén eltávolítás hőmérsékletfüggő folyamat. A Hajdúnánási szennyvíztelepen a 40-90 mg/L ammónium-nitrogén (65-125 mg/L Kjeldahl-nitrogén) koncentrációjú nyersvíz LadiPr-PRS berendezéssel szabályozott levegőztetéssel 21-23°C-os víz hőmérsékletű biológiai medencében átlagosan 3 (1-5) mg/L-re míg a 11-13°C-on csak 15 (10-20) mg/L-re csökkent **(3. táblázat)** annak ellenére, hogy az oldott oxigén koncentráció a hidegebb időszakban közel kétszerese volt a melegebbének.

3. táblázat

A Hajdúnánási szennyvíztelepen 2016.10.01-09 és 2017.01.01-09 között percenként mért paraméterek napi átlaga

mérés dátuma	PV.átl (skr/min)	N(H ₄ ⁺) mg/L	DO.átl (mg/L)	Tox.átl (°C)	Q (m ³ /d)	FÚVÓ (h/d)
2016.10.01	2,28	5	1,25	22,82	2854	32,85
2016.10.02	1,98	1	1,24	22,66	2486	33,20
2016.10.03	2,16	5	1,40	22,69	2998	39,15
2016.10.04	1,69	5	2,16	22,60	2029	25,87
2016.10.05	1,43	4	1,14	21,73	2204	27,03
2016.10.06	1,25	3	1,85	21,23	2573	25,15
2016.10.07	2,63	3	2,17	21,00	2849	28,27
2016.10.08	1,93	2	2,65	20,91	2980	31,45
2016.10.09	2,19	2	2,25	21,02	2362	36,50
átlag (Tox 22°C)	1,95	3	1,79	21,85	2593	31,05
2017.01.01	1,76	10	2,73	13,13	2810	24,17
2017.01.02	1,17	10	3,54	12,98	2225	26,33
2017.01.03	1,12	10	3,08	12,91	2753	24,50
2017.01.04	0,79	21	2,43	12,58	2489	24,00
2017.01.05	1,32	18	3,74	12,43	2741	25,33
2017.01.06	1,13	15	3,14	11,84	2515	24,83
2017.01.07	1,35	15	4,32	11,15	2602	25,17
2017.01.08	1,21	20	2,76	11,23	2067	26,83
2017.01.09	1,68	13	5,05	11,35	2746	24,67
átlag (Tox 12°C)	1,28	15	3,42	12,18	2550	25,09

DO.átl: a percenként mért oldott oxigén koncentráció napi átlaga

Tox.átl: a levegőztetett medence vizében percenként mért hőmérséklet napi átlaga

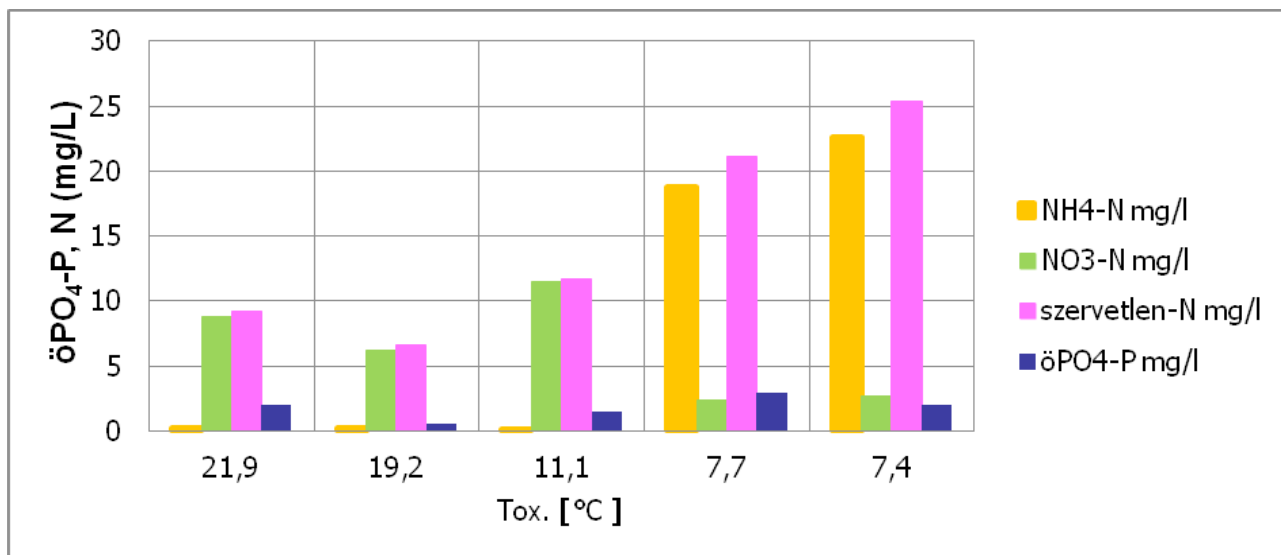
PV.átl: a gáztérben mért illékony szervesanyag koncentráció

Q: a naponta fogadott szennyvíz mennyisége

FÚVÓ: a kompresszorok üzemideje

N(H₄⁺): a reggel 7:00-7:30 között tisztított vízből mért ammónium-ion koncentráció

Ennek oka, hogy a nitrifikáció (és a denitrifikáció) 14°C alatti hőmérsékleten nagyon lelassul, 8°C alatt gyakorlatilag leáll. Az oldott oxigén koncentráció növelésével a 10°C-os hőmérséklet csökkenést nem lehet kompenzálni. Ezért ilyenkor a biomasszába be nem épülő ammónia a tisztított vízzel távozik. A hőmérséklet csökkenés hatására természetesen a biológiai aktivitás is csökken. Nyírlugoson a fogadott 80±20mg/L ammónium ~30%-a denitrifikációval távozik a rendszerből. 10°C-nál alacsonyabb hőmérsékleten a nitrifikáció nagyon lelassul, de a foszfor eltávolítás hőmérséklet független, biotóp függő folyamat. **(6. diagram)**



6. diagram

A Nyírlugosi szennyvíztelep tisztított vizében (KOl 45-70 mg/L, BOI5<10mg/L) pontmintákból mért nitrogén-formák (NH₄, NO₃, szerves-N) és az összes foszfát koncentrációk alakulása a levegőztetett tér napi átlaghőmérsékletének (Tox) függvényében)

Összefoglalás

A LadiPr analizátor az aerob medencék gázteréből vett mintát analizálja, összeveti az oldott oxigén koncentrációval és a vízhőmérséklettel. A három érték kombinálásával online szabályozza az oxigénbevitelt (azaz optimalizálja a levegőztetés villamos energia fogyasztását).

Az intelligens LadiPr-PRS berendezéssel a munkatársak könnyedén ellenőrizhetik és követhetik a biológiai aktivitás valós idejű illetve múltbeli változását. A berendezés adatfeldolgozó egysége folyamatosan jelzi a terhelés ingadozását.

500m³/nap tisztító kapacitású telepen történő alkalmazás esetén a rendszer kiépítés költségének megtérülési ideje átlagosan egy év. Az ennél nagyobb kapacitású telepeknél – az alkalmazott szabályozás állapotától és kiépítettségétől függően- ez az idő lényegesen lerövidülhet.