

Hrvatsko hidrološko društvo  
u suradnji s  
Hrvatskim društvom za zaštitu voda i  
Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje  
*organizira*

ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

# HIDROLOGIJA U SLUŽBI ZAŠTITE I KORIŠTENJA VODA TE SMANJENJA POPLAVNIH RIZIKA – SUVREMENI TRENDOS I PRISTUPI

18. - 20. listopada 2018. | Bluesun Soline, Brela



**ZBORNİK RADOVA**

**ZNANSTVENO STRUČNI SKUP**  
s međunarodnim sudjelovanjem

**HIDROLOGIJA U SLUŽBI ZAŠTITE I KORIŠTENJA  
VODA TE SMANJENJA POPLAVNIH RIZIKA –  
SUVREMENI TRENDovi I PRISTUPI**

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE**  
With International Participation

**HYDROLOGY IN SERVICE OF WATER  
PROTECTION, WATER USE AND FLOOD RISK  
REDUCTION  
– RECENT TRENDS AND APPROACHES –**

---

**ZBORNİK RADOVA  
PROCEEDINGS**

---

Brela, 18. - 20. listopada 2018.

***Izdavač:***

HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO  
Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb

***Urednici:***

dr.sc. Josip Rubinić, mr.sc. Ivana Ivanković, Gordana Bušelić

***Fotografija na naslovnici:***

dr.sc. Josip Rubinić

***Priprema i lektura (hrvatski):***

Tamara Crnko

***Lektura (engleski):***

Tatjana Jauk

***Tehnički urednik:***

Damir Ljubičić

***Grafička obrada, prijelom i tisak:***

MIODIO d.o.o. Rijeka

***Naklada:***

200 primjeraka

ISBN 978-953-96705-4-0

CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne  
knjižnice u Zagrebu pod brojem 001009074

---

Odgovornost za stručnu i jezičnu ispravnost teksta preuzeli su autori.

Izdavač i urednik ovog Zbornika radova te organizatori Skupa ne snose odgovornost za  
mišljenje i stavove autora.

**ORGANIZATORI SKUPA:**

Hrvatsko hidrološko društvo

u suradnji s:

Hrvatskim društvom za odvodnju i navodnjavanje i

Hrvatskim društvom za zaštitu voda

**ZNANSTVENO-ORGANIZACIJSKI ODBOR:**

dr.sc. Damir Bekić

dr.sc. Danko Biondić

dr.sc. Ranko Biondić

Gordana Bušelić

Tamara Crnko

dr.sc. Ivan Čanjevac

dr.sc. Danko Holjević

dr.sc. Bojana Horvat

mr.sc. Ivana Ivanković

dr.sc. Barbara Karleuša

Zdenko Kereša

Željka Klemar

dr.sc. Igor Ljubenkov

dr.sc. Dijana Oskoruš

dr.sc. Maja Oštrić

mr.sc. Roman Ozimec

dr.sc. Nevenka Ožanić

dr.sc. Mara Pavelić

dr.sc. Krešimir Pavlić

Maja Radišić

dr.sc. Davor Romić

dr.sc. Josip Rubinić

Ivana Šarić

dr.sc. Marija Šperac

mr.sc. Mirjana Švonja

dr.sc. Josip Terzić

Renata Vidaković Šutić

dr.sc. Ranko Žugaj

**RECENZENTI:**

dr.sc. Damir Bekić

dr.sc. Ranko Biondić

dr.sc. Danko Holjević

dr.sc. Bojana Horvat

mr.sc. Ivana Ivanković

dr.sc. Barbara Karleuša

Zdenko Kereša

Željka Klemar

dr.sc. Nino Krvavica

dr.sc. Jasmina Lukač Reberski

dr.sc. Igor Ljubenkov

dr.sc. Dijana Oskoruš

dr.sc. Maja Oštrić

dr.sc. Nevenka Ožanić

dr.sc. Krešimir Pavlić

dr.sc. Josip Rubinić

Ivana Šarić

dr.sc. Marija Šperac

mr.sc. Mirjana Švonja

Renata Vidaković Šutić

dr.sc. Ranko Žugaj



**ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP  
HIDROLOGIJA U SLUŽBI ZAŠTITE I KORIŠTENJA VODA  
TE SMANJENJA POPLAVNIH RIZIKA  
– SUVREMENI TRENDovi I PRISTUPI**

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE  
HYDROLOGY IN SERVICE OF WATER PROTECTION,  
WATER USE AND FLOOD RISK REDUCTION  
– RECENT TRENDS AND APPROACHES**

Brela, 18. - 20. listopad 2018.

---

**ZBORNİK RADOVA  
PROCEEDINGS**

*Urednici / Editors:*

**dr.sc. Josip Rubinić**

**mr.sc. Ivana Ivanković**

**Gordana Bušelić**

Brela, 18. - 20. listopada 2018.



---

## SADRŽAJ

### PREDGOVOR

#### I. CJELOVITI RADOVI

1. Andrijana Brozinčević, Tea Frketić, Nikola Markić, Maja Vurnek, Kazimir Miculinić  
**PROMJENE HIDROLOŠKIH UVJETA I MORFOLOGIJE  
 JEZERA I SEDRENIH BARIJERA PLITVIČKIH JEZERA** ..... 17
2. Nenad Buzjak, Ivan Čanjevac, Ivan Vučković, Ivan Martinić, Luka Valožić  
**GEOKOLOŠKA ANALIZA PARKA PRIRODE I OKOLICE  
 VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI** ..... 25
3. Goran Gjetvaj, Goran Lončar  
**TEST INTEGRALNOG PROBNOG CRPLJENJA** ..... 35
4. Sanja Kapelj, Dragana Dogančić, Igor Plantak, Jelena Loborec  
**PORIJEKLO I RASPODJELA KADMIJA U TLIMA  
 NP PLITVIČKA JEZERA** ..... 45
5. Barbara Karleuša, Sanja Dugonjić Jovančević, Nevenka Ožanić, Nevena Dragičević,  
 Ivana Sušanj Čule  
**PREGLED POSTUPAKA PROCJENE UTJECAJA HIDROTEHNIČKIH  
 ZAHVATA NA OKOLIŠ U HRVATSKOJ OD 2013. GODINE** ..... 53
6. Zdenko Kereša, Igor Tošić  
**DOPRINOS DEFINIRANJU UTJECAJA PRONOSA NANOSA  
 U SLIVU RIJEKE DRAVE** ..... 63
7. Natalija Matić, Dragan Majić  
**GEOMORFOLOŠKA I HIDROGRAFSKA OBILJEŽJA  
 JUŽNOG DIJELA BOKOVA** ..... 73
8. Melita Perčec Tadić, Irena Nimac  
**KLIMATOLOŠKE KARTE MJESEČNE KOLIČINE OBORINE  
 S PROCJENOM POUZDANOSTI** ..... 81
9. Andrija Rubinić  
**KARTIRANJE I DINAMIKA POPLAVLJIVANJA  
 NA PODRUČJU LIKE U OŽUJKU 2018. GODINE** ..... 91
10. Rok Soczka Mandac, Samo Čarman, Alenka Šajn Slak  
**PRAĆENJE ZONE UTJECAJA SLATKE VODE (KOPARSKI ZALJEV)** ..... 101
11. Ivana Šarić, Domagoj Vranješ, Goran Lončar  
**STRATEŠKA PROCJENA I PROCJENA UTJECAJA NA OKOLIŠ U  
 KONTEKSTU ZAŠTITE I GOSPODARENJA VODAMA** ..... 111
12. Goran Volf, Nino Krvavica, Nevena Dragičević, Elvis Žic  
**UPRAVLJANJE SLIVNIM PODRUČJEM S OBZIROM NA  
 STANJE MORSKOG EKOSUSTAVA SJEVERNOG JADRANA** ..... 123



---

13.	Tatjana Vujnović, Dijana Oskoruš, Jadran Berbić, Kornelija Macek <b>OPERATIVNO HIDROLOŠKO PROGNOZIRANJE DHMZ-A NA PRIMJERU IZABRANIH DOGAĐAJA 2017. GODINE</b> .....	133
14.	Elvis Žic, Nevenka Ožanić, Goran Volf, Ivana Sušanji Čule <b>ANALIZA POVRŠINSKIH I PODZEMNIH VODA NA PODRUČJU KLIZIŠTA GROHOVO</b> .....	143
15.	Elvis Žic, Nevenka Ožanić, Goran Volf, Ivana Sušanji Čule <b>PROCJENA NASTANKA TOKA KRUPNOZRNATOG I SITNOZRNATOG MATERIJALA NA SREDNJEM TOKU VODOTOKA RJEČINE</b> .....	153
<b>II. PROŠIRENI SAŽETCI</b>		
16.	Ivana Bartolić, Mladen Petrićec <b>MODELIRANJE OTJECANJA S KRŠKOG SLIVA PRIMJENOM PROGRAMSKOG PAKETA HEC-HMS</b> .....	165
17.	Damir Bekić, Željko Pavlin, Vedran Ivezić <b>O INDIKATORIMA PROMJENA VODNOG REŽIMA NA RIJEKAMA</b> .....	169
18.	Čedomir Benac, Josip Rubinić, Maja Radišić, Igor Ružić <b>IZVORI U BAKARSKOM ZALJEVU</b> .....	173
19.	Jadran Berbić <b>PRIMJENA NADZIRANOG UČENJA ZA REKONSTRUKCIJU PROTOKA NA PRIMJERU EKSTREMNOG VELIKOVODNOG DOGAĐAJA</b> .....	177
20.	Ranko Biondić, Josip Rubinić, Božidar Biondić, Hrvoje Meaški, Maja Radišić <b>OCJENA STANJA PODZEMNIH VODA U PODRUČJU DINARSKOG KRŠA U HRVATSKOJ</b> .....	181
21.	Perica Bušić, Marijana Kotaran Munda, Renata Vidaković Šutić, Matko Bišćan <b>REVITALIZACIJA RUKAVACA NA RIJECI DRAVI U SKLOPU DRAVA LIFE PROJEKTA</b> .....	185
22.	Ivan Čanjevac, Ivan Vučković <b>METODOLOŠKI PRISTUPI ODREĐIVANJU EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIH PROTOKA</b> .....	189
23.	Gorana Ćosić Flajsig, Ivan Vučković, Barbara Karleuša, Mladen Petrićec <b>HOLISTIČKI PRISTUP DEFINIRANJU EKOLOŠKI PRIHVATLJIVOG PROTOKA KAO MJERE ODV-A</b> .....	193
24.	Maja Čuže Denona, Maja Radišić, Maja Bjelić, Josip Rubinić <b>HIDROLOGIJA MALIH VODNIH EKOSUSTAVA - PRIMJER LOKVE BENČA KOD PIROVCA</b> .....	197

---

25.	Sanja Dugonjić Jovančević, Josip Rubinić, Igor Ružić, Maja Radišić <b>UTJECAJ FLIŠKIH I KRŠKIH STRUKTURA NA DINAMIKU PROTJEKANJA PODZEMNIH VODA I POJAVU EKSTREMNIH SITUACIJA U SLIVU IZVORA SV. IVAN U ISTRI</b> .....	201
26.	Marina Filipović, Josip Terzić, Jasmina Lukač Reberski, Tihomir Frangen <b>REGIONALNA HIDROGEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA ŠIREG SLJEVNOG PODRUČJA BAČINSKIH JEZERA</b> .....	205
27.	Danko Holjević, Josip Rubinić, Ivana Mihalić Fabris, Marinko Galiot <b>PONOVNA UPOTREBA VODE – STANJE U SVIJETU I MOGUĆNOSTI U HRVATSKOJ</b> .....	209
28.	Bojana Horvat, Maja Oštrić <b>DALJINSKA ISTRAŽIVANJA U HIDROLOGIJI I HIDROLOŠKOM MODELIRANJU</b> .....	213
29.	Ivana Ivanković, Kristijan Posavec <b>ZAGREB NA SAVI – ENERGETIKA U SLUŽBI ZAŠTITE PODZEMNIH VODA</b> .....	217
30.	Vedran Ivezić, Damir Bekić, Bojana Horvat, Vlatko Kadić <b>PROCJENA PROSTORNE RASPODJELE TEMPERATURE ZRAKA I EVAPOTRANSPIRACIJE UZ INTEGRACIJU DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA</b> .....	221
31.	Željka Klemar <b>DALJINSKA ISTRAŽIVANJA POPLAVNIH DOGAĐAJA</b> .....	225
32.	Nino Krvavica, Igor Ružić, Nevenka Ožanić <b>DVOSLOJNI MODEL RJEČNIH UŠĆA U SLUŽBI ZAŠTITE I KORIŠTENJA VODA U PRIOBALNIM PODRUČJIMA</b> .....	229
33.	Nino Krvavica, Josip Rubinić <b>MJERODAVNA OBORINA ZA DIMENZIONIRANJE SUSTAVA ODVODNJE PREMA INTEGRALNOM PRISTUPU</b> .....	233
34.	Igor Ljubenkov, Joško Erceg, Vinko Jurjević, Iva Kuzmanić <b>PRIMJERI RECENTNIH POPLAVA NA MALIM SLIVOVIMA U JUŽNOJ DALMACIJI</b> .....	237
35.	Siniša Maričić <b>ISKUSTVO ANALIZE RETENCIJSKOG EFEKTA AKUMULACIJE</b> .....	241
36.	Dijana Oskoruš <b>ANALIZA DINAMIKE SUSPENDIRANOG NANOSA U ALUVIJALNIM KORITIMA</b> .....	245

---

37.	Maja Oštrić, Petra Prenc, Josip Rubinić <b>ANALIZA DINAMIKE KOLEBANJA I ISTJECANJA PODZEMNIH VODA NA PROSTORU GROBNIČKOG POLJA I BAKARSKOG ZALJEVA</b> .....	251
38.	Roman Ozimec, Hrvoje Škrabić, Ksenija Protrka <b>VODE PODBIOKOVSKOG KRŠA</b> .....	255
39.	Roman Ozimec, Branko Jalžić <b>VELIKI SPELEOLOŠKI OBJEKTI I HIDROLOŠKI SUSTAVI U DUBOKOM KRŠKOM ZALEĐU BOKOVA</b> .....	259
40.	Željko Pavlin, Damir Bekić <b>ANALIZA HIDROLOŠKIH PROMJENA NA SLIVOVIMA KUPE I KRKE</b> .....	263
41.	Maja Radišić, Josip Rubinić, Igor Ružić, Lena Vozila <b>HIDROLOŠKI SUSTAV PROŠĆANSKOG JEZERA</b> .....	269
42.	Vedrana Ričković, Renata Vidaković Šutić <b>REŽIM POVRŠINSKIH VODA DIREKTOG SLIVA RIJEKE CETINE S NAGLASKOM NA VELIKE VODE</b> .....	273
43.	Davor Romić, Marina Bubalo Kovačić, Monika Zovko, Marija Romić, Annamaria Castrignano <b>ZASLANJIVANJE VODE I TLA U DOLINI NERETVE – PRIRODNI PROCESI I ANTROPOGENI UTJECAJ</b> .....	277
44.	Josip Rubinić, Gordana Bušelić, Ivana Ivanković <b>TRENDOVI U HIDROLOGIJI - HIDROLOGIJA U TRENDU</b> .....	281
45.	Igor Ružić, Nino Krvavica, Duje Kalajžić <b>MONITORING MORFOLOŠKIH PROMJENA TOKA KORANE POMOĆU SfM FOTOGAMetriJE</b> .....	285
46.	Renata Sokol Jurković, Ivan Güttler <b>KOREKCIJA PRISTRANOSTI REGIONALNIH KLIMATSKIH MODELA PRILAGOĐENA UPOTREBI U HIDROLOŠKOM MODELIRANJU</b> .....	289
47.	Sandro Štefanac, Nenad Heček <b>INSTALIRANI PROTOK CRPKI ZA PUNJENJE AKUMULACIJE ČEPIĆ U OVISNOSTI O KLIMATSKIM I HIDROLOŠKIM PRILIKAMA</b> .....	293
48.	Diana Šustić, Zdenko Tadić, Branimir Barač, Igor Tadić <b>ZAŠTITA OD POPLAVA GRADA OGULINA – HIDROLOŠKA ANALIZA GORNJE DOBRE</b> .....	297
49.	Mirjana Švonja <b>MJERAČ PROTOKA NA RIJECI NERETVI U METKOVIĆU</b> .....	301

---

50.	Božena Tušar <b>REGULACIJE VODOTOKA - UTJECAJI - POSLJEDICE - POPRAVLJANJE</b> .....	305
51.	Tatjana Uzelac <b>HIDROLOGIJA KAO POLAZNA DISCIPLINA PROSTORNOG PLANIRANJA I UPRAVLJANJA URBANIM VODNIM SUSTAVIMA</b> .....	309
52.	Renata Vidaković Šutić, Vedrana Ričković, Tanja Lubura Matković <b>ISKUSTVA U KORIŠTENJU HIDROLOŠKIH MODELA ZA POTREBE SIMULACIJE POPLAVNIH DOGAĐAJA</b> .....	313
53.	Ivan Vučković, Ivan Čanjevac, Neven Bočić, Nenad Buzjak, Florijan Kvetek, Ivan Martinić, Danijel Orešić, Mladen Plantak, Marta Srebočan, Iva Vidaković <b>UTJECAJ HIDROMORFOLOŠKIH PROMJENA U TEKUĆICAMA NA BIOLOŠKE ELEMENTE KAKVOĆE VODA</b> .....	317
	<b>KAZALO AUTORA</b> .....	321



## ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

### *Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika – Suvremeni trendovi i pristupi*

Brela, 18. - 20. listopada 2018.

---

#### **PREDGOVOR**

Hidrologija je dinamična znanstveno-stručna disciplina koja se, uz tradicionalne i sve dublje veze s meteorologijom i vodnim gospodarstvom, u novije vrijeme aktivnije povezuje i s drugim disciplinama, prije svega hidrogeologijom, ekologijom i prostornim planiranjem. Takvi trendovi traže jačanje interdisciplinarnosti pri provedbi različitih tipova hidroloških analiza, kako u pogledu potrebe da hidrolozi bolje upoznaju druge struke, tako i potrebe da znanstvenici i stručnjaci iz drugih područja prepoznaju mogućnosti rješavanja svojih specifičnih problema uključivanjem u njihovo rješavanje hidrologa i promatranjem procesa u kontekstu dinamike hidrološkog ciklusa. Hidrologija je u stanju davati sve više odgovora, ali se od nje sve više i zahtijeva. Hidrologija proučava, analizira, mjeri i prognozira različite oblike pojavnosti voda, kao i utjecaje na vode i utjecaje na različite sustave ovisne o vodama.

Od hidrologije se u današnje doba, u sve većoj mjeri traži, ne samo da dobro opisuje i kvantificira hidrološke pojave i procese, već i da u današnjem dinamičnom svijetu, sa sve većim antropogenim pritiscima, predviđa i moguće promjene uslijed takvih pritisaka i prirodnih procesa te pronalazi rješenja za prilagodbu na potencijalno nepovoljnije uvjete.

U tom kontekstu, ovaj skup čiji su radovi predstavljeni u Zborniku, ima za cilj poslužiti razmjeni recentnih saznanja između hidrologije i drugih struka te pridonijeti njenom usmjeravanju prema interdisciplinarnom rješavanju problema koji se pojavljuju u vremenu i prostoru u kojem živimo i djelujemo. To je tematizirano u preko 50 radova, planiranih za prezentiranje na samom skupu. Radovi sadržani u Zborniku imaju formu cjelovitih radova ili proširenih sažetaka, ovisno o volji samih autora. U velikoj mjeri zastupljeni su prošireni sažeci, koji pružaju osnovne informacije o obrađivanoj temi, ali ostavljaju mogućnost autorima da s istom temom objave i cjeloviti rad u nekom drugom izdanju.

Skup je orijentiran na razmatranje aktualnog stanja hidrološke problematike na području Hrvatske i mogućnosti njenog daljnjeg razvoja, ali je otvoren i za druge zainteresirane sudionike, posebno iz regionalnog okruženja. Voda, a posebno voda u krškom području, ne poznaje državne granice i za učinkovito rješavanje hidroloških problema nužna je i međunarodna suradnja. Prostor Dinarskog krša dijeli nekoliko država, a vodne pojave ih povezuju. Skup se održava na području krša, u prekrasnom

ambijentu podbiokovskog priobalja i njegova zaleđa. Radi se o području s naglašenim hidrološkim kontrastom. S jedne strane, to je područje krških vodonosnika koji su općenito nepovoljni u pogledu vodnih rezervi. S druge pak strane, upravo na tom području javljaju se iznimno vrijedne vodne pojave, poput Crvenog i Modrog jezera kod Imotskog te voda na slivu Cetine. Upravo između Brele i Piska istječe i Vruja - najpoznatija vrulja na Jadranu koja drenira podzemne vode iz dubokog krškog zaleđa. Ovim putem, koristimo priliku zahvaliti svima koji su na bilo koji način dali svoj doprinos pripremi skupa, kao i pripremi Zbornika radova. Hrvatsko hidrološko društvo nije po brojnosti svoga članstva veliko društvo, što obilježava i naša druga strukovna društava. Međutim, toliko volje i pozitivnog raspoloženja da se nakon dugo vremena na jednom mjestu, ali s puno različitih tema, sretne veliki broj hidrologa s područja Hrvatske i susjedstva koji se bave svojom strukom, odavno nije bio slučaj. Jednako tako, po površini relativno malu Republiku Hrvatsku karakterizira i velika bogatstvo vodnim resursima, njihova iznimno velika prostorna i vremenska raznolikost, ali i osjetljivost na promjene. To obvezuje sve koji se bave vodama, na veliku predanost pri proučavanju njezine pojavnosti u prirodi, njezine zaštite i korištenja. Nadamo se da će i radovi objavljeni u ovom Zborniku tome dati svoj doprinos.

Urednici Zbornika:

*dr.sc. Josip Rubinić*

*mr.sc. Ivana Ivanković*

*Gordana Bušelić*

ZNANSTVENO-STRUČNI SKUP S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

*Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda  
te smanjenja poplavnih rizika –  
Suvremeni trendovi i pristupi*

Brela, 18. - 20. listopada 2018.

---

**UPRAVLJANJE SLIVNIM PODRUČJEM  
S OBZIROM NA STANJE MORSKOG EKOSUSTAVA  
SJEVERNOG JADRANA**

**NORTHERN ADRIATIC WATERSHED  
MANAGEMENT REGARDING THE STATE OF  
THE MARINE ECOSYSTEM**

**Goran Volf<sup>a</sup>, Nino Krvavica<sup>a</sup>, Nevena Dragičević<sup>a</sup>, Elvis Žic<sup>a</sup>**

**SAŽETAK**

Sjeverni Jadran (SJ) jedan je od najproduktivnijih dijelova Sredozemnog mora zbog velikih količina hranjivih tvari koje u njega dolaze s pripadajućeg slivnog područja. Kako bi bolje razumjeli utjecaj hranjivih tvari na stanje morskog ekosustava, razvijen je hibridni model prema DPSIR (*Drivers-Pressures-State-Impact-Responses*) terminologiji koji povezuje: 1) AVGWLF (*ArcView Generalized Watershed Loading Function*) model za modeliranje pritisaka, odnosno hranjivih tvari s pripadajućeg sliva, 2) alat strojnog učenja MTSMOTI (*Multi Target Stepwise Model Tree Induction*) za izradu modelskih stabala koji povezuje pritiske sa sliva sa stanjem morskog ekosustava te 3) indeks kvalitete vode TRIX, kojim se vrši procjena trofičkog stanja morskog ekosustava. Ulazni podaci u model obuhvaćaju digitalni model terena, podatke o korištenju zemljišta, hidrometeorološke podatke, razne statističke podatke (broj stanovnika, poljoprivredna proizvodnja, postotak priključenosti na uređaje za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV-e), itd.), podatke o koncentracijama hranjivih

---

<sup>a</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Radmile Matejčić 3, Rijeka, 51000, Hrvatska, goran.volf@uniri.hr



tvari te fizikalne, kemijske i biološke podatke o stanju morskog ekosustava mjerenih na šest postaja smještenih između grada Rovinja te delte rijeke Po. Korištenjem hibridnog modela provedeno je sedam scenarija povezanih s upravljanjem slivnim područjem, odnosno s pročišćavanjem otpadnih voda te poljoprivrednim aktivnostima u slivnome području te njihovim utjecajem na stanje morskog ekosustava. Dobiveni rezultati ukazuju na značajno očuvanje i poboljšanje stanja morskog ekosustava sjevernog Jadrana i to ponajviše uvođenjem Direktive o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda. Međutim, stanje morskog ekosustava bi se moglo pogoršati u slučaju povećanja opterećenja hranjivim tvarima iz poljoprivrede. Budući da je uvođenjem Direktiva o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda blizu svojoj punoj implementaciji, upravljanje slivnim područjima trebalo bi se usredotočiti na kontrolu poljoprivrednih aktivnosti u cilju održavanja “visokog” stanja morskog ekosustava sjevernog Jadrana.

## **ABSTRACT**

Northern Adriatic (NA) is one of the most productive parts of the Mediterranean Sea due to large quantities of nutrients which are coming from the associated watershed area. In order to better understand the impact of nutrients on the state of the marine ecosystem, a hybrid model has been developed according to the DPSIR (Drivers-Pressures-State-Impact-Responses) terminology which links: 1) the ArcView Generalized Watershed Load Function (AVGWLF) model for nutrients modeling, 2) machine learning tool MTSMOTI (Multi Target Stepwise Model Tree Induction) for model tree building, which links the pressures (nutrients) from watershed with the state of the marine ecosystem, and 3) water quality index-TRIX, which is used for estimating the trophic state of the marine ecosystem. For modeling purposes various data are used that include the digital terrain model, land use data, hydro-meteorological data, various statistical data (population data, agricultural production, percentage of connections to waste water treatment plants (WWTPs) etc.), data on nutrient concentrations and physical, chemical and biological data on the state of the marine ecosystems measured at six stations located between the town of Rovinj and the Po River. Using the hybrid model, seven scenarios have been conducted related to the watershed management purposes, i.e. related to waste water treatment and agricultural activities in the watershed area and their impact on the state of the marine ecosystem. Obtained results indicate significant preservation and improvement of the condition of the NA marine ecosystem, mostly as result of the implementation of the Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD). However, the state of the marine ecosystem could deteriorate in the cases of increased nutrient loads from agriculture. Since the UWWTD is almost fully implemented, the watershed management practices should be focused on the control of agricultural activities in order to maintain a “high” state of the NA ecosystem.

**KLJUČNE RIJEČI:** Sjeverni Jadran, upravljanje slivnim područjem, morski ekosustav, pročišćavanje otpadnih voda, poljoprivreda

**KEYWORDS:** Northern Adriatic, watershed management, marine ecosystem, waste water treatment, agriculture

## 1. UVOD

Suvremeno upravljanje vodama, odnosno vodnim resursima, obuhvaća određene uvjete za utvrđivanjem osnovnih značajki za upravljanje slivnim područjima, a koje uključuju pregled i stanje utjecaja ljudskih aktivnosti na stanje voda. Utjecaji ljudskih aktivnosti mogu se podijeliti na točkaste te raspršene izvore onečišćenja što predstavlja posebno složen zadatak.

Morski ekosustavi su pod utjecajem različitih pritiska (hranjive tvari) iz okolnih slivova, pružajući samim time istodobno mnoge pogodnosti, pa njihovo održivo upravljanje predstavlja složeno pitanje koje zahtijeva integraciju znanja o funkcioniranju ekoloških, ekonomskih i društvenih sustava.

Europska unija usvojila je nekoliko direktiva i politika koje se, izravno ili neizravno, dotiču problema eutrofikacije, a to su Nitratna direktiva (91/676/EEC), Direktiva o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEC), Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EC), Zajednička poljoprivredna politika i Okvirna direktiva o strategiji mora (2008/56/EC). Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EC) koordinira velik dio ove problematike unutar nacionalnih i međunarodnih granica slivnih područja. Pomoć u provedbi navedenih direktiva i politika daje nam Europska agencija za okoliš (EEA) koja je usvojila okvir za praćenje Pokretača-Pritisaka-Stanja-Utjecaja-Odgovora odnosno DPSIR okvir koji nam daje opis odnosa uzročno-posljedičnih veza između antropogenih aktivnosti i njihovih ekoloških, socijalnih i ekonomskih posljedica (EEA, 1995).

Ovim istraživanjem se u okviru DPSIR-a izradio hibridni model za učinkovito upravljanje ljudskim aktivnostima u slivnom području sjevernog Jadrana, ovisno o stanju promatranog morskog ekosustava. Model se temelji na hibridizaciji modela sliva AVGWLF (Evans i drugi, 2008), alata za strojno učenje MTSMOTI (Appice i Džeroski, 2007) te TRIX jednadžbe (Vollenweider i drugi, 1998). Upotrebom predloženog modela dane su interakcije između pritisaka sa sliva (tj. urbanizacije i poljoprivrede) te stanja morskog ekosustava sjevernog Jadrana.

## 2. METODOLOGIJA

### 2.1. Opis istraživanih područja

Sjeverni Jadran (SJ, Slika 1) je polu-zatvoreni bazen veličine približno 32000 km<sup>2</sup>. Sam bazen je uzak (maksimalne širine 210 km) te relativno plitak (dubine do 100 m, prosječno 29 m). Slatka voda bogata hranjivim tvarima utječe u bazen SJ putem

brojnih rijeka i potoka. Rijeka Po, s prosječnim godišnjim protokom od približno 1500 m<sup>3</sup>/s, najvažniji je izvor hranjivih tvari u regiji, s prosječnim opterećenjem hranjivim tvarima od približno 305795 t/god ukupnog dušika te 12568 t/god ukupnog fosfora (Volf i drugi, 2013).

Pripadajuće slivno područje bazena SJ (Slika 1) mjeri cca. 110600 km<sup>2</sup>, te se prostire u četiri susjedne zemlje; Italiju, Sloveniju, Hrvatsku i Švicarsku. Sve ove zemlje vrše različite antropogene pritiske s obzirom na njihove razlike u razini urbanizacije, npr. od rasprostranjenog riječnog sliva rijeke Po u Italiji do više prirodnijih područja Hrvatske, Švicarske i Slovenije (Volf i drugi, 2013).

## 2.2. Opis korištenih modela i ulaznih podataka

Za izradu hibridnog modela korišteni su AVGWLF model (Evans i drugi, 2008) te alat strojnog učenja MTSMOTI (Appice i Džeroski, 2007). AVGWLF model povezuje GIS softverski paket ArcView i GWLF model (Haith i drugi, 1992). GWLF model sadrži algoritme za simulaciju većine ključnih mehanizama koji kontroliraju hranjive tvari unutar slivnog područja. MTSMOTI (Appice i Džeroski, 2007) je alat strojnog učenja koji se koristi za indukciju više modelskih stabala za istodobno predviđanje nekoliko ciljnih (ovisnih) varijabli iz skupa atributa (nezavisnih varijabli).



Slika 1. Područje istraživanja- sjeverni Jadran

Za predstavljanje stanja morskog ekosustava korišten je TRIX. TRIX sažima produktivnost te prehrambene čimbenike koji utječu na trofično stanje morskog ekosustava (Vollenweider i drugi, 1998). Izračunava se kao funkcionalna ovisnost više parametara kakvoće vode, kako je prikazano u sljedećoj jednadžbi:

$$TRIX = (\text{Log}_{10} [\text{Chl-a} \cdot |D\%O| \text{ TIN} \cdot \text{Ptot}] + k) / m \quad (1)$$

gdje je Chl-a koncentracija klorofila a u  $\mu\text{g/l}$ ,  $|D\%O|$  je kisik kao apsolutni % odstupanja od zasićenja, TIN je koncentracija ukupnog anorganskog dušika u  $\mu\text{g/l}$  (izračunat kao zbroj  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$  i  $\text{NO}_3$ ), a Ptot je koncentracija ukupnog fosfora u  $\mu\text{g/l}$ . Parametri  $k = 1,5$  i  $m = 1,2$  su koeficijenti skale, uvedeni da se utvrdi donja granična vrijednost indeksa. TRIX zauzima vrijednosti između 0 i 10, što odgovara trofičnim uvjetima, od ultra-oligotrofnih do hipereutrofnih.

Podaci korišteni u svrhu izrade hibridnog modela sastoje se od podataka za modeliranje sliva te podataka o morskom ekosustavu. Podaci o slivu sadrže: a) GIS slojeve, b) vremenske serije podataka te c) statističke podatke. Podaci o vremenskim serijama dani su na dnevnoj bazi za razdoblje od 1999. do 2007. godine. Podaci o morskom ekosustavu prikupljeni su na šest kontrolnih postaja (SJ108, SJ101, SJ103, SJ105, SJ107 i RV001; Slika 1) Centra za istraživanje mora Rovinj. Vodeni stupac uzorkovan je na mjesečnoj bazi, između 1972. i 2007. godine.

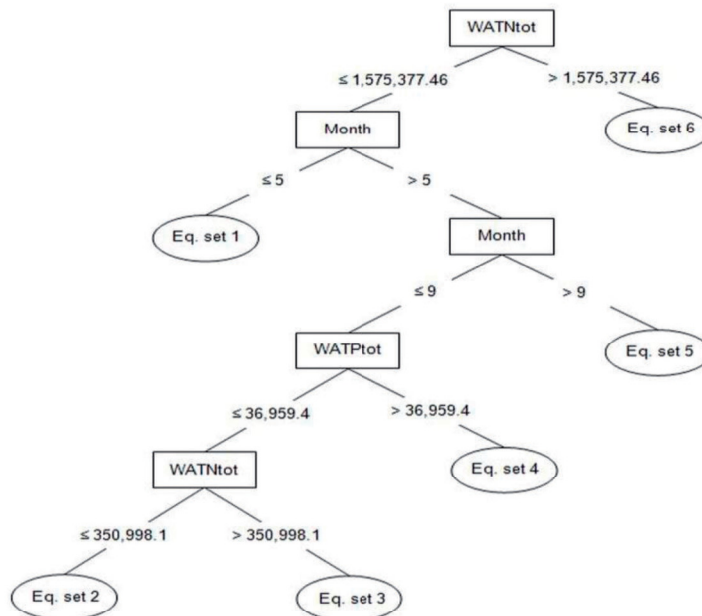
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

U svrhu ovog istraživanja, identificirane su interakcije između pritiska sa slivnog područja i stanja morskog ekosustava izradom hibridnog modela.

Samim time, u prvom koraku je izrađen model sliva pomoću AVGWL modela (Evans i drugi, 2008). Na temelju podataka o slivu izračunate su mjesečne vrijednosti ukupnog dušika (WATNtot) i ukupnog fosfora (WATPtot) u razdoblju od 1999. do 2007. godine. Kalibracija modela izvršena je na temelju podatka mjenjenih u razdoblju od 1999. do 2002. godine kako bi se postiglo optimalno prilagođavanje između modeliranih i mjenjenih godišnjih i mjesečnih vrijednosti protoka i opterećenja na rijeci Po (Volf i drugi, 2013). Ukupna opterećenja predstavljaju zbrojne pritiske u slivu, gdje svaki od njih ima prepoznatljivo podrijetlo (stanovništvo/urbanizacija ili poljoprivreda).

U drugom koraku je alat MTSMOTI korišten za izgradnju više modelskog stabla za svaku promatranu postaju, i to za predviđanje varijabli stanja morskog ekosustava. U tu svrhu su varijable stanja, izmjenjeni ukupni fosfor (Ptot), ukupni anorganski dušik (TIN), klorofil a (Chl-a) i zasićenje kisikom (O<sub>sat</sub>) postavljene kao ciljne varijable, dok su ukupni dušik (WATNtot) i ukupni fosfor (WATPtot), simulirani modelom sliva AVGWLF, postavljene kao atributi ili nezavisne varijable, koje predstavljaju pritiske iz pripadajućeg sliva (dušik-N i fosfor-P).

Na Slici 2 prikazano je više modelsko stablo za postaju SJ108 (Slika 1), koja je najkritičnija postaja u odnosu na njezino trofično stanje. U Tablici 1 nalaze se pripadajuće jednadžbe za pojedine nezavisne varijable (listovi stabla; *Eq. set*).



Slika 2. Više modelsko stablo za postaju SJ108

Tablica 1. Set jednadžbi u listovima više modelskog stabla prikazanog na Slici 2

Set jednadžbi 1:	Set jednadžbi 4:
$Osat = 0.948 + 0.051 \text{ Month}$ $P_{tot} = 4.309 + 0.760 \text{ Month}$ $TIN = 71.937 + 0.318 \text{ Month}$ $Chl-a = 0.396 + 0.581 \text{ Month}$	$Osat = 1.372 - 2.934e-6 \text{ WATPtot}$ $P_{tot} = 9.411 - 3.574e-5 \text{ WATPtot}$ $TIN = 52.410 - 2.973e-4 \text{ WATPtot}$ $Chl-a = 5.281 - 1.178e-5 \text{ WATPtot}$
Set jednadžbi 2:	Set jednadžbi 5:
$Osat = 1.090 + 9.480e-8 \text{ WATNtot}$ $P_{tot} = 4.836 + 1.973e-6 \text{ WATNtot}$ $TIN = -8.110 + 7.684e-5 \text{ WATNtot}$ $Chl-a = 0.122 + 3.205e-6 \text{ WATNtot}$	$Osat = 1.279 - 0.025 \text{ Month}$ $P_{tot} = 9.522 - 0.196 \text{ Month}$ $TIN = 85.558 - 1.301 \text{ Month}$ $Chl-a = 3.627 - 0.197 \text{ Month}$
Set jednadžbi 3:	Set jednadžbi 6:
$Osat = 1.071 + 9.388e-8 \text{ WATNtot}$ $P_{tot} = -0.0865 + 9.004e-6 \text{ WATNtot}$ $TIN = 6.024 + 1.244e-5 \text{ WATNtot}$ $Chl-a = -1.143 + 3.376e-6 \text{ WATNtot}$	$Osat = 0.955 + 4.969e-8 \text{ WATNtot}$ $P_{tot} = 19.894 - 3.454e-6 \text{ WATNtot}$ $TIN = 503.618 - 1.244e-4 \text{ WATNtot}$ $Chl-a = 6.744 - 8.843e-7 \text{ WATNtot}$

U trećem koraku, koristeći simulirane mjesečne vrijednosti gore navedenih ciljnih varijabli, izračunate su mjesečne vrijednosti TRIX-a, kao što je objašnjeno u poglavlju 2.2. Godišnje vrijednosti TRIX izračunate su prema prosječnim mjesečnim vrijednostima.

Na kraju, testirani su različiti scenariji koji se bave utjecajem različitih strategija upravljanja vodama na stanje morskog ekosustava SJ. Opis provedenih scenarija prikazan je u Tablici 2.

Tablica 2. Opis evaluiranih scenarija

Scenarij	Opis scenarija
Osnovni Scenarij	Za period kalibracije 1999-2007 na temelju modela sliva AVGWLF
Scenarij 1	Za period 2013-2014
Scenarij 2	Implementacija Direktive o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda
Scenarij 3	Svi stanovnici spojeni su na treći stupanj pročišćavanja
Scenarij 4	Scenarij 2 + povećanje u poljoprivredi za 10 % (zajedno N i P)
Scenarij 5	Scenarij 2 + povećanje u poljoprivredi za 20 % (zajedno N i P)
Scenarij 6	Scenarij 2 + smanjenje u poljoprivredi za 10 % (zajedno N i P)
Scenarij 7	Scenarij 2 + smanjenje u poljoprivredi za 20 % (zajedno N i P)

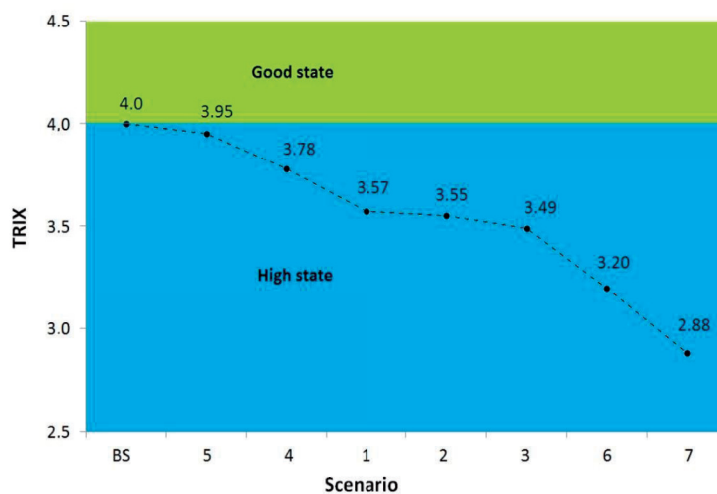
Analiza scenarija daje nam uvid u to kako različite strategije upravljanja slivnim područjem mogu pridonijeti stanju morskog ekosustava. U tu svrhu napravljeno je 7 scenarija upravljanja slivnim područjem, uzimajući u obzir promjene u obradi urbanih otpadnih voda i promjenama poljoprivredne prakse (Tablica 2). Za svaki od 7 scenarija izračunata je vrijednost TRIX-a (Slika 3).

Analiza provedenih scenarija (Tablica 2, Slika 3) ukazuje da je Direktiva o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda gotovo do kraja implementirana do 2014. godine (Scenarij 1), što je rezultiralo smanjenjem TRIX vrijednosti od 0,43 u odnosu na razdoblje 1999-2007. Puna primjena Direktive o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda doprinosi dodatnom smanjenju TRIX-a za 0,02 (Scenarij 2) u usporedbi sa Scenarijem 1. Priključivanje svih stanovnika unutar slivnog područja na treći stupanj pročišćavanja dodatno bi smanjilo vrijednost TRIX-a za 0,06 (Scenarij 3).

Scenarij 2 smatra se referentnom vrijednošću za procjenu scenarija utjecaja poljoprivrede. Rezultati pokazuju da bi smanjenje hranjivih tvari u poljoprivredi za 10% (Scenarij 6) i 20% (Scenarij 7) rezultiralo smanjenjem TRIX vrijednosti za 0,35 i 0,67. Povećana poljoprivredna opterećenja za 10% (Scenarij 4) i 20% (Scenarij 5) rezultirali bi povećanjem vrijednosti TRIX za 0,23 i 0,40. Prema tome, poljoprivreda ima značajan utjecaj, a povećanje oslobađanja hranjivih tvari iz poljoprivrede preko 20% moglo bi promijeniti stanje morskih ekosustava SJ u nižu kategoriju unatoč provedbi Direktive o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda. Također, smanjenja količina hranjivih tvari iz poljoprivrede za više od 20% značajno bi poboljšala stanje morskog ekosustava (TRIX za Scenarij 7 - 0,67). Ovo posljednje poboljšanje je čak i veće od onog postignuto potpunom implementacijom Direktive o odvodnji i

pročišćavanju komunalnih otpadnih voda unutar slivnog područja (Scenarij 2), bez razmatranja mjera za smanjenje hranjivih tvari u poljoprivredi (TRIX za Osnovni scenarij - 0,45).

Budući da je Direktiva o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda gotovo u potpunosti implementirana u unutar slivnog područja SJ, daljnje strategije smanjenja pritisaka trebale bi se usredotočiti na optimizaciju protoka hranjivih tvari iz poljoprivrede, što bi se moglo postići racionalnijim korištenjem gnojiva, kako je propisano Nitratnom direktivom (91/676/EEC).



Slika 3. Izračunate vrijednosti TRIX-a za evaluirane scenarije prema Tablici 2

Osim toga, posebnu pažnju treba posvetiti najosjetljivijim područjima unutar slivnog područja SJ s visokim količinama hranjivih tvari, koja su, ili pak mogu postati u bliskoj budućnosti, eutrofna, posebno ako nisu poduzete zaštitne mjere (Volf, 2012). Za ta područja, pročišćavanje otpadnih voda i preporuke za poljoprivrednu praksu trebali bi se izvršiti na temelju njihovih lokalnih uvjeta.

#### 4. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju je predstavljen hibridni model za učinkovito upravljanje ljudskim aktivnostima u slivnom području, ovisno o stanju promatranog morskog ekosustava. Model se temelji na hibridizaciji modela sliva AVGWLF, alata za strojno učenje MTSMOTI te TRIX jednadžbe. Upotrebom predloženog modela dane su interakcije između pritisaka sa sliva (tj. urbanizacije i poljoprivrede) te stanja morskog ekosustava. U radu je analizirano 7 scenarija upravljanja slivnim područjem povezanih sa obradom otpadnih voda te poljoprivrednim aktivnostima zbog njihovog značajnog utjecaja na morski ekosustav SJ.

Prema analizi scenarija, provedba Direktive o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda značajno je pridonijela očuvanju i poboljšanju stanja morskog ekosustava sjevernog Jadrana. Također, poljoprivreda ima značajan utjecaj na stanje ekosustava, a budući da je spomenuta Direktiva blizu njezine potpune provedbe, treba obratiti pažnju na kontrolu poljoprivrednih aktivnosti kako bi se održalo "visoko" stanje morskog ekosustava.

## LITERATURA

- [1] Appice, A., Džeroski, S. (2007): *Inducing multi-target model trees in a stepwise fashion*, Proceedings of the Fifteenth Italian Symposium on Advanced Database Systems (Urednici - Ceci, M., Malerba, D., Tanca, L.), Torre Canne di Fasano (BR), Italy.
- [2] Europska komisija (1991), Direktiva o odvodnji i pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (*Urban Waste Water Treatment Directive*), Direktiva 91/271/EEC.
- [3] European Environmental Agency (1995): *Europe's Environment: The Dobbris Assessment*, EEA, Copenhagen, Denmark, 8
- [4] Evans, B.M., Lehning, D.W., Corradini, K.J. (2008): *AVGWLF, Version 7.1 Users Guide*, Pennsylvania State Institutes of Energy and the Environment, The Pennsylvania State University, 53
- [5] Haith, D.A., Mandel, R., Shyan Wu, R. (1992): *GWLF-Generalized Watershed Loading Functions, Version 2.0, User's Manual*, Cornell University, Department of Agricultural & Biological Engineering, Ithaca, New York, 62
- [6] Europska komisija (1991), Nitratna direktiva (*Nitrates Directive*), Direktiva 91/676/EEC.
- [7] Europska komisija (2008), Okvirna direktiva o strategiji mora (*Marine Strategy Framework Directive*), Direktiva MSFD, 2008/56/EC.
- [8] Europska komisija (2000), Okvirna direktiva o vodama (*Water Framework Directive*), Direktiva 2000/60/EC.
- [9] Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A. (1998): *Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index*, *Environmetrics* 9, 329-357.
- [10] Volf, G., Atanasova, N., Kompare, B., Ožanić, N. (2013): *Modeling nutrient loads to the northern Adriatic*, *Journal of Hydrology*, 504, 182-193.
- [11] Volf, G. (2012): *Assessing the proper wastewater treatment level according to marine ecosystem status*, Disertacija, Sveučilište u Rijeci, 135



**ZAHVALA**

Ovaj rad je financiralo Sveučilište u Rijeci projektom broj 17.06.2.1.02 (Međudjelovanje mora i rijeka u kontekstu klimatskih promjena).