

# ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE TRIHALOMETANA U VODI

**dr. sc. Dragana Dogančić**

Sveučilište u Zagrebu,  
Geotehnički fakultet,  
Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,  
ddogan@gfv.unizg.hr

**izv. prof. dr. sc. Anita Ptiček Siročić**

Sveučilište u Zagrebu,  
Geotehnički fakultet,  
Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,

**izv. prof. dr. sc. Nikola Sakač**

Sveučilište u Zagrebu,  
Geotehnički fakultet,  
Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,

**Tomislav Romić, mag. ing.**

Sveučilište u Zagrebu,  
Geotehnički fakultet,  
Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin,

**Irena Tomiek, dipl. ing.**

Zavod za javno zdravstvo  
Varaždinske županije,  
Ivana Meštrovića bb, 42000 Varaždin

Zdravstveno ispravna voda za ljudsku potrošnju mora biti kemijski i mikrobiološki ispravna te dobrih senzorskih svojstava. Dezinfekcija je najvažnija faza u pripremi vode za piće, a najčešće upotrebljavano dezinfekcijsko sredstvo je klor. Tijekom kloriranja klor može reagirati s prisutnim organskim tvarima stvarajući pritom čitav niz nusprodukata dezinfekcije među kojima su i trihalometani. Trihalometani su lako hlapljivi halogenirani ugljikovodici koji imaju negativno djelovanje na centralni živčani sustav, jetru i bubrege. Koncentracije triklorometana (kloroforma)  $\text{CHCl}_3$ , bromdiklorometana  $\text{CHBrCl}_2$ , dibromklorometana  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  i bromoforma  $\text{CHBr}_3$  te ukupnih trihalometana određena je u uzorcima vode s vodocrpilišta Bartolovec u Varaždinskoj županiji metodom plinske kromatografije za vremensko razdoblje od 2016. do 2019. godine. Rezultati analize pokazali su da u promatranom periodu koncentracije trihalometana nisu bile iznad dozvoljene vrijednosti od 100  $\mu\text{g/L}$  te da je voda zdravstveno ispravna i udovoljava svim važećim propisima.

**Ključne riječi:** trihalometani, dezinfekcija vode, vodocrpilište Bartolovec

## 1. UVOD

Generalna skupština Ujedinjenih naroda je 28. srpnja 2010. Rezolucijom 64/292, priznala ljudsko pravo na vodu i sanitarne uvjete te prepoznala da su čista pitka voda i sanitarni resursi neophodni za ostvarivanje svih ljudskih prava. Pod pojmom zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju podrazumijeva se voda dobrih senzorskih svojstava (bez boje, mutnoće i mirisa), kemijski ispravna voda (bez prisustva tvari u koncentracijama koje bi mogle štetno djelovati na ljudski organizam) te mikrobiološki ispravna voda (bez uzročnika bolesti koje se prenose vodom). Voda koja je zahvaćena iz prirodnih izvora ili zdenaca, tzv. sirova voda, sadrži otopljene ili suspendirane tvari iz okoline kroz koju prolazi i neophodno ju je prije distribucije potrošačima obraditi te dezinficirati kako bi se spriječilo prenošenje bolesti putem vode (NN 56/13, 64/15, 104/17, 115/18). Dezinfekcija vode postupak je uklanjanja, deaktivacije ili ubijanja patogena koji uzrokuju hidrične bolesti, odnosno smanjenje broja svih mikroorganizama do broja propisanog aktualnim kriterijima.

Danas se kao dezinfekcijska sredstva koriste klor, kloramini, klor dioksid i ozon, a jedan od najčešće upotrebljivanih sredstava je klor u obliku natrij i/ili kalcij hipoklorita, zbog relativno niske cijene i dobrog dezinfekcijskog djelovanja (Ellis, 1991.). Prva primjena klora za dezinfekciju vode bila je prilikom pokušaja suzbijanja epidemije tifusa 1886. godine u vojno-pomorskoj bazi u Puli. Godinu dana kasnije postupak je ponovljen za suzbijanje tifusa u Maidstoneu u Engleskoj (Schoenen, 2002.). Kod dezinfekcije vode određena količina dezinfekcijskog sredstva troši se na oksidaciju organske tvari prisutne u vodi, oksidaciju željeza i mangana (prisutni u nekim vodama) te na reakciju sa spojevima s dušikom (amonijak). U obzir treba uzeti da čak i voda istog porijekla, ali u različitim okolnostima (prije ili poslije oborina) ili različitim godišnjim dobima ne troši jednaku količinu klora. Ako se u vodi pojavi višak klora nakon obavljene dezinfekcije i uspostavljene ravnoteže, znači da je dezinfekcija uspješno obavljena.

Taj višak naziva se slobodni rezidualni klor (SRK) čija koncentracija u vodi za ljudsku potrošnju treba biti do 0,5 mg/l. Rezidualni klor osigurava kvalitetu vode kroz distribucijsku mrežu, odnosno, zaštitu potrošača zbog mogućih onečišćenja uzrokovanih starim i neadekvatnim cijevima te u slučaju naknadnog ulaska onečišćenja u sustav vodoopskrbe.

Tijekom procesa kloriranja klor može reagirati s prirodno prisutnim organskim tvarima (eng. natural organic matter, NOM) u vodi, pritom stvarajući niz nusprodukata dezinfekcije (eng. disinfection byproducts, DBP) npr. trihalometani, klorirani fenoli, haloketoni, haloocetena kiselina i haloacetonitrili (Šarkanj i dr., 2010.). Prirodne organske tvari su složena smjesa organskih spojeva različitog molekuskog sastava i veličine, a javljaju se u površinskim i podzemnim vodama kao posljedica prirodnih procesa u okolišu. Koncentracija organske tvari u vodi varira prostorno, ovisno o geofizičkim svojstvima sliva, a ovisi i o klimatskim uvjetima, kao što su oborine i temperatura (Cool i dr., 2015.). Koncentracija i tip nusprodukata dezinfekcije ovisi o nizu faktora, kao što su: vrsta i koncentracija prirodne organske tvari, koncentracija bromidnih iona u vodi, kemijski oblik i koncentracija klora, pH i temperatura vode. Iako je u znanstvenoj literaturi dosad evidentirano više od 600 nusprodukata, samo su za njih manje od stotinu provedena ispitivanja kvantitativne pojavnosti i utjecaja na zdravlje (Krasner i dr., 2006.).

Trihalometani su prisutni u prirodnoj vodi, otpadnoj vodi te u vodi za piće, bilo kao onečišćivači iz tvari koje se koriste u proizvodnim procesima ili kao nenamjerni rezultat procesa dezinfekcije. Njihova prisutnost u sirovoj vodi se ne očekuje, osim u blizini izvora onečišćenja, ali se očekuje u kloriranoj vodi. Četiri trihalometana čine 14 % ukupnih organskih halogena (eng. total organic halogens, TOX) u pitkim vodama, a to su triklorometan (kloroform)  $\text{CHCl}_3$ , bromdiklorometan  $\text{CHBrCl}_2$ , dibromklorometan  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  i bromoform  $\text{CHBr}_3$  (Krasner i dr., 2006.). Budući da se ova četiri spoja obično pojavljuju zajedno, praksa je da se ukupni THM-ovi promatraju kao skupina, pa su i neke zemlje postavile svoje smjernice na osnovi promatranja ukupne koncentracije THM-ova.

Na temelju brojnih istraživanja učinaka trihalometana na ljudsko zdravlje svrstani su u skupinu kancerogenih i mutagenih spojeva, a unos jelom i pićem, transdermalno ili udisanjem može dovesti do niza zdravstvenih problema (WHO; Lee i dr., 2004.; Min i dr., 2016.; Hang i dr., 2016.). Budući da klorirani i bromirani trihalometani imaju toksična te potencijalno kancerogena svojstva, zakonski su definirane maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) u vodi za piće i nužnost njihovog određivanja prilikom ocjene zdravstvene ispravnosti vode za piće. U Republici Hrvatskoj, kao i u nekim drugim državama članicama EU-a, definirana maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) za ukupne trihalometane iznosi 100  $\mu\text{g/L}$ , u skladu sa smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (SZO) (NN 47/2008). Cilj ovog rada je bio

odrediti koncentracije trihalometana prije i nakon postupka dezinfekcije klorom u vodama na vodocrpilištu Bartolovec u Varaždinskoj županiji.

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO

### 2.1. Opis lokacije

Vodocrpilište Bartolovec s radom je započelo 1972. godine, a uz crpilišta Vinokovšćak i Varaždin spada u glavna vodocrpilišta grada Varaždina. Smješteno je u blizini Varaždina, na dijelu varaždinskog vodonosnika kojega čine pleistocenske naslage te aluvijalni nanos Drave i pritoka tvoreći zajedno jedinstveni hidraulički vodonosni sloj. Sva varaždinska vodocrpilišta zahvaćaju i dio su mnogo većeg sustava dravskog vodonosnika. Vodonosnik je izdužen paralelno toku rijeke Drave, a dubina zalijeganja podine dravskog vodonosnika postupno se povećava od granice s Republikom Slovenijom nizvodno prema Zamlaci. Najmanja debljina vodonosnog sloja, manja od 5 m, zabilježena je kod Otoka Virje gdje kvartarne naslage prekrivaju utonulu antiklinalu (Urumović i dr., 1990.; Larva, 2008.).

Na lokaciji vodocrpilišta Bartolovec postoje 2 vodonosna sloja; gornji, sastavljen od praha, gline i pijeska i debljine 53 m te donji, izgrađen od pjeskovitih i glinovitih lapora debljine 46 m. Oba vodonosna sloja ujednačenog su granulometrijskog sastava, a mjestimična odstupanja vezana su za pojave proslojaka s većim udjelom sitnije frakcije. Donji vodonosni sloj ima nešto niže vrijednosti granulometrijskih parametara u odnosu na gornji. Slojeve međusobno razdvaja proslojak debljine oko 5 m čiji litološki sastav varira u rasponu glina - prašinasta glina - pjeskoviti prah. Veći udio sitnozrnate frakcije prisutan je istočnim dijelovima vodonosnika, između ostalog i na crpilištu Bartolovec, dok zapadnije raste udio krupnije frakcije. S obzirom da proslojak nije prisutan na cijelom području te da isklinjava u rubnim dijelovima vodonosnika, opravdana je pretpostavka da njegovo postojanje ipak ne sprječava u potpunosti hidrauličku vezu gornjeg i donjeg sloja na cijelom prostoru vodonosnika. Utjecaj ispiranja nesaturirane zone, koja je pod znatnim antropogenim utjecajem, na drugi vodonosni sloj je smanjen zahvaljujući prvom vodonosniku te glinovito-siltoznom proslojku između prvog i drugog vodonosnog sloja (Larva, 2008.; Brkić i dr., 2009.).

Vodocrpilište Bartolovec čini devet zdenaca, kapaciteta crpljenja vode od oko 600 l/s (slika 1). Zdenci B-1, B-2, B-5 i B-7 zahvaćaju prvi vodonosni sloj, dok zdenci B-3, B-4, B-6 i B-8 zahvaćaju drugi vodonosni sloj koji se nalazi na dubinama od oko 55 do 100 m (Posavec i Bačani, 2016.). Na području vodocrpilišta nalazi se i 10 piezometara koji služe za monitoring kvalitete podzemne vode. Piezometri koji zahvaćaju donji vodonosni sloj u nazivu nose oznaku D, a koji zahvaćaju gornji vodonosni sloj u nazivu nose oznaku G.



Slika 1: Vodocrpilište Bartolovec s označenim zonama zaštite, zdencima i piezometrima (Posavec i Bačani, 2016.)

## 2.2. Uzorkovanje i analiza uzoraka

Reprezentativni uzorci sirove vode uzeti su iz piezometara P3D, P4D, P5D te zdenca B-6, dok su uzorci vode za piće uzeti iz sabirne komore na izlazima Varaždin, Ludbreg, Novakovec, Tonimir te Doljan. Prilikom uzorkovanja na piezometrima potrebno ih je bilo prvo pročitati kako bi se iz njih uklonila stacionarna voda, a piezometri ponovo napunili svježom vodom iz vodonosnika. Prije uzimanja uzoraka uklonjeno je tri do pet volumena vode. Prilikom uzorkovanja na slavini, prije uzimanja uzorka, bilo je potrebno ispustiti dovoljnu količinu vode kako bi se uklonile nečistoće koje mogu dovesti do kontaminacije. Uzorci su spremljeni u tamne staklene boce od 100 mL, pri čemu je vrat svake boce dodatno zaštićen od kontaminacije aluminijskom folijom. Označeni uzorci su transportirani u laboratorij u transportnim hladnjacima te su zaštićeni od svjetlosti.

Određivanje trihalometana provedeno je metodom plinske kromatografije na instrumentu Trace 1300 sa Split/Splitless inletom te TriPlus RSH autosamplerom prema normi EN ISO 10301:1997 Kakvoća vode – Određivanje lakohlapljivih halogeniranih ugljikovodika – Metode plinske kromatografije.

Razdvajanje analita se odvijalo na koloni Rtx-502.2 (Fused silica, Crossbond® faza, difenil/dimetil polisiloksan faza) dimenzija 60 m x 0,25 mm, debljine filma 1,4 µm, koja je stabilna do 270 °C. Kao plin nosilac korišten je helij pod tlakom od 200 kPa. Temperatura injektora iznosila je 230 °C, a za detekciju analita korišten je ECD detektor s temperaturom detektora od 250 °C. Kalibracija je provedena pomoću certificiranog standarda za određivanje lakohlapljivih halogeniranih ugljikovodika. Razdvajanje analita provedeno je primjenom gradijentnog temperaturnog programa kako bi se postiglo optimalno razlučivanje analita u što kraćem vremenu analize. Dobiveni kromatogrami obrađivani su računalnim programom Chromeleon 7.2 SR4.

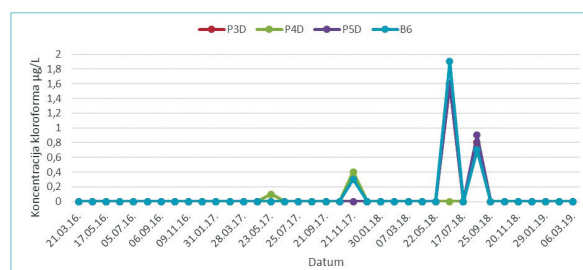
## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kvantitavnom analizom kromatograma dobivene su vrijednosti koncentracija za svaki pojedini ispitani

trihalometan (kloroform, bromdiklormetan, dibromklorometan, bromoform) te vrijednosti koncentracija za ukupne trihalometane. Vrijednosti koncentracija za period od 2016. do 2019. godine grafički su prikazane vremenskim nizovima i to posebno za uzorke sirove vode (piezometri P3D, P4D, P5D te zdenac B6), a posebno za uzorke obrađene vode za piće (sabirna komora, izlaz Varaždin, izlaz Ludbreg, izlaz Novakovec, izlaz Tonimir i izlaz Doljan) radi usporedbe koncentracija prije i nakon kloriranja vode.

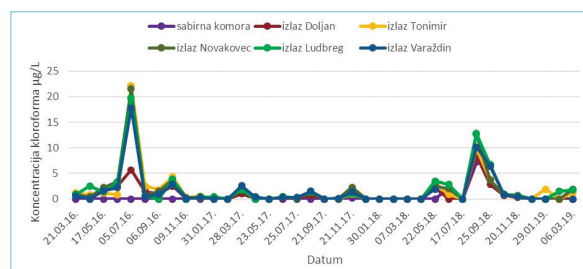
### 3.1. Koncentracija kloroforma

Koncentracije kloroforma za uzorke sirove vode prije dezinfekcije prikazane su vremenskim nizom na slici 2, dok su na slici 3 prikazane koncentracije za uzorke vode nakon dezinfekcije klorom. Najviša izmjerena koncentracija kloroforma u sirovoj vodi iznosi 1,9 µg/L, a izmjerena je u lipnju 2018. godine.



Slika 2: Vremenski niz koncentracija kloroforma u uzorcima sirove vode

Usporedimo li vrijednosti koncentracija kloroforma nakon kloriranja (slika 3) s koncentracijama kloroforma u vodi za piće prikazanim na slici 2, vidljiva je značajna razlika u koncentracijama kloroforma. Najviša izmjerena koncentracija kloroforma u vodi za piće iznosi 22,1 µg/L, a izmjerena je u srpnju 2017. godine.



Slika 3: Vremenski niz kloroforma u uzorcima vode za piće

Za pretpostaviti je da je kloroform nastao tijekom postupka kloriranja, odnosno, uslijed reakcije klora s organskim tvarima prisutnim u sirovoj vodi. Iako kloroform ne bi trebao biti prisutan u sirovoj vodi, osim u blizini izvora onečišćenja, u pojedinim mjesecima (svibanj i studeni 2017. te lipanj i kolovoz 2018. godine) ipak se javljaju niske koncentracije kloroforma, koje su očito posljedica utjecaja antropogenog djelovanja.

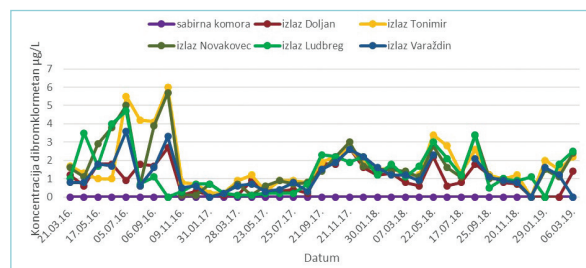
Koncentracije kloroforma u kloriranoj vodi u vodoopskrbnim sustavima su otprilike dvostruko veće u ljetnim mjesecima nego u zimskim, što je posljedica više koncentracije organskih tvari te veće stope stvaranja dezinfekcijskih nusprodukata u sirovoj vodi za vrijeme toplijeg perioda (Le Bel i dr., 1997.). Osim toga, porast temperature s 3 na 30 °C u ubrzava reakciju slobodnog klora i fulvo kiselina te uzrokuje znatan porast koncentracija kloroforma pri pH 7 (Fleischaker i Randtke, 1983.). Procijenjeno je da porast temperature od samo 10 °C uzrokuje 25 do 50 % više novonastalih trihalometana (Engerholm i Amy, 1983.). Temperature podzemnih voda na promatranom području variraju od 9 °C u zimskom periodu do 14 °C u ljetnom periodu, dok se pH vrijednosti kreću u rasponu 6,79 do 7,94 (Urumović i dr., 1990.). Iz ovih podataka je vidljivo da uvjeti u podzemlju tijekom ljetnih mjeseci idu u prilog nastanku viših koncentracija kloroforma, što je potvrđeno i kemijskim analizama. Smanjenje koncentracija trihalometana moguće je postići smanjenjem koncentracije organske tvari prije klorinacije, a to se postiže koagulacijom ili upotrebom filtera od aktivnog ugljena (Ellis, 1991., Wang i dr., 2016.). Zbog veće prisutnosti organske tvari u površinskoj vodi, koncentracija kloroforma, najčešćeg trihalometana, općenito je veća u kloriranoj vodi iz površinskih, nego iz podzemnih izvora.

### 3.2. Koncentracije bromdiklormetana, dibromklormetana i bromoforma

Bromdiklormetan tijekom ispitivanog razdoblja nije prisutan u uzorcima sirove vode, ali nakon provedenog postupka dezinfekcije vode detektirane su niske koncentracije bromdiklormetana. Najviša izmjerena koncentracija u vodi za piće iznosi 5,4 µg/L, a izmjerena je u listopadu 2016. godine na izlazu Tonimir (slika 4). Neznatna odstupanja u vrijednostima koncentracija bromdiklormetana tijekom ispitivanog razdoblja povezana su s promjenom količine organske tvari prisutne u vodi, ali i koncentracijom prisutnih bromidnih iona koji igraju značajnu ulogu prilikom nastanka trihalometana. Koncentracija bromdiklormetana, kao i koncentracija ostalih ispitivanih trihalometana, povećana je tijekom ljetnih mjeseci.

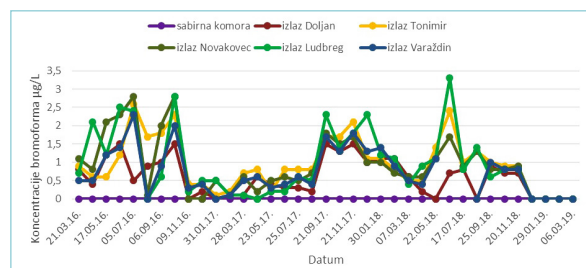
Na slici 5 prikazan je vremenski niz koncentracija dibromklormetana za vremenski period od 2016. do 2018. godine. Dibromklormetan nije bio prisutan u

sirovoj vodi, međutim, nakon postupka kloriranja vidljiva je njegova prisutnost u niskim koncentracijama, slično kao i za bromdiklormetan te kloroform. Najviša izmjerena koncentracija iznosi 6 µg/L, a izmjerena je u listopadu 2016. godine na izlazu Tonimir.



Slika 5: Vremenski niz koncentracija dibromklormetana u uzorcima vode za piće

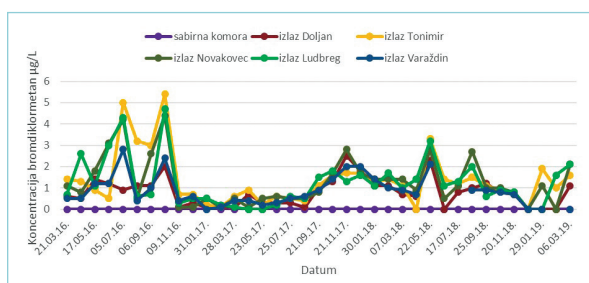
Bromoform, također, nije detektiran u sirovoj vodi, no nakon postupka kloriranja prisutan je u vodi za piće u niskim koncentracijama. Na slici 6 prikazan je vremenski niz koncentracija bromoforma u vodi za piće za vremensko razdoblje od 2016. do 2018. godine. Najviša izmjerena koncentracija bromoforma u vodi za piće je iznosila 3,3 µg/L, a izmjerena je na izlazu Ludbreg u lipnju 2016. godine. Iz dobivenih vrijednosti, također se može zaključiti da je i bromoform, kao i ostali trihalometani, prisutan u vodi kao nusprodukt dezinfekcije.



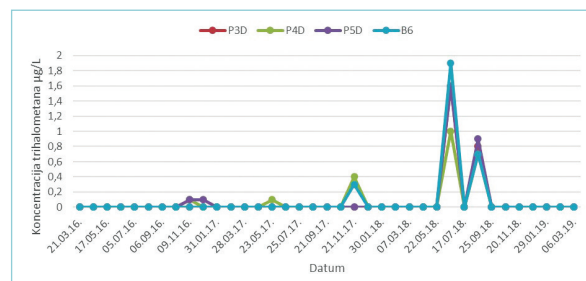
Slika 6: Vremenski niz koncentracija bromoforma u uzorcima vode za piće

### 3.3. Koncentracija ukupnih trihalometana

Vrijednosti dobivenih koncentracija ukupnih trihalometana grafički su prikazane na slici 7 za sirovu vodu prije kloriranja te na slici 8 za vodu nakon provedenog postupka kloriranja.

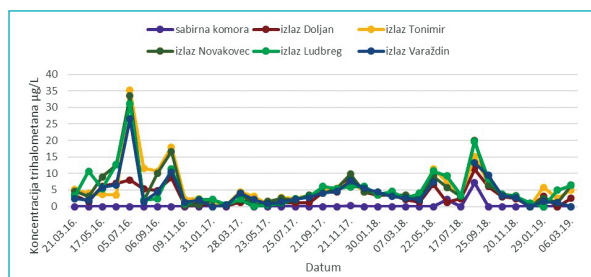


Slika 4: Vremenski niz koncentracija bromdiklormetana u uzorcima vode za piće



Slika 7: Vremenski niz koncentracija ukupnih trihalometana u uzorcima sirove vode

Koncentracije ukupnih trihalometana (slika 7) vrlo su niske, odnosno, u pojedinim mjesecima uopće nisu detektirane u uzorcima. Najviša izmjerena koncentracija ukupnih trihalometana u sirovoj vodi izmjerena je u lipnju 2018. godine i iznosi 1,9 µg/L. Povećanje koncentracije trihalometana u studenom 2017. godine te u lipnju i kolovozu 2018. godine vjerojatno je posljedica antropogenog utjecaja, obzirom da se njihova prisutnost u sirovoj vodi ne očekuje, osim u blizini izvora onečišćenja. Usporedbom vrijednosti koncentracija trihalometana određenih u uzorcima sirove vode iz sabirne komore, vidljivo je da uzorci sadrže višestruko niže koncentracije trihalometana ili uopće nisu detektirani u odnosu na uzorke vode s pojedinih izlaza. Najviša izmjerena koncentracija trihalometana u uzorcima vode za piće vidljiva je u ljetnim mjesecima, a iznosi 35,2 µg/L, što je ispod maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za ukupne trihalometane (NN 47/2008.).



Slika 8: Vremenski niz koncentracija ukupnih trihalometana u uzorcima vode za piće

Iz dobivenih rezultata je vidljivo variranje koncentracija trihalometana, što se povezuje s promjenom količine organske tvari prisutne u vodi. Vidljiv je uzlazni trend tijekom ljetnih mjeseci u odnosu na silazni trend u hladnijem razdoblju godine, što je karakteristično za regije s umjerenom klimom (Gray, 2008., Brown i dr., 2011.). Također, osim prisutnosti prirodne organske tvari u vodi, dodatni čimbenici koji uvjetuju nastanak trihalometana su koncentracije bromidnih iona zaslužne za nastanak bromiranih trihalometana (prisutnih u malim količinama u slatkim prirodnim vodama), zatim kemijska forma i doza korištenog klora te pH i temperatura.

Usporedbom koncentracija ukupnih trihalometana u uzorcima sirove vode prije postupka kloriranja s koncentracijom kloroforma vidljivo je da je kloroform jedini iz grupe trihalometana prisutan u sirovoj vodi. Dominantni spoj je upravo kloroform, jer se ostala tri spoja s bromom formiraju samo uz povećani sadržaj bromida, kojeg općenito u slatkim prirodnim vodama nema u velikim količinama. Uz prisutnost bromida nastaju bromirani trihalometani, dok se koncentracija kloroforma proporcionalno smanjuje.

Jedan od parametara koji utječe na koncentraciju trihalometana u vodi za piće je i reakcijsko vrijeme. Koncentracija trihalometana u kloriranoj vodi se može povećati i tijekom prolaska vode kroz distribucijski sustav zbog prisutnosti rezidualnog klora. Tijekom ljeta, uslijed veće potražnje za vodom, reakcijsko vrijeme unutar distribucijskog sustava je kraće te je na taj način moguće smanjiti utjecaj povišene temperature te rezidualnog klora.

Usporedbom koncentracija trihalometana u uzorcima sirove vodi i vode nakon provedene dezinfekcije klorom vidljivo je da su trihalometani zaista nusprodukti dezinfekcije vode klorom.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da od nastalih trihalometana prevladava kloroform, čije su maksimalne izmjerene koncentracije 21,5 µg/L, dok je maksimalna dobivena koncentracija bromdiklormetana 5,4 µg/L, dibromklormetana 6 µg/L, a bromoforma 3,3 µg/L. Rezultati ispitivanja trihalometana u uzorcima vode s vodocrpilišta Bartolovec pokazali su da, niti na jednoj lokaciji, dobivene koncentracije trihalometana (pojedinačno i ukupno) nisu iznad dozvoljene vrijednosti od 100 µg/L, što ukazuje da je voda za ljudsku potrošnju s vodocrpilišta Bartolovec zdravstveno ispravna i udovoljava svim važećim zakonima i propisima.

#### ZAHVALA

Zahvaljujemo Zavodu za javno zdravstvo Varaždinske županije na suradnji i potpori tijekom izrade ovog rada. ■

#### LITERATURA

- Brkić Ž.; Larva O.; Marković T. (2009.): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske, Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb.
- Brown D.; Bridgeman J.; West J. R. (2011.): Predicting chlorine decay and THM formation in water supply systems, *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*, 10, 79–99.
- Cool G.; Lebel A.; Sadiq R.; Rodriguez M. J. (2015.): Modelling the regional variability of the probability of high trihalomethane occurrence in municipal drinking water, *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 746.
- Ellis K.V. (1991.): Water disinfection: A review with some consideration of the requirements of the third world, *Critical Reviews in Environmental Control*, 20:5-6, 341-407
- Engerholm, B. A.; Amy, G. L. (1983.): A predictive model for chloroform formation from humic acid, *Journal – American Water Works Association (JAWWA)*, 75(8), 418-423.
- Fleischacker, S. J.; Randtke, S. J. (1983.): Formation of organic chlorine in public water supplies, *J. Am. Water Works Assoc.*, 75(3), 132.
- Gray N. F. (2008.): *Drinking water quality: problems and solutions*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hang C.; Zhang B.; Gong T.; Xian Q. (2016.): Occurrence

- and health risk assessment of halogenated disinfection byproducts in indoor swimming pool water, *Science of The Total Environment*, 543, 425–431,
- Krasner S. W.; Weinberg H. S.; Richardson S. D.; Pastor S. J.; Chinn R.; Sclimenti M. J.; Onstad G. D. (2006.): Occurrence of a New Generation of Disinfection Byproducts, *Environmental Science & Technology*, 23, 7175–7185.
- Larva O. (2008.): Ranjivost vodonosnika na priljevnom području varaždinskih crpilišta, *Doktorska disertacija*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2008.
- LeBel G. L.; Williams D. T. (1997.): Assessment of a consolidated method for the analysis of chlorinated and brominated Method 551 target DBP compounds. In: *Proceedings of the 199 Water Quality Technology Conference*, American Water Works Association, Denver, CO, 9–12 November.
- Lee S.-C.; Guo H.; Lam S. M.; Lau S. J. (2004.): Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong, *Environmental Research*, 1, 47–56.
- Min J.-Y., Min K.-B. (2016.): Blood trihalomethane levels and the risk of total cancer mortality in US adults, *Environmental Pollution*, 212, 90–96.
- Narodne novine 47/2008., Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_04\\_47\\_1593.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_47_1593.html), 16. 09. 2019.
- Narodne novine 56/13, 64/15, 104/17, 115/18, Zakon o vodi za ljudsku potrošnju, <https://www.zakon.hr/z/584/Zakon-o-vodi-za-ljudsku-potrošnju>, 14. 06. 2019.
- Posavec K.; Bačani A. (2016.): Program za provođenje mjera zaštite u zonama vodocrpilišta Bartolovec, Vinokovščak i Varaždin, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- Schoenen, D. (2002.): Role of disinfection in suppressing the spread of pathogens with drinking water: possibilities and limitations. *Water Research*, 36(15), 3874–3888.
- Šarkanj B.; Kipčić D.; Vasić-Rački Đ.; Delaš F.; Galić K.; Katalenić M.; Domitrov N.; Klapac T. (2010.): Kemijske i fizikalne opasnosti u hrani. Hrvatska agencija za hranu (HAH), Zagreb, Hrvatska.
- Urumović K.; Hlevnjak B.; Prelogović E.; Mayer D. (1990): Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika, *Geološki vjesnik*, 43, 149–158.
- Wang F.; Baoyu G., Defang M.; Qinyan Y.; Ruihua L.; Quinwen W. (2016.): Reduction of disinfection by-product precursors in reservoir water by coagulation and ultrafiltration, *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 22914–22923.
- WHO, Trihalomethanes in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf), 15. 06. 2019.

### Determination of trihalomethane concentration in water

**Abstract.** Health safety of water intended for human consumption means that water has to be chemically and microbiologically adequate and have good sensory properties. Disinfection is the most important phase in the preparation of water for drinking purposes, and the most frequently used disinfectant is chlorine. In the process of chlorination, chlorine may react with present organic matter and form a number of disinfection by-products, one of which are trihalomethanes. Trihalomethanes are highly volatile halogenated hydrocarbons that have adverse impact on the central nervous system, liver and kidneys. The concentrations of trichloromethane (chloroform)  $\text{CHCl}_3$ , bromodichloromethane  $\text{CHBrCl}_2$ , chlorodibromomethane  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ , bromoform  $\text{CHBr}_3$  and total trihalomethanes were determined on water samples from the water abstraction site Bartolovec in the Varaždin County for the 2016–2019 period by using gas chromatography. The analysis results showed that the trihalomethane concentrations in the observed period were not above the permissible value of 100  $\mu\text{g/L}$ , i.e. that water was safe for human consumption and met all applicable regulations.

**Key words:** trihalomethanes, water disinfection, water abstraction site Bartolovec

### Bestimmung der Trihalogenmethan konzentration in Wasse

**Zusammenfassung.** Das Wasser für den menschlichen Gebrauch muss den chemischen und mikrobiologischen Anforderungen entsprechen und gute sensorische Eigenschaften haben. Desinfektion ist die wichtigste Phase in der Trinkwasseraufbereitung, und Chlor gehört zu den am meisten verwendeten Desinfektionsmitteln. Bei der Chlorierung kann Chlor mit organischen Stoffen reagieren, wobei eine Reihe von Nebenprodukten des Desinfektionsverfahrens entsteht, darunter auch Trihalogenmethane. Trihalogenmethane sind leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, die schädliche Wirkungen auf zentrales Nervensystem, Leber und Nieren haben. Die Konzentrationen von Dichlormethan (Chloroform)  $\text{CHCl}_3$ , Bromtrichlormethan  $\text{CHBrCl}_2$ , Dibromchlormethan  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ , Bromoform  $\text{CHBr}_3$  und Gesamtrihalogenmethane wurden mittels Gaschromatographie in Wasserproben bestimmt, die aus der Wassergewinnungsanlage Bartolovec im Varaždin-Bezirk im Zeitraum vom 2016 bis 2019 entnommen wurden. Die Analyseergebnisse zeigten, dass im beobachteten Zeitraum die Trihalogenmethan-Konzentrationen nicht oberhalb des zulässigen Wertes von 100  $\mu\text{g/L}$  lagen und dass das Wasser gesund ist und allen geltenden Vorschriften entspricht.

**Schlüsselwörter:** Trihalogenmethane, Wasserdessinfektion, Wassergewinnungsanlage Bartolovec