



Ózon alkalmazása a vízminőség javítására

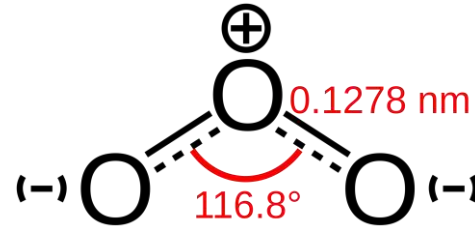
Kovács Norbert

Projektmérnök

Bálint Analitika Kft.

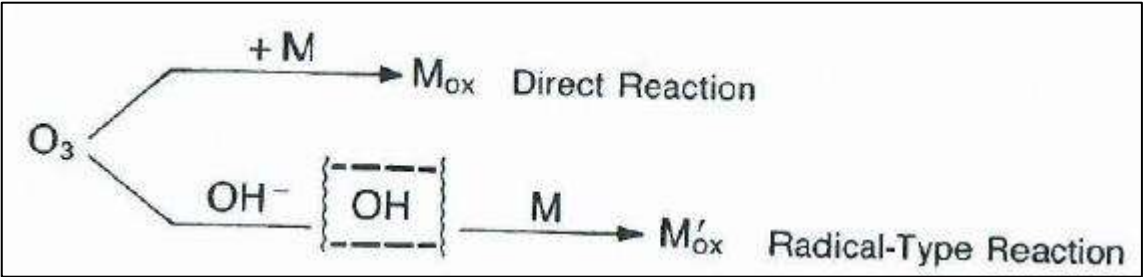
projekt@balintanalitika.hu

- 3 atomos oxigén molekula, O_3
- Jellegzetes szúrós szagú
- Halvány kék gáz
- Mérgező
- Instabil, nagyon reaktív
- Felfedezése: Christian Friedrich Schönbein (1840)
- Előállítás:
 - $3 O_2 \rightarrow 2 O_3$
 - levegőből vagy **tiszta oxigénből**
 - **Elektromos kisülés**, UV ($\lambda=185 \text{ nm}$), víz elektrolízis, hidegplazma



Az ózon, mint oxidálószer

- Vízdoldhatósága jobb, mint oxigéné (25°C) ¹ :
 - $H_{O_3}^{cp} = (1,0 - 1,3) \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^3\text{Pa})$
 - $H_{O_2}^{cp} = (1,2 - 1,3) \times 10^{-5} \text{ mol}/(\text{m}^3\text{Pa})$
- Erős oxidálószer
- Reaktivitás vizes közegben³:



Oxidálószer ²	Képlet	Redox potenciál, (eV)
Fluor	F ₂	3,05
Hidroxilgyök	•OH	2,80
Naszcents oxigén	O•	2,42
Ózon	O₃	2,07
Hidrogén-peroxid	H ₂ O ₂	1,78
Hidroperoxilgyök	HO ₂ •	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

¹ Sander, R. *Atmos. Chem. Phys.* **15**, 4399–4981 (2015)

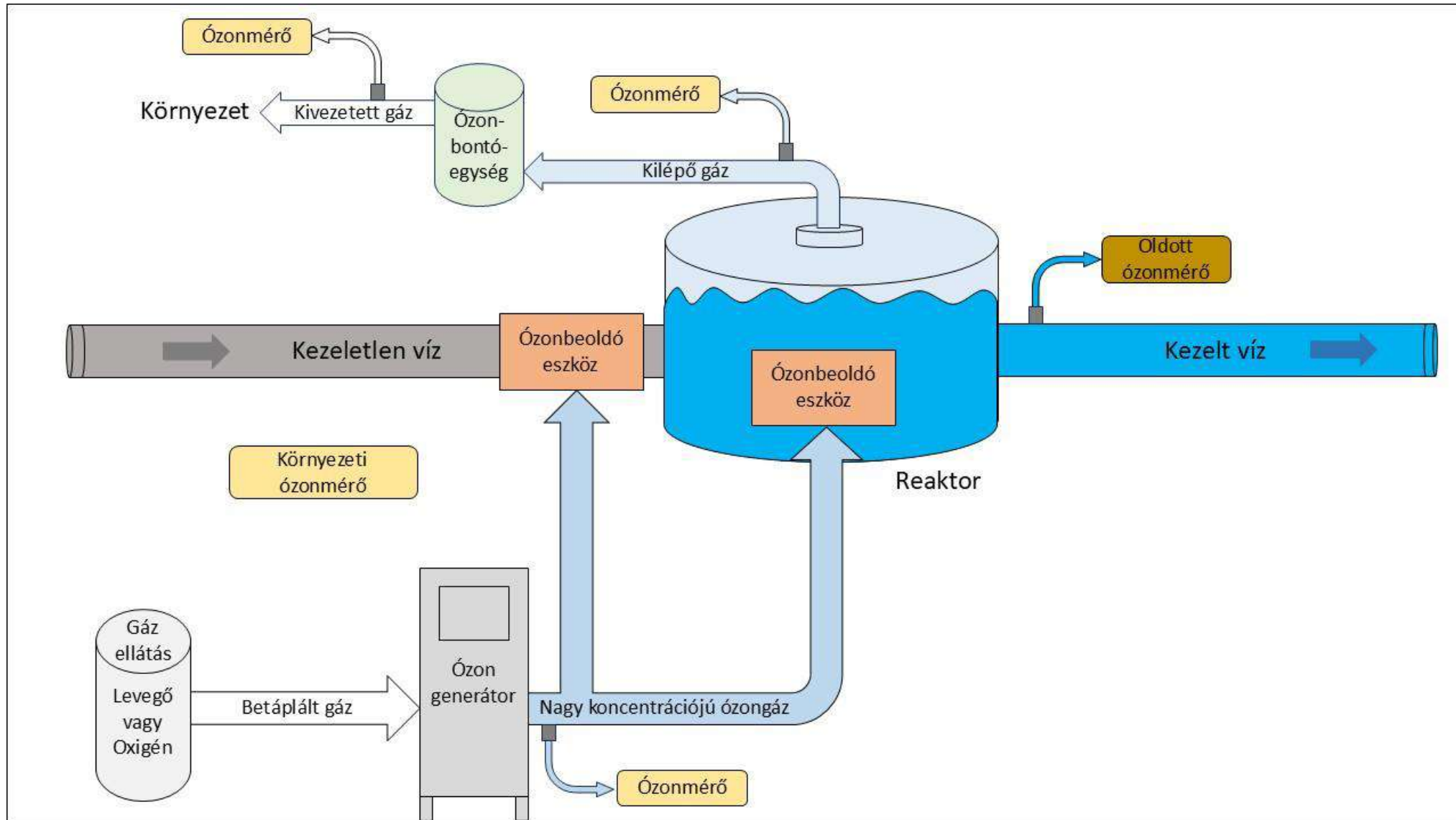
² Lide, R. D., ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics, Internet Version 2005*, <http://www.hbcpnetbase.com>. (CRC Press, 2005)

³ Langlais, B. et al. *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering: Cooperative Research Report*. (Routledge, 2019)

Nagy hatékonyságú/Fejlett oxidációs eljárások (AOP)

- ózon lúgos közegben (pH > 8,5)
- Peroxon eljárás (O_3/H_2O_2)
- ózon fotolízis (O_3/UV)
- $O_3/ H_2O_2 /UV$
- Katalitikus ózonozás
 - Homogén: átmeneti fém-ionok
 - Heterogén: fém-oxidok, hordozóra felvitt fém-oxidok, porózus anyagok
- Ózon fotokatalízis ($O_3/UV/TiO_2$)
- Fenton eljárással kombinált ózonozás (O_3 /Fenton eljárás)
- Ózon/ultrahang (O_3/US)

Oxidálószer	Képlet	Redox potenciál, (eV)
Fluor	F_2	3,05
Hidroxilgyök	$\cdot OH$	2,80
Naszcents oxigén	$O\cdot$	2,42
Ózon	O_3	2,07
Hidrogén-peroxid	H_2O_2	1,78
Hidroperoxilgyök	$HO_2\cdot$	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



Ózon felhasználásának területei a vízminőség javítására I.

- Ivóvíz előállítás:
 - Szervetlen szennyezők eltávolítása (Fe, Mn)⁴
 - Kellemetlen íz megszüntetése⁵
 - Színtelenítés⁶
 - Szagtalanítás⁵
 - Zavarosság csökkentése⁷
 - Koaguláció-flokkuláció-szeparáció hatékonyságának javítása⁸
 - Toxikus mikroszennyezők lebontása⁹
 - THM prekursorok bontása¹⁰
 - Fertőtlenítés¹¹

⁴Von Gunten, U. *Water Research* **37**, 1443–1467 (2003)

⁵Ferguson, D. W. et. al. *Journal AWWA* **82**, 181–191 (1990)

⁶Helmy, Q. & Notodarmojo, S. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* **620**, 012052 (2019)

⁷Hardyanti, N. et. al. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **1414**, 012039 (2024)

⁸Langlais, B. et al. *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering: Cooperative Research Report*. (Routledge, 2019)

⁹Kudlek, E. & Dudziak, M. *Desalination and Water Treatment* **117**, 88–100 (2018)

¹⁰Rice, R. G. *Ozone: Science & Engineering* **2**, 75–99 (1980)

¹¹Camel, V. & Bermond, A. *Water Research* **32**, 3208–3222 (1998)

Ózon felhasználásának területei a vízminőség javítására II.

- Kommunális szennyvízkezelés:
 - Színtelenítés¹²
 - Szagtalanítás¹³
 - **Szerves mikroszennyezők lebontása**¹⁴
 - Fertőtlenítés¹⁵
 - Fölösiszap mennyiségének csökkentése¹⁶

¹²Lanzetta, A. et al. *Water* **15**, 2362 (2023)

¹³Hwang, Y. et al. *Water Research* **28**, 2309–2319 (1994)

¹⁴Derco, J. et al. *Processes* **9**, 1013 (2021)

¹⁵Xu, P. et al. *Water Research* **36**, 1043–1055 (2002)

¹⁶Chu, L., et al. *Water Research* **43**, 1811–1822 (2009)

Ózon felhasználásának területei a vízminőség javítására III.

- Ipari szennyvízkezelés:
 - Élelmiszer- és italipar: fertőtlenítés; szag és íz problémák megszüntetése; fehérjék, zsírok, színyanyagok lebontása¹⁷
 - Gyógyszer- és vegyipar: toxikus szerves vegyületek bontása¹⁸
 - Textilipar: színezékek, felületaktív anyagok, segédanyagok bontása¹⁹
 - Papír- és cellulózipar: fehérítés; KOI, BOI, TOC, szín csökkentés²⁰
- Felszín alatti vizek kármentesítése²¹:
 - Szerves szennyezők lebontása
 - Patogének inaktiválása
 - Oldott oxigénszint növelése

¹⁷Pascual, A. et al. *Trends in Food Science & Technology* **18**, S29–S35 (2007)

¹⁸Leontieff, D. A. et al. *Processes* **13**, 2331 (2025)

¹⁹Selcuk, H. *Dyes and Pigments* **64**, 217–222 (2005)

²⁰Prat, C. et al. *Water Research* **23**, 51–55 (1989)

²¹Hu, L. et al. *Environ. Sci. Technol.* **59**, 5829–5838 (2025)

Ózon felhasználásának területei a vízminőség javítására IV.

- Szürkevíz újrahasznosítás²²:
 - Szagtalanítás
 - Fertőtlenítés
 - Szerves anyag oxidáció
- Medencevíz kezelés²³:
 - Szerves szennyezők lebontása (izzadság, kozmetikum maradványok)
 - Fertőtlenítés

²²Díaz, M. A. et al. *Water* **17**, 1195 (2025)

²³Paucar, N. E. *Ozone: Science & Engineering* **41**, 3–16 (2019)

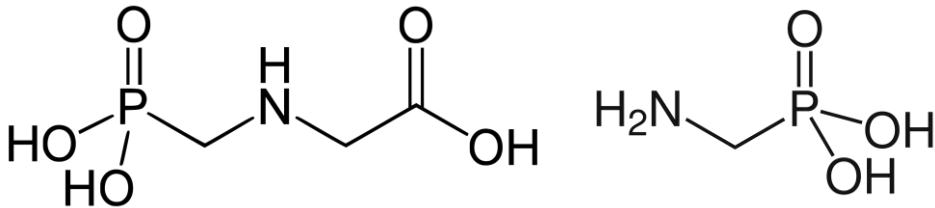
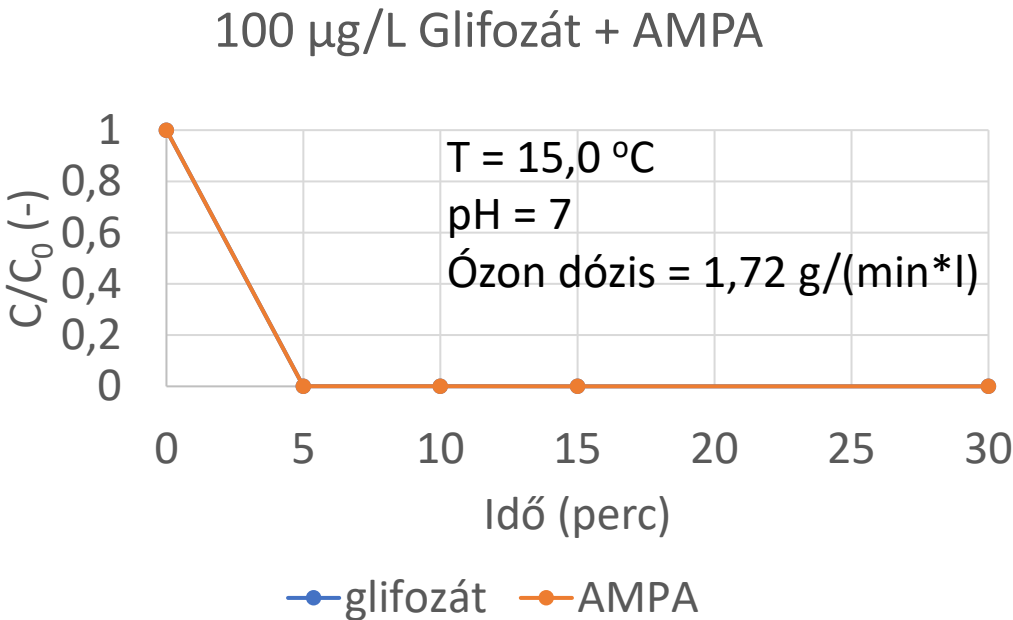
2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00017

Ipari méretű ózont felhasználó technológia és szolgáltatás fejlesztése szennyvíztisztításra



Glifozát + AMPA

- Legnagyobb mennyiségben gyártott és használt herbicid az egész világon
- Feltehetően rákot okoz^{24,25}
- Határérték ivóvízre: peszticid: 0,10 µg/l, össz. peszticid összesen: 0,50 µg/l



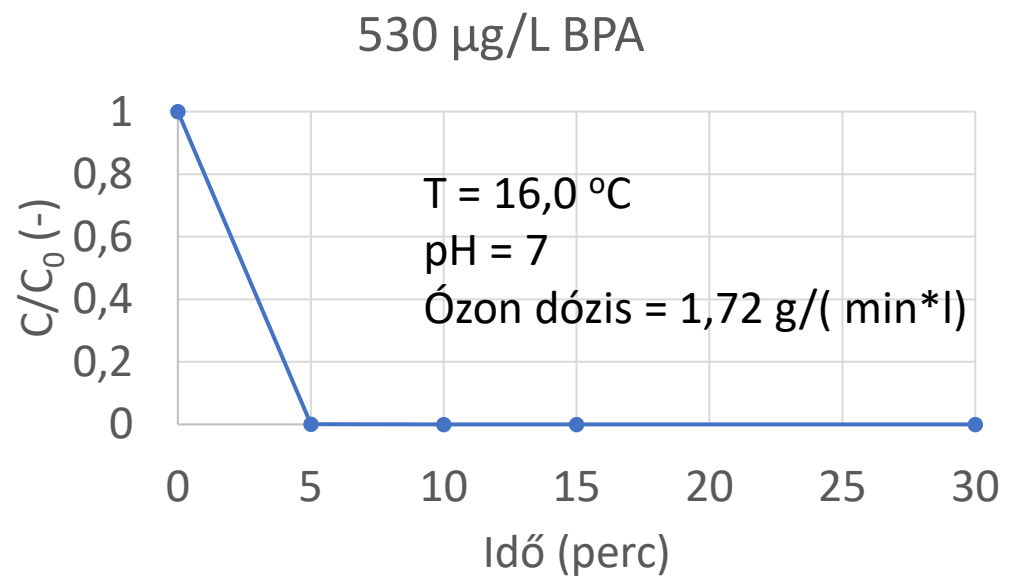
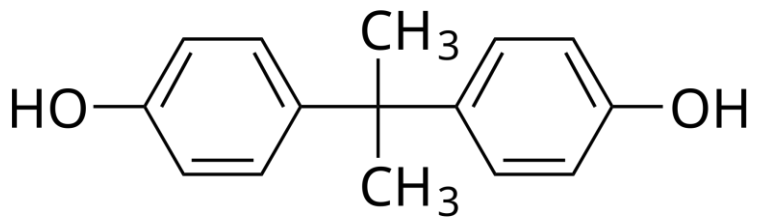
Idő (perc)	Glifozát		AMPA	
	(µg/l)	Elt. (%)	(µg/l)	Elt. (%)
0	97,8	0,00	97,6	0,00
5	0,03	99,97	0,07	99,93
10	0,02	99,98	0,03	99,97
15	0,01	99,99	0,01	99,99
30	0,01	99,99	0,01	99,99

²⁴IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides 20 March 2015 (WHO)

²⁵Panzacchi, S., et al. Environ Health **24**, 36 (2025).

Biszfenol-A (BPA)

- Polikarbonát előállítására és epoxigyanta prekurzoraként alkalmazzák
- 2024-ben a globális BPA termelés kb. 37 millió tonna²⁶
- Hormonkárosító anyag²⁷
- Határérték ivóvízre: 2,5 µg/l



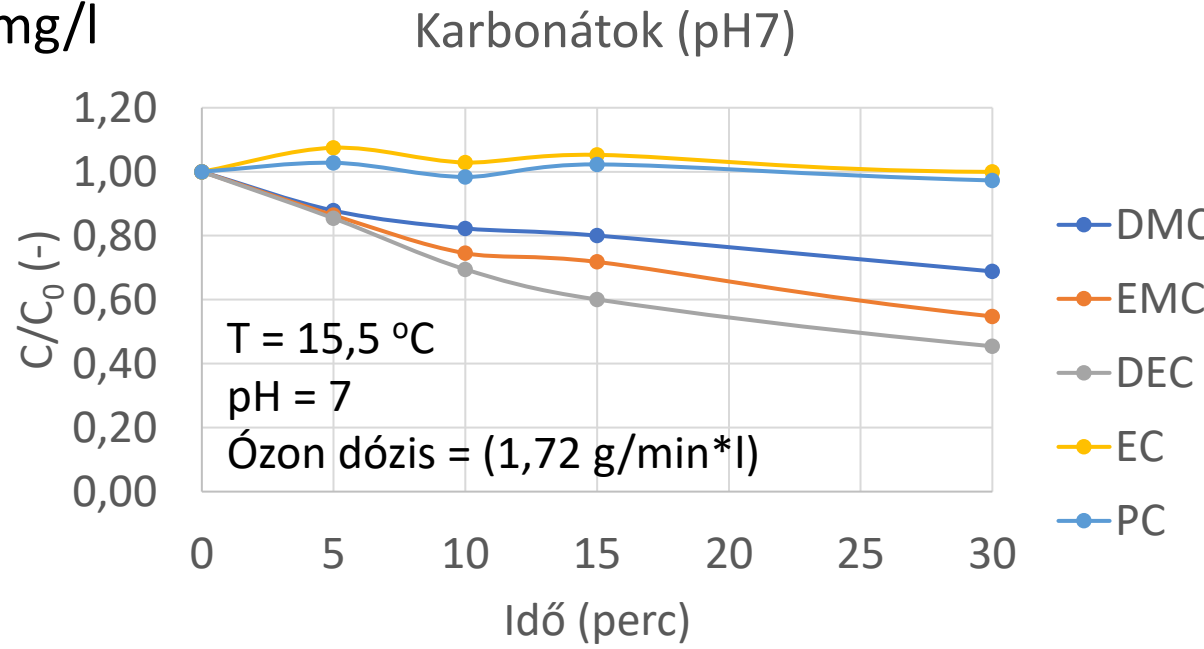
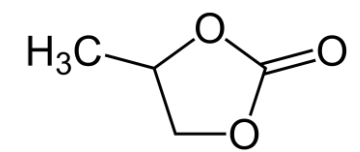
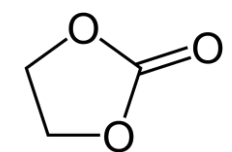
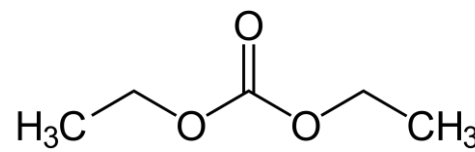
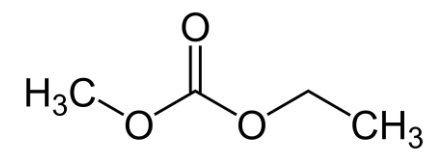
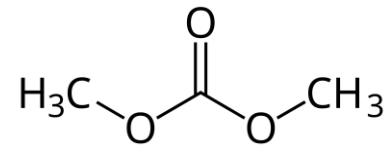
Idő (perc)	BPA (µg/l)	Eltávolítás(%)
0	564	0,00
5	0,61	99,89
10	N/A	>99,99
15	N/A	>99,99
30	N/A	>99,99

²⁶Decode the future of Bisphenol A (<https://www.chemanalyst.com/industry-report/bisphenol-a-market-57>) Online elérhető: 2025.09.09.

²⁷ECHA/PR/17/12 16 June 2017

Szerves karbonátok I.

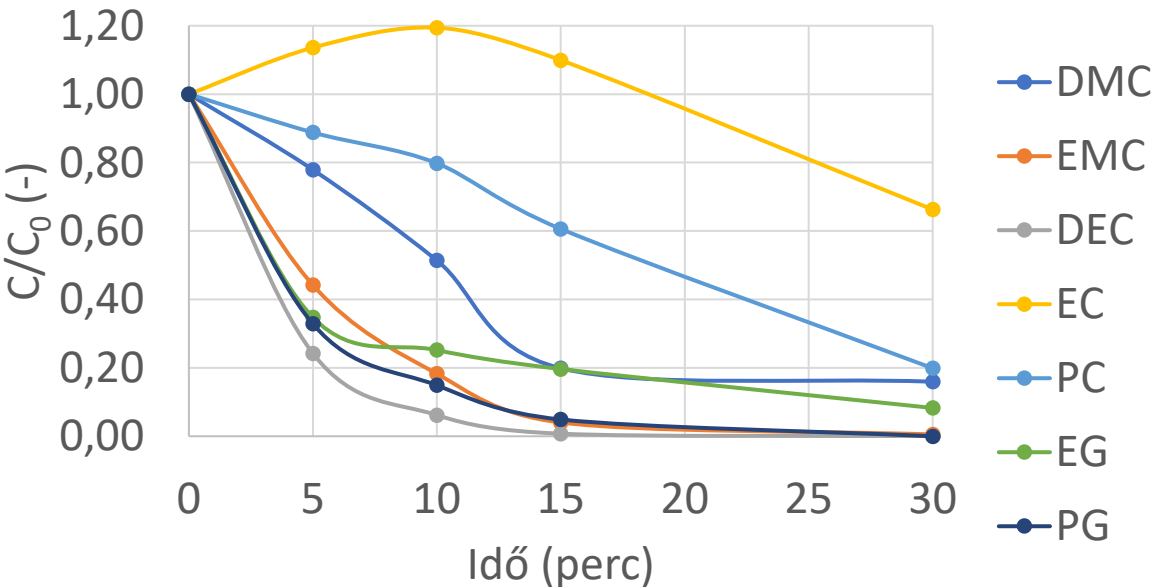
- Gyógyszer-, kozmetikai-, akkumulátoriparban aprotikus oldószer.
- Alacsony toxicitás, biológiailag könnyen bontható.
- DE! Nagy koncentrációban felboríthatja az ipari szennyvizeket befogadó víztestek az ökológiai egyensúlyt.
- Kiindulási koncentrációk:
 - DMC, EMC, DEC: 10 mg/l
 - EC, PC: 50 mg/l



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

Szerves karbonátok II.

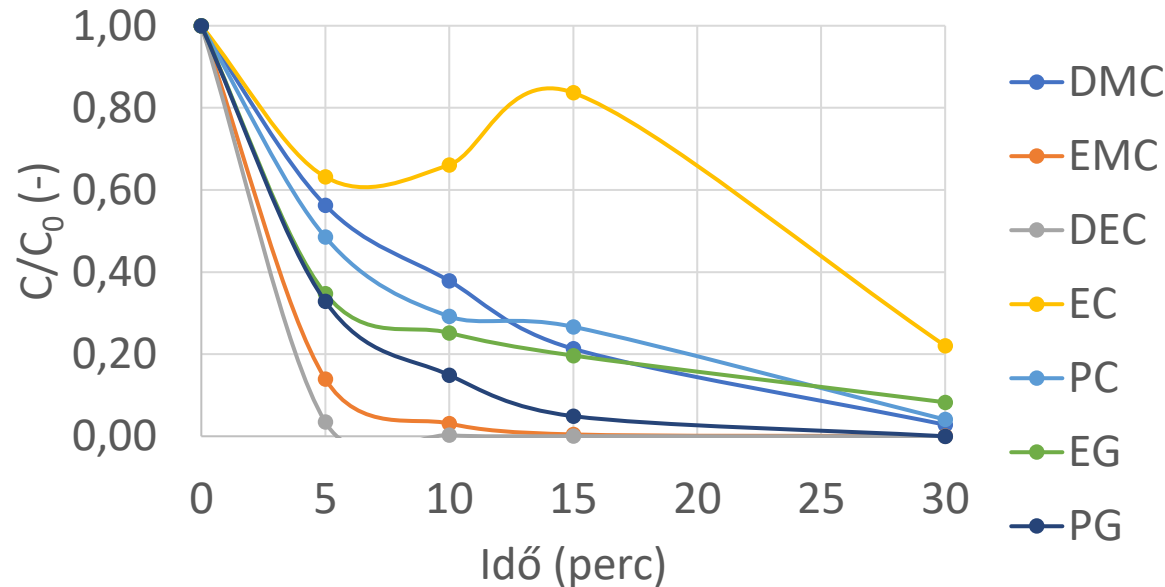
Karbonátok (pH8)



Eltávolítás: 84-100%

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

Karbonátok (pH9)



Eltávolítás: 97-100%

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

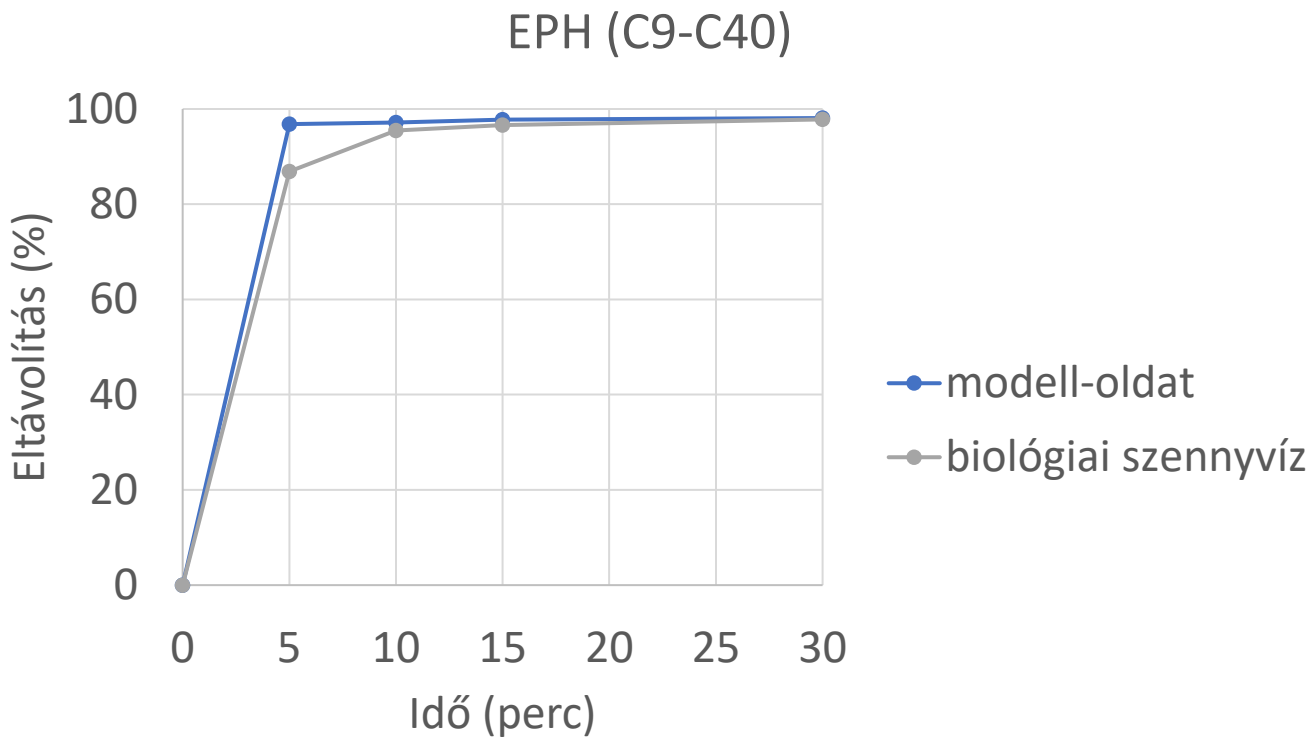
Rövidítések:

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



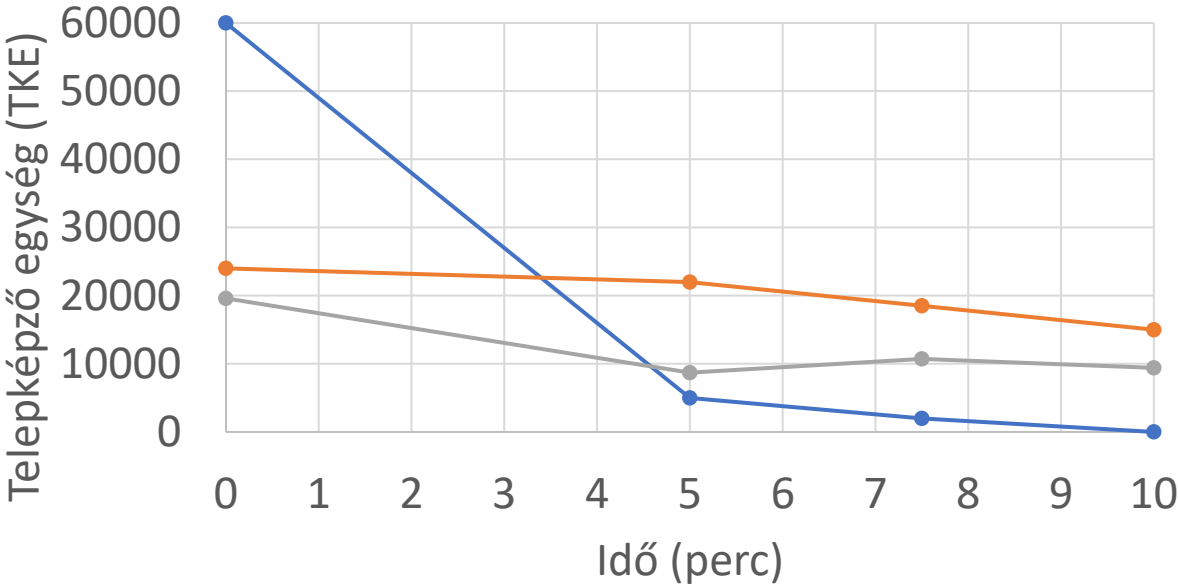
Modell-oldat: gázolajjal szpájkolt
ioncserélt víz 2800 µg/l EPH
T = 15,0 °C
pH = 7
Ózon dózis = 1,72 g/(min*I)

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

- Állattartótelep szennyvizének ózonos kezelése

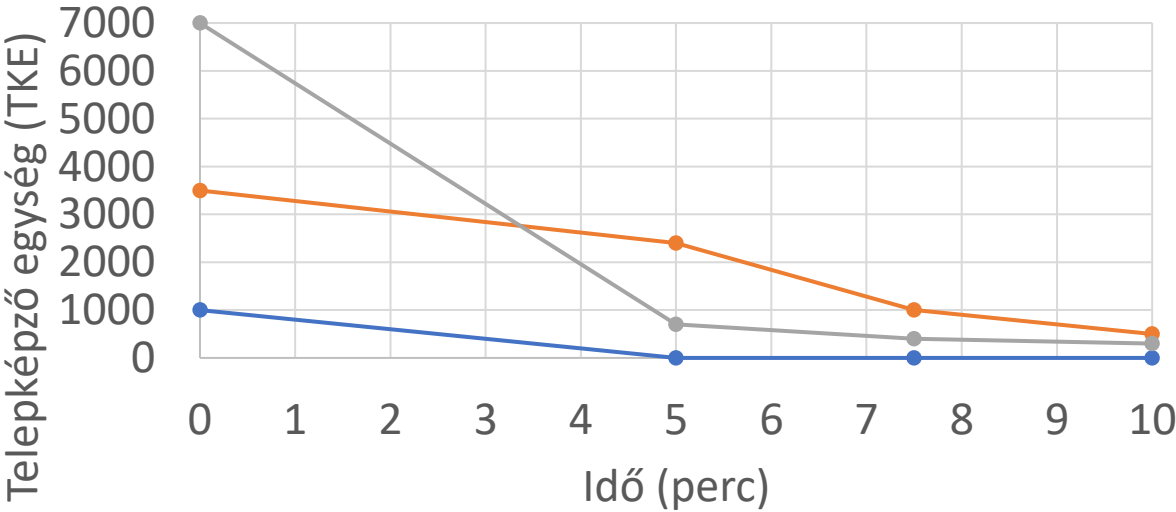
$T = 24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\text{pH} = 7,35$
 Ózon dózis = $1,72\text{ g}/(\text{min} \cdot \text{l})$

Coliform és telepszám



—●— Coliformszám
 —●— Telepszám 37 oC-on*
 —●— Telepszám 22 oC-on*

E. coli, Ec., P. aeruginosa



—●— Escherichia coli szám
 —●— Enterococcus szám
 —●— Pseudomonas aeruginosa szám*



0 s



30 s



60 s



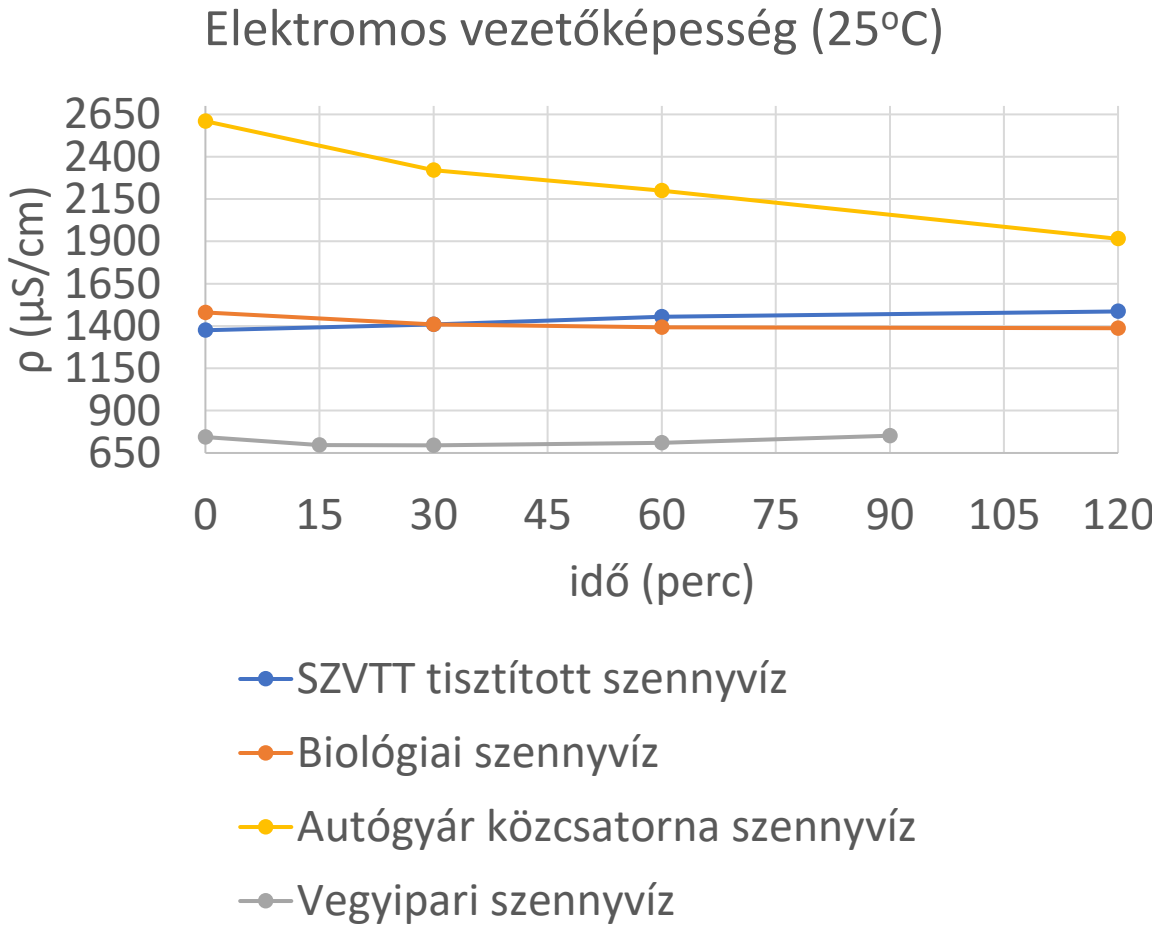
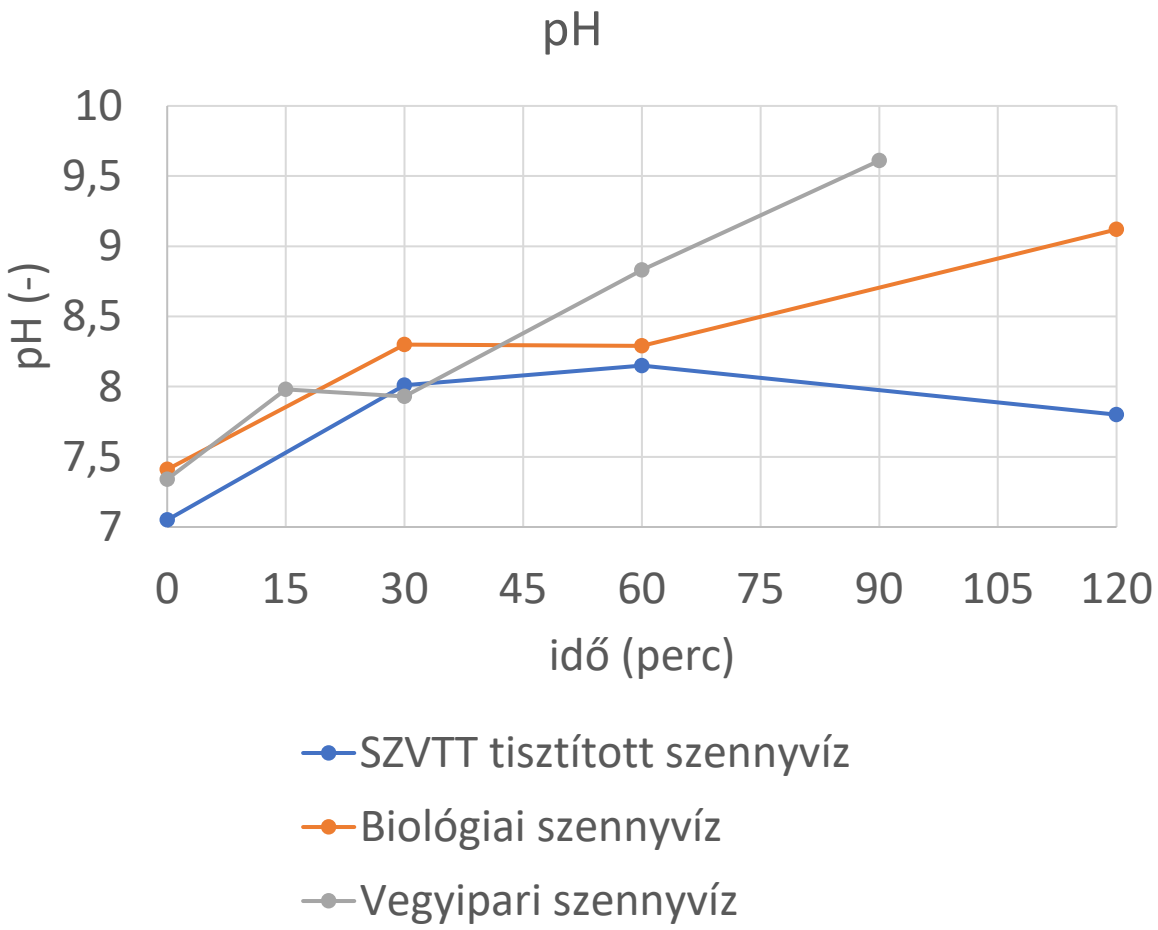
90 s

Vízminőségi paraméterek vizsgálata I.

- 4 szennyvíz vizsgálata:

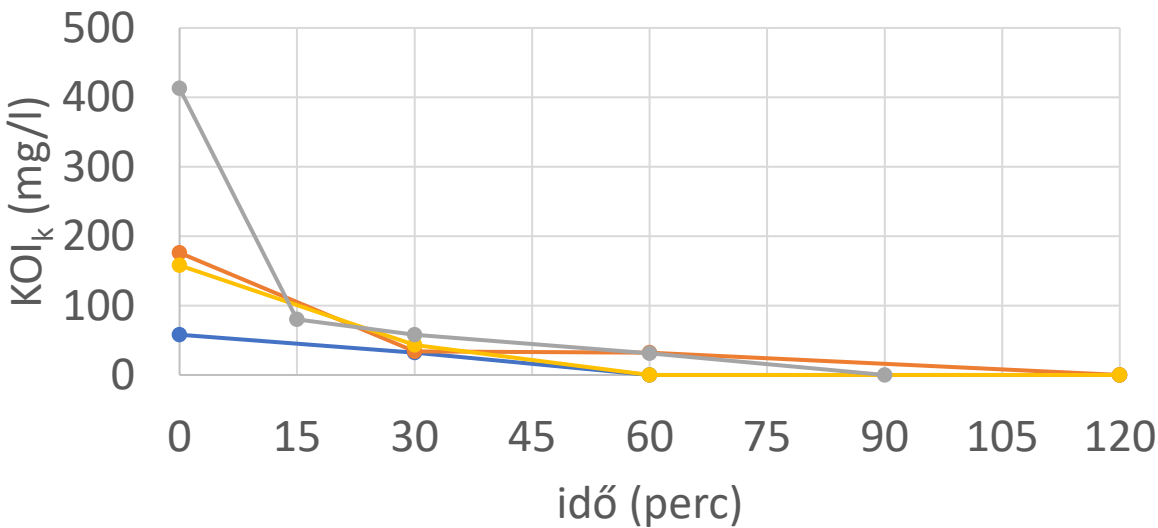
Minta	Hőmérséklet (°C)	Ózon dózis (g/(min*I))
Szennyvíztisztító telep tisztított szennyvize	17,5	1,72
Biológiai szennyvíz	22,0	1,75
Autógyártó cég közcsatorna szennyvize	22,0	1,75
Szerves vegyi alapanyag gyártó cég szennyvize	22,5	1,72

Vízminőségi paraméterek vizsgálata II.



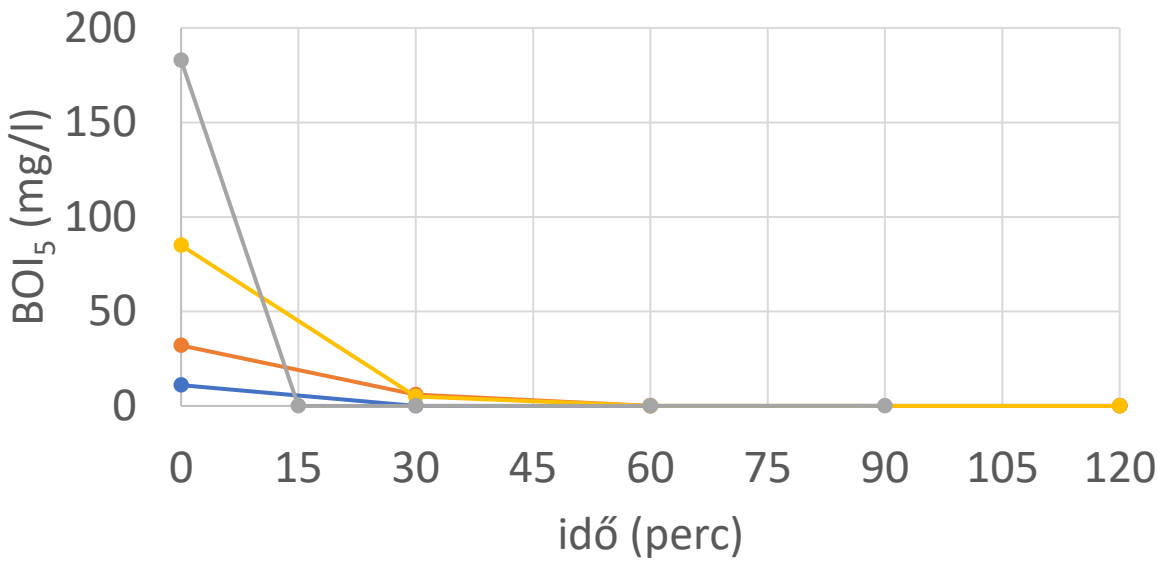
Vízminőségi paraméterek vizsgálata III.

Dikromátos kémiai oxigénigény (KOI_k)



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

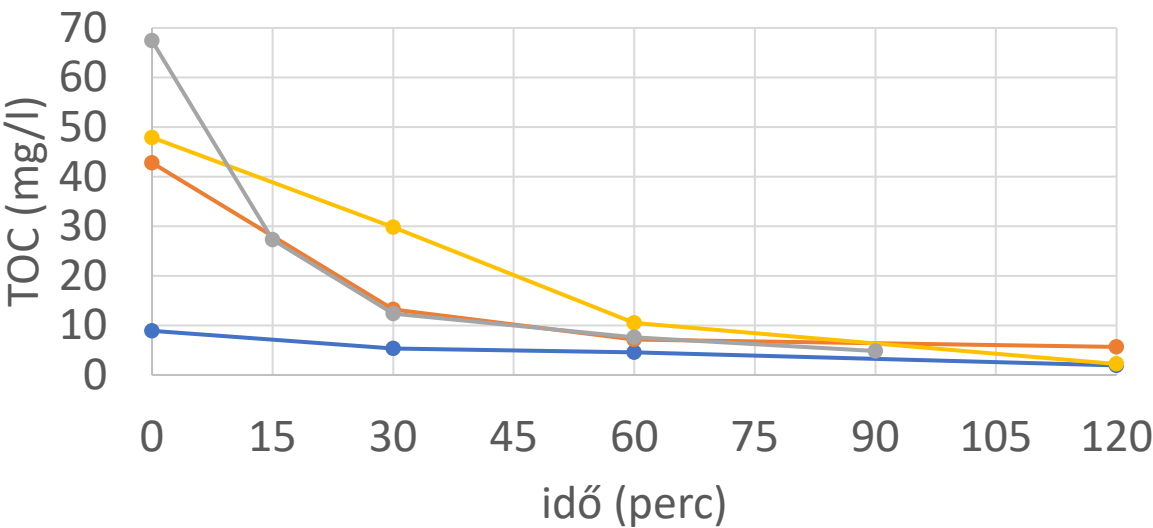
Biológiai oxigénigény (BOI₅)



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

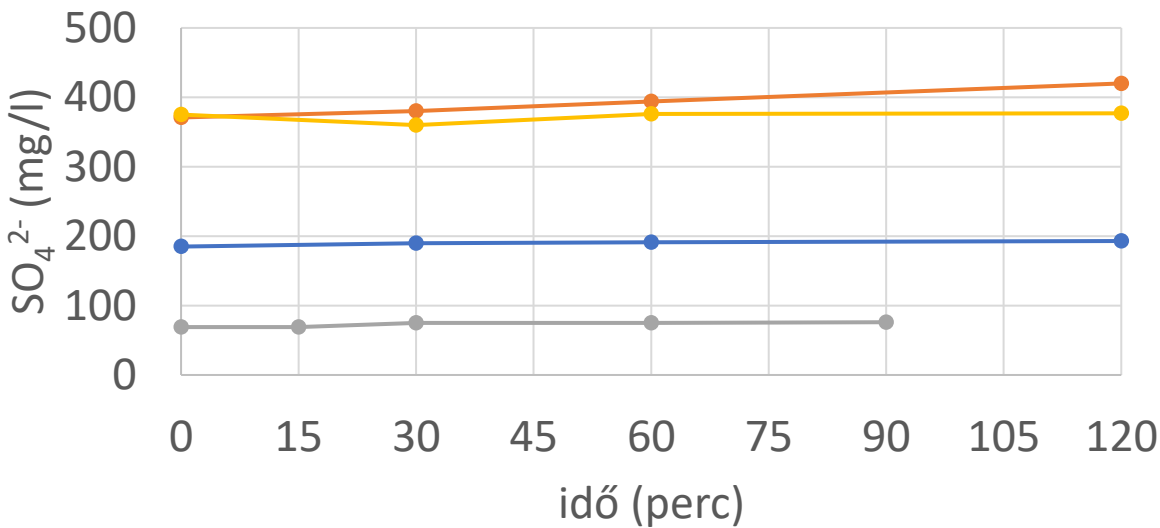
Vízminőségi paraméterek vizsgálata IV.

Összes szerves széntartalom (TOC)



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

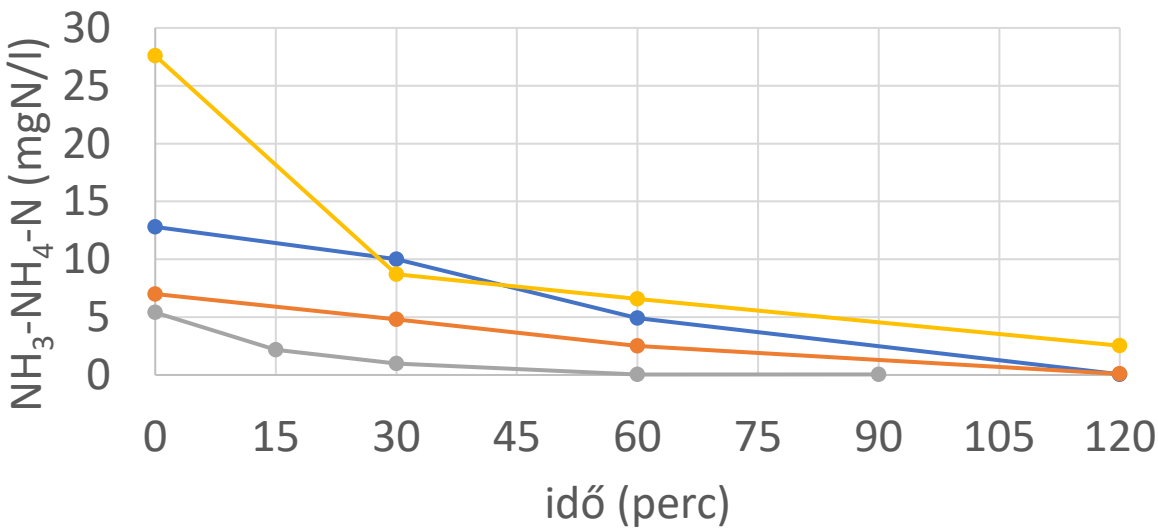
Szulfát



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

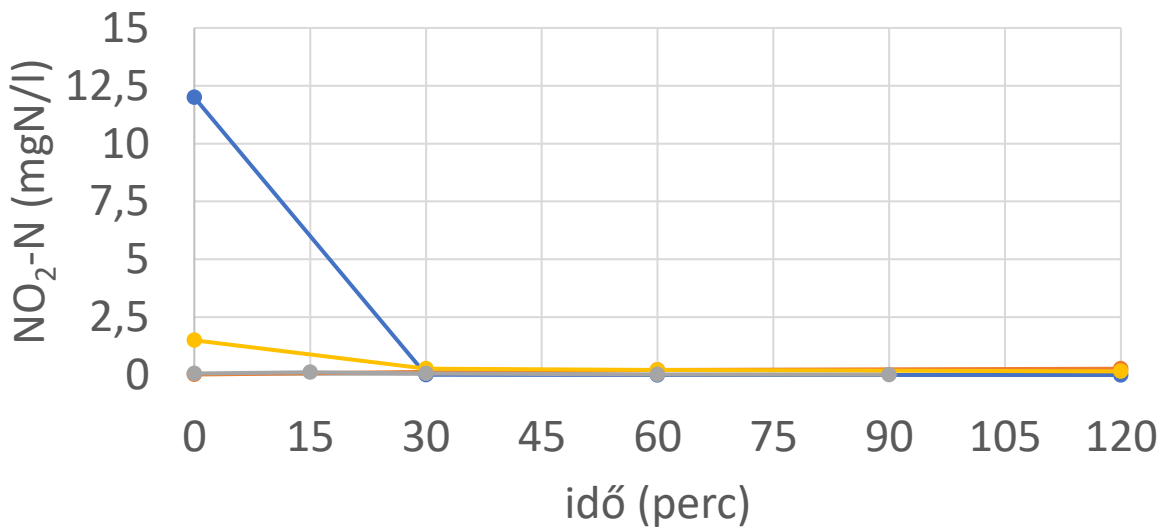
Vízminőségi paraméterek vizsgálata V.

Ammónia-ammónium-nitrogén



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

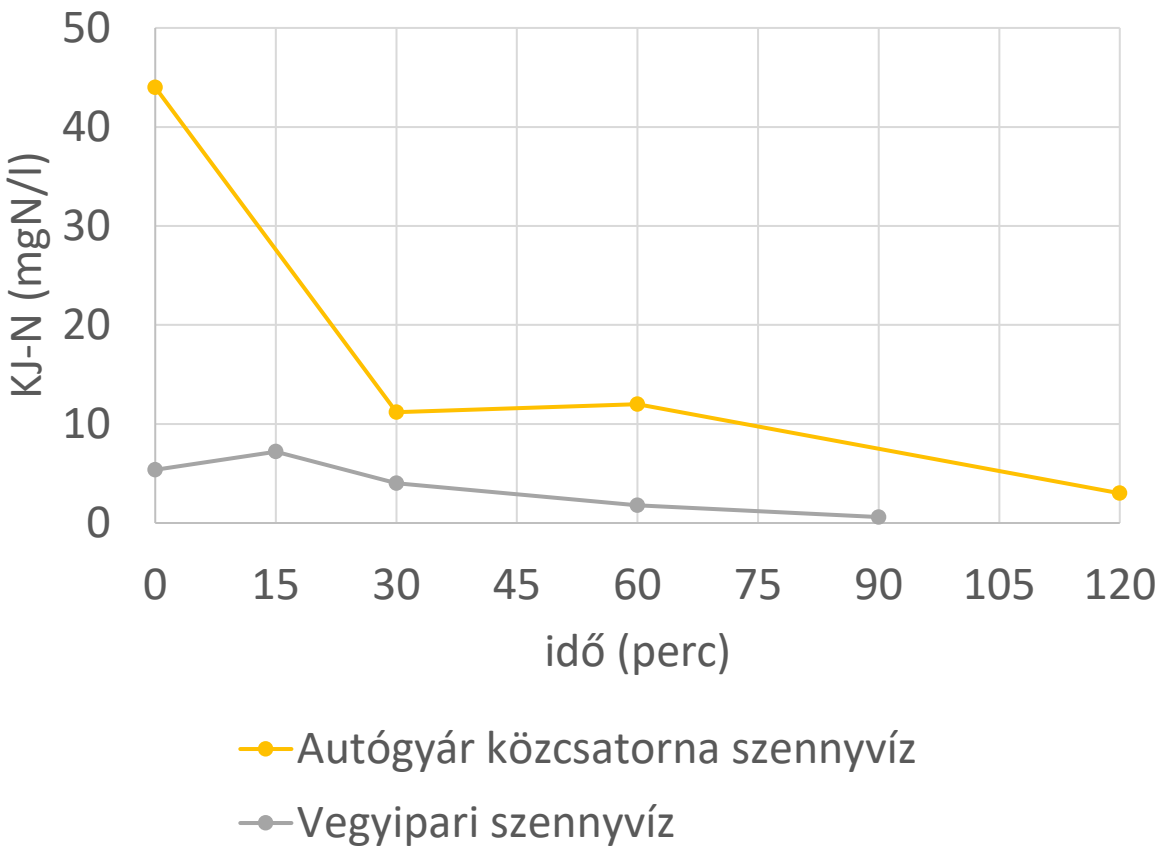
Nitrit-nitrogén



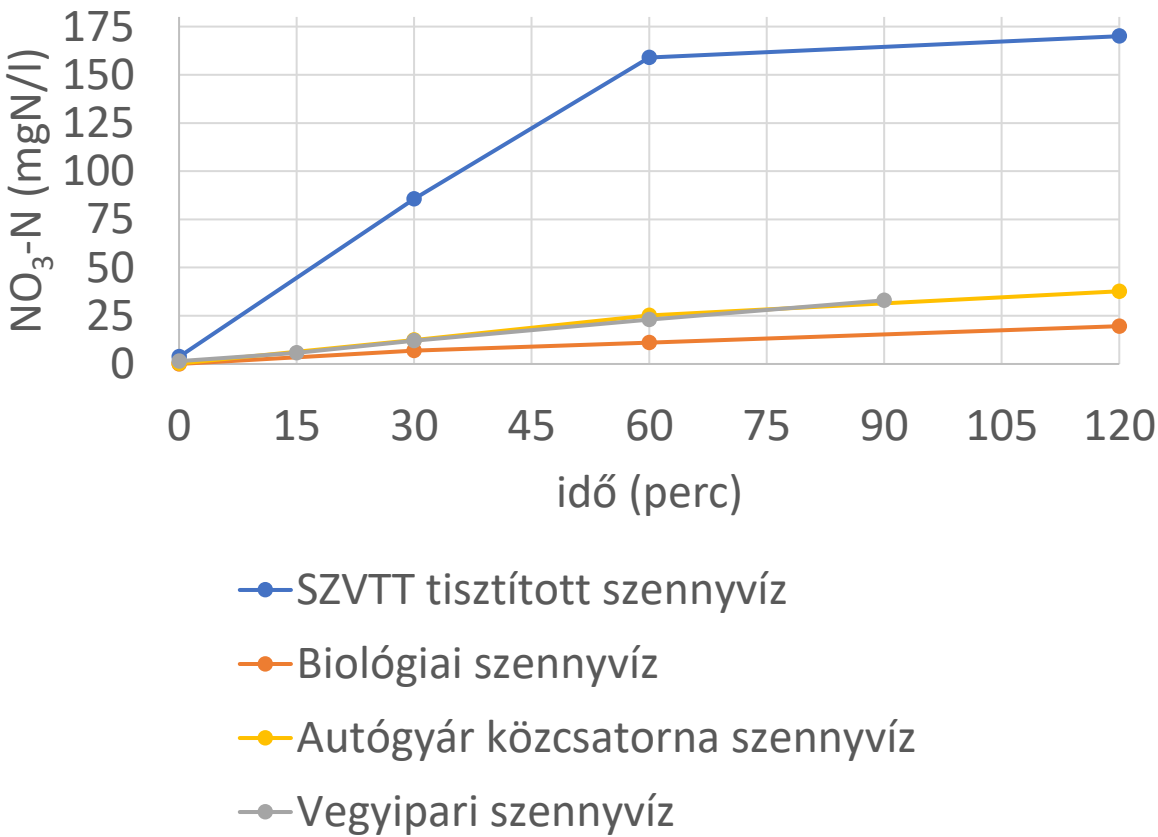
- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

Vízminőségi paraméterek vizsgálata VI.

Kjeldahl-nitrogén

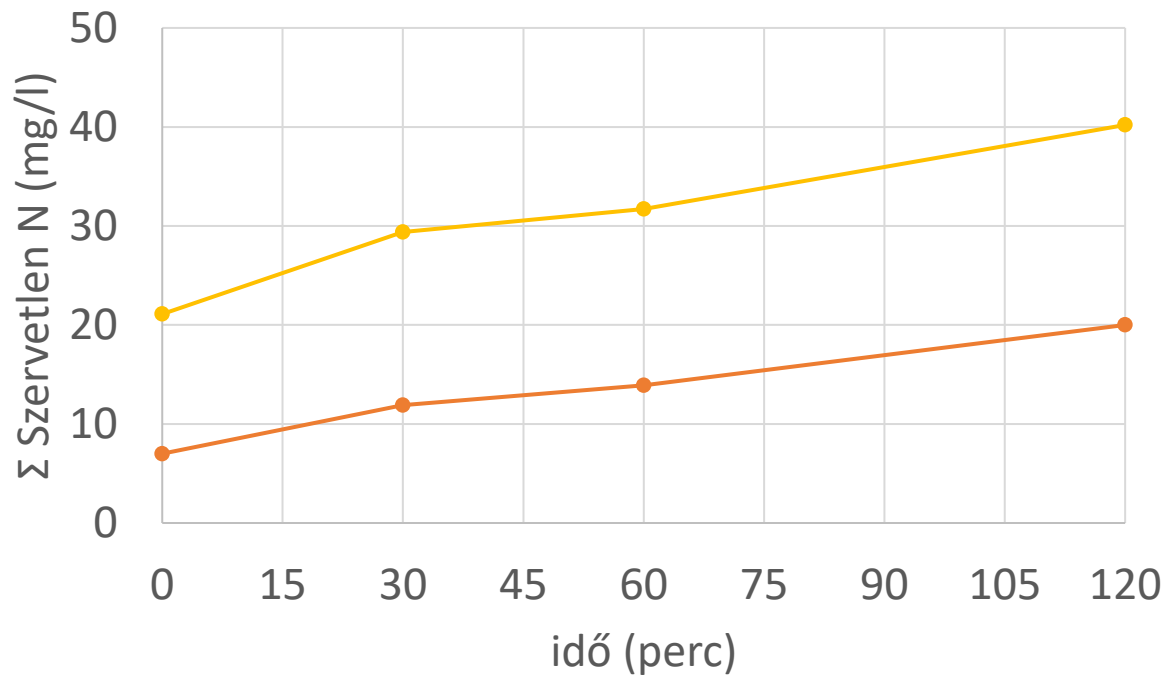


Nitrát-nitrogén



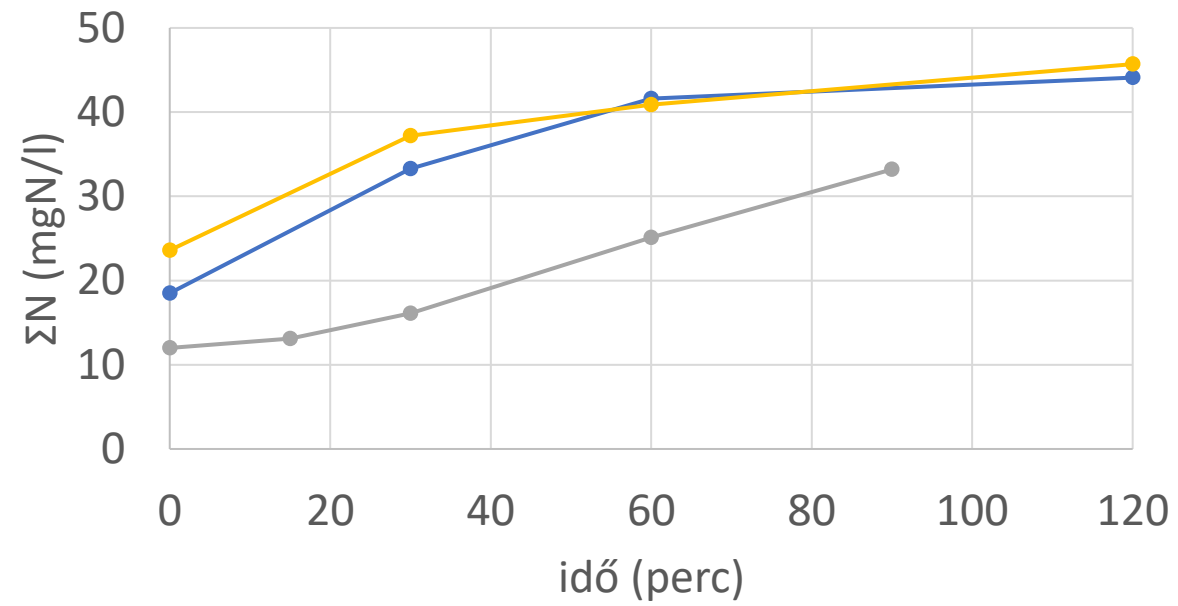
Vízminőségi paraméterek vizsgálata VII.

Összes szervesetlen nitrogén

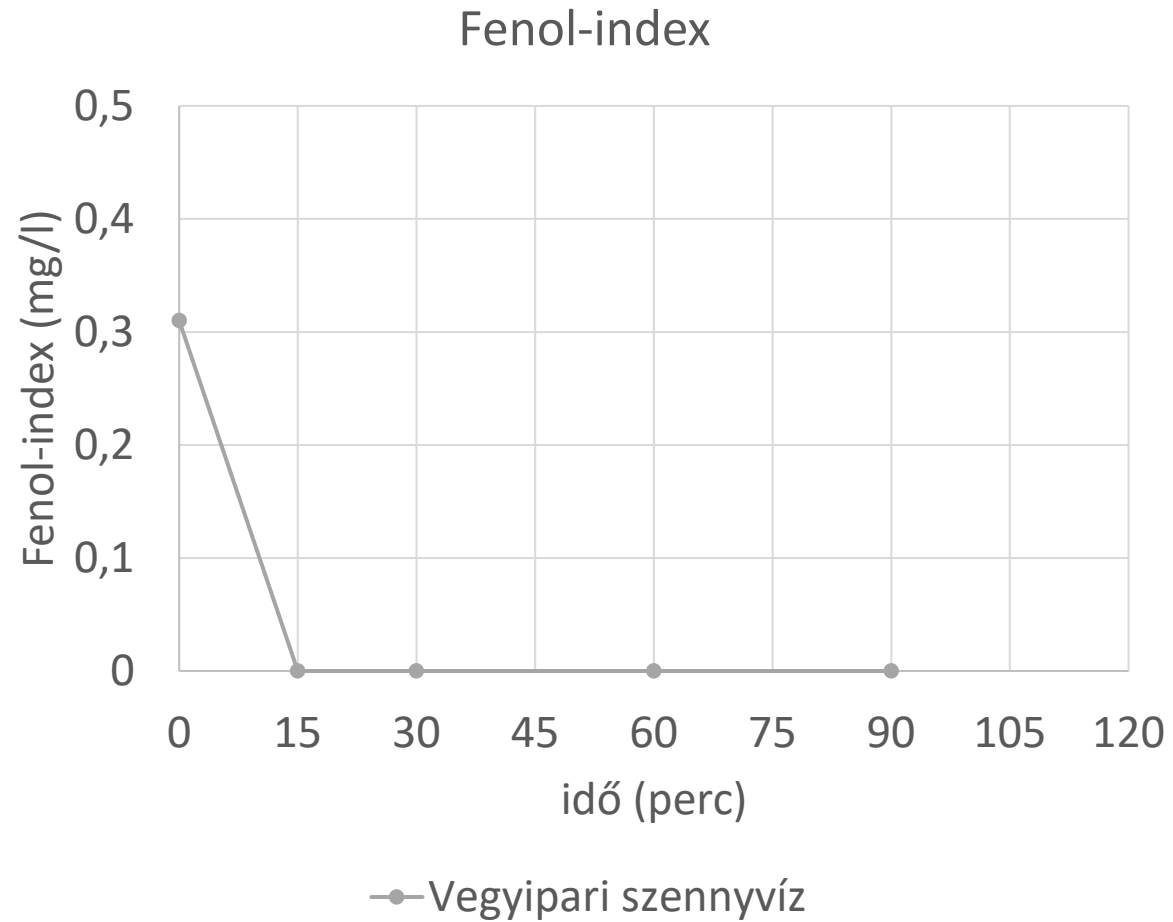


- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz

Összes nitrogén



- SZVTT tisztított szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz



- **Jelenleg vizsgált vegyületek/vegyületcsoportok:**
 - PAH-ok, klórfenolok, HAA₅, Etidronsav (HEDP), NMP, 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, ciprofloxacín, 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!

