



Az ózon szerepe a szennyvíztisztításban – lehetőségek és kihívások

Kovács Norbert

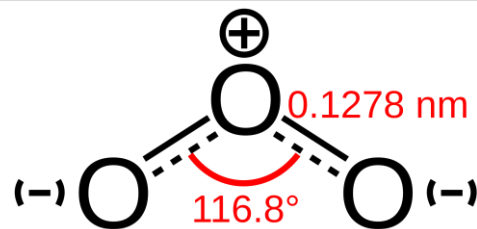
Projektmérnök

Bálint Analitika Kft.

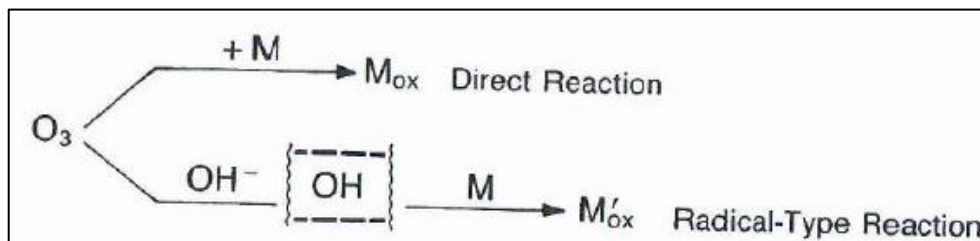
projekt@balintanalitika.hu

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 **tiszta oxigénből**
 - **Elektromos kisülés**, UV ($\lambda=185 \text{ nm}$), víz elektrolízis, hidegplazma
- Vízben mérsékelten oldódik
- Erős 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 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)

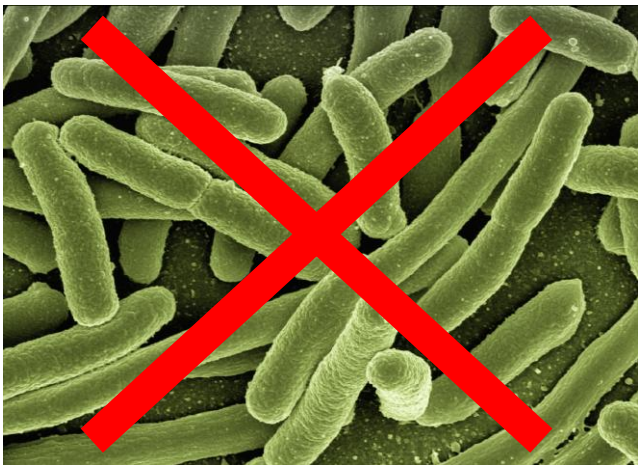
⁴Leontieff, D. A. et al. *Processes* **13**, 2331 (2025)

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)

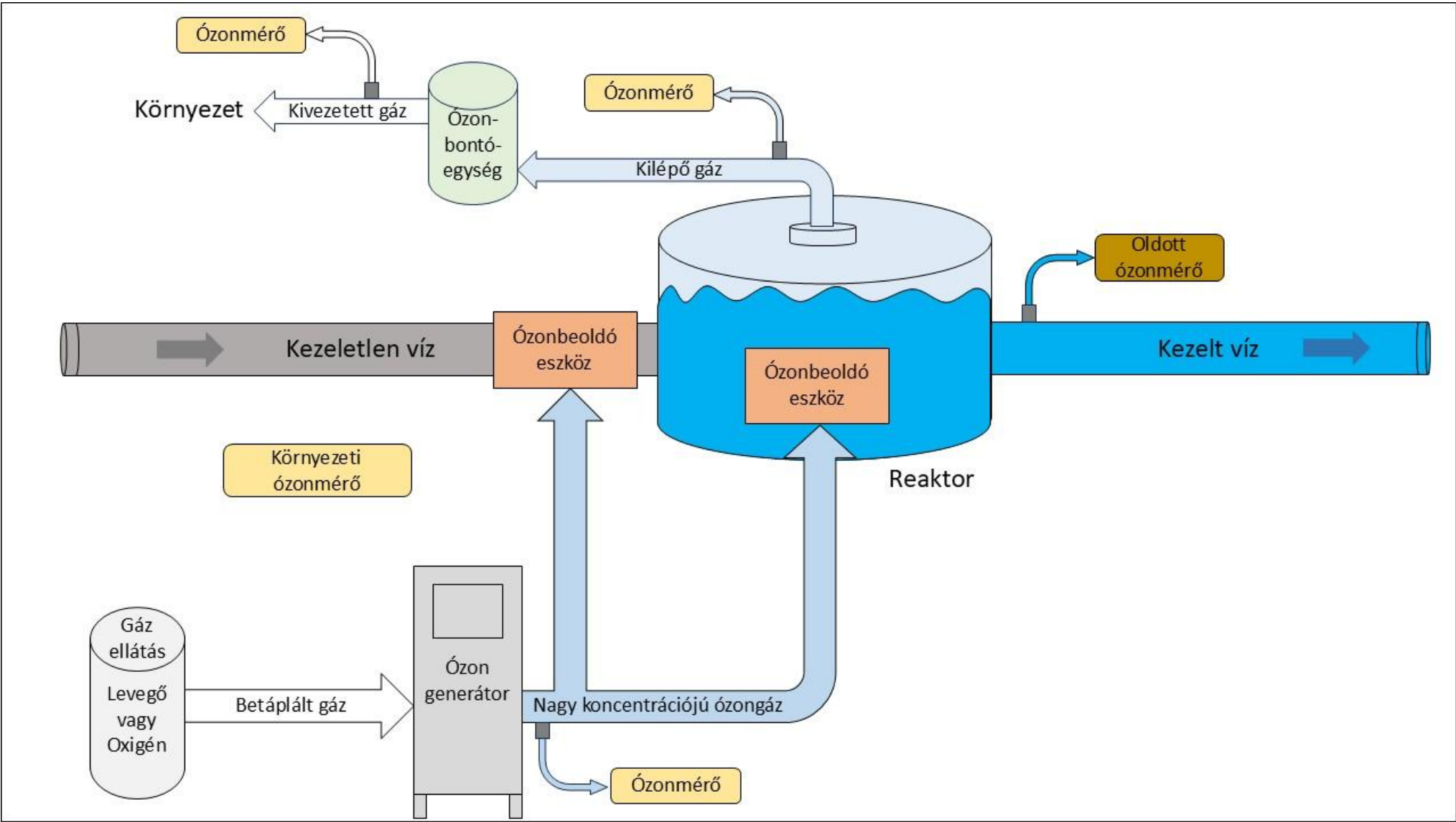
⁸Hwang, Y. et al. *Water Research* **28**, 2309–2319 (1994)

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

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

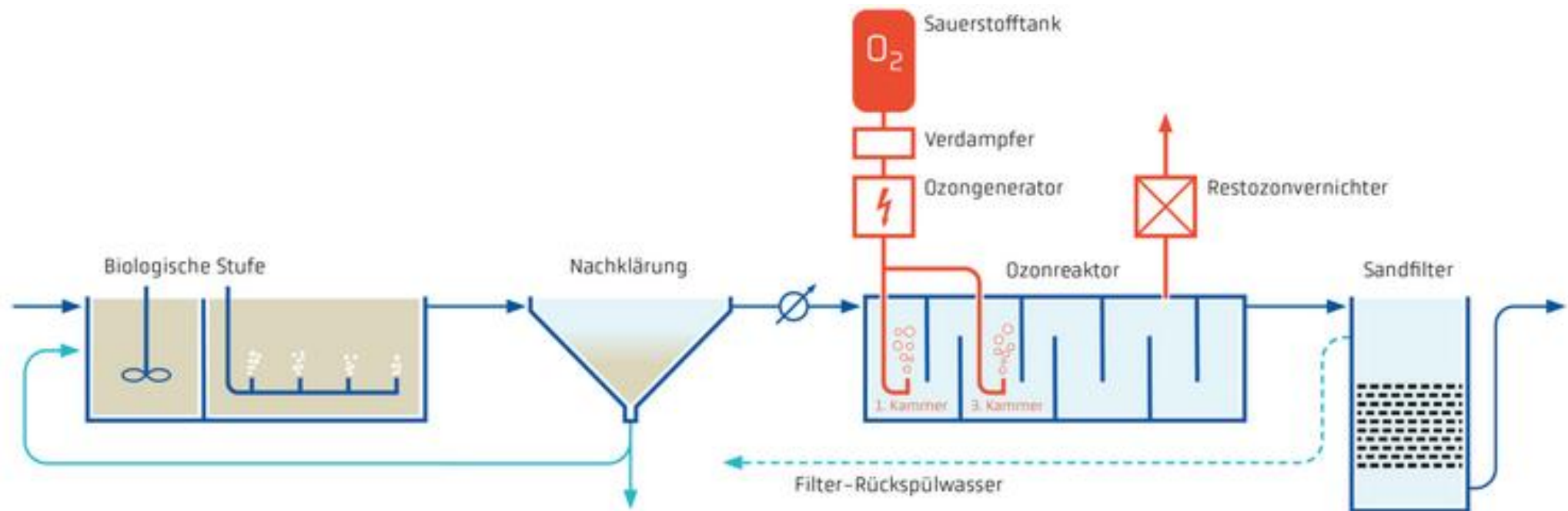
¹¹Derco, J. et al. *Processes* **9**, 1013 (2021)

Ózonos szennyvízkezelő berendezés



Ózonos kezelés megvalósítása a negyedik fokozatban

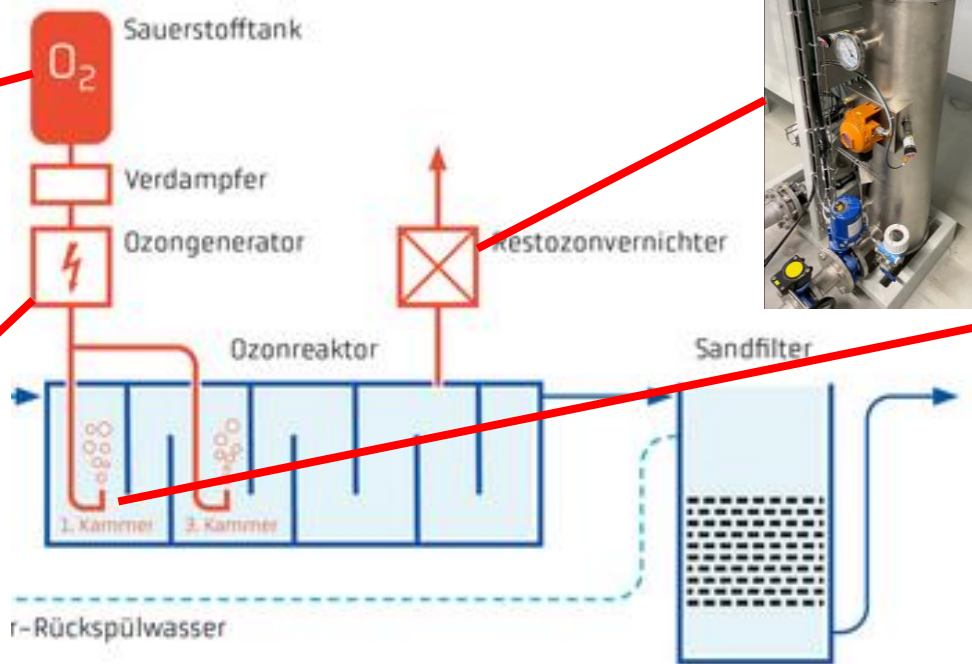
- >80%-os lebontási hatásfok 0,3 – 0,7 g O₃/g DOC adagolással
- HRT 10-14 perc (max. 30 perc)
- A bomlástermékek miatt szükséges homok vagy GAC szűrést alkalmazni



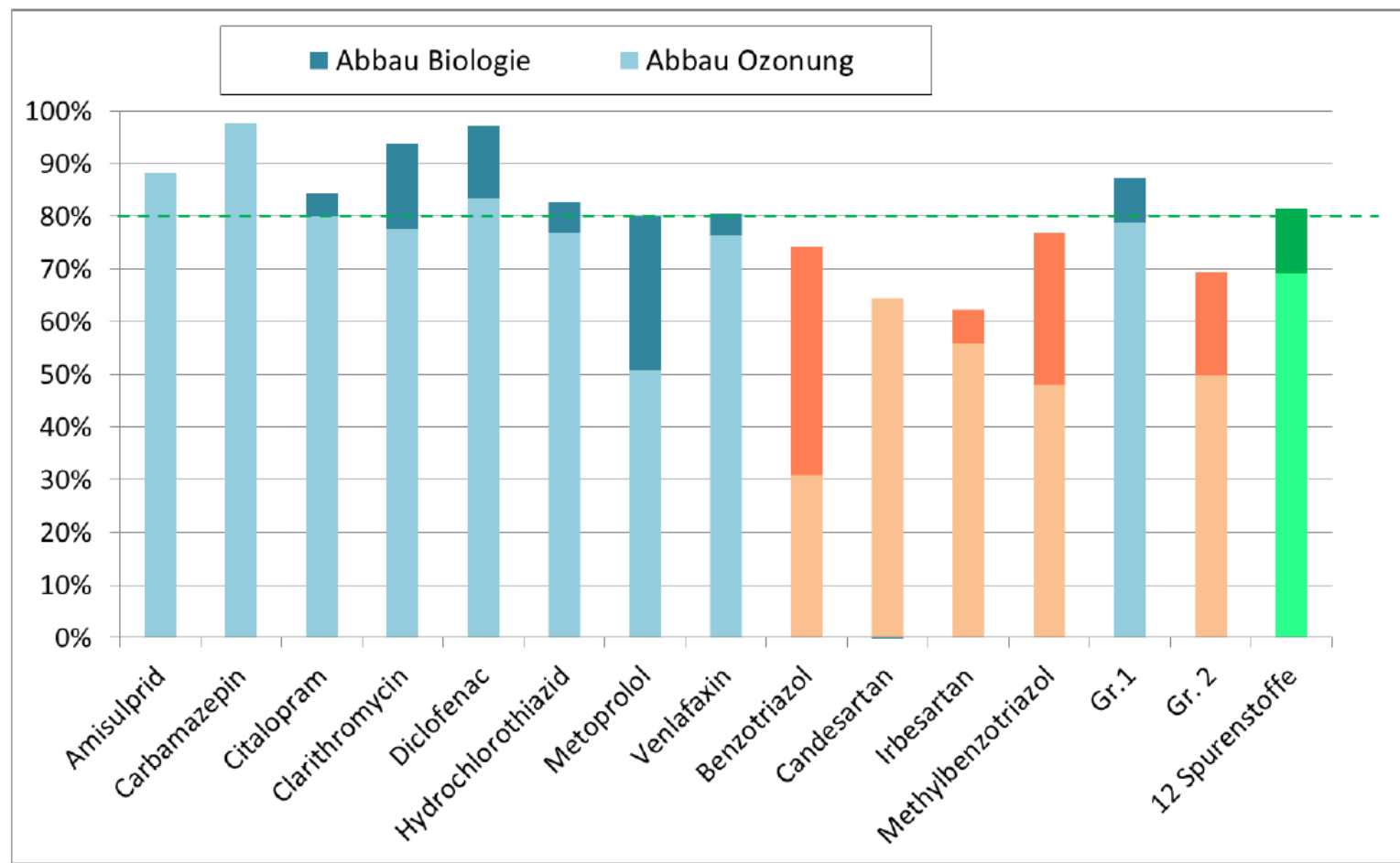
Forrás: <https://micropoll.ch/verfahren/ozon/ozon-verfahrensuehrung/>

Ózonos kezelés megvalósítása a negyedik fokozatban

- >80%-os lebontási hatásfok 0,3 – 0,7 g O₃/g DOC adagolással
- HRT 10-14 perc (max. 30 perc)
- A bomlástermékek miatt szükséges homok vagy GAC szűrést alkalmazni



Ózonos kezelés mikroszennyező eltávolítási hatékonysága



→ Required elimination performance achieved

2025.04.03. ARA Neugut – Elizaveta Shilyaeva-tól kapott adatok
(Elérhető: AQUA & GAS N° 12 | 2019 vagy AQUA & GAS N° 2 | 2020)

Ózonizálás előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
Más alkalmazásban elterjedt módszer	Biztonsági kérdések merülnek fel
Alacsony üzemeltetési költségek	Magas beruházási költségek
Viszonylag kis helyigény	AOC és BDOC nő → biológiailag aktív szűrés szükséges
Erős oxidálószer, rengeteg szerves vegyület képes lebontani	Optimális előtisztítás (pl. min. NO_2^-)
Sok patogént képes elpusztítani (fertőtlenítés helyét is átveheti)	Magas Br^- koncentráció esetén BrO_3^- képződés
Antibiotikum rezisztencia elleni küzdelem	Potenciális veszélyes bomlástermékek pl. aldehidek, nitrózaminok
Ökológiai szempont: kémiaiilag alakítja át a molekulákat (egyszerűsödő molekulák)	Nem gazdaságos magas SS, BOI, KOI, TOC vizekben való alkalmazása
„Vegyszermentes” (O_2 -re bomlik)	
Ártalmatlan bomlástermékek	

- Az ózonos szennyvíztisztítás egy **fejlett, hatékony és környezetbarát technológia**, amely a jövő vízkezelési rendszereinek egyik kulcseleme lehet.
- Leginkább **utókezelési** lépésként alkalmazzák biológiai tisztítás után.
- **Nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal** (AOP-kkal) tovább növelhető a lebontás hatékonysága, például O_3/H_2O_2 , O_3/UV , $O_3/H_2O_2/UV$, katalizikus ózonozás, ózon fotokatalízis ($O_3/UV/TiO_2$), $O_3/Fenton$, O_3/US
- Az ózonos technológia tehát nemcsak **fertőtlenítésre** alkalmas, hanem a **mikroszennyezők és gyógyszermaradványok elleni küzdelem** egyik legígéretesebb megoldása.



SZAKMAI - TUDOMÁNYOS ROVAT

ÓZON ALKALMAZÁSA A VÍZ- ÉS SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

Kovács Norbert, Bálint Analitika Kft.

ABSZTRAKT

Jelen cikk áttekinti az ózon történeti alkalmazását a vízkezelésben, bemutatja fizikai-kémiai sajátosságait, valamint kiemeli szerepét a nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokban (Advanced Oxidation Processes, AOP-k). Ismertetjük az ózonos vízkezelő rendszerek tipikus felépítését és működési egységeit. A cikk részletesen bemutatja az ózon alkalmazási területeit – az ivóvíz fertőtlenítéstől a szennyvíz szerves mikroszennyezőinek eltávolításáig. Aktualitása és társadalmi jelentősége miatt a technológia kommunális szennyvíz mikroszennyezőinek eltávolításában betöltött szerepét részletesebben tárgyaljuk. Ismertetjük a technológia költségeit és az összefoglalásban értékeljük az ózonos eljárások előnyeit, korlátait, valamint jövőbeli potenciálját a környezetbarát vízkezelési technológiák körében.

BEVEZETÉS

A tiszta vízhez való hozzáférés az emberi civilizáció egyik legalapvetőbb igénye, amely a történelem során számos technológiai fejlődést indított el. Az ivóvízkezelés hagyományos módszerei – mint például a szűrés, derítés, ülepítés és később a fertőtlenítés – hosszú ideig elegendőnek bizonyultak az előírt vízminőség és az alapvető higiéniai követelmények teljesítésére. Azonban a XX. század második felétől a növekvő ipari szennyezés,

a városiasodás egyre égetőbb problémát kezdtek jelenteni a víztisztítás területén. A klór széles körű alkalmazása például jelentős előrelépést jelentett a fertőző betegségek visszaszorításában, ugyanakkor számos nem kívánatos mellékterméket – például trihalometánokat (THM-ek) – is eredményezett[1], amelyek egészségügyi és környezetvédelmi aggályokat vetettek fel. E probléma indokoltá tette hatékonyabb és környezet barát módszerek kidolgozását.

Az ózon, mint erélyes oxidálószer, már a XIX. század végén felkeltette a kutatók figyelmét. Kezdetben elsősorban ivóvíz fertőtlenítésére alkalmazták [2], mivel rendkívül hatékony a kórokozók elpusztításában, továbbá alkalmazásával a klórozás káros melléktermékei elkerülhetők. Az idők során, azonban, a gyakorlat és a kutatások rávilágítottak arra, hogy az ózon sokkal szélesebb körű vízkezelési célokra is alkalmas: kiválóan használható a víz íztelenítésére [3], színtelenítésére[4] és szagtalanítására[3], valamint a vas és a mangán oxidáció útján történő eltávolítására is[5]. A 20. század második felétől az ipari és kommunális szennyvíztisztításban is egyre szélesebb körben alkalmazták, nemcsak fertőtlenítésre, hanem olyan célokra is, mint az összes szerves széntartalom (TOC) csökkentése[6], [7], a toxikus szennyezők átalakítása kevésbé káros formákká[8], a biológiai bonthatóság javítása[9] vagy a szerves mikroszennyezők eltávolítása[10]. Az ózonos technológia mára már

35

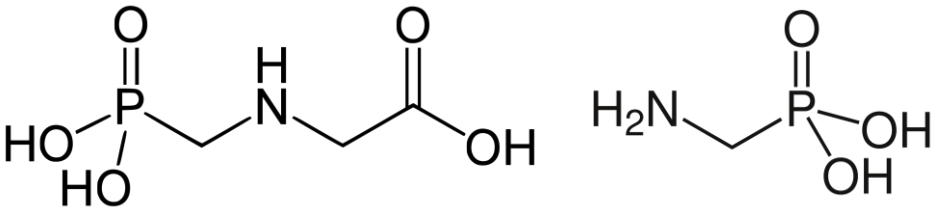
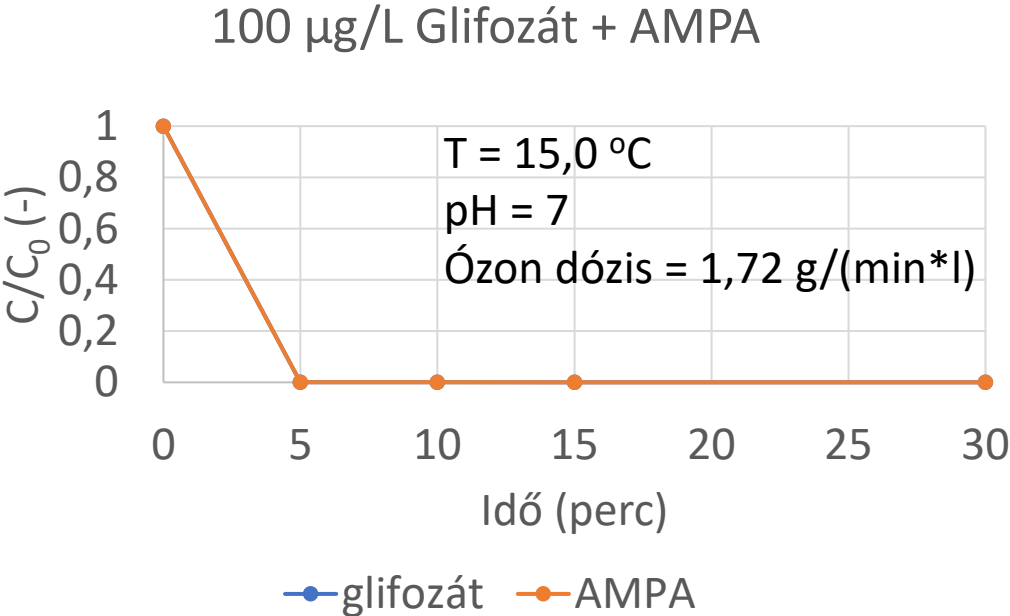
2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00017

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



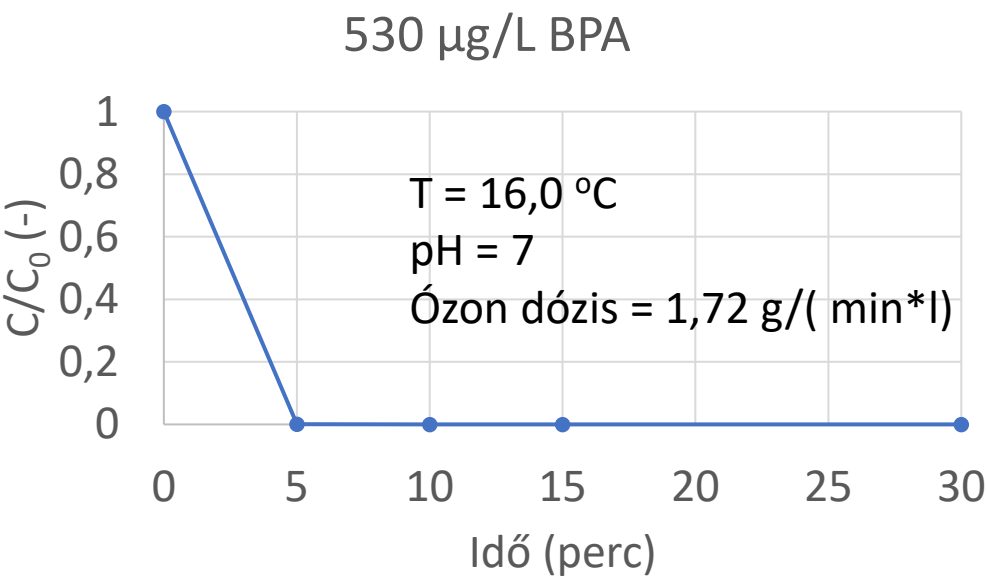
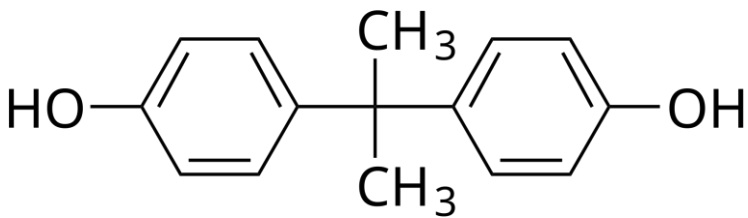
Idő (perc)	Glifozát		AMPA	
	(µg/l)	Elt. (%)	(µg/l)	Elt. (%)
0	97,8	0,00	97,6	0,00
5	0,03	99,97	0,07	99,93
10	0,02	99,98	0,03	99,97
15	0,01	99,99	0,01	99,99
30	0,01	99,99	0,01	99,99

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

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

Biszfénol-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



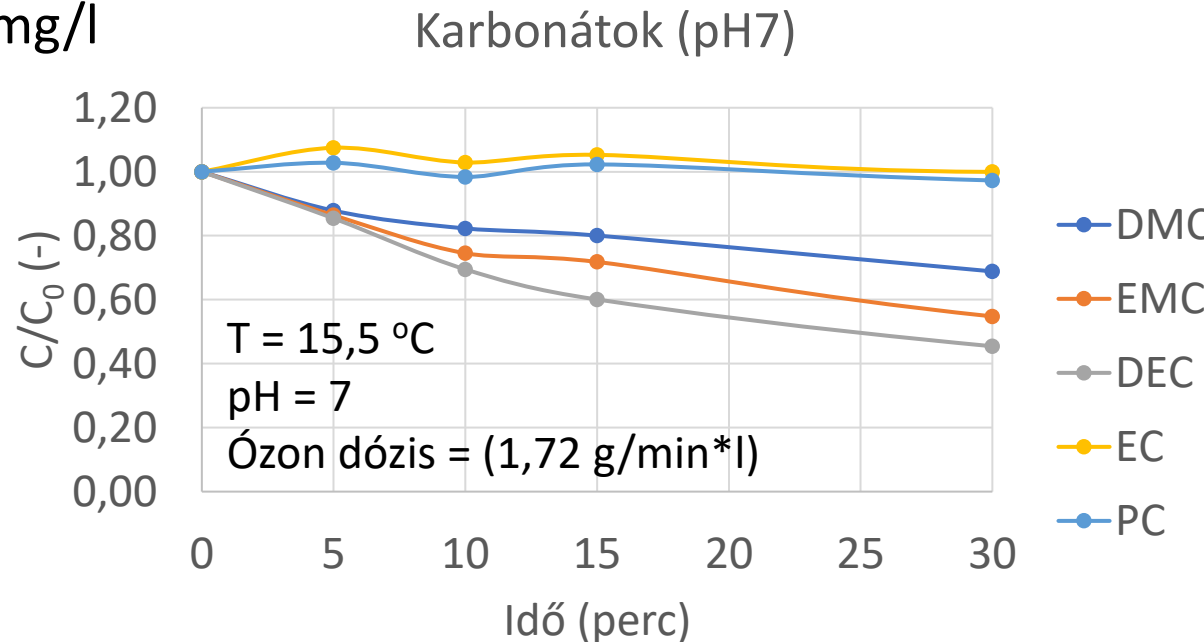
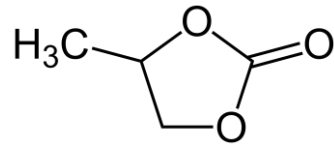
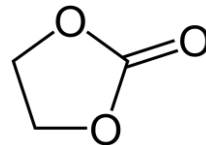
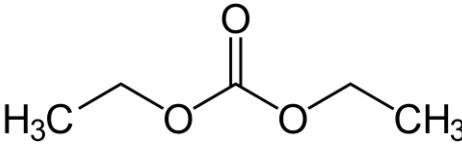
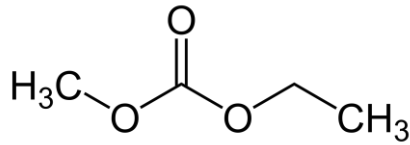
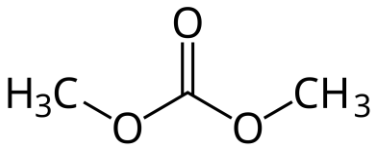
Idő (perc)	BPA (µg/l)	Eltávolítás(%)
0	564	0,00
5	0,61	99,89
10	N/A	>99,99
15	N/A	>99,99
30	N/A	>99,99

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

Szerves karbonátok I.

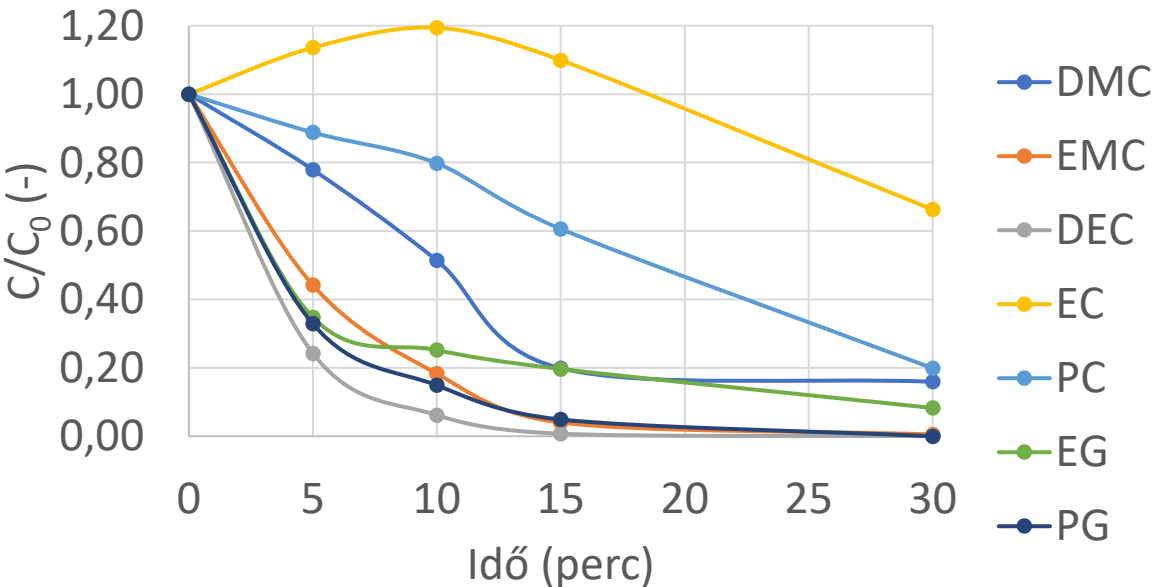
- Gyógyszer-, kozmetikai-, akkumulátoriparban aprotikus oldószer.
- Alacsony toxicitás, biológiailag könnyen bontható.
- DE! Nagy koncentrációban felboríthatja az ipari szennyvizeket befogadó víztestek az ökológiai egyensúlyt.
- Kiindulási koncentrációk:
 - DMC, EMC, DEC: 10 mg/l
 - EC, PC: 50 mg/l



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

Szerves karbonátok II.

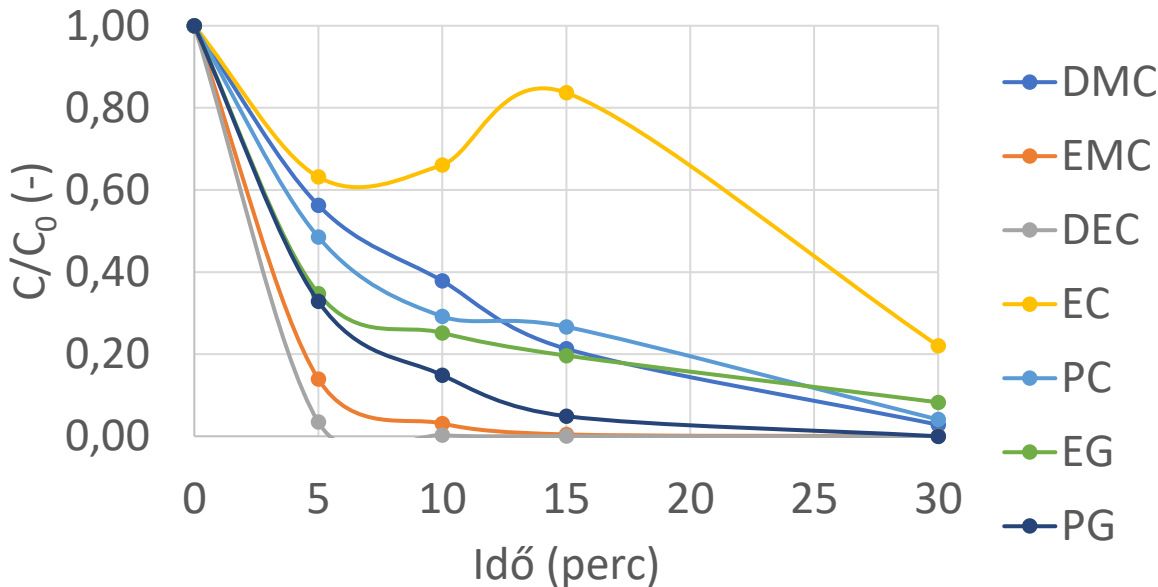
Karbonátok (pH8)



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)

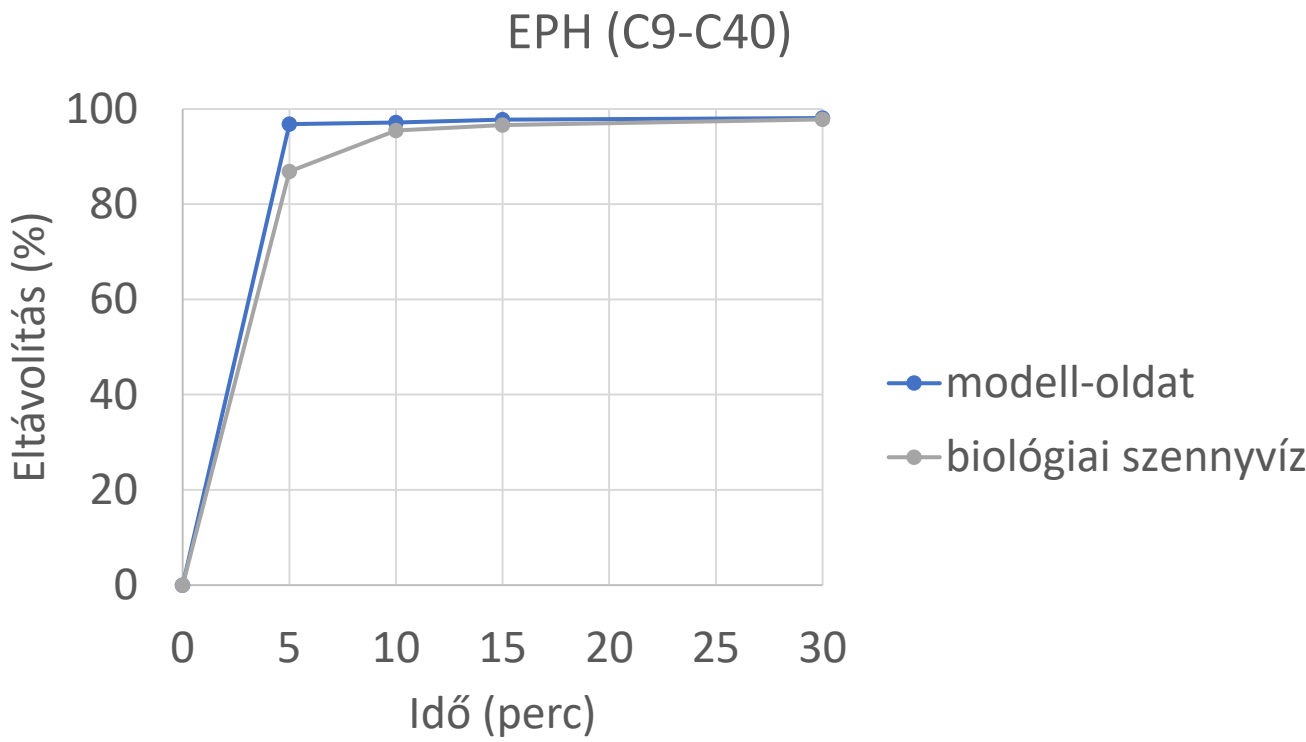
Rövidítések:

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



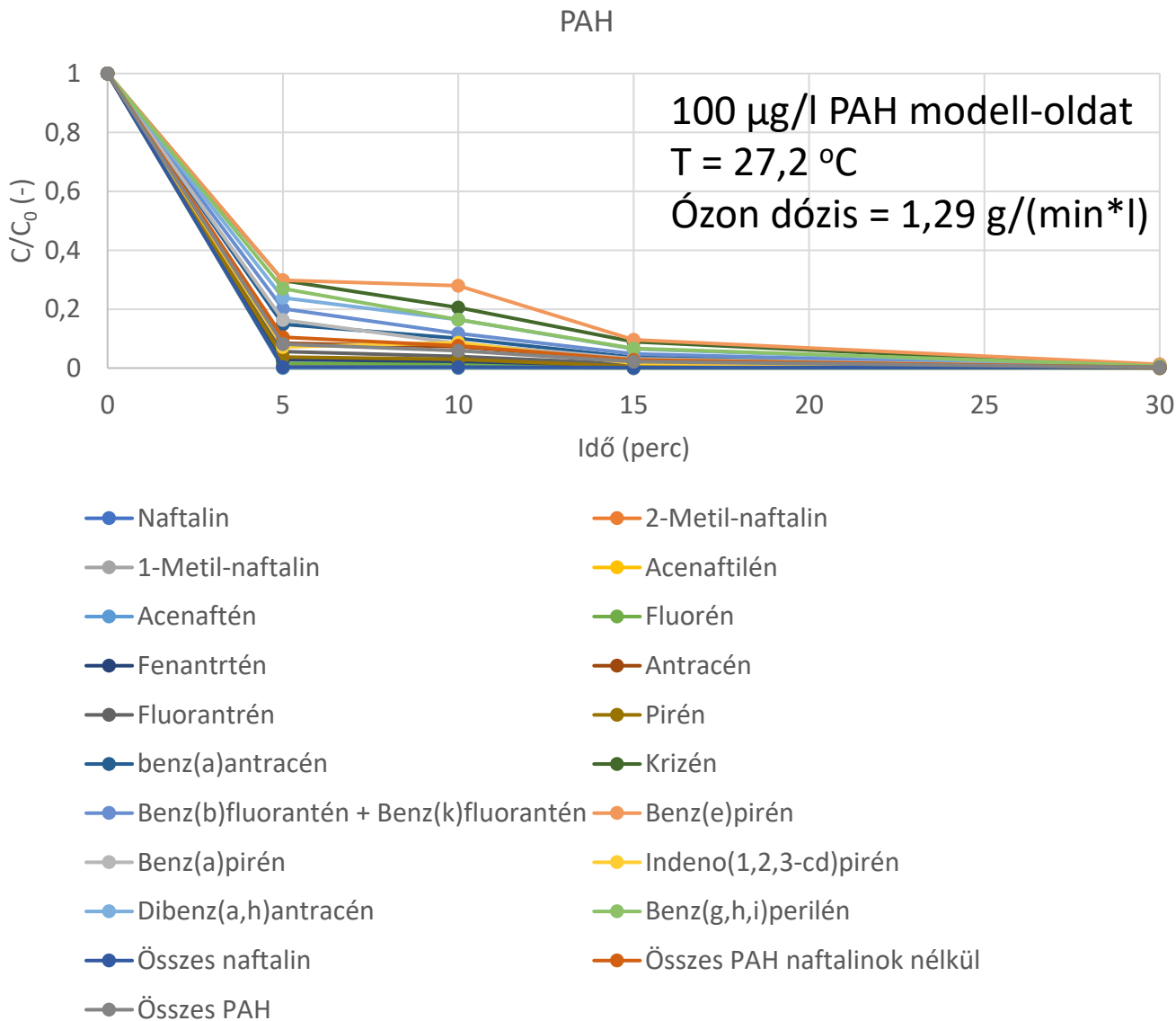
Modell-oldat: gázolajjal szpájkolt
ioncserélt víz 2800 µg/l EPH
T = 15,0 °C
pH = 7
Ózon dózis = 1,72 g/(min*I)

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

Policiklusos aromás szénhidrogének (PAH)

- Rákkeltő vegyületek

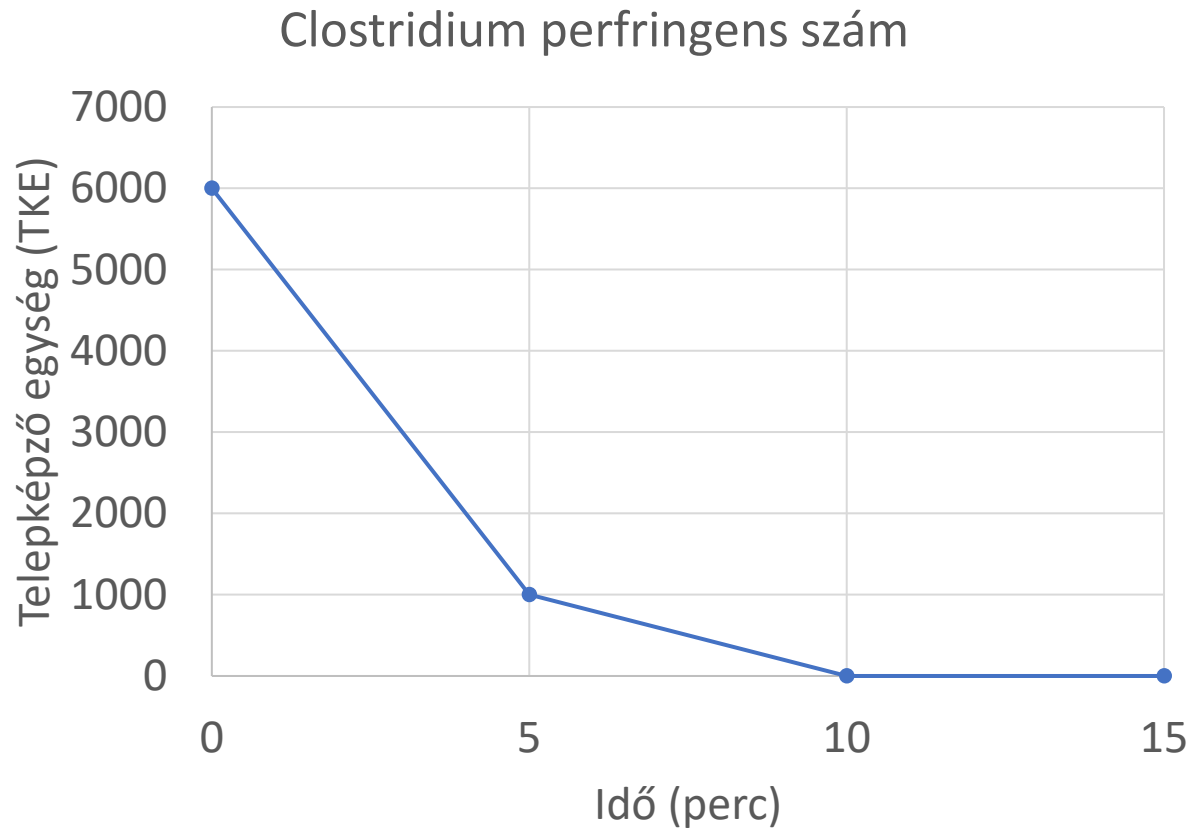
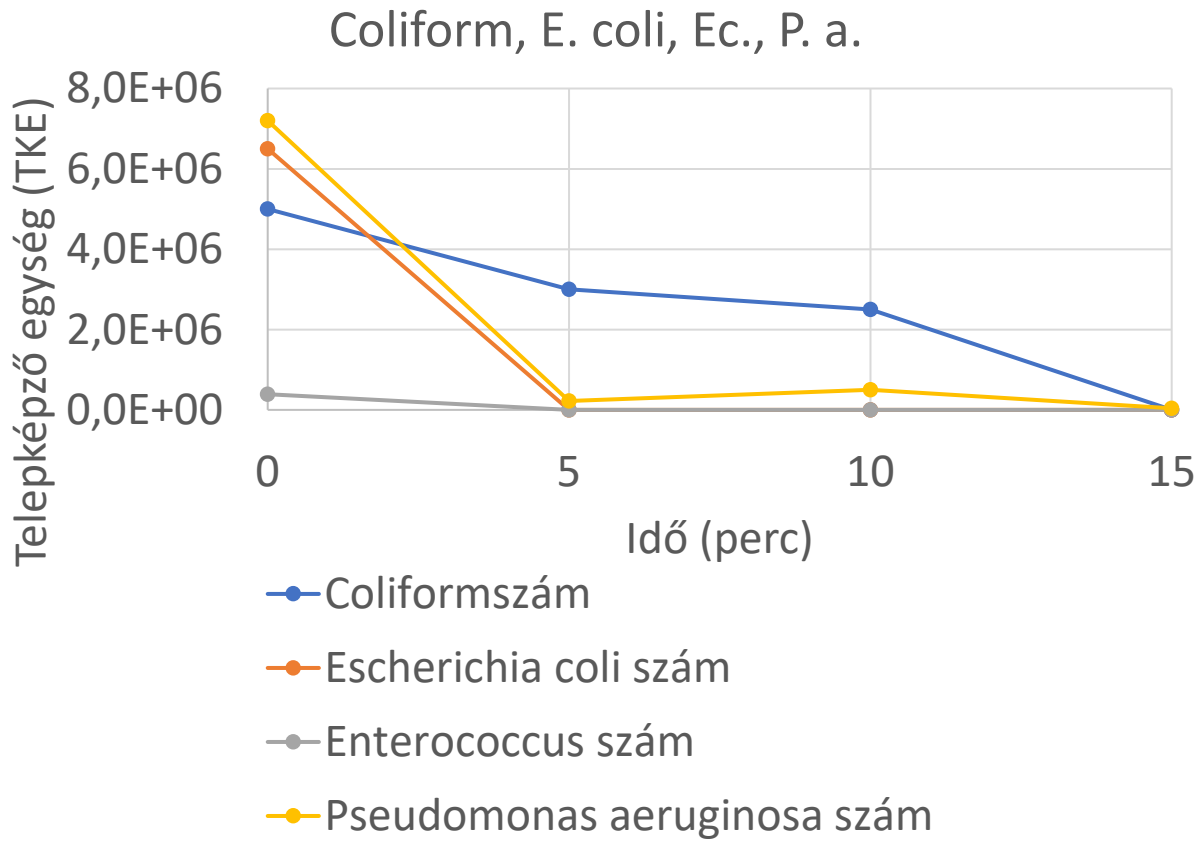
Idő (perc)	ΣPAH (μg/l)	Eltávolítás (%)	Határérték (μg/l)	
			FAV	IV
0	107	0,00	2	0,1
5	8,71	91,83		
10	6,25	94,13		
15	2,34	97,80		
30	0,258	99,76		



Fertőtlenítés: állatfeldolgozó üzem hűtővize I.

- Állatfeldolgozó üzem hűtővizének ózonos kezelése
- ELSŐ KÁD**

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



Fertőtlenítés: állatfeldolgozó üzem hűtővize II.

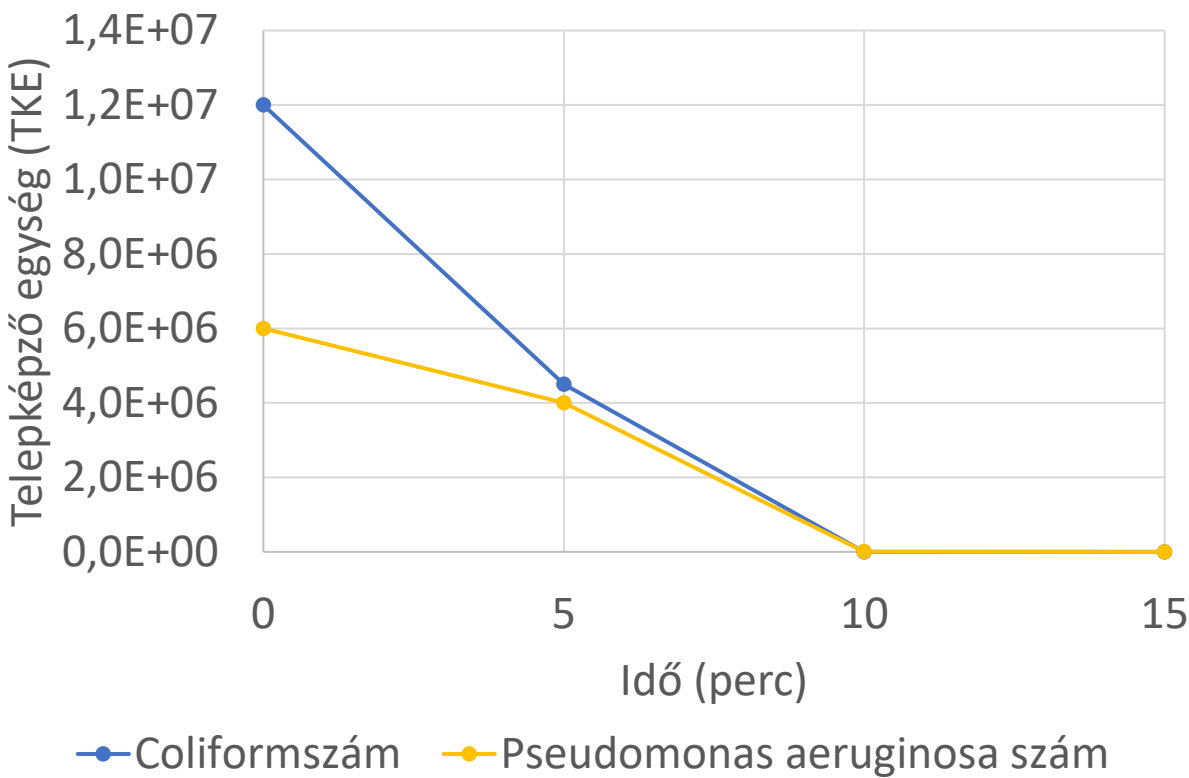
- Állatfeldolgozó üzem hűtővizének ózonos kezelése
- UTOLSÓ KÁD**

T = 26,1 °C

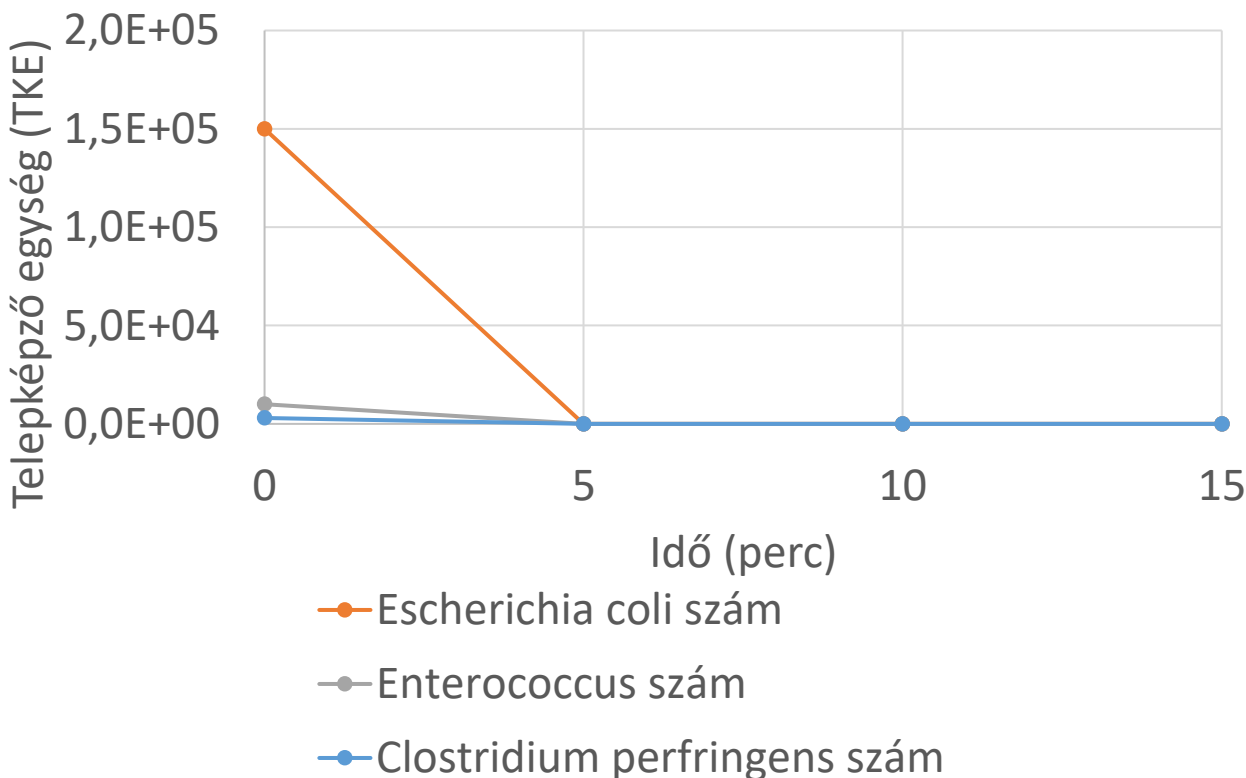
pH = ?

Ózon dózis = 1,40 g/(min*I)

Coliform, P. a.



E. coli, Ec., C. p.



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			-	



0 s



30 s



60 s



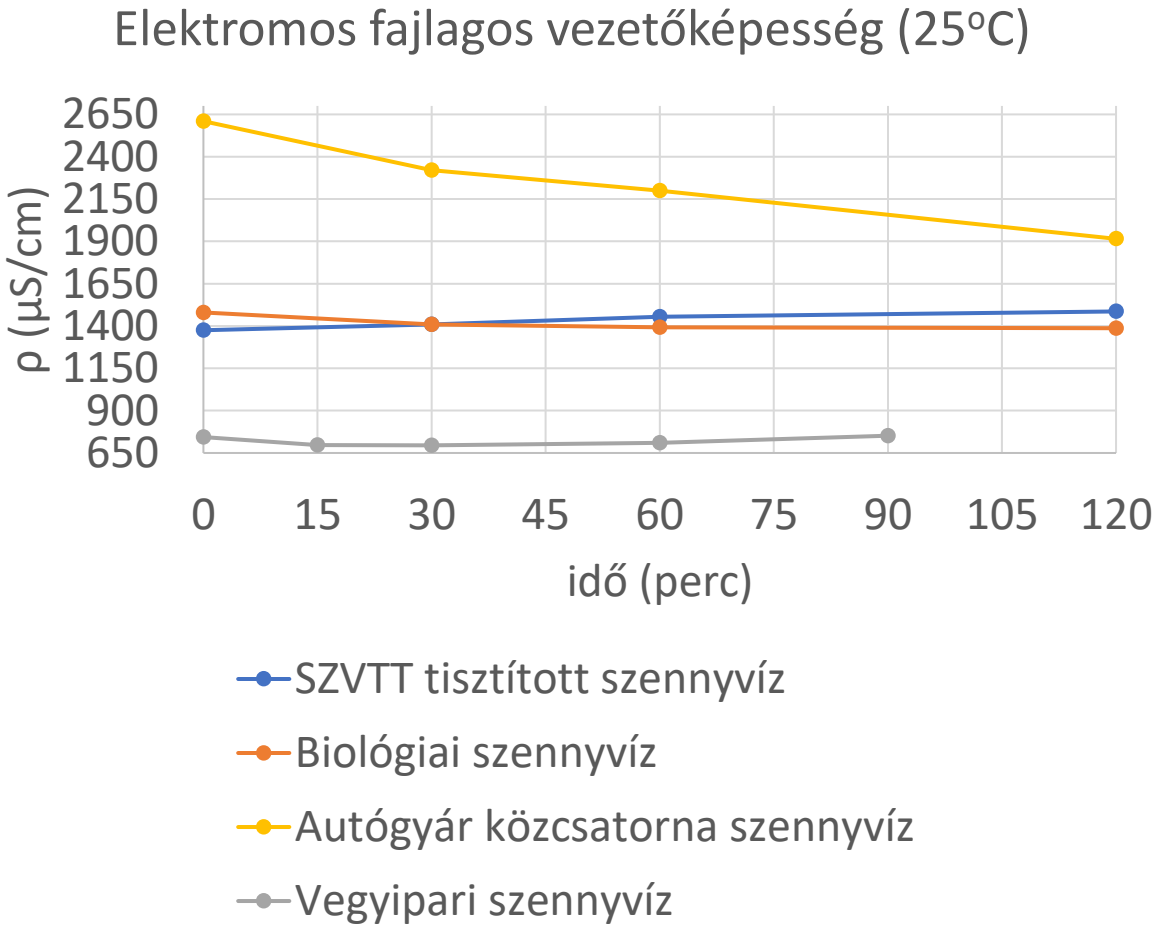
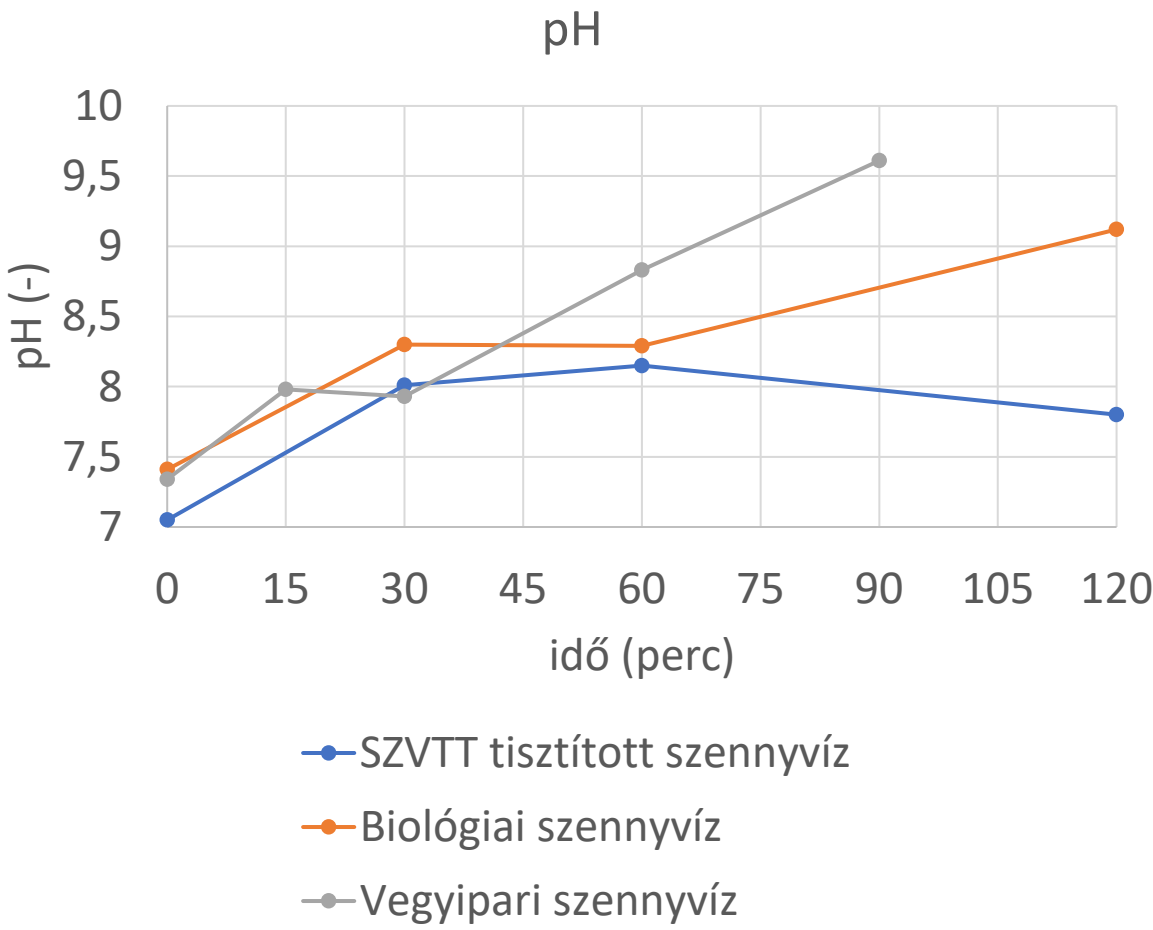
90 s

Vízminőségi paraméterek vizsgálata I.

- 4 szennyvíz vizsgálata:

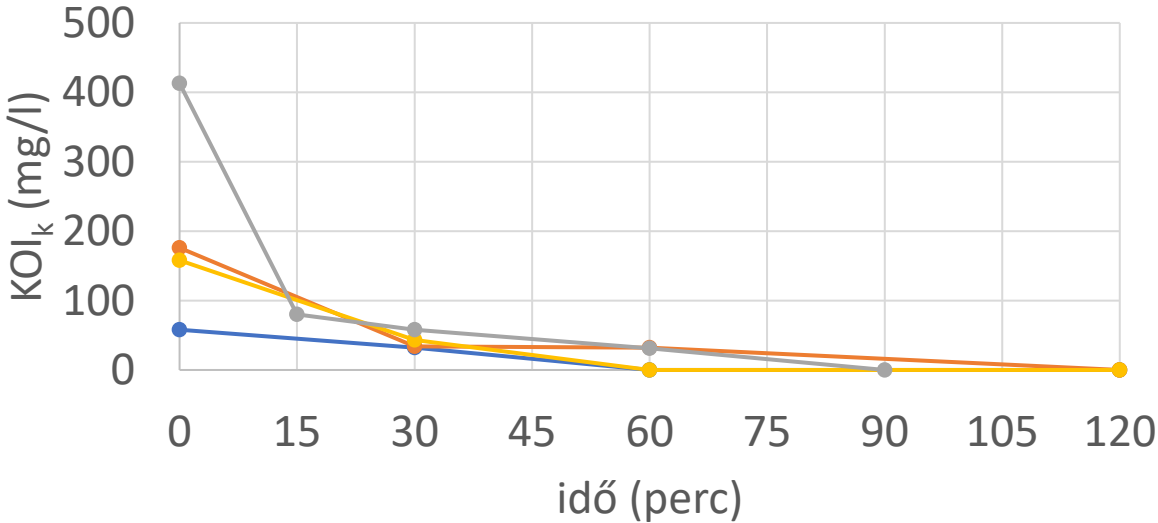
Minta	Hőmérséklet (°C)	Ózon dózis (g/(min*I))
Szennyvíztisztító telep tisztított szennyvize	17,5	1,72
Biológiai szennyvíz	22,0	1,75
Autógyártó cég közcsatorna szennyvize	22,0	1,75
Szerves vegyi alapanyag gyártó cég szennyvize	22,5	1,72

Vízminőségi paraméterek vizsgálata II.



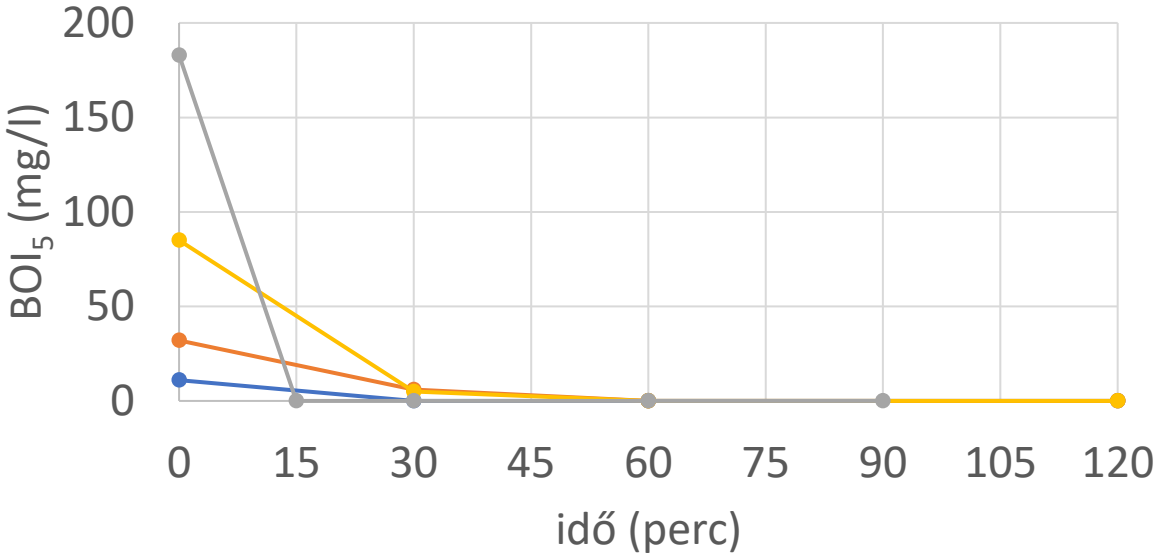
Vízminőségi paraméterek vizsgálata III.

Dikromátos kémiai oxigénigény (KOI_k)



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

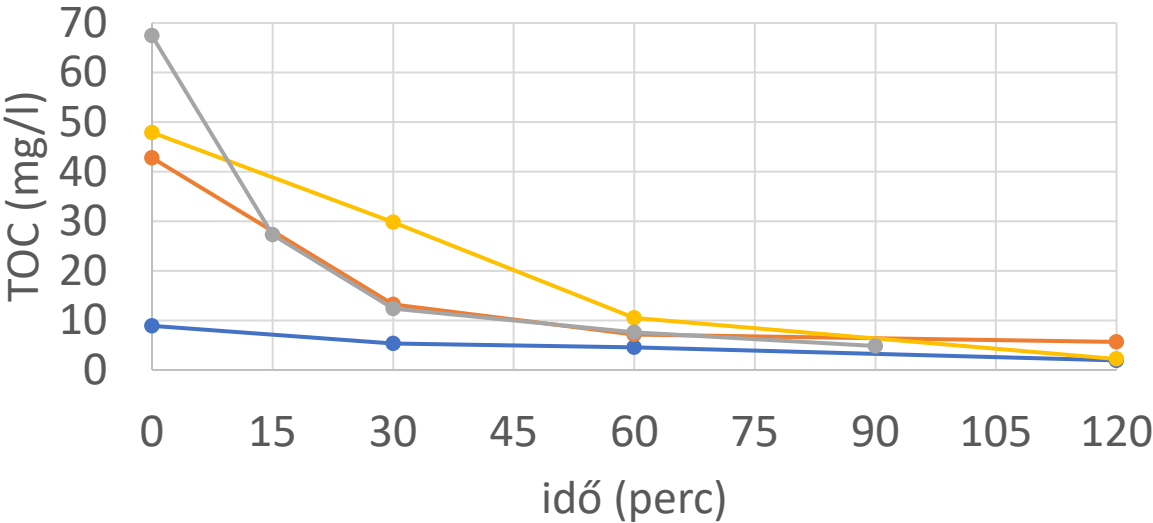
Biológiai oxigénigény (BOI₅)



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

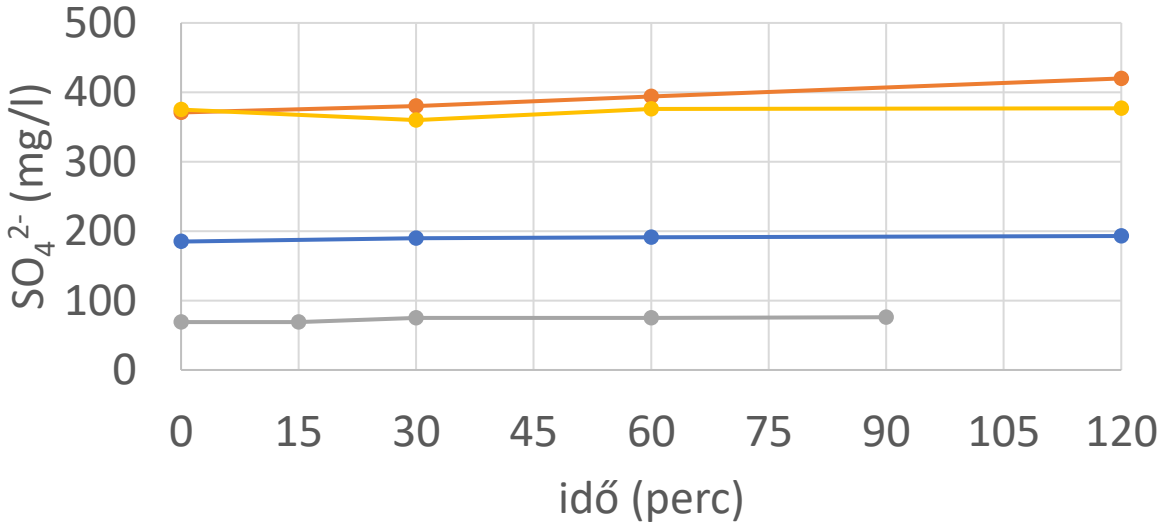
Vízminőségi paraméterek vizsgálata IV.

Összes szerves széntartalom (TOC)



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

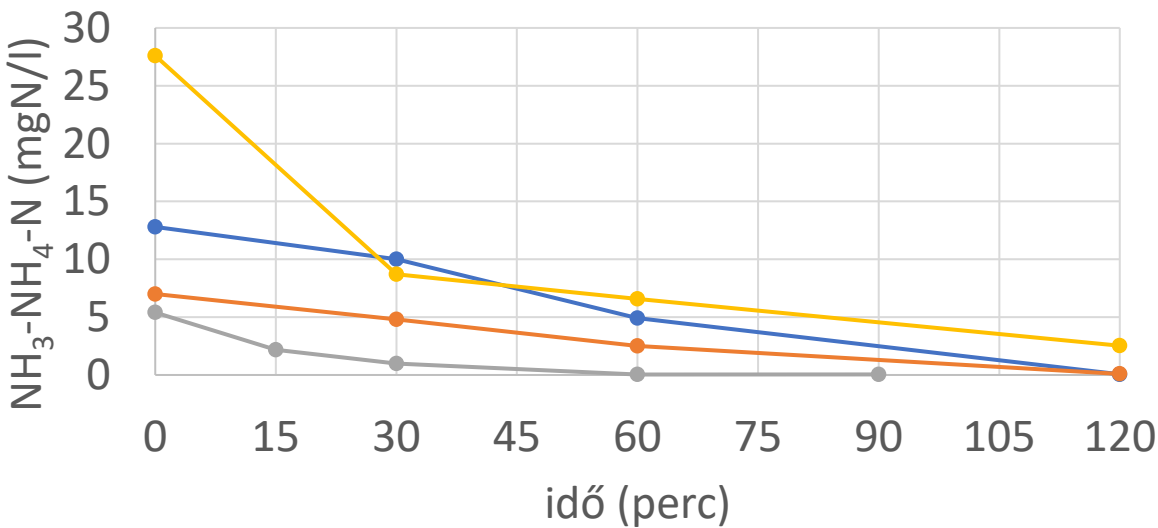
Szulfát



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

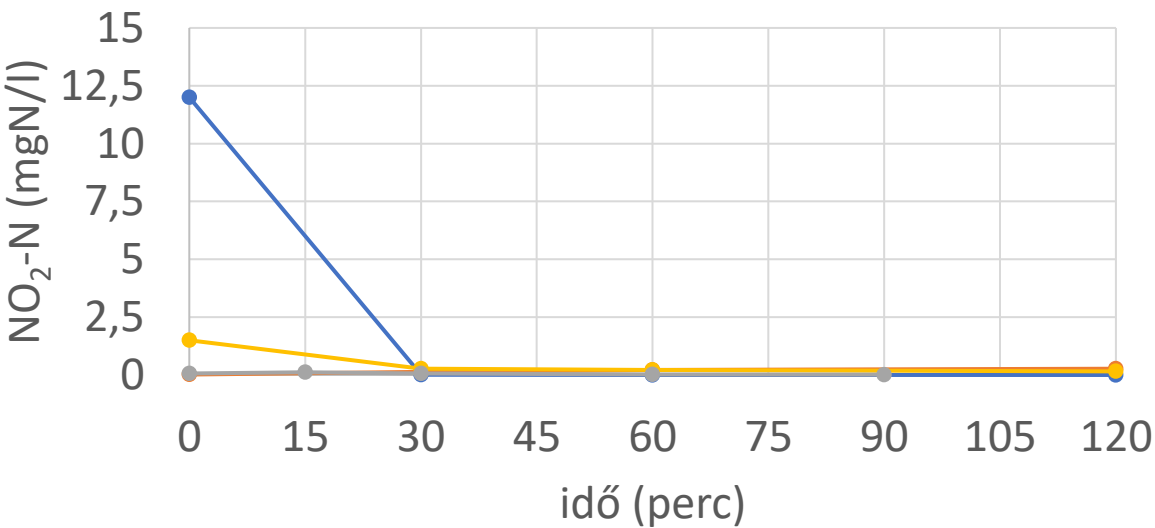
Vízminőségi paraméterek vizsgálata V.

Ammónia-ammónium-nitrogén



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

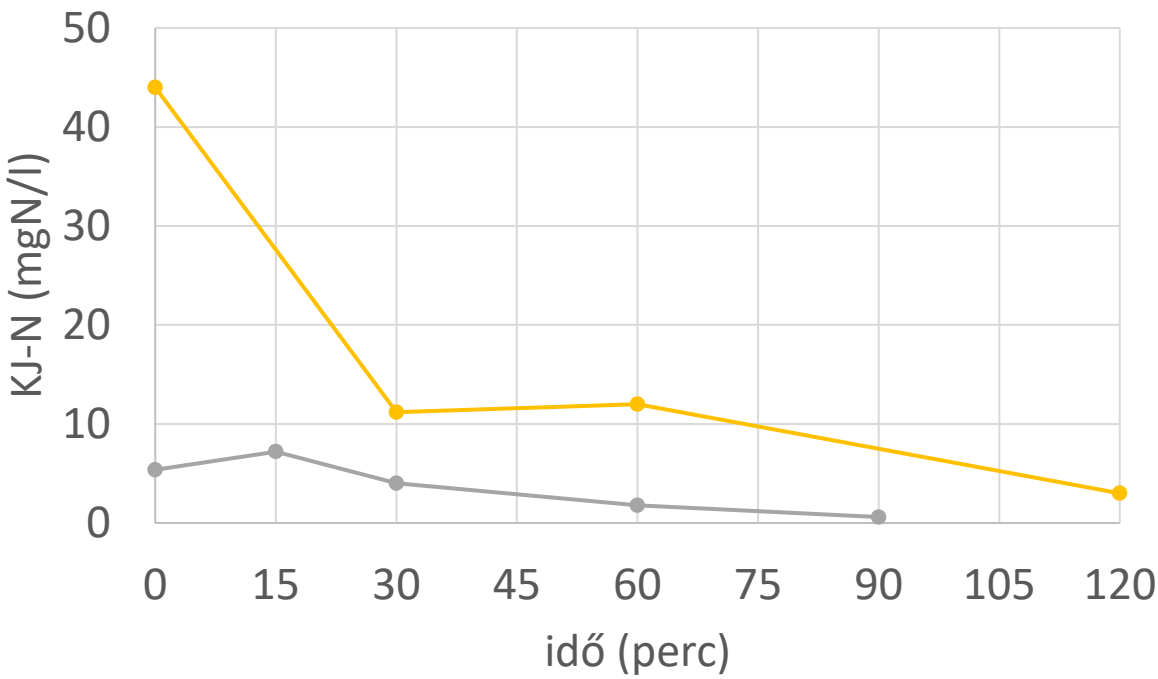
Nitrit-nitrogén



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

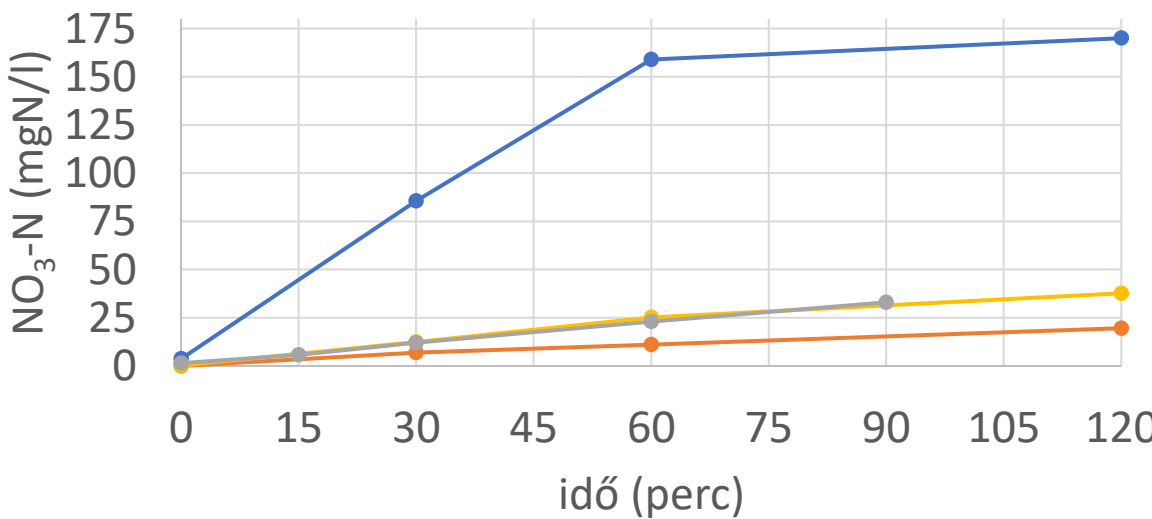
Vízminőségi paraméterek vizsgálata VI.

Kjeldahl-nitrogén



- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

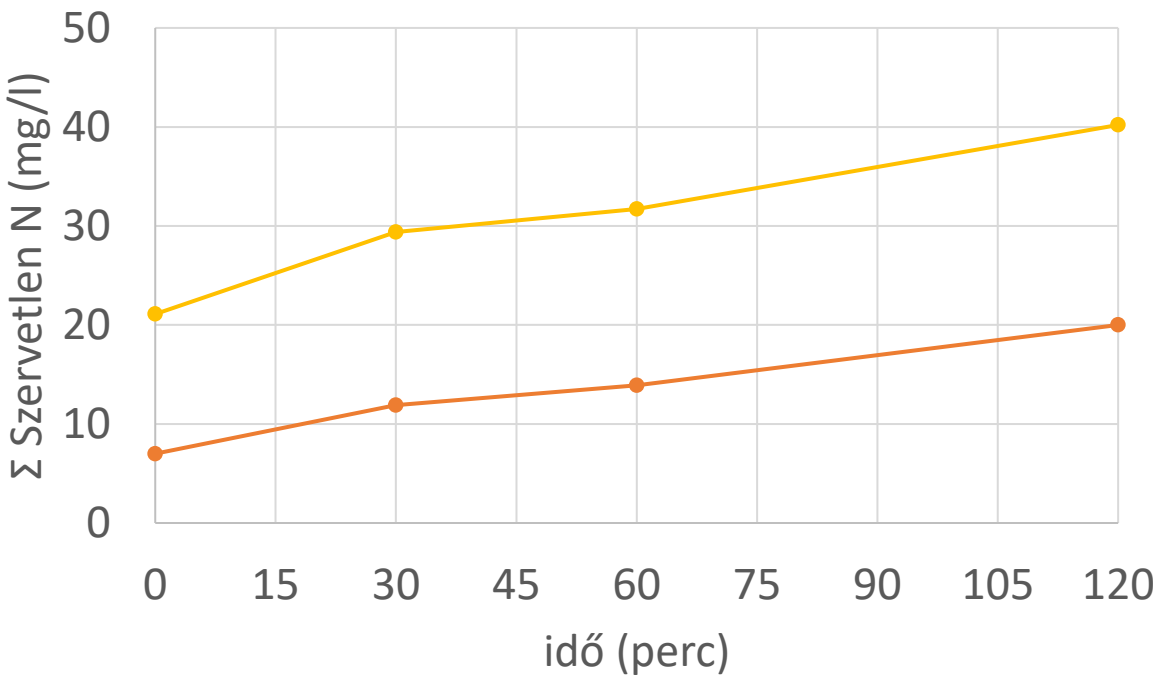
Nitrát-nitrogén



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

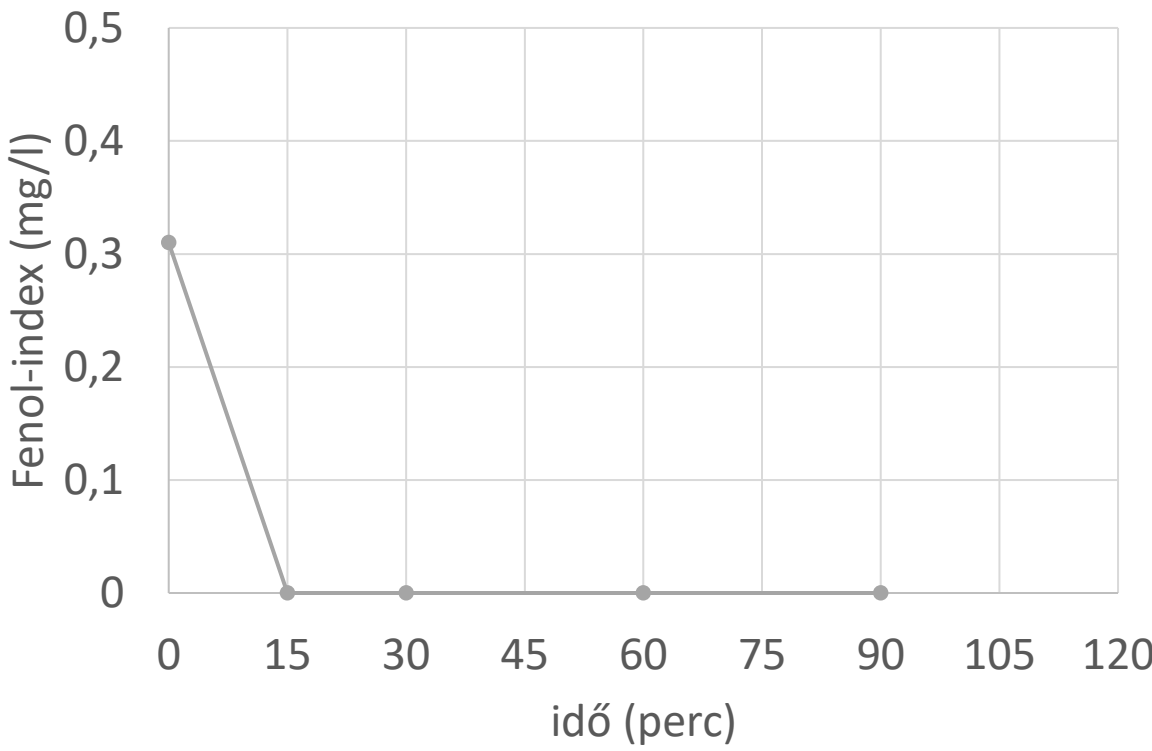
Vízminőségi paraméterek vizsgálata VII.

Összes szervesetlen nitrogén



- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz

Fenol-index



- Vegyipari szennyvíz

- **Jelenleg vizsgált vegyületek/vegyületcsoportok:**
 - 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

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

Köszönöm a figyelmet!

