

- activated sludge bulking and foaming, 3rd edition, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, US.
- Jobbágy, A., Simon, J., Plósz, B. Gy., (2000a): The impact of oxygen penetration on the estimation of denitrification rates in anoxic processes, *Water Research*, 34(9), 2606-2609.
- Jobbágy, A., Literáthy, B., Farkas, F., Garai, Gy. and Kovács, Gy. (2000b): Evolution of the Southpest Wastewater Treatment Plant, *Water Science and Technology*, 41(9), 7-14.
- Jobbágy, A., Literáthy, B., Tardy, G. (2002): Implementation of glycogen accumulating bacteria in treating nutrient-deficient wastewater, *Water Science and Technology*, 46, 185-190.
- Jobbágy, A., Tardy, G. M., Palkó, Gy., Benáková, A., Krhutková, O. and Wanner, J. (2008): Savings with upgraded performance through improved activated sludge denitrification in the combined activated sludge - biofilter system of the Southpest Wastewater Treatment Plant, *Water Science and Technology*, 57(8), 1287-1293.
- Jobbágy, A., Kiss, B., Bakos, V., Tardy, G. (2009): Activated sludge nuisances in a vegetable processing wastewater pretreatment plant, *Acta Alimentaria*, 38, 393-404.
- Jobbágy, A., Kiss, B. and Bakos, V. (2017): Conditions favoring proliferation of Glycogen Accumulating Organisms for excess biological carbon removal in treating nutrient deficient wastewater, *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 61(3), 149-155.
- Jobbágy, A., Weinpel, T., Bakos, V. and Vánkos, Zs. (2019): Use of floating seals to exclude oxygen penetration in non-aerated selectors, *Water Science and Technology*, 80(2), 357-364.
- Kiss, B., Bakos, V., Liu, W. T., Jobbágy, A. (2011): Full-scale use of glycogen-accumulating organisms for excess biological carbon removal, *Water Environment Research*, 83(9), 855-864.
- Ludzack, F.J. and Ettinger, M.B. (1962): Controlling operation to minimize activated sludge effluent nitrogen, *Water Pollution Control Federation*, 34, 920-931.
- Oleszkiewicz, J.A. and Barnard, J.L. (2006): Nutrient removal technology in North America and the European Union: a review, *Water Quality Research Journal*, 41(4), 449-462.
- Patziger, M. (2017): Efficiency and development strategies of medium-sized wastewater treatment plants in Central and Eastern Europe: results of a long-term investigation program in Hungary, *Journal of Environmental Engineering*, 143(6), 04017008-1 - 7.
- Plósz, B. Gy., Jobbágy, A., Grady Jr., C.P.L. (2003): Factors influencing deterioration of denitrification by oxygen entering an anoxic reactor through the surface, *Water Research*, 37, 853-863.
- Somlyódy, L. and Patziger, M. (2012): Urban wastewater development in Central and Eastern Europe, *Water Science and Technology*, 66(5), 1081-1087.
- Tardy, G. M., Bakos, V., Jobbágy, A. (2012): Conditions and technologies of biological wastewater treatment in Hungary, *Water Science and Technology*, 65(9), 1676-1683.
- Wanner, J. and Jobbágy, A. (2014) Activated sludge solids separations. Chapter 10 in *Activated sludge - 100 years and counting*, Eds. Jenkins, D. and Wanner, J., 2014 IWA Publishing, Glasgow, ISBN 9781780404936, 171-193.
- Weinpel, T., Bakos, V. and Jobbágy, A. (2018): Co-treatment of a carbon deficient domestic wastewater with a dairy process effluent for a cost-effective global solution. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 62(4), 432-440.

FRISS EREDMÉNYEK A KLÓROZÁSOS IVÓVÍZKEZELÉS KÉMIÁJÁBAN



KIVONAT A klórozásos ivóvízkezelés során környezetszennyező, illetve egészségre káros vegyületek is megjelennek. Ezek minősége és mennyisége függ az aktuális antropogén hatásoktól. Az analitikai kémiai módszerek folyamatos fejlődése egyre pontosabb képet nyújt a nemkívánatos vegyületek koncentrációjáról és képződésük mechanizmusáról; mindez lehetővé teszi, hogy hatékonyabb technológiai és kontrollstratégiákat lehessen kidolgozni. A cikk néhány új eredményt mutat be a klórozásos ivóvízkezelés kémiájából, illusztrálva a szakterület folyamatos fejlődését. Bemutatunk új klórozási melléktermékeket és új mérési technikákat, valamint példát mutatunk arra, hogyan lehet pontos mérésekkel pontosabb reakciómodelleket felállítani.



KULCSSZAVAK vízkezelés, klórozási melléktermék, trihalometán, klóramin, reaktív köztitermék, reakciómechanizmus, melléktermék-analízis, oxidáció

FEHÉR PÉTER PÁL Természettudományi Kutatóközpont, Budapest, feher.peter@ttk.mta.hu
STIRLING ANDRÁS Természettudományi Kutatóközpont, Budapest, stirling.andras@ttk.mta.hu
FÁBIÁN ISTVÁN Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, ifabian@science.unideb.hu

Bevezetés

Az ivóvíz tisztaságának biztosítása alapvető és kiemelten lényeges hatósági feladat. Fontossága miatt mind a szakma, mind pedig a nagyközönség figyelmének középpontjában áll. A minőségi követelmények és azok ellenőrzése szigorúan szabályozott.[1] A vízszennyezők azonban

változnak, annak megfelelően, hogy a mezőgazdasági, ipari, gyógyászati vagy éppen az orvosi diagnosztikai tevékenységekben milyen vegyszerek kerülnek előtérbe. Az analitika és mérés technika fejlődése egyre pontosabb és részletesebb vízminőség-monitorozást tesz lehetővé. Ennek köszönhetően mélyebb ismereteket szerezhetünk a vízben lejátszó ké-

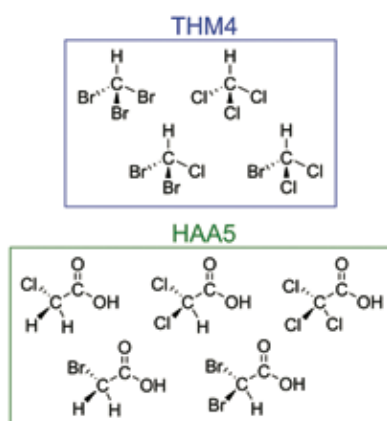
miai folyamatokról, melyek új veszélyekre is felhívhatják a szakemberek figyelmét.[2] Az új módszerek nagyságrendekkel a toxicitási határ alatti koncentrációk meghatározását is lehetővé teszik. Ezek az eredmények a laikusok számára gyakran azt a tévképzetet sugallják, hogy a vizek szennyezettsége elfogadhatatlanul nagy. A megújuló tapasztalatok alapján az aktuális protokollok és technológiák időről időre görcső alá kerülnek, a vizsgálatok és visszacsatolások eredményeképpen pedig módosulnak. [3] Nemrég a jelen cikk írói egy érdekes vizsgálatsorozatot publikáltak, amelyben a monoklóramin bomlásának mechanizmusát vizsgálták meg széles, savas pH-tartományban.[4] A monoklóramin (vagy szerves analógja, a klóramin T) önmagában a klórhoz hasonló hatású fertőtlenítőszer. A munka kapcsán áttekintettük a témakörhöz kapcsolódó legfrissebb szakirodalmat. Ebből az áttekintésből szeretnénk most néhány újdonságot megosztani a lap olvasóival.

Klórozási melléktermékek

Régóta ismert, hogy az ivóvíz klórozása ún. klórozási melléktermékek (disinfection byproducts, DBPs) képződésével jár, és ezek toxikus hatását folyamatosan vizsgálják, összefüggéseket keresve például a vetélés vagy a hólyagrák kialakulása és a klórozott ivóvíz fogyasztása között.[5] Ezek a vegyületek a megtisztítandó vízben jelen lévő természetes szerves anyagokból képződnek.

Több mint 600 ilyen vegyületet azonosítottak.[6] Ez jóval több annál, mint amire értelmes szabályozást lehet adni. Ezért a legtöbb országban néhány vegyülettípusra fókuszálnak, amelyek kontrollálása várhatóan magával vonja a többi DBP-vegyület megfelelő kontrollálását is. Ilyen kiemelt vegyületcsoportok a halometánok (az irodalomban THM4 a négytagú csoport neve) és a haloecetsavak (5-tagú HAA5) csoportja (1. ábra). De vajon ez a megközelítés mindig eredményes-e? Újabb vizsgálatok azt mutatták, hogy a vízforrások szervesanyag tartalmának eltérő összetétele gyakran teljesen más DBP-mintázatot eredményez. Például magas nitrogéntartalom esetén nitrogéntartalmú DBP-vegyületek (NDBP-k), többek között nitrózaminok képződnek.[7] Ezek egyike, a dimetil-nitrózamin közismerten rákkeltő. Ha nem világos az összefüggés a kontrollcsoportok viselkedése és az NDBP-k képződése között különböző fertőtlenítési technológiák esetén, akkor nem garantált, hogy biztonságos lesz az ivóvíz. Például ismert, hogy direkt klórozáskor több THM4-vegyület keletkezik, viszont klóramináláskor több NDBP. Így tehát, ha a klórozást kiváltjuk, vagy kombináljuk klóraminálással, a kívánt érték alá szorítjuk le a THM4-mennyiséget, viszont a nitrózaminok mennyiségét nemkívánatos módon megnövelhetjük.

Ha ózonnal történő vízkezelést is alkalmazunk, a bromátok vagy a halogéntartalmú acetaldehidek mennyisége növekedhet meg jelentős mértékben.[6] Összességében egy komplex vízkezelési stratégia tűnik hatékonyabbnak, melynek során a teljes toxicitás csökkentése a kitűzött cél. Ennek teljesülése azonban nem igazolható, ha csak a THM4 és TAA5 csoportokra korlátozzuk a vizsgálatokat.[8]

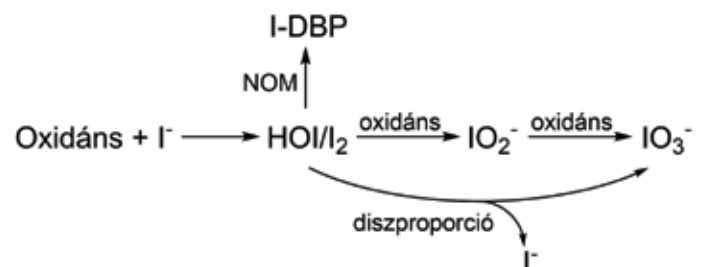


1. ábra: A THM₄ és HAA₅ vegyületcsoport tagjai

Újjonnan azonosított DBP-k

A következőkben néhány újjonnan felismert vegyületet ismertetünk, amelyek előtérbe kerülése egyrészt a megváltozott emberi tevékenység, másrészt a mérési módszerek javulásának köszönhető. Megjegyezzük, hogy nem feltétlenül van mindegyik típusnak hazai relevanciája, de a jövőbeli jelentőségük nem zárható ki.

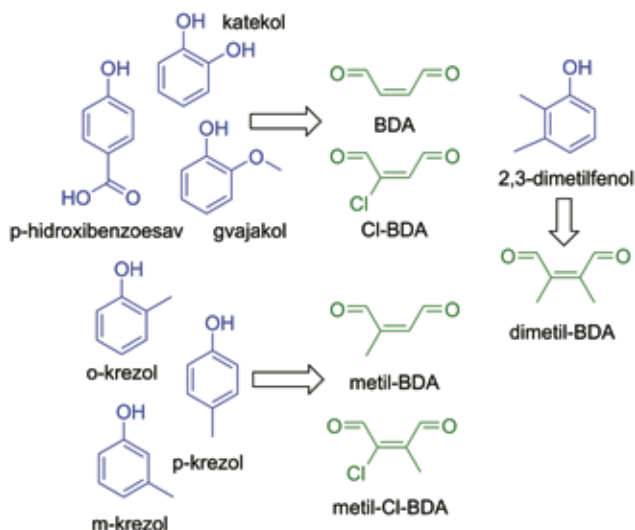
Az egyik jól dokumentált következménye a direkt klórozást kiváltó klóraminálásnak a jódtartalmú DBP-k (I-DBP) mennyiségének növekedése.[9] A jódtartalmú természetes szerves anyagokból kerül a vízbe (natural organic matter, NOM). További jódforrást jelent a jódozott konyhasók I⁻ és IO₃⁻-tartalma vagy a jódtartalmú röntgen-kontrasztanyagok. Ismert az is, hogy más földrajzi adottságú országokkal összevetve a tengerparti országokban a természetes vizek jódtartalma nagyobb. Ezek a jódtartalmú vegyületek a klórozás során aktívan részt vesznek a DBP-k képződési reakcióiban, és a jódtartalmú szerves molekulákba. Alapvető probléma, hogy gyakran ezen jódtartalmú származékok toxicitása sokkal nagyobb, mint a THM- és HAA-csoportokba tartozó vegyületeké. Az I-DBP-k képződésének általános mechanizmusa az, hogy a szabad jodidtartalom az oxidálóközegben hipojódosavvá (HOI, analóg a hipoklórossavval, HOCl) alakul, és vagy ez a vegyület, vagy a reakcióban megjelenő közti-termék támadja meg a jelen lévő szerves anyagokat (2. ábra). Erélyesebb oxidatív körülmények között a HOI tovább alakul jodáttá (IO₃⁻), ami közvetlenül nem játszik szerepet az I-DBP-k képződésében. A mérések szerint a direkt klórozás során sokkal hamarabb elindul ez az átalakulás, mint a klóraminálás során, ami érthető, hiszen a klór sokkal erélyesebb oxidálószer, mint a klóramin. Emiatt az is érthetővé válik, hogy a klóraminálás során több veszélyes jódtartalmú DBP képződik, mint a direkt klórozás során, hiszen a lassabb HOI-jodát-átalakulás mellékreakció mellett több idő áll rendelkezésre a szerves anyagokkal (NOM) való reakcióra.



2. ábra: Jódtartalmú vegyületek kialakulása a vízben előforduló jodidion és az alkalmazott oxidálószer (pl. klór, monoklóramin) reakciójában[9]

A közelmúltban amerikai és svájci kutatók újra vizsgálták a fenolok vízfertőtlenítés során lezajló átalakulását, és azt találták, hogy több, egészségre potenciálisan veszélyes kismolekulás vegyület jöhet létre (3. ábra).[10] Külön érdekesség, hogy ezek között több egyáltalán nem tartalmaz klórt, de a klórozás során kialakuló oxidatív környezet a felelős a kialakulásukért. A vegyületek mind malein-dialdehid (2-butén-1,4-dial, BDA) származékok, és maga az alapvegyület is a végtermékek között van. Az ilyen típusú vegyületek közül jó néhány már igazoltan karcinogén. A vizsgálatokat a következőképpen végezték: kis mennyiségű fenolt tartalmazó oldatot a klórozás tipikus körülményeit szimulálva, precízen beállított paraméterek mellett különböző mennyiségű HOCl-dal reagáltattak, majd pontos analitikai kémiai módszerekkel elemezték a végeredményt. A kutatásokat az teszi még izgalmasabbá, hogy azt is megvizsgálták, pontosan definiált idő után egy alkalmas biomolekulával (a lizin aminosav egy analóg vegyületével) hogyan reagálnak ezek a vegyületek, milyen új addukt-komplexek jönnek létre. Ezek a vizsgálatok a biológiai

hatást hivatottak modellezni. Az eredmények felhívják a figyelmet arra, hogy a nagyszámú, fenolvázat tartalmazó szerves szennyező a szokásos vízfertőtlenítési eljárások során karcinogén anyagok forrása lehet, és fontos, hogy ezek szigorú kontrollálására is sor kerüljön.



3. ábra: BDA-származékok kialakulása fenolokból[10]

Újdonságok az elemzési módszerekben

A szennyezők detektálásában kiemelkedően fontos szerepe van a tömegspektrometriának, a kromatográfiának és ezek kombinációjának.[11] A tömegspektrometriás mérés során a vizsgált vegyületből gázfázisú ion keletkezik, ami különböző fragmensekre bomlik, általában elsődlegesen a gyengébb kötések felhasadásával. Az eredeti és a szétszakadt molekuláinak nagy sebességgel áthaladnak egy mágneses mezőn, ami eltéríti őket (a Lorentz-erő miatt) tömegtől és töltéstől függően különböző mértékben. A spektrométer végén detektorok érzékelik a becsapódás helyét, ami az eltéréstől függ. Ebből pedig a tömeg/töltés arány visszakövetkeztethető. A spektrum pedig nem lesz más, mint a tömeg/töltés arány függvényében a mért intenzitás (becsapódásszám). A kromatográfia egy olyan technika, ahol keverékek választhatók szét. Egy hordozó gáz (gázkromatográfia) vagy folyadék (folyadékkromatográfia) a vizsgálandó keveréket keresztül szállítja egy oszlopon, ami olyan anyaggal van töltve, amire a vizsgálandó anyagaink különböző erősséggel ideiglenesen megkötődnek. Az oszlop gázkromatográfiában szimbolikusan értendő, általában egy több méter hosszú, vékony, feltekert csőről van szó. A folyamatos közegáramlás „lemossa” az oszlopról a vegyületeket, de a különböző erősségű kötődés miatt az anyagok térben szétválnak. Az oszlop végén detektor érzékeli a kijövő vegyületet, és a koncentrációjának megfelelő intenzitásgörbét rajzol az idő függvényében. Ez a kromatogram. A két módszer összekapcsolásával megsokszorozzuk a lehetőségeinket, mert így egy keveréket kromatográfiásan szétválasztva egyből a tömegspektrométerbe lehet továbbítani, és ezáltal egy nagyszámú vegyületet tartalmazó keverék pontos összetételét és koncentrációviszonyait meg lehet határozni. A mérőműszerek és detektálási technikák folyamatos fejlődése nagyon nagy pontosságot és érzékenységet tesz lehetővé napjainkban. Például 39 különböző DBP-t sikerült kivételesen nagy pontossággal meghatározni olyan tömegspektrométerrel, amelyben repülési idő-analizátorral dolgoztak, és szelektáltan fókuszáltak egy kisebb tömeg/töltés tartományra (selected ion monitoring). Így 3–61 ng/l detektálási határig

tudtak lemenni, és a spektrum pontossága lehetővé tudta tenni, hogy két új, addig nem dokumentált szennyezőt azonosítsanak.[12] Spanyol szakemberek fejlesztettek ki egy gyors, egyszerű, de érzékeny eljárást, ami élvonalbeli folyadékkromatográfias módszert alkalmaz, kombinálva a legfejlettebb tömegspektrometriás eljárással.[13] Semmilyen szokásos előzetes extrakciós vagy koncentráció-növelő eljárás nem szükséges, a mintát direkt be lehet fecskendezni a kromatográfba, és a tömegspektrogramok alapján az azonosítás és a mennyiségi elemzés szoftveresen elvégezhető akár 100 µl mintából 0,01–0,6 µg/l határ mellett.

A kísérleti eredmények értelmezése, azaz a részletes reakciómechanizmus feltárása fontos szerepet játszik abban, hogy használható következtetések, előrejelzések és javaslatok születhessenek az eredményekből. Amerikai szakemberek egy egészen friss tudományos közleményben mutatták meg ismét, hogy milyen hasznos tud lenni a konvencionálístól eltérő, a megszokott kereteken túllépő gondolkodás.[14] A DBP-k képződésének leírásakor nagyon gyakran azt a megközelítést használják, hogy a szerves vegyületek oxidációja a legnagyobb mennyiségben jelen lévő, legerősebb oxidálószerrel történik. Kiderül azonban, hogy sok kinetikai mérés eredménye vagy éppen a termékeloszlás nem magyarázható így. Az eredmények arra világítottak rá, hogy a DBP-k képződésének folyamataiban olyan, kevésbé erős, viszont annál egzotikusabb oxidáló vegyületeknek van kulcsszerepük, mint például a Cl_2O , Br_2O , BrCl , ICl , H_2OI^+ , BrOCl vagy Cl_2 . A vízkezelési eljárások során ezek a vegyületek köztiterméként rendkívül kis koncentrációban képződnek a HOCl és a jelen lévő halogénidek reakcióiban. Ezeknek a formáknak a számításba vételével a klórozás és klóraminálás során talált meglepő kinetikai eredmények azonnal értelmezhetővé váltak. Ilyen váratlan és első látásra meglepő mérési eredmény például, hogy a klórionok koncentrációjának növelése elősegíti az oxidációt – de köztudott, hogy a kloridion nem tud oxidálni. Viszont észrevéve, hogy a koncentrációjának növelése elősegíti például a szabad Cl_2 vagy BrCl képződését, rájöhettünk, hogy a folyamatokban ezek a tényleges oxidálószer, tehát ezeket a származékokat be kell építeni a kinetikai modellbe.

Befejezés – összefoglalás

A klórral történő vízkezelés mintegy 130 éves múltra tekint vissza. Ez alatt az időszak alatt rengeteg tanulmány született, ami a klórozási reakciók gyakorlatát és elméletét tárgyalja. Az alapvető törvényszerűségeket már viszonylag régen felismerték, de mind a mai napig számos, jelentőséggel bíró kérdés tisztázatlan. A kísérleti és elméleti módszerek fejlődésével egyre részletesebb képet kapunk a lejátszódó reakciókról, ami lehetőséget teremt a jelenségek eddiginél pontosabb értelmezésére, összetett hatások és szinergiák elemzésére. Fontos szempont, hogy az antropogén környezeti hatások egyre nagyobb volumenűek és egyre összetettebbek. Ez egyben azt is jelenti, hogy számos új, potenciálisan környezetszennyező vegyület megjelenésével kell számolnunk, mely vegyületek sokszínű reakciókban vehetnek részt a vízkezelési eljárásokban, és hozzájárulhatnak új típusú toxikus termékek megjelenéséhez. Mindez szükségesé teszi a vízkezelési eljárások során szerzett tapasztalatok rendszeres elemzését és az elemzések alapján a folyamatok értelmezésére alkotott kémiai modellek folyamatos finomítását, az ellentmondások új kutatási eredményekre alapozott tisztázását.

Irodalom

- [1] 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről.
- [2] Sousa, J. C. G.; Ribeiro, A. R.; Barbosa, M. O.; Pereira, M. F. R.; Silva, A. M. T. A. Review on Environmental Monitoring of Water Organic Pollutants Identified

- by EU Guidelines. *J. Haz. Mater.* 2018, 344, 146-162. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.09.058>
- [3] Lásd például: National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2006-01-04/pdf/06-3.pdf> (Itt különösen releváns az indoklás rész.)
- [4] Fehér, P. P.; Purgel, M.; Lengyel, A.; Stirling, A.; Fábíán, I. The Mechanism of Monochloramine Disproportionation under Acidic Conditions. *Dalton Trans.* 2019, 48, 16713-16721. <https://doi.org/10.1039/c9dt03789f>
- [5] Evlampidou, I.; Font-Ribera, L.; Rojas-Rueda, D.; Gracia-Lavedan, E.; Costet, N.; Pearce, N.; Vineis, P.; Jaakkola, J. J. K.; Dellroy, F.; Makris, K. C.; et al. Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union. *Environ. Health Pers.* 2020, 128, 17001. <https://doi.org/10.1289/ehp4495>
- [6] Li, X.-F.; Mitch, W. A. Drinking Water Disinfection Byproducts (DBPs) and Human Health Effects: Multidisciplinary Challenges and Opportunities. *Env. Sci. Techn.* 2018, 52, 1681-1689. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05440>
- [7] Shah, A. D.; Mitch, W. A. Halonitroalkanes, Halonitriles, Haloamides, and N-Nitrosamines: A Critical Review of Nitrogenous Disinfection Byproduct Formation Pathways. *Env. Sci. Techn.* 2011, 46 (1), 119-131. <https://doi.org/10.1021/es203312s>
- [8] Plewa, M. J.; Wagner, E. D.; Richardson, S. D. TIC-Tox: A Preliminary Discussion on Identifying the Forcing Agents of DBP-Mediated Toxicity of Disinfected Water. *J. Env. Sci.* 2017, 58, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.04.014>
- [9] Dong, H.; Qiang, Z.; Richardson, S. D. Formation of Iodinated Disinfection Byproducts (I-DBPs) in Drinking Water: Emerging Concerns and Current Issues. *Acc. Chem. Res.* 2019, 52 (4), 896-905. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00641>
- [10] Prasse, C.; von Gunten, U.; Sedlak, D. L. Chlorination of Phenols Revisited: Unexpected Formation of α, β -Unsaturated C₄-Dicarbonyl Ring Cleavage Products. *Env. Sci. Techn.* 2020, 54, 826-834. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04926>
- [11] Richardson, S. D.; Kimura, S. Y. Water Analysis: Emerging Contaminants and Current Issues. *Anal. Chem.* 2019, 92, 473-505. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b05269>
- [12] Kimura, S. Y.; Cuthbertson, A. A.; Byer, J. D.; Richardson, S. D. The DBP Exposome: Development of a New Method to Simultaneously Quantify Priority Disinfection by-Products and Comprehensively Identify Unknowns. *Water Res.* 2019, 148, 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.057>
- [13] Planas, C.; Palacios, Ó.; Ventura, F.; Boleda, M. R.; Martín, J.; Caixach, J. Simultaneous Analysis of 11 Haloacetic Acids by Direct Injection-Liquid Chromatography-Electrospray Ionization-Triple Quadrupole Tandem Mass Spectrometry and High Resolution Mass Spectrometry: Occurrence and Evolution in Chlorine-Treated Water. *Anal. Bioanal. Chem.* 2019, 411, 3905-3917. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01864-5>
- [14] Rose, M. R.; Lau, S. S.; Prasse, C.; Sivey, J. D. Exotic Electrophiles in Chlorinated and Chloraminated Water: When Conventional Kinetic Models and Reaction Pathways Fall Short. *Env. Sci. Tech. Lett.* 2020, 7 (6), 360-370. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00259>

A TERMÉSZETES ÉS A FELÜLETKEZELT ZEOLITOK ALKALMAZÁSA AZ ELEVENISZAPOS SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN



KIVONAT Az eleveniszapos medencébe adagolt por-formájú (10 – 100 μm) természetes (natúr) zeoliton a baktériumok immobilizálódnak, és a rendszerben a zeolit részecskék biofilmként viselkednek. A baktériumok immobilizációját a baktériumok által termelt biopolimer (ECP) molekulák teszik lehetővé. A baktériumoknak a zeolit részecskékhez történő kötődését a zeolit részecskék felületének áttöltésével lehet felgyorsítani. A zeolitot az ECP-kel azonos tulajdonságú kationaktív polimer (KAP) molekulákkal kezelve, stabil zeolit-KAP kötéseket lehet létrehozni. A zeolit-részecskék felületén a KAP molekulák felvitele után a baktériumok negatív töltéssel a kationaktív polimer szabad pozitív töltésein keresztül néhány perc alatt immobilizálódnak. A felületkezelt zeolit adagolása következtében a heterotróf (szénvegyületek lebontása, denitrifikálók) és az autotróf (nitrifikáló) baktériumok esetében növekszik a fajlagos szaporodási és ezzel arányosan a szubsztrát lebontási sebesség. A fenti folyamat eredménye képen a tisztított szennyvíz KOI értéke és ammónia, valamint szerves-N koncentrációja csökken, ami azt jelenti, hogy javul a szennyvíztisztító telepről elfolyó kezelt szennyvíz minősége.

KULCSSZAVAK porformájú zeolit-örlemény; biopolimer (ECP); kationaktív polimer (KAP); zeolit-KAP kötés; iszapüledés javulás; a lebontási sebesség növekedés; nitrifikáció növekedés; felületkezelt zeolit; baktériumok immobilizációja; pelyhek flokkulációja

PRINCZ DÁNIEL – DR. OLÁH JÓZSEF* – DR. PRINCZ PÉTER***

* Élő Bolygó Kft. olah39@t-online.hu – **BME Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, egyetemi hallgató

1. Bevezetés

A zeolitok alkáli- és/vagy alkáliföldfém-alumínium-hidroszilikátok, melyek tetraédes kristályos elrendezésű ásványok. A zeolitok általános képlete: $\text{Men} + 2/n[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2] \cdot y \text{H}_2\text{O}$, ahol Me: Na, K, Mg, Ca, x értéke: > 2 (a zeolit típusától függően), x jelentése: a zeolit rácsterületében az egy Al-atomra jutó egy Si-atomok száma, y értéke: 1–8 (a zeolit típusától

függően), y jelentése: az egy $[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2]$ egységre jutó H_2O -molekulák száma, n jelentése: az $[\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2]$ rács negatív töltéseinek száma. A kristályszerkezet nem tömör, hanem 0,3–1,0 nm méretű csatornák és üregek találhatóak benne. A zeolitok kationcserélő és adszorbens tulajdonságokkal rendelkeznek. A zeolit nagy fajlagos külső felülete (~ 450 m^2/g) fontos szerepet játszik az adszorpciós tulajdonságok kialakulásában