

HRVATSKI ZAVOD ZA JAVNO ZDRAVSTVO I
ŽUPANIJSKI ZAVODI ZA JAVNO ZDRAVSTVO
pod pokroviteljstvom ministra zdravstva,
prof. dr. sc. Milana Kujundžića, prim. dr. med.
organiziraju

XXIII.

ZNANSTVENO – STRUČNI SKUP



VODA I JAVNA
VODOOPSKRBA

1. - 4. listopada 2019. godine
Hotel Materada, Poreč, Hrvatska

ZBORNİK RADOVA

PROCEEDINGS

XXIII. ZNANSTVENO – STRUČNI SKUP

XXIII. SCIENTIFIC AND PROFESSIONAL CONFERENCE



VODA I JAVNA VODOOPSKRBA

WATER AND PUBLIC WATER SUPPLY

1. - 4. listopada 2019. godine

Poreč
Hotel Materada

ORGANIZATORI / ORGANIZERS

Hrvatski zavod za javno zdravstvo / Croatian Institute of Public Health
Županijski zavodi za javno zdravstvo / County Institutes of Public Health

POKROVITELJ / PATRON

Ministar zdravstva Prof. dr. sc. Milan Kujundžić, prim. dr. med.

IZDAVAČ / PUBLISHER

Hrvatski zavod za javno zdravstvo / Croatian Institute of Public Health

GLAVNI UREDNIK / CHIEF EDITOR

dr. sc. Magdalena Ujević Bošnjak dipl. ing.

LEKTURA / PROOFREADING

Sanja Stojić, mag. educ. philol. germ.

NASLOVNICA / COVER

Foto
Julien Duval

Dizajn
Scapen Design

LIKOVNO-GRAFIČKA PRIPREMA / DESIGN AND PREPRESS

Scapen Design

TISAK I UVEZ / PRINTING AND BINDING

Printis d.o.o

NAKLADA / ISSUE

150

ISBN 978-953-7031-92-3

CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001041253.
A CIP catalogue record of this publication is available from the National And University Library in Zagreb under No 001041253.

ODREĐIVANJE REGULIRANIH I NEREGULIRANIH NUSPRODUKATA DEZINFEKCIJE U VODI ZA PIĆE U GRADU ZAGREBU

DETERMINATION OF REGULATED AND NON-REGULATED DISINFECTION BYPRODUCTS IN DRINKING WATER IN THE CITY OF ZAGREB

Livia Kurajica¹, Magdalena Ujević Bošnjak¹, Jurica Štiglić¹, Mirjana Novak Stankov²

¹Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Rockefellerova 7, Zagreb, Hrvatska

²Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska

livia.kurajica@hzjz.hr

SAŽETAK

Reakcijom klora i prisutne organske tvari u vodi nastaju nusprodukti dezinfekcije. Najpoznatije klase nusprodukata dezinfekcije jesu trihalometani (THM), čije su maksimalne dopuštene koncentracije regulirane, i halooctene kiseline (HAA), za koje ne postoji maksimalna dopuštena koncentracija (MDK) u Republici Hrvatskoj (RH). U prijedlogu nove Direktive o vodi za ljudsku potrošnju, čije odredbe će i RH trebati primjenjivati jednom kada se ona usvoji na europskoj razini, predlaže se praćenje HAA, pri čemu predložena MDK vrijednost iznosi 60 µg/L. Praćenje nusprodukata dezinfekcije važno je zbog njihova potencijalnog utjecaja na zdravlje čovjeka. U ovom su radu prikazani podaci dobiveni uzorkovanjem vode za piće na području grada Zagreba u vremenu od ožujka do lipnja 2019. godine s naglaskom na trihalometane i halooctene kiseline te njihova povezanost i korelacija s drugim parametrima poput TOC vrijednosti. Rezultati pokazuju da su u vodi za piće trihalometani prisutni u većim koncentracijama od halooctenih kiselina, a oboje su dosta ispod propisanih maksimalno dopuštenih koncentracija. Utvrđena je i veća koncentracija nusprodukata dezinfekcije u ljetnim mjesecima, a srednje koncentracije THM i HAA vrlo su slične unutar triju zona opskrbe unutar grada Zagreba, u kojemu je provedeno istraživanje. Rezultati prikazuju da su koncentracije trihalometana i halooctenih kiselina međusobno korelirane, a koreliraju i s TOC-om, metalima (olovom, željezom, niklom, manganom i aluminijem), temperaturom i mutnoćom.

Ključne riječi: nusprodukti dezinfekcije, trihalometani, halooctene kiseline, grad Zagreb, voda za piće

ABSTRACT

Disinfection byproducts (DBPs) are formed due to reaction between chlorine and natural organic matter (NOM). Two most important classes of disinfection byproducts are trihalomethanes (THM) and haloacetic acid (HAA). Concentration of trihalomethanes is regulated, but there is no maximal allowed concentration for haloacetic acid in Croatia. New Directive on the quality of water intended for human consumption proposes monitoring of haloacetic acid with maximal allowed concentration level of 60 µg/L. Croatia will have to apply Directive once it's accepted at the European level. It is very important to monitor concentration of DBPs in drinking water due to its potential on public health. This paper presents results collected during sampling campaign in Zagreb from March till June 2019, with emphasis on trihalomethanes and haloacetic acids and their correlation with other parameters, like TOC. Results show that trihalomethanes are present in drinking water in greater concentration than haloacetic acids, both concentrations are way below maxi-

mum contaminant level. Concentration of THM and HAA are higher in summer months, and mean DBP concentrations are in the same range in 3 supply zones in the City of Zagreb. Results show the correlation between trihalomethanes and haloacetic acid and their correlation with TOC, metals (lead, iron, nickel, manganese, and aluminum), temperature, and turbidity.

Key words: disinfection byproducts, trihalomethanes, haloacetic acids, Zagreb, drinking water

1. UVOD

Dezinfekcija vode za piće provodi se kako bi se inaktivirali patogeni mikroorganizmi. Najčešće korištena dezinfekcijska sredstva jesu klor, klor-dioksid, ozon i kloramin, a svako od tih sredstava proizvodi svoje nusprodukte dezinfekcije. Nusprodukti dezinfekcije nastaju reakcijom klora i prisutne organske tvari u vodi. Uz dezinfekcijsko sredstvo i prisutnu organsku tvar, na nastajanje nusprodukata dezinfekcije utječu i pH vrijednost, temperatura i vrijeme kontakta. Obzirom na to da su i dezinfekcijsko sredstvo i organska tvar prisutni kroz cijeli put vode do slavine potrošača, reakcije nastajanja nusprodukata dezinfekcije prisutne su kroz cijeli distribucijski sustav [1].

Trihalometani, odnosno kloroform prvi su otkriveni nusprodukti dezinfekcije, a otkrio ih je Rook 1974. godine [2]. Trihalometani (THM) i halooctene kiseline (HAA) najzastupljeniji su nusprodukti dezinfekcije. Skupinu trihalometana čine kloroform (TCM, CHCl_3), bromoform (TBM, CHBr_3), bromdiklor-metan (BDCM, CHBrCl) i dibromklor-metan (DBCM, CHBr_2Cl), a skupinu 5 halooctenih kiselina čine monokloro-octena kiselina (MCAA), dikloro-octena kiselina (DCAA), trikloro-octena kiselina (TCAA), monobromo-octena kiselina (MBAA) i dibromo-octena kiselina (DBAA). US EPA je odredila maksimalne dopuštene koncentracije za trihalometane na $80 \mu\text{g/L}$ i za sumu 5 halooctenih kiselina na $60 \mu\text{g/L}$ dok su na području EU-a zasad regulirani samo THM, i to s maksimalno dopuštenom koncentracijom od $100 \mu\text{g/L}$ [3]. U prijedlogu nove Direktive o vodi za ljudsku potrošnju maksimalno dopuštena koncentracija za HAA je $60 \mu\text{g/L}$ [13].

U Republici Hrvatskoj je također definirana granica od $100 \mu\text{g/L}$ za trihalometane dok maksimalna dopuštena koncentracija za halooctene kiseline nije definirana [4].

Praćenje nusprodukata dezinfekcije vrlo je bitno za javno zdravstvo. Naime, neke epidemiološke studije povezuju dugotrajnu izloženost nusproduktima dezinfekcije s povećanim rizikom od pojave karcinoma mjehura kod muškaraca dok neke studije povezuju karcinom jetre, bubrega, dojke i mozga s izloženošću nusproduktima dezinfekcije [5].

Cilj je ovog rada po prvi puta prikazati koncentracije halooctenih kiselina na području grada Zagreba uz koncentracije trihalometana te ostalih fizikalno-kemijskih parametara (anioni, kationi, TOC i metali). Također će biti prikazane korelacije između parametara te vremenska i prostorna promjenjivost nusprodukata dezinfekcije.

2. MATERIJALI I METODE

Istraživanje je provedeno na vodoopskrbnom sustavu grada Zagreba, koji se temelji na zahvatu podzemne vode od Podsuseda na zapadu do Rugvice, na istoku uzduž rijeke Save. Šest je vodocrpilišta iz kojih se zahvaća podzemna voda zagrebačkog vodonosnika, a to su Mala Mlaka, Petruševac, Sašnak, Strmec, Zapruđe i Žitnjak. Nakon preventivne dezinfekcije voda se transportira distribucijskim cjevovodima u vodospreme i

domove potrošača. Vodoopskrbni sustav grada Zagreba duljine je od oko 80 km, obuhvaća površinu od oko 800 četvornih metara i opskrbljuje oko 850 000 stanovnika vodom za ljudsku potrošnju [6].

2.1. Odabir točaka za uzorkovanje

Za praćenje kvalitete vode za piće odabrane su 3 zone opskrbe: ZO Sjever, ZO Istok i ZO zapad. Uzorkovanje je provedeno po mreži i na krajnjim točkama mreže, a za lokacije su odabrane slavine u javnim ustanovama, poput osnovnih škola, dječjih vrtića i kafića, odnosno mjesta gdje se često troši voda.

2.2. Strategija uzorkovanja

Uzorkovanja su provedena u razdoblju od ožujka do lipnja 2019. godine. Temperatura, slobodni rezidualni klor, mutnoća, pH vrijednost i oksido-redukcijski potencijal mjereni su na terenu. Prvi mlaz vode uzet je za mjerenje metala, nakon toga je pušteno da voda nekoliko minuta teče. Uzeta je 1 L vode za fizikalno-kemijske parametre, a voda za mjerenje nusprodukata dezinfekcije uzorkovana je u staklene winkler boce. Prethodnom uzorkovanju halooctenih kiselina u winkler boce dodan je amonijev klorid kako bi neutralizirao slobodni neutralni klor i spriječio daljnji nastanak HAA.

2.3. Analitičke metode

Osnovni fizikalno-kemijski parametri, anioni, kationi, oksihalidi, metali, TOC i THM analizirani su prema metodama prikazanim u Tablici 1.

Analizirane halooctene kiseline jesu monokloroocтена kiselina, dikloroocтена kiselina, trikloroocтена kiselina, monibromoocтена kiselina i dibromooctean kiselina, a određene su prema prilagođenoj US EPA 552.3 metodi [7].

Priprema uzorka počinje korakom ekstrakcije tekuće-tekuće. 30 mL uzorka prebačeno je u kivetu, dodano je 1,5 mL sumporne kiseline, 3 mL organskog metil-tertbutil etera (MTBE), koji sadržava interni standard, i 12 g natrijeva sulfata. Slijedi 3 minute miješanja i 5 minuta razdvajanja faza. 1 mL organske MTBE faze prenese se u staklenu kivetu za centrifugu te se doda 1 ml 10 % H_2SO_4 u metanolu koji se koristi kao derivatizacijsko sredstvo. Kivete se stave u vodenu kupelj na 2 sata na 50 °C. Nakon reakcije derivatizacije potrebno je u kivete dodati 1 mL MTBE i 3 ml 10 % Na_2SO_4 i kivetu vortexirati 30 sekunda. Nakon nekoliko minuta potrebno je iz kivete izbaciti donji, vodeni sloj i dodati još 1 mL 10 % Na_2SO_4 te ponovno vortexirati 30 sekunda. Nakon nekoliko minuta potrebno je prebaciti 1 mL gornjeg sloja, koji sadržava estere halooctenih kiselina u MTBE, u vialu. Za analizu halooctenih kiselina korišten je Thermo Scientific Trace 1300 plinski kromatograf s ECD detektorom. Korištena je kapilarna kolona tg-1701MS dimenzija 30 m x 0,25 mm ID, debljine filma 0,25 μm i helij kao plin nosač. Granica kvantifikacije za sve halooctene kiseline je 0,1 $\mu g/L$, osim za MCAA, koja iznosi 0,5 $\mu g/L$.

Kao indikatori sadržaja prirodno prisutne organske tvari, mjereni su total organic carbon (TOC) i apsorbancija na valnoj duljini od 254 nm (UV-254) te je iz tih podataka izračunata SUVA.

2.4. Statistička obrada podataka

Obrada podataka napravljena je uz pomoć programa Statistica 9.1. (Stat.Sof.Inc., Tulsa, SAD). Rezultati su prikazani uz pomoć deskriptivne statistike, aritmetičkom sredinom, medijanom, standardnom devijacijom i rasponom podataka (minimum - maksimum). Za određivanje korelacije među praćenim pokazateljima korišten je Spearmanov koeficijent korelacije.

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1. Pregled kvalitete vode i mjerenih parametara

U prva četiri mjeseca uzorkovanja u Zagrebu prikupljeno je 80 uzoraka i na njima je određeno 40 parametara. Tablica 1 prikazuje rezultate praćenih fizikalno-kemijskih parametara. pH vrijednost vode za piće kretala se od 6,9 do 7,6 pH jedinica, mutnoća od 0,21 do 2,76 NTU, elektrovodljivost od 408 do 877 μScm^{-1} pri 20 °C, a slobodni rezidualni klor od vrijednosti manje od granice detekcije do 0,40 mg/L. Koncentracije metala većinom su niske i oko granice detekcije, osim u jednom uzorku, u kojemu je koncentracija cinka iznad MDK vrijednosti. Vrijednosti TOC-a kreću se od 0,32 do 0,93 mg/L, a vrijednosti SUVA od ispod granice kvantifikacije do 7,89.

Tablica 1. Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara određivanih u uzorcima vode za piće (n=80)

Pokazatelj	Metoda	Max	Min	Median	Mean	Std. Dev.
T_°C	SM 2550 B (23. izd., 2017)	25.6	11.4	15.1	16	3.25
TU_NTU	HRN EN ISO 7027:2016	2.76	0.21	0.36	0.53	0.48
pH	HRN EN ISO 10523:2012	7.6	6.9	7.20	7.19	0.17
EV_ μScm^{-1} -20°C	HRN EN 27888:2008	877	408	644	641	153
Slobodni Cl ₂ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 7393-2:2018	0.4	<g.k.	0.14	0.15	0.09
HCO ₃ ⁻ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 9963-1:1998	510	261	404	380	73
KMnO ₄ _ mgL ⁻¹ O ₂	HRN EN ISO 8467:2001	4.58	0.25	0.8	0.96	0.82
NO ₃ ⁻ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 10304-1:2009	40.2	4.1	15.05	14.3	7.7
F ⁻ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 10304-1:2009	0.2	0.05	0.05	0.07	0.04
Br ⁻ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 10304-1:2009	0.04	<g.k.	0.01	0.02	0.01
Ca_ mgL ⁻¹ Ca ²⁺	HRN EN ISO 14911:2001	155	67	109	107	24
K_ mgL ⁻¹ K ⁺	HRN EN ISO 14911:2001	4.3	1.4	2.5	2.6	0.92
Na_ mgL ⁻¹ Na ⁺	HRN EN ISO 14911:2001	35	6.8	14.0	16.9	9.2
Mg_ mgL ⁻¹ Mg ²⁺	HRN EN ISO 14911:2001	35	14	24.0	23	5.7
TOC_ mgL ⁻¹ C	HRN EN 1484:2002	0.93	0.32	0.45	0.48	0.12
THM - sum_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 10301:2002	15	0.8	3.75	4.5	2.9
CHCl ₃ _ μgL^{-1}	HRN EN ISO 10301:2002	9.7	0.2	1.10	1.9	2.4
CHBrCl ₂ _ μgL^{-1}	HRN EN ISO 10301:2002	1.3	<g.k.	0.70	0.7	0.2
CHBr ₂ Cl_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 10301:2002	1.5	<g.k.	0.80	0.9	0.3
CHBr ₃ _ μgL^{-1}	HRN EN ISO 10301:2002	3.1	<g.k.	1.0	1.0	0.5
Pb_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	12.5	<g.k.	1.5	1.65	1.48
Zn_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	2494	0.2	33.7	199	446
Fe_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	179	0.59	3.0	13	32
Ni_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	7.7	0.1	1.0	1.1	0.9
Mn_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	7.1	0.1	0.50	0.8	1.2
Al_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	14.1	0.13	2.5	3.2	2.7
Ba_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	100	25.4	51.8	55.9	21.9
Cu_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	0.3	<g.k.	0.03	0.05	0.1
Cl ⁻ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 10304-1:2009	61.6	8.9	27.6	29.2	15.7
SO ₄ ⁻ _ mgL ⁻¹	HRN EN ISO 10304-1:2009	52	13	23.9	28	12

Pokazatelj	Metoda	Max	Min	Median	Mean	Std. Dev.
Sr_ μgL^{-1}	HRN EN ISO 11885:2010	347	139	217	225	53
MCAA_ μgL^{-1}	EPA 552.3	<g.k.	<g.k.	/	/	/
DCAA_ μgL^{-1}	EPA 552.3	0.5	<g.k.	0.1	0.1	0.1
TCAA_ μgL^{-1}	EPA 552.3	0.6	<g.k.	0.1	0.1	0.11
MBAA_ μgL^{-1}	EPA 552.3	4.5	<g.k.	0.1	0.2	0.6
DBAA_ μgL^{-1}	EPA 552.3	1.3	<g.k.	0.4	0.4	0.4
HAA-sum_ μgL^{-1}	EPA 552.3	5.7	0.1	0.5	0.7	0.8
UV_254nm	-	0.03	<g.k.	0.009	0.01	0.01
Redoks potencijal_mV	SM 2580 B (23. izd., 2017)	663	279	589	564	82
SUVA	-	7.89	<g.k.	1.7	2.3	1.9

<g.k. ispod granice kvantifikacije

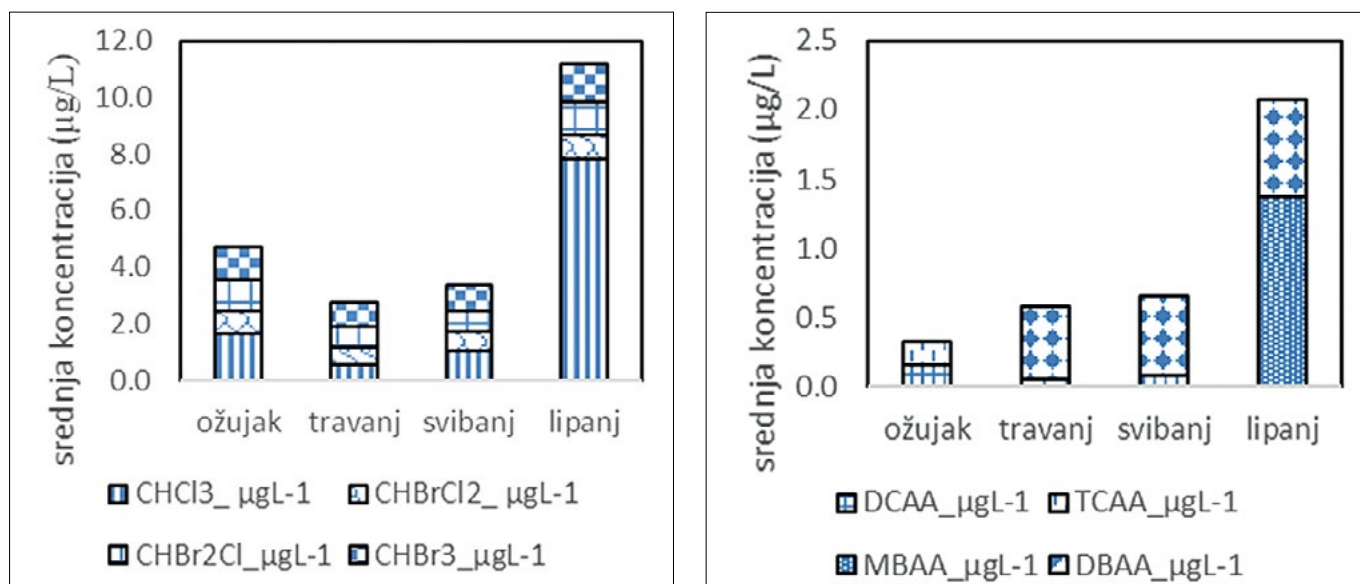
3.2. Prisutnost nusprodukata dezinfekcije

U ispitivanim uzorcima vode prisutna su 4 trihalometana (Slika 1.) i 4 halooctene kiseline (Slika 2.). Naime, monokloroocetna kiselina nije prisutna u koncentracijama iznad granice kvantifikacije. Od 4 trihalometana, najviše koncentracije u ispitivanim uzorcima ima kloroform sa srednjom vrijednošću koncentracije od 1,7 $\mu\text{g/L}$ i rasponom koncentracija od 0,2 do 9,7 $\mu\text{g/L}$, a koncentracije zbroja trihalometana kreću se od 0,8 do 15,0 $\mu\text{g/L}$ (Tablica 1.). Od haloocetnih kiselina, najzastupljenija je dibromoocetna kiselina sa srednjom vrijednošću koncentracije od 0,4 $\mu\text{g/L}$ i rasponom koncentracija od vrijednosti ispod granica kvantifikacije do 1,3 $\mu\text{g/L}$, a koncentracije 4 prisutne haloocetne kiseline kreću se od 0,1 do 5,7 $\mu\text{g/L}$ sa srednjom vrijednošću od 0,73 $\mu\text{g/L}$ (Tablica 1.). Slična istraživanja provedena su u mnogim zemljama, pa su tako Malliaroua i suradnici određivali koncentracije HAA i THM u 3 regije u UK, a dobivene srednje koncentracije za HAA iznosile su od 31 do 59 $\mu\text{g/L}$, a za THM od 15 do 46 $\mu\text{g/L}$ [8]. Krasner i suradnici odredili su srednju vrijednost HAA na 12 postrojenja za pročišćavanje vode u SAD-u, koja iznosi 34 $\mu\text{g/L}$, a za THM 31 $\mu\text{g/L}$ [9]. Nissinen i suradnici u svojem su radu prikazali koncentracije HAA i THM u Finskoj. Srednja koncentracija HAA u Finskoj iznosi 40 $\mu\text{g/L}$, a za THM 12 $\mu\text{g/L}$ [10]. Chang i suradnici odredili su koncentracije HAA na Taiwanu, pa su tako koncentracije HAA iznosile od 1,0 do 38,9 $\mu\text{g/L}$ po zimi, a od 0,2 do 46,7 $\mu\text{g/L}$ po ljeti. Za THM koncentracije su iznosile od ispod granice detekcije do 99,4 $\mu\text{g/L}$ po zimi i od ispod granice detekcije do 133,2 $\mu\text{g/L}$ po ljeti [11].

Teško je uspoređivati rezultate jer koncentracije nusprodukata dezinfekcije ovise o mnogo čimbenika, a veliki utjecaj ima i činjenica je li voda podzemna ili površinska. Uzimajući u obzir da se za vodoopskrbu grada Zagreba koriste podzemne vode s niskim sadržajem organske tvari, pri čemu maksimalna vrijednost TOC-a iznosi 0,83 $\mu\text{g/L}$ (Tablica 1.), ne iznenađuju niske koncentracije nusprodukata dezinfekcije.

3.3. Vremenska varijabilnost

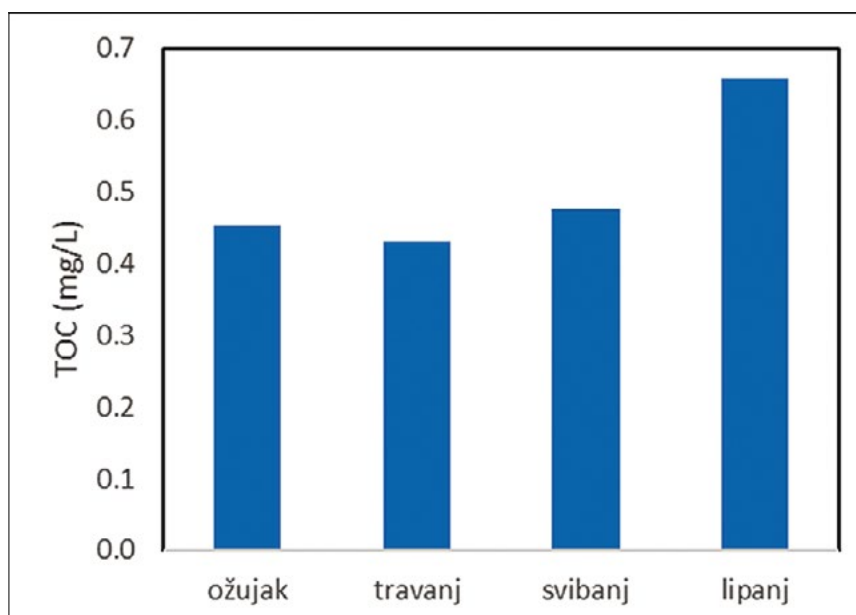
Prosječne koncentracije mjerenih nusprodukata dezinfekcije variraju po mjesecima (Slika 1.). Vidljivo je da koncentracije rastu u toplijim mjesecima. Najveći je skok zabilježen u lipnju, koji je bio iznimno topao mjesec. Više koncentracije u toplijim mjesecima mogle bi se objasniti višom temperaturom vode, čime se ubrzavaju reakcije nastajanja nusprodukata dezinfekcije. Pregledom TOC vrijednosti (Slika 2.), koji se često smatra indikatorom prekursora nusprodukata dezinfekcije, vidljiv je sličan trend rasta kao i kod nusprodukata dezinfekcije.



(a)

(b)

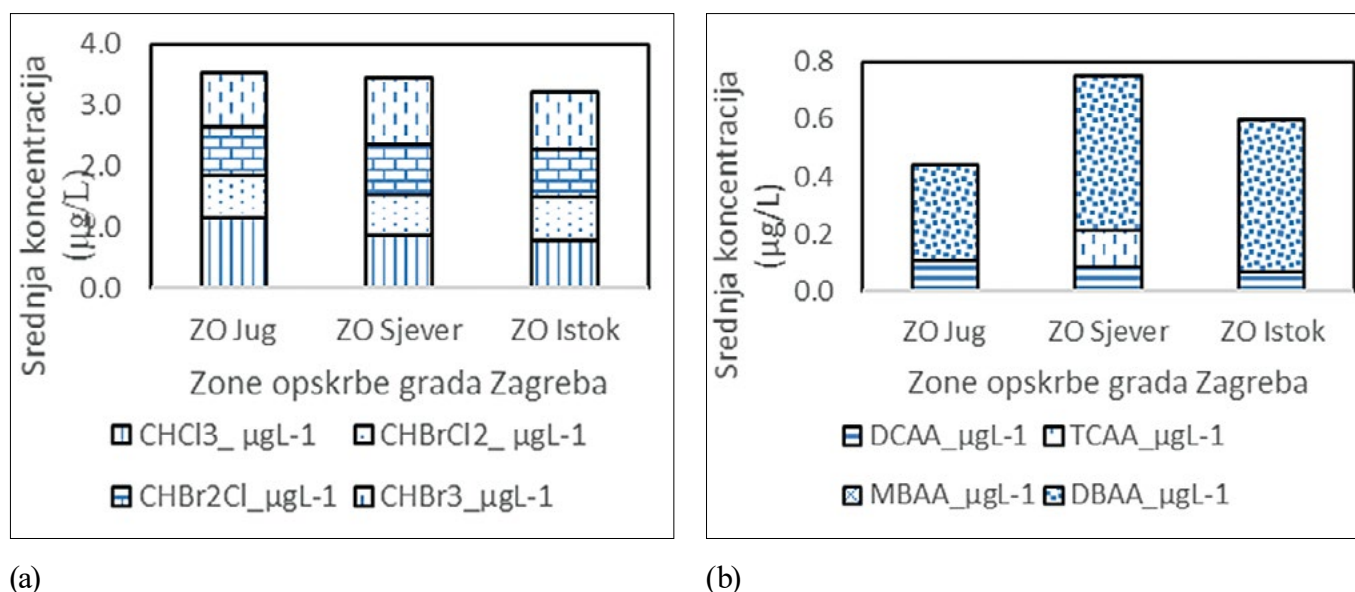
Slika 1. Prikaz srednjih koncentracija nusprodukata dezinfekcije THM (a) i HAA (b) kroz 4 mjeseca.



Slika 2. Pregled TOC vrijednosti kroz mjesece.

3.4. Prostorna varijabilnost

Pregledom srednjih koncentracija nusprodukata kroz 3 zone opskrbe grada Zagreba prikazanih na slici 2 može se utvrditi da su njihove koncentracije vrlo bliske, odnosno oko 3 µg/L za trihalometane i od 0,4 do 0,7 µg/L za haloocetene kiseline. Iz slike je vidljivo da su koncentracije pojedinih trihalometana vrlo slične, odnosno podjednako su zastupljeni u svim zonama i u ukupnom zbroju trihalometana. Kod haloocetnih kiselina u svim zonama je najzastupljenija dibromocetna kiselina (DBAA), u manjem postotku diklorocetna kiselina (DCAA), a triklorocetna (TCAA) značajnije je zastupljena samo u ZO Sjever.



Slika 3. Prikaz srednjih koncentracija nusprodukata dezinfekcije THM (a) i HAA (b) za različite zone opskrbe na području grada Zagreba.

3.5. Korelacija između koncentracija nusprodukata dezinfekcije i ostalih parametara

Ukupni THM-ovi pokazali su statistički značajnu korelaciju s nitratima (-0,28; $p < 0,05$), TOC vrijednostima (0,33; $p < 0,05$), metalima olovom, željezom, niklom, manganom i aluminijem (-0,37, -0,26, -0,50, -0,24, -0,39; $p < 0,05$) te s DCAA, TCAA i MBAA (0,24, 0,27, 0,46; $p < 0,05$). Ukupne HAA pokazale su statistički značajnu korelaciju s temperaturom (0,35; $p < 0,05$), mutnoćom (0,32; $p < 0,05$), bromoformom (0,25; $p < 0,05$), olovom i aluminijem (-0,28, -0,27; $p < 0,05$). Od halooctenih kiselina jedino monobromoctena kiselina pokazuje statistički značajnu korelaciju s TOC-om (0,44; $p < 0,05$). J.We i suradnici određivali su Spearmanov koeficijent korelacije i primijetili jaku korelaciju između THM i HAA (0,693 $p < 0,01$), koeficijent korelacije između HAA i TOC-a iznosi 0,415 pri $p < 0,05$, a korelacija između TOC-a i THM nije značajna [12].

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad daje uvid u prisutnost te vremensku i prostornu varijabilnost trihalometana i halooctenih kiselina u trima zonama opskrbe unutar vodoopskrbnog sustava grada Zagreba. U zagrebačkoj vodi prisutne su veće koncentracije trihalometana u usporedbi s halooctenim kiselinama, a oboje su prisutni u vrlo niskim koncentracijama koje su daleko ispod maksimalno dopuštenih koncentracija. Pregledom srednjih koncentracija nusprodukata dezinfekcije kroz 4 mjeseca utvrđeno je da su njihove koncentracije veće u toplim mjesecima, a veliki porast u koncentracijama dogodio se u lipnju kao prvom ljetnom mjesecu. Prikazan je i trend rasta TOC vrijednosti, koji je sličan kao i trend rasta nusprodukata dezinfekcije. Od trihalometana najzastupljeniji je kloroform, a od halooctenih kiselina dibromoctena kiselina. Pregledom srednjih koncentracija nusprodukata dezinfekcije u različitim zonama opskrbe vodom grada Zagreba utvrđeno je da su koncentracije nusprodukata vrlo slične. Raspodjela trihalometana po zonama je podjednaka dok kod halooctenih kiselina, dibromoctena kiselina dominira u svim trima zonama. Rezultati prikazuju da su koncentracije trihalometana i halooctenih kiselina međusobno korelirane, a koreliraju i s TOC-om, metalima (olovom, željezom, niklom, manganom i aluminijem), temperaturom i mutnoćom. U daljnjim istraživanjima potrebno je obuhvatiti promjene koncentracije nusprodukata kroz cijelu godinu.

Zahvala

Ovaj rad je napravljen pod pokroviteljstvom Hrvatske zaklade za znanost pod projektom ProVoda [UIP-2017-05-3088].

LITERATURA

- [1] M. Mortula,, S.A. Imran, *Disinfection practices and the challenges of byproducts in drinking Water*, National research council Canada (2006)
- [2] J.J. Rook: Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water Treat. Exam.* **23** (1974) 234-243
- [3] US EPA (1998). National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts, Final Rule, Federal Register, 63:241:69390.
- [4] Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN. 125/17)
- [5] C.M. Villanueva, S. Cordier, L. Font-Ribera, L.A. Salas, P. Levallois: Overview of Disinfection By-products and Associated Health Effects. *Curr. Environ. Health Rep.* **1** (2015) 107-115
- [6] R. Čalić, A. Ivanišević, R. Banović, S. Tolić, *Kvaliteta vode u vodoopskrbnom sustavu grada Zagreba, U: Ž. Dadić (ur.), XX. Znanstveno-stručni skup Voda i javna vodoopskrba Zagreb*, Hrvatski zavod za javno zdravstvo i županijski zavodi za javno zdravstvo, Zagreb, 2016, str. 91-99.
- [7] S.A. Parsons, E.H. Goslan: *Evaluation of haloacetic acid (HAA) concentration in treated drinking waters*, project WT1236, Cranfield Univeristy
- [8] E. Malliarou, C. Collins, N. Graham, M. J. Nieuwenhuijsen: Haloacetic acids in drinking water in the United Kingdom. *Water Res.* **39** (2005) 2722–2730
- [9] S.W. Krasner, H.S. Weinberg, S.D. Richardson , S.J. Pastor, R. Chinn, M.J. Scilimenti, G.D. Onstad, A.D jr. Thruston: Occurrence of a new generation of disinfection byproducts. *Environ. Sci Technol.* **23** (2006) 7175-85
- [10] T. K. Nissinen, I.T. Miettinen, P.J. Martikainen, T. Vartiainen: Disinfection byproducts in Finnish drinking waters. *Chemosphere* **48** (2002) 9-20
- [11] H.H. Chang, C.C. Tung, Chao, G.S. Wang: Occurrence of haloacetic acids (HAAs) and trihalomethanes (THMs) in drinking water of Taiwan. *Environ. Monit. Asses.* **162** (2010) 237-250
- [12] J. Wei, B. Ye, W. Wang, L. Yang, J. Tao, Z. Hang: Spatial and temporal evaluations of disinfection by-products in drinking water distribution systems in Beijing, China. *Sci. Total. Environ.* **408** (2010) 4600–4606
- [13] EUR-Lex <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1519210589057&uri=CELEX:52017PC0753> (pristupljeno 5.07.2019.)