

# OKRUGLI STOL

## *Aktualni izazovi razvoja hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj*

Poreč, 10. - 11. studeni 2022.

---

# PRIMJENA AUTOMATSKOG MONITORINGA ZASLANJIVANJA VODA I TLA U DOLINI RIJEKE NERETVE

## APPLICATION OF WATER AND SOIL SALINISATION AUTOMATIC MONITORING IN THE NERETVA RIVER VALLEY

**Marko Reljić, mag. ing. agr. <sup>a</sup>, izv. prof. dr. sc. Monika Zovko <sup>a</sup>,  
doc. dr. sc. Marina Bubalo - Kovačić <sup>a</sup>, prof. dr. sc. Neven Kuspilić <sup>b</sup>,  
doc. dr. sc. Gordon Gilja <sup>b</sup>, prof. dr. sc. Vedran Mornar <sup>c</sup>,  
doc. dr. sc. Marina Bagić Babac <sup>c</sup>, prof. dr. sc. Davor Romić <sup>a</sup>**

### SAŽETAK

Podizanje razine mora jedna je od najznačajnijih posljedica klimatskih promjena čime se intenziviraju procesi intruzije morske vode u obalna područja. Iako se problem prodora mora i zaslanjivanja površinskih i podzemnih voda javlja u cijelom priobalnom području Republike Hrvatske, ti procesi posebno su izraženi u dolini rijeke Neretve. Glavni cilj projekta DELTASAL je razviti i primijeniti napredni sustav praćenja, predviđanja i izvješćivanja o stanju agroekosustava doline Neretve koji se dominantno koristi za poljoprivredu. Kontinuiranim mjerenjima s većeg broja instaliranih mjernih postaja i senzora u visokoj vremenskoj rezoluciji prikupit će se veliki broj podataka. Prikupljeni podaci dostupni su dionicima projekta kroz razvijeni višejezični programski sustav, a mogu se koristiti kao smjernice u planiranju budućeg načina gospodarenja hidromelioracijskim sustavom riječne delte i planiranja poljoprivredne proizvodnje. Napredne znanstvene i informacijske tehnike i tehnologije

---

<sup>a</sup> Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, mreljic@agr.hr, mzovko@agr.hr, mbubalo@agr.hr, dromic@agr.hr

<sup>b</sup> Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, kuspa@grad.hr, gordon.gilja@grad.unizg.hr

<sup>c</sup> Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb, Vedran.Mornar@fer.hr, Marina.Bagic@fer.hr

za prikupljanje i pohranu podataka te njihovu statističku obradu i modeliranje bit će korišteni za izradu prognostičkih modela temeljenih na stohastičkim procesima i strojnom učenju za predviđanje promjena unutar ugroženih agroekosustava kao što su riječne delte, a koje su pod izravnim pritiskom klimatskih promjena.

*KLJUČNE RIJEČI: Klimatske promjene, Delta, Intruzija mora, Monitoring, Zaslanjivanje, Senzori*

## ABSTRACT

Sea level rise is one of the most important consequences of climate change, which intensifies seawater intrusion into coastal areas. Although the problem of seawater intrusion and salinization of surface and groundwater occurs throughout the coastal area of the Republic of Croatia, these processes are particularly pronounced in the Neretva River valley. The main objective of the DELTASAL project is to develop and apply an advanced system for monitoring, forecasting and reporting on the state of the agroecosystem of the Neretva Valley, which is predominantly used for agriculture. A large amount of data is collected through continuous measurements from a number of installed monitoring stations and sensors with high temporal resolution. The collected data is available to the project stakeholders through the developed multilingual software system and can be used as guidelines for planning the future management of the hydromelioration system of the river delta and planning agricultural production. Advanced scientific and information techniques and technologies for data acquisition and storage, as well as their statistical processing and modeling, will be used to build predictive models based on stochastic processes and machine learning to forecast changes in threatened agroecosystems, such as river deltas, that are under direct pressure from climate change.

*KEY WORDS: Climate change, Seewater intrusion, Monitoring, Salinization, Sensors*

## 1. UVOD

U obalnim zonama, područja riječnih delti najugroženija su i neosjetljiva na klimatske promjene (Vineis i sur., 2011) i porast razine mora, osobito u kršu gdje se intenziviraju procesi intruzije morske vode i zaslanjivanja krških vodonosnika. U krškim karbonatnim vodonosnicima koji su karakteristični za cijelo područje Vanjskih Dinarida, ovi procesi su posebno izraženi u ljetnim, sušnim razdobljima kao posljedica smanjenog pritoka slatke vode iz uzvodnog dijela sliva kao i smanjenog intenziteta oborina (Romić i sur., 2019). Premda se problem prodora morske vode i zaslanjivanja površinskih i podzemnih voda javlja u cijelom priobalnom području Republike Hrvatske, ti procesi posebno su izraženi u delti rijeke Neretve koja se koristi za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju, dominantno citrusa i povrća. Poljoprivredno područje delte Neretve koje obuhvaća prostor od preko 5.000 ha karakteriziraju parcele polderskog tipa čija se

funkcionalnost održava kompleksnom mrežom crpnih stanica, melioracijskih kanala i ustava kako bi se spriječilo poplavljanje područja (Romić i sur., 2020). Kako bi se delta Neretve, ali i drugi ugroženi agroekosustavi stavili pod kontrolu i zaštitili od negativnih posljedica klimatskih promjena, neophodne su pravovremene i pouzdane informacije o stanju svih sastavnica okoliša, posebice voda i tla. Monitoring kakvoće voda od lokalnog je i globalnog interesa, a u većini država zakonski je uređen. U Europskoj uniji monitoring voda definiran je u okviru Okvirne direktive o vodama (EC/2000/60), a u Hrvatskoj u okviru Zakona o vodama (Narodne novine, br. 66/19 i 84/21) i Uredbe o standardu kakvoće voda (Narodne novine, broj 96/19). Zakonski je definirana uspostava mreže i način provođenja operativnog i nadzornog monitoringa površinskih i podzemnih voda. Uz navedene, moguća je uspostava i istraživačkog monitoringa u posebnim uvjetima koji su definirani Uredbom o standardu kakvoće voda. U Republici Hrvatskoj, pod vodstvom Hrvatskih voda 2009. uspostavljen je istraživački monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala na području doline rijeke Neretve koji provode Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu. Monitoring zaslanjenja voda i tla u dolini Neretve provodi se klasičnim uzorkovanjem i laboratorijskim analiziranjem uzoraka vode i tla koji se prikupljaju s većeg broja lokacija unutar 6 melioracijskih područja. Iako su rezultati klasičnog monitoringa pouzdani, oni su zahtjevni u pogledu financijskih, vremenskih i ljudskih resursa i ne daju podatke u realnom vremenu (Pasika i Gandal, 2020). Automatski, kontinuirani, senzorski in-situ sustavi danas se sve češće koriste za monitoring kakvoće voda (Randhawa i sur., 2016). In-situ senzori omogućuju brzi i pouzdan monitoring okoliša, a mogu se koristiti za trenutačna mjerenja ili za dugoročnu instalaciju pri čemu prikupljaju veliki broj podataka visoke vremenske razlučivosti u (približno) realnom vremenu (O'Grady i sur., 2021). 2020. godine kroz projekt DELTASAL (KK 05.1.1.02.0011) na dvije lokacije unutar melioracijskih područja Vidrice i Luke na kojima se provodi klasični monitoring uspostavljen je automatski, in-situ senzorski sustav monitoringa voda i tla. Cilj ovog rada je opisati uspostavljeni sustav i instaliranu opremu za automatsko prikupljanje podataka, dati pregled baze prikupljenih podataka te prikazati neke od preliminarnih rezultata istraživanja.

## 2. AUTOMATSKI SENZORSKI MONITORING

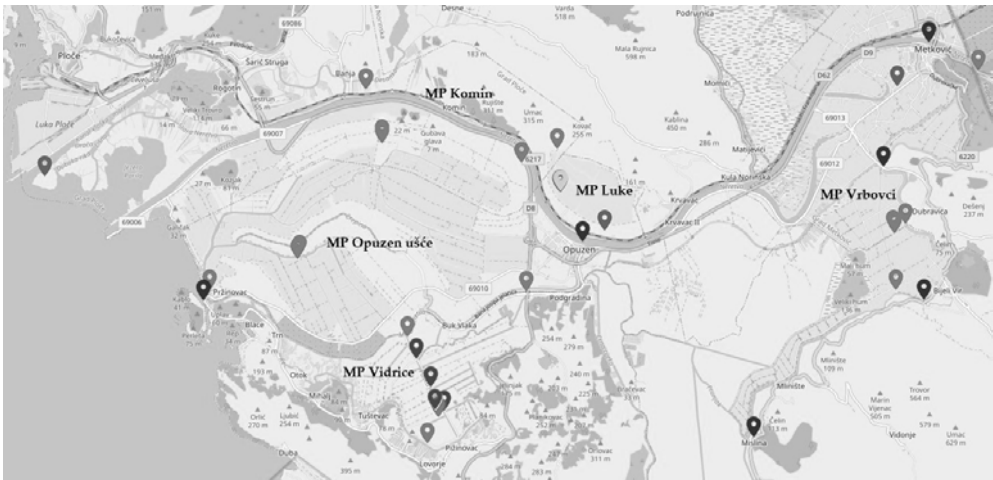
### 2.1. Područje istraživanja i cilj projekta

Istraživački monitoring zaslanjenja voda i poljoprivrednih tala u dolini rijeke Neretve koji se (Romić i sur., 2014) provodi od 2009. godine uspostavljen je na ukupno 22 lokacije unutar pet melioracijskih područja (MP): MP Vrbovci, MP Luke, MP Vidrice, MP Opuzen Ušće i MP Komin (Slika 1). Dolinu rijeke Neretve (43°00 S, 17°30 I) karakterizira semi-aridna mediteranska klima s vrućim i suhim ljetnim, te vlažnim, blagim zimskim razdobljem. Prosječna godišnja temperatura (1988. - 2020.) iznosi

15,9 °C. Najtopliji mjesec je srpanj s prosječnom temperaturom 25,7 °C, a najhladniji siječanj s temperaturom 7,0 °C. Prosječna godišnja količina oborina (1988. - 2020.) iznosi 1077 mm, a većina oborina na području padne u razdoblju listopad - travanj. Uspostavljeni istraživački monitoring na dvije odabrane lokacije unutar MP Vidrice i MP Luke 2020. godine unaprijeđen je automatskim senzorskim sustavom. Uspostavljeni sustav i istraživanje financirano je od strane Europske unije (Europski fond za regionalni razvoj) i Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost kroz projekt „Napredni sustav motrenja agroekosustava u riziku od zasljanjavanja i onečišćenja,“ (KK 05.1.1.02.0011) - DELTASAL. Odabrana poljoprivredna parcela na lokaciji Luke nalazi se u intenzivnoj proizvodnji povrća, a na odabranoj parceli lokaciji Vidrice nalazi nasad mandarine starosti 27 godina.

Glavni cilj projekta DELTASAL je razviti i primijeniti napredni sustav praćenja, predviđanja i izvješćivanja o stanju agroekosustava doline Neretve koji se dominantno koristi za poljoprivredu, a specifični ciljevi su:

- a) automatizacija sustava motrenja: a1) zasljanjenosti i kakvoće površinskih i podzemnih voda; a2) zasljanjenosti poljoprivrednog zemljišta; a3) meteoroloških i hidroloških pokazatelja korištenjem multi-senzorskih sustava,
- b) prikupljanje i povezivanje podataka putem razvijenog višezječnog programskog sustava,
- c) dostupnost kreirane platforme dionicima projekta,
- d) razvoj prognostičkih modela i planiranje mjera za sprječavanje / ublažavanje štetnog utjecaja na poljoprivrednu proizvodnju.



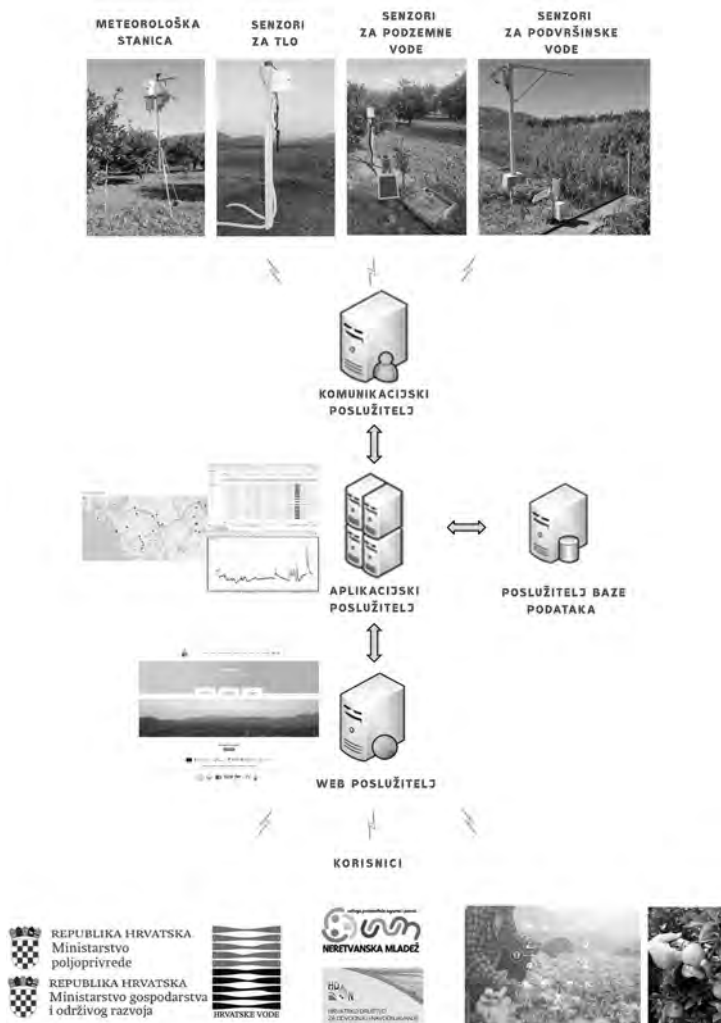
Slika 1. Karta lokacija uspostavljenog monitoringa površinskih voda, podzemnih voda i tla  
(izvor: portal DELTASAL)

## 2.2. Instalirana oprema

Kako bi se realizirali glavni i specifični ciljevi projekta, na dvije odabrane lokacije instaliran je veći broj mjernih postaja i senzora. Na lokacijama Luke i Vidrice uspostavljeni su sustavi automatskog monitoringa zaslanjenosti tla i voda. Za monitoring zaslanjenosti podzemnih voda, u uspostavljenim novim plitkim piezometrima (dubine 4 m i profila 110 mm) postavljene su višeparametarske sonde. Iste sonde postavljene su i u melioracijskim kanalima (MK) za monitoring zaslanjenosti površinskih voda. Višeparametarske sonde imaju mogućnost mjerenja većeg broja fizikalno - kemijskih pokazatelja: dubina (m) i temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) vode, pH i oksidacijsko redukcijski potencijal (mV), električna vodljivost ( $\text{mS cm}^{-1}$ ), ukupno otopljeni krutine (ppm), specifična gustoća morske vode ( $\sigma_T$ ), salinitet (PSU), otpornost ( $\Omega \text{ cm}$ ) i otopljeni kisik (%). Sonde su spojene na vlastiti sustav napajanja putem baterije i solarnog panela i u potpunosti su autonomne. Također, svaka sonda spojena je na vlastiti modem za prikupljanje i slanje podataka. U neposrednoj blizini piezometara instalirani su senzori u tlu na 4 dubine svakih 25 cm do ukupne dubine od 1 m. Senzori imaju mogućnost mjerenja temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), sadržaja vlage tla ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) i električne vodljivosti ( $\text{dS m}^{-1}$ ). Senzori su spojeni na data logger za prikupljanje i slanje podataka koji se napaja putem baterija i solarnog panela. Na lokaciji Vidrice u nasadu mandarine instalirana je meteorološka stanica koja ima mogućnost praćenja većeg broja pokazatelja uključujući temperaturu ( $^{\circ}\text{C}$ ) i vlažnost (%) zraka, brzinu vjetrova ( $\text{m s}^{-1}$ ), globalnu radijaciju ( $\text{W m}^{-2}$ ) i količinu oborina (mm). Meteo stanica ima vlastito napajanje putem solarnog panela i mogućnost slanja podataka. Također, na lokaciji Vidrice instalirane su i 4 postaje za praćenje hidroloških pokazatelja kao što su površinska brzina vode ( $\text{m s}^{-1}$ ) i razina vode (m). Jedna postaja nalazi se u melioracijskom kanalu u neposrednoj blizini instalirane višeparametarske sonde dok se ostale 3 nalaze duž glavnog kanala na različitim udaljenostima od crpne stanice Prag.

## 2.3. Prikupljanje podataka i razvijena baza podataka

Svaki od mjernih uređaja ima mogućnost slanja podataka u visokoj vremenskoj rezoluciji (minimalno 10 minutnoj) pomoću GSM mreže, međutim svaki sustav ima vlastitu web aplikaciju za pregled i preuzimanje podataka. Kako bi prikupljeni podaci bili dostupni za korištenje dionicima projekta, izrađena je baza podataka čija je kontinuirana nadopuna novim podacima omogućena kroz višejezični programski sustav s administrativnim i javnim sučeljem (slika 2). Javno sučelje predstavlja portal koji je dionicima projekta dostupan na korištenje uz prethodnu registraciju. Od uspostave istraživanja u 2020. godini do sada, sa svih mjernih postaja prikupljeno je preko 8 milijuna podataka.

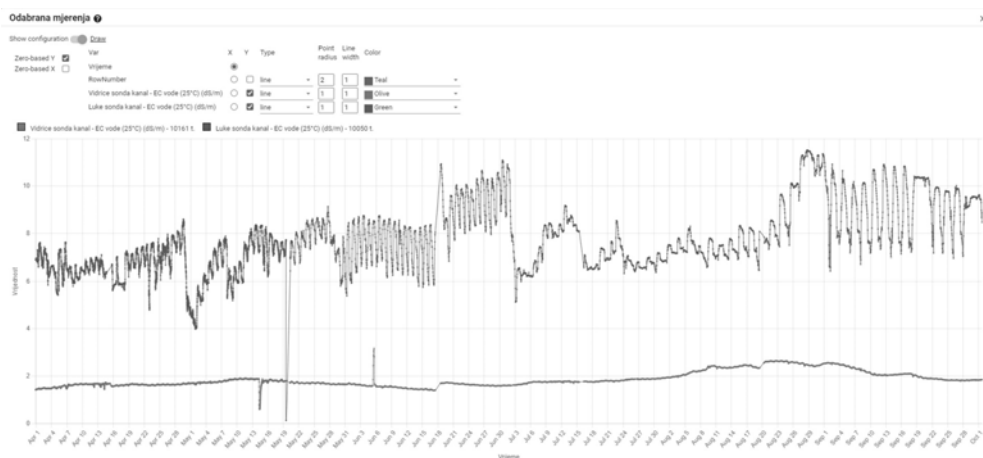


Slika 2. Shematski prikaz uspostavljenog višejezičnog sustava DELTASAL

## 2.4. Rezultati

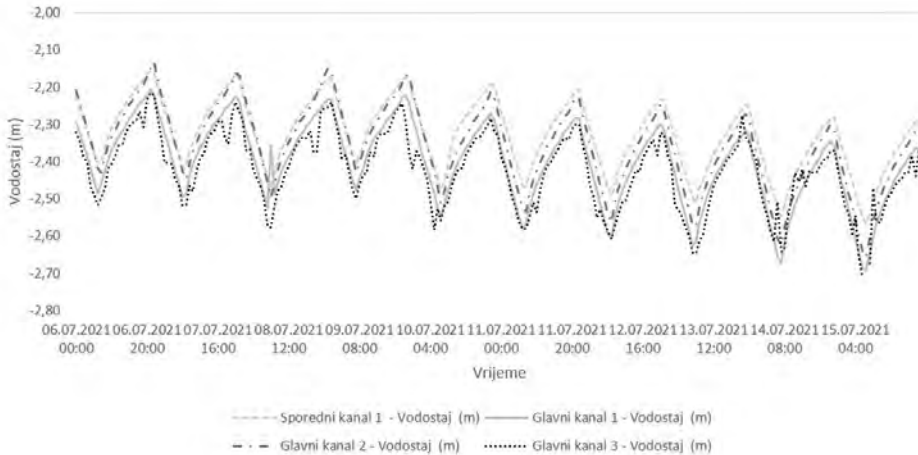
Klasičnim sustavom monitoringa uglavnom se prate promjene u mjesečnim intervalima, dok se uspostavljenim automatskim senzorskim sustavom taj vremenski interval značajno skraćuje uz mogućnost dobivanja podataka u realnom vremenu. Slika 3. prikazuje podatke o stupnju zaslanjenosti (pokazatelj: električna vodljivost - EC) površinskih voda u melioracijskim kanalima (MK) na lokacijama Luke i Vidrice u vegetacijskom razdoblju (travanj-rujan) 2020. godine dobivene višeparametarskim sondama. U MK Luke zabilježene vrijednosti EC kretale su se u rasponu od 4,0 do 11,5  $\text{dS m}^{-1}$ , s prosječnom vrijednosti od 7,2  $\text{dS m}^{-1}$ . Tako visoka prosječna vrijednost EC u

MK Luke kao i zabilježeni maksimum čini ovu vodu upravo u vegetacijskom razdoblju nepovoljnom za navodnjavanje poljoprivrednih kultura. U MK Vidrice zabilježene su vrijednosti EC dva do tri puta niže u odnosu na MK Luke, a prosječna vrijednost u tom razdoblju bila je 1,8 dS m<sup>-1</sup>. Osim toga na MK Vidrice promjene vrijednosti EC tijekom promatranog razdoblja bile su slabije izražene. Iako je dnevna dinamika promjene stupnja zaslanjenosti na MK Vidrice bila slabo izražena, instaliranim senzorima za mjerenje vodostaja zabilježene su dnevne promjene u vodostajima i na sporednom i na glavnom kanalu. Slika 4. prikazuje dnevne promjene vodostaja u promatranom desetodnevnom razdoblju (6. srpnja 2021. - 15. srpnja 2021.) koje su u prosjeku iznosile 0,3 m na svakoj od četiri instalirane postaje. Najviši vodostaji zabilježeni su u večernjim satima, prije puštanja crpne stanice u rad, a najniži u jutarnjim satima nakon prestanka crpljenja. Početni podaci prikupljeni automatskim monitoringom, osobito na lokaciji Luke, daju uvid u dnevne/24 satne promjene EC koje iznose i do 4 dS m<sup>-1</sup>, što upućuje na povezanost rada crpne stanice i stupnja zaslanjenosti vode u kanalima.



Slika 3. Grafički prikaz rezultata električne vodljivosti (EC) površinskih voda na lokacijama Luke i Vidrice (izvor: portal DELTASAL)





Slika 4. Dnevna promjena vodostaja na četiri postaje praćenja vodostaja (m) na lokaciji Vidrice u desetodnevnom razdoblju

### 3. ZAKLJUČAK

Instaliranim automatskim sustavom u dolini rijeke Neretve kojim se prate pokazatelji zaslanjivanja voda i tla, hidroloških i meteoroloških prilika moguće je detektirati promjene koje bi klasičnim monitoringom bile nezapažene, ali i razlučiti i kvantificirati dominantnost prirodnih i antropogenih utjecaja na evidentirane promjene. Identifikacija uzroka učestalih promjena daje adekvatnu podlogu za optimizaciju upravljanjem hidrotehničkim objektima unutar melioracijskog područja, a što je iz prikazanih rezultata posebno važno unutar hidromelioriranog područja delte Neretve. Važnost projekta ogleda se i u razvijenom višejezičnom programskom sustavu i sveobuhvatnoj bazi podataka koja je dostupna dionicima projekta, s naglaskom na dionike koji upravljaju sustavom i poljoprivredne proizvođače koji podatke mogu koristiti za planiranje poljoprivredne proizvodnje. U konačnici, projektom prikupljeni podaci i razvijena baza podataka bit će korišteni za razvoj i implementaciju različitih prognostičkih modela za predviđanje stupnja zaslanjenosti koji mogu poslužiti kao smjernice u planiranju budućeg načina gospodarenja vodama i tlima unutar ugroženih agroekosustava kao što su riječne delte koje su pod izravnim pritiskom klimatskih promjena, u prvom redu podizanja razine mora i intruzije morske vode u priobalna područja.



**LITERATURA**

- [1] EC (2000): Direktiva 2000/60/EC Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike
- [2] Narodne novine - NN (2019): Uredba o standardu kakvoće voda. 96
- [3] Narodne novine - NN (2019): Zakon o vodama. 66
- [4] O'Grady, J., Zhang, D., O'Connor, N., Regan, F. (2021): A comprehensive review of catchment water quality monitoring using a tiered framework of integrated sensing technologies, *Science of The Total Environment*, 765, 142766
- [5] Pasika, S., Gandla, S. (2020): Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. *Heliyon*, 6(7), e04096
- [6] Randhawa, S., Sandha, S., Srivastava, B. (2016): A Multi-sensor Process for In-Situ Monitoring of Water Pollution in Rivers or Lakes for High-Resolution Quantitative and Qualitative Water Quality Data. 19th IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering (CSE), IEEE 14th Intl Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), and 15th Intl Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering (DCABES), 122-129
- [7] Romić, D., Castrignano, A., Romić, M., Buttafuoco, G., Bubalo Kovačić, M., Ondrašek, G., Zovko, M. (2020): Modelling spatial and temporal variability of water quality from different monitoring stations using mixed effects model theory, *Science of The Total Environment*, 704; 1-10
- [8] Romić, D., Romić, M., Zovko, M., Bubalo, M., Ondrašek, G., Husnjak, S., Stričević, I., Maurović, N., Bakić, H., Matijević, L., Vranješ, M. (2014): Petogodišnje izvješće (2009-2013) monitoringa zaslanjivanja tla i vode u dolini Neretve, naručitelj Hrvatske vode
- [9] Romić, D., Zovko, M., Bubalo Kovačić, M., Ondrašek, G., Bakić Begić, H., Romić, M. (2019): PROCESI, DINAMIKA I TREND ZASLANJIVANJA VODA I TLA U POLJOPRIVREDNOM PODRUČJU DOLINE RIJEKE NERETVE. 7. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA. HRVATSKE VODE U ZAŠTITI OKOLIŠA I PRIRODE. 30.5.-1.6.2019., Opatija, str. 783-791
- [10] Vineis, P., Chan, Q., Khan, A. (2011): Climate change impacts on water salinity and health, *Journal of epidemiology and global health*, 1(1), 5-10

