

Trihalometani u bazenskoj vodi tijekom primjene kombinirane metode dezinfekcije (UV zračenje i kloriranje)

Sigler Zekanović, Melani; Gobin, Ivana; Tomić Linšak, Dijana

Source / Izvornik: **Hrvatske vode, 2023, 31, 145 - 152**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:184:345540>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



TRIHALOMETANI U BAZENSKOJ VODI TIJEKOM PRIMJENE KOMBINIRANE METODE DEZINFEKCIJE (UV ZRAČENJE I KLORIRANJE)

Melani Sigler Zekanović
mag. sanit. ing.

Sveučilište u Rijeci
Medicinski fakultet
Braće Branchetta 20, Rijeka,
Hrvatska
melanisiz@student.uniri.hr

prof. dr. sc., Ivana Gobin

Sveučilište u Rijeci
Medicinski fakultet
Braće Branchetta 20, Rijeka,
Hrvatska

doc. dr. sc. Dijana Tomić Linšak

Sveučilište u Rijeci
Medicinski fakultet
Braće Branchetta 20, Rijeka,
Hrvatska

Bazenska voda mora zadovoljavati određene fizikalne, kemijske i mikrobiološke uvjete kako bi se osigurala zdravstvena ispravnost. Dezinfekcija ima važnu ulogu u održavanju kvalitete bazenske vode i osnovna je metoda za uklanjanje i korigiranje mikrobioloških i kemijskih opasnosti. Najčešća metoda pri kondicioniranju bazenske vode je dezinfekcija klornim preparatima pri čemu se mora voditi računa o koncentracijama štetnih nusprodukata, stoga se često pristupa primjeni kombinirane metode kloriranja upotrebom ultravioletne (*eng. ultraviolet*, UV) lampe. Tijekom jednogodišnjeg istraživanja, primjenom dvostruke tehnologije dezinfekcije (UV zračenje/kloriranje) bazenske vode praćene su koncentracije odabranih kemijskih parametara (slobodni klor, trihalometani i dr.) na slatkovodnom unutarnjem bazenu. Uz analizu kemijskih parametara uključeno je i praćenje prosječnog broja kupača te dinamika i volumen izmijenjene količine vode. U promatranom razdoblju ukupno je analizirano 12 uzoraka vode. Izmjerene su povišene koncentracije trihalometana (THM-a) i slobodnog klora u periodu korištenja jednostruke metode dezinfekcije, a vrijednosti ipak nisu prelazile maksimalno dozvoljene granične vrijednosti. Rezultati analize ukazuju da promjena koncentracije THM-a ovisi o primijenjenoj metodi dezinfekcije. Koncentracije THM-a analizom ne pokazuju ovisnost o broju kupača, ali ovisne su o količini izmijenjene vode. Rezultati ukazuju na potrebu uspostave kontinuirane kontrole štetnih produkata dezinfekcije te adekvatnu primjenu korektivnih mjera u cilju zaštite zdravlja korisnika bazena.

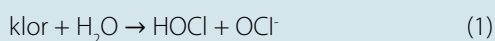
Ključne riječi: bazenska voda, korektivne mjere, nusprodukti dezinfekcije, trihalometani.

1. UVOD

Zdravstvena ispravnost bazenske vode održava se kontinuiranim postupcima dezinfekcije. Temeljito sanitacijom i redovitim kontrolom cijelog bazenskog kupališta osigurava se zdrava okolina za korisnike. Potencijalni zdravstveni rizici u bazenskoj vodi mogu biti fizičkog, kemijskog i mikrobiološkog podrijetla. Pravilnom primjenom odabrane dezinfekcijske metode

te regulacijom pH vrijednosti vode ti rizici mogu biti uspješno smanjeni (Dilnessa i dr. 2016; Giampaoli i dr. 2014). Bazenska voda složen je sustav zbog prisutnosti mnogobrojnih mikroorganizama. Prisutnost i opstanak mikroorganizama u određenim uvjetima kemijske neravnoteže uočeni su i u bazenima punjenim morskom vodom (Tomić Linšak i dr. 2021a i 2021b). Kako bi se mikrobiološki rizici uspješno kontrolirali, kao osnovna

metoda dezinfekcije, najčešće se koristi kloriranje. Primjenom sredstava na bazi klora, kao što je natrijev hipoklorit, postiže se relativno dobar ishod dezinfekcije i osigurava rezidualan klor. Natrijev hipoklorit dodaje se vodi kao oksidans koji djeluje na organske i anorganske tvari. Osim kemijskih metoda, danas se sve više primjenjuju i kombinirane metode dezinfekcije vode kao fizikalno-kemijske metode. Često se kombinira UV zračenje s klasičnim kloriranjem vode (Ekowati i dr. 2019). Pri upotrebi kombiniranih metoda dezinfekcije klorni preparati osiguravaju rezidualno djelovanje, dok upotreba UV lampe sa živinim lukom djeluje na smanjenje nusprodukta kloriranja (Masschelein i dr. 2002; Kudlek i dr. 2018). Neovisno koji oblik klornih preparata se koristi (plinoviti klor, Ca ili Na hipoklorna kiselina), dodavanjem u vodu rezultat će stvaranju hipokloritne kiseline (HClO) koja disocira u vodikove ione (H⁺) i hipokloritne ione (ClO⁻). Kombinacije koncentracija HClO i ClO⁻ čine slobodni klor u vodi, jednadžba (1)



Slobodni klor je učinkovitije sredstvo za dezinfekciju od ostalih oblika klora i ima visoki oksidacijski potencijal, koji opisuje koliko će lako reagirati s drugim spojevima u vodi. (Omerdić 2021) Uz prisutnost organske tvari i slobodnog klora u bazenskoj vodi, dolazi do formiranja štetnih smjesa nusprodukata dezinfekcije (*eng. disinfection byproducts*, DBP). Koncentracije i priroda štetnih nusprodukata u bazenima ovise vrlo često o i samoj higijeni korisnika bazena. Stvaranje štetnih nusprodukata u vodama bazena pripisuje se prekursorima, najčešće organskim ili anorganskim tvarima unesenim antropogeno. Rezultati različitih toksikoloških i epidemioloških studija o štetnim

učincima na zdravlje DBP-a izazvali su zabrinutost oko kemijske sigurnosti bazenske vode (Aggazzotti i Predieri 1986; Chu i Nieuwenhuijsen 2002; Judd i Jeffrey 1995; Kim i dr. 2002). Neki od često spominjanih nusprodukata su haloamini, haloaldehidi, halonitrili, haloketoni, halonitrometani, haloamidi, haloalkoholi, halokiseline i sve opasniji, nenamjerni nusprodukti trihalometani (Chowdhury i dr. 2014; Richardson i dr. 2010). THM-i su lakohlapljivi halogenirani ugljikovodici, opće formule CHX₃ gdje X predstavlja halogeni element, koji može biti fluor, klor, brom jod ili njihove kombinacije (Lee i dr. 2009). U slatkoj vodi koja se koristi za punjenje bazena prisutna su četiri najzastupljenija predstavnika ovih spojeva (slika 1): triklorometan (kloroform) CHCl₃, bromdiklorometan CHBrCl₂, dibromklorometan CHBr₂Cl i bromoform CHBr₃.

U bazenskoj vodi su u različitim omjerima najčešće prisutni svi navedeni spojevi, pa se često određuju kao skupina THM-a (Krasner i dr. 2006.). U brojnim istraživanjima bazenskih sustava uočeno je da THM-i uneseni oralno i inhalacijski imaju izravan toksični utjecaj na ljudsko zdravlje (Mishra i sur. 2014; Pentamwa i dr. 2013). Zbog genotoksičnog i kancerogenog učinka THM-a, poželjno je koristiti niže doze klora te je jedno od mogućih rješenja primjena kombiniranih metoda dezinfekcije (Manasfi i dr. 2017; Ekowati i dr. 2019). Pravilnik o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta, te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda (Pravilnik) propisuje da sadržaj navedenih spojeva u bazenskoj vodi ne smije prelaziti 100 µg/L (NN 59/2020; 89/2022).

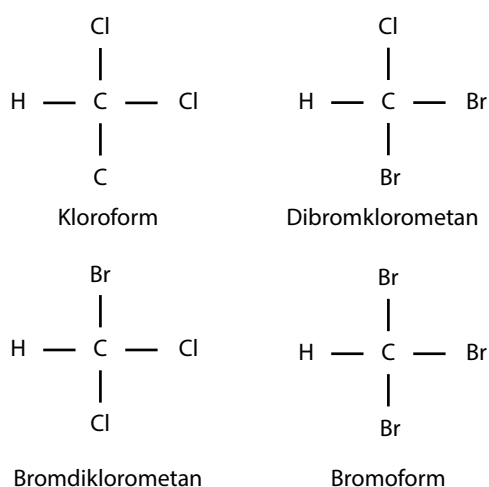
Trenutno ne postoje sveobuhvatne smjernice o postupcima sanitacije na bazenskim sustavima, kao ni studije mjerenja njihove učinkovitosti. Ipak, poznato je da dosljedno provođenje preventivnih, ali i korektivnih mjera postaje neizostavan dio u osiguravanju kemijske sigurnosti i ispravnosti bazenske vode (Lee i dr. 2009). Stoga je cilj ovog istraživanja bio odrediti koncentracije THM-a u bazenskoj vodi te opisati preventivne i korektivne mjere za smanjenje izloženosti tim spojevima. Identifikacijom nusprodukata kloriranja (THM) cilj je bio navesti i korektivne mjere za održavanje kemijske sigurnosti bazenske vode.

2. EKSPERIMENTALNI DIO

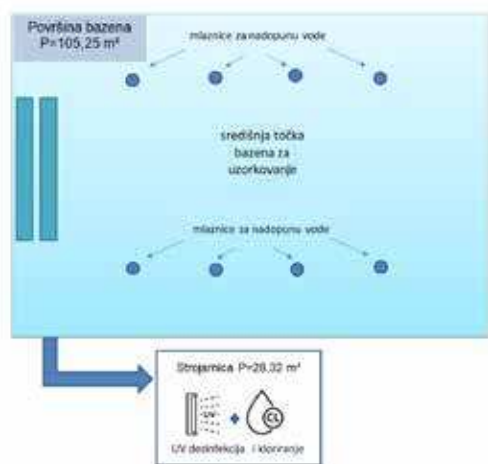
2.1. Materijali i metode

2.1.1. Opis bazena

Za praćenje i analizu odabranih parametara u bazenskoj vodi odabran je jedan unutarnji bazen u sklopu hotelskog smještaja. Bazen dimenzija: dužine 14 m, širine 7,5 m te dubine 1,45 m, sadrži ukupni volumen slatkovodne vode od 152,25 m³. Bazenska školjka obložena je keramičkim pločicama veličine 2,5 x 2,5 cm. Bazen je opremljen automatskom tehnologijom s pumpom za filtraciju (VerderDos-Ve Dual, Castleford, Ujedinjeno Kraljevstvo) smještenom u propisno izgrađenoj strojarnici. Istraživanje je obuhvatilo razdoblje



Slika 1: Najčešći oblici trihalometana kao nusprodukata dezinfekcije klornim preparatima



Slika 2: Shematski prikaz bazena i strojarne

od 12 mjeseci. Kontinuiranim monitoringom kemijskih parametara automatski se regulira doziranje klora i pH vrijednost vode. Za kombiniranu dezinfekcijsku metodu koristi se niskotlačna visokoučinkovita živina UV lampa (Ultraaqua a/s, Aalborg, Danska) uz stalnu recirkulaciju vode. Za valjanu usporedbu učinkovitosti metoda te kontinuirano praćenje odabranih parametara, odabran je vremenski period od godine dana. U prvih 9 mjeseci korištena je kombinirana metoda dezinfekcije nakon čega je u naredna 3 mjeseca korištena samo jednostruka metoda kloriranja. Shema bazena prikazana je na [slici 2](#).

2.1.2. Postupci čišćenja bazena

Održavanje čistoće bazenskog kupališta i postupci čišćenja doprinose ispravnosti bazenske vode. Sanitacijski postupci provode se svakodnevno i

podrazumijevaju čišćenje bazenske školjke četkom s teleskopskim nastavkom. Dodatni sanitacijski postupci postižu se i uporabom automatskog bazenskog čistača (Dolphin Wave100, Jezreel Walley, Izrael). Kompenzacijski bazen zapremine 35 m³ čisti se, dezinficira i nadopunjuje svježom vodom najmanje jednom mjesečno tijekom cijele godine. Servis i održavanje filtera (IML, Španjolska) i bazenske pumpe provodi se sukladno uputama proizvođača.

2.2. Uzorkovanje

Ispitivana voda bazena uzorkovana je jednom mjesečno ($n = 12$) s procijenjene središnje točke bazena. Uzorci su uzeti prema pravilima struke od 0,5 do 1,0 metar ispod površine vode, koristeći teleskopski štap. Voda je uzorkovana u kemijski čiste spremnike zapremine 0,25 i 0,5 l, ovisno o parametru koji se analizira. Uzorci su u prijenosnom hladnjaku dostavljeni u laboratorij i odmah obrađivani ili pohranjeni na 4 °C do analize.

2.3. Analitičke metode

Ukupno je ispitano sedam fizikalno-kemijskih parametara sukladno važećem pravilniku, prema akreditiranim metodama. Prikaz korištenih metoda nalazi se u [tablici 1](#).

3. REZULTATI I RASPRAVA

Analizom dobivenih parametara uočena je mala oscilacija temperatura bazenske vode u praćenom periodu. Izmjerene temperature su bile između 26 - 29,3 °C. Fizikalni parametar boje bazenske vode bio je u rasponu od < 1 do 4 mg/L Pt/Co skale i tijekom praćenog perioda nije prelazio maksimalno dozvoljene

Tablica 1: Metode korištene u ispitivanju fizikalno-kemijskih parametara uzoraka bazenske vode

Parametar	Mjerna jedinica	Metoda
Temperatura uzorka	°C	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21st Edition (2005) p2-61 Method 2550*
Boja	mg/L Pt/Co skale	Standardne metode 23. izd. 2017.2120.APHA, AWWA, WEF (Određivanje boje, granica kvantifikacije 5 jedinica Pt/Co ljestvice)
Mutnoća	NTU	EN ISO 7027-1:2016 (Kvaliteta vode - Određivanje mutnoće Kvantitativne metode (ISO 7027-1:2016;EN ISO 7027-1:2016)
Vodljivost	µS/cm/20°C	EN 27888:1993 (Kvaliteta vode – Određivanje električne vodljivosti; granica kvantifikacije µS/cm)
pH	pH jedinica pri 25 °C	EN ISO 10523:2012 (Kvaliteta vode - određivanje pH)
Slobodni klor	mg/L	EN ISO 7393-2:2018 (Kvaliteta vode -- Određivanje slobodnoga i ukupnoga klora -- 2. dio: Kolorimetrijska metoda s N,N-dietil-1,4-fenilendiaminom u svrhu rutinske kontrole (ISO 7393-2:2017; EN ISO 7393-2:2018)
Trihalometani	µg/L	EN ISO 10301:1997 (Kakvoća vode -- Određivanje lakohlapljivih halogeniranih ugljikovodika -- Metode plinske kromatografije (ISO 10301:1997; EN ISO 10301:1997); granica kvantifikacije za Kloroform 0.75 µg/L, Bromdiklorometan: 0.75 µg/L, Dibromoklorometan: 0.75 µg/L, Bromoform: 0.75 µg/L)

Tablica 2: Analizirani fizikalno-kemijski parametri u bazenskoj vodi tijekom dvanaest mjeseci primjene kombinirane i jednostruke metode dezinfekcije

Parametar	Mjerna jedinica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Metoda dezinfekcije		UV+Cl									Cl		
Temperatura uzorka	°C	27	27,7	29,3	28	21,3	27,3	27,7	26	27,1	27,5	28	28
Boja	mg/L Pt/Co skale	1	1	<1	<1	<1	4	1	<1	<1	2	3	<1
Mutnoća	NTU jedinica	0,4	0,5	0,2	0,4	0,7	0,6	0,5	0,5	1	0,2	0,2	0,5
Vodljivost	µS/cm pri 20 °C	983	1101	1021	1078	1125	1051	1033	911	1184	973	1055	677
pH	pH jedinica pri 25 °C	7	7,1	6,6	7,2	7,3	7,3	7	7,2	7,4	6,8	7	6,5
Slobodni klor	mg/L	0,55	0,36	0,38	0,65	0,35	0,55	0,5	0,4	0,45	0,7	0,75	0,8

koncentracije (MDK) određene vrijedećim Pravilnikom o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda (NN 59/20, NN 89/22). Također, vrijednosti parametara muteži, vodljivosti i pH bile su sukladne navedenom Pravilniku. Nakon promjene dezinfekcijske metode, s dvostruke na jednostruku metodu kloriranja, u 10. mjesecu mjerenja, zabilježene su gotovo dvostruko veće koncentracije slobodnog klora i kretale su se 0,8 - 0,9 mg/L. Analizirani odabrani fizikalno-kemijski parametri prikazani su u [tablici 2](#).

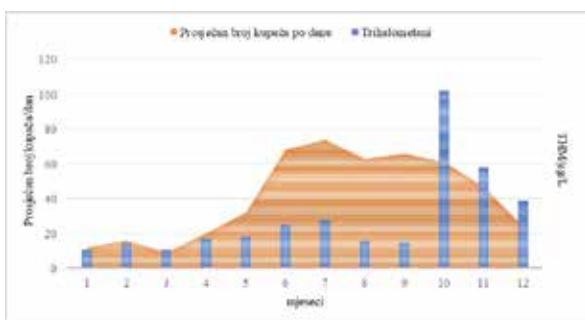
Vrlo važan čimbenik, koji može utjecati na stvaranje nusprodukata dezinfekcije u vodi bazena, količina organske tvari koju unose kupaći korištenjem bazena. Na smanjenje koncentracija THM-a svakako utječe količina izmijenjene vode. Upravo usporedba koncentracije THM-a s navedenim parametrima (broj kupaća i količina izmijenjene vode) može dati točnije informacije o ovisnosti formiranja ovih štetnih nusprodukata.

Koncentracije THM-a tijekom praćenog razdoblja kretale su se u rasponu od 10,7 do 102 µg/L. Koncentracije THM-a su znatno više u periodu kada je korištena samo jednostruka metoda dezinfekcije (samo kloriranje). Na [slici 3](#) prikazan je odnos prosječnog broja kupaća i koncentracije THM-a, iako je bilo za očekivati da će vrijednosti uspoređenih varijabli ovisiti jedna o drugoj ovom analizom to nije dokazano. Ipak, na [slici 4](#), prikazan je i međusoban odnos koncentracija THM-a i količine izmijenjene vode, te se ovom analizom uočava da u trenutku promjene vrste dezinfekcijske metode (10

mj; jednostruka metoda) dolazi do porasta koncentracija THM-a. Posljedično su se provodili sanacijski procesi te se povećavala količina izmijenjene vode nakon čega su se koncentracije THM-a znatno smanjile. Kako su fizikalno-kemijski parametri u praćenim periodima uz primjenu kombinirane i jednostruke metode bili u okviru propisanih razina, za pretpostaviti je da je na koncentraciju THM-a utjecala upravo promjena dezinfekcijske metode. Studija provedena 2020. opisala je niže koncentracije ukupnih THM-a u bazenima s dvostrukom dezinfekcijom (UV/klor) od koncentracija izmjerenih u bazenima s jednostrukom metodom (Karimi, 2020.). Sličan raspon rezultata prikazali su Silva i suradnici (2012) u istraživanju u Portugalu. Njihovi rezultati su bili u rasponu 10 - 155 µg/L dok su rezultati istraživača iz Kanade bili u rasponu 17.5 - 113.5 µg/L i 41.3 - 132.4 µg/L (Simrad i dr. 2012.; Tardif i dr. 2012.). Razlike u rezultatima u navedenim istraživanjima su ipak ovisile o veličini bazena i broju kupaća.

Kako bi se dodatno analizirala i prikazala eventualna ovisnost varijabli koncentracija analiziranih THM-a i broja kupaća za vrijeme korištenja kombinirane i jednostruke metode dezinfekcije korištena je regresijska analiza te je međusobna ovisnost prikazana linearnim grafom.

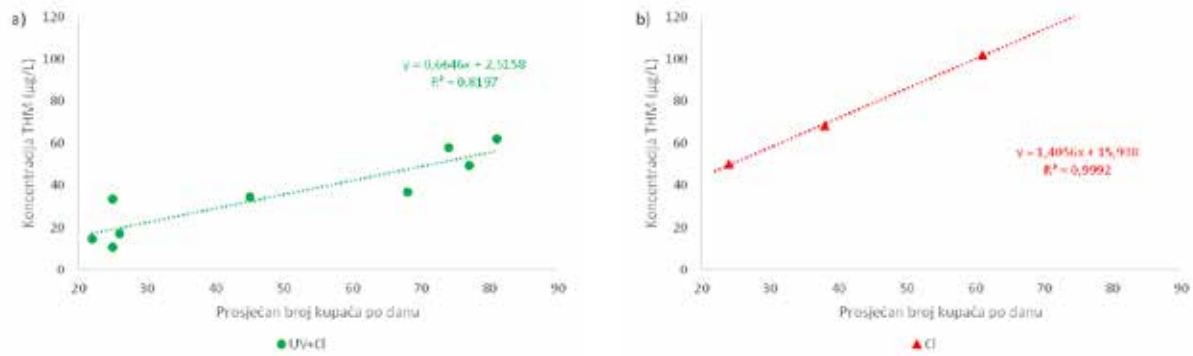
Na [slici 5](#) prikazan je linearni odnos navedenih parametara (koncentracija THM-a i broj kupaća). U periodu korištenja kombinirane metode dezinfekcije (UV + klor) [slika 5a.](#), vidljiv je blaži nagib pravca linearne krivulje što ukazuje da se koncentracija THM-a kod većeg broja kupaća povećava. Nadalje, u periodu korištenja



Slika 3: Koncentracije THM-a i prosječan broj kupaća u danu tijekom primjene kombinirane i jednostruke dezinfekcije bazenske vode



Slika 4: Koncentracije THM-a i količina izmijenjene količine vode u danu tijekom primjene kombinirane i jednostruke dezinfekcije bazenske vode



Slika 5: Linearni prikaz ovisnosti koncentracija THM-a o dnevnom broju kupača u bazenskoj vodi prema metodi dezinfekcije (a) 1 - 9 mjeseci UV + Cl; (b) od 10 - 12 Cl

jednostruke metode [slika 5b](#). iz nagiba pravca vidljivo je da koncentracije THM-a pokazuju trend porasta i kod manjeg povećanja prosječnog dnevnog broja kupača. Iz prikazanog vidljivo je da su koncentracije nusprodukata dezinfekcije pri podjednakom broju kupača veće kod primjene jednostruke metode nego kod primjene kombinirane metode dezinfekcije. Koeficijent korelacije u oba prikazana grafa pokazuje ovisnost odnosno pozitivnu korelaciju koncentracija THM-a o broju kupača. Iz svega navedenog evidentno je da se primjenom kombiniranih dezinfekcijskih metoda stvara manje nusprodukata dezinfekcije (THM-a). Do jednakih zaključaka pri uvođenju kombiniranih metoda dezinfekcije bazenske vode došao je i Kudlek i suradnici (2018.). Organska tvar prisutna u bazenskoj vodi u pravilu predstavlja prekursor stvaranja nusprodukata dezinfekcije. Neizbježan porast koncentracija takvih nusprodukata predstavlja potrebu hitne implementacije korektivnih mjera u cilju osiguravanja kemijske sigurnosti bazenske vode. Korektivne mjere svakako uključuju provođenje obaveznog tuširanja prije ulaska u bazen kao i korištenje kapa za plivanje s obzirom na to da je kosa jedan od glavnih izvora organskog onečišćenja unesenog putem kupača (Božym i dr. 2017). Povećanjem radnih sati filtracije bazenske vode kao i konstantna izmjena određene količine vode kroz kompenzacijske bazene osigurava se smanjenje koncentracija THM-a u bazenskoj vodi. Vrlo važan preduvjet pravilne dezinfekcije vode je i održavanje optimalnog pH vode (6,5 - 7,3). U cilju osiguranja ukupne kemijske sigurnosti bazenske vode neophodno je kontinuirano praćenje parametara kao

što su slobodni klor i oksidativnost (Marco i dr. 2015). Imperativ je strogo poštivanje standarda koncentracije slobodnog klora u bazenskoj vodi (0,2 - 1,0 mg/l) te održavanju unutar Pravilnikom preporučenih vrijednosti (NN 59/2020; 89/2022). Rezultati naše studije, kao i sličnih studija, u budućnosti će svakako pomoći u provedbi mjera usmjerenih na smanjenje ovih štetnih spojeva u bazenskoj vodi te posljedično, poboljšati zdravstvenu sigurnost za korisnike bazena.

4. ZAKLJUČCI

Provedbom jednogodišnjeg istraživanja analizirani kemijski parametri ukazuju da:

- vrijednosti odabranih fizikalnih parametara temperature, boje, muteži, vodljivosti, i pH tijekom istraživanog perioda nisu značajno varirale
- koncentracije slobodnog klora se povećavaju promjenom vrste dezinfekcije sa kombinirane metode (UV zračenje/kloriranje) na jednostruku metodu (samo klor).
- praćenim odnosom koncentracija THM-a i broja kupača nije potvrđena direktna povezanost.
- koncentracije THM-a se znatno smanjuju povećanjem količine izmijenjene vode
- upotrebom kombiniranih metoda dezinfekcije bazenske vode (UV zračenje/kloriranje) može se smanjiti produkcija štetnih nusprodukata dezinfekcije (THM-a)
- provedba preventivnih mjera higijene ali i korektivnih mjera filtracije i izmjene bazenske vode doprinosi osiguranju kemijske sigurnosti bazenske vode i smanjenju potencijalnih rizika za zdravlje korisnika.

LITERATURA

Aggazzotti, G.; Predieri, G. (1986): Survey of volatile halogenated organics (VHO) in Italy. Levels of VHO in drinking waters, surface waters and swimming pools. *Water Research*, 20, 959–963.

Božym, M., Kłosok-Bazan, I., Wzorek, M. (2018): Analyzing THM Concentrations in Selected Indoor

Swimming Pool Waters in the Opole Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(3), 1001-1008. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75828>

Božym, M.; Małgorzata, W.; Kłosok-Bazan I. (2017): Health risk as a consequence of exposure to trihalomethanes in swimming pool water. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higijeny*, 68, 331-337.

- Chowdhury, S.; Mazumder, A. J.; Husain, T. (2016). Predicting bromide incorporation in a chlorinated indoor swimming pool. *Environmental Science and Pollution*, 23(12), 12174-12184.
- Chu, H.; Nieuwenhuijsen, M.J. (2002): Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occupational and Environmental Medicine*, 59, 243–247.
- Dilnessa, T.; Demeke G. (2016): Microbiological, physical and chemical quality of swimming water with emphasize bacteriological quality, *Global Journal of Medical Research: Microbiology and pathology*, 16(2), 19-27.
- Ekowati, Y.; Ferrero, G.; Farré M. J.; Kennedy M.D.; Buttiglieri G. (2019): Application of UVOX Redox® for swimming pool water treatment: Microbial inactivation, disinfection byproduct formation and micropollutant removal. *Chemosphere*, 220 176-184.
- Giampaoli S.; Romano Spica V. (2014): Health and safety in recreational waters. *Bulletin of the World Health Organisation*; 92(2),79.
- Judd, S. J.; Jeffrey, J. (1995): Trihalomethane formation during swimming pool water disinfection using hypobromous and hypochlorous acids. *Water Research*. 29, 1203–1206. doi:10.1016/0043-1354(94)00230-5
- Karimi B. (2020): Formation of disinfection by-products in the swimming pool water treated with different disinfection types. *Desalination and Water Treatment*, 175, 174-181.
- Kim, H.; Shim, J.; Lee, S. (2002): Formation of disinfection by-products in chlorinated swimming pool water. *Chemosphere* 46, 123–130. doi:10.1016/S0045-6535(00)00581-6
- Kudlek, E.; Lempart, A.; Dudziak M.; Bujak, M. (2018): Impact of the UV lamp power on the formation of swimming pool water treatment by-products. *Architecture Civil Engineering Environment*, 11(3), 131—138.
- Lee, J.; Ha, K.T.; Zoh, K.D. (2009): Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. *Science of Total Environment* 407: 1990-1997
- Manasfi T.; Temime-Roussel B.; Coulomb B.; Vassalo L.; Boudenne J.L. (2017): Occurrence of brominated disinfection byproducts in the air and water of chlorinated seawater swimming pools. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 220(3),583-590. doi: 10.1016/j.ijheh.2017.01.008.
- Marco, E.; Lourencetti C.; Grimalt J.O.; Gari M.; Fernández P.; Font-Ribera L.; Villanueva C.M.; Kogevinas M. (2015): Influence of physical activity in the intake of trihalomethanes in indoor swimming pools. *Environmental Research*. 140, 292-299.
- Masschelein, J. W. (2002): *Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation*. Lewis Publisher, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- Mishra B.K.; Gupta S.K., Sinha A. (2014): Human health risk analysis from disinfection by-products (DBPs) in drinking and bathing water of some Indian cities. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12, 73-83.
- Omerdić, N. (2021): Kloriranje vode, *Hrvatske vode* 29, 116, 133-138
- Pentamwa P.; Sukton B.; Wongklom T.; Pentamwa S. (2013): Cancer risk assessment from trihalomethanes. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(5), 538-544.
- Pravilnik o sanitarno-tehničkim i higijenskim uvjetima bazenskih kupališta, te o zdravstvenoj ispravnosti bazenskih voda, (NN 59/2020; 89/2022).
- Richardson, S. D.; DeMarini, D. M.; Kogevinas, M., Fernandez, P.; Marco, E., Lourencetti, C., Ballesté, C.; Heederik, D.; Meliefste, K.; McKague, A. B.; Marcos, R.; Font-Ribera, L.; Grimalt, J.O.; Villanueva, C.M. (2010): What's in the Pool? A Comprehensive Identification of Disinfection By-products and Assessment of Mutagenicity of Chlorinated and Brominated Swimming Pool Water. *Environmental Health Perspective*, 118, 1523–1530.
- Silva, Z. I., Rebelo, M.H. Silva, M. M., Alves, A. M., Cabral, Mda C., Almeida, A. C., Aguiar, F. R., de Oliveira, A. L., Nogueira, A.C., Pinhal, H.R., Aguiar, P.M., Cardoso, A. S. (2012): Trihalomethanes in Lisbon indoor swimming pools: occurrence, determining factors, and health risk classification. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*: 75, 878-892.
- Simard, S., Tardif, R., Rodriguez, M. J. (2013): Variability of chlorination by-product occurrence in water of indoor and outdoor swimming pools. *Water Research*; 47(5): 1763-1772.
- Tardif, R., Catto, C. Haddad S., Simard S., Rodriguez M. (2016): Assessment of air and water contamination by disinfection by-products at 41 indoor swimming pools. *Environmental Research*; 148, 411-420.
- Tomić Linšak, D.; Keše, D.; Broznić, D.; Vukić, L.D.; Cenov, A.; Morić, M.; Gobin, I. (2021): Sea water whirlpool spa as a source of *Legionella* infection. *Journal of Water and Health*, available online; jwh2021150. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2021.150>
- Tomić Linšak, D.; Gašaj, I.; Gobin I. (2021): Preživljavanje legionela u morskoj vodi. *Hrvatske vode* 29: 116, 75-82.

TRIHALOMETHANES IN POOL WATER DURING IMPLEMENTATION OF THE COMBINED DISINFECTION METHOD (UV IRRADIATION AND CHLORINATION)

Abstract. Pool water must meet certain physical, chemical and microbiological condition in order to achieve health safety. Disinfection plays an important role in order to maintain the quality of pool water, and is the main method for removal and correction of microbiological and chemical dangers. The most frequent method during pool water conditioning is a disinfection with chlorine products, whereby one must be mindful of harmful by-products concentrations. Therefore, the approach combining the chlorination method with the use of ultraviolet lamps is often applied. During a one-year research was conducted into the double disinfection technology (UV irradiation/ chlorination) for pool water. The concentrations of selected chemical parameters (free chlorine, trihalomethanes, etc.) in fresh water indoor pool were monitored. In addition to a chemical parameters analysis, the monitoring of the average number of bathers and the dynamics and quantity of exchanged water were monitored as well. In the observation period, a total of 12 water samples were analysed. Increased concentrations of trihalomethane (THM) and free chlorine were measured in the period of single disinfection method, although their values did not exceed Maximum Permissible Limit values. The analysis results indicate that changes in THM concentrations depend on the method of implemented disinfection and the number of bathers, but show no dependence on the quantity of exchanged water. The results show that it is necessary to establish a continuous control of harmful by-products of disinfection and an adequate implementation of corrective measures for health protection of pool users.

Key Words: pool water, corrective measures, disinfection by-products, trihalomethanes.

TRIHALOMETHANE IM POOLWASSER UNTER ANWENDUNG DES KOMBINIERTEN DESINFEKTIONSVERFAHRENS (UV-STRAHLUNG UND CHLORIERUNG)

Zusammenfassung. Um die menschliche Gesundheit zu gewährleisten, muss das Poolwasser bestimmte physikalische, chemische und mikrobiologische Eigenschaften aufweisen. Daher spielt die Desinfektion eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung der Qualität des Badewassers und ist die grundlegende Methode zur Beseitigung mikrobiologischer und chemischer Gefahrenquellen. Die gebräuchlichste Methode zur Aufbereitung des Poolwassers ist die Desinfektion mit Chlorpräparaten, wobei die Konzentrationen schädlicher Nebenprodukte berücksichtigt werden müssen, weshalb häufig kombinierte Chlorierungsverfahren mit dem Einsatz von Ultraviolettlampen (UV) zum Einsatz kommen. Während dieser einjährigen Forschungsstudie wurde eine doppelte Desinfektionstechnologie (UV-Strahlung/Chlorierung) angewendet und die Konzentrationen ausgewählter chemischer Parameter (freies Chlor, Trihalogenmethan usw.) im Süßwasser-Innenpool überwacht. Neben der Analyse chemischer Parameter wurden auch die durchschnittliche Anzahl der Badegäste sowie die Dynamik und das Volumen des ausgetauschten Wassers überwacht. Im beobachteten Zeitraum wurden insgesamt 12 Wasserproben analysiert, wobei während der Anwendungsdauer der Einzeldesinfektionsmethode erhöhte Konzentrationen an Trihalogenmethan (THM) und freiem Chlor gemessen wurden, jedoch haben die Werte den maximal zulässigen Grenzwert nicht überschritten. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Veränderung der THM-Konzentration von der Desinfektionsmethode abhängt. Die Analyse der THM-Konzentration zeigt keine Abhängigkeit von der Anzahl der Badegäste, wohl aber eine Abhängigkeit von der Menge des ausgetauschten Wassers. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es zum Schutz der Gesundheit der Badegäste erforderlich ist, kontinuierliche Kontrollen schädlicher Desinfektionsmittel durchzuführen und angemessene Korrekturmaßnahmen anzuwenden.

Schlüsselwörter: Poolwasser, Korrekturmaßnahmen, Desinfektionsnebenprodukte, Trihalogenmethan.

