

WATERCARE - projekt koji brine o kakvoći voda za kupanje s obje strane Jadrana

Marija Šikoronja^a, dipl.ing.biol., Đorđa Medić^a, dipl.ing.kem., Jasmina Antolić^b, dipl.ing.preh.teh., mr.sc. Neven Bujas^c, dipl.ing.kem.teh.

^aHrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, dorda.medic@voda.hr; marija.sikoronja@voda.hr

^bHrvatske vode, Sektor zaštite voda, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb, jasmina.antolic@voda.hr

^cHrvatske vode, Sektor razvitka, Glavni vodnogospodarski laboratorij, neven.bujas@voda.hr

SAŽETAK: Projekt WATERCARE ima za cilj doprinijeti poboljšanju kakvoće mora za kupanje smanjenjem potencijalnog mikrobiološkog onečišćenja korištenjem inovativnih alata u gospodarenju vodama. U okviru projekta istraživanja se provode na četiri pilot područja na kojima će se testirati alati razvijeni tijekom projekta, posebice sustav uzbuđivanja baziran na podacima hidrometeorološkog monitoringa i rezultatima prognostičkog operativnog modela.

KLJUČNE RIJEČI: INTERREG Italija-Hrvatska, integrirani sustav praćenja kakvoće vode (WQIS), bakteriološko onečišćenje voda, WATERCARE, Raša, Cetina, Neretva

INTERREG – financijski instrument europske regionalne politike

INTERREG EUROPE program je pokrenut s ciljem jačanja učinaka kohezijske politike Europske unije, sa ciljem smanjenja postojeće nejednakosti između regija Europske unije u pogledu njihovog ekonomskog i društvenog razvoja i održivosti okoliša, pritom uzimajući u obzir njihove specifične prostorne značajke i mogućnosti. Program pripremaju same države članice, a sufinancira se iz sredstava Europskog fonda za regionalni razvoj.

"Interreg V-A" prvi je program prekogranične suradnje Italija - Hrvatska za razdoblje 2014. - 2020., a nastavak je aktivnosti vezanih za Jadransku prekograničnu suradnju te programa transnacionalne suradnje Mediterana i Jugoistočne Europe. Program novog financijskog razdoblja fokus stavlja na razmjenu znanja i iskustava, zatim na daljnje razvijanje i provedbu pilot aktivnosti uz testiranje izvedivosti novih politika, proizvoda i usluga. Program će pridonijeti oslobodjenju "potencijala plavog rasta" kroz ulaganje u istraživanje i investiranje u sektore plavog gospodarstva. Jedan od niza zajedničkih projekata hrvatskih i talijanskih regija sufinanciranih ovim programom je i projekt „Vodnogospodarska rješenja za smanjenje mikrobiološkog utjecaja na okoliš u priobalnim područjima - WATERCARE“ (*engl.* „Water management solutions for reducing microbial environmental impact in coastal areas“).

Turizam je važna grana gospodarstva obalnih područja, kako na hrvatskoj tako i na talijanskoj strani Jadranskog mora. Kakvoća mora za kupanje ima značajnu ulogu u kvalitetnoj turističkoj ponudi i ključan je pokazatelj u valorizaciji destinacije. Meteorološki i hidrografski ekstremi, kao posljedica klimatskih promjena, značajno utječu na kakvoću mora za kupanje, a naročito promatramo li mikrobiološke pokazatelje kao indikatore sanitarne ispravnosti mora za kupanje i rekreaciju.

Projekt WATERCARE zadovoljio je postavljene kriterije za provedbu projekata iz ovog programa te su u siječnju 2019. godine otpočele aktivnosti na njegovoj provedbi. Dovršetak projekta planiran je za kraj 2021. godine. Ukupni budžet projekta iznosi 2.833.019,40 eura.

Jedan od ciljeva projekta WATERCARE je okupiti talijanske i hrvatske organizacije kako bi se problem mogućeg mikrobiološkog onečišćenja morske vode smanjio koordiniranim djelovanjem širokog spektra partnera i aktivnosti.

U projektu, osim vodećeg (Nacionalno vijeće za istraživanje, Institut za biološke resurse i morsku biotehnologiju – CNR IRBIM) sudjeluje i devet projektnih partnera iz Italije i Hrvatske.

Tablica 1. Popis partnera

Vodeći partner	Nacionalno vijeće za istraživanje, Institut za biološke resurse i morsku biotehnologiju (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine-CNR IRBIM)
Projektni partner 1	Komunalno društvo Fano (Azienda servizi sul territorio-ASET S.p.A.)
Projektni partner 2	Pokrajina Marche (Regione Marche-MARCHE)
Projektni partner 3	Pokrajina Abruzzo (Regione Abruzzo-ABRUZZO)
Projektni partner 4	Sveučilište u Urbinu "Carlo Bo", Odjel za molekularnu biologiju (Universita degli studi di Urbino Carlo Bo, Dipartimento di Scienze Biomolecolari, UNIURB-DIS)
Projektni partner 5	Splitsko - dalmatinska županija (SDŽ)
Projektni partner 6	Dubrovačko – neretvanska županija (DNŽ)
Projektni partner 7	Sveučilište u Splitu (UNIST)
Projektni partner 8	Metris, Istra (METRIS) - zamijenjen je Istarskim veleučilištem
Projektni partner 9	Hrvatske vode (CW)
Projektni partner 10	Istarsko veleučilište (IV)



Slika 1. Prikaz projektnog područja

Mikrobiološko onečišćenje mora prijetnja je sigurnosti kupaća

Čisto, plavo more želja je i cilj svake uspješne turističke destinacije svugdje u svijetu, pa tako i na Jadranu, sa obje njegove strane, hrvatske i talijanske. Izazovi urbanizacije obalnih gradova ali i povećanja turističkih kapaciteta čemu turistički sektor uvijek teži, predstavljaju značajan pritisak na kakvoću morskog okoliša i sigurnost voda za kupanje. Nedovoljna izgrađenost sustava javne odvodnje, nezadovoljavajuća izvedba individualne odvodnje, nedostatno pročišćavanje komunalnih otpadnih voda – sve su to razlozi koji povećavaju rizik fekalnog onečišćenja priobalnih voda. Ovoj slici možemo dodati i klimatološke promjene kojima svjedočimo posljednjih godina, a koje se očituju i u sve učestalijim iznenadnim, usko lokaliziranim provalama jakih oborina koje postojeća oborinska odvodnja priobalnih naselja često ne može prihvatiti.

Prilikom intenzivnih oborina snažno je otjecanje oborinskih voda gradova prema rijekama i moru, a aktiviraju se i kišni preljevi sustava javne odvodnje koji mogu donijeti značajno onečišćen prvi val oborina kojim će u more dospijeti i veća količina bakterija fekalnog porijekla. Ukoliko se u blizini ovakvih preljeva nalaze plaže, morska voda može biti mikrobiološki onečišćena i nekoliko dana neprikladna za kupanje.

Kakvoća svih voda za kupanje – mora i kopnenih voda – regulirana je na razini EU posebnom direktivom transponiranom i u nacionalne zakone država članica, a koja propisuje standarde kakvoće voda za kupanje praćenjem prisustva dva mikrobiološka pokazatelja – bakterije *Escherichiae coli* i crijevnih enterokoka kao indikatora eventualnog fekalnog onečišćenja. Direktiva daje i smjernice za upravljanje vodama za kupanje na način da se primjenom integriranih programa evaluira rizik onečišćenja i usvoje odgovarajuće preventivne radnje kojima bi se taj rizik dodatno smanjio.

Jedan od mogućih pristupa je modeliranje puteva i mogućih dosega mikrobiološkog onečišćenja i načina za njegovo smanjenje ili eliminaciju. Spoznavanje utjecaja naglog prodora oborinskih voda na kakvoću mora i razvoj prediktivnih modela koji bi na vrijeme pružili informaciju o riziku za pogoršanje kakvoće vode na plažama, značajno bi olakšali upravljanje vodama za kupanje i donošenje odluka i informiranje javnosti o sigurnosti kupanja.

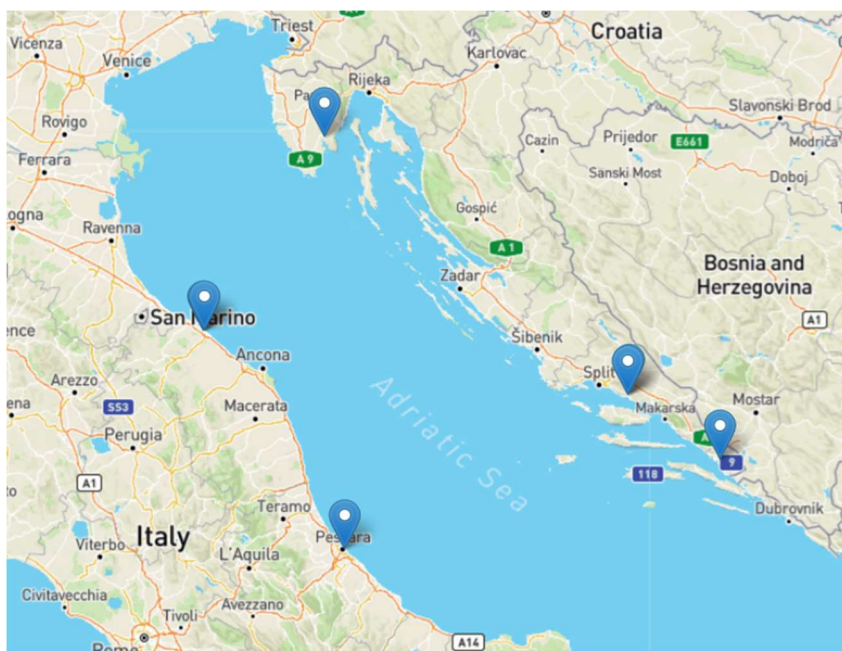
Vodeći se ovim promišljanjima, jednako relevantnim na hrvatskoj i talijanskoj obali Jadrana, osmišljen je i projekt WATERCARE. Zadatak projekta je praćenje, pravodobno upozoravanje na rizik onečišćenja i posljedično smanjenje mikrobiološkog onečišćenja na pet odabranih pilot područja – kupališta u blizini ušća rijeka Arzilla u gradu Fano i Pescara u istomenom gradu u Italiji te ušća Raše, Cetine i Neretve u Hrvatskoj. Osim poboljšanja kakvoće lokalnih voda, ovaj projekt ima za cilj razviti i model kojim se namjerava podržati procese odlučivanja u upravljanju vodama za kupanje i to modeliranjem i simulacijom širenja onečišćenja mora uz ušća rijeka tijekom i nakon jakih kišnih događaja, osobito ako se pri tom aktiviraju i kišni preljevi sustava odvodnje. Tako bi se omogućilo i lakše planiranje monitoringa mora za kupanje kao i donošenje mjera za ublažavanje posljedica jakih kiša koje bi inače mogle dovesti i do zabrane kupanja.

Područja provedbe projekta

Svih pet područja uključenih u projekt nalaze se u gradovima smještenima uz ušća rijeka i pod utjecajem su riječne vode ali i otpadnih voda lokalnih sustava odvodnje. Hrvatska obala je uglavnom stjenovita i razvedena, sa mnogo otoka, dok je talijanska obala sedimentnog tipa, sa pješčanim, niskim obalama. Kako bi spriječili eroziju ovako niske obale djelovanjem morskih

valova, uz talijanske obale gradova Fano i Pescara izgrađene su barijere, djelomično uronjene, a djelomično površinske. Modeliranjem širenja onečišćenja koje donose rijeke nakon naglih oborina, potvrđeno je da upravo ove barijere zadržavaju mikrobiološko onečišćenje bliže obali pogoršavajući kakvoću mora i uzrokujući zabrane kupanja na plažama koje se nalaze tik uz ušće.

U Fanu, obilne oborine uzrokuju prelijevanje sustava odvodnje u rijeku Arzilla, pa je jedna od projektnih aktivnosti u Fanu bila i izgradnja odgovorajućeg retencijskog bazena koji bi zadržavao onečišćene vode 24-48 sati i spriječio da one dospiju u rijeku i zatim u more. U Pescari lokalne vlasti planiraju drugačiju izvedbu morskih barijera i samog ušća rijeke Pescara u more, kako se potencijalno onečišćenje koje donosi rijeka ne bi zadržavalo uz plaže, već usmjerilo u suprotnom smjeru. Na obje lokacije instalirane su automatske mjerne postaje i/ili mjerne sonde kojima se u realnom vremenu prate ključni hidrološki pokazatelji i pokazatelji mogućeg onečišćenja.



Slika 2. Prikaz pilot područja

Iako je kakvoća mora uz hrvatsku obalu u pravilu izvrsne kakvoće i zabrana kupanja zbog mogućeg onečišćenja nije uobičajena, rizici za zdravlje kupaca postoje i ovdje.

Utokom rijeke Raše i njene pritoke, kanala Krapanj, u duboki, poluzatvoreni zaljev Raša dopijevaju otpadne i oborinske vode naselja u slivu ovih vodotoka. Također, dodatni rizik predstavlja i teretna luka u zaljevu Raša zbog učestalog brodskog prometa i mogućeg iznenadnog onečišćenja naftom, čemu smo svjedočili prije par godina. Za raško pilot-područje stoga je odlučeno da se, osim automatske mjerne postaje i uređja za automatsko uzorkovanje vode, postavi i senzor za naftu u samoj luci gdje je i rizik curenja nafte najveći. Automatska mjerna postaja i uzorkivač postavljeni su u prostoru crpne stanice „Štalije“, dok je senzor za naftu postavljen na području luke Raša. Funkcionalnost opreme je postignuta u prvoj polovici 2020. godine.

Grad Omiš nalazi se na ušću rijeke Cetine i drugo je hrvatsko pilot područje projekta. Uz lijevu obalu na ušću nalazi se umjetno izgrađeno pristanište koje usmjerava riječne vode prema

plažama. Pročišćene otpadne vode dugim podmorskim ispustom ispuštaju se u more 1.600 m od obale, no u gradu je i nekoliko crpnih stanica koje u slučaju obilnih kiša prelijevaju potencijalno onečišćene, nepročišćene vode u rijeku Cetinu i u more.

Slična je situacija i na ušću Neretve koja prima i nepročišćene vode naselja Opuzena i Metkovića iz hrvatskog dijela svog toka, ali ih značajno i razrjeđuje. Otpadne vode Ploča ulijevaju se u more.

U proljeće 2021. godine na ušću Cetine i na ušću Neretve postavljene su i stavljene u funkciju automatske mjerne postaje i oprema za automatsko uzimanje uzoraka.



Slika 3. Automatska mjerna postaja na Raši (smještena unutar crpne stanice Štalije)



a) Nizvodno od HE zakučac



b) Marina Omiš

Slika 4. Automatske mjerne postaje na Cetini



Slika 5. Automatska mjerna postaja na Neretvi

Monitoring kakvoće voda na ciljanim područjima projekta

Na svim područjima projekta planirana je identična strategija uzimanja uzoraka i analiza pokazatelja kakvoće voda kako bi se dobiveni podaci mogli koristiti pri modeliranju. Pretpostavka je da se tako ispita mogućnost uspostavljenog modela da procjenom rizika pojave mikrobiološkog onečišćenja koje donosi rijeka nakon većih oborina predvidi okolnosti pojave ovog rizika na hidrološki i ocenografski različitim područjima.

Uzorci se uzimaju automatskim uzorkivačem smještenim uz mjernu postaju u rijeci, uzvodno od ušća, ali i ručnom opremom za uzorkovanje tijekom nekoliko kišnih i nekoliko sušnih perioda. Preostale točke uzorkovanja raspoređene su u moru na udaljenosti od 50, 100, 150, 200 i 300 m od obale kako bi se pratilo širenje mikrobiološkog onečišćenja u moru, a uzorkovanje se obavlja ručno. Dio analiza, uključivo mikrobiološke pokazatelje, provodi se u ovlaštenom laboratoriju, a dio opremom ugrađenom u automatsku mjernu postaju koja se aktivira pri zadanoj količini oborina, mjeri zadane pokazatelje u realnom vremenu i zatim uzima uzorke u pravilnim vremenskim razmacima sukladno programiranim postavkama.

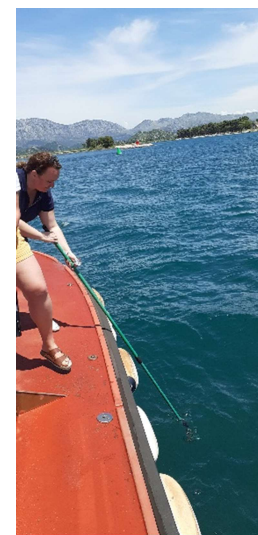
Tablica 2. Popis pokazatelja koji se prate na pilot područjima u Hrvatskoj

POKAZATELJI	Vodotok	More
Fizikalno-kemijski		
Temperatura zraka (°C)	$S_{AP}/^*$	da
Temperatura vode (°C)	$S_{AP}/^*$	da
pH	$S_{AP}/^*$	S/LAB
Redoks potencijal (mV)	$S_{AP}/^*$	S/LAB
Električna vodljivost (mS/cm)	$S_{AP}/^*$	S/LAB
Mutnoća (NTU)	$S_{AP}/^*$	S/LAB
Salinitet (PSU)	$S_{AP}/^*$	S/LAB
Zasićenje kisikom (%O ₂ zas.)	$S_{AP}/^*$	S/LAB

Otopljeni kisik O ₂ (mg/L)	S _{AP} /*	S/LAB
Biokemijska potrošnja kisika-BPK ₅ (mg/L)	LAB	ne
Kemijska potrošnja kisika-KPK _{Mn} (mg/L)	LAB	ne
Amonij (mgN/L)	LAB	ne
Ukupni dušik (mgN/L)	LAB	ne
Ukupni fosfor (mgP/L)	LAB	ne
Mikrobiološki		
Escherichia coli (CFU/100 ml)	LAB	LAB
Crijevni enterokok (CFU/100 ml)	LAB	LAB

Legenda: S_{AP} – automatska mjerna postaja; S – analiziranje multiparametarskom sondom; LAB – laboratorijska analiza; ne – analiza se ne provodi u predmetnom mediju

Svi analitički podaci – hidrološki, meteorološki i fizikalno-kemijski - prikupljeni u realnom vremenu kao i rezultati laboratorijskih analiza spremaju se u jedinstvenu bazu podataka i mogu se vizualizirati korištenjem ugrađenih alata.



a) Uzorkovanje automatske mjerne postaje

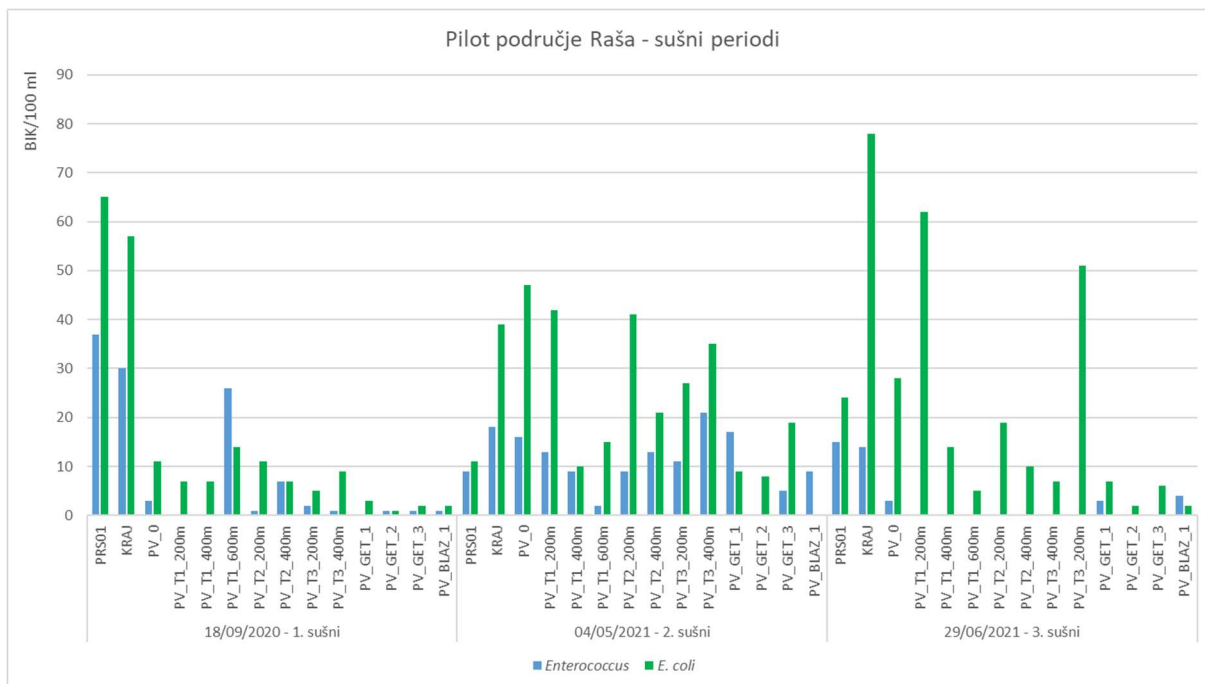
b) Uzorkovanje morske vode

Slika 6. Prikaz postupka uzorkovanja

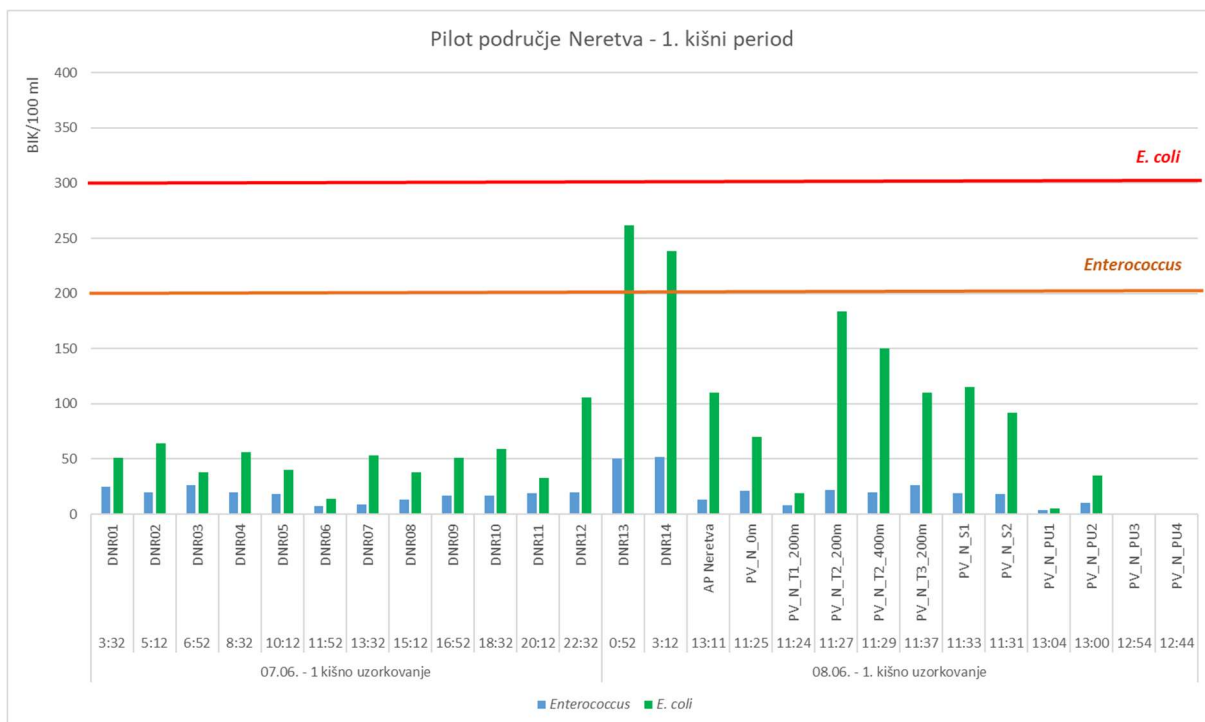
Dosad su obavljena tri uzorkovanja sušnih perioda na pilot području rijeke Raše te po dva na području Cetine i Neretve. Na području Raše je obavljeno uzorkovanje tijekom četiri kišna događaja, dok su na ostalim pilot područjima uzorkovana po dva kišna događaja.

Rezultati monitoringa bit će prikazani po dovršetku projekta, no obavljene su preliminarne analize rezultata dosadašnjih uzorkovanja (slike 7. i 8.).

U svim sušnim periodima na svim pilot područjima obavljena bakteriološka uzorkovanja su ukazala na izvrsnu i/ili dobru kakvoću prema standardima za ocjenu kakvoće mora nakon svakog ispitivanja (Uredba o kakvoći mora za kupanje, Narodne novine 73/2008).



Slika 7. Grafički prikaz rezultata bakterioloških analiza (crijevni enterokoki – *Enterococcus* i *Escherishia coli*) na području ušća rijeke Raše, granica nezadovoljavajućeg stanja je iznad 200 BIK/100 ml za crijevne enterokoke i iznad 300 BIK/100 ml za *E. coli*.



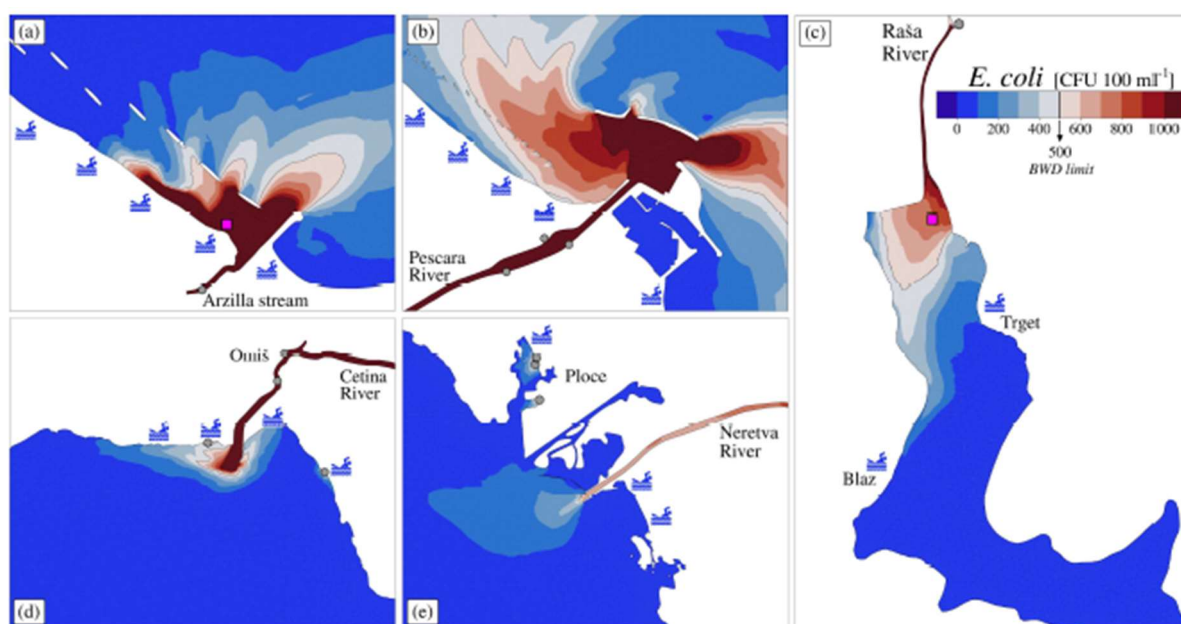
Slika 8. Grafički prikaz rezultata bakterioloških analiza (crijevni enterokoki – *Enterococcus* i *Escherishia coli*) na području ušća rijeke Neretve, prvi kišni peiod, granica nezadovoljavajućeg stanja je iznad 200 BIK/100 ml za crijevne enterokoke i iznad 300 BIK/100 ml za *E. coli*.

Numerički model i integrirani sustav praćenja kakvoće vode (WQIS)

Vodeći partner projekta implementirao je i numerički model priobalnih voda (skr. FOM) kojim se simulira i predviđa širenje bakterijskog onečišćenja mora na promatranim područjima projekta. FOM alat je zasnovan na SHYFEM kodu, hidrodinamičkom modelu otvorenog koda, sa visokom rezolucijom duž obale. Intencija autora je da će model dati izlazne vrijednosti trodnevne predikcije koncentracije bakterija u moru, kao i prognoze strujanja, temperature mora i saliniteta.

Kako bi se simuliralo mikrobiološko onečišćenje, kombinira se hidrodinamički modul (opisuje strujanja i miješanje vodenih masa u sustavu), transportno-disperzijski modul (simulira širenje mikroorganizama kroz sustav) te modul mikrobne degradacije (opisuje odumiranje mikroorganizama pod utjecajem različitih uvjeta okoliša). Model se validira usporedbom rezultata simulacije sa rezultatima analiza stvarnih uzoraka sa monitoring postaja na područjima provedbe projekta.

Prvi zaključci numeričkog modela izvedeni i validirani temeljem mjerenja provedenih tijekom ljetnih mjeseci 2020. godine pokazuju da su razrjeđivanje i miješanje vodenih masa imali značajan utjecaj na smanjenje koncentracije bakterija. Cirkulacija riječne vode u estuariju pogoduje transportu onečišćenja prema moru tijekom oseke, a zbog termohaline stratifikacije uočava se i vertikalni gradijent koncentracija bakterija na promatranim područjima projekta. Kombinacija analitičkih podataka izmjerenih na monitoring točkama i vrijednosti dobivenih modelom poboljšat će pouzdanost modela i dovesti do njegovog unaprjeđenja, kao i do napretka u planiranju i optimiziranju monitoringa kakvoće voda na plažama.



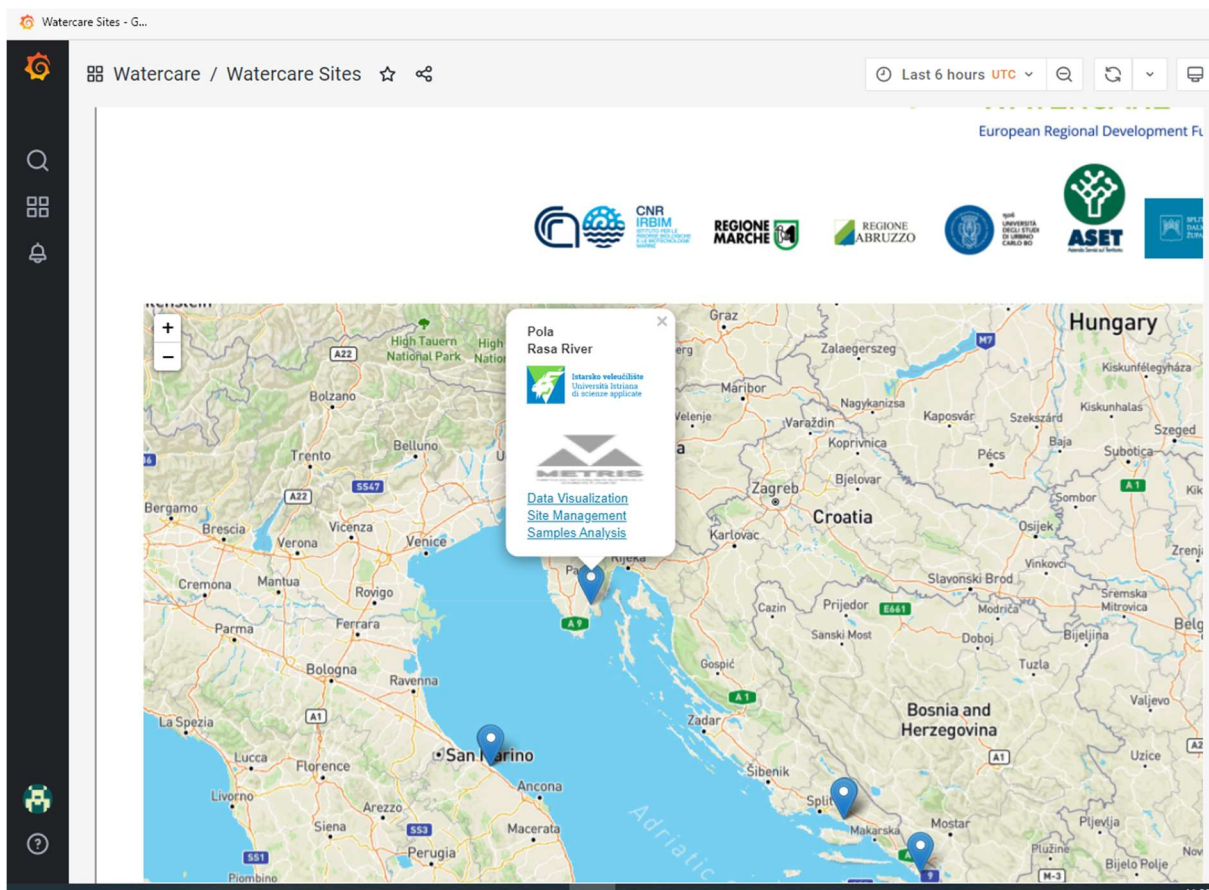
Slika 9. Primjer rezultata numeričkog modeliranja bakterijskog raspršenja na projektnim pilot područjima (izvor: Ferrarin C. et al. Modelling the Quality of Bathing Waters in the Adriatic Sea. Water. 2021; 13(11):1525.)

Jedna od značajnih izlaznih vrijednosti projekta uključuje i razvoj integriranog sustava praćenja kakvoće vode (engl. Water Quality Integrated System, skr. WQIS) kako bi se korelirali meteorološki događaji i reakcije sustava odvodnje sa mikrobiološkim utjecajem na kakvoću

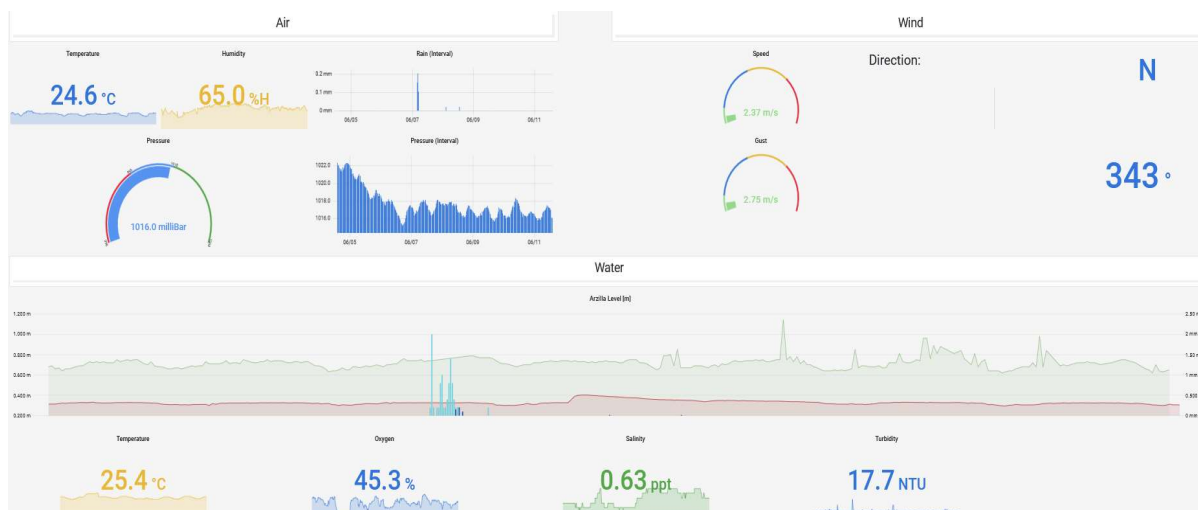
morskih voda za kupanje. WQIS se sastoji od hidrometeorološke monitoring mreže u stvarnom vremenu, sustava za automatsko uzorkovanje vode i in-situ mjerenje fizikalno-kemijskih pokazatelja, monitoring mreže kakvoće vode i ranije opisanog prediktivnog numeričkog modela.

U praksi, WQIS bi preventivno identificirao rizik mikrobiološkog onečišćenja mora uslijed pojačanog dotoka riječnih voda i prelijevanja sustava odvodnje nakon pojave oborina i posljedično, potencijalne fekalne kontaminacije mora na plažama. U tom slučaju, WQIS bi u realnom vremenu signalizirao nadležnim službama potrebu aktivacije mjera upravljanja na sustavu odvodnje sa ciljem prevencije mikrobiološkog opterećenja prirodnog prijammnika.

Talijanski partneri bi integracijom pilot-postrojenja u Fanu uz implementaciju navedenog sustava (WQIS-a) nastalog tijekom provedbe ovog projekta postigli uspješnije upravljanje otpadnim vodama nakon oborina i postigli smanjenje negativnog utjecaja otpadnih voda na obalno područje.



Slika 10. Prikaz sučelja integriranog sustava praćenja kakvoće voda (WQIS)



Slika 11. Prikaz sučelja s podacima koje bilježe automatske mjerne postaje

Dodatne informacije

Osim provođenja znanstveno-istraživačkih aktivnosti, projekt je predstavljen na raznim seminarima, radionicama i konferencijama, prezentiran je studentima i učenicima. Svi detalji vezani uz ostale aktivnosti projekta mogu se pratiti na službenim internetskim stranicama projekta (<https://www.italy-croatia.eu/web/watercare>) kao i na internetskim stranicama projektnih partnera.