



# NOV PRISTOP K PRIPRAVI IN NADZORU KAKOVOSTI PITNE VODE ZA ZAGOTAVLJANJE VARNE VODOOSKRBE

**NATAŠA URANJEK<sup>1</sup>, BERNARDA STROPNIK<sup>2</sup>,  
PETRA STROPNIK<sup>3</sup>, PRIMOŽ ROŠER<sup>4</sup>**

## Povzetek

Po zgledu naprednih sistemov oskrbe s pitno vodo smo uvedli znižanje koncentracije prostega klora ( $\text{Cl}_2$ ) na najnižjo vrednost, ki še zagotavlja varno vodooskrbo. Uvedli smo novo metodo za določevanje mikroorganizmov Bactiquant (BQ), ki nam je omogočila hitro pridobivanje rezultatov o stanju sistema in s tem proaktivni pristop pri monitoringu. Postopek zniževanja  $\text{Cl}_2$  na sistemu smo izvajali postopoma, po korakih za 0,05 mg/L, in ob tem opravljali še meritve na 22 odvzemnih mestih. Končno točko smo dosegli ob doziranju 0,08 mg/L  $\text{Cl}_2$  v sistem in ob stanju, ko je bilo na večini od 22 vzorčnih mest zaznati le še sled prostega klora.

**Ključne besede:** detekcija mikroorganizmov, koncentracija prostega klora, metoda Bactiquant, monitoring mikrobiološkega stanja, priprava pitne vode, vodooskrba.

## Abstract

Following the example of advanced drinking water supply systems, we implemented a reduction of free chlorine concentration ( $\text{Cl}_2$ ) to the lowest value, which still ensures a safe water supply. We implemented new method for determination of microorganisms Bactiquant (BQ), which allowed us to quickly obtain results of status of the system and thus allow a proactive approach to monitoring. The  $\text{Cl}_2$  reduction procedure on the system, in steps of 0.05 mg/L, was performed gradually, with measurements at 22 sampling points. The end point was reached dosing 0.08 mg/L  $\text{Cl}_2$  into the system and conditions with only a trace of free chlorine was detected at most of the 22 sample points.

**Keywords:** Bactiquant method, detection of microorganisms, drinking water supply, drinking water treatment, free chlorine concentration, monitoring of microbiological condition.

- 1 Nataša Uranjek, Komunalno podjetje Velenje, d. o. o.
- 2 Bernarda Stropnik, Komunalno podjetje Velenje, d. o. o.
- 3 Petra Stropnik, Komunalno podjetje Velenje, d. o. o.
- 4 Primož Rošer, Komunalno podjetje Velenje, d. o. o.



## 1. UVOD

Na območju občin, kjer izvajamo javno službo, so za pripravo pitne vode na voljo površinski vodni vir Ljubija ter vodni viri Mazej, Toplice, Dolič, Ločan, Lampret in Jablanice, ki so pod vplivom površinskih vod (kraški vodni viri), zato je priprava vode nujna. Pripravo pitne vode iz teh virov izvajamo v napravah za pripravo pitne vode (NPPV) s postopkom ultrafiltracije, ki ji sledi nadaljnja faza vodooskrbe, in sicer sama distribucija vode do uporabnikov.



Slika 1: NPPV Čujež (levo) in ultrafiltracijske linije za pripravo pitne vode (desno).

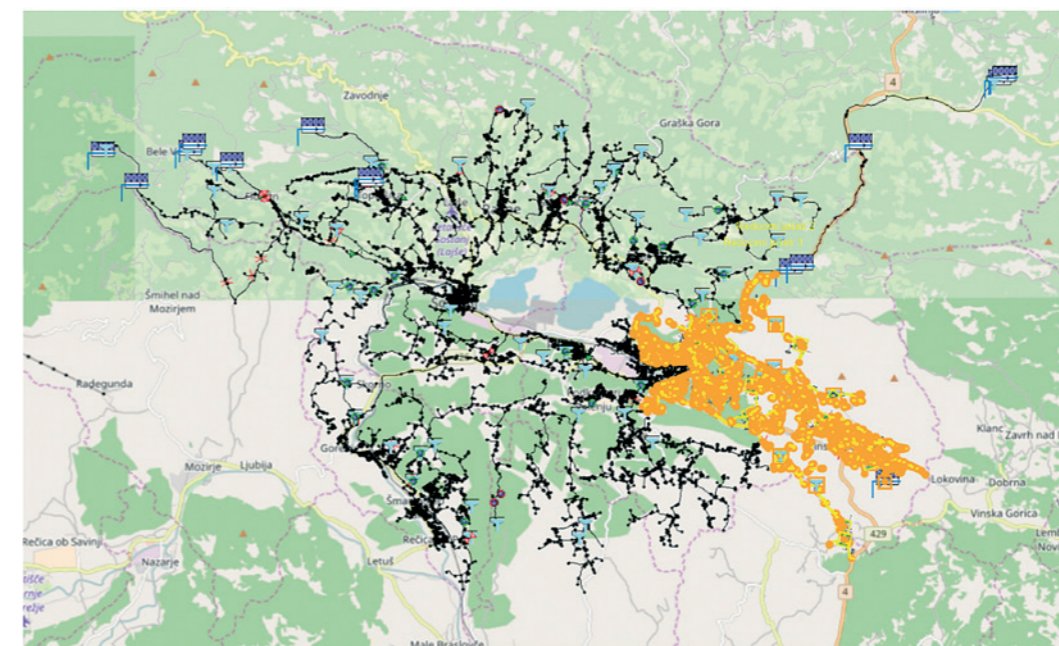
Sistem distribucije je strukturiran iz kilometrov dolgih in razvejanih cevovodov. Sama dolžina in razvejanost cevovodov lahko zajemata več potencialnih vdornih točk za mikroorganizme oz. več potencialnih kritičnih točk kontaminacije. Posledično je priporočljiv dodatek dezinfekcijskega sredstva z dolgim dosegom in dolgotrajnim učinkom, ki bo po sistemu distribucije preprečil tako razrast kot množenje populacije mikroorganizmov. Klor nastopa kot ključno dezinfekcijsko sredstvo z omenjenim dolgim dosegom in dolgotrajnim učinkom.

V mnogih državah je klor glavno sredstvo za dezinfekcijo, vendar pa obstaja kar nekaj dilem o uporabi klora. Čeprav ubija patogene mikroorganizme, ki so prisotni v vodi, ima njegova uporaba tudi nekatere negativne stranske učinke, saj lahko njegova uporaba privede do nastanka različnih potencialno strupenih dezinfekcijskih stranskih produktov (DBP), za katere je bilo ugotovljeno, da so lahko povezani s številnimi boleznimi. Zaradi vseh teh domnev si želimo, da bi bile koncentracije prostega klora in posledično koncentracije DBP v pitni vodi čim nižje.

Zaradi omenjenih tveganj v povezavi s kloriranjem sistema distribucije pitne vode je bil ključni cilj predmetnega projekta optimizacija oz. znižanje koncentracije klora ali celo popolna ukinitve uporabe klora v vodovodnem omrežju. Osredotočili smo se na vodooskrbno območje R1 (OO R1).

## 2. IZVEDBA POSTOPKA ZNIŽANJA KLORA NA VODOVODNEM SISTEMU

Oranžno obarvane točke na Sliki 2 prikazujejo oskrbovalno območje OO1, ki se oskrbuje iz vodohrana R1 Velenje. Območje zajema vzhodni del mesta Velenje, primestna naselja Bevče, Vinska Gora, Prelska in Črnova ter oskrbuje 19.200 uporabnikov, tj. prebivalcev MO Velenje.



Slika 2: Območje kloriranja pitne vode na vodooskrbnem sistemu Velenje.

Za ukinitve dodajanja klora v pitno vodo mora biti zagotovljeno popolno higiensko stanje na vodovodnem sistemu in v rezervoarjih. Glavno tveganje pri tem predstavljajo starost vodovodnega sistema, predimenzioniran sistem in lastnost mikroorganizmov, da njihovo razmnoževanje poteka eksponentno, ter dejstvo, da na voljo nimamo on-line opreme za detekcijo mikroorganizmov, s katero bi lahko nadzorovali vodovodni sistem. Glede na dejstvo, da je bila zgrajena nova NPPV Čujež s povezovalnim cevovodom do glavnega rezervoarja R1, ki je prav tako obnovljen, in da vodovodni sistem na tem delu ni predimenzioniran, smo za prvo območje za uvedbo znižanja koncentracije prostega klora v pitni vodi izbrali prav to oskrbovalno območje.

### 2.1 Načrtovanje izvedbe zniževanja doziranja klora na OO R1

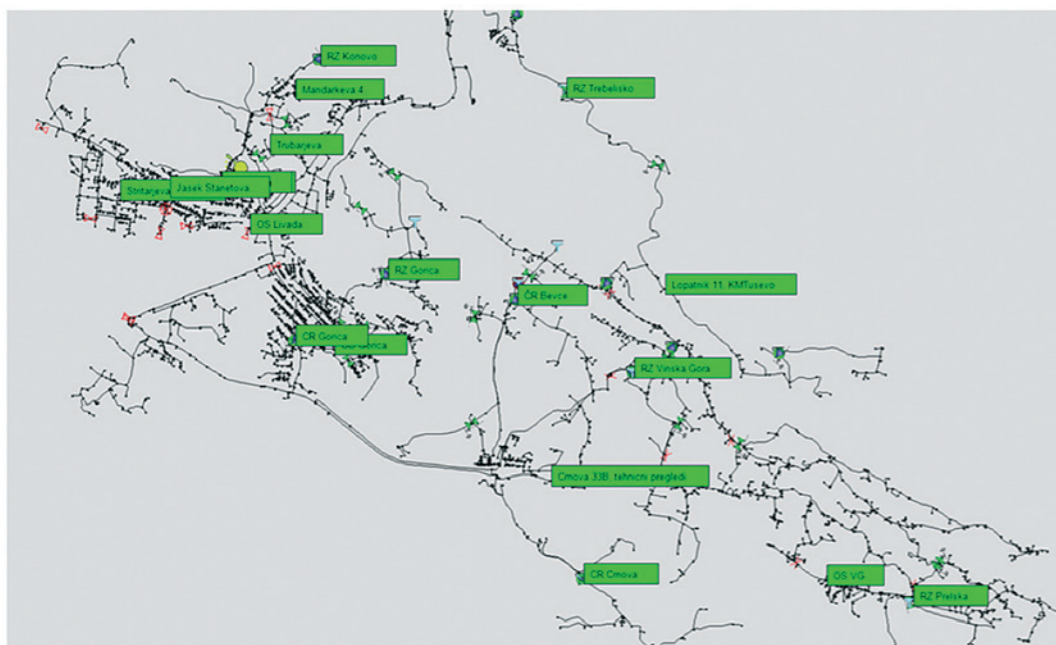
Točke meritev prostega klora so bile izbrane na podlagi preteklih meritev prostega klora na omrežju in prepoznanih večjih odjemnikih, vključujoč predpostavke za možne težave s kakovostjo vode na omrežju. Slednje vključujejo kritične točke glede zagotavljanja ustrezne koncentracije prostega klora na omrežju, poleg tega pa tudi objekte z večjim številom oseb, kakršni so šole in vrtci.

Vnaprej so se določile lokacije odvzema vzorcev vode in merilna mesta (MM), ki so se označila z zaporednimi številkami, na vsako MM pa je bil vezan tudi posamezen merilni instrument za



določevanje koncentracije prostega klor. S tem se je zagotovila meritev prostega klor na vsaki lokaciji, tj. na vsakem MM, z istim merilnim instrumentom.

Projekt zniževanja klor na oskrbovanem območju OO1 je potekal v štirih fazah. V prvi fazi so bile izvedene meritve klor pri nespremenjenem stanju obratovanja sistema. Na odvodu iz R1 je referenčna vrednost prostega klor v prvi fazi znašala 0,18 mg/L. V drugi fazi se je temeljito spralo celotno obravnavano omrežje, s čimer smo želeli zagotoviti optimalne začetne pogoje (zmanjšati verjetnost prisotnosti mikroorganizmov v vodovodnem sistemu) pred začetkom zniževanja klor. Po spiranju so bile izvedene nove meritve na sistemu (mikrobiološki parametri, klor, motnost). V tretji fazi se je v omrežje začela dozirati manjša koncentracija klor, tako da je referenčna vrednost na odvodu iz vodohrana R1 znašala 0,13 mg/L. V četrti fazi se kloriranje zniža na ciljno referenčno vrednost 0,08 mg/L klor na odvodu iz vodohrana R1.



**Slika 3:** Prikaz merilnih točk – objektov, kjer so se izvajale meritve.

Glede na stanje sistema smo določili 22 kontrolnih točk – merilnih mest (Slika 3), kjer so se jemali vzorci in izvajale meritve. Vsak vzorčevalec je bil zadolžen za 3 merilna mesta, želeli smo hkrati izvesti vzorčenje na vseh 22 mestih oz. ga časovno čim bolj zblížati. Celoten proces zniževanja prostega klor v sistemu smo spremljali tudi s hidravlično analizo in prek tega potrdili hidravlični model, ki je bil postavljen za to oskrbovalno območje.

Izvajanje meritev na terenu so opravljali zaposleni, ki so bili pred tem v tehnološkem laboratoriju usposobljeni za izvajanje vzorčenja pitne vode in meritve prostega klor.

## 2.2 Metoda Bactiquant

Zaradi zagotavljanja varne vodooskrbe, predvsem glede zagotavljanja mikrobiološke ustreznosti pitne vode, smo potrebovali podatke o stanju na vodovodnem sistemu in kakovosti vode. Podatke o mikrobiološki kakovosti pitne vode običajno dobimo z izvedbo klasičnih mikrobioloških analiz, ki pa trajajo vsaj 24 ur. Tako dolgi časi niso primerni za obvladovanje sistema.

Za določevanje mikroorganizmov v vodi smo zato izbrali hitro metodo Bactiquant (BQ), ki jo uporabljajo tudi na Nizozemskem in Danskem, z njo pa nadzorujejo uspešnost dezinfekcije pitne vode oz. njeno mikrobiološko kakovost v sistemu vodooskrbe. Gre za metodo, ki omogoča hitro pridobivanje rezultatov o stanju sistema z vidika kontaminacije in s tem proaktivni pristop pri monitoringu.

Metoda temelji na konceptu detekcije bakterij s ciljanjem na encim, ki igra vlogo v njihovem metabolizmu in je zato prisoten v celotnem kraljestvu bakterij. Encim se zazna s substratom, ki je zanj specifičen in je konjugiran s fluoroforom. 250 mL vode se prefiltrira skozi filter s premerom por 0,22  $\mu\text{m}$ . Zdaj je bakterijska kultura na filtru, skozi katerega nato prefiltriramo 2,5 mL substrata. Nato sledi 30-minutna inkubacija. Encim bo vstopil v biokemijsko reakcijo s substratom, pri čemer se bo sprostil in akumuliral fluorofor. Po končani inkubaciji akumuliran fluorofor speremo v kiveto in izmerimo intenziteto fluorescence s prenosno napravo pri valovni dolžini svetlobe 366 nm. Intenziteta fluorescence, ki jo izmerimo zaradi akumulacije fluoroforja, linearno korelira s koncentracijo encima, ki vstopa v biokemijsko reakcijo, in posledično tudi s koncentracijo bakterij v vzorcu vode, ki ga prefiltriramo skozi filter. Rešitev je hitra, saj se rezultati pridobijo že po 30 minutah inkubacije, po drugi strani pa uporabniku prijazna, ker vključuje samo tri osnovne korake – filtracijo vzorca, aplikacijo substrata in spiranje fluoroforja v kiveto. S ciljanjem na encim, ki je ohranjen v celotnem kraljestvu bakterij, pri meritvah upoštevamo tako viabilne, kultivabilne kot nekultivabilne bakterije. Postavitev mejne vrednosti merilnih parametrov oz. bazne linije je z metodo Bactiquant tako statistično natančnejša.

Uvedba metode za določanje mikroorganizmov Bactiquant (BQ), ki v nasprotju s klasičnimi metodami omogoča detekcijo mikroorganizmov v 30 minutah namesto 24, 48 oz. 72 urah, je omogočila aktivni monitoring mikrobiološkega stanja pitne vode v sistemu. Zniževanje prostega klor v vodovodnem sistemu brez tega ne bi bilo možno, saj bi bilo tveganje za morebiten nenadzorovan razrast mikroorganizmov previsoko. Posledično bi lahko takšno stanje privedlo do neustrezne mikrobiološke kakovosti pitne vode in morebitnih akutnih okužb uporabnikov.



Slika 4: Merilna oprema za metodo Bactiquant (levo) in del procesa izvajanja analize Bactiquant (desno).

Z uvedbo metode Bactiquant smo zagotovili ustrezen nadzor in monitoring med procesom zniževanja klora v oskrbovalnem sistemu s pitno vodo. Uvedba te hitre metode je bila ključna, da smo postopek sploh lahko izvedli. Z uporabo metode in ostalo merilno opremo pa zdaj vzdržujemo nizko vrednost prostega klora.

### 3. MERITVE NA TERENU IN REZULTATI POSTOPKA ZNIŽANJA KLORA NA VODOVODNEM SISTEMU

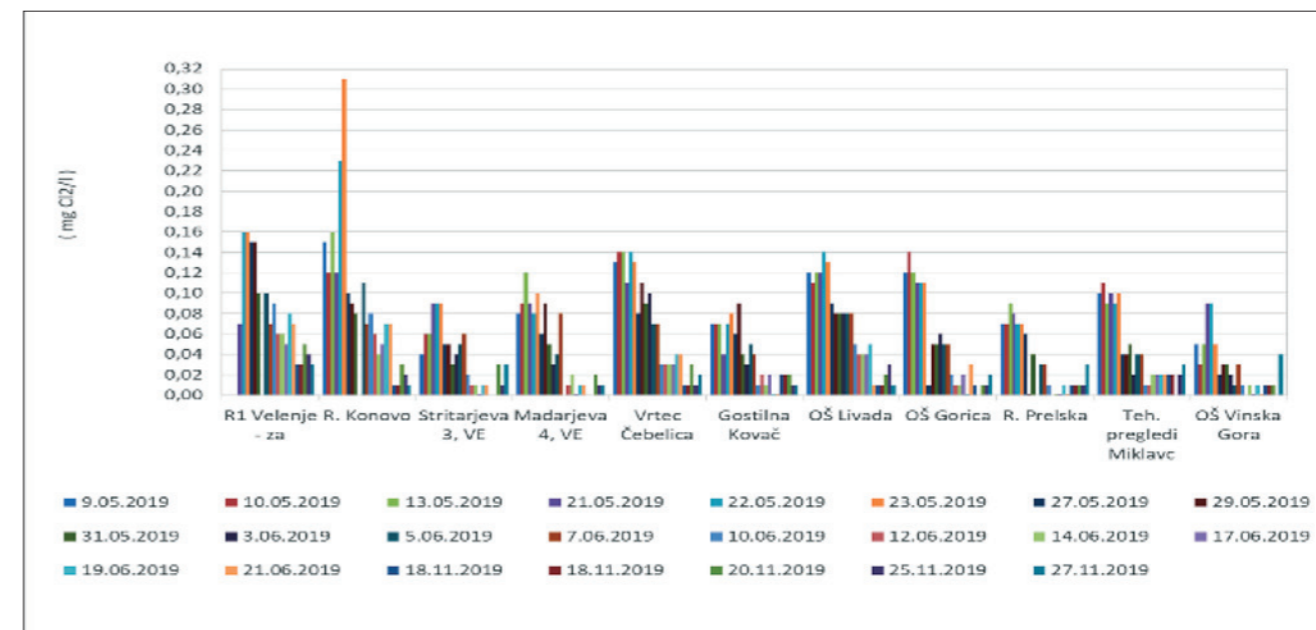
Skladno s pripravljenim načrtom in navodili za delo je vsak vzorčevalec izvedel vzorčenje, zagotovil ustrezen volumen vzorca, konzerviranje, transport in hrambo vzorcev do laboratorija, nato pa izvedel še terenski meritvi temperature vode in prostega klora. Analiza BQ se je izvedla v laboratoriju.

V času projekta je bilo odvzetih 418 vzorcev.

V začetni fazi zniževanja smo v pitni vodi merili BQ in prosti klor. Ob koncu projekta, ko so se v vodi na pipah uporabnikov pojavljale le še sledi prostega klora, smo v vzorcih, v katerih je bila vrednost prostega klora nižja od 0,01 mg/l, ob teh dveh parametrih določali še *E. coli*, skupne koliformne bakterije ter skupno število mikroorganizmov pri 22 in 37 °C.

#### 3.1 Meritve prostega klora

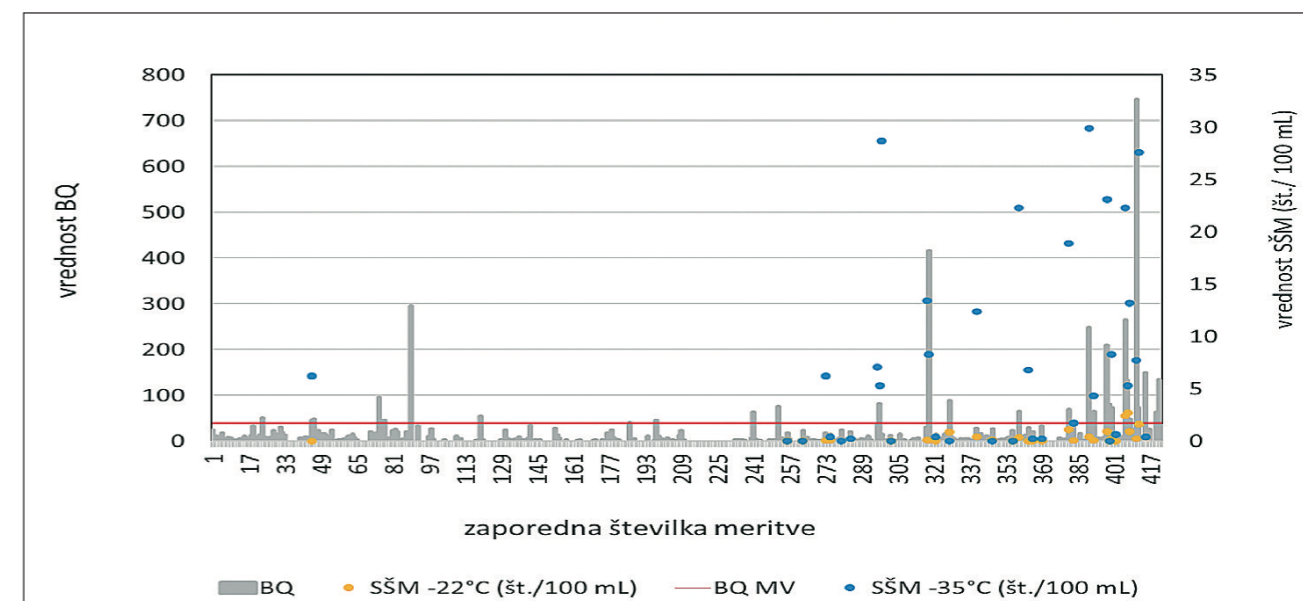
Merilni protokol meritve prostega klora na obravnavanih vzorčnih mestih je potekal skoraj dva meseca, in sicer v maju ter juniju 2019. Na Sliki 5 so predstavljene meritve prostega klora, ki so bile izvedene na posameznih lokacijah. Zaradi lažje preglednosti podatkov je na slikah narejen določen izbor in zato niso prikazana vsa merilna mesta.



Slika 5: Vrednosti prostega klora na posameznih merilnih mestih.

#### 3.2 Meritve BQ in drugih mikrobioloških parametrov

Na Sliki 6 so zbrani rezultati meritev, iz katerih je razvidno, da smo ob povišani vrednosti BQ izvedli tudi analizo skupnih koliformnih bakterij, *E. coli*, SŠM 22 °C in SŠM 37 °C. V vseh vzorcih nismo izmerili prisotnosti skupnih koliformnih bakterij in *E. coli*, vse vrednosti SŠM 22 °C in SŠM 37 °C pa so bile pod mejno vrednostjo 100 (št./100 ml), ki je za ta parameter določena v našem načrtu HACCP.



Slika 6: Vrednosti BQ in skupnega števila mikroorganizmov (SŠM) pri 22 in 37 °C na posameznih merilnih mestih.



Bistveno pri tem je bilo, da so bili vsi vzorci vode skladni s Pravilnikom o pitni vodi, kljub nekaterim vrednostim BQ, ki so bile nad postavljeno mejno vrednostjo 40.

#### 4. ZAKLJUČEK

Nemotena oskrba s kakovostno pitno vodo je temeljna človekova potreba in pravica, saj pomembno vpliva na zdravstveno stanje, življenjski standard ter kakovost življenja prebivalcev. Naš cilj je, da izpolnimo tako potrebe kot pričakovanja svojih odjemalcev, čeprav so te višje in presegajo zahteve, predpisane v zakonodaji. S sistematičnim projektnim delom, kjer se povezujejo znanja s področij mikrobiologije, kemije, gradbeništva, strojništva in regulacije, smo pri projektu zniževanja prostega klora sodelovali delavci iz različnih enot v podjetju. Uporabili smo znanje, ki smo ga pridobili v okviru izobraževanj, in izkušnje pri upravljanju vodovodnega sistema ter sledili trendom na svetovni ravni.

V podjetju sledimo želji po pitni vodi z minimalnim dodajanjem dezinfekcijskega sredstva, tj. prostega klora, ki pa še vedno zagotavlja zdravstveno ustrezno in z zakonodajo skladno pitno vodo do zadnjega uporabnika na sistemu. Pri tem je naše vodilo upoštevanje zakonodajnih zahtev glede kakovosti pitne vode in želje naših uporabnikov.

Doziranje klora v vodovodno omrežje za zagotavljanje varne vodooskrbe je bilo pred projektom 0,18 mg/L. Postopek zniževanja  $Cl_2$  na sistemu smo izvajali postopoma, po korakih za 0,05 mg/L, ter ob tem opravljali tudi meritve motnosti,  $Cl_2$  in BQ na 22 odzemnih mestih. Občasno smo na teh mestih izvedli še analize ostalih parametrov, ki jih merimo na pipi uporabnika v okviru notranjega nadzora. Končno točko smo dosegli ob doziranju 0,08 mg/L  $Cl_2$  v sistem in stanju, ko je bilo na večini od 22 vzorčnih mest zaznati le še sled prostega  $Cl_2$ .

Določili smo si novo ciljno vrednost doziranja plinskega klora ter dosegli, da na pipi uporabnika ni bilo več prisotnega prostega  $Cl_2$ , mikrobiološko in kemijsko pa je bila pitna voda skladna z zakonodajo.

#### LITERATURA IN VIRI

1. Ellison, S. L. R. in Williams, A., (ur.), 2012. Eurachem/CITAC guide: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Third edition, UK National Measurement System.
2. Environmental Protection Agency, 2002. Effects on Water Age on Distribution System Water Quality. Environmental Protection Agency, Office of Ground Water and Drinking Water. [pdf] Dostopno na: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2007\\_05\\_18\\_disinfection\\_tcr\\_whitepaper\\_tcr\\_waterdistribution.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2007_05_18_disinfection_tcr_whitepaper_tcr_waterdistribution.pdf) [24. 9. 2020].
3. Eurachem, 2014. Eurachem Guide: the fitness for purpose of analytical methods – a laboratory guide to method validation and related topics. Dostopno na: [https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV\\_guide\\_2nd\\_ed\\_EN.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_EN.pdf) [10. 4. 2019].
4. Ferčič, A. in Knez, R., 2015. Organizational Challenges of the (Local) Water Supply in the European Union Member States. *Lex Localis – Journal of Local Self – Government*, 13(3), pp. 767.
5. Hlavinec, P., Popovska, C., Mahrikova, I. in Kukharchyk, T., (ur.), 2009. Risk management of water supply and sanitation systems. Netherlands. Springer.
6. Kleijnen, R. G., Knoben, B. G. M., Hoofwijk, B. L., Pol, D. G. J., Heintges, G. H. L. in De Visser, J. F., 2011. The Chlorine Dilemma Final Report. Eindhoven University of Technology /department of Chemical Engineering and Chemistry.
7. Maier Raina, M., Pepper, Ian L. in Gerba, Charles P., 2009. Environmental microbiology. Amsterdam. Elsevier/Academic Press.
8. Mycometer, 2019. Bacteria in water – bactiquant-water. Dostopno na: <https://www.mycometer.com/products/bactiquant-water/about-bactiquant-water/> [16. 4. 2019].
9. Nacionalni inštitut za javno zdravje, 2020. Parametri, ki jih določamo v pitni vodi. Dostopno na: <https://www.nijz.si/sl/parametri-ki-jih-dolocamo-v-pitni-vodi> [24. 9. 2019].
10. Pravilnik o pitni vodi. Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17.
11. Smeets, P. W. M. H., Medema, G. J. in van Dijk, J. C., 2009. The Dutch secret: how to provide safe drinking water without chlorine in the Netherlands. *Drink. Water Engineering and Science*, 2009, 2, 1–14.
12. Thompson, C., Gillespie, S. in Goslan E., (ur.), 2016. Disinfection by-products in drinking water. Cambridge: Royal Society of Chemistry.