

Klórozási melléktermékek vizsgálata ivóvízellátó rendszerekben

Stefán Dávid^{a,b}, Erdélyi Norbert^a, Izsák Bálint^{a,b}, Lőrincz Anna^a, Budafoki Dóra^a, Dr. Vargha Márta^a, Dr. Záray Gyula^a

a.: Vízhigiénés Osztály, Környezet- és Településegészségügyi Főosztály, Országos Közegészségügyi Intézet; 1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6., Magyarország

b.: Analitikai Kémiai Tanszék, Kémiai Intézet, Eötvös Loránd Tudományegyetem; 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/A, Magyarország

1. Bevezetés

A klórozás az egyik leggyakrabban alkalmazott vízkezelési eljárás Magyarországon. Szerepe kettős, egyrészt fertőtlenítőszerként alkalmazzák, hogy a hálózaton a mikroorganizmusok keletkezését és szaporodását megelőzzék, másrészt a törésponti ammóniamentesítésben alkalmazzák oxidálószerként. Mindkét célra léteznek többféle klórmentes technológiai is. Fertőtlenítőszerként lehet alkalmazni ózont, hidrogén-peroxidot vagy UV-fényt, míg a törésponti ammóniamentesítést biológiai ammóniamentesítéssel is ki lehetne váltani, azonban összességében elmondható, hogy a klórbázisú technológiák mindkét esetben jóval elterjedtebbek ma Magyarországon. Fertőtlenítőszerként számos klórtartalmú komponenst használnak világszerte, melyek közül a legáltalánosabban elterjedt a NaOCl-oldat és a klórgáz, azonban szoktak alkalmazni klór-dioxidot, klór-amint és egyéb magasabb oxidációs állapotú klórt tartalmazó vegyületet is. Ezzel szemben törésponti klórozásnál már nem alkalmazható ilyen sokféle klórbázisú reagens, szinte kizárólag NaOCl-oldatot vagy klórgázt alkalmaznak. Mindemellett a törésponti klórozás világszinten jóval kevésbé elterjedt technológiai lépés az ivóvízkezelésben, ami geológiai okokra vezethető vissza. A magyarországi rétegvizek az ország földrajzi sajátosságai miatt igen gyakran tartalmaznak magas koncentrációban ammónium-iont, ami világviszonylatban nem gyakori probléma, így a nemzetközi irodalomban is kevesebb publikáció született erről a témáról.

A klórozásos technológiák jelentős hátránya, hogy a vízhez adagolt klórformák a vízben oldott szerves anyaggal reakcióba lépnek, és ún. klórozási melléktermékek képződnek. Az irodalomban már több száz melléktermeket azonosítottak, melyek közül a legnagyobb koncentrációban jelen lévők a trihalometánok (THM), haloecetsavak (HAA), haloacetonitrilek (HAN), halonitrometánok (HNM) és klór-aminok. Ezek közül szinte az összes komponensnek van bizonyított vagy feltehető egészségkárosító hatása.^{1,2} Ezen egészséghatásokat és a magyarországi valamint amerikai határértékeket illetve a WHO-s ajánlásokat tartalmazza az 1. táblázat. Jól látható, hogy Magyarországon kevesebb paraméter van szabályozva, mint Amerikában, azonban azok szigorúbb határértékkel. A WHO-s ajánlások ellenben sokszor megengedőbbek, ennek oka, hogy azokat az egész világra fogalmazzák és ezért – a fejlődő országok lehetőségeinek figyelembevételével – magasabb elfogadható kockázattal számolnak ezekben az ajánlásokban.

Paraméterek	Egészség hatás	Határértékek illetve ajánlások		
		201/2001 Korm. rend. ³	US EPA ⁴	WHO ⁵
Kötött klór (klór-aminok)	bűdös, allergén, asztma, szem- és orr-irritáció	3 mg/L	4 mg/L	NH ₂ Cl: 3 mg/L
Szabad klór	szem- és orr-irritáció	-	4 mg/L	5 mg/L
THM	máj- és veseproblémák, rákkeltő (IARC: 2B)	50 µg/L	80 µg/L	CHCl ₃ : 300 µg/L CHCl ₂ Br: 60 µg/L CHClBr ₂ : 100 µg/L CHBr ₃ : 100 µg/L
HAA	rákkeltő (IARC: 2B)	-	60 µg/L (HAA ₅)	MCAA: 20 µg/L DCAA: 50 µg/L TCAA: 200 µg/L
HAN	rákkeltő (IARC: 2B)	-	-	DCAN: 20 µg/L DBAN: 70 µg/L
Klorit	vérszegénység, központi idegrendszer rendellenességek	0,2 mg/L	1 mg/L	0,7 mg/L

1. táblázat: Fertőtlenítési melléktermékek egészség hatásai illetve magyarországi és amerikai határértékek és WHO ajánlott értékei

megj.: **HAA₅**: 5 szabályozott haloecetsav: monoklórecetsav (MCAA), monobrom-ecetsav (MBAA), diklórecetsav (DCAA), dibrom-ecetsav (DBAA), triklórecetsav (TCAA)

DCAN: diklór-acetonitril; **DBAN**: dibrom-acetonitril

2. Célkitűzés

A kutatás célja a legjellemzőbb melléktermékek (trihalometánok, haloecetsavak, haloacetonitrilek) képződésének vizsgálata több magyarországi ivóvízellátó rendszerben, ahol törésponti klórozást alkalmaznak. A törésponti ammóniamentesítésnél az alkalmazott klórdózisok jelentősen nagyobbak lehetnek, mintha csak fertőtlenítési céllal adagolnak valamilyen klórformát, így a melléktermékek képződése is hangsúlyosabb lehet. A melléktermékek képződését a következők függvényében vizsgáltuk: (i) nyersvíz-összetétel; (ii) alkalmazott technológia; (iii) alkalmazott fertőtlenítőszer minősége, mennyisége. Ezek mellett célunk volt a melléktermékek koncentrációjának nyomon követése a technológián és hálózaton, hogy információt nyerjünk ezek képződési és esetleges bomlási helyéről. A mérések eredményeképpen ajánlásokat szeretnénk megfogalmazni, melyek alapján a vízkezelés biztonságosabban és hatékonyabban végezhető.

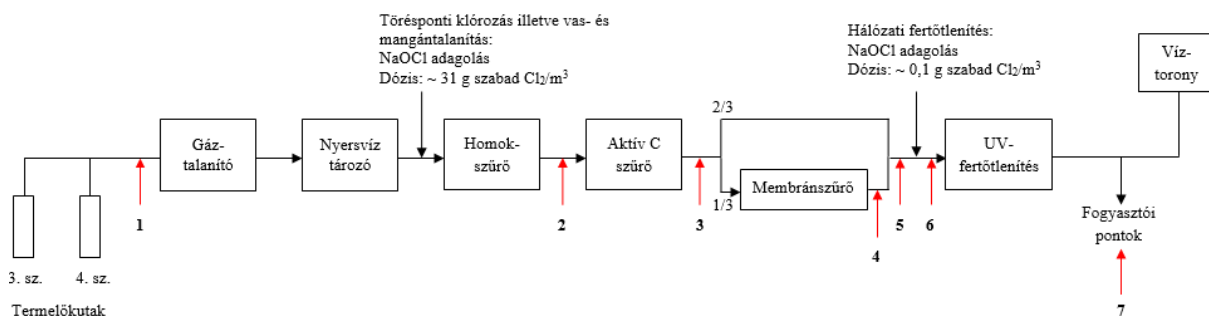
3. Mintavétel és vizsgálatok

3.1. Mintavételi pontok

A kutatás eddigi szakaszában 5 mintavételi helyszínt, 5 ivóvízellátó rendszert vizsgáltunk, melyeket a későbbiekben „A-B-C-D-E”-vel jelölök. A helyszínek kiválasztásakor figyelembe

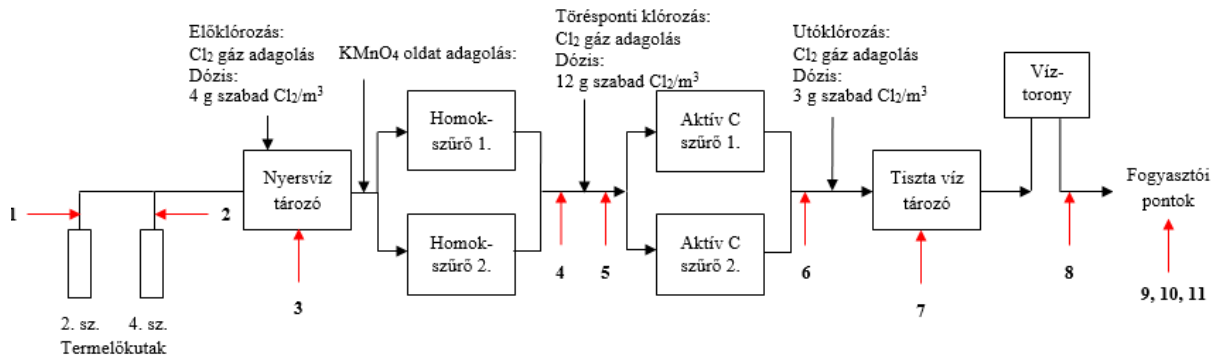
vettük a nyersvíz minőségét, az alkalmazott technológiai eljárásokat illetve a vízkezeléshez használt vegyszereket. Az öt ivóvízellátó rendszerben közös, hogy a nyersvízben az ammónium-ion koncentrációja parametrikus érték (0,5 mg/l) feletti, melyet minden esetben törésponti klórozással távolítanak el. Minden vizsgált rendszernél a felhasznált nyersvíz típusa rétegvíz. Az összes mintavételi helyszínen a nyersvíz és hálózatra kimenő víz mellett, technológiai lépésenként is vettünk mintát, hogy követhessük a melléktermékek koncentráció-változását a vízkezelési technológia folyamán. A továbbiakban részletesebben bemutatom a vizsgált ivóvízellátó rendszereket.

Az „A” ivóvízellátó rendszer egy kisebb, körülbelül 1000 fős település vízellátásáért felel. Az átlagos vízfogyasztás körülbelül 200-250 m³/nap. Az ivóvízellátó rendszer sematikus felépítését és az alkalmazott technológiai eljárásokat az 1. ábrán található egyszerűsített folyamatábra tartalmazza. A két termelőkút váltott műszakban, napi váltással üzemel. A két kút ugyanazon vízbázisból termel, az általuk kitermelt víz kémiai összetétele csak kis mértékben tér el egymástól. Az előzetes adatok alapján a nyersvíz minősége több paramétert tekintve is kifogásolt, illetve nem elfogadható. Határérték feletti az arzén-koncentráció, illetve a parametrikus értéket jelentősen meghaladja az ammónium-koncentráció. Ezekon kívül kis mértékben ugyan, de szintén túllépi a nyersvízben a parametrikus értéket a nátrium- és a vas-koncentráció. A vízkezelés során a vas- és mangántalanítás, a törésponti klórozás és a hálózati fertőtlenítés is NaOCl oldat adagolásával történt. Az alkalmazott dóziseket az 1. ábrán tüntettem fel. A mintavételi pontokat piros nyíllal jeleztem és számoztam, melyeket a releváns technológiai lépéseket figyelembe véve jelöltünk ki. (1. ábra)



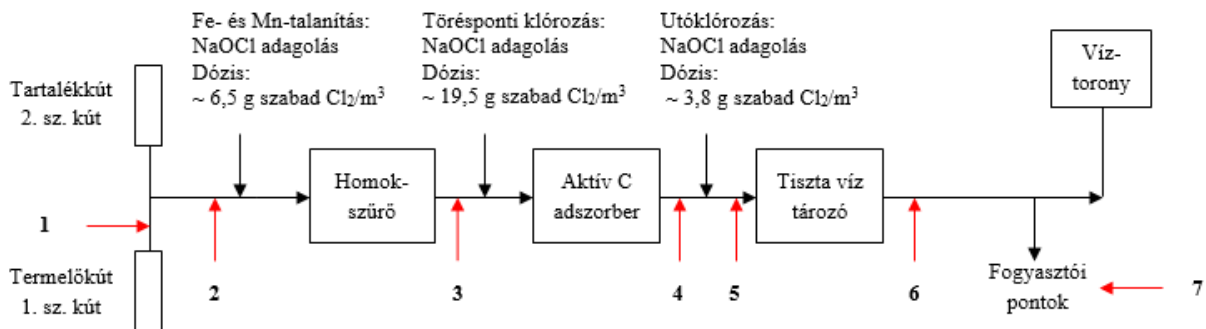
1. ábra: "A" ivóvízellátó rendszer egyszerűsített folyamatábrája a mintavételi pontokkal

A „B” ivóvízellátó rendszer jóval nagyobb kapacitású, mint az előző. Az ellátott települések maximális összes vízfelhasználása 1900 m³/nap és az ellátott személyek száma is meghaladja az 5000 főt. Az ivóvízellátó rendszer egyszerűsített folyamatábrája és a pirossal jelölt mintavételi pontok a 2. ábrán láthatóak. A két termelőkút váltott műszakban, napi váltással üzemel. A két kút ebben az esetben is ugyanazon vízbázisból termel, az általuk kitermelt víz kémiai összetétele csak kis mértékben tér el egymástól. Az előzetes adatok alapján a nyersvízben parametrikus értéket jelentősen meghaladja a vas- és mangán-koncentráció, míg kismértékű parametrikus érték túllépés tapasztalható az ammónium-koncentráció esetében. A vízkezelés során a vas- és mangántalanítás KMnO₄ oldattal, míg az elő-, utó- és törésponti klórozás klórgáz adagolásával történik. Az alkalmazott dózisek a 2. ábrán láthatóak.



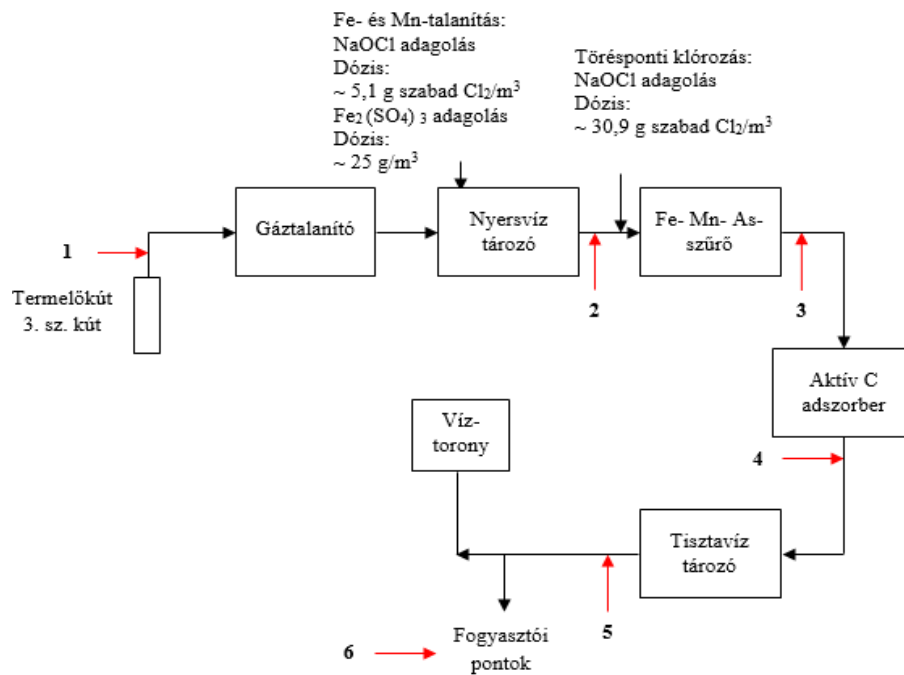
2. ábra: "B" ivóvízellátó rendszer egyszerűsített folyamatábrája a mintavételi pontokkal

Csupán 300 fő ellátásáról gondoskodik a „C” ivóvízellátó rendszer, ahol a napi átlagos vízfogyasztás 25-35 m³ között mozog. A helyi technológiához két kút tartozik, az egyik termelőkút, míg a másik tartalékkút, csak meghibásodáskor vagy csúcsidőszakban kerül beüzemelésre. A mintavétel időpontjában és az azt megelőző hetekben csak a termelőkút üzemelt, így csak ezen kút vizéből történt mintavétel, mivel az eredmények szempontjából csak ez releváns. A nyersvízben problémát jelent a parametrikus értéket túllépő vas-, mangán- és ammónia-koncentráció, ennek megfelelően az vízkezelési technológia során vas- és mangántalanítás és törésponti klórozás történik, mindkettő NaOCl-oldattal, majd az utóklórozáshoz is ugyanezt az oldatot használják. (3. ábra)



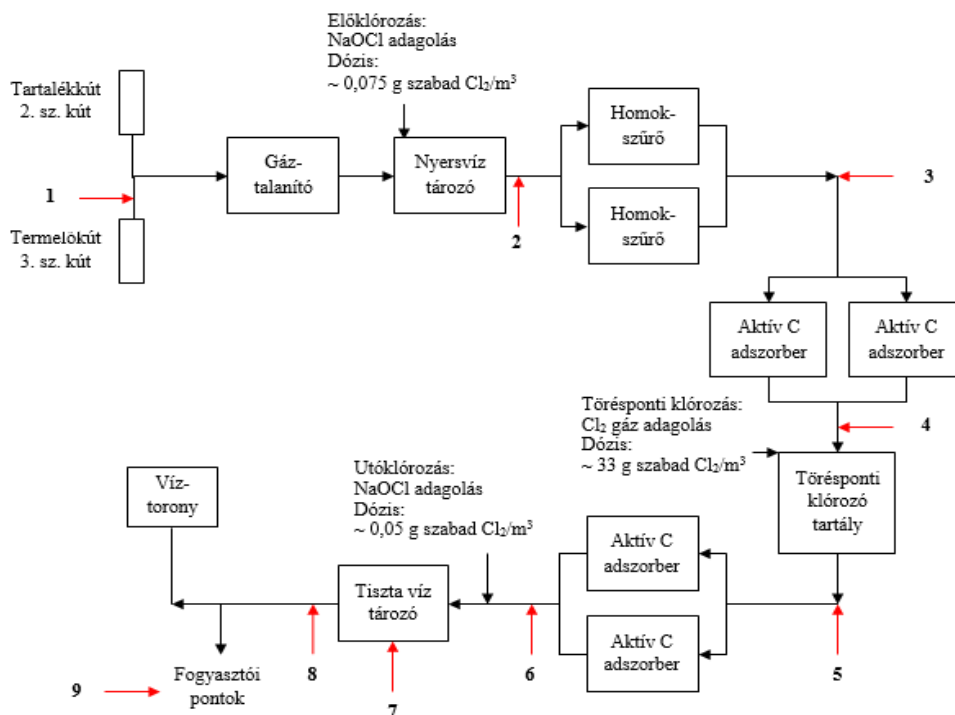
3. ábra: "C" ivóvízellátó rendszer egyszerűsített folyamatábrája a mintavételi pontokkal

Átlagosan 250-350 m³/nap vízfogyasztással üzemelő „D” ivóvízellátó rendszer egy körülbelül 1500 fős települést lát el ivóvízzel. A vízkezelő technológiára egy kút termel nyersvizet. A kitermelt vízben jelentős a metán-koncentráció, ezért az első technológiai lépés egy gázmentesítés. Emellett a nyersvízben határérték feletti az arzén-koncentráció illetve parametrikus értéket meghaladja az ammónium-, vas- és mangán-koncentráció. Az arzén-eltávolításhoz vas(III)-szulfátot adagolnak a rendszerhez, míg NaOCl-oldatot használnak mind a törésponti klórozáshoz, mind pedig a vas-, mangán-, arzén-mentesítéshez, mint oxidálószer. Hálózati fertőtlenítés céljából további NaOCl-oldatot már nem adagolnak a vízhez. A folyamatábra a mintavételi pontokkal a 4. ábrán található.



4. ábra: "D" ivóvízellátó rendszer egyszerűsített folyamatábrája a mintavételi pontokkal

Az „E” ivóvízellátó rendszer egy körülbelül 2500 fős települést lát el átlagosan napi 450 m³ vízzel. A technológiára egy kút termel, azonban nagyobb vízfogyasztás esetén a tartalékkutat is beüzemelik. A termelőkut vizében magas a metán-koncentráció, illetve kifogásolt még az ammónium-koncentráció. A nyersvíz hőmérséklete a többi vizsgált helyszínnel ellentétben igen magas, 50°C körüli, míg máshol 10 és 20°C között változott. Emellett a nyersvíz szerves anyag tartalma is viszonylag magas, amit egy aktív C adszorber hivatott csökkenteni a törésponti klórozás előtt. A víztisztítás során az elő- és utó-klórozás NaOCl-oldattal történik, míg a törésponti ammóniamentesítéshez klórgázt használnak. A technológiai folyamatábra az alkalmazott dózisokkal és a mintavételi pontok az 5. ábrán találhatóak



5. ábra: "E" ivóvízellátó rendszer egyszerűsített folyamatábrája a mintavételi pontokkal

3.2. Vizsgált paraméterek

Minden mintavételi ponton mikrobiológiai és kémiai paramétereket is vizsgáltunk. A vizsgált paramétereket a 2. táblázatban foglaltam össze. Ezek között vannak rutinszerűen mért kémia és mikrobiológiai paraméterek, valamint a legjellemzőbb szerves és szervetlen klórozási melléktermékek.

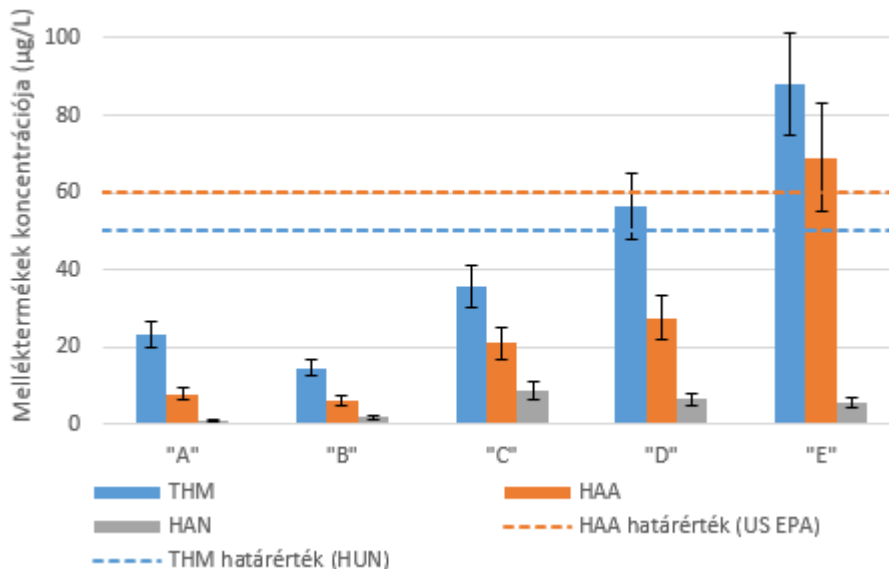
Paraméterek csoportosítása	Vizsgált paraméterek
Helyszíni	hőmérséklet, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, szabad aktív klór, kötött aktív klór
Mikrobiológia	heterotróf összcsíraszám 37°C-on, heterotróf összcsíraszám 22 °C-on, coliform baktériumok, E. coli, Pseudomonas aeruginosa, Fekális Enterococcus
Rutin kémia	KOI, ammónium, nitrit, nitrát, klorid, szulfát, fajlagos elektromos vezetőképesség, pH, lúgosság, zavarosság, összes keménység, TOC
Anionok	fluorid, klorid, bromid, nitrit, nitrát, szulfát, foszfát, jodid, klorit, klorát, bromát
Szerves melléktermékek	<ul style="list-style-type: none"> - Trihalometánok: kloroform ($CHCl_3$), bróm-diklór-metán ($CHCl_2Br$), dibrom-klór-metán ($CHClBr_2$), bromoform ($CHBr_3$) - Haloecetsavak: monoklór-ecetsav (MCAA), monobrom-ecetsav (MBAA), diklór-ecetsav (DCAA), triklór-ecetsav (TCAA), bróm-klór-ecetsav (BCAA), dibrom-ecetsav (DBAA), bróm-diklór-ecetsav (BDCAA), dibrom-klór-ecetsav (DBCAA), tribrom-ecetsav (TBAA) - Haloacetonitrilek: triklór-acetonitril (TCAN), diklór-acetonitril (DCAN), bróm-klór-acetonitril (BCAN), dibrom-acetonitril (DBAN) - AOX

2. táblázat: Vizsgált paraméterek

megj.: a trihalometánok esetében zárójelben a komponensek képletét tüntettem fel, míg a haloecetsavaknál és haloacetonitrileknél a nemzetközi irodalomban elfogadott rövidítéseket

4. Eredmények és értékelésük

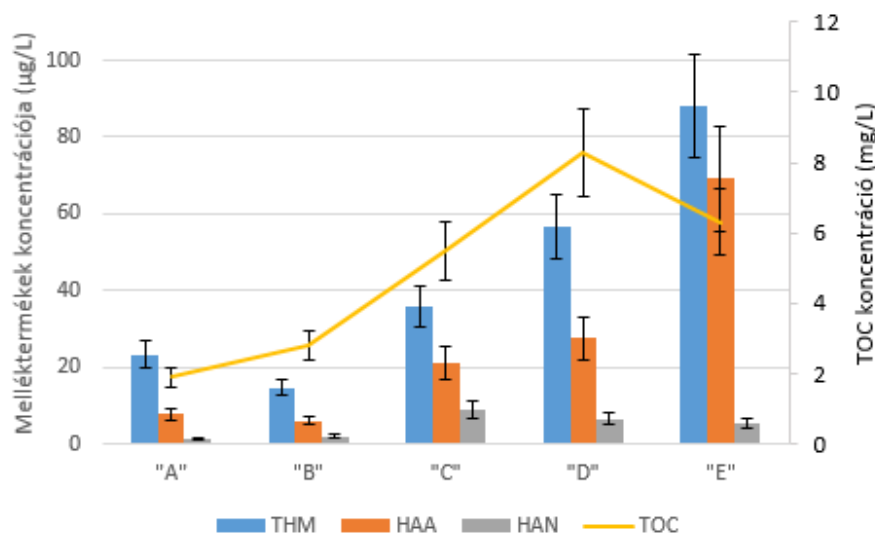
A vizsgált ivóvízellátó rendszerek hálózatra kimenő mintáiban széles tartományban mozgott a klórozási melléktermékek koncentrációja. 5-ből 2 esetben nem volt elfogadható a szolgáltatott víz minősége magas THM-koncentráció miatt. Ez az arány a vizsgált fogyasztói pontokon még tovább nőtt és 3 esetben volt tapasztalható határérték feletti koncentráció. A haloecetsavakra magyarországi és EU-s határérték nincsen, így ezeket az eredményeket csak az amerikai határérték alapján értékelhetők. Ezen paraméter esetében 1 helyszínen volt US EPA határérték-túllépést. A mérési eredmények alapján elmondható, hogy vizsgált melléktermék-családok közül egyértelműen a trihalometánok keletkeznek a legnagyobb koncentrációban, majd ezt követik a haloecetsavak és végül a haloacetonitrilek. Ez a sorrend az irodalmi adatokkal is egybevág.^{2,6,7} (6. ábra)



6. ábra: A vizsgált ivóvízellátó rendszerek kimenő vízében mért melléktermék-koncentrációk és ezek határértékei

Ha a keletkezett melléktermékek koncentrációját vizsgáljuk a technológia folyamán adagolt összes klórbázisú reagens mennyiségének és minőségének a függvényében, akkor egyértelmű kapcsolat egyik esetben sem látszik. Az eddig vizsgált mintavételi helyszín alapján jelentős különbséget a NaOCl-oldatot vagy klórgázt alkalmazó ivóvízellátó rendszerek között nem tapasztaltunk. Emellett az alkalmazott összes dózis és a keletkezett melléktermékek között sincs egyértelmű kapcsolat. Ennek oka az lehet, hogy több esetben nem csak a fertőtlenítést vagy törésponti klórozást végzik klórbázisú oxidálószerekkel, hanem például a vas- és mangán-mentesítést is. Az eredményekből az látszódik, hogy ezekben az esetekben az adagolt szabad klór először a vassal és mangánnal reagál, és csak jóval kevésbé hangsúlyos mellékreakció a szabad klór szerves anyaggal történő reakciója. Ezek miatt az összes adagolt vegyszer-dózis kevésbé informatív paraméter.

Vizsgáltuk a vízkezelés során keletkezett melléktermékek a vízmű kimenő vízében mért koncentrációja és a nyersvíz egyes paramétereinek kapcsolatát is Pearson-féle korrelációs koefficienseket számítással. Egyértelmű pozitív korrelációt tapasztaltunk a TOC és az összes melléktermék-család koncentrációja között (TOC-HAN: $r=0,78$; TOC-HAA: $r=0,60$; TOC-THM: $r=0,73$). A legerősebb összefüggés a TOC-AOX viszonyában adódott ($r=0,83$). Ilyen szempontból vizsgálva az 5 vízművet az „E” mintavételi helyszín egy kicsit kilógott a sorból. A 7. ábrán látható, hogy a közepes TOC-koncentráció mellett egyértelműen itt volt a legmagasabb a melléktermék-koncentráció. Ennek oka a nyersvíz többihez viszonyított kiugróan magas hőmérséklete lehet, bár erre egy mintából pontos következtetéseket nem lehet levonni.

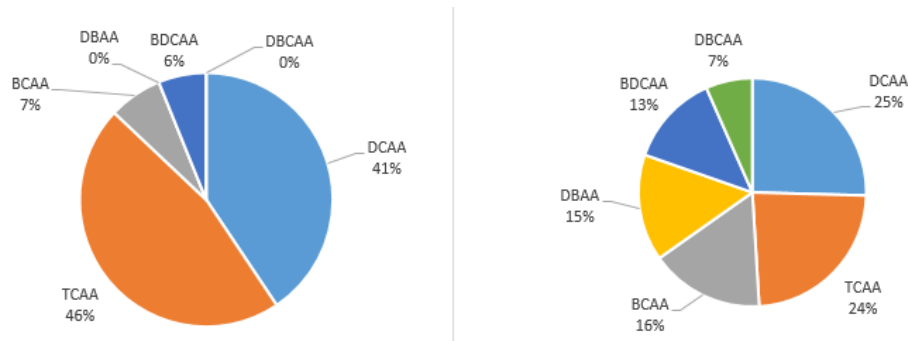


7. ábra: A vízművek kimenő vízében mért TOC és melléktermék-koncentráció

Külön figyelmet fordítottunk a haloacetonitrilekre, ugyanis az irodalomban található egyes eredmények alapján a mért melléktermékek közül ezeknek a legnagyobb a genotoxicitása.^{8,9} Vizsgáltam a nyersvíz ammónium-ion koncentrációja és a keletkezett haloacetonitrilek koncentrációja közötti korrelációt, azonban semmilyen kapcsolatot nem találtam ($r=-0,13$). Ezek alapján elmondható, hogy a magas ammónium-koncentráció miatt növekedett haloacetonitril-képződésre nem kell számítani, nem az ammónium-ion a prekursora ezen melléktermékeknek, hanem inkább a szerves nitrogéntartalmú komponensek.

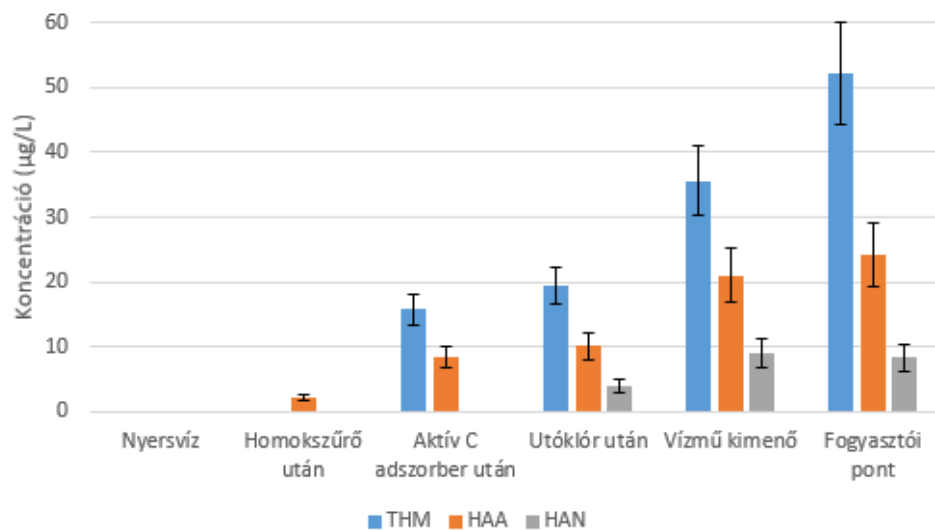
A 8. ábrán a haloecetsavak eloszlását lehet látni a vízművek kimenő vízében. A bal oldalon a „D” ivóvízellátó rendszer eredményei láthatóak, ahol a nyersvíz bromid-ion koncentrációja 0,12 mg/L. Jól látható, hogy a haloecetsavak majdnem 90%-át a klórozott melléktermékek, a diklór-ecetsav és a triklór-ecetsav teszi ki, ami megegyezik az irodalomban található eredményekkel.^{2,10,11} A vizsgált mintavételi helyszínek közül a legtöbbször a nyersvíz bromid-ion koncentrációja 0,1 mg/L körüli vagy alatti. Ezekben a vízművekben a korábbival egybehangzó eredményeket tapasztaltam. Ezzel szemben a „C” ivóvízellátó rendszer esetében a nyersvíz már nagyobb koncentrációban tartalmazott bromid-iont ($c_{\text{bromid-ion}}=0,24$ mg/L), ennek megfelelően a brómozott melléktermékek jóval hangsúlyosabbak voltak. A dibrom-ecetsav, a bróm-klór-ecetsav, a bróm-diklór-ecetsav és a dibrom-klór-ecetsav az összes haloecetsav-koncentráció több mint 50%-át tették ki. Ez a 8. ábra jobb oldalán látható. Az

irodalom egybehangzó eredményei alapján a brómozott melléktermékek toxikusabbak, mint klórozott társai, ezért ezekben az esetekben különös figyelmet kell fordítani a melléktermékek képződésére.^{12,13} A trihalometánok és haloacetonitrilek esetében is a haloecetsavakhoz hasonló eloszlás volt megfigyelhető.



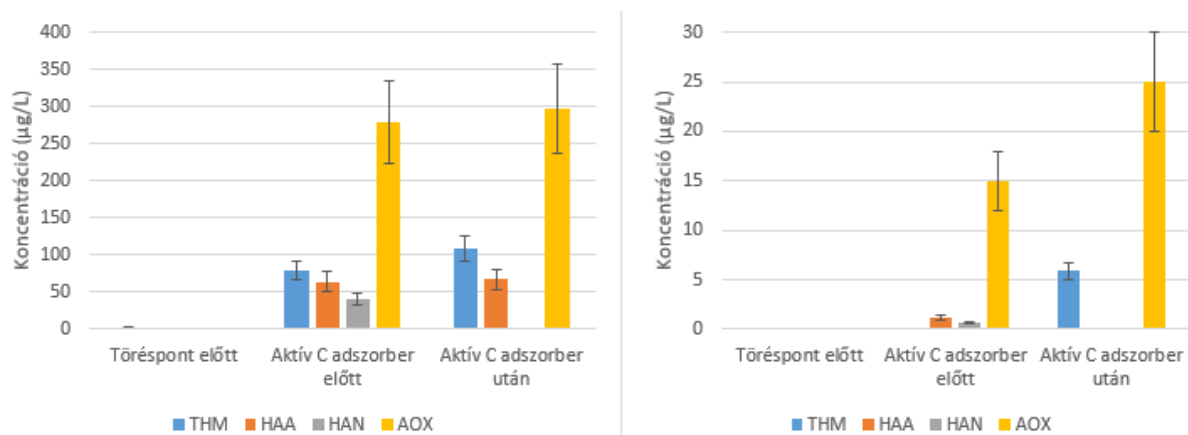
8. ábra: A haloecetsavak eloszlása a vízművek kimenő vizében a kisebb (bal oldal; $c=0,12$ mg/L) és a nagyobb (jobb oldal; $c=0,24$ mg/L) bromid-ion koncentrációjú nyersvízzel rendelkező vízművek esetében

A melléktermékek képződési helyét kerestük az alkalmazott technológiák monitorozásakor. A 9. ábrán a „C” ivóvízellátó rendszer mintavételi pontjain mért melléktermék-koncentrációk láthatóak. Az eredmények azt mutatják, hogy a vas- és mangán-mentesítés során csupán minimális klórozási melléktermék képződik. Ahogyan a korábbiakban is említettem, ebben a helyzetben a szerves anyag és szabad klór reakciója nem hangsúlyos, ugyanis a rendszerben ebben a pillanatban még vas, mangán és ammónium-ion is jelen van, melyekkel a szabad klór reakcióba léphet. Az eredmények alapján elmondható, hogy a szabad klór először a vasat és a mangánt oxidálja, majd csak ezután lép reakcióba az ammóniummal és az oldott szerves anyaggal. A törésponti klórozás után már nagyobb koncentrációban vannak jelen a trihalometánok és haloecetsavak, azonban a legjelentősebb melléktermék-képződés az ezek utáni technológiai lépések között és a hálózaton tapasztalható. Ezen pontokon már jelen van a vízben szabad klór, azonban az oxidálható reakciópartnerek közül a vas, mangán és ammónium-ion már nem mérhető, így a vízben oldott szerves anyaggal fog reakcióba lépni, ami a melléktermékek koncentráció-növekedéséhez vezet.



9. ábra: A "C" mintavételi helyszínen a melléktermékek koncentrációja a technológiai monitoring mintákban

A „B” és „E” ivóvízellátó rendszernél lehetőség nyílt a törésponti klórozásnál a klóradagolás után, de az aktív C adszorber előtt mintát venni, így vizsgálni tudtuk az adszorberek hatékonyságát. A mérési eredményeinket a 10. ábrán tüntettem fel, bal oldalon az „E” míg jobb oldalon a „B” helyszínt. Ezek azt mutatják, hogy a legtöbb szerves melléktermék esetében minimális hatásfokkal működnek az adszorberek, mi több, még inkább koncentrációnövekedés tapasztalható. Emellett az „E” mintavételi helyen a törésponti klórozás előtt is alkalmaznak aktív C adszorbert, hogy csökkentsék a nyersvíz szerves anyag tartalmát. Itt azt tapasztaltuk, hogy ezek a töltetek sem végzik el a feladataikat, ugyanis sem a KOI sem pedig a TOC érték nem változik szignifikánsan az adszorberen történő áthaladás következtében. A kis hatásfoknak több oka is lehet, mint például a kis kontaktidő, nem megfelelő aktív C minőség és a ritka töltetregenerálás és töltetcsere.



10. ábra: Az "E" (bal oldal) és a "B" (jobb oldal) mintavételi helyszínen a törésponti klórozás egyes lépéseinél mért melléktermék-koncentrációk

5. Összefoglalás

A munkánkat összefoglalva elmondható, hogy a vizsgált mintavételi helyszínek közül több esetben problémás a melléktermék-képződés. Az ivóvíz-hálózatokban a legnagyobb koncentrációban a melléktermékek közül a trihalometánok vannak jelen, ezt követik a haloecetsavak majd pedig a haloacetonitrilek. A keletkezett szerves melléktermékek koncentrációját nagyban befolyásolja a nyersvíz TOC tartalma és hőmérséklete. Mindkettő esetben pozitív korreláció figyelhető meg. Ezeket a paramétereket még a kezelés előtt csökkentve limitálható lenne a keletkező káros egészséghatású szerves melléktermékek koncentrációja.

Általánosságban elmondható, hogy a klórozott melléktermékek mindhárom vegyületcsoport esetében a legjellemzőbbek, azonban a brómozott komponensek is megjelennek a legtöbb esetben. Ezeknek a megoszlását a nyersvíz bromid-ion koncentrációja befolyásolja, a nagyobb bromid-ion koncentráció nagyobb arányú brómozott melléktermékeket eredményez.

A melléktermékek alapvetően a törésponti klórozás során kezdenek el képződni a technológián, azonban a későbbi technológiai lépések során és a hálózaton további koncentrációnövekedés tapasztalható, ami sokszor jelentősebb, mint a törésponti képződés. Mindezek mellett a technológia során alkalmazott aktív C adszorberek limitált hatásfokát tapasztaltuk, ami növelhető lenne a töltet gyakoribb regenerálásával illetve cseréjével. A

korábbi eredményekkel együtt elmondható, hogy az általunk vizsgált esetekben a törésponti klórozás után elhelyezett aktív C adszorberék nem képesek jelentősen befolyásolni a képződött melléktermék-koncentrációt.

Hivatkozások:

- ¹ Richardson S. D.; *Trends in Analytical Chemistry*, **2003**, 22 (10), p.666-684
- ² Richardson S. D., Plewa M. J., Wagner E. D., Schoeny R., DeMarini D. M., *Mutation Research*, **2007**, 636, p.178-242
- ³ 201/2001. (X. 25.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
- ⁴ *2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*; US EPA **2018**
- ⁵ Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition; **2011**
- ⁶ Villanueva M. V., Kogevinas M., Grimalt J. O. *Water research*, **2003**, 37 (4), p.953-958
- ⁷ Krasner S.W., Weinberg H.S., Richardson S.D., Pastor S. J., Chinn R., Scilimenti M. J., Onstad G. D., Thruston A. D., *Environ. Technol.* **2006**, 40, p.7175-7185,
- ⁸ Ahmed A. E., Aronson J., Jacob S., *Toxicol. In Vitro* **2000**, 14, p.199-210,
- ⁹ Muellner M. G., Wagner E. D., McCalla K., Richardson S. D., Woo Y.-T., Plewa M. J., *Environ. Sci. Technol.*, **2007**, 41, p.645-651
- ¹⁰ Gibbons J., Laha S., *Environmental Pollution*, **1999**, 106, p.425-428
- ¹¹ Malliarou E., Collins C., Graham N., Nieuwenhuijsen M. J., *Water Research* **2005**, 39, p. 2722-2730
- ¹² Sharma V. K., Zboril R., McDonald T. J., *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, **2014**, 49, p.212-228
- ¹³ Hua G., Reckhow D. A., Kim J., *Environ. Sci. Technol.*, **2006**, 40 (9), p.3050-3056