

Ipari méretű ózont felhasználó technológia és szolgáltatás fejlesztése szennyvíztisztításra

2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00017



Kovács Norbert

Projektmérnök

Bálint Analitika Kft.

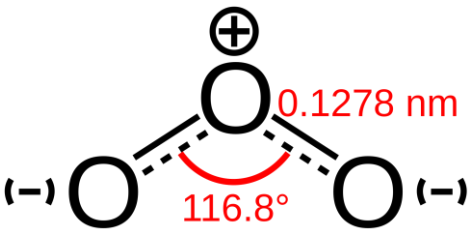
projekt@balintanalitika.hu



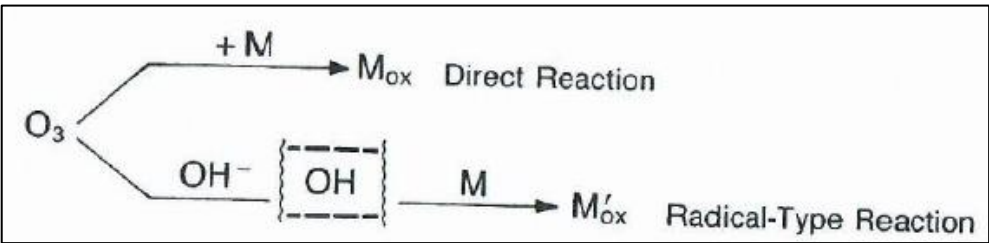
AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ PROJEKT

Ózon tulajdonságai

- 3 atomos oxigén molekula, O_3
- Jellegzetes szúrós szagú gáz
- Halvány kék, mérgező
- Instabil, nagyon reaktív
- Előállítás:
 - $3 O_2 \rightarrow 2 O_3$
 - levegőből vagy **nagy tisztaságú oxigénből**
 - **Elektromos kisülés**, UV ($\lambda=185\text{ nm}$), víz elektrolízis, hidegplazma
- Vízben mérsékelten oldódik
- Erélyes oxidálószer
- Reaktivitás vizes közegben²:



Oxidálószer ¹	Képlet	Redox potenciál, (eV)
Fluor	F_2	3,05
Hidroxilgyök	$\bullet OH$	2,80
Naszcents oxigén	$O^\bullet$	2,42
Ózon	O_3	2,07
Hidrogén-peroxid	H_2O_2	1,78
Hidroperoxilgyök	$HO_2^\bullet$	1,70
Kálium-permanganát	$KMnO_4$	1,68
Hipoklórossav	$HOCl$	1,49
Klór	Cl_2	1,36
Klór-dioxid	ClO_2	0,95
Nátrium-hipoklorit	$NaOCl$	0,81



¹Lide, R. D., ed., CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2005, <http://www.hbcpnetbase.com>. (CRC Press, 2005)

²Langlais, B. et al. Ozone in Water Treatment: Application and Engineering: Cooperative Research Report. (Routledge, 2019)

Az ózon felhasználásának lehetőségei a szennyvízkezelésben I.

- Ipari szennyvízkezelés:
 - Élelmiszer- és italipar: fertőtlenítés; szag és íz problémák megszüntetése; fehérjék, zsírok, színyanyagok lebontása³
 - Gyógyszer- és vegyipar: toxikus szerves vegyületek bontása⁴
 - Papír- és cellulózipar: fehérítés; KOI, BOI, TOC, szín csökkentés⁵
 - Textilipar: színezékek, felületaktív anyagok, segédanyagok bontása⁶



³Pascual, A. et al. *Trends in Food Science & Technology* **18**, S29–S35 (2007)

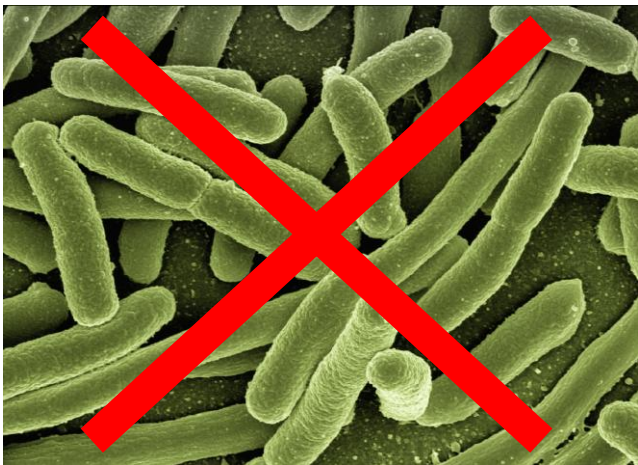
⁴Leontieff, D. A. et al. *Processes* **13**, 2331 (2025)

⁵Prat, C. et al. *Water Research* **23**, 51–55 (1989)

⁶Selcuk, H. *Dyes and Pigments* **64**, 217–222 (2005)

Az ózon felhasználásának lehetőségei a szennyvízkezelésben II.

- Kommunális szennyvízkezelés:
 - Színtelenítés⁷
 - Szagtalanítás⁸
 - Fertőtlenítés⁹
 - Fölösiszap mennyiségének csökkentése¹⁰
 - Szerves mikroszennyezők lebontása¹¹



⁷Lanzetta, A. et al. *Water* **15**, 2362 (2023)

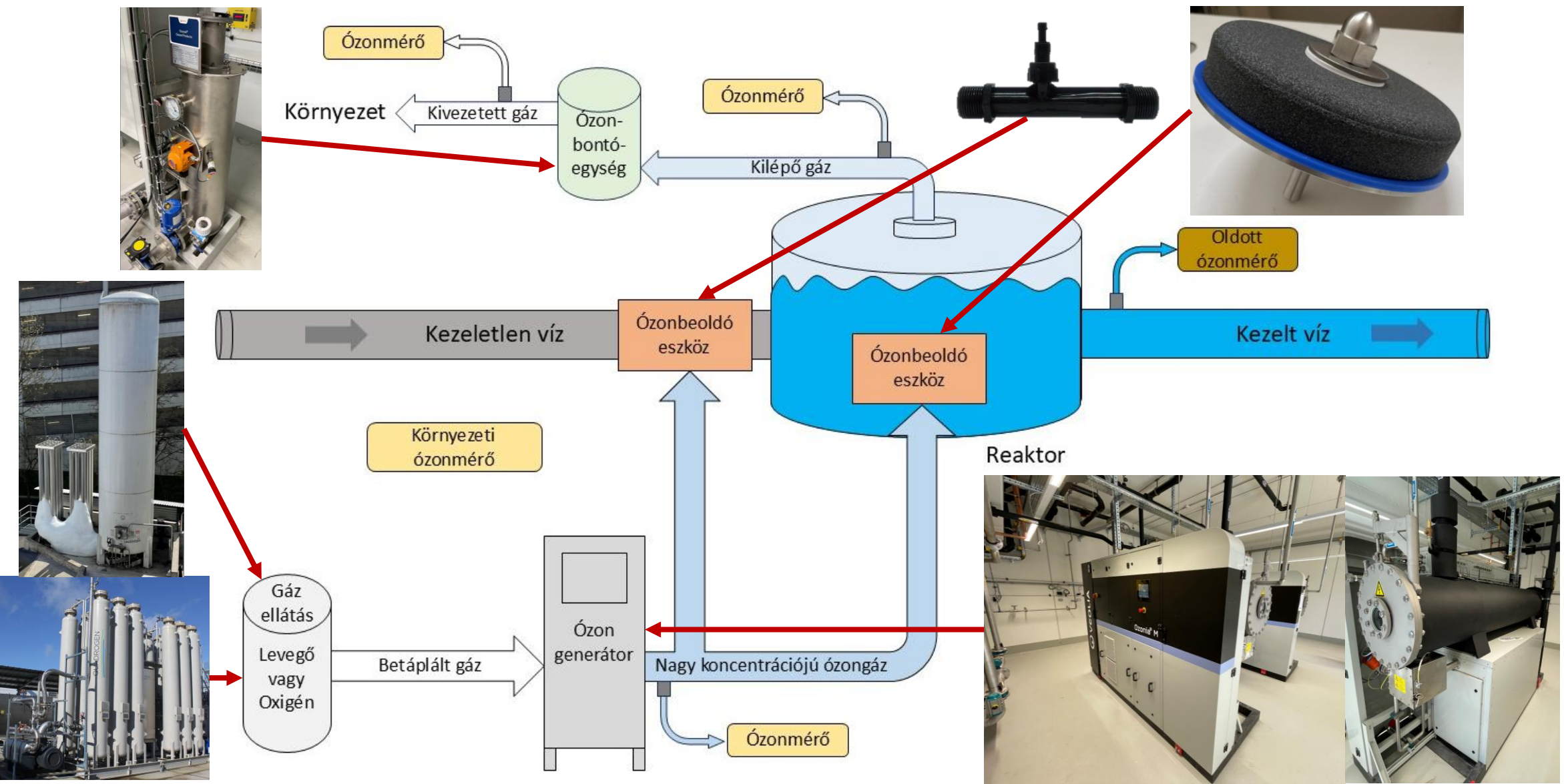
⁸Hwang, Y. et al. *Water Research* **28**, 2309–2319 (1994)

⁹Xu, P. et al. *Water Research* **36**, 1043–1055 (2002)

¹⁰Chu, L., et al. *Water Research* **43**, 1811–1822 (2009)

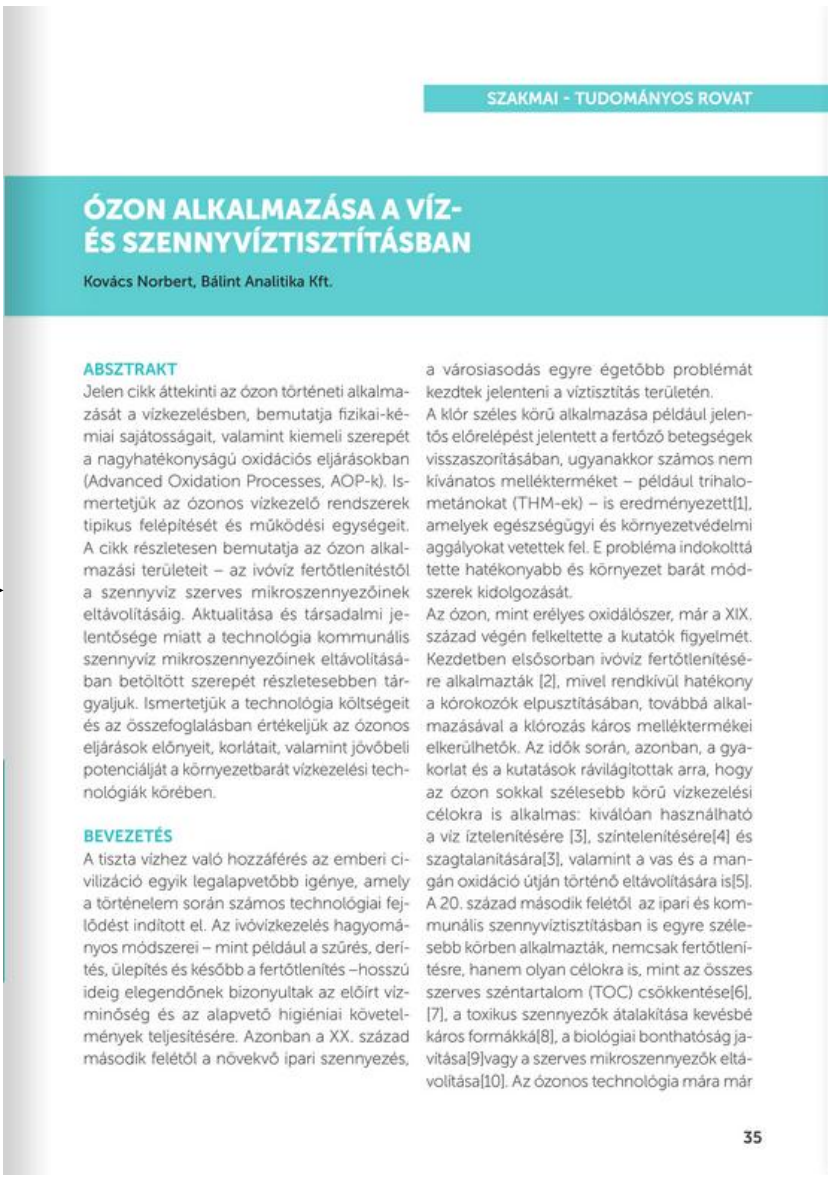
¹¹Derco, J. et al. *Processes* **9**, 1013 (2021)

Ózonos szennyvízkezelő berendezés



Ózonos szennyvízkezelés előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Más alkalmazásban elterjedt módszer	Biztonsági kérdések merülnek fel
Viszonylag kis helyigény	Magas beruházási és üzemeltetési költségek
Hatékony, erélyes oxidálószer és fertőtlenítőszer	Általában előkezelés szükséges (pl. MP-knél optimális előtisztítás)
Ökológiai szempont: kémiaiilag alakítja át a molekulákat (egyszerűsödő molekulák)	Általában utókezelés szükséges (AOC, BDOC, toxicitás nőhet, DO_3 bontás)
Antibiotikum rezisztencia elleni küzdelem	Potenciális veszélyes oxidációstermékek pl. aldehidek, nitrózaminok, BrO_3^-
„Vegyszermentes” (O_2 -re bomlik)	Gazdaságos üzemeltethetőség kérdése
Ártalmatlan bomlástermékek	
Lebontás hatékonysága tovább növelhető AOP-kal (pl. $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, O_3/UV)	



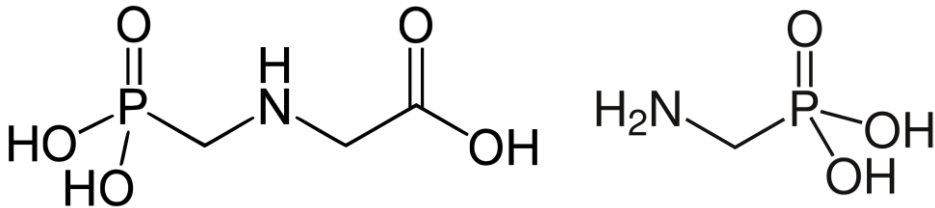
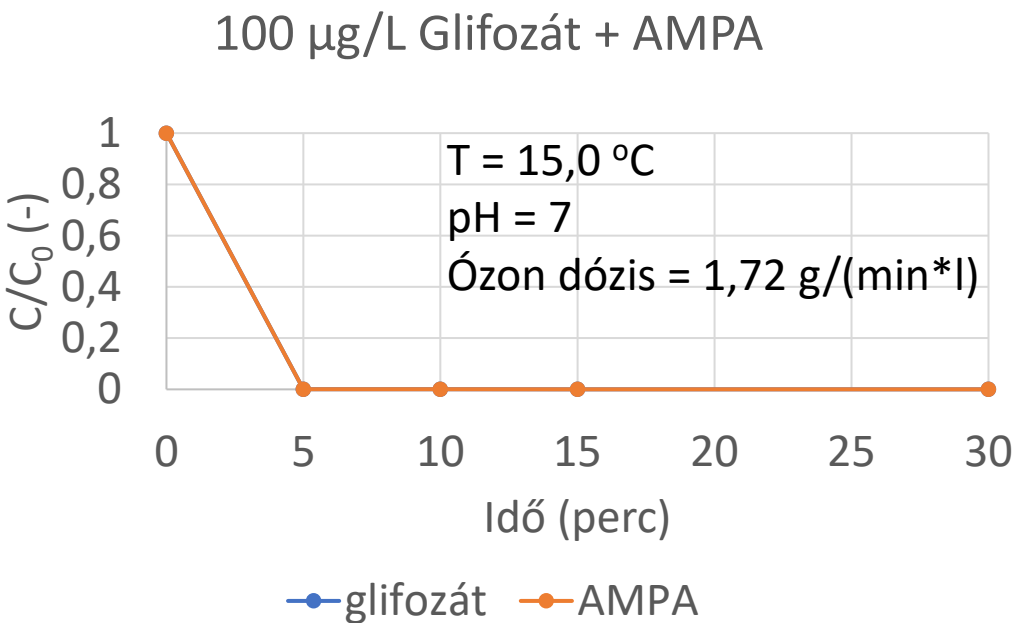
2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00017

Ipari méretű ózont felhasználó technológia és szolgáltatás fejlesztése szennyvíztisztításra



Glifozát + AMPA

- Legnagyobb mennyiségben gyártott és használt herbicid az egész világon
- Feltehetően rákot okoz^{12,13}
- Határérték ivóvízre: peszticid: 0,10 µg/l, össz. peszticid összesen: 0,50 µg/l



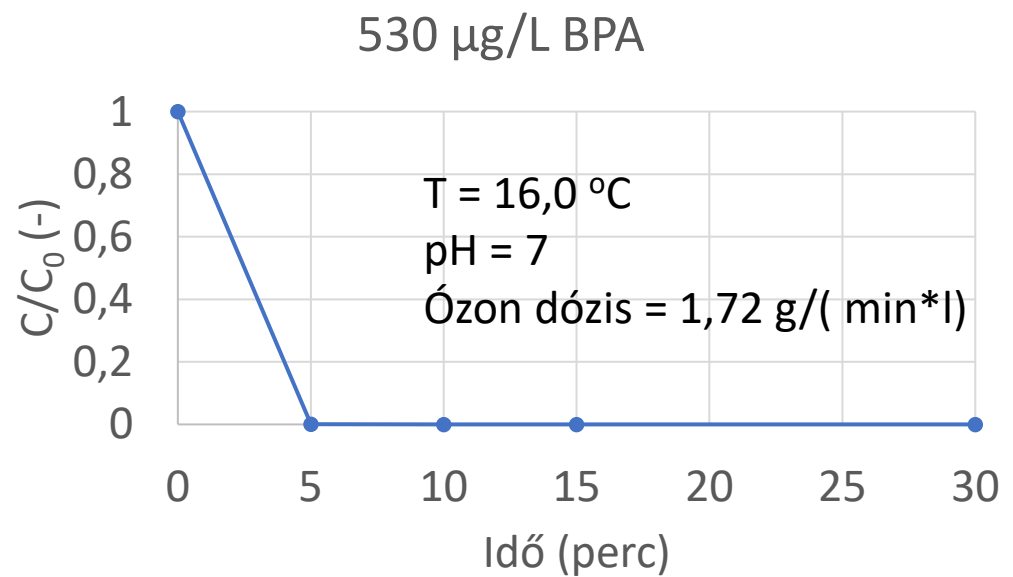
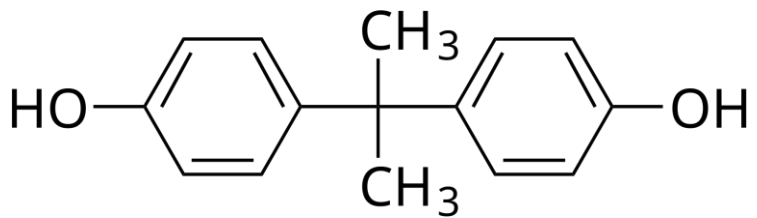
Idő (perc)	Glifozát		AMPA	
	(µg/l)	Elt. (%)	(µg/l)	Elt. (%)
0	97,8	0,00	97,6	0,00
5	0,03	99,97	0,07	99,93
10	0,02	99,98	0,03	99,97
15	0,01	99,99	0,01	99,99
30	0,01	99,99	0,01	99,99

¹²IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides 20 March 2015 (WHO)

¹³Panzacchi, S., et al. Environ Health **24**, 36 (2025).

Biszfenol-A (BPA)

- Polikarbonát előállítására és epoxigyanta prekursoraként alkalmazzák
- 2024-ben a globális BPA termelés kb. 37 millió tonna¹⁴
- Hormonkárosító anyag¹⁵
- Határérték ivóvízre: 2,5 µg/l



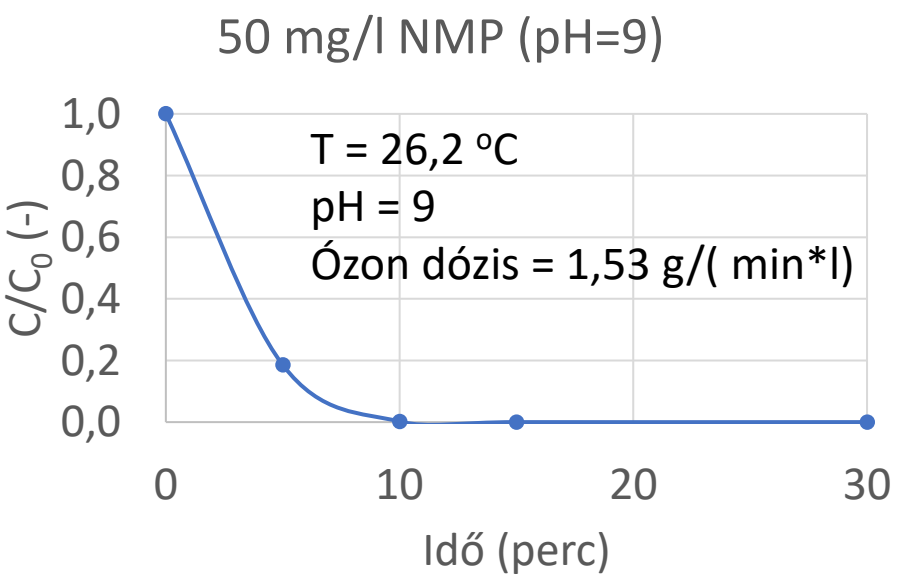
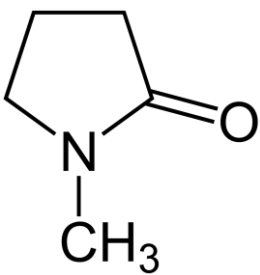
Idő (perc)	BPA (µg/l)	Eltávolítás(%)
0	564	0,00
5	0,61	99,89
10	N/A	>99,99
15	N/A	>99,99
30	N/A	>99,99

¹⁴Decode the future of Bisphenol A (<https://www.chemanalyst.com/industry-report/bisphenol-a-market-57>) Online elérhető: 2025.09.09.

¹⁵ECHA/PR/17/12 16 June 2017

N-metil-2-pirrolidon (NMP)

- Ipari oldószer, akkumulátor iparban elektród gyártásban alkalmazzák
- Reprodukciót károsító anyag¹⁶

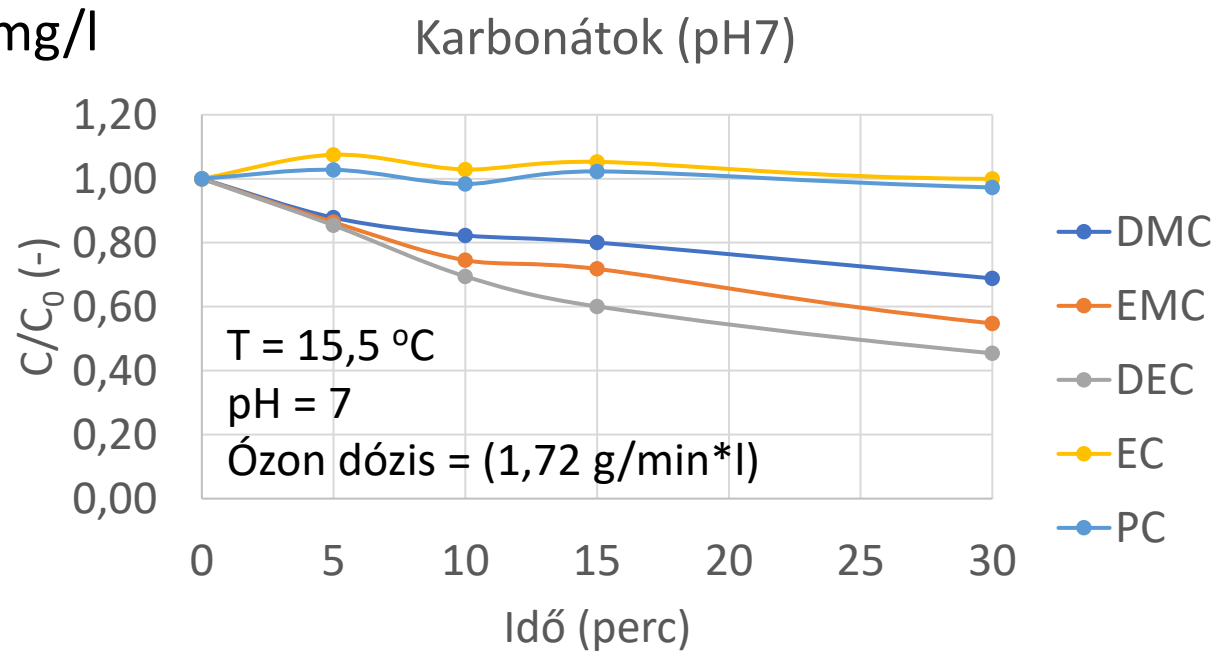
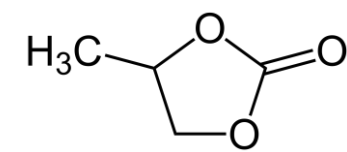
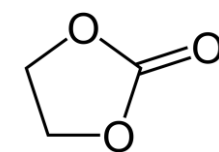
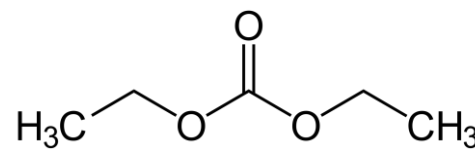
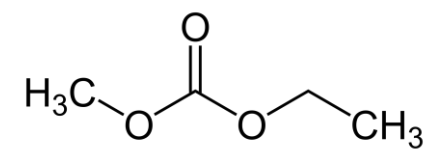
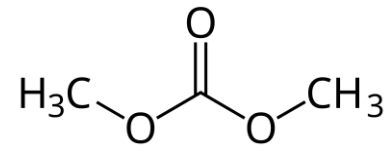


Idő (perc)	NMP (mg/l)	Eltávolítás(%)
0	50,0	0,00
5	9,29	81,42
10	0,099	99,80
15	<0,01	>99,98
30	<0,01	>99,98

¹⁶European Comission: SCCS/1413/11: OPINION ON N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP)

Szerves karbonátok I.

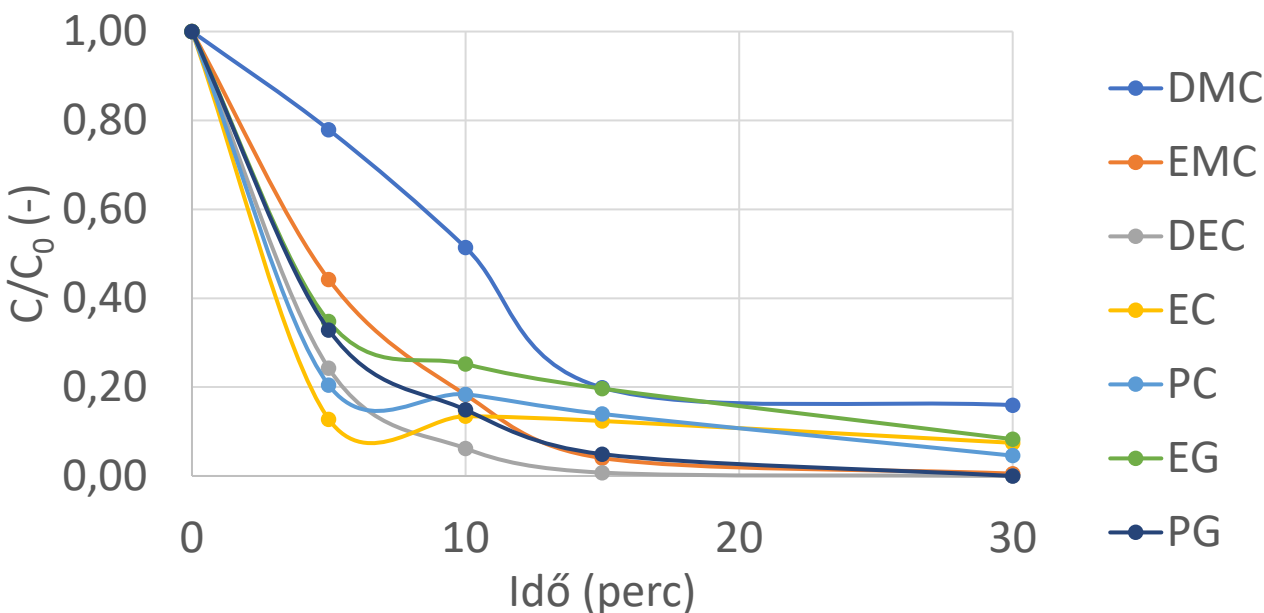
- Gyógyszer-, kozmetikai-, akkumulátoriparban aprotikus oldószer.
- Alacsony toxicitás, biológiailag könnyen bontható.
- DE! Nagy koncentrációban felboríthatja az ipari szennyvizeket befogadó víztestekben az ökológiai egyensúlyt.
- Kiindulási koncentrációk:
 - DMC, EMC, DEC: 10 mg/l
 - EC, PC: 50 mg/l



Rövidítések:
 DMC = Dimetil-karbonát
 EMC = Etil-metil-karbonát
 DEC = Dietil-karbonát
 EC = etilén-karbonát
 PC = propilén-karbonát

Szerves karbonátok II.

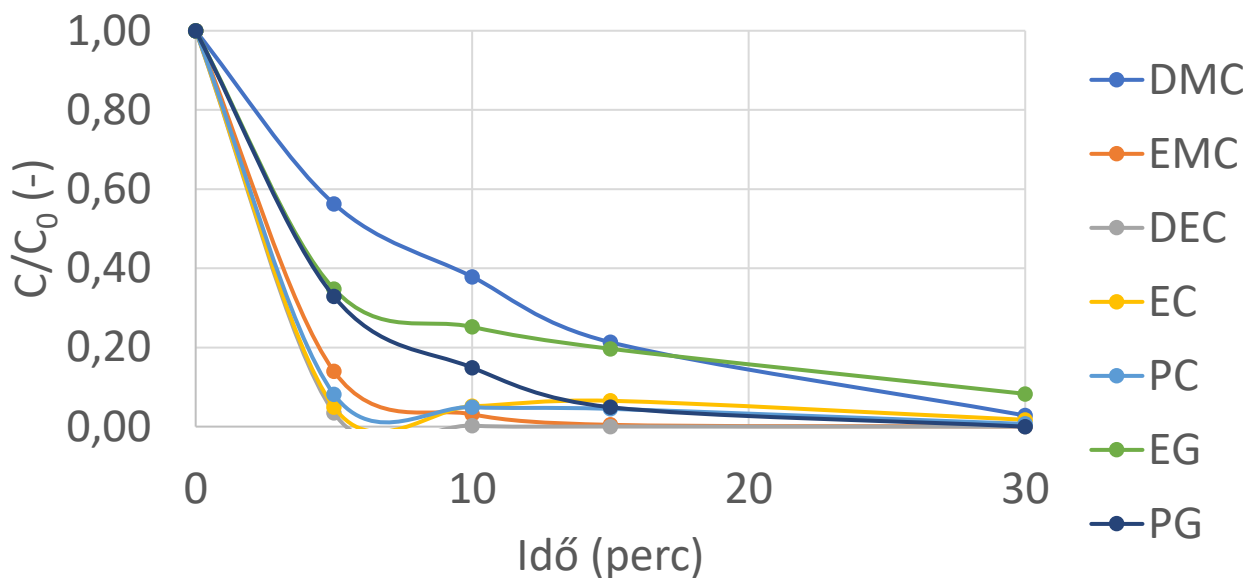
Karbonátok (pH=8)



Eltávolítás: 84-100%

T = 22,0 °C
pH = 8
Ózon dózis = 1,71 g/(min*I)

Karbonátok (pH=9)



Eltávolítás: 97-100%

T = 21,0 °C
pH = 9
Ózon dózis = 1,61 g/(min*I)

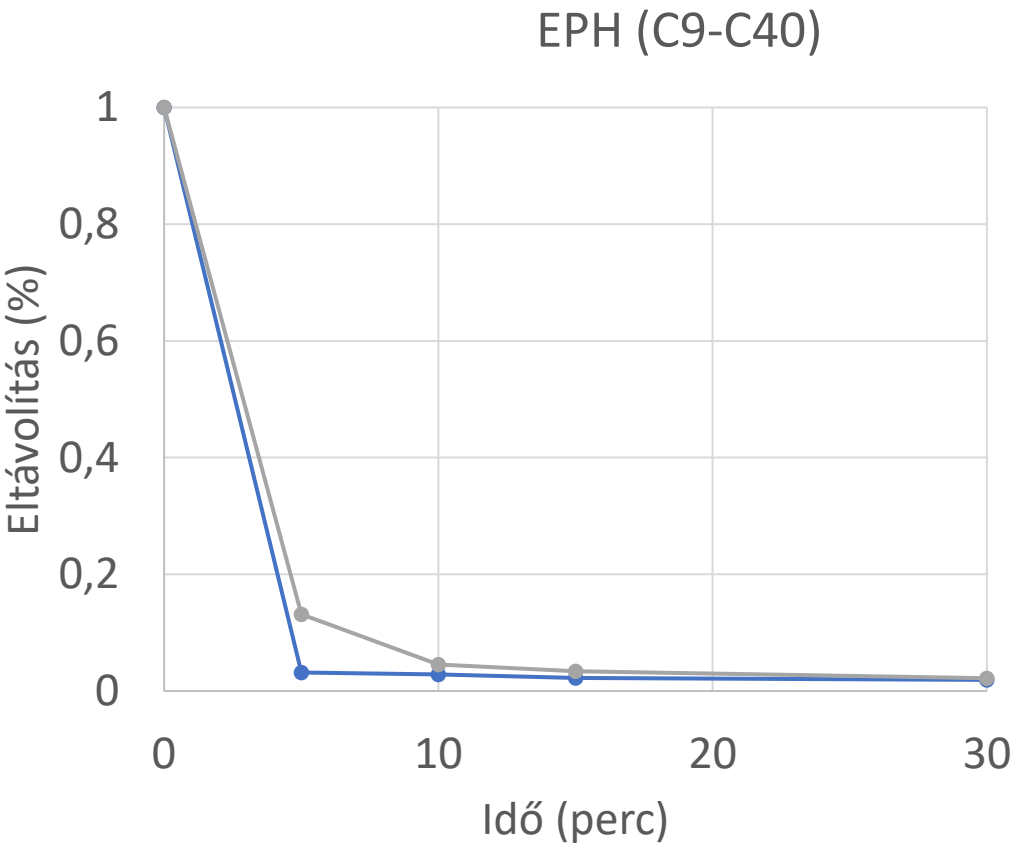
Rövidítések:

EG = etilén-glikol

PG = propilén-glikol

Extrahálható szénhidrogének (EPH, C9-C40)

- Toxikus az emberre, vízi élővilágra
- TPH (C5-C40) felszín alatti víz határérték: 100 µg/l



Modell-oldat: gázolajjal szpájkolt
ioncserélt víz 2800 µg/l EPH
T = 15,0 °C
pH = 7
Ózon dózis = 1,72 g/(min*I)

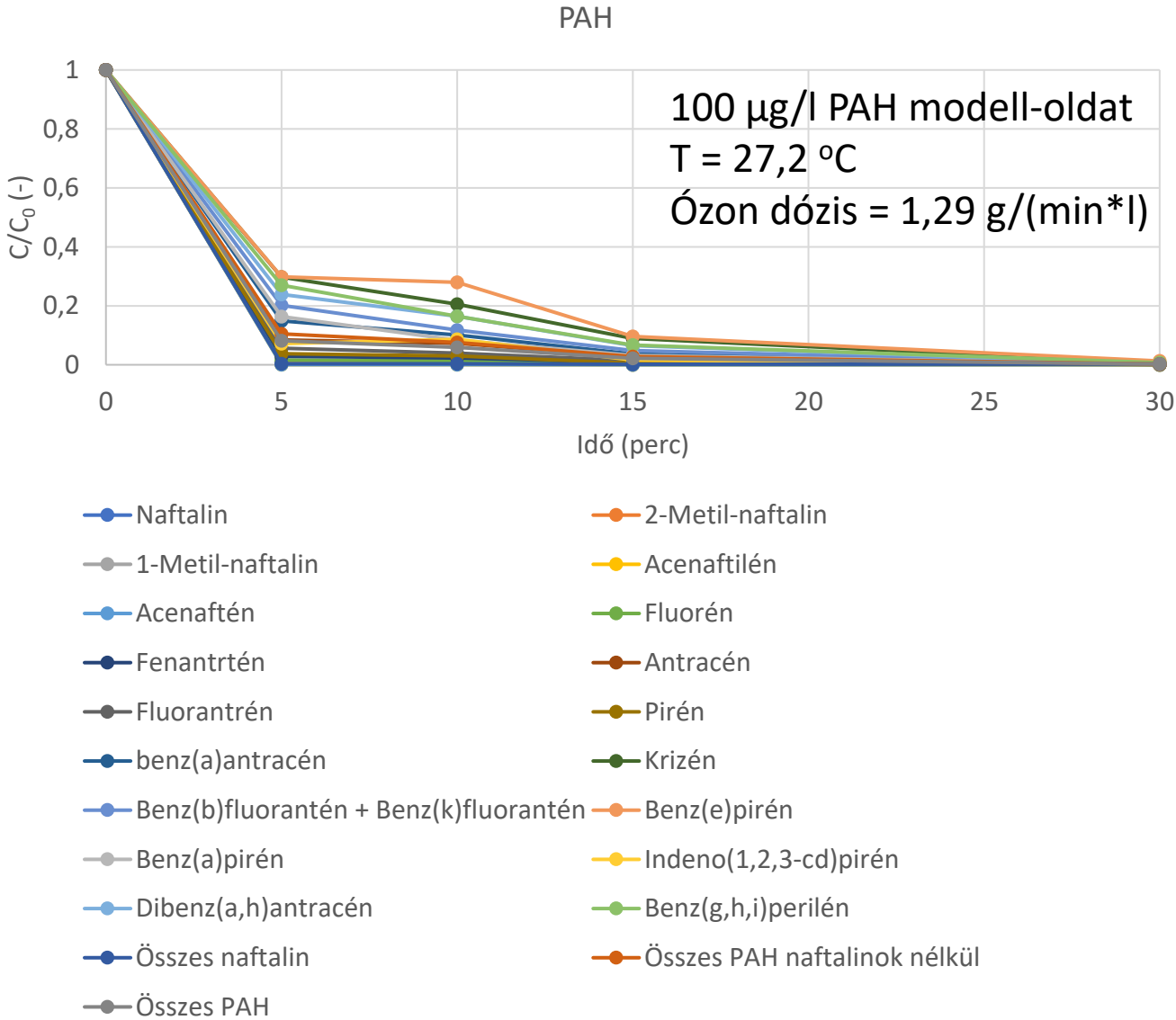
Biológiai szennyvíz: 400 µg/l EPH
T = 20,5 °C
pH = 7,05
Ózon dózis = 1,72 g/(min*I)

—●— modell-oldat
—●— ipari biológiai szennyvíz

Policiklusos aromás szénhidrogének (PAH)

- Rákkeltő vegyületek

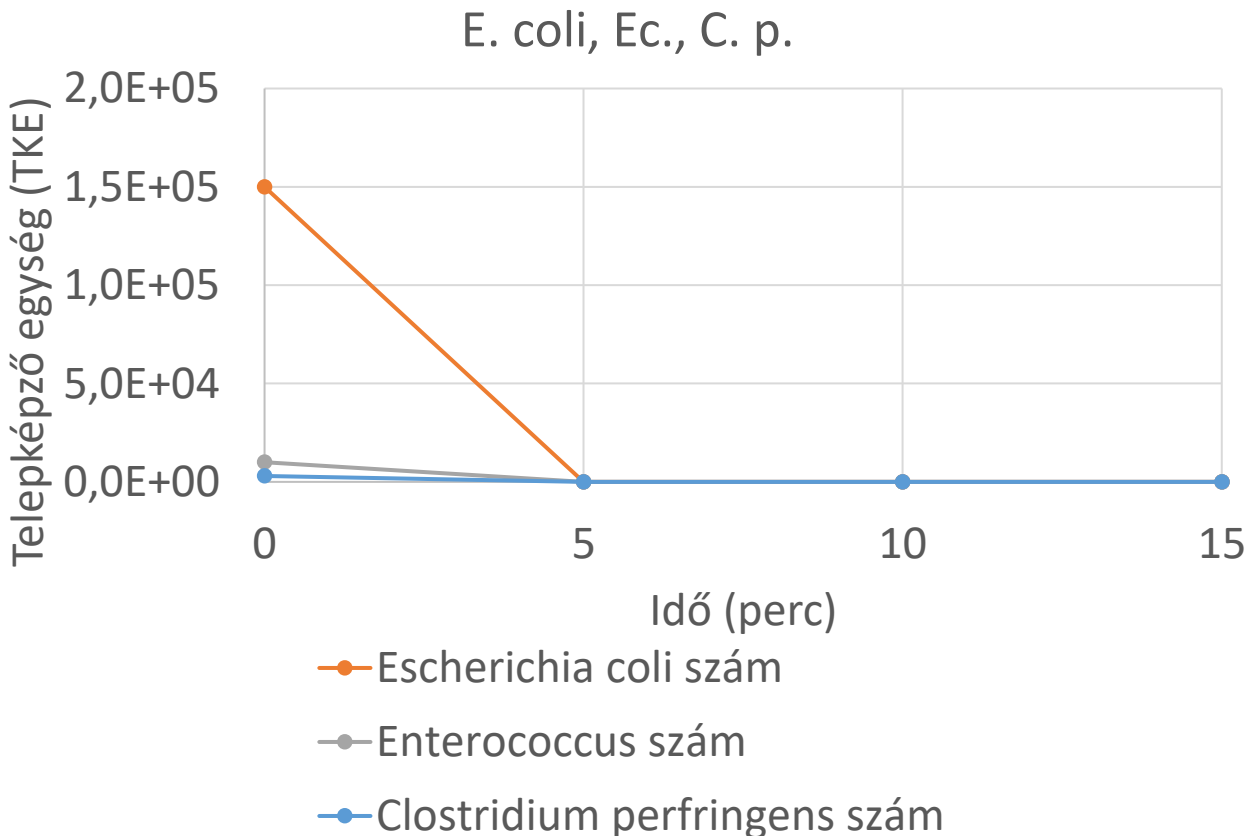
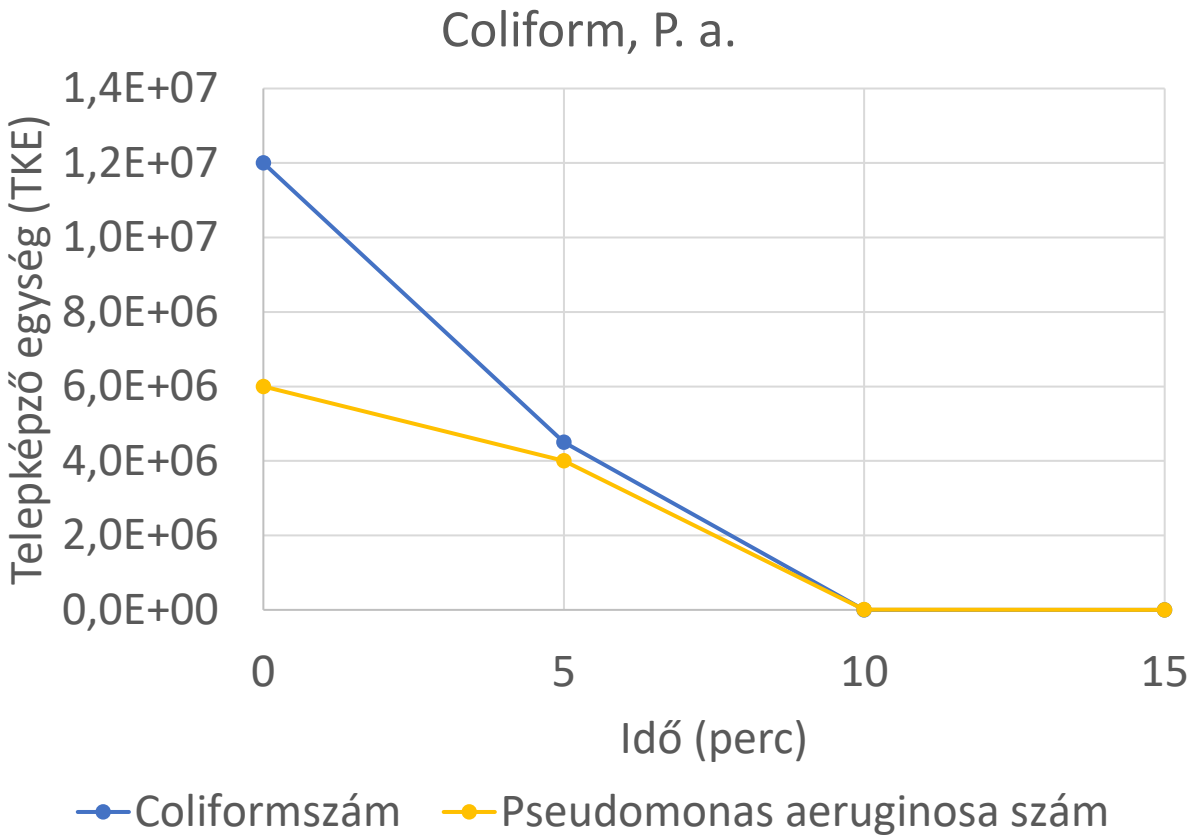
Idő (perc)	ΣPAH (μg/l)	Eltávolítás (%)	Határérték (μg/l)	
			FAV	IV
0	107	0,00	2	0,1
5	8,71	91,83		
10	6,25	94,13		
15	2,34	97,80		
30	0,258	99,76		



Fertőtlenítés: állatfeldolgozó üzem hűtővize II.

- Állatfeldolgozó üzem hűtővizének ózonos kezelése
- UTOLSÓ KÁD (TOC ~225 mg/l)**

T = 26,1 °C
 pH = ?
 Ózon dózis = 1,40 g/(min*I)





0 s



30 s



60 s



90 s

- **Jelenleg vizsgált vegyületek/vegyületcsoportok:**
 - klórfenolok, HAA₅, Etidronsav (HEDP), PFOS + PFOA
 - Svájci mikroszennyező lista: amiszulprid, karbazepin, citalopram, klaritromicin, diklofenák, hidroklorotiazid, metoprolol, venlafaxin, benzotriazol, kandezartán, irbezartán, 4/5-metilbenzotriazol
 - egyéb gyógyszermaradványok: amoxicillin, kolekalciferol, acetilszalicilsav, pantoprazol, perindopril, nebivolol, allopurinol, rosuvastatin, amplopidin, famotidin, cefuroxim, naproxen, szulfametoxazol, trimetoprim, flukonazol, klotrimazol, mikonazol, 17 α -etinil-ösztadiol (EE2), 17 β -ösztadiol (E2)
- **Tervezett vizsgálatok:**
 - Peszticidek, PCB-k, dioxinok, egyéb PFA-k
 - Egyéb gyógyszerek: azitromicin, levofloxacin, ciprofloxacin, eritromicin, desmetilvenlafaxin, ösztron

Együttműködések

- Pilot reaktor építése
- Szennyvíztisztítóteleppel szerves mikroszennyezők eltávolításával kapcsolatos együttműködés
- Élelmiszeripari szennyvízben Salmonella inaktiválása
- Állatpihentető ózon gázos légtér és felület fertőtlenítése

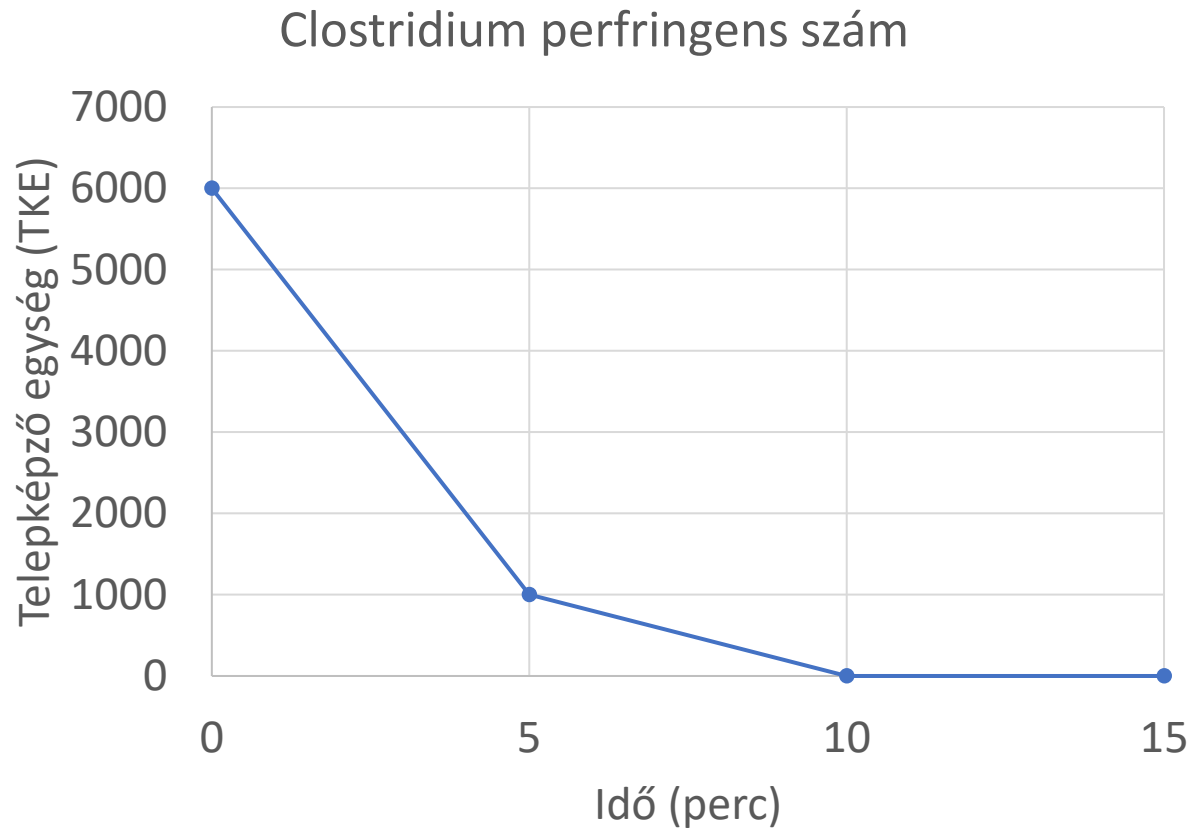
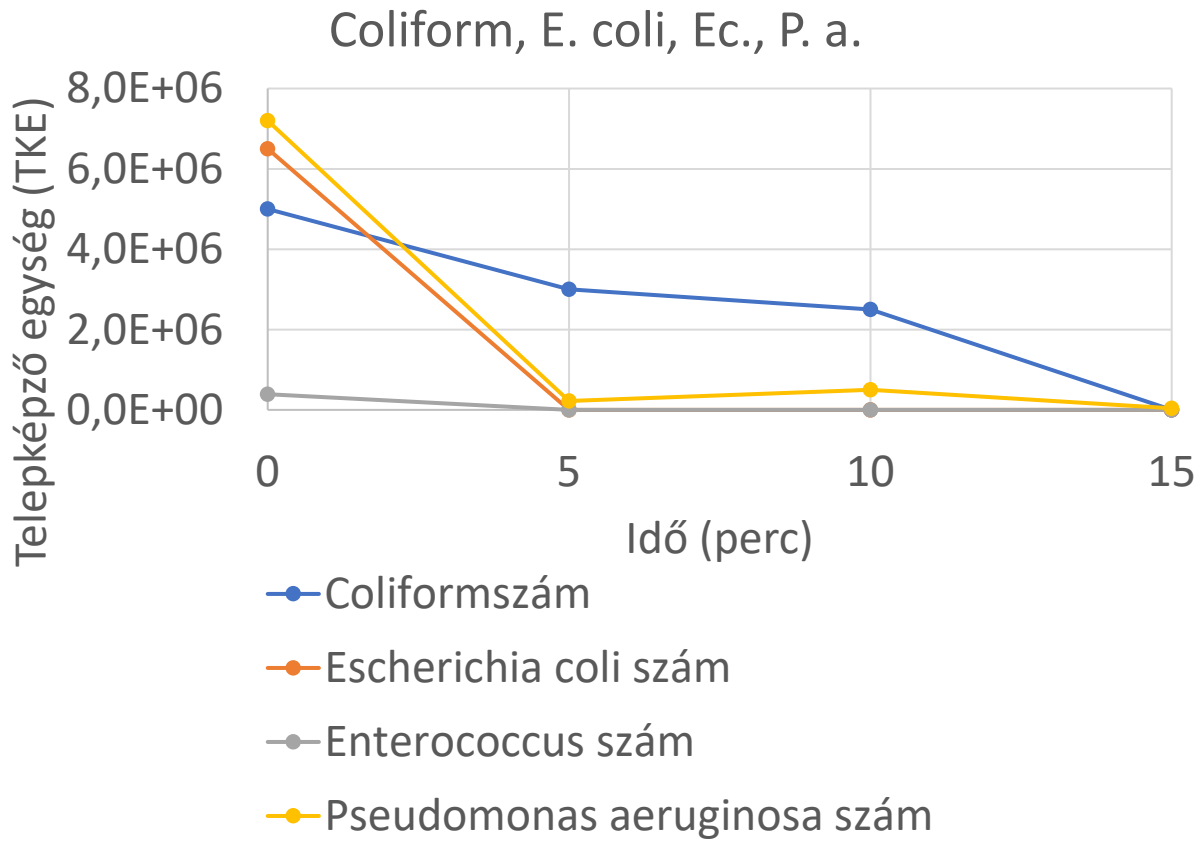


Köszönöm a figyelmet!

Fertőtlenítés: állatfeldolgozó üzem hűtővize I.

- Állatfeldolgozó üzem hűtővizének ózonos kezelése
- ELSŐ KÁD (TOC ~600 mg/l)**

T = 26,0 °C
 pH = ?
 Ózon dózis = 1,36 g/(min*I)



Fertőtlenítés: állatfeldolgozó üzem hűtővize III.

- Állatfeldolgozó üzem hűtővizének ózonos kezelése
- SALMONELLA JELENLÉT**

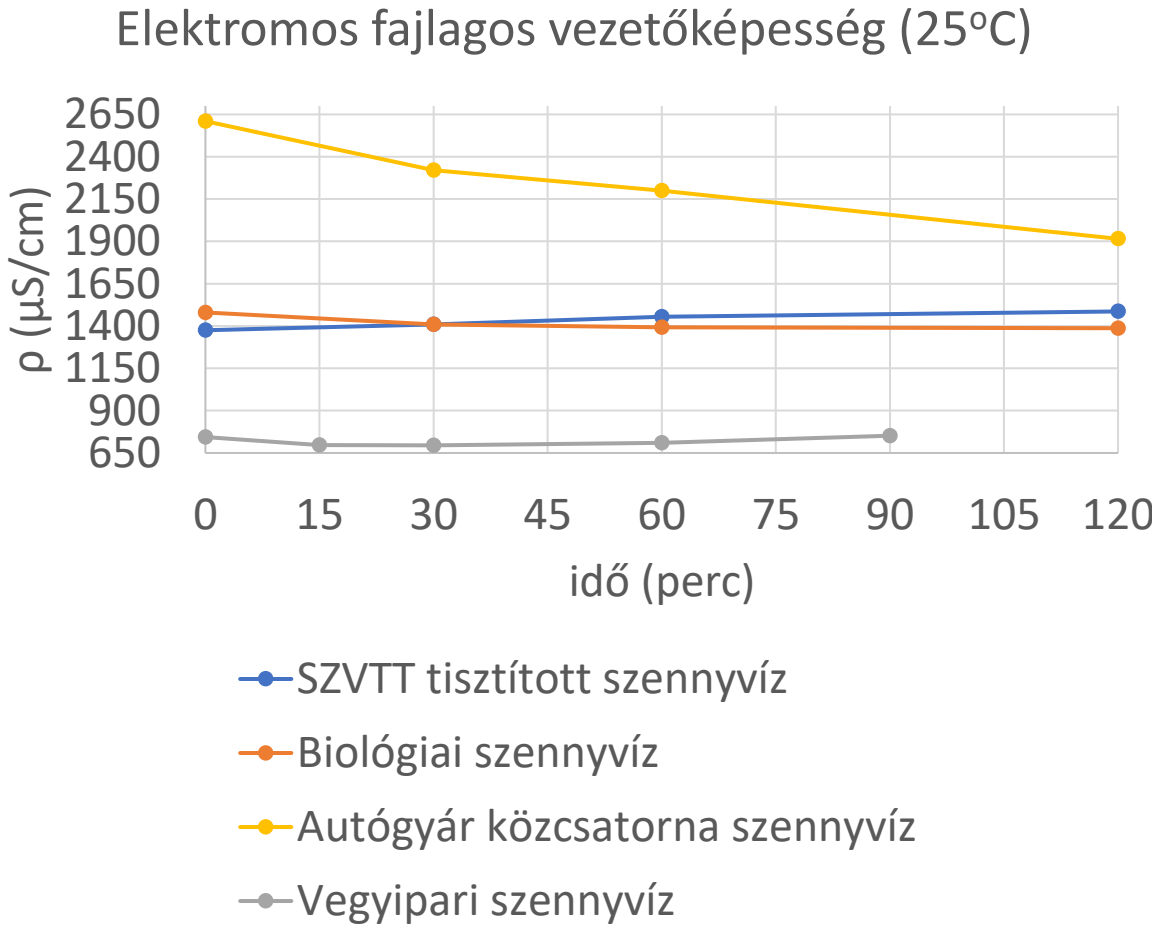
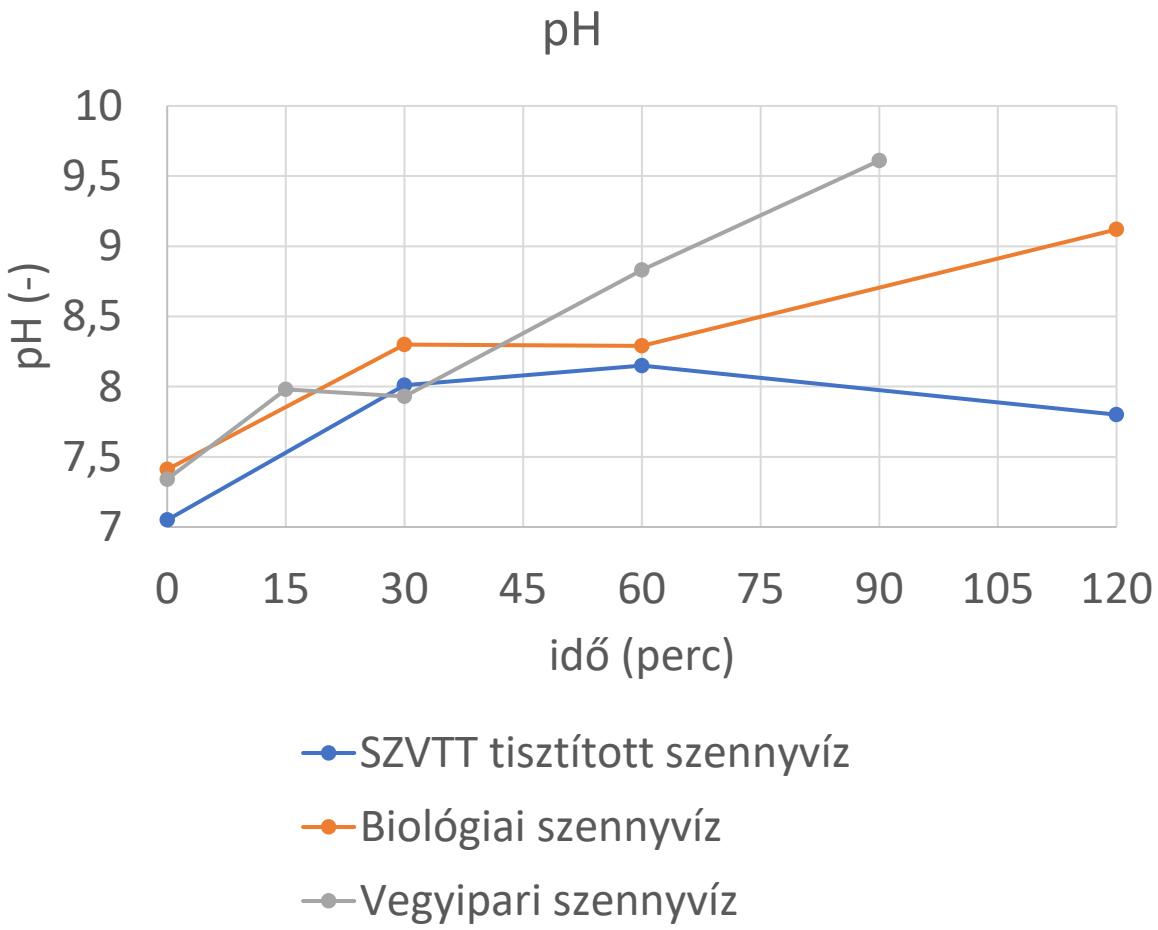
Idő (perc)	LABOR		FÉLÜZEM	
	1. KÁD	U. KÁD	1. KÁD	U. KÁD
0	+	+	+	+
5	+	+	+	+
10	-	-	+	+
15	+	-	+	-
30			-	-
60			-	

Vízminőségi paraméterek vizsgálata I.

- 4 szennyvíz vizsgálata:

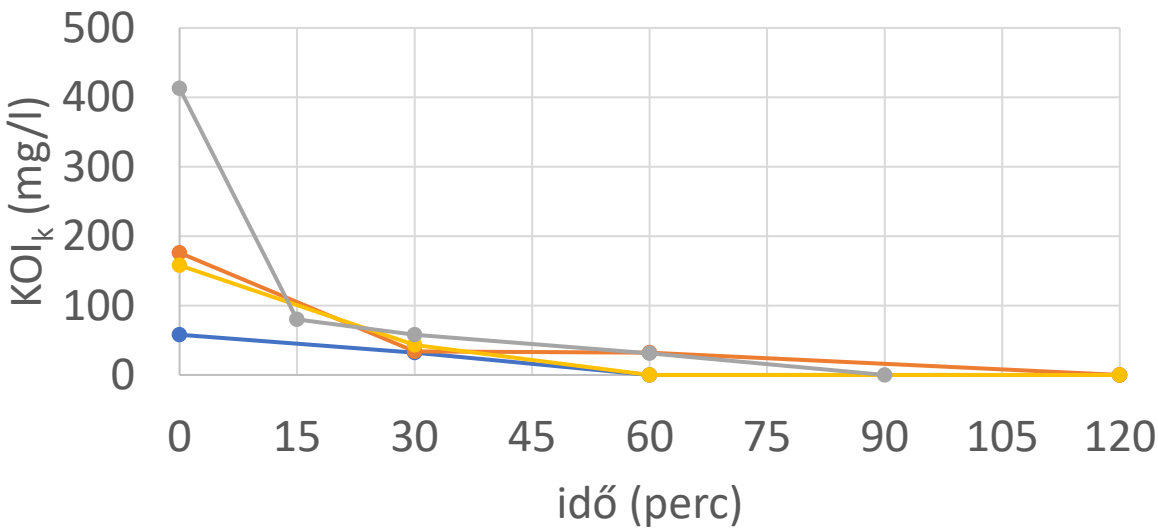
Minta	Hőmérséklet (°C)	Ózon dózis (g/(min*I))
Szennyvíztisztító telep tisztított szennyvize	17,5	1,72
Biológiai üzem szennyvize	22,0	1,75
Autógyártó cég közcsatorna szennyvize	22,0	1,75
Szerves vegyi alapanyag gyártó cég szennyvize	22,5	1,72

Vízminőségi paraméterek vizsgálata II.



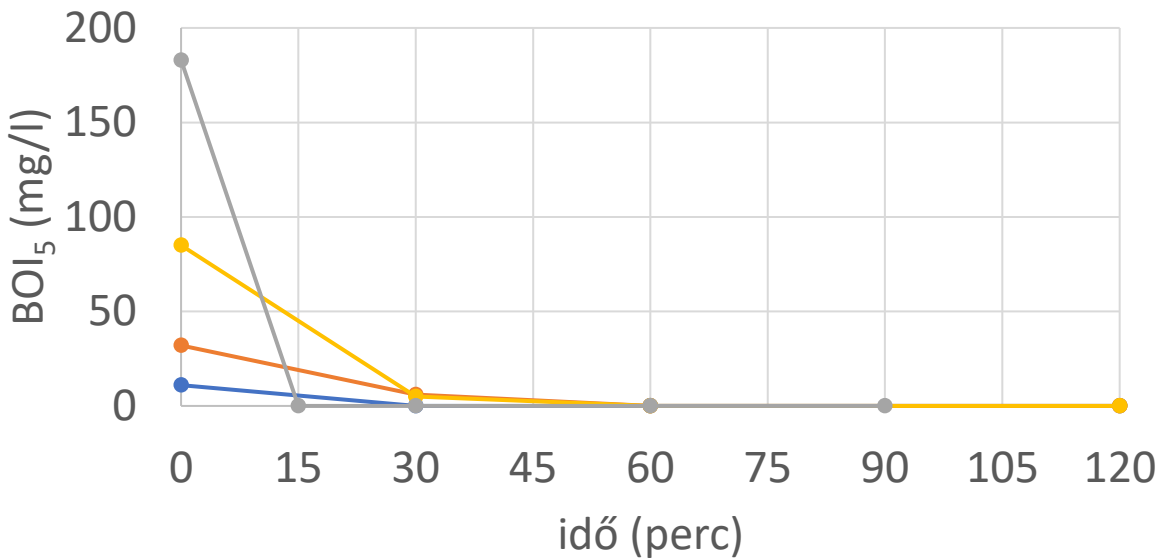
Vízminőségi paraméterek vizsgálata III.

Dikromátos kémiai oxigénigény (KOI_k)



- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

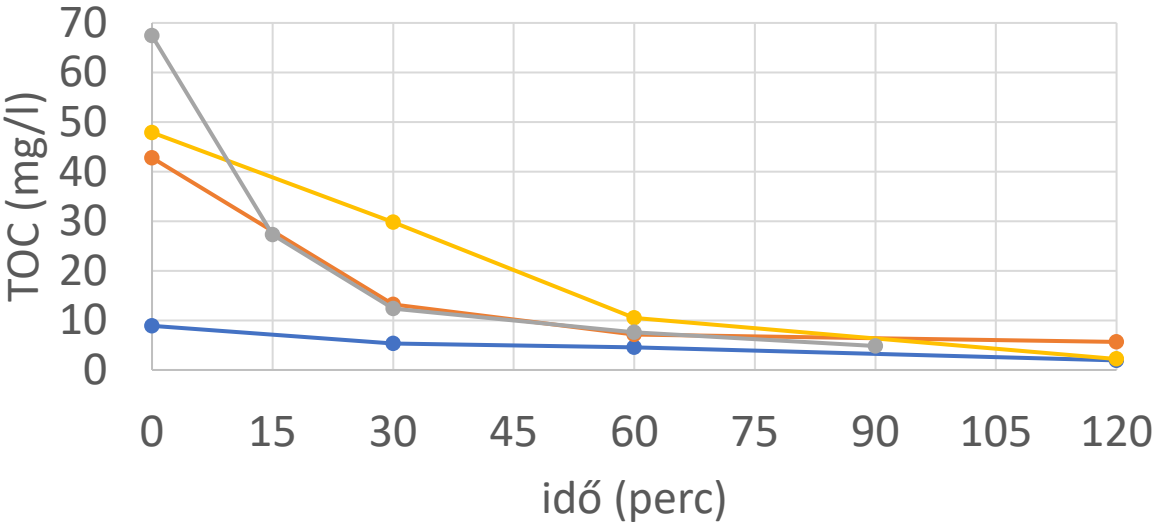
Biológiai oxigénigény (BOI₅)



- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

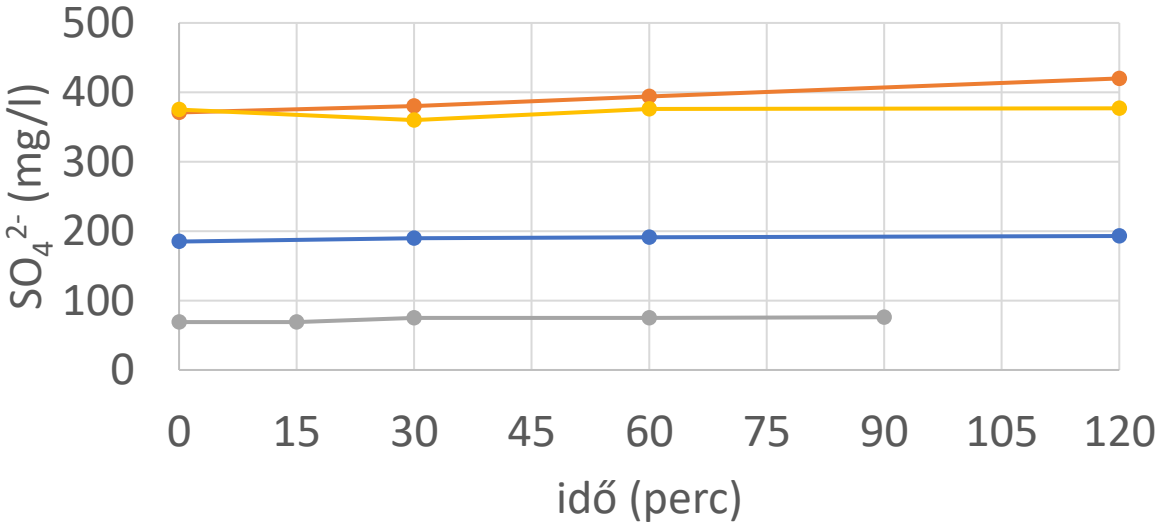
Vízminőségi paraméterek vizsgálata IV.

Összes szerves széntartalom (TOC)



- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

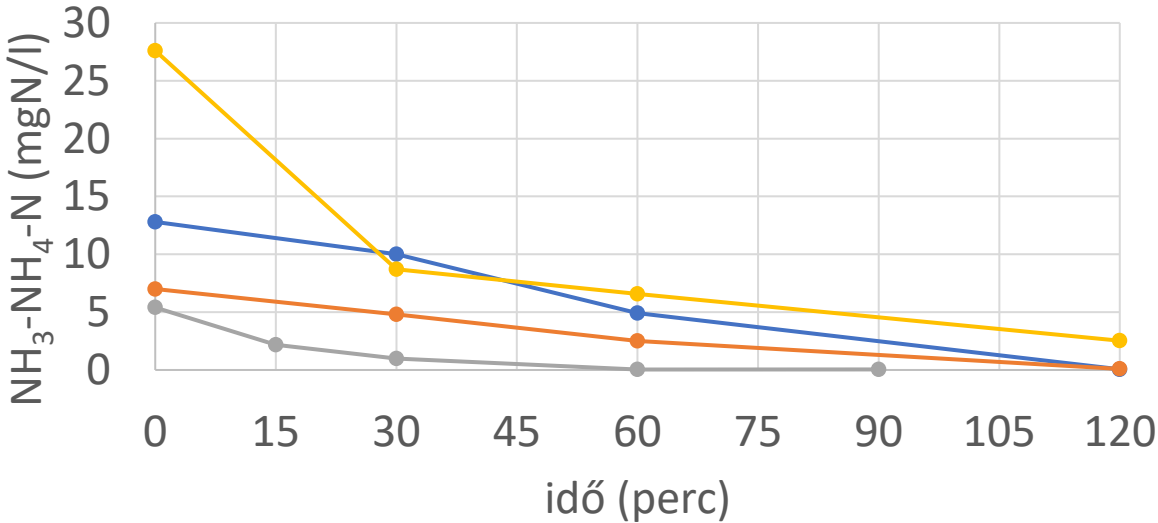
Szulfát



- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

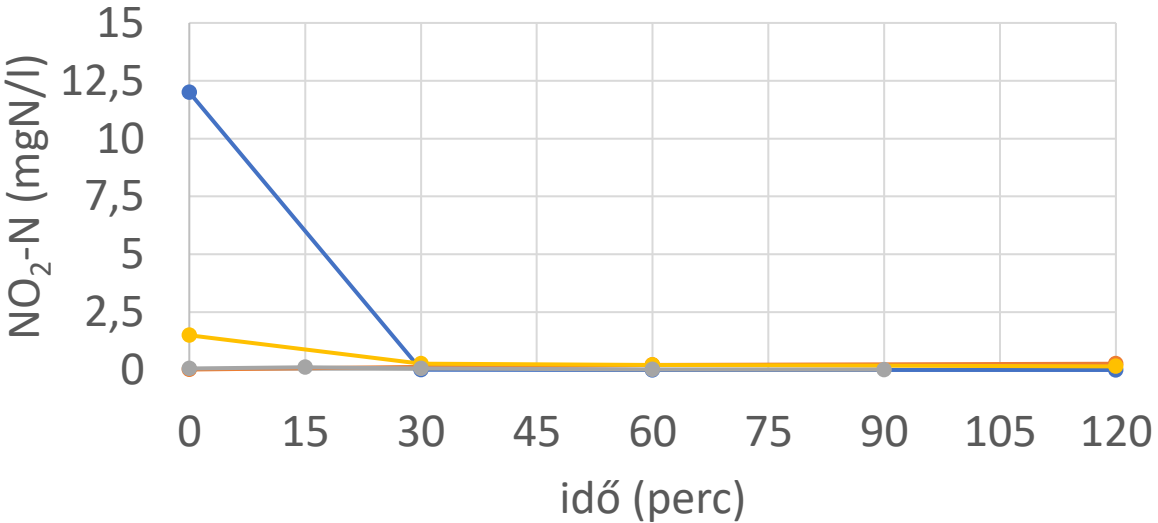
Vízminőségi paraméterek vizsgálata V.

Ammónia-ammónium-nitrogén



- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

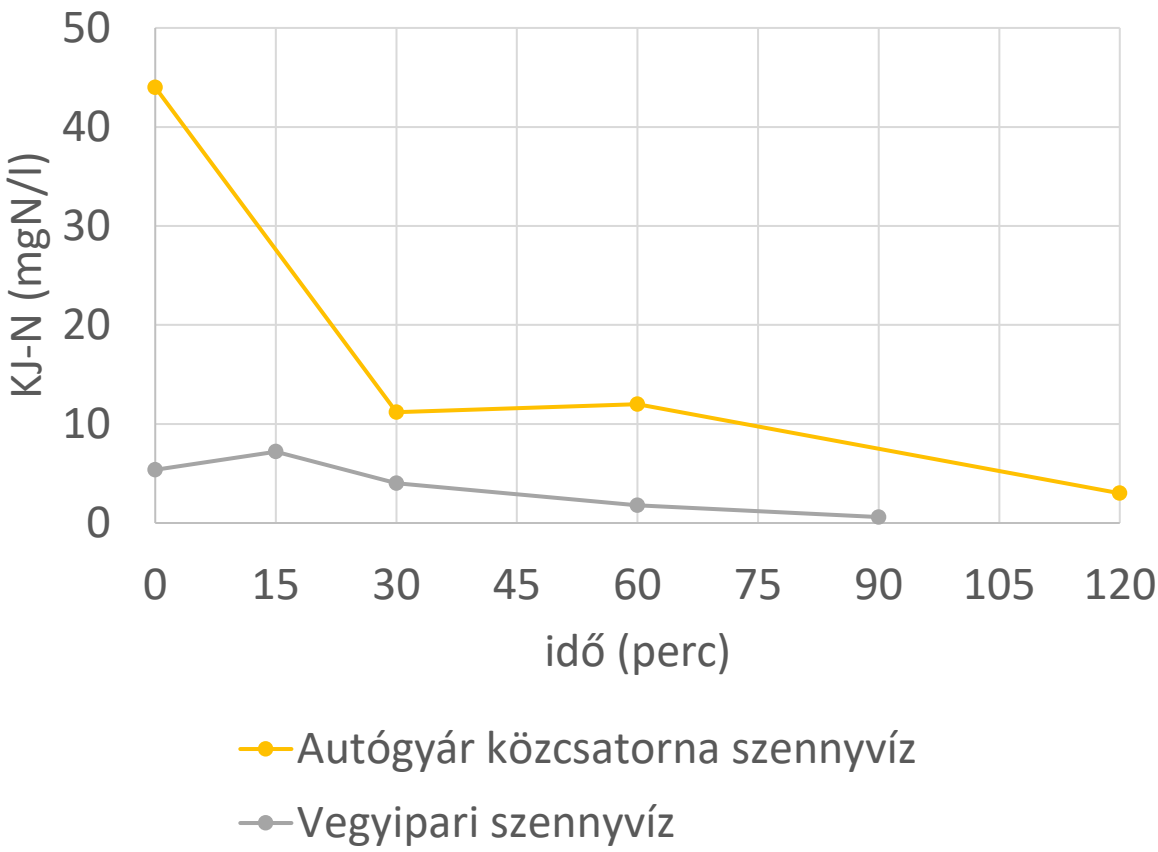
Nitrit-nitrogén



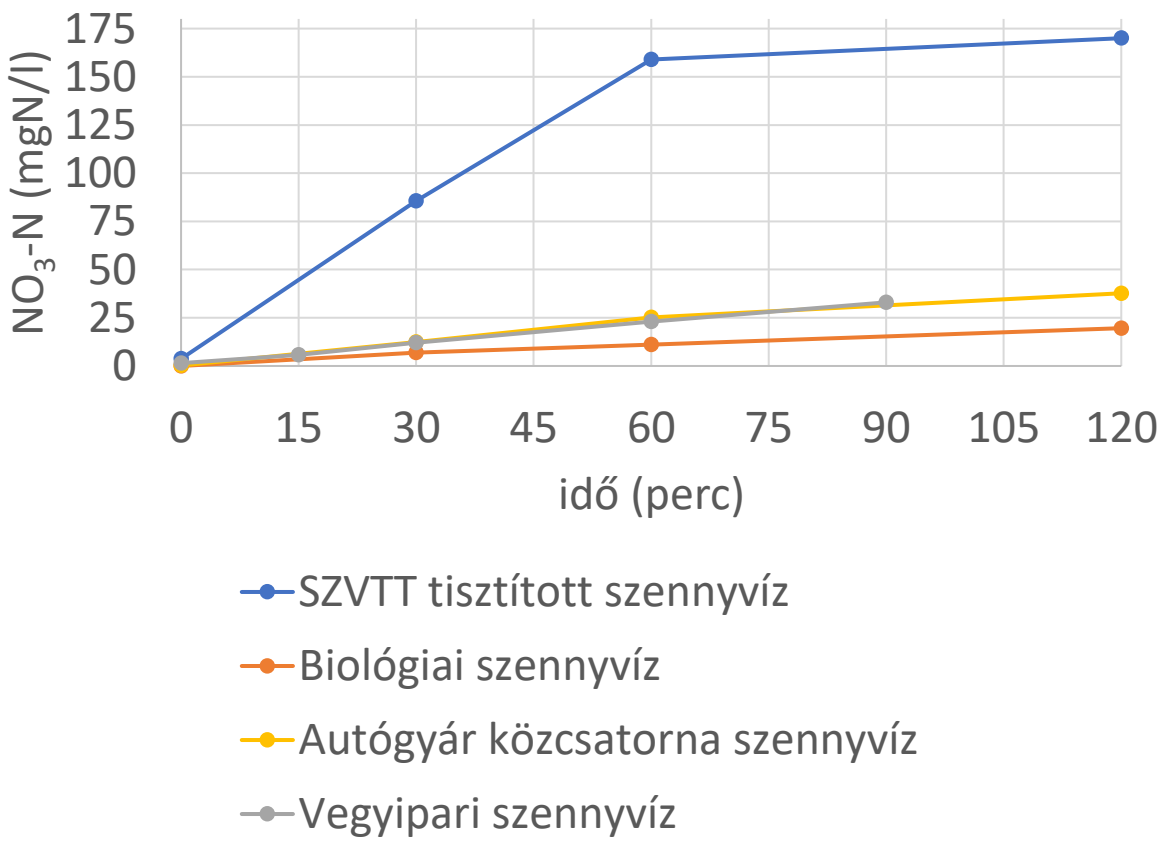
- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

Vízminőségi paraméterek vizsgálata VI.

Kjeldahl-nitrogén

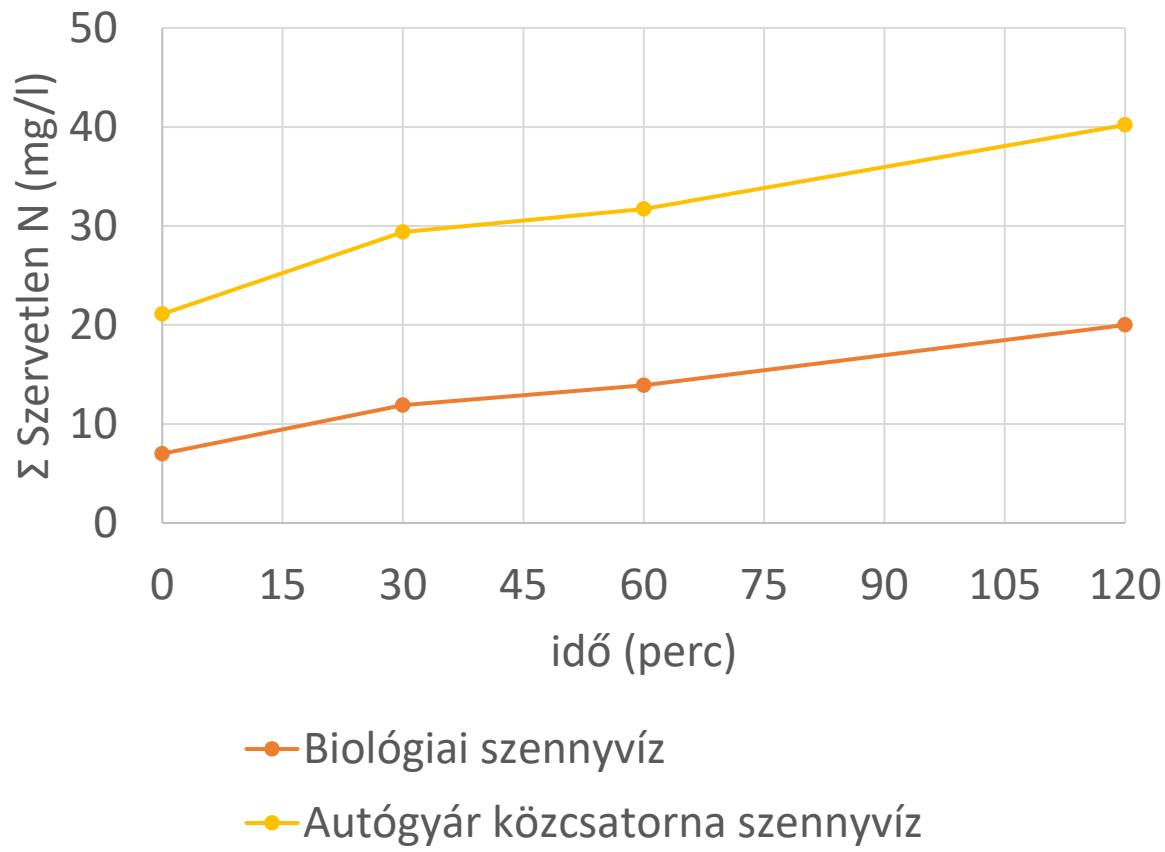


Nitrát-nitrogén



Vízminőségi paraméterek vizsgálata VII.

Összes szervesetlen nitrogén



Fenol-index

