

APLIKACIJA ZA OCJENU KEMIZMA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU I NAVODNJAVANJE

doc. dr. sc. Željko Duić, dipl. ing.
Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-
naftni fakultet
Pierottijeva 6, Zagreb
zeljko.duic@oblak.rgn.hr

Daniel Jakobović mag. ing. geol.
HIS d.o.o.
Donja Višnjica 61 D, Donja Višnjica,

Ivan Posavčević mag. inf. et math.
Ericsson Nikola Tesla
Krapinska 25, Zagreb,

Cilj je ovoga rada bio razviti aplikaciju za prikaz kemijskih analiza vode koja se koristi za ljudsku potrošnju kao i vode za navodnjavanje. Aplikacija je programirana u programskom jeziku PHP 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 mikrobiološke probleme. Tabličnim unosom podatci se analiziraju prema graničnim MDK-a vrijednostima, a unosom glavnih aniona i kationa u aplikaciju dobivaju se fizikalni i 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.

Ključne riječi: kemijska analiza vode, fizikalni i kemijski parametri, navodnjavanje, inkrustacija, korozija, voda za ljudsku potrošnju

1. UVOD

Kvaliteta podzemne vode može dati tragove geoloških obilježja područja, indikacije o području napajanja podzemne vode, otjecanju podzemne vode i njezinom usklađivanju (Walton, 1970.). Kemijski sastav prirodnih voda rezultat je različitih procesa, uključujući otapanje plinova iz atmosfere, trošenje i eroziju stijena i tla, procese solucije i precipitacije ispod zemljine površine, kao i učinaka koji proizlaze iz ljudskih aktivnosti (Hem, 1985.). Karakterizacija i predviđanje tih procesa predstavljaju jedan od najvažnijih problema u znanostima koji se bave podzemnim vodama (Fitts, 2012.). Postoje različite analitičke tehnike i metode kako bi se što preciznije odredila kvaliteta podzemne vode, bez obzira na to koristi li se za ljudsku potrošnju, industrijske svrhe ili pak za poljoprivredne, odnosno irigacijske svrhe. Primjenom računalnih, programerskih i hidrogeoloških znanja u ovom radu prikazana 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 moguće probleme vezane za kemijska, fizička i mikrobiološka svojstva vode. Korištenje aplikacije pomoći će korisnicima ocijeniti kvalitetu podzemne i površinske 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 programskom jeziku PHP, 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, pri čemu nije potrebna nikakva dodatna instalacija na

korisničko računalo. Aplikacija je zaštićena korisničkim imenom i lozinkom, koje se unose na početku rada preko za to predviđene forme (slika 1).

Slika 1: Prijava u aplikaciju

Aplikacija se pokreće otvaranjem datoteke „login.php“. Pravo na korištenje aplikacije, odnosno mogućnost registracije korisnika predviđena je uz autorizaciju putem e-mail provjere. Nakon što korisnik prođe provjeru otvara mu se glavna stranica, napisana u datoteci „main.php“, koja prikazuje korisničko sučelje (slika 2).

2.1 Analiza vode za ljudsku potrošnju

U prvom koraku korištenja aplikacije dobiveni laboratorijski uzorci za ljudsku potrošnju testiraju se prema graničnim MDK-a 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). Prilikom korištenja aplikacije mogu se odabrati četiri željene tablice za ispitivanje. U tablicama su navedeni osnovni pokazatelji s pojedinim napomenama,

Slika 2: Korisničko sučelje aplikacije

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

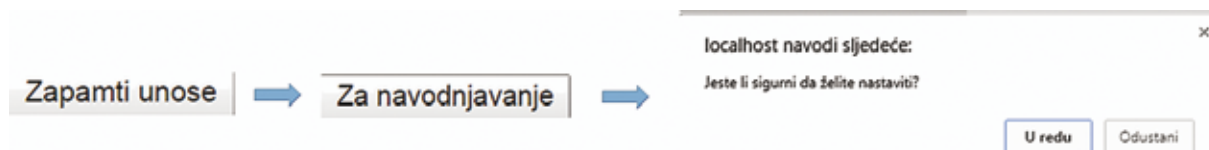
Slika 3: Izgled jedne od tablica koje se koriste pri određivanju sukladnosti vode za ljudsku potrošnju

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. U „Tablici 1“ padajućeg izbornika nalaze se mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju s napomenama. U „Tablici 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. „Tablica 3“ predstavlja kemijske parametre zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju s navedenim napomenama, te „Tablica 4“ prikazuje indikatorske parametre s navedenim napomenama (slika 3).

Prilikom unosa podataka za ljudsku potrošnju nije potrebno popuniti sva prazna polja. Prazni unosi tretirat 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“. 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-a 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.

2.2 Analiza vode za navodnjavanje

Kvaliteta vode za navodnjavanje varira ovisno o količini otopljenih soli, širokom rasponu otopljenih anorganskih kemijskih konstituenata različitim koncentracija te produktima različitih kemijskih i biokemijskim 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.). Tablicom kemijskih parametara zdravstvene ispravnosti za ljudsku potrošnju, kao obavezni parametri definirani su bor i nitrati. S druge strane, prema tablici indikatorskih parametara, obavezan je unos amonija, hidrogenkarbonata, kalcija, kalija, karbonata, klorida, koncentracije vodikovih iona, magnezija, mangana, natrija, silikata, sulfata i željeza. Unosom spomenutih parametara vrijednosti za glavne anione i katione te njihovi maseni udjeli u miliekivalentima prikazuju se tablično. Ravnoteža je izražena na razini miliekivalenta u svrhu jednostavnijega proračuna i grafičkih prikaza. Zbog važnosti glavnih aniona i kationa u vodenoj otopini aplikacija zahtijeva 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. Ako parametar nije izmjereno, na njegovo je mjesto potrebno upisati 0 kako bi aplikacija mogla prove-



Slika 4: Postupak prilikom analiziranja vode za navodnjavanje

sti izračun, ali parametar se neće uzeti u obzir. Dobiveni rezultati koji su niži od granica određivanja određenog analitičkog postupka unose se bez obzira na dobivene vrijednosti. Njihov težinski faktor u ukupnom izračunu dodatnih vrijednosti neće biti značajan. 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).

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 piće. Utjecaj kemijskoga sastava vode na navodnjavanje prikazan je preko fizikalnih i 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

solu (UKS) sukladno metodologiji koju su opisali Ayers i Westcot (1985.) (slika 5).

Korištenje aplikacije omogućuje brže i preciznije računanje navedenih parametara, što izravno prikazuje ocjenu mogućnosti vode za navodnjavanje. Spomenuti parametri za ocjenu kakvoće vode za navodnjavanje koriste se za klasifikaciju analizirane vode prema dijagramu rizika saliniteta (US dijagramu) (Richards, 1954.). 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) (slika 6).

Nadalje, aplikacija klasificira vodu u tri različite klase prema Doneenovom grafikonu (Doneen, 1964.), ovisno o vrijednostima ukupne koncentracije soli (UKS) i indeksu permeabiliteta (PI). Zbog jednostavnije klasifikacije Doneenov grafikon pojednostavljen je linearnom aproksimacijom krivulja, a određene jednadžbe pravca za svaki segment krivulje u matematičkoj su pozadini aplikacije, dok je dobivena klasa vode prikazana u tablici ocjene mogućnosti vode za navodnjavanje (slika 6). Osim navedenih problema saliniteta, infiltracije, stvaranja taloga, značajnu ulogu u kvaliteti usjeva imaju toksični elementi prisutni u vodi za navodnjavanje. Aplikacija u konačnici 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 7). Stupanj problema ocjenjuje se kao jedan od ovih: „bez problema“, „rastući problem“ i „ozbiljni problem“.

Dodatne vrijednosti:

Naziv	Vrijednost	Mjerna jedinica
Ukupna tvrdoća (UT)		mg/l kao CaCO ₃
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 5: Prikaz parametara korištenih pri analizi kakvoće vode za navodnjavanje

2.3 Analiza vode obzirom na mogućnost pojave inkrustacija i korozije

Posljednji problem razmatran u radu i uključen u aplikaciju odnosi se na inkrustaciju i koroziju. Ta vrsta problema uglavnom je vezana na zdence i crpke, ali oštećenja se mogu javiti i kod opreme za navodnjavanje i u cijevi-

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

Slika 6: Postupak prilikom analiziranja vode za navodnjavanje

ma za dotok vode. Najčešći problemi upravo su vezani za kemizam korištene podzemne ili površinske vode koja se razlikuje od sustava do sustava. Analizirani parametri prikazani su u tablici „Kriteriji za inkrustaciju i koroziju“, a logika aplikacije posložena je s obzirom na granične vrijednosti hidrogenkarbonata, sulfata, silikata, pH vrijednosti, elektrovodljivosti te vrijednosti klorida, željeza i mangana (Ayers i Westcot 1985.). 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 8.

3. ZAKLJUČAK

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-a) ovisno o rasponu otopljenih kemijskih sastojaka 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. Daljnji razvoj aplikacije usmjerit će se u mehanizme pročišćavanja otpadnih voda različitih industrija prema ras-

Irigacijski problemi:

Problemi	Stupanj
SALINITET EV (poteškoće usisavanja vode)	
VODLJIVOST TLA EV (učinak na poniranje vode)	
SAR za montmorilonitna tla	
SAR za illit-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 ₃	
pH	

Slika 7: Stupanj problema koji će se pojaviti u procesu irigacije u slučaju korištenja vode određene kvalitete

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 μS/cm	
Voda s nazočnosti klorida >500 mg	
Voda s nazočnosti željeza >2 mg	
Voda s nazočnosti mangana >1 mg	

Slika 8: Kriteriji za inkrustaciju i koroziju analizirane vode

položivim 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. ■

LITERATURA

Ayers, R.S. & Westcot D.W., (1985.): Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome. str. 1-107.
 Doneen, L.D. (1962.): The influence of crop and soil on percolating water. Proc. 1961 Biennial conference on Groundwater Recharge. str 156-163.
 Fitts, C.R. (2012.): Groundwater science, Second edition, Academic Press (Elsevier), Amsterdam, Netherlands.
 Hem, J.D. (1985.): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS water supply paper 2254, USA.

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.
 Richards, L.A. (1954.): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agriculture Handbook 60, Washington D.C.
 Romić, D. (2005.): Navodnjavanje u održivoj poljoprivredi. Priručnik za hidrotehničke melioracije. Rijeka: Liber, 2005., str. 169-192.
 Walton, W.C., (1970.): Groundwater resources evaluation. Mc Graw Hill Book Co, New York.

An application for chemical assessment of water intended for human consumption and irrigation

Abstract. The objective of this paper was the development of an application for presenting chemical analyses of water used for human consumption and irrigation. The application is created in the PHP programming language and used for faster processing of laboratory data, better assessment of groundwater and surface water quality and a more accurate classification of irrigation water in view of physical, chemical and microbiological issues. Data entered in the tables are analysed according to the limit MAC values, whereas the major anions and cations entered in the application show physical and chemical parameters important for the classification of irrigation water. The application calculates the values of electrical conductivity (EC), total hardness (TH), non-carbonate hardness (NCH), total dissolved solids (TDS), sodium percentage (Na%), sodium adsorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI) and total salts concentration (TSC). In addition to these parameters, the application can be used for checking potential incrustation and corrosion issues when the analysed water is used.

Key words: chemical analysis of water, physical and chemical parameters, irrigation, incrustation, corrosion, water intended for human consumption

Anwendungssoftware für die Beurteilung des Chemismus des Wassers für den menschlichen Gebrauch und für die Bewässerung

Zusammenfassung. Das Ziel dieser Arbeit war eine Anwendungssoftware für die Darstellung von chemischen Analysen vom Wasser für den menschlichen Gebrauch sowie vom Wasser für die Bewässerung zu entwickeln. Die Software wurde in der Programmiersprache PHP entwickelt und dient zur schnelleren Bearbeitung von Labordaten, besserer Beurteilung der Qualität des Grund- und des Oberflächenwassers sowie zur präziseren Klassifizierung von Bewässerungswasser in Bezug auf physikalische, chemische und mikrobiologische Probleme. Die Daten werden in die Tabellen eingetragen und nach den höchstzulässigen Grenzkonzentrationswerten analysiert. Wenn Hauptanionen und -kationen eingetragen werden, ergeben sich die physikalischen und chemischen Parameter, die wichtig für die Klassifizierung des Bewässerungswassers sind. Die Software berechnet die Werte der elektrischen Leitfähigkeit, der Gesamthärte und der Nichtkarbonathärte, die Gesamtmenge gelöster Stoffe, den Prozentwert für Natrium, den Natriumadsorptionswert, den Restkarbonatwert, die Permeabilitätskennzahl und den Gesamtsalzgehalt. Mit der Software können auch eventuelle Inkrustation und Korrosion geprüft werden, im Falle wenn das analysierte Wasser von Menschen gebraucht wird.

Schlüsselwörter: chemische Wasseranalyse, physikalische und chemische Parameter, Bewässerung, Inkrustation, Korrosion, Wasser für menschlichen Gebrauch