



Az ózon alkalmazásának lehetőségei a modern szennyvíztisztításban



Kovács Norbert

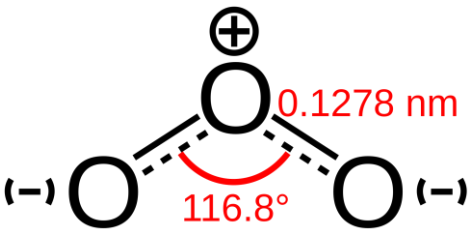
Projektmérnök

Bálint Analitika Kft.

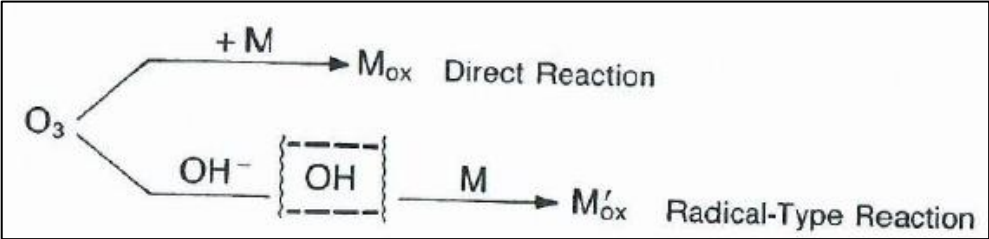
projekt@balintanalitika.hu

Ózon tulajdonságai

- 3 atomos oxigén molekula, O₃
- Jellegzetes szúrós szagú gáz
- Halvány kék, mérgező
- Instabil, nagyon reaktív
- Előállítás:
 - $3 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ O}_3$
 - 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	•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



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)

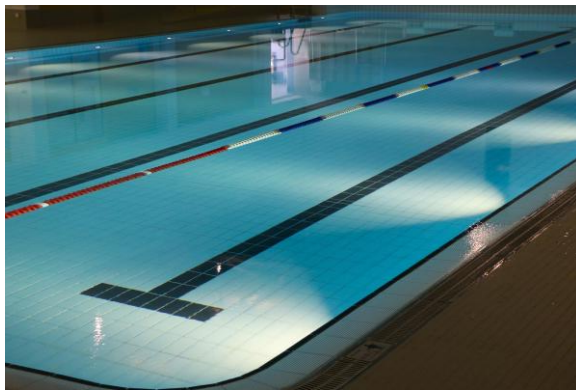
Nagy hatékonyságú/Fejlett oxidációs eljárások (AOP)

- ózon lúgos közegben (pH > 8,5)
- Peroxon eljárás (O₃/H₂O₂)
- ózon fotolízis (O₃/UV)
- O₃/ H₂O₂ /UV
- Katalitikus ózonozás
 - Homogén: átmeneti fém-ionok
 - Heterogén: fém-oxidok, hordozóra felvitt fém-oxidok, porózus anyagok
- Ózon fotokatalízis (O₃/UV/TiO₂)
- Fenton eljárással kombinált ózonozás (O₃/Fenton eljárás)
- Ózon/ultrahang (O₃/US)

Oxidálószer	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

Az ózon felhasználásának lehetőségei a víz- és szennyvízkezelésben

- Ivóvíz előállítás
- Szürkevíz újrahasznosítás
- Felszíni és felszín alatti vizek kármentesítése
- Medencevíz fertőtlenítés
- Ipari szennyvízkezelés (élelmiszer- és italipar, gyógyszer- és vegyipar, papír- és cellulózipar, textilipar)
- Kommunális szennyvízkezelés: színtelenítés, szagtalanítás, fertőtlenítés, fölösízap mennyiségének csökkentése, **szerves mikroszennyezők eltávolítása**



Mikroszennyezők a szennyvízben

Mikroszennyezők	Példák
Humán és állati gyógyszerek	Antibiotikumok, Fájdalomcsillapítók, Antidiabetikumok, epilepsziaellenes szerek, Pszichiátriai szerek, Vérlipid szabályozók, Gyulladáscsökkentők, Röntgen kontraszt anyagok (jopromid), Szív-, érrendszeri gyógyszerek (β -blokkolók), vérnyomáscsökkentők, szintetikus hormonok
Antibiotikum rezisztencia gének	
Kábítószer	Kokain, Heroin, morfin
Kozmetikai és testápoló szerek (PCP)	Illatanyagok és szintetikus pézsma, Élénkítőszer, UV/napvédők, fertőtlenítő szerek, antioxidánsok, tartósítószer, Rovarriasztók
Peszticidek	Gyomirtók (alaklór, glifozát), rovarirtószer (DDT, klordén, aldrin, dieldrin, endrin, heptaklór, mirex, toxafén, klórdekon, lindén), gombaölőszerek (hexaklórbenzol), Rágcsálóirtók (arzén-trioxid), Talajfertőtlenítő szerek (etilén-dibromid)
Felületaktív anyagok	Nonil-fenol (NP)
Ipari kemikáliák	Műanyagalapanyagok, pl. BPA, Poliklórozott bifenilek (PCB), pl. alaklór, furánok, Lágyítószer, pl. dietil fatalát (DEP) Poli és perfluorozott alkilezett anyagok (PFAS) , pl. PFOS, PFOA, Égésgátlók, pl. polibromozott difenil-éterek (PBDE)
Élelmiszer adalékanyagok	Koffein, aszpartám
Mikro- és nanoműanyagok	
Nanorészecskék	Szén nanocsövek, arany, titánium nanorészecskék, fullerének
Fertőtlenítési melléktermékek (DBP-k)	Trihalometán
Égési melléktermékek	Dioxinok, furánok, PAH
Üzemanyag adalékok	Metil-terc-butil-éter
Algatoxinok	mikrocisztin

Forrás: SZERVES MIKROSZENNYEZŐK A TISZTÍTOTT SZENNYVÍZBEN ÉS SZENNYVÍZISZAPBAN Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Kar EFOP-3.6.1-16-2016-00025 „A vízgazdálkodási felsőoktatás erősítése az intelligens szakosodás keretében” Knisz Judit tudományos főmunkatárs, Vadkerti Edit, PhD egyetemi docens

Indikátor vegyületek

	Vegyület	Felhasználás
1. Kategória Nagyon könnyen eltávolítható (kezelhető) anyagok	Amisulprid	Antipszichotikum
	Karbamazepin	Antidepresszáns
	Citalopram	Antidepresszáns
	Klaritromicin	Makrolid antibiotikum
	Diklofenák	Gyulladáscsökkentő, fájdalomcsillapító
	Hidroklorotiazid	Vizelethajtó, vérnyomáscsökkentő
	Metoprolol	Szívritmus-szabályzó
	Venlafaxin	Antidepresszáns
2. Kategória Könnyen eltávolítható anyagok	Benzotriazol	Fagyálló, korroziógátlóanyag
	Kandezartán	Vérnyomáscsökkentő
	Irbezartán	Vérnyomáscsökkentő
	4/5-Metilbenzotriazol	Korroziógátlóanyag, Biocid/Peszticid

Kikötések:

- Száraz időben mérni
- Legalább 6 vegyület
- 1. kateg. : 2. kateg. = 2:1
- Minimum 80%-os átlagos eltávolítás arány

Negyedik fokozat bevezetése:

- Svájc: 2040-ig kötelezően a 120 legnagyobb WWTP-n
- EU: 2045-ig minden 150.000 LE telepen és 10.000-150.000 LE telepen indokolt esetben

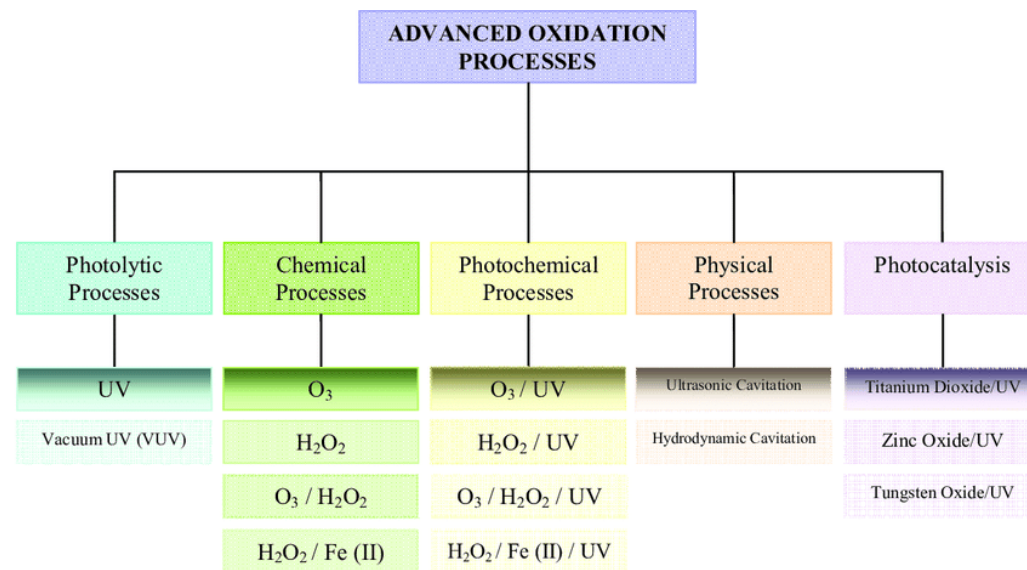
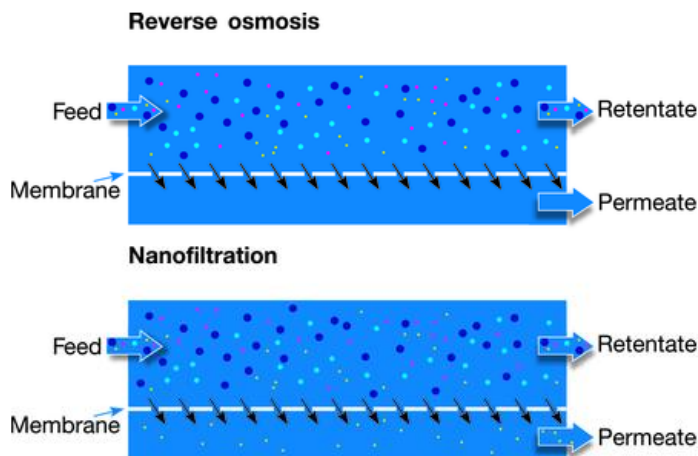
*Forrás: Verordnung des UVEK
zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen
vom 3. November 2016 (Stand am 1. Dezember 2016)
Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK),
gestützt auf Anhang 3.1 Ziffer 2 Nummer 8 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998*

Negyedik fokozatú szennyvíztisztítás

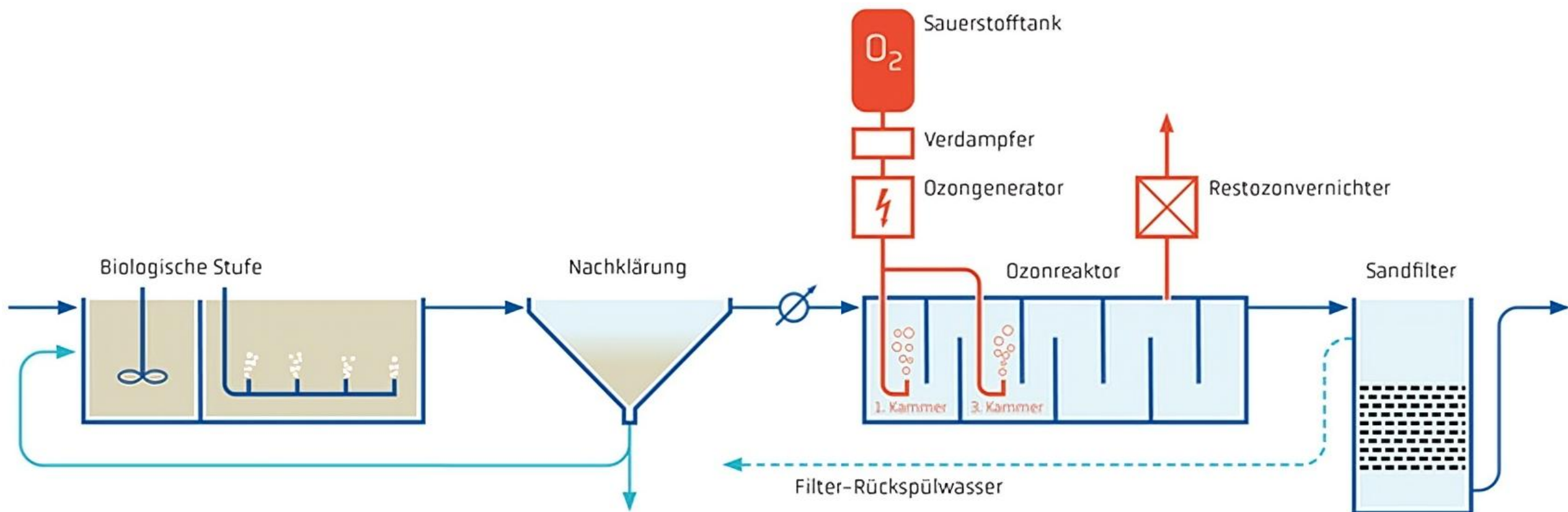
Bevezetés előfeltétele: A telep felülvizsgálata → Az első 3 fokozatnak hatékonyan kell működnie, különben a 4. fokozat hatékonysága romlik vagy nő a vegyszerigény azonos eredmény eléréséhez. Oldott szerves szén (DOC) és lebegőanyag (TSS) mennyiségét minimalizálni kell.

Negyedik fokozatú kezelési eljárások:

- Aktív szenes szűrés (PAC, GAC)
- Membránszűrés (Fordított ozmózis, Nanofiltráció)
- Nagyhatékonyságú/Fejlett Oxidációs Eljárások (AOP)
- Egyéb (természetközeli eljárások, elektron ágyú)

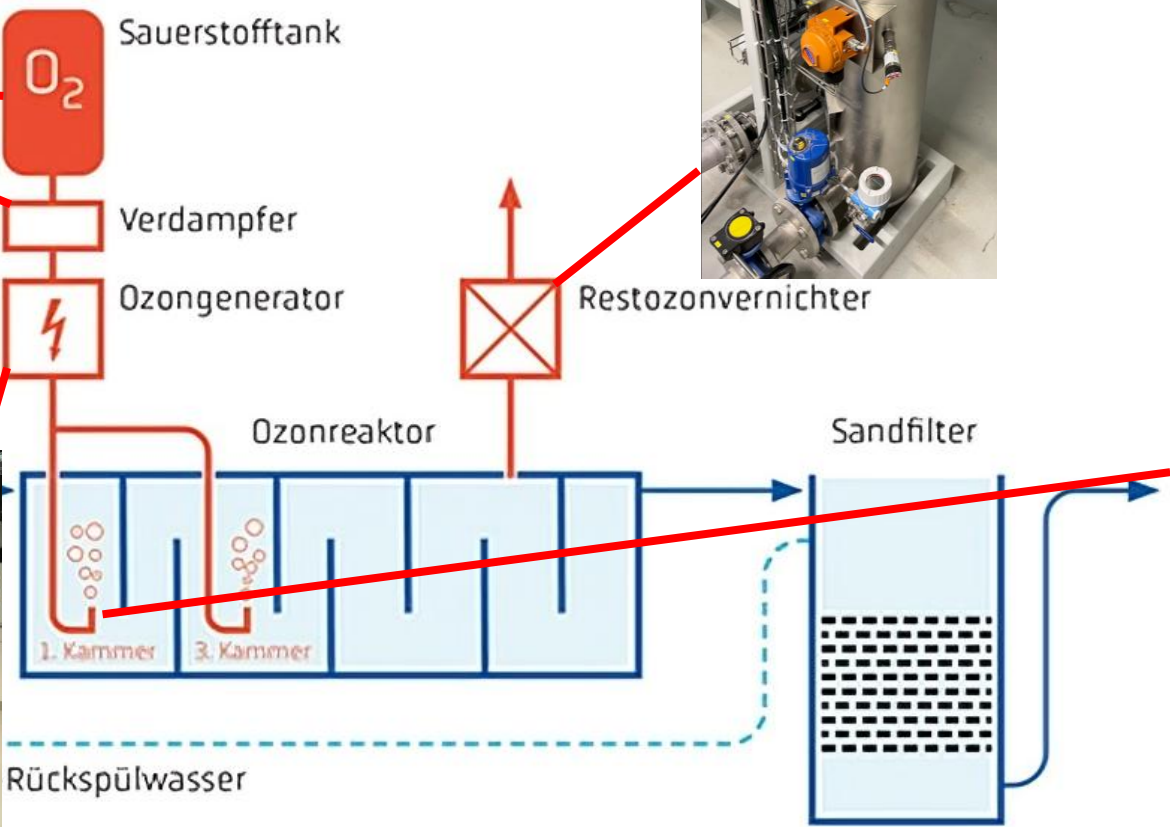
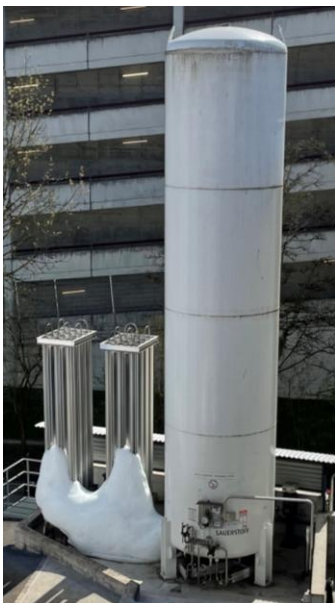


Ózonos kezelés megvalósítása a negyedik fokozatban

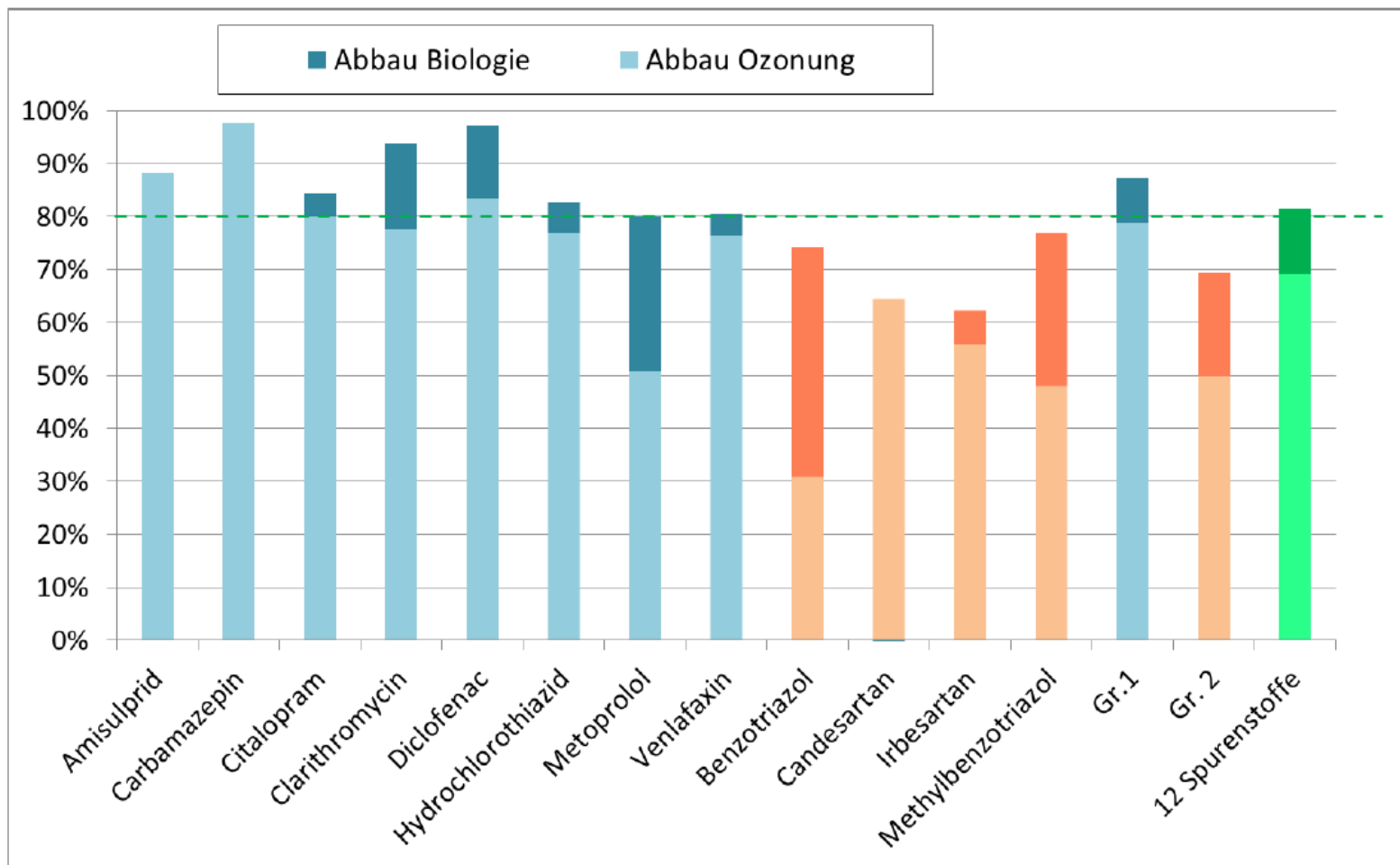


Forrás: <https://micropoll.ch/verfahren/ozon/ozon-verfahrensfuehrung/>

Ózonos kezelés megvalósítása a negyedik fokozatban



Ózonos kezelés mikroszennyező eltávolítási hatékonysága



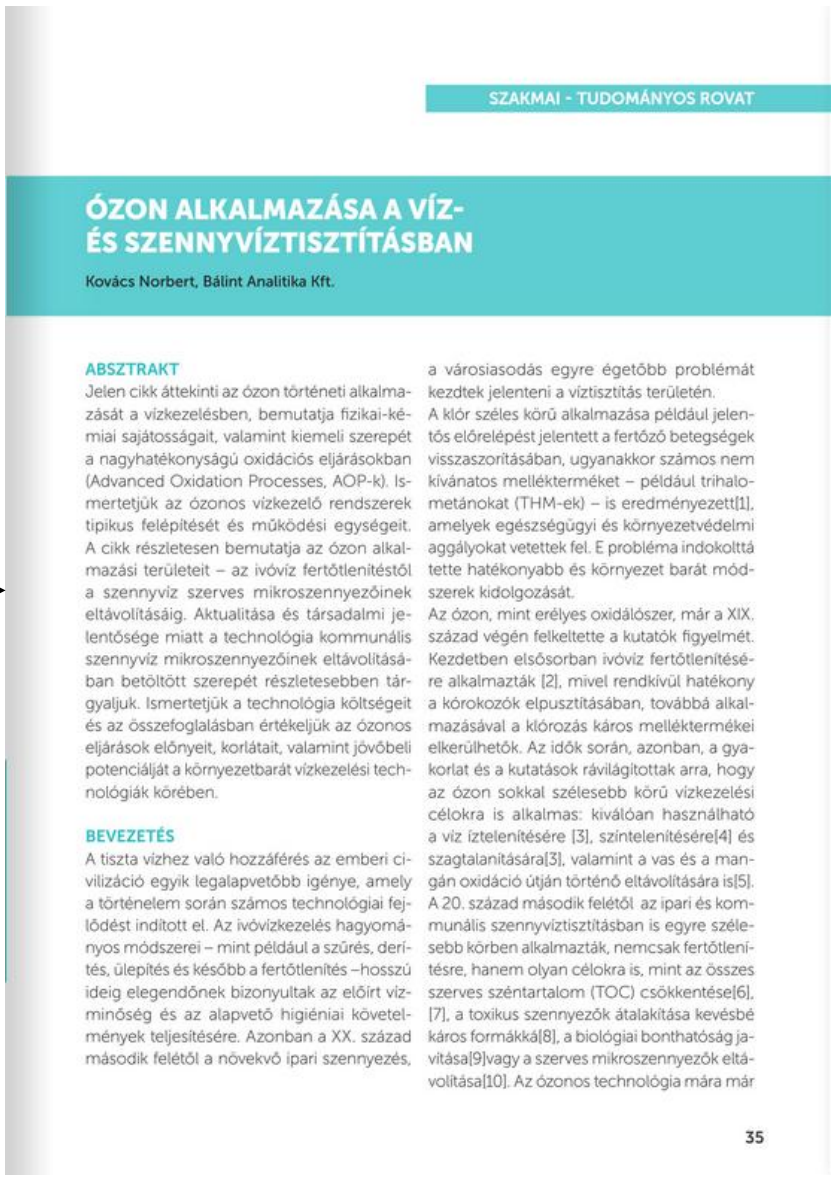
→ Required elimination performance achieved

Forrás : 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
Alacsonyabb üzemeltetési költségek	Magas beruházási költségek
Viszonylag kis helyigény	AOC és BDOC nő → biológiailag aktív szűrés szükséges
Erélyes oxidálószer, rengeteg szerves vegyület képes lebontani	Optimális előtisztítás (pl. min. NO_2^-)
Sok patogént képes inaktiválni (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 elleni küzdelem** egyik legígéretesebb megoldása.



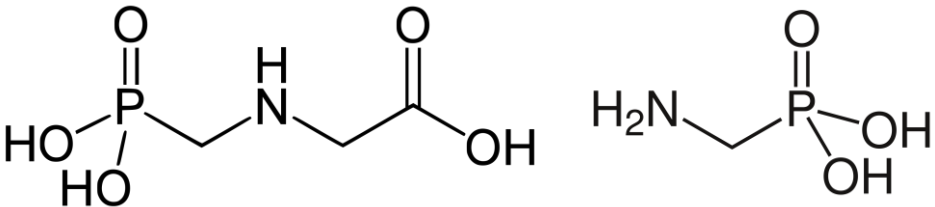
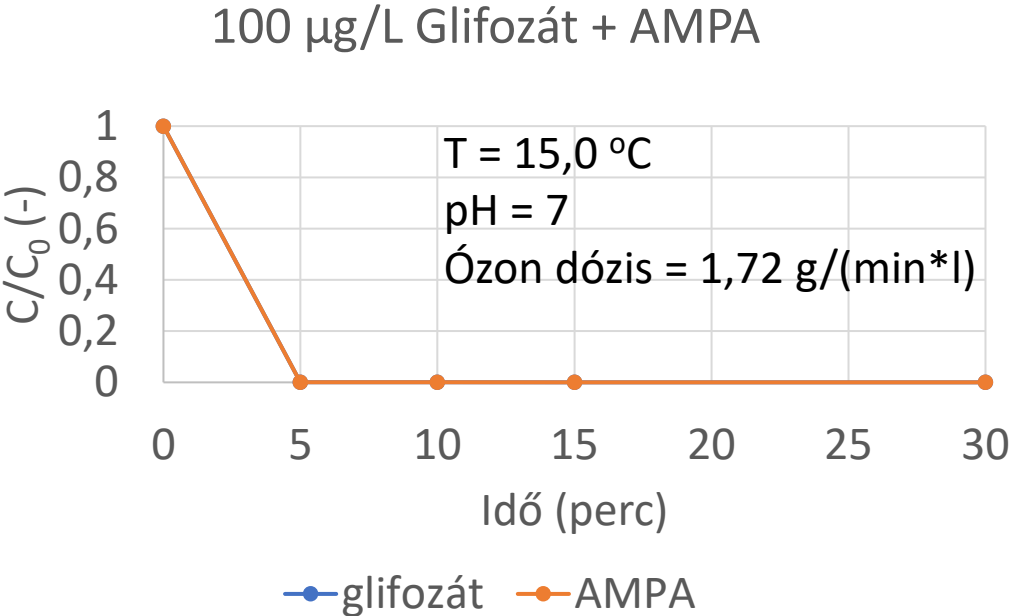
2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00017

Ipari méretű ózont felhasználó technológia és szolgáltatás fejlesztése szennyvíztisztításra



Glifozát + AMPA

- Legnagyobb mennyiségben gyártott és használt herbicid az egész világon
- Feltehetően rákot okoz^{3,4}
- Határérték ivóvízre: peszticid: 0,10 µg/l, össz. peszticid összesen: 0,50 µg/l



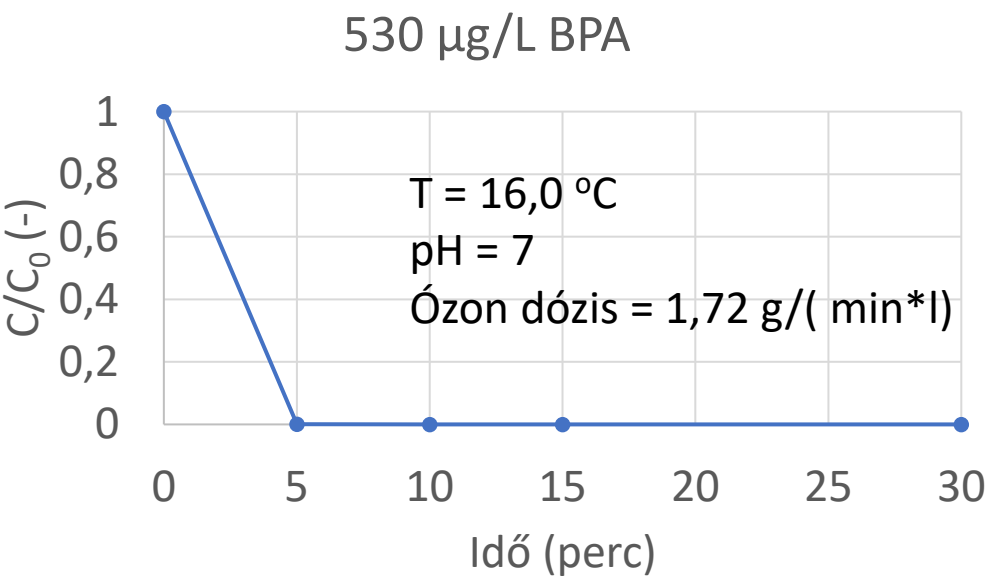
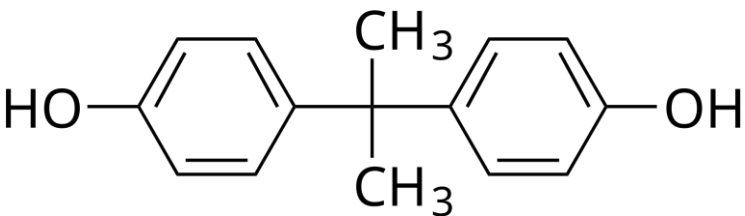
Idő (perc)	Glifozát		AMPA	
	(µg/l)	Elt. (%)	(µg/l)	Elt. (%)
0	97,8	0,00	97,6	0,00
5	0,03	99,97	0,07	99,93
10	0,02	99,98	0,03	99,97
15	0,01	99,99	0,01	99,99
30	0,01	99,99	0,01	99,99

³IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides 20 March 2015 (WHO)

⁴Panzacchi, 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 tonna⁵
- Hormonkárosító anyag⁶
- Határérték ivóvízre: 2,5 µg/l



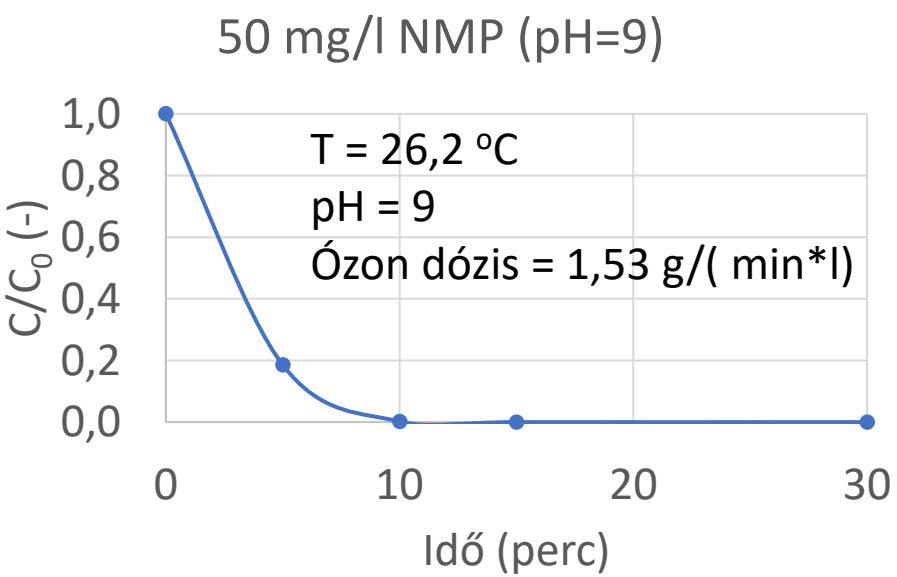
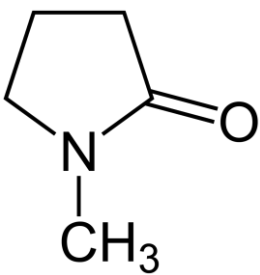
Idő (perc)	BPA (µg/l)	Eltávolítás(%)
0	564	0,00
5	0,61	99,89
10	N/A	>99,99
15	N/A	>99,99
30	N/A	>99,99

⁵Decode the future of Bisphenol A (<https://www.chemanalyst.com/industry-report/bisphenol-a-market-57>) Online elérhető: 2025.09.09.

⁶ECHA/PR/17/12 16 June 2017

N-metil-2-pirrolidon (NMP)

- Ipari oldószer, akkumulátor iparban elektród gyártásban alkalmazzák
- Reprodukciót károsító anyag⁷

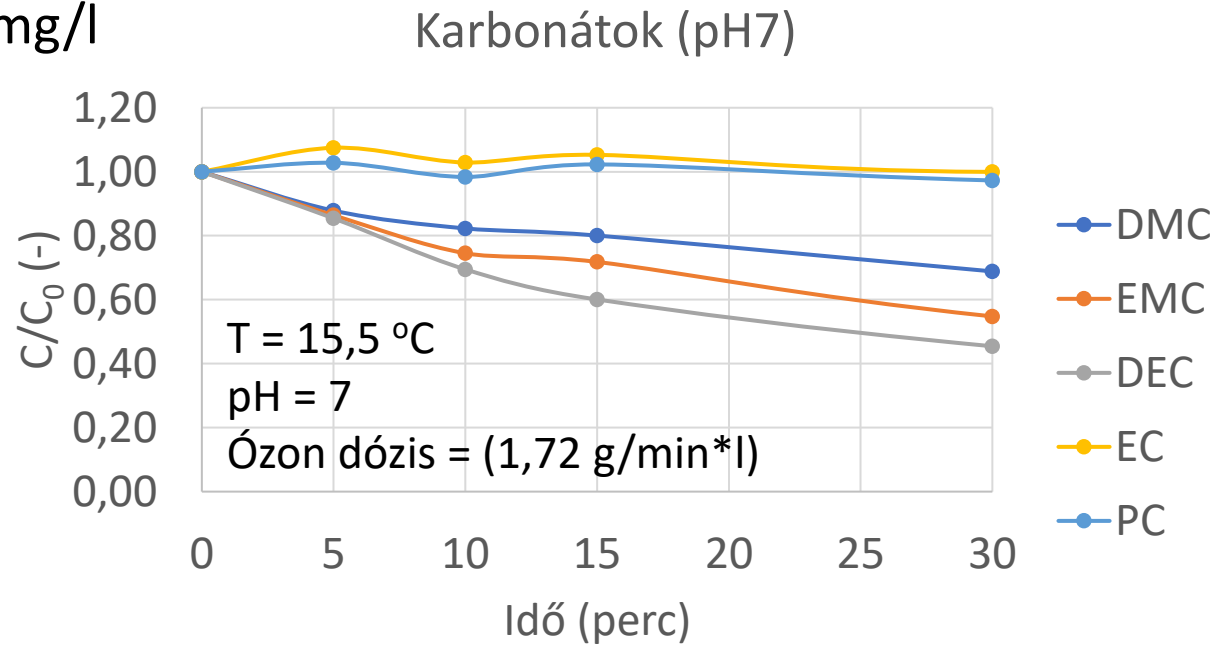
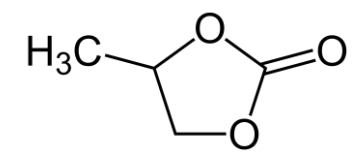
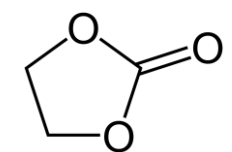
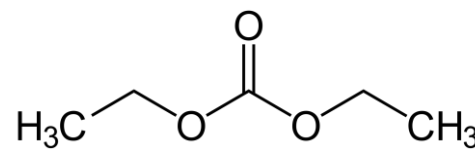
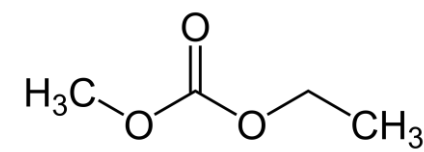
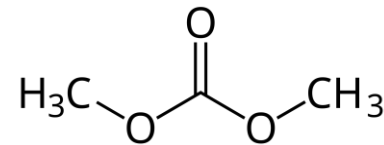


Idő (perc)	NMP (mg/l)	Eltávolítás(%)
0	50,0	0,00
5	9,29	81,42
10	0,099	99,80
15	<0,01	>99,98
30	<0,01	>99,98

⁷European Comission: SCCS/1413/11: OPINION ON N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP)

Szerves karbonátok I.

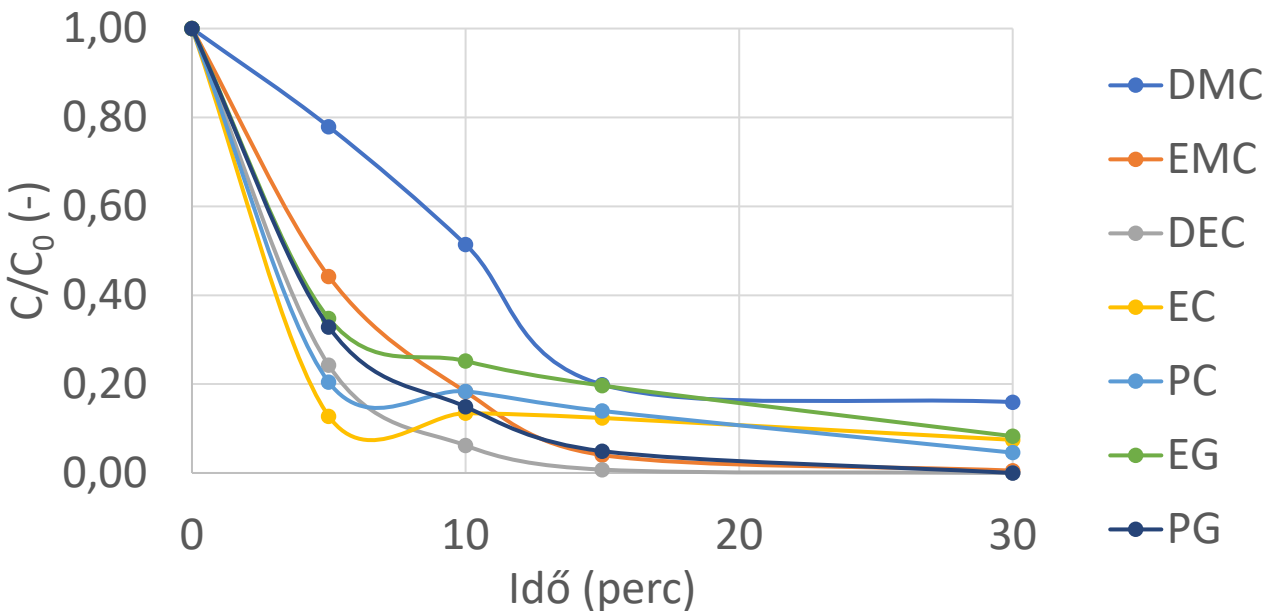
- Gyógyszer-, kozmetikai-, akkumulátoriparban aprotikus oldószer.
- Alacsony toxicitás, biológiailag könnyen bontható.
- DE! Nagy koncentrációban felboríthatja az ipari szennyvizeket befogadó víztestek az ökológiai egyensúlyt.
- Kiindulási koncentrációk:
 - DMC, EMC, DEC: 10 mg/l
 - EC, PC: 50 mg/l



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

Szerves karbonátok II.

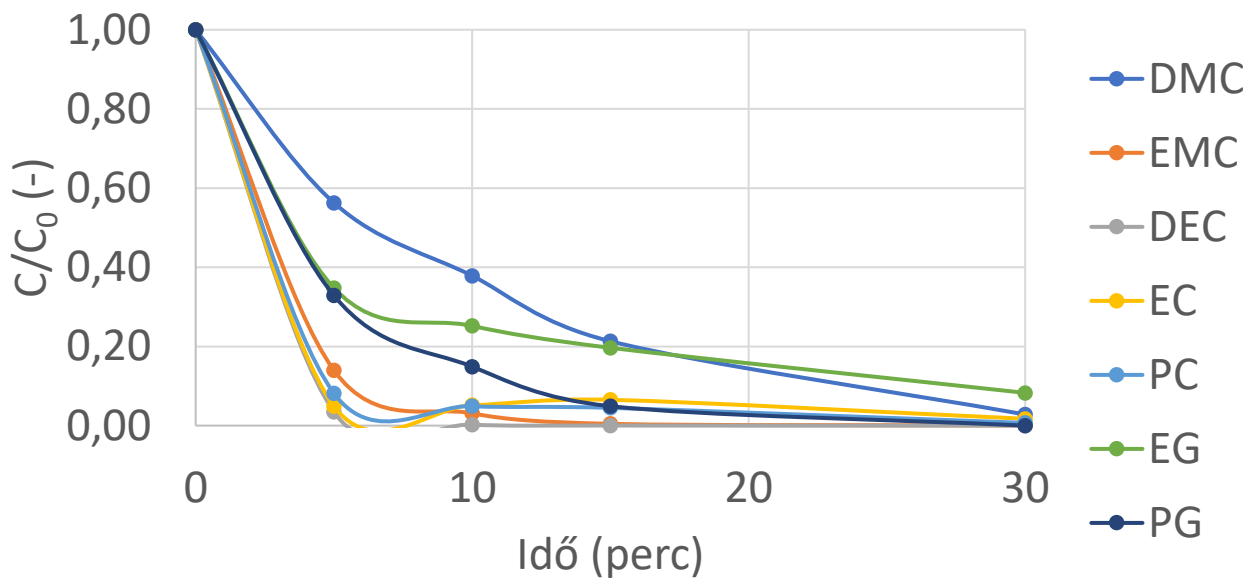
Karbonátok (pH=8)



Eltávolítás: 84-100%

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

Karbonátok (pH=9)



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

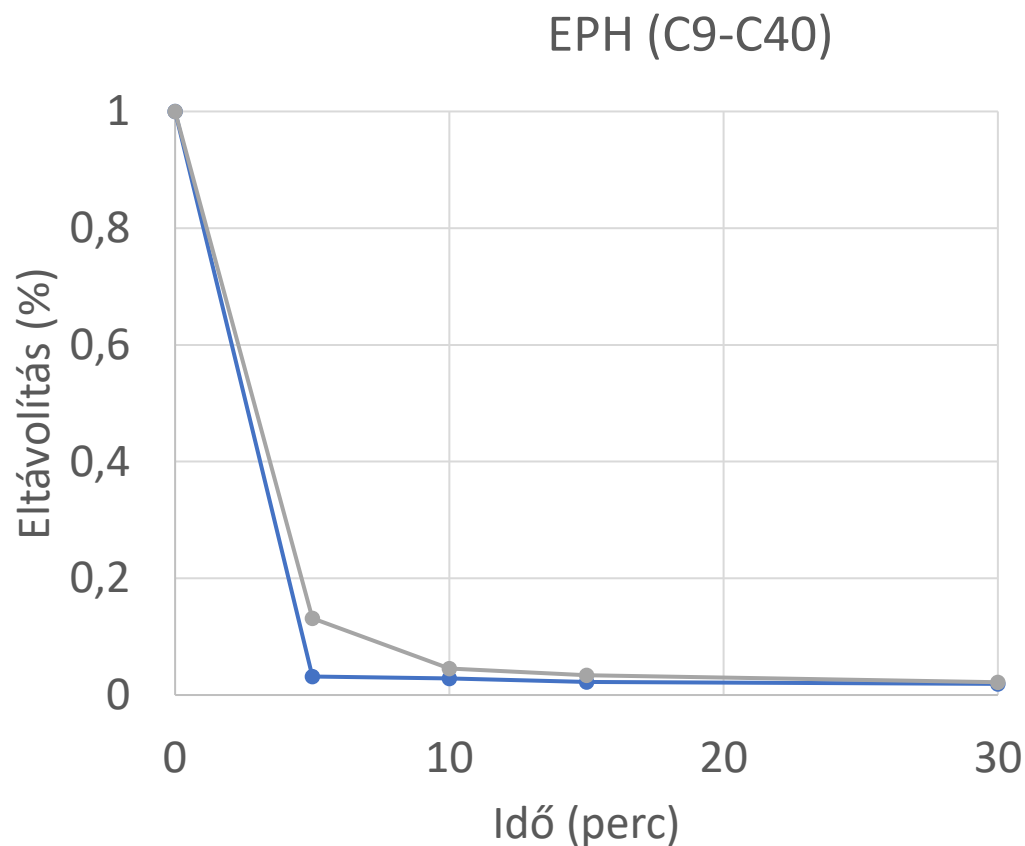
Eltávolítás: 97-100%

Rövidítések:

EG = etilén-glikol

PG = propilén-glikol

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



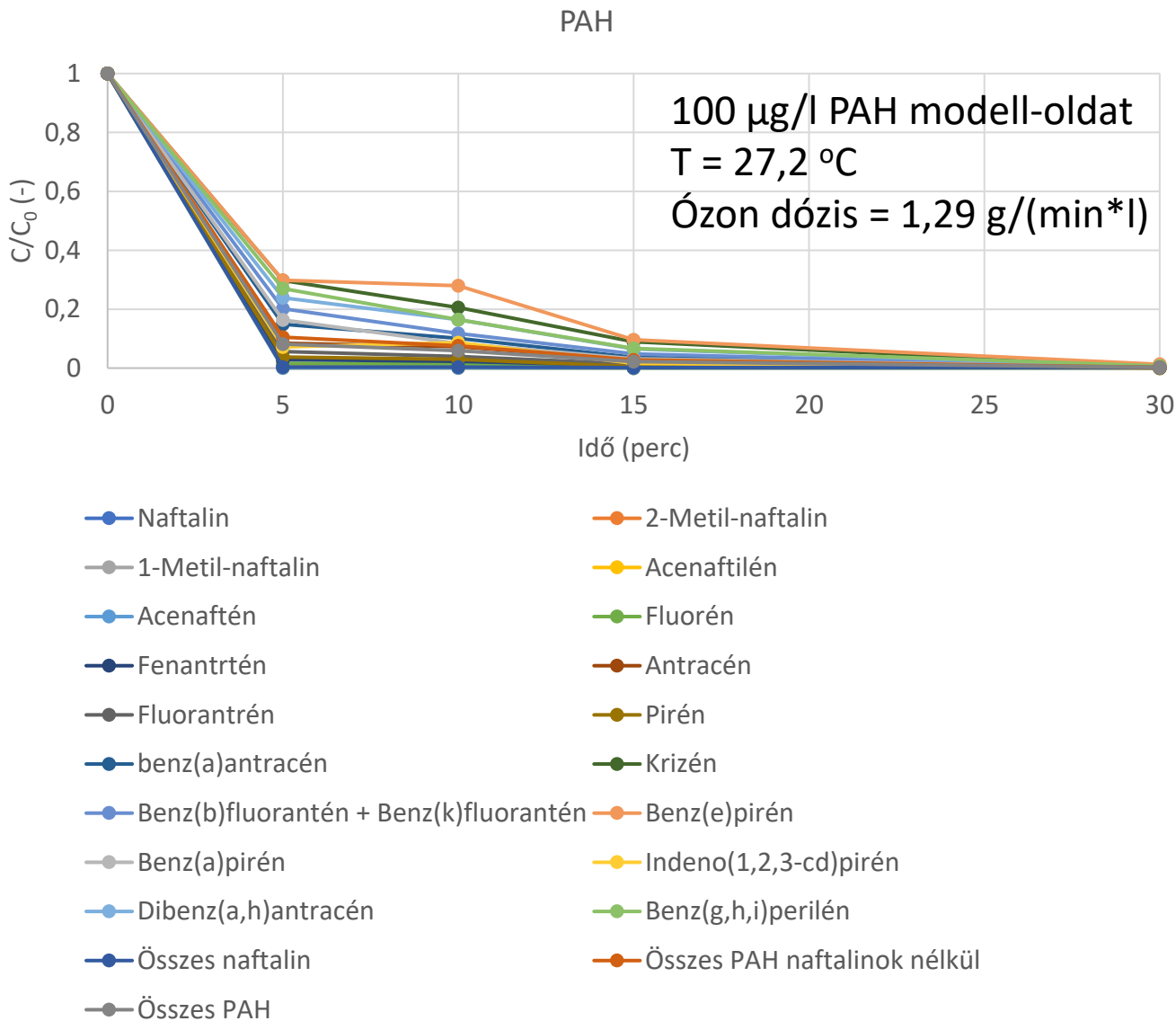
Modell-oldat: gázolajjal szpájkolt
ioncserélt víz 2800 µg/l EPH
T = 15,0 °C
pH = 7
Ózon dózis = 1,72 g/(min*I)

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

Policiklusos aromás szénhidrogének (PAH)

- Rákkeltő vegyületek

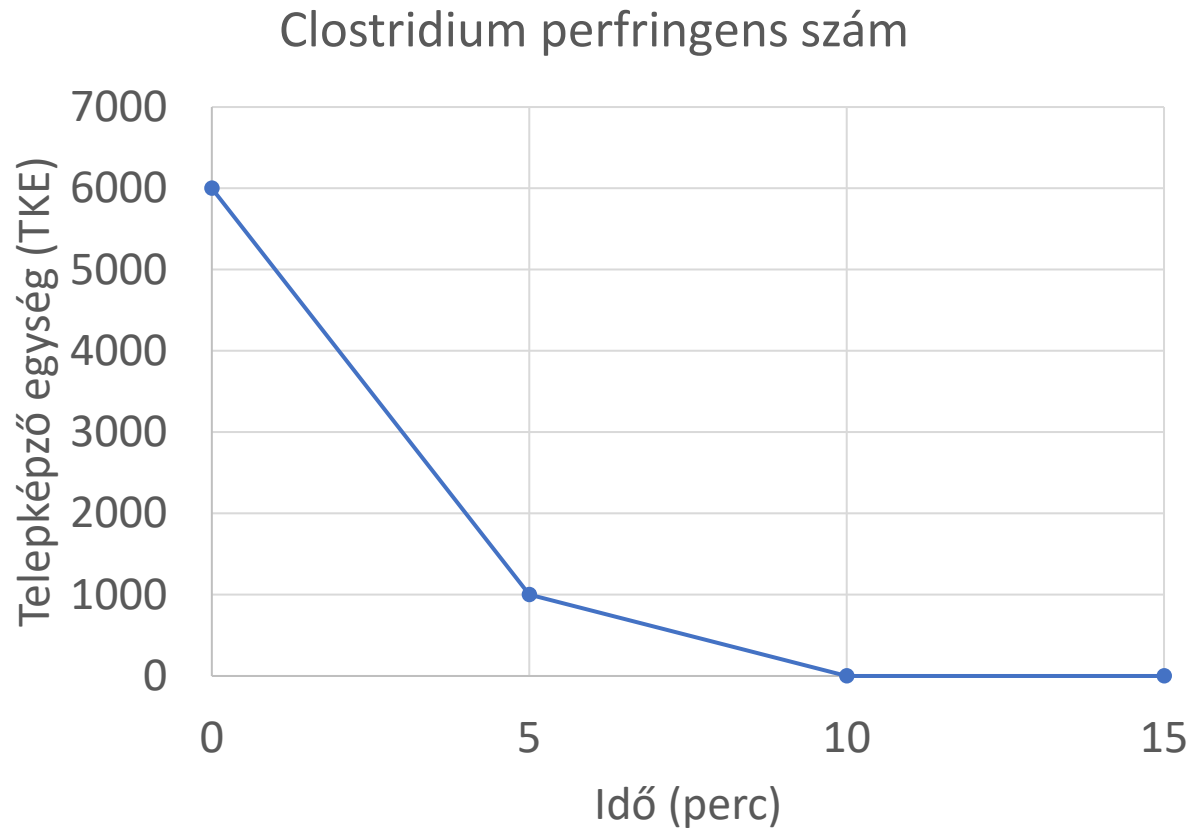
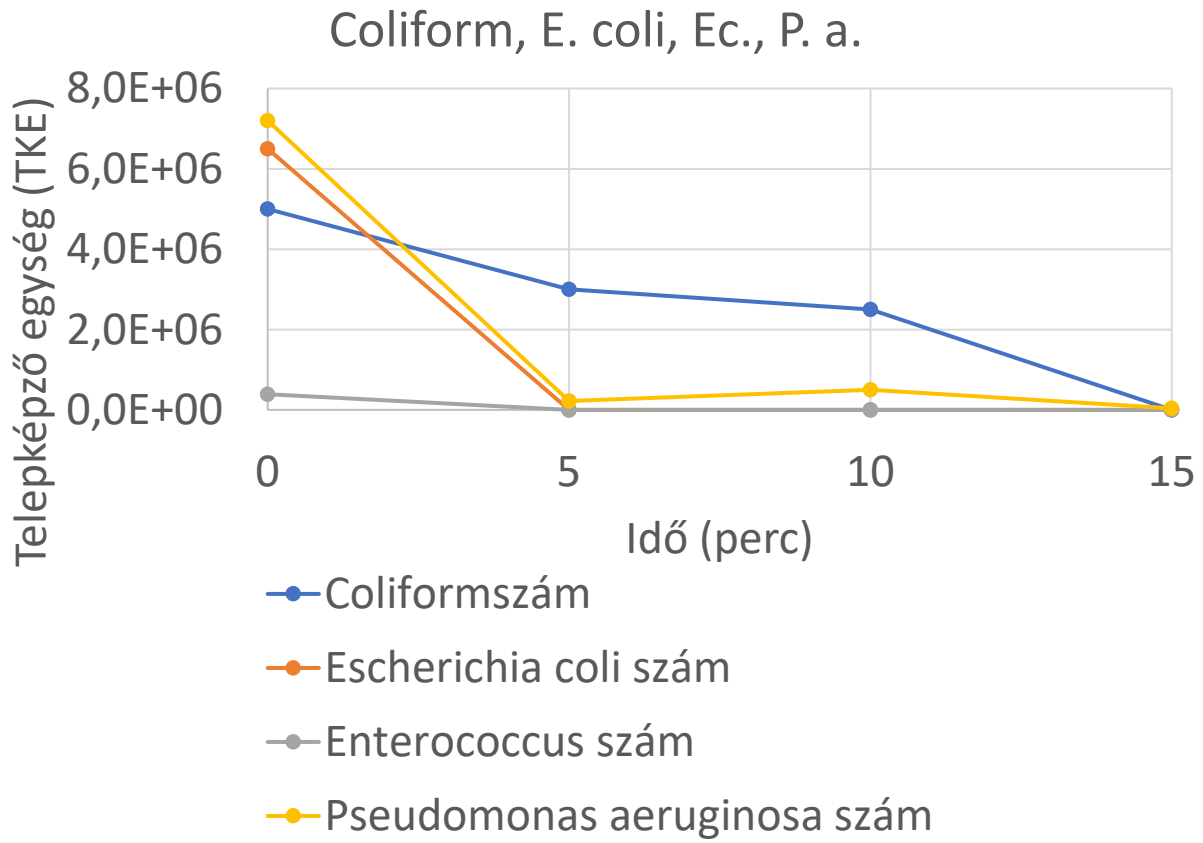
Idő (perc)	ΣPAH (μg/l)	Eltávolítás (%)	Határérték (μg/l)	
			FAV	IV
0	107	0,00	2	0,1
5	8,71	91,83		
10	6,25	94,13		
15	2,34	97,80		
30	0,258	99,76		



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.

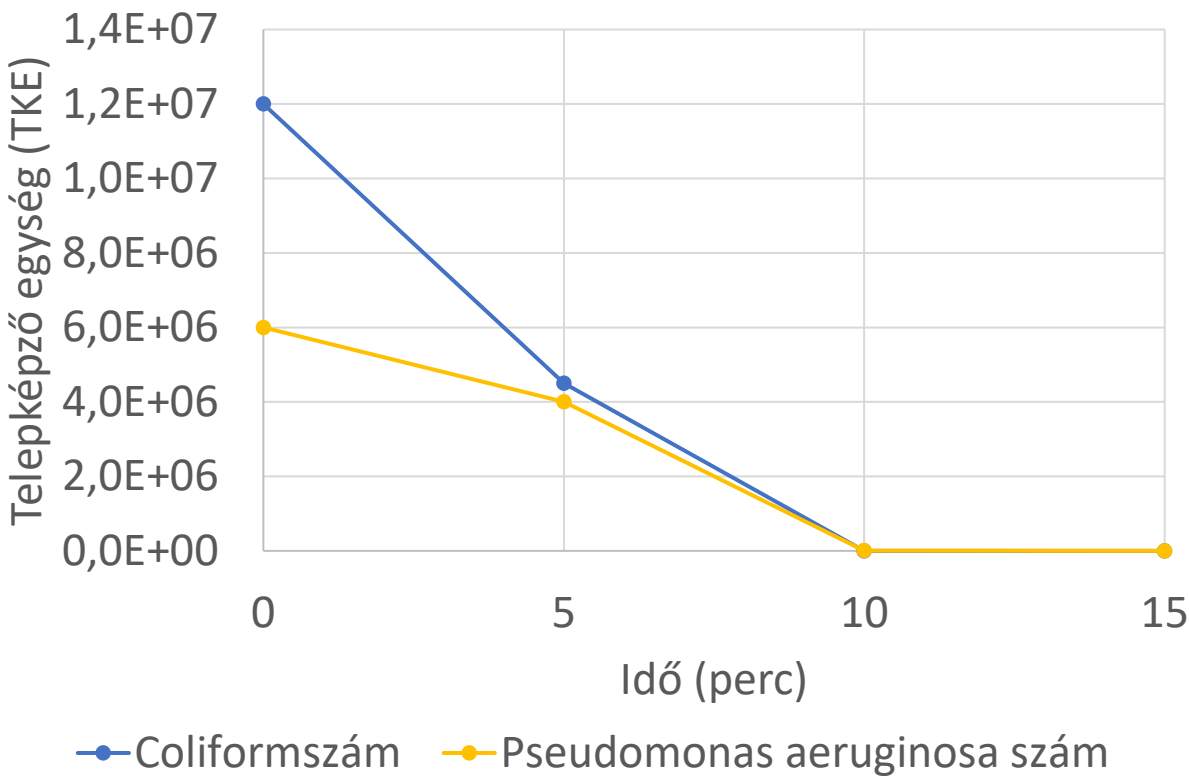
- Állatfeldolgozó üzem hűtővizének ózonos kezelése
- UTOLSÓ KÁD**

T = 26,1 °C

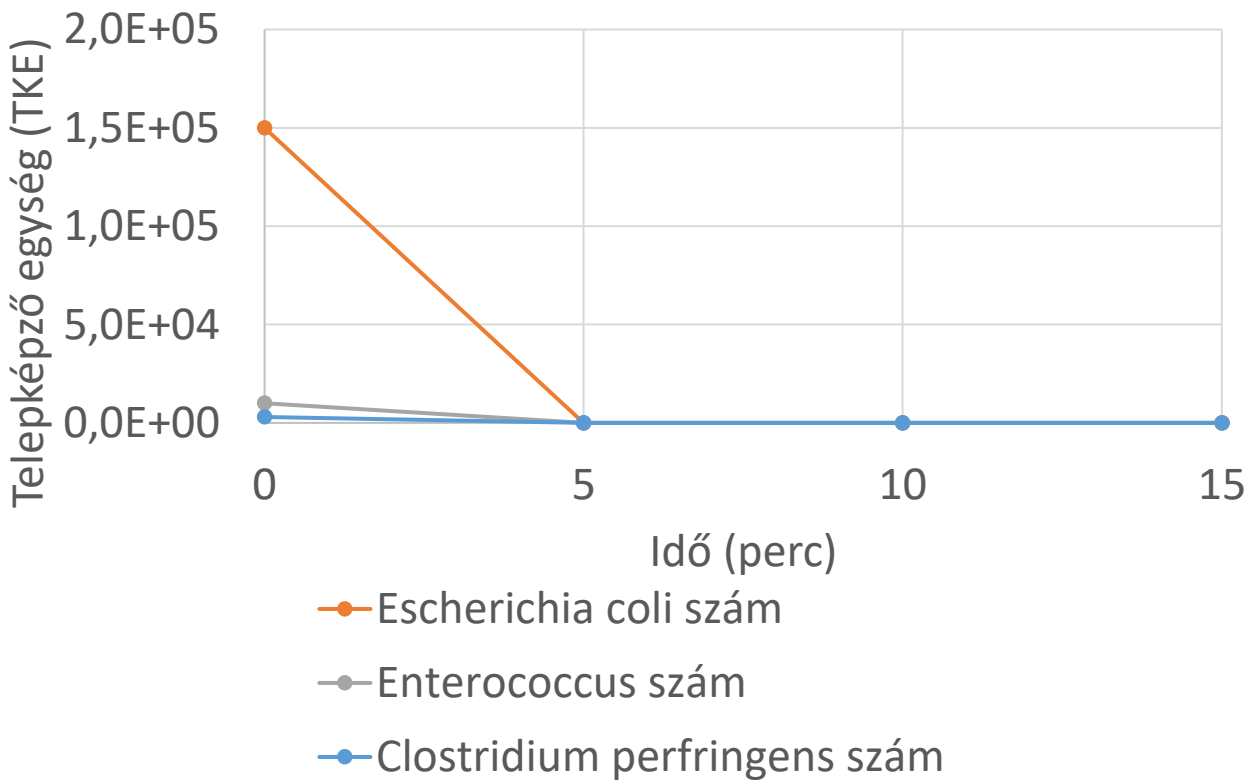
pH = ?

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



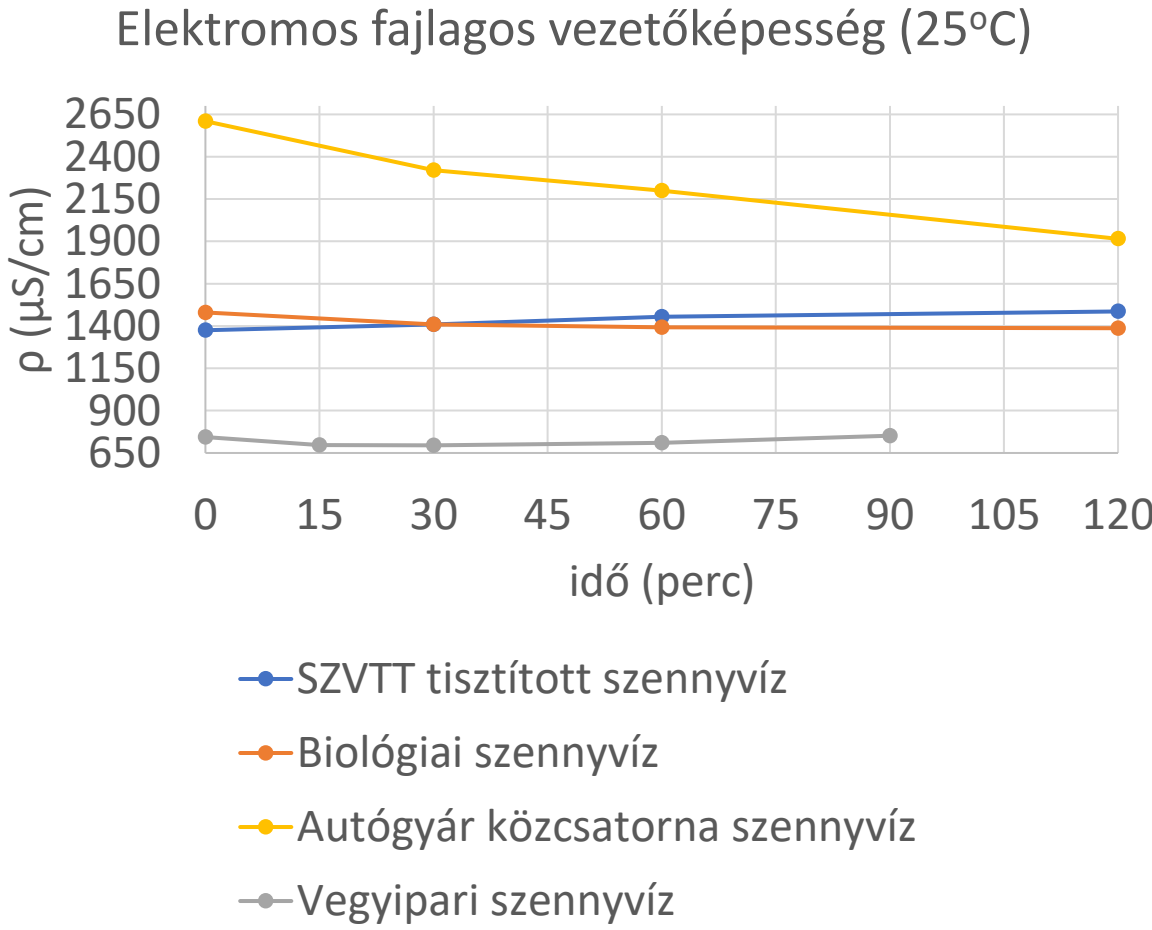
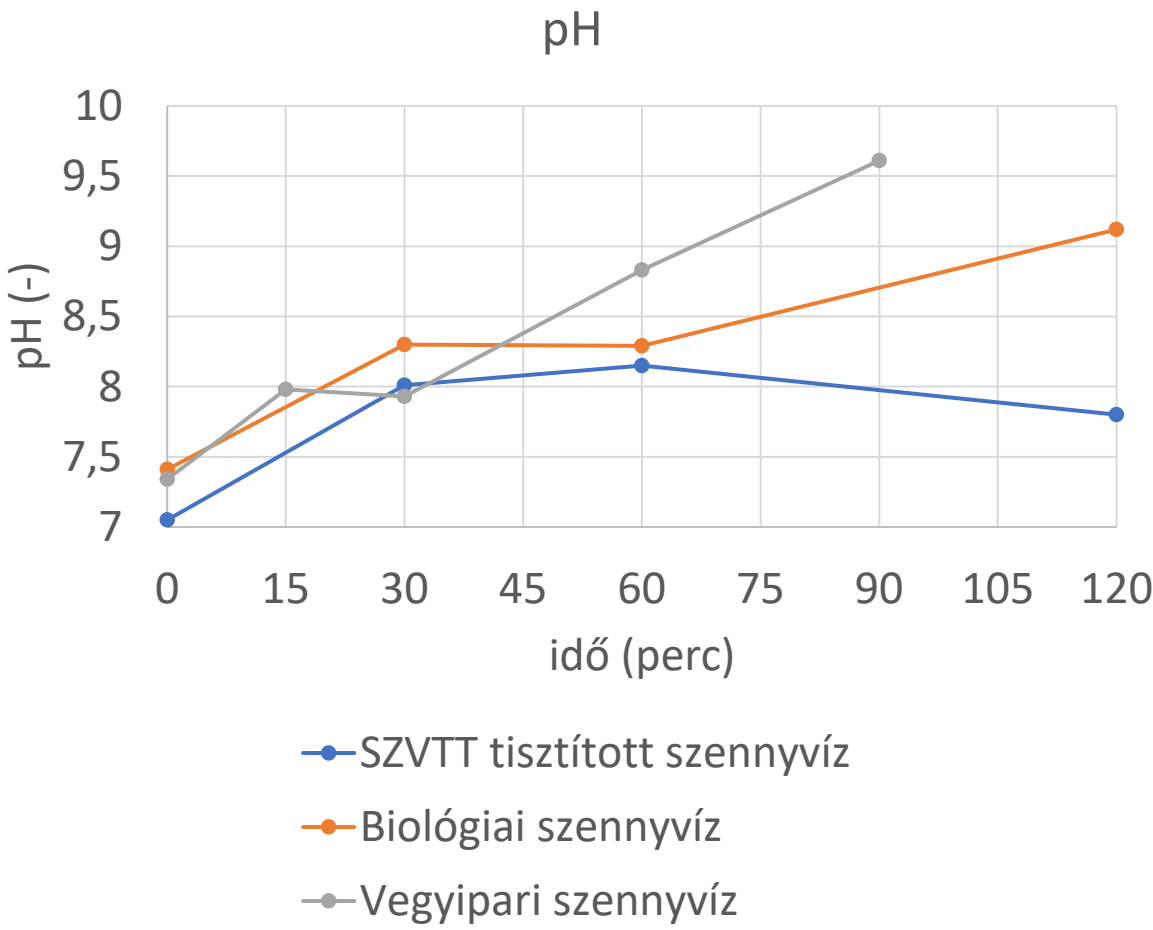
90 s

Vízminőségi paraméterek vizsgálata I.

- 4 szennyvíz vizsgálata:

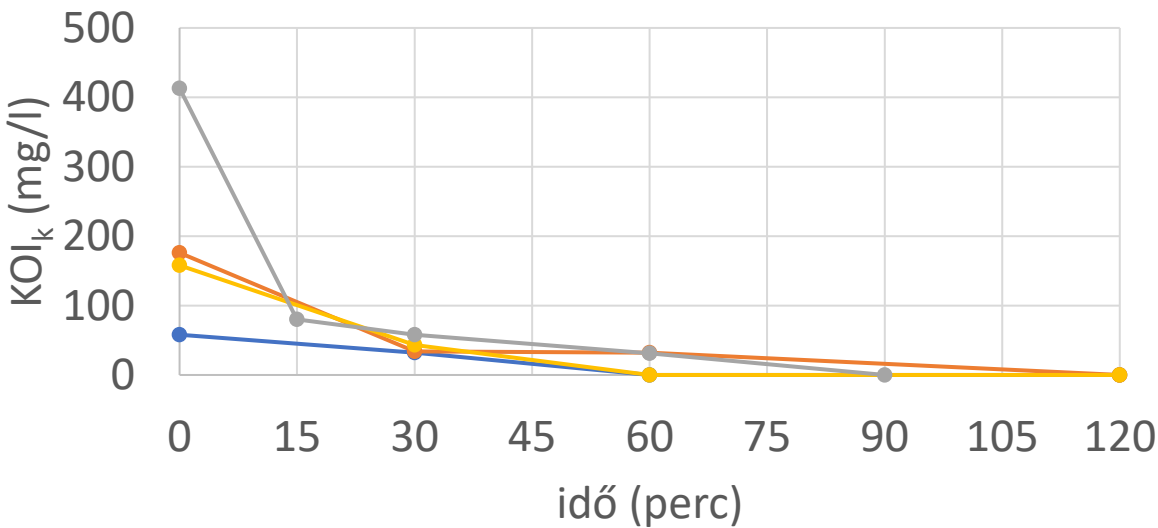
Minta	Hőmérséklet (°C)	Ózon dózis (g/(min*I))
Szennyvíztisztító telep tisztított szennyvize	17,5	1,72
Biológiai üzem szennyvize	22,0	1,75
Autógyártó cég közcsatorna szennyvize	22,0	1,75
Szerves vegyi alapanyag gyártó cég szennyvize	22,5	1,72

Vízminőségi paraméterek vizsgálata II.



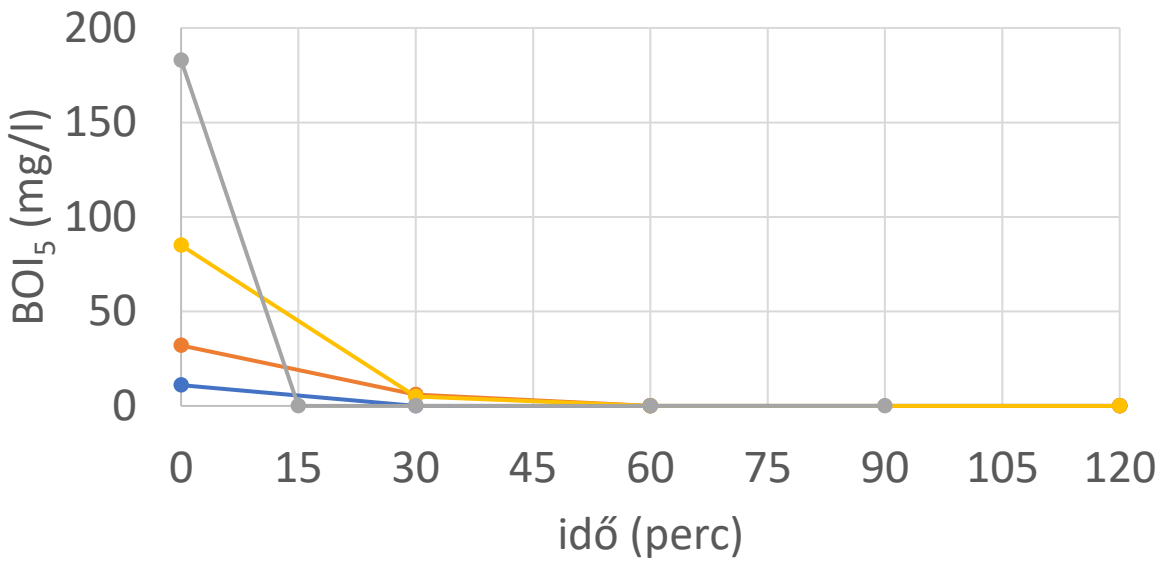
Vízminőségi paraméterek vizsgálata III.

Dikromátos kémiai oxigénigény (KOI_k)



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

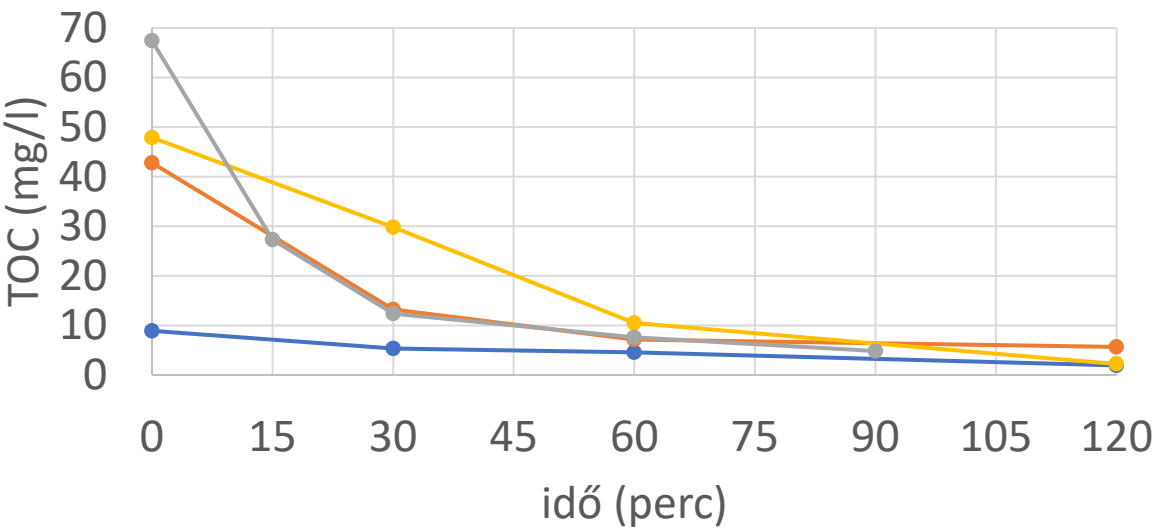
Biológiai oxigénigény (BOI₅)



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

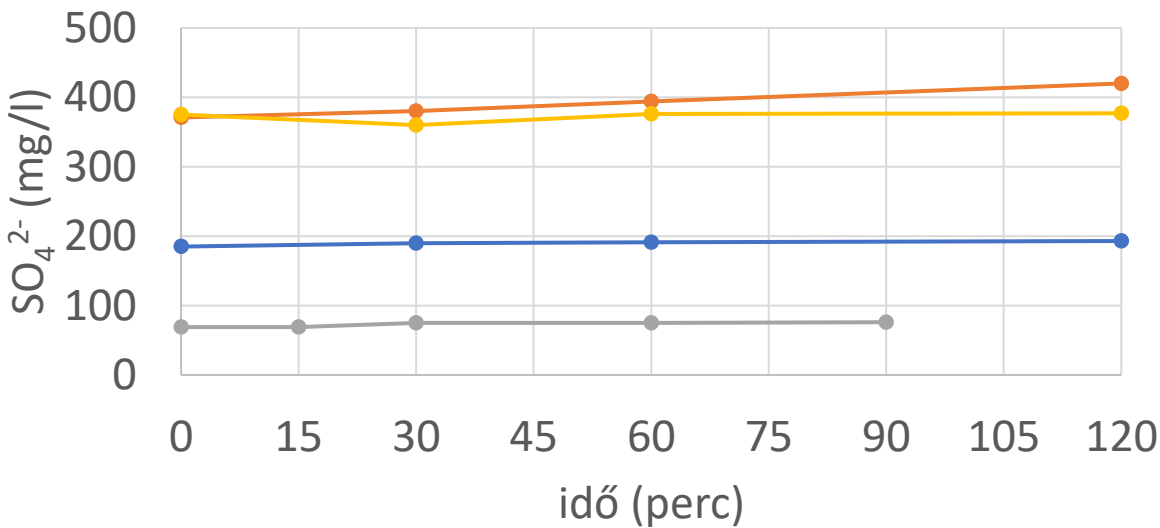
Vízminőségi paraméterek vizsgálata IV.

Összes szerves széntartalom (TOC)



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

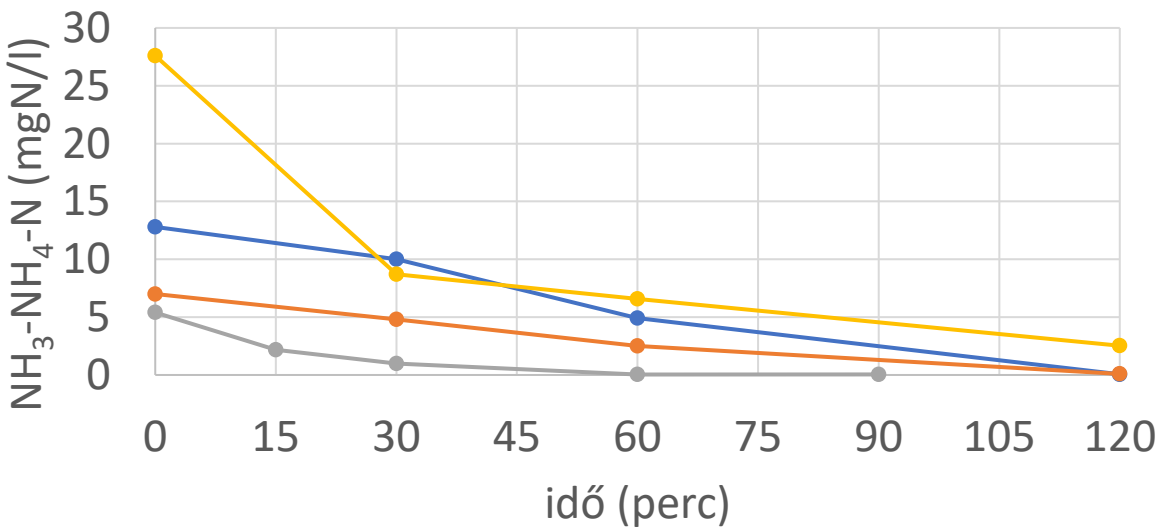
Szulfát



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

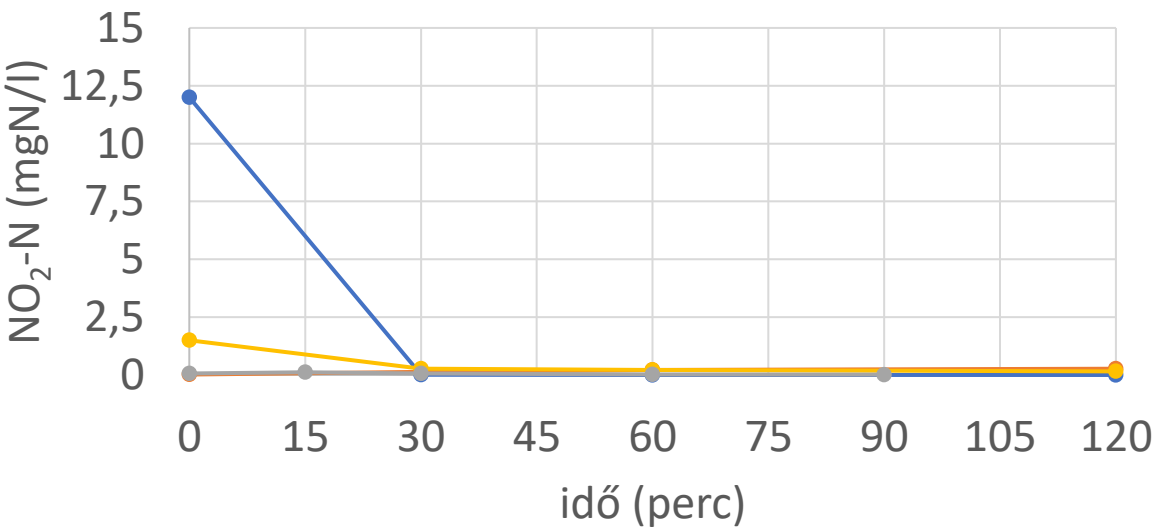
Vízminőségi paraméterek vizsgálata V.

Ammónia-ammónium-nitrogén



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

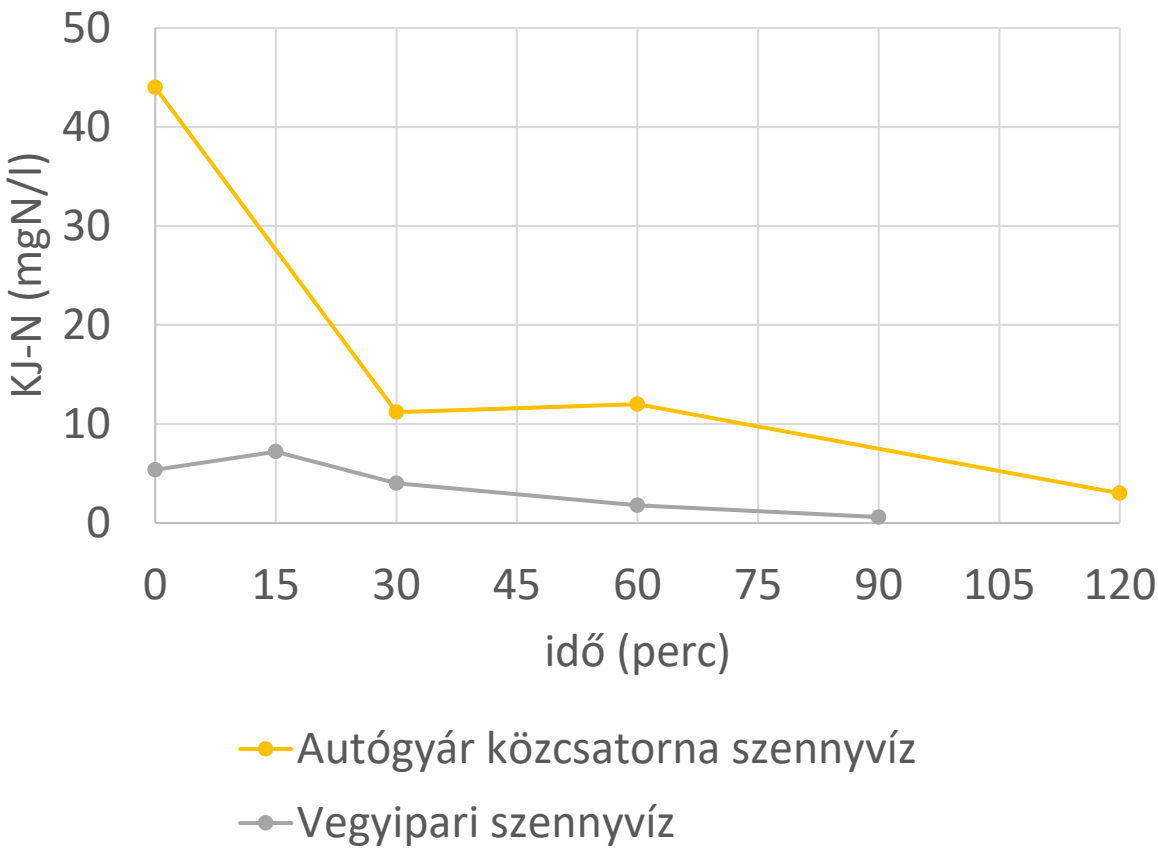
Nitrit-nitrogén



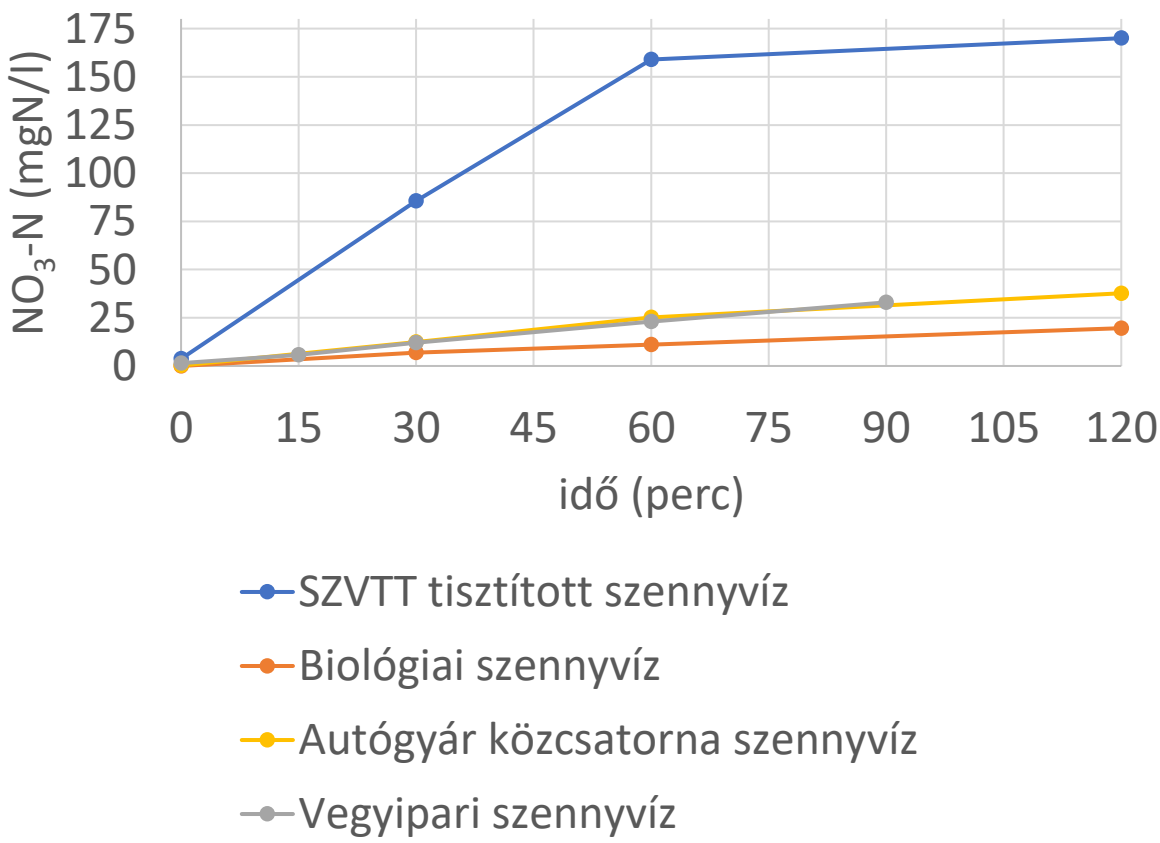
- SZVTT tisztított szennyvíz
- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz
- Vegyipari szennyvíz

Vízminőségi paraméterek vizsgálata VI.

Kjeldahl-nitrogén

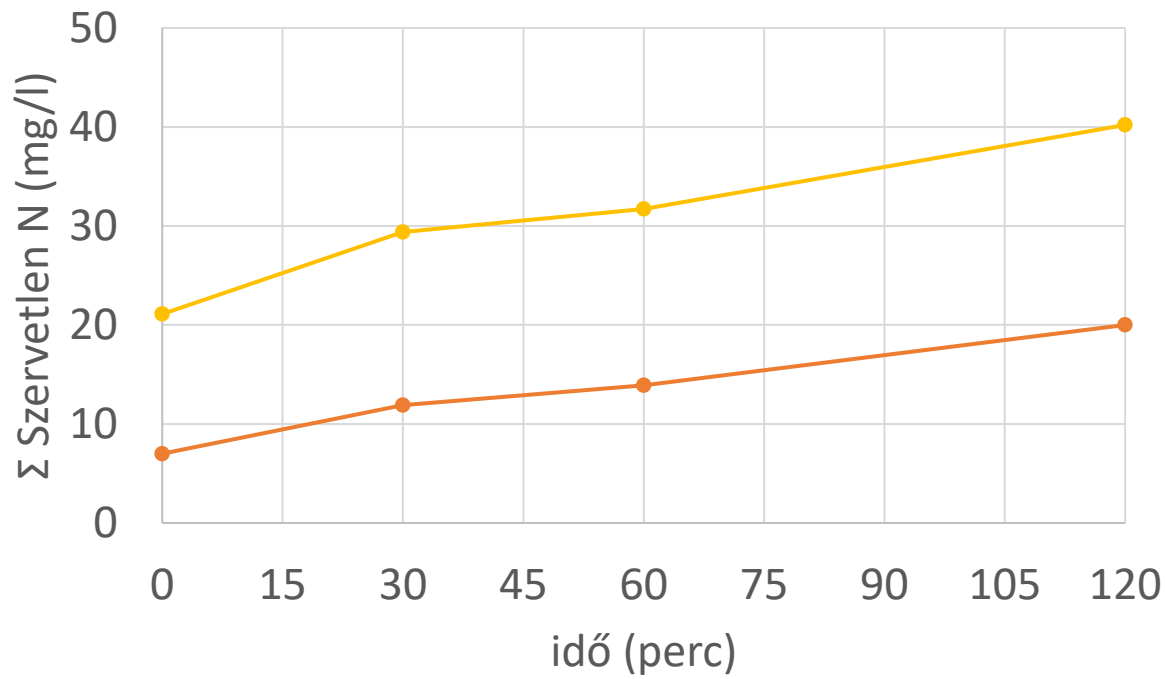


Nitrát-nitrogén



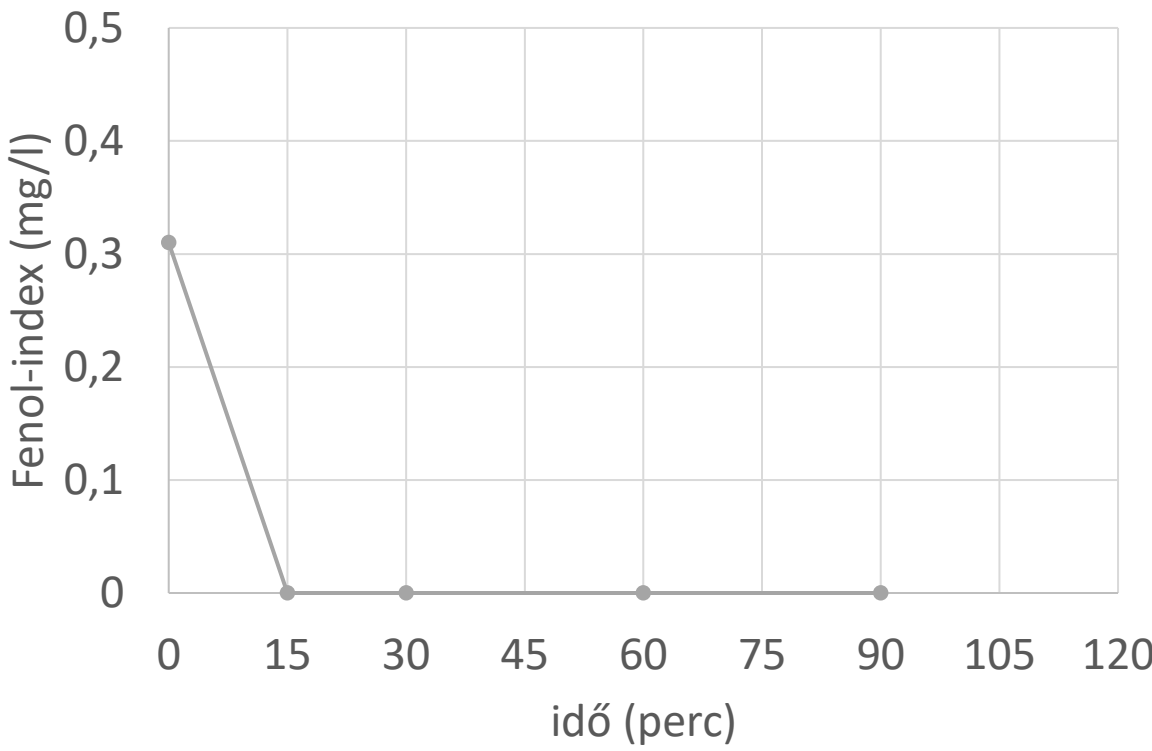
Vízminőségi paraméterek vizsgálata VII.

Összes szervesetlen nitrogén



- Biológiai szennyvíz
- Autógyár közcsatorna szennyvíz

Fenol-index



- Vegyipari szennyvíz

- **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

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

The background of the slide is a blue-tinted photograph of a water treatment process. It shows a large, cylindrical tank with a dense, white, frothy substance rising from the bottom, likely representing the effluent of an ozonation process.

Köszönöm a figyelmet!

Indikátor mikroszennyezők kiválasztásának szempontjai

A következő kritériumok alapján választották ki a indikátor vegyületeket:

1. Az vegyületeknek az anyavegyületeknek kell lenniük, és nem az anyavegyületek kémiai vagy biológiai bomlástermékeinek.
2. Az anyagok Svájc egész területén megtalálhatók a szennyvízben.
3. Folyamatosan beérkezik a szennyvíztisztító telepre.
4. Szabványos analitikai módszerekkel mérhetők.
5. A biológiai tisztítási szakaszban nem bomlanak le kellő mértékben (< 50%).
6. Ózonnal és aktív szénnel hasonlóan jól eltávolíthatók.

Flexibilitás az indikátor vegyületek kiválasztásában:

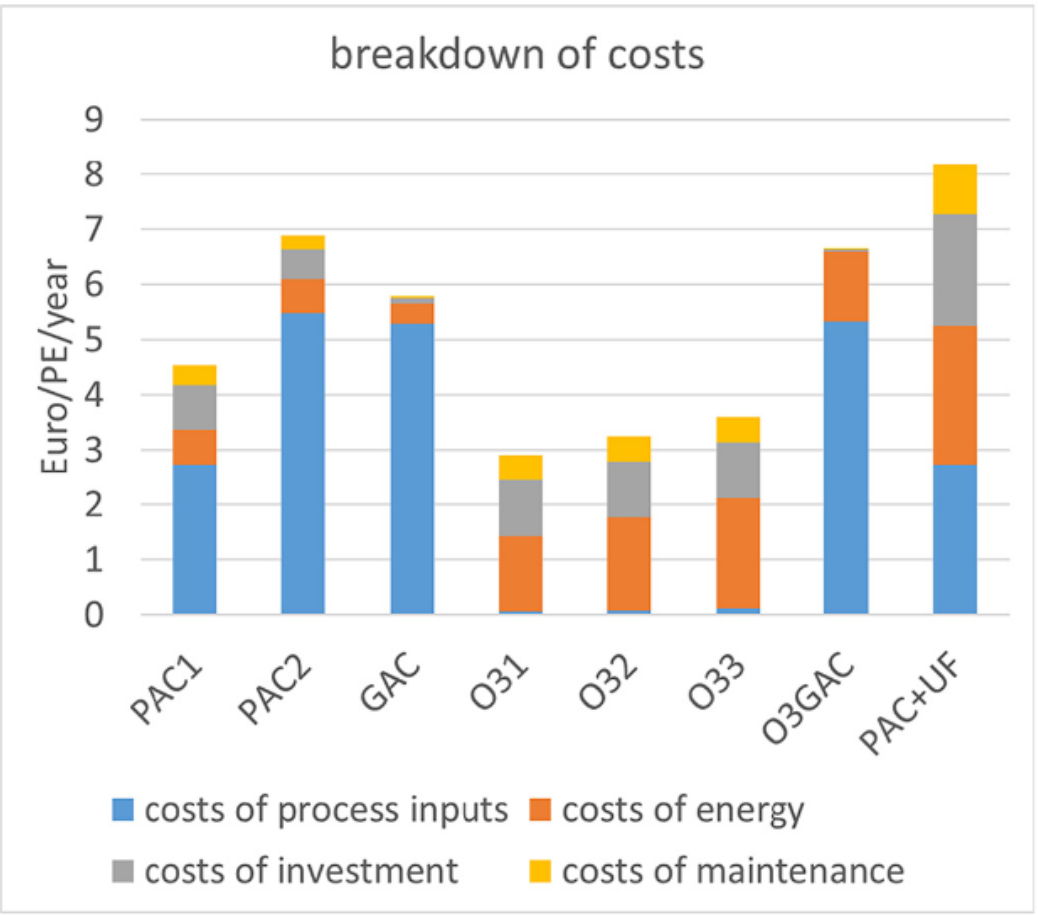
1. minimum 10xLOQ koncentrációban kell jelen lennie
2. Minimum 6 indikátor vegyületek vizsgálata eltávolítási hatékonyság számolására (1. kategóriából és 2. kategóriából választott vegyületek aránya 2:1)
3. Ha kevesebb mint 6 indikátor vegyület van jelen megfelelő koncentrációban a szennyvízben, akkor a kantoni hatóságok a FOEN-nel egyeztetve jelölnek ki helyettesítő vegyületeket

A következő megállapításokat tette a Swiss Water Association (VSA) az ózonos szennyvízkezeléssel kapcsolatban:

- Könnyen megvalósítható, biztonságosan működő, magas üzemeltetési stabilitású technológia
- Biológiai utókezelést igényel
- Előzetesen meg kell vizsgálni a szennyvíz ózonkezelésre való alkalmasságát és azt rendszeresen ellenőrizni kell.
- Az ózonreaktorok vízszintje kb. 7 méter, és 6–8 kamrából állnak.
- Az ózondózis két kamrára való felosztásával csökkenthető a szükséges ózonmennyiség.
- A 80%-os eltávolításhoz $0,4 - 0,7 \text{ gO}_3/\text{g DOC}$ vagy $3-5 \text{ mg/l}$ szükséges.
- A diffúzorokat évente ajánlott tisztítani.
- A reaktorban való tartózkodási idő maximális áramlási sebesség (Q_{max}) mellett körülbelül 13 perc, száraz időben pedig 25 és 74 perc között van.
- Kiváló minőségű betonra és gondos üzemeltetésre, valamint a szabványosított, ózonálló anyagok használatára van szükség
- Az ózonos kezelést általában a beáramlás arányában (térfogatárammal arányosan) szabályozzák, ami egyszerű és megbízható. Alternatív megoldásként UV-szondák is használhatók a szabályozáshoz.

Költségek

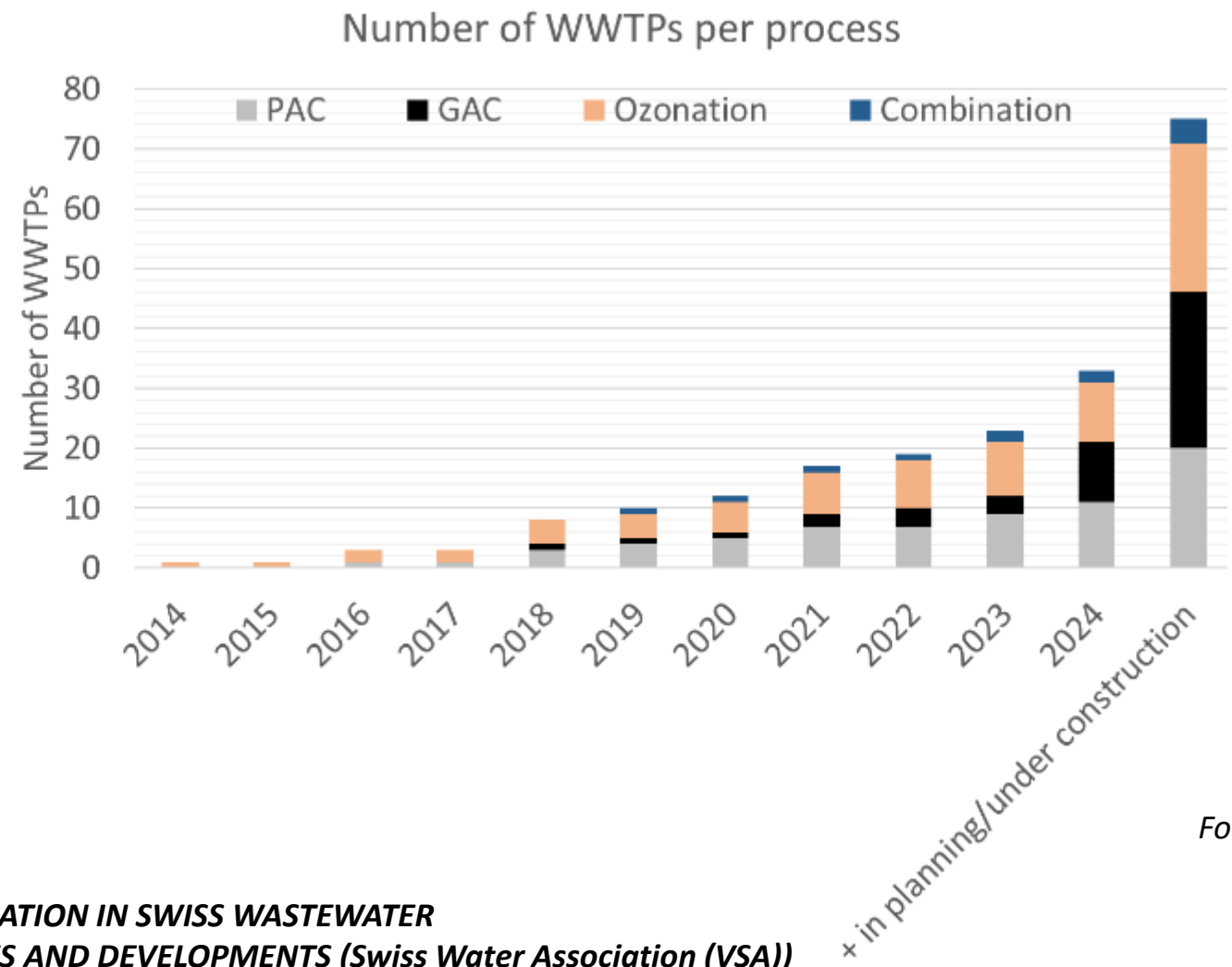
Electricity		
Ozonation 5 % of total demand		0.024 kWh/m ³ → 11.4 kWh/kgO ₃
Total WWTP		0.48 kWh/m ³
Waste water quantity 8 Mio. m ³ per year		
Costs		
(without consideration of subsidies)		
Amortisation, Maintenance		2.2 ct /m ³ } 5 €/PE year
• Investment costs 2.82 Mio €, 15 a; Interest 2 %		
Operating costs		1.2 ct/m ³
• 95'000 € per year		
Share of operating costs		
10 ct/kWh	0.42 gO ₃ /gDOC	18 x year
Electricity 20 %	Liquid Oxygen 40 %	Analytics 20 %
		Staff 20 %



Forrás: 2025.04.03. ARA Neugut – Elizaveta Shilyaeva-tól kapott adatok
 (Részletes információ: <https://micropoll.ch/Mediathek/auswertung-der-energie-und-kostenkennzahlen-von-verfahren-zur-elimination-von-organischen-spurenstoffen-in-ara/>)

⁷A. Pistocchi et al. Science of The Total Environment Volume 850, 1 December 2022, 157593

Fig. 2
MP stages (by process type) that are in operation in the respective year or are currently in planning or under construction. PAC: Powdered activated carbon; GAC: Granular activated carbon.



Svájc (2025. ápr.): 33 működő, 40 tervben vagy építés alatt

ARA	Stand	Inbetriebnahme
Neugut	In Betrieb	2014
Reinach	In Betrieb	2016
Werdhölzli	In Betrieb	2018
Bassersdorf	In Betrieb	2018
Porrentruy	In Betrieb	2020
Morgental (+Hofen)	In Betrieb	2021
Furthof (Buchs ZH)	In Betrieb	2021
Lützelmurgtal (Aadorf)	In Betrieb	2022
Birsig	In Betrieb	2023
Kloten Opfikon	In Betrieb	2025

Forrás: <https://micropoll.ch/ara-ausbau/ozon/>

Forrás: **MICROPOLLUTANT ELIMINATION IN SWISS WASTEWATER TREATMENT PLANTS: EXPERIENCES AND DEVELOPMENTS (Swiss Water Association (VSA))**
Elérhető: https://micropoll.ch/wp-content/uploads/2025/05/20250502_Micropollutant-Elimination-in-Switzerland.pdf

Ózonos szennyvíztisztító telepek II.

Ország	Település	Üzembe helyezés
Németország	Bad Sassendorf	2009
	Warburg	2016
	Weißenburg [+GAC]	2017
	Duisburg – Vierlinden	2020
	Tübingen	2021
	Rheda – Wiedenbrück	2021
	Mörfelden – Walldorf	2023
	Uhldingen – Mühlhofen [+GAC]	2023
	Bickenbach	2024

Ország	Település	Üzembe helyezés
Hollandia	Houten	2023
	Horstermeer [+GAC]	2024
Egyesült Királyság	Warwickshire (Frankton WWTP)	2025
	Warwickshire	Tervezett
	Ludlow	Tervezett
Belgium	Aartselaar [+GAC]	Pilot
Csehország	Blansko	Pilot

Rövidítés: GAC = granulált aktív szén