

# Aplikacija za prikaz kemizma podzemne i površinske vode

---

**Jakobović, Daniel**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

*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:169:097771>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-22**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij geološkog inženjerstva

**APLIKACIJA ZA PRIKAZ KEMIZMA PODZEMNE I POVRŠINSKE VODE**

Diplomski rad

Daniel Jakobović

GI-228

Zagreb, 2016.

*Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Željku Duiću na pomoći i savjetima prilikom izrade  
diplomskog rada*

*Zahvaljujem prijatelju Ivanu na programiranju aplikacije*

*Najveću zahvalu dugujem majci... na svemu.*

APLIKACIJA ZA PRIKAZ KEMIZMA PODZEMNE I POVRŠINSKE VODE

DANIEL JAKOBOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Cilj ovoga rada bio je razviti aplikaciju za kemijsku analizu vode za ljudsku potrošnju i vode za navodnjavanje. Aplikacija je programirana u PHP programskom jeziku te služi za bržu obradu laboratorijskih podataka, kvalitetniju ocjenu kakvoće podzemne i površinske vode te precizniju klasifikaciju vode za navodnjavanje s obzirom na fizičke, kemijske i biološke probleme. Tabličnim unosom, podaci se analiziraju prema graničnim MDK vrijednostima, a unosom glavnih aniona i kationa u aplikaciju dobivaju se fizikalno-kemijski parametri važni za klasifikaciju vode za navodnjavanje. Aplikacija računa vrijednost elektrovodljivosti (EV), ukupne tvrdoće (UT), nekarbonatne tvrdoće (NKT), ukupno otopljenih tvari (UOT), postotka natrija (Na %), odnosa adsorbiranoga natrija (SAR), rezidualnih karbonata (RK), indeksa permeabiliteta (PI) i ukupne koncentracije soli (UKS). Osim navedenih parametara, korištenjem aplikacije mogu se provjeriti potencijalni problemi inkrustacije i korozije u slučaju korištenja analizirane vode. Funkcionalnost aplikacije prikazana je na primjeru analize sirove vode s vodocrpilišta Bikana u Virovitici.

Ključne riječi: kemijska analiza vode, aplikacija, MDK, fizikalno-kemijski parametri, navodnjavanje, inkrustacija, korozija, voda za ljudsku potrošnju

Diplomski rad sadrži: 40 stranica, 1 tablicu, 29 slika i 19 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Mentor: Doc. dr. sc. Željko Duić

Povjerenstvo: Doc. dr. sc. Željko Duić  
Izv. prof. dr. sc. Kristijan Posavec  
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 19. rujna 2016.;

APPLICATION FOR THE PRESENTATION  
OF GROUNDWATER AND SURFACE WATER CHEMISTRY

DANIEL JAKOBOVIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering,  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The aim of this thesis was to develop an application for the chemical analysis of water for human consumption and irrigation. The application was made in the PHP programming language. The purpose of the application is to improve the processing of laboratory data, to better assess the quality of groundwater and surface water and to classify precisely irrigation water in terms of its physical, chemical and biological characteristics. The data entered was analyzed according to the MCLs and the physicochemical parameters, important for the classification of irrigation water, were obtained by entering major anions and cations in the application. The application calculates the values of electrical conductivity (EC), total hardness (TH), non-carbonate hardness (NCH), total dissolved solids (TDS), percent sodium (Na%), sodium adsorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI) and total salts concentration (TSC). In addition to the abovementioned parameters, the application has the ability to check for potential encrustation and corrosion problems as a result of analyzed water usage. The application's functionality was presented by the analysis of crude water from the water well Bikan in Virovitica.

Keywords: chemical analysis of water, application, MCLs, physical-chemical parameters, irrigation, incrustation, corrosion, humanity's water consumption

Thesis contains: 40 pages, 1 tables, 29 figures and 19 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: Assistant Professor Željko Duić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Željko Duić, PhD  
Associate Professor Kristijan Posavec, PhD  
Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: September 19<sup>th</sup>, 2016.;

## Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Sučelje i rad aplikacije .....	3
3. Analiza vode za ljudsku potrošnju.....	5
4. Analiza vode za navodnjavanje .....	11
5. Primjer funkcionalnosti aplikacije .....	29
6. Zaključak.....	36
7. Popis literature .....	38

## Popis slika:

<i>Slika 2-1. Ikona favicon koja simbolički opisuje aplikaciju</i> .....	3
<i>Slika 2-2. Prijava u aplikaciju</i> .....	3
<i>Slika 2-3. Korisničko sučelje aplikacije</i> .....	4
<i>Slika 3-1. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju</i> .....	6
<i>Slika 3-2. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u trenutnu punjenja u boce ili drugu ambalažu, koja se stavlja na tržište u bocama ili drugoj ambalaži</i> .....	6
<i>Slika 3-3. Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju</i> .....	8
<i>Slika 3-4. Indikatorski parametri</i> .....	9
<i>Slika 3-5. Analiza vode za ljudsku potrošnju</i> .....	10
<i>Slika 4-1. Postupak prilikom analiziranja vode za navodnjavanje</i> .....	13
<i>Slika 4-2. Glavni anioni i kationi u vodenoj otopini potrebni za kemijsku analizu vode</i> ...	14
<i>Slika 4-3. Maseni udjeli aniona i kationa koji se prikazuju na razini miliekvivalenata po litri</i> .....	14
<i>Slika 4-4. Tablica dodatnih vrijednosti</i> .....	17
<i>Slika 4-5. Brzina infiltracije vode s obzirom na salinitet vode izražen preko EV i SAR (preuzeto iz Rhoades 1977; Oster &amp; Schroer 1979)</i> .....	19
<i>Slika 4-6. Klasifikacija i ispis rezultata prema analiziranim parametrima (EV i SAR)</i> .....	20
<i>Slika 4-7. Usporedba izvornoga Doneenovoga grafikona i aproksimiranoga grafikona zbog potreba aplikacije</i> .....	22
<i>Slika 4-8. Klasifikacija vode prema indeksu permeabiliteta (PI) i ukupnoj koncentraciji soli (UKS)</i> .....	22
<i>Slika 4-9. Klasifikacija vode za navodnjavanje prema ukupno otopljenim tvarima (UOT)</i> .....	23
<i>Slika 4-10. Stupanj problema koji će se pojaviti u procesu irigacije u slučaju korištenja vode određene kvalitete</i> .....	25
<i>Slika 4-11. Kriteriji za inkrustaciju i koroziju analizirane vode</i> .....	28
<i>Slika 5-1. Mikrobiološki parametri uneseni iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1)</i> .....	29
<i>Slika 5-2. Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju uneseni iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1)</i> .....	30

<i>Slika 5-3. Indikatorski parametri uneseni iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1).....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 5-4. Rezultati analizirane vode za ljudsku potrošnju prema unesenim fizikalno-kemijskim parametrima iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1) .....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 5-5. Glavni anioni i kationi iz analitičkog izvještaja.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 5-6. Maseni udjeli glavnih aniona i kationa u otopini .....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 5-7. Dobivene dodatne vrijednosti prema glavnim anionima i kationima u otopini..</i>	<i>33</i>
<i>Slika 5-8. Ocjena mogućnosti analizirane vode za irigacijske svrhe.....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 5-9. Potencijalni irigacijski problemi koji se mogu javiti u slučaju korištenja analizirane vode .....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 5-10. Kriteriji za inkrustaciju i koroziju koji se mogu javiti u slučaju korištenja analizirane vode u irigacijske svrhe .....</i>	<i>34</i>

**Popis tablica:**

<i>Tablica 4-1. Postupak prebacivanja mjernih jedinica električne vodljivosti.....</i>	<i>18</i>
--	-----------



## 1. Uvod

Podzemna voda esencijalna je komponenta za razvoj mnogih sustava te predstavlja prirodni obnovljivi resurs i nezaobilazni dio ekosistema. Od 37 Mkm<sup>3</sup> slatke vode na Zemlji oko 22 % postoji kao podzemna voda, od čega se čak 97 % potencijalno može koristiti za ljudsku potrošnju (Foster, 1998). Istraživanja su pokazala da trećina svjetske populacije već koristi podzemnu vodu za piće, a s razvojem stanovništva potrebe za eksploatacijom podzemne vode postajat će sve veće (Nickson i dr., 2005).

Bilo da se radi o potrebama podzemne vode u ljudskoj potrošnji ili u drugim razvojnim aktivnostima, kakvoća i prikladnost vode predstavljaju značajnu ulogu. Podzemna voda nije statički nego dinamički sustav koji se kreće kroz hidrogeokemijski ciklus, gdje postoji određeni stupanj ranjivosti na antropogene i prirodne čimbenike. Otopljena mineralna materija iz oceana prenosi se preko parne faze. U atmosferi se obogaćuje kisikom, dušikom i ugljičnim dioksidom. Kao rezultat biološkoga i organskoga raspadanja tijekom procjeđivanja vode kroz tlo dolazi do potrošnje kisika i oslobađanja ugljičnoga dioksida. U tlu dolazi do kemijskih reakcija između vode i fragmenata stijena, koje su potpomognute prisustvom ugljične kiseline, a zatim i do oslobađanja karbonata i bikarbonata koji se mogu otopiti u procjeđujućoj vodi. Osim toga događaju se brojne kemijske i fizikalno-kemijske reakcije između vode i stijena u okružju podzemnih voda. Ostali topivi sastojci dodaju se u tlo, a voda se zatim preko evaporacije i transpiracije vraća u atmosferu, ostavljajući za sobom mineralne tvari. Mineralna tvar može se prenositi i kao tekućica na putu prema oceanu (Davis i dr., 1959).

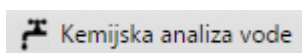
S geološke strane, kvaliteta podzemne vode može dati tragove geološke povijesti područja, indikacije o izvoru napajanja podzemne vode, otjecanju podzemne vode i njezinom uskladištenju (Walton, 1970). Koncentracija otopljene mineralne materije izravno je proporcionalna dužini trajanja toka i vremenu zadržavanja vode u određenim geokemijskim uvjetima. Može se reći da je kemijski tip podzemne vode u nekoj točki sustava funkcija kako kemijskoga sastava stijene u toj točki, tako i prethodne kakvoće vode, ali zbog složenih interakcija u sustavu preciznija generalizacija gotovo je neizvediva. Varijacije u kvaliteti podzemne vode posljedica su fizikalnih i kemijskih parametara koji su u vezi s geološkim formacijama područja, ali isto tako i antropogenim utjecajima. Kemizam podzemne vode tako je povezan sa samom litologijom područja, vremenom zadržavanja

vode, atmosferskim uvjetima, zagađenjem s površine, zaslanjenjem, infiltracijom, uvjetima dreniranja, utjecajem industrije, rudarenja itd.

Razvijene su različite metode kako bi se što preciznije odredila kvaliteta podzemne vode, bilo da se ona koristi za ljudsku potrošnju, industrijske ili za poljoprivredne, odnosno irigacijske svrhe. U skladu s navedenim, a primjenom računalnih, programerskih i hidrogeoloških znanja razvijena je aplikacija za bržu obradu laboratorijskih podataka, kvalitetniju ocjenu kakvoće podzemne i površinske vode za ljudsku potrošnju te bržu klasifikaciju vode za navodnjavanje s obzirom na potencijalne probleme vezane za kemijska, fizička i biološka svojstva vode. Za definiranje kemijskoga sastava podzemne i površinske vode u literaturi postoje mnoge smjernice, ali svaka od smjernica ima određene nedostatke zbog širokoga raspona parametara koji utječu na kvalitetu vode. Kao primjer može se navesti voda za navodnjavanje iz neke obližnje rijeke gdje se obavljaju poljoprivredne aktivnosti. Ovisno o hidraulici toka rijeka može transportirati sitne čestice i sedimente, što utječe na ukupnu količinu suspendiranih tvari u sustavu za navodnjavanje. Takva voda začepљуje prskalice i mlaznice sustava i uzrokuje dodatne troškove ako se prethodno ne ispita. S druge strane, voda nastala topljenjem snijega može biti odlične kvalitete, ali ima povećani korozivni potencijal, što negativno utječe na industrijska postrojenja. Prema tome, korištenje aplikacije pomoći će ljudima na različitim područjima definirati kvalitetu podzemne i površinske vode kako bi mogli usmjeriti svoja zanimanja te planirati agrokulturni i industrijski razvoj područja ako je u domeni razvoja bitna kakvoća korištene vode. Pregledno sučelje, sinteza korištenih parametara te pozadinska matematička podrška omogućuju lagano i brzo analiziranje željenih podataka.

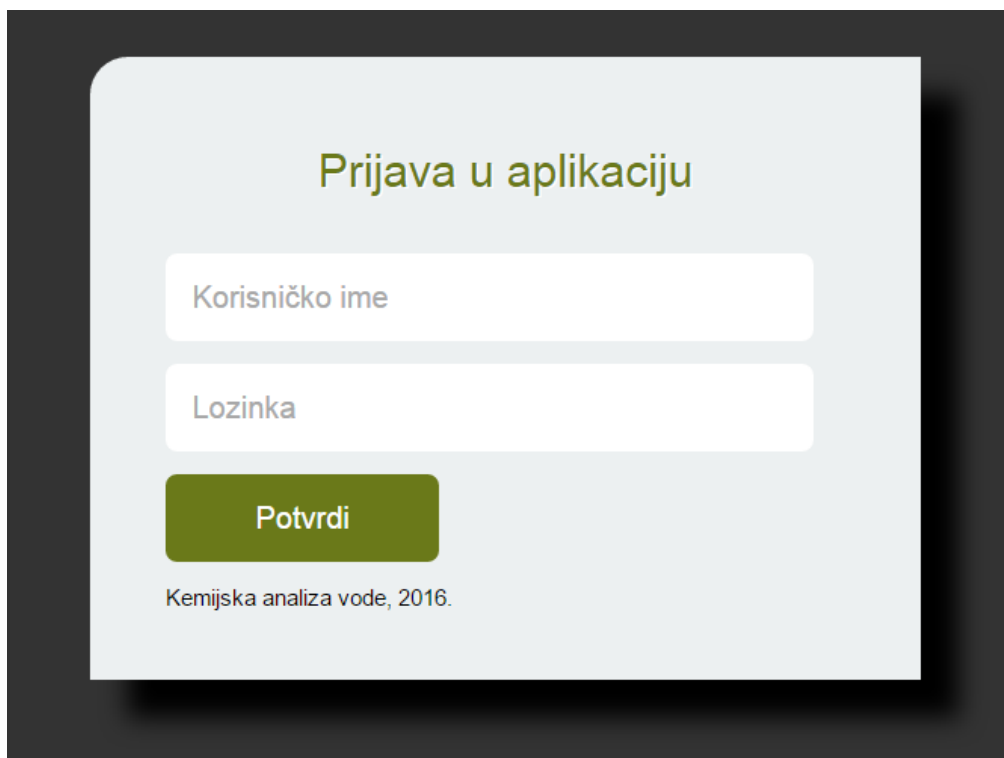
## 2. Sučelje i rad aplikacije

Radi se o aplikaciji programiranoj u PHP programskom jeziku, koja se lako može preformulirati u bilo koji drugi programski jezik u kojem se može definirati korisničko sučelje. Razlog zbog kojega je programirano upravo u PHP-u leži u širokoj dostupnosti Interneta danas te se na taj način aplikacija može lako izvršavati putem bilo kojega modernijega web preglednika (npr. Chrome, Firefox, Edge). Drugim riječima, nije potrebna nikakva dodatna instalacija i čitava je stvar portabilna. Postoji jedan vrlo zanimljiv vizualni detalj uočljiv tijekom korištenja. Naime, kao što npr. Facebook ima na kartici u web pregledniku ikonu u obliku maloga slova „f“, tako je i u aplikaciju ugrađena ikona slavine. Ta ikona zove se *favicon* i lako se može promijeniti (Slika 2-1).




*Slika 2-1. Ikona favicon koja simbolički opisuje aplikaciju*

Odabir boja i glavna slika na stranicama aplikacije u skladu su s hidrogeološkom pozadinom primjene aplikacije. Aplikacija je zaštićena korisničkim imenom i lozinkom, koje se unose na početku rada preko za to predviđene forme (Slika 2-2).

A screenshot of a login page for an application. The page has a light gray background with rounded corners. At the top, the title "Prijava u aplikaciju" is displayed in a green font. Below the title, there are two white input fields with rounded corners. The first field is labeled "Korisničko ime" and the second is labeled "Lozinka". Below these fields is a green button with the text "Potvrdi" in white. At the bottom of the page, there is a small line of text: "Kemijska analiza vode, 2016." The entire login form is set against a dark gray background.

*Slika 2-2. Prijava u aplikaciju*

Aplikacija se pokreće otvaranjem datoteke „login.php“. Pravo na korištenje aplikacije zasad ima samo autor, no eventualna buduća promjena podržat će mogućnost registracije korisnika te dodatnu e-mail provjeru. Nakon što korisnik prođe provjeru, otvara mu se glavna stranica, napisana u datoteci „main.php“, koja prikazuje korisničko sučelje vrlo intuitivnog izgleda. Osim osnovnih podataka i kratkoga opisa aplikacije, postavljen je *hiperlink* za kontakt autoru preko *Facebook* ili *LinkedIn* profila te stranica od Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Dakle, na jednostavan su način ponuđene sve korisničke mogućnosti koje su nužne i dovoljne za potrebe ovoga rada (Slika 2-3).



RGN Moj LinkedIn Moj Facebook

## Kemijska analiza vode Odjava

Ova mini-aplikacija (web-stranica) napravljena je u svrhu diplomskoga rada Daniela Jakobovića (RGN, smjer Hidrogeologija i inženjerska geologija).  
Služi za kompaktniju obradu podataka koji se koriste za kemijsku analizu vode za ljudsku potrošnju i vode za navodnjavanje.

### Tablice za unos podataka

Rezultat će se prikazati ispod tablice. Nakon popunjavanja tablice potrebno je kliknuti na gumb "Zapamti unose" kako bi se ti unosi mogli obraditi.  
Za ljudsku potrošnju prazni unosi tretiraju se kao 0.  
Za navodnjavanje su obavezni sljedeći unosi:

- Tablica 3: bor, nitrati
- Tablica 4: amonij, bikarbonati, kalcij, kalij, karbonati, kloridi, koncentracija vodikovih iona, magnezij, mangan, natrij, silikati, sulfati, željezo

Nije odabrano ▼ Zapamti unose Za ljudsku potrošnju Za navodnjavanje

Autorska prava © Daniel Jakobović, 2016.

Slika 2-3. Korisničko sučelje aplikacije

### 3. Analiza vode za ljudsku potrošnju

Dobiveni laboratorijski uzorci za ljudsku potrošnju, testiraju se prema graničnim MDK (maksimalno dozvoljene koncentracije) vrijednostima. Granične vrijednosti određene su na osnovu *Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* (Narodne novine, broj 125/13, 141/13 i 128/15). Pravilnikom se propisuju parametri zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju (mikrobiološki i kemijski) te indikatorski parametri za ljudsku potrošnju koji se prate u cilju zaštite ljudskoga zdravlja od nepovoljnih utjecaja bilo kojega onečišćenja vode za ljudsku potrošnju i osiguravanja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju na području Republike Hrvatske.

Prilikom korištenja aplikacije može se odabrati željena tablica za ispitivanje. U tablicama su navedeni osnovni pokazatelji s pojedinim napomenama, jedinica mjere u kojoj parametri trebaju biti uneseni te prostor predviđen za unos podataka. Ako se radi o decimalnom unosu, decimalna mjesta trebaju se odvajati točkom (.), a ne zarezom jer u protivnom aplikacija neće prepoznati decimalni broj. Razlog tome leži u pravilima skriptnoga jezika JavaScript, koji je korišten u pozadini navedenih PHP skripti u kojima je vizualni dio aplikacije programiran. U padajućem izborniku raspoloživih tablica na glavnoj stranici aplikacije, pod nazivom „Tablica 1“ nalaze se mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju s napomenama (Slika 3-1). Pod „Tablica 2“ nalaze se mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u trenutku punjenja u boce ili drugu ambalažu, koja se stavlja na tržište u bocama ili drugoj ambalaži (Slika 3-2). „Tablica 3“ aplikacije predstavlja kemijske parametre zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju s navedenim napomenama (Slika 3-3), dok padajuća „Tablica 4“ prikazuje indikatorske parametre s navedenim napomenama (Slika 3-4).

Tablica 1 ▼ Zapamti unose Za ljudsku potrošnju Za navodnjavanje

**Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju**

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Escherichia coli	-	broj/100 ml	<input type="text"/>
Enterokoki	-	broj/100 ml	<input type="text"/>
Clostridium perfringens (uključujući spore)	1	broj/100 ml	<input type="text"/>
Pseudomonas aeruginosa	2	broj/100 ml	<input type="text"/>
Enterovirusi	3	broj/5000 ml	<input type="text"/>

Napomena 1: određuje se samo ako je voda za piće po porijeklu površinska voda  
 Napomena 2: određuje se samo u uzorcima vode uzetim na mjestu potrošnje  
 Napomena 3: određuje se jedan puta godišnje tijekom monitoringa, a po potrebi i naputku nadležne epidemiološke službe i češće

*Slika 3-1. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju*

Tablica 2 ▼ Zapamti unose Za ljudsku potrošnju Za navodnjavanje

**Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u trenutku punjenja u boce ili drugu ambalažu, koja se stavlja na tržište u bocama ili drugoj ambalaži**

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Escherichia coli	-	broj/250 ml	<input type="text"/>
Enterokoki	-	broj/250 ml	<input type="text"/>
Broj kolonija 22°C	-	broj/1 ml	<input type="text"/>
Broj kolonija 37°C	-	broj/1 ml	<input type="text"/>
Pseudomonas aeruginosa	-	broj/250 ml	<input type="text"/>

Nema posebnih napomena.

*Slika 3-2. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u trenutku punjenja u boce ili drugu ambalažu, koja se stavlja na tržište u bocama ili drugoj ambalaži*

Zbog mogućih akutnih posljedica kontroliranje mikroorganizama u prvom je redu prilikom analize vode za piće. Mikrobiološki pokazatelji odgovaraju stupnju štetnosti i posljedicama koje korištenje takve vode može imati za ljudsko zdravlje. Većinom se radi o vodi zagađenoj fekalijama ili sličnim onečišćenjima pa se prema tome analiziraju fekalne bakterije (*Escherichia coli* i *Enterokoki*). *Escherichia coli* u velikom je broju prisutna u ljudskim i životinjskim fekalijama pa tako i u otpadnim vodama. Prisutnost *E. Coli* u vodi za piće pouzdano pokazuje da je voda kontaminirana. *Enterokoki* su također dobri pokazatelji zagađenja ako se radi o duljem vremenskom razdoblju bez uzimanja uzoraka, jer se njihove koncentracije zadržavaju duže u vodi od *Escherichie coli* pa se može zaključiti o prethodnom zagađenju. Bakterije *Pseudomonas aeruginosa* često su prisutne u okolišu te u vlažnim uvjetima formiraju biofilm koji se teško odstranjuje. Na temelju analize ovih bakterija mogu se ocijeniti opće higijenske značajke vodovodnoga sustava, a analiziraju se i prilikom vode namijenjene za pakiranje. Broj kolonija na 22°C pokazatelj je normalne flore prisutne u vodovodnom sustavu. Ako broj kolonija poraste, može se zaključiti o poremećajima u sustavu opskrbe pitkom vodom. Isti je pokazatelj i broj kolonija na 37°C, čiji nagli porast ukazuje na potencijalno fekalno zagađenje u sustavu. Ako bilo koji od navedenih parametara premašuje granične vrijednosti, voda se zbog zdravstvenih posljedica ne bi trebala koristiti za piće. Potrebno je što prije odrediti izvor zagađenja i poduzeti mjere njegove eliminacije.

### Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Akrilamid	1	µg/l	<input type="text"/>
Antimon	-	µg/l	<input type="text"/>
Arsen	-	µg/l	<input type="text"/>
Benzen	-	µg/l	<input type="text"/>
Benzo(a)pyrene	-	µg/l	<input type="text"/>
Bor	-	mg/l	<input type="text"/>
Bromati	2	µg/l	<input type="text"/>
Kadmij	-	µg/l	<input type="text"/>
Krom	-	µg/l	<input type="text"/>
Bakar	3	mg/l	<input type="text"/>
Cijanidi	-	µg/l	<input type="text"/>
1,2-dikloroetan	-	µg/l	<input type="text"/>
Epiklorhidrin	1	µg/l	<input type="text"/>
Fluoridi	-	mg/l	<input type="text"/>
Olovo	3, 4	µg/l	<input type="text"/>
Živa	-	µg/l	<input type="text"/>
Nikal	3	µg/l	<input type="text"/>
Nitrati	5	mg/l	<input type="text"/>
Nitriti	5	mg/l	<input type="text"/>
Pesticidi	6, 7	µg/l	<input type="text"/>
Pesticidi ukupni	6, 8	µg/l	<input type="text"/>
PAH	9	µg/l	<input type="text"/>
Selen	-	µg/l	<input type="text"/>
Tetrakloreten + trikloreten	-	µg/l	<input type="text"/>
THM	10	µg/l	<input type="text"/>
Vinil klorid	-	µg/l	<input type="text"/>
Klorit*	-	µg/l	<input type="text"/>
Klorat*	-	µg/l	<input type="text"/>
Otopljeni ozon	-	µg/l	<input type="text"/>

Slika 3-3. Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju

Navedene napomene mogu se pogledati u *Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju* ili ispod tablice kemijskih parametara zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju i indikatorskih parametara prilikom pokretanja aplikacije.



## Indikatorski parametri

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Aluminij	-	µg/l	
Amonij	-	mg/l	
Barij*	-	µg/l	
Berilij*	11	µg/l	
Bikarbonati	-	mg/l	
Boja	-	mg/PtCo skale	
Cink*	-	µg/l	
Detergenti – anionski	-	µg/l	
Detergenti – neionski*	-	µg/l	
Fenoli (ukupni)*	9	µg/l	
Fosfati*	-	µgP/l	
Kalcij*	11	mg/l	
Kalij*	-	mg/l	
Karbonati	-	mg/l	
Kloridi	1	mg/l	
Kobalt*	11	µg/l	
Koncentracija vodikovih iona	1, 2	pH	
Magnezij*	11	mg/l	
Mangan	-	µg/l	
Ugljikovodici*	11	µg/l	
Miris	-	-	
Mutnoća	5	NTU	
Natrij	-	mg/l	
Okus	-	-	
Silikati*	-	mg/l	
Slobodni klor*	-	mg/l	
Srebro*	10	µg/l	
Sulfati	1	mg/l	
Temperatura*	-	°C	
TOC	4	mg/l	
Ukupna tvrdoća*	11	CaCO <sub>3</sub> mg/l	
Ukupne suspenzije*	-	mg/l	
Utrošak KMnO <sub>4</sub>	3	O <sub>2</sub> mg/l	
Vanadij*	-	V µg/l	
Vodikov sulfid*	-	-	
Vodljivost	1	(µS/cm)/20°C	
Željezo	-	µg/l	
Broj kolonija 22°C*	-	broj/1 ml	
Broj kolonija 37°C*	-	broj/1 ml	
Ukupni koliformi*	-	broj/100 ml	
Tricij	6, 8	Bq/l	
Ukupna primljena doza	7, 8	mSv/godina	

Slika 3-4. Indikatorski parametri

Prilikom unosa podataka za ljudsku potrošnju nije potrebno popuniti sva prazna polja. Prazni unosi tretirani će se kao 0, a rezultat analize ovisit će o ispravnosti samoga unosa. Nakon unosa raspoloživih podataka, analiza se pokreće klikom na gumb „Zapamti unose“, pri čemu aplikacija pohranjuje dotične unose, a zatim se isti analiziraju klikom na gumb „Za ljudsku potrošnju“ (Slika 3-5). Ako su svi uneseni parametri ispravni, ispisuje se poruka „Voda se preporučuje za ljudsku potrošnju“. U slučaju da parametri odstupaju od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK), ispisuju se parametri koji odstupaju ili koji su neispravno uneseni. Za svaki parametar koji premašuje MDK vrijednost potrebno je izvršiti procjenu utjecaja parametra koji odstupa od propisane vrijednosti na ljudsko zdravlje od strane nadležnog zavoda za javno zdravstvo te poduzeti sve propisane mjere kako bi se parametar uskladio s propisanom vrijednosti.



*Slika 3-5. Analiza vode za ljudsku potrošnju*

Detaljniji opisi značajnijih kemijskih parametara zdravstvene ispravnosti i indikatorskih parametara prikazani su u poglavlju Analiza vode za navodnjavanje. Kvaliteta vode za navodnjavanje može biti lošijega kemijskoga sastava bez značajnijega utjecaja, ali voda za potrebe industrije uglavnom mora biti više kvalitete nego voda za piće. Tu se ne misli samo na vodu koja će ući u sustav prehrambenoga ili farmaceutskoga proizvoda za ljudsku upotrebu, nego i na procesnu vodu koja služi kao otapalo, rashladnu vodu, vodu za napajanje kotlova i dr. (Mijatović & Matošić, 2010). Za sve te vode postavljaju se specifični zahtjevi s obzirom na sastav soli, količinu organske tvari, otopljenih plinova itd.

#### 4. Analiza vode za navodnjavanje

Kvaliteta vode za navodnjavanje varira ovisno o količini otopljenih soli, širokom rasponu otopljenih anorganskih kemijskih konstituenata različitih koncentracija te produktima različitih kemijskih i biokemijskih interakcija između vode i geoloških materijala u kojima se nalazi. Od fizikalnih značajki najvažnije su temperatura vode i količina suspendiranih čestica. Općenito se smatra da je za većinu usjeva u vegetacijskom razdoblju temperatura vode od 25°C najpovoljnija za navodnjavanje. Ako je sustav navodnjavanja pod tlakom, količina suspendiranih čestica može nepovoljno utjecati na rad pumpi i dijelova razvoda vode. Suspendirane čestice također mogu začepiti mlaznice te smanjiti kapacitet korištene opreme što je detaljnije opisano u nastavku (Romić, 2005).

Utjecaj kemijskoga sastava vode na navodnjavanje može se objasniti ponašanjem glavnih iona ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) u otopini i važnih fizikalno-kemijskih parametara kao što su pH, elektrovodljivost (EV), ukupna tvrdoća (UT), nekarbonatna tvrdoća (NKT), ukupno otopljene tvari (UOT), postotak natrija (Na %), odnos adsorbiranoga natrija (SAR), rezidualni karbonati (RK), indeks permeabiliteta (PI) i ukupna koncentracija soli (UKS). Korištenje aplikacije omogućuje brže i preciznije računanje navedenih parametara, što izravno prikazuje ocjenu mogućnosti vode za navodnjavanje. Dobivaju se rezultati o mogućim posljedicama korištenja takve vode na postojeće agroekološke uvjete.

Da bi aplikacija mogla imati određenu funkcionalnost, potrebno je definirati i uskladiti mjerne jedinice u kojima se provodi računanje parametara. Kao što je definirano, ioni, molekule ili krute čestice u podzemnoj vodi ne trpe samo transport nego i reakcije s okolinom gdje se voda giba. Tako je u sustavu moguće postojanje krute faze, tekuće otopljene faze i plinovite faze, koje su rezultat preraspodjele ionskog sastava u podzemlju i međusobnih kemijskih reakcija. Najčešći su anorganski sastojci elektroliti koji otopljeni u vodi čine ione. Pozitivno nabijeni ioni zovu se kationi, dok se negativno nabijeni zovu anioni. Kompleksni ioni dobiju se reakcijom sličnih aniona i kationa. Rasprostranjenost različitih ionskih vrsta otopljenih u tekućoj fazi opisuju se pomoću molarne koncentracije ili aktiviteta, što predstavlja efektivnu koncentraciju u kemijskim reakcijama. Molarna koncentracija (M) predstavlja broj molova tvari otopljene u litri tekućine, gdje je mol težina supstance iskazana u gramima. Molalna koncentracija (m) definirana je kao broj molova po jednom kilogramu otapala. Koncentracije prikazane u aplikaciji za glavne anione i katione izražene su u ekvivalentima po litri (eq/L) ili u miliekvivalentima po litri ( $m_{\text{eq}}/\text{L}$ ).

Ekvivalentna koncentracija predstavlja broj jednako nabijenih iona po litri otapala. Drugim riječima, ekvivalent nekog iona izražava se kao broj molova toga iona pomnožen s apsolutnom vrijednosti naboja iona ili valencijom ili se definira kao kvocijent atomske mase i valencije iona. Npr. jedan mol jednovalentnog iona natrija iznosi  $1\text{M Na}^+ = 1\text{ me/L}$ , dok je jedan mol dvovalentnoga  $\text{Ca}^{2+}$  iona  $1\text{M Ca}^{2+} = 2\text{ eq/L}$  (Domenico & Schwartz, 1998).

Općenito, masa po jediničnom volumenu otapala najčešća je mjera izražavanja koncentracije neke tvari u otapalu (mg/L ili  $\mu\text{g/L}$ ).

Na temelju jednostavnih formula dobivene koncentracije mogu se pretvoriti iz jedne u drugu jedinicu. Najčešće se koncentracije izražene u mg/L ili  $\mu\text{g/L}$  pretvaraju u molarnu koncentraciju (mol/L) prema sljedećoj formuli:

$$\text{molaritet} = \frac{\text{mg/L} \cdot 10^{-3}}{\text{atomska masa}}$$

Pretvaranje mg/L u me/L potrebno je zbog prikaza podataka koncentracija grafički ili u kemijskim analizama. Dobiva se pomoću ove relacije:

$$m_{eq}/L = \frac{\text{mg/L}}{\text{atomska masa/valencija}} = \frac{\text{mg/L}}{\text{ekvivalent}}$$

Npr. koncentracija  $\text{SO}_4^{2-}$  iona u vodi iznosi 85 mg/L. Prema navedenim formulama molarna koncentracija iznosi:

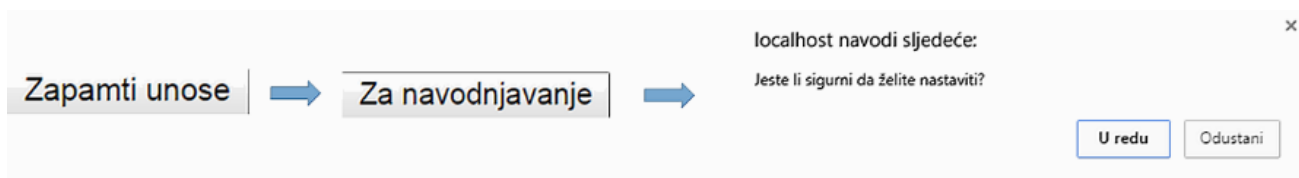
$$\frac{\text{mol}}{\text{L}} = \frac{85 \cdot 10^{-3}}{32,06 + 4 \cdot 16} = 0,89 \cdot 10^{-3},$$

dok je koncentracija u miliekvivalentima:

$$m_{eq}/L = \frac{85}{(32,06 + 4 \cdot 16)/2} = 1,77.$$

Nakon unosa potrebnih parametara iz tablice kemijskih parametara zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju, gdje je zbog potencijalnih irigacijskih problema obavezno definirati bor i nitrate, te tablice indikatorskih parametara, gdje je obavezno unijeti amonij, bikarbonate, kalcij, kalij, karbonate, kloride, koncentraciju vodikovih iona, magnezij, mangan, natrij, silikate, sulfate, željezo, vrijednosti za glavne anione i katione te njihovi

maseni udjeli u miliekvivalentima prikazuju se tablično. Ravnoteža je izražena na razini miliekvivalenta u svrhu jednostavnijega proračuna i grafičkih prikaza. Zbog važnosti glavnih aniona i kationu u vodenoj otopini, aplikacija zahtjeva njihov obavezan unos, dakle oni ne smiju ostati prazni i u tom se kontekstu ne tretiraju kao 0, za razliku od praznih unosa kod vode za ljudsku potrošnju. Ukoliko korisnik zaboravi unijeti neki od tih parametara, aplikacija mu javlja broj tablice u kojoj nije popunio sve tražene unose. Konkretno, ovdje se može vidjeti implementacijski nedostatak i moguć prostor za napredak u smislu elegantnijega korištenja aplikacije ukoliko bi se navelo koji su unosi ostali prazni. Međutim, aplikacija je u beta-verziji, dakle postoji još puno prostora za optimizaciju, koja će uslijediti po potrebi. Ostali elementi služe za izračun i prikaz potencijalnih irigacijskih problema ili problema inkrustacije i korozije. Nakon unosa svih potrebnih elemenata potrebno je kliknuti na gumb „Zapamti unose“ kako bi se unesene vrijednosti pohranile. Na osnovu tih vrijednosti obavljaju se matematičke operacije pomoću kojih se izračunavaju dodatne vrijednosti bitne za klasifikaciju analizirane vode. Nakon klika na gumb „Zapamti unose“, izračun se pokreće klikom na gumb „Za navodnjavanje“, gdje aplikacija postavlja korisniku upit „Jeste li sigurni da želite nastaviti?“ (Slika 4-1). Ako korisnik potvrdi, aplikacija ga preusmjerava na stranicu „*analysis.php*“, gdje se prikazuju konačni rezultati. Ovaj sigurnosni korak postavljen je zbog nemogućnosti ponovnoga korištenja unesenih parametara nakon prelaska na analizu vode za navodnjavanje, dakle oni bi se trebali ponovno unijeti ako se iz nekoga razloga ponovno želi analizirati voda za ljudsku potrošnju.



Slika 4-1. Postupak prilikom analiziranja vode za navodnjavanje

Navedene tablice glavnih aniona i kationa u vodenoj otopini, smještene pri vrhu stranice „*analysis.php*“, prikazane su na Slici 4-2, dok je tablica masenih udjela glavnih aniona i kationa prikazana na Slici 4-3.

## Unesene vrijednosti za anione i katione:

Ion	Vrijednost (mg/l)
HCO <sub>3</sub>	
Ca	
K	
CO <sub>3</sub>	
Cl	
Mg	
Na	
SO <sub>4</sub>	

Slika 4-2. Glavni anioni i kationi u vodenoj otopini potrebni za kemijsku analizu vode

## Maseni udjeli:

Ion	Vrijednost (m <sub>eq</sub> /l)
HCO <sub>3</sub>	
Ca	
K	
CO <sub>3</sub>	
Cl	
Mg	
Na	
SO <sub>4</sub>	

Slika 4-3. Maseni udjeli aniona i kationa koji se prikazuju na razini miliekvivalenata po litri

Iz navedenih tablica kratko su opisani glavni ioni prisutni u vodi. Kalcij i magnezij najzastupljeniji su elementi zemljine površine i podzemne vode te postoje uglavnom u formi bikarbonata, a manje u obliku sulfata i klorida. Kalcij ima veliki utjecaj na stabilnost i

teksturu tla. Bez soli i kalcija tlo se dispergira na stine čestice koje zapunjavaju porne prostore, što djeluje na intenzitet infiltracije oborinske vode. Ako se radi o ciklusima navodnjavanja, sadržaj kalcija povećava se ovisno o sadržaju minerala glina u tlu kao rezultat otapanja i taloženja. Manje koncentracije kalcija u tlu posljedica su precipitacije iz vode u formi kalcijevoga karbonata. Dodatci vodi (npr. gips) mogu povećati koncentraciju kalcija u vodi, čime se smanjuje omjer natrija i kalcija što utječe na odnos adsorbiranoga natrija (SAR). Magnezij, ovisno o svojoj koncentraciji, također utječe na intenzitet infiltracije vode. Tla obično sadrže puno više magnezija nego natrija, ali mnogo manje nego kalcija. Osim na infiltraciju, veće koncentracije kalcija mogu uzrokovati želučane tegobe te inkrustaciju na vodovodnoj infrastrukturi (Sarath Prasanth i dr., 2012).

Natrij je šesti element po zastupljenosti i prisutan je u većini prirodnih voda, ali se nalazi u manjim koncentracijama u pitkoj vodi, za razliku od kalcija i magnezija. Visoka koncentracija u vodi za ljudsku potrošnju može uzrokovati povišeni krvni tlak, arteriosklerozu i edem (Sarath Prasanth i dr., 2012).

Podzemnu vodu s povećanom koncentracijom natrija nije moguće koristiti u poljoprivredne svrhe i za navodnjavanje zbog degradacije kvalitete tla. Uz vrstu i količinu otopljenih soli u tlu, postotak natrija u odnosu na količine otopljenog kalcija i magnezija predstavlja najvažniji faktor povezan sa stupnjem infiltracije.

Kalij se također javlja u prirodi, ali uz kalcij, magnezij i natrij dolazi u manjim koncentracijama.

Bikarbonati nastaju kao posljedica otapanja minerala kalcita. Ugljični dioksid ( $\text{CO}_2$ ) iz atmosfere otapa se u oborinskim vodama, što stvara ugljičnu kiselinu. Takva vodena otopina ugljične kiseline infiltrira se u tlo i disocira na  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{H}^+$ . Vodikovi ioni zatim prodiru do stijena i reagiraju s ionima karbonata na površini kristala, što uzrokuje stvaranje iona bikarbonata koji ulazi u granični sloj. Bikarbonatni ion zatim difundira kroz granični sloj natrag u vodenu otopinu. Tako je bikarbonatni ion dominantan u podzemnoj vodi te je bitan faktor u analizi vode zbog stvaranja mogućega taloga i začepljenja mlaznica i prskalica (Stumm & Morgan, 1996).

Sulfati predstavljaju jedne od glavnih aniona zastupljenih u podzemnoj vodi. Ako se takva voda koristi za navodnjavanje, tada uzrokuje štetne posljedice za usjeve, što je vidljivo preko bijelih tragova na lišću. Sulfati u kombinaciji s bikarbonatima i kalcijem uzrokuju

stvaranje taloga, ako se prskalnice koriste u razdoblju niske vlažnosti, čak i ako su prisutni u manjim koncentracijama (Sarath Prasanth i dr., 2012).

Kloridi se u podzemnoj vodi javljaju od različitih izvora. Na povećane koncentracije može utjecati trošenje stijena pod utjecajem atmosferilija, ispiranje sedimentnih stijena i tala, intruzija slane vode, vjetrom doneseni precipitacijski soli, nekontrolirano ispuštanje otpadnih voda u kućanstvu i industriji itd. Na osnovu toga, determinacija klorida može poslužiti za otkrivanje intruzije vode drugačijega sastava te za mjerenje i praćenje vode u prirodi (Sarath Prasanth i dr., 2012).

Kvaliteta vode za navodnjavanje uvelike ovisi o tipu i količini otopljenih soli. Soli su u tlu u relativno malim, ali značajnim koncentracijama koje potječu od visoke razine podzemne vode prethodno obogaćene solima ili zbog već postojeće koncentracije u vodi za navodnjavanje. Da bi se odabrala odgovarajuća voda za navodnjavanje, bitno je voditi računa ne samo o koncentraciji, nego i o vrsti soli prisutnih u vodi. Odluka o korištenju raspoložive vode za navodnjavanje donosi se prema procjenama potencijalnih problema ako se takva voda primjenjuje duže vrijeme i u više ciklusa navodnjavanja. Problemi zaslanjenja tla javljaju se u slučaju akumuliranja soli u zoni korijenja biljaka u koncentracijama koje uzrokuju gubitak usjeva. Biljkama najdostupnija voda nalazi se u gornjoj zoni korijenja koja ima manji salinitet. Ako je razina soli u tlu veća, biljka će morati uložiti veću energiju apsorpcije da bi ekstrahirala vodu iz zaslanjenoga tla za razliku od energije koju bi uložila u slučaju nezaslanjenoga tla. Ta razlika energije naziva se osmotski potencijal. Biljka primarno koristi vodu za koju treba uložiti najmanje energije, a to je uglavnom u gornjoj zoni korijenja. Gornja zona pod utjecajem je oborina i navodnjavanja, karakterizirana infiltracijom i ispiranjem, što umanjuje osmotski potencijal biljaka. Ekstrakcijom vode ili neperiodičnim navodnjavanjem, razina vode u tlu opada u dublju zonu korijenja karakteriziranu većom koncentracijom soli. Iz zaslanjenoga tla biljka ne može unijeti potrebne nutrijente i potreban joj je veći utrošak energije za rast i razvoj pa se sasušuje, dobiva tamniju plavičasto zelenu boju, a listovi postaju tanji i voštaniji (Ayers & Westcot, 1985). Soli otopljene u vodi lako se transportiraju, što predstavlja olakotnu okolnost jer se dodatnim navodnjavanjem s nezaslanjenom vodom mogu izlužiti iz zone korijenja biljaka. Općenito se koncentracija soli povećava s povećanjem dubine od površine tla pa svako naknadno navodnjavanje potiskuje sol iz zone korijenja biljaka dok ona ne ostane u koncentracijama koje nisu štetne za usjeve. Kao što je već navedeno, bitan utjecaj na zaslanjenje ima i visoka razina podzemne vode, odnosno plitka vodna ploha. Visoka razina podzemne vode obogaćene solima pomoću



kapilarnih sila raste do zone korijenja biljaka te se procesom evapotranspiracije transportira do površine gdje je biljkama raspoloživa za korištenje. Utjecaj razine podzemne vode svakako treba razmatrati kao važan kriterij prilikom planiranja korištenja zemljišta u poljoprivredne svrhe. Efikasno kontroliranje saliniteta zahtjeva adekvatnu drenažu zaslanjene podzemne vode te dodatno izluživanje zbog smanjivanja ukupne koncentracije soli u tlu. Količina vode za navodnjavanje u svrhu postizanja određenog stupnja izluživanja ovisi o nagibu plohe koja se navodnjava, stupnju zbijenosti tla, promjenama u strukturi tla i kemijskom sastavu tla. Slojevitost tla također utječe na efikasnost navodnjavanja. Slojevi gline ili praha često otežavaju ili sprječavaju dublje procjeđivanje vode, što je ključno u kontroliranju saliniteta. Efekt izluživanja i samo navodnjavanje efikasnije je ako su slojevi tla prethodno razrahljeni, čime se povećava propusnost tla te stupanj infiltracije. Zbog razmatranih utjecaja zaslanjenja i ocjene mogućnosti vode za navodnjavanje aplikacija računa vrijednost ukupne koncentracije soli (UKS), a rezultati su prikazani u tablici dodatnih vrijednosti (Slika 4-4). Dobivena vrijednost zajedno s vrijednosti indeksa permeabiliteta (PI) primjenjuje se u naknadnoj klasifikaciji vode za navodnjavanje.

### Dodatne vrijednosti:

Naziv	Vrijednost	Mjerna jedinica
Ukupna tvrdoća (UT)		mg/l kao CaCO <sub>3</sub>
Nekarbonatna tvrdoća (NKT)		mg/l
Ukupno otopljene tvari (UOT)		mg/l
Postotak natrija (Na%)		%
Elektrovodljivost (EV)		µS/cm
Odnos adsorbiranoga natrija (SAR)		-
Rezidualni karbonati (RK)		-
Indeks permeabiliteta (IP)		%
Ukupna koncentracija soli (UKS)		meq/l

Slika 4-4. Tablica dodatnih vrijednosti

Osim ukupne koncentracije soli (UKS) koristan alat za mjerenje mogućeg rizika saliniteta predstavlja elektrovodljivost (EV) – posebna vrsta veze između saliniteta vode povezane sa reduciranim uskladištenjem u tlu, odnosno smanjenjem količine vode dostupne

biljkama i problemom infiltracije koji se odnosi na volumen vode koji prodire u tlo. Vrijednost elektrovodljivosti ukazuje na količinu otopljenih tvari i iona povećavajući učinak provođenja električne struje (Tripathi i dr., 2012). U podzemnoj vodi vrijednost raste s povećanjem temperature i koncentracije ukupno otopljenih tvari ovisno o vrsti otopljenih iona. Ako se salinitet promatra preko elektrovodljivosti, onda je voda niskoga saliniteta (manje od 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a osobito manje od 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sklona isprati površinu tla od topivih minerala, a posebno kalcija, gdje se narušava njegov utjecaj na stabilnost i teksturu tla. Bez kalcija tlo se dispergira na sitne čestice koje ispunjavaju manje porne prostore. Na taj način postiže se učinak brtvljenja površine tla, što smanjuje brzinu infiltracije vode s površine. Javljaju se problemi u procesu navodnjavanja jer voda za vrijeme jednog ciklusa ne prodire u tlo dovoljno brzo, što rezultira smanjenjem količine vode dostupne biljkama, slično kao i kod problema saliniteta. Oborine su također niskoga saliniteta pa, prema tome, imaju nisku stopu infiltracije. Stopa infiltracije od 3 mm/sat smatra se niskom dok se od 12 mm/sat smatra visokom (Ayers & Westcot, 1985).

Zbog potrebe pretvaranje mjernih jedinica dobivenih laboratorijskom analizom u Tablici 4-1 prikazane su česte relacije između različitih jedinica za iskazivanje elektrovodljivosti (EV).

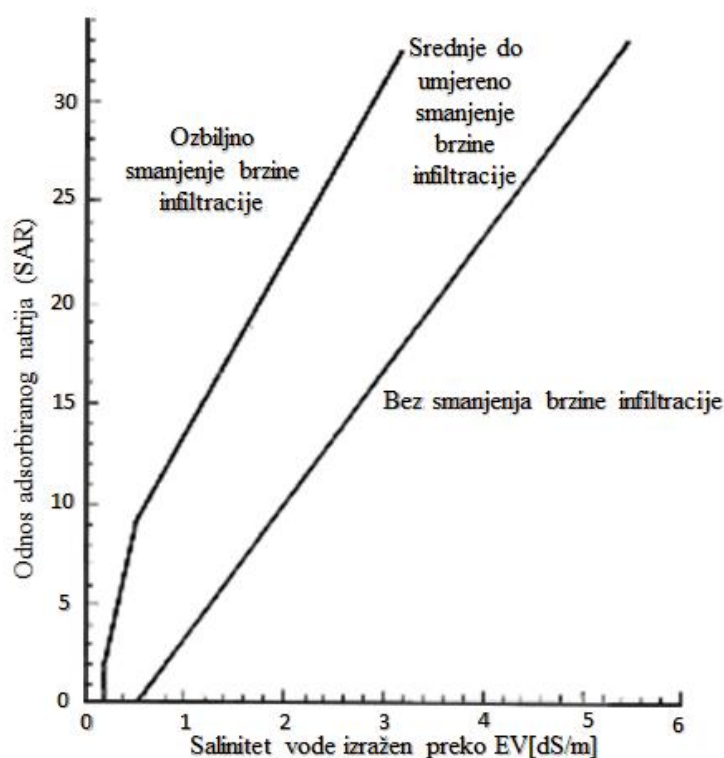
*Tablica 4-1. Postupak prebacivanja mjernih jedinica električne vodljivosti*

<b>Pretvaranje iz</b>	<b>Pretvaranje u</b>	<b>Radnja:</b>
<b>EV (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b>	dS/m	Podijeliti sa 1000
<b>dS/m</b>	EV ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Pomnožiti sa 1000
<b>dS/m</b>	ppm	Pomnožiti sa 640

Na količinu infiltracije osim kvalitete vode utječu i mnogi drugi čimbenici, kao što su fizikalna svojstva tla, struktura i vrsta tla, minerali glina prisutni u tlu, prisutnost organske materije te kemijska svojstva uključujući kationsku zamjenu iona povezanu sa postotkom natrija u tlu. Međutim, najvećim dijelom radi se o salinitetu vode definiranim preko električne vodljivost (EV) i odnosa adsorbiranoga natrija (SAR).

Vrijednost SAR-a ukazuje na probleme infiltracije vode uzrokovane povećanom koncentracijom natrija u odnosu na kalcij i magnezij. Količina infiltracije uglavnom se povećava s povećanim salinitetom vode, a opada sa smanjenjem saliniteta i povećanjem sadržaja natrija u odnosu na kalcij i magnezij. Kao što voda niskoga saliniteta smanjuje

brzinu infiltracije s površine, tako i prekomjerna količina natrija u vodi za navodnjavanje može utjecati na disperziju čestica tla i degradaciju teksture tla, ali samo ako natrij prelazi omjer s kalcijem u odnosu 3:1. Problem se javlja zbog nedostatka kalcija koji sprječava efekt disperzije. Ako je vrijednost SAR-a veća, veći je rizik od zaslanjenja jer natrij zbog sličnih fizikalno-kemijskih svojstava preko kationske zamjene zamjenjuje adsorbirane ione kalcija i magnezija prilijepljene na čestice tla, što utječe na mogućnost ekstrahiranja vode i obrazloženoga efekta osmotskoga potencijala, ali takva voda također ima smanjeni intenzitet infiltracije zbog degradacije tla i začepljenja pornih prostora (Ali Khan & Abbasi, 2013). Drugim riječima, voda niskoga saliniteta (niska EV) u većini slučajeva rezultira problemom infiltracije, ali stupanj problema ovisi o odnosu adsorbiranoga natrija (SAR). Dakle, ta dva faktora moraju se razmatrati zajedno kada se govori o problemu infiltracije i zaslanjenja vode. Na Slici 4-5 prikazan je relativni odnos brzine infiltracije za različite vrijednosti saliniteta izraženog preko elektrovodljivosti i odnosa adsorbiranoga natrija (SAR).



Slika 4-5. Brzina infiltracije vode s obzirom na salinitet vode izražen preko EV i SAR (preuzeto iz Rhoades 1977; Oster & Schroer 1979)

Vrijednosti elektrovodljivosti (EV) i odnosa adsorbiranoga natrija (SAR) mogu se poboljšati uz određene kemijske izmjene vode za navodnjavanje te tako povećati stopu infiltracije korištene vode. Za sada ne postoji ekonomični način za uklanjanja soli ili natrija iz vode po pristupačnoj cijeni, ali se gips pokazao kao najpovoljniji dodatak. Korištenjem gipsa u vodi dolazi do povećanja sadržaja topivoga kalcija koji će utjecati na povećanje vrijednosti elektrovodljivosti (EV) i smanjivanje omjera natrija i kalcija, što izravno utječe na vrijednost SAR-a. Kao alternativni postupak vodi se može dodati i sumpor ili sumporna kiselina u svrhu povećavanja koncentracije kalcija nastaloga kao produkt reakcije s kalcijevim karbonatom ili vapnom, uz uvjet da su oni prisutni u tlu ili se u procesu kalcifikacije izravno dodaju u vodu za navodnjavanje (Ayers & Westcot, 1985).

Prema dobivenim rezultatima SAR-a i EV, korištenjem aplikacije mogu se donijeti bolji zaključci upravljanja i održavanja prinosa, bez obzira radi li se o fizičkim ili kemijskim postupcima upravljanja te zaključci o opravdanosti korištenja izmjena u vodi ili tlu. Spomenuti parametri navedeni su u tablici dodatnih vrijednosti na Slici 4-4, a izravna klasifikacija analizirane vode prema dijagramu rizika saliniteta (US dijagramu) (Richards, 1954) nalazi se u tablici „Ocjena mogućnosti vode za navodnjavanje“ (Slika 4-6). Aplikacija prikazuje ispis rezultata gdje se voda klasificira prema niskom riziku saliniteta (C1), srednjem riziku saliniteta (C2), visokom riziku saliniteta (C3) te vrlo visokom riziku saliniteta (C4). Slično tome, natrijski-alkalni rizik klasificira se kao niski (S1), srednji (S2), visoki (S3) i vrlo visoki (S4).

### Ocjena mogućnosti vode za navodnjavanje:

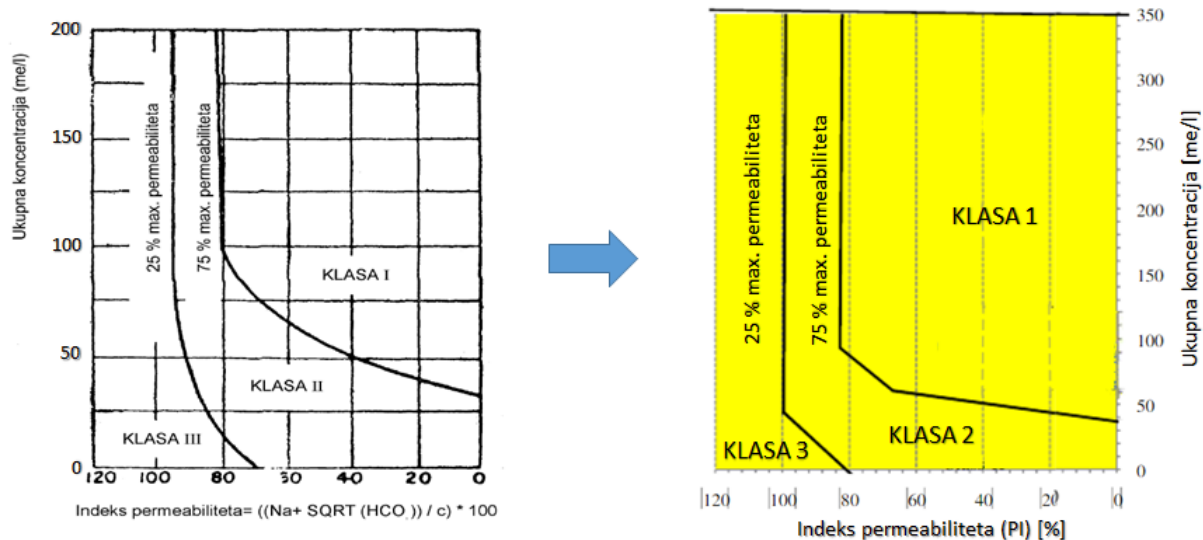
Klasifikacija	Vrijednost	Klasa/rizik
Prema riziku saliniteta		
Prema natrijskom (alkalnom) riziku		
Prema UKS i PI	(PI, UKS) =	
Prema UOT		

Slika 4-6. Klasifikacija i ispis rezultata prema analiziranim parametrima (EV i SAR)

Postotak natrija (Na %) važan je parametar koji se zasebno promatra za klasifikaciju podzemne vode u irigacijske svrhe. Natrij u kombinaciji sa karbonatima formira alkalna tla,

dok s kloridima formira slana tla, ali nijedno tlo nije pogodno za uzgoj biljnih kultura (Pandian & Sankar, 2007). Ukupna koncentracija natrija u podzemnoj vodi govori o tendenciji takve vode da stupi u reakciju kationske zamjene s mineralima tla. Divalentni kationi obično se zadržavaju na zamjenskoj poziciji kristalne rešetke minerala glina, a značajnija zamjena kalcija i magnezija sa natrijem nije moguća ako postotak natrija nije iznad 50 %. Određeni postotak vode i zraka u porama tla potreban je za zadovoljavajući rast biljaka. Ako je postotak natrija iznad 50 %, on reagira sa tlom i akumulira se u porni prostor te tako reducira propusnost tla. Drugim riječima, zbog začepljenih pora, biljke neće dobiti potrebnu količinu vode za rast i razvoj te će trebati veću energiju za korištenje raspoložive vode. Postotak natrija (Na %), kao i ostali parametri analizirani u aplikaciji, ispisan je u tablici dodatnih vrijednosti na Slici 4-4.

Osim navedene ukupne koncentracije soli (UKS) bitan parametar za klasificiranje vode za navodnjavanje u tlima srednje propusnosti predstavlja indeks propusnosti ili indeks permeabiliteta (PI). Promjene u propusnosti tla mogu se dogoditi ako je tlo konstantno pod utjecajem vode za navodnjavanje koja sadrži ili u kojoj je povećana prisutnost natrija, kalcija, magnezija i hidrogenkarbonata, povećavajući tako njihove ukupne koncentracije u tlu, što utječe na propusnost. Veće koncentracije natrija i hidrogenkarbonata utjecat će na povećani indeks permeabiliteta te reduciranu propusnost zbog spomenute kationske zamjene, dok će veće koncentracije kalcija i magnezija utjecati na veću stabilnost tla i propusnost veću od 75 %. Aplikacija klasificira vodu u tri različite klase prema Doneenovom grafikonu (Doneen, 1964), ovisno o vrijednostima ukupne koncentracije soli (UKS) i indeksu permeabiliteta (PI). Budući da u literaturi ne postoje jednadžbe preko kojih su definirane krivulje u Doneenovom grafikonu, zbog jednostavnije klasifikacije Doneenov grafikon pojednostavljen je linearnom aproksimacijom krivulja, a određene jednadžbe pravca za svaki segment krivulje u matematičkoj su pozadini aplikacije. Usporedba izvornoga Doneenovoga grafikona i grafikona korištenoga za klasifikaciju vode u aplikaciji prikazana je na Slici 4-7.



Slika 4-7. Usporedba izvornoga Doneenovoga grafikona i aproksimiranoga grafikona zbog potreba aplikacije

Voda koja pripada u I. i II. klasu prema Doneenovom grafikonu može se smatrati dobrom za navodnjavanje. Dobivena klasa vode prikazana je u tablici ocjene mogućnosti vode za navodnjavanje na Slici 4-8.

### Ocjena mogućnosti vode za navodnjavanje:

Klasifikacija	Vrijednost	Klasa/rizik
Prema riziku saliniteta		
Prema natrijskom (alkalnom) riziku		
Prema UKS i PI	(PI, UKS) =	
Prema UOT		

Slika 4-8. Klasifikacija vode prema indeksu permeabilneta (PI) i ukupnoj koncentraciji soli (UKS)

Posljednji kriterij za klasifikaciju vode za navodnjavanje su ukupno otopljene tvari (UOT). Ukupno otopljene tvari u otopini računaju se kao zbroj svih aniona i kationa u otopini

izraženih u mg/l, s tim da se hidrogenkarbonati množe sa 0,49 jer je odnos ekvivalenta  $\text{HCO}_3/\text{CO}_3 = 0,49$ . Ako se vrijednost UOT promatra preko tvrdoće, onda je ona ekvivalentna vrijednosti bazne tvrdoće (BT) koju čine zbroj karbonatne tvrdoće, anionske tvrdoće (zbroj aniona klorida ( $\text{Cl}^-$ ), sulfata ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) i nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) u vodi) te alkalijskih ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) hidrogenkarbonata, odnosno svih soli u vodi. Dobivena vrijednost prikazuje se u tablici dodatnih vrijednosti prikazanih na Slici 4-4, dok je klasifikacija prema UOT prikazana u tablici „Ocjena mogućnosti vode za navodnjavanje“ (Slika 4-9). Voda se može smatrati općenito dobrom za navodnjavanje ako je ukupno otopljenih tvari u otopini manje od 1000 mg/l, ali pouzdaniji su prethodno navedeni kriteriji.

### Ocjena mogućnosti vode za navodnjavanje:

Klasifikacija	Vrijednost	Klasa/rizik
Prema riziku saliniteta		
Prema natrijskom (alkalnom) riziku		
Prema UKS i PI	(PI, UKS) =	
Prema UOT		

Slika 4-9. Klasifikacija vode za navodnjavanje prema ukupno otopljenim tvarima (UOT)

Iz navedenoga je vidljiva važnost tvrdoće vode u ocjeni mogućnosti vode za navodnjavanje. Tvrdoća vode mjera je za sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli. Prema tome, sadrži li neka voda više ili manje kalcijevih ili magnezijevih soli, ona može biti tvrđa ili mekša. Tvrda voda ima tendenciju taloženja  $\text{CaCO}_3$ , ovisno o zasićenosti vode s  $\text{CaCO}_3$ . Dakle, za taloženje  $\text{CaCO}_3$  odgovorna je karbonatna tvrdoća (KT) koju sačinjavaju svi kalcijevi i magnezijevi karbonati i hidrogenkarbonati u otopini, kao dio ukupne tvrdoće (UT), a ovisno o temperaturi i pH vrijednosti. Pomoću aplikacije dobiva se vrijednost ukupne tvrdoće (UT) koju sačinjavaju u vodi sadržane sve kalcijeve i magnezijeve soli, tj. ne samo one koje su vezane s hidrogenkarbonatima i karbonatima (KT), već i one koje su vezane sa sulfatima, kloridima, nitratima ili silikatima (nekarbonatna tvrdoća - NKT). Tako se karbonatna tvrdoća (KT) jednostavno može izračunati kao  $\text{KT} = \text{UT} - \text{NKT}$ . Kada zbroj karbonata i hidrogenkarbonata premaši zbroj kalcija i magnezija u me/l, tada se skoro sav suvišak istaloži, što daje rezidualne karbonate (RK). Vrijednosti ukupne tvrdoće (UT),

nekarbonatne tvrdoće (NKT) i rezidualnih karbonata (RK) u otopini prikazane su u tablici dodatnih parametara na Slici 4-4.

Kao što je navedeno, vode koje su zasićene s  $\text{CaCO}_3$  imaju tendenciju stvaranja kamenca, dok vode koje nisu zasićene s  $\text{CaCO}_3$  imaju tendenciju otapanja  $\text{CaCO}_3$  te mogu djelovati korozivno. Voda za navodnjavanje sadrži značajan udio slabo topivih soli pa kalcij u kombinaciji s bikarbonatima i sulfatima uzrokuje stvaranje taloga čak i pri vrlo niskim koncentracijama ako se radi o velikoj količini isparavanja. Redukcija taloga može se postići uz prisustvo fosfata (posebno polifosfata), prirodnih organskih spojeva i magnezija jer ti spojevi djeluju kao sekvestirajući agensi (Mijatović & Matošić, 2010). Također, do taloženja može doći i iz nezasićenih voda u odnosu na  $\text{CaCO}_3$ , obično pri povećanju pH vrijednosti. Na temelju toga, redukcija se postiže dodavanjem kiseline i periodičnim čišćenjem sustava, što sprječava stvaranje taloga. S druge strane, smanjenje pH u otopini uzrokuje oštećenje cjevovoda, prskalica i druge opreme pa se pri korištenju kiselina pH ne smije spustiti ispod 6,5.

Osim taloženja  $\text{CaCO}_3$  značajan problem predstavljaju siltozne čestice koje začepljuju mlaznice za navodnjavanje. Mogu se pojaviti u podzemnoj vodi ako se crpi u sitnozrnatim pijescima, što stvara mulj i talog, ali češće ako se za navodnjavanje koristi površinska voda. Filtracija takve vode najjednostavniji je način odstranjivanja sitnih čestica. Začepljenje se također može pojaviti zbog rasta mikroorganizama na sustavu za navodnjavanje, kao što su gljivice, alge i bakterije, ali prethodnom analizom vode njihove koncentracije i potencijalni razvoj mogu se lako utvrditi. Obično je preduvjet stvaranja bioloških taloga prethodno postojanje organske materije u vodi za navodnjavanje koja im služi kao hrana te postojanje sumporovodika i željeza. Tako su sumporne i željezne bakterije najčešće, ali se mogu ukloniti kloriranjem jer klor ubija mikroorganizme, oksidira organsku tvar te pomaže pri ispiranju i filtriranju sustava. Voda za navodnjavanje treba se testirati prije puštanja u sustav za navodnjavanje, budući da se tijekom jednoga ciklusa navodnjavanja kvaliteta vode u sustavu značajnije ne mijenja.

Osim navedenih problema saliniteta, infiltracije, stvaranja taloga, značajnu ulogu u kvaliteti usjeva imaju toksični elementi, prisutni u vodi za navodnjavanje. Problemi toksičnosti javljaju se prilikom akumuliranja toksičnih elemenata u koncentracijama koje mogu oštetiti biljku i reducirati urod. Najznačajniji toksični elementi ioni su klora, natrija i bora. Probleme toksičnosti uglavnom prate i problemi sa salinitetom i otežanom infiltracijom



pa su korištenjem aplikacije navedeni problemi razmatrani zajedno. Unosom podataka u aplikaciju iz laboratorijske analize vode moguće je odrediti stupanj potencijalnih problema u procesu irigacije koji će se javiti u slučaju korištenja takve vode. Aplikacija prikazuje tablicu sa irigacijskim problemima vezanim za toksičnost, salinitet, poniranje vode, vrijednost SAR-a za različite vrste tala, odstupanje od normalnog raspona pH vrijednosti te učinak nitrata, amonija i bora na osjetljivije kulture (Slika 4-10). Stupanj problema ocjenjuje se kao jedan od ovih: „bez problema“, „rastući problem“ i „ozbiljni problem“.

### Irigacijski problemi:

Problemi	Stupanj
SALINITET EV (poteškoće usisavanja vode)	
VODLJIVOST TLA EV (učinak na poniranje vode)	
SAR za montmorilonitna tla	
SAR za ilit-vermikulitna tla	
SAR za kaolinitska tla	
TOKSIČNI IONI (utjecaj na neke kulture) - natrij (SAR)	
TOKSIČNI IONI (utjecaj na neke kulture) - kloridi (meq/l)	
Bor (mg/l)	
RAZNOVRSNSI UČINCI nitrata (na osjetljive kulture) (mg/l)	
RAZNOVRSNSI UČINCI amonija (na osjetljive kulture) (mg/l)	
HCO <sub>3</sub>	
pH	

*Slika 4-10. Stupanj problema koji će se pojaviti u procesu irigacije u slučaju korištenja vode određene kvalitete*

Stupanj oštećenja uzrokovan izlaganjem biljke toksičnim ionima ovisi o vremenu izlaganja toksičnim ionima, njihovoj koncentraciji u vodi, osjetljivosti usjeva i volumenu vode koji preko transpiracije prolazi kroz biljku. Kloridi su najčešći toksični ioni u vodi za navodnjavanje; ne zadržavaju se u tlu nego se preko vode iz tla transpiracijom akumuliraju u lišću ostavljajući tragove oštećenja. Natrij nije toliko toksičan za biljke, premda postoje zabilježena oštećenja na pojedinim biljnim kulturama. Toksičnost natrija može se tablično odrediti preko vrijednosti SAR-a jer su problemi povećane koncentracije natrija povezani sa korištenjem vode za navodnjavanje s većim vrijednostima SAR-a. Bor je, za razliku od natrija, bitan element za razvoj i rast biljaka, ali ako je prisutan u većim koncentracijama,

onda postaje toksičan. Površinske vode rijetko sadrže koncentracije bora koje mogu biti toksične, ali povećane koncentracije mogu se naći u blizini geotermalnih područja ili u područjima s značajnijom tektonskom aktivnosti (područja rasjeda). Dušik je važan sastojak biljaka koji potiče njihov rast. U tlu se nalazi prirodno ili se dodaje preko umjetnih gnojiva. Ako je prisutan u vodi za navodnjavanje, imaće štetan utjecaj na razvoj kulture, kao i u slučaju prekomjernoga korištenja umjetnih gnojiva. Nitrati i amonij najčešće su forme u kojima se dušik pojavljuje i akumulirani su u dubljoj zoni korijenja biljaka. Važan pokazatelj nutritivne ravnoteže u sustavu jest pH vrijednost vode za navodnjavanje jer pH u rasponu različitom od normalnoga (6,5 – 8,4) utječe na veći potencijal toksičnih iona u sustavu (Ayers & Westcot, 1985). Preko pH vrijednosti također se može odrediti korozivni potencijal vode za navodnjavanje. Ako je pH izvan normalnoga raspona vrijednosti, voda ima niski puferski kapacitet pa je učinak korozije ubrzan, a postoji mogućnost i od stvaranja želatinastog taloga na cijevima ili sitima zdenaca. pH u rasponu od 6,7 do 8,9 ukazuje na alkalnu sredinu podzemne vode, a povećane vrijednosti uzrokuju promjene ugljičnog dioksida, karbonata te općenito fizikalno-kemijskih uvjeta (S.K. Mishra i dr., 2013).

Elementi u tragovima pojavljuju se gotovo u svim vodama, ali u vrlo niskim koncentracijama ( $\mu\text{g/l}$ ). Površinske vode uglavnom sadrže niže koncentracije elemenata u tragovima od podzemnih voda. Analiza elemenata u tragovima značajnija je za otpadne vode iz domaćinstva ili industrije, ali pojedini elementi u povećanim koncentracijama mogu biti toksični i za biljne kulture ako se pojave u vodi za navodnjavanje. Od značajnijih elemenata koji se akumuliraju u površinskim zonama tla važno je spomenuti aluminij, arsen i berilij, kadmij, kobalt i fluor, krom, bakar, željezo, litij, mangan, molibden, nikal, olovo, selen te vanadij i cink.

Povećana koncentracija aluminijskih iona u kiselim tlima može uzrokovati neproduktivnost usjeva, dok će se u alkalnim tlima aluminij istaložiti, a utjecaj toksičnosti eliminirati. Arsen i berilij su toksični u malim koncentracijama i na veliku većinu biljaka. Kadmij akumuliran u biljkama može biti štetan i za ljudsko zdravlje. Kobalt i fluor su toksični, ali neaktivni u neutralnim i kiselim tlima. Krom i bakar mogu biti toksični. Željezo i mangan otapaju se prolaskom vode siromašne otopljenim kisikom kroz slojeve tla. Iz toga se razloga ovi elementi u podzemnim vodama nalaze u dvovalentnom stanju. Vode koje sadrže željezo su kod uzimanja uzorka bistre, ali se stajanjem na zraku brzo zamute. Željezo i mangan mogu kod vodoopskrbe u vodovodnoj mreži, a tako i u sustavu za navodnjavanje, izazvati razmnožavanje mikroorganizama *Crenothrix*, *Leptothrix*, *Siderocapsa*, *Thiobacillus*,

*Ferrobacillus* i drugih koji su sposobni energiju za život dobivati oksidacijom željeza odnosno mangana (Mijatović & Matošić, 2010). Oslobođenu energiju ovi organizmi koriste za gradnju biomase od anorganskoga otopljenog ugljika iz vode (CO<sub>2</sub>) te na taj način sužavaju profile cjevovoda. Takva bakterijska biomasa može poslužiti za rast drugih bakterija pa može doći do značajnijega bakterijskoga zagađenja. Također, rast ovih bakterija na stjenkama cjevovoda može dovesti do značajne korozije zbog kiseline proizvedene pri biološkoj oksidaciji željeza i mangana. U podzemnim vodama željezo je najčešće prisutno u obliku dvovalentnoga hidrogenkarbonata Fe(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, a rjeđe kao FeSO<sub>4</sub>. Litij se većinom ponaša kao i bor, ali u manjim koncentracijama nije toksičan za biljke. Molibden nije toksičan u tlima i vodi ako je u normalnim koncentracijama. Olovo uzrokuje propadanje biljaka u povećanim koncentracijama. Selen je toksičan u malim koncentracijama, kao i vanadij i cink, ali je toksičnost cinka reducirana u fino zrnatim i organskim tlima sa pH > 6 (Ayers & Westcot, 1985).

Navedeni elementi nisu posebno analizirani u dijelu aplikacije za ocjenu vode za navodnjavanje, ali se nalaze u tablicama indikatorskih parametara i parametara zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju. Prema tome, aplikacija omogućuje razmatranje elemenata u tragovima u dopuštenim koncentracijama za ljudsku potrošnju pa koncentracije povećane iznad graničnih vrijednosti za ljudsku potrošnju također će prilikom dugoročnoga nakupljanja u tlu izazvati nepovratna oštećenja tla kao poljoprivrednoga resursa. Dakle, ako neki od mikroelemenata premašuje definiranu MDK vrijednost za ljudsku potrošnju, svakako bi trebalo analizirati njegov utjecaj na usjeve prilikom korištenja takve vode za navodnjavanje.

Posljednji problem razmatran u radu i uključen u aplikaciju odnosi se na inkrustaciju i koroziju. Ta vrsta problema uglavnom je vezana na zdence i pumpe, ali oštećenja se mogu javiti i kod opreme za navodnjavanje i u cijevima za dotok vode. Najčešći problemi upravo su vezani za kemizam korištene podzemne ili površinske vode koja se razlikuje od sustava do sustava. Većina podzemnih voda blago su agresivne prema sustavima za navodnjavanje, dok neke mogu biti i agresivnije. Korozija je općenito elektrolitički proces koji djeluje na otapanje površine metala pa sama reakcija otapanja ovisi o kemizmu vode i kemijskoj ravnoteži sustava, ali isto tako i o fizičkim čimbenicima kao što su brzina, temperatura i tlak. Korozija je povezana sa vodom nižega saliniteta, dok je inkrustacija povezana s podzemnom vodom višega saliniteta. Druge vrste podzemnih voda mogu uzrokovati neuobičajene količine organske i anorganske materije koja se može istaložiti u zdencima i opremi za

navodnjavanje. Takve naslage mogu reducirati protok vode kroz sita, cjevovode i mlaznice. Procesi korozije i inkrustacije vrlo su složeni procesi i nijedan parametar ne može točno definirati vijek trajanja opreme koja podliježe korištenju vode takvog sastava, ali primjenom aplikacije razmatrani su određeni kriteriji koji pokazuju potencijalni utjecaj korozije i inkrustacije te se na osnovu toga može procijeniti djelovanje vode na sustav. Analizirani parametri prikazani su u tablici „Kriteriji za inkrustaciju i koroziju“, a logika aplikacije posložena je s obzirom na granične vrijednosti bikarbonata, sulfata, silikata, pH vrijednost, elektrovodljivost te vrijednosti klorida, željeza i mangana. Ako je kriterij ispunjen, aplikacija ispisuje poruku za svaki kriterij koji premašuje granične vrijednosti u jednom od ovih oblika: „uzrokuje mekani tip inkrustacije“, „uzrokuje tvrdi tip inkrustacije“, „voda je korozivna“, „voda uzrokuje koroziju željeza i čelika“, „voda uzrokuje taloženje hidroksida željeza i mangana“. Tablica kriterija za inkrustaciju i koroziju prikazana je na Slici 4-11.

### Kriteriji za inkrustaciju i koroziju:

Opći kriterij	Ispunjen
Voda sadrži >400 mg bikarbonata	
Voda sadrži >100 mg sulfata	
Voda sadrži >40 mg silikata	
Voda s pH < 7	
Voda s EV > 1500 $\mu$ S/cm	
Voda s nazočnosti klorida >500 mg	
Voda s nazočnosti željeza >2 mg	
Voda s nazočnosti mangana >1 mg	

Slika 4-11. Kriteriji za inkrustaciju i koroziju analizirane vode

## 5. Primjer funkcionalnosti aplikacije

Funkcionalnost aplikacije prikazana je na primjeru analize sirove vode s vodocrpilišta Bikana (Z-1) u Virovitici, uzorkovane 4. siječnja 2013. godine. Fizikalno-kemijski parametri iz analitičkoga izvještaja uneseni su u za to predviđene tablice u aplikaciji. Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju nalaze se u „Tablici 2“ padajućeg izbornika aplikacije prikazanoj na Slici 5-1. Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju uneseni su u „Tablicu 3“ (Slika 5-2), dok su raspoloživi indikatorski parametri uneseni u „Tablicu 4“ i prikazani na Slici 5-3.

Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u trenutku punjenja u boce ili drugu ambalažu, koja se stavlja na tržište u bocama ili drugoj ambalaži

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Escherichia coli	-	broj/250 ml	<input type="text"/>
Enterokoki	-	broj/250 ml	<input type="text"/>
Broj kolonija 22°C	-	broj/1 ml	11
Broj kolonija 37°C	-	broj/1 ml	2
Pseudomonas aeruginosa	-	broj/250 ml	<input type="text"/>

Nema posebnih napomena.

Slika 5-1. Mikrobiološki parametri uneseni iz analitičkoga izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1)

Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Akrlamid	1	µg/l	
Antimon	-	µg/l	1
Arsen	-	µg/l	5.67
Benzen	-	µg/l	
Benzo(a)pyrene	-	µg/l	
Bor	-	mg/l	0
Bromati	2	µg/l	
Kadmij	-	µg/l	0.03
Krom	-	µg/l	0.02
Bakar	3	mg/l	0.001
Cijanidi	-	µg/l	2
1,2-dikloroetan	-	µg/l	
Epiklorhidrin	1	µg/l	
Fluoridi	-	mg/l	0.25
Olovo	3, 4	µg/l	0.2
Živa	-	µg/l	0.09
Nikal	3	µg/l	0.3
Nitrati	5	mg/l	3.1
Nitriti	5	mg/l	0.033
Pesticidi	6, 7	µg/l	
Pesticidi ukupni	6, 8	µg/l	0.5
PAH	9	µg/l	
Selen	-	µg/l	1
Tetrakloreten + trikloreten	-	µg/l	
THM	10	µg/l	
Vinil klorid	-	µg/l	
Klorit*	-	µg/l	
Klorat*	-	µg/l	
Otopljeni ozon	-	µg/l	

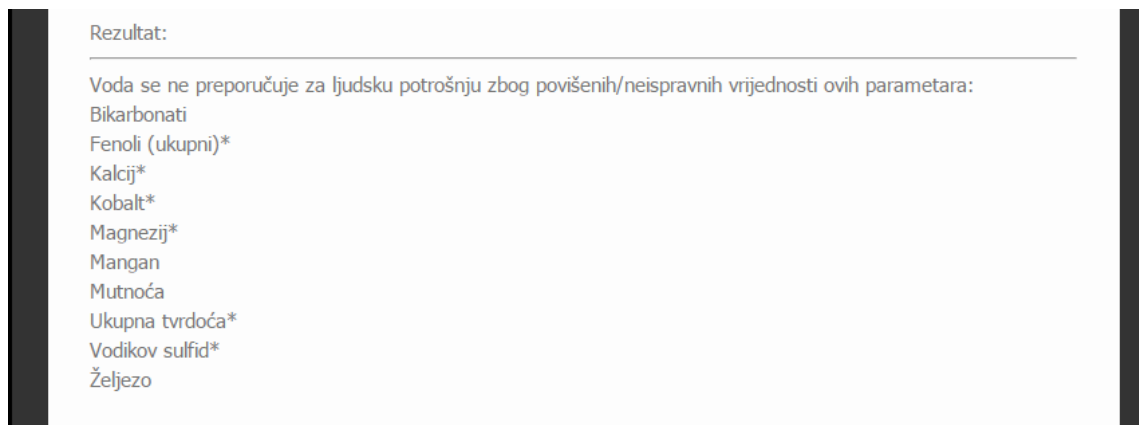
Slika 5-2. Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju uneseni iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1)

### Indikatorski parametri

Pokazatelj	Napomena	Mjerna jedinica	Unos
Aluminij	-	µg/l	0.01
Amonij	-	mg/l	0.32
Barij*	-	µg/l	49.1
Berilij*	11	µg/l	
Bikarbonati	-	mg/l	400
Boja	-	mg/PtCo skale	1.8
Cink*	-	µg/l	11.3
Detergenti – anionski	-	µg/l	50
Detergenti – neionski*	-	µg/l	
Fenoli (ukupni)*	9	µg/l	1
Fosfati*	-	µgP/l	92
Kalcij*	11	mg/l	67.8
Kalij*	-	mg/l	0.77
Karbonati	-	mg/l	0
Kloridi	1	mg/l	6.5
Kobalt*	11	µg/l	0.06
Koncentracija vodikovih iona	1, 2	pH	7.44
Magnezij*	11	mg/l	19
Mangan	-	µg/l	123
Ugjikovodici*	11	µg/l	
Miris	-	-	0
Mutnoća	5	NTU	9.1
Natrij	-	mg/l	16.8
Okus	-	-	0
Silikati*	-	mg/l	6.11
Slobodni klor*	-	mg/l	
Srebro*	10	µg/l	0.2
Sulfati	1	mg/l	14
Temperatura*	-	°C	11.3
TOC	4	mg/l	
Ukupna tvrdoća*	11	CaCO <sub>3</sub> mg/l	248
Ukupne suspenzije*	-	mg/l	4
Utrošak KMnO <sub>4</sub>	3	O <sub>2</sub> mg/l	1.7
Vanadij*	-	V µg/l	
Vodikov sulfid*	-	-	0.02
Vodljivost	1	(µS/cm)/20°C	
Željezo	-	µg/l	1980
Broj kolonija 22°C*	-	broj/1 ml	
Broj kolonija 37°C*	-	broj/1 ml	
Ukupni koliformi*	-	broj/100 ml	
Tricij	6, 8	Bq/l	
Ukupna primijena doza	7, 8	mSv/godina	

Slika 5-3. Indikatorski parametri uneseni iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1)

Nakon unosa podataka, voda je pomoću aplikacije analizirana za ljudsku potrošnju i za irigacijske svrhe. Na Slici 5-4 prikazan je rezultat ako se voda koristi za ljudsku potrošnju.



*Slika 5-4. Rezultati analizirane vode za ljudsku potrošnju prema unesenim fizikalno-kemijskim parametrima iz analitičkog izvještaja s vodocrpilišta Bikana (Z-1)*

U slučaju korištenja vode u irigacijske svrhe, primjenom aplikacije dobiveni su sljedeći rezultati:

1. Izdvojeni glavni anioni i kationi iz analitičkog izvještaja (Slika 5-5).

**Unesene vrijednosti za anione i katione:**

Ion	Vrijednost (mg/l)
HCO <sub>3</sub>	400
Ca	67.8
K	0.77
CO <sub>3</sub>	0
Cl	6.5
Mg	19
Na	16.8
SO <sub>4</sub>	14

*Slika 5-5. Glavni anioni i kationi iz analitičkog izvještaja*

2. Maseni udjeli u miliekvivalentima po litri (m<sub>eq</sub>/l) za glavne anione i katione (Slika 5-6).



### Maseni udjeli:

Ion	Vrijednost (m <sub>eq</sub> /l)
HCO <sub>3</sub>	6.56
Ca	3.39
K	0.02
CO <sub>3</sub>	0
Cl	0.18
Mg	1.56
Na	0.73
SO <sub>4</sub>	0.29

Slika 5-6. Maseni udjeli glavnih aniona i kationa u otopini

3. Dodatne vrijednosti izračunate prema glavnim anionima i kationima u otopini (Slika 5-7).

### Dodatne vrijednosti:

Naziv	Vrijednost	Mjerna jedinica
Ukupna tvrdoća (UT)	247.5	mg/l kao CaCO <sub>3</sub>
Nekarbonatna tvrdoća (NKT)	0	mg/l
Ukupno otopljene tvari (UOT)	320.87	mg/l
Postotak natrija (Na%)	13.16	%
Elektrovodljivost (EV)	570	μS/cm
Odnos adsorbiranoga natrija (SAR)	0.46	-
Rezidualni karbonati (RK)	1.61	-
Indeks permeabiliteta (IP)	57.94	%
Ukupna koncentracija soli (UKS)	5.7	meq/l

Slika 5-7. Dobivene dodatne vrijednosti prema glavnim anionima i kationima u otopini

4. Klasifikacija analizirane vode prema dobivenim dodatnim vrijednostima (Slika 5-8).

### Ocjena mogućnosti vode za navodnjavanje:

Klasifikacija	Vrijednost	Klasa/rizik
Prema riziku saliniteta	570	C2 - srednji
Prema natrijskom (alkalnom) riziku	0.46	S1 - niski
Prema UKS i PI	(PI, UKS) = (57.94, 5.7)	Klasa 2
Prema UOT	320.87	dobra

Slika 5-8. Ocjena mogućnosti analizirane vode za irigacijske svrhe

5. Potencijalni irigacijski problemi koji se mogu javiti u slučaju korištenja analizirane vode u irigacijske svrhe (Slika 5-9).

### Irigacijski problemi:

Problemi	Stupanj
SALINITET EV (poteškoće usisavanja vode)	bez problema
VODLJIVOST TLA EV (učinak na poniranje vode)	bez problema
SAR za montmorilonitna tla	bez problema
SAR za ilit-vermikulitna tla	bez problema
SAR za kaolinitna tla	bez problema
TOKSIČNI IONI (utjecaj na neke kulture) - natrij (SAR)	bez problema
TOKSIČNI IONI (utjecaj na neke kulture) - kloridi (meq/l)	bez problema
Bor (mg/l)	bez problema
RAZNOVRSNSI UČINCI nitrata (na osjetljive kulture) (mg/l)	bez problema
RAZNOVRSNSI UČINCI amonija (na osjetljive kulture) (mg/l)	bez problema
HCO <sub>3</sub>	rastući problemi
pH	normalan raspon

*Slika 5-9. Potencijalni irigacijski problemi koji se mogu javiti u slučaju korištenja analizirane vode*

6. Problemi vezani za inkrustaciju i koroziju koji se mogu javiti u slučaju korištenja analizirane vode u irigacijske svrhe (Slika 5-10).

### Kriteriji za inkrustaciju i koroziju:

Opći kriterij	Ispunjen
Voda sadrži >400 mg bikarbonata	NE
Voda sadrži >100 mg sulfata	NE
Voda sadrži >40 mg silikata	NE
Voda s pH < 7	NE
Voda s EV > 1500 $\mu$ S/cm	NE
Voda s nazočnosti klorida >500 mg	NE
Voda s nazočnosti željeza >2 mg	NE
Voda s nazočnosti mangana >1 mg	NE

*Slika 5-10. Kriteriji za inkrustaciju i koroziju koji se mogu javiti u slučaju korištenja analizirane vode u irigacijske svrhe*

Prema dobivenim rezultatima analize sirove vode sa vodocrpilišta Bikana (Z-1) može se iščitati da se voda ne preporučuje za ljudsku potrošnju zbog povišenih vrijednosti bikarbonata, fenola, kalcija, kobalta, magnezija, mangana, mutnoće, ukupne tvrdoće, vodikovog sulfida i željeza. Istaknuti parametri premašuju maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) pa je prema tome vodu potrebno pročistiti, otkriti izvor zbog kojega se javljaju povećane koncentracije te ga eliminirati prije puštanja vode u sustav javne vodoopskrbe. U slučaju korištenja vode za irigacijske svrhe, može se vidjeti da se radi o vodi dobre kvalitete svrstane u klasu 2 prema indeksu permeabiliteta (PI) i ukupnoj koncentraciji soli (UKS), gdje postoji srednji rizik saliniteta i niski natrijski (alkalni) rizik. Analizirana voda zbog niske vrijednosti elektrovodljivosti (EV) može utjecati na otežano poniranje i usisavanje u tlo. Vrijednost elektrovodljivosti analizirane vode je 570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a voda s elektrovodljivosti oko 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sklona je isprati površinu tla od minerala kalcita koji djeluje na stabilnost strukture te tako reducirati propusnost. Voda ne predstavlja problem ako se radi o određenim tipovima tala jer je vrijednost odnosa adsorbiranoga natrija (SAR) ispod graničnih vrijednosti pa će teže doći do procesa kationske zamjene. Kalcij i magnezij u otopini su u većim koncentracijama od natrija te potreban omjer od 3:1 za reakciju kationske zamjene nije zadovoljen. pH vrijednost je u normalnom rasponu, a amonij, bor i nitrati ne predstavljaju problem ako se voda koristi na osjetljivije kulture. Rastući problem predstavlja jedino povećana vrijednost bikarbonata koji negativno mogu utjecati na stvaranje taloga i začepljenje mlaznica i prskalica. Od navedenih kriterija za inkrustaciju i koroziju nijedan kriterij nije ispunjen što znači da voda ne uzrokuje taloženje hidroksida željeza i mangana te ne djeluje korozivno na sredinu u kojoj se nalazi.

## 6. Zaključak

Kakvoća i prikladnost vode za ljudsku potrošnju ili vode korištene u drugim razvojnim aktivnostima predstavljaju značajnu ulogu. Zbog potrebe kvalitetnije i brže obrade podataka, u svrhu ovoga rada, izrađena je aplikacija prema kojoj su digitalizirani procesi analiziranja podzemne i površinske vode u irigacijske svrhe ili u svrhe ljudske potrošnje. Aplikacija omogućuje prikaz izlaznih parametara dobivenih na temelju prikupljenih laboratorijskih podataka prema kojima se može donijeti ocjena o mogućnostima raspoložive vode za navedene svrhe. Tako se voda za ljudsku potrošnju klasificira prema definiranim graničnim vrijednostima (MDK) ovisno o rasponu otopljenih kemijskih vrsta u vodi, dok se za irigacijske svrhe ocjenjuje prema potencijalnim problemima saliniteta, infiltracije, toksičnosti i dr. koji se mogu javiti prilikom korištenja takve vode. Pregledno sučelje i tablična raspodjela kemijskih parametara po logičkim cjelinama omogućuje jednostavan unos podataka, dok matematička pozadina i sinteza unesenih podataka daje klasifikaciju, ocjenu i mogućnosti analizirane vode.

Zbog visokih troškova gradnje i održavanja sustava za navodnjavanje potrebno je analizirati sve raspoložive parametre, kako bi se što preciznije ocijenio utjecaj korištene vode na sustav te odabrala najpouzdanija i najsigurnija metoda za planiranje daljnjega razvoja. Primjenom aplikacije dolazi se do zaključaka o djelovanju korištene vode određene kvalitete na tlo prema kojima se procjenjuje utjecaj navodnjavanja na razvoj različitih kultura. Za kvalitetan razvoj moraju se razmatrati svi obrazloženi čimbenici od saliniteta vode, infiltracije, toksičnih iona, korozije, inkrustacije do fizičkog djelovanja siltoznih čestica i degradacije sustava za navodnjavanje. U takvim uvjetima teško je formirati ekonomski prihvatljiv projekt koji bi zadovoljio uvjete razvoja uz redukciju troškova pročišćenja i odstranjivanja mogućih problema. U prirodnim uvjetima obično se javlja kombinacija navedenih problema, što dodatno otežava procjenu. Korištenjem aplikacije mogli bi se predvidjeti uvjeti manje ekonomske isplativosti, odnosno uvjeti u kojima bi se voda lošije kvalitete prethodno morala pročititi ili na povoljniji način obraditi kako ne bi utjecala na nepovoljan razvoj kulture. Prema analiziranoj vodi aplikacija omogućuje dugoročno donošenje procjena i prognoza uroda prije nego se krene u ozbiljniju investiciju. Ako raspoloživa voda premašuje granične vrijednosti analiziranih parametara, a drugih zaliha vode nema ili je nedostupna, za daljnji razvoj potrebno je napraviti nekoliko pilot projekata s vodom dostupne kvalitete. Prilikom analize vode za navodnjavanje trebalo bi gledati i

njezin utjecaj na ljudsko zdravlje, odnosno analizirati ju u slučaju ljudske potrošnje jer u većini slučajeva voda koja se koristi u poljoprivredne svrhe često je po kemijskom sastavu slična vodi koja se koristi za ljudsku potrošnju. Takvi scenariji mogući su u slučaju crpljenja i korištenja vode u javnoj vodoopskrbi, a da je područje potencijalno prihvatljivo i za razvoj poljoprivrede. Prema tome, koristila bi se voda istih fizikalno-kemijskih karakteristika koja bi bila prihvatljiva i u irigacijske svrhe. Osim na cijevi, podzemna voda zbog korozivnoga djelovanja negativno može utjecati i na betonske agregate, ako se oni koriste kao sustav provođenja vode. Veliki sustavi za navodnjavanje mogu prouzročiti promjenu strujne slike područje te promjene u hidrogeološkom režimu podzemlja. Odvodnja irigacijske vode korištene u poljoprivredne svrhe predstavlja značajan rizik i prijetnju za zagađenje podzemlja i podzemne vode. Budući da je transport otpadne vode do deponija i odlagališnih bazena vrlo skup, voda se treba ciklički koristiti uz dodavanje pročistača dokle god odgovara zahtjevima zdravstvene ispravnosti.

Daljnji razvoj aplikacije usmjerit će se u mehanizme pročišćavanja otpadnih voda različitih industrija prema raspoloživim parametrima te u razvijanje baze podataka koja omogućuje izravno povezivanje vrijednosti u bazi sa vrijednostima u tablicama. Takav pristup dodatno će ubrzati korištenje aplikacije te isključiti ručni unos podataka. Kako je u analizama vode bitan padajući ili rastući trend razmatrane pojave, postojat će mogućnost unosa vremenskih nizova podataka. Tako bi se generalno moglo odrediti pogoršanje ili poboljšanje uvjeta te analizirati utjecaje koji dovode do takvoga stanja.

## 7. Popis literature

1. ALI KHAN, T., ABBASI, A., (2013): *Synthesis of parameters used to check the suitability of water for irrigation purposes*. International journal of environmental sciences. Volume 3, No 6. str. 2031-2037.
2. AYERS, R.S. & WESTCOT D.W., (1985): *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome. str. 1-107.
3. DAVIS, G. H., GREEN J. H., OLMSTED, F. H., BROWN D. W., (1959): *Ground-water conditions and storage capacity*. San Joaquin.
4. DOMENICO, D.A., SCHWARTZ, F.W., (1998): *Physical and chemical Hydrogeology*. John wiley and sons, NewYork, str. 238-240.
5. DONEEN, L.D. (1962): *The influence of crop and soil on percolating water*. Proc. 1961 Biennial conference on Groundwater Recharge. str 156-163.
6. FOSTER, F., (1998): *Groundwater assessing vulnerability and promotion protection of a threatened resource*. Proceedings of the 8th Stockholm water symposium, Sweden, str. 79–90.
7. MIJATOVIĆ, I., MATOŠIĆ, M., (2010): *Tehnologija vode*. Interna skripta, dopunjeno izdanje. Prehrambeno – biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
8. MISHRA, S.K., MISHRA, U.K., TRIPATHI, A.K., SINGH, A.K., MISHRA, A.K., (2013): *Hydrogeochemical Study in Groundwater Quality In and Around Sajjanpur Area, Satna District, Madhya Pradesh, India*. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 4, Issue 2. str 1-10.
9. NARODNE NOVINE (2013): *Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju*. Zakona o vodi za ljudsku potrošnju. Broj 125/13, 141/13 i 128/15.

10. NICKSON, RT., McARTHUR, JM., SHRESTHA, B., KYAW-NYINT, TO., LOWRT, D., (2005): *Arsenic and other drinking water quality issues*. Muzaffargarh District, Pakistan. *Appl Geochem* 20:55–68.
11. OSTER J.D., SCHROER F.W., (1979): *Infiltration as influenced by irrigation water quality*. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43. str. 444-447.
12. PANDIAN, K., SANKAR, K., (2007). *Hydrochemistry and groundwater quality in the Vaippar river basin*, Tamil Nadu. *Jour. Geol.Soc. India*, v.69, str. 970-982.
13. RHOADES, J.D., (1977): *Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation*. *Proc. Water Management for Irrigation and Drainage*. ASCE, Reno, Nevada. str. 85-116.
14. RICHARDS, L.A. (1954): *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agriculture Handbook 60, Washington D.C.
15. ROMIĆ, D. (2005): *Navodnjavanje u održivoj poljoprivredi*. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Rijeka: Liber, 2005, str. 169-192.
16. SARATH PRASANTH, S.V., MAGESH, N. S., JITHESHLAL K. V., CHANDRASEKAR, N., GANGADHAR, K., (2012): *Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the coastal stretch of Alappuzha District, Kerala, India*. *Appl Water Sci.* 2: str. 165-175.
17. STUMM, W., MORGAN J.J., (1996): *Aquatic chemistry*. Wiley, New York. str. 1022.
18. TRIPATHI, A.K., MISHRA, U.K., MISHRA, A., TIWARI, S., DUBEY P., (2012): *Studies od Hydrogeochemical in Groundwater Quality around Chakghat Area, Rewa District, Madhya Pradesh, India*. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. Vol. 2, Issue 6, str. 4051-4059.

19. WALTON, W. C., (1970): *Groundwater resources evaluation*. Mc Graw Hill Book Co, New York.