

Odabir i određivanje težinskog udjela parametara za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode

Kojundžić, Viktorija

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:811126>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
DIPLOMSKI STUDIJ GEOLOŠKOG INŽENJERSTVA

**Odabir i određivanje težinskog udjela parametara za potrebe određivanja indeksa
kakvoće vode**

DIPLOMSKI RAD

Kojundžić Viktorija

GI 227

Zagreb, 2017.

Prvenstveno se iskreno zahvaljujem svojoj mentorici, doc.dr.sc. Jeleni Parlov, na predloženoj temi, savjetima i pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim prijateljima i kolegama koji su mi uljepšali razdoblje studiranja i učinili ga lakšim i zabavnijim.

Najveće zahvale mojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci i potpori, a najviše hvala majki na svakodnevnom podsjećanju kako je u životu najvažnije biti zdrav, dobar i sretan.

Odabir i određivanje težinskog udjela parametara za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode

Viktorija Kojundžić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovog rada je prikazati različite pristupe i metode određivanja indeksa kakvoće vode, objasniti odabir pojedinih parametara te određivanja težinskog udjela svakog pojedinog parametra u ukupnom izračunu na primjeru vodocrpilišta Velika Gorica. Uzimajući u obzir prednosti i nedostatke pojedinih metoda za ocjenu kakvoće vode na području vodocrpilišta Velika Gorica određen je indeks kakvoće vode prema metodi univerzalnog indeksa kakvoće vode, dok su za račun indeksa za vodocrpilište Velika Gorica poslužili rezultati kemijskih analiza sirove vode iz 2014. i 2015. godine. Prilikom izračuna indeksa kakvoće vode najviše pažnje posvećeno je odabiru parametara te određivanju težinskih udjela odabranih parametara. Od 94 testiranih parametara odabrano ih je 14 (pH, ukupna tvrdoća, nitrati, željezo, kalcij, magnezij, natrij, kalij, kloridi, sulfati, ukupan broj koliformnih bakterija, mangan, električna vodljivost, te atrazin). Izabrane su najinteresantnije kombinacije težinskih udjela parametara kako bi se ukazalo kako subjektivna procjena može odigrati važnu ulogu u dobivanju rezultata indeksa kakvoće vode. S obzirom na kombinacije težinskih udjela i isključivanja pojedinih parametara iz izračuna, dobiveni indeksi kakvoće vode mogu značajno varirati. Stoga je važno napomenuti kako indeks sam po sebi ne ukazuje na uzroke koji su doveli do određene situacije (primjerice loše kakvoće vode), jer su za to potrebne dodatne informacije i specifični podaci.

Ključne riječi: indeks kakvoće vode, Velika Gorica, crpilište, parametar, težinski udio

Diplomski rad sadrži: 44 stranica, 20 tablica, 4 slike i 29 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Jelena Parlov

Prof. dr. sc. Zoran Nakić

Prof. dr. sc. Andrea Bačani

Datum obrane: 17. veljače 2017.

Selecting and determining weight parameters for the determination of water quality index

Viktorija Kojundžić

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Geology and Geological Engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The purpose of this thesis is to display different approaches and methods of determining water quality index. To explain the choice of certain parameters and the determination of parts by weight of each parameter in total figures, using the Velika Gorica water well as an example. Taking into account the advantages and shortcomings of each water evaluating quality method, a water quality index was determined in the Velika Gorica water well area. Using the method of universal water quality index, where chemical analysis results of groundwater from years 2014 and 2015 were used. While calculating the water quality index, the focus was put on choosing parameters and determining their parts by weight. From a total of 94 parameters, 14 were chosen (pH, total hardness, nitrate, iron, magnesium, sodium, potassium, chlorides, sulphates, the total number of coliform bacteria, manganese, electrical conductivity, and atrazine). The most interesting combinations of parts by weight were chosen to showcase the effect of a subjective assessment on the resulting water quality indices. Depending on the combination of parts by weight and the exclusion of certain parameters from the calculation, water quality indices can differ greatly. Therefore, it is important to state that the index itself does not point to the cause of any given situation (for example, bad water quality). Additional information and specific data are needed to come to such conclusion.

Keywords: water quality index, Velika Gorica, pumping station, weight parameters parameter

Thesis contains: 44 pages, 20 tables, 4 figures and 29 references.

Original in Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,

Supervisor: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Reviewers: Assistant Professor Jelena Parlov, PhD

Full Professor Zoran Nakić, PhD

Full Professor Andrea Bačani, PhD

Date of defense: February 17th 2017

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Područje istraživanja	3
3. Metode određivanja indeksa kakvoće vode	8
3.1 Pojam kakvoće vode	8
3.2. Povijest određivanja indeksa kakvoće vode	9
3.2.1 Metode određivanja indeksa kakvoće vode na području Sjeverne Amerike.	14
3.2.2 Metode određivanja indeksa kakvoće vode u Europi.....	16
3.2.3 Određivanje QI – a (Quality Index) u Hrvatskoj	18
4. Određivanje indeksa kakvoće vode vodocrpilišta u Velikoj Gorici.....	20
4.1 Prikupljanje podataka	20
4.2 Odabir parametara.....	21
4.3 Opis pojedinih parametara	22
4.3.1 Atrazin	23
4.3.2 Električna vodljivost.....	24
4.3.3 Ukupna tvrdoća	24
4.4.4 Kalij	25
4.4.5 Kloridi.....	25
4.4.6 Mangan i željezo.....	26
4.4.7 Natrij.....	27
4.4.8 Nitrati.....	27
4.4.9 pH vrijednost	28
4.4.10 Sulfati	28
4.4.11 Ukupne koliformne bakterije.....	28
5. Određivanje težinskog udjela za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode	30
6. Zaključak.....	41
7. Literatura	43

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Prostorni smještaj crpilišta Velika Gorica	3
Slika 2-2. Geološka karta grada Zagreba i Zagrebačke županije (Bačani i Šparica, 2001) ..	4
Slika 2-3. Trodimenzionalni model zagrebačkog vodonosnog sustava (Bačani i Posavec, 2009).....	4
Slika 2-4. Lokacije piezometara uključenih u proces određivanja indeksa kakvoće vode....	7
Slika 3-1. Primjer funkcije transformacije (krivulje) za parametar otopljeni kisik (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012)	13

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Tehnički podaci o zdencima crpilišta Velika Gorica.....	6
Tablica 3-1. Parametri i formule za izračun podindeksa (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012).....	11
Tablica 3-2. Popis parametara, rang važnosti i težinski udio na idealiziranom primjeru (prema Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012).....	12
Tablica 3-3. Popis parametara, izračun podindeksa i maksimalne dozvoljene koncentracije.....	13
Tablica 3-4. Klasifikacija kvalitete vode na temelju WQI (Tomas et al., 2013).....	19
Tablica 4-1. Popis parametara i njihove maksimalno dopuštene koncentracije u vodi za piće.....	23
Tablica 5-1. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju davanja vrijednosti (5) svim parametrima.....	31
Tablica 5-2. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu.....	32
Tablica 5-3. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju dodjeljivanja MDK vrijednost parametru ukupnih koliformnih bakterija u vrijednosti 1.....	33
Tablica 5-4. Mjerenja ukupnih koliformnih bakterija tijekom 2014.godine.....	34
Tablica 5-5. Mjerenja ukupnih koliformnih bakterija tijekom 2015.godine.....	34
Tablica 5-6. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju dodjeljivanja težinskog udjela pokazatelju ukupnih koliformnih bakterija u vrijednosti (2).....	35
Tablica 5-7. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju isključivanja pokazatelja ukupnih koliformne bakterije.....	35
Tablica 5-8. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju smanjivanja težinskog udjela za parametre mangan i željezo.....	37
Tablica 5-9. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju smanjivanja težinskog udjela za parametre mangan i željezo (isključene ukupne koliformne bakterije).....	37
Tablica 5-10. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar kalcij.....	38
Tablica 5-11. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar kalcij (isključene koliformne bakterije).....	38

Tablica 5-12. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar ukupna tvrdoća.....	39
Tablica 5-13. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar ukupna tvrdoća (isključene ukupne koliformne bakterije)..	39
Tablica 5-14. Prikaz rezultata indeksa s obzirom na dodijeljene težinske uvjete.....	40

1. Uvod

Na svim vodocrpilištima nužan je i obvezan kontinuirani monitoring kakvoće voda. Kontrola zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju definirana je Zakonom o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13) i pripadajućim izmjenama i dopunama (NN 64/15), Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/13) i pripadajućim izmjenama i dopunama (NN 141/13, NN 128/15). Drugim riječima, neophodno je sustavno i redovito ispitivanje vode kako bi se pratila kakvoća vode i promjene koncentracija pojedinih elemenata koje mogu upućivati na eventualna onečišćenja.

Rezultat sustavnog praćenja i ispitivanja kakvoće vode je veliki broj podataka, na osnovu kojih je potrebno zaključiti o stanju kakvoće vode te odrediti za što se sve može koristiti. Takav veliki broj podataka je uglavnom nepregledan i nejasan široj javnosti, odnosno krajnjim korisnicima, te je nužno iznaći način kako ih jednostavno, jednoznačno i jasno obraditi i prikazati. Procjena kakvoće vode može se prikazati u obliku jednog broja, tj. indeksa kakvoće vode. Indeks kakvoće vode može se opisati kao informacija koja objedinjuje niz pokazatelja u jedan parametar koji prema definiranim standardima upućuje na kvalitetu vode. Takav pristup omogućava objektivan opis kakvoće vode te mogućnost usporedbe kakvoće vode s različitim crpilištima, pod pretpostavkom da se koristila ista metoda određivanja indeksa. Ovakav jednostavan način prikazivanja kakvoće vode pruža jedinstvenu informaciju o kvaliteti vode koja je razumljiva široj javnosti.

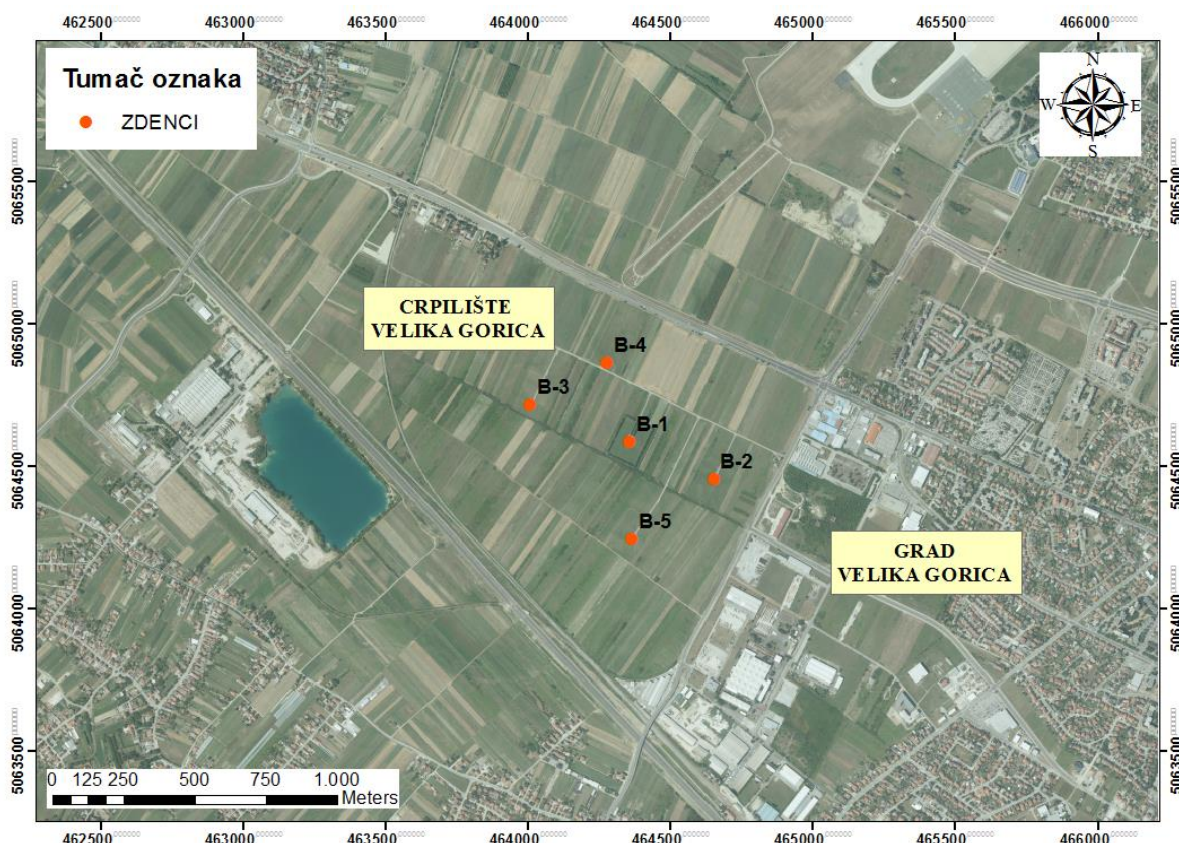
U ovom radu biti će prikazani različiti pristupi i metode određivanja indeksa kakvoće vode, kao i problem odabira pojedinih parametara te određivanja težinskog udjela svakog pojedinog parametra u ukupnom izračunu na primjeru vodocrpilišta Velika Gorica.

Vodocrpilište Velika Gorica opskrbljuje pitkom vodom grad Veliku Goricu, te dio grada Zagreba, točnije tri općine. Podzemna voda zahvaćena na crpilištu Velika Gorica transportira se do crpilišta Mala Mlaka, miješa se s vodom zahvaćenom na tom crpilištu, te se šalje dalje za grad Zagreb. Količina vode koja se zahvaća na crpilištu Velika Gorica opskrbljuje gotovo 65 000 stanovnika. Zdenci imaju instalirane crpne količine od 200 l/s, no crpi se samo iz dva.

Za ocjenu kakvoće vode na području vodocrpilišta Velika Gorica određen je indeks kakvoće vode prema metodi univerzalnog indeksa kakvoće vode. Za račun indeksa u Velikog Gorici poslužili su rezultati kemijskih analiza sirove vode iz 2014. i 2015. godine.

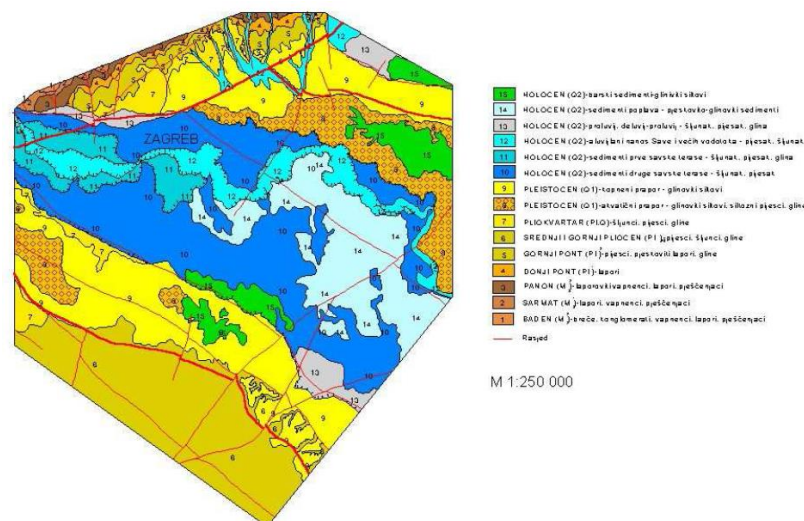
2. Područje istraživanja

Vodocrpilište Velika Gorica se nalazi na zapadnom dijelu grada Velike Gorice, južno od aerodroma Pleso. Vodocrpilište opskrbljuje grad Veliku Goricu (općina Gorica, Orle, Kravarsko, Pokupsko) te dio grada Zagreba (Velika Mlaka i Veliko Polje). Omeđeno je cestom Zagreb–Sisak na sjeveru, željezničkom prugom Zagreb–Sisak na jugu i zapadu te industrijskim kolosijekom na istoku zauzimajući površinu od 1,5 km² (Slika 2-1.). Crpilište se sastoji od 5 bušenih zdenaca, a s radom je započelo 1987. godine.

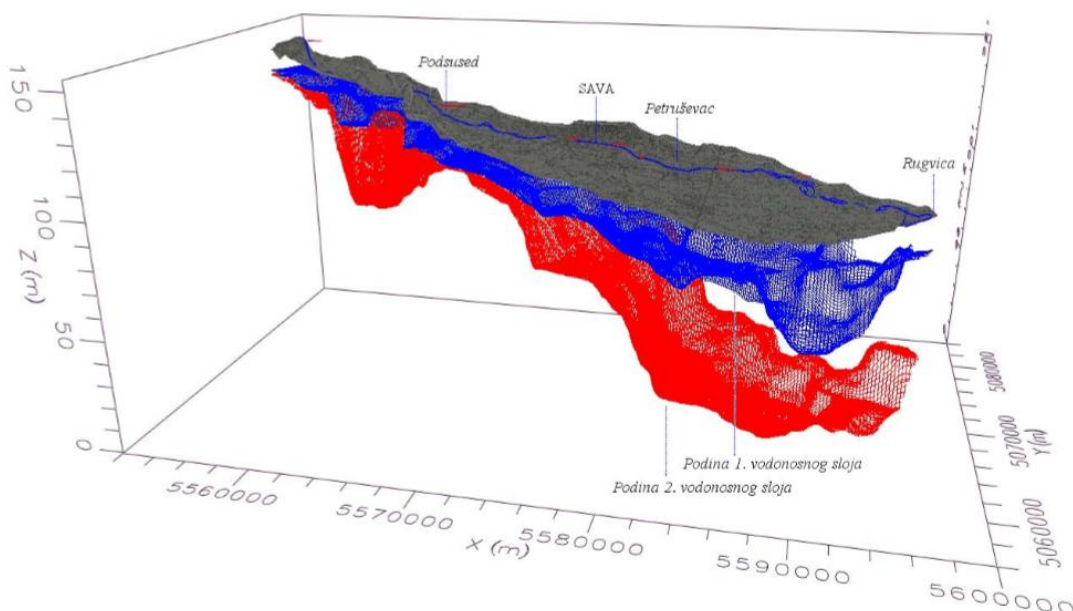


Slika 2-1. Prostorni smještaj crpilišta Velika Gorica

Crpilište Velika Gorica crpi vodu iz zagrebačkog vodonosnika koji se nalazi u aluvijalnoj ravnici rijeke Save, pružanja je sjeverozapad – jugoistok, a proteže se od Bregane do Rugvice. Na sjeveru je omeđen Medvednicom, na sjeverozapadu Žumberačkim gorjem te Vukomeričkim goricama s južne strane. Izgrađen je od kvartarnih sedimenata koje čine srednjo- i gornjopleistocenske te holocenske taložine (Slika 2-2.). Debljina naslaga raste s padom intenziteta toka rijeke Save zbog čega su debljine na zapadu oko 10 m, a na istočnom dijelu dosežu i do 100 m (Slika 2-3.).



Slika 2-2. Geološka karta grada Zagreba i Zagrebačke županije (Bačani i Šparica, 2001)



Slika 2-3. Trodimenzionalni model zagrebačkog vodonosnog sustava (Bačani i Posavec, 2009)

Prije prodora rijeke Save, na području zagrebačkog vodonosnika, tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena, prevladavali su jezerski i močvarni uvjeti taloženja. Sediment je erodiran s okolnog gorja (Medvednica, Marijagorička brda i Žumberačko gorje) te transportiran do jezera i močvara u nizini površinskim tokovima (Velić i Saftić, 1991). Takvi taložni uvjeti rezultirali su vodonosnim slojem siliciklastičnog sastava.

U holocenu dolazi do klimatskih i tektonskih promjena, koje su omogućile prodor rijeke Save (Velić i Durn, 1993). Rijeka Sava transportira materijal s područja Alpa pa je intenzitet, uslijed izmjene glacijala i interglacijala, promjenjivog karaktera. Posljedica ovakvih uvjeta taloženja je vodonosni sloj, dominantno karbonatnog sastava, s dobro zaobljenim valuticama srednjezrnatog i krupnozrnatog šljunka (Velić i Saftić, 1991). Potonji se naziva prvim vodonosnim slojem zagrebačkog vodonosnog sustava, a drugi vodonosni sloj čine jezersko-barske naslage. Podinu vodonosnog sustava čine slabo propusne naslage (Posavec, 2006).

Zagrebački vodonosnik je vodonosnik otvorenog tipa, što znači da mu je podina nepropusna, a gornju granicu saturacije čini vodna ploha koja je pod atmosferskim tlakom. U hidrauličkom smislu razlikujemo granice dotjecanja na zapadnom i južnom rubnom dijelu vodonosnika, sjevernu granicu koja je nepropusna te istočnu koja je definirana kao granica otjecanja. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku odnosno jugoistoku. Zbog hidrauličke povezanosti vodonosnika i rijeke Save, za vrijeme visokih vodostaja Sava napaja vodonosnik, dok za vrijeme niskih i srednjih vodostaja na pojedinim dijelovima toka dolazi do dreniranja vodonosnika. Dreniranje vodonosnika utječe na sniženje razine podzemne vode što pak nepovoljno utječe na raspoložive količine vode za vrijeme dužih sušnih razdoblja (Posavec, 2006).

Napajanje vodonosnika se u najvećoj mjeri ostvaruje: (1) infiltracijom iz rijeke Save; (2) infiltracijom oborina; (3) infiltracijom iz propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže; (4) dotjecanjem po zapadnoj granici iz susjednog samoborskog vodonosnika; te (5) dotjecanjem po južnoj granici vodonosnika s područja Vukomeričkih Gorica (Posavec, 2006).

Crpilište Velika Gorica sastoji se od pet zdenaca dubine od 39 m do 50 m čime je zahvaćen prvi vodonosni sloj zagrebačkog vodonosnog sustava, odnosno aluvijalni šljunčano-pjeskoviti vodonosni sloj, koji je bušenjem ustanovljen na dubinskom intervalu od približno 4 do 44 metra (Tablica 2-1.). Vodonosni horizont je izgrađen od sitnozrnog do krupnozrnog šljunka s većim udjelom krupnozrnog pijeska. U krovini je prašinasta, polupropusna glina dok je podina nejednoliko razvijena zbog čega je u zdencima B-2, B-4 i B-5 nabušena glina, dok u ostalim zdencima podina nije nabušena (Bačani i Posavec, 2009). Crpne količine većine zdenaca su oko 200 l/s.

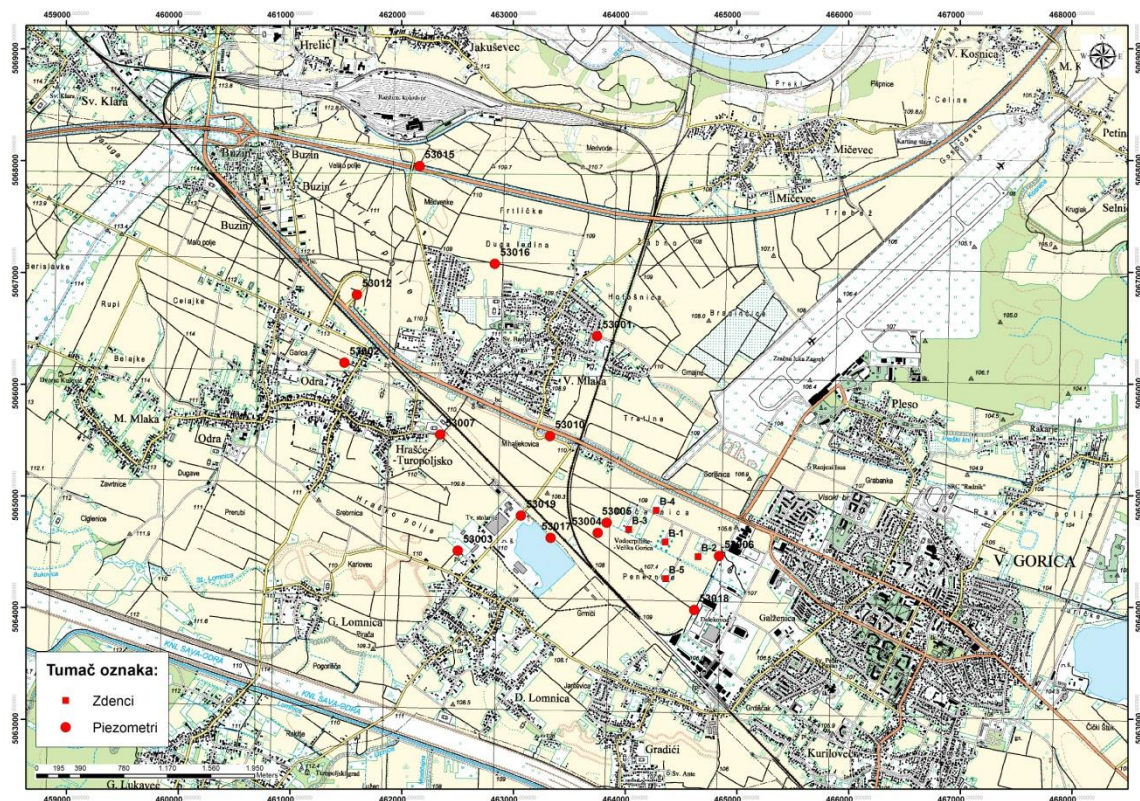
Tablica 2-1. Tehnički podaci o zdencima crpilišta Velika Gorica

Oznaka zdenca	X	Y	Z (m n.m.)	Dubina bušenja (m)	Interval filtra (dubina od površine)
B1	464354,6	5064586	107	39	12,24 - 32,24
B2	464653,1	5064462	107	50	12,80 - 49,80
B3	464005,2	5064716	107	50	18,00 - 46,00
B4	464275,2	5064868	108	48	38,00 - 42,00
					25,00 - 33,00
					12,00 - 22,00
B5	464364,1	5064252	107	49	26,00 - 42,00
					13,00 - 23,00

2.1. Odabir užeg područja istraživanja za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode

Za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode nužno je raspolagati kemijskim analizama sirove vode iz kaptiranih objekata. Kako kemijskih analiza sirove vode iz zdenaca nije bilo na raspolaganju, već su se sve analize odnosile na vodu iz mreže odnosno klorirane uzorke, područje istraživanja bilo je potrebno proširiti izvan neposredne okolice zdenaca (Slika 2-4.). Budući da se indeks kakvoće vode određuje za sirovu vodu, a ne za vodu iz mreže bilo je nužno proširiti područje i u obzir uzeti kemijske analize vode iz obližnjih piezometara. Od ukupno 14 piezometara u bližoj okolini crpilišta, uzeto je u obzir njih 10, odnosno četiri nisu uzeta u razmatranje. To su piezometri 53002, 53012, 53016 i 53017. Sva četiri nalaze se sjeverozapadno od piezometra 53010. Najudaljeniji je piezometar 53015 oko 2,5 km zračne udaljenosti od piezometra 53010 dok je najbliži piezometar 53016 1,5 km zračne udaljenosti od piezometra 53010.

Iako se područje istraživanja površinom povećalo značajno izvan zone neposrednog utjecaja zdenaca, dobiveni indeks kakvoće vode, zbog smjera toka podzemne vode, sjeverozapad-jugoistok (što bi značilo da ista voda dolazi i do zdenaca), može se smatrati reprezentativnim za vodocrpilište Velike Gorice.



Slika 2-4. Lokacije piezometara uključenih u proces određivanja indeksa kakvoće vode

3. Metode određivanja indeksa kakvoće vode

3.1 Pojam kakvoće vode

Kako bi se kakvoća vode lakše interpretirala, standardizirala, te u krajnjem slučaju bila razumljiva širem krugu javnosti, potrebno je u tu svrhu pripremiti određeni indeks. Kada je riječ o kakvoći vode ona se može objasniti kao razina zadovoljavanja uvjeta, tj. vrijednosti pojedinih propisanih parametara vode za korisnike koji koriste tu vodu (potrošači, biljke, životinje). Kakvoća vode ili kvaliteta vode se ispituje prema preporukama, smjernicama i pravilnicima mjerodavnih ustanova i zavoda na međunarodnoj (europskoj) i državnoj razini.

U Republici Hrvatskoj parametri koji se uzimaju o obzir propisani su Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju (NN 125/2013). Navedenim Pravilnikom propisuju se:

- parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski), i indikatorski parametri vode za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski),
- učestalost uzimanja uzoraka vode za ljudsku potrošnju u sklopu sustava samokontrole subjekata u poslovanju s hranom,
- učestalost uzimanja uzoraka vode za ljudsku potrošnju u sklopu sustava samokontrole od strane subjekta u poslovanju s hranom koji puni vodu u boce ili drugu ambalažu za stavljanje na tržište,
- parametri, vrste i opseg analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju za provedbu redovnog i revizijskog monitoringa
- učestalost uzimanja uzoraka vode za ljudsku potrošnju za redovni i revizijski monitoring (praćenje),
- vrste i opseg analiza te broj potrebnih uzoraka vode za ljudsku potrošnju u svrhu ispitivanja njezine zdravstvene ispravnosti u građevinama prije izdavanja uporabne dozvole,

– metode laboratorijskog ispitivanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju.

Parametri/pokazatelji koji se uzimaju u obzir u određivanju kvalitete vode se općenito mogu podijeliti u nekoliko grupa: **fizikalno-kemijski pokazatelji** (električna vodljivost, ukupne otopljene tvari, salinitet, tvrdoća, boja, miris i okus vode, pH vode, mutnoća, temperatura), **mikrobiološki pokazatelji** (ukupne koliformne bakterije, fekalne koliformne bakterije, *Escherichia coli*, paraziti...), **kemijski pokazatelji** (kemijski elementi i njihovi spojevi, primjerice prisustvo dušika-nitrati, nitriti, amonijak, sadržaj otopljenog kisika, prisustvo klorida...), **radiološki** (koncentracija tricija). Prema WHO (World Health Organization) standardima pokazatelji (parametri/indikatori) se dijele na: **kemijske, mikrobiološke, radiološke te fizikalne**. Radi se o istim parametrima jedino što se u WHO standardima pod fizikalne pokazatelje (eng.*acceptability aspects*) ubrajaju samo boja, miris i okus vode.

3.2. Povijest određivanja indeksa kakvoće vode

Počeci određivanja kvalitete sežu još u 19. stoljeće. Točnije, prvo određivanje kvalitete vode u njegovoj „najgrubljoj formi” datira iz 1848. godine. Tada je u Njemačkoj predstavljena ideja kako prisutnost ili odsustvo određenih organizama u vodi može definirati kvalitetu izvora. Cilj je bio na što jednostavniji način prikazati kvalitetu vode pritom uzimajući u obzir određena svojstva tj. pokazatelje koji bi mogli utjecati na kvalitetu vode. Vjerojatno vodeći se istom logikom, prvi moderni pokušaj određivanja indeksa kakvoće vode bio je Hortonov prijedlog WQI-a (World Quality Index) iz 1965. godine. Hortonov odabir svojstva, tj. parametara/pokazatelja koji utječu na kvalitetu vode temelji se na sljedeće tri točke (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012):

1. Broj varijabli/parametara koje treba uzeti u obzir treba biti ograničen kako bi se izbjeglo stvaranje nerazumljivog indeksa.
2. Parametri trebaju biti od značaja za veća područja.
3. Uključiti samo one parametre koji su dostupni i daju pouzdane podatke.

Hortonovi kriteriji uključuju 10 glavnih parametara koji se uzimaju u obzir: otopljeni kisik, pH, temperatura, broj koliformnih bakterija, električna vodljivost, alkalitet, kloridi,

sadržaj organske tvari, očigledno onečišćenje (odnosi se na izgled, boju i miris) te postotak stanovnika priključenih na uređaj za pročišćavanje otpadne vode. Toksične tvari nisu uključene u određivanje indeksa.

Indeks, QI se računa prema sljedećoj formuli :

$$QI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1} W_i} M_1 M_2 \quad (3-1)$$

Gdje I_i predstavlja pojedini parametar, a W_i težinski faktor ili udio tog faktora. M_1 i M_2 su koeficijenti ovisni o očiglednom onečišćenju i temperaturi. Hortonov indeks dobiva vrijednosti 0 – 100, gdje 0 predstavlja neprihvatljivu vodu za piće, dok vrijednost 100 predstavlja idealnu vodu. Prema formuli (3-1) indeks se lako izračuna, no određivanje vrijednosti koeficijenata M_1 i M_2 smatra se izrazito subjektivnim.

Po uzoru na Hortona, uslijedio je veliki broj autora s prijedlozima određivanja indeksa kvalitete vode, i to za različite tipove voda – kvaliteta izvorišta, kvaliteta morske vode, kvaliteta riječne vode, kvaliteta pitke vode, itd. No, svi su imali zajednički cilj, a to je smanjiti subjektivnu procjenu u cjelokupnom određivanju indeksa kakvoće.

Prati et al. (1971) predstavljaju način određivanja indeksa kvalitete vode za površinske vode. Vrijednosti koncentracija matematičkom transformacijom su prebačene u nove jedinice vrijednosti razine onečišćenja. Ti matematički izrazi su postavljeni tako da su nove jedinice proporcionalne efektu onečišćenja u odnosu na ostale faktore/čimbenike. Na ovaj način, ako je jedno onečišćivalo prisutno u malim koncentracijama u odnosu na ostale, to isto i dalje ima veliki udio u cjelokupnom indeksu. Promatraju se vrijednosti 13 parametara: pH, sadržaj otopljenog kisika (%), BPK₅ (petodnevna biološka potrošnja kisika) (mg/l), potrošnja kisika (mg/l), suspendirane tvari (mg/l), NH₃ (mg/l), Cl (mg/l), željezo (mg/l), mangan (mg/l), ABS (Alkyl benzen sulphonates), tj. deterdženti (mg/l), CCE (sadržaj organske tvari) (mg/l). Indeks se izračuna sljedećom formulom, a radi se o aritmetičkoj sredini svih izračunatih podindeksa danih u tablici 3 - 2.

$$I = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} I_i \quad (3-2)$$

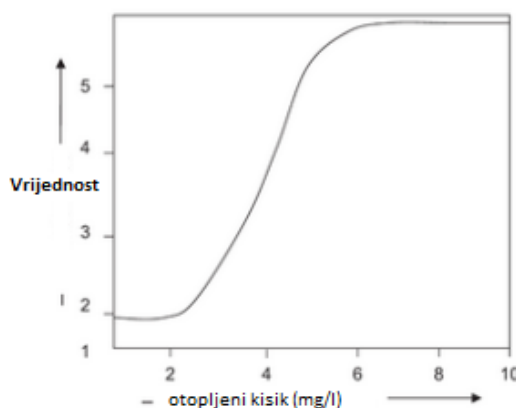
gdje je I_i suma svih vrijednosti dobivenih izračunom definiranim matematičkim izrazom za svaki parametar (Tablica 3-1.), a I aritmetička sredina svih podindeksa.

Tablica 3-1. Parametri i formule za izračun podindeksa (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012)

Parametar	Podindeks
Otopljeni kisik (%)	$I_i = -0,08x+8, 50 < x < 100$
	$I_i = 0,08x-8, 100 < x < 150$
pH	$I_i = -0,04x^2+14, 0 < x < 5$
	$I_i = -2x+14, 5 < x < 7$
	$I_i = x^2-14x+49, 7 < x < 9$
	$I_i = -0,4x^2+11,2x - 64,4, 9 < x < 14$
BPK5 (mg/l)	$I_i = 0,66666x$
COD (mg/l)	$I_i = 0,10x$
Potrošnja kisika (mg/l)	$I_i = 0,04x$
Suspendirane tvari (mg/l)	$I_i = 2^{[2,1\log(0,1x-1)]}$
Amonijak (mg/l)	$I_i = 2^{[2,1\log(10x)]}$
Nitrati (mg/l)	$I_i = 2^{[2,1\log(0,25)]}$
Kloridi (mg/l)	$I_i = 0,000228x^2+0,0314x, 0 < x < 50$
	$I_i = 0,0000132x^2+0,0074x+0,6, 50 < x < 300$
	$I_i = 3,75(0,02x-5,2)^{0,5}, 300 < x$
Željezo (mg/l)	$I_i = 2^{[2,1\log(10x)]}$
Mangan (mg/l)	$I_i = 2,5x+3,9\sqrt{x}, 0 < x < 0,5$
	$I_i = 5,2x^2+2,75, 0,5 < x$
Deterdženti (mg/l)	$I_i = 5,2x^2+2,75, 0,5 < x$
	$I_i = -0,8x^2+1,2, 1 < x$
Sadržaj organske tvari (mg/l)	$I_i = x$

1972. godine izveden je Brownov ili National Sanitation Foundation's Water-Quality Indeks (NSF-WQI) (Brown et al., 1970). Za razliku od Hortonova indeksa, odabir parametara koji će ulaziti u izračun indeksa bio je puno stroži. Razmatralo se 35 parametara od kojih je skup stručnjaka rangiranjem odabralo 9 konačnih i to rangiranih prema važnosti (Tablica 3-3.). Uzimaju se u obzir otopljeni kisik, fekalne koliformne bakterije, pH vrijednost, biološka potrošnja kisika, nitrati, fosfati, temperatura, mutnoća, ukupna tvrdoća. Svaki od ovih parametara ima svoju težinsku vrijednost (w_i) koja je dobivena prebacivanjem iz ranga u težinske udjele (Tablica 3-3.). Izračun indeksa kakvoće

vode dan je formulom 3-3, gdje w_i predstavlja težinsku vrijednost parametra, q_i predstavlja umnožak T_i (funkcija transformacije) i p_i (mjerena vrijednost parametra) svakog parametra. T_i (funkcija transformacije) predstavlja vrijednost očitane s krivulje za svaki pojedini parametar. Slika 2-5. prikazuje primjer krivulje za otopljeni kisik, a tablica 3-2. primjer izračuna. Sumiranjem se dobije rezultat u iznosu od 96,5 prema kojem se voda klasificira kao voda dobre kvalitete.



Slika 3-1. Primjer funkcije transformacije (krivulje) za parametar otopljeni kisik (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012)

Tablica 3-2. Popis parametara, rang važnosti i težinski udio na idealiziranom primjeru (prema Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012)

Parametar	Rang važnosti	Mjerene vrijednosti	q_i	w_i	$q_i * w_i$
Otopljeni kisik (O_2)	1	100	98	0,17	16,7
Petodnevna biokemijska potrošnja kisika (BPK_5)	2	0	100	0,11	11,0
Mutnoća	3	0	98	0,08	7,8
Ukupna tvrdoća	4	25	84	0,07	5,9
Nitrati	5	0	98	0,1	9,8
Fosfati	6	0	98	0,1	9,8
pH	7	7	92	0,11	10,1
Temperatura	8	0	94	0,1	9,4
Fekalne koliformne bakterije	9	0	100	0,16	16,0
					96,5

$$WQI = \sum_{i=1}^9 w_i T_i(p_i) = \sum_{i=1}^9 w_i q_i \quad (3-3)$$

1983. prvu metodu za određivanje indeksa kvalitete vode za piće na azijskim prostorima osmislio je Bhargava (1983). Za potrebe izračuna indeksa formirao je 4 grupe parametara (Tablica 3-3.). Prva grupa parametara uključila je sadržaj koliformnih bakterija i ona predstavlja kvalitetu vode s obzirom na koncentraciju bakterija. Druga grupa uključuje toksične tvari, teške metale, tj. elemente koji u većoj koncentraciji imaju toksični utjecaj za korisnike vode. Treća grupa parametara je grupa koja uključuje fizička svojstva vode kao što su miris, boja i mutnoća vode. Četvrta uključuje organske i anorganske netoksične tvari kao što su kloridi, sulfati, željezo, mangan, cink, itd. Izračuna se podindeks za svaku grupu f_i , a indeks prema formuli 3-4, gdje je n broj varijabli. U tablici je prikazan maksimalna dozvoljena koncentracija - C_{MCL} (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012).

$$WQI = [\prod_{i=1}^n f_i]^{1/n} \quad (3 - 4)$$

Tablica 3-3. Popis parametra, izračun podindeksa i maksimalne dozvoljene koncentracije (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012)

Parametri	Podindeks	C_{MCL}
Grupa I Koliformni organizmi	$f_i = \exp[-16 (C-1)]$	100 mg/l (koliformne bakterije)
Grupa II Toksične tvari, teški metali	$f_i = \exp[-4 (C-1)]$	0,05 mg/l
Grupa III Fizička svojstva	$f_i = \exp[-2 (C-1)]$	TU 15 Colour 15
Grupa IV organske i anorganske tvari	$f_i = \exp[-2 (C-1)]$	250 mg/l 500 mg/l

3.2.1 Metode određivanja indeksa kakvoće vode na području Sjeverne Amerike

U nastavku će biti nabrojane i objašnjene neke od metoda koje se primjenjuju u Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi. U tim zemljama postoji više metoda i načina određivanja indeksa kakvoće vode. Razlog tomu je to što je svaka savezna država usvojila svoj način određivanja indeksa kakvoće vode. U Kanadi su to primjerice Alberta indeks, Centre St Laurent indeks, British Columbia Index (BCWQI), Ontario indeks, Quebec indeks, The Canadian Council of Ministers of Environment Index (CCME – WQI) (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012).

Metode koje se koriste u SAD-u su primjerice: The Oregon Water Quality (OWQI), Florida Stream Water Quality Index (FQWI), The Lower Great Miami's Watershed (WEPWQI), The National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012).

U nastavku će se ukratko opisati CCME – WQI za primjer pristupa promišljanju i određivanju indeksa kakvoće vode u Kanadi (CCME, 2001.).

CCME – WQI uključuje tri elementa: **opseg** - broj varijabli/elementa koji ne zadovoljavaju uvjete kakvoće vode; **frekvencija** –koliko puta ti elementi nisu zadovoljili uvjete, te **amplituda** – iznosi za koje nisu ispunjeni uvjeti. Preporuka je uzeti barem deset parametara testiranih kroz godinu dana i minimalno jednom mjesečno. Izračun se može opisati u nekoliko koraka

Prvi korak (F_1 - opseg) je dobiti omjer broja parametara koji odstupaju od standarda ukupnog broja parametara, tj. postotak:

$$F_1 = \frac{\text{broj parametara koji odstupaju}}{\text{ukupni broj parametara}} \times 100 \quad (3-5)$$

Drugi korak (F_2 - frekvencija) je izračunati postotak nezadovoljavajućih testova naspram ukupnog broja testova.

$$F_2 = \frac{\text{broj nezadovoljavajućih testova}}{\text{ukupan broj testova}} \times 100 \quad (3-6)$$

Treći korak je (F_3 - amplituda) dobije prema formuli (3-7), a predstavlja značaj i mjeri veličinu odstupanja od zadanih ciljeva kakvoće (nse)

$$F_3 = \frac{nse}{0,01nse+0,01} \quad (3-7)$$

nse se dobije prema formuli (3-8) i predstavlja odstupanje od ciljeva kakvoće koje se dobije dijeljenjem zbroja odstupanja svih testova od ukupnog broja testiranja

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n ex(odstupanje)}{broj\ testova} \quad (3-8)$$

Prvo se izračuna

$$Excursion(odstupanje) = \left(\frac{failed\ test\ value_i}{objective_j} \right) - 1 \quad (3-9)$$

odnosno broj koliko je puta individualna koncentracija nekog parametra bila veća ili manja od standarda tog parametra.

Konačni izračun WQI_{ccme} je omogućen formulom (3-10):

$$CCME = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \quad (3-10)$$

Indeks daje broj između 0 (najlošije kvalitete vode) i 100 (najbolje kvalitete vode). Ovi brojevi su podijeljeni u pet opisnih kategorija kako bi se pojednostavio prikaz. Kategorije su: **izvrsna (95-100)**, kvaliteta vode je izvrsna te su uvjeti kao prirodni, tj. netaknuti. **Dobra (80-94)**, kvaliteta vode je sigurna od mogućeg zagađenja, uvjeti rijetko odstupaju od prirodnih ili željenih razina. **Korektna do slaba (65-79)**, ugroženost kvalitete vode je povećana, uvjeti češće odstupaju od prirodnih i poželjnih uvjeta. **Granični (45-64)**, kvaliteta vode je češće ugrožena, postoji opasnost od pogoršanja, a uvjeti često odstupaju od prirodnih i poželjne razine. **Loša (0-44)**, kvaliteta vode gotovo uvijek loša, a uvjeti su ispod prirodnih i poželjnih razina (CCME, 2001).

Za izračun indeksa potrebno je najmanje četiri varijable, uzorkovane najmanje četiri puta u jednoj godini. Najveći broj uzorkovanja nije definiran. Odabir varijabli ovisi o mjerenim parametrima te području na kojem se želi odrediti indeks kakvoće vode.

Nadalje će se ukratko opisati The National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI), tj. Indeks kakvoće vode za Nacionalni zdravstveni fond za primjer pristupa promišljanju i određivanju indeksa kakvoće vode u SAD-u.

Ova metoda računanja indeksa kvalitete vode temelji se na Brown-ovom indeksu iz 1970 (prema Abbasi i Abbasi 2012). Predložena metoda za uspoređivanje kvalitete vode različitih izvora vode temelji se na devet parametara kvalitete vode kao što su promjena temperature, pH, mutnoća, koliformne bakterije, otopljeni kisik, petodnevna biološka potrošnja kisika, ukupni fosfati, nitrati i ukupna tvrdoća. Matematički izraz za određivanje NSF WQI glasi:

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \quad (3-11)$$

Gdje je Q_i podindeks za kvalitetu vode isto kao i kod Brown-a q_i , očita se iz definiranih krivulja, W_i – težinski faktor (Tablica 3-3.), a n predstavlja broj parametara. Indeks daje vrijednosti rangirane tako da vrijednosti između 90-100 ukazuju na izvrsnu kvalitetu vode, 70-90 dobru kvalitetu, 50-70 srednju, 25-50 lošu, a 0-25 vrlo loša kvaliteta vode.

3.2.2 Metode određivanja indeksa kakvoće vode u Europi

Počeci određivanja indeksa kakvoće vode u Europi počinju u Italiji s već spomenutom i objašnjenom metodom (u poglavlju 3.2) određivanja indeksa prema Pratiću et al. iz 1971. U Njemačkoj u okviru suradnje Službe za praćenje onečišćenja Rajne (Service for Rhine Pollution Monitoring) i Njemačkog društva za plin i vodu, vode rijeke Rajne klasificirane su u 5 klasa kakvoće vode prema 5 pokazatelja onečišćenja (Štambuk-Giljanović, 2003.). U Škotskoj je u okviru rada Škotskog odjela za razvoj razvijen Škotski Indeks za kakvoću vode (SSD, 1976). U Francuskoj se indeks kakvoće vode (SEQ) rabi za površinske i podzemne vode (SEQ, 2003). Francuski indeks kakvoće vode, SEQ, obuhvaća trodjelni sustav za ocjenu kakvoće vode rijeka; (1) fizikalni aspekt ili stupanj prirodosti riječnog korita i obala, (2) fizikalno-kemijsku kakvoću vode i (3) biološki aspekt ili stanje bioloških zajednica.

U nastavku će biti opisana metoda koja se naziva univerzalnom metodom WQI-a prema Boyacıoğlu (2007). Ovom se metodom može odrediti prikladnost vode za uporabu u vodoopskrbi, a razvio ju je Europski parlament. Metoda se temelji na nekoliko glavnih koraka opisanih u nastavku (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012):

Prvo se svakom parametru/pokazatelju dodjeljuje težinski udio w_i u skladu s njegovom relativnom važnošću u ukupnoj kakvoći vode za piće. Vrijednost w_i kreće se u rasponu od 1-5. Pridodavanjem vrijednosti 1 nekom parametru, znači da u očekivanim koncentracijama nije štetan niti toksičan. Suprotno tome, broj 5 označava maksimalan udio, tj. koncentracija tog parametra je od velikog značaja u procjeni kakvoće vode. Dakle, relativni udio, W_i , dobije se formulom 3-12, gdje w_i predstavlja udio svakog parametra/pokazatelja, a n broj pokazatelja (Abbasi T. i Abbasi S. A., 2012):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3-12)$$

Sljedeći korak je ocjena kvalitete, q_i , za svaki parametar. Formula 3-13 prikazuje da se ocjena kvalitete dobije dijeljenjem njegove koncentracije (izražena u mg/l) u svakom uzorku vode i njegovog odgovarajućeg standarda prema smjernicama WHO.

$$q = \frac{C_i}{S_i} * 100 \quad (3-13)$$

Nadalje, potrebno je pomnožiti relativni udio s ocjenom kvalitete za svaki pojedini parametar (3-14). Nakon što se to učini za svaki parametar, konačna suma svih SI (formula 3-15) daje vrijednost indeksa kakvoće vode.

$$SI_i = W_i * q_i \quad (3-14)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (3-15)$$

Dobiveni broj predstavlja indeks kakvoće vode, a daljnji korak je klasifikacija vode prema WHO standardima prikazanima u tablici 3-4.

Tablica 3-4. Klasifikacija kvalitete vode na temelju WQI (Tomas et al., 2013)

WQI	Kvaliteta vode
< 50	izvrsna
50 - 100	dobra
100 - 200	loša
200 - 300	vrlo loša
> 300	voda neprikladna za piće

3.2.3 Određivanje QI – a (Quality Index) u Hrvatskoj

Određivanje indeksa kakvoće voda u Hrvatskoj nema toliku povijest kao u svijetu. Poznata su tri slučaja određivanja indeksa kakvoće vode. Onaj starijeg datuma je iz 1983. godine. U obliku doktorske disertacije određivao se indeks kakvoće vode površinskih i podzemnih voda u Dalmaciji.

Štambuk-Giljanović (1983) u obzir uzima devet pokazatelja: temperatura, mineralizacija, koeficijent korozivnosti, zasićenje kisikom, BPK, ukupni dušik, proteinski dušik, ukupni fosfor i NVB coli/100ml. Rezultati se krivuljama pretvaraju u odgovarajući broj bodova i na taj način su svedeni na jedinstvenu ljestvicu. Vrijednost boda je umnožak ocjene kakvoće vode q_i (koja se može kretati od 0-100) i udjela pokazatelja w_i u ukupnoj kakvoći. Na vrijednost boda utječu dva čimbenika (rezultat ispitivanja i udio pojedinog pokazatelja u ukupnoj ocjeni kakvoće vode, koji je različit i ovisi o procjeni). Ukupni indeks je zbroj ocjene kakvoće devet pokazatelja pa se iz vrijednosti indeksa ne mogu zaključiti koji pokazatelji značajnije utječu na njegovu vrijednost.

Drugi slučaj određivanja indeksa kakvoće vode je iz 2013. godine (Tomas et al., 2013). Svrha određivanja bila je određivanje kakvoće vode u krškim jezerima. Koristila se prethodno objašnjena metoda univerzalnog indeksa kakvoće vode (prema Boyacioglu, 2007). U radu je prikazana kakvoća vode jezera primjenom indeksa kvalitete vode (eng. Water Quality Index, WQI) i njihov kemijski sastav Piperovim dijagramom. Ispitivana su jezera: Vrana na otoku Cresu, Vransko jezero kod Biograda na moru, Baćinsko jezero Crniševo i akumulacija Butoniga u razdoblju 2010.-2012. godine. U izračunu WQI korišteni su sljedeći pokazatelji: pH vrijednost, ukupna otopljena tvar (TDS), hidrogenkarbonati, ukupna tvrdoća, kloridi, sulfati, nitrati, fluoridi, kalcij, magnezij, željezo i mangan. U ovom slučaju 15 pokazatelja, ako ih ima manje od 12 tada se zbroje podindeksi svih ispitivanih pokazatelja i suma podijeli sa sumom specifičnih masa (Tomas et al., 2013).

Za izračun QI-a korištene su preporuke vode za piće Svjetske zdravstvene organizacije (eng. World Health Organization, WHO) te dobiveni QI predstavlja prikladnost voda za uporabu u vodoopskrbi. Istraživanjem je utvrđeno da je kakvoća vode na Vranskom jezeru kod Biograda na moru bila najlošije kvalitete u 2012. godini (WQI=870), dok je najbolja kakvoća vode zabilježena na jezeru Vrana na otoku Cresu u 2012. godini (WQI=31,2).

Treći slučaj određivanja indeksa kakvoće vode u Hrvatskoj odnosi se na sliv rijeke Like, gdje je definirana metodologija za utvrđivanje indikatora promjene kakvoće podzemne i površinske vode, kroz primjenu indeksa kakvoće voda, a izneseni rezultati istraživanja jasno ilustriraju da primijenjena metodologija može dati jasnu i razumljivu opću ocjenu kakvoće voda u smislu sažimanja velikih količina podataka o kakvoći vode u jednostavne izraze (primjerice dobro stanje) (Artuković, 2009). Utvrđeno je prosječno stanje kakvoće voda na mjernim postajama. Prosječno stanje kakvoće površinskih i podzemnih slivova rijeke Like je općenito vrlo dobro (antropogeni utjecaji su razmjerno mali. Definirane su potrebne buduće aktivnosti za određivanje optimalne razine zaštite podzemnih voda i pridruženih vodenih i terestričkih ekosustava (Artuković, 2009).

4. Određivanje indeksa kakvoće vode vodocrpilišta u Velikoj Gorici

Temeljem prethodno opisanih i proučenih metoda određivanja indeksa kakvoće vode u svijetu, metoda univerzalnog određivanja kakvoće vode odabrana je kao najprikladnija za određivanje indeksa kakvoće vode za vodocrpilište Velika Gorica. Razlog tomu je vrlo jednostavan i leži u raspoloživim podacima. Naime, kada su u obzir uzeti parametri koji su bili mjereni i koji su bili dostupni za izradu ovog rada, te koja bi metoda uopće bila primjenjiva na danom primjeru, metoda univerzalnog određivanja indeksa se istaknula među mnoštvom navedenih.

4.1 Prikupljanje podataka

Za potrebe izračuna indeksa kakvoće vode koristili su se podaci kemijskih analiza vode uzorkovane tokom 2014. i 2015 godine s 13 piezometara na području Velike Gorice, Čdp-3/2 (53001), Čp-23 (53002), Lg-1 (53003), Lg-4 (53005), P-7 (53006), Vg-1 (53007), Vg-4 (53010), Vg-6 (53012), Vg-11 (53015), Vg-9 (53016), Lg-2/2 (53017), Vg-10/2 (53018) i Vg-5/2 (53019).

Piezometri su smješteni u neposrednoj blizini zdenaca, ali i u široj okolici crpilišta Velika Gorica (pretežito uzvodno). Uzorkovanja su provođena u skladu s propisima, a što podrazumijeva nekoliko puta godišnje. Ovo se napominje iz razloga što dinamika uzorkovanja utječe na odabir metode određivanja indeksa, te kako će se i na koji način izvršiti osrednjavanje podataka, što pak utječe na krajnji rezultat, odnosno na vrijednost indeksa kakvoće vode.

Područje na kojem se uzorkovalo prikazano je na slici 2-4. Obzirom na položaj vodocrpilišta i sveukupni raspored piezometara u prostoru, piezometri 53015, 53016, 53012, 53002 ipak su se izuzeli iz ukupnog izračuna indeksa.

Budući da se odlučilo na potpuno osrednjenje podataka, za pojedini parametar uzeta je srednja vrijednost svih mjerenja izvršenih u godini dana.

4.2 Odabir parametara

Odabir parametara vršio se prema preporukama WHO standarda. Cilj je bio odabrati što više parametara koji se redovito mjere i za koje su dobiveni vjerodostojni rezultati. U uzetim uzorcima podzemne vode mjerio se niz parametara: temperatura zraka (°C), temperatura vode (°C), boja, miris, vidljivi otpad, pH vrijednost, redoks potencijal (mV), električna vodljivost ($\mu\text{S}/\text{cm}$), slobodni CO_2 (mg/l), ukupne suspendirane tvari (mg/l), suhi ostatak ukupni 105°C (mg/l), suhi ostatak žareni 600°C (mg/l), alkalitet m-vrijednost (mgCaCO_3/l), alkalitet p-vrijednost (mgCaCO_3/l), tvrdoća ukupna (mgCaCO_3/l), utrošak kiseline-m (mmol/l), utrošak kiseline-p (mmol/l), mutnoća (NTU), otopljeni kisik (mgO_2/l), utrošak KMnO_4 (mgO_2/l), zasićenje kisikom (%), KPK-Mn (mgO_2/l), amonij (mgN/l), nitriti (mgN/l), nitrati (mgN/l), anorganski dušik (mgN/l), ortofosfati (mgP/l), ukupni br. koliformnih bakt. (UK/100 ml), broj fekalnih koliforma (FK/100 ml), broj fekalnih streptokoka (FS/100 ml), broj aerobnih bakterija 37°C (BK/ml 37°), broj aerobnih bakterija 22°C (BK/ml 22°), *Escherichia coli* (EC/100 ml), bakar otopljeni ($\mu\text{gCu}/\text{l}$), cink otopljeni ($\mu\text{gZn}/\text{l}$), kadmij otopljeni ($\mu\text{gCd}/\text{l}$), krom otopljeni ($\mu\text{gCr}/\text{l}$), nikal otopljeni ($\mu\text{gNi}/\text{l}$), olovo otopljeno ($\mu\text{gPb}/\text{l}$), živa otopljena ($\mu\text{gHg}/\text{l}$), arsen otopljeni ($\mu\text{gAs}/\text{l}$), mangan otopljeni ($\mu\text{gMn}/\text{l}$), željezo otopljeno ($\mu\text{gFe}/\text{l}$), fenoli ukupno (mg/l), 4,4' DDT, ($\mu\text{g}/\text{l}$), 4,4' DDE, ($\mu\text{g}/\text{l}$), 4,4' DDD, ($\mu\text{g}/\text{l}$), HCH, ukupni ($\mu\text{g}/\text{l}$), α -HCH ($\mu\text{g}/\text{l}$), β -HCH ($\mu\text{g}/\text{l}$), γ -HCH (lindan) ($\mu\text{g}/\text{l}$), HCB (heksaklorbenzen) ($\mu\text{g}/\text{l}$), heptaklor ($\mu\text{g}/\text{l}$), aldrin ($\mu\text{g}/\text{l}$), dieldrin ($\mu\text{g}/\text{l}$), endrin ($\mu\text{g}/\text{l}$), α -endosulfan ($\mu\text{g}/\text{l}$), atrazin ($\mu\text{g}/\text{l}$), simazin ($\mu\text{g}/\text{l}$), triklormetan (kloroform) ($\mu\text{g}/\text{l}$), bromoform ($\mu\text{g}/\text{l}$), 1,1,1-trikloretnan ($\mu\text{g}/\text{l}$), tetraklormetan (tetraklorugljik) ($\mu\text{g}/\text{l}$), trikloretilen ($\mu\text{g}/\text{l}$), tetrakloretilen ($\mu\text{g}/\text{l}$), 1,2-dikloretnan ($\mu\text{g}/\text{l}$), diklormetan ($\mu\text{g}/\text{l}$), triklorbenzen (svi izomeri) ($\mu\text{g}/\text{l}$), 1,2,3-triklorbenzen ($\mu\text{g}/\text{l}$), 1,2,4-triklorbenzen ($\mu\text{g}/\text{l}$), 1,3,5-triklorbenzen ($\mu\text{g}/\text{l}$), benzen ($\mu\text{g}/\text{l}$), ksilen ukupni ($\mu\text{g}/\text{l}$) o-ksilen ($\mu\text{g}/\text{l}$), m-ksilen+p-ksilen ($\mu\text{g}/\text{l}$), toluen ($\mu\text{g}/\text{l}$), stiren ($\mu\text{g}/\text{l}$), antracen ($\mu\text{g}/\text{l}$), naftalen ($\mu\text{g}/\text{l}$), fluoranten ($\mu\text{g}/\text{l}$), benzo(b)fluoranten ($\mu\text{g}/\text{l}$), benzo(k)fluoranten ($\mu\text{g}/\text{l}$), benzo(a)piren ($\mu\text{g}/\text{l}$), benzo(g,h,i)piren ($\mu\text{g}/\text{l}$), indeno(1,2,3-cd)piren ($\mu\text{g}/\text{l}$), vinil klorid ($\mu\text{g}/\text{l}$), TOC (mg/l), kalcij (mg/l), magnezij (mg/l), natrij (mg/l), kalij (mg/l), kloridi (mg/l), cijanidi (mg/l) te sulfati (mg/l).

Pregledavanjem niza podataka dobivenim ispitivanjem podzemne vode iz 2014. i 2015. godine od ukupno 94 navedenih parametara odabrano ih je 14 za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode. To su: pH, ukupna tvrdoća, nitrati, željezo, kalcij, magnezij, natrij,

kalij, kloridi, sulfati, ukupan broj koliformnih bakterija, mangan, električna vodljivost, te atrazin. Navedeni parametri su odabrani budući da su se gledale preporuke WHO standarda te njihov općeniti značaj, tj. utjecaj u ukupnom određivanju indeksa kakvoće vode. Osim spomenutih preporuka uvažena je i ideja obuhvata što većeg broja parametara, a da su pri tome njihove vrijednosti prikladne za izračun. Tu se misli na izbjegavanje parametara čije su vrijednosti izražene u obliku „manje od”. Vrijednosti parametara su većinom bile izražene u mg/l ili u µg/l tako da je prije samog izračuna bilo potrebno svesti sve vrijednosti koncentracija na istu mjernu jedinicu, u ovom slučaju mg/l.

U nastavku će se opisati izračun indeksa kakvoće za 2014. i 2015. godinu. Koristila se univerzalna metoda određivanja iz preporuke WHO standarda, čiji su koraci prethodno opisani. Cilj je bio sistematizirati podatke, dobiti osrednjenu vrijednost za svaki parametar te istu sumirati i dobiti konačni broj koji predstavlja indeks kakvoće vode. Ova metoda je odabrana budući da je možda najjednostavnija za prikazati, ne zahtijeva dodatno pretvaranje pojedinog pokazatelja određenim matematičkim izrazom, nema točno zadane parametre već ima za cilj ih što više uzeti u obzir. Mana je osrednjenje pojedinih parametara ukoliko mjerenja nisu redovita (barem jednom mjesečno) te subjektivna procjena težinskog udjela istih.

4.3 Opis pojedinih parametara

Parametri koji su odabrani te njihove maksimalno dopuštene koncentracije u vodi za piće, prema WHO i hrvatskom pravilniku, navedeni su u tablici 4-1. Drugi i treći stupac (WHO i MDK) prikazuju vrijednosti parametara prema WHO (2011) i prema standardima određenim Pravilnikom (NN 125/13). Europska praksa je određivanje indeksa kakvoće vode prema WHO standardima, no budući da su u Hrvatskoj Pravilnikom (NN 125/13) određene maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) pojedinih parametara, za ovaj slučaj napravio se izračun prema MDK standardu. Izuzetak su parametri za koje hrvatska legislativa nije propisala maksimalno dopuštene vrijednosti. U tom slučaju preuzete su vrijednosti od WHO-a.

Tablica 4-1. Popis parametara i njihove maksimalno dopuštene koncentracije u vodi za piće

Parametri	Standard	
	WHO	MDK
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5
Kalcij (mg/l)	75	75*
Kalij (mg/l)	8	12
Kloridi (mg/l)	250	250
Magnezij (mg/l)	30	30*
Mangan (mg/l)	0,1	0,05
Natrij (mg/l)	200	200
Nitrati (mg/l)	50	50
pH	7,00 - 8,00	6,5 - 9,5
Sulfati (mg/l)	250	250
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100*
Ukupno koliformni bakterija UK/100 ml	5	0
Željezo (mg/l)	0,2	0,2

*vrijednosti preuzete prema preporukama WHO

4.3.1 Atrazin

Atrazin je jedan od pesticida koji u tlo, pa kasnijom infiltracijom kroz tlo, u vodu dolazi isključivo antropogenim utjecajem. Dakle, tretiranjem poljoprivrednih zemljišta, vinograda ili voćnjaka pesticidima. Atrazin (6-klor-N²-etil-N⁴-izopropil-1,3,5-triazin-2,4-diamin) je herbicid iz grupe triazina (točka taljenja 175,8 °C, točka vrelišta 205 °C, topljivost u vodi 33 mg/dm³ na pH 7 i ne zavisi od pH) (Tomlin, 2006). Otapanjem atrazina u vodenoj otopini nastaje veći broj metabolita od kojih su najznačajniji deetil-atrazin (DEA), deizopropil-atrazin (DIA) i deetil-deizopropil-atrazin (DEIA). Poluživot atrazina (DT₅₀) u vodenoj sredini je 105 do više od 200 dana, ovisno od uvjeta (Ritter et al., 1994).

Dozvoljena koncentracija u vodi za piće prema WHO standardima iznosi 0,1 mg/l, dok u RH maksimalna koncentracija svih pesticida iznosi 0,1 µg/l. Zbog svoje izrazite toksičnosti u većini europskih zemalja atrazin je isključen iz upotrebe.

4.3.2 Električna vodljivost

Vodljivost se definira kao „sposobnost ili moć vođenja ili prenošenja topline, struje ili zvuka”. Izražava se u jedinicama siemens po metru [S/m] u SI sustavu i millimhos po centimetru [mmho/cm] u američkom sustavu mjera. Elektricitet proizlazi iz gibanja električki nabijenih čestica kao odgovor na sile koje djeluju na njih iz primjenjenog električnog polja. Vodljivost ovisi o količini otopljenih iona (koji provode struju), zato je to mjera koja pokazuje količinu iona u vodi, odnosno vodljivost se povećava povećanjem koncentracije iona u vodi. Zato se čista voda (primjerice destilirana voda) ne smatra dobrim vodičem. Vodljivost čiste vode je oko $5,5 \times 10^{-6}$ S/m, pitke vode oko 0,005 – 0,05 S/m, a morske oko 5 S/m (<http://www.lenntech.com/applications/ultrapure/conductivity/-water-conductivity.htm>).

Električnu vodljivost često se dovodi u vezu s ukupno otopljenim tvarima u vodi TDS (Total Dissolved Solids). Ona je u biti mjera za ukupne ione u vodi. Zato se ukupne otopljene tvari na osnovu električne vodljivosti mogu izračunati pomoću jednadžbe $TDS \text{ (mg/l)} = 0,5 \times EC \text{ (dS/m ili mmho/cm)}$ ili $= 0,5 \times 1000 \times EC \text{ (mS/cm)}$. Što je veća tvrdoća vode, veća je i električna vodljivost. Testiranje provodljivosti vode pokazuje ukupnu količinu iona prisutnih u vodi, ali ne daje porijeklo niti vrstu iona, odnosno, jesu li to primjerice ioni magnezija, kalcija ili željeza (<http://www.lenntech.com/-applications/-ultrapure/conductivity/water-conductivity.htm>).

4.3.3 Ukupna tvrdoća

Ukupna tvrdoća predstavlja količinu otopljenih iona u vodi. Glavnima se smatraju kalcijevi i magnezijevi kationi dok manji doprinos ukupnoj tvrdoći imaju ioni aluminija, barija, željeza, mangana, stroncija i cinka. Vrijednost ukupne tvrdoće se izražava kao količina kalcijevog karbonata po litri otopine. Voda se prema koncentraciji kalcijevog karbonata može klasificirati kao: **meka**, koncentracija kalcijevog karbonata ispod 60 mg/l, **umjereno tvrda**, koncentracija kalcijevog karbonata između 60 i 120 mg/l, **tvrda**,

koncentracija kalcijevog karbonata između 120 i 180 mg/l, a više od 180 mg/l **vrlo tvrda** voda (McGowan, 2000).

Iako su kalcij i magnezij esencijalni elementi za ljudsko zdravlje u nastavku će se govoriti o slučaju prevelike i premale koncentracije kalcija i magnezija u tijelu. U slučaju manjka kalcija u tijelu postoji rizik od osteoporoze, nefrolitijaze (bubrežnih kamenaca), raka debelog crijeva, hipertenzije i moždanog udara, bolesti koronarnih arterija, otpornost na inzulin i pretilost. Manjak magnezija u tijelu povezuje se s disfunkcijom endotela (bolest srca), hipertenzijom, koronarnom srčanom bolesti, dijabetesom melitus tip 2 i metaboličkim sindromom (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf?ua=1).

Kada se misli na povećan unos kalcija u tijelo povezuje ga se s mliječno-alkalnim sindromom, i tu se prvenstveno misli na povećan unos kalcija putem mlijeka. Povećan unos magnezija može uzrokovati privremene promjene u radu crijeva, ali rijetko uzrokuje hipermagneziju kod osoba s normalnom funkcijom bubrega. Pitke vode u kojoj su prisutne visoke koncentracije magnezija i sulfata (gore približno 250 mg/l svakog) mogu djelovati laksativno na organizam, no u pravilo povećane koncentracije u tijelu nisu rizične po zdravlje (http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf?ua=1).

Prema WHO standardima i prema Pravilniku maksimalno dozvoljene koncentracije u vodi su za ukupnu tvrdoću 100 mg/l, kalcij 75 mg/l, a željezo 0,2 mg/l.

4.4.4 Kalij

Kalij je bitan element za zdravlje ljudi i rijetko se može naći u pitkoj vodi u koncentracijama koje bi štetile ljudskom zdravlju. Preporučena dnevna doza je veća od 3000 mg (WHO, 2010). U pitkoj vodi može se pojaviti kao posljedica korištenja kalijevog permanganata kao oksidacijskog sredstva. U nekim zemljama, kalijev klorid sam ili pomiješan s natrijevim kloridom se koristi za omekšavanje vode. To funkcionira na način da se kalijevi ioni zamijene s ionima kalcija i magnezijevim ionima u vodi.

Prema WHO standardu dozvoljena je količina od 8 mg/l, a prema Pravilniku (NN 125/13), MDK iznosi 12 mg/l.

4.4.5 Kloridi

Kloridi u vodi za piće dolaze iz prirodnih izvora, kanalizacijskih i industrijskih otpadnih voda, kao posljedica soljenja cesta ili prodora morske vode. Unos klorida u tijelo kroz vodu za piće nije značajan budući da je glavni donos klorida u ljudsko tijelo putem hrane (WHO, 2011). Prema WHO smatra se da nije zabrinjavajuće za zdravlje ukoliko se nađe u vodi u koncentraciji do 250 mg/l. Iznad te koncentracije može dati okus vodi. Prema Pravilniku (NN 125/13) također je maksimalna dozvoljena koncentracija 250 mg/l.

4.4.6 Mangan i željezo

Željezo i mangan su uobičajeni metalni elementi koji se nalaze u zemljinoj kori. Voda se perklorira kroz tlo i stijene u kojima dolazi do disocijacije minerala koji sadrže željezo i mangan, te prelaze u vodenu otopinu. Povremeno, željezne cijevi također mogu biti izvor željeza u vodi. U dubokim vodonosnicima s manjkom kisika voda koja sadrži mangan i željezo je čista i bez boje (mangan i željezo su disocirani). Kada voda dođe u dodir s kisikom iz bezbojnih disociranih oblika željezo i mangan prelaze u čvrste obojene tvari. Oksidacijom, željezo prvo poprima žutu, a zatim crveno-smeđu boju. Mangan je obično disociran u vodi iako neki plitki zdenci sadrže obojeni mangan (crna boja). Mangan i željezo mogu reagirati s taninom u kavi, čaju i nekim alkoholnim pićima te mogu proizvesti mulj. Željezo će proizvesti crvenkasto smeđe mrlje odjeće, a mangan smeđkaste. Postoje i željezne ili manganske bakterije koje se nalaze u tlu i plitkim vodonosnicima i u nekim površinskim vodama. Ta se bakterija hrani željezom i manganom, nije patogena no nije poželjna u vodi (<http://www.water-research.net/index.php/iron>).

Višak koncentracije željeza i mangana može uzrokovati bolest hematokromatozu. Voda koja ima u sebi željeza stvara velike poteškoće i u brojnim industrijama, kao što su: tekstilna, kožarska, celulozno-papirna, prehrambena itd. Osim toga, željezo u vodovodnoj mreži može izazvati rast i razvoj određenih vrsta mikroorganizama, čiji metaboliti smanjuju ili potpuno ispunjavaju presjeke cjevovoda (<http://www.water-research.net/index.php/water-testing/drinking-water-testing>).

Prema WHO standardima i Pravilniku dozvoljena je koncentracija željeza 0,2 mg/l dok je koncentracija mangana prema WHO standardima 0,1 mg/l, a prema Pravilniku 0,05 mg/l.

4.4.7 Natrij

Natrij je kemijski element, metal, koji se nalazi u zemljinoj kori, morskoj vodi i mineralima. Disociranje minerala i infiltracija kroz tlo su jedni od glavnih načina ulaska natrija u podzemnu vodu. U vodi u većini slučajeva koncentracija natrija ne prelazi 20 mg/l. Prema WHO (2011) natrij nije prijetnja zdravlju. U koncentracijama većim od dozvoljenih, i prema WHO standardima i prema Pravilniku, prvenstveno većima od 200 mg/l, može dati specifičan okus vodi.

4.4.8 Nitrati

Nitrati su jedan od dušikovih spojeva koji se najviše koristi za obradu vrtova i poljoprivrednih zemljišta. Toksični su i nisu poželjni u visokim koncentracijama u vodi. Preciznije rečeno, nitrati sami po sebi nisu toksični, nego nitriti u koje nitrati u određenim uvjetima prelaze. Nitriti nastaju u organizmu redukcijom nitrata koji ili dolaze s hranom (također se dodaju u mesne proizvode) ili vodom (redukcija nitrata u prirodi). Nitriti su jako oksidacijsko sredstvo i od tuda njihova toksičnost. Isti oksidiraju željezo u hemoglobinu čime se smanjuje prijenos kisika u organizmu (<http://eskola.chem.pmf.hr>). Zato je nužno vodu testirati na prisustvo nitrata budući da su bez boje, mirisa i okusa, a prvenstveno se preporučuje testiranje vode u kućanstvima u kojima su trudnice, djeca ili starije osobe (<http://www.water-research.net/index.php/nitrate>). Ipak, malo je vjerojatno da se odjednom unesu u organizam tolike količine nitrita/nitrata da budu opasni za život, ali subtoksične doze na duge staze mogu oslabiti organizam.

Prema WHO standardima i Pravilniku dozvoljena je koncentracija 50 mg/l.

4.4.9 pH vrijednost

Vrijednost pH predstavlja koncentraciju vodikovih iona u vodi. pH vode je u pravilu 7 i ona je neutralna. Što je broj manji to upućuje na kiselost vode, a što je broj veći na lužnatost. Normalni raspon pH vrijednosti za površinske vode je između 6,5 i 8,5, a za podzemne vode 6-8,5 (<http://www.water-research.net/index.php/ph>). Prema WHO standardu dozvoljen je raspon između 6 i 8, a prema pravilniku između 6,5 i 9,5.

4.4.10 Sulfati

Sulfati su spoj sumpora i kisika koji se nalazi kao minerali u tlu ili stijeni te disociranjem odlaze u podzemnu vodu. Postoje bakterije koje koriste sumpor kao izvor energije i njihov prvotni proizvod je sumporovodik. Žive u okolišima gdje manjka kisika, tj. anaerobnim uvjetima kao što su duboki bunari, vodovodni sustavi, omekšivači vode te grijalice i šire se na toplom (<http://www.water-research.net/index.php/sulfates>). Iste te bakterije također pretvaraju sulfide u sulfate pritom stvarajući tamnu sluz koja može začepiti vodovod i/ili zaprljati odjeću. Minerali koji sadrže sulfate mogu se nakupiti u cijevima te ih se može povezati s kiselkastim okusom vode. Povišene razine sulfata, zajedno s klorom mogu otežati čišćenje odjeće. Povećana razina sulfata u vodi može imati laksativni učinak na organizme, pritom dovodeći do dehidracije što nije poželjno za malu djecu. No, s vremenom organizmi se prilagode te simptomi nestanu (<http://www.water-research.net/index.php/sulfates>).

Prema WHO standardima i Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija u vodi je 250 mg/l.

4.4.11 Ukupne koliformne bakterije

Ukupne koliformne bakterije uključuju aerobne i anaerobne bacile koji mogu živjeti i rasti u vodi. Stoga, nisu dobri indikatori kao fekalne bakterije, ali mogu se koristiti za procjenu čistoće vodovodnog sustava (WHO, 2011).

Ukupne koliformne bakterije (osim *E. coli*) se javljaju u kanalizaciji i prirodnim vodama, te su uobičajene u okolišu pa i unutar ljudskog organizma i generalno nisu štetne. Međutim, prisustvo ovih bakterija u vodi za piće može biti posljedica problema u vodovodnom sustavu i sustavu za pročišćavanje vode te može ukazati na onečišćenje vode bakterijama koje mogu izazvati bolesti (WHO, 2011).

Prema WHO standardu maksimalna dozvoljena koncentracija je 5 bakterija na 100 ml, a prema Pravilniku (NN 125/13) 0 bakterija na 100 ml.

5. Određivanje težinskog udjela za potrebe određivanja indeksa kakvoće vode

U ovom poglavlju prikazat će se izračun i dobiveni rezultati indeksa kakvoće vode na primjeru vodocrpilišta u Velikoj Gorici te rezultat izračuna s obzirom na određivanje težinskog udjela svakom parametru. Osim izračuna u ovom poglavlju prikazat će se promjena indeksa s obzirom na dodjeljivanje težinskog udjela parametrima. Općenito, kemijski parametri imaju manji težinski udio od mikrobioloških (WHO, 2011). Kako je prethodno opisano, težinski udio u vrijednosti od 5 za neki parametar znači da je njegov udio u cjelokupnom indeksu najnepovoljniji. Što je logično s obzirom da nije poželjno da isti budu prisutni u vodi u koncentracijama iznad propisanih. Treba napomenuti kako je određivanje težinskog udjela za svaki parametar određen prema primjeru Tomas et al. (2013) prema uputama i opisu WHO standarda, te subjektivnom procjenom istih.

Za prvi primjer prikazat će se izračun prikazan u Tablici 5-1. Četvrti stupac w_i prikazuje težinski faktor (udio) pojedinog parametra u ukupnom izračunu. U ovom slučaju težinski udio za sve parametre je (5). Matematički gledano svi imaju jednaku vrijednost i rezultat indeksa bio bi isti i da se svima dala vrijednost (1). Ovaj primjer nije reprezentativan, odnosno ne može se reći da je koncentracija atrazina ili nitrata jednako važna prilikom izračuna kao koncentracija kalcija ili magnezija. Kalcij i magnezij su prirodni elementi u vodi i njihova koncentracija pa i čak u koncentracijama većim od dozvoljenih ne može donijeti toliko lošeg kao što može dugotrajno prisustvo atrazina u vodi i konzumiranje iste.

U ovom slučaju problem stvaraju ukupne koliformne bakterije čija je MDK vrijednost (0), budući da se u formulama ne može dijeliti s nulom. Poštujući MDK standarde može se zaključiti kako cijeli izračun nije relevantan (za 2014. i 2015. godinu prema MDK). Prema WHO standardima (Tablica 3-5.) voda se klasificira kao loša u 2014. godini i dobra u 2015. godini. Treba napomenuti kako je za izračun za pH uzeta vrijednost 7,5 (za vrijednost izračuna za WHO standarde), te 8 za MDK.

Tablica 5-1. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju davanja vrijednosti (5) svim parametrima

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,07143	0,000053	0,000051	0,004	3,786	0,004	3,636
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	5	0,071	0,387	0,738	1,105	1,105	2,110	2,110
Kalcij (mg/l)	75	75	5	0,071	106,050	114,950	10,100	10,100	10,948	10,948
Kalij (mg/l)	8	12	5	0,071	1,961	2,850	1,751	1,167	2,545	1,696
Kloridi (mg/l)	250	250	5	0,071	23,792	20,300	0,680	0,680	0,580	0,580
Magnezij (mg/l)	30	30	5	0,071	26,825	26,525	6,387	6,387	6,315	6,315
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	5	0,071	0,023	0,004	1,663	3,325	0,310	0,620
Natrij (mg/l)	200	200	5	0,071	11,609	9,650	0,415	0,415	0,345	0,345
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,071	4,153	4,378	0,593	0,593	0,625	0,625
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	5	0,071	7,214	7,230	6,870	6,441	6,886	6,456
Sulfati (mg/l)	250	250	5	0,071	22,375	21,144	0,639	0,639	0,604	0,604
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	5	0,071	386,825	411,908	27,630	27,630	29,422	29,422
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	0	5	0,071	83,114	14,914	118,734	-	21,306	-
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	5	0,071	0,129	0,039	4,614	4,614	1,394	1,394
			70				154	-	58	-

Druga tablica 5-2. prikazuje rezultate dobivene ako se želi pridržavati preporuka WHO standarda i prema navedenim primjerima (Tomas et al., 2013). U ovom slučaju atrazin, nitrati i ukupne koliformne bakterije imaju težinski udio (5), što je logično budući da su najmanje poželjni u vodi. Težinski udio u vrijednosti od (4) dodijeljena je električnoj vodljivosti, manganu, pH, sulfatima i željezu. Vrijednost (3) dodijeljena je kalciju i magneziju. Kaliju, kloridima i ukupnoj tvrdoći dodijeljena je vrijednost (2). I u ovom slučaju problem stvaraju ukupne koliformne bakterije čija je MDK vrijednost (0), budući da se u formulama ne može dijeliti s nulom. Poštujući MDK standarde može se zaključiti kako cijeli izračun nije relevantan (za 2014. i 2015. godinu prema MDK). Prema WHO standardima (tablica 3-3) voda se klasificira kao loša u 2014. godini i dobra u 2015. godini. Treba napomenuti kako je za izračun za pH uzeta vrijednost 7,5 (za vrijednost izračuna za WHO standarde), te 8 za MDK.

Tablica 5-2. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,09804	0,000053	0,000051	0,005	5,196	0,005	4,990
Električna vodljivost	2,5	2,5	4	0,078	0,387	0,738	1,214	1,214	2,316	2,316
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,059	106,050	114,950	8,318	8,318	9,016	9,016
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,039	1,961	2,850	0,961	0,641	1,397	0,931
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,039	23,792	20,300	0,373	0,373	0,318	0,318
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,059	26,825	26,525	5,260	5,260	5,201	5,201
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,078	0,023	0,004	1,826	3,651	0,340	0,681
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,060	11,609	9,650	0,348	0,348	0,290	0,290
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,098	4,153	4,378	0,814	0,814	0,858	0,858
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,078	7,214	7,230	7,544	7,073	7,561	7,088
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,078	22,375	21,144	0,702	0,702	0,663	0,663
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,039	386,825	411,908	15,170	15,170	16,153	16,153
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	0	5	0,098	83,114	14,914	162,969	-	29,244	-
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,078	0,129	0,039	5,067	5,067	1,530	1,530
			51				190	-	55	-

Kako bi se prikazao izračun kada se uzmu u obzir ukupne koliformne bakterije napavljen je izračun kada se za maksimalno dopuštenu koncentraciju uzme vrijednost (1). To je najbliži mogući broj nuli, a da se može matematički izračunati indeks kakvoće vode. Naime, vrijednosti između 0 i 1 također onemogućuju izračun, budući da svaki broj manji od jedan dijeljenjem s brojnikom (u ovom slučaju sa srednjom vrijednosti koncentracije nekog parametra) povećava tu vrijednost. Zato se umjesto 0 stavila vrijednost 1 kako bi se dobio indeks kvalitete prema MDK vrijednostima (Tablica 5-3.). Rezultati su takvi da za 2014. godinu ispada da je voda neprikladna za piće, a za 2015. godinu kvaliteta vode je loša.

Tablica 5-3. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju dodjeljivanja MDK vrijednost parametru ukupnih koliformnih bakterija u vrijednosti (1)

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,1	0,000053	0,000051	0,005	5,300	0,005	5,090
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,080	0,387	0,738	1,238	1,238	2,363	2,363
Kalcij (mg/l)	75	75	2	0,040	106,050	114,950	5,656	5,656	6,131	6,131
Kalij (mg/l)	8	12	3	0,060	1,961	2,850	1,471	0,981	2,138	1,425
Kloridi (mg/l)	250	250	3	0,060	23,792	20,300	0,571	0,571	0,487	0,487
Magnezij (mg/l)	30	30	2	0,040	26,825	26,525	3,577	3,577	3,537	3,537
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,080	0,023	0,004	1,862	3,724	0,347	0,694
Natrij (mg/l)	200	200	4	0,080	11,609	9,650	0,464	0,464	0,386	0,386
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,100	4,153	4,378	0,831	0,831	0,876	0,876
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,060	7,214	7,230	5,771	5,411	5,784	5,423
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,080	22,375	21,144	0,716	0,716	0,677	0,677
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,040	386,825	411,908	15,473	15,473	16,476	16,476
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	1	5	0,100	83,114	14,914	166,228	831,140	29,829	149,143
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,080	0,129	0,039	5,168	5,168	1,561	1,561
			50				190	855	55	174

Na primjeru parametra broja ukupnih koliformnih bakterija može se prikazati i objasniti učestalost mjerenja. Tablice 5-4. i 5-5. prikazuju mjerenja ukupnih koliformnih bakterija tijekom 2014. i 2015. godine. Osim što se vidi kada i na kojima piezometrima se uzorkovalo, vide se vrijednosti ukupnih koliformnih bakterija tijekom 2014. i 2015. godine. Učestalost i raspored mjerenja ovog parametra na piezometrima u 2014. i 2015. vrijede i za ostale pokazatelje. Dakle sukladno rečenom može se reći da uzorkovanje vode za ispitivanje kvalitete vode nije na mjesečnoj bazi. Na primjeru ukupnih koliformnih bakterija može se vidjeti kako su krajem 2014. godine povećane koncentracije u odnosu na početak godine. Točnije u 10. mjesecu na piezometru VG-4 i piezometru VG-10/2 izmjerene su koncentracije ukupnih koliformnih bakterije značajno veće u odnosu na početak godine. Na ostalim piezometrima detektirane koncentracije ne prelaze 40 UK/100 ml. Isto tako najviše pridonosi koncentracija na piezometru VG-10/2 i VG-4. Što se tiče situacije u 2015. godini ona je prikazana u tablici 5-5. Količina koliformnih bakterija je značajno smanjena. Maksimalna koncentracija doseže do 108 UK/100 ml izmjerena u kolovozu na piezometru VG-1. Isto tako vidi se da se nije uzorkovalo u listopadu, studenom i prosincu 2015.godine.

Tablica 5-4. Mjerenja ukupnih koliformnih bakterija tijekom 2014.godine

Parametar (jedinica)													
Ukupni br. koliformnih bakt. (UK/100 ml)	Čdp-3/2	Čp-23	Lg-1	Lg-4	P-7	Vg-1	Vg-4	Vg-6	Vg-11	Vg-9	Lg-2/2	Vg-10/2	Vg-5/2
1. mjesec													
2. mjesec	0		0	0	0	0	0	0		2,2		0	
3. mjesec					0	0	0					0	
4. mjesec													
5. mjesec													
6. mjesec													
7. mjesec													
8. mjesec													
9. mjesec													
10. mjesec							910					1240	
11. mjesec	24	12	8	10	6	19		35	20	18	16		13
12. mjesec			27	5	10	18	12				2	3	2

Tablica 5-5. Mjerenja ukupnih koliformnih bakterija tijekom 2015.godine

Parametar (jedinica)													
Ukupni br. koliformnih bakt. (UK/100 ml)	Čdp-3/2	Čp-23	Lg-1	Lg-4	P-7	Vg-1	Vg-4	Vg-6	Vg-11	Vg-9	Lg-2/2	Vg-10/2	Vg-5/2
1. mjesec													
2. mjesec	42	0	0	0	0	3	0	72		8	0	0	8
3. mjesec													
4. mjesec			7	6	0	2	2				18	0	20
5. mjesec	2	6						38	5	6			
6. mjesec			5	0	0	3	2				15	0	4
7. mjesec													
8. mjesec			26	3	4	108	4				64	0	6
9. mjesec	168	0						48	49	3			
10. mjesec													
11. mjesec													
12. mjesec													

Tablica 5-6. prikazuje izračun kada se ukupnim koliformnim bakterija smanjuje težinski udio (w_i) u ukupnom izračunu. Umjesto težinskog udjela od (5) stavljen je (2) kako bi se umanjio njegov utjecaj na prvotni slučaj. Iako koliformne bakterije tj. njihova prisustnost u vodi snažno utječe na kvalitetu vode i može biti dobar indikator na onečišćenje vode, voda se prije distribucije klorira. Tako da smanjivanje težinskog udjela u svrhu dobivanja realnijeg indeksa kvalitete vode i nije velika pogreška. Dobiveni indeks za 2014. godinu prema WHO standardu je 98 čime se voda može klasificirati kao dobra, prema MDK vrijednostima kao voda neprikladna za piće. U 2015. godini prema WHO standardu 39 klasificira se kao izvrsna, a prema MDK se klasificira kao dobra.

Tablica 5-6. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju dodijeljivanja težinskog udjela pokazatelju ukupnih koliformnih bakterija u vrijednosti (2)

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,10638	0,000053	0,000051	0,006	5,638	0,005	5,415
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,085	0,387	0,738	1,317	1,317	2,514	2,514
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,064	106,050	114,950	9,026	9,026	9,783	9,783
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,043	1,961	2,850	1,043	0,695	1,516	1,011
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,043	23,792	20,300	0,405	0,405	0,346	0,346
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,064	26,825	26,525	5,707	5,707	5,644	5,644
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,085	0,023	0,004	1,981	3,962	0,369	0,739
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,064	11,609	9,650	0,371	0,371	0,308	0,308
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,106	4,153	4,378	0,884	0,884	0,932	0,932
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,085	7,214	7,230	8,186	7,674	8,205	7,692
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,085	22,375	21,144	0,762	0,762	0,720	0,720
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,043	386,825	411,908	16,461	16,461	17,528	17,528
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	1	2	0,043	83,114	14,914	70,735	353,677	12,693	63,465
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,085	0,129	0,039	5,498	5,498	1,661	1,661
			47				96	379	39	89

U nastavku će se prikazivati izračun indeksa kakvoće vode u slučaju kada se iz ukupnog izračuna izuzme parametar ukupne koliformne bakterije. Tablica 5-7 prikazuje rezultate kada se isključi iz izračuna parametar ukupnih koliformnih bakterija.

Tablica 5-7. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju isključivanja pokazatelja ukupnih koliformne bakterije

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - MDK
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,111111	0,000053	0,000	0,006	5,889	0,006	5,655
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,089	0,387	0,738	1,375	1,375	2,625	2,625
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,067	106,050	114,950	9,427	9,427	10,218	10,218
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,044	1,961	2,850	1,089	0,726	1,583	1,056
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,044	23,792	20,300	0,423	0,423	0,361	0,361
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,067	26,825	26,525	5,961	5,961	5,894	5,894
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,089	0,023	0,004	2,069	4,138	0,386	0,772
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,067	11,609	9,650	0,387	0,387	0,322	0,322
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,111	4,153	4,378	0,923	0,923	0,973	0,973
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,089	7,214	7,230	8,550	8,016	8,569	8,034
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,089	22,375	21,144	0,796	0,796	0,752	0,752
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃)	100	100	2	0,044	386,825	411,908	17,192	17,192	18,307	18,307
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,089	0,129	0,039	5,742	5,742	1,734	1,734
			45				27	26	28	27

Isključivanjem ukupnih koliformnih bakterija iz ukupnog izračuna dobije se znatno realniji rezultat, dakle za sva četiri slučaja (prema WHO i MDK za 2014. i 2015. godinu) voda se klasificira kao voda izvrsne kvalitete.

Osim navedenih kombinacija u nastavku će se prikazati koliko se i kako mijenjaju indeksi kakvoće vode obzirom na mijenjanje težinskog udjela pojedinim parametrima. Tablice 5-8 i 5-9 prikazuju izračun u slučaju kada se manganu i željezu smanji težinska vrijednost s (4) na (1). Kvaliteta vode se pogorša smanjivanjem težinskog udjela ovim parametrima. Razlog tome je to što su koncentracije željeza i mangana unutar dozvoljenih. Gledano s matematičke strane, smanjivanjem težinskog udjela parametrima koji zadovoljavaju uvjete, ostali parametri dolaze do većeg izražaja pa se time indeks povećava kao vrijednost, a kvaliteta vode pogoršava. Voda se za 2014. godinu klasificira kao vrlo loša (WHO standardi) i loša (MDK). U 2015. godini klasificira se kao dobre kvalitete (WHO standardi) i loše kvalitete (MDK). U slučaju izuzimanja ukupnih koliformnih bakterija voda se klasificira kao voda izvrsne kvalitete u sva četiri slučaja.

S druge strane, koncentracija kalcija u 2014. i 2015. godini je iznad propisanih standarda. Povećavajući njezin težinski udio s (3) na (5) (tablice 5-10. i 5-11.) smanji se vrijednost indeksa i poveća kvaliteta vode. Suprotno tome smanjenjem težinskog udjela kalcija poveća se vrijednost indeksa čime se dobije rezultat da je lošija kvaliteta vode.

Ista je situacija i s parametrom ukupne tvrdoće. Koncentracije evidentirane u 2014. i 2015. godini su cca 3 puta veće od dozvoljenih. Povećavanjem težinskog udjela istih s (2) na (5) (tablice 5-12. i 5-13.) dolazi do značajnog porasta indeksa pa je samim time rezultat lošija kvaliteta vode. Iako ova dva parametra prekoračuju dozvoljene koncentracije, zanimljivo je kako se povećavanjem težinskog udjela kalciju, indeks kvalitete vode smanjuje što ukazuje na bolju kvalitetu vode, dok prilikom povećanja težinskog udjela ukupnoj tvrdoći, indeks vode se povećava, a time je kvaliteta lošija.

Tablica 5-8. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju smanjivanja težinskog udjela za parametre mangan i željezo

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,12821	0,000053	0,000051	0,006	6,023	0,006	5,784
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,103	0,387	0,738	1,407	1,407	2,685	2,685
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,077	106,050	114,950	9,641	9,641	10,450	10,450
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,051	1,961	2,850	1,114	0,743	1,619	1,080
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,051	23,792	20,300	0,433	0,433	0,369	0,369
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,077	26,825	26,525	6,097	6,097	6,028	6,028
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	1	0,103	0,023	0,004	0,529	1,058	0,099	0,197
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,077	11,609	9,650	0,396	0,396	0,329	0,329
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,026	4,153	4,378	0,944	0,944	0,995	0,995
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,103	7,214	7,230	8,744	8,198	8,764	8,216
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,026	22,375	21,144	0,814	0,814	0,769	0,769
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,051	386,825	411,908	17,583	17,583	18,723	18,723
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	1	5	0,026	83,114	14,914	188,895	944,477	33,896	169,481
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	1	0,103	0,129	0,039	1,468	1,468	0,443	0,443
			44				216	971	62	197

Tablica 5-9. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju smanjivanja težinskog udjela za parametre mangan i željezo (isključene ukupne koliformne bakterije)

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - MDK
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,13158	0,000053	0,000	0,007	6,795	0,007	6,525
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,105	0,387	0,738	1,587	1,587	3,029	3,029
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,079	106,050	114,950	10,877	10,877	11,790	11,790
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,053	1,961	2,850	1,257	0,838	1,827	1,218
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,053	23,792	20,300	0,488	0,488	0,416	0,416
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,079	26,825	26,525	6,878	6,878	6,801	6,801
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	1	0,105	0,023	0,004	0,597	1,194	0,111	0,223
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,079	11,609	9,650	0,447	0,447	0,371	0,371
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,026	4,153	4,378	1,065	1,065	1,123	1,123
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,105	7,214	7,230	9,865	9,249	9,887	9,270
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,026	22,375	21,144	0,918	0,918	0,867	0,867
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,053	386,825	411,908	19,837	19,837	21,124	21,124
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	1	0,105	0,129	0,039	1,656	1,656	0,500	0,500
			39				31	30	32	31

Tablica 5-10. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar kalcij

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,11364	0,000053	0,000051	0,005	5,096	0,005	4,894
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,091	0,387	0,738	1,190	1,190	2,272	2,272
Kalcij (mg/l)	75	75	5	0,068	106,050	114,950	13,596	13,596	14,737	14,737
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,045	1,961	2,850	0,943	0,629	1,370	0,913
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,045	23,792	20,300	0,366	0,366	0,312	0,312
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,068	26,825	26,525	5,159	5,159	5,101	5,101
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,023	0,023	0,004	1,790	3,581	0,334	0,668
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,068	11,609	9,650	0,335	0,335	0,278	0,278
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,114	4,153	4,378	0,799	0,799	0,842	0,842
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,091	7,214	7,230	7,399	6,937	7,416	6,952
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,091	22,375	21,144	0,688	0,688	0,651	0,651
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,045	386,825	411,908	14,878	14,878	15,843	15,843
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	1	5	0,114	83,114	14,914	159,835	799,173	28,681	143,407
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,023	0,129	0,039	4,969	4,969	1,501	1,501
			52				183	822	53	167

Tablica 5-11. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar kalcij (isključene koliformne bakterije)

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - MDK
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,12821	0,000053	0,000	0,006	5,638	0,005	5,415
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,103	0,387	0,738	1,317	1,317	2,514	2,514
Kalcij (mg/l)	75	75	5	0,128	106,050	114,950	15,043	15,043	16,305	16,305
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,051	1,961	2,850	1,043	0,695	1,516	1,011
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,051	23,792	20,300	0,405	0,405	0,346	0,346
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,077	26,825	26,525	5,707	5,707	5,644	5,644
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	1	0,026	0,023	0,004	1,981	3,962	0,369	0,739
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,077	11,609	9,650	0,371	0,371	0,308	0,308
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,128	4,153	4,378	0,884	0,884	0,932	0,932
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,103	7,214	7,230	8,186	7,674	8,205	7,692
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,103	22,375	21,144	0,762	0,762	0,720	0,720
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	2	0,051	386,825	411,908	16,461	16,461	17,528	17,528
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	1	0,026	0,129	0,039	5,498	5,498	1,661	1,661
			39				25	25	26	26

Tablica 5-12. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar ukupna tvrdoća

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - WHO
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	4	0,07692	0,000053	0,000051	0,004	4,077	0,004	3,915
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,077	0,387	0,738	1,190	1,190	2,272	2,272
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,058	106,050	114,950	8,158	8,158	8,842	8,842
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,038	1,961	2,850	0,943	0,629	1,370	0,913
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,038	23,792	20,300	0,366	0,366	0,312	0,312
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,058	26,825	26,525	5,159	5,159	5,101	5,101
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,077	0,023	0,004	1,790	3,581	0,334	0,668
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,058	11,609	9,650	0,335	0,335	0,278	0,278
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,096	4,153	4,378	0,799	0,799	0,842	0,842
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,077	7,214	7,230	7,399	6,937	7,416	6,952
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,077	22,375	21,144	0,688	0,688	0,651	0,651
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	5	0,096	386,825	411,908	37,195	37,195	39,607	39,607
Ukupno koliformni UK/100 ml	5	1	5	0,096	83,114	14,914	159,835	799,173	28,681	143,407
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,077	0,129	0,039	4,969	4,969	1,501	1,501
			52				205	844	76	191

Tablica 5-13. Izračun indeksa kvalitete vode za 2014. i 2015. godinu u slučaju povećanja težinskog udjela za parametar ukupna tvrdoća (isključene ukupne koliformne bakterije)

Parametar	Standard				2014	2015	QI 2014 - WHO	QI 2014 - MDK	QI 2015 - WHO	QI 2015 - MDK
	WHO	MDK	wi	Wi	SV	SV	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi	Si=Wi * qi
Atrazin (mg/l)	0,1	0,0001	5	0,10417	0,000053	0,000	0,006	5,521	0,005	5,302
Električna vodljivost (mS/cm)	2,5	2,5	4	0,083	0,387	0,738	1,289	1,289	2,461	2,461
Kalcij (mg/l)	75	75	3	0,063	106,050	114,950	8,838	8,838	9,579	9,579
Kalij (mg/l)	8	12	2	0,042	1,961	2,850	1,021	0,681	1,484	0,990
Kloridi (mg/l)	250	250	2	0,042	23,792	20,300	0,397	0,397	0,338	0,338
Magnezij (mg/l)	30	30	3	0,063	26,825	26,525	5,589	5,589	5,526	5,526
Mangan (mg/l)	0,1	0,05	4	0,083	0,023	0,004	1,940	3,879	0,362	0,723
Natrij (mg/l)	200	200	3	0,063	11,609	9,650	0,363	0,363	0,302	0,302
Nitrati (mg/l)	50	50	5	0,104	4,153	4,378	0,865	0,865	0,912	0,912
pH	7,00 - 8,00	6,5-9,5	4	0,083	7,214	7,230	8,016	7,515	8,034	7,531
Sulfati (mg/l)	250	250	4	0,083	22,375	21,144	0,746	0,746	0,705	0,705
Ukupna tvrdoća (CaCO ₃ mg/l)	100	100	5	0,104	386,825	411,908	40,294	40,294	42,907	42,907
Željezo (mg/l)	0,2	0,2	4	0,083	0,129	0,039	5,383	5,383	1,626	1,626
			48				49	49	52	51

U ovom poglavlju tablicama je prikazan niz najinteresantnijih i najindikativnijih kombinacija i koje ukazuju kako subjektivna procjena može u ovom slučaju odigrati važnu ulogu. Sinteza kombinacija prikazana je u tablici 5-14. U tablici su također obojane vrijednosti indeksa prema klasifikaciji iz tablice 3-4. Ono što se može primijetiti je to da s obzirom na dodijeljeni težinski udio kvaliteta vode se može smanjiti ili povećati i za

nekoliko klasa. Zato je u ovoj metodi vrlo važno što objektivnije procijeniti svaki parametar zasebno i njegovu ulogu u ukupnom izračunu.

Tablica 5-14. Prikaz rezultata indeksa s obzirom na dodijeljene težinske uvjete

Tablice	QI (WHO/2014)	QI (MDK/2014)	QI (WHO/2015)	QI (MDK/2015)	NAPOMENE
Tablica 5-1	154	-	58	-	svi težinski udjeli su (5)
Tablica 5-2	190	-	55	-	težinski udjeli dodijeljeni držeći se preporuka i pravila WHO standarda
Tablica 5-3	190	855	55	174	za razliku od 5-2, ukupnim koliformnim bakterijama dana MDK vrijednost 1 mg/l, a težinski udio (5)
Tablica 5-6	96	379	39	89	težinski udio ukupnim koliformnim bakterijama smanjen s (5) na (2)
Tablica 5-7	27	26	28	27	ukupne koliformne bakterije isključene iz izračuna
Tablica 5-8	216	971	62	197	promjena težinskog udjela željeza i mangana s (4) na (1)
Tablica 5-9	31	30	32	31	za razliku od 5-8 isključene ukupne koliformne bakterije
Tablica 5-10	183	822	53	167	promjena težinskog udjela kalcija s (3) na (5)
Tablica 5-11	31	30	32	31	za razliku od 5-8 isključene ukupne koliformne bakterije
Tablica 5-12	205	844	76	191	promjena težinskog udjela ukupne tvrdoće s (2) na (5)
Tablica 5-13	49	49	52	51	za razliku od 5-10 isključene ukupne koliformne bakterije

6. Zaključak

Cilj ovog rada bio je razmotriti problem odabira parametara i određivanja težinskog udjela prilikom određivanja indeksa kakvoće vode na primjeru vodocrpilišta Velika Gorica. Prvi korak u tome bio je odabir metode. Obzirom na niz prethodno objašnjenih i opisanih metoda, što jednostavnijih, što kompleksnijih, odabrana je metoda prema Boyacioglu (2007), koju u literaturi nazivaju i univerzalnom metodom. Jedan od razloga je to što proučavajući metode u većini njih su točno određeni koji parametri se uzimaju u obzir. Zatim, za iste te parametre u nekim metodama (Pratti, Bhargva) potreban je matematički izraz kojim se koncentracija parametra izrazi kao podindeks koji se koristi u daljnjem proračunu kako već formula za izračun zahtjeva.

- **Prednosti odabrane metode:** ne iziskuje strog odabir parametara već je cilj uzeti u obzir što više njih. Također, nije potrebno pretvaranje koncentracija u neki podindeks. Koncentracije parametara se gledaju s obzirom na propisani standard, WHO ili u Hrvatskoj Pravilnik (NN 128/15), tj. MDK.
- **Nedostaci metode:** subjektivan utjecaj pri odabiru parametra te određivanju težinskog udjela pojedinog parametra.

Drugi korak bio je odabir parametara. Uz sve testirane parametre gledali su se koji prema WHO (2011) imaju bitan ili bilo kakav utjecaj na svojstva vode, a da su mjerenjima dobivene egzaktnije vrijednosti i koncentracije parametara. Tu se prvenstveno misli na izbjegavanje parametara čije su se koncentracije u većini slučajeva izražavale kao „manje od“.

Treći korak je bio određivanje težinskog udjela svakom pripadajućem parametru. Tu se došlo do subjektivnog procjenjivanja važnosti svakog parametra. Težinski udio je na početku pridodan svakom parametru prema opisu u WHO (2011) standardima, primjeru Tomas et al. (2013), te subjektivnoj procjeni. U dobivenim rezultatima i kombinacijama prikazanim u tablicama može se zaključiti kako prvo odabir parametara, a zatim i određivanje težinskih udjela znatno može utjecati na varijacije rezultata indeksa kakvoće vode (Tablica 5-14.).

Tako u slučaju uzimanja u obzir parametra ukupne koliformne bakterije ne može se izbjeći da se voda ne klasificira kao „voda neprikladna za piće” u 2014. godini. U ostalim

tablicama u kojima se izuzeo iz izračuna voda se u krajnjem slučaju klasificirala kao dobra. Iz tog razloga prikazala su se mjerenja tijekom 2014. i 2015. godine na kojima se točno može vidjeti kada i gdje su se izmjerile zabrinjavajuće koncentracije. Iz navedenog se može zaključiti, da koncentracije ukupnih koliformnih bakterija mogu upućivati da se na nekim piezometrima ubuduće pripazi ili sazna mogući razlog detektiranja istih. Isto tako, treba se napomenuti kako se ispitivanja rade na sirovoj, nekloriranoj vodi, a ona se prije distribucije svakako klorira i filtrira i možda je prestrogo reći da je voda u 2014. godini bila neprikladna za piće. Upravo se iz tog razloga htjelo provjeriti kakvi su rezultati kada se ukupne koliformne bakterije izuzmu iz izračuna.

Prilikom izračuna pozornost se morala obratiti na određivanje težinskih udjela pojedinih parametara. Sinteza kombinacija prikazana je u tablici 5-14. U tablici su također obojane vrijednosti indeksa prema klasifikaciji iz tablice 3-4. Ono što se može primijetiti je to da s obzirom na dodijeljeni težinski udio kvaliteta vode se može smanjiti ili povećati i za nekoliko klasa. Zato je u ovoj metodi vrlo važno što objektivnije procijeniti svaki parametar zasebno i njegovu ulogu u ukupnom izračunu.

Ono što se može primijetiti je to da s obzirom na dodijeljeni težinski udio kvaliteta vode se može smanjiti ili povećati i za nekoliko klasa. Zato je u ovoj metodi vrlo važno što objektivnije procijeniti svaki parametar zasebno i njegovu ulogu u ukupnom izračunu. Valja napomenuti kako indeks sam po sebi ne ukazuje na uzroke koji su doveli do određene situacije (primjerice loše kvalitete vode), jer su za to potrebne dodatne informacije i specifični podaci.

7. Literatura

- Abbasi, T. i Abbasi, S. A. (2012): Water Quality Indices, Elsevier, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5, United Kingdom
- Artuković, M (2009): Indeks kakvoće vode kao podloga za gospodarsko vrednovanje funkcija podzemnih voda u kršu. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet
- Bačani, A. i Šparica, M. (2001): Geology of Zagreb aquifer system. 9th International Congress of the geological society of Greece. (26. – 28. September, 2001). Proceedings, vol XXXIV, No 5, 1973 – 1979, Athens
- Bačani, A. i Posavec, K. (2009): Elaborat zaštitnih zona vodocrpilišta Velika Gorica. Fond stručnih dokumenata Zagrebačke županije.
- Bhargava, D.S. (1983): Water Quality variations and control technology of Yamuna river. Environmental Pollution Series A: Ecological and Biological 37 (4), 355-376
- Boyacioglu, H. (2007): Development of a water quality index based on a European classification scheme: Water SA 33 (1), 101-106
- Brown, R.M., McLelland, N.J., Deininger, R.A. i Tozer, R.G. (1970): A Water Quality Index Do We Dare? Water & Sewage Works October:339-343
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2001): Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Water Quality Index 1.0, User's Manual Environment, Winnipeg.
- Narodne novine (2013): Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju. Br. 125.
- McGowan W (2000): Water processing: residential, commercial, light-industrial, 3rd ed. Lisle, IL, Water Quality Association.
- Posavec, K. (2006): Identifikacija i prognoza minimalnih razina podzemne vode zagrebačkog aluvijalnog vodonosnika modelima recesijskih krivulja, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb
- Prati, L., Pavanello, R. i Pesarin, F. (1971): Assessment of surface water quality by a single index of pollution. Water research 5, 741- 751
- Ritter W.F., Scarborough, R.W. i Chirnside, A.E.M. (1994): Contamination of groundwater by triazines, metolachlor and alachlor, J. Contam. Hydrol. 15 (1994) 73–92.)
- SEQ (2003): Systeme d'evaluation de la qualite des eaux souterraines-Eaux Souterraines Rapport de presentation Version 0.1 Aout

SSD (1976): Scottish Development Department, Development of a Water Quality Index Report No. ARD 3; HMSO, Edinburgh

Štambuk-Giljanović, N. (1983): Pokazatelji i indeksi kvalitete površinskih i podzemnih voda u Dalmaciji. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Tehnološki fakultet

Štambuk-Giljanović, N. (2003): Comparison of Dalmatian water evaluation indices Water Environment Research 75(5): 388-405, 2003.

Tomas, D., Maldini, K., Matić N. i Marijanović-Rajčić, M. (2013): Primjena indeksa kvalitete vode u osjeni kakvoće vode krških jezera, Hrvatske vode 21(2013) 86 303-310

Tomlin, C.D.S. (2006): The Pesticide Manual, 14th ed., British Crop Protection Council, Farnham, United Kingdom

Velić, J. i Saftić, B. (1991): Subsurface Spreading and Facies Characteristics of Middle Pleistocene Deposits between Zaprešić and Samobor, Geološki vijesnik, vol. 44, 69 – 82

Velić, J. i Durn, G. (1993): Alternating Lacustrine – Marsh Sedimentation and Subaerial Exposure Phases during Quaternary: Prečko, Zagreb, Croatia. Geologija Croatica, vol. 46, No.1, p. 71 – 90

World Health Organization (2011): Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition

Web izvori:

<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/138?redir=1481472555>, preuzeto 18.09.2016., 18:12

<http://www.lenntech.com/applications/ultrapure/conductivity/water-conductivity.htm> preuzeto 20.11.2016., 20:10

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/hardness.pdf?ua=1, preuzeto 29.11.2016., 17:15

<http://www.water-research.net/index.php/iron>, preuzeto 30.11.2016., 17:04

<http://eskola.chem.pmf.hr/>, preuzeto 30.11.2016., 21:30

<http://www.water-research.net/index.php/nitrate>, preuzeto 30.11.2016., 22:35

<http://www.water-research.net/index.php/sulfates>), preuzeto 31.11.2016., 12:15