

Problem onesnaženja bazenskih voda s trihalometani v Sloveniji

Contamination of Bathing Waters with Trihalomethanes in Slovenia

Darko Drev,¹ Aleksandra Krivograd Klemenčič,^{1,2} Janez Škarja,³ Jože Panjan²

¹ Inštitut za vode
Republike Slovenije,
Hajdrihova ulica 28c,
1000 Ljubljana

² Univerza v
Ljubljani Fakulteta
za gradbeništvo in
geodezijo, Jamova 2,
1000 Ljubljana

³ Nacionalni laboratorij
za zdravje, okolje in
hrano, Prvomajska 1,
2000 Maribor

Korespondenca/ Correspondence:

Darko Drev,
e: darko.drev@gmail.com

Ključne besede:

dezinfekcija; kopalne
vode; rakotvornost;
stranski produkti
kloriranja; trihalometani

Key words:

disinfection; bathing
waters; carcinogenicity;
chlorination by-products;
trihalomethanes; public
swimming pools

Citirajte kot/Cite as:

Zdrav Vestn 2015;
84: 659–69

Izvleček

Trihalometani (THM) nastajajo kot stranski produkti dezinfekcije pri uporabi klor. Nastajajo kot rezultat reakcije klor in/ali broma z organsko snovjo, ki je prisotna v vodi. V bazenskih kopalnih vodah Slovenije predstavljajo THM velik problem, saj je v zdravstvenih regijah od 15–80 % oporečnih vzorcev zaradi THM. Še slabše je verjetno v tistih državah, ki v bazenskih vodah THM sploh ne kontrolirajo. K sreči koncentracije THM v slovenskih bazenih niso posebno visoke. Vendar pa je vsaka prekoračena vrednost THM zdravju škodljiva. Kadar je menjava vode velika, se prekoračene vsebnosti THM ne pojavljajo. Kadar pa je menjava vode redkejša, se pri neustrezni tehnologiji priprave bazenske vode praviloma pojavljajo povečane vsebnosti THM. Današnje stanje tehnike omogoča učinkovito pripravo bazenskih voda, pri čemer ne nastajajo povečane vsebnosti THM.

Abstract

Trihalomethanes (THM) are by-products of disinfection of bathing waters with chlorine. They are formed by reaction of chlorine and/or bromine with the organic matter present in the water. THM represent a major problem in public swimming pools in Slovenia as according to the data of National monitoring program THM levels in public swimming pools in Slovenia in years 2005–2011 exceeded the legally permitted limits in 15 % to 80 % of samples. In the countries where level of THM in the bathing waters is not regulated by national legislation, the situation could be much worse. The THM concentrations in Slovenian swimming pools are not high; although each exceeded THM value is harmful to human health. When an adequate quantity of water in public swimming pools is exchanged on regular basis, the levels of THM are usually not exceeded but when the quantity of exchanged water is not adequate or technology of bathing water preparation is not appropriate, THM values usually exceed legally permitted limits. Today's state of the art of bathing water preparation techniques allows the efficient preparation of bathing water without resulting in increased levels of THM.

Uvod

Pri obstoječih postopkih priprave kopalnih voda je v Sloveniji in mnogih drugih državah predpisana uporaba klor.¹ Klor je

tudi najpogostejše uporabljeno dezinfekcijsko sredstvo pri pripravi pitne vode.² Uporaba klor za pripravo pitne in kopalne vode

Prispelo: 7. feb. 2015,
Sprejeto: 27. jul. 2015

Tabela 1: Vsi teoretično možni trihalometani (THM).⁶

Trisubstituirani halogenirani metani	CHF ₃ , CHClF ₂ , CHBrF ₂ , CHF ₂ I, CHCl ₂ F, CHBrClF, CHClFI, CHBr ₂ F, CHBrFI, CHF ₂ I ₂ , CHCl ₃ , CHBrCl ₂ , CHCl ₂ I, CHBr ₂ Cl, CHBrClI, CHClI ₂ , CHBr ₃ , CHBr ₂ I, CHBrI ₂ , CHI ₃
--------------------------------------	---

priporoča tudi Svetova zdravstvena organizacija.³ To je razumljivo, saj je klor v različnih aktivnih oblikah učinkovit za večino mikroorganizmov. Poleg tega je klor cenovno sprejemljiv. Glavna prednost klora pred večino ostalih dezinfekcijskih sredstev je njegova relativna stabilnost. Aktivni klor ostane prisoten v pitni ali bazenski vodi tudi na mestu uporabe. To je bistvena prednost od O₃ ali H₂O₂, ki pa sta kot dezinfekcijski sredstvi učinkovitejša od Cl₂. Plinski klor ter večina aktivnih klorovih spojin (NaOCl, itd.) žal niso dovolj učinkoviti proti bakterijam iz skupine Legionelle.⁴ Vendar pa to ni glavni predmet tega članka. V članku se omejujemo predvsem na nastanek THM kot posledico uporabe klora za dezinfekcijo bazenske vode. Problematika bazenskih kopalšč in bazenskih kopalnih voda je pravno urejena v Sloveniji z Zakonom o varstvu pred utopitvami.⁵ Na osnovi zakona so bili sprejeti pravilniki, ki podrobneje obravnavajo omenjeno problematiko, med njimi tudi Pravilnik o minimalnih higienskih in drugih zahtevah za kopalne vode,¹ v nadaljnjem besedilu Pravilnik. S Pravilnikom so določene dopustne koncentracije mikroorganizmov ter fizikalno kemijskih parametrov, med njimi tudi THM. THM so zelo preproste organske molekule. Trije od štirih atomov vodika v metanu so zamenjani z atomi halogenih elementov. Če vemo, da so halogeni atomi štirje: fluor (F), klor (Cl), brom (Br) in jod (I), je vseh možnih teoretičnih kombinacij in posledično spojin 20. Prikazane so v Tabeli 1.

Pri dezinfekciji s klorom in ostalimi sorodnimi sredstvi nastajajo ob prisotnosti organskega materiala v vodah v glavnem le štirje THM v merljivih koncentracijah.⁷ Tudi Pravilnik obravnava parameter kot vsoto THM, ki so označeni s krepkim tiskom v Tabeli 1.

Najbolj skrb vzbujajoče lastnosti teh štirih THM pa so zapisane v Tabeli 2, kajti vsi spadajo med možne kancerogene spojine. V preglednici so razvrščene v skupine (IARC).

Z vidika sanitarnega inženirstva THM ne predstavlja tako urgentnega problema kot mikrobiološko onesnaženje. Pri kontaminaciji s THM pride do postopne kontaminacije, oziroma akumuliranja THM v organizmu.⁹ Koncentracije THM, ki so prisotne v bazenskih vodah, so tako nizke, da ne more priti do akutne zastrupitve.¹⁰ Zato je lahko postopna kontaminacija s THM še bolj zahrbtna, saj zanjo sploh ne vemo oz. jo težko predvidimo.

Metode

Tabela 2: Kancerogenost trihalometanov (THM).⁸

THM	Skupina kancerogenosti (IARC)
Kloroform	2B
Bromodiklorometan	2B
Dibromodiklorometan	3
Bromoform	3

Preiskave bazenskih kopalnih voda so se izvajale v skladu s predpisi, ki veljajo v Sloveniji za bazenske kopalne vode. Izvajali so jih pooblaščenim laboratorijem regionalnih Zavodov za zdravstveno varstvo. V Tabelah 3 in 4 so navedene analitske metode in vrednosti preiskovanih parametrov v skladu s Pravilnikom.

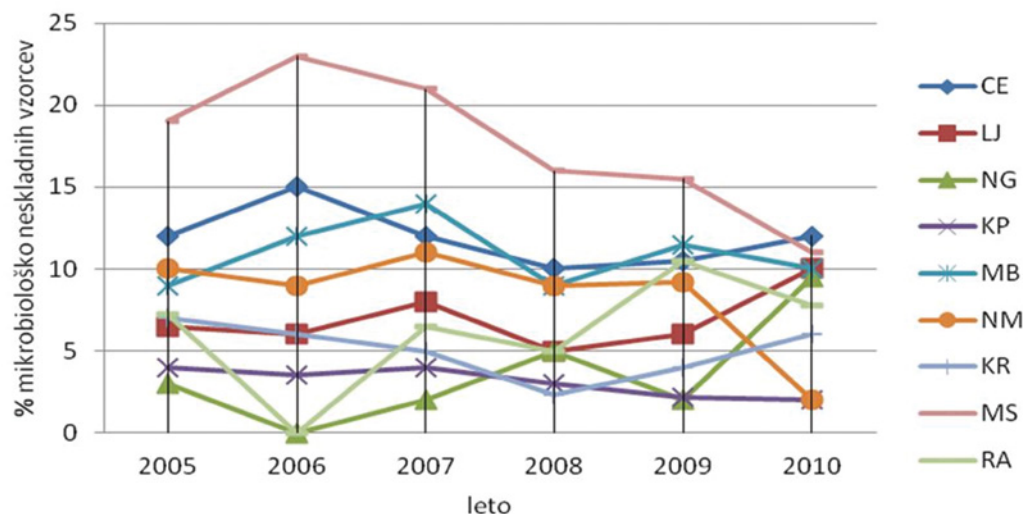
Pregledali in ovrednotili smo monitoriranje kakovosti bazenskih voda, ki se je izvajalo v okviru državnega monitoriranja bazenskih kopalnih voda od leta 2005 do 2012.

Bazene s področja Ljubljanske in Celjske zdravstvene regije smo pregledali podrobneje tudi z vidika kakovosti in tehnologij.

Pregledali smo stanje tehnike za pripravo bazenskih voda in nove trende, ki se pri tem pojavljajo.

Izvedli smo določene raziskave priprave bazenskih voda, druge pa so v teku (koa-

Slika 1: Delež mikrobiološko neskladnih vzorcev po zdravstvenih regijah od leta 2005 do 2010 (vir: podatki iz monitoriranja).



gulacija, adsorpcija, hidromehanska in ultrazvočna kavitacija, uporaba nano TiO₂, membranska filtracija itd.). Te raziskave niso predmet članka.

Rezultati

Raziskava kakovosti bazenskih kopalnih voda v Sloveniji

Na Sliki 1 je naveden delež mikrobiološko neskladnih vzorcev bazenskih kopalnih

voda po zdravstvenih regijah od leta 2005 do 2010. Delež mikrobiološko neskladnih vzorcev se je od leta 2005 do 2010 znatno zmanjšal. Število neskladnih vzorcev je bilo leta 2010 od 2–12 %, odvisno od zdravstvene regije.

Na Sliki 2 pa je prikazan delež fizikalno-kemijsko neskladnih vzorcev bazenskih kopalnih voda po zdravstvenih regijah od leta 2005 do 2010. Ti rezultati pa so kritični. V letu 2010 je bil delež neskladnih vzorcev

Tabela 3: Mejne vrednosti za mikrobiološke parametre in predpisane metode za izvajanje meritev.¹

Parameter	Enota	Mejna vrednost	Metoda laboratorijskega preskušanja
Število kolonij pri 36 ± 2 °C	Št. v 1ml	100	SIST EN ISO 6222 ali uporaba metode, za katero je po SIST EN ISO 17994 dokazano, da so rezultati vsaj toliko zanesljivi, kot jih da standardna metoda.
<i>Escherichia coli</i>	Št. v 100 ml	n.n. 1)	SIST EN ISO 9308–1 ali uporaba metode, za katero je po SIST EN ISO 17994 dokazano, da so rezultati vsaj toliko zanesljivi, kot jih da standardna metoda.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Št. v 100 ml	n.n. 1)	SIST EN ISO 16266 ali uporaba metode, za katero je po SIST EN ISO 17994 dokazano, da so rezultati vsaj toliko zanesljivi, kot jih da standardna metoda.
<i>Legionella</i> sp. (2)	Št. v 100 ml	n.n. 1)	SIST EN ISO 11731–2 ali uporaba metode, za katero je po SIST EN ISO 17994 dokazano, da so rezultati vsaj toliko zanesljivi, kot jih da standardna metoda.
<i>Staphylococcus aureus</i> (3)	Št. v 1 ml	n.n. 1)	Nasajanje določene količine vzorca na selektivno gojišče oziroma smiselna uporaba določil SIST EN ISO 6888–1 ali uporaba metode, za katero je po SIST EN ISO 17994 dokazano, da so rezultati vsaj toliko zanesljivi, kot jih da standardna metoda.

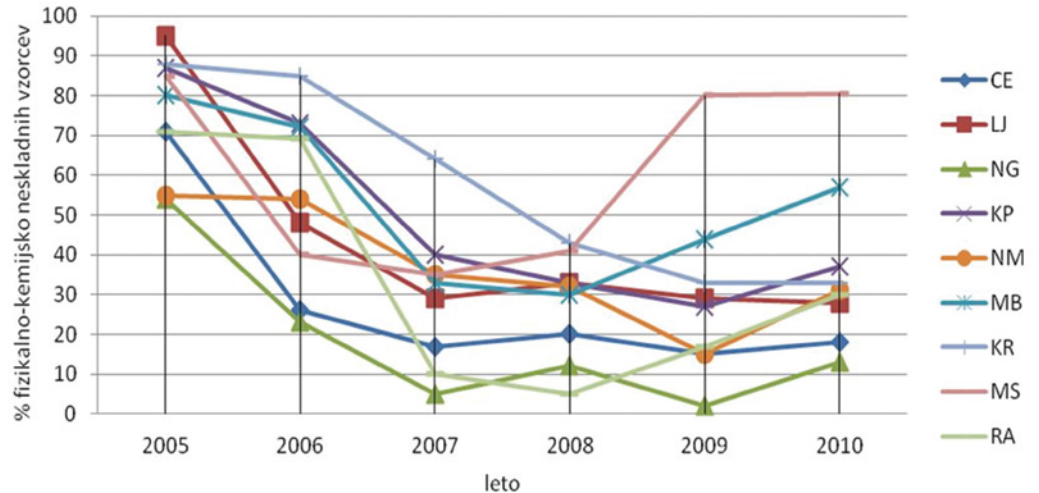
Tabela 4: Mejne vrednosti za fizikalno kemijske parametre ter predpisane metode za izvajanje meritev.¹

Parameter	Enota	Mejna vrednost	Metoda laboratorijskega preskušanja
pH-vrednost 1)			elektrometrija
(a) sladka voda		6,5–7,6	
(b) morska voda		6,5–7,8	
(c) naravna mineralna voda		6,5–7,8	
Motnost	NTU	≤0,5	turbidimetrija
Prosti klor 2)	mg/l	0,3–0,6 3), 4)	kolorimetrija
Vezani klor	mg/l	≤0,3	
Redoks potencial proti Ag/AgCl 3,5 m KCl 1), 5)			elektrometrija
za sladko vodo			
a) 6,5 ≤ pH vrednost ≤ 7,3	mV	min 750	
b) 7,3 < pH vrednost ≤ 7,6	mV	min 770	
za morsko vodo			
a) 6,5 ≤ pH vrednost ≤ 7,3	mV	min 700	
b) 7,3 < pH vrednost ≤ 7,8	mV	min 720	
za naravno mineralno vodo in vodo z vsebnostjo klorida > 5000 mg/l, kot tudi za vodo, ki vsebuje bromid ali jodid nad 0,5 mg/l, za naravno mineralno vodo	mV	mejno vrednost je treba določiti eksperimentalno.	
Trihalometani (vsota)	mg/l	0,050	GC/ECD, HS/GC/ECD
Klorit 1), 6)	mg/l	0,1	kolorimetrija, IC
Ozon 2), 7)	mg/l	0,05	kolorimetrija
Cianurna kislina 2), 8)	mg/l	50	kolorimetrija

Pomen oznak v preglednici 4:

1. Meritev na terenu ali v laboratoriju.
2. Meritev na terenu.
3. Izjemoma so za omejen čas za zagotovitev skladnosti s predpisanimi mikrobiološkimi parametri higienskih zahtev za kopalne vode dopustne višje koncentracije, vendar koncentracija prostega klora v kopalni vodi ne sme preseči 1,2 mg/l.
4. V bazenih s temperaturo vode ≥ 23 °C in možnostjo aerosolizacije vode mora biti koncentracija prostega klora najmanj 0,7 in največ 1,0 mg/l.
5. Pri kontinuiranem merjenju redoks potenciala znaša dovoljena merilna napaka ± 20 mV. Pri občutno nižjih vrednostih kot so navedene v tabeli, je treba preveriti delovanje naprave za pripravo vode. Pri navajanju izmerjene vrednosti je treba navesti referenčno elektrodo oziroma podatke, da je vrednost preračunana.
6. Če se pri pripravi vode uporablja klorov dioksid.
7. Če se pri pripravi vode uporablja ozon.
8. Če se pri pripravi vode uporabljajo kloroizocianurati.

Slika 2: Delež fizikalno-kemijsko oporečnih vzorcev po zdravstvenih regijah od leta 2005 do 2010 (vir: podatki iz monitoriranja).



med 12–80 %. Z 80 % neskladnimi vzorci je prednjačila Pomurska zdravstvena regija.

Na Sliki 3 je prikazan delež mikrobiološko in fizikalno-kemijsko oporečnih vzorcev po zdravstvenih regijah od leta 2005 do 2010. Ta slika je skoraj v celoti identična s sliko, ki predstavlja fizikalno-kemijsko oporečnost. To je tudi razumljivo, saj je trenutno glavni problem pri kakovosti bazenske vode fizikalno-kemijska oporečnost. THM pa predstavlja pri tem glavno onesnaževalo. To je razvidno tudi s Slik 1 in 3. Leta 2005 je bila mejna vrednost za THM 0,020 mg/L. Ker so bili rezultati tako slabi, so naslednje leto mejno vrednost začasno dvignili na 0,050 mg THM/L. Ker se stanje ni izboljšalo, je ta mejna vrednost ostala tudi v zadnji verziji Pravilnika.¹

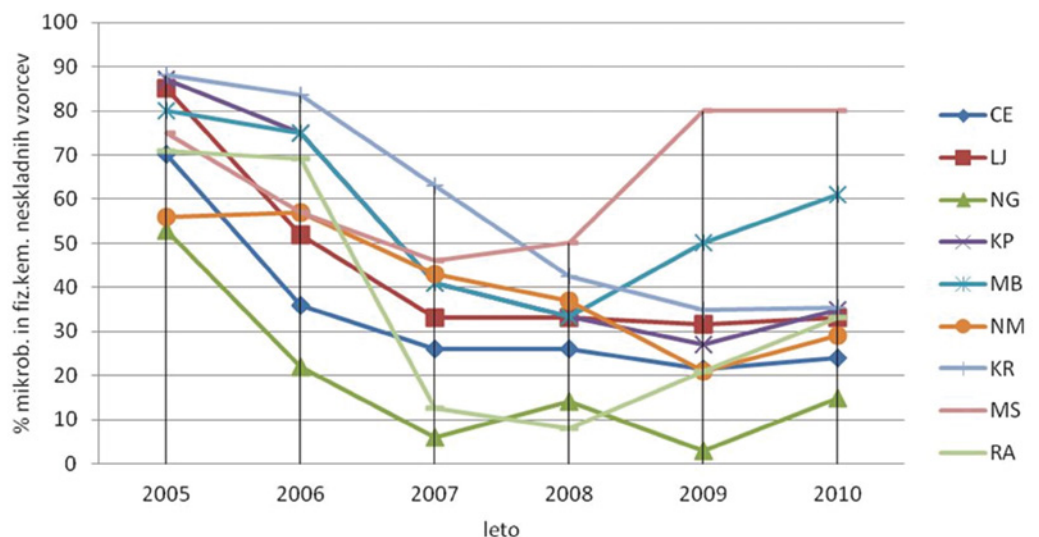
Raziskava kontaminacije bazenskih voda s THM v treh značilnih bazenih

Izbrali smo tri javna kopališča, v katerih je zelo veliko tveganje za možnost kontaminacije kopalcev, saj gre za zdravstveno občutljivo populacijo. V članku se omejujemo le na snovi, ki so posledica dezinfekcije s klorom.

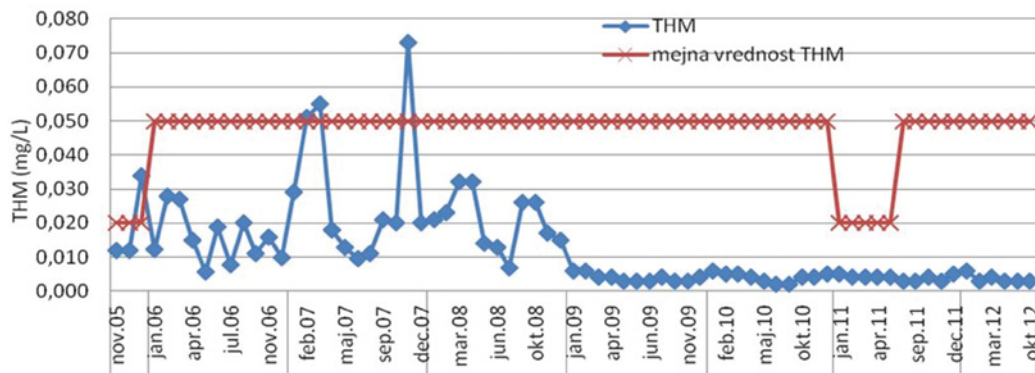
V kopališču 1 smo izvedli 73 preiskav. Samo pri eni preiskavi smo ugotovili mikrobiološko neskladnost zaradi preseženega števila kolonij pri 36 °C. Izvedeno je bilo tudi sedem preiskav na prisotnost legionele. V nobenem od vzorcev ni bila ugotovljena prisotnost legionele.

Pri kopališču 2 smo izvedli 39 preiskav, od katerih smo ugotovili pri enem vzorcu

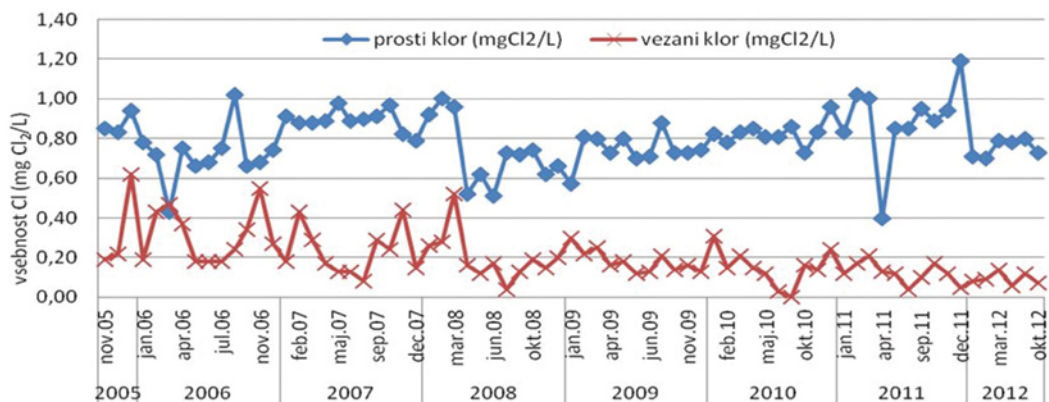
Slika 3: Delež mikrobiološko in kemijsko oporečnih vzorcev po zdravstvenih regijah od leta 2005 do 2010 (vir: podatki iz monitoriranja).



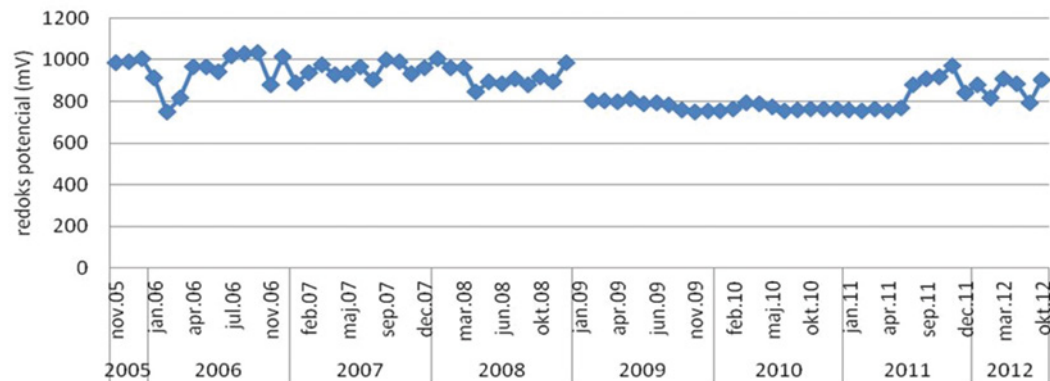
Slika 4: Rezultati preiskav trihalometanov (THM) v kopališču št. 1.



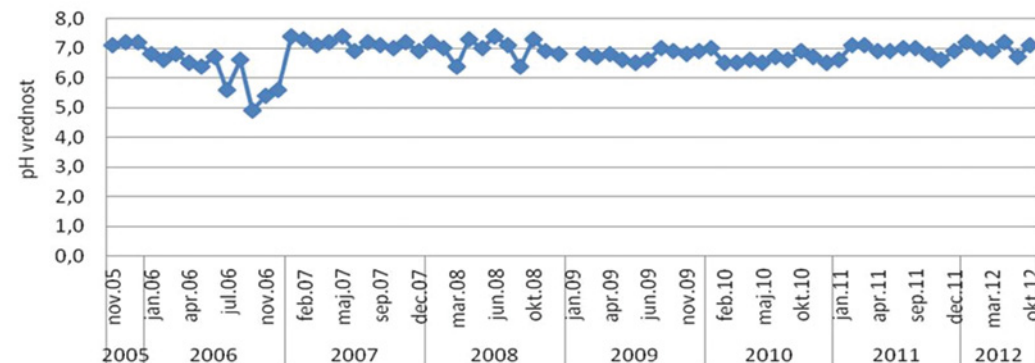
Slika 5: Rezultati preiskav prostega in vezanega klora v kopališču št. 1.



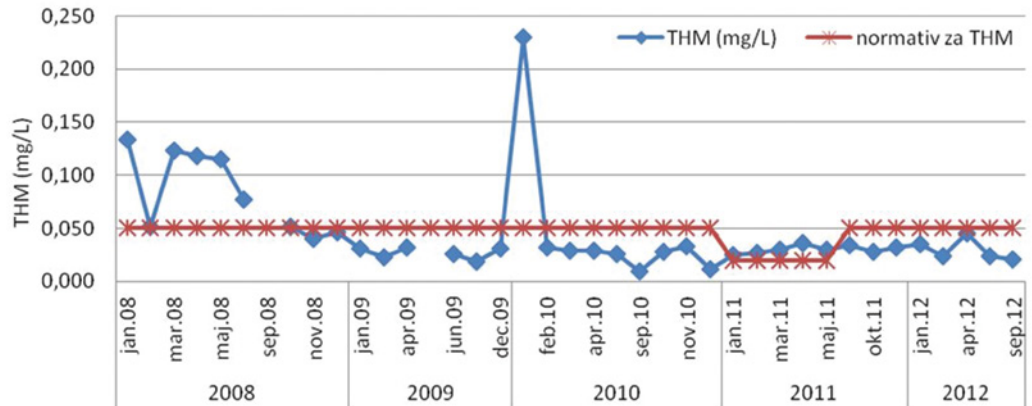
Slika 6: Rezultati meritev redoksnega potenciala v kopališču št. 1.



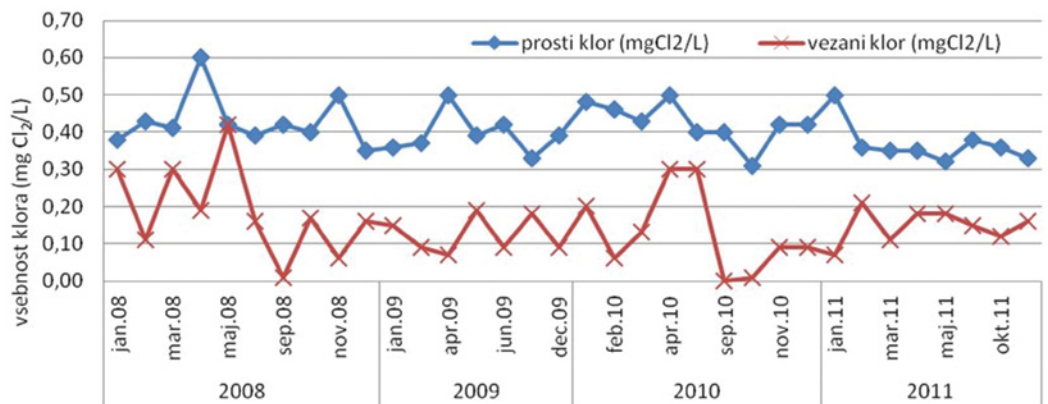
Slika 7: Rezultati meritev vrednosti pH v kopališču št. 1.



Slika 8: Rezultati preiskav trihalometanov (THM) v kopališču št. 2.



Slika 9: Rezultati preiskav vsebnosti prostega in vezanega klora v kopališču št. 2.



mikrobiološko neskladnost zaradi preseženega števila kolonij pri 36 °C.

Na kopališču 3 smo izvedli 54 preiskav, od katerih sta bila dva vzorca mikrobiološko neustrezna. Pri enem vzorcu smo ugotovili prekoračeno vsebnost števila kolonij pri 36 °C ter prisotnost bakterij *Pseudomonas aeruginosa*, pri drugem pa samo prisotnost *Pseudomonas aeruginosa*.

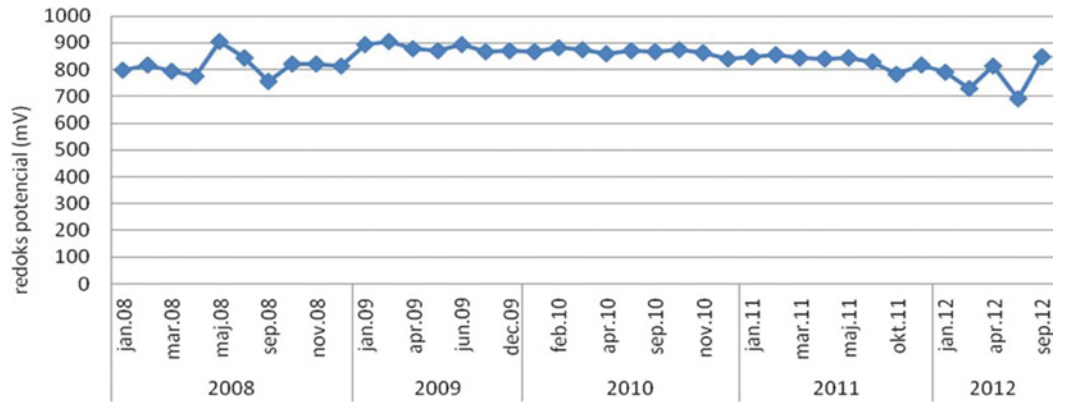
V primeru, ko je bilo v vzorcu kopalne vode iz bazena 1 ugotovljeno preseženo število kolonij pri 36 °C, je vrednost prostega in vezanega klora znašala 0,83 mg Cl₂/L oziroma 0,12 mg Cl₂/L. Tudi pri preostalih mikrobiološko neskladnih vzorcih niso bila ugotovljena odstopanja pri vzdrževanju predpisanih vrednosti fizikalno kemijskih parametrov, pomembnih za učinkovitost dezinfekcije. Dezinfekcija je bila uspešna, zatajilo pa je splošno vzdrževanje vseh elementov priprave kopalne vode. Na primer: niso kontrolirali uspešnosti izvedbe občasnih šokovnih dezinfekcij po celovitem čiščenju bazena in filtra ali pa niso zamenjali filtrovega medija. Na bazenu 3 je bila avgu-

sta 2011 vgrajena naprava z membranskim filtrom za pripravo kopalne vode (DARRTECH ULTRA FILTRATION INGE – ULTRA – S 250 mm 5 bar EPDM).

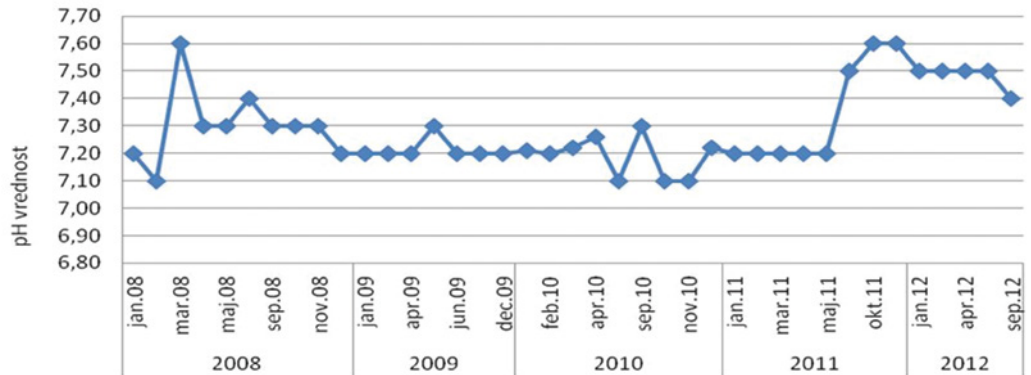
V kopališču št. 1 je bila vsebnost THM v obravnavanem obdobju večinoma pod predpisano mejo. Eden od razlogov je gotovo lahko tudi ta, da upravljalec tedensko očisti bazen in zamenja kopalno vodo. Prekoračitev je bila pri eni meritvi leta 2005, ko je bilo merilo 0,020 mg THM/L, in dvakrat v letu 2007, ko je bilo merilo 0,050 mg THM/L. Od leta 2007 do 2012 je bila vsebnost THM ves čas pod 0,020 mg THM/L. Redokсни potencial je enkrat prekoračeval dovoljeno vrednost pri izmerjenih vrednostih pH.

Nekoliko slabši so rezultati v kopališču št. 2. Vsebnost THM je bila večinoma nad 0,020 mg/L. Ena meritev je to vrednost presežala za več kot 10-krat. Približno 30 % vzorcev je prekoračevalo mejno vrednost 0,050 mg THM/L, 75 % pa mejno vrednost 0,020 mg THM/L. Redokсни potencial je bil pri izmerjenih vrednostih pH enkrat prekoračen.

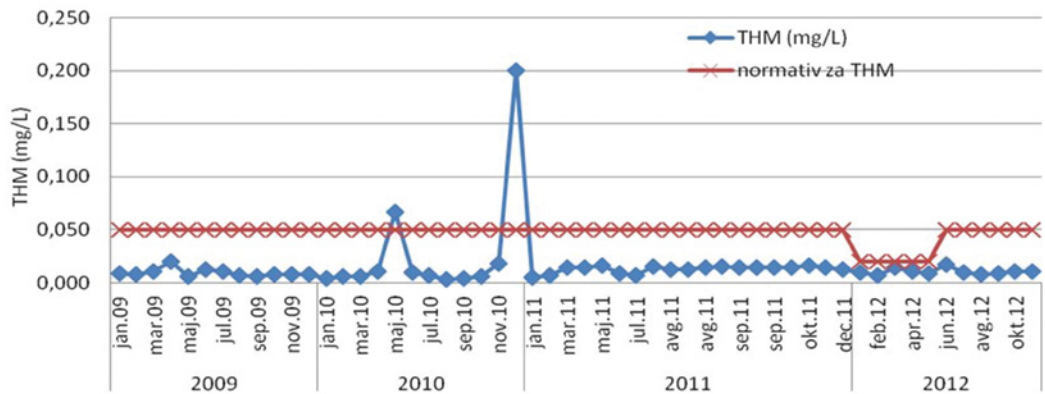
Slika 10: Rezultati meritev redoksnega potenciala v kopališču št. 2.



Slika 11: Rezultati meritev vrednosti pH v kopališču št. 2.



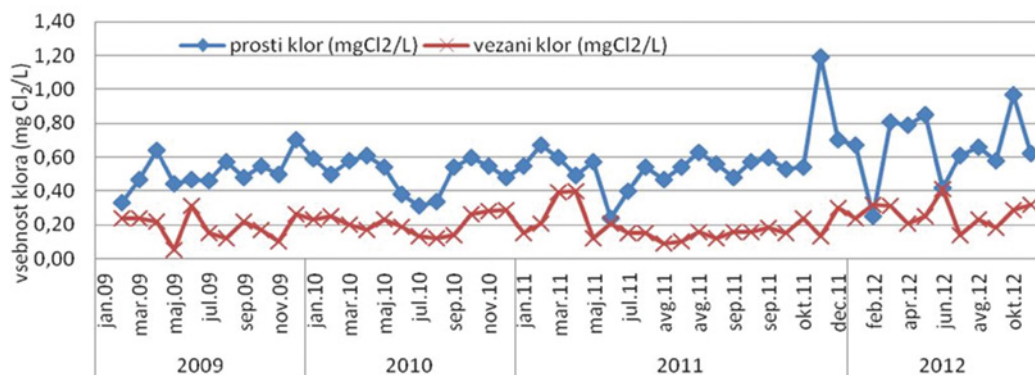
Slika 12: Rezultati preiskav trihalometanov (THM) v kopališču št. 3.



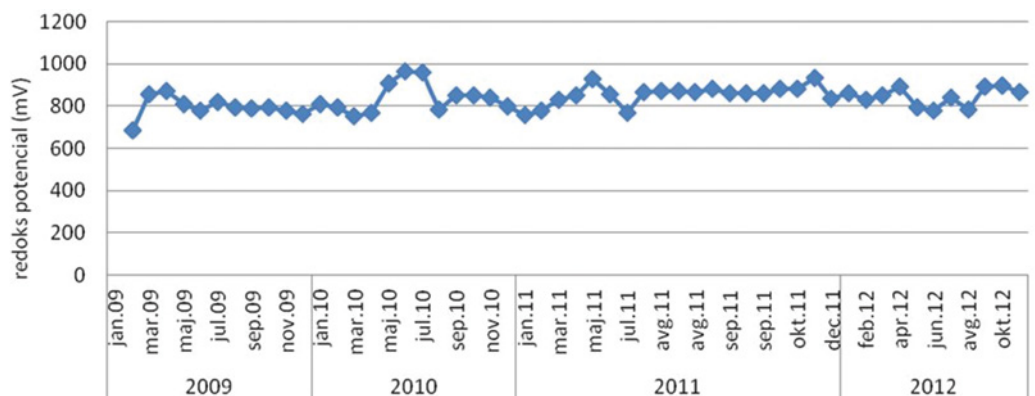
Kakovost vode v kopališču št. 3 je bila nekoliko boljša. Prekoračena vsebnost THM se je pojavila v obdobju 2009–2012 samo dvakrat. Po vgradnji ultrafiltracijske naprave THM niso bili več prekoračeni. Izmerjene vrednosti so bile tudi pod 0,020 mg THM/L. Ena prekoračitev iz leta 2009 je bila precejšnja, druga pa je le malo presegala mejno vrednost 0,050 mg THM/L. Vse ostale meritve so bile pod 0,020 mg THM/L. Redoksní potencial je bil pri izmerjeni vrednostih pH enkrat prekoračen.

Če pogledamo rezultate preiskav vsebnosti prostega in vezanega klora v kopališču št. 3, lahko opazimo, da so se vrednosti prostega klora po vgradnji UF naprave začele dvigovati. Lahko bi si razlagali, da po zagonu UF naprave niso popravili odmerjanja dezinfekcijskega sredstva in se zato zrcali izmerjeni višek.

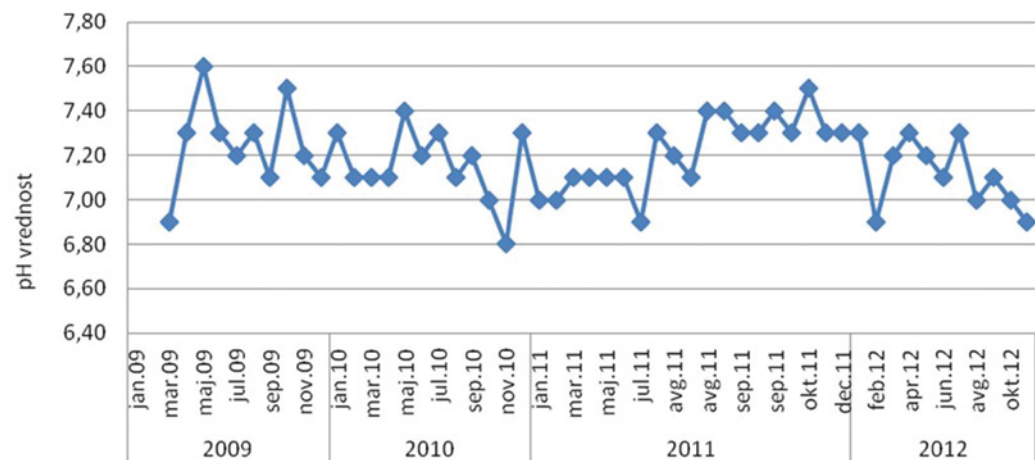
Slika 13: Rezultati preiskav vsebnosti prostega in vezanega klora v kopališču št. 3.



Slika 14: Rezultati meritev redoksnega potenciala v kopališču št. 3.



Slika 15: Rezultati meritev vrednosti pH v kopališču št. 3.



Zaključki

Dezinfekcija kopalnih voda je zelo pomembna za zaščito javnega zdravja.³ Kljub izvajanju dezinfekcije se z obratovnim monitoriranjem vsako leto ugotovi, da je 12–80 % bazenskih voda občasno neskladnih s predpisanimi merili. Mikrobiološka kontaminacija je bistveno nevarnejša od kemijske, saj lahko povzroči takojšnja okužba. Zato se temu problemu daje ustrezna prednost. Pri kemijski kontaminaciji se s sorazmerno majhnimi prekoračitvami dovoljene vre-

dnosti THM lahko pojavijo posledice šele po dolgotrajni kontaminaciji. Vendar pa so lahko potem posledice zelo hude (rak). Rezultati raziskave kažejo, da je pri kakovosti bazenskih kopalnih vodah že več let največji problem onesnaženost s THM. Leta 2005 je bila mejna vrednost za THM 0,20 mg/L. Zaradi slabih rezultatov so leta 2006 začasno dvignili za pet let dovoljeno vrednost na 0,050 mg THM/L, leta 2011 pa so to mejno vrednost do nadaljnjega ohranili. Organski material v kopalnih vodah je predvsem

človeškega izvora (človeški izločki, krema za sončenje, itd.). V nekaterih kopališčih so prisotne organske snovi že na dotoku (termalne vode, onesnažene površinske vode). V Pomurju je v termalnih vodah prisoten precejšnji delež mineralnih olj in voskov, ki predstavljajo ustrezno organsko podlago za nastanek THM. Zato je v Pomurski zdravstveni regiji (MS) tudi največ oporečnih vzorcev zaradi THM.

Redoksní potencial neposredno ne ogroža zdravja ljudi, kaže pa na problematičnost kopalne vode, saj je ob neustrezni vrednosti lahko zmanjšana učinkovitost dezinfekcije.

Pri pripravi bazenskih voda imamo dve glavni tehnološki možnosti:

- ostanemo pri obstoječi tehnologiji, ki jo nadgradimo s postopkom za odstranjevanje THM;
- popolnoma spremenimo tehnologijo priprave bazenske vode.

Za zagotavljanje ustrezne minimalne količine dezinfekcijskega sredstva v bazenu, torej za sekundarno dezinfekcijo oz. mikrobiološko stabilnost bazenske vode, je še vedno smiselno dodajati na koncu priprave tudi klor oz. klorove preparate. Membranska filtracija oz. ultrafiltracija (UF) lahko zelo učinkovito odstrani vse mikroorganizme in velik del partikularnih organskih snovi (npr. delčke kože, lase, blato ...). Pri tem ne nastajajo problematični reakcijski produkti. Vendar pa UF zagotavlja mikrobiološko neoporečno vodo le na iztoku iz filtra. Če niso zagotovljeni ustrezni sanitarni pogoji, se lahko voda kontaminira v bazenu. Če ostanemo pri obstoječem postopku dezinfekcije s plinskim klorom Cl_2 , ne odstranjujemo dovolj učinkovito vseh mikroorganizmov

(Legionelle) in hkrati s preostalo organsko snovjo lahko dobimo THM. Odstranjevanje THM je nato zahteven in drag tehnološki postopek (aktivno oglje, itd.). Tvorbo THM lahko občutno znižamo z uporabo klorovega dioksida ClO_2 , ki tudi bolje deluje v rahlo bazičnih in s karbonati bogatih (trdih) vodah. Če pa se odločimo za popolnoma novo tehnologijo priprave, moramo poznati značilnosti napajalne vode (vodovodna, površinska, termalna) ter značilnosti kopališča (vračanje vode, izpust odpadne vode, itd.).¹¹ Z oksidacijskimi postopki (O_3 , H_2O_2) lahko zelo učinkovito odstranimo vse mikroorganizme, ne dobimo THM in tudi ne drugih spojin AOX. Dezinfekcijo lahko izvajamo oz. dopolnjujemo tudi s kovinskimi ioni. Na primer minimalna količina koloidnega srebra (Ag) deluje prav tako dezinfekcijsko. V kombinaciji H_2O_2 in Ag se lahko v celoti izognemo kloru. Vendar pa so ti postopki precej dragi. Po drugi strani je koloidno srebro v obliki nano delčkov in njihov vpliv na človeka še ni dovolj dobro raziskan. Pri uporabi O_3 predstavlja velik problem njegova slaba topnost. Izpareli O_3 zato predstavlja dodatni ekološki problem zaradi onesnaževanja zraka oz. neposredne nevarnosti za človekovo zdravje, saj je ozon toksičen že v zelo nizkih koncentracijah. S tega vidika je H_2O_2 primernejši. S kombinacijo z UV žarki je dezinfekcija še učinkovitejša. Zato potrebujemo manj dezinfekcijskega sredstva. Tudi s kavitacijo lahko izboljšamo učinek dezinfekcije. Med najnovejše postopke dezinfekcije štejejo tudi nano delce TiO_2 , ki zaradi fotokatalize pobijajo mikroorganizme. Nano TiO_2 je lahko vgrajen na keramičnih ploščicah v bazenu. Ob ustrezni svetlobi bo na teh površinah potekala dezinfekcija.

Literatura

1. Pravilnik o minimalnih higienskih in drugih zahtevah za kopalne vode. Ur l 73/2003, Ur l 96/2006; Ur l 39/2011; Ur l 64/2011.
2. Hruday SE. Chlorination disinfection by-products, public health risk trade-offs and me. *Water Res* 2009; 43: 2057–92.
3. World Health Organization. Guidelines for safe recreational water environments, Vol 2, Swimming pools and similar environments. WHP Library Cataloguing-in-Publication Data; 2006.
4. Pleschl S. Zum Vorkommen von Legionellen in wasserführenden, technischen Systemen und der Praxisbedingungen [Dissertation]. Bonn: Rheinischen riedrich-Wilhelms-Universität; 2004.
5. Zakon o varstvu pred utopitvami. Ur l 44/2000; Ur l 110/2002; Ur l 26/2007; Ur l 42/2007.
6. Pretsch E, Bühlmann P, Badertscher M. Structure Determination of Organic Compounds. Fourth, Revised and Enlarged Edition. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag; 2009.
7. OEHHA Staff. DRAFT Public Health Goal for Trihalomethanes, September 2010. Office of Environmental Health Hazard Assessment; 2010.

8. Hansen K M, Willach S, Mosbæk H, Andersen HR. Particles in swimming pool filters – Does pH , determine the DBP formation? *Chemosphere* 2012; 87: 241–7.
9. Dyck R, Sadiq R, Rodriguez M J, Simard S, Tardif R. Trihalomethane exposures in indoor swimming pools: A level III. Fugacity model. *Water Res* 2011; 45: 5084–98.
10. Catto C, Charest-Tardif G, Rodriguez M, Tardif R. Assessing Exposure to Chloroform in Swimming Pools Using Physiologically Based Toxicokinetic Modeling. *Environment and Pollution* 2012; 1:: 132–47.
11. Brown D. The Management of Trihalometanes in Water Supply Systems [Dissertation]. University of Birmingham; 2009.