

Analiza indeksa kakvoće efluenta za ponovnu uporabu obrađene otpadne vode

Ključec, Laura

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:819966>

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

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

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

**ANALIZA INDEKSA KAKVOĆE EFLUENTA ZA PONOVRNU
UPORABU OBRADENE OTPADNE VODE**

DIPLOMSKI RAD

LAURA KLJUČE

Matični broj: 236

Split, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
DIPLOMSKI STUDIJ KEMIJSKE TEHNOLOGIJE
ZAŠTITA OKOLIŠA

**ANALIZA INDEKSA KAKVOĆE EFLUENTA ZA PONOVNU
UPORABU OBRAĐENE OTPADNE VODE**

DIPLOMSKI RAD

LAURA KLJUČE

Matični broj: 236

Split, rujan 2019.

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
GRADUATE STUDY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
ENVIRONMENTAL PROTECTION

**THE ANALYSIS OF THE EFFLUENT QUALITY INDEX FOR THE
REUSE OF THE TREATED WASTEWATER**
DIPLOMA THESIS

LAURA KLJUČE
Parent number: 236

Split, September 2019.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu
Kemijско-tehnološki fakultet u Splitu
Diplomski studij kemijske tehnologije: Zaštita okoliša

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Kemijsko inženjerstvo

Tema rada je prihvaćena 19. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko tehnološkog fakulteta održanoj 23.11.2018.

Mentor: prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović

ANALIZA INDEKSA KAKVOĆE EFLUENTA ZA PONOVNU UPORABU OBRADENE OTPADNE VODE

Laura Ključec, 236

Sažetak:

Otpadne vode nisu otpad već potencijalno priuštiv i održiv izvor vode, energije, hranjivih tvari i drugih ponovno iskoristivih materijala kao što je biomulj. Međutim, uobičajena je praksa da se otpadna voda, nastala korištenjem prirodne ili kondicionirane vode za određenu namjenu, obrađuje i ispušta u recipijent, slijedeći linearni model gospodarenja vodama. U cilju očuvanja prirodnih vodnih sustava na održiv način, potrebno je prijeći iz *linearnog* modela u *kružni* model gospodarenja vodama, a koji teži smanjenju potrošnje vode i poticanju njene ponovne uporabe i recikliranja. Ispuštanje ili ponovna uporaba otpadne vode mora zadovoljiti sve standarde kvalitete. U tom smislu je potrebno analizirati velik broj kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških pokazatelja kakvoće voda. Indeks kakvoće efluenta, EQI je bezdimenzijski broj koji predstavlja kakvoću efluenta izraženu kroz kombinaciju kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških parametara (BPK₅, KPK, ukupne raspršene tvari - TSS, fekalni koliformi, NH₄⁺, PO₄³⁻, pH i ukupne otopljene tvari - TDS). U ovom radu analizirane su vrijednosti EQI dobivene za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, a prema smjernicama za ponovnu uporabu voda EPA Iran Standard i Palestinian Standard Institute. Predložen je izračun EQI_{cor}, a koji bi se mogao primijeniti u slučaju kada, za efluent koja se planira ponovno uporabiti i/ili reciklirati, nisu analizirani svi navedeni parametri.

Ključne riječi: otpadna voda, ponovna uporaba vode, recikliranje vode, indeks kakvoće efluenta, korigirani indeks kakvoće efluenta

Rad sadrži: 60 stranica, 18 tablica, 11 slika

Jezik izvornika: Hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

1. prof. dr. sc. Marina Trgo - predsjednik
2. prof. dr. sc. Ladislav Vrsalović - član
3. prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović – član-mentor

Datum obrane: 23. rujna 2019.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.

BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

University of Split
Faculty of chemistry and tehnology Split
Graduate study of chemical technology: Environmental protection

Scientific area: Technical science

Scientific field: Chemical engineering

Thesis subject: was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Tehnology, session no. 19 from 23rd Nov. 2018.

Mentor: PhD Nediljka Vukojević Medvidović, full prof.

THE ANALYSIS OF THE EFFLUENT QUALITY INDEX FOR THE REUSE OF THE TREATED WASTEWATER

Laura Ključec, 236

Abstract:

Wastewater is not a waste, it is a potentially affordable and sustainable source of water, energy, nutrients and other reusable materials such as biomass. However, it is common practice that wastewater, created by using natural or conditioned water for a particular purpose, is processed and released into the recipient, following the linear model of water management. In order to preserve natural water systems in a sustainable manner, it is necessary to move from a *linear* model to a *circular* water management model, which promote reducing water consumption and encourage its reuse and recycling. Recycling or reusing of wastewater must follow all quality standards. In this regard is necessary to analyze a large number of chemical, physical and microbiological indicators of water quality. Effluent Quality Index, EQI is a non-dimensional number representing the effluent quality expressed through a combination of chemical, physical and microbiological parameters (BOD₅, COD, TSS, fecal coliforms, NH₄⁺, PO₄³⁻, pH and TDS). This paper analyzes the EQI values obtained for effluent limit values for its reuse in different areas, according to water reuse guidelines of EPA Iran Standard and Palestinian Standard Institute. A calculation of EQI_{cor} is proposed, which could be applied in the case when all of the parameters mentioned above were not analyzed for the effluent being reused and/or recycled.

Keywords: wastewater, water reuse, water recycling, effluent quality index, corrected effluent quality index

Thesiss contains: 60 pages, 18 tables, 11 pictures

Original in: Croatian

Defence Committee:

1. PhD Marina Trgo, full prof.
2. PhD Ladislav Vrsalović, full prof.
3. PhD Nediljka Vukojević Medvidović, full prof.

Defence date: September 23th 2019.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

Diplomski rad je izrađen u Zavodu za inženjerstvo okoliša, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom prof. dr. sc. Nediljke Vukojević Medvidović, u razdoblju od siječnja do rujna 2019. godine.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Nediljki Vukojević Medvidović na predloženoj temi, stručnoj pomoći i savjetima koje mi je pružila tijekom izrade ovog završnog rada.

Zahvale upućujem i mojim roditeljima, bratu, cijeloj obitelji te prijateljima koji su vjerovali u mene i bili mi potpora tijekom studija.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

1. Analizirati izračun indeksa kakvoće efluenta (*engl. Effluent Quality Index, EQI*) prema *Nazhad et al.*
2. Provesti izračun indeksa kakvoće efluenta (*engl. Effluent Quality Index, EQI*) prema *Nazhad et al.* za različita područja ponovne uporabe efluenta, neovisno o stupnju obrade. Simulaciju izračuna provesti prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard* i *Palestinian Standard Institute*.
3. Na temelju dobivenih rezultata izvesti zaključke te dati smjernice za primjenu indeksa kvalitete efluenta, EQI.

SAŽETAK

Otpadne vode nisu otpad već potencijalno priuštiv i održiv izvor vode, energije, hranjivih tvari i drugih ponovno iskoristivih materijala kao što je biomulj. Međutim, uobičajena je praksa da se otpadna voda, nastala korištenjem prirodne ili kondicionirane vode za određenu namjenu, obrađuje i ispušta u recipijent, slijedeći *linearni model* gospodarenja vodama. U cilju očuvanja prirodnih vodnih sustava na održiv način, potrebno je prijeći iz *linearnog modela* u *kružni model* gospodarenja vodama, a koji teži smanjenju potrošnje vode i poticanju njene ponovne uporabe i recikliranja. Ispuštanje ili ponovna uporaba otpadne vode mora zadovoljiti sve standarde kvalitete. U tom smislu je potrebno analizirati velik broj kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških pokazatelja kakvoće voda. Indeks kakvoće efluenta, EQI je bezdimenzijski broj koji predstavlja kakvoću efluenta izraženu kroz kombinaciju kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških parametara (BPK₅, KPK, ukupne raspršene tvari - TSS, fekalni koliformi, NH₄⁺, PO₄³⁻, pH i ukupne otopljene tvari -TDS). U ovom radu analizirane su vrijednosti EQI dobivene za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, a prema smjernicama za ponovnu uporabu voda EPA Iran Standard i Palestinian Standard Institute. Predložen je izračun EQI_{cor}, a koji bi se mogao primijeniti u slučaju kada, za efluent koja se planira ponovno uporabiti i/ili reciklirati, nisu analizirani svi navedeni parametri.

Ključne riječi: otpadna voda, ponovna uporaba vode, recikliranje vode, indeks kakvoće efluenta, korigirani indeks kakvoće efluenta

SUMMARY

Wastewater is not a waste, it is a potentially affordable and sustainable source of water, energy, nutrients and other reusable materials such as biomass. However, it is common practice that wastewater, created by using natural or conditioned water for a particular purpose, is processed and released into the recipient, following the *linear model* of water management. In order to preserve natural water systems in a sustainable manner, it is necessary to move from a *linear model* to a *circular* water management model, which promote reducing water consumption and encourage its reuse and recycling. Recycling or reusing of wastewater must follow all quality standards. In this regard, is necessary to analyze a large number of chemical, physical and microbiological indicators of water quality. Effluent Quality Index, EQI is a non-dimensional number representing the effluent quality expressed through a combination of chemical, physical and microbiological parameters (BOD₅, COD, TSS, fecal coliforms, NH₄⁺, PO₄³⁻, pH and TDS). This paper analyzes the EQI values obtained for effluent limit values for its reuse in different areas, according to water reuse guidelines of EPA Iran Standard and Palestinian Standard Institute. A calculation of EQI_{cor} is proposed, which could be applied in the case when all of the parameters mentioned above were not analyzed for the effluent being reused and/or recycled.

Keywords: wastewater, water reuse, water recycling, effluent quality index, corrected effluent quality index

UVOD	1
1. OPĆI DIO	3
1.1. OTPADNA VODA KAO RESURS	4
1.2. HIJERARHIJA OČUVANJA VODA	6
1.3. PRIMJERI PONOVDNE UPORABE I RECIKLIRANJA U HRVATSKOJ	7
1.4. ANALIZA PONOVDNE UPORABE I RECIKLIRANJA VODE U SVIJETU	11
1.4.1. Ponovna uporaba i recikliranje vode u SAD (Kalifornija, Florida, Oregon)	11
1.4.2. Ponovna uporaba i recikliranje vode u zemljama Mediterana i Bliskog istoka	12
1.5. PONOVDNA UPORABA VODE I NJENA POVEZANOST S RIZIKOM ZA OKOLIŠ I LJUDSKO ZDRAVLJE	19
1.5.1. Ponovna uporaba u poljoprivredi i akvakulturi	19
1.5.2. Smjernice za ponovnu uporabu vode u industriji	21
1.5.3. Ponovna uporaba za obogaćivanje podzemne vode te za rekreaciju	22
1.6. ANALIZA SMJERNICA SZO I AMERIČKE AGENCIJE ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (<i>engl. WHO vs. US EPA</i>)	23
2. EKSPERIMENTALNI DIO	26
2.1. POSTUPAK IZRAČUNAVANJA EQI INDEKSA	27
2.2. SIMULACIJA EQI INDEKSA ZA RAZLIČITA PODRUČJA PONOVDNE UPORABE EFLUENTA	30
2.2.1. Motivacijski primjer 1	30
2.2.2. Motivacijski primjer 2	34
3. OBRADA REZULTATA I RASPRAVA	37
3.1. ANALIZA EQI INDEKSA ZA MOTIVACIJSKI PRIMJER 1	38
3.2. ANALIZA EQI INDEKSA ZA MOTIVACIJSKI PRIMJER 2	40
3.3. IZRAČUN EQI_{cor}	41
4. ZAKLJUČCI	45
5. LITERATURA	47

UVOD

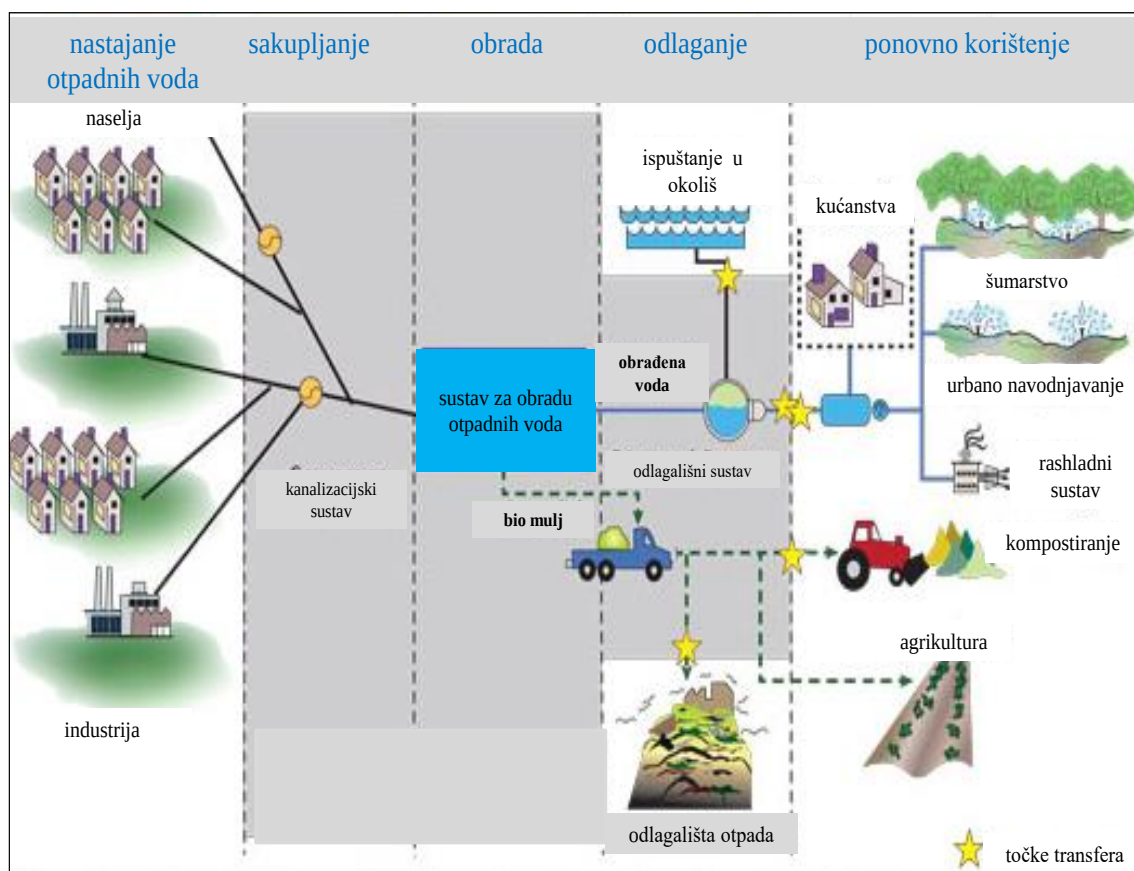
Industrija, poljoprivreda, urbanizacija i turizam zajedno s učincima klimatskih promjena povećavaju pritiske na vodna tijela, uzrokujući poplave i suše te zagađenje i podizanje razine mora. Iako je Hrvatska po zaliham pitke vode na trećem mjestu u Europi, posljedice klimatskih promjena u obliku sve učestalijih požara, poplava, dužih sušnih razdoblja, i dr., utjecat će na buduće trendove u gospodarenju vodama. Pri tome će ponovna uporaba vode postati neizostavan instrument održivog gospodarenja vodama. Nažalost, ponovna uporaba vode u Hrvatskoj još nije zaživjela i rijetki su primjeri u praksi. Razlog tome je nedovoljno razvijena svijest o ponovnom korištenju vode zbog izraženog „*efekta gađenja*“ te činjenice da još uvijek imamo dovoljne zalihe vode zbog čega se voda tretira kao nešto čega ima u izobilju. Međutim, svjedoci smo sve većih utjecaja klimatskih promjena na sektor opskrbe vodom, a koji su važni sa zdravstvenog aspekta i aspekata ekosustava. Zbog toga je potrebno učinkovito iskorištavanje voda. Ponovnom uporabom vode osiguravaju se dodatni izvori vode, izbjegava se korištenje pitke vode za potrebe navodnjavanja, smanjuje se pretjerano crpljenje površinskih i podzemnih voda, emisija nutrijenata u prihvatne vode, ublažava nestašica i vodni stres, ovisnost o klimatskim promjenama te doprinosi integriranom i održivom korištenju vodnih resursa. Međutim ponovna uporaba vode može biti opasna po ljudsko zdravlje te se zbog toga potrebno pridržavati odgovarajućih smjernica, normi i mjerila. Pojedine zemlje koje se zbog svog geografskog položaja suočavaju sa nestašicom vode za piće, poput Irana, Palestine, Cipra i dr., imaju razvijene smjernice za ponovnu uporabu vode. Međutim na razini EU ne postoje smjernice niti regulative za uporabu otpadne vode. Dostupne su smjernice za uporabu vode od Svjetske zdravstvene organizacije SZO (*engl. World Health Organization, WHO*) te Američke agencije za zaštitu okoliša (*engl. United States Environmental Protection Agency, US EPA*). Budući smjernice uključuju analize velikog broja fizikalnih, kemijskih i bioloških parametara, nova znanstvena istraživanja su usmjerena na traženje „*indeksa kakvoće vode*“ koji bi u sebi uključivao parametre kakvoće efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, neovisno o stupnju prethodne obrade. U ovom radu analizirat će se vrijednosti EQI dobivene za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema

smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard* i *Palestinian Standard Institute*.¹⁻⁶

1. OPĆI DIO

1.1. OTPADNA VODA KAO RESURS

Prirodna ili kondicionirana voda koja je jednom iskorištena za određenu namjenu postaje upotrijebljena ili otpadna voda. Uobičajena je praksa da se tako nastala otpadna voda obrađuje i ispušta u recepijent slijedeći tzv. *linearni model* u kojem se voda crpi iz izvora, priprema i koristi a nastala otpadna voda se zatim obrađuje i ispušta u vodno tijelo. Stoga se otpadna voda smatra *problemom* kojeg treba riješiti. Međutim noviji trendovi ukazuju da je potrebno prijeći iz *linearnog modela* na *kružni model* koji teži tome da se smanji potrošnja vode i da se potakne njena ponovna uporaba i recikliranje. Otpadne vode krajnje su zanemarene kao potencijalno priuštiv i održiv izvor vode, energije, hranjivih tvari (dušika i fosfora) i drugih ponovno iskoristivih materijala kao što je biomulj. Stoga se otpadna voda više ne treba tretirati kao *problem* kojeg treba riješiti, već kao vrlo važan resurs. Na slici 1.1. prikazane su mogućnosti ponovnog korištenja otpadnih voda. Iz kanalizacijskog sustava otpadna voda nastala u kućanstvima i industriji se odvodi u sustav za obradu otpadnih voda pri čemu se dobiva otpadna voda poboljšane kakvoće (engl. *recycled water*).¹



Slika 1.1. Ponovno korištenje otpadne vode¹

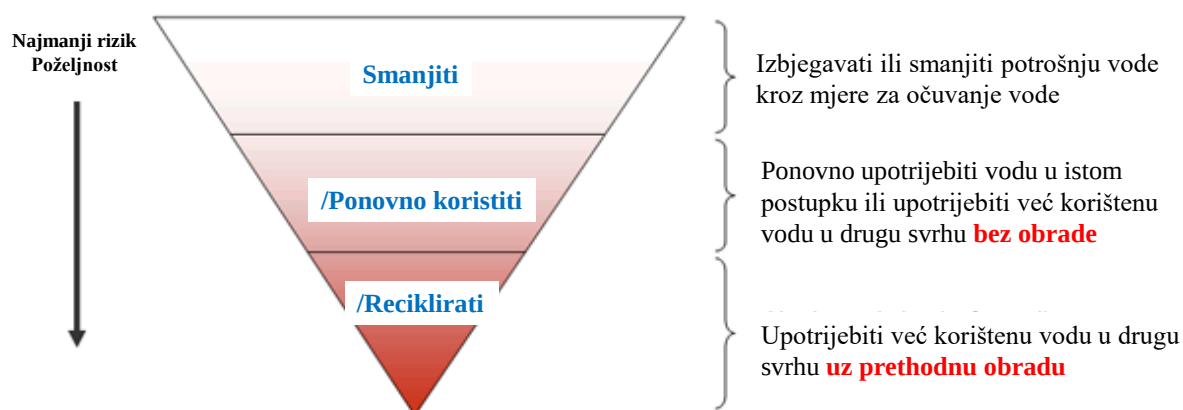
Nakon obrade voda se ispušta u okoliš (vodno tijelo) a nastali mulj odlaže na odlagalište otpada. Međutim novi trendovi nameću njeno ponovno korištenje u kućanstvu, za navodnjavanje šuma, urbano navodnjavanje, u rashladnim sustavima. Također dobiveni biomulj u količinama od oko 0,5 kg za svaki m³ otpadne vode (ovisno o načinu biološke obrade) se može koristiti u agrikulturi, za dobivanje bioplina procesom anaerobne digestije u tzv. metanskim kruškama ili spaljivanjem uz dobivanje pepela koji se koristi u građevinskoj industriji, u proizvodnji betona, opeke, cementa, asfalta i sl. U tablici 1.1. su prikazane mogućnosti uporabe pročišćene otpadne vode te stabiliziranog otpadnog mulja u poljoprivredi, tlu, ribarstvu i šumarstvu, industriji, u gradovima te za rekreaciju.

Tablica 1.1. Pregled mogućnosti ponovne uporabe otpadnih voda i otpadnog mulja.²

Područje primjene	Mogućnost ponovne uporabe	
	Pročišćene otpadne vode	Stabilizirani otpadni mulj
Poljoprivreda	Natapanje poljoprivrednih kultura, poboljšanje tla	Prihranjivanje poljoprivrednih kultura
Tlo	Prihranjivanje vodonosnika	Poboljšanje tla
Ribarstvo i šumarstvo	Ribarstvo	Prihranjivanje šuma, poboljšanje tla
Industrija	Industrijski procesi: hlađenje, procesne vode	Građevinski materijali, gnojiva i goriva
Upotreba u gradovima	Napajanje javnih zelenih površina, pranje ulica, zaštita od požara	Umjetna gnojiva
Rekreacija	Igrališta za golf	Umjetna gnojiva

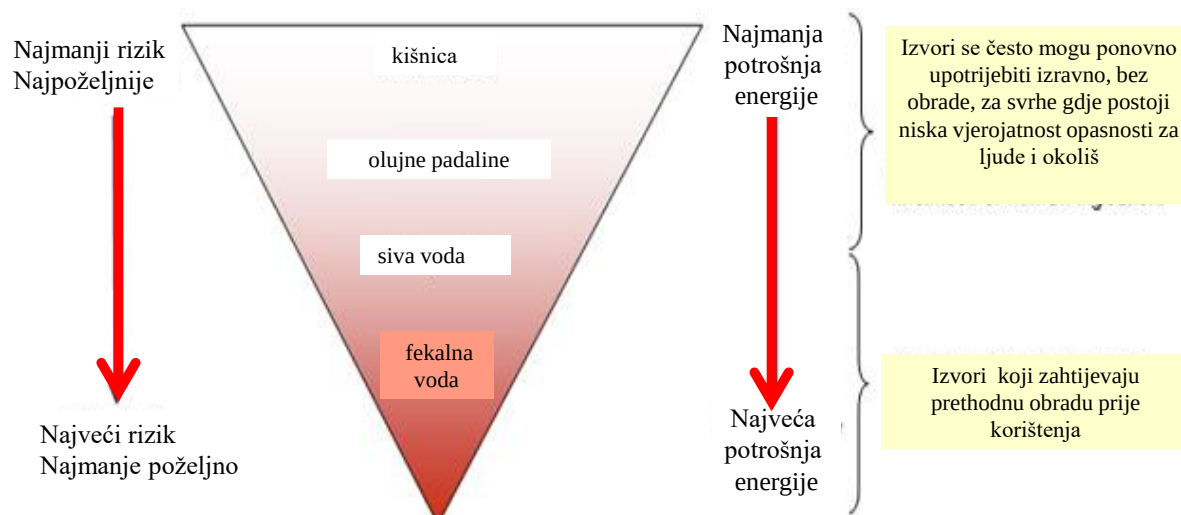
1.2. HIJERARHIJA OČUVANJA VODA

Ponovna upotreba i recikliranje obrađene vode ključni je dio smanjenja pritiska na vodne resurse i okoliš. Industrijalizacija, rast stanovništva, rast standarda te klimatske promjene utječu na nestašicu vode, a pojava vodnog stresa je sve učestalije širom svijeta. U cilju postizanja održivog gospodarenja vodama, prvenstveno je naglasak na smanjenju korištenja vode i izbjegavanju nastajanja otpadnih voda, kao što je prikazano na slici 1.2.³



Slika 1.2. Slikovit prikaz hijerarhije očuvanja voda.³

Hijerarhija očuvanja voda ukazuje da je obzirom na rizik najpoželjnije smanjiti odnosno izbjegavati potrošnju vode kroz mjere za očuvanje vode (gornji dio piramide – rizik najmanji). Manje poželjno je ponovno korištenje vode za istu ili drugu svrhu bez obrade, odnosno uz izdvajanje krutih tvari pomoću rešetki, sita ili taložnica. Najmanje poželjno, ali i s najvećim rizikom je opcija recikliranja već korištene vode uz prethodnu obradu. Dakle, recikliranje uključuje i ostale postupke obrade s ciljem dobivanja kvalitete efluenta sukladno potrebama. Budući ponovno korištenje i recikliranje obrađene vode nosi sa sobom i potencijale rizike, slika 1.3. ilustrira kako se povećava inherentni rizik i potrošnja energije kad se izbor alternativnog izvora vode pomiče slijedom: kišnica → oborinska voda → siva voda → fekalna voda.³



Slika 1.3. Ilustracija povećavanja rizika i potrošnje energije kod ponovnog korištenja različitih izvora voda.³

Kišnica i *olujne padaline* predstavljaju izvore koji se često mogu ponovno upotrijebiti bez obrade. Ovisno o području, kiša može sadržavati različite tvari (teške metale, viruse, bakterije, boju, mulj ili pijesak) koje mogu biti štetne. Zbog toga kišnicu prije korištenja treba obraditi.⁴

Siva voda označava kućansku otpadnu vodu bez fekalnih krutih sastojaka, npr. otpadne vode iz kupaonica, tuš-kabina, umivaonika i perilica rublja, a koje se mogu koristiti za vodikotliče ili navodnjavanje zelenih površina (siva voda se odvaja od fekalne kanalizacije).

Fekalna voda predstavlja otpadnu vodu u čijem sastavu dominiraju humani ili životinjski ekskrementi, a koje uglavnom potiču iz nužnika, pisoara, štala, i sl. Prema slici 1.3. vidljivo je da su *kišnica* i *olujne padaline* izvori vode koji se često mogu ponovno upotrijebiti izravno, bez obrade, za svrhe gdje postoji niska vjerojatnost opasnosti za ljude i okoliš. Korištenje *sive* i *fekalne vode* kao alternativnih izvora zahtijeva prethodnu obradu prije korištenja, najveća je potrošnja energije i najveći rizik te je stoga i najmanje poželjno.³

1.3. PRIMJERI PONOVNE UPORABE I RECIKLIRANJA U HRVATSKOJ

Ponovna uporaba otpadne vode u Hrvatskoj još nije zaživjela. Razlog tome je što postoji određeni „*efekt gađenja*“ i averzija prema korištenju otpadne vode. Korištenje reciklirane

otpadne vode je jako stigmatizirana kao nešto nedopustivo za korištenje. Mnoge studije su pokazale da „*efekt gađenja*“ postoji čak i kada ljudi znaju da je voda ili hrana potpuno čista. U jednoj studiji su psiholozi ubacili u čašu vode steriliziranog žohara. Samo jedna od 50 osoba je pila iz te čaše.⁵ Drugi razlog je taj što još uvijek ima dovoljno zaliha vode pa se vodu tretira kao nešto čega ima u izobilju. Također cijena vode je još uvijek relativno niska. U budućnosti će, zbog sve većih utjecaja klimatskih promjena i budućih trendova, voda imati sve veću cijenu i svaki projekt ponovne uporabe i recikliranja vode će sigurno biti dobro prihvaćen i na lokalnoj i na regionalnoj razini. Trenutno u Hrvatskoj ne postoji statistika ili metodologija podataka o ponovnoj uporabi vode, ali u bazi podataka vodopravnih i okolišnih dozvola postoje podaci o sustavima ponovne uporabe vode.⁶ Primjeri ponovne uporabe vode u Hrvatskoj:

- zalijevanje poljoprivrednih površina gnojnicom (poljoprivredna praksa)
- praonice rublja (Klinika za ortopediju Lovran, OB Varaždin)
- praonice vozila
- betonare (veći broj betonara)
- rashladne vode.

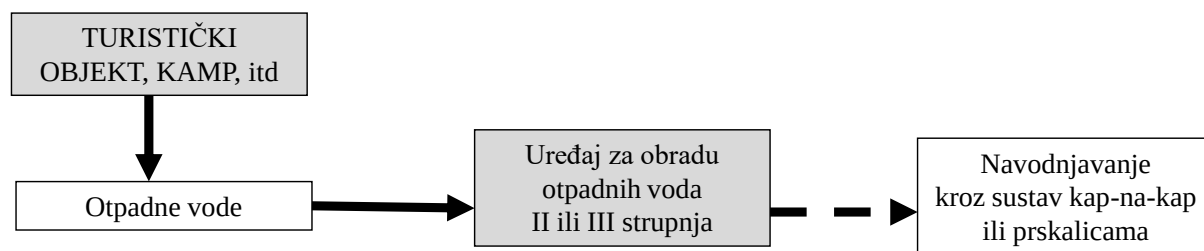
Primjeri recikliranja onečišćenih voda u Hrvatskoj:

- zalijevanje hortikulture u kampovima (Krk, Park Umag, Preko mosta, Punta Skala...)
- praonice vozila (Autotrans Žbandaj, praonica vozila Dugopolje)
- praonice rublja (Valamar Poreč)
- kotlovske vode (TE Plomin)
- obrada metala (Cinčaona Helena, Anilox, Munja).⁶

Zalijevanje hortikulture u kampovima

Sve veći broj turističkih objekata, naročito kampova i objekata s velikim zelenim površinama ima ugrađeni sustav ponovne uporabe voda. Princip dorade na sustav ponovnog korištenja relativno je jednostavan: na postojeće uređaje za pročišćavanje otpadnih voda drugog ili trećeg stupnja priključuje se sustav navodnjavanja koji se sastoji od spremnika odgovarajućeg kapaciteta i razvedene mreže za navodnjavanje. Visoko raslinje se navodnjava sustavom kap-na-kap, a travnate površine sustavom prskalice, ovisno o tehnologiji pročišćavanja, tj. mikrobiološkoj kvaliteti pročišćenih voda.⁶

Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje obrađene vode za zalijevanje hortikulture u kampovima i turističkim objektima s velikim zelenim površinama dat je na slici 1.4.

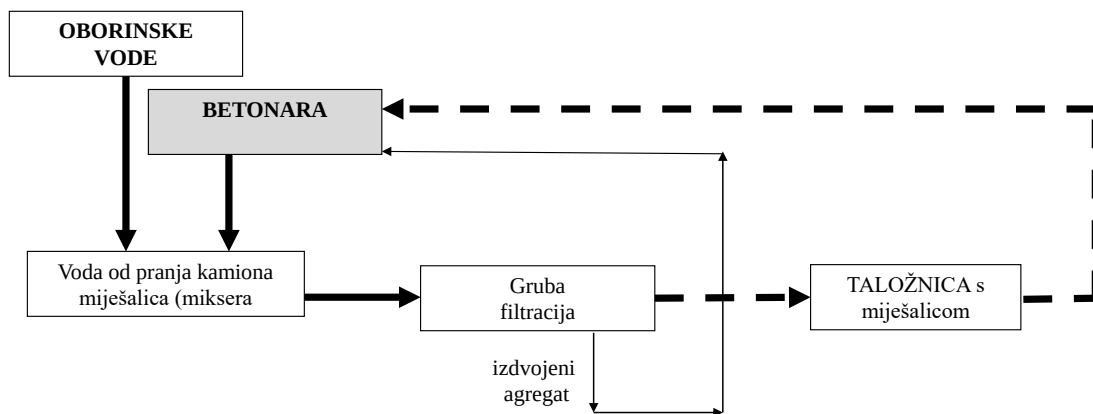


Slika 1.4. Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje obrađene vode za zalijevanje hortikulture u kampovima i turističkim objektima s velikim zelenim površinama.

Problem kod raširenije primjene ponovnog korištenja voda za zalijevanje je što Hrvatska nema regulativu koja određuje mikrobiološku kvalitetu pročišćenih vode za zalijevanje ovisno o kulturi koja se zalijeva. Zbog zaštite zdravlja ljudi i životinja, pročišćene vode koje nisu mikrobiološki tretirane (UV, kloriranje, ultrafiltracija), projektanti sustava povezuju isključivo na sustav kap-na-kap za zalijevanje visokog ukrasnog bilja (cvijeće, grmlje i drveće) što zadovoljava većinu potreba za zalijevanjem.⁶

Betonare

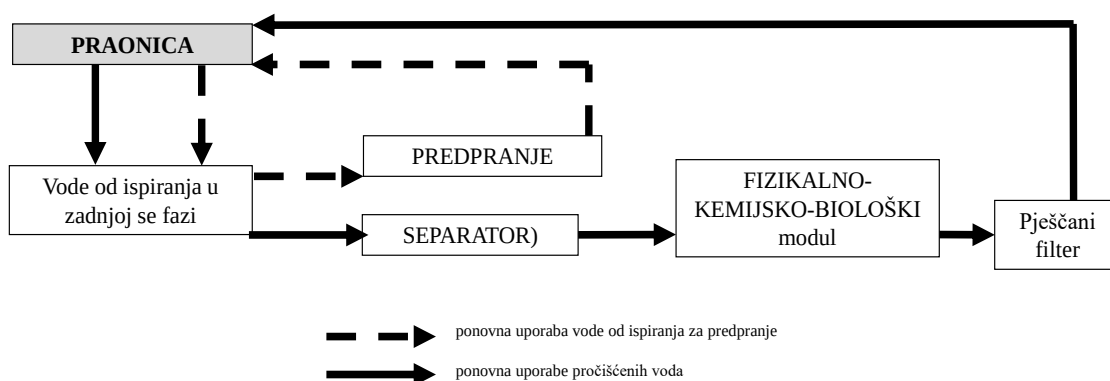
Voda od pranja kamiona miješalica (miksera) u betonarama sve se češće ponovno koristi unutar betonare. Sustav se najčešće sastoji od platoa s ispustom voda u taložnicu. Plato osim ispirnih voda skuplja i oborinske vode. Taložnice često imaju i miješalicu kako bi se spriječilo taloženje i stvrdnjavanje cementa. Onečišćena voda od pranja, nakon grube filtracije i taloženja, zajedno s izdvojenim agregatom se vraća u proces proizvodnje betonske smjese.⁶ Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje obrađene vode u betonarama dat je na slici 1.5.



Slika 1.5. Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje obrađene vode u betonarama.

Praonice vozila i rublja

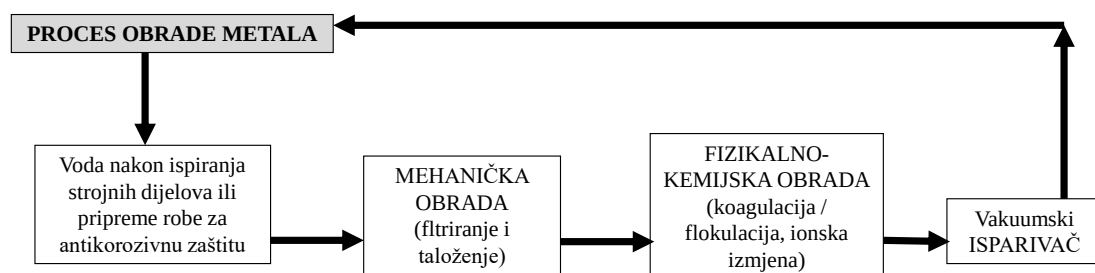
Praonice rublja i vozila su vrlo veliki potrošači. Postoje dva načina uštede i ponovnog korištenja vode u praonicama. Prvi način je da se voda od ispiranja u zadnjoj fazi koristi kao voda za predpranje budući je zadovoljavajuće kakvoće. Drugi način je da se voda odvodi u separator, zatim na fizikalno-biološki modul te na pješčani filter i da se tako obrađena vraća na početak procesa.⁶ Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje obrađene vode u praonicama rublja i vozila dat je na slici 1.6.



Slika 1.6. Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje i recikliranje vode u praonicama rublja i vozila.

Obrada metala

U postrojenjima za obradu metala voda nakon ispiranja strojnih dijelova ili pripreme robe za antikorozivnu zaštitu se vodi na mehaničku obradu koja uključuje filtraciju i taloženje. Nakon toga slijedi fizikalno kemijska obrada koja se sastoji od koagulacije/flokulacije i ionske izmjene. Na posljétku ide na vakuumski isparivač i tako obrađena voda se vraća na početak procesa.⁶ Slikovit prikaz sustava za ponovno korištenje obrađene u procesima obrade metala dat je na slici 1.7.



Slika 1.7. Slikovit prikaz sustava za recikliranje vode u procesima obrade metala.

1.4. ANALIZA PONOVDNE UPORABE I RECIKLIRANJA VODE U SVIJETU

Ponovno korištenje vode ima dugu povijest u Europi. Postoje primjeri ponovne upotrebe kišnice još 3500-1100 godina pr. Kr. U nastavku će se opisati primjeri zemalja u svijetu koje ponovno koriste i recikliraju vodu, s osvrtom na SAD te zemlje Mediterana i Bliskog istoka.

1.4.1. Ponovna uporaba i recikliranje vode u SAD (Kalifornija, Florida, Oregon)

Godine 1918. započelo je ponovno korištenje otpadne vode u Kaliforniji, a propisi države Kalifornije bili su jedina zakonska referenca za recikliranje i ponovnu upotrebu otpadnih voda, i postali su mjerilo za ponovnu upotrebu vode svugdje u svijetu. Tijekom sedamdesetih i osamdesetih godina dogodila se evolucija.⁷ Još od 1976. godine u Kaliforniji je pokrenut projekt „Water Factory 21 Direct Injection Project“ koji potiče korištenje reciklirane vode (za prihranjivanje vodonosnika reverznom osmozom) kako bi se spriječilo prodiranje slane vode i povećala vodoopskrba podzemnom vodom.⁸ 1992.

godine objavljenja je preporuka US EPA te je 18 država SAD usvojilo propise u vezi s ponovnim korištenjem vode, 18 država je već imalo smjernice ili standarde, a 14 država nije (US EPA, 1992 i 2004).⁷ Danas je u nekoliko država SAD-a ponovno korištenje vode u primjeni, vrijednost ponovnog korištenja otpadne vode je u potpunosti prepoznata te postoje zakoni i propisi koji definiraju uvjete za ponovnu uporabu vode.

Florida

Florida obiluje obilnim padalinama, ali neravnomjerna raspodjela oborina uzrokuje suše, osobito u ožujku, travnju i svibnju. Kako bi se sačuvala opskrba vodom, državni zakon Floride propisuje da je pitka voda ograničena za potrebe navodnjavanja. St. Petersburg u Floridi jedan je od prvih gradova u SAD-u i jedan od najvećih u svijetu koji koristi sustav dvojne vodoopskrbe kojim se pitka voda isporučuje kroz jedan vodoopskrbni sustav, a voda za ostalu uporabu kroz drugi.

Četiri pogona za obradu vode u gradu obrađuju više od 150 milijuna litara otpadnih voda dnevno. Kada voda uđe u uređaj za obradu otpadnih voda, prvo prolazi kroz sita kako bi se uklonili krupni ostaci, a zatim odlazi u komoru za pijesak. Nakon taloženja, voda se biološki obrađuje kako bi se omogućilo da mikroorganizmi razgrade organske tvari u otpadnim vodama. Nakon biološke obrade, voda se filtrira te dezinficira klorom.⁹

1.4.2. Ponovna uporaba i recikliranje vode u zemljama Mediterana i Bliskog istoka

U mediteranskoj regiji postoji velika potreba za uporabom reciklirane vode. Međutim, od ključne je važnosti da se primjena ponovne uporabe i recikliranja vode u poljoprivredi i drugim sektorima temelji na znanstvenim dokazima o njenim učincima na okoliš i zdravlje. Iako je provedeno nekoliko studija o kvaliteti otpadnih voda i za različite namjene, u ovom trenutku ne postoje propisi o ponovnoj uporabi i recikliranju vode na mediteranskoj razini. S razvojem turizma i tržišta mediteranske prehrane, postoji potreba za razvoj kriterija za ponovnu uporabu vode na cijelom Mediteranu¹⁰.

Topla i suha ljeta te blage zime tijekom kojih je najveći dio godišnjih oborina, karakteriziraju mediteransku klimu. Padaline su neravnomjerno raspoređene (u prostoru i vremenu), sa sve izraženijim epizodama suša. Raspoloživi vodni resursi postaju nedovoljni, ranjivi i ugroženi prekomjernom eksploatacijom i različitim izvorima onečišćenja. Zemlje južnog Mediterana i regije Bliskog istoka suočavaju se sa sve

ozbiljnijim problemima nestašice vode. Neki od njih imaju malo prirodno dostupnih resursa pitke vode i uglavnom se oslanjaju na podzemne vode.¹⁰ Vodonosnici podzemnih voda često su preopterećeni, a prodori morske i boćate vode u obalna područja dosegli su granične vrijednosti na nekim mjestima. Neobnovljivi duboki ili fosilni vodonosnici koriste se u različitim stupnjevima. Eksploatacija neobnovljivih resursa saharskih vodonosnika intenzivna je u Libiji, Egiptu, Tunisu i Alžiru. Nacionalni omjeri eksploatacije dosežu preko 50%, ili čak blizu 100% u nekoliko mediteranskih zemalja (Egipat, Gaza, Izrael, Libija, Malta, Tunis), a što pokazuje da stvarna potrošnja vode već premašuje obnovljive konvencionalne vodne resurse. Kao posljedica toga, pojavljuje se nekoliko problema oko sliva, kao što su zaslanjivanje vode i tla, dezertifikacija, povećanje onečišćenja vode i neodrživo korištenje zemljišta i vode. Zbog toga je vrlo bitno težiti povećanju ponovnog korištenja i recikliranja vode⁸.

Obzirom na razvijenost smjernica za recikliranje i ponovnu uporabu vode u zemljama Mediterana i Bliskog istoka, razlikuju se:

- države koje imaju smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode
- države koje razmatraju propise i/ili smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode
- države koje nemaju propise i/ili smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode.⁸

Države koje imaju smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode

Neke od Mediteranskih država koje imaju propise i/ili smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode su Cipar, Francuska, Izrael, Italija, Španjolska, Tunis.⁸ U nastavku će se nešto više reći o Španjolskoj i Izraelu te osvrt na smjernice u Cipru i Italiji.

Španjolska

U Španjolskoj vlada sredozemna i polusušna klima te postoje povremene suše što dovodi do povećane potražnje za vodom. Zbog toga se započelo sa izgradnjom bioloških postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda diljem Španjolske počevši od onih u obalnim turističkim zajednicama. Madrid ima gradsku mrežu koja služi za navodnjavanje urbanih parkova i krajobraznih područja. Ušteda pitke vode kroz mrežu za navodnjavanje iznosi 22,7 milijuna m³ / god.⁸

Izrael

Izrael je država koja se nalazi na rubu pustinje te ima polupustinjsku klimu koju karakterizira malo kišnih dana i nedostatni prirodni vodni resursi. Poljoprivreda troši više od 50% vodnih resursa koji su nedovoljni te se smatra područjem od nacionalnog interesa. Izrael potiče poljoprivrednike na korištenje sekundarnih vodnih resursa, odnosno reciklirane vode. Kako bi se omogućilo ponovno korištenje pročišćenih otpadnih voda u poljoprivredi Izrael je poduzeo sljedeće korake:

- uvođenje dosta niže cijene reciklirane otpade vode za poljoprivredu
- podrška građenju infrastrukture za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda te za uporabu reciklirane vode
- reguliranje sanitarnih aspekata reciklirane vode u poljoprivredi
- razvoj infrastrukture za uporabu reciklirane otpadne vode.

Posljedica svih tih koraka je da se 87% reciklirane otpadne vode ponovno koristi i/ili reciklira.¹¹

Cipar

Na Cipru se planira prikupljanje i korištenje otpadnih voda koje nastaju u glavnim gradovima, oko 25 milijuna m³ / god, za navodnjavanje nakon trećeg stupnja njihove obrade. Zbog visokih troškova prijevoza, očekuje se da će većina reciklirane vode biti korištena za navodnjavanje objekata kao što su hotelski vrtovi, parkovi, golf igrališta, itd.¹⁰

Privremeni kriteriji koji se odnose na korištenje pročišćenih otpadnih voda za potrebe navodnjavanja na Cipru su stroži od smjernica Svjetske zdravstvene organizacije i uzimaju u obzir specifične uvjete Cipra, a dati su u tablici 1.2.¹⁰

Tablica 1.2. Privremeni kriteriji za navodnjavanje s recikliranom otpadnom vodom na Cipru¹⁰.

Područje navodnjavanja	BPK ₅ (mg/L)	Raspršene tvari (mg/l)	Fekalni koliiformi (broj/100ml)	Crijevne nematode (broj/l)	Tretman
Svi usjevi	A) 10 ^a	10 ^a	5 ^a 15 ^b	0	Drugi, treći stupanj i dezinfekcija
Uzgoj povrća koje se kuha	A) 10 ^a 15 ^b	10 ^a 15 ^b	50 ^a 100 ^b	0	Drugi, treći stupanj i dezinfekcija
Usjevi za ljudsku potrošnju	A) 20 ^a 30 ^b	30 ^a 45 ^b	200 ^a 1000 ^b	0	Sekundarna obrada > 1 tjedan i dezinfekcija ili treći stupanj obrade i dezinfekcija. Vrijeme zadržavanja u laguni > 30 dana
	B) -	-	200 ^a 1000 ^b		
Krmno bilje	A) 20 ^a 30 ^b	30 ^a 45 ^b	1000 ^a 500 ^b	-	Drugi stupanj obrade > 1 tjedan ili treći i dezinfekcija. Vrijeme zadržavanja u laguni > 30 dana
	B) -	-	1000 ^a		
Industrijski usjevi	A) 50 ^a 70 ^b	-	3000 ^a 10000 ^b	-	Drugi stupanj i dezinfekcija. Vrijeme zadržavanja u laguni > 30 dana
	B) -	-	3000 ^a 1000 ^b		

a Vrijednosti ne smiju biti premašene u 80% uzoraka mjesečno.

b Maksimalna dopuštena vrijednost.

c Nije dopušteno navodnjavanje lisnatog povrća, lukovica i kukuruza koji se konzumira nekuhan.

Napomena: navodnjavanje povrća nije dopušteno. Nije dopušteno navodnjavanje ukrasnog bilja za potrebe trgovine. U otpadnim vodama nisu dopuštene tvari koje se nakupljaju u jestivim dijelovima usjeva i koje su dokazano toksične za ljude ili životinje.

Italija

Talijanska postrojenja za pročišćavanje ukupno pročišćavaju 2400 m³ / god otpadne vode, što ukazuje na velik potencijal ovog resursa kao sekundarnog izvora vode. Korištenje nepročišćenih otpadnih voda u Italiji se prakticira od početka ovog stoljeća, posebno na periferiji malih gradova i blizu Milana. Danas se pročišćene otpadne vode koriste uglavnom za poljoprivredno navodnjavanje. Međutim, kontrolirana ponovna upotreba komunalnih otpadnih voda u poljoprivredi još nije razvijena u većini talijanskih regija zbog strogih normi.¹⁰ U tablici 1.3. dana je usporedba regionalnih smjernica u Italiji sa smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije SZO za područje navodnjavanja.

Tablica 1.3. Usporedba regionalnih smjernica u Italiji sa smjericama SZO¹⁰ za područje navodnjavanja.

Organizacija ili država	Ukupni koliformi (broj/100 ml) ^a	Fekalni koliformi (broj/100 ml)	Fekalni streptokoki (broj/100 ml)	Jajašca nematoda (broj/l)
SZO	nije postavljeno	1000 ^b	nije postavljeno	1
Italija	2 ^b , 20 ^c	nije postavljeno	nije postavljeno	nije postavljeno
Sicilija	3000 ^b	1000 ^b	nije postavljeno	1
Emilia Romagna	2 ^b , 20 ^c	nije postavljeno	nije postavljeno	nije postavljeno
Puglia	2 ^b , 10 ^c	nije postavljeno	nije postavljeno	-

a- srednja vrijednost od 7 uzastopnih dana uzorkovanja

b- neograničeno navodnjavanje

c- ograničeno navodnjavanje

Države koje razmatraju propise i/ili smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode

Države koje razmatraju propise i/ili smjernice za recikliranje i ponovnu uporabu vode su Alžir, Egipat, Grčka, Libanon, Libija, Malta, Maroko, Sirija. U nastavku će nešto više biti rečeno o Alžiru, Egiptu i Grčkoj.

Alžir

Alžirski zakoni obvezuju i gradove s više od 10⁵ stanovnika da svoje otpadne vode, prije ispusta u okoliš ili ponovne uporabe, obrađuju u uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, a u manje naseljenim područjima putem bazena za stabilizaciju otpadnih voda ili sedimentacijskih bazena. Njihovi zakoni zabranjuju ponovnu uporabu nepročišćene otpadne vode, pročišćene otpadne vode za navodnjavanje sirovog povrća, ali je dopuštena uporaba pročišćene otpadne vode u proizvodnji krmnih usjeva, pašnjaka i drveća.¹⁰

Egipat

Ponovno korištenje pročišćenih otpadnih voda u Egiptu je stara praksa. Kanalizacija se razmatra kao jedna od ekološki najprihvatljivijih postupaka za prikupljanje otpadnih voda. Od 1900. godine otpadne vode koriste se za uzgoj voćnjaka u pjeskovitom tlu u selu ElGabal El-Asfar, u blizini Kaira. Danas, ponovna uporaba pročišćenih otpadnih voda nije dopuštena za usjeve namijenjene prehrani. Ministarstvo poljoprivrede zagovara ograničenu ponovnu uporabu pročišćenih otpadnih voda za uzgoj usjeva koji nisu prehrambeni, kao što su drveće i zeleni pojasevi u pustinji kako bi se popravile pješčane dine. Glavni problemi i pitanja vezana uz trenutnu uporabu pročišćene otpadne vode u Egiptu su:

- nedovoljna infrastruktura postrojenja za pročišćavanje otpadne vode
- samo oko 50% i 3% urbane i ruralne populacije spojeno je na kanalizacijske sustave
- značajna količina otpadnih voda ulazi izravno u vodna tijela bez ikakve prethodne obrade
- mnogi objekti za obradu otpadnih voda su preopterećeni i/ili ne rade ispravno
- neke industrije još uvijek ispuštaju otpadne vode s ograničenim ili nikakvim tretmanom u prirodna vodna tijela
- kućni i industrijski čvrsti otpad uglavnom se odlaže na nekontrolirana mjesta i/ili u vodna tijela
- kvaliteta pročišćene otpadne vode razlikuje se od jedne do druge stanice za obradu, ovisno o kvaliteti dotoka, razini obrade, učinkovitosti rada postrojenja i drugim čimbenicima
- negativni utjecaji navedenih problema na zdravlje i okoliš.¹⁰

Grčka

U Grčkoj se potražnja za vodom u posljednjih 50 godina značajno povećala. Usprkos adekvatnim padalinama, neravnoteža vode često se javlja zbog vremenskih i regionalnih varijacija oborina, povećane potrebe za vodom tijekom ljetnih mjeseci i poteškoća pri transportu vode zbog planinskog terena. U jugoistočnom području izražena je potražnja za vodom za potrebe turizma i navodnjavanja.

U Grčkoj je trenutno u tijeku nekoliko istraživanja i pilot projekata koji se bave recikliranjem i ponovnom uporabom otpadnih voda. Osim toga, mali je broj projekata o

recikliranju i ponovnoj uporabi otpadnih voda u praksi te još nisu usvojene smjernice ili kriteriji za recikliranje i ponovnu uporabu otpadnih voda, osim onih za ispuštanje. Provedena je preliminarna studija o potrebi utvrđivanja kriterija u Grčkoj. Predloženi kriteriji imaju za cilj zaštitu zdravlja ljudi i okoliša.¹⁰

Države koje nemaju propise i/ili smjernice za ponovnu uporabu vode

Države koje nemaju propise i/ili smjernice za ponovnu uporabu vode su Hrvatska, Bosna i Hercegovina, Albanija, Slovenija. U nastavku će se dati kratki osvrt na situaciju u Hrvatskoj.

Hrvatska

Problemi vodoopskrbe u Hrvatskoj očituju se u činjenici da se najveća potrošnja vode u turističkim mjestima i za poljoprivredne potrebe podudara sa sušnom sezonom. Ponovna uporaba pročišćenih otpadnih voda još nije zaživjela zbog neizgrađene kanalizacijske mreže i nedovoljnog broja postrojenja za obradu otpadnih voda. Obradena otpadna voda ispušta se u more dugim podmorskim ispustima s tim da prije ispuštanja otpadnih voda uglavnom postoji samo preliminarna obrada. Pročišćena otpadna voda bi se mogla koristiti za navodnjavanje stabala, vinograda, maslina itd. Do sada u Hrvatskoj nažalost ne postoje službeni planovi za ponovnu uporabu otpadnih voda.¹⁰ Međutim, u bazi podataka vodopravnih i okolišnih dozvola postoje podaci o sustavima ponovne uporabe vode, o čemu je bilo više riječi u poglavlju 1.3. Također, provode se znanstvena istraživanja na ovu tematiku, npr. projekt *ReHOHMEM* „Izravna uporaba komunalne otpadne vode za navodnjavanje membranskim tehnologijama“ na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije, kojeg financira HRZZ, a odnosi se na ispitivanja učinkovitosti membranskih tehnologija mikrofiltracije, ultrafiltracije, nanofiltracije, reverzne osmoze i membranskog bioreaktora za obradu komunalnih otpadnih voda koje će se koristiti za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Membranske tehnologije su ekonomski isplative i ekološki opravdane. Također nisu destruktivne a zadovoljavaju standarde. Obradom i ponovnim korištenjem otpadnih voda smanjuje se iscrpljivanje površinskih i podzemnih voda koje su namijenjene za piće te se tako smanjuje nestašica vode.¹²

1.5. PONOVNA UPORABA VODE I NJENA POVEZANOST S RIZIKOM ZA OKOLIŠ I LJUDSKO ZDRAVLJE

Ponovna uporaba vode može biti opasna po ljudsko zdravlje i okoliš ukoliko dođe do nepridržavanja određenih mjera i postupaka zaštite, budući se u vodi mogu naći patogeni mikroorganizmi, teški metali, toksične organske tvari kao što su amonijak i nitrati, anorganske tvari kao što je natrij i sl.. Ponovna uporaba otpadnih voda iz kućanstva može biti opasna za ljudsko zdravlje ako se konzumira hrana koja je onečišćena otpadnom vodom (voće, povrće, riba), ako se za piće upotrebljava voda onečišćena otpadnom vodom, ako se udišu kapljice raspršene vode u zraku koje mogu biti prijenosnici patogenih mikroorganizama i/ili opasnih tvari te prilikom dodira s travom na igralištima, livadama ili slično gdje se navodnjavalo s otpadnim vodama. Da bi se izbjeglo negativno djelovanje vode na ljudsko zdravlje potrebna je primjena odgovarajućih normi, mjerila i smjernica.

Prema Tedeschi-ju, 1997.², smjernice za ponovno upotrebu vode su razrađene obzirom na područja uporabe te se razlikuju:

- smjernice za ponovnu uporabu vode u poljodjelstvu i akvakulturi
- smjernice za ponovnu uporabu vode u industriji
- smjernice za ponovnu uporabu vode za obogaćivanje podzemne vode te za razonodu.

1.5.1. Ponovna uporaba u poljoprivredi i akvakulturi

Smjernice za ponovnu uporabu vode u poljoprivredi za navodnjavanje neprehrambenih usjeva, kao što su stočna hrana i vlakna, komercijalni rasadnici i pašnjaci uključuju²:

- mikrobiološke smjernice: do 1000 fekalnih koliforma u 100 ml -jaja helminta
- slanost: mjeri se električna vodljivosti (količina otopljenih soli u vodi)
- procjeđivanje ili propusnost u tlu ili SAR omjer (odnos natrija, kalcija i magnezija u vodi):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (1-1)$$

- otrovnost (povećane koncentracije elemenata u tragovima mogu izazvati otrovan učinak Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, Li, Mn, Mo, itd.).

U tablici 1.4. date su smjernice za procjenu kakvoće vode za natapanje obzirom na slanost, procjeđivanje, natrijev adsorpcijski odnos i ostale važne pokazatelje.

Tablica 1.4. Smjernice za procjenu kakvoće vode za natapanje².

Pokazatelj	Stupanj ograničenja za uporabu		
	Nikakav	Mali do umjereni	Značajan
SLANOST (UKAZUJE NA VALJANOST VODE ZA BILJKE)			
El. provodnost E_{cw} (dS/m)	<0,7	0,7-3,0	<3,0
Ukupno otopljene tvari TDS (mg/l)	<450	450-2000	<2000
PROCJEĐIVANJE (utjecaj na procjeđivanje obroka vode u tlo procjenjuje se primjenom E_{cw} i SAR)			
SAR = 0-3 i E_{cw} =	<0,7	0,7-0,2	,0,2
=3-6	<1,2	1,2-0,3	<0,3
=6-12	<1,9	1,9-0,5	<0,5
=12-20	<2,9	2,9-1,3	<1,3
=20-40	<5,0	5,0-2,9	<2,9
OSEBUJNO OTROVNI IONI (utjecaj na osjetljive biljke)			
Natrij (Na) -površinsko natapanje -natapanje kišom	SAR<3 mg/l<70	3-9 <70	<9
Klorid (Cl) -površinsko natapanje -natapanje kišom	mg/l<140 mg/l<100	140-350 <100	<350
Bor (B)	mg/l<0,7	0,7-3,0	<3,0
Elementi u tragovima (MDK vrijednost u zagradi): Al (5,0 mg/l), As (0,10 mg/l), Be (0,10 mg/l), Cd (0,01 mg/l), Co (0,05 mg/l), Cr (0,10 mg/l), Cu (0,20 mg/l), F (1,0 mg/l), Fe (5,0 mg/l), Li (2,5 mg/l), Mn (0,2 mg/l), Mo (0,01 mg/l), Ni (0,2 mg/l), Pb (5,0 mg/l), Se (0,02 mg/l), V (0,1 mg/l), Zn (2,0 mg/l)			
OSTALI POKAZATELJI (utjecaj na osjetljive biljke)			
Ukupan dušik (N)	mg/l<5	5-30	<30
Hidrogenkarbonat (HCO_3^-)	mg/l<90	90-500	<500
pH	Uobičajene vrijednosti 6,5-8,4		
Ostatak klora (samo za natapanje kišom)	mg/l<1,0	1,0-5,0	<5,0

1.5.2. Smjernice za ponovnu uporabu vode u industriji

Kakvoća pročišćene vode za ponovnu uporabu vode u industriji ovisi o njenoj namjeni (prijenos sirovina, pranje sirovina, hlađenje, u tehnološkom procesu, itd.). Kao općenite norme mogu se primjenjivati smjernice Svjetske zdravstvene organizacije SZO, a koje su naznačene u tablici 1.5.

Međutim, kao daljnja mjerila kojima se određuje prethodni stupanj čišćenja navode se:

- sprječavanje razvoja algi
- nagrivanje građevina i naprava
- zaštita zdravlja ljudi (učinkovita dezinfekcija).

Tablica 1.5. Smjernice SZO za obradu otpadne vode prije ponovne uporabe.²

Postupak čišćenja	Navodnjavanje akvakultura			Razonoda		Industrija	Komunalne potrebe	
	Biljke koje nisu za jelo	Biljke koje se jedu kuhane, uzgoj riba	Biljke koje se jedu sirove	Bez dodira	U dodiru		Voda nije za piće	Za piće
Zdravstvena mjerila	A+F	B+F ili D+F	D+F	B	D+G	C ili D	C	B
Prvi stupanj	***	***	***	***	***	***	***	***
Drugi stupanj		***	***	***	***	***	***	***
Pješčana filtracija ili odgovarajući postupak		*	*		***	*	***	**
Nitrifikacija						*		***
Denitrifikacija								***
Kemijsko taloženje						*		**
Adsorpcija aktivnim ugljenom								**
Ionska izmjena ili drugi postupci za uklanjanje iona						*		**
Dezinfekcija		*	***	*	***	*	***	***
Oznake u navedenoj tablici znače: *** - vrlo učinkovito čišćenje ** - dodatno čišćenje uz temeljno * - ponekad može biti potrebno A – bez krupnih krutina, značajno smanjenje jaja parazita B – kao A te značajno smanjenje bakterija C – kao A te učinkovito smanjenje bakterija i uklanjanje virusa D – ne više od 100/100 ml b.c u 80% uzoraka F – bez fekalnih koliforma u 100 ml, bez virusa u 1000 ml, bez otrovnih tvari za čovjeka, uključivo zadovoljenje ostalih mjerila vode za piće, bez kemijskih tvari koje uzrokuju neželjene ostatke u biljkama i ribama G – bez kemijskih spojeva koji nadražuju membrane sluznica i kožu								

1.5.3. Ponovna uporaba za obogaćivanje podzemne vode te za rekreaciju

Kakvoća pročišćene vode za obogaćivanje podzemnih voda ovisi o namjeni podzemne vode, načinu puštanja u podzemlje te o hidrološkim prilikama u tlu. Međutim, kada se obnovljena voda nakon miješanja s podzemnom vodom upotrebljava za vodoopskrbu ljudi, njena kakvoća mora odgovarati kakvoći vode za piće u fizikalnom, kemijskom,

biološkom i radioaktivnom pogledu. Bitni pokazatelji kakvoće pročišćene vode za obogaćivanje podzemne vode za ostale namjene:

- mikrobiološka norma
- ukupno otopljene i raspršene tvari
- otrovne tvari (npr. teški metali)
- nerazgradive organske tvari.

Kao općenite norme mogu se primjenjivati smjernice SZO (tablica 1.5.). donesene tijekom 1973. g. za postupke obrade otpadnih voda prije uporabe. Te smjernice uključuju ponovnu uporabu za: poljodjelstvo, akvakulturu, razonodu, industriju te komunalne potrebe ali i vodu za piće.²

1.6. ANALIZA SMJERNICA SZO I AMERIČKE AGENCIJE ZA ZAŠTITU OKOLIŠA (*engl. WHO vs. US EPA*)

Godine 1992. Američka agencija za zaštitu okoliša, US EPA je razvila Smjernice za ponovnu uporabu vode, a njihov pregled za tri uobičajena područja ponovne uporabe otpadnih voda navedene su u tablici 1.6.⁹

Tablica 1.6. Smjernice US EPA za ponovnu uporabu vode⁹.

Područje ponovne uporabe	Vrsta obrade	Kvaliteta obrađene vode	Praćenje kvalitete obrađene vode	Udaljenost
Urbano navodnjavanje: navodnjavanje pejzaža, pranje vozila, ispiranje WC-a, zaštita od požara, komercijalni klima-uređaji i druge slične upotrebe	Sekundarna obrada ¹ Filtracija ² Dezinfekcija ³	-pH=6-9 -Biokemijska potreba za kisikom (BPK) ≤10 mg/l -Mutnoća ≤ 10 NTU ⁵ -Bez fekalnih koliforma/100 ml ⁴ -Rezidualni klor 1mg/l	pH-tjedno BPK-tjedno Mutnoća-kontinuirano Koliformi-dnevno Rezidualni klor-kontinuirano	15 m od izvora pitke vode
Ponovna uporaba u poljoprivredi za neprehrambene usjeve: pašnjaci za životinje, krmno bilje, vlakna i sjemenske kulture	Sekundarna obrada	- pH=6-9 - Biokemijska potreba za kisikom (BPK) ≤30 mg/l - Ukupne rasp. tvari TSS ≤ 30 mg/l - Fekalnih koliformi: 200/100 ml ⁵ - Rezidualni klor 1mg/l	pH-tjedno BPK-tjedno TSS-dnevno Koliformi-dnevno Rezidualni klor-kontinuirano	90 m od izvora pitke vode
Neizravna ponovna upotreba pitke vode: prihranjivanje podzemne vode ispuštanjem u vodonosnike	Specifična sekundarna obrada. Potrebna je i filtracija i/ili napredna obrada	Mora zadovoljavati standarde pitke vode nakon procjeđivanja kroz vadoznu zonu.	pH-dnevno Mutnoća-kontinuirano Koliformi-dnevno Rezidualni klor-kontinuirano Standardi za pitku vodu-kvartalno	30 m od područja koja su dostupna za javnost (ako je mjesto za navodnjavanje raspršivanjem)

¹Sekundarni postupci obrade uključuju obradu s aktivnim muljem, filtraciju, rotacijske biološke kontaktore itd.

²Sekundarnom obradom bi trebale dobiti otpadne vode u kojima i BPK i TSS ne prelaze 30 mg /l.

³Filtracija uključuje propuštanje efluenta kroz prirodno neometano tlo ili filtarske medije kao što su pijesak i/ili antracit.

⁴Dezinfekcija uključuje uništavanje, inaktiviranje ili uklanjanje patogenih mikroorganizama. To se može postići kloriranjem, ili drugim kemijskim dezinfekcijskim sredstvima, UV zračenjem ili drugim procesima.

⁵Broj fekalnih koliforma ne smije prelaziti 14/100 ml u bilo kojem uzorku.

⁶Broj fekalnih koliforma ne smije prelaziti 800/100 ml u bilo kojem uzorku.

Zanimljivo je uočiti da se smjernice SZO i US EPA, iako se često uzimaju kao standardi, također razlikuju posebno na zahtjevu za mikrobiološkim praćenjem. Smjernice SZO zahtijevaju praćenje crijevnih nematoda, dok se kriteriji US EPA oslanjaju na potrebne sustave obrade te praćenje ukupnog broja koliforma radi procjene mikrobiološke kvalitete i naglašava uklanjanje fekalnih koliforma.⁷ Razlike smjernica SZO i Američke agencije za zaštitu okoliša (*engl. WHO vs. US EPA*) date su u tablici 1.7.

Tablica 1.7. Razlika između smjernica SZO i Američke agencije za zaštitu okoliša (*engl. WHO vs. US EPA*)⁷

Organizacija	Ponovna upotreba vode	Crijevni nematodi	Fekalni i ukupni koliformi	Potreba pročišćavanja otpadne vode
SZO (<i>engl. WHO, 1989.</i>)	Navodnjavanje biljaka koje se jedu nekuhane, sportski objekti, parkovi	<1/1	<1000/100 ml	Niz bazena za stabilizaciju ili ekvivalent obrade
	Navodnjavanje tla, postoji javni pristup površinama	<1/1	<200/100 ml	Sekundarna obrada s dezinfekcijom
	Navodnjavanje žitarica, industrijskog bilja, parkova i sl.	-	Nema standarda	Stabilizacijski bazeni s 8-10 dana zadržavanja ili ekvivalent obrade
Američka agencija za zaštitu okoliša (<i>engl. US EPA, 1992.</i>)	Površinsko navodnjavanje kišenjem kulturnog bilja, parkova i sl.	Nema standarda	Ne može se deklarirati	Sekundarna obrada filtracija, prethodna koagulacija, dezinfekcija
	Navodnjavanje krmnog bilja	Nema standarda	<23/100 ml	

2. EKSPERIMENTALNI DIO

U ovom radu je analiziran izračun indeksa kakvoće efluenta (*engl. Effluent Quality Index, EQI*) prema *Nazhad et al.*¹⁵ te je provedena simulacija izračuna EQI za različita područja ponovne uporabe efluenta, neovisno o stupnju obrade. Simulacija izračuna provedena je prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶ i *Palestinian Standard Institute*¹⁷.

2.1. POSTUPAK IZRAČUNAVANJA EQI INDEKSA

Indeks kvalitete efluenta (*engl. Effluent Quality Index, EQI*) se prema *Nazhad et al.*¹⁵, izračunava se prema jednadžbi (2-1):

$$EQI = \sum_{i=1}^8 I_i w_i \quad (2-1)$$

gdje:

- EQI- indeks kvalitete efluenta
- w_i - težinski koeficijent i-tog pokazatelja kvalitete efluenta
- I_i – normalizirana vrijednost „*sub indeks*“ i-tog pokazatelje kvalitete efluenta
- i – broj pokazatelja ($i=1-8$).¹⁵

Nazhad et al. su temeljem podataka praćenja kvalitete efluenta komunalnih otpadnih voda te uz pomoć velikog broja stručnjaka iz područja voda (operatori i voditelji uređaja za obradu otpadnih voda, sveučilišni profesori, konzultantske tvrtke za otpadne vode, studenti doktorskih studija koji se bave tematikom otpadnih voda), popunjavali upitnike i rangirali pokazatelje kakvoće voda po važnosti temeljem različitih vrednovanja. Odabrano je ukupno osam različitih pokazatelja na temelju njihove važnosti i utjecaja na ljudsko zdravlje i okoliš, a njihov popis te dodijeljeni težinski koeficijenti su prikazani u tablici 2.1.¹⁵

Tablica 2.1. Vrijednosti težinskih koeficijenata pokazatelja onečišćenja efluenta prema Nazhad et al.¹⁵

Broj	Pokazatelj	Mjera važnosti pokazatelja	Težinski koeficijent pokazatelja, w_i
1.	BPK ₅	2,54	0,0767
2.	KPK	2,53	0,0767
3.	Ukupne raspršene tvari (<i>engl. Total suspended solids, TSS</i>)	3,02	0,0885
4.	Fekalni koliformi (<i>engl. Fecal coliform FC</i>)	4,04	0,1730
5.	Amonijakalni dušik	3,28	0,1578
6.	Fosfat (PO ₄ ³⁻)	3,27	0,1578
7.	pH	2,97	0,1344
8.	Ukupne otopljene tvari (<i>engl. Total dissolved solids, TDS</i>)	2,97	0,1352

Kao što se može vidjeti u tablici 2.1., parametru „fekalni koliformi“ je dodijeljena najveća vrijednost težinskog koeficijenta te ovaj parametar može značajno utjecati na vrijednost indeksa, EQI.

Normalizirana vrijednost „*sub indeks*“ predstavlja mjeru ili jedinicu onečišćenja efluenta, a dodjeljuje se svakom pokazatelju usporedbom njegova mjerenja s krivuljom za specifični pokazatelj. Može imati vrijednost od 0-100 jedinica. Izračunava se temeljem jednadžbi izvedenih za svaki pojedini pokazatelj, a jednadžbe su sumirane u tablici 2.2.¹⁵

Tablica 2.2. Jednadžbe za izračun normalizirane vrijednosti „sub indeks“ za odabrane pokazatelje, prema *Nazhad et al.*¹⁵

Pokazatelj	Interval za kojeg vrijedi izračun „sub indeksa“	Jednadžba za izračun „sub indeksa“
BPK ₅	$0 \leq \text{BPK}_5 \leq$	$I_{\text{BPK}_5} = -0,3299x^2 + 11,731x - 22,184$ $R^2 = 0,9975$
	$12 \leq \text{BPK}_5 \leq 107$	$I_{\text{BPK}_5} = -12,991 \ln(x) + 38,244$ $R^2 = 0,9935$
	$\text{BPK} < 107$	$I_{\text{BPK}} = 100$
KPK	$\text{KPK} \leq 11$	$I_{\text{KPK}} = 0$
	$11 < \text{KPK} \leq 53$	$I_{\text{KPK}} = -0,0759x^2 + 6,9783x - 67,439$ $R^2 = 0,9465$
	$53 < \text{KPK} \leq 165$	$I_{\text{KPK}} = 8,3501 \ln(x) + 57,746$ $R^2 = 0,9465$
	$165 < \text{KPK}$	$I_{\text{KPK}} = 100$
Ukupne raspršene tvari (engl. TSS)	$\text{TSS} \leq 1$	$I_{\text{TSS}} = 0$
	$1 < \text{TSS} \leq 98$	$I_{\text{TSS}} = 22,908 \ln(x) - 0,7474$ $R^2 = 0,9841$
	$98 < \text{TSS}$	$I_{\text{TSS}} = 100$
Fekalni koliformi (eng. FC)	$\text{FC} \leq 130$	$I_{\text{FC}} = 0$
	$130 < \text{FC} \leq 580$	$I_{\text{FC}} = 0,1617x - 19,801$ $R^2 = 0,9863$
	$580 < \text{FC} \leq 3700$	$I_{\text{FC}} = 9E-09x^3 - 6E-05x^2 + 0,132x + 6,6894$ $R^2 = 0,9892$
	$3700 < \text{FC}$	$I_{\text{FC}} = 100$
Amonijakalni dušik (NH ₄ ⁺)	$\text{NH}_4^+ \leq 0,1$	$I_{\text{NH}_4} = 0$
	$0,1 < \text{NH}_4^+ \leq 53$	$I_{\text{NH}_4^+} = 16,259 \ln(x) + 40,013$ $R^2 = 0,9775$
	$53 < \text{NH}_4^+$	$I_{\text{NH}_4^+} = 100$
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	$\text{PO}_4^{3-} \leq 2,6$	$I_{\text{PO}_4^3} = 0$
	$2,9 < \text{PO}_4^{3-} \leq 5$	$I_{\text{PO}_4^3} = -12,083x^3 + 136,29x^2 - 465,3x + 501,72$ $R^2 = 0,9938$
	$5 < \text{PO}_4^{3-} \leq 17$	$I_{\text{PO}_4^3} = 6069x + 57,506$ $R^2 = 0,9815$
	$17 < \text{PO}_4^{3-}$	$I_{\text{PO}_4^3} = 100$

nastavak tablice 2.2.

Ukupne otopljene tvari (<i>engl. TDS</i>)	$TDS \leq 296$	$I_{TDS}=0$
	$296 < TDS \leq 1600$	$I_{TDS}=1E-0,7x^3 - 0,0004x^2 + 0,4839x - 110,99$ $R^2=0,9783$
	$1600 < TDS$	$I_{TDS}=100$
pH	$pH \leq 6$	$I_{pH}=0$
	$6 < pH \leq 9.2$	$I_{pH}=36,394x^2 - 553,95x + 2100,5$ $R^2=0,9814$
	$9.2 < pH$	$I_{pH}=100$

2.2. SIMULACIJA EQI INDEKSA ZA RAZLIČITA PODRUČJA PONOVNE UPORABE EFLUENTA

2.2.1. Motivacijski primjer 1

Granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, od agrikulture, rekreacije, industrijske uporabe, obogaćivanja površinskih voda, obogaćivanja (prihranjivanja) podzemnih voda prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶, su prikazane u tablici 2.3.

Tablica 2.3. Granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶.

	BPK ₅ mg/l	KPK, mg/l	Ukupne raspršene tvari (<i>engl.</i> <i>TSS</i>), mg/l	Fekalni koliformi, broj/100ml	NH ₄ ⁺ , mg/l	PO ₄ ³⁻ , mg/l	Ph	Ukupne otopljene tvari (<i>engl.</i> <i>TDS</i>), mg/l
Agrikultura	100	200	100	400	50	15	6,5-8,5	1500
Uporaba u industriji	30	75	40	200	2	4	6-9	750
Obogaćivanje površinskih voda	30	60	40	400	2,5	6	6,9	1000
Obogaćivanje podzemnih voda	30	60	30	400	1	6	6,5-8,5	1500
Rekreacija (razonoda)	5	10	30	400	0,02	1	6-9	1500

Temeljem jednadžbe (2-1) te težinskih koeficijenata za odabrane pokazatelje (tablica 2.1.) i jednadžbi za određivanje normalizirane vrijednosti „*sub-index*“ (tablica 2.2.), korištenjem Microsoft Excel programa su izračunate vrijednosti EQI za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *Iranian Standard Institute*¹⁶. Primjer izračuna prikazan je na slici 2.1. te u tablici 2.4.

IZRACUNAVANJE SUB INDEKSA						
BPK5	0<BPK≤12	12<BPK≤107	12<BPK≤107	BPK>107		
	5	30	100			
Sud-indeks BOD	28,2235	82,42895519	98,06976589	100		
KPK						
Sud-indeks COD	0<KPK≤11	11<KPK≤53	53<KPK≤165	53<KPK≤165	KPK>165	
	10		60	75		
	0		91,93377709	93,79702575	100	
TSS						
Sud-indeks TSS	1<TSS≤98	1<TSS≤98		TSS>98		
	30	40				
	77,16722962	83,75745053		100		
Fekalni koliformi						
Sud-indeks FC	130<FC≤580	130<FC≤580				
	200	400				
	12,539	44,879				
NH4						
Sud-indeks NH4	NH4≤0,1	0,1<NH4≤53	0,1<NH4≤53	0,1<NH4≤53	0,1<NH4≤53	
	0,02	1	2	2,5	50	
	0	40,013	51,28288001	54,91097101	103,618582	
PO4						
Sud-indeks PO4	PO4≤2,6	2,6<PO4≤5	5<PO4≤17	5<PO4≤17		
	1	4	6	15		
	0	47,608	73,1474	96,6095		
TDS						
Sud-indeks TDS	TDS≤296	296<TDS≤1600	296<TDS≤1600	296<TDS≤1600		
		750	1000	1500		
	0	69,1225	72,91	52,36		
pH						
Sud-indeks pH	pH≤6	6<pH≤9,2	pH>9,2			
		7				
	100	6,156	100			

Slika 2.1. Primjer izračuna „sub indeks“ u Microsoft Excelu.

Tablica 2.4. Primjer izračuna EQI indeksa prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶, za primjenu u agrikulturi.

Pokazatelj	Vrijednost pokazatelja	Vrijednosti „sub indeks“ prema tablici 2.2., I_i	Težinski koeficijent pokazatelja iz tablice 2.1. w_i	$I_i w_i$
BPK ₅ , mg/l	100	98,069	0,077	7,522
KPK, mg/l	200	100	0,077	7,67
Ukupne raspršene tvari, (engl. <i>Total suspended solids, TSS</i>), mg/l	100	100	0,089	8,85
Fekalni koliformi (engl. <i>Fecal coliform FC</i>), broj/100ml	400	44,879	0,173	7,764
Amonijakalni dušik, mg/l	50	103,619	0,158	16,351
Fosfat (PO ₄ ³⁻), mg/l	15	96,61	0,158	15,245
pH	6-8,5	6,156	0,134	0,827
Ukupne otopljene tvari, (engl. <i>Total dissolved solids, TDS</i>), mg/l	1500	52,36	0,135	7,079
EQI = $\sum I_i w_i$				71,062

Na temelju primjera proračuna prikazanog u tablici 2.4. izračunata je vrijednost EQI za ponovnu uporabu efluenta za rekreaciju, industrijsku uporabu, obogaćivanje površinskih voda, obogaćivanje (prihranjivanje) podzemnih voda prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶. Rezultati izračuna EQI su prikazani u tablici 2.5.

Tablica 2.5. Rezultati izračuna EQI indeksa za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard* ¹⁶.

Područje primjene	EQI
Agrikultura	71,062
Rekreacija (razonoda)	26,869
Obogaćivanje površinskih voda	56,457
Obogaćivanje podzemnih voda	54,106
Uporaba u industriji	48,616

2.2.2. Motivacijski primjer 2

Prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *Palestinian Standard Institute*¹⁷, za odabrane parametre izvučene su vrijednosti preporučene za ponovnu uporabu vode u različitim područjima te su sistematizirane u tablici 2.6.

Tablica 2.6. Granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima prema smjernicama *Palestinian Standard Institute* ¹⁷.

	BPK ₅ mg/l	KPK mg/l	TSS, mg/l	Fekalni koliformi, broj/100ml	NH ₄ mg/l	PO ₄ mg/l	pH mg/l	TDS mg/l
Navodnjavanje stočne hrane (srednja vrijednost)	53	175	45	1000	-	30	6-9	1500
Vrtovi, igrališta, rekreacijski	40	150	30	200	50	30	6-9	1200
Industrijski usjevi	60	200	50	1000	-	30	6-9	1500
Obogaćivanje podzemnih voda	40	150	50	1000	10	15	6-9	1500
Ispust u more	60	200	60	50000	5	5	6-9	-
Krajolik	60	200	50	1000	-	30	6-9	1500
Stablo (maslina)	45	150	40	1000	-	30	6-9	1500
Stablo (citrusi)	45	150	40	1000	-	30	6-9	500

Temeljem jednadžbe (2-1) te težinskih koeficijenata za odabrane pokazatelje (tablica 2.3.) i jednadžbi za određivanje normalizirane vrijednosti „sub-indeks“, primjenom Microsoft Excel programa su izračunate vrijednosti EQI za granične vrijednosti efuenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*¹⁷. Primjer izračuna prikazan je na slici 2.2.

IZRACUNAVANJE SUB INDEKSA						
BPK5	 (Ctrl) 7	12<BPK≤107	12<BPK≤107	12<BPK≤107		
	53	40	60	45		
Sud-indeks BOD	89,82206225	86,16623299	91,4336302	87,6963524		
KPK						
Sud-indeks COD	KPK>165	53<KPK≤165	KPK>165			
	175	150	200			
	100	99,58480471	100			
TSS						
Sud-indeks TSS	1<TSS≤98	1<TSS≤98	1<TSS≤98	1<TSS≤98	1<TSS≤98	
	45	30	50	60	40	
	86,45562432	77,16722962	88,869223	93,04584523	83,75745053	
Fekalni koliformi						
Sud-indeks FC	130<FC≤580	580<FC≤3700	3700<FC			
	200	1000	50000			
	12,539	87,6894	100			
NH4						
Sud-indeks NH4	0,1<NH4≤53	0,1<NH4≤53	0,1<NH4≤53			
	50	10	5			
	103,618582	77,45073103	66,180851			
PO4						
Sud-indeks PO4	16<PO4	5<PO4≤17	2,6<PO4≤5	16<PO4		
	30	15	5	30		
	100	96,6095	71,795	100		
TDS						
Sud-indeks TDS	296<TDS≤1600	296<TDS≤1600	296<TDS≤1600			
	1500	1200	500			
	52,36	66,49	43,46			
pH						
Sud-indeks pH	6<pH≤9,2	6<pH≤9,2	6<pH≤9,2			
	7	7	7			
	6,156	6,156	6,156			

Slika 2.2. Primjer izračuna „sub indeksa“ u Excel filu.

Rezultati izračuna EQI prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*¹⁷ za različita područja ponovne uporabe voda (tablica 2.6.) su prikazani u tablici 2.7.

Tablica 2.7. Rezultati izračuna EQI indeksa za različita područja ponovne uporabe efuenta prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*.¹⁷

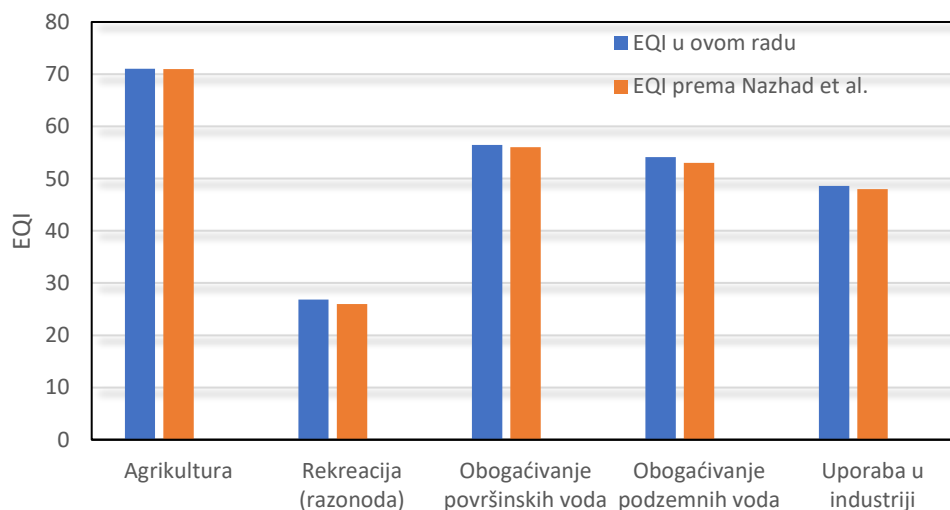
Područje primjene	EQI
Navodnjavanje stočne hrane	77,118
Vrtovi, igrališta, rekreacijski	64,958
Industrijski usjevi	77,515
Obogaćivanje podzemnih voda	72,421
Ispust u more	69,677
Krajolik	77,515
Stablo (maslina)	76,748
Stablo (citrusi)	75,547

3. OBRADA REZULTATA I RASPRAVA

Indeks kakvoće efluenta, EQI je bezdimenzijski broj koji predstavlja kakvoću efluenta izraženu kroz kombinaciju kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških parametara. Sastoji se od vrijednosti težinskog koeficijenta pokazatelja dobiven rangiranjem po važnosti temeljem različitih vrednovanja i „sub indeks“ koji se dodjeljuju svakom parametru temeljem izvedenih jednadžbi za svaki pokazatelj. Parametri temeljem kojih je proveden izračun EQI su BPK₅, KPK, ukupne raspršene tvari, fekalni koliformi, NH₄⁺, PO₄³⁻, pH i ukupno otopljene tvari. U ovom radu analizirat će se vrijednosti EQI dobivene za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶ (motivacijski primjer 1) i prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*¹⁷ (motivacijski primjer 2).

3.1. ANALIZA EQI INDEKSA ZA MOTIVACIJSKI PRIMJER 1

Rezultati izračuna EQI indeksa za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶ prikazani u tablici 2.4. grafički su prikazani na slici 3.1. Rezultati su uspoređeni s vrijednostima izračunatim prema *Nazhad et al.*¹⁵



Slika 3.1. Rezultati izračuna EQI indeksa za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*.

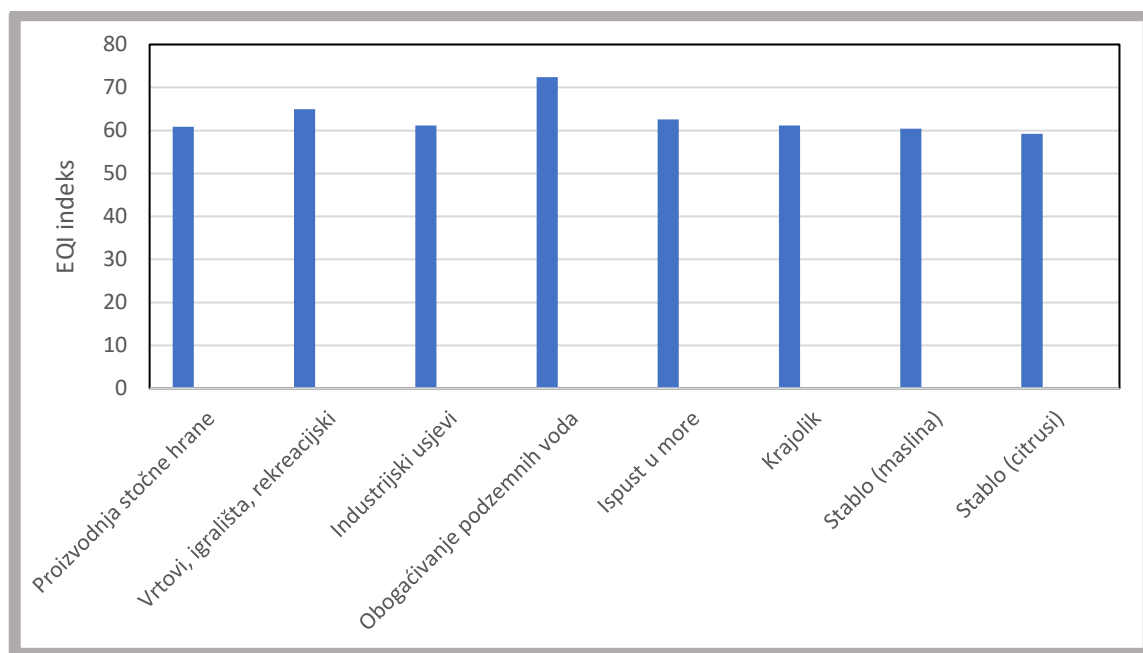
Uočava se izvrsno slaganje izračunatih vrijednosti EQI indeksa prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶ izračunatih u ovom radu s vrijednostima EQI indeksa izračunatih u radu *Nazhad et al.*¹⁵, što ukazuje na točnost provedbe izračuna u Microsoft Excelu kao i korektnost težinskih koeficijenata i jednadžbi za izračun „*sub indeksa*“. Dobivene vrijednosti EQI sažimaju u jednom broju kakvoću efluenta izraženu kroz kombinaciju kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških parametara. Time se omogućuje da se komplicirani standardi i kriteriji za ispuštanje i ponovnu uporabu otpadnih voda definirani kroz veliki broj pokazatelja svedu na jedan broj, razumljiv ne samo znanstvenoj zajednici već i široj javnosti. Također, različite uprave koje se bave gospodarenjem vodama teško mogu donositi bilo kakvu odluku na temelju velikog broja različitih parametara, dok primjenom indeksa EQI mogu na jednostavan način dobit uvid o kvaliteti efluenta i njegovoj pogodnosti za ponovnu uporabu, kao i brzu procjenu potreba za dodatnom obradom s ciljem poboljšanja kvalitete efluenta. Sukladno rezultatima na slici 3.1. preporučene vrijednosti EQI indeksa za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima su dane u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Granične vrijednosti EQI indeksa za ponovnu uporabu efluenta u različitim područjima primjene.

Područje primjene	Granična vrijednost EQI
Rekreacija (razonoda)	26
Uporaba u industriji	48
Obogaćivanje podzemnih voda	53
Obogaćivanje površinskih voda	56
Agrikultura	71
Potrebna dodatna obrada	više od 71

3.2. ANALIZA EQI INDEKSA ZA MOTIVACIJSKI PRIMJER 2

Rezultati izračuna EQI indeksa za različita područja ponovne uporabe efuenta prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*¹⁷ prikazani u tablici 2.6. grafički su prikazani na slici 3.2.



Slika 3.2. Rezultati izračuna EQI indeksa za različita područja ponovne uporabe efuenta prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*.

Dobivene vrijednosti EQI indeksa prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*¹⁷ pokazuju vrlo slične vrijednosti za različita područja ponovne uporabe voda (kreću se u rasponu 59-72), a što se analizom svih pokazatelja ne vidi i zapravo maskira. Ako se izračunate vrijednosti usporede s EQI vrijednostima za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima, prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹⁶ (slika 3.1.), sve vrijednosti čiji je EQI veći od 56 se mogu koristiti samo za agrikulturu dok vrijednosti EQI veći od 71 nisu za ponovnu uporabu i zahtijevaju dodatnu doradu. Za zemlju poput Palestine koja, zbog svog geografskoj položaja i izražene oskudice zaliha vode te gospodarske situacije, nije u mogućnosti uložiti financijska sredstva na dodatne postupke obrade otpadnih voda, primjena strožih smjernica bi mogla dovesti do nezakonite ponovne uporabe otpadnih voda.

Drugi razlog zbog čega izračunati EQI na slici 3.2. pokazuju vrlo slične vrijednosti za različita područja ponovne uporabe voda tome djelomično može biti posljedica činjenice da za izračun EQI indeksa nisu bile poznate vrijednosti svih potrebnih pokazatelja (vidi tablicu 2.6.). Stoga je u ovom radu predložena modifikacija jednadžbe (2-1) za izračun korigiranog indeksa EQI za slučaj kada nisu dostupne vrijednosti svih osam pokazatelja.

3.3. IZRAČUN EQI_{cor}

U slučaju kada nisu dostupne vrijednosti svih osam pokazatelja kakvoće efuenta, u ovom radu predložena je modifikacija jednadžbe (2-1) za izračun korigiranog indeksa EQI_{cor} , a prema jednadžbi (3-1):

$$EQI_{cor} = \frac{\sum_{i=1}^m I_i w_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (3-1)$$

gdje:

- m – broj pokazatelja onečišćenja za koje su podaci poznati, te je $m < 8$ i $\sum_{i=1}^m w_i$.

U cilju testiranja predložene jednadžbe EQI_{cor} , usporedne vrijednosti EQI izračunate prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*¹⁷ prema jednadžbi (2-1) i (3-1) su date u tablici 3.3. U tablici 3.2. dan je primjer izračunavanja zbroja težinskih koeficijenata za područje primjene proizvodnju stočne hrane.

Tablica 3.2. Primjer izračunavanja zbroja težinskih koeficijenata za područje primjene proizvodnj stočne hrane.

Pokazatelj	Težinski koeficijent pokazatelja, w_i
BPK ₅	0,077
KPK	0,077
Ukupno raspršene tvari	0,089
Fekalni koliformi	0,173
Amonijakalni dušik	
PO ₄ ³⁻	0,158
pH	0,134
TDS	0,135
Σw_i	0,842

Tablica 3.3. Usporedba EQI i EQI_{cor} za različita područja ponovne uporabe efuenta prema smjernicama *Palestinian Standard Institute*.¹⁷

Područje primjene	EQI	EQI _{cor}
Proizvodnja stočne hrane (bez NH ₄ ⁺)	60,828	72,217
Vrtovi, igrališta, rekreacijski (svi parametri)	64,957	64,957
Industrijski usjevi (bez NH ₄ ⁺)	61,164	72,615
Obogaćivanje podzemnih voda (svi parametri)	72,420	72,42
Ispust u more (bez TDS)	62,608	72,388
Krajoлик (bez NH ₄ ⁺)	61,164	72,615
Stablo (maslina) (bez NH ₄ ⁺)	60,397	71,705
Stablo (citrusi) (bez NH ₄ ⁺)	59,196	70,279

Rezultati u tablici prikazuju da je vrijednost EQI i EQI_{cor} potpuno identična kada su poznati svi parametri. Međutim vrijednosti EQI i EQI_{cor} se razlikuju kada nisu svi parametri poznati i općenito je vrijednost EQI_{cor} veća u odnosu na EQI.

Također, u cilju testiranja jednadžbe (3-2), izračun EQI_{cor} proveden je različita područja ponovne uporabe efuenta prema smjernicama *Iranian Standard Institute*,¹⁶ uz pretpostavku da vrijednosti fekalnih koliforma nisu bile poznate.

Tablica 3.4. Usporeba EQI i EQI_{cor} za različita područja ponovne uporabe efluenta prema smjernicama *EPA Iran Standard*,¹⁶ uz pretpostavku da vrijednosti fekalnih koliforma nisu bile poznate.

Područje primjene	EQI	EQI _{cor} (bez fekalnih koliforma)	EQI _{cor} (bez NH ₄ ⁺)
Agrikultura	71,062	76,529	64,954
Rekreacija (razonoda)	26,869	23,099	31,900
Obogaćivanje površinskih voda	56,457	58,872	56,740
Obogaćivanje podzemnih voda	54,106	56,029	56,740
Uporaba u industriji	48,616	56,156	48,155

Rezultati usporedbe EQI i EQI_{cor} za različita područja ponovne uporabe efluenta prema smjernicama EPA Iran Standard, uz pretpostavku da vrijednosti fekalnih koliforma i amonijakalnog dušika nisu bile poznate, pokazuju oscilacije. EQI_{cor} bez fekalnih koliforma pokazuje trend porasta za svako područje primjene osim za rekreaciju (razonodu). Međutim EQI_{cor} bez amonijakalnog dušika pokazuje slabiji porast za primjenu efluenta u rekreaciji i za obogaćivanje podzemnih voda. Za obogaćivanje površinskih voda i uporabu u industriji vrijednosti su gotovo identične, dok za primjenu u agrikulturi vrijednosti opadaju. Vidljivo je da je veći utjecaj fekalnih koliforma na vrijednosti EQI_{cor} u odnosu na amonijakalni dušik. Razlog tome vjerojatno leži u činjenici da je vrijednost težinskog koeficijenta za fekalne koliforme najveća (tablica 2.2.) te se to odražava na izračun EQI_{cor}.

.

4. ZAKLJUČCI

Na temelju simulacije izračuna indeksa kvalitete efluenta (*engl. Effluent Quality Indeks, EQI*) prema *Nazhad et al.* za različita područja ponovne uporabe efluenta, a prema smjernicama za ponovnu uporabu voda *EPA Iran Standard*¹³ i *Palestinian Standard Institute*¹⁴ mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Indeks kakvoće efluenta, EQI je bezdimenzijski broj koji predstavlja kakvoću efluenta izraženu kroz kombinaciju kemijskih, fizikalnih i mikrobioloških parametara. Sastoji se od vrijednosti težinskog koeficijenta pokazatelja dobiven rangiranjem po važnosti temeljem različitih vrednovanja i „sub indeks“ koji se dodjeljuju svakom parametru temeljem izvedenih jednadžbi za svaki pokazatelj.
- Parametri temeljem kojih je proveden izračun EQI su BPK₅, KPK, ukupne raspršene tvari-TSS, fekalni koliformi, NH₄, PO₄, pH i ukupno otopljene tvari-TDS.
- Izračunate vrijednosti EQI indeksa za granične vrijednosti efluenta za njegovu ponovnu uporabu u različitim područjima prema *EPA Iran Standard* su:

Rekreacija (razonoda)	26
Uporaba u industriji	48
Obogaćivanje podzemnih voda	53
Obogaćivanje površinskih voda	56
Agrikultura	71
Potrebna dodatna obrada	više od 71.

- Analizom EQI indeksa prema smjernicama *Palestinian Standard Institute* vrijednosti EQI indeksa se kreću u intervalu od 59 do 72. Budući da smjernice *Palestinian Standard Institute* nisu uključivale sve navedene parametre, za izračun EQI predložen je izračun EQI_{cor}.
- Usporedbom vrijednosti EQI i EQI_{cor} vidljive su oscilacije. Veći je utjecaj parametra fekalnih koliforma, a što se pripisuje najvećoj dodijeljenoj vrijednosti težinskog koeficijenta.
- Indeksi EQI i EQI_{cor} su vrlo zgodni alati koji pomažu rukovoditeljima i donositeljima odluka pri planiranju održivog gospodarenja vodnim resursima. Naime ispuštanje ili ponovna uporaba otpadne vode mora zadovoljiti sve standarde kvalitete. U tom smislu je potrebno analizirati velik broj kemijskih,

fizikalnih i mikrobioloških pokazatelja kakvoće voda. Tendencija je da se za mnoge parametre kakvoće utvrde granične koncentracije za potrebe ponovne uporabe bez utvrđivanja najprikladnijeg tretmana. Indeks kakvoće otpadnih voda omogućuje brzu procjenu kakvoće efluenta iz nekog postrojenja za obradu. U tom smislu je izračun indeks kvalitete efluenta, EQI i EQI_{cor} posebno zgodan u procjeni ponovne uporabe efluenta iz uređaja za obradu komunalnih otpadnih voda.

5. LITERATURA

1. D. Gereš, *Održivo iskorištavanje vode u Hrvatskoj i Europi*, Građevinar 54 (2002) 6, 345-353.
2. S. Tedeschi, *Zaštita voda*, HGDI, Zagreb, 1997.
3. Water conservation hierarchy: <https://www.epa.vic.gov.au/your-environment/water/reusing-and-recycling-water> (13.5.2019.).
4. Kišnica – piti ili ne piti: <https://aqua.hr/2016/11/08/kisnica-piti-ili-ne-piti/2016/> (11.5.2019.).
5. Psihologija kanalizacije: <https://www.earthmagazine.org/article/drinking-toilet-water-science-and-psychology-wastewater-recycling> (23.6.2019.).
6. M. Mušnjak, *Ponovna uporaba vode u tehnološkom procesu*, Hrvatska vodoprivreda 218 (2017), 41-45.
7. B. Durham, H. M. Marecos do Monte, A. N. Angelakis, *Water Recycling and Reuse in EUREAU Countries: Trends and Challenges*; https://www.researchgate.net/profile/Helena_Marecos_do_Monte/publication/237674361_WASTEWATER_RECYCLING_AND_REUSE_IN_EUREAU_COUNTRIES_With_Emphasis_on_Criteria_Used/links/56df260808ae9b93f79a8e13/WASTEWATER-RECYCLING-AND-REUSE-IN-EUREAU-COUNTRIES-With-Emphasis-on-Criteria-Used.pdf (05.07.2019.).
8. International Recommendations for Wastewater Reuse: <http://www.swim-sm.eu/index.php/en/resources/category/56-training-and-study-tour-on-operation-and-management-of-waste-water-treatment-plants?download=913:studytourwastewatertreatmentplantspptmodule-ii-2-international-standards-for-wastewater-reusepdf> (24.4.2019.).
9. C. McKenzie, *Wastewater reuse conserves water and protects waterways*, Winter, NESC, 2005.; https://drive.google.com/file/d/0BzVOa_H4MNK6ZWRKMHcxVFJEZkk/view (05.07.2019.).
10. G. Kamizoulis, A. Bahri, F. Brissaud, A.N. Angelakis, *Wastewater recycling and reuse practices in mediterranean region: Recommended Guidelines*, 2003, (http://www.a-angelakis.gr/files/pubrep/recycling_med.pdf , (05.07.2019.).
11. D. Greenwald, S. Tal, *Izrael – dobra praksa recikliranja otpadnih voda*, Hrvatska vodoprivreda 218 (2017) 23-24.

12. N. Miličić, *Projekt ReHOHMem*, Studentska Sekcija HDKI-ja, Reaktor ideja 6 Vol 2. (2018) 8.;
https://www.fkit.unizg.hr/_news/38515/Reaktor_ideja_2_5_2018.pdf
(05.07.2019.).
13. WHO: <https://www.who.int/> (12.5.2019.).
14. US EPA: <https://www.epa.gov/> (12.5.2019.).
15. Nazhad M. F., Mehrdadi N., Torabian A., *Definition of a new domestic effluent quality indeks using topsis decision making tool*, Canadian Journal of Pure and Applied Science 9 (2015) 3467-3472.
16. EPA Iran. *Environmental regulations and standards*, 1998.
17. *Recomended Guidelines by the Palestinian Standard Institute*, Leson D1 Guidelines and Standards for Wastewater Reuse, Efficient Managment of Wastewater. Dostupno na: https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/lesson_d1.pdf (02.04.2019.).