

# Model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva

---

Ćosić-Flajsig, Gorana

Doctoral thesis / Disertacija

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:379083>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**



image not found or type unknown

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Gorana Čosić-Flajsig

**MODEL INTEGRALNOGA  
UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA  
RURALNOGA PREKOGRANIČNOGA  
RIJEČNOG SLIVA**

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2023.



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Gorana Čosić-Flajsig

**MODEL INTEGRALNOGA  
UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA  
RURALNOGA PREKOGRANIČNOGA  
RIJEČNOG SLIVA**

DOKTORSKI RAD

Mentorica: Prof. dr. sc. Barbara Karleuša  
Komentor: Doc. dr. sc. Matjaž Glavan

Rijeka, 2023.



UNIVERSITY OF RIJEKA  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Gorana Ćosić-Flajsig

**INTEGRATED WATER QUALITY  
MANAGEMENT MODEL FOR RURAL  
TRANSBOUNDARY RIVER BASIN**

DOCTORAL THESIS

Mentor: Prof. Barbara Karleuša, Ph.D.  
Co-mentor: Assist. Prof. Matjaž Glavan, Ph.D.

Rijeka, 2023.

Mentor rada: **Prof. dr. sc. Barbara Karleuša**

Komentor rada: **Doc. dr. sc. Matjaž Glavan**

Doktorski rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ u Rijeci pred povjerenstvom u sastavu:

**1. Prof. dr. sc. Nevenka Ožanić,**

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, predsjednica povjerenstva

**2. Izv. prof. dr. sc. Goran Volf,**

Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, član

**3. Prof. dr. sc. Marija Šperac,**

Sveučilište u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet, vanjska članica

## ZAHVALA

Prvo se želim zahvaliti mentorici *prof.dr.sc. Barbari Karleuši* koja me neizmijerno poticala i motivirala za znanstveni rad, te uz čiju je sveobuhvatnu pomoć i potporu omogućeno moje istraživanje i izrada doktorskog rada. Strpljivo i detaljno čitala je svaki redak ovoga rada, te predlagala konstruktivne promjene za njegovo poboljšanje. Zahvaljujem se i svom komentoru *doc.dr.sc. Matjažu Glavanu* koji me uputio u modeliranje, podučavao agronomskoj struci i njezinoj važnosti za upravljanje kakvoćom voda, te upućivao na interdisciplinarni pristup u radu.

Teško je nabrojati sve one koji su mi pomagali tijekom mog stručnog i znanstvenog putovanja. Želim se zahvaliti i svim dragim kolegama različitih struka uz koje sam učila, razvijala se, širila svoje stručne i znanstvene horizonte tijekom rada u *Hrvatskim vodama i Hrvatskom društvu za zaštitu voda* tijekom svog 20-godišnjeg rada. Učila sam uz zajednički rad i edukaciju kroz cijeli niz treninga, skupova, radnih grupa i radionica, kao i sudjelovanja na brojnim znanstvenim konferencijama i kongresima, te pohađanja poslijediplomskog studija i izradom magistarskog rada. To sve omogućilo mi je širi pogled na probleme i mogućnosti njihova rješavanja, spoznala sam nužnost interdisciplinarnog pristupa u rješavanju svih problema vezanih uz upravljanje vodama, a posebno upravljanje kakvoćom voda. Mnogi od tih dragih kolega bili su mi suradnici u projektima i koautori objavljenih radova, te smo nastavili suradnju nakon mog zapošljavanja na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Rad sa studentima, poučavanje i istraživanje novih mogućnosti i kreiranja stručnog i istraživačkog rada dao mi je nove prilike, te omogućio i rad na doktorskome radu. U tome su me posebno poticali vođenjem konstruktivnih rasprava i kreiranjem novih ideja *dr.sc. Mladen Petrićec* i *dr.sc. Ivan Vučković*, na čemu im od srca zahvaljujem. Zahvaljujem i *prof.dr.sc. Nevenki Ožanić* koja me ohrabivala na upis Poslijediplomskog studija u Rijeci, tijekom kojeg sam susrela kolege koji su mi srdačno i ljubazno pružali pomoć i suradnju. Zahvaljujem se i *pok. Prof. dr.sc. Borisu Kompareu* i *prof.dr. sc. Franciu Steinmanu* koji su me potaknuli na istraživanje sliva rijeke Sutle, te mi pružali potporu u tome. Zahvaljujem se i svim kolegama na *Tehničkom veleučilištu u Zagrebu Graditeljskog odjela*, a posebno kolegi *Dariu Pavloviću* koji mi je pomagao na tehničkoj opremi doktorskog rada.

Zahvaljujem se na razumijevanju mojoj obitelji, *kćeri Maji, sinu Ninu, i suprugu Igoru*, što nisam više vremena tijekom izrade doktorskog rada provodila s njima. Zahvaljujem se i mojim *pok. roditeljima, Antunu i Kosani* koji su mi odgojem i primjerom ukazivali na vrijednost stručnog i znanstvenog rada i podržavali me u mojim naporima.

## SAŽETAK

Cilj ovog doktorskog rada je razviti inovativni model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva, unutar integralnog upravljanja vodama, radi postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva. Razvijeni model testiran je na ruralnom prekograničnom slivu rijeke Sutle, između Slovenije i Hrvatske. Temelji se na implementaciji DPSIR pristupa s ArcGIS-om radi izrade sveobuhvatne analize, te definiranja ključnih problema i izvora pritisaka u riječnom slivu. Za kvantifikaciju pritisaka odabran je matematički model SWAT, koji je prikladan za manje ruralne prekogranične riječne slivove. Modelirani su različiti scenariji uz primjenu osnovnih i dodatnih mjera, i to: scenariji sadašnjeg stanja, scenariji prošlog stanja „s“ i „bez“ akumulacije Vonarje/Sutlanskog jezera, te scenariji budućeg stanja „s“ i „bez“ akumulacije Vonarje/Sutlanskog jezera uključujući i utjecaje klimatskih promjena. Za scenarij sadašnjeg stanja izrađena je analiza, izdvojeni su kritični slivovi s „hot spots“ pritisaka nutrijenata i sedimenta i primijenjene dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva. Rezultati primjene razvijenog inovativnog modela i učinkovitost predloženih mjera, ukazuju na mogućnosti primjene navedenog pristupa i primijenjenih mjera za sve podslivove i sve scenarije. Razvijeni inovativni model omogućuje unaprjeđenje upravljanja kakvoćom voda, te uz razvijene/unaprjeđene metode i metodologije u njemu, može se primijeniti i na druge riječne slivove vodnih tijela panonske ekoregije, ali i za druge regije kontinentalne klime. Temeljem novih znanja o procesima u slivu korištenjem razvijenoga inovativnog modela, moguće je izraditi procjenu rizika nepostizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva, kao i rizike postizanja dobrog stanja voda i eutrofikacije voda.

**Ključne riječi:** ruralni prekogranični riječni sliv, model upravljanja kakvoćom voda, SWAT model, scenariji s klimatskim promjenama, dopunske mjere „po mjeri“, riječnog sliva

## ABSTRACT

This doctoral thesis aims to develop an innovative integrated water quality management model of a rural transboundary river basin within integrated water management to achieve the environmental goals of the river basin. The developed model was tested on Slovenia and Croatia's rural transboundary Sutla River basin. The model is based on the implementation of the DPSIR approach with ArcGIS to create a comprehensive analysis, to define the key problems of the river basin, as well as the key sources of pressure in the river basin. The SWAT mathematical model was implemented to be suitable for smaller rural transboundary river basins and was selected for the quantification of pressures. Different scenarios were modelled with the application of basic and additional measures, namely: current state scenarios, past state scenarios "with" and "without" the Vonarje reservoir /Sutlansko lake, and future state scenarios "with" and "without" the Vonarje reservoir/Sutlansko lake including the impacts of climate change. An analysis was made for the scenario of the current state, critical sub-basins with "hot spots" of nutrient and sediment pressures were singled out, and supplementary "tailor-made" measures for the river basin were applied. The results of the developed innovative model application and the effectiveness of the proposed measures indicate the possibility of applying the mentioned approach and applied measures for all sub-basins and all scenarios. The developed innovative model enables the improvement of water quality management, and with the developed/improved methods and methodologies in it, it can be applied to other river basins of water bodies of the Pannonian ecoregion, as well as to other regions with a continental climate. Based on new knowledge about the processes in the river basin with the developed innovative model, it is possible to create an assessment of the risk of not achieving the environmental goals of the river basin, as well as the risks of achieving good water status and water eutrophication.

**Key words:** rural transboundary river basin, water quality management model, SWAT model, scenarios with climate change, additional river basin "tailor-made" measures

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
1.1. PROBLEMSKI OKVIR I SVRHA ISTRAŽIVANJA.....	1
1.2. CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA .....	7
1.3. POTPORA ZNANSTVENOM ISTRAŽIVANJU .....	12
<b>2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>13</b>
2.1. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA I ZNANSTVENIH METODA INTEGRALNOG UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA S NAGLASKOM NA PREKOGRANIČNE RURALNE RIJEČNE SLIVOVE.....	13
2.2. KLJUČNI ELEMENTI UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA PREKOGRANIČNOG RURALNOG RIJEČNOG SLIVA.....	19
2.2.1. DPSIR pristup.....	19
2.2.2. Zajednička poljoprivredna politika EU-a i ruralna područja .....	21
2.2.3. Prekogranični karakter riječnih slivova.....	22
2.2.4. Klimatske promjene i integralno upravljanje kakvoćom voda.....	23
2.2.5. Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva .....	25
2.2.6. Okolišni protok .....	30
2.2.7. Hidromorfološki pritisci u riječnom slivu .....	35
2.2.8. Upravljanje kakvoćom i količinom sedimenta u riječnom slivu .....	36
2.2.9. Procjena rizika od eutrofikacije .....	36
2.2.10. Primjena kombiniranog pristupa .....	37
2.2.11. Usluge ekosustava u integralnom upravljanju kakvoćom voda.....	39
2.2.12. Odabir matematičkog modela za procjenu utjecaja na vode .....	44
<b>3. SLIV RIJEKE SUTLE .....</b>	<b>51</b>
3.1. OPIS SLIVA RIJEKE SUTLE .....	54
3.1.1. Karakteristike sliva rijeke Sutle .....	54
3.1.2. Povijesni izvori.....	57
3.1.3. Geomorfologija sliva rijeke Sutle.....	58
3.2. KLIMATOLOŠKE I HIDROLOŠKE OSOBINE PODRUČJA .....	61
3.2.1. Klimatološke karakteristike područja.....	61
3.2.2. Hidrološke karakteristike područja .....	63
3.2.3. Motrenja na klimatološkim, meteorološkim i hidrološkim mjernim postajama .....	64
3.3. STANJE VODA VODNIH TIJELA NA ISTRAŽNOM PODRUČJU SLIVA RIJEKE SUTLE .....	75
3.3.1. Ocjena stanja voda vodnih tijela sliva rijeke Sutle .....	76
3.4. SUTLANSKO JEZERO .....	85
3.5. PRITISCI NA VODE NA ISTRAŽNOM PODRUČJU SLIVA RIJEKE SUTLE.....	88
3.6. MJERE SMANJENJA ONEČIŠĆENJA VODA.....	89
3.6.1. Postojeće mjere .....	89
3.6.2. Planirane mjere.....	90
<b>4. MODEL INTEGRALNOGA UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA RURALNOGA PREKOGRANIČNOGA RIJEČNOG SLIVA.....</b>	<b>91</b>
4.1. INTEGRALNI MODEL UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA PREKOGRANIČNOG RURALNOG RIJEČNOG SLIVA.....	92
4.2. IDENTIFIKACIJA PROBLEMA I ANALIZA DOSTUPNIH PODATAKA .....	94
4.3. DPSIR PRISTUP .....	96
4.4. KVANTIFIKACIJA PRITISAKA .....	100
4.5. KVANTIFICIRANJE PRITISAKA MODELIRANJEM SWAT-OM.....	102
4.6. MODELIRANJE/ANALIZA PRITISAKA I PROCJENA UTJECAJA.....	106
4.6.1. Modeliranje pritisa i procjena utjecaja unosa nutrijenata i sedimenta u vodna tijela rijeke Sutle SWAT modelom za sadašnje stanje bez akumulacije– OSNOVNI SCENARIJ .....	108
4.6.2. SWAT model – koncepcija, primjena i verifikacija modela .....	109
4.6.3. Modeliranje pritisa i procjena utjecaja unosa nutrijenata i rizik eutrofikacije na karakterističnim vodnim tijelima SWAT modelom .....	111
4.6.4. Analiza pritisa i procjena utjecaja uslijed promjene toka vodotoka.....	113
4.6.5. Analiza hidromorfoloških pritisa i procjena utjecaja uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin.....	115

4.6.6. Modeliranje pritisaka i procjena utjecaja unosa sedimenta na vodna tijela sliva rijeke Sutle SWAT modelom.....	116
4.6.7. Analiza pritisaka i utjecaja lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja zaštite prirode, te usluga ekosustava.....	118
4.6.8. Analiza pritisaka i procjena utjecaja uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje – E- protok.....	120
4.7. DEFINIRANJE SCENARIJA.....	126
4.7.1. DEFINIRANJE SCENARIJA 2 – STANJE U BUDUĆNOSTI.....	128
4.8. PROCJENA UTJECAJA ZA SCENARIJE.....	134
4.9. ANALIZA PRIMJENE MJERA „PO MJERI“ PODSLIVOVA RIJEČNOG SLIVA.....	135
<b>5. REZULTATI I RASPRAVA.....</b>	<b>147</b>
5.1. REZULTATI I RASPRAVA INTEGRALNOG MODELA UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA PREKOGRANIČNOG RURALNOG RIJEČNOG SLIVA DPSIR PRISTUPOM.....	147
5.1.1. Rezultati i rasprava integralnog modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom.....	148
5.1.2. Rezultati i rasprava o kvantifikaciji pritisaka.....	155
5.1.3. Rezultati i rasprava modeliranja/analize pritisaka i procjene utjecaja.....	156
5.1.4. Rezultati i rasprava modeliranja pritisaka nutrijentima SWAT modelom i Volenweiderovim modelom radi procjene rizika od eutrofikacije voda.....	166
5.1.5. Rezultati i rasprava analize procjene utjecaja promjene toka rijeke Sutle.....	170
5.1.6. Rezultati i rasprava analize hidromorfoloških pritisaka procjena utjecaja uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin.....	172
5.1.7. Rezultati i rasprava modeliranja pritisaka i utjecaja sedimenta na vodna tijela SWAT modelom.....	174
5.1.8. Rezultati i rasprava analize lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja i usluga ekosustava i procjena utjecaja.....	178
5.1.9. Rezultati i rasprava analize pritisaka i utjecaja uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje.....	181
5.2. REZULTATI I RASPRAVA PROCJENE KLJUČNIH UTJECAJA.....	188
5.3. REZULTATI I RASPRAVA PRITISAKA I UTJECAJA SWAT MODELOM DEFINIRANIH VARIJANTNIH SCENARIJA.....	192
5.4. REZULTATI I RASPRAVA PRITISAKA NAKON PRIMJENE DOPUNSKIH MJERA „PO MJERI“ RIJEČNOG SLIVA NA KRITIČNIM PODSLIVOVIMA NA OSNOVNOM SCENARIJU – SCENARIJU S DOPUNSKIM MJERAMA.....	199
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>207</b>
<b>7. LITERATURA.....</b>	<b>216</b>
<b>8. POPIS SLIKA.....</b>	<b>237</b>
<b>9. POPIS TABLICA.....</b>	<b>239</b>
<b>10. PRIVICI.....</b>	<b>241</b>
10.1. PRIVITAK 1.....	242
10.2. PRIVITAK 2.....	251
10.3. PRIVITAK 3.....	273
10.4. PRIVITAK 4.....	277
<b>11. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>281</b>
<b>12. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA.....</b>	<b>283</b>

## POPIS KRATICA

- AA - (engl.: *annual average*), srednje godišnje vrijednosti
- ARSO – (slo.: Agencija Republike Slovenije za okolje), Agencija zaštite okoliša Slovenije
- BAP - (engl.: *best agriculture practice*), najbolja poljoprivredna praksa
- Blueprint - (engl.: *A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources*), Nacrt za zaštitu europskih vodnih resursa
- BMP - (engl.: *Best Management Practice*), najbolja prakse upravljanja
- CAP - (engl.: *Common Agricultural Policy*), Zajednička poljoprivredna politika
- CBA - (*cost-benefit analyse*), analizi troškova i koristi
- DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod
- DPSIR - (engl.: *Driving Forces – Pressures – State – Impact – Response*), pokretačke sile – pritisci – stanje – utjecaj – odgovori društva
- Dynamical Downscaling* (engl.), metoda dinamičke prilagodbe
- EEA - (engl.: European Environmental Agency), Europske agencije za okoliš
- ELVS - (engl.: *Emission Limit Values Standard*), kontrola režima ispuštanja otpadnih voda
- E - protok (engl.: *Environmental Flow: E-flow*), okolišni protok
- ES - (engl.: *person equivalent*), ekvivalent stanovnika
- EUROHARP - (engl.: *Towards European Harmonized Procedures for Quantification of Nutrient Losses from Diffuse Sources*), Prema europski usklađenim postupcima kvantifikacije gubitaka hranjivih tvari iz raspršenim izvorima onečišćenja
- EQSD - (engl.: *Environmental Quality Standard*), standard kakvoće okoliša
- GAECL - (engl.: *good agricultural and environmental condition of land*), dobro poljoprivredno i ekološko stanje zemljišta
- GCM - (engl.: *Global Climatic Model*), Globalni klimatski model
- GWP - (engl.: *Global Water Partnership*), Globalno partnerstvo za vodu
- HUVRS - *Holističko upravljanje vodama riječnog sliva*
- HRU – (engl.: *Hydrological Response Unit*), jedinica hidrološkog odgovora
- IPPC - (engl.: *The Sixth Climate Change Report by the Intergovernmental Panel on Climate Change*), Šesto međuvladino izvješće o klimatskim promjenama Međudržavnog panela o klimatskim promjenama
- IRBM - (engl.: *Integrated River Basin Management*), integralno upravljanje riječnim slivom
-



- IWRM - (engl.: *Integrated Water Resources Management*), integralno upravljanje vodnim resursima
- MAC - (engl.: *maximum allowable concentration*), maksimalne dopustive koncentracije
- NWRM – (engl.: *natural water retention measures*), Kataloga mjera prirodnog zadržavanja vode
- OECD - (engl.: Organization for Economic Cooperation and Development), Organizacija za ekonomska pitanja, suradnju i razvoj
- PoMs - (engl.: *Program of Measures*), program mjera
- Filter buffer strips (engl.) - prijelazne zone
- RBMPs - (engl.: *River Basin Managements Plans*), planovi upravljanja riječnim slivovima
- RCP (4.5 ili 8.5) - (engl.: *Representative Concentration Pathways*), Reprezentativne "staze" (trajektorije) koncentracija
- SWAT - (engl.: *Soil Water Assessment Tool*), Alat za procjenu tla i vode
- UE - usluga ekosustava (engl.: *ecosystem service*)
- UPOV – uređaj za pročišćavanje otpadnih voda
- „vruće točke“ - (engl.: „*hot spots*“)
- „*tailor - made*” measures (engl.) - dopunske mjere „po mjeri” riječnog sliva
- TEEB - (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), Ekonomija ekosustava i bioraznolikosti
- TMDL - (engl.: *Total Maximum Daily Load: TMDL*), maksimalni dnevni teret (masena koncentracija)
- WFD - (engl.: *Water Framework Directive*), Okvirna direktiva o vodama

# 1. UVOD

## 1.1. Problemski okvir i svrha istraživanja

Kao posljedica intenzivne uporabe tla i vode u riječnim slivovima, nastaje potreba za uravnoteženjem okolišnih ciljeva s razvojnim ciljevima, što se može postići održivim razvojem koji uzima u obzir gospodarstvo, okoliš i društvo (Ćosić - Flajsig G. et al, 2013). U prošlom stoljeću, radi potreba rješavanja problema povezanih s vodom, stvorena je definicija *integralnoga upravljanja vodnim resursima* (engl.: Integrated Water Resources Management: IWRM). *Globalno partnerstvo za vodu* (engl: Global Water Partnership: GWP) (GWP, 2000) definiralo je IWRM kao „proces koji promiče koordinirani razvoj i upravljanje vodama, tla i srodnih resursa na način koji maksimizira rezultate gospodarske i sociološke dobrobiti na jednakim osnovama, bez ugrožavanja održivosti vitalnog ekosustava”. Donošenjem *Okvirne direktive o vodama* (engl.: Water Framework Directive: WFD) (2000/60/EC) stvoren je temelj vodne politike *Europske unije (EU)* s ciljem zaštite i poboljšanja stanja voda i vodnih ekosustava, promicanjem održive uporabe vode i provedbom *integralnoga upravljanja riječnim slivom* (engl.: *Integrated River Basin Management: IRBM*). WFD je potaknula razvoj metoda za procjenu ekološkog stanja voda i procjenu stanja europskih voda (EEA, 2018). Provedba WFD-a se redovito ocjenjuje a njezina revizija, koja je bila zakazana za 2019. godinu, odgođena je. Funkcionalnost vodnih ekosustava i njihov položaj u riječnom slivu su dvije ključne točke koje su stavljene u središte pozornosti. Istodobno, države članice EU-a nisu uspjele postići glavni cilj WFD-a, a to je postizanje dobrog stanja europskih voda do 2015. godine. Rokovi su produljeni za dva daljnja ciklusa do 2027. godine, no raste zabrinutost njegovog ostvarenja. Unatoč nezadovoljavajućim rezultatima vezanim uz poboljšanje kakvoće površinskih i podzemnih voda u EU-u, WFD se neće revidirati do daljnjega, dok države članice ne pripreme bolje planove upravljanja riječnim slivovima. Revizija WFD-a, planirana tijekom 2019. godine, bila je fokusirana na funkcionalnost vodnih ekosustava i njihov položaj u riječnom slivu (Water Europe, 2021). Prva provjera provedbe WFD-a provedena je kroz *Nacrt za zaštitu europskih vodnih resursa* (engl: A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources: Blueprint) (EC, 2012b). U dokumentu je naglašena potreba bolje provedbe i veće integracije ciljeva WFD-a u sektorske politike, kao što je *Zajednička poljoprivredna politika* (engl.: Common Agricultural Policy: CAP), kohezijski i strukturni fondovi, politike obnovljive energije i integralno upravljanje poplavama i sušama. CAP i WFD predstavljaju dvije najutjecajnije politike EU-a u području zaštite okoliša i problema u

ruralnim područjima. Prema podacima *Organizacije za ekonomska pitanja, suradnju i razvoj* (engl.: Organization for Economic Cooperation and Development: OECD), ruralna područja definirana su kao područja s manje od 150 stanovnika po km<sup>2</sup>. Prema navedenoj definiciji, 91,6 % ukupnog područja Republike Hrvatske klasificira se kao ruralno područje, a 47,6% ukupnog stanovništva živi u ruralnim područjima (Pavić Rogošić L., 2011). Prema novoj metodologiji EU-a, a na temelju revidiranog pristupa OECD-a, 45,8% stanovnika Hrvatske živi u ruralnim područjima (EUROSTAT, 2020).

Klimatske promjene koje uzrokuju ekstremne hidrološke događaje mogu utjecati na hidrološki režim i kakvoću voda riječnog sliva. *Šesto međuvladino izvješće o klimatskim promjenama Međudržavnog panela o klimatskim promjenama* (engl: The Sixth Climate Change Report by the Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) (WG IPCC, 2021) iz 2021. godine naglašava potrebu modeliranja utjecaja klimatskih promjena radi utvrđivanja mjera ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama. Vezano uz WFD i Strategiju Europske unije za biološku raznolikost do 2020. godine (EC, 2011), cilj 2, ciljevi zaštite okoliša prirodnog riječnog sliva značajniji su izazov od postizanja dobrog stanja voda, usmjeren na zaštitu ekosustava i usluga ekosustava koje se poboljšavaju uspostavom zelene infrastrukture i obnavljanjem najmanje 15 % degradiranih ekosustava. Strategija Europske unije za biološku raznolikost do 2030. godine (EC, 2020) ima za cilj dovesti europsku bioraznolikost na put oporavka do 2030. godine za dobrobit ljudi, klime i planeta, i to posebno vezano uz: utjecaje klimatskih promjena, šumske požare, nesigurnost hrane i izbijanja bolesti - uključujući zaštitu divljih životinja i borbu protiv ilegalne trgovine divljim životinjama.

Ruralni prekogranični riječni slivovi, radi nedostatka sanitarnih uvjeta za aglomeracije s manje od 2000 ekvivalent stanovnika (ES) (engl.: person equivalent) i poljoprivrednim aktivnostima, kao i s visokom biološkom raznolikošću i brojnim područjima NATURA 2000, predstavljaju izazov inovativnog upravljanja kakvoćom voda u svakoj državi. Naime, pristup smanjenja onečišćenja primjenjuje se na nacionalnoj razini i razini riječnih slivova kako bi se postiglo dobro stanje voda za sva vodna tijela i okolišni ciljevi riječnih slivova.

Prema podacima Ujedinjenih naroda, prekogranične vode čine 60% svjetskih tokova kopnenih voda, 153 zemlje imaju teritorij unutar barem jednog od 286 prekograničnih riječnih i jezerskih slivova, te postoji velika potreba za suradnjom i usklađivanjem politika upravljanja kakvoćom voda prekograničnih riječnih slivova (UN-Water, 2021). Otprilike 40% svjetskog stanovništva i 55% stanovništva Europe živi u ruralnim područjima (Defilippis J., 2005). U Hrvatskoj je većina velikih vodotoka

crnomorskog sliva od međudržavnog, graničnog ili prekograničnog značaja, kao što je slučaj sa slivom rijeke (na hrvatskom jeziku) Sutle / (na slovenskom) Sotle (Hrvatske vode, 2009). Većina objavljenih znanstvenih radova bavi se različitim prekograničnim problemima vezanim uz korištenje voda i sudjelovanje javnosti (Voulvoulis et al., 2017), (Giakoumis T. & Voulvoulis N., 2018). Međutim, oni se ne bave metodologijom upravljanja kakvoćom voda u ruralnima prekograničnima riječnim slivovima.

Novi dijagnostički alati koriste podatke monitoring sustava WFD-a, nove statističke pristupe temeljene na osobinama podataka vezanim uz pritiske, preporučuju hijerarhiju provedbe mjera, te integriranje vodne politike u druge sektore radi ostvarivanja ciljeva WFD-a i to posebno u poljoprivrednoj politici, te jaču integraciju kod prostornog planiranja. Uz postizanje cilja dobrog stanja voda, još je bitnije imati stalni okvir upravljanja riječnim slivom kojim se rješavaju kašnjenja u provedbi mjera izvan trenutnog roka provedbe mjera, do 2027. godine (2000/60/EC), (IMPRESS, 2002), (EC, 2015), (Carvalho L. et al., 2018), (Voulvoulis, N. et al., 2017), (Giakoumis, T. & Voulvoulis, N., 2018).

Nedostatak sanitarnih uvjeta (neadekvatna vodoopskrba, odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda) u aglomeracijama manjim od 2000 ES, poljoprivredne aktivnosti u riječnom slivu s visokom biološkom raznolikošću i brojnim područjima Natura 2000, predstavljaju dodatne izazove za inovativno upravljanje kakvoćom vode svake države. Pristup kontroli izvora onečišćenja i smanjenja unosa onečišćenja u vode, uz nacionalnu razinu, potrebno je provoditi i na razini riječnog sliva kako bi se postiglo dobro stanje voda za sva vodna tijela i postigli ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva.

Tradicionalno modeliranje slivova ima ograničenu sposobnost predstavljanja učinkovite dvosmjerne interakcije između antropogenog i prirodnog sustava, jer ne obuhvaća učinkovitost heterogenost sustava. Modeliranje prirodnog i ljudskog ponašanja, osobito za prekogranične ruralne riječne slivove može pomoći u otkrivanju uzajamnih interakcija prirodnih i ljudskih sustava, koje mogu biti od pomoći u modeliranju integralnog upravljanja kakvoćom voda. Kako bi krajnjim korisnicima osigurali odgovarajuće alate, Europska komisija (EK) (engl.: European Commission) je financijski podržala projekt *Prema europski usklađenim postupcima za kvantifikaciju gubitaka nutrijenata iz raspršenih izvora onečišćenja* (engl.: Towards European Harmonized Procedures for Quantification of Nutrient Losses from Diffuse Sources: EUROHARP) (Bouraoui F. et al., 2009), (Kronvang B. et al., 2009), (Schoumans O.F., Silgram M., 2003). Cilj projekta bio je razviti smjernice za odabir odgovarajućih alata

za kvantifikaciju pritisaka od nutrijenata koji će zadovoljiti postojeće europske zahtjeve o usklađivanju, transparentnosti i kvantificiranju nutrijenata iz raspršenih izvora onečišćenja. Temeljem provedenih analiza procijenjeno je da je *Alat za procjenu tla i vode* (engl.: *Soil Water Assessment Tool (SWAT)*) primjeren model za sve vrste analiza scenarija prekograničnih ruralnih riječnih slivova (Schoumans O.F. et al., 2009), (Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., 2015b). Pri tom, bitno je naglasiti da matematički modeli upravljanja kakvoćom voda, kao što je SWAT model, predstavljaju pojednostavljenu procjenu stvarnog sustava, a izrađuju se u svrhu istraživanja procesa nastanka točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, pronosa nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu i procjene njihova utjecaja na stanje voda vodnih tijela. Oni služe kao alati pri donošenju odluka kod planiranja i upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva.

Kod upravljanja vodama riječnog sliva prema WFD-u, sukladno europskoj okolišnoj i vodnoj politici, koristi se konceptualni problemski-orijentiran pristup Europske agencije za okoliš (engl.: European Environmental Agency: EEA), koji se zasniva na *pokretačkim silama – pritiscima – stanju – utjecaju - odgovorima društva* (engl.: *Driving Forces – Pressures – State – Impact - Response: DPSIR*). DPSIR, problemski orijentiran pristup uključuje analizu pritisaka i utjecaja u riječnom slivu, te procjenu stanja voda temeljem podataka monitoring sustava i *programa mjera* (engl.: *Program of Measures: PoMs*), koji uključuje procjenu učinkovitosti osnovnih mjera kontrole točkastih izvora onečišćenja od stanovništva i industrije, osnovnih mjera kontrole raspršenih izvora onečišćenja iz poljoprivrede, dodatnih mjera i potrebu za dopunskim mjerama prema informacijama o njima iz WFD-a (EC, 2009), Kristensen P. (2004), (Guipponi C., 2012).

To su mjere iz *Kataloga mjera prirodnog zadržavanja vode* (engl.: *natural water retention measures, NWRM*) (NWRM, 2016). Ovo su višenamjenske mjere kojima je cilj zaštita vodnih resursa korištenjem prirodnih sredstava i procesa, te pridonose smanjenju rizika od poplava, nestašice vode i suše, poboljšanjem stanja vodnih tijela površinskih i podzemnih voda. Mogu se naći u SWAT katalogu mjera ili prilagoditi SWAT modelu, te pokazati svoju učinkovitost kao *mjere „po mjeri“* (engl.: *tailor - made*) *riječnog sliva*. Dodatne prednosti korištenja usluga ekosustava (engl.: *ecosystem service: ES*) (UE) uključuju dobrobit ljudi i poboljšanje kvalitete ljudskog života i važan su korak u cjelovitom pristupu integralnom upravljanju vodama.

Danas su klimatske promjene, svijest javnosti, sudjelovanje javnosti i integracija novih metodologija i modela najvažniji izazovi (Water Europe, 2021), (WG IPPC, 2021), (Giakoumis T.& Voulvoulis N., 2018), (Carvalho L. et al., 2018), (EC, 2009a) (EC,

2009b), (EC, 2012a), (EC, 2015). Ovo istraživanje ima za cilj razviti inovativni integralni model upravljanja kakvoćom voda prekogranićnog ruralnog rijećnog sliva, koji uravnotežuje okolišne i razvojne ciljeve radi postizanja dobrog stanja voda i smanjenja rizika od eutrofikacije (Ćosić-Flajsig et al., 2017), (EC, 2009b), (Rismal, M.,2016), (EEA, 2016). Razvijeni model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekogranićnoga rijećnog sliva, primjenom DPSIR pristupa i korištenjem SWAT modela, testiran je na pilot slivu rijeke Sutle. Predloženi model upravljanja kakvoćom rijećnog sliva vode temelji se na primjeni razlićitih alata kako bi se utvrdio utjecaj trenutnih osnovnih i dodatnih mjera na sadašnje stanje i utjecaj mjera koje su se primjenjivale u prošlosti. Modeliranje budućeg stanja primjenom osnovnih poljoprivrednih mjera, utjecaj klimatskih promjena i moguća rekonstrukcija akumulacije stvaraju temelj za analizu i preporuke za skup dopunskih mjera „po mjeri“ rijećnog sliva sukladno primjeni WFD-a i ostalih europskih vodnih direktiva (Ćosić-Flajsig, G. 2017), (EC, 2009b), (EC, 2015), (Carvalho L. et al., 2018).

*Svrha ovoga istraživanja* je unaprjeđenje integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekogranićnoga rijećnog sliva.

U sklopu procesa istraživanja unaprjeđenja integralnoga upravljanja kakvoćom vode rijećnog sliva, primijenjene su znanstvene metode dokazivanja postavljenih hipoteza. Dokazivanje hipoteze i doprinosa rada proizlazi iz rezultata i rasprave istraživanja kojima se ispunjavaju ciljevi zadani prijavom teme ovog dokorskog rada. Dokazivanje hipoteza temelji se na objektivnom, pouzdanom, preciznom i sustavnom pristupu procesa znanstvenog istraživanja i zaključivanja.

U istraživanju, analizi i sustavnoj obradi znanstvenih činjenica za potrebe izrade dokorskog rada, korišten je cijeli niz razlićitih znanstvenih metoda, postojećih metoda/metodologija upravljanja kakvoćom voda rijećnog sliva koje su unaprijeđene, a koje podrazumijevaju skup postupaka ispitivanja i istraživanja neke pojave s ciljem dolaska do znanstvenih spoznaja i istina. Sve navedeno poslužilo je poslužile kao temelj za razvoj ovog novog inovativnog modela.

Dokorski rad naslova „Model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekogranićnoga rijećnog sliva“, temeljen na DPSIR pristupu nastao je kao odgovor na uočene nedostatke u području razvoja modela upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekogranićnoga rijećnog sliva. U dokorskome radu razvijen je model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekogranićnoga rijećnog sliva na primjeru sliva rijeke Sutle koji svojim svojstvima upućuje na mogućnost implementacije modela i na drugim sličnim rijećnim slivovima.

U nastavku će biti prikazan metodološki opis ustroja doktorskog rada, te opisane korištene znanstvene metode pri istraživanju za potrebe izrade doktorskog rada. Zajednički naziv za skup primijenjenih metoda u procesu istraživanja je metoda dokazivanja, a koja je ujedno i glavna znanstvena metoda primijenjena unutar doktorskog rada. Ovom metodom žele se dokazati postavljene hipoteze rada.

Da bi se potvrdile postavljene hipoteze, doktorski rad podijeljen je u šest osnovnih logičkih cjelina: (i) Uvod - problemski okvir i svrha istraživanja, te postavljanje ciljeva i hipoteza rada, (ii) Prethodna istraživanja - analiza pristupa i metoda u cilju provedbe integralnog upravljanja kakvoćom voda, (iii) Sliv rijeke Sutle - pilot sliv, (iv) Model integralnog upravljanja kakvoćom vode ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva, (v) Rezultati i rasprava (vi) Zaključci i dokazivanje hipoteza.

*Uvod - problemski okvir i svrha istraživanja postavljeni su analizom prethodno provedenih istraživanja, definiran smjer daljnjeg istraživanja, postavljeni su ciljevi i hipoteze rada i pretpostavljen očekivani znanstveni doprinos doktorskog rada.*

*Prethodna istraživanja* provedena su uz analize pristupa i korištenjem više znanstvenih metoda u cilju provedbe integralnog upravljanja kakvoćom voda, te obuhvaćena sva relevantna i dostupna istraživanja iz područja hidrotehnike vezana uz integralno upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva i provedbu mjera. Opisana je povijest i dostignuća razvoja modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, te napravljena analiza metodologija koje se danas koriste. Također, analiza pristupa i metoda u okviru doktorskog rada, sastoji se od preglednog opisa i analize postojećih istraživanja područja sliva rijeke Sutle.

Nastavak istraživanja temeljio se na *Slivu rijeke Sutle - pilot slivu* za potrebe ostvarivanja ciljeva i dokazivanja hipoteza rada. Unutar ovoga dijela istraživanja prikupljeni su meteorološki i hidrološki podaci, kao i podaci o kakvoći vode rijeke Sutle i izvorima onečišćenja, pronos nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu, te nastanak i posljedice štetnih pojava kao što je pojava eutrofikacije Sutlanskog jezera (hrvatski) /akumulacije Vonarje (slovenski) i rijeke Sutle iz 1988. i 1989. godine. Detaljno je opisana procedura prikupljanja relevantnih podataka koji čine temelj za razvoj modela pronosa nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu. Prikupljeni mjereni podaci, koji su implementirani u model, prethodno su obrađeni i analizirani osnovnom statističkom metodom čiji su rezultati prikazani grafički i tablično. U nastavku je opisan *Model integralnoga upravljanja kakvoćom vode ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva*, arhitektura modela temeljena na DPSIR pristupu. Model je razvijen uz pomoć matematičkog modela SWAT uz ArcGIS vizualizaciju, modeliranjem sadašnjeg stanja,

te definiranjem algoritama različitih scenarija za prošlo i buduće stanje koje uključuje i klimatske promjene. Za scenarij postojećeg stanja provedena je kalibracija i validacija modela.

*Rezultati i rasprava*, u sklopu doktorskog rada, obuhvaćaju detaljan prikaz rezultata nastalih temeljem implementacija prethodno prikazane arhitekture razvijenog modela integralnoga upravljanja kakvoćom vode ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva temeljem DPSIR pristupa izradom različitih scenarija i provedbom mjera u riječnom slivu. Temeljem razvijenog modela integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva, primjenom generalizacije omogućena je implementacija modela. Rezultati cjelokupnog istraživanja na prekograničnom ruralnom slivu rijeke Sutle, na kojem je ustanovljeno da se ne postižu ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva i dobro stanje voda, analizirani su i raspravljani, te je procijenjena razina ispunjenja ciljeva istraživanja.

U poglavlju *Zaključci i dokazivanje hipoteza*, temeljem istraživanja provedenih na pilot slivu rijeke Sutle na kojem je ustanovljeno je da se ne postižu ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva i dobro stanje voda, pokazana je učinkovitost primjene modela integralnoga upravljanja kakvoćom vode ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva. Primjenom modela i provedenih osnovnih i dodatnih mjera, kao i dopunskih mjera "po mjeri" riječnog sliva uz uporaba UE-a kao mjere WFD-a, potvrđene su postavljene hipoteze doktorskog rada.

## **1.2. Ciljevi i hipoteze istraživanja**

U provedenom prethodnom istraživanju prilikom izrade doktorskog rada, korištenjem znanstvenih metoda istraživanja, ustanovljeni su ciljevi i hipoteze istraživanja, a koji su u nastavku detaljnije opisani.

*Glavni cilj istraživanja je izrada integralnog modela upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva (u daljnjem tekstu: model) koji uravnotežuje okolišne i razvojne ciljeve odabirom scenarija s optimalnim setom mjera "po mjeri" riječnog sliva, uključujući usluge ekosustava.* U sklopu istraživanja očekuje se ispunjenje četiri podcilja. Obzirom da je analizom postojećih istraživanja na riječnom slivu rijeke Sutle utvrđen nedostatak dovoljnog broja i učestalosti mjerenja meteoroloških i hidroloških podataka, podataka o kakvoći voda i sedimentu, te praćenje i kvantifikacija izvora onečišćenja, *prvi podcilj* je izrada prijedloga kontinuiranog mjerenja istih.



U domeni primjene modela integralnog upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva temeljenog na DPSIR pristupu, utvrđen je izostanak primjene modela na takvim slivovima pa je *drugi podcilj* u sklopu doktorskog rada ispitati mogućnost razvoja modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva radi pouzdanije procjene utjecaja na vode uz provedbu seta dopunskih mjera "po mjeri" riječnog sliva.

*Treći podcilj istraživanja* u sklopu doktorskog rada je definiranje postupaka validacije i evaluacije mogućnosti predviđanja putem različitih scenarija modela izrađenih na temelju utjecaja klimatskih promjena, ponovnog uspostavljanja akumulacijskog jezera i provedbe mjera za smanjenje utjecaja na okoliš na prihvatljivu razinu.

Prethodnim istraživanjem utvrđena je potreba za detaljnijim razvojem metodologije implementacije modela. Naime, za razvoj takvih modela postoje samo opće metodološke smjernice, pa je iz toga razloga *četvrti podcilj doktorskog rada* razvoj metodologije implementacije modela primjenom mjera „po mjeri“ riječnog sliva na dijelu sliva na kojima je utvrđeno nepostizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i nepostizanje dobrog stanja voda, kao i „vruće točke“ (engl.: „*hot spots*“) na slivu vezano uz pritisak nutrijenata i sedimenta u rijeku Sutlu.

Postavljene su sljedeće *hipoteze istraživanja*, i to:

1. *Model integralnog upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva i pouzdanija procjena utjecaja na vode, te provedba optimalnog seta mjera temeljenog na odabranim scenarijama, imat će značajan utjecaj na postizanje okolišnih ciljeva.*

2. *Utjecaj stanovništva i poljoprivrede, obnova akumulacije na slivu Sutle, te utjecaj klimatskih promjena, uz optimalni set mjera koji je izrađen „po mjeri“ riječnog sliva, neće imati negativan utjecaj na kakvoću voda i eutrofikaciju voda.*

Provedenim prethodnim istraživanjem, te definiranjem ciljeva doktorskog rada, utvrđuju se dvije gore navedene hipoteze rada. Prva hipoteza rada temelji se na pretpostavci da je upotrebom DPSIR pristupa moguće razviti model integralnoga upravljanja vodama prekograničnoga ruralnoga sliva, a koji će imati dostatne mogućnosti izrade različitih scenarija radi postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, kao i podataka o kakvoći voda i izvorima onečišćenja u riječnom slivu. Druga hipoteza rada temelji se na pretpostavci da je model temeljen na DPSIR pristupu primjenjiv na prekogranične ruralne slivove, te je moguće razviti metodologiju za procjenu utjecaja stanovništva i poljoprivrede, obnove akumulacije na slivu Sutle, te

utjecaja klimatskih promjena uz optimalni set mjera koji je izrađen „po mjeri“ rijećnog sliva koji neće imati negativan utjecaj na kakvoću voda i eutrofikaciju voda.

Ciljevi i hipoteze rada potvrđeni su objavom sljedećih znanstvenih radova u relevantnim časopisima, i to kvalifikacijskim radovima potrebnim za pristup obrani doktorskoga rada (prema Pravilniku o poslijediplomskom sveučilišnom studiju Građevinarstva, članak 29):

- u studenom 2020. godine pod nazivom: “*An Innovative Holistic Approach to an E-flow Assessment Model*“, autora: Ćosić-Flajsig Gorana, Vućković Ivan i Karleuša Barbara, u inozemnom časopisu *Civil Engineering Journal*, Vol. 6, No. 11, November 2020, 2188-2202, doi:10.28991/cej-2020-03091611 Available online at [www.CivileJournal.org](http://www.CivileJournal.org), WoSCC, ESCI, JCI Q2.
- u rujnu 2021. godine pod nazivom: “*Integrated Water Quality Management Model for the Rural Transboundary River Basin - A Case Study of the Sutla/Sotla River*“, autora Ćosić-Flajsig Gorana, Karleuša Barbara i Glavan Matjaž, u inozemnom časopisu *Water* 2021, Volume 13, Issue 18, 256, doi.org/10.3390/w13182569, IF: 3.103, Available online at: <https://www.mdpi.com/journal/water>, WoSCC, JCR Q2, JCI Q2.

te ostalim radovima:

- 2017. godine pod nazivom: “*Analysis of the Eutrophication Factors in the Sutla River Basin*“, autora Ćosić-Flajsig Gorana, Karleuša Barbara, Vućković Ivan i Glavan Matjaž, ACTA HYDROLOGICA SLOVACA, Roćnik 18, ć. 2, 2017, 290 – 300,
- u rujnu 2017. godine: “*Upravljanje površinskim vodama primjenom kombiniranog pristupa*“, autora Ćosić-Flajsig Gorana, Belaj Miljenko i Karleuša Barbara, Građevinar 8/2017, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2063.2017>.

Doktorski rad sastavljen je od šest osnovnih poglavlja, 42 slike, 33 tablice, popisa literature četiri privitka, životopisa i popisa objavljenih radova, ukupno 287 stranica. Poglavlja doktorskoga rada slijede osnovne cjeline postupka istraživanja, a u nastavku će kratko biti opisan sadržaj svakog poglavlja.

## Poglavlje 1. Uvod

U uvodu je prikazan problemski okvir i svrha istraživanja, ciljevi i hipoteze rada, te opis strukture rada. Navedeni su i znanstveni projekti u okviru kojih su provedena istraživanja za potrebe izrade ove disertacije, kao i relevantni radovi u kojima su istraživanja i rezultati tih istraživanja objavljeni.

## Poglavlje 2. Prethodna istraživanja

U ovom poglavlju napravljen je literaturni pregled raspoloživih saznanja, dosadašnjih istraživanja, pristupa i metoda o važnosti upravljanja kakvoćom voda radi postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i postizanja dobrog stanja. Napravljen je pregled znanstvenih metoda i pregled saznanja o modeliranju upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva. Također, detaljno je analiziran izbor matematičkog modela za procjenu pronosa nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu, te je opisan odabrani matematički model SWAT putem opisa njegova rada, iskustva u primjeni i analiza prednosti i nedostataka.

## Poglavlje 3. Sliv rijeke Sutle - pilot sliv

Temeljem pregleda dosadašnjih znanstvenih istraživanja u području modeliranja upravljanja kakvoćom voda, provedena su detaljna istraživanja za potrebe doktorskoga rada na pilot slivu rijeke Sutle. Sliv je ocijenjen kao reprezentativan, obzirom na: raspoloživost javno dostupnih podataka, prekogranični karakter, ruralno područje, te probleme vezane uz upravljanje kakvoćom voda u prošlosti i danas, a koji bi se značajno mogli povećati u budućnosti. Detaljno su opisani: zemljišni pokrov i korištenje zemljišta ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva, mjerenja hidroloških i meteoroloških podataka, ocjena meteoroloških i hidroloških trendova, mjerenja vezana uz stanje voda, ocjena stanja voda, procjena izvora onečišćenja i analiza mjera provedenih na istražnom području riječnog sliva rijeke Sutle, kao i analize ostalih dokumenata koji su temelj izrade doktorskoga rada.

## Poglavlje 4. Model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva

Prikazan je i opisan je model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva na istražnom području sliva rijeke Sutle, temeljem DPSIR pristupa, a koji se sastoji od niza detaljnije obrazloženih metodologija i metoda. Na temelju razvijenog modela i postojećih metodologija koje daju osnovne smjernice za razvoj modela, razrađene su i unaprjeđene postojeće metodologije koje su primijenjene na istražnom području riječnog sliva rijeke Sutle. U nastavku je po koracima opisana primijenjena arhitektura modela, a posebno korištenje modela, te proces validacije i evaluacije modela. Za izradu modela integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva objašnjene su i korištene sljedeće metodologije i metode: DPSIR pristup i identifikacija problema i dostupnih podataka, identifikacija indikatora pritisaka, kvantifikacija pritisaka i procjena utjecaja, matematički SWAT model za kvantifikaciju pritisaka na vode prema scenariju

sadašnjeg stanja, ključna procjena utjecaja, definicija budućih scenarija koji uključuju klimatske promjene, te primjena mjera „po mjeri“ riječnog sliva na dva podsliva s najvećim doprinosom pritisaka iz raspršenih izvora onečišćenja. Također, obrađeni su ulazni podaci i baze podataka koji su korišteni u modeliranju SWAT modelom, kao i funkcija cilja performansi SWAT modela.

#### Poglavlje 5. Rezultati, diskusija

Prema postavljenim hipotezama i predloženom modelu integralnoga upravljanja kakvoćom riječnog sliva prezentirana je primjena rezultata istraživanja i znanstveni doprinos istraživanja. Kao rezultati provedenih metodologija prezentirani su sljedeći rezultati: rezultati prema DPSIR pristupu za sliv rijeke Sutle, rezultati temeljem identifikacije indikatora pritisaka za sliv rijeke Sutle, rezultati SWAT modela za osnovni scenarij - sadašnji primijenjen na slivu rijeke Sutle, rezultati ključnih analiza procjene utjecaja na sliv rijeke Sutle, rezultati procjene utjecaja budućih scenarija uz klimatske promjene primijenjeni na slivu rijeke Sutle, te rezultati primijenjenih dodatnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva“ za kritične podslivove rijeke Sutle. Na kraju svakog poglavlja i podpoglavlja, nakon prikaza rezultata, provedena je rasprava rezultata modela integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga sliva temeljenog na DPSIR pristupu.

#### Poglavlje 6. Zaključci i dokazivanje hipoteza

Uz općenite zaključke temeljene na dobivenim rezultatima i provedenoj diskusiji, prezentirani su zaključci prema postavljenim ciljevima i hipotezama rada, zaključci vezani uz primjenu predloženog modela na pilot slivu rijeke Sutle, znanstveni doprinos provedenog istraživanja, kao i preporuke za daljnja istraživanja. Na kraju poglavlja, temeljem prezentiranih rezultata prikazan je znanstveni doprinos ovog istraživanja putem postignutih ciljeva rada i dokaza potvrde postavljenih hipoteza.

### 1.3. Potpora znanstvenom istraživanju

Istraživanja za potrebe izrade disertacije provedena su uz sveobuhvatnu potporu dva znanstveno-istraživačka projekta:

- Sveučilišne potpore za materijalno zahtjevna istraživanja, znanstveni projekt: „*Razvoj novih metodologija u gospodarenju vodama i tlom u krškim, osjetljivim i zaštićenim područjima (13.05.1.3.08)*“. Trajanje projekta: 2013.- 2018, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, voditeljica projekta: prof. dr. sc. Barbara Karleuša.
- Sveučilišne potpore za materijalno zahtjevna istraživanja, znanstveni projekt: „*Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata (UNIRI-TEHNIC-18-129)*“ Trajanje projekta: 2019.- , Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, voditeljica projekta: prof. dr. sc. Barbara Karleuša.

## 2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Od davnina ljudi su osnivali i razvijali svoje zajednice na obalama rijeka, svjesni važnosti vode za opstanak i napredak njihove zajednice. Poznato je da su se sve velike drevne civilizacije razvile na obalama velikih rijeka, Egipat na Nilu, Asirija između Tigrisa i Eufrata, Rim na Tiberu, itd. Razvoj novih proizvodnih procesa i intenzivan gospodarski rast značajno su utjecali na onečišćenje voda, kao i na raspoloživost količina vode za različite vrste korištenja. Utjecaji onečišćenja od stanovništva, industrije, poljoprivrede i prometnica uzrokuju promjene fizičkih ili kemijskih svojstava voda koje dovode do narušavanja ekosustava i pogoršanja biološke raznolikosti, problema toksičnosti, epidemija, te obogaćivanja nutrijentima koje dovodi do pojave eutrofikacije. Istovremeno, nije postojala odgovarajuća politika upravljanja kakvoćom voda, odnosno zaštita voda.

### 2.1. Pregled dosadašnjih istraživanja i znanstvenih metoda integralnog upravljanja kakvoćom voda s naglaskom na prekogranične ruralne riječne slivove

Tijekom prve polovice 20. stoljeća pojavljuje se IWRM, rani oblik integralnog upravljanja vodama kroz sveobuhvatan pristup razvoja vodnih resursa u granicama riječnog sliva. Najpoznatiji primjer IWRM-a je uprava doline Tennessee-a (*engl.: Tennessee Valley Authority, TVA*), nastala 1933. godine u Sjedinjenim Američkim Državama (TVA, 2022). Radi se o jednom od najambicioznijih poduhvata New Deal-a, jer je TVA uključivala i gospodarski razvoj sliva rijeke Tennessee, jednog od najsiromašnijih područja države. IWRM je prvenstveno bio usmjeren na izgradnju brana radi kontrole poplava, unaprjeđenja plovidbe i osiguranja jeftine električne energije korištenjem vodnih snaga. Institucionalni model TVA nije ponovljen, no slična filozofija i pristup usvojeni su u nekoliko drugih država. Uslijed značajnog ekonomskog razvoja, tijekom 1950-ih i 1960-ih, pristup IWRM-a je transformiran radi uključivanja promjena društvenih vrijednosti i ciljeva. Na Međunarodnoj konferenciji o vodama u Mar del Plati, 1977. godine, naglasak je stavljen na provedbu IWRM-a usuglašavanjem između različitih sektora državnih tijela (Snellen W.B. & Schrevel A., 2004).

Na konferenciji u Dublinu, 1992. godine, kao pripreme za Sastanak na vrhu o Zemlji u Rio de Janeiru, oblikovana su načela održivog upravljanja vodama. Svjetsko vijeće za vode kao međunarodni istraživački centar za međunarodnu politiku o vodama formirano je 1996. godine, a njegova misija je promicanje svijesti o problemima voda na svim razinama. Dublinska konferencija promovirala je četiri načela IWRM-a:

*okolišno načelo* - voda je konačni i ranjivi resurs s važnim funkcijama ekosustava; *institucionalno načelo* - dobro upravljanje vodama zahtijeva uključivanje svih dionika; primjena *načelo „korisnik plaća“*; primjena načela „*onečišćivač plaća*“ (World Water Council, 2022). IWRM je definiran i implementiran na različite načine u posljednjih osamdeset godina. Tijekom cijelog tog razdoblja, IWRM se temeljio na „mitu“ o međuagencijskoj suradnji u kojoj donositelji politika i istraživači rade na poboljšanju suradnje radi uspješne prakse IWRM-a. Prvi svjetski forum o vodama u Marrakesh-u, 1997. godine (WWC, 1997), predložio je viziju upravljanja vodama uz sudjelovanje javnosti, te sljedeće ciljeve: briga za ekosustave uz čuvanje i obnavljanje slatkovodnih resursa unutar riječnih slivova; osnažiti sudjelovanje javnosti, pravično i odgovorno korištenje vode; stvoriti političku volju i dobro upravljanje vodama radi sprječavanje sukoba vezanih uz vode; promjena ljudskog ponašanja vezanog uz smanjenje potrošnje vode i otpada; razvijanje i razmjenjivanje znanja i tehnologije radi unaprjeđenja IWRM-a. Na međunarodnom planu raste interes za vode i upravljanje kakvoćom voda putem upravljanja otpadnim vodama, da bi se s ideje o sprječavanju i kontroli onečišćenja interes proširio na održivo korištenje vodnih resursa. EK je objavila *Smjernice za suradnju u razvoju vodnih resursa pod nazivom „Prema održivom upravljanju vodnih resursa: Strateški pristup“* (engl.: *Guidelines for Water Resource Development Cooperation entitled “Towards Sustainable Water Resources Management: A Strategic Approach”*) 1998. godine (WWC, 1997), čime je ostvaren međunarodni konsenzus o IWRM-u. Milenijski razvojni ciljevi, usvojeni 2000. godine i Skup o održivom razvoju 2002. godine u Johannesburgu, zagovarali su potrebu za daljnjom koordinacijom sektora i agencija (UN, 2012). Krajem 20. stoljeća, WFD prihvaćena je kao značajan i ambiciozan zakonodavni projekt europske politike uklopljene u zaštitu okoliša, te je postavila temelj vodne politike EU-a. Po prvi puta u povijesti, WFD-u je postavila detaljan i *integralni okvir za poboljšanu zaštitu i upravljanje svim europskim vodnim resursa i vodnim okolišem*. Radi se o opsežnoj i izazovnoj direktivi o okolišu, a posljedice primjene WFD-a proširene su na sve aspekte upravljanja okolišem: od industrije i poljoprivrede do transporta i planiranja, jer sve što se na kraju dogodi na kopnu i u zraku utječe i na vodni okoliš.

Prvi koraci u *europskoj politici zaštite voda, upravljanja kakvoćom voda*, napravljeni su 70 -ih godina. Naime, prvi europski program zaštite okoliša pokrenut je 1973. nakon čega slijedi paket direktiva o kakvoći voda, kao: Direktiva o pitkoj vodi (98/83/EC), i Direktiva za podzemne vode (80/68/EZ). Direktiva za opasne tvari (76/464/EZ), pokrila je granice za najveće dopuštene koncentracije onečišćujućih tvari

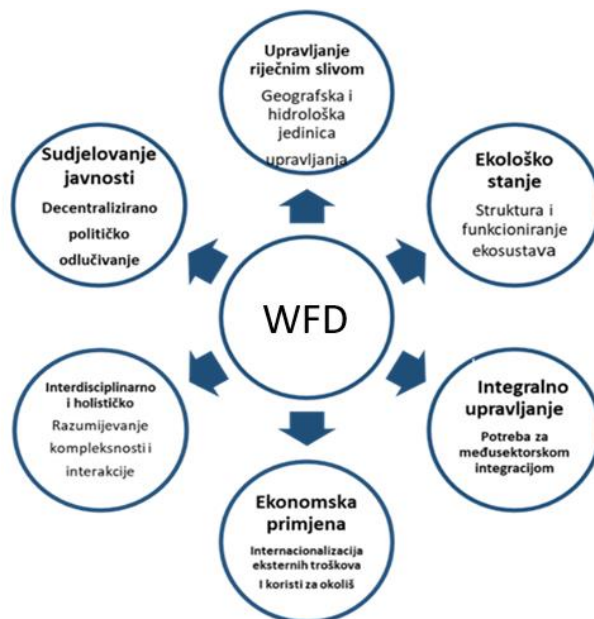
u otpadnim vodama. Drugi skup direktiva uključivao je i nove i revidirane direktive, poput Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEC), Nitratna direktiva (91/676/EEZ), obnovljena je Direktiva o kakvoći vode namijenjene za ljudsku potrošnju (98/83/EC), obnovljena je Direktiva o cjelovitom nadzoru i sprječavanju onečišćenja (2008/1/EC) (engl.: *Integrated Pollution Prevention Direction (2011/92/EU)*, (IPPCD). Donošenjem WFD-a 2000. godine ostvaren je pravni okvir provedbe niza drugih postojećih europskih direktiva o okolišu, uključujući UWWTD, Direktivu o kakvoći vode za kupanje (engl.: *Bathing Water Directive (2006/7/EC)*) i DN.

Vodna politika EU-a definirala je tri glavna izazova 21. stoljeća: osiguranje vode za vodoopskrbu stanovništva, utjecaj korištenja vode na vodne ekosustave, te utjecaj klimatskih promjena na vode (Lindenschmidt K.-E., 2018). WFD je prvenstveno usmjerena na zaštitu voda, upravljanje kakvoćom voda, koja je u praktičnoj upotrebi bila zapostavljena, te korištenje voda. Jedan od ključnih ciljeva integralnog upravljanja vodama prema WFD-u je bilo *postizanje dobrog stanja voda površinskih vodnih tijela do 2015. godine*. Dobro stanje površinskih voda/potencijal uključuje *dobro ekološko stanje/potencijal*: izraz uključuje kvalitetu strukture te funkcioniranja vodenih ekosustava koji uključuju: biološke, hidromorfološke i osnovne fizikalno-kemijske elemente koji prate biološke elemente kakvoće voda, te dobro kemijsko stanje koji zadovoljavaju sve standarde zaštite okoliša za kemikalije utvrđene na razini EU u Direktiva o prioritetnim tvarima (2006/11/EC). Primjena pojma „dobro ekološko stanje” omogućava korištenje voda sve dok ekološka funkcija vodnog tijela površinske nije značajno promijenjena. Glavni ciljevi WFD-a i integralnog upravljanja vodama su: osiguranje dovoljnih količina kvalitetne pitke vode za **vodoopskrbu stanovništva**, osiguranje potrebnih količina vode odgovarajuće kakvoće za **različite gospodarske potrebe, zaštita ljudi i njihove imovine od poplava** i drugih oblika štetnog djelovanja voda, te od **suša, postizanje i očuvanje dobrog stanja voda** radi zaštite života i zdravlja ljudi, zaštite njihove imovine, zaštite vodnih i o vodi ovisnih ekosustava. Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva postižu se provedbom PoMs-a za površinske i podzemne vode, te zaštićena područja koji su utvrđeni člankom 4. WFD-a (2000/60/EC). Uz postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, vodna politika EU-a kroz WFD zahtijeva: najmanje dobro stanje svih vodnih tijela riječnog sliva, smanjenje rizika od eutrofikacije voda, smanjenje unosa sedimenta u vode, te očuvanje NATURA 2000 područja i biološke raznolikosti i uspostavu usluga ekosustava. Donošenjem Direktive o procjeni upravljanja poplavnim rizicima (engl.: *Floods Directive (91/676/EEC)*), revidirane Direktive o podzemnim vodama (engl.: *Protection of groundwater against*



*pollution and deterioration Directive (2006/118/EC)*, te Direktive o standardima kakvoće okoliša (engl.: *Environmental Quality Standards in the Field of Water Policy*) (2008/105/EZ) (EQS) uz cijeli niz strateških dokumenata i smjernica, ostvareni su svi preduvjeti uspješnog ostvarivanja IWRM-a.

Sve izraženije klimatske promjene i varijacije količine voda u hidrološkoj godini mogu dodatno izmijeniti prirodu hidrološkog režima u riječnom slivu, pronos nutrijenata i sedimenta, te na taj način utjecati na upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva unutar integralnog upravljanja riječnim slivom. Riječni sustavi pružaju široki spektar usluga ekosustava radi dobrobiti ljudi i napredovanja ljudskog društva, a povezani su sa odgovarajućom razinom funkcionalnosti riječnih procesa i postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva. Osim toga, proširen je opseg zaštite voda na sve vode (površinske vode i podzemne vode, kao i obalne i prijelazne vode), upravljanje vodama temelji se na riječnom slivu, „kombiniranom pristupu“ graničnih vrijednosti emisija i standarda kakvoće vode, te ekonomskoj cijeni vode i sudjelovanje javnosti. Za primjenu IWRM-a, prema koncepciji WFD-a, države članice moraju izrađivati *Planove upravljanja riječnim slivovima* uz obvezno sudjelovanje javnosti kojima procjenjuju trenutne uvjete i definiraju aktivnosti koje je potrebno poduzeti radi postizanja ciljeva utvrđenih u WFD-u. Tijekom 2000-ih počele su se pojavljivati mnoge znanstvene publikacije i izvješća o primjeni IWRM-a, a sažetak se može naći u radovima (Geoffrey Gooch G. et al, 2010), (Per Stalnacke & Geoffrey D. Gooch, 2010). Potrebno je naglasiti da se cjelokupna koncepcija i pristup IWRM-a, mogu bitno razlikovati ovisno o državi i riječnom slivu. Stoga, oko IWRM-a mogu postojati značajno različite interpretacije i okviri, i to treba imati na umu kada se čitaju pojedinačni radovi. *Prva provjera provedbe WFD-a* ostvarena je kroz *Blueprint* iz 2012. godine (EC, 2012), kroz potrebu veće integracije ciljeva WFD-a u **sektorske politike**. Posebno je značajna integracija **Zajedničke poljoprivredne politike EU-a, politike provedbe kohezijskih i strukturnih fondova, politike obnovljivim izvorima energije, te integralno upravljanje poplavama i sušama**. *Holističko upravljanje vodama riječnog sliva* (HUVRS), kako je navedeno u reviziji WFD-a 2019. godine, ostvarivo je uz primjenu održivog razvitka koji uključuje cjelokupni proces, uštedu resursa, te dodatne koristi za okoliš. Sljedećim shematskim prikazom, Slika 2-1, istaknuti su zahtjevi primjene WFD-a prilikom HUVRS-a.



Slika 2-1: Provedba WFD-a holističkim upravljanjem vodama riječnog sliva (Solimini A. et al., 2009)

Provedba WFD-a HUVRS-om uključuje cilj postizanja dobrog ekološkog stanja voda koje obuhvaća strukturu i funkcioniranje ekosustava, integralno upravljanje vodama uz međusektorsku integraciju, ekonomsku primjenu s internacionalizacijom eksternih troškova i koristi za okoliš, interdisciplinarni i holistički pristup uz razumijevanje kompleksnosti i interakcije, te sudjelovanje javnosti uz decentralizirano političko djelovanje. Uočeni su tehnički i organizacijski problemi u provedbi i **integralni pristup** na kojima se WFD temelji, postao je više međusektorski. Smatra se da će tek **holistički pristup upravljanju vodama** u punom smislu ostvariti **interdisciplinarni i multidisciplinarni pristup**. Primjerice, danas se višenamjenske akumulacije planiraju, grade i upravljaju s **ravnotežom** između ekonomskih koristi i okolišnih vrijednosti za što osim integralnog, potrebno je i holističko upravljanje vodama. Također, u proces upravljanja vodama potrebno je uključiti **dionike** koji omogućavaju da se društveni i okolišni **utjecaji** rješavaju i ublažavaju, a **očuvanje prirodnog staništa** je dio projektiranja. **Holističko upravljanje** vodama postalo je bitan element **društvenog blagostanja**. Zahtijeva se funkcionalnost ekosustava, a ne samo vrijednosti indikatora dobrog stanja voda. EK je 26. srpnja 2021. pokrenula internetsko javno savjetovanje kako bi zatražila mišljenja radi sveobuhvatne procjene politike: WFD-a, Direktive o standardima kakvoće okoliša (*Environmental Quality Standards Directive: EQSD*) (2008/105/EC), (2006/118/EC) i (2007/60/EC).

Za postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i dobrog stanja voda, te učinkovitog upravljanja kakvoćom voda unutar integralnog upravljanja vodom riječnog sliva, nužna je kontrola, praćenje i planiranje PoMs-a smanjenja utjecaja točkastih i

raspršenih izvora onečišćenja. Korištenje *matematičkih modela vodnog okoliša* iznimno je važno u tom procesu, pa je dvadesetih godina 20. stoljeća, nastao jedan od prvih modela - *Streeter-Phelpsova jednadžba* koja opisuje ravnotežu otopljenog kisika u vodotoku (Streeter H. & Phelps E., 1925). U kasnim 1960-ima, razvoj računala i numeričkih metoda unaprijedio je modeliranje upravljanja kakvoćom voda, što je omogućilo pojavu jednostavnog Streeter-Phelpsov modela u raznim kompjuteriziranim oblicima: DOSAG (Board T.W.D., 1970), QUAL I (F. D. Masch and Associates, 1970) simulira temperaturu, KPK i BPK<sub>5</sub>, QUAL II (WRE, 1970) simulira složenije sustave i procjene utjecaja pritiska nutrijenata u riječnom slivu. Razvijeni su modeli za jezera i akumulacije koji povezuju utjecaj odnosa između C, N i P radi kontrole procesa eutrofikacije (Imboden D. M., 1974), (Snodgrass W. J. & O'Melia C. R., 1975), (Vollenweider R. A., 1975). Tako je došlo do danas najčešće korištenih modela: Poboljšani model kakvoće potočne vode (engl.: *Enhanced Stream Water Quality Model: Qual2E i Qual2K*) (Brown L.C. & Barnwell B., 1987); Program hidrološke simulacije (engl.: *Hydrologic Simulation Program – FORTRAN, HSPF*) (Bicknell B. et al., 2011), Modeliranje kakvoće riječne voda radi upravljanja riječnim slivovima i vodnim resursima (engl.: *River Water Quality Modelling for River Basin and Water Resources Management*) koje se odnosi na kontrolu točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, provodi se uz pomoć modela: WASP5, QSIM, CE-QUAL-R1V1, ATV, MIKE11; i Alat za procjenu tla i vode, SWAT (Arnold, J.G., 1998) (Arnold, J. & Fohrer, N., 2005). WFD je dala poticaj ponovnom interesu za modeliranje kakvoće vode uz moguće uključivanje korištenja zemljišta u proces planiranja, te upravljanja kakvoćom voda na razini riječnog sliva. Poseban izazov u primjeni WFD-a predstavlja upravljanje kakvoćom voda *prekograničnog riječnog sliva* s obzirom na upravljanje kakvoćom voda u svakoj državi i različite razvojne ciljeve, i to bez obzira da li je članica EU koja provodi WFD ili ne (Holzwarth F., 2002). Također, *ruralni riječni slivovi s pretežito ruralnim stanovništvom i poljoprivrednim aktivnostima*, predstavljaju veliki izvor organskog onečišćenja i nutrijenata, a mjere za njihovo smanjenje nisu eksplicitno riješene zakonodavstvom EU-a i predstavljaju prijetnju postizanju dobrog stanja voda vodnog tijela i ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Procjenjuje se da doprinos onečišćenju površinskih voda iz raspršenih izvora onečišćenja poljoprivrede u EU iznosi 55% (EC, 2012), a značajan je i na drugim kontinentima. Razvojna politika navedenih područja u nadležnosti je svake države, provedba politike zaštite okoliša načelno slijedi europsku, no provodi se sukladno državnim planovima upravljanja vodama. Unaprjeđenje upravljanja kakvoćom voda primjenom “kombiniranog pristupa”

preduvjet je za postizanje dobrog stanja voda i ispunjavanja ciljeva zaštite okoliša u riječnom slivu. Prema službenim podacima EU-a, neizvjesno je kada će se postići zacrtani cilj – postizanje dobrog stanja voda svih površinskih voda, jer petnaest godina nakon donošenja WFD-a, samo 53 % vodnih tijela površinskih voda postiglo je dobro stanje voda (EC, 2012). Velika očekivanja od primjene WFD-a nisu ostvarena u cijelosti.

## **2.2. Ključni elementi upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva**

U nastavku se navode i pojašnjavaju ključni elementi upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, neophodni za izgradnju *modela integralnoga upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva*. Njihovi detaljniji opisi i uloga u procesu upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva pojašnjavaju njihov značaj i doprinos ostvarenju *holističkog inovativnog upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva*.

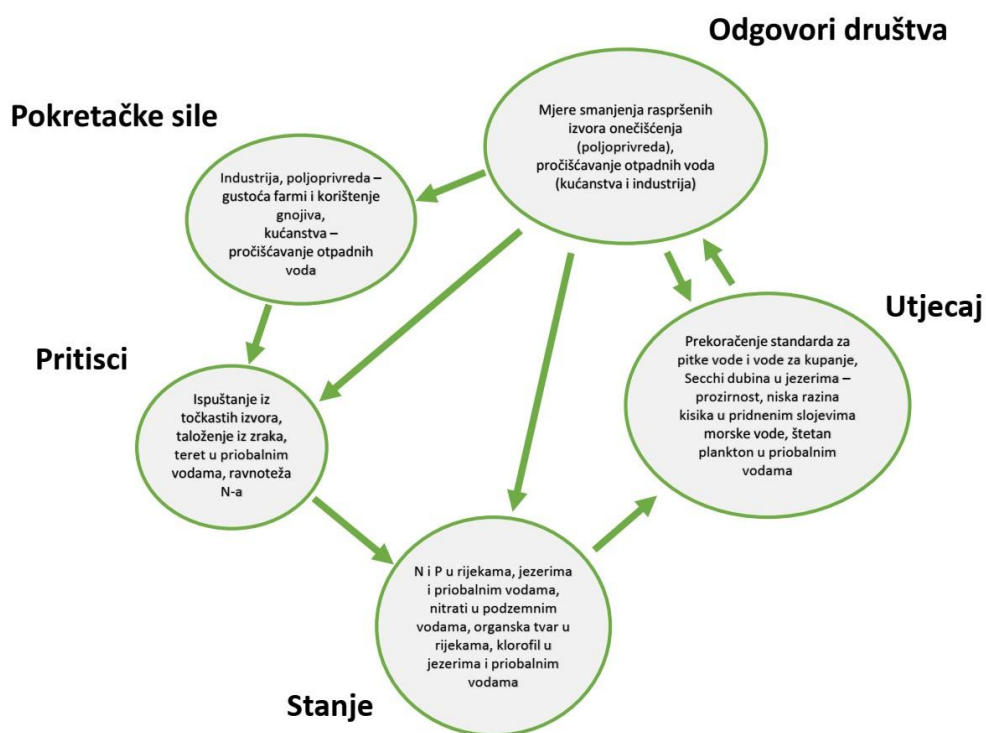
### **2.2.1. DPSIR pristup**

DPSIR pristupom moguće je kvalitetnije spoznati vrstu, značaj i generiranje pritiska onečišćenja iz točkastih i raspršenih izvora, procijeniti utjecaj na vode, te pratiti stanje voda prema karakterističnim indikatorima koji ukazuju na rizik od eutrofikacije i organskog onečišćenja površinskih voda, te rizik ne postizanja dobrog stanja voda. Sukladno provedenoj analizi, prema DPSIR pristupu, planiraju se i provode mjere smanjenja onečišćenja iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, koje se provode kao odgovor društva. Okvir DPSIR-a koristi se kao analitički alat modeliranja i procjene problema vezanih uz vode. Iako je prema WFD-u jasno da su utjecaji na vode rezultat pritiska, u njoj niti jedan od navedenih pojmova nije eksplicitno definiran. Radi toga razvijene su Smjernice (IMPRESS, 2002) u kojima je predstavljeno zajedničko razumijevanje pojmova i pristupa DPSIR-a i WFD-a, a ključne definicije prikazane su u Tablici 2-1.

Tablica 2-1: DPSIR problemski orijentiran pristup korišten u analizi pritisaka i utjecaja (IMPRESS, 2002)

Termin	Definicija
D - Pokretačke sile	antropogena aktivnost koja može imati utjecaj na okoliš (npr. poljoprivreda, industrija)
P-Pritisци	izravan učinak pokretača (na primjer, učinak koji uzrokuje promjenu protoka ili promjena kemijskog sastava vode)
S - Stanje	stanje vodnog tijela koje proizlazi i iz prirodnih i antropogenih čimbenika (tj. fizikalni, kemijske i biološke karakteristike)
I - Utjecaj	utjecaj pritiska na okoliš (npr. uginula riba, izmijenjen ekosustav)
R - Odgovori društva	mjere poduzete za poboljšanje stanja vodnog tijela (npr. ograničavanje zahvaćanja vode, ograničavanje pritisaka točkastih izvora, primjena najbolje poljoprivredne prakse (Best Agriculture practice: BAP) i najbolje prakse upravljanja (engl.: Best Management Practice: BMP)

Definicije ukazuju na potrebu uključivanja podataka o pokretačima, promjenama stanja, analizi pritisaka i utjecaja, kao i podataka o provedenim odgovorima društva - PoMs radi smanjenja pritisaka. Na Slici 2-2 prikazano je korištenje konceptualnog DPSIR pristupa.



Slika 2-2: DPSIR pristup kod procjene postizanja ciljeva vodne politike za eutrofikaciju i organsko onečišćenje (Kristensen P., 2004)

DPSIR pristup je iznimno koristan kod postizanja ciljeva vodne politike povezanih uz: rizik od eutrofikacije, opasnosti od organskog onečišćenja i rizik ne postizanja dobrog stanja voda, kao i postizanja ciljeva okoliša riječnog sliva.

Pokretačke sile dovode do ljudskih aktivnosti koje vrše pritiske na okoliš, kao rezultat procesa proizvodnje ili potrošnje, koji se mogu podijeliti u tri glavne vrste a) prekomjerno korištenje okolišnih resursa, b) promjene u namjeni zemljišta i c) izravne ili neizravne emisije (kemikalija, otpada, zračenja, buke) u zrak, vodu i tlo. To može predstavljati opasnost za ljudsko zdravlje i promijeniti prirodno stanje dijelova okoliša (zrak, voda, tlo, biološka raznolikost). Stanje okoliša i njegove promjene opisuju se fizičkim, kemijskim ili biološkim pokazateljima. Promjene stanja okoliša mogu utjecati na funkcioniranje ekosustava, na ljudsko zdravlje, te na ekonomsku i sociološku učinkovitost društva. Europska agencija zaštite okoliša (engl.: European environmental agency: EEA) redovito priprema integralnu procjenu stanja okoliša koristeći DSPIR pristup, radi informiranja javnosti o sadašnjem, i najvjerojatnije budućem stanju okoliša, pritiscima i utjecajima na prirodne sustave, te stvaranja zdrave osnove europske politike zaštite okoliša (EEA, 2018). Prema DPSIR pristupu postoji lanac uzročno-posljedičnih veza, od pokretačkih sila do utjecaja i odgovora - PoMs, koji je složen zadatak i obično se raščlani na podzadatke, npr. razmatranjem odnosa pritisak-stanje, uz korištenje niza pokazatelja i indeksa.

### **2.2.2. Zajednička poljoprivredna politika EU-a i ruralna područja**

CAP EU-a je pokrenuta 1962. godine koja označava partnerstvo između poljoprivrede i društva, te ima za cilj: podržati poljoprivrednike i poboljšati poljoprivrednu produktivnost, osiguravajući stabilnu opskrbu pristupačnom hranom; zaštititi dostatne zarade za život poljoprivrednika EU-a; pomoći u rješavanju klimatskih promjena i održivog upravljanja prirodnim resursima; održavati ruralna područja i krajolike diljem EU-a; održati ruralno gospodarstvo promicanjem radnih mjesta u poljoprivredi, poljoprivredno-prehrambenoj industriji i povezanim sektorima. Posebnosti poljoprivredne proizvodnje su: dohodak poljoprivrednika koji je oko 40% manji u odnosu na nepoljoprivredni prihod unatoč važnosti proizvodnje hrane; poljoprivreda više ovisi o vremenu i klimi nego mnogi drugi sektori; postoji neizbježan vremenski jaz između potražnje potrošača i mogućnosti opskrbe poljoprivrednika. Isplativa poljoprivredna djelatnost trebala bi se odvijati na održiv i okolišno prihvatljiv način, te održavati kakvoću tla i biološku raznolikost (ARD, 2022). Poslovna neizvjesnost i utjecaj poljoprivrede na okoliš opravdavaju značajnu ulogu poljoprivrede za javni sektor, te se putem CAP-a poduzimaju mjere ruralnog razvoja s nacionalnim i regionalnim programima za rješavanje specifičnih potreba s kojima se ruralna područja suočavaju. Novi CAP, koji se provodi od 1. siječnja 2023. godine, podržava *tranziciju*

*prema održivijoj poljoprivredi s povećanom ambicijom za zaštitu klime, okoliša i veću dobrobit za životinje.* Najmanje 35% sredstava za ruralni razvoj bit će dodijeljeno za agro-okolišne obveze. *Europska politika ruralnog razvoja, dio je CAP EU-a, a provodi se kroz strateške planove za poljoprivredu* (engl.: *Strategic Plan for Agriculture: SPA*) u svakoj državi članici EU-a na nacionalnoj ili regionalnoj razini. SPA-i su dokumenti koje su sastavile zemlje i regije, a u njima se utvrđuju prioritetni pristupi i radnje kako bi se zadovoljile potrebe određenog zemljopisnog područja koje pokrivaju (ARD, 2022). Općenito, ruralna područja su velika i izolirana područja s niskom gustoćom naseljenosti, malim brojem stanovnika i udaljena od velikih aglomeracija. Za ruralne riječne slivove karakteristično je raspršeno onečišćenje uglavnom iz poljoprivrednih izvora (poljoprivredno zemljište, oranice i uzgoj stoke), te je to najznačajniji pritisak u slivu uz pritisak od stanovništva aglomeracija manjih od 2000 ES koja su bez sustava javne odvodnje.

### **2.2.3. Prekogranični karakter riječnih slivova**

Poseban izazov upravljanja kakvoćom voda je ruralni karakter riječnog sliva, a posebno ukoliko se radi o prekograničnom riječnom slivu. *Znatno je otežano upravljanje kakvoćom voda prekograničnih riječnih slivova bez plana upravljanja vodama riječnog sliva.* Čak kada su države članice EU-a, u svakoj državi provode se različite vodne politike država i različite razvojne strategije. Tada je upravljanje kakvoćom voda znatno otežano. Gotovo svi veći slivovi Republike Hrvatske su prekogranični. Obzirom na pogranični i prekogranični karakter velikog dijela hrvatskih voda, nužno je uzeti u obzir obveze višestrukog usuglašavanja i izvještavanja, propisanih na bilateralnoj (sporazumi sa susjednim državama) i multilateralnoj razini (međunarodni sliv rijeke Dunav, međunarodni sliv rijeke Save, Sredozemno more, Europska unija). Međudržavna pitanja u upravljanju vodama riješavaju se u okviru bilateralnih sporazuma i rada stalnih podkomisija sa susjednim državama (Hrvatske vode, 2022). U posebno osjetljivom položaju su granični vodotoci i vodonosnici na kojima nema se ne ostvaruje puni fizički suverenitet. Upravljanje i korištenje međunarodnih voda regulirano je s više ugovora i konvencija koje je u velikom dijelu Hrvatska prihvatila. U zadovoljavanju međunarodnih obveza polazi se prije svega od nacionalnih interesa, te zadovoljavaju međunarodnih obveza. To znači da upravljanje tim vodama u Hrvatskoj, kao što je slučaj sliva rijeke Sutle, mora biti usklađeno sa Slovenijom kako bi vode dok se nalaze na teritoriju Hrvatske bile u stanju voda koje osigurava njihovo održivo korištenje za Hrvatsku, ali i Sloveniju. Odlukom 95/308/EZ

(Službeni list EU-a, 1995), EU pridružuje se Konvenciji o zaštiti i uporabi prekograničnih vodotoka i međunarodnih jezera (Gospodarska komisija Ujedinjenih naroda za Europu – Konvencija o vodama UNECE-a). Poznata je kao *Konvencija iz Helsinkija* jer je tamo potpisana 1992. godine (Službeni list EU-a, 1992). Konvencija nudi pravni okvir unutar kojeg dvije ili više stranaka mogu surađivati i poduzeti sve prikladne mjere na prekograničnim vodama s ciljem: sprječavanja, kontrole i smanjenja stvarnog ili potencijalnog onečišćenja; osiguravanja okolišno pouzdanog upravljanja vodama, očuvanja resursa i zaštite okoliša, uključujući i obnovu ekosustava gdje je potrebno; te osiguravanje razumnog i nepristranog korištenja resursa. Stranke: se moraju pridržavati načela „predostrožnosti”; načela „onečišćivač plaća”; moraju uspostaviti programe za nadzor prekograničnih voda; moraju međusobno surađivati, posebno u razmjeni informacija i istraživanju za razvoj učinkovitih tehnika za sprječavanje, kontrolu i smanjenje prekograničnog onečišćenja; moraju podržati međunarodne napore sastavljanja pravila, kriterija i postupaka za određivanje odgovornosti za bilo koje onečišćenje. Konvencija je izmijenjena 2003. godine kako bi neeuropskim državama omogućila pristupanje. Izmjena je stupila na snagu 6. veljače 2013., a Odlukom 2013/790/EU označilo se njezino prihvaćanje. Od ožujka 2016. mogu joj pristupiti sve države članice Ujedinjenih naroda (United Nations: UN).

#### **2.2.4. Klimatske promjene i integralno upravljanje kakvoćom voda**

Sve izraženije klimatske promjene i pojava hidroloških ekstrema u hidrološkoj godini mogu izmijeniti hidrološki režim riječnog sliva i tako dodatno utjecati na upravljanje njegovom kakvoćom voda. Prema 6. izvješću IPCC-a (WG IPPC, 2021), sposobnost prilagodbe može se definirati kao sposobnost suočavanja, prilagodbe ili oporavka od učinaka opasnosti. Naglašava se potreba modeliranja utjecaja i poduzimanja mjera radi ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama. Projekcije budućih klimatskih promjena dobivene su iz globalnih klimatskih modela. Oni koriste matematičke jednadžbe za karakterizaciju temeljnih procesa koji uključuju prijenos topline, mase, momenta i vodene pare među glavnim zemaljskim sustavima (kao što su ocean i atmosfera, hidrosfera i kriosfera). Ovisno o pretpostavljenim scenarijima, emisija stakleničkih plinova i aproksimacijama koje se koriste za predstavljanje nekih prirodnih procesa, projekcije klimatskih promjena mogu se značajno razlikovati tijekom druge polovice 21. stoljeća. Dugoročno gledano, u Europi se očekuju velike promjene u godišnjoj dostupnosti vode (WG IPPC, 2021). Općenito, predviđa se povećanje dostupnosti vode u sjevernim regijama, dok južni i jugoistočni dijelovi Europe, koji već



pate od vodnog stresa, mogli bi doživjeti smanjenje vodnih resursa zbog povećane učestalosti i intenziteta suša. S druge strane, predviđa se da će povećanje intenziteta jakih kiša povećati maksimalne protoke u nekim dijelovima kontinenta (WG IPPC, 2021). Izgradnja kapaciteta prilagodbe klimatskim promjenama uključuje: povećanje znanja o potencijalnim klimatskim rizicima za pojedinačne riječne slivove; jačanje prikupljanja podataka i razmjene znanja među ključnim dionicima; međusektorska integracija i partnerski rad; obrazovanje i osposobljavanje za podizanje svijesti. Iako postoje regionalne varijacije, za Europu se predviđaju rastući trendovi površinskih temperatura zraka i vode. Projekcije promjena u količini oborina i protoka na razini riječnog sliva manje su izvjesne zbog velike prirodne varijabilnosti tih količina, kao i ograničenja klimatskih modela i pretpostavki koje se koriste kod informacija između klimatskih i hidroloških modela.

*Bijela knjiga - Prilagodba klimatskim promjenama: prema europskom okviru djelovanja* (engl.: *White paper - Adapting to climate change: towards a European framework for action* (CEC-2009) zahtijeva strateški pristup prilagodbi klimatskim promjenama u različitim sektorima i razinama upravljanja. Poziva se na Smjernice No. 24, Upravljanje vodama u klimatskim promjenama (engl. Guidance document No. 24, River Basin Management in Changing Climate) (WFD CIS Guidance document No. 24, 2009) koje nude kriterije pri odabiru mjera prilagodbe koje su učinkovite i isplative, a minimiziraju nuspojave, promiču pravednost, te su tehnički i društveno izvedive unutar vremenskog okvira provedbe. Npr., politike usmjerene na smanjenje emisija stakleničkih plinova mogle bi dovesti do razvoja hidroenergije ili uzgoja biomase s potencijalno značajnim posljedicama za vodne ekosustave. Potencijalno, svi elementi uključeni u definiciju kvalitativnog i kvantitativnog stanja voda prema WFD-u, osjetljivi su na klimatske promjene. To uključuje: dostupnost vode (riječni tokovi i razine podzemnih voda); potražnju za vodom (osobito vršne potrebe tijekom suše); intenzitet i učestalost ekstremnih događaja (poplave i epizode malih protoka); kakvoću voda (uključujući temperaturu, salinitet, koncentraciju hranjivih tvari i onečišćenja, sediment); i bioraznolikost vodnih ekosustava. Međutim, i dalje će biti teško razdvojiti utjecaje klimatskih čimbenika od drugih promjena. Nacionalne i regionalne procjene klimatskih rizika mogu pružiti vrijedne kontekstualne informacije za pojedinačne riječne slivove, dok informacije i meta-analiza mogu pomoći u prikupljanju dokaza o uočenim ili očekivanim utjecajima na sektor voda na razini sliva. Kod prekograničnih riječnih slivova, međunarodne komisije trebale bi nadzirati razvoj koordiniranih strategija prilagodbe klimatskih promjena i uspostaviti mehanizme za provedbu i mjere praćenja

(EC, 2009a). Obzirom da će se znatna financijska sredstva uložiti u nadolazeće cikluse upravljanja riječnim slivovima, mnoge mjere će imati dug životni vijek i/ili onemogućiti buduće prilagodbe klimatskim promjenama, države članice EU-a moraju pregledati potencijalne utjecaje poduzimanjem „klimatskih provjera” PoMs-ova. Ukoliko se utvrdi da su mjere potencijalno osjetljive na očekivane klimatske promjene, treba ih ponovno procijeniti i sukladno tome prilagoditi, odnosno odabrati fleksibilne mjere prilagode promjenjivim uvjetima. Proaktivne mjere prilagodbe klimatskim promjenama mogu biti potrebne ukoliko klimatske promjene prijete postizanju ciljeva WFD-a.

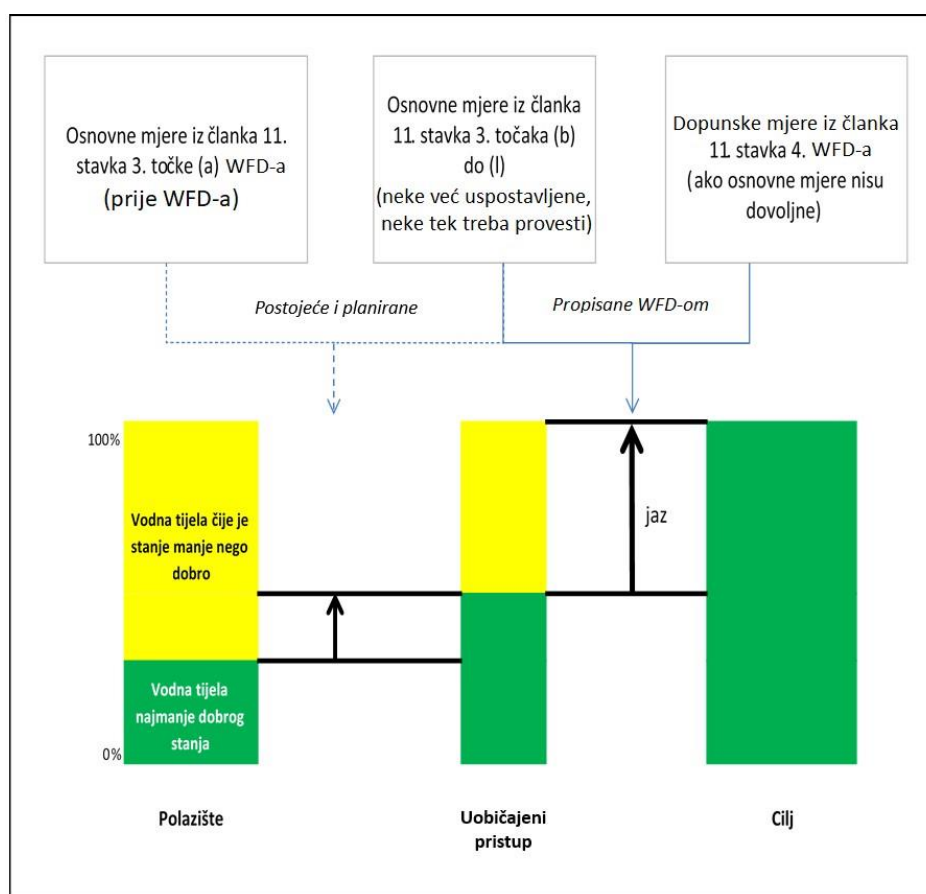
### 2.2.5. Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva

Tijekom 20. stoljeća bitno se povećalo korištenje vodnih resursa, pa se u 21. stoljeću, čovječanstvo suočava s tri glavna problema: osiguranje vode za vodoopskrbu stanovništva, utjecaj korištenja vode na vodne ekosustave, utjecaj na vode radi klimatskih promjena, koja je nužno rješavati u sklopu integralnog upravljanja vodama riječnog sliva (ARD, 2002). Donošenjem WFD-a, te njezine primjene u upravljanju vodama u RH, prihvaćena je i nužnost postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva (engl. *Environmental objectives*), koji se postižu provedbom PoMs-a za površinske, podzemne vode i zaštićena područja. Okolišni ciljevi riječnog sliva i izuzeća utvrđeni su člankom 4. WFD-a (2000/60/EC). Postizanje okolišnih ciljeva riječnog sliva veći je izazov od postizanja dobrog stanja voda, koje je prvobitno planirano do 2015., a sada do 2027. godine. Okolišni ciljevi riječnog sliva predstavljaju integraciju kombiniranja kakvoće, ekoloških i količinskih ciljeva zaštite okoliša, visoko vrijednih vodnih ekosustava, te osiguravanja dobrog stanja voda vodnih tijela riječnog sliva.

**Glavni okolišni ciljevi riječnog sliva u WFD-u** su višestruki i uključuju površinske vode, podzemne vode prijelazne i priobalne vode, te zaštićena područja, i to su:

1. **nema pogoršanja stanja** površinskih i podzemnih voda, potrebna je zaštita, poboljšanje i obnova svih vodnih tijela;
2. **postizanje dobrog stanja voda** do 2015. (2027.), tj. dobro ekološko stanje (ili potencijal) i dobro kemijsko stanje, te dobro kemijsko i dobro količinsko stanje za podzemne vode;
3. **progresivno smanjenje onečišćenja prioritetnih tvari** i ukidanje prioritetne opasne tvari u površinskim vodama, te sprječavanje i ograničavanje unosa onečišćujućih tvari u podzemne vode;

4. **ukidanje** bilo kakvog značajnog **trenda povećanja** onečišćujućih tvari u podzemnim vodama;
5. postizanje standarda i ciljeva postavljenih za **zaštićena područja** u EU zakonodavstvu (*Common implementation strategy for the WFD (2000/60/EC) Technical Report-2009–027, 2009*) (EC, 2009b).
6. pristup provedbi PoMs-a radi postizanja dobrog stanja voda i ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva prikazan je na Slici 2-3.

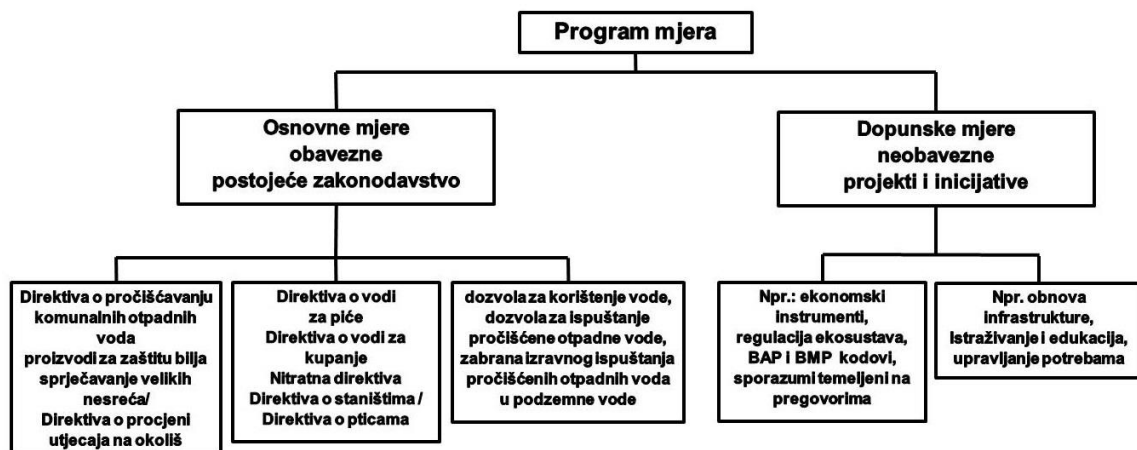


Slika 2-3: Pojednostavljeni prikaz postupka za utvrđivanje i premošćivanje jaza između uobičajenog pristupa i cilja dobrog stanja voda (EC, 2015a)

Pojednostavljenim prikazom na Slici 2-3, ukoliko je stanje voda vodnog tijela površinskih voda manje nego dobro, temeljem PoMs-a koje su poduzimane prije primjene WFD a, potrebno je utvrditi da li i nakon poduzimanja osnovnih mjera prema WFD-u nije postignuto dobro stanje voda, tj. postoji „jaz“ (engl.: *gap*) u postizanju dobrog stanja voda. *Jaz* treba ispuniti planirane osnovne, dodatne i dopunske mjere, a njihovu učinkovitost i ekonomsku opravdanost treba potvrditi dopunjeni operativni monitoring voda (EC, 2015a). *Osnovne mjere* su minimalni zahtjevi kojima treba udovoljiti, izrijeком se navode kao obveze iz pojedinih direktiva, i koje se sastoje od:

mjera potrebnih za provedbu vodnog zakonodavstva EU-a, uključujući mjere primjene kombiniranog pristupa za točkaste i raspršene izvore i mjere povrata troškova vodnih usluga, mjera promicanja učinkovitog i održivog korištenja voda, mjera koje se odnose na zahvaćanje pitke vode. Također, među osnovne mjere treba uvrstiti posebne mjere kojima će se osigurati hidromorfološki uvjeti vodnih tijela sukladno postizanju dobrog ekološkog stanja ili dobrog ekološkog potencijala za vodna tijela označena kao umjetna ili jako promijenjena. *Osnovne mjere koje se odnose na otpadne vode* uključuju zahtjeve i standarde koji se odnose na zaštitu okoliša od nepovoljnih utjecaja ispuštanja urbanih otpadnih voda, a uključene su u pripremu upravljanja kakvoćom vode riječnog sliva. Definirane su UWWTD (91/271/EEC) i standardima EU-a, a tiču se prikupljanja, pročišćavanja i ispuštanja urbanih otpadnih voda i otpadnih voda iz specifičnih industrijskih sektora. Ovisno o veličini aglomeracije i osjetljivosti vodnog tijela koje služi kao prijamnik pročišćenih otpadnih voda, rokovi za izgradnju ili proširenje javnog sustava su 2018., 2020. ili 2023. godina. *Osnovne mjere koje se odnose na poljoprivredu* uključuju upravljanje poljoprivrednim zemljištem, zahtjeve definirane ND-a (2006/118/EC) i *standarde EU-a o dobrim poljoprivrednim i okolišnim uvjetima zemljišta* (engl.: *good agricultural and environmental conditions of land use: GAEC*) (Regulation EU, 2013) s ciljem održavanja poljoprivrednog zemljišta u dobrim poljoprivrednim i ekološkim uvjetima. Minimalne zahtjeve GAEC-a treba definirati obzirom na karakteristike određenih područja, uključujući tlo i klimatske uvjete, postojeće poljoprivredne sustave, korištenje zemljišta, plodored, poljoprivredne prakse i strukture poljoprivrednih gospodarstava. Mjere iz ND uključuju maksimalnu količinu od 170 kg organskog N-a godišnje, definiranje razdoblja u kojima je dopuštena primjena organskog N-a. GAEC standardi za održavanje dobrih poljoprivrednih i okolišnih uvjeta zemljišta *uključuju osnovne mjere za sprječavanje erozije tla* definiranjem minimalnog pokrivača tla i minimalne prakse upravljanja zemljištem (pokrivanje tla i obrada tla u pravo vrijeme). *Dodatne mjere, prema hrvatskom vodnom zakonodavstvu*, obavezno se provode u zaštićenim područjima, odnosno područjima posebne zaštite voda. WFD nije propisala vrstu dopunskih mjera kao dodatak osnovnim mjerama, a države članice ih mogu prilagoditi situaciji. *Dopunske mjere* su mjere koje se određuju i provode kao dodatak osnovnim mjerama, radi postizanja ciljeva postavljenih sukladno postizanju ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Dio B Dodatka VI WFD-a sadrži listu takvih mjera, koji se kontinuirano može dopunjavati radi poboljšanja stanja voda. Obzirom na ruralne karakteristike riječnog sliva, u ovom istraživanju *dopunske mjere odnose se na potrebne mjere koje nastaju uslijed*

sukobljenih interesa između očuvanja vodnih resursa i poljoprivredne proizvodnje (zeleni pokrov, zeleno gnojivo i plodored). Pri odabiru dopunskih mjera poseban naglasak potrebno je staviti na specifične, prilagođene mjere „po mjeri“ riječnog sliva s mogućnošću UE-a. Na slici 2-4 prikazana je struktura programa mjera.



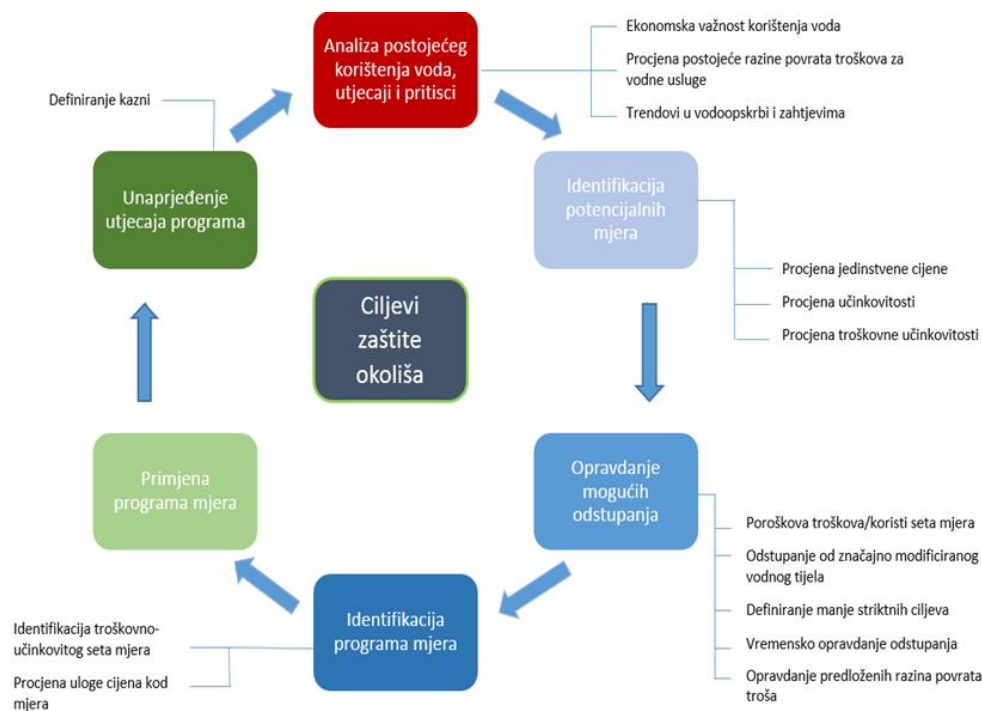
Slika 2-4: Struktura programa mjera (Griffiths, M., 2002)

Dopunske mjere čine, uz zakonske, upravne, ekonomske ili fiskalne instrumente i sporazume o okolišu, kontrola ispuštanja, kodeksi BAP-a i dobrih tehnika, obnova i ponovno stvaranje močvarnih područja, kontrola zahvaćanja vode, mjere za usklađivanje potražnje, promicanje prilagođene poljoprivredne proizvodnje, učinkovitost i mjere recirkulacije vode, primjena ekonomičnih tehnologija u industriji i tehnike navodnjavanja koje štede vodu, građevinski projekti, uređaji za desalinizaciju, umjetno prihranjivanje vodonosnika i druge relevantne mjere. Također, zemlje članice EU-a mogu donijeti daljnje dopunske mjere obuhvaćene WFD-om radi poboljšanja stanja voda, te provedbu međunarodnih sporazuma. Ukoliko podaci monitoringa pokazuju malu vjerojatnost postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, potrebno je donijeti dopunske mjere. Često, države članice same procjenjuju koliko će postojeći PoMs doprinijeti postizanju ciljeva zaštite okoliša WFD-a (EC, 2015a) (EC, 2015b), što objašnjava zašto se izuzeci široko primjenjuju uz nedovoljna opravdanja, Slika 2-3. U Tablici 2-2 prikazan je pregled mjera, prema podkategorijama, vezanih uz okolišnu politiku EU-a koja podupire vodnu politiku.

Tablica 2-2: Pregled mjera vezanih uz vode koje podupiru okolišnu politiku EU-a (adaptirano Dworak T. et al., 2012)

Mjere/ Pod kategorija	Voda			Poljoprivreda			Biološka raznolikost		Infrastruktura i građevine			Obnovljivost		Tlo		
	Okrvirna direktiva o vodama	Direktiva o poplavama	Komunikacija	Nitratna direktiva	Direktiva o pročišćavanju komunalnih otp.voda	Direktno plaćanje	Regulativa ruralnog razvitka	Direktiva o pticama	Direktiva o staništima	Akcijski plan o biološkoj raznolikosti EU-a	Fond solidarnosti	Uredba za financ. iz fondova	Eurokodovi	Obnovljiva energija	Akcijski plan za biomasu	Prijedlog za Okvirnu direktivu o tlu
Prevenција rizika	X	X	X	X				X	X			X	X			
Svijest/informacije	X	X	X			X	X		X							
Promjena upravljanja ili prakse	X	X	X				X		X		X	X	X			
Ekonomija i financije	X	X	X			X	X				X	X				
Promjena korištenja zemljišta i upravljanje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Tehničke mjere tehničke infrastrukture	X	X	X			X	X					X	X			
Tehničke mjere zelene infrastrukture	X	X	X		X		X	X	X	X		X	X			
Planovi upravljanja	X	X	X				X									
Regulatorno	X	X	X										X			

Okolišna politika EU-a podijeljena je u sljedeće potkategorije: voda, poljoprivreda, biološka raznolikost, infrastruktura i građevine, obnovljivost i tlo. Uočljivo je da najbolje rezultate daju mjere promjene korištenja ili upravljanja zemljištem i tehničke mjere zelene infrastrukture. Postizanje ciljeva okoliša riječnog sliva zahtijeva upravljanje kakvoćom voda unutar integralnog upravljanja vodama holističkim pristupom. Uz razumijevanje svih procesa koji se odvijaju u riječnom slivu: korištenja zemljišta, hidroloških i hidrauličkih procesa, fizikalno-kemijskih i bioloških procesa, kao i utjecaj provedenih PoMs-a, nužna je sveobuhvatna procjena utjecaja na vode koja uključuje i utjecaje klimatskih promjena. Temeljem toga, moguće je kvalitetno planiranje osnovnih, dodatnih i dopunskih mjera prema WFD-u i primjena kombiniranog pristupa. Bitno je naglasiti da izrada PoMs-a, radi ostvarenja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, mora uključivati ekonomske elemente, kao što pokazuje Slika 2-5.



Slika 2-5: Radi postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva ekonomski elementi su povezani i moraju biti integrirani u upravljanje vodama (WFD CIS Guidance Document No. 1, 2003)

Početni korak u ostvarenju ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva provodi se analizom postojećeg korištenja voda, utjecaja i pritisaka, i to temeljem ekonomske valorizacije ukupnih troškova vodnih usluga koji se mogu podijeliti na troškove okoliša, financijske troškove i troškove resursa. Nastavlja se kroz identifikaciju i opravdanje mogućih odstupanja, te identifikaciju PoMs-a.

### 2.2.6. Okolišni protok

Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva mogu se postići ukoliko su osigurani odgovarajući režimi protoka i nanosa, te odgovarajuća kakvoća i morfologija rijeke. Pritisak od korištenja voda uslijed oduzimanja određenog protoka na dionici vodotoka, jedan je od značajnih pritisaka u riječnom slivu. Kako bi se olakšala raspodjela vode između korištenja vode za potrebe čovjeka i vodne ekosustave, te postiglo dobro stanje voda osiguravanjem hidrološkog režima, koristi se holistički pristup definiranja *okolišnog protoka* (engl.: *Environmental flow: E-flow*) (*E-protok*). Države članice EU-a ga definiraju prema *Smjernicama okolišnog protoka, Integriranje E-protoka s fluvijalnom geomorfologijom radi popravljivanja usluga ekosustava* (engl.: *Guidance on Environmental Flows, Integrating E-flow Science with Fluvial Geomorphology to Maintain Ecosystem Services*) (WMO, 2019). Obveza definiranja okolišnog protoka u

WFD-u (2000(60/EC) nije eksplicitna, a provedba WFD-a je više usmjerena na kakvoću vode. Uz specifične klimatske, hidrografske i hidrološke uvjete, te definiciju E-protoka, svaka zemlja EU-a razvija postupke za vlastito istraživanje i određivanje E-protoka (EC, 2015c). Ne postoji jednostavna ili jedinstvena metoda za određivanje E-protoka, već se određuje temeljem sljedećih kriterija: korištenje/zahvaćanje vode, ciljevi upravljanja riječnim slivom, uključenost stručnjaka, raspoloživo vrijeme, potrebna financijska sredstva i zakonodavstvo (EC, 2015c). Određivanje E-protoka složen je zahtjevan integralan, sveobuhvatan i holistički zadatak koji doprinosi učinkovitom upravljanju vodama riječnog sliva kako bi se maksimizirale društvene i ekonomske koristi bez ugrožavanja okoliša (EC, 2015c). Uspostava i održavanje E-protoka, bitan je element u očuvanju riječnih ekosustava i UE-a, te ih treba uključiti kao dopunsku mjeru integralnog upravljanja vodama prema WFD-u i definirati u nacionalnom zakonodavstvu (EC, 2015c). E-protok se odnosi na tipičnu sezonsku i međugodišnju varijabilnost režima prirodnog protoka, a ne samo na minimalni protok rijeke. Uz hidrološku procjenu varijabilnosti prirodnog toka, potrebno je povezati definiciju E-protoka s hidromorfološkim procesima i lokalnim okolišnim ciljevima rijeke (Wohl E. et al, 2015). Većina E-protoka definirana je za rijeke nizvodno od brana koje zadržavaju sediment i mijenjaju režim nizvodnog toka, te mijenjaju hidromorfologiju i biotu ispod brane. Stoga, upravljanje E-protokom mora uključiti upravljanje branama, kao i obnavljanje režima toka i sedimenta nizvodno od brana. Klimatska nesigurnost značajno doprinosi nesigurnostima s kojima se već susreće pri određivanju E-protoka (Wohl E. et al, 2015). Konceptija E-protoka unaprjeđivana je tijekom vremena, a njegovo se značenje pomaknulo s tradicionalnog određivanja biološki minimalnog protoka tijekom razdoblja niskog protoka ili sušnih sezona, na holističko razumijevanje riječnog sustava i njegove dinamike (Wohl E. et al, 2015). U provedbi WFD-a, koristi se termin "okolišni protok, E-protok", koji označava hidrološki režim kojim se omogućava postizanje dobrog ekološkog stanja u vodnom tijelu i postizanje okolišnih ciljeva WFD-a. Uspostavljanje i održavanje E-protoka, bitan je element u očuvanju riječnih ekosustava i UE-a i treba ga uključiti u nacionalno zakonodavstvo (Wohl E. et al, 2015). U zajedničkoj strategiji provedbe E-protoka WFD-a (EC, 2015c), konceptija E-protoka se ne treba miješati sa sličnim terminologijama kontrole zahvata površinskih i podzemnih voda koje su dio osnovnih mjera WFD-a. Dopunske mjere za potporu ostvarivanju okolišnih ciljeva WFD-a su kombinacija hidroloških mjera (npr. E-protok) i morfoloških mjera (npr. unaprjeđenje vodnih staništa). Različiti pristupi i alati procjene E-protoka mogu se uključiti u integralno upravljanje vodama, a kod toga bitno je



procijeniti kvalitetu, količinu, učestalost, trajanje, vrijeme i brzinu promjene protoka radi održanja funkcija, procesa i UE-a (Poff N. L. et al, 2010). Važni čimbenici osiguranja UE-a i njihove ekonomske valorizacije su uz režim protoka, režim sedimenta i morfologija rijeke (Gopal B., 2016), (Bunn S. E., & Arthington A. H., 2002). Danas je koncepcija E-protoka ključni element u mnogim međunarodnim politikama, kao što su Konvencija o biološkoj raznolikosti koju su potpisale 194 države, Ramsarska konvencija o močvarama koju je potpisalo 168 država (Acreman M.C. et al, 2014), Konvencija Ujedinjenih naroda o vodotocima, koja je prvi put implementirana 2014. (Rieu - Clarke A. et al, 2012), Ekonomija ekosustava i bioraznolikosti (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity: TEEB*) iz 2010. godine (TEEB, 2010) i regionalni okviri kao što je WFD (EU, 2000). Tharme (Tharme R.E., 2003) je identificirao 207 metoda za određivanje E-protoka i razvrstao ih u četiri glavne skupine: hidrološke i hidrauličke ocjene, modeliranje staništa i holističke/ekosustavne metode. Acreman i sur. (Acreman M.C. et al., 2014) identificirali su dva osnovna pristupa E-protoku koji se temelje na (1) ograničavanju promjene prirodnog protoka radi održavanja bioraznolikosti i ekosustava, te (2) projektiranje režima protoka radi postizanja specifičnih ekoloških ishoda i UE-a. Najčešće korištene holističke metodologije su „metodologija građevnog bloka“ (engl.: *building block methodology*: BBM) (King J.M. et al., 2008) i „odgovor nizvodno na nametnutu transformaciju protoka“ (King J. , 2003). U radu Arthington A. H. & Zalucki J.M. (Arthington A. H. & Zalucki J.M., 1998) i u radu Tharme R.E. (Tharme R. E., 2003) prikazani su sveobuhvatni pregledi različitih holističkih metodologija.

U Tablici 2-3, izrađene su tri sheme klasificiranja metoda procjene E-potoka prema organizacijama koje ih provode, kategorizaciji metoda, potkategorijama i primjerima provedbe.

Tablica 2-3: Tri sheme klasificiranja metoda procjene E-protoka (prilagođeno s Williams J. G., 2019)

Organizacija	Kategorizacija metoda	Potkategorija	Primjeri		
IUCN (Dyson et al., 2003)	Metode	Tablice za traženje	Hidrološki (npr. Q95 indeks) Ekološki (npr. Tennant metoda)		
		Analize za stolom	Hidrološka (npr. Richterovala metoda) Hidraulični (npr. metoda vlažnog perimetra) Ekološki		
		Funkcionalne analize	BBM, Procjena stručnog panela Metoda Benchmarking-a (usporedba sa standardom) Metodologija (komparativna analiza)		
		Modeliranje staništa	PHABSIM		
		Pristupi	Pristup ekspertnog tima		
			Pristup dionika (stručnjaci i nestručnjaci)		
		Okviri	IFIM, DRIFT		
		World Bank (King J. et al., 2003)	Pristupi na recept	Metode hidrološkog indeksa	Tennant metode
				Hidrauličke metode ocjenjivanja	Metoda vlažnog perimetra
				Stručni paneli	
Holistički pristup	BBM				
Interaktivni pristupi	IFIM, DRIFT				
IWMI (Tharme R. E., 2003)	Holističke metodologije	Metode hidrološkog indeksa	Tennant metoda		
		Metode hidrauličke ocjene	Metoda vlažnog perimetra		
		Metodologije simulacije staništa	IFIM		
			BBM, DRIFT, Stručni paneli, Metoda Benchmarkinga		
			Usporedba sa standardom) Metodologija (komparativna analiza)		

Legenda:

BBM= *building block methodology* (metodologija izgradnje blokova)

PHABSIM= *Physical Habitat Simulation model* (simulacijski model fizičkog staništa)

IFIM= *Instream Flow Incremental Methodology* (inkrementalna metodologija protoka)

DRIFT= *Downstream Response to Imposed Flow Transformation* (nizvodni odgovor na nametnutu transformaciju toka)

Osim toga, razvijene su ekološke granice okvira hidroloških promjena (*Ecological Limits of the Hydrological Alteration: ELOHA*) kako bi se zadovoljile potrebe upravljanja E-protoka na regionalnoj, pokrajinskoj ili slivnoj razini (Poff N. et al., 1997). ELOHA je metoda koja se provodi „od vrha prema dolje”, koja definira E-protok kao prihvatljivu razinu promjene u odnosu na prirodni režima protoka vode. Metoda uključuje kvantificiranje pritisak - mjere ekoloških odnosa. Ovisno o prikupljanju podataka i opsegu stručnih konzultacija, primjena holističkog okvira može biti dugotrajna i skupa. Uz to, holističkim metodologijama još uvijek nedostaje razmatranje

riječnih morfoloških procesa, kao i integracija procjene E-protoka s upravljanjem i dinamikom sedimenta.

Ključno je uzeti u obzir određeni režim protoka i sedimenta radi održavanja funkcija slatkovodnog ekosustava i korištenja UE-a unutar integralnog upravljanja riječnim slivom. Procjene E-protoka su kategorizirane prema karakteristikama, metodama i zahtjevima (Tablica 2-4),

Tablica 2-4: Potrebni podaci i javno dostupni podaci (Solangi G.S. et al., 2019)

Razina procjene	Karakteristike	Metode	Zahtjevi i rezultati
<b>I. RAZINA PROCJENE PRELIMINARNA RAZINA Hidrološke metode Pregledne tablice Preliminarna istraživanja</b>	Regionalno planiranje Postavljanje preliminarnih referentnih tokova pomoću povijesnih zapisa Početni pregled i analiza informacija za sljedeću razinu	Tennant metoda RVA metoda IHARIS metoda	Zahtijevaju duge nizove (20 godina) povijesnih hidroloških podataka Omogućuju usporedbu povijesno i biološki izvedenih referentnih tokova
<b>II. RAZINA PROCJENE SREDNJA RAZINA Holističke metode (stručna prosudba) uz multidisciplinarni pristup</b>	Ekološki, s obzirom na zahtjeve protoka više komponenti ekosustava Postavljanje biološki izvedenih referentnih tokova, ciljani na režim protoka	ELOHA BBM DRIFT	Zahtijeva mjesečno uzorkovanje interdisciplinarnog tima stručnjaka Samostalni pristup postavljanju biološki referentnih tokova od nule
<b>III. RAZINA PROCJENE SVEOBUHVAATNA RAZINA Simulacija staništa usmjerena na vrste, vođena podacima</b>	Planiranje dosega Referentni tokovi specifični za vrstu Može se uključiti u holistički okvir s više komponenti ekosustava	BBM/DRIFT u kombinaciji s modeliranjem staništa korištenjem PHABSIM	Vrlo skupo i dugotrajno, zahtijeva visoku razinu stručnosti Najopsežniji pristup

Prema procjenama razina istraživanja, Tablica 2-3, definirane su tri razine, i to: I. razina procjene - preliminarna razina, kod koje se koriste hidrološke metode, pregledne tablice i preliminarna istraživanja; Razina II – srednja razina, koja koristi holističke metode koje zahtijevaju multidisciplinarni pristup; te Razina III – sveobuhvatna, koja koristi simulaciju staništa i usmjerena je na vrste i vođena je podacima. E-protok podržava UE, iako je neke od tih usluga teško, ako ne i nemoguće, ekonomski kvantificirati. Ekonomske, okolišne i društvene koristi EU-a često su same po sebi očigledne (USAID, 2018), kao što je prikazano u Tablici 2-5.

Tablica 2-5: Primjeri UE-a: usluge podrške, usluge opskrbe, usluge regulacije i kulturoloških usluga ovisnih o E-protoku (USAID, 2018)

Usluge podrške		
<b>E-protoci podržavaju bio- i geokemijske cikluse i procese.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>••• Kruženje nutrijenata</li> <li>•• Kruženje sedimenta</li> <li>• Formiranje tla</li> <li>Biološka raznolikost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>••• Transport, pohrana, recikliranje nutrijenata</li> <li>•• Transport, pohrana, trošenje sedimenta</li> <li>• Retencija i akumulacija organskih tvari</li> <li>Stanište vrsta</li> </ul>
Usluga opskrbe		
<b>Ekosustavi, koji ovise o E-protocima, pružiti ljudima osnovne materijale izravne vrijednosti i upotrebe.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•••• Voda</li> <li>••• Hrana</li> <li>• Vlakna i gorivo</li> <li>• Biokemija</li> <li>Genetika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•••• Opskrba čistom vodom</li> <li>•••• Prihrane vodonosnika</li> <li>•• Ribe, divljač, voće, stočna hrana itd.</li> <li>• Ogrjev, treset, građevina</li> <li>• Farmaceutski materijali</li> <li>Otpornost na patogene organizme</li> </ul>
Usluga regulacije		
<b>E-protoci reguliraju nepovoljne uvjete i ekološki rizici.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•• Voda</li> <li>• Klima</li> <li>Biološka raznolikost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•• Obrana od poplave</li> <li>•• Ispiranje otpadnih voda i onečišćenja</li> <li>• Poniranje stakleničkih plinova</li> <li>• Regulacija lokalne klime</li> <li>Prevenција od invazivnih vrsta</li> </ul>
Kulturološke usluge		
<b>E-protoci održavaju raznolikost i jedinstvena okruženja kulturne važnosti.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•• Rekreacija, estetika</li> <li>inspiracija</li> <li>• Ceremonije i rituali</li> <li>Obrazovanje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•• Aktivnosti na otvorenom, turizam</li> <li>• Prirodna ljepota</li> <li>• Duhovne vrijednosti</li> <li>Mogućnosti učenja</li> </ul>

Prikazani okvir pristupa određivanju E-protoka, Tablica 2-4 i Tablica 2-5, naglašava strateški pristup uključivanja procjene E-protoka u integralno upravljanje vodama, sagledavajući sve prirodne procese i resurse (Ćosić-Flajsig G. et al., 2020).

### 2.2.7. Hidromorfološki pritisci u riječnom slivu

Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva mogu se postići samo ukoliko su zajamčeni odgovarajući hidrološki režimi i odgovarajuća kakvoća riječne morfologije. Nakon antropogenih pritisaka od onečišćenja voda (točkastih i raspršenih izvora onečišćenja) i korištenja voda (zahvaćanja vode s povratom u vodotok), potrebno je provesti *analizu hidromorfoloških pritisaka* nastalih uslijed izgradnje brane i pregrade. Značajni hidromorfološki pritisci su preusmjeravanja vodotoka i promjena hidrološkog režima uslijed promjene karaktera prirodnog toka vode radi izgradnje umjetnih građevina u koritu i promjena u širem slivnom području. Kao posljedica značajnih hidromorfoloških promjena, tekućica je postala stajaćica i došlo je do promijenjene kategorije voda, i vodno tijelo je postalo kandidat za jako promijenjeno vodno tijelo na kojem je potrebno odrediti granice klase ekološkog potencijala. Utjecaj na vode uslijed hidromorfoloških pritisaka u odnosu na razdoblje prije izgradnje brane su: narušavanje prirodnog hidrološkog vodnog režima; značajno smanjenje pronosa vučenog i suspendiranog

sedimenta; promjena kakvoće sedimenta potrebnog za očuvanje ihtiofaune; narušavanje stanja voda prema osnovnim fizikalno–kemijskim, biološkim i hidromorfološkim pokazateljima koji opisuju ekološko stanje površinskih voda. Trećina vodnih tijela EU-a hidromorfološki je promijenjeno, no PoMs-i ne sadrže mjere o tome. Stoga, provedba hidromorfoloških mjera uz definiranje E-protoka, kao dodatnih mjera prema WFD-u, predstavljaju ključne mjere očuvanja bioraznolikosti, UE-a i dobrobiti ljudi u slivu rijeke (EC, 2015d).

### **2.2.8. Upravljanje kakvoćom i količinom sedimenta u riječnom slivu**

Prema WFD-u, uz postizanje *ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva*, ciljevi su i: postizanje najmanje dobrog stanja voda vodnih tijela, smanjenje rizika od eutrofikacije voda, *smanjenje unosa sedimenta u vode*, očuvanje i cjelovitost NATURA 2000 područja, te očuvanje biološke raznolikosti i funkcioniranje usluga ekosustava. Sediment je povezan sa standardima kakvoće okoliša odnosno specifičnim onečišćujućim tvarima u riječnom slivu i stoga se *WFD odnosi i na upravljanje kakvoćom i količinom sedimenta*. On je važan, integralni i dinamični dio riječnog sliva jer prirodna rijeka treba sediment kao podlogu za biološke zajednice i biološke elemente kakvoće voda. Ujedno, kakvoća sedimenta predstavlja rizik radi dospijevanja različitih onečišćenja koje mogu utjecati na biološku raznolikost zajednica u koritu rijeke i mogućnosti pružanja UE-a. Upravljanje količinom i kakvoćom sedimenta značajno je za provedbu vodne i okolišne politike EU-a.

### **2.2.9. Procjena rizika od eutrofikacije**

Europska vodna politika identificirala je eutrofikaciju kao prioritetno pitanje upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, posebno kroz UWWTD, ND, WFD i niza međunarodnih konvencija o upravljanje riječnim slivom. Time se želi postići dobro ekološko stanje voda prema WFD-u, zdravi ekosustavi, sigurne vode za kupanje ili piće, te uspostaviti monitoring voda s pokazateljima eutrofikacije kao ključnog alata planiranja mjera upravljanja vodama. *7. Akcijski program za okoliš* (engl.: *7<sup>th</sup> Environmental Action Programme to 2020 and long-term to 2050*) (Službeni list EU-a, 2013) ističe, među ostalim ciljevima, osigurati do 2020. godine – dugoročno do 2050. godine upravljanje „ciklusom nutrijenata” na održiviji i resursno učinkovitiji način. To zahtijeva, poduzimanje daljnjih koraka za smanjenje emisija dušika i fosfora, uključujući i one iz urbanih i industrijskih otpadnih voda i od upotrebe gnojiva, kroz bolju kontrolu izvora i uporabu otpadnog fosfora (EEA, 2016). Unos nutrijenata u uzvodnim područjima uzrokuje promjenu stanja voda i unos onečišćenja u nizvodna

područja (EEA, 2016). Politike i zakonodavstvo zaštite okoliša imaju zajedničke ciljeve: smanjiti eutrofikaciju, te time osigurati zdrave ekosustave, sigurne vode za piće ili kupanje, i pratiti rizik od eutrofikacije kao mjere upravljanja kakvoćom voda, kao provedbu mjera smanjenja nutrijenata radi sprječavanja i osiguranja oporavka od eutrofikacije (WFD CIS Guidance NO. 9, 2009). Zahtjevi za procjenu eutrofikacije uključeni su u vodne politike EU-a kroz određene direktive, kako je opisano u dokumentu „Europska procjena eutrofikacije, mjere smanjenja preko kopnenih izvora, u unutrašnjosti, obalne i morske vode“, ETC/ICM tehničko izvješće – 2/2016 (engl.: *European assessment of eutrophication abatement measures across land-based sources, inland, coastal and marine waters*) (ETC/ICM Technical Report– 2/ 2016 (EEA, 2016). Ne postoji jedinstven pristup i relevantna politika kojima je cilj kontrola pritiska ljudskih aktivnosti s utjecajem na prirodno stanje ekosustava, stanje vodnog tijela i njegovog obogaćenja nutrijentima koji uzrokuju eutrofikaciju (ECRR, 2022). 8. europski program djelovanja za okoliš, u kojem se pružaju „*političke smjernice za politike EU-a u području okoliša i klimatskih promjena*“ za razdoblje od 2021. do 2030. godine, ustraje na „*hitnoj potrebi za izgradnjom klimatski neutralne, zelene, pravedne i socijalne Europe*“ (EU, 2020). Usvojeni su zaključci o klimatskim promjenama sa strateškom dugoročnom vizijom EU-a za klimatski neutralno gospodarstvo. Naglašena je potreba poduzimanja dodatnih mjera za zaštitu i obnovu bioraznolikosti te ambicioznih ciljeva u području bioraznolikosti, izradu strategije za netoksičan okoliš i novi akcijski plan za kružno gospodarstvo (Project REFORM, 2015).

#### **2.2.10. Primjena kombiniranog pristupa**

Pri praćenju i kontroli ispuštanja otpadne vode putem točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, radi postizanja dobrog stanja voda u vodnom tijelu koje služi kao prijatelj ispuštene otpadne vode, poseban je izazov primjena *kombiniranog pristupa*, koji se putem *Metodologije kombiniranog pristupa* (Hrvatske vode, 2015) u Hrvatskoj primjenjuje od 2015. godine. U europskom zakonodavstvu 80-tih godina glavna kontrola emisija onečišćenja provodila se *Direktivom o opasnim tvarima*, a nastavljena 90-tih usvajanjem UWWTD (91/271/EEC) i ND (2006/118/EC). Ostalo zakonodavstvo odnosi se na DWD (98/83/EC) iz 1998. i Direktivu za integralnu prevenciju i kontrolu onečišćenja (u daljnjem tekstu IPPCD) (2006/11/EC) iz 2008. godine za onečišćenja iz velikih industrijskih postrojenja. Kombinirani pristup WFD-a objedinjuje prednosti oba kontrolna mehanizma kakvoće vode, standard recipijenta i standard efluenta, a uglavnom izbjegava njihove nedostatke. Načelo kombiniranog pristupa podrazumijeva

smanjenje onečišćenja voda iz točkastih i raspršenih izvora, uz postupno ukidanje posebno opasnih tvari, s ciljem postizanja dobrog stanja voda. Usklađenost sa *standardom kakvoće okoliša (2008/105/EC)* i kontrole režima ispuštanja otpadnih voda (engl.: *Emission Limit Values Standard, ELVS*), ključan su dio provedbe kombiniranog pristupa. Države članice moraju osigurati da se sva ispuštanja u površinske vode nadziru u skladu s kombiniranim pristupom koji je detaljnije opisan u članku 10. WFD-a, a odnosi se i na više srodnih direktiva prema popisu u Prilogu VI., dio A., kao što je BWD. Uvjet postizanja dobrog kemijskog stanja voda povezan je preko WFD-ove odredbe za uvrštenje prioriternih tvari, s obzirom na opasnosti koje tvari predstavljaju za zdravlje ljudi i okoliš (Reinhard, W.& Döpfer, M., 2014). Od država članica zahtijeva se postizanje ciljeva WFD-a provedbom najboljih raspoloživih tehnika ili primjene standarda kakvoće voda (Reinhard, W.& Döpfer, M., 2014), (Griffiths, M., 2002). Praćenjem pritisaka izvora onečišćenja i stanja voda u sklopu planova upravljanja riječnim slivom, provode se mjere vezane uz provedbu direktiva EU-a radi zaštite voda, kao što se može vidjeti u Tablici 2-6.

Tablica 2-6: Zajedničke mjere koje se koriste u primjeni direktiva EU-a radi zaštite voda (EC, 2017)

Mjere / Direktiva	Direktiva o vodi za kupanje	Direktiva o vodi za piće	Direktiva o nitratima	Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda	WFD/ Okvirna direktiva o vodama
Standard kakvoće vode					
Identifikacija rizika nepostizanja dobrog stanja					
Klasifikacija vodnih tijela					
Plan upravljanja vodama					
Granične vrijednosti emisija					
Informiranje javnosti					
Sudjelovanje javnosti					
Monitoring					

Prema WFD-u, osnovne mjere su minimalni zahtjevi koji će biti uključeni u PoMs, a to su pročišćavanje otpadnih voda u skladu s najboljim raspoloživim tehnikama, vodopravne i okolišne dozvole i sl. Sastoje se od mjera povezanih s primjenom drugih propisa EU-a za upravljanja kakvoćom voda (članak 11. i Aneks VI. WFD-a) (Reinhard, W.& Döpfer, M., 2014) i mjera za postizanje usklađenosti s ciljevima UWWTD i ND, te drugih direktiva vezanih uz smanjivanje onečišćenja i zaštitu vodnog okoliša, pa su u tim slučajevima potrebne dopunske mjere (članak 11.) (Griffiths, M., 2002) Prema nadopuni WFD-a, u članku 4. Direktive 2008/105 uvodi se

*konceptija zone miješanja*, područja u susjedstvu točke ispuštanja, gdje koncentracije jedne ili više tvari mogu prelaziti standard kakvoće okoliša, no ne utiču na dobro stanje voda ostatka vodnog tijela. Potrebno je istaknuti da države članice nemaju obveze određivanja zone miješanja, iako su izrađene *Tehničke smjernice za identifikaciju zona miješanja*. Kod primjene smjernica i usvajanja zona miješanja, potrebno je procijeniti veličinu zone miješanja temeljem standarda kakvoće srednje godišnje vrijednosti (engl.: *annual average*, u daljnjem tekstu AA) i / ili maksimalne dopustive koncentracije (engl.: *maximum allowable concentration*, u daljnjem tekstu MAC) (EC, 2010). Ako države članice odrede zone miješanja, opis pristupa i metodologiju za definiranje miješanja, mjere koje se poduzimaju radi smanjivanja opsega zona u budućnosti moraju biti uključene u planove upravljanja riječnim slivovima. Kao poseban problem u primjeni kombiniranog pristupa navode se problemi s provedbom analize i jasne veze između pritisaka i utjecaja, analiza jaza između postojećeg stanja voda i dobrog stanja voda, te postizanje okolišnih ciljeva riječnog sliva koje se mjeri uobičajenim pristupom - uporabom troškovno učinkovitih osnovnih mjera (EC, 2015e), (Ćosić-Flajsig G. et al., 2017).

### **2.2.11. Usluge ekosustava u integralnom upravljanju kakvoćom voda**

Temeljito revidiranje vodne politike EU-a započelo je 1995. sa zahtjevom za integralnim pristupom upravljanja vodama. Od formalnog usvajanja WFD-a 2000. godine, različiti događaji utjecali su na njezinu provedbu, a neki od ključnih događaja su:

- a) klimatske promjene i rizik od poplava i suša, invazivne vrste i onečišćivači;
- b) novi pristupi upravljanju vodama koji uključuju usluge ekosustava;
- c) ciljevi UN-a za održivi razvoj, a mnogi ciljevi su povezani ili utječu na vode;
- d) ostale politike EU-a o bioraznolikosti koje utječu na način upravljanja vodama.

WFD je postavila ambiciozan cilj postizanja dobrog stanja voda za rijeke, jezera i priobalja te prijelazne i podzemne vode prvobitno do 2015. godine, a sada do 2027. godine. WFD se, kao pravni okvir za zaštitu europskih voda i osiguranja njihove dugoročne i održive uporabe, zasniva na širem opsegu zaštite svih voda, postizanje dobrog stanja za sva vodna tijela, kombiniranom pristupu, graničnih vrijednosti emisija i standarda kakvoće voda, uspostavljanju cijene vode, većem uključivanju javnosti, te pojednostavljenju zakonodavstva (EU, 2017). U kontekstu predstojeće revizije WFD-a, očekuje se *fokusiranje na funkcionalnost vodnih ekosustava i njihov položaj u riječnom slivu jer veliki dio monitoringa ekološkog stanja površinskih voda određuje*



biološku strukturu, a ne i funkciju ekosustava. Za upravljanje kakvoćom voda primjenjuje se DPSIR pristup, uz određivanje pokretača i značajnih pritisaka, te ocjene stanja voda na temelju postojećeg monitoringa. O kvaliteti procjene izravno ovisi ocjena utjecaja na vode koja se provodi uz pomoć prognostičkih modela, te procjena rizika nepostizanja dobrog stanja. Kao rezultat provedene analize i rezultata prognostičkih modela planira se PoMs radi smanjivanja utjecaja, a učinkovitost provjerava uspostavom monitoringa vodnog tijela i ocjenom postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva (EC, 2012a). U kojoj se mjeri radi o iznimno opširnom i zahtjevnom poslu, detaljnije opisuje Voulvoulis i dr. (Voulvoulis, N. et al., 2017). Naime, riječni sustavi su različiti u sociopolitičkom smislu i prirodnim uvjetima, što uvjetuje pojavu najrazličitijih problema u definiranju pritisaka i stanja voda prema tip specifičnoj klasifikaciji vodotoka, kao i primjeni specifičnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, te praćenju provedbe mjera preko monitoringa voda (Voulvoulis, N. et al., 2017). No provedba mjera je često usmjerena na provedbu samo osnovnih mjera bez doprinosa ciljevima WFD-a, kao što se vidi na Slici 2-6.

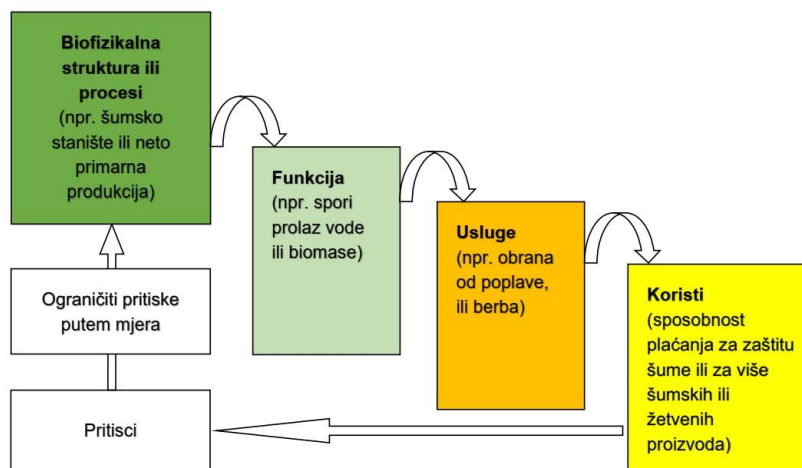


Slika 2-6: Problemi u primjeni DPSIR pristupa u provedbi WFD-a (Voulvoulis, N. et al., 2017)

Analiza odnosa pritisak – utjecaj i uspostava nadzornog monitoringa stanja voda kritični su koraci u procesu planiranja (EC, 2012a), (WFD CIS Guidance No. 7, 2003) temeljitog i sveobuhvatnog razumijevanja riječnog sliva, te osim postizanja pojedinačnih ciljeva, moraju biti usmjereni i na opće ciljeve WFD-a. To je posebno važno za vodna tijela s rizikom nepostizanja dobrog stanja voda, a prati se operativnim

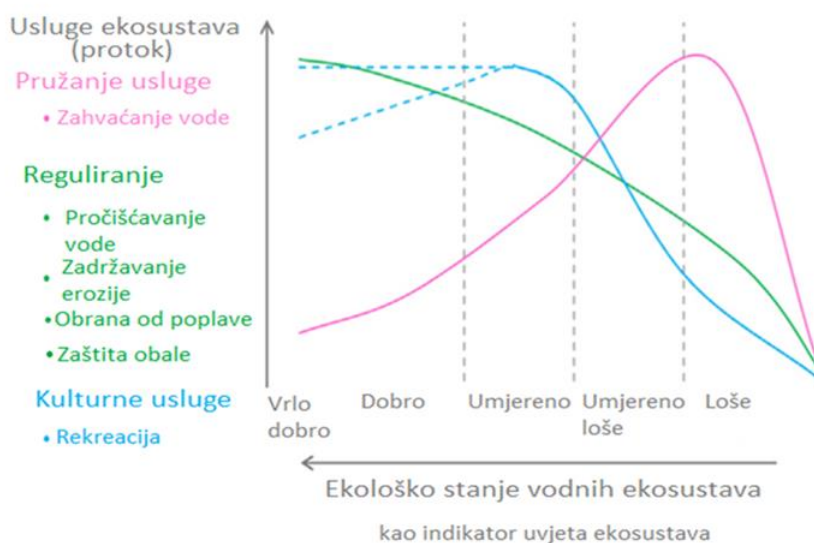
monitoringom putem karakterističnih pokazatelja najvažnijih pritisaka (WFD CIS Guidance No. 7, 2003). WFD određuje dobro ekološko stanje sustava bez bilo kakvih antropogenih pritisaka ili s blagim biološkim odstupanjima od onog što se može očekivati prema neporemećenim / referentnim uvjetima ("bez antropogenih promjena ili samo uz neznatne antropogene promjene") EU, (2017). Stoga, WFD koristi koncepciju referentnih uvjeta za pružanje opisa bioloških elemenata vrlo dobrog stanja voda (WFD CIS Guidance No. 7, 2003) radi procjene odstupanja od biološke zajednice do željenoga dobrog stanja. Zahtjev za definiranje specifičnih referentnih uvjeta po tipologiji (Vincent, C., et al., 2002) je još jedna inovacija WFD-a. Proces procjene ekološkog stanja temelji se na odstupanju od postojećeg stanja u odnosu na neporemećene / referentne uvjete, no to ne pruža apsolutnu vrijednost kakvoće ekosustava (WFD CIS Guidance No. 7, 2003). Dodatak V. WFD-a navodi tri skupine "elemenata kakvoće": biološku i dvije prateće – hidromorfološku i fizikalno-kemijsku, koje služe za klasifikaciju ekološkog stanja voda. Ekološko stanje voda koji je uvela WFD, danas je bolje razumljivo i prihvaćeno kroz povezivanje ciljeva WFD-a i korištenja UE-a radi dobrobiti čovjeka i vrednovanje UE-a, a ostvaruje se i preko Strategije EU-a za biološku raznolikost do 2020. godine (EC, 2011), i do 2030. godine (EC, 2020). Kapacitet ekosustava ima potencijalne koristi za ljude (npr. pružanje dobara i usluga), što se povećava postizanjem dobrog ekološkog stanja voda, dok povećane UE-a (npr. korištenje voda) imaju trend degradacije vodnih ekosustava. Usluge ekosustava mogu se pružiti u četiri glavne kategorije: **(i) usluge podrške**, potrebne za funkcioniranje svih ostalih usluga ekosustava, **(ii) usluge opskrbe** kao što su proizvodnja hrane, voda, drvo, vlakna, genetički resursi **(iii) usluge regulacije** kao što su reguliranje klime, poplava, bolesti, kvaliteta vode, uklanjanje otpada **(iv) kulturološke usluge** koje uključuju odmor, estetsko uživanje, duhovno ispunjenje. Pristupi UE-a i WFD-a su slični u namjeri, te nisu različiti u ishodu ukoliko ekonomske procjene uzimaju u obzir da je dobro ekološko i kemijsko stanje voda prema WFD-u preduvjet za sve funkcije ekosustava. Praćenje ekološkog stanja površinskih voda uključuje *određivanja sastava i strukture bioloških elemenata kakvoće voda* kao glavnih, te osnovnih fizikalno-kemijskih i hidromorfoloških elemenata kao podržavajućih elemenata u ocjeni ekološkog stanja voda, ali *ne analiziraju funkcije pojedinog elementa*. Prema Vlachopoulou i sur. 2014. (Vlachopoulou, M. et al., 2014), unaprjeđenje stanja voda rezultirat će većim brojem UE- ima, a ne postizanje dobrog stanja voda utječe na dostupnost UE-a / funkcija ekosustava. Ukoliko antropogeni pritisci rezultiraju umjerenim, lošim ili vrlo lošim stanjem voda određenog vodnog tijela,

učinak će postati vidljiv kroz odsustvo UE-a. Ako vodno tijelo ispunjava ciljeve WFD-a, podložno samo manjim antropogenim pritiscima, potencijalne koristi od daljnjih poboljšanja stanja voda neće biti tako lako uočljive (Vlachopoulou, M. et al., 2014). Prilikom povezivanja rezultata WFD-a s UE-om, najbitniji je odnos između ciljeva WFD-a i funkcija ekosustava koje dovode do UE-a, prema Slici 2-7.



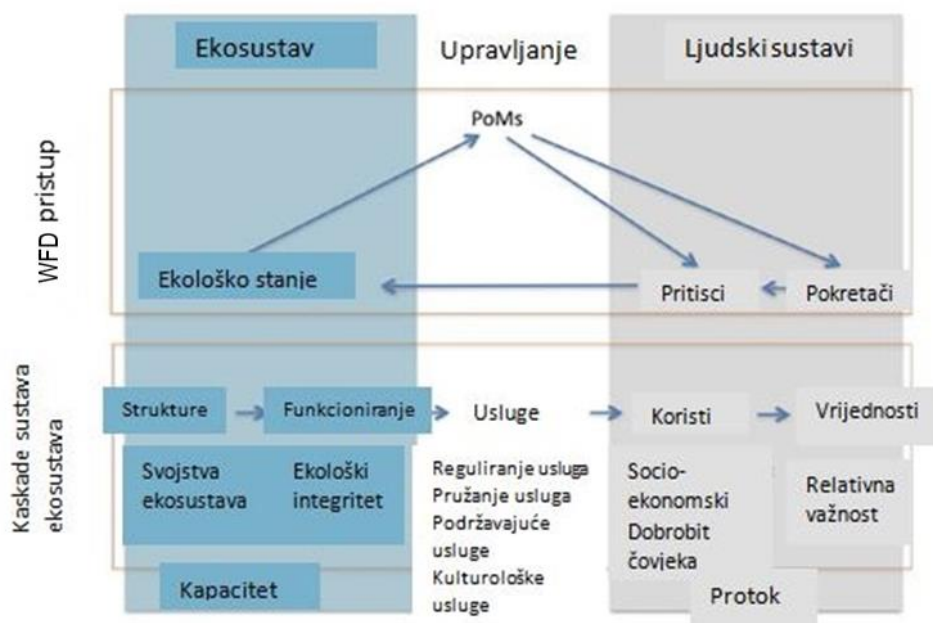
Slika 2-7: Prikaz biološke strukture prema uslugama ekosustava (prilagođeno prema (Vlachopoulou, M. et al., 2014)

Kvalitetna biofizikalna struktura ili procesi ekosustava je preduvjet za kvalitetne funkcije ekosustava, bez kojih se ne mogu ostvariti usluge ekosustava i koristi za čovjeka. Očekivani odnos između razina UE-a (protok) i ekološkog stanja vodnog ekosustava prikazan je na Slici 2-8.



Slika 2-8: Očekivani odnos razina usluga ekosustava (protok) i ekološkog stanja vodnih ekosustava (Grizzetti B. et al., 2019)

Uočava se da pružanje UE-a (obzirom na pokazatelje protoka) u korelaciji s nižim ekološkim stanjem, što sugerira da djeluju kao pritisak na vodne ekosustave. Kao preduvjet pružanja UE-a, ne očekuje se samo postizanje dobrog stanja voda vodnog tijela temeljem indikatora stanja voda, već se zahtijeva funkcionalnost ekosustava. Što je još važnije, pokazatelji ekološkog stanja i usluga ekosustava razlikuju se po definiciji i indikatorima koji se koriste za njihovo izračunavanje. Ekološko stanje je pokazatelj stanja ekosustava i ocjenjuju ga neovisni nacionalni stručnjaci na razini vodnog tijela. Pokazatelji usluga ekosustava temelje se na procjenama modeliranja ili satelitskim snimkama (Grizzetti B. et al., 2019). U analizi je uzeta u obzir samo količina vode potrebna za različite namjene, bez uzimanja u obzir kakvoće vode, koja je važna za ekosustave. U radu Giakoumis T.& Voulvoulis N. (Giakoumis T.& Voulvoulis N., 2018) predstavljen je konceptualni okvir određivanja prioriteta pritisaka na temelju njihovog potencijalnog utjecaja na ekološko stanje voda (uzrokuju jaz u postizanju ciljeva), koristeći UE-a kao pokazatelj utjecaja koji se mogu ostvariti kroz angažman dionika. Slika 2-9.



Slika 2-9: Usluge ekosustava kao važan dio Programa mjera u sklopu provedbe WFD-a (Giakoumis T.& Voulvoulis N., 2018)

Analizom pritisaka i utjecaja iz perspektive procjene rizika, pruža se mogućnost rangiranja pritisaka temeljem mogućnosti pružanja UE-a, odnosno utjecaja svakog pritiska i uključivanja vrijednosti UE-a kao pokazatelja veličine utjecaja. Zbog

povećanja pritisaka i utjecaja, smanjuje se sposobnost pružanja UE-a potrebnih za dobrobit čovjeka i unaprjeđenje njegova života kao važan korak ka holističkom pristupu upravljanja vodama (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), (Pithart, D. et al. 2014), (TEEB, 2010), (Vlachopoulou et al., 2014). Povećanje pritisaka degradira funkcioniranje ekosustava, iako se ne može utvrditi uzročna veza. Slično tome, usluga reguliranja ekosustava smanjuju se s unaprjeđenjem ekološkog stanja (Giakoumis T.& Voulvoulis N., 2018). Vrijednost plana upravljanja vodama riječnog sliva uključivanjem UE-a i radom s dionicima, može pomoći unaprjeđenju PoMs-a, te ostvarenju višestrukih koristi povezanih s unaprjeđenjem ekološkog stanja voda. Konceptija UE-a usvojena je u planovima upravljanja vodama nekoliko država EU-a, iako se često UE ne spominje izravno. Uglavnom se odnosi na integraciju sektorskih politika, kao što su CAP i FD uz višestruke koristi UE-a u sklopu predloženih PoMs-a i analizi troškova i koristi (*cost-benefit analyse: CBA*) u vodnoj politici (Vlachopoulou M. et al., 2014), (Grizzetti et al., 2016), te renaturalizaciju/obnovu vodnih tijela i oporavak ekosustava i UE-a. Danas, uz politike održivog razvoja i očuvanja biološke raznolikosti i strategije planiranja na više razina, zahtijeva se veća pozornost integracije vodne politike u politike drugih sektora, a tome doprinosi proces kartiranja i procjene ekosustava i njihovih usluga (*Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services, u daljnjem tekstu: MAES*) (MAES Working Paper, 2010) koji je razvijen u okviru procjenu UE-a kao potpora strategiji EU-a o biološkoj raznolikosti prema pokazateljima UE-a (Grizzetti et al., 2016). Nedavno je uspostavljena procjena promjena u pružanju UE-a u odnosu na provedene PoMs. MAES, koji je započeo 2012. godine, pruža primjer razvoju analitičkog okvira UE-a koji će se primjenjivati u EU i njegovim državama članicama unutar nacionalnih granica, jer ne postoji posebna europska politika EU-a posvećena upravljanju UE-a. Prvi korak je ekonomska karakterizacija voda riječnog sliva koja uključuje procjenu korištenja voda i ekonomske pokretače koji mogu utjecati na pritiske i stanje voda. Drugi korak je procjena povrata troškova vodnih usluga, a treći ekonomska procjena PoMs unutar integralnog upravljanja vodama riječnog sliva.

### **2.2.12. Odabir matematičkog modela za procjenu utjecaja na vode**

Uspješno upravljanje ruralnim područjima, kao dio upravljanja kakvoćom voda, uključuje PoMs u rasponu od skupe sanacije točkastih i raspršenih izvora onečišćenja do jeftinih rješenja za sprječavanje onečišćenja vodnih tijela. Pri tome se provodi procjena utjecaja na vodno tijelo, procjena rizika nepostizanja ciljeva WFD-a i optimizacija PoMs-a (građevinske i nestrukturane mjere), a za to je danas teško zamisliti

rješavanje bez uključivanja modeliranja kakvoće voda riječnog sliva (EC, 2012a). Modeli riječnog sliva postali su glavni alat za sva ključna pitanja širokog spektra problema okoliša i vodnih resursa, uključujući planiranje, razvoj, projektiranje, rad i upravljanje kakvoćom voda. Od njih se očekuje pružanje holističkog tumačenja prirodnih sustava koji su vođeni hidrološkim procesima i pod utjecajem antropoloških pritisaka. Struktura modela općenito je projektirana s komponentama hidrološkog ciklusa: oborine-površinsko-infiltracijsko otjecanje, evapotranspiracija, protok podzemne vode i strujanje. Iz velike skupine modela sliva, analiziran je i ukratko opisan manji broj modela koji su javno dostupni i prikladni za korištenje kod upravljanja kakvoćom voda ruralnog riječnog sliva. Modeli sliva simuliraju prirodne procese protoka vode, sedimenta, kemikalija, nutrijenata i mikroorganizama unutar sliva, te kvantificiraju utjecaj ljudskih aktivnosti na te procese. Simulacija ovih procesa ima temeljnu ulogu u rješavanju niza problema vezanih uz vode, kao i okolišnih i društvenih problema. Današnje generacije modela riječnih slivova raznolike su i variraju u odnosu na sofisticiranosti podataka i računalnih zahtjeva. Primjerice, takvim modelima omogućena je ocjena utjecaja klimatskih promjena na nacionalne vode i poljoprivrednu produktivnost. Uz brojne i raznolike modele lako se može pronaći više od jednog modela za rješavanje bilo kojeg praktičnog problema. Mnogi modeli su opsežni jer se mogu primijeniti na niz problema. Iako su modeli postali sve sofisticiraniji, još uvijek su nedovoljno široko primijenjeni alati (Singht Vija P. & Frevert Donald K., 2006). Većina modela nije prilagođena korisniku jer imaju velike zahtjeve za podacima, nedostatnu mjerljivost pouzdanosti, definirana ograničenja i smjernice u pogledu uvjeta njihove primjenjivosti. Razmatrani su modeli s korištenjem ArcGIS sučelja koji za izradu strategija upravljanja nutrijentima i zemljištem ruralnog riječnog sliva, imaju mogućnost izrade budućih scenarija uz primjenu mjera kao što su BAP (uključujući primjenu mineralnog i stajskog gnoja prema određenoj količini i vremenskom rasporedu) radi smanjenja pritisaka nutrijenata na površinske vode (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014), a ocjena rada modela temelji se na kalibraciji i validaciji, te i evaluaciji performansi. Korištenje ArcGIS-a omogućuje podjelu slivnog područja na hidrološki homogena podpodručja, te prostorni prikaz područja pod utjecajem raspršenog onečišćenja iz poljoprivrede i ranjivost podzemnih voda. Kako bi osigurala odgovarajuće modele upravljanja kakvoćom voda simulacijom točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, EK-a je financijski podržala međunarodni projekt EUROHARP (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003). Preliminarnim analizama javno dostupnih modela utvrđeno je da svi modeli ne mogu dati sve odgovore vezane uz uspješno upravljanje kakvoćom voda riječnog



sliva, već da svaki model ima svoja ograničenja, pa su analizirani sljedeći matematički modeli (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003):

1. EvenFlow-N; polu-distribuirani konceptualni model razvijen u Velikoj Britaniji za simulaciju dnevnog protoka i koncentraciju anorganskog dušika u rijekama.
2. MONERIS-N i MONERIS-P, (*MOdelling Nutrient Emis-sions in Rlver Systems N i P*); Njemački model sliva rijeke Dunav za procjenu emisija nutrijenata u površinske vode iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja.
3. NLCAT-N i NLCAT-P, (*Nutrient Lossess at CATchment scale N i P*); Nizozemski model s podjelom sliva na niz jedinstvenih proračunskih jedinica korištenja zemljišta, vrste tla i meteoroloških područja.
4. N-LES CAT-N; (*Nitrate Leaching EStimator*) model Velike Britanije za procjene iznošenja N-a.
5. NOPOLU-N i NOPOLU-P; Francuski model kojim se proračunavaju prekomjerni nutrijenti iz poljoprivrednih izvora.
6. REALTA-P; Irski model fosfora.
7. SA-N i SA-P; *Source Apportionment Soil and Water Assessment Tool*, danski model.
8. SWAT-N i SWAT-P, (*Soil Water and Assessment Tool N i P*), Američki model.
9. TRK-N i TRK-P, (*Transport - Retention - Source Apportionment: Pollution Loads to the Sea N i P*) Švedski model unosa dušika sa kopna u more.

Projekt EUROHARP je obuhvatio 22 istraživačka instituta iz 17 europskih zemalja u razdoblju od 2002. godine do 2005. godine, te usporedio devet različitih modela slivova EU-a (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003).

U studiji EUROHARP-a izrađen je pregled okvirne prikladnosti/primjenjivosti, a modeli su rangirani, što je prikazano u tablici 2-7.

Tablica 2-7: Pregled okvirne prikladnosti/primjenjivosti kvantifikacijskih alata za primjenu alata na različite uvjete koji se javljaju u Europi (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003).

Model		N CAT-N N CAT-P	SWAT-N SWAT-P	TRK-N TRK-P	MONERIS-N MONERIS-P	EVENFLOW-N	NLESS CAT-N	NOPOLU-N NOPOLU-P	REALTA-P	SA-N SA-P
Klimatski uvjeti (Slovenija i Hrvatska)		+	+	+/-	+	+	+/-	+	+/-	+
Krajobraz	planine	+/-	+/-	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	+
	brežuljci	+	++	++/+	++/+	+	+	+	++	+
	ravnica	++	+	++/+	++/	+	+	+	-	+
	delte	++	+/-	+/-	+	-	+/-	+	+/-	+
	priobalna zona	+	+	+/-	-	-	+/-	+	-	+
Način tečenja	otjecaj	+/-	++	+/-; +	++/+	+	--	+	-	+
	podpovršinska odvodnja	++	++	++	++/+	+	-	+	-	+
	umjetna odvodnja	++	++	++	++/+	+	-	+	-	+
	podzemno tečenje	++	++	+	+/-	+/-	-	+	-	+
Poljopriv edne aktivnosti	intenzivna	++	++	++/-	++	++	++	+	++	+
	umjerena	++	++	++; +/-	++	++	++	+	++	+
	ekstenzivna	+	++	++/-	+	+; +/-	+	+/-	++	+
Uvjeti tla	nestrukturirana duboka tla	++	++	++	+	+	+	+	+	+
	nestrukturirana plitka tla	+	+	++	+	+	+	+	+	+
	struktuirana tla (glina, treset)	++	++	++	+	+	+/-	+	+	+

Temeljem studije, izrađen je pregled prednosti i nedostataka, te izrađena ocjena njihove prikladnosti u odnosu na tri scenarija: upravljanje nutrijentima, promjene korištenja zemljišta i PoMs (Tablica 2-8).



Tablica 2-8: Potencijalna prilagodljivost modela za tri vrste scenarija (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003)

MODEL	Upravljanje hranjivima	Promjene u korištenju zemljišta	Mjere koje se odnose na vode
EVENFLOW-N	0	+	+
MONERIS-N	+	+	-
MONERIS-P	+	0	-
NLCAT-N	++	++	++
NLCAT-P	++	+	++
N-LES CAT-N	+	0	-
NOPOLU-N	0	0	-
NOPOLU-P	-	-	-
SA-N	-	-	-
SA-P	-	-	-
SWAT-N	++	++	++
SWAT-P	+	+	++
TRK-N	++	++	++
TRK-P	-	-	-

++ vrlo prilagodljivo (dinamični modeli preokreta se modeliraju)

+ prilagodljivo (razmatraju se ključni procesi, barem na jedan način)

0 manje ili više prilagodljivo (samo su dugoročni učinci procijenjeni bez glavne kalibracije)

- nisu prilagodljive (model ne uzima u obzir praksu upravljanja)

Studija EUROHARP-a pokazala je da nije moguće predložiti samo jedan najbolji i najprikladniji model za sve riječne slivove EU-a, jer se kvaliteta korištenja modela temelji na kvaliteti ulaznih podataka uz znanje, iskustvo i umijeće korisnika modela. Obzirom na karakteristike sliva rijeke Sutle, sljedeći modeli u najvećoj mjeri odgovaraju postavljenim kriterijima modela za upravljanje kakvoćom vode, i to su: N CAT-N, N CAT-P, SWAT-N, SWAT-P, TRK-N I TRK-P. Samo su SWAT i TRK od devet EUROHARP-ovih modela prikladni za potrebe modeliranja problema eutrofikacije. Model NL CAT nije testiran izvan Nizozemske, a za model TRK potrebna je visoka razina vještine korisnika za rad s modelom (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003). Za vrednovanje primjenjivosti modela za pojedini riječni sliv mogu se koristiti različito postavljeni kriteriji, no za kriterije postavljene u tablici 2-7 najprihvatljiviji su: NLCAT-N, NLCAT-P, SWAT-N i SWAT-P. U radu Edsel B.D. et al. 2011, (Edsel B.D. et al., 2011) izrađena je analiza platforme stručnih korisnika modela za rangiranje modela koji su korišteni od polja do riječnog sliva za simulaciju hidrologije, sedimenta, hranjivih tvari, bakterija i pesticida u vremenskim razmjerima koji variraju od sata do godine.

Analizirani su sljedeći modeli:

1. SWIM – *Soil and Water Integrated Model*
2. TOUGH2- simulator koji se temelji na općem matematičkom i numeričkom okviru, i rješava jednadžbe ravnoteže mase i energije, višekomponentni sustavi u kombinaciji s geomehanikom
3. VS2MD – ručni programi za procjenu pojedinih pokazatelja
4. WARMF - *Watershed Analysis Risk Management Framework*
5. WEPP - *Water Erosion Prediction Project*.

Kriteriji temeljem kojih su analizirani odabrani modeli su bili: metode i kriteriji za predloženu procjenu utjecaja onečišćenja modelom, te pristup kalibraciji i validaciji. Procijenjeno je da SWAT model najbolje zadovoljava postavljene kriterije. Za kalibraciju koriste se sustavni procesi: hidrologije, pronosa nutrijenata, sedimenta i pesticida, a za validaciju vodno tijelo riječnog sliva ili susjedni riječni sliv. Također, autori članka (Edsel B.D. et al., 2011), pripremili su analize karakteristika i značajki modela upravljanja kakvoćom voda riječnih slivova. Analizirani su sljedeći modeli:

1. AGWA - *Automated Geospatial Watershed Assessment Tool*; podmodel SWAT-a,
2. BASINS - *Better Assessment Science Integrating point & non-point Sources*,
3. MODFLOW – *USGS's modular hydrologic model*, modeliranje protoka podzemne vode metodom konačnih razlika,
4. SAC – *SAP Analytiscs Cloud*,
5. WEPP - *Watershed Erosion Prediction Project*,
6. WISE - *Whole System Informing Self-management Engagement*,
7. WMS – *Watershed Modeling System*.

SWAT model, kao podmodel - AGWA modela i BASINS model, najčešće su korišteni modeli za ruralne riječne slivove. To su najprikladniji modeli za izračun maksimalnog dnevnog tereta (masena koncentracija) (engl.: *Total Maximum Daily Load:TMDL*) i BMP. Prednost SWAT modela je javna dostupnost i relativno velik broj korisnika. Obzirom na otvorenost zajednice korisnika SWAT modela, te različitih oblika kontinuirane edukacije očekuje se širenje broja korisnika i unaprjeđenja modela, razvoj novih ekstenzija poput korištenja usluga ekosustava. U radu Edsel B.D. et al. 2011 (Edsel B.D. et al., 2011), analizirano je korištenje ArcGIS sučelja, modeliranje hidrologije, modeliranje hidraulike, modeliranje površinskog i modeliranje podpovršinskog toka, a sažetak rezultata vrednovanja modela upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva prikazan tablicom 2-9.

Tablica 2-9: Sažetak rezultata vrednovanja modela upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva (Edsel B.D. et al., 2011)

Modeli	AGWA	BASINS	MOD FLOW-	SAC	WEPP	WISE	WMS
<b>ArcGIS sučelje</b>	ArcView 3x	Map Window	-	-	Arc View	da, nepoznato	Arc View
<b>Hidrologija</b>	da	da	ne	ne	ne	da	da
<b>Hidraulika</b>	da	da	da	ne	da	da	da
<b>Površinski</b>	da	da	da	ne	da	da	da
<b>Pod površinski</b>	da	ne	da	ne	da	ne	da
<b>Podmodeli</b>	KINEROS WAT	PLOAD, AUATOX WinHSP F, AGWA	DAFLO W, RT3D, BLTM	-	MASS2	HEC1, HEC-2, HEC- RAS, FLO-2D, CHAMPS, WHAFIS, SWMM, NSPM	HEC-1, TR-20, TR-55, NFF, MODRAT, OC Rational, HSPF, HEC-RAS, SMPDBK, CE-QUAL-W2, GSSHA

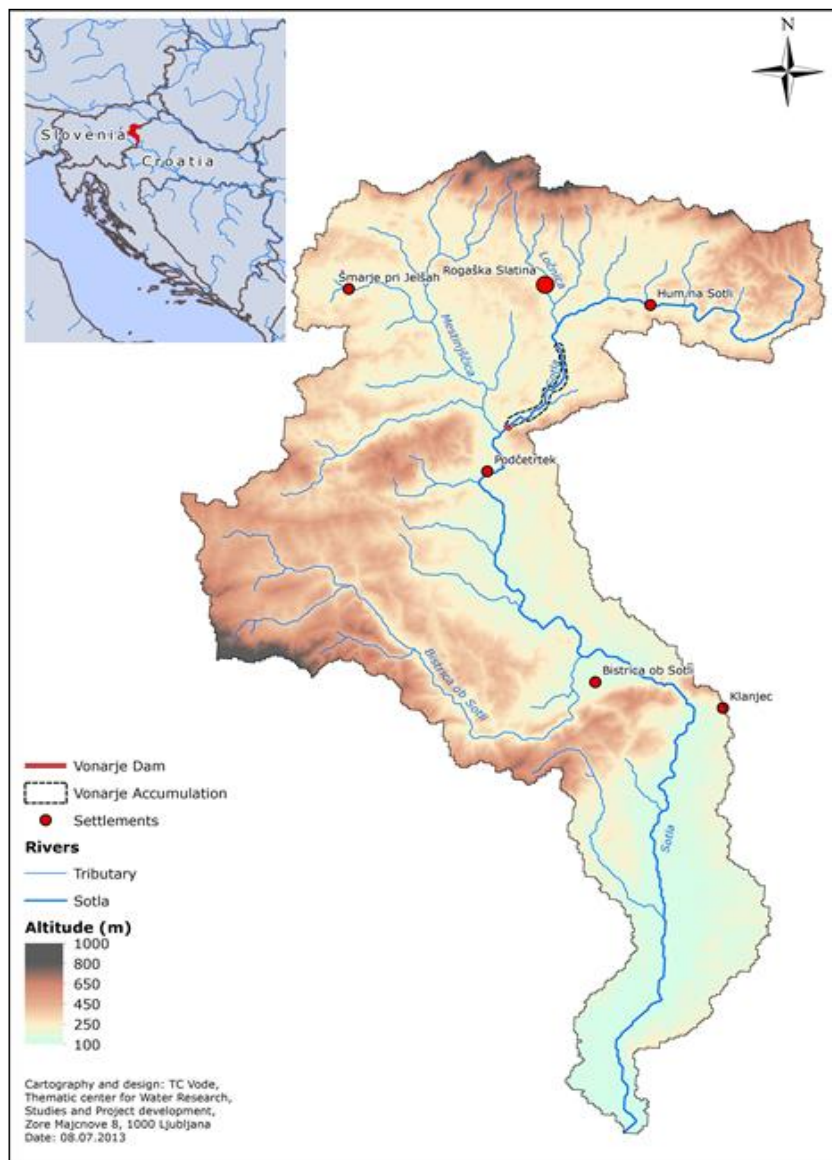
Temeljem naprijed navedenih analiza, može se zaključiti da je SWAT model najprikladniji za modeliranje pritiska manjih ruralnih slivova s velikim utjecajem poljoprivrede i upravljanje kakvoćom vode riječnog sliva, kao i upravljanje zemljištem radi smanjenja utjecaja onečišćenja sedimenta i nutrijenata iz točkastih i raspršenih izvora na vode (Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., 2014), (Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., 2015b), (Edsel B.D. et al., 2011).

### 3. SLIV RIJEKE SUTLE

Na pilot slivu rijeke Sutle, provedena je analiza upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva između Republike Hrvatske i Republike Slovenije, te u Poglavlju 4 predstavljen model upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, a u Poglavlju 5 rezultati primijenjenog modela na sliv rijeke Sutle. Sliv rijeke Sutle je odabran obzirom na prikladnu veličinu, ruralne značajke, relativno veliku raspoloživost javno dostupnih podataka, kao prekogranični riječni sliv država članica EU-a koje provode europsku vodnu politiku, te obzirom na problem eutrofikacije Sutlanskog jezera i nizvodno u rijeci Sutli koji se javio u prošlosti uslijed neadekvatnog upravljanja kakvoćom voda. Nakon aktivnosti vezanih uz obnovu brane Vonarje i obnovu Sutlanskog jezera (od koje se trenutno odustalo), potreba za upravljanjem kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog došla je još više do izražaja.

Upravljanje kakvoćom voda sliva rijeke Sutle nužno je radi postizanja održivog korištenja voda i zemljišta, što je potrebno ostvariti suradnjom Republike Hrvatske i Republike Slovenije. Naime, iako su obje države preuzele i implementirale pravnu stečevinu EU-a, postoje različiti pristupi u primjeni europske vodne politike, te svaka država polazi od svojih nacionalnih razvojnih planova.

Rijeka Sutla većim dijelom je granična rijeka između Hrvatske i Slovenije. Izvire na nadmorskoj visini od 717 m n. m., ispod brda Macelj, i ulijeva se u rijeku Savu jugoistočno od grada Brežica. Kao lijevi pritok, rijeka Sutla ulijeva se u rijeku Savu kod naselja Ključ Brdovečki (Hrvatska) odnosno Rigonce (Slovenija). Prirodni tok rijeke je izrazito vijugav, osim na reguliranim dijelovima. Dolina rijeke Sutle relativno je uska, a tok rijeke ima bujični karakter. Dužina toka je cca 90 kilometra, a površina sliva je 590,6 km<sup>2</sup>, od čega se 78% nalazi u Sloveniji, a 22 % u Hrvatskoj. Sliv Sutle graniči na sjeveru sa slivom Dravinje, na zapadu sa slivom Savinje, a na istoku sa slivom Krapine. Nakon 3 km riječni tok postaje nacionalna granica između Republike Slovenije (s desne strane rijeke) i Republike Hrvatske (s lijeve strane). U nizvodnom dijelu, prije utoka u rijeku Savu, državna granica leži na bivšem toku rijeke Sutle (prije regulacije) (Slika 3-1) (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014).



Slika 3-1: Riječni sliv Sutle. Desni dio (zapadni) riječnog sliva je slovenski. Lijevi dio (istočni) riječnog sliva je hrvatski (preuzeto iz (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014))

Rijeka Sutla prolazi dolinom prosječne širine 1-2 km (maksimalno 5 km) pored brežuljaka s izvrsnim vinogradarskim područjima. Slovenska strana ima veće pritoke, a najznačajnije dvije desne pritoke su Mestinjščica i Bistrica ob Sotli (ili skraćeno "Bistrica"), dok se manje bujične pritoke nalaze se na hrvatskoj strani (Slika 3-1) (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.).

Najznačajnija hidrotehnička građevina na rijeci Sutli je brana Vonarje. Izgrađena je 80-tih godina kako bi se korištenjem prirodne retencije uspostavila višenamjenska akumulacija, Sutlansko jezero. Akumulacija je napunjena 1980. godine, a korištena je za opskrbu pitkom vodom, navodnjavanje poljoprivrednih površina i za zaštitu od poplava. Volumen akumulacije iznosio je 12,4 milijuna m<sup>3</sup>, od čega je za 100-godišnju zaštitu od poplava bio rezerviran volumen od 3,7 milijuna m<sup>3</sup>, dok je površina

akumulacije iznosila 1,95 km<sup>2</sup>. Godine 1989., radi eutrofikacije voda i višekratnih pomora riba, Sutlansko jezero je ispražnjeno u nedostatku boljih remedijacijskih mjera, i koristi se kao suha retencija za zadržavanje velikih voda rijeke Sutle. U ostalim hidrološkim uvjetima, voda kontinuirano istječe kroz temeljni ispušt. U vrijeme značajne eutrofikacije jezera, pojavilo se masovno cvjetanje planktonskih algi, a neke od njih su bile toksične. Kod raspadanja algi, kisik u vodi je potrošen, pridnene životinje uginule, a ribe su uginule ili napustile ugroženo područje. Voda je postala neupotrebljiva za korištenje voda. Pretpostavlja se da je eutrofikaciju uzrokovao prekomjerni unos nutrijenata, i uglavnom, dušika uslijed otjecaja sa poljoprivrednih površina i fosfora iz kućanstava i prehrambene industrije (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014).

Uz prekogranični karakter, sliv rijeke Sutle je i ruralni riječni sliv prema kriterijima OECD-a. Samo jedno naselje u slivu ima više od 5000 stanovnika, i to Rogaška Slatina u Republici Sloveniji. Prisutan je i nedostatak komunalne infrastrukture (vodoopskrba, odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda) u aglomeracijama manjim od 2000 ES. Iako poljoprivredna proizvodnja nije intenzivna, dobro je razvijena u području sliva rijeke Sutle (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014).

Na rubu retencije razvijen je močvarni ekosustav, a prirodno retencijsko područje sa slovenske strane i područje korita cijele rijeke Sutle s hrvatske strane proglašeni su područjima Natura 2000 radi visoke biološke raznolikosti (Šemnički, P., 2014). Tijekom proteklog desetljeća, područje sliva rijeke Sutle razvijalo se kao turističko područje. Stoga, danas postoje brojne lokalne i regionalne inicijative revitalizacije Sutlanskog jezera što bi omogućilo korištenje vode za navodnjavanje i opskrbu pitkom vodom, te izgradnju turističkih i rekreacijskih sadržaja. Da bi se to ostvarilo, potrebno je postići dobro stanje voda Sutlanskog jezera i rijeke Sutle, dobru kakvoću voda za kupanje, te osigurati zaštitu od štetnog djelovanja vode. Potencijalne negativne promjene u budućnosti mogu nastati uslijed klimatskih promjena i utjecaja na hidrološke značajke voda i promjene u odnosu na potrebe i mogućnost korištenja voda u riječnom slivu, kao i postizanja dobrog stanja voda vodnih tijela. Izradom modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva obuhvaćena je i izrada budućih scenarija koji uključuju i utjecaje uslijed klimatskih promjena. Sve navedeno ukazuje na potrebu analize mogućnosti redefiniranja Sutlanskog jezera kao višenamjenskog jezera, potrebu izrade plana upravljanja kakvoćom voda sliva rijeke Sutle. Uz provedbu europskog zakonodavstva vezanog uz pročišćavanje industrijskih i komunalnih otpadnih voda i primjenom europske okolišne poljoprivredne politike u Sloveniji i Hrvatskoj, uz primjenu mjera „po mjeri“ riječnoga

sliva koje uključuju i mjere prilagodbe klimatskim promjenama, očekuje se da će razina emisija u vode, pa time i rizik od eutrofikacije i ne postizanja dobrog stanja voda rijeke Sutle i Sutlanskog jezera biti znatno niži u budućnosti u odnosu na 1980-e.

U tu svrhu, potrebno je poznavati klimatološke, hidrološke i hidrauličke čimbenike sliva rijeke Sutle, izvore onečišćenja, pronos onečišćujućih tvari i različite kemijske pokazatelje, njihovu razgradnju, postojeće stanje voda i provedene mjere. Modeliranjem pritisaka i procjene utjecaja, uslijed klimatskih promjena i u različitim scenarijima razvoja, moći će se analizirati utjecaj onečišćujućih tvari na vode i vodne ekosustave. Poznavanje navedenih informacija i procesa nužno je za planiranje renaturalizacije Sutlanskog jezera i definiranja potrebnih mjera.

U nastavku ovog poglavlja, bit će opisana glavna geografska, klimatološka, hidrografska, biološka i društvena obilježja područja istraživanja koja su ishodišna točka istraživanja u razvoju modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva. Izrađena je i analiza stanja površinskih voda i provedenih mjera u riječnom slivu.

### **3.1. Opis sliva rijeke Sutle**

#### **3.1.1. Karakteristike sliva rijeke Sutle**

Po geografskim regijama Slovenije, sliv Sutle se nalazi u regijama Voglajnsko i Zgornjesotelsko brdo. Istočna strana dolina je podnožje brda Hrvatskog zagorja. U raznolikoj i raščlanjenoj površini brda se isprepliću s brežuljcima. Sliv rijeke Sutle, koji se u Sloveniji naziva i Posotelje, proteže se između planinskog lanca Bočka i sliva Krškog duž slovensko-hrvatske granice u smjeru sjever-jug. Gornji i srednji dio sliva ima izrazito asimetričan oblik, jer su slivne površine desnih pritoka na slovenskoj strani znatno veće od slivnih površina lijevih pritoka na hrvatskoj strani. Rijeka Sutla izvire u šumovitom i strmom Maceljskom brežuljku na nadmorskoj visini od oko 640 m n. m. i nakon oko 90 km, na nadmorskoj visini od oko 130 m n. m. ulijeva se u rijeku Savu kao lijeva pritoka neposredno prije naselja Jesenice u Dolenjskoj (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.) (Slika 3-2).





Slika 3-2: Rijeka Sutla s pritokama i granicom sliva (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.)

U uzvodnom dijelu, zajedno s mnoštvom manjih pritoka, Sutla ima izrazito bujični karakter. Njen najveći pritok, vodotok Mestinjščica, ulijeva se u Sutlu u naselju Podčetrtak. Prije ušća Mestinjščice u Sutlu, osamdesetih godina prošlog stoljeća izgrađena je brana i formirano Sutlansko jezero, višenamjenska akumulacija Vonarje koja danas funkcionira kao retencija. U Rogatcu se u Sutlu ulijeva rukavac Draganja, dok ispod Rogatca Sutla sve više poprima karakter nizinske rijeke. Na dionici između Čemehovca i ušća u Savu korito rijeke Sutle uglavnom je umjetno izravnano, a vrlo vijugava slovensko-hrvatska granica ukazuje na nekadašnji tok jako vijugavog riječnog korita (Slika 3-2). Pod Zgornotsotelskim gričem Sutla skreće prema jugu, a veći pritoci Sutle u ovom dijelu su Tinski potok, Župnijski potok, Golobinjek, Olimščica, Buča i veća pritoka Bistrica koja se u Sutlu ulijeva kod Bistrice ob Sotli. Nakon ušća u Bisticu, Sutla vijuga Kumrovečkim poljem, a potom između Bizeljskih griča i Cesargradske gore skreće u uski kanjon Zelenjak (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.). Nakon izlaska iz



kanjona, najveće pritoke Sutle su Dramlja i Bizeljski potok. Lijeva, hrvatska obala Sutle predstavlja podnožje brda, svi lijevi pritoci su stoga kratki i bujičnog karaktera s pojačanom erozijom, a veće lijeve pritoke su Škrnik, Kladnik i Razvor, potok Čemehovec i potok Dubravica. Hidrografske karakteristike sliva rijeke Sutle s prikazom površina, postotkom površine podsliva prema lokalitetu na Sutli u odnosu na cijelu površinu sliva, i % pada sliva i % pada vodotoka, daju se Tablici 3-1.

Tablica 3-1: Hidrografske karakteristike sliva rijeke Sutle (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

Vodotok	Površina sliva (F) km <sup>2</sup>	F/Fukup %	Pad sliva %	Pad vodotoka %
SUTLA – m. p. Rogatec	39,43	6,8	38	0,63
SUTLA – Brezno	109,0	18,8	32	0,31
Mestinjščica – Sodnja Vas	98,4	17,0	19,6	0,70
Tinski potok – ušće u Mestinj.	33,18	5,7	32,5	0,80
Mestinjščica – ušće u Sutlu	131,6	22,7	20	0,52
SUTLA – m.p. Miljana	266,12	45,8	24	0,22
Buča – ušće u Sutlu	21,2	3,6	-	-
Bistrica – m.p. Zagaj	95,81	16,5	32,8	0,68
Bistrica – ušće u Sutlu	110,31	19,0	36,0	0,62
SUTLA – m.p. Zelenjak	463,95	79,9	24,0	0,22
SUTLA – m.p. Rakovec	557,7	96,0	-	-
SUTLA – ušće u Savu	<b>580,86</b>	100	-	-

m.p. – mjerna postaja

Sliv rijeke Sutle podijeljen je na gornji dio, između Bočkog pogorja i Rudnice, srednji dio, između Rudnice i Orlice, i donji dio, južno od Orlice. Viši vrhovi su Boč (978 m), Donačka gora (882 m) i Macelj (718 m) u planinskom lancu Bočko, izvorište Sutle, Plešivec (686 m) u planinskom lancu Rudnica, Veliki Vrh (697 m) u planinskom lancu Orlice i Javornik (1024 m) u planinskom lancu Bohor. Područje riječnog sliva rijeke Sutle geološki je raznoliko, sastoji se od vapnenca, glinenog škriljevca i sedre. Brda

su uglavnom građena od mezozojskog vapnenca i dolomita, dok su brežuljci građeni od tercijskih stijena: pješčenjaka, lapora, kvarcnog šljunka, gline, škriljevca i konglomerata. Ravnice dolina prekrivene su slabo propusnim miocenskim i pliocenskim sedimentima Panonskog mora, mnoge su vlažne i močvarne, često poplavljene (Projekt FRISCO, 2014.-2020.).

### 3.1.2. Povijesni izvori

Vezano uz hidrografsko područje rijeke Sutle na starim kartama, u nekim starijim pisanim izvorima rijeka Sutla se spominje pod raznim imenima: Zotle (1016), Zotel (1130), Satel (1303), Zatel (1309), Zotla (1322, 1475) i Zatl (1495). Na Slici 3-3 prikazano je područje ušće vodotoka Bistrica u rijeku Sutlu na Karti 1. vojne izmjere, 1806. –1869., (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.).



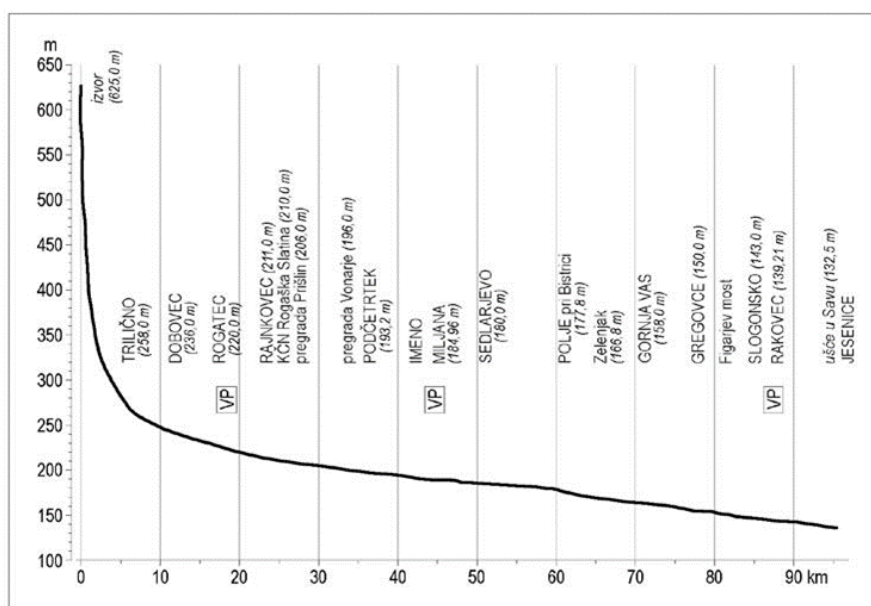
Slika 3-3: Ušće Sutle i Bistrice na karti 1. vojne izmjere, 1806.–1869. (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.)

Nizvodno od ušća do kanjona Zelenjak, Sutla je nekada snažno vijugala Bistriškim poljem. Danas je na ovoj dionici korito uređeno, dok su ostaci nekadašnjih meandara rukavci rijeke. Kumrovec (Kumarovecz) se nalazi na lijevoj obali rijeke. Rijeka Sutla je stoljećima bila granična rijeka između austrijskog i mađarskog dijela Habsburškog Carstva, ali nije predstavljala veću prepreku suradnje i zajedničkog života za stanovnike s obje strane rijeke. Česte poplave rijeke Sutle stvarale su znatne probleme stanovnicima s obje strane rijeke Sutle, pa je u Slovenskom gospodarstvu iz 1899. godine zabilježen podatak o golemim štetama koje je rijeka Sutla prouzročila

tijekom godišnjih poplava, uslijed erozije i ispiranja obale. Na taj način je oduzimala zemlju priobalnim posjednicima, pa su mještani tražili da država izravna i uredi korito na najkritičnijim mjestima kako bi se šteta ublažila. Tako je i napravljeno, te se navedeno smatra najznačajnijim hidrotehničkim regulacijama rijeke Sutle (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.).

### 3.1.3. Geomorfologija sliva rijeke Sutle

Geotektonski kontakt Panonskog bazena, unutrašnjih Dinarida, te istočnih Alpa, u znatnoj je mjeri utjecao na relativno složen geomorfološki razvoj doline rijeke Sutle i njenog riječnog sliva, te kompozitni karakter doline. To znači da se na uzdužnom profilu doline smjenjuju kotlinska proširenja i suženja-sutjeske (Slika 3-4 i Tablica 3-2) (Žiger Z. & Bognar A., 2007).



Slika 3-4: Uzdužni nagib rijeke Sutle s „0“ kotama (Žiger Z & Bognar A., 2007)

U skladu s tim različitim prirodno-geografskim i geološkim preduvjetima u pojedinim fazama modeliranja doline Sutle, ona ne pokazuje jedinstvena geomorfološka obilježja. U Tablici 3-2 prikazane vrijednosti nagiba pada uzdužnog profila rijeke Sutle od izvora do ušća prikazanog na Slici 3-4.

Tablica 3-2: Vrijednosti nagiba pada uzdužnog profila rijeke Sutle od izvora do ušća (Žiger Z & Bognar A., 2007)

Mjesto	Udaljenost od ušća (km)	Udaljenost od izvora (km)	Kota «0» točke m n. m.	Ukupan pad (cm)	Pad (cm/km)
IZVOR	95,486	0	625,0	-	-
TRLIČNO	88,486	7,0	258,0	36 700	5242,85
DOBOVEC	83,486	12,0	235,0	2300	460,0
ROGATEC	77,486	18,0	220,0	1500	250,0
RAJNKOVEC	71,486	24,0	211,0	900	150,0
ROGAŠKA SLATINA	71,0	24,486	210,0	100	205,76
PRIŠLIN	68,486	27,0	206,0	400	159,10
VONARJE	60,486	35,0	196,0	1000	125,0
PODČETRTEK	56,486	39,0	193,2	280	70,0
MILJANA	51,486	44,0	184,96	824	164,80
SEDLARJEVO	45,486	50,0	180,0	496	82,66
POLJE PRI BISTRICI	36,0	59,486	177,8	222	23,19
ZELENJAK	30,486	65,0	166,8	1100	199,49
KLANJEC	28,486	67,0	161,0	580	290,0
GORNJA VAS	24,486	71,0	158,0	300	75,0
GREGOVCE	16,486	79,0	150,0	800	100,0
SLOGONSKO	11,486	84,0	143,0	700	140,0
RAKOVEC	8,486	87,0	139,21	379	126,3
RIGONCE	3,486	92,0	136,0	329	64,2
UŠĆE U SAVU	0	95,486	132,5	350	100,4
UKUPNO	95,486	95,486		48 756	510,6

Tablica je konstruirana na temelju podataka iz studije: Marinček, Matija: „Stacionaža reke Sotle“ VPG, 2000.

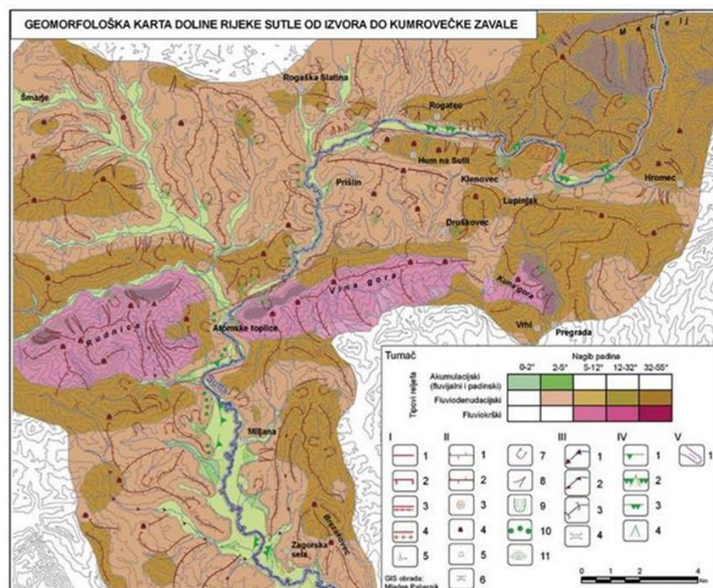
Dolina rijeke Sutle ima kompozitno obilježje što je izraz njenog složenog geomorfološkog razvoja. Reljef doline Sutle u velikoj je mjeri modificiran čovjekovim djelovanjem. U orografskom i morfogenetskom, te morfostrukturnom smislu može se izdvojiti šest jasno diferenciranih dijelova doline Sutle, i to:

1. Izvorišni dio doline Sutle u okviru Maceljskog pobrđa (od izvora do Hromca), uski duboki izvorišni dio doline „V“ izreza poprečnog profila,

2. Dolinsko proširenje Sutle od Hromca do Strmca Humskog, dolinsko proširenje kod Lupinjaka - Hromca,
3. Sutjeska Sutle od Strmca Humskog do početka proširenja doline Sutle, istočno od Rogateca,
4. Relativno uska dolina Sutle ravnog dna od Rogateca do Atomskih toplica - terme Olimia (djelomično ujezerena-Sutlansko jezero) obilježena izmjenom manjih proširenja i suženja,
5. Suženje - sutjeska s obilježjem probojnice između Desinić gore i gorskog uzvišenja Rudnice (od Atomskih toplica - terme Olimia do poljane Sutlanske),
6. Proširenje doline od Poljane Sutlanske do Zagorskih sela obilježeno s dva manja kotlinska proširenja, prvo u području Miljana - Imeno, a drugo između Zagorskih sela - Sedlarjeva, te manjim suženjem između Plavića – Prelaskog,
7. Dolina donjeg toka rijeke Sutle je od Kumrovečke zavale do ušća u Savu.

U oblikovanju dolinskih strana, poloja, terasa i korita vodotoka, odlučujuću ulogu imalo je djelovanje mehanizama voda rijeke Sutle. Promjene su se odvijale tijekom pleistocena i holocena pod utjecajem rasjeda koji poprečno sijeku uzdužni profil rijeke, uslijed oborinskih procesa uz utjecaj mlađe tektonike, te antropogenih aktivnosti. Morfološki razvoj korita rijeke Sutle prvenstveno je ovisan o faktorima erozije. Vode rijeke Sutle, krećući se laminarno i turbulentno, mehanički destruiraju strane i dno korita, te rezultiraju iznošenjem nanosa nizvodno. Oblikovanje uzdužnog profila rijeke Sutle bitno je uvjetovano tektonskim pokretima, sastavom, protokom i nanosom.. Redovno je uz rasjede, gdje je povećan pad rijeke, snažno njeno usijecanje. Utvrđeno je nekoliko rasjeda koji poprečno sijeku uzdužni profil rijeke kao rezultat djelovanja mehanizama vode. Uz rasjede, nagibi korita su redovito povećani, obilježeni prevladavajućom erozijom u gornjem toku. Na ostalim dijelovima Sutla teče djelovanjem mehanizma srednjeg toka, meandrirajući. Značajke mehanizma djelovanja vode i utjecaja tektonskih pokreta, u znatnoj mjeri su utjecali na granulometrijski sastav naplavine Sutle i na njegovu širinu. Poloj rijeke Sutle razvijen je duž čitavog uzdužnog profila rijeke, širi je u kotlinskim proširenjima, a uži u sutjeskama uslijed mehanizma gornjeg toka usijecanja. Geomorfološka analiza govori u prilog činjenice da se čitav sliv Sutle nalazi u stalnom relativnom izdizanju, s tim da je u kotlinskim proširenjima ono nešto slabije izraženo pa se u odnosu na okolna uzvišenja tu može govoriti o relativnom spuštanju. Sve to utječe da se rijeka meandrirajuće usijeca pa do plavljenja dolazi samo za vrijeme visokih voda. Stoga, poplave u dolini rijeke Sutle su rijetke i uglavnom dugotrajnije u onim dijelovima gdje

je izrazitije relativno spuštanje. Na Slici 3-5, prikazana je geomorfološka karta doline rijeke Sutle od izvora do Kumrovečke zavale (Žiger Z. & Bognar A., 1969).



Slika 3-5: Geomorfološka karta doline rijeke Sutle od izvora do Kumrovečke zavale (Žiger Z. & Bognar A., 1969)

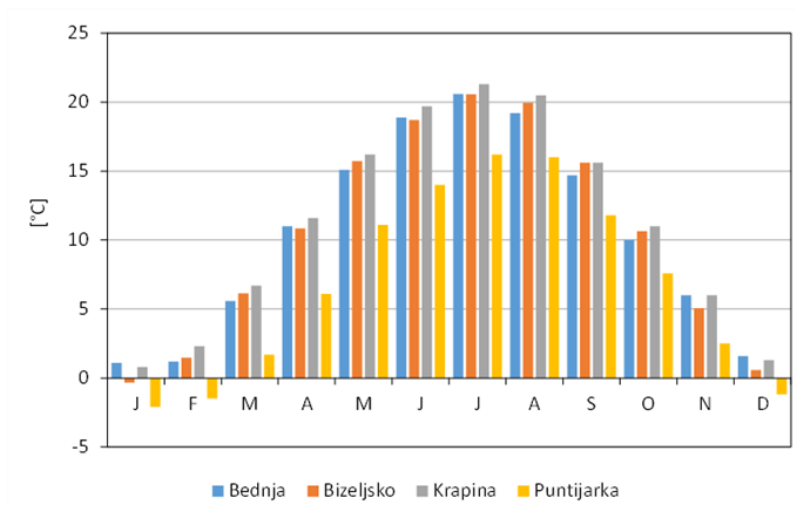
Sliv Sutle je u velikoj mjeri obrastao šumskom vegetacijom, a dijelom se koristi kao poljodjelsko-vinogradarske površine. Izrazita reljefna energija i povećani nagibi pobrđa česta uzrokuju ispiranje i jaruženje (kod pješčenjaka i pijesaka), te pojavu klizišta (kod glinovitih čestica). Obzirom na velike nagibe (najčešće od 25-30°) jaruge su i danas u funkciji, te završavaju bujičnim, proluvijalnim plavinama u podnožju brdskih blokova.

## 3.2. Klimatološke i hidrološke osobine područja

### 3.2.1. Klimatološke karakteristike područja

Sliv rijeke Sutle ima subpanonsku klimu s tipičnim hladnim zimama i toplim ljetima. Zračne mase na višim nadmorskim visinama brže se mijenjaju s vjetrovima, dok se na dnu dolina ili kotlina promjene događaju sa zakašnjenjem, što se očituje učestalim temperaturnim obratom, osobito u hladnoj polovici godine. Na Slici 3-6 prikazana je prosječna godišnja temperatura izmjerena na meteorološkim postajama Bednja, Bizeljsko, Krapina i Puntijarka.





Slika 3-6: Prosječna mjesečna temperatura zraka izmjerena na meteorološkim postajama Bednja, Bizeljsko, Krapina i Puntijarka u razdoblju 1981.–2010. (Projekt FRISCO1 (2014.-2020.))

Prosječna godišnja temperatura izmjerena na meteorološkoj postaji Bizeljsko u razdoblju 1981. – 2010. iznosi 10,4 °C, srednja siječanjska temperatura (– 0,3 °C), a srednja srpanjska 20,6 °C (Projekt FRISCO1 (2014.-2020.)). Godišnja količina oborina varira između 1000 i 1300 mm i opada od zapada prema istoku ili sa smanjenjem površinske varijabilnosti, a godišnja količina isparavanja iznosi oko 650 mm. Natprosječno su vlažne južne padine Boča, Donačke gore i Macelja, gdje izvire rijeka Sutla. Područje prima najviše oborina u ljetnim mjesecima s vrhuncem u lipnju, a najmanje zimi, u siječnju i veljači. Jesenski mjeseci su sušniji od ostalih dijelova godine, dok su srpanj i rujan najkišovitiji mjeseci. Daleko najsušnija godina u razdoblju 1981. - 2010. bila je 2003., kada je veći dio sliva rijeke Sutle dobio manje od 800 mm oborina. Maksimalna dnevna količina oborina od 110 mm zabilježena je na meteorološkoj postaji Bizeljsko 4. srpnja 1989. godine. U Privitku 1, Meteorološke postaje u slivu rijeke Sutle, na Slici 1 prikazane su mjesečne i godišnje količine oborina izmjerene na referentnim meteorološkim postajama sliva rijeke Sutle: Bednja, Bizeljsko, Desinić, Krapina, Podčetrtek, Podsreda, Puntijarka, Sromlje, Žetale i Žusem u referentnom 30-godišnjem razdoblju 1981. – 2010. (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.).

Sliv Sutle nije zaštićen sa sjevera, pa su prodori hladnog zraka češći. U razmjerno uskoj dolini, hladan zrak se zadržava, što je uzrokom da je taj dio Zagorja najhladniji prostor u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Reljef utječe i na količinu oborina jer gorska područja uvijek primaju više oborina od okolnih nižih područja. Na pojedinim stranama gorja postoje velike razlike u temperaturi. U sjeveroistočnim predjelima sve su jači kontinentalni utjecaji. To se vidi iz godišnjeg kolebanja temperature koja se povećavaju u pravcu sjeveroistoka. Padine okrenute prema jugu su osunčanije i zato

toplije od sjevernih, te na njima dobro uspijevaju voćke i vinova loza. Sjeverne padine su zaklonjene od Sunca i zato hladnije i najčešće pošumljene, a snijeg se dulje zadržava. Na prisojnim stranama, okrenutim prema jugu, donja granica šuma je iznad 600 m n. m., a na osojnim stranama iznad 200 m n. m. (Projekt FRISCO1, 2014-2020)

### **3.2.2. Hidrološke karakteristike područja**

Na izvorištu, zajedno s mnogim manjim pritokama, rijeka Sutla ima izrazito bujični karakter. U Rogatcu se u Sutlu ulijeva pritoka Draganja, a ispod Rogatca rijeka Sutla sve više poprima karakter nizinske rijeke. Ispod brežuljaka gornjeg dijela sliva, rijeka Sutle skreće na jug, a u naselju Podčetrtak u rijeku Sutlu se ulijeva njezina najveća pritoka Mestinjščica. Dolina se sužava i prelazi preko Srednjesotelskog brda. Veće pritoke Sutle u ovom dijelu su Tinski potok, Župnijski potok, Golobinjek, Olimščica, Buča i veća pritoka Bistrica koja se kod Bistrice ob Sotli ulijeva u Sutlu. Nakon ušća u Bisticu, rijeka Sutla vijuga kroz Kumrovečko polje, a zatim skreće u usku sutjesku Zelenjak između Bizeljskih brežuljaka i Cesargradske gore. Nakon izlaska iz sutjeske Zelenjak, Sutla prelazi preko Krško-brežičke aluvijalne ravnice, gdje se ulijevaju veći pritoci Dramlja i Bizeljski potok. Lijeva, hrvatska obala Sutle uglavnom predstavlja podnožje brežuljaka, tek tu i tamo Sutla prelazi kroz manje doline. Stoga su sve lijeve pritoke kratke i bujične prirode, s povećanom aktivnošću erozije. Veće lijeve pritoke su Škrnik, Kladnik i Razvor na području Kumrovca, potok Čemehovec i potok Dubravica. Na dionici između Čemehovca i utoka u Savu korito Sutle je većim dijelom umjetno regulirano, a sam vijugav tok slovensko-hrvatske granice ukazuje na nekadašnji tok jako vijugavog korita (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.).

Klima sliva Sutle uglavnom ima obilježja subpanonskog kišno-snježnog režima s izraženim maksimumima: u rano proljeće i u kasnu jesen, te minimumima ljeti. Visoka varijabilnost srednjih mjesečnih protoka može se očekivati u toplijoj polovici godine i mogućnošću ljetnih pljuskova. Glavni maksimum srednjeg protoka (a tako i srednjih visokih i srednjih niskih protoka), zabilježeni su u ožujku, posljedica su proljetnih oborina i kopnjenja snijega, pa je maksimum srednjeg protoka u svim postajama u ožujku ili veljači. Utjecaj zadržavanja snijega u slivu rijeke Sutle je kratkotrajan. Visoki protoci u kasnu jesen nastaju kao posljedica jesenskih oborina. Budući da je tada evaporacija mala, inače slabije i dugotrajnije jesenske kiše dovode do postupnog povišenja protoka. Niski protoci se javljaju u toplijem dijelu godine što je česta značajka kišnih režima. Naime, iako se u tom dijelu godine javlja više oborina nego u hladnijem dijelu godine, od izuzetnog značaja su gubici nastali evapotranspiracijom. U lipnju,



odnosno srpnju, ipak je utvrđeno povećanje protoka. Kako se u to doba često javljaju pljuskovi to ima odraz u visokim vodostajima, odnosno u srednjim visokim protocima i visokim protocima. Nadprosječni volumen vode obično je prisutan u koritu između veljače i travnja te između listopada i prosinca, dok se ispodprosječan volumen pojavljuje između svibnja i rujna. Prema podacima mjernih postaja na Sutli, viši su protoci u hladnijem dijelu godine, niži u toplijem dijelu godine, a najmanji su u kolovozu. Korito rijeke Sutle karakterizira obraslost gustim raslinjem (drveće i šiblje) na većem dijelu toka, što uzrokuje formiranje čepova, koji kod velikih voda u Sutli uzrokuju lokalna plavljenja. Također je prisutna i česta pojava erozija pokosa korita na konkavama krivina, uslijed čega dolazi do značajnog meandriranja korita i šteta na okolnom zemljištu (Projekt FRISCO, 2014-2020).

Pri određivanju režima tekućica tijekom hidrološke ili kalendarske godine koriste se glavne hidrološke veličine, vodostaji i protoci, koji se mjere na hidrološkim postajama. Značajnije je raspolagati protocima, jer se tada mogu obavljati usporedbe između podataka pojedinih hidroloških postaja, dok kod vodostaja izravne usporedbe nisu moguće.

### **3.2.3. Motrenja na klimatološkim, meteorološkim i hidrološkim mjernim postajama**

U Republici Hrvatskoj, motrenja i mjerenja na meteorološkim postajama, kišomjernim postajama i hidrološkim postajama provodi DHMZ. U Republici Sloveniji motrenja i mjerenja na meteorološkim postajama te na kišomjernim postajama, kao i hidroloških uvjeta u slivu rijeke Sutle provodi ARSO (Projekt FRISCO (2014. – 2020.)). Na rijeci Sutli, kao pograničnoj rijeci, temeljem definiranih metodologija nacionalnih programa hidrološkog monitoringa potrebno je provesti usuglašavanje i racionalizaciju slovenskih i hrvatskih mjernih postaja. Objedinjeni skupovi klimatoloških, meteoroloških i hidroloških mjernih podataka dobivenih temeljem sustavnog praćenja na mjernim postajama, u definiranim vremenskim razdobljima s neprekinutim nizovima podataka, omogućavaju izradu klimatoloških, meteoroloških hidroloških analiza u slivu rijeke Sutle.

Sve klimatološke, meteorološke i hidrološke postaje u slivu rijeke Sutle i u njenom zaleđu, slovenske i hrvatske, prikazane su na Slici 3-7.



Slika 3-7: Klimatološke, meteorološke i hidrološke mjerne postaje na širem području sliva rijeke Sutle (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

### 3.2.3.1. Klimatološke mjerne postaje na istražnom području rijeke Sutle

Za potrebe istraživanja u sklopu ovog doktorskog rada, analiziran je cijeli niz klimatoloških mjernih postaja koje gravitiraju slivu rijeke Sutle i odabrane su 4 mjerne postaje. Referentne klimatološke mjerne postaje za sliv rijeke Sutle, a koje su kasnije korištene za modeliranje SWAT modelom, su u Republici Hrvatskoj: Zagreb-Maksimir, a u Republici Sloveniji: Bizeljsko, Celje i Novo Mesto. Na navedenim mjernim postajama mjeri se:  $T_{\max}$  (maksimalne temperature),  $T_{\min}$  (minimalne temperature), vjetar, vlažnost i osunčanost (insolacija). Oborine su mjerene samo na mjernoj postaji Bizeljsko. U Tablici 3-3 prikazani su osnovni metapodaci o korištenim podacima na klimatološkim mjernim postajama.

Tablica 3-3: Klimatološke mjerne postaje referentne za modeliranje SWAT modelom sliva rijeke Sutle

Red. broj	Naziv postaje	Država	Nadmorska Visina (m n. m.)	Razdoblje	Klimatološki podaci					
					Oborine	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	Vjetar	Vlažnost	Osunčanost
1	BIZELJSKO	SLO	179	1995-2012	DA	DA	DA	DA	DA	NE
2	CELJE	SLO	244	1990-2007	NE	DA	DA	DA	DA	DA
3	NOVO MESTO	SLO	220	1990-2014	NE	DA	DA	DA	DA	DA
4	ZAGREB-MAKSIMIR	HR	123	1980-2013	NE	NE	NE	NE	NE	DA

Za modeliranje SWAT modelom odabran je niz podataka od 2001. godine do 2014. godine, kao dovoljno dugačak i neprekinuti niz. Obzirom da je analizom odabranog vremenskog niza utvrđeno da postoji nedostatak podataka za određene datume i određene pokazatelje, nizovi podataka za potrebe modela dopunjeni su s podacima susjednih mjernih postaja.

### 3.2.3.2. Meteorološke mjerne postaje na istražnom području rijeke Sutle

Meteorološke mjerne postaje u slivu rijeke Sutle, koje provode mjerenja od 1980. godine i od 1990. godine u Hrvatskoj su: Kumrovec i Klanjec, a u Republici Sloveniji: Podčetrtek, Žusem, Bizeljsko, Sromlje, Žetale, Zbelovska gora, Podsreda i Senovica. Slično kao što je već rečeno u podpoglavlju 3.1.1.1. za klimatološke mjerne postaje, za modeliranje SWAT modelom odabran je niz podataka od 2001. godine do 2014. godine. Na nekim mjernim postajama, za određene datume i pokazatelje, nedostaju podaci. Time nizovi postaju prekinuti pa su za potrebe modeliranja SWAT modelom podaci dopunjeni podacima sa susjednih mjernih postaja. U Tablici 3-4 prikazani su osnovni metapodaci o korištenim podacima na meteorološkim mjernim postajama.

Tablica 3-4: Meteorološke mjerne postaje referentne za modeliranje SWAT modelom sliva rijeke Sutle

Redni broj	Naziv postaje	Država	Nadmorska visina (m n. m.)	Razdoblje	Oborine
1	PODČETRTEK	SLO	254	1990-2014	DA
2	ŽUSEM	SLO	623	1990-2014	DA
3	BIZELJSKO	SLO	179	1995-2012	DA
4	SROMLJE	SLO	282	1990-2014	DA
5	ŽETALE	SLO	300	1990-2014	DA
6	ZBELOVSKA GORA	SLO	275	1990-2014	DA
7	PODSREDA	SLO	300	1990-2014	DA
8	SENOVICA	SLO	290	1990-2014	DA
9	KUMROVEC	HR	180	1980-2013	DA
10	KLANJEC	HR	263	1980-2013	DA

### 3.2.3.3. Hidrološke mjerne postaje na istražnom području rijeke Sutle

Na području sliva rijeke Sutle, od 1985. godine nakon usklađivanja između Republike Slovenije i Republike Hrvatske, radilo je šest hidroloških mjernih postaja. Četiri mjerne postaje su na rijeci Sutli, a dvije na najvećim desnim pritokama – Mestinjščica i Bistrica. Iako su mjerenja na pojedinim postajama prisutna još od 50-tih godina prošlog stoljeća, rezultati mjerenja nisu odgovarajuće obrađeni, a mjerne postaje su u pojedinim razdobljima prekidale i nastavljale s radom. Podaci o vodostajima i protocima nisu mjereni istovremeno.

Danas, u slivu rijeke Sutle, šest hidroloških mjernih postaja smješteno je na rijeci Sutli i dvije hidrološke mjerne postaje na pritokama Mestinjščica i Bistrica. Hum na Sutli, Bratkovec, Zelenjak i Ključ su hrvatske hidrološke mjerne postaje na rijeci Sutli, a Rogatec i Rakovec su slovenske hidrološke mjerne postaje. Mestinja Sodna Vas je slovenska hidrološka mjerna postaja na vodotoku Mestinjščica, a Zagaj je slovenska hidrološka mjerna postaja na vodotoku Bistrica. Funkcija hidroloških mjernih postaja uspostavljena je u različitim vremenskim razdobljima, pa se u opisu mjerne postaje, u Tablici 3-5, uz osnovne podatke, navode se početak i razdoblje rada.

Tablica 3-5: Hidrološke mjerne postaje na rijeci Sutli i pritokama Mestinjšćici i Bistrici (prilagođeno prema (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.))

Mjerna postaja	Limnigraf	Autom. postaja	Država	Vodno tijelo	Razdoblje mjerenja Q	Razdoblje mjerenja vodostaja
Rogatec	-	DA	SLO	SI192VT1	1949-1986 2016 - danas	1949-1989 2016 - danas
Hum na Sutli	-	DA	HR	CSRI0029_006	2008- danas	2008- danas
Bratkovec	-	DA	HR	CSRI0029_003	1993 - danas	1993-danas
Zelenjak	-	DA	HR	CSRI0029_003	1957 – 1979 1980- danas	1957 -1979 1980-danas
Rakovec	-	DA	SLO	SI192VT5	2015-danas	1926-1942 1946-2014 2015-danas
Ključ	DA	-	HR	CSRI0029_001	-	1988-danas
Mestinja					1965-1985	1965-1986
Sodna Vas- Mestinščica	-	DA	SLO	SI192VT	1989-2001 2002- danas	1989-2001 2002- danas
Zagaj- Bistrica	DA		SLO	SI192VT2	-	1959- danas

Republika Hrvatska definirala je šest vodnih tijela na rijeci Sutli, no svako vodno tijelo nema svoju reprezentativnu mjernu postaju. Primjerice vodna tijela, (Tablica 3-5 i Slika 3-7), CSRI0029\_005, CSRI0029\_004 i CSRI0029\_002 nemaju svoje reprezentativne mjerne postaje. Vodno tijelo CSRI0029\_003 ima dvije hidrološke mjerne postaje: Bratkovec i Zelenjak, no navedena činjenica ne umanjuje potrebu za praćenjem vodnog režima na specifičnim mjernim mjestima. Republika Slovenija proglasila je dva vodna tijela na rijeci Sutli: vodno tijelo SI192VT1 s mjernom postajom Rogatec i vodno tijelo SI192VT5 s mjernom postajom Rakovec i dva vodna tijela na rijekama Mestinjšćici i rijeci Bistrici s po jedom mjernom postajom. Može se reći da većina mjernih postaja nema kontinuitet u radu. Danas one uglavnom rade kao automatske mjerne postaje koje bilježe i protoke i vodostaje. Samo hidrološke mjerne postaje Ključ na rijeci Sutli i Zagaj na rijeci Bistrici imaju limnigrafe i mjere samo vodostaje. Na nedovoljnu suradnju u provedbi hidrološkog monitoringa voda između Republike Hrvatske i Republike Slovenije ukazuje činjenica da se dvije mjerne postaje, Rogatec i Hum na Sutli nalaze u neposrednoj blizini. Mjerna postaja Hum na Sutli uspostavljena je nakon što je mjerna postaja Rogatec prestala s radom, a nakon njezine ponovne uspostave postoje dvije hidrološke mjerne postaje u neposrednoj blizini. Na mjernoj postaji Brezno, koja je postavljena na profilu Sutlanskog jezera,

određeni niz godina Hrvatske vode mjerile su podatke o vodostajima, no mjerna postaja i podaci nikada nisu verificirani od strane DHMZ-a.

Obzirom na navedeno, analizirane su ključne mjerne postaje ispod brane Vonarje, koja značajno utječe na vodni režim i čije postojanje naglašava potrebu za upravljanjem kakvoćom voda riječnog sliva, a koje imaju kontinuitet u mjerenju vodostaja i protoka - Bratkovec i Zelenjak. Detaljniji opis rada i mjerenja hidroloških podataka i trendovi na mjernoj postaji Bratkovec nalazi se u Pravitku 1, Hidrološke mjerne postaje (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.), i to za Hidrološku mjernu postaju Bratkovec, Tablica 1: Značajni protoci Sutle na hidrološkoj postaji Bratkovec i Slika 8: Srednji godišnji protoci, korišteni su podaci Hidrografskog atlasa Sotle (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.). Detaljniji opis rada i mjerenja hidroloških podataka i trendovi na mjernoj postaji Zelenjak nalazi se u *Pravitku 1, Hidrološke mjerne postaje* (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.), Slike 2 - 8 i Hidrološku mjernu postaju Zelenjak, Tablica 2: Značajni protoci Sutle na hidrološkoj postaji Zelenjak; Slika 9 - 15. korišteni su podaci Hidrografskog atlasa Sotle (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.) i Slika 15. Provedena analiza hidroloških podataka izrađena je temeljem nizova hidroloških podataka za hidrološku postaju Bratkovec od 1993.-2014. godine, u Pravitku 1; Hidrološke mjerne postaje, Slike 4 do 7 i za hidrološku postaju Zelenjak u razdoblju od 1980.-2016. godine u Pravitku 1: Hidrološke mjerne postaje, Slike 11 - 14. Usporedba karakterističnih protoka (srednjih maksimalnih, srednjih i srednjih minimalnih) prikazana je u Tablici 3-6.

Tablica 3-6: Karakteristični protoci na rijeci Sutli na hidrološkim stanicama Zelenjak i Bratkovec

Karakteristični protok	Zelenjak	Bratkovec
$Q_{sr, max}$ (m <sup>3</sup> /s)	27,82 (167*)	13,36 (47,5*)
$Q_{sr}$ (m <sup>3</sup> /s)	6,47	3,35
$Q_{sr, min}$ (m <sup>3</sup> /s)	1,79 (0,34*)	0,95 (0,02*)

\*U zagradama su navedeni zabilježeni ekstremi

Vidljivo je da je na hidrološkoj postaji Zelenjak zabilježena značajna razlika u maksimalnom ekstremnom protoku što nije slučaj s hidrološkom postajom Bratkovec, dok su na obje postaje zabilježeni minimalni ekstremni protoci. Jednaka obrada provedena je za vodostaje na navedenim hidrološkim stanicama čiji su rezultati prikazani u Tablici 3-7.

Tablica 3-7: Karakteristični vodostaji na rijeci Sutli za hidrološke stanice Zelenjak i Bratkovec

Karakteristični vodostaj	Zelenjak	Bratkovec
$H_{sr, max}$ (cm)	180,02 (421*)	196,08 (430*)
$H_{sr}$ (cm)	90,94	74,67
$H_{sr, min}$ (cm)	63,8 (31*)	31,58 (-5*)

\* U zagradama su navedeni zabilježeni ekstremi

Općenito, analizom prikupljenih podataka na hidrološkim postajama rijeke Sutle potvrđeno je da rijeka Sutla ima subpanonski kišno-snježni režim, karakterističan za rijeke u brdovitom i nizinskom dijelu panonskog područja. Pojavljivanje oba hidrološka ekstrema, u rano proljeće i u kasnu jesen, prilično su izjednačena. Mali protoci javljaju se ljeti i zimi, no ljetni mali protoci su izraženiji. Iznadprosječni protoci obično su prisutni između veljače i travnja te između listopada i prosinca, te ispodprosječni protoci između svibnja i rujna (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.). Hidrološka mjerna postaja Zelenjak ima najdulji niz praćenja hidroloških podataka od 1957. godine, no mjerenja su bila prekidana i kakvoća podataka mjerenja nije uvijek zadovoljavajuća. Zelenjak je hidrološka mjerna postaja i mjerna postaja za praćenje kakvoće vode Zelenjak, koja se nalazi nizvodno od brane Vonarje, a prosječni protok na njoj iznosi 7,3 m<sup>3</sup>/s (Projekt FRISCO, 2014.-2020.). Obzirom da je mjerna postaja Zelenjak jedina mjerna postaja na kojoj se kontinuirano uz hidrološka mjerenja provode i mjerenja kakvoće voda, odabrana je za kalibraciju modela. Za modeliranje SWAT modelom odabran je niz podataka od 2001. do 2014. godine.

Za utvrđivanje vodnog režima važno je imati podatke o kvalitativnim vrijednostima, te dugi i neprekinuti vremenski niz podataka sa hidroloških postaja. Položaj mjernih postaja u riječnom slivu i promjene koje su se događale tijekom rada hidroloških mjernih postaja, kao što se može vidjeti u Tablici 3-5, otežavaju odgovarajuću obradu izmjerenih vrijednosti, izradu hidrološke analize i procjenu utjecaja izgradnje brane Vonarje na režim voda rijeke Sutle. Kao i izračun većine karakterističnih indikatora hidroloških promjena za utvrđivanje hidrološkog režima (npr.: mjesečne hidrološke veličine, veličina i trajanje godišnjih ekstrema (protok malovodnog i velikovodnog razdoblja trajanja, vremenski raspored ekstrema, brzina i učestalost promjene stanja razlika između dnevnih vrijednosti protoka)). Više pojedinosti o radu, problemima u radu, te dostupnim vremenskim nizovima podataka prikupljenim na mjernim postajama može se naći u „Hidrografskom atlasu reke Sotle“ izrađenom u sklopu Projekta FRISCO1 (2014. – 2020.) (Projekt FRISCO1, 2014.-

2020.). Obzirom na lokacije hidroloških mjernih postaja, postoji potreba za gušćom mrežom opažачkih mjesta.

#### **3.2.3.4. Vodna tijela i mjerne postaje površinskih voda na istražnom području rijeke Sutle**

Rijeka Sutla je granični vodotok Republike Hrvatske (RH) i Republike Slovenije (RS), te svaka država ima definiran vlastiti program monitoringa voda (količina, kvaliteta, sediment), mjerne postaje i vodna tijela. Prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. RH (NN 66/16), a sukladno WFD-u, Republika Hrvatska proglasila je sljedeća vodna tijela na rijeci Sutli:

- **Vodno tijelo CSRI0029\_006** – rijeka Sutla
- **Vodno tijelo CSRI0029\_005** – rijeka Sutla
- **Vodno tijelo CSRI0029\_004** – rijeka Sutla
- **Vodno tijelo CSRI0029\_003** – rijeka Sutla
- **Vodno tijelo CSRI0029\_002** – rijeka Sutla
- **Vodno tijelo CSRI0029\_001** – rijeka Sutla i Sutlišće

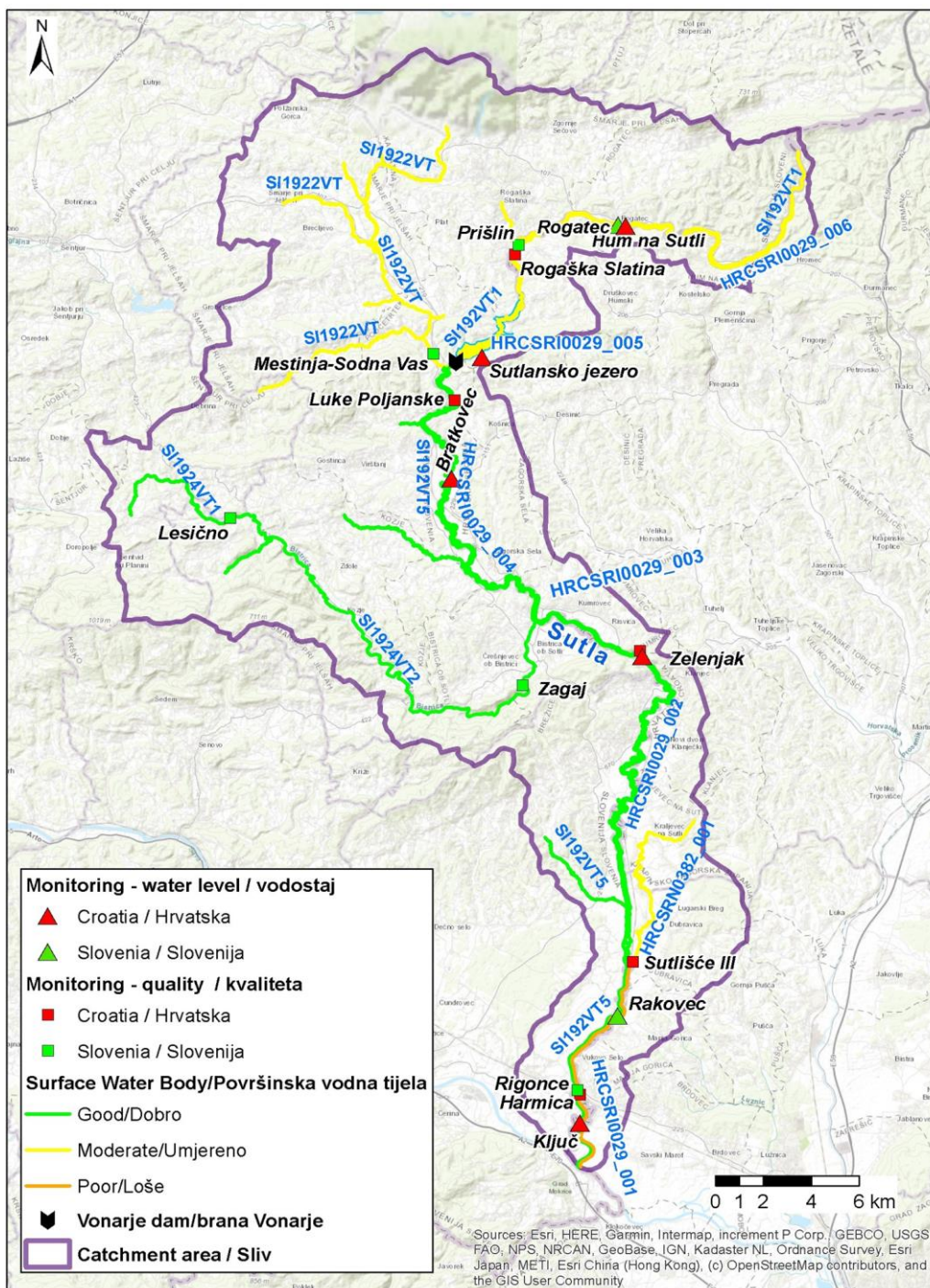
Prema *Načrtu upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje* (2016. – 2021.) (ARSO, 2016), a sukladno WFD, Republika Slovenija proglasila je sljedeća vodna tijela na slivu rijeke Sutle:

- **Vodno tijelo SI92VT** - rijeka Mestinjščica
- **Vodno tijelo SI92VT1** - rijeka Bistrica
- **Vodno tijelo SI92VT1** - rijeka Sutla do brane Vonarje
- **Vodno tijelo SI92VT2** - rijeka Bistrica
- **Vodno tijelo SI92VT5** - rijeka Sutla nizvodno od brane Vonarje

2016. godine, Republika Slovenija je proglasila dva vodna tijela na rijeci Sutli i tri vodna tijela na pritocima Mestinjščici i Bistrici.

Na Slici 3-8 prikazana su hrvatska i slovenska površinska vodna tijela sliva rijeke Sutle, hidrološke mjerne postaje i mjerne postaje kakvoće vode.





Slika 3-8: Prekogranični riječni sliv rijeke Sutle, površinska vodna tijela, hidrološke mjerne postaje i mjerne postaje kakvoće vode

Na Slici 3-8, uz hidrološke mjerne postaje i mjerne postaje kakvoće vode, naznačena su vodna tijela proglašena u RH i vodna tijela proglašena u RS, uz ocjenu stanja voda. Sva vodna tijela uzvodno od brane Vonarje imaju umjereno stanje voda, a nizvodna dobro stanje voda. Za vodno tijelo površinskih voda CSRI0029\_001V, proglašeno u RH, procijenjeno je **umjereno stanje voda**, a za vodno tijelo SI192VT5, proglašeno u RS, procijenjeno je **dobro stanje voda** što se vidi na Slici 3-8 kao zelena linija s lijeve strane (prema Sloveniji) – dobro stanje voda i žuta linija s desne strane

(prema Hrvatskoj) – umjereno stanje voda (WISE, 2022). Razlike u ocjeni stanja površinskih voda usuglašavaju se preko Hrvatsko – slovenske potkomisije upravljanja vodama, kao i u procesima interkalibracije koji se provode na razini EU-a. Vodno tijelo površinskih voda pritoka rijeke Sutle, rijeka Sutlišće ima umjereno stanje voda radi specifičnih lokalnih prilika, a vezano je uz rad farme u naselju Dubravica. Mjerne postaje s vrstama monitoring programa i vodna tijela, prikazani na Slici 3-8, dodatno su opisani Tablicom 3-8.

Tablica 3-8: Mjerne postaje s vrstama monitoring programa i vodna tijela (prema planovima upravljanja vodnim područjima 2016-2021 RH i RS) (Hrvatske vode, 2016), (ARSO, 2016)

Mjerna postaja	Vrsta monitoringa	Vodno tijelo
Hum na Sutli	hidrologija	CSRI0029_006
Prišlin	sediment / kakvoća vode	
Rogatec	hidrologija	SI192VT1
Rogaška Slatina	kakvoća vode	
Luke Poljanske	hidromorfologija / kakvoća vode	CSRI0029_004
Bratkovec	hidrologija	
Zelenjak	hidromorfologija / hidrologija / kakvoća vode	CSRI0029_003
Rakovec	hidrologija	SI192VT5
Rigonce	kakvoća vode	
Harmica	hidromorfologija / kakvoća vode	
Ključ	hidrologija	CSRI0029_001
Sutlišće III – Sutlišće	kakvoća vode	
Mestinja - Sodna Vas - Mestinjščica	hidrologija / kakvoća vode	SI192VT
Zagaj- Bistrica	hidrologija / kakvoća vode	SI192VT2
Lesično - Bistrica	Kakvoća vode	

(Izvor: Hrvatske vode)

Nakon mjerne postaje Rogaška Slatina, vodno tijelo CRSI0029 005 – retencija Vonarje je bez mjerne postaje. RH je od 2011. godine, kao i RS, imala dva vodna tijela površinskih voda na rijeci Sutli. Tadašnja dva vodna tijela bila su s po dvije mjerne postaje, i to: vodno tijelo DRI9003: Lupinjak (od 2013. godine ukinuta mjerna postaja) i Prišlin i vodno tijelo DSRI90001: Zelenjak i Harmica.

Republika Hrvatska je 2016. godine proglasila šest vodnih tijela na rijeci Sutli, od kojih je jedno vodno tijelo na pritoci Sutlišće. Vodno tijelo CSRI0029\_006 je imalo dvije mjerne postaje, Lupinjak i Prišlin pa je mjerna postaja Lupinjak prestala s radom. Mjerna postaja Prišlin se nalazi na pregradi Prišlin. Vodno tijelo CSRI0029\_005 je područje retencije bivšeg Sutlanskog jezera i nema mjernu postaju. Nova mjerna postaja, Luka Poljanska uvedena je 2016. godine, je referentna za vodno tijelo CSRI0029\_004, a mjerna postaja Zelenjak je referentna za vodno tijelo

CSRI0029\_003. Vodno tijelo CSRI0029\_002 nema mjernu postaju, a vodno tijelo CSRI0029\_001 ima referentnu mjernu postaju Harmica.

Prema Slici 3-8, vidi se da su hrvatske i slovenske mjerne postaje na bliskim pozicijama. Navedeno stanje prisutno je od uspostave mjerenja na rijeci Sutli dok su Hrvatska i Slovenija bile u sastavu SFRJ, a nastavilo se 1991. godine uspostavom samostalnih država. Danas su obje države su članice EU-a, postoji regionalna suradnja u području upravljanja vodama, i to: u području sliva rijeke Dunav i u području sliva rijeke Save, postoji međudržavna komisija za bilateralnu suradnju, te se provodi cijeli niz bilateralnih projekata. Obzirom da ne postoji zajednički plan upravljanja vodama sliva rijeke Sutle, još uvijek nema adekvatnog vodnogospodarskog planiranja i razmjene informacija, pa tako niti usuglašenog nadzornog hidrološkog monitoringa i monitoringa kakvoće voda.

Dobro stanje podzemnih voda temelji se na zadovoljavanju uvjeta ciljeva WFD-a i Direktive o zaštiti podzemnih voda od onečišćenja i pogoršanja kakvoće (2006/118/EC). Ocjena stanja podzemnih voda provodi se ocjenom kemijskog i količinskog stanja primjenom klasifikacijskih testova. Za *vodno tijelo podzemnih voda CSGI\_24 – Sliv Sutle i Krapine u slivu rijeke Sutle*, radi ocjene dobrog kemijskog stanja podzemnih voda u odnosu na povezanost s površinskim vodama za sva vodna tijela podzemnih voda povezana s vodnim tijelima površinskih voda kako bi se spriječilo značajno pogoršanje kemijskog stanja površinskih voda, provedeni su testovi „Površinske vode“ i „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“. Za ocjenu količinskog stanja vodnog tijela podzemnih voda provedeni su testovi: „Godišnja bilanca voda“, „Površinske vode“ i „Ekosustavi ovisni o podzemnim vodama“, a test „Zaslanjenje“ se nije provelo jer *vodno tijelo podzemnih voda CSGI\_24 – Sliv Sutle i Krapine u slivu rijeke Sutle* je 70 % neproduktivni vodosnik (vodosnik koji daje manje od 10 l/s što je nedovoljno za vodoopskrbu). Ukupno stanja *vodnog tijela podzemnih voda CSGI\_24 – Sliv Sutle i Krapine u slivu rijeke Sutle*, prema studijama: Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb 2016. godine (RGN, 2016) i Definiranje kriterija za određivanje prvobitnih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske, Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb, 2018. godine (RGN, 2018), te prikazanim rezultatima u Nacrtu Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027., (Hrvatske vode, 2022) ocijenjeno je kao **dobro stanje podzemnih voda** (dobro kemijsko i dobro količinsko stanje voda) vodnog tijela *CSGI\_24 – Sliv Sutle i Krapine* podzemnih voda.

### 3.3. Stanje voda vodnih tijela na istražnom području sliva rijeke Sutle

Sukladno WFD-u, postavljen je cilj za svaki riječni sliv - postizanje najmanje dobrog stanja voda. Stanje voda pojedinog vodnog tijela u okviru Plana upravljanja vodnim područjem procijenjeno je na temelju raspoloživih podataka o pojedinim elementima kakvoće voda, a podaci o stanju voda na promatranom području dobiveni su na temelju službenog zahtjeva i službenih podataka od Hrvatskih voda. Prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (Hrvatske vode, 2016), u Priritku 2, Stanje površinskih vodnih tijela rijeke Sutle – Izvadak iz registra vodnih tijela Hrvatskih voda, Tablice 1-12, Slike 1-6, prikazano je stanje voda za 6 vodnih tijela površinskih voda sliva rijeke Sutle, i to: CSRI0029\_006, CSRI0029\_005, CSRI0029\_004, CSRI0029\_003, CSRI0029\_002 i CSRI0029\_001. Uz opće podatke o vodnom tijelu, stanje vodnog tijela (ekološko stanje, biološki elementi kakvoće, fizikalno kemijski pokazatelji, specifične onečišćujuće tvari, hidromorfološki elementi i kemijsko stanje), analiza opterećenja/pritiska na vodno tijelo i procijenjeno postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva Prema procjeni Hrvatskih voda, za vodno tijelo CSRI0029\_006 postiže se **loše stanje voda** radi lošeg ekološkog stanja voda i loših bioloških elemenata kakvoće, dok je prema podacima dostavljenim EEA-u **umjereno stanje voda**. Procjenjuje se postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva za specifične onečišćujuće tvari, hidromorfološke elemente i kemijsko stanje voda. Prema procjeni Hrvatskih voda, za vodno tijelo CSRI0029\_005 postiže se **umjereno stanje voda**, iako nema ocjene bioloških elemenata kakvoće voda. Procjenjuje se postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva za specifične onečišćujuće tvari i kemijsko stanje voda. Prema procjeni Hrvatskih voda, za vodno tijelo CSRI0029\_004 postiže se **dobro stanje voda**, iako nema ocjene bioloških elemenata kakvoće voda. Procjenjuje se postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva za specifične onečišćujuće tvari, hidromorfološke elemente i kemijsko stanje. Prema procjeni Hrvatskih voda, za vodno tijelo CSRI0029\_003 postiže se **dobro stanje voda**, iako nema ocjene bioloških elemenata kakvoće voda. Procjenjuje se postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva za specifične onečišćujuće tvari, hidromorfološke elemente i kemijsko stanje. Prema procjeni Hrvatskih voda, za vodno tijelo CSRI0029\_002 postiže se **dobro stanje voda**, iako nema ocjene bioloških elemenata kakvoće voda. Procjenjuje se postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva za konačno stanje voda, ekološko stanje, fizikalno-kemijski pokazatelji, specifične onečišćujuće tvari, hidromorfološke elemente i kemijsko stanje. Prema procjeni Hrvatskih voda, za vodno tijelo CSRI0029\_001

postiže se **loše stanje voda** radi lošeg ekološkog stanja voda i loših bioloških elemenata kakvoće, dok je prema podacima dostavljenim EEA **umjereno stanje voda**, iako nema ocjene bioloških elemenata kakvoće voda. Na Slici 3-8 prikazano je stanje hrvatskih vodnih tijela površinskih voda.

Unaprjeđenje nadzornog monitoringa rijeke Sutle potrebno je realizirati uključivanjem sedimenta i biote, koji su pod manjim utjecajem brzih promjena u kvaliteti vode.

### **3.3.1. Ocjena stanja voda vodnih tijela sliva rijeke Sutle**

#### **3.3.1.1. Povijest monitoringa kakvoće voda u Republici Hrvatskoj i ocjena stanja voda**

Iako se kakvoća površinskih voda sustavno prati od sedamdesetih godina prošloga stoljeća i u Hrvatskoj i u Sloveniji, kao referentna godina za ocjenu kakvoće površinskih voda uzima se 2000. godina. Tada je unaprjeđen cijeli sustav praćenja kakvoće voda (standardizirane su metode uzorkovanja i ispitivanja), kao i pohranjivanja podataka o kakvoći voda. Sustavno praćenje stanja voda rijeka i jezera (kopnenih površinskih voda) provodi se u skladu s godišnjim planom monitoringa Hrvatskih voda. Ocjene stanja voda za sliv rijeke Sutle provodile su se prema uredbama koje su vrijedile određeno vremensko razdoblje, Uredba o klasifikaciji voda (NN 15/81) i Uredba o kategorizaciji voda (NN 15/81a), za razdoblje 1980. -2000. godine, a za razdoblje 2000.- 2010. godine i razdoblje 2010. – 2013. godine, Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/1998) i Uredba o kategorizaciji voda (NN 77/1998a), koja ima strože kriterije za ocjenu kakvoće voda i svrstava vode u pet vrsta. Nacionalni monitoring kakvoće voda unaprijeđen je većom učestalošću i raznovrsnošću ispitivanja specifičnih pokazatelja, ujednačenom učestalošću ispitivanja na svim vodotocima u Hrvatskoj, kao i ispitivanjem bioloških pokazatelja najmanje dva puta (u proljetnom i jesenskom periodu) na svim mjernim postajama. Na temelju prikupljenih povijesnih podataka moguće je izvršiti redefiniranje ranijih ocjena kakvoće voda u skladu s novim kriterijima za dio pokazatelja kakvoće koji su bili obuhvaćeni dosadašnjim monitoringom. Tek Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019) uvodi tipizaciju površinskih voda i tip-specifični sustav ocjenjivanja stanja voda. Također, predviđa proširenje programa monitoringa pokazateljima hidromorfološkog stanja voda koji prije nisu bili u programu monitoringa. Za ocjenu stanja voda vodnih tijela površinskih voda rijeke Sutle u prošlosti prikazani su rezultati analiza za sljedeća razdoblja:



- Ocjena stanja voda prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/1998) i Uredbi o kategorizaciji voda (NN 77/1998a) za razdoblje 2000. - 2011. godine, Privitak 2, Slike 7 do 10;
- Ocjena stanja voda prema Uredbi o klasifikaciji voda (NN 77/1998) i Uredbi o kategorizaciji voda (NN 77/1998a) za razdoblje 2011. -2013. godine, Privitak 2;
- Ocjena stanja voda prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73, 2013), (NN 96/2019), od 2013. godine do danas, Privitak 2, Tablice 13 do 14 i Tablica 15 izrađena prema izvješću ARSO-a za razdoblje 2016. – 2019. godine (ARSO, 2016).

Pronos riječnog sedimenta je vitalna komponenta prirodnog hidromorfološkog režima svakog otvorenog vodotoka, pa tako i rijeke Sutle. Međutim, uslijed antropogenih utjecaja i regulacijskih radova na rijeci Sutli i njezinom zaobalju prirodni procesi u transportu sedimenta su značajno izmijenjeni.

### **3.3.1.2. Značajke i ocjena hidromorfološkog stanja rijeke Sutle**

Unatoč tome što su hidrotehničke regulacije rijeke Sutle uglavnom napravljene 1899. godine te izgradnjom brane Vonarje 80-tih godina 20. stoljeća, rijeka Sutla uglavnom ima prirodni hidraulički i hidrološki režim (Projekt FRISCO, 2014.-2020.). Nakon izgradnje brane Vonarje izgrađena je pregrada Prišlin, te time omogućila zadržavanje sedimenta, a postojanje pregrade i brane značajno je promijenilo pronos sedimenta duž vodotoka. Odgovarajuća hidromorfologija je glavni preduvjet za život biotičke zajednice u vodotocima, koje karakterizira dinamički okoliš promjena protoka i pronosa sedimenta i promjene fizičke strukture riječnog korita, obala i obalnih pojaseva. Stoga, WFD jednaku pažnju pridaje ocjeni voda temeljem hidromorfološkog, kemijskih i biotičkih obilježja. RH i RS nemaju definiran zajednički program monitoringa voda (količina, kakvoća, sediment), mjerne postaje i vodna tijela, te ne postoji hidromorfološka mjerna postaja na rijeci Sutli). Nadzorni monitoring sedimenta DHMZ-a ne provodi se niti na jednoj mjernoj postaji rijeke Sutle. Sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/2019), u skladu s europskom normom (EN 15843:2010 EU) kao i *Metodologiji monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja*, (Hrvatske vode, 2016), 2016. godine unaprjeđen je nadzorni monitoring na postajama kakvoće voda u Hrvatskoj radi ocjene hidromorfologije. Putem ciljanog istraživanja te prikazanih rezultata studije: „Sustavno ispitivanje hidromorfoloških elemenata kakvoće u rijekama u 2016. i 2017. godini“ (Elektroprojekt d.d. i PMF, 2018), provedena je ocjena hidromorfološkog stanja i procjena sedimenta (Tablici 3-9).

Tablica 3-9: Mjerne postaje kakvoće voda s ocjenom hidromorfoloških elemenata, utjecaja brane i procjene sedimenta za slovenska i hrvatska vodna tijela

Mjerna postaja	Vodno tijelo	Hidrološki režim	Utjecaj brane	Kakvoća vode	Procjena sedimenta
<b>Uzvodno od brane Vonarje</b>					
<b>Prišlin -HR</b>	CSRI0029_006 – CRO SI192VT1 - SLO	uglavnom prirodno	ne	umjereno	antropogeni utjecaj
<b>Nema mjerne postaje</b>	CSRI0029_005			nema procjene	
<b>Nizvodno od brane Vonarje</b>					
<b>Luke Poljanske - HR</b>	CSRI0029_004 – CRO SI192VT5- SLO	neznatno promijenjeno	da	dobro	neznatno promij. uvjeti
<b>Zelenjak – HR</b>	CSRI0029_003 – CRO SI192VT5- SLO	prirodno	da	dobro	neznatno promij. uvjeti
<b>Nema mjerne postaje</b>	CSRI0029_002 – CRO	prirodno	da	dobro	nema procjene
<b>Harmica - HR</b>	CSRI0029_001 – CRO SI192VT5- SLO	prirodno	da	umjereno dobro	neznatno promij. uvjeti

Izvor: (Hrvatske vode)

Ocjena hidromorfološkog stanja i procjena sedimenta provedena je na sljedećim mjernim postajama: Prišlin, Luke Poljanske, Zelenjak i Harmica, te ne odgovara hidromorfološkom stanju prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. RH (NN 66/16) (Hrvatske vode, 2016).

Praćenje sedimenta je započelo na mjernoj **postaji nadzornog monitoringa Prišlin** znatno ranije, nakon izgradnje pregrade za zadržavanje sedimenta. Obzirom na lokaciju Prišlin mjerne postaje koja se nalazi neposredno ispred pregrade, obzirom na topografiju riječnog sliva i ulogu pregrade za smanjenje unosa nanosa u Sutlansko jezero, mjereni podaci pokazuju **umjereno do loše stanje voda** i kakvoću sedimenta koja označava antropogeni utjecaj.

Prema studiji „Sustavno ispitivanje hidromorfoloških elemenata kakvoće u rijekama u 2019. i 2020. godini“ (Elektroprojekt d.d. i PMF, 2021), dan je prijedlog revidirane metodologije ocjenjivanja hidromorfološkog stanja koja se predlaže za sljedeći ciklus hidromorfološkog monitoringa tekućica u Republici Hrvatskoj. Revidirani su sljedeći pokazatelji: Učinci umjetnih građevina u koritu unutar vodnog tijela, Utjecaj građevina i zahvata na povezanost podzemnih i površinskih voda, Uzdužna povezanost vodnog tijela pod utjecajem umjetnih građevina s aspekta migracije biote i pronosa sedimenta i Vrsta/struktura vegetacije na obalama i na okolnom zemljištu unutar zadane prijelazne zone (10 m) na odsječku i vodnom tijelu.

Temeljem navedenog istraživanja, utvrđeno je hidromorfološko stanje sljedećih vodnih tijela na mjernim postajama: Sutla - Luke Poljanske **CSRI0029\_004 neznatno promijenjeno stanje**, Sutla - Zelenjak **CSRI0029\_003 neznatno promijenjeno stanje**, Sutla - Harmica **CSRI0029\_003 neznatno promijenjeno stanje**. Izgradnjom brane Vonarje na rijeci Sutli, radi značajnih hidromorfoloških promjena, tekućica je postala stajaćica i došlo je do promijenjene kategorije voda. **Vodno tijelo CSRI0029\_005** postalo je kandidat za jako promijenjeno vodno tijelo na kojem je potrebno odrediti granice klasa ekološkog potencijala.

Vezano uz monitoring sedimenta, prema veličinama pojedinog tipa supstrata preuzetih iz *Priručnika za AQEM metodologiju* (AQEM Consortium, 2002) na mjernoj postaji **Sutla-Prišlin** u podlozi dominiraju veće valutice (6-20 cm), dok su manje valutice (2-6 cm), šljunak (0,2-2 cm) i pijesak (6  $\mu$ m - 0,2 cm) bile manje zastupljene. Na mjernoj postaji **Sutla-Zelenjak** i **Sutla-Prišlin** uz gore navedene supstrate, pojavljivali su se i blokovi (20-40 cm), što ukazuje na antropogeni utjecaj na spomenutoj dionici jer, u donjim dijelovima toka u prirodnim uvjetima bi dominirao pijesak i mulj. Na slici 3-9 mogu se vidjeti fotografije -hidromorfološka mjerna postaja i kakvoće sedimenta, i to za mjernu postaju Luke Poljanske (lijevo gore i dolje), te za mjernu postaju Zelenjak (lijevo gore i dolje).





Slika 3-9: Hidromorfološka mjerna postaja i kakvoća sedimenta: mjerna postaja Luke Poljanske (lijevo) i mjerna postaja Zelenjak (desno)

Promjene longitudinalnog kontinuiteta na rijeci Sutli uzrokovane su izvedbom hidrotehničkih građevina u koritu vodotoka (brane, preljevni pragovi, ustave). Utjecaj izgrađenosti sliva u najvećoj se mjeri odnosi na zadržavanje nanosa uzvodno, što *izravno utječe na morfologiju poprečnih presjeka vodotoka nizvodnog dijela*. Na mjernoj postaji *Luke Poljanske* hidrološko stanje je neznatno promijenjeno, a uzdužna povezanost je neprekinuta. Obale tekućice su prirodne, s neznatno izmijenjenom priobalnom vegetacijom. *Erozijsko sedimentacijski procesi odražavaju umjereno odstupanje od prirodnog stanja*. Lateralna povezanost rijeke s poplavnim područjem i mogućnost lateralnog kretanja korita su prirodni (Elektroprojekt d.d. i PMF, 2016).

Potrebno je istaknuti da su za ocjenu stanja voda i postizanja ciljeva zaštite okoliša potrebni podaci nadzornog monitoringa, no obzirom na položaj mjernih postaja i razdoblja njihova rada raspoložive podatke je teško interpretirati i uklopiti u ocjenu stanja voda.

### 3.3.1.3. Područja pogodna za zaštitu gospodarski značajnih vodenih organizama u rijeci Sutli

Zaštićena područja voda pogodnih za život slatkovodnih riba proglašena su na dijelovima kopnenih površinskih voda Odlukom o određivanju područja voda pogodnih za život slatkovodnih riba (NN 33/11), a za sliv rijeke Sutle prikazani su u Tablici 3-10.

Tablica 3-10: Popis ciljnih i drugih vrsta riba ciprinidnih voda rijeke Sutle (NN 33/11)

Odsječak	Ciljne vrste riba		Druge vrste riba	
	hrvatski	latinski	hrvatski	latinski
OD: Lupinjaka	bolen	<i>Aspius aspius</i>	dvoprugasta uklija	<i>Alburnoides bipunctatus</i>
DO: utoka u Savu	mrena	<i>Barbus barbus</i>	Potočna mrena	<i>Barbus balcanicus</i>
	vijun	<i>Cobitis elongatoides</i>	podust	<i>Chondrostoma nasus</i>
	dunavska paklara	<i>Eudontomy zondanfordi</i>	veliki vijun	<i>Cobitis elongata</i>
	krkuša	<i>Gobio gobio</i>	peš	<i>Cottus gobio</i>
	plotica	<i>Rutilus pigus</i>	keslerova krkuša	<i>Gobio kesslerii</i>
	som	<i>Silurus glanis</i>	tankorepa krkuša	<i>Gobio uranoscopus</i>
	nosara	<i>Vimba vimba</i>	klenić	<i>Leuciscus leuciscus</i>
	mali vretenac	<i>Zingel streber</i>	piškur	<i>Misgurnus fossilis</i>
			pastrva	<i>Salmo trutta</i>
			blistavac	<i>Telestes souffia</i>

Na očuvanje vodenih ekosustava i usluga ekosustava radi dobrobiti čovjeka značajno utječe riječna morfologija koja uključuje procese pronosa i taloženja nanosa.

Rijeka Sutla čitavim svojim tokom kroz Hrvatsku (od izvora u Sloveniji i cijelim tokom koji čini granicu Hrvatske i Slovenije) pripada ciprinidnim vodama. Zbog jake povezanosti ribe i hidroloških uvjeta, na varijacije utječe brzina vode (tj. nagib i hrapavost korita), a ribe su prikladni pokazatelji nizvodno od brane koji se mogu koristiti za održavanje biološke ravnoteža vodotoka (Ćosić-Flajsig G. et al. 2020). Obzirom na značajnu povezanost između staništa i protoka, određuje se bioindikatorska vrsta-karakteristična vrsta riba.

Vodotoke ili dijelove vodotoka s padom dna između 1,5 i 3,2 ‰, karakteristično naseljava mrena s pratećim vrstama riba (FAO, 1998), odnosno *potočna mrena* je karakteristična indikatorska vrsta sa pratećim vrstama za srednji tok rijeka. Odabrani osnovni ekološki uvjeti za ribe su dubina i brzina vode, te pokrivenosti staništa vodom (NN 78/22).

#### **3.3.1.4. Područja podložna eutrofikaciji i područja ranjiva na nitrata**

Eutrofna područja i pripadajući sliv osjetljivog područja na kojima je zbog postizanja ciljeva kakvoće voda potrebno provesti višu razinu ili viši stupanj pročišćavanja komunalnih otpadnih voda, određena su prema Odluci o određivanju osjetljivih područja (NN 78/22).

Dunavski sliv u cijelosti spada u sliv osjetljivog područja prema članku 62. stavku 1. (kao „pripadajuća područja“) Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/19) – „sliv osjetljivog područja“. Onečišćujuće tvari čije se ispuštanje na ovom području ograničava su dušik i fosfor.

#### **3.3.1.5. Područja namijenjena zaštiti staništa ili vrsta gdje je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite sukladno Zakonu o vodama i/ili propisima o zaštiti prirode**

Posebnu pažnju kod upravljanja riječnim slivom treba posvetiti zaštićenim područjima prirode. Kakvoća vode treba ostati takva da bi se zadovoljile potrebe svih ekosustava, vodnih ili onih koji ovise o vodnim ekosustavima, a opterećenja otpadnih voda sa zaštićenih područja treba uzimati u obzir kao minimalna.

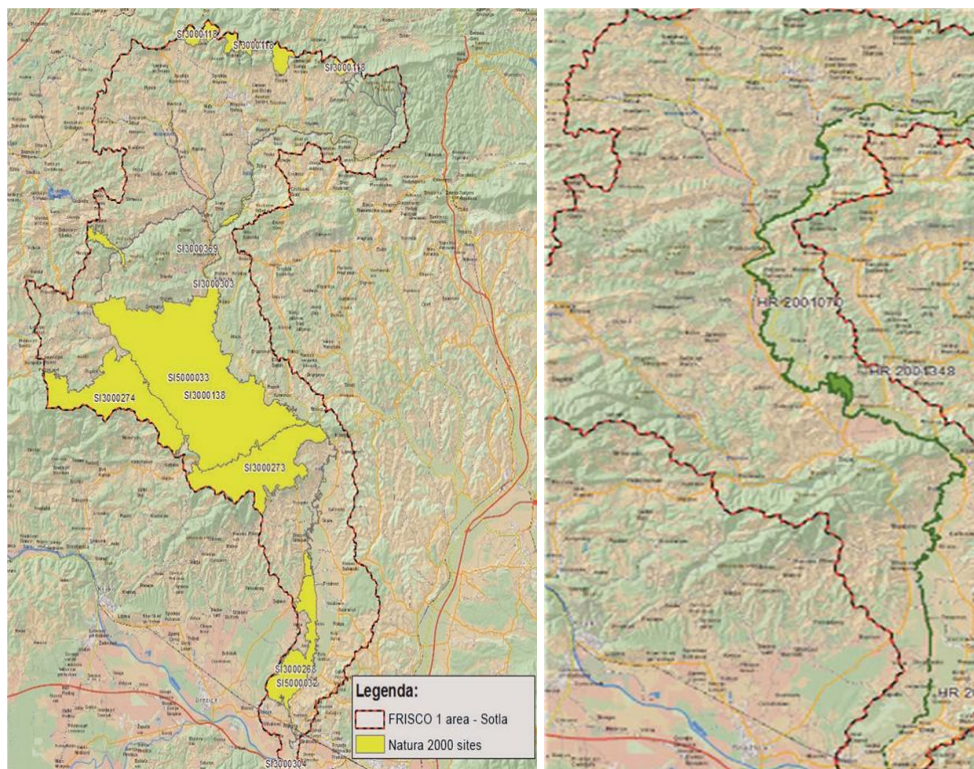
Cijelo područje sliva rijeke Sutle na hrvatskoj strani je prema Naturi 2000 proglašeno međunarodno važnim područjem za ptice. S obzirom da su ptice na vrhu hranidbenog lanca i da je za njihov opstanak važan riječni ekosustav, važno je zadržati potrebnu kakvoću vode rijeke Sutle. Područje doline rijeke Sutle kod Razvora predloženo je također prema Naturi 2000 kao zaštićeno područje staništa kiseličinog vatrenog plavca, vrste noćnog leptira, kojem je također vodeni ekosustav neophodan za život. Osim prema Naturi 2000 dijelovi sliva rijeke Sutle zaštićeni su i Zakonom o zaštiti prirode. Dijelovi Ekološke mreže gdje je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite izdvojeni su u suradnji s Hrvatskom agencijom za okoliš i prirodu i samo ta područja su evidentirana u Registru zaštićenih područja - područja posebne zaštite voda. Zaštićene prirodne vrijednosti kod kojih je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite izdvojena su u suradnji s Hrvatskom agencijom za okoliš i prirodu iz Zaštićenih područja RH prema Zakonu o

zaštiti prirode (NN 127/19) i samo ta područja su evidentirana u Registru zaštićenih područja - područja posebne zaštite voda.

Područje sliva rijeke Sutle sastoji se od poljoprivrednih krajolika, koji se ugrubo mogu podijeliti na brda i nizine. Brda su dom listopadnih i mješovitih šuma, vinograda kao i suhih, ekstenzivnih kultiviranih livada. Nizine uz Sutlu pretežno obuhvaćaju vlažne livade koje su podliježu poluintenzivnoj i intenzivnoj poljoprivrednoj upotrebi. Dobro očuvan kulturni krajolik s raznolikošću ekoloških uvjeta važno je stanište za vrste koje su zaštićene na europskoj razini. Regionalni park Kozjansko, koji je jedno od najvećih zaštićenih područja u Sloveniji, nudi savršeno uvjeti za iznimnu biotičku raznolikost.

**Rijeka Sutla sa svojim pritokama dio je zaštićenog područja Natura 2000** (HR2001070 i SI3000303) cijelim svojim tokom kao važno područje za očuvanje životinjskih i biljnih vrsta i staništa. Iako populacije NATURA 2000 vrsta ne čine veliki udio u populacijama na državnoj razini, rijeka je Sutla iznimno važno područje za njihovo očuvanje jer u relativno maloj rijeci nalazimo čak 12 NATURA 2000 vrsta. Sutla kao dio ekološke mreže Natura 2000 važna je za očuvanje 8 zaštićenih vrsta (Šemnički P., 2014). U slivu se nalazi još nekoliko Natura 2000 zaštićenih područja, a to su Cret Dubravica (HR2000670), Dobrava-Jovski (SI3000268 i SI5000032), Dolina Sutle pri Razvoru (HR2001348), Kozjansko (SI5000033) i Orlica (3-10 i 3-11) (Projekt FRISCO, 2014-2020).





Slika 3-10: Natura 2000 područje u Sloveniji (Izvor:ARSO) (lijevo) (FRISCO project, 2014.-2020.)  
Slika 3-11: Natura 2000 područje u Hrvatskoj (Izvor:DHMZ) (desno) (FRISCO project, 2014.-2020.)

Uzimajući u obzir istraženost biološke zajednice koje žive u vodi rijeke Sutle, kao pogodni bioindikatori odabrane su karakteristične vrste riba, kao i vrijednosti indeksa za pojedine biološke elemente. Određene vrste riba, naseljavaju određene tipove vodotoka i kao krajnji članovi u lancima ishrane pouzdan su pokazatelj bioekološke ravnoteže vodotoka. Rijeka Sutla, kao dio ekološke mreže Natura 2000, od vitalne je važnosti za očuvanje sedam vrsta riba i jedne vrste školjke prema Direktivi o staništima (92/43/EEC). Inicijative za ponovno uspostavljanje Sutlanskog jezera potiču razvoj modela upravljanja kakvoćom vode koji se odnosi na glavne izvore onečišćena hranjivim tvarima (stanovnici i poljoprivreda) i rizik od nepostizanja dobrog stanja voda i okolišnih ciljeva riječnog sliva. Značajno je da sanitacija aglomeracija manjih od 2000 ES nije uključena u osnovne mjere europske vodne politike, već to treba biti riješeno nacionalnim provedbenim programom. Zaštita NATURA 2000 područja značajno utječe na način upravljanja kakvoćom voda rijeke Sutle. *Inicijative za ponovnom uspostavom jezera potiču potrebu izrade modela upravljanja kakvoćom voda.* Zaštićeni krajobraz Zelenjak (Slika 3-12) obuhvaća Cesarske i Risvičke gore sa rijekom Sutlom, a stanište je mnogi zaštićenim biljkama, kao i životinjskim vrstama koje na njemu obitavaju.



*Slika 3-12: Zaštićeni krajobraz Zelenjak (Projekt FRISCO, 2014-2020)*

Park oko dvorca Miljana proglašen je spomenikom parkovne arhitekture, a područje Čreta Dubravice je proglašeno područjem botaničkog rezervata. S obzirom da su tim područjima dozvoljene minimalne intervencije i djelatnosti čovjeka, uzima se da je opterećenje rijeke Sutle na tom području minimalno (Projekt FRISCO, 2014-2020). Na području uz sama zaštićena područja očekuje se visoka kakvoća vode rijeke Sutle kao i minimalni izvori onečišćenja. Na području sliva rijeke Sutle postoji nekoliko vodozaštitnih područja s izvorima pitke vode koje štite općinske uredbe, kako na slovenskoj tako i na hrvatskoj strani. Na njima je postavljena samo I. zona sanitarne zaštite, a II. i III. se planiraju postaviti u skorijoj budućnosti.

### **3.4. Sutlansko jezero**

Rješavanje uređenja sliva i korita rijeke Sutle od poplavnih voda je uglavnom vršeno u Republici Sloveniji, obzirom da je desna slovenska strana sliva više ugrožena od poplava u odnosu na lijevu hrvatsku stranu. U Studiji "Okvirna vodnogospodarska osnova porečja Sotle", Zavod za vodno gospodarstvo, Ljubljana, 1965. godine, prvi puta su definirane lokacije brana i volumen svih retencija na području desnog dijela sliva, Republike Slovenije. Tu su obrađeni pozitivni gospodarski učinci vezani uz mogućnost akumuliranja dijela vodnog vala za potrebe navodnjavanja i vodoopskrbe. Temeljem navedene studije izrađen je projekt, sagrađena brana Vonarje i pregrada Prišlin. Tako je, Sutlansko jezero (Slika 3-13) i brana Vonarje koja je obnovljena 2020. godine (Slika 3-14) jedino akumulacijsko jezero koje je kratko postojalo, a danas funkcionira kao retencija.



*Slika 3-13: Sutlansko jezero u prošlosti (lijevo) (Rismal M., 2016)*

*Slika 3-14: Obnovljena brana Vonarje i retencija danas (desno) (Projekt FRISCO 2.1., 2014.-2020.a)*

Korištenjem prirodne retencije uspostavljeno je Sutlansko jezero kao višenamjenski hidrotehnički objekt za: javnu vodoopskrbu, navodnjavanje, obrane od poplave i turizam. Prvenstveno je bila namijenjena zadržavanju velikovodnih valova Sutle, a bile su predviđene i namjene: za vodoopskrbu Posotlja i Zagorja, za navodnjavanje poljoprivrednih površina i za ribarstvo i turističke namjene. Sada više niti nema potrebe za opskrbom vode iz akumulacije budući je ista sa hrvatske strane riješena kroz sustav Zagorskog vodovoda i Hum Vodoopskrba i odvodnja. Područje Sutlanskog jezera, zapremine 12,4 milijuna m<sup>3</sup> i duljine približno 6 km, pokrivalo je površinu od 195 ha. Od ukupnog volumena 3,7 milijuna m<sup>3</sup> rezervirano je za 100-godišnju zaštitu od poplava. Određivanje biološkog minimalnog protoka nizvodno od brane Vonarje definirano je 1980. godine, u vrijednosti od 120 l/s. Na dnu retencije sada je razvijen močvarni ekosustav. Prilikom rekonstrukcije brane, u sklopu projekta prekograničnog FRISCO koji se prvenstveno bavio obranom od poplave, analizirana je mogućnost ponovnog uspostavljanja akumulacije Vonarje/Sutlanskog jezera, izrađene su i studije, no brana je obnovljena zemljanim i betonskim radovima, te elektrostrojarskom opremom, s ciljem očuvanja postojeće funkcije retencije (Projekt FRISCO 2.1., 2014.- 2020). Pregrada Vonarje izvedena je kao nasuta pregrada od zemljanog materijala, visine 12,0 metara, Volumen vode u akumulaciji kod nivoa vode na koti preljeva (207,50 m n. m.) iznosi 8,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Betonska pregrada Prišlin izgrađena je radi zadržavanja nanosa, Slika 3-15. Danas, Sutlansko jezero funkcionira kao retencija za velike vode (Projekt FRISCO1, 2014. -2020.) (Slika 3-16).

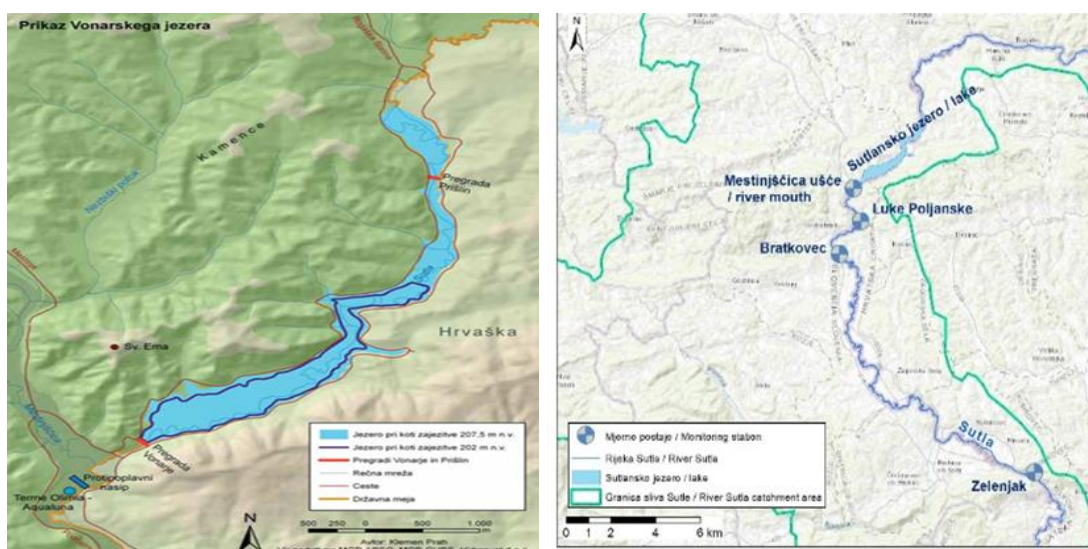




Slika 3-15: Pregrada Prišlin (Projekt FRISCO 2.1., 2014.-2020.a) (lijevo)

Slika 3-16: Izgled doline rijeke Sutle na lokaciji gdje je bilo Sutlansko jezero za vrijeme kada je retencija Vonarje ispunjena vodom te asocira na močvarno područje (Projekt FRISCO1, 2014. -2020.) (desno)

U Pravitku 3, Brana Vonarje, prema informacijama projekta FRISCO (Projekt FRISCO1, 2014-2020) i projekta FRISCO 1 (FRISCO 2.1., 2014.-2020.), prikazane su tehničke karakteristike i slike obnovljene brane Vonarje. Na Slici 3-17 prikazana je lokacija brana Vonarje. Na Slici 3-18 može se vidjeti položaj hidroloških mjernih postaja i mjernih postaja za kakvoću voda u odnosu na branu Vonarje.



Slika 3-17: Kartografski prikaz akumulacije u prošlosti (lijevo)

Slika 3-18: Položaj mjernih postaja u odnosu na branu Vonarje (desno)

Brana Vonarje nalazi se 150 m uzvodno od ušća pritoke Mestinjšćice. Pregrada je najuzvodnija hidrotehnička građevina retencije, odnosno nekadašnjeg Sutlanskog jezera. Prikazana je površina Sutlanskog jezera u prošlosti s dvije kote i to: 202 m n. m. i 207,5 m n. m. Uočljivo je da se mjerne postaje, koje su referentne za praćenje utjecaja brane Vonarje, većinom nalaze nizvodno na relativno velikoj udaljenosti i to: Luke Poljanske (2,5 km), Bratkovec (9,1 km) i Zelenjak (28,5 km).



### 3.5. Pritisci na vode na istražnom području sliva rijeke Sutle

Prema WFD-u, u slivu rijeke Sutle procijenjeni su značajni pritisci koji mogu utjecati na onečišćenje voda, promjenu hidrološkog režima, promjenu pronosa sedimenta, odnosno značajnog smanjenja u odnosu na razdoblje prije izgradnje brane; narušavanjem stanja osnovnih fizikalno–kemijskih pokazatelja i stanja bioloških elemenata kakvoće voda i hidromorfoloških elemenata koji opisuju ekološko stanje površinskih voda. Sve navedeno utječe na rizik ne postizanja dobrog stanja voda, kao i na rizik ne postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva.

Pritisci u slivu rijeke Sutle su stanovništvo, poljoprivreda koja obuhvaća poljoprivredne površine te stoku, industrija i turizam. Jedan od značajnih pritisaka u slivu rijeke Sutle je stanovništvo. Većina stanovništva živi u malim seoskim naseljima. Na hrvatskoj strani rijeke Sutle stanovništvo živi u 67 manjih naselja s ukupno gotovo 16.700 stanovnika. Na slovenskoj strani rijeke nalaze se 84 naselja s ukupno 38.139 stanovnika. Gustoća naseljenosti na slovenskoj strani Sutle iznosi 85 stanovnika po km<sup>2</sup>, a gustoća naseljenosti na hrvatskoj strani Sutle iznosi 120 stanovnika po km<sup>2</sup>. Gustoća naseljenosti veća je u gornjem dijelu riječnog sliva nego u donjem dijelu. Samo jedno naselje u slivu ima više od 2000 stanovnika, a to je Rogaška Slatina. Uz stanovništvo, industrija ispušta otpadne vode iz svojih pogona pa stvara točkaste izvore onečišćenja, kao i turizam s povećanim količinama otpadnih voda. Industrija i zanatstvo su razvijeni u većim naseljima kao što su Rogaška Slatina i Šmarje pri Jelšah, te u Humu na Sutli (Ćosić-Flajsig et al., 2014). Poljoprivreda utječe otjecanjem oborinskih voda bogatih nutrijentima, pesticidima i herbicidima s poljoprivrednih površina, te prisutnošću stoke koja ima slične karakteristike onečišćenja kao i stanovništvo.

Poljoprivredno zemljište zauzima 62,8% površine sliva rijeke Sutle, zatim slijede šume s 33, 1%. Kopnene močvare zauzimaju 0,2 % površine sliva rijeke Sutle, a urbane, industrijske, komercijalne i prometne jedinice 3,9%. Dolinom rijeke Sutle prolaze lokalne željezničke pruge Stranje – Imeno – Kumrovec – Savski Marof i Grobelno – Rogaška Slatina – Rogatec – Krapina, ali nikada nisu imale veliki značaj. Lokalni putnički i skroman teretni promet odvija se samo na slovenskoj strani. U smjeru sjever-jug prolazi regionalna cesta Mestinje – Brežice i spaja se na cestu Rogatec – Celje koja povezuje Posotelje sa Celjskom kotlinom. Također, na slovenskoj strani rijeke Sutle razvija se turizam i to: Rogaška Slatina i Terme Olimia, turizam u zaštićenim područjima prirode i seoski turizam (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.).

Najveći utjecaj na ihtiofaunu rijeke Sutle, uz strane i invazivne vrste, je onečišćenje voda, te se najveća pažnja mora posvetiti smanjenju unosa organske tvari i nutrijenata. Uslijed ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda i ispiranja velikih količina hranjivih tvari s poljoprivrednih i šumskih zemljišta u rijeku Sutlu (Ćosić-Flajsig G. et al., 2017), podiže se stupanj trofije. Također, pregrađivanje vodotoka predstavlja značajan pritisak, a promjena stanja voda se očituje u promijenjenim hidrološkim karakteristikama vodotoka nizvodno od brane, kao i količini i kakvoći nanosa neophodnog za očuvanje ihtiofaune.

Slovenska obala Sutle je ravnija i nešto niža, te sklonija poplavama, pa je glavni interes Slovenije obrana od poplava. S druge strane hrvatska obala je strma te je sliv vrlo uzak pa nema opasnosti od velikih poplava, no ipak je ugrožen manji broj stanovnika.

### **3.6. Mjere smanjenja onečišćenja voda**

#### **3.6.1. Postojeće mjere**

U slivu rijeke Sutle postoje tri veća uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV), te nekoliko manjih uređaja koje posjeduju tvrtke. To su UPOV u Kumrovcu, UPOV u Humu na Sutli i UPOV u Rogaškoj Slatini, Privitak 4, Postojeće mjere.

##### **3.6.1.1. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Kumrovcu**

Odlukom Grada Klanjca i Općine Kumrovec Zelenjak d.o.o. Klanjec upravlja i održava kanalizaciju na području Grada Klanjca i Općine Kumrovec. U vlasništvu ima UPOV drugog stupnja pročišćavanja otpadnih voda u Kumrovcu. Kapacitet uređaja je 3000 ES, ali stvarno opterećenje je maksimalno 500 ES zbog malog broja priključenih stanovnika jer je UPOV predimenzioniran (Projekt FRISCO1, 2014-2020).

##### **3.6.1.2. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Humu na Sutli**

UPOV je izgrađen 2011. godine. UPOV za centralni dio Huma na Sutli je dimenzioniran na 2000 ES, ali je stvarno opterećenje 522 ES budući da su priključene samo 2 tvrtke (Vetropack Straža i Stražaplastika) te pet stambenih zgrada sa 328 stanovnika. UPOV je trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda SBR (*Sequence Batch Reactor*) tehnologije.

##### **3.6.1.3. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Rogaškoj Slatini**

UPOV u Rogaškoj Slatini je projektiran na 9000 ES, a izveden je kao drugi stupanj pročišćavanja primjenom SBR tehnologije. Tijekom 2021. godine započelo je

proširenje za 3500 ES i nadogradnja UPOV-a na treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda.

### **3.6.2. Planirane mjere**

Planira se izgradnja biološkog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za područje općine Klanjec na koji bi bila priključena i naselja s područja općine Kraljevec na Sutli zajedno s mesoprerađivačkom industrijom koja se nalazi na tom području.

Vezano uz primjenu osnovnih mjera, kontrole izvora onečišćenja koji se primjenjuje na nacionalnoj razini, usklađene su s europskom vodnom politikom (Planom upravljanja vodnim područjem crnomorskog riječnog sliva, Planom upravljanja slivom rijeke Save) i nije potrebno dodatno usuglašavanje među državama članicama EU-a. Na razini riječnog sliva, obzirom da ne postoji zajednički plan upravljanja vodama već samo rad bilateralne komisije za rješavanje određenih problema, kako bi se postiglo dobro stanje voda za sva vodna tijela i postigli ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva, potrebno je provoditi i dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva uz sagledavanje sliva kao cjeline. Sve mjere vezane uz aglomeracije manje od 2000 ES (primjenu dobre poljoprivredne prakse, primjenu najboljih raspoloživih tehnika za industrija, zaštita područja NATURA 2000, te razvoj turističke ponude), potrebno je donositi zajednički uz punu primjenu sudjelovanja javnosti. Predloženi model upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, koji je detaljno obrazložen u Poglavlju br.4, temeljen je na problemski orijentiranom pristupu, te može pružiti pomoć u smislu analize, kvantifikacije i vizualizacije postojećih i potencijalnih problema vezanih uz ljudsku aktivnost i klimatske promjene.

Obzirom da još uvijek ne postoji plan upravljanja slivom rijeke Sutle, ne postoji niti zajedničko upravljanje slivom, a unutar prijedloga Plana upravljanja slivom rijeke Save postoji samo manji dio koji se odnosi na rijeku Sutlu.

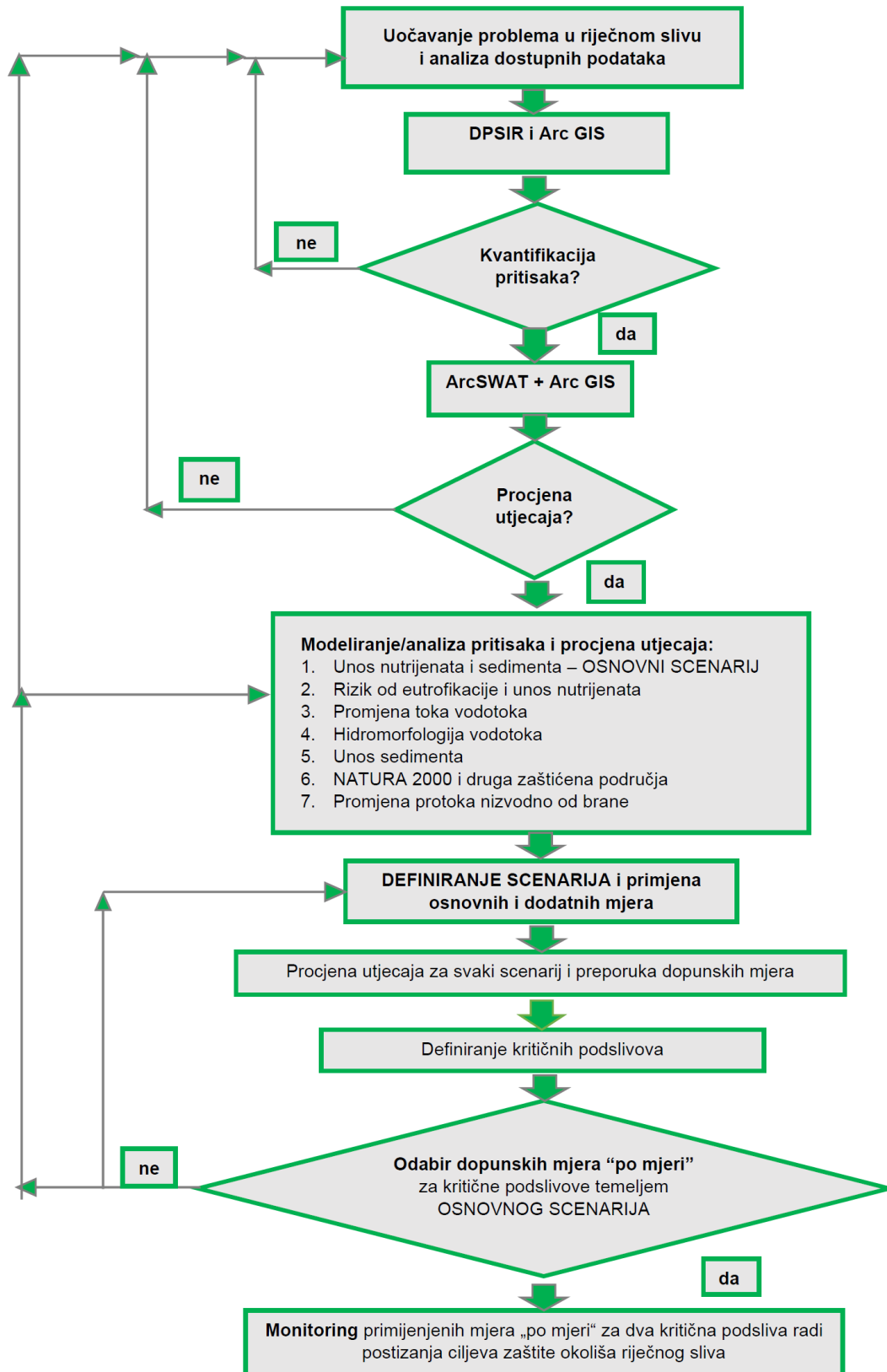
Zbog nejednakih karakteristika sliva, niti interesi Hrvatske i Slovenije nisu jednaki. Ruralni karakter riječnog sliva predstavlja dodatni izazov za inovativno upravljanje kakvoćom vode svake države, a posebno kada se radi o prekograničnom riječnom slivu i potrebi usuglašavanja razvojnih i vodnih politika Hrvatske i Slovenije. Kako bi se suočili s tim izazovima, razvijen je i prikazan u ovoj doktorskom radu, model upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva na primjeru sliva rijeke Sutle.

## **4. MODEL INTEGRALNOGA UPRAVLJANJA KAKVOĆOM VODA RURALNOGA PREKOGRANIČNOGA RIJEČNOG SLIVA**

U ovoj doktorskom radu razvijen je inovativni model upravljanja kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva, čiji se detaljan opis daje u nastavku. U sklopu modela korištena je sustavna analiza, DPSIR pristup, ArcGIS za prostornu analizu i prezentaciju, kao i SWAT model. Model uključuje cijeli niz iterativnih postupaka s mogućnošću ponavljanja i unaprjeđenja određenih koraka. U poglavlju br. 2, prikazani su problemi upravljanja kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva, značajni pritisci i mogući utjecaji, te mjere koje omogućuju optimalno upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva. Pri tom, posebnu pozornost, osim provedbe osnovnih i dodatnih mjera, potrebno je posvetiti odabiru optimalnog seta dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, kao i unaprjeđenju monitoringa koji prati njihovu učinkovitost. U poglavlju br. 3, analiziran je prekogranični ruralni sliv rijeke Sutle, za koji je utvrđena potreba upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, te koji je odabran kao pilot sliv. Temeljem svih provedenih istraživanja, predložen je inovativni model upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva. Najvažnija pitanja, vezana uz upravljanje kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva su rizik neispunjenja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i rizik nepostizanja dobrog stanja voda u riječnom slivu. Radi unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva potrebno je provesti definiranje značajnih izvora onečišćenja, modeliranje korištenja zemljišta i oborinskog otjecaja, te kvantificiranje onečišćenja nutrijentima iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja. Primjenom osnovnih, dodatnih i dopunskih mjera očekuje se smanjenje onečišćenja koje se unosi u vode, te smanjenje utjecaja onečišćenja na vode na prihvatljivu razinu. Sve navedeno značajno doprinosi učinkovitom upravljanju kakvoćom vode, a u slučaju prekograničnih riječnih slivova izazov je još veći radi niza čimbenika povezanih s različitim načinom upravljanja kakvoćom voda obzirom na različite pristupe i razvojne planove u različitim državama. Čak i kada su države članice EU-a, upravljanje kakvoćom voda ovisno je o različitim vodnim politikama. Dodatnu složenost upravljanju kakvoćom vodama predstavljaju posljedice utjecaja klimatskih promjena (s neizvjesnostima) na korištenje zemljišta, pokrov zemljišta, vodne resurse, korištenje vode i razne druge okolišne aspekte (Voulvoulis et al., 2017), (Giakoumis T. & Voulvoulis N., 2018), (Ćosić-Flajsig G., et al., 2015), (EC, 2009b) uključujući lokacije Natura 2000 područja i turističke aktivnosti.

#### **4.1. Integralni model upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva**

Temeljni okvirni pristup postizanja istraživačkih ciljeva upravljanja kakvoćom voda je razvoj *integralnog modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom*, koji *uravnotežuje okolišne i gospodarske razvojne ciljeve*. Razvijeni model integralnog upravljanja kakvoćom voda prekograničnih ruralnih riječnih slivova DPSIR pristupom uključuje ključne alate učinkovitog upravljanja temeljem relevantnih direktiva EU-a, okolišnog i vodnog zakonodavstva i stručnog znanja, kao i europska i međunarodna iskustava. Provedbom WFD-a i vodnih direktiva kao ključnog polazišta, model se temelji na analizi pritisaka u riječnom slivu, analizi stanja voda i analizi primijenjenih osnovnih i dodatnih mjera, procjeni utjecaja uključujući utjecaje klimatskih promjena, kao i primjeni dopunskih mjera i odgovarajući monitoring koji prati učinkovitost provedenih mjera. Za uočavanje i definiranje problema, kao i analizu problema i njegovo rješavanje, korištene su metode sustavne analize - racionalnog postupka donošenja odluka u odnosu na promatrani sustav koji se provodi na osnovi sustavne i učinkovite organizacije i analize dostupnih podataka i informacija prema disertaciji Karleuša B. (Karleuša B., 2005). Nakon analize pritisaka i stanja vodnih tijela riječnog sliva, analiziran je „jaz“ nepostizanja dobrog stanja voda, identificirana vodna tijela koja su pod rizikom nepostizanja dobrog stanja voda (WFD CIS Guideline No. 31., 2015), te ciljevi zaštite okoliša dijelova riječnog sliva za NATURA 2000 područja i mogućnost pružanja UE-a. Modeliranje pritisaka i procjena utjecaja nutrijenata i sedimenta na vodna tijela rijeke Sutle izrađena je korištenjem SWAT modela, i to za sadašnje stanje – OSNOVNI SCENARIJ. Ujedno, radi što kvalitetnije analize svih elemenata relevantnih za učinkovito upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, napravljen je cijeli niz analiza i procjena utjecaja koje su sa svim ključnim koracima modela prikazani u dijagramu toka (Slika 4-1). Radi unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda ruralnog riječnog sliva, korištenjem SWAT modela definirani su scenariji (detaljno opisani u podpoglavlju 4.7, Slika 4-6), i to *dva scenarija za prošlo stanje „s“ i „bez“ akumulacije i osam scenarija za buduće stanje „s“ i „bez“ akumulacije pod utjecajem klimatskih promjena*. Kao što se može vidjeti na Slici 4-1, svaki scenarij, uključuje i odgovarajuće osnovne i dodatne mjere provedene prema zakonskim obvezama i praksama određenog vremenskog razdoblja.



Slika 4-1: Dijagram toka razvijenog modela integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva

Da bi se primijenile odgovarajuće dopunske mjere, „po mjeri“ riječnog sliva, definirani su kritični podslivovi riječnog sliva za koje je zaključeno da generiraju najveći pritisak onečišćenja nutrijentima i sedimentom, te da bi provedba mjera u njima trebala biti najučinkovitija za cijeli riječni sliv. Odabir optimalnih dopunskih mjera, „po mjeri“ riječnog sliva, izrađen je za kritične podslivove temeljem OSNOVNOG SCENARIJA. U narednim podpoglavljima pojašnjeni su svi ključni koraci dijagrama toka modela integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva temeljenog na DPSIR pristupu prema Slici 4-1, koji se sastoji od niza koraka, koji se po potrebi mogu ponavljati.

## **4.2. Identifikacija problema i analiza dostupnih podataka**

Prvi korak modela integralnog upravljanja kakvoćom vode prekograničnog ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom je uočavanje i identifikacija problema u riječnom slivu, te prikupljanje i analiza potrebnih dostupnih podataka za rješavanje problema. Važan korak u postupku sustavne analize je odabir najprimjerenijih analitičkih metoda. Metode su odabrane na način da budu prikladne u odnosu na problem i očekivana rješenja, te su usklađene s raspoloživim podacima. Naime, atraktivne metode bez odgovarajućih podataka daju bezvrijedna i skupa rješenja, te ne daju mogućnost obrade cjelokupnog problema na približno istoj razini na cijelom slivu. Analiziraju se potrebna znanja za rješavanje problema, provodi se problemska orijentacija i osobna orijentacija znanja na osnovi potrebnih raspoloživih interdisciplinarnih znanja i bilance znanja. Na osnovi toga, dopunjuju se znanja o gospodarskom razvoju (industrija, poljoprivreda, turizam), uređenje prostora (naselja, promet, krajolik...), znanja o prirodi, vodi, tlu, zraku, život u vodi i oko nje, antropogenim pritiscima i utjecaju na vode, prirodnim vrijednostima, te znanja o rješavanju problema.

Nakon identifikacije problema vezanih uz upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, prešlo se na sljedeće korake sustavne analize koja se definira kao racionalni postupak donošenja odluka o nekom sustavu (od definiranja problema, prikupljanja informacija o sustavu, definiranje ciljeva, generiranje varijantnih rješenja, vrednovanje varijantnih rješenja, analiza ispunjenja postavljenih ciljeva i prezentacija) (Karleuša B., 2005). Naime, pravovremeno uočavanje problema vezanih uz postizanje dobrog stanja voda površinskih vodnih tijela u ruralnom riječnom slivu i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva daje mogućnost i pravovremenog, preventivnog rješavanja problema, planiranja strategije upravljanja kakvoćom voda i poduzimanja mjera za otklanjanje problema (gradnja objekata, provedba drugih negrađevinskih mjera i sl.). Nakon spoznaje o problemu, *neravnoteži između gospodarskih ciljeva i ciljeva zaštite*

*okoliša riječnog sliva*, posebno je važan odabir interdisciplinarnih metoda u odnosu na značajke problema. U slučaju ruralnog prekograničnog sliva potrebna su znanja iz hidrologije i hidraulike, kemije i biologije voda, ekologije, šumarstva, agronomije s korištenjem zemljišta i primjenom najbolje poljoprivredne prakse (engl.: *best agriculture practice*: BAP), meteorologije, klimatologije, tehnologije pročišćavanja otpadnih voda i integralnog upravljanja kakvoćom voda unutar integralnog upravljanja slivom i sl. Važan je odabir načina prikaza rezultata koji su razumljivi širokom krugu dionika uključenih u upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, kao i definiranje i rješavanje problema usklađeno s planskim dokumentima, razvojnim državnim politikama i razvojnim planovima šire društvene zajednice, kao i različitim gospodarskim granama relevantnim za promatrani sliv. Za uspješno rješavanje uočenog problema potrebno je utvrditi stvarno stanje problema u iskonskoj prirodi, društvu i umjetnoj prirodi (vodnogospodarski objekti), osnovni ciljevi temeljem kojih se utvrđuju kriteriji radi ocjene rješenja i odgovarajućih mjerila kojima se iskazuju stupanj ostvarivanja postavljenih ciljeva. *Proučavanje stanja* problema podrazumijeva utvrđivanje uzročno-posljedičnih veza, što predstavlja podlogu za generiranje varijanti rješenja problema u idućem koraku. Rezultat ovog koraka je ocjena stanja upravljanja vodama što je podloga za ostvarenje idućeg koraka (Karleuša B., 2005). Uz navedene metode, koristi se još cijeli niz drugih metoda ovisno o problemu.

U analizi i definiranju problema, te izradi rješenja, korišteni su javno dostupni podaci i informacije koji su analizirani, vrednovani i sistematizirani. Podaci moraju biti kvalitetni i pouzdani jer o njima neposredno ovisi kvaliteta planiranja i upotrebljivost rezultata. Naime, loši podaci mogu nastati uslijed krivog očitavanja do pogrešne interpretacije. Podaci su prije korištenja analizirani, eliminirani i nadomješteni ukoliko se za to ukazala potreba primjenom jednostavnih metoda (npr. uspoređivanjem sa susjednim slivom sličnih parametara). Prikupljeni podaci stanja voda na mjernim postajama nadzornog monitoringa su sistematizirani u obliku pogodnom za analizu i modeliranje, provedene su statističke obrade (srednja vrijednost, standardna devijacija, korelacijske značajke, trajanje pojedinih veličina i slično). Obradama su svi podaci ujednačeni po kvaliteti i trajanju (razdoblje), a posebna pozornost poklonjena je promjenama nizova podataka nastalih uslijed pogrešaka u mjerenju i promjena lokacija mjernih postaja.



### 4.3. DPSIR pristup

Kao okvirni analitički alat za procjenu i modeliranje problema vezanih uz vode i istraživanje područja ruralnog riječnog sliva, temeljem iskustva istraživanja problema upravljanja kakvoće voda u cijelom nizu radova (Guipponi C., 2012), (Kagalou I. et al., 2012), (Kristensen P., 2004), primijenjen je DPSIR, problemski-orijentiran pristup sukladno načelu predostrožnosti i načelu smanjenja onečišćenja na mjestu nastanka upravljanja kakvoćom vode rijeke Sutle (Ćosić-Flajsig G. et al, 2014), (Ćosić-Flajsig G., 2017). Provedba DPSIR pristupa, od pokretačkih sila do utjecaja i odgovora društva, složen je zadatak i raščlanjuje se na podzadatke, npr. pojednostavljeno se razmatra odnos pritisak-stanje. I pored poduzetih odgovarajućih mjera upravljanja kakvoćom voda, potrebno je pratiti pritiske i stanje voda kako bi se pravodobno mogli procijeniti utjecaji, te odgovarajućim mjerama njihov utjecaj smanjiti na prihvatljivu razinu (Guipponi C., 2012). DPSIR pristup se može koristiti kao analitički alat za procjenu i modeliranje problema voda vezanog uz organsko onečišćenje i eutrofikaciju voda, kao što je prikazano na Slici 2-2., u poglavlju 2. WFD ne određuje značenje „značajnih“ pritisaka, niti koje treba uzeti u obzir u procjeni rizika nepostizanja dobrog stanja voda i procjeni rizika eutrofikacije voda (IMPRESS, 2002). Prema Smjernicama o analizi pritisaka i utjecaju WFD CIS – Dokument br.3, značajan pritisak je prema WFD-u, pritisak koji samostalno ili u kombinaciji s drugim pritiscima može uzrokovati neuspjeh u postizanju ciljeva zaštite okoliša utvrđeno člankom 4. WFD-a. Slijedeći zahtjeve WFD smjernica o ArcGIS-u (WFD CIS Guidance No.9., 2003), sve informacije o značajnim pritiscima u ruralnom riječnom slivu uključene su u prostornu analizu i prikazane pomoću ArcGIS-a. Korištenjem DPSIR pristupa izrađena je analiza ruralnog riječnog sliva temeljem seta podataka i /ili indikatora koji su prikazani u Tablici 4-1.

Tablica 4-1: Set podataka i/ili indikatora modela upravljanja kakvoćom voda temeljem DPSIR pristupa (Kristensen P., 2004), (Kagalou I. et al., 2012), (Guipponi C., 2012)

Pokretačke sile	Pritisci	Stanje	Utjecaj	Odgovori društva/mjere
<b>Urbanizacija</b>	Opseg urbanih i poluurbanih područja; količina proizvedene otpadne vode; kanalizacijski sustavi po lokaciji i kapacitetima; broj odlagališta otpada i njihovi kapaciteti; razina i učinkovitost pročišćavanja otpadnih voda; emisije u vodu (koncentracije i opterećenja).	Koncentracija tvari koje zahtijevaju kisik u vodi (BPK, amonijak); nutrijenti u vodi (koncentracija nitrata i ortofosfata u rijekama; ukupni fosfor u jezerima); Količina zahvaćene vode; broj i veličina brana i umjetnih vodnih tijela; regulaciona duljina.	Eutrofikacija, pad koncentracije kisika u vodi; opadanje „prirodnosti“ vodotoka (razina promijenjenog stanja od prirodnog – brzina promjene morfološko-hidroloških elemenata); gubitak staništa; proizvodnja nanosa i erozija zemljišta (promjena u slivu).	Programi razvoja opskrbe pitkom vodom; vodozaštitne zone; prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda; program mjera i postavljanje granica koncentracije kemijskih pokazatelja emisija u okoliš (posebno prilagođen za područja i veličinu aglomeracije); kontrola i nadzor učinkovitosti UPOV-a.
<b>Poljoprivreda</b>	Primjena gnojiva, herbicida i pesticida na poljoprivrednom zemljištu (količina); stoka (količina gnojnice i stajnjaka); navodnjavanje i odvodnja voda (broj, opseg, kapaciteti i učinkovitost sustava navodnjavanja i odvodnje).	Koncentracija klorofila-a u jezerima, koncentracije dušika i fosfora u vodi; koncentracija suspendiranih tvari i sedimenta; promjene karakteristika niskog i visokog protoka vode; zasoljenost tla; promjene pokazatelja vode u tlu.	Eutrofikacija, uništavanje staništa, cvjetanje algi, proizvodnja sedimenta i erozija zemljišta; karakteristike niskog i visokog protoka vode (odvodnja i navodnjavanje); promjena infiltracijskih kapaciteta tla; kemijsko i mikrobiološko propadanje tla.	Agroekološke politike: zaštitna zona, financijska potpora organskoj i ekološkoj proizvodnji hrane; planovi upravljanja raspršenim onečišćenjem; učinkovita uporaba organskih i umjetnih gnojiva; kontrola skladištenja i upotrebe stajnjaka i gnojnice.
<b>Industrijski razvoj</b>	Efluenti opasnih tvari (količina ispuštene otpadne vode s određenim koncentracijama; hrpe specifične tvari).	Količina ispuštene industrijske otpadne vode; koncentracije opasnih tvari; hrpe tvari.	Loša kemijska kvaliteta vode; ekotoksikološki utjecaji na biotu; gubitak staništa; smanjenje veličine populacije za vodenu biotu; izumiranje vrsta; erozije tla.	Kontrola emisija, postavljanje granica koncentracija; pročišćavanje industrijskih otpadnih voda; nove tehnologije; najbolje dostupne tehnologije; zaštitne zone.
<b>Turizam, rekreacija, promicanje zdravlja ljudi</b>	Urbanizacija, stvaranje otpada, brtvljenje tla; zahtjev za vodom; fizičke promjene prirodnih sustava (gradnja na obali, rekreacijski objekti): pokazatelji su veličina i opseg, broj, broj turista i posjetitelja).	Količina otpada i broj odlagališta otpada; duljina izgrađenih obala; promijenjeno morfološko stanje; promjene razine i temperature podzemnih voda; pokazatelji fragmentacije krajolika; funkcionalne promjene vodenih ekosustava.	Promjena karakteristika vodnih ekosustava; gubitak bioraznolikost; prosjek šume; isušivanje močvarnog područja; pogoršanje kakvoće vode promjena protoka vode; produkcija sedimenta i erozija zemljišta (količina, lokacija).	Zoniranje namjene zemljišta; mjere ublažavanja; zaštitne zone; Izrada integralnih planova upravljanja.
<b>Zaštita prirode, prilagodba klim. promjenama</b>	Zahtjevi za zaštitom i očuvanjem ugroženih vrsta; zaštita prirodnih sustava za ublažavanje poplava i suša.	Zaštićena područja; bioraznolikost i stanje očuvanosti (broj vrsta i veličina populacije; stanje očuvanosti za vrstu.); poplavna područja; učestalost poplava i suša.	Promjena biološke raznolikosti; rizik od poplava; rizik od suše; štete od poplava i suše.	Mjere zaštite i očuvanja vrsta i staništa; evaluacija usluga ekosustava; sudjelovanje i praćenje javnosti; područja za zaštitu staništa i ugroženih vrsta.

Temeljem Tablice 4-1, seta podataka i/ili indikatora modela upravljanja kakvoćom voda temeljem DPSIR pristupa, izrađena je analiza za sliv rijeke Sutle i pripremljen je poopćeni DPSIR model s posebnim naglaskom na rizik ne postizanja dobrog stanja voda i rizik eutrofikacije voda prekograničnog, ruralnog riječnog sliva.

Definirane su *pokretačke sile*, ljudske aktivnosti koje vrše *pritiske na okoliš*, kao rezultat procesa proizvodnje ili potrošnje, te su podijeljene u tri glavne vrste:

- (i) prekomjerno korištenje okolišnih resursa,
- (ii) promjene u namjeni zemljišta, i
- (iii) izravne ili neizravne emisije (kemikalija, otpada, zračenja, buke) u zrak, vodu i tlo, koje mogu predstavljati opasnost za zdravlje ljudi i okoliš.

Za ruralni riječni sliv, izrađena je *identifikacija i napravljen opis pokretačkih sila*. Temeljni pokretači su: urbanizacija (otpadne vode); poljoprivreda (uključujući ratarstvo); industrijski razvoj; turizam rekreacija i promicanje zdravlja ljudi; i potreba za zaštitom prirode prilagodbom klimatskim promjenama.

Temeljem definiranih pokretačkih sila, *identificirani su značajni antropogeni pritisci u ruralnom riječnom slivu*, i to:

- (a) onečišćenje iz točkastih izvora; naselja i industrija
- (b) onečišćenje iz raspršenih izvora onečišćenja, posebno od poljoprivrede;
- (c) zahvaćanje vode za urbane, industrijske, poljoprivredne i druge svrhe;
- (d) regulacija vodotoka, ukupne karakteristike protoka i vodna bilanca;
- (e) morfološke promjene vodnih tijela,
- (f) drugi antropogeni utjecaji na stanje površinskih voda i
- (g) obrasci korištenja zemljišta, identifikacija urbanih, industrijskih i poljoprivrednih područja i šuma.

*Procjena značajnog pritiska na vode i na određeno vodno tijelo* temelji se na poznavanju svih vrsta pritisaka unutar riječnog sliva, kao i konceptualnog razumijevanja korištenja zemljišta, hidrografije sliva, otjecanja i protoka voda riječnim slivom, prijenosa kemikalija i nutrijenata riječnim slivom, te biološkog funkcioniranja vodnog ekosustava. Drugim riječima, potrebno je identificirati značajne pritiske koji mogu uzrokovati utjecaj na vode uslijed načina funkcioniranja sliva i riječnog sustava. Identificiranje značajnog pritiska temelji se na popisu svih pritisaka i posebnih karakteristika sliva, a značajnost pritisaka je određena usporedbom graničnih vrijednosti za dobro stanje voda vodnih tijela i procjenom tereta onečišćenja iz evidentiranih izvora pritisaka sa pripadajućeg dijela sliva, za hidrološke uvjete koji odgovaraju *srednjim godišnjim protocima*. Značajnim pritiskom smatra se pritisak koji sam ili u kombinaciji s drugim pritiscima, bez primijenjenih prikladnih mjera, može dovesti do nepostizanja najmanje dobrog stanja voda. *Stanje voda* vodnog tijela opisuje se fizičkim, kemijskim, biološkim, količinskim i hidromorfološkim pokazateljima nadzornog monitoringa, te ocjenjuje stanje voda vodnog tijela i rizik postizanja

najmanje dobrog stanja voda jer promjene stanja voda mogu utjecati na funkcioniranje ekosustava i očuvanje zdravlja ljudi. Ovakav pristup identifikaciji pritisaka, usmjeren je na rizik onečišćenja voda nutrijentima i eutrofikaciju vodnog tijela stajačice i nizvodnog vodnog tijela tekućice ruralnog riječnog sliva, često zahtijeva četiri faze istraživanja. *Prva faza je procjena korelacije pritisaka temeljem analize „jaza“ između dobrog stanja voda i ocjene stanja voda vodnog tijela koju izrađuju Hrvatske vode temeljem nadzornog monitoringa vodnih tijela. U drugoj fazi se za određena vodna tijela pod rizikom nepostizanja dobrog stanja voda računaju tereti onečišćenja iz svih registriranih izvora onečišćenja. Treća faza obuhvaća usporedbu ukupno proračunatog tereta onečišćenja s graničnim vrijednostima za dobro stanje voda vodnog tijela odgovarajućeg tipa površinskih voda, s ciljem definiranja potrebnih mjera. U četvrtoj fazi, temeljem analize tereta onečišćenja i ocjene utjecaja na vode uslijed izmjena hidromorfološkog stanja, procjenjuju se značajni pritisci za svako vodno tijelo i značajni utjecaji na stanje vodnih tijela, te odgovarajuće mjere (IMPRESS, 2002). Procjena utjecaja na vodna tijela izrađuje se radi utvrđivanja ostvarenja ciljeva upravljanja kakvoćom voda, te usklađivanja gospodarskog razvoja s politikom zaštite okoliša radi izbjegavanja prekomjernog korištenja i zaštite vodnih resursa. Kvaliteta procjene utjecaja na vode ovisi o kvaliteti definiranih pokretačkih sila, značajnih pritisaka i ocjene stanja voda temeljem nadzornog monitoringa voda. Korištenjem DPSIR pristupa i ArcGIS-a, provodi se analiza antropogenih pritisaka i holistički procjenjuju utjecaji na vode i prirodne sustave potaknuti hidrološkim procesima. Moguće je i korištenje prognostičkih modela. Procjena rizika od nepostizanja okolišnih ciljeva WFD-a provodi se usporedbom ukupnih pritisaka i procijenjenih utjecaja na okoliš. Slijedeći metodologiju, moguće je za svako vodno tijelo procijeniti rizik od nepostizanja ciljeva zaštite okoliša WFD-a i rizik ne postizanja dobrog stanja voda. Kao rezultat provedene analize i rezultata prognostičkih modela, provode se odgovori društva/mjere. Učinkovitost mjera osigurava smanjenje utjecaja na okoliš, a provjerava se uspostavom monitoringa vodnog tijela i ocjenom postizanja okolišnih ciljeva vodnog tijela (IMPRESS, 2002). Odabir mjera, opisan u poglavlju 2.2.5., kao i radu Voulvoulisa i dr. (Voulvoulis N. et al, 2017), iznimno je opširan i zahtjevan posao jer su riječni sustavi različiti u socio-političkom smislu i prirodnim uvjetima. Posljedica toga su najrazličitiji problemi u definiranju pritisaka i stanja voda, kao i planiranju mjera u sklopu DPSIR pristupa. Posebno u slučajevima kada države članice nastavljaju tradicionalne prakse upravljanja vodama s naglaskom na reguliranje pojedinih onečišćujućih tvari, te time zanemaruju složenost uvjeta unutar sliva i provedbu WFD-a. Provedba mjera*

često je usmjerena na provedbu osnovnih mjera bez doprinosa ciljevima WFD-a, kao što se može vidjeti iz prikaza na Slici 2-6, u poglavlju 2. Stoga, nužno je više vremena posvetiti pritiscima, stanju i procesima u riječnom slivu, te nakon toga, uz osnovne i dodatne mjere, primijeniti dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva (Slika 2-4). Posebno je potrebno naglasiti potrebu uključivanja mjera koje se odnose na smanjenje hidromorfloških pritisaka, obzirom da oni predstavljaju značajan izazov i trećina vodnih tijela EU-a je hidromorfološki promijenjeno, kao i definiranja i uključivanja E - protoka kao mjere smanjenja pritiska na količinu vode u vodnom tijelu. U ovom istraživanju, u sklopu primjene DPSIR pristupa, korišteni su skupovi podataka, pokazatelji i ArcGIS za izradu prostorne analize i prikaz prostornih informacija (Voulvoulis N. et al., 2017), (Hrvatske vode, 2019).

Odgovori društva/mjere temeljem DPSIR pristupa, prikazane su u poglavlju 5. koje opisuju rezultati modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva uzimajući u obzir načelo održivosti. Uspješno upravljanje ruralnim riječnim slivovima uključuje primjenu optimalnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva što uključuje različite mjere, od vrlo skupih do jeftinih i jednostavnih mjera, na odabranim vodnim tijelima. Prema dijagramu toka razvijenog modela integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva (Slika 4-1), ukoliko su prikupljeni podaci i prikazani rezultati nezadovoljavajući, potrebno je vratiti se na prethodni korak i unaprijediti postupak prikupljanja potrebnih podataka i indikatora. Tek nakon toga, moguće je preći na sljedeći korak identifikacije i kvantifikacije značajnih pritisaka.

#### **4.4. Kvantifikacija pritisaka**

U ovom koraku analizira se potreba za kvantifikacijom pritisaka, kao i mogućnost provedbe te kvantifikacije. Sve navedeno u podpoglavlju 4.1.1. ukazuje na činjenicu da je za kvalitetnije upravljanje kakvoćom voda ruralnog riječnog sliva neophodna *identifikacija značajnih pritisaka i karakterističnih indikatora i pokazatelja za značajne pritiske*, te prostorna kvantifikacija pritisaka uz pomoć ArcGIS-a. Značajniji i manje značajni, pritisci točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, pritisci na količinu voda vodnog tijela i hidromorfološki pritisci, analizirani su temeljem javnih, službenih i raspoloživih indikatora pritisaka i podataka. Također, istovremeno, analizirani su i indikatori stanja i utjecaja voda, te primijenjene mjere. U skladu s odredbama WFD-a, jedan od načina planiranja i kontrole ispuštanja otpadne vode putem točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, te zadovoljenja zahtjeva postizanja dobrog stanja voda u vodnom tijelu koje služi kao prijemnik ispuštene otpadne vode, predstavlja primjena

kombiniranog pristupa. *Metodologija primjene kombiniranog pristupa* (Hrvatske vode, 2015) donesena je i primjenjuje se u Hrvatskoj od 2015. godine, a revidirana je 2018. godine. Načelo kombiniranog pristupa podrazumijeva smanjenje onečišćenja voda iz točkastih i raspršenih izvora, uz posebno postupno ukidanje ispuštanja opasnih tvari s ciljem postizanja dobrog stanja voda. Usklađenost sa EQS i ELVS, ključan su dio provedbe kombiniranog pristupa. Istovremeno, WFD ima zadatak koordinirati postizanje ciljeva zaštite okoliša postavljenih u ranijem zakonodavstvu, pružajući novu ukupnu kvalitetu i postizanje dobrog stanja voda za sve vode, čime se osigurava veza između kontrole emisije i postizanja standarda kakvoće voda provedbom kombiniranog pristupa. Ispuštanjem onečišćujućih tvari, moraju se zadovoljiti oba zahtjeva. Mogućnost ocjene utjecaja onečišćenja iz točkastih ili raspršenih izvora u vodni okoliš ovisi o raspoloživosti podataka o emisiji onečišćujućih tvari na izvorima onečišćenja, ali i raspoloživosti podataka o prisutnosti i koncentraciji onečišćujućih tvari u vodnim tijelima. Uspostavljanje odnosa između elemenata konceptualnog DPSIR modela presudno je za pripremu kvalitetnog i provedivog programa mjera na onim vodnim tijelima na kojima nije postignuto dobro stanje voda. Pri utvrđivanju DPSIR odnosa koriste se bilancni modeli (izračun tereta onečišćenja – masena koncentracija) za raspoložive pokazatelje stanja voda, koncentracijama onečišćujućih tvari u vodama (Hrvatske vode, 2019), a za bilanciranje se koristi prostorni računalni model razvijen u Hrvatskim vodama. Za svaku računsku dionicu, određenu položajem mjernih postaja na kojima se prati kakvoća voda, kao i za svaku onečišćujuću tvar, uspoređuje se promjena tereta onečišćenja duž dionice uz poznati unos iz točkastih izvora onečišćenja na neposrednom priljevnom području dionice. Kao poznato onečišćenje uzima se i polazno (prirodno prisutno) onečišćenje, procijenjeno na osnovi referentnih koncentracija pojedinih onečišćujućih tvari, kao i raspršeno onečišćenje koje se ispušta direktno u vode. Ukupna razlika tereta onečišćenja pripisuje se indirektnom unosu iz raspršenih izvora onečišćenja i okvirno alocira po izvorima onečišćenja proporcionalno njihovom udjelu u ukupnoj emisiji onečišćujuće tvari na neposrednom priljevnom području dionice. Riječ je o pojednostavljenom modelu koji simulira složene procese i odnose opisane u preporukama Tehničkoga vodiča (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003). Prostorni raspored potencijalnih unosa onečišćenja uzima se u obzir pri definiranju pooštrenog programa nadzornog monitoringa (EC, 2012b). Ukoliko se utvrdi da se planiranom primjenom osnovnih, dodatnih i dopunskih mjera ne može postići najmanje dobro stanje voda, a onečišćivač utvrdi da je postizanje strožih graničnih vrijednosti emisija nesrazmjerno skupo, onečišćivač može preusmjeriti

ispuštanje svojih pročišćenih otpadnih voda u drugo odgovarajuće vodno tijelo u dobrom stanju, uz primjenu načela kombiniranog pristupa. Temeljem analize primjene kombiniranog pristupa ustanovljeno je da postoji potreba za primjenom matematičkog modela kojim će se prostorno modelirati pritisak onečišćenja na vodna tijela iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja obzirom da se u ovom istraživanju radi o ruralnom riječnom slivu.

#### **4.5. Kvantificiranje pritisaka modeliranjem SWAT-om**

Nakon što su prikupljeni svi dostupni podaci, u sljedećem koraku analizirani su podaci i indikatori svih značajnih pritisaka i stanja voda korištenjem DPSIR pristupa i ArcGIS-a. Nakon uvida u izrađene analize pritisaka s prostornom prezentacijom putem ArcGIS-a ustanovljena je potreba kvantifikacije pritisaka i procjena utjecaja na vode. Ukoliko se, tijekom analize ili kvantifikacije pritisaka i procjene utjecaja na vode, dođe do zaključka da su dostupni podaci nedostadni, potrebno je provjeriti prikupljene i prikupiti nove podatke i indikatore, ponovno analizirati problem i ponovo provesti kvantifikaciju pritisaka. Za kvantifikaciju koriste se matematički modeli, a njihov rad se zasniva na definiranju problema temeljem teoretskog znanja o problemu i svih raspoloživih detalja o problemu. Korištenje modela, uz rješavanje problema, omogućava bolje sagledavanje prirode problema i kvalitetnije donošenje upravljačkih odluka. Prilikom odabira odgovarajućeg matematičkog modela koji će se koristiti za probleme upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, analiziraju se svi oni matematički modeli koji imaju mogućnost prikaza numeričkih i/ili grafičkih rezultata. Iako se veliki broj matematičkih modela može koristiti za modeliranje upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, samo mali broj modela je dostupan i prikladan za modeliranje onečišćenja od poljoprivrede u ruralnim riječnim slivovima (Szmarinska K. et al., 2009), (Glavan M. & Pintar M., 2012). Prilikom odabira matematičkog modela izrađena je opširna analiza koja je prikazana u poglavlju br. 2., podpoglavlje 2.2.12. Odabir matematičkog modela za procjenu utjecaja na vode. U radu (Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., 2015b) izdvojeni su i analizirani prikladni matematički modeli. Prilikom analize i odabira matematičkog modela razmatrana je njihova učinkovitost i prednosti u odnosu na druge.

Odabran je *SWAT model koji je fizički zasnovan, deterministički simulacijski model na razini riječnog sliva* koji je razvila Služba za poljoprivredna istraživanja Sjedinjenih američkih država (engl.: United States Department of Agricultural Research Service: USDA) (Douglas-Mankin, 2010). Razvijen je kako bi pomogao stručnjacima koji



upravljaju vodama pri procjeni utjecaja poljoprivrednih aktivnosti u riječnom slivu (Arnold et al., 1998), a istovremeno ima široko područje korištenja, i to za: modeliranje hidrologije u smislu količine vode (ispuštanje, voda u tlu i upravljanje vodama), kakvoće vode (korištenje zemljišta, primjene određene proizvodne tehnologije, primjene dobre poljoprivredne prakse i primjene agroekoloških mjera), te utjecaja klimatskih promjena (Ashraf Vaghefi, S, et al., 2015), (Čerkasova, N. et al., 2018). SWAT model je prikladan i korišten je za sve vrste analiza scenarija uključujući utjecaje klimatskih promjena za sve vrste prekograničnih ruralnih riječnih slivova (Kersebaum, K.C. et al, 2003) (Abbaspour, K.C. et al., 2015), (Čerkasova, N. et al., 2018). U radu Čerkasova, N. et al, 2018. analiziran je veliki prekogranični sliv rijeke Nemunas koji dijele Bjelorusija, Litva, Poljska i Ruska federacija. Unos nutrijenata sa sliva ima značajan utjecaj na kakvoću voda rijeke u Litvi, najnižvodnijoj državi, kao i na opstanak Curonian lagune na Baltičkom moru. Radi se o modeliranju velikog prekograničnog riječnog sliva s devet podmodela, unaprjeđenju postavljanja *jedinica hidrološkog odgovora* (Hydrological Response Unit: HRU), te modeliranju utjecaja klimatskih promjena. U radu (Abbaspour, K.C. et al. 2015) upotrijebljen je SWAT model za izradu analize velikih prekograničnih ruralnih riječnih slivova EU-a radi unaprjeđenja informacija o pritiscima nutrijenata u slivu i „hot spots“ lokacija. Rad je usmjeren na analizu prekograničnih slivova radi: procjene utjecaja klimatskih promjena i promjena korištenja zemljišta, te izračuna pritisaka nutrijenata koji se pronose slivom i ulaze u more. Iako su u navedenim radovima obrađivani veliki riječni slivovi između većeg broja država sa značajno većim pritiscima nutrijenata u slivu, rješavali su probleme pritisaka nutrijenata, te utjecaja klimatskih promjena i korištenja zemljišta, kao što je rađeno i na slivu rijeke Sutle. Za rad modela koriste se podaci nadzornog monitoringa izrađenog prema obvezama provedbe WFD-a. U nizu radova, (Volk M. et al., 2011), (Piniewski M., 2017), (Epelde, A.M. et al., 2015), (Glavan, M. et al., 2012), (Glavan, M. et al., 2020), analizirani su problemi utjecaja onečišćenja iz poljoprivrede u ruralnim područjima, prikladnost korištenja za ruralne riječne slivove uz upravljanje kakvoćom vode upravljanjem nutrijentima i zemljištem uključujući primjenu dobre poljoprivredne prakse, te su temeljem toga predložene dopunske mjere za smanjenje unosa onečišćenja u vodna tijela.

Kroz razdoblje od preko 30-tak godina, model je testiran za vrlo različita područja, široki raspon uvjeta i praksi, te je unaprijeđen. Gassman i drugi, 2007. godine (Gassman P.W. et al., 2007) objedinili su više od 250 referenciranih radova objavljenih u znanstvenim časopisima vezanih uz korištenje SWAT modela širom svijeta. Vrlo su



široke mogućnost djelovanja i rješavanja najrazličitijih problema korištenjem SWAT modela, no za postavljanje modela potrebna su interdisciplinarna znanja (hidrotehnika i agronomija), a manjkavost tih znanja sužava prostor kreativnosti u primjeni SWAT modela. SWAT model, korišten u ovom radu simulira složene procese kretanja vode, nutrijenata i sedimenta u okolišu, te stoga zahtijeva širok raspon ulaznih podataka – topografiju, svojstva tla, klimu, podatke o korištenju zemljišta, poljoprivredne prakse i svojstva biljaka. Uz javnu dostupnost modela i njegovih ekstenzija, posebnu prednost predstavlja korištenje javno dostupnih podataka i informacija kao ulaznih podataka, te se s te strane pokazao kao dobar odabir u ovom istraživanju. SWAT model ima mogućnost nadogradnje i online edukacije, a obzirom na otvorenost zajednice istraživača i modelara koji koriste SWAT model i različitih oblika kontinuirane edukacije, očekuje se daljnje širenje broja korisnika i unaprjeđenje modela. Do sada, SWAT model uspješno je primijenjen za riječne slivove različitih država, a sve je publicirano i dostupno javnosti, kao i izrada prijedloga mjera temeljem rezultata modeliranja pri čemu je korištena i integracija vodnih politika u druge gospodarske sektore radi postizanja ciljeva upravljanja vodama prema WFD-u, i to posebno u poljoprivrednoj politici i prostornom planiranju (Abbaspour, K.C. et al. 2015), (Čerkasova, N. et al., 2018). Format ulaznih podataka čini model jednostavnim i podržava primjenu modela na gotovo svaki riječni sliv, iako prilagodbe podataka korištenju SWAT modela obično nisu mjerljive jer se provode na temelju iskustva, najboljeg znanja i subjektivne procjene područja proučavanja modelara (Ćosić-Flajsig, G., Karleuša, B., 2014). Korisnici modela ukazali su na važnost vremenski i prostorno točnih ulaznih podataka modela, kao što su oborine i korištenje zemljišta. Zahtjevnost u korištenju SWAT modela iskazana je kroz jednu od prikazanih slabosti, a to je činjenica da je za pokretanje modela potrebno prikupiti širok raspon različitih podataka, kao i činjenica da zanemarivanje ili podcjenjivanje važnosti podataka i njihove verifikacije može dovesti do netočnih rezultata modela i procjena pritisaka i utjecaja (Abbaspour K.C et al., 2007) (Moriasi D.N. et al., 2012).

Kod korištenja SWAT modela, uz podslivove koji su prostorno povezani jedan s drugim, *slivno područje je podijeljeno prostorno poludistribuirano na hidrološki homogena podpodručja putem HRU-a, kao najmanje jedinica SWAT-a s jedinstvenom kombinacijom korištenja zemljišta, tla, nagiba i upravljanja zemljištem* (Douglas-Mankin K.R, 2010). Korištenje SWAT modela uz ArcGIS s definiranom riječnom mrežom i glavnom točkom istjecanja iz sliva, podslivovima i HRU-ovima riječnog sliva,

uz kvalitetnu razlučivost terena i hidrografiju, unaprjeđuje prostornu kvantifikaciju i vizualizaciju pritisaka u riječnom slivu (Johnston J.M. et al., 2011).

Korištenje zemljišta, tlo i heterogenost nagiba terena u modelu uzimaju se u obzir kroz podslivove, te omogućavaju praćenje pronosa onečišćenja, no ne i kod pronosa onečišćenja između HRU-ova. Erozija i pronos sedimenta procjenjuju se za svaki HRU pomoću modificirane univerzalne jednadžbe gubitka tla (engl.: *Soil Loss Equation: MUSLE*). SWAT model prati kretanje i transformaciju nekoliko oblika dušika i fosfora u profilu tla, plitkom vodonosniku, akumulaciji, jezeru i močvarnom tlu. Pregled potencijalnih prednosti i slabosti modela SWAT navedene su u Tablici 4-2.

Tablica 4-2: Pregled potencijalnih prednosti i nedostataka kvantifikacijskih alata SWAT-a (Schoumans i Silgram, 2003).

Model riječnog sliva	Prednosti	Slabosti
<b>SWAT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Model detaljno opisuje sve elemente i tokove kružnog ciklusa N-a i P-a</li> <li>- Sposobnost simuliranja scenarija za duga razdoblja, kontinuirano u vremenu, npr. upravljanja vodama i tlom ili klimatskih promjena</li> <li>- Omogućuje modeliranje pritisaka točkastih i raspršenih izvora onečišćenja</li> <li>- Široko se koristi u cijelom svijetu i Europi</li> <li>- Računalno učinkovit za rad na velikim riječnim slivovima u prihvatljivom vremenu</li> <li>- Dostupno za ESRI ArcView (Windows NT/2K) i GRASS (Unix) ArcGIS</li> <li>- Omogućava fleksibilnu konfiguraciju sliva (neograničen broj podslivova)</li> <li>- Vrlo kooperativna mreža korisnika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Simulacija rasta šuma je loša</li> <li>-Simulacija P-a donekle jednostavna</li> <li>-Jedinice hidrološkog odgovora (HRU) nisu georeferencirane unutar podsliva</li> <li>-Opsežni zahtjevi za ulazne podatke</li> </ul>

Tijekom kalibracije potrebno je modificirati brojne parametre, što obeshrabruje korisnike u korištenju SWAT modela. Prilagodbe obično nisu mjerljive jer su napravljeni korištenjem iskustava korisnika, najboljeg znanja i subjektivne procjene područja proučavanja. Neke od manjkavosti vezane uz sam rad modela su: loša simulacija rasta šuma i donekle loša simulacija P-a.

Cijeli niz prednosti SWAT modela ukazuje na zadovoljavajuće rezultate korištenja, a posebno treba istaknuti: procjena dnevnih, mjesečnih i izlaznih protoka i onečišćujućih tvari, mogućnost rada na velikim slivovima i fleksibilnost u odnosu na konfiguracije sliva, mogućnost modeliranja svih elemenata i tokova kružnog ciklusa N-a i P-a, mogućnost modeliranja pritisaka točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, kao i mogućnost izrade različitih scenarija za duga vremenska razdoblja i utjecaj klimatskih promjena. SWAT model, obzirom na mogućnost simuliranja hidrološkog ciklusa i kružnog ciklusa kretanja nutrijenata, može predvidjeti dugoročne utjecaje na vode,

može pomoći u procjeni okolišne učinkovitosti BMP-a i politika upravljanja poljoprivrednim zemljištem, kao i na upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva. Gubici nutrijenata u vode za svaki od riječnih podslivova usmjeravaju se kroz glavnu mrežu vodotoka simuliranjem zadržavanja i transformacije nutrijenata. Korištenje dušika za usjeve izračunava se temeljem gnojidbe potrošnje usjeva, a pritisak nutrijenata na vode procjenjuje temeljem procjene koncentracija dušika u gornjem sloju tla i volumena vode koja otječe sa podsliva.

Također, SWAT daje osnovu za ocjenjivanje utjecaja prakse upravljanja zemljištem na vode i korištenja poljoprivrednih kemikalija tijekom dugog vremenskog razdoblja, a posebno obzirom na promjenu klime, korištenje zemljišta, upravljanje vodama i poljoprivredne prakse (Gassman et.al., 2007). Prema iskustvima i rezultatima istraživanja na slivovima Reke i Dragonje (Glavan, M. & Pintar, M.,2012), malim ruralnim prekograničnim riječnim slivovima između Hrvatske i Slovenije, poput sliva Sutle, model SWAT se pokazao prikladnim. Autori (Glavan, M. & Pintar, M.,2012), su objasnili da SWAT može predstaviti hidrološko ponašanje heterogenih slivova i rijeka. U odnosu na dostupne podatke, model može predstaviti masenu koncentraciju sedimenta i nutrijenata u riječnom slivu, te njihovu kumulativnu distribuciju. Rezultati modela mogu pokazati kontrolu raspršenih izvora onečišćenja s agro-okolišnim mjerama. Za potrebe ovog istraživanja korišten je SWAT 2012 model, ArcGIS ESRI ArcGIS 10.3 softver. Mnogi su istraživači primijenili SWAT 2012 model i predstavili svoja istraživanja u radovima, što omogućava usporedbu rezultata (Abbaspour, K.C. et al., 2015), (Piniewski M. et al., 2017), (Čerkasova N. et a., 2018).

#### **4.6. Modeliranje/analiza pritisaka i procjena utjecaja**

Za upravljanje kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva prema WFD-u definiraju se sljedeći zadaci:

1. Postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva
2. Postizanje dobrog stanja voda vodnih tijela
3. Smanjenje rizika od eutrofikacije voda
4. Odgovarajući režim protoka i sedimentata za pojedine tipove vodotoka i s njima povezana morfologija vodotoka
5. Očuvanje NATURA 2000 područja i biološke raznolikosti i usluge ekosustava.

Riječni sustavi pružaju široki spektar usluga ekosustava radi dobrobiti ljudi i napredovanja ljudskog društva, a povezani su sa odgovarajućom razinom funkcionalnosti riječnih procesa i postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva. 20. stoljeće

obilježilo je povećano korištenje vodnih resursa: gradnjom velikih brana, korištenje hidroenergije (HE), regulacija vodotoka, hidromelioracije, crpljenje vode iz podzemlja, ispuštanje velike količina otpadnih voda. Sve navedeno predstavljalo je značajne pritiske korištenja voda, pritiske od onečišćenja voda i hidromorfološke pritiske, a poseban izazov predstavljala je izgradnja višenamjenskih akumulacija u riječnom slivu. Zbog višenamjenske uloge akumulacija, oni koji upravljaju njima se često suočavaju s problemima kakvoće vode, kapaciteta, sigurnosti i troškova održavanja postrojenja (Naughton M. et al. 2017). Istovremeno, brane i akumulacije omogućuju primjenu integralnog upravljanja vodama sa sljedećim ciljevima: unaprjeđenje upravljanja vodoopskrbom, unaprjeđenje kakvoće voda u rijekama i uvjeta okoliša u riječnom slivu. Osim za proizvodnju električne energije, brane i akumulacije su potrebne u prilagodbi varijacija u hidrološkom ciklusu radi osiguranja kontinuiranog protoka. Njihova je namjena osigurati vodoopskrbu stanovništva i navodnjavanje, obranu od poplave, reguliranje vodnog režima i proizvodnju električne energije (Naughton M. et al. 2017). Ruralni riječni slivovi, zajedno s nedostatkom sanitarnih uvjeta u aglomeracijama manjim od 2000 ES i poljoprivrednim aktivnostima, predstavljaju izazov upravljanja kakvoćom voda za svaku državu, a posebno kada se radi o prekograničnom riječnom slivu. Takvi riječni slivovi izvori su organskog onečišćenja i hranjivih tvari, a metodologija rješavanja takvih problema je specifična. Dok se europska vodna politika vodi prvenstveno u smislu postizanja dobrog stanja svih vodnih tijela i ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, metodologija problema upravljanja kakvoćom voda provodi se na nacionalnoj razini. U slučaju prekograničnih slivova s velikom biološkom raznolikošću i brojnim NATURA 2000 područjima, posebno je potrebno primijeniti inovativan pristup upravljanja kakvoćom vode. Sve izraženije klimatske promjene i varijacije količine voda u hidrološkoj godini mogu dodatno izmijeniti prirodu hidrološkog režima u riječnom slivu, pronos nutrijenata i sedimenta, te na taj način utjecati na upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva unutar integralnog upravljanja riječnim slivom. Prema Slici 4-1, ukoliko su prikupljeni dostupni podaci dovoljni za provođenje kvalitetne analize i pripremu kvantifikacije pritiska, prelazi se na sljedeći korak - procjenu utjecaja. U tablici 4-3, prikazana su provedena modeliranja/analize pritiska i procjene utjecaja, u sklopu primjene metodologije upravljanja kakvoćom voda ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom. Ukoliko se ustanovi da procjena utjecaja nije zadovoljavajuća, npr. kvaliteta ili nedostatak ulaznih podataka, potrebno je vratiti se na prvi korak i ponovno provjeriti sve dostupne ulazne podatke, te ponoviti postupak.

Tablica 4-3: Modeliranje/analiza pritisaka i procjena utjecaja

Modeliranje/analiza pritisaka	Procjena utjecaja
Modeliranje pritisaka unosa nutrijenata i sedimenta u vodna tijela rijeke Sutle SWAT modelom za sadašnje stanje bez akumulacije – OSNOVNI SCENARIJ	Procjena utjecaja unosa nutrijenata i sedimenta na postizanje dobrog stanja voda
Modeliranje pritisaka unosa nutrijenata i rizik eutrofikacije na karakterističnim vodnim tijelima SWAT modelom	Procjene utjecaja na rizik eutrofikacije vodnih tijela nizvodno od brane Vonarje
Modeliranje pritiska unosa nutrijenata u Sutlansko jezero u prošlosti Volenweiderovim modelom	Procjena utjecaja na rizik eutrofikacije uspostavom Sutlanskog jezera u jezeru i nizvodno u rijeci Sutli
Analiza promjene toka rijeke Sutle u odnosu na 1. vojnu izmjeru i izgradnju brane Vonarje i pregrade Prišlin analizom longitudinalnog profila i poprečnih presjeka vodotoka Sutla	Procjena utjecaja promjene karakteristika vodotoka u longitudinalnom smislu i na pojedinim poprečnim presjecima vodotoka Sutla
Analiza hidromorfoloških pritisaka uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin	Procjena utjecaja temeljem pritisaka i hidromorfološkog monitoringa vodnih tijela rijeke Sutle
Modeliranje pritisaka unosa sedimenta na vodna tijela sliva rijeke Sutle SWAT modelom	Procjene utjecaja na pronos sedimenta u vodnim tijelima uzvodno od pregrade Prišlin i nizvodno od brane Vonarje
Analiza lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja prirode	Procjena utjecaja zahtjeva NATURA 2000 i drugih zaštićenih područja na postizanje dobrog stanja voda i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i mogućnosti korištenja usluga ekosustava
Analiza pritisaka uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje	Procjena utjecaja E-protoka na očuvanje indikatorske vrste i postizanje dobrog stanja voda, te definiranje E-protoka

Za svaku stavku modeliranja uz pomoć SWAT modela ili analize radi izrade procjene pritisaka, izrađena je procjena utjecaja, a detalji metodologije opisani su u sljedećim podpoglavljima. Ukoliko je procjena utjecaja zadovoljavajuća sa stanovišta korisnika modela i njegovih stručnih spoznaja o problemu, može se prijeći na sljedeći korak. U nastavku se daje opis svih elemenata Tablice 4-3.

#### 4.6.1. Modeliranje pritisaka i procjena utjecaja unosa nutrijenata i sedimenta u vodna tijela rijeke Sutle SWAT modelom za sadašnje stanje bez akumulacije– OSNOVNI SCENARIJ

Za ruralni prekogranični sliv s izgrađenom branom, u prvom koraku, **modelira se pritisak nutrijenata i sedimenta** za točkaste i raspršene izvore onečišćenja. Za sadašnje stanje bez akumulacije, uz funkciju retencije, definira se OSNOVNI SCENARIJ i SWAT modelom modelira postojeći pritisak. Kao rezultat modeliranja, dobivene su prostorne informacije o količini i kakvoći pritisaka nutrijenata i sedimenta koje su uspoređene s rezultatima nadzornog monitoringa površinskih voda u poglavlju 3., te izrađena procjena utjecaja unosa nutrijenata i sedimenta na postizanje dobrog stanja voda. Rezultati su prikazani u poglavlju 5. Radi boljeg razumijevanja korištenja

SWAT modela u modeliranju pritisaka nutrijenata i sedimenta za točkaste i raspršene izvore onečišćenja, u podpoglavlju 4.6.2. daje se prikaz opisa rada SWAT modela.

#### **4.6.2. SWAT model – koncepcija, primjena i verifikacija modela**

SWAT model je *prostorno postavljen i računski učinkovit*, koristi brzi pristup ulaznih podataka i omogućuje korisniku proučavanje dugoročnih učinaka pritisaka i provedenih mjera. To je poludistribuirani model riječnog sliva baziran na procesima koji se temelje na dnevnom vremenskom koraku, razvijen kako bi pomogao upravljanju vodama i izradi procjene utjecaja raspršenih izvora onečišćenja od poljoprivrednih aktivnosti na vode u riječnom slivu (Moriasi D.N. et al., 2012), (ETC members, 2016). SWAT pomaže u boljem razumijevanju korištenja DPSIR pristupa, modeliranje i kvantifikacije pritisaka, te temeljem toga boljem tumačenju procjene utjecaja na vode. Model je prilagođen traženoj razini rješavanja problema i preciznosti traženih rezultata riječnog siva. SWAT model koristi se za izračun:

- TMDL-a,
- simulacije primjene različitih mjera, osnovne mjere koje se odnose na kontrolu točkastih izvora onečišćenja izgradnjom UPOV-a i primjenu najbolje poljoprivredne prakse, uključujući BMP i BAP,
- pritisaka nutrijenata i sedimenta i pritisaka uslijed klimatskih promjena na vode (Glavan M. and Pintar M., 2012).

SWAT model se uvelike koristi u svijetu ima prednosti u usporedbi s drugim modelima korištenim za upravljanje kakvoćom voda (Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., 2015b).

Prilikom postavljanja modela i njegove kalibracije određuju se: ciljevi koje se mogu provjeravati modelom; prihvatljivost pretpostavki korištenih u modelu; opseg i kvaliteta raspoložive baze podataka; složenost tehnike modeliranja koja se koristi; zahtjevi u odnosu na model; razina rizika i vjerodostojnosti i slično. U sklopu postavljanja i evaluacija modela riječni sliv je podijeljen je na podslivove i HRU-ove. Korištenje HRU-a omogućuje modeliranje različite evapotranspiracije (*Evapotranspiration*: ET), erozije, rasta biljaka, površinskog toka, vodne bilance, itd., za svaki podsliv ili HRU, čime se povećava točnost simulacija. HRU-u su najmanje krajobrazne komponente SWAT modela s jedinstvenom kombinacijom korištenja zemljišta, tla, nagiba upravljanja zemljištem, koje nisu prostorno povezane (Tuppad et al., 2010). Erozijska energija otjecanja izračunata je hidrološkim modelom koji daje procjene volumena otjecanja i vršne stope otjecanja za podsliv.

Za modeliranje SWAT modelom korišteni su sljedeći ulazni podaci:

- pr – količina oborine ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ ) – za korištenje u SWAT-u, jedinice su pretvorene u  $\text{mm/dan}$  ( $1 \text{ kg/m}^2\text{s} = 86400 \text{ mm/dan}$ )
- rh – relativna vlažnost zraka (%) – za korištenje u SWAT-u, jedinice su pretvorene u relativne vrijednosti ( $100\% = 1$ )
- rsds – sunčevo zračenje ( $\text{W/m}^2$ ) – za upotrebu u SWAT-u, jedinice su pretvorene u  $\text{J/m}^2\text{s}$  ( $1 \text{ W/m}^2 = 0,0864 \text{ J/m}^2\text{s}$ )
- sfcwind – brzina vjetra ( $\text{m/s}$ ) – podaci u prikladnoj jedinici za korištenje u SWAT-u
- tas<sub>max</sub> – maksimalna dnevna temperatura (K) – za upotrebu u SWAT-u, jedinice su pretvorene u  $^{\circ}\text{C}$  ( $1 \text{ K} = -273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- tas<sub>min</sub> – najniža dnevna temperatura (K) – za upotrebu u SWAT-u, jedinice su pretvorene u  $^{\circ}\text{C}$  ( $1 \text{ K} = -273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Model omogućava *simulaciju scenarija, kalibraciju, validaciju modela, te optimizaciju i vizualizaciju optimalnog rješenja*. Prvi korak u procesu kalibracije i validacije modela SWAT je određivanje *Objektne funkcije* (engl.: *Objective functions*) i najosjetljivijih pokazatelja za riječni sliv, koji npr. pokazuju da li je simulirani ukupni protok unutar prihvatljivog raspona. Za analizu i kalibraciju osjetljivosti koristi se poseban softver nazvan SWAT-CUP, a unutar njega je algoritam za sekvencijalno prilagođavanje nesigurnosti (*Sequential Uncertainty Fitting: SUFI-2*) (Glavan M. & Pintar M., 2012), (Abbaspour K.C. et al., 2007). *Kalibracija se temelji na službenim podacima monitoringa za OSNOVNI SCENARIJ*, a nakon završetka kalibracije osnovnog scenarija, pokazatelji su ostali definirani za daljnje korištenje pri modeliranju svih ostalih scenarija. Prihvatljivost modela vezana je uz kalibraciju, a uz to je vezan utrošak vremena i financije, naime složenija struktura modela traži više ulaznih parametara, a time u pravilu i dulje vrijeme rada i veće troškove. Model koristi faktor erodibilnosti tla. Faktori pokrivanja i upravljanja usjevima ponovno se izračunavaju svaki dan kada dođe do otjecanja i funkcija je nadzemne biomase, ostatka na površini tla i čimbenika minimalne količine ugljika za biljku (Neitsch SL et al, 2005). SWAT prati kretanje i transformaciju nekoliko oblika dušika i fosfora u profilu tla, plitkom vodonosniku, akumulaciji, ribnjaku i močvarnom zemljištu.

**Procjena utjecaja nutrijenata i sedimenta na rizik ne postizanja dobrog stanja voda** provodi se temeljem modeliranja pritisaka nutrijenata i sedimenta, te analize stanja voda za određenu hidrološku godinu i kroz dulje vremensko razdoblje obradom povijesnih podataka. Ukoliko se obradom stanja voda utvrdi da postoji jaz u odnosu na ocjenu stanja voda prema Uredbi o standardu kakvoće vode (Hrvatske

vode, 2019) za sadašnje stanje i prognoza za referentne godine, te procjena postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva prema grupama pokazatelja, poglavlje br. 3, procjenjuje se značajan utjecaj na vode uslijed pritiska nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu. *Načelo predostrožnosti* treba uzeti u obzir kao vodeće pravilo integralnog upravljanja vodama riječnog sliva, kao i upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva. Znatno promijenjena i umjetna vodna tijela stajaćica (akumulacije i retencije uslijed izgradnje pregrada/brana na vodotoku) predstavljaju poseban izazov za upravljanje vodama i postizanje okolišnih ciljeva na vodnim tijelima sukladno WFD-u, a što će se pokazati na primjeru riječnog sliva Sutle. Nakon njihova proglašenja, za njih je potrebno definirati *dobar ekološki potencijal*. Četvrti izvještaj o implementaciji WFD-a izvještava o problemima s provedbom analize pritiska i utjecaja u 15 država članica. U 21 od 27 država članica nije bilo jasne veze između pritiska i PoMs-a, te u 23 od 27 zemalja članica analiza jaza nije bila djelotvorno provedena za razvoj odgovarajućih i troškovno učinkovitih mjera (EC, 2015e). U procjeni EK-a, pokazuje se da su mnoge države planirale svoje PoMs-ove po načelima „što već postoji i/ili je u pripremi“, te „što je izvedivo“, ne razmatrajući dovoljno pritiske i postojeće stanje vodnih tijela za koje je u planovima upravljanja utvrđeno da sprječavaju postizanje dobrog stanja voda (EC, 2015e). Vezano uz analizu jaza daju se preporuke: utvrditi troškovno najučinkovitiju kombinaciju mjera potrebnih za premošćivanje jaza između trenutnog stanja i dobrog stanja voda, postojeće vodopravne dozvole preispitati i uskladiti s ciljevima WFD-a, ojačati osnovne mjere za rješavanje raspršenih izvora onečišćenja iz poljoprivrede i osnovne mjere učiniti obveznim, te bolje razmotriti veze između količine i kakvoće voda pri procjeni pritiska na vodne ekosustave i uspostaviti mjere za zahvaćanje vode i regulaciju protoka. Sve to, uz kontrolu provedbe europske vodne politike predstavlja i kontrolni mehanizam korištenja europskih financijskih sredstva Kohezijskog fonda u realizaciji infrastrukturnih projekata koji su ključna osnovna mjera WFD-a. Stoga je u ovom istraživanju, kao rezultat sveukupne analize pritiska i utjecaja, uz osnovne i dodatne mjere, predložen i modeliran skup dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva.

#### **4.6.3. Modeliranje pritiska i procjena utjecaja unosa nutrijenata i rizik eutrofikacije na karakterističnim vodnim tijelima SWAT modelom**

Opći ciljevi europskih i nacionalnih vodnih politika, poput postizanja dobrog ekološkog stanja prema WFD-u, moraju se raščlaniti na konkretnije i kvantitativne ciljeve za usmjeravanje smanjenja eutrofikacije. Uz direktive EU-a, 7. EAP, ima za cilj osigurati upravljanje „kružnim ciklusom nutrijenata (dušik i fosfor)“ na održiviji i



resursno učinkovit način, što posebno zahtijeva: poduzimanje daljnjih koraka za smanjenje emisija N-a i P-a, uključujući emisije iz komunalnih i industrijskih otpadnih voda i korištenje gnojiva, kroz bolju kontrolu izvora onečišćenja i oporabu otpadnog fosfora (Project REFORM, 2015). Korištenje odgovarajućeg matematičkog modela, SWAT modela, može pomoći u procjeni utjecaja na okoliš i provedbi optimalnih PoMs-ova (Kronvang B. et al., 2009). SWAT model se, također uklapa u okvir integralnog modeliranja kakvoće voda riječnog sliva, te tako omogućuje korištenje proširenja za eutrofikaciju voda, ekonomske analize i usluge ekosustava i dobrobit ljudi (Kronvang B. et al., 2009). Nažalost, modeliranje eutrofikacije Sutlanskog jezera korištenjem SWAT modela nije bilo moguće jer se za kalibraciju modela SWAT koriste mjereni podaci monitoringa voda, no u razdoblju kada se događala eutrofikacija akumulacije nije bilo mjerenja niti vodostaja u akumulaciji, niti kakvoće voda. Procjena utjecaja eutrofikacije modeliranjem pritisaka nutrijenata na vodna tijela površinskih voda SWAT modelom (Ćosić-Flajsig G et al., 2017), u ovom istraživanju temelji se na:

- primjeni problemski-orijentiranog DPSIR pristupa, prema WFD-u, za sve vrste pritisaka (onečišćenje, korištenje vode i hidromorfološki pritisci) radi procijene rizika nepostizanja dobrog ekološkog stanja vodnog tijela uz korištenje prostornih podataka ArcGIS-om (Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., 2015b);
- procjena pritisaka na vode nutrijentima i sedimentom za sadašnje stanje bez akumulacije – OSNOVNI SCENARIJ, korištenjem matematičkog modela SWAT-a;
- procjena pritisaka na vode nutrijentima i sedimentom za prošlo stanje „s“ i „bez“ akumulacije, korištenjem matematičkog modela SWAT-a;
- procjena pritisaka na vode nutrijentima i sedimentom za buduće stanje „s i „bez“ akumulacije za 8 scenarija pod utjecajem klimatskih promjena, korištenjem matematičkog modela SWAT-a

Emisije nutrijenata procjenjuju se po sektoru i pružaju izravnu vezu s odgovarajućim onečišćivačima, a to je korisno za identificiranje glavnih čimbenika koji pridonose masenoj koncentraciji i odabiru položaja najučinkovitiji mjera. Prekoračenje standarda nutrijenata u vodnim tijelima prenosi na postizanje ciljeva smanjenja masenih koncentracija nutrijenata, a unos nutrijenata u uzvodna područja uzrokuje promjenu stanja vode i povećanje masene koncentracije nutrijenata za nizvodno područje (WFD CIS Guidance No. 23., 2009). Minimalni relevantni zahtjevi monitoringa WFD-a za eutrofikaciju su: fitoplankton, vodena flora, makrobekralješnjaci, ribe, fizikalno-kemijski elementi kakvoće (N i P) i hidromorfološki elementi. Nutrijenti

ponekad mogu uzrokovati promjene u taksonomskom sastavu biljaka ili algi, a da ne prouzrokuju povećanje biomase.

Preliminarnu procjenu eutrofičnosti izradio je Rismal M. (Rismal M., 2016) nakon inicijativa za obnovom Sutlanskog jezera. Upotrijebljen je empirijski Vollenweiderov limnološki model koji se ne bavi fizikalno-biološkim procesima ove 6,5 km duge i samo 300 m (u prosjeku) široke akumulacije, kao što je, na npr. slična akumulacija pitke vode Wanbach u Njemačkoj. Model se temelji na kvantifikaciji P-a iz točkastih izvora onečišćenja i procjenu P-a iz raspršenih izvora onečišćenja u priljevnom području Sutlanskog jezera. Procjena P-a je napravljena temeljem procjena doprinosa P-a iz šuma i poljoprivrednih površina, te procjene doprinosa P-a prema broju stanovnika. Na razini idejnog rješenja nije potrebna preciznija procjena eutrofičnosti, pa se iz korištenih podataka vidi da će se nakon izgradnje kanalizacije i UPOV-a akumulacija teško dostići mezotrofno stanje. Stoga se planira izgradnja cjevovoda pročišćenih otpadnih voda s ispustom iza brane Vonarje kako bi se spriječilo ispuštanje pročišćenih otpadnih voda u Sutlansko jezero. Prema provedenim proračunima, planira se izgradnja UPOV-a Rogaška Slatina i Rogatec s III. stupnjem s uklanjanjem N-a i P-a i odvodom pročišćenih otpadnih voda nizvodno od brane Vonarje (WFD CIS Guidance No.25., 2010), (Vollenweider R. A., 1975). Također, radi nakupljenog sedimenta na dnu retencije, koje nije očišćena prilikom pražnjenja akumulacije, te procijenjenog „dodatnog“ pritiska onečišćenja nutrijentima, prije nove uspostave Sutlanskog jezera nužno je čišćenje dna postojeće retencije. Rješenje problema eutrofikacije prirodnih i umjetnih jezera zahtijeva preventivni i kontinuirani rad (Ćosić-Flajsig G. et al., 2017), (WFD CIS Guidance No.9., 2009).

#### **4.6.4. Analiza pritisaka i procjena utjecaja uslijed promjene toka vodotoka**

Većina rijeka i vodotoka u EU-u je modificirana (EC, 2012a) s različitim razinama utjecaja na promjenu režima tečenja vodotoka, kako bi služila potrebama ljudi. U sklopu provedbe predložene metodologije izrade modela integralnog upravljanja kakvoćom voda DPSIR pristupom, temeljem raspoloživih podataka, izrađena je *analiza i utjecaj promjene toka vodotoka* u odnosu na prve kartografske zapise rijeke, te analiza longitudinalnog profila i poprečnih presjeka vodotoka nakon izgradnje brane i pregrade na vodotoku. Naime, ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva mogu se postići samo ukoliko su zajamčeni odgovarajući režimi protoka i nanosa, kao i kvalitetna riječna morfologija koja uključuje longitudinalnu povezanost vodotoka. Ostvarenje *riječnog kontinuiteta vodotoka* je jedan od primarnih zadataka jer se riječni kontinuitet

odnosi na mogućnost slobodnog prolaska vode, sedimenta i vodene faune u uzvodnom i nizvodnom smjeru uz rijeku (uzdužni kontinuitet), bočno s poplavnom ravnicom (bočni kontinuitet) i u poprečnom smjeru (od riječnog međuprostora i podzemnih voda) (Project REFORM, 2015). Riječni kontinuitet važan je za: migraciju riba koja se ostvaruje prilagodljivim upravljanjem preprekama, prilagođavanjem barijera ublažavanjem/kompenzacijom staništa migratornih riba; kao i sprječavanja poplava i suša, a osigurava se kroz politike i strategije unaprjeđenja riječnog kontinuiteta (Belletti B. et al., 2015). Bilo koja barijera, koju je napravio čovjek u rijeci, može poremetiti riječni kontinuitet fragmentacijom riječnog koridora i riječnih staništa. Fragmentacija mijenja razmjenu i prolaz unutar riječnog koridora, kao i riječnu povezanost o kojoj ovise ekološki procesi, a kao rezultat toga može biti modificirana ili smanjena raznolikost staništa i biote (Project REFORM, 2015), (Belletti B. et al., 2015). Stoga, režim protoka vodotoka obuhvaća obilježja utjecaja umjetnih građevina i brana u koritu unutar dosega, utjecaj promjena na širem slivnom području, kao i utjecaj promjena u dnevnom protoku. U sažetku politike projekta „Obnavljanje rijeka za učinkovito upravljanje slivovima“ (engl.: *REstoring rivers FOR effective catchment Management*: REFORM) navodi se da u većini država članica EU-a, nedostatak analiza fizičkih procesa ostaje glavna praznina u metodama hidromorfološke procjene, pa postoji potreba za sveobuhvatnijom procjenom utjecaja promjene toka vodotoka i procjenama hidromorfoloških promjena temeljenim na procesima koje uzimaju u obzir karakter i dinamiku riječnih tokova, kao i utjecaj sadašnjih i prošlih prirodnih i ljudskih promjena unutar sliva (Horne, A.J.H.& Goldman, C. R., 1994). Sve to dovodi do značajnog smanjenja riječnih staništa i promjene prirodne hidromorfologije riječnih ekosustava, kao i smanjenje povezane biološke raznolikosti. Riječni ekosustavi s visokom biološkom raznolikošću utječu na globalne biogeokemijske cikluse i pružaju vrijedne UE-a, no ljudi sve više degradiraju riječne ekosustave mijenjajući njihove tokove. Učinkovita obnova rijeke zahtijeva unaprjeđenje razumijevanja o tome kako režimi protoka utječu na biotu i procese ekosustava, kao i unos i transformacija nutrijenata. Radi izgradnje niskih i visokih brana raste utjecaj na longitudinalni hidromorfološki kontinuitet, na kontinuitet rijeke i kretanje nemigratornih riba i dostupnost staništa. Uz neophodnu analizu obveze postojanja brana radi obrane od poplave, pojavljuje se i inicijativa *uklanjanja brana* (ICOLD, 2017), s ciljem obnove kontinuiteta rijeke. Fokus je na zastarjelim građevinama i građevinama koje uglavnom djeluju kao barijera za vodu, sediment i riječnu biotu. U tom slučaju, uklanjanje brana se smatra održivim rješenjem za obnovu rijeke jer uklanjanje barijere obnavlja

morfologiju lokalne rijeke i rezultira povratkom na prirodno funkcioniranje dinamike sedimenta i riječne biote i izravna je podrška ciljevima WFD-a. Tehničke mjere koje pomažu približavanju prirodnog stanja rijeka uključuje izgradnja riblje staze uz branu.

Rijeke su važna staništa za veliki broj životinja i biljaka, igraju vitalnu ulogu u povezivanju staništa. Njihova vrijednost za biljke i životinje seže daleko izvan površine koju pokrivaju. Uloga povezivanja staništa funkcionira i između uzvodnih i nizvodnih područja i spajanjem obje strane riječnih obala. Klimatske promjene mogu utjecati na biološku raznolikost, smanjenje protoka, povećanje razdoblja suša i poplava, te na zagrijavanje rijeka. Obnova rijeka može pomoći u prilagodbi klimatskim promjenama koje utiču na hidrološke ekstreme i potpori biološkoj raznolikosti putem: obnove močvarnog područja uzvodno i povećanjem prostora za skladištenja vode, sadnje obalnih stabala kako bi se stvorila hladovina i smanjila temperatura vode, te uklanjanjem prepreka povećanjem povezanosti radi očuvanja staništa za ptice selice.

#### **4.6.5. Analiza hidromorfoloških pritisaka i procjena utjecaja uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin**

Metodologija procjene hidromorfoloških pritisaka pripremljena je prema WFD-u i zasniva se na DPSIR pristupu. Procjena općeg hidromorfološkog stanja temeljila se na dostupnim podacima za niz hidromorfoloških elemenata vezanih uz kakvoću voda prema europskoj normi EN15843 (HRN EN 15843:2010.), kao i na propisanoj Metodologiji monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja, (Hrvatske vode, 2016). Hidromorfološke elemente čine: tlocrt vodnoga tijela, presjek korita (uzdužni i poprečni), količina umjetnog materijala, količina prirodnog materijala, struktura obale i promjene na obali, tip/sastav vegetacije na obali i na okolnom zemljištu, korištenje okolnog zemljišta i s time povezana obilježja, stupanj bočne povezanosti rijeke i naplavne nizine, stupanj bočnog kretanja riječnog korita. Podloga ili supstrat od iznimnog je značenja za bentičke makrobekralješnjake koji na tom staništu nalaze hranu (organski detritus), zaklon od grabežljivaca, polažu jaja, pričvršćuju se za podlogu ili pužu po njoj. Ona je sastavljena od anorganskih i organskih elemenata (Borja A. et al. 2004). Narušavanje prirodnog vodnog režima uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin rezultiralo je hidromorfološkim pritiscima na tom dijelu riječnog sliva. *Hidromorfološki pritisci imaju utjecaj* na rizik ne postizanja dobrog stanja voda, kao i na rizik ne postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Pronos riječnog nanosa je vitalna komponenta prirodnog hidromorfološkog režima svakog otvorenog vodotoka. Potrebno je istaknuti da su za procjenu utjecaja hidromorfoloških pritisaka potrebni podaci iz redovitog nadzornog monitoringa koji se se provodi za sljedeće

pokazatelje: biološke elemente kakvoće, hidromorfološke elemente kakvoće, fizikalno-kemijske elemente kakvoće, onečišćujuće tvari s liste prioriteta i druge onečišćujuće tvari, sediment (WFD, 2000), no da bi se kvalitetno interpretirali važan je položaj mjernih postaja i razdoblje njihova rada. Posljedice izmjena u režimu pronosa sedimenta u riječnom toku najčešće nisu odmah vidljive, ali s vremenom postaju sve veće, utječući na razine srednjih i malih voda rijeke. Izmjene u ravnoteži pronosa sedimenta uzrokuju produbljivanje riječnog korita i urušavanje obala, stvaranje uspora uslijed začepjenja protočnog profila i povećanje brzina tečenja u vodotoku pod čijim se djelovanjem javljaju lokalne erozije.

#### **4.6.6. Modeliranje pritisaka i procjena utjecaja unosa sedimenta na vodna tijela sliva rijeke Sutle SWAT modelom**

Prema WFD-u, postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i dobrog stanja voda uvjetovano je zajamčenim odgovarajućim režimom protoka i sedimenta za određeni tip vodotoka i pripadajuću morfologiju vodotoka. U zakonodavstvu EU-a, upravljanje sedimentom značajno je za upravljanje kakvoćom voda unutar integralnog upravljanja vodama, a temelji se na WFD-u i relevantnim direktivama za upravljanje kakvoćom voda navedenim u poglavlju br. 2, kao i Smjernicama o kemijskom praćenju sedimenta i biote unutar WFD EU-a, br. 25, 2010. (WFD CIS Guidenence No. 25, 2010). Sediment je povezan sa standardima kvalitete okoliša i/ili specifičnim onečišćujućim tvarima u riječnom slivu i stoga se odredbe WFD-a odnose na upravljanje kakvoćom i količinom sedimenta. Upravljanje sedimentom, unutar integralnog upravljanja vodama, nedovoljno je zastupljeno u RH. Slika 4-2 prikazuje digitalni visinski model, sliv rijeke Sutle i 11 podslivova, hidrografsku mrežu, lokaciju brane Vonarje i naselja.



Slika 4-2: Prekogranični ruralni sliv rijeke Sutle s lokacijom brane Vonađe s digitalnim modelom nadmorske visine, hidrografskom mrežom i 11 podslivova

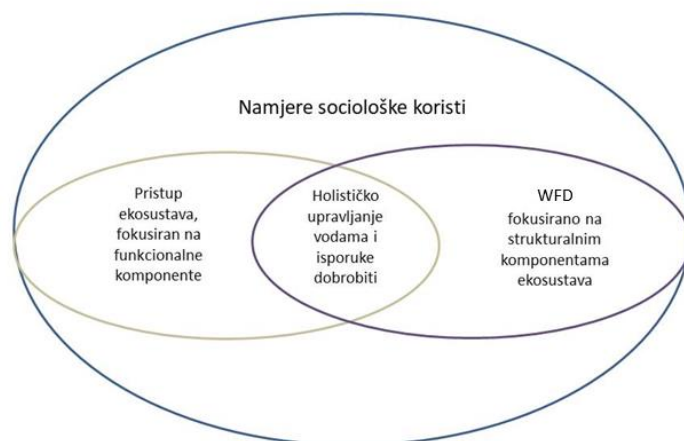
Stoga, u ovom istraživanju prikazana je metodologija upravljanja sedimentom, u skladu s WFD-om, na primjeru prekograničnog ruralnog sliva rijeke Sutle. Metodologija se temelji na procjeni stanja površinskih voda vodnih tijela, koji uključuju hidromorfološke pokazatelje, prema podacima nadzornog monitoringa, te procjeni pritiska točkastih i raspršenih izvora onečišćenja u riječnom slivu pomoću matematičkog modela SWAT (Ćosić-Flajsig G. et al., 2022). Prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/2013), 2016. godine na postajama kakvoće voda u Hrvatskoj započeo je hidromorfološki monitoring i procjena nanosa.

Slika 3-26, poglavlje br.3, prikazuje prekogranični sliv rijeke Sutle, lokaciju brane Vonađe, stanje voda površinskih vodnih tijela, te lokacije nadzornih i operativnih mjernih postaja nadzornog monitoringa. Za praćenje kakvoće voda i sedimenta na rijeci Sutli ustanovljena je mjerna postaja nadzornog monitoringa Prišlin koja se nalazi

neposredno prije pregrade za zadržavanje nanosa. Značajni pritisci prekograničnog ruralnog sliva rijeke Sutle mogu uzrokovati promjene u hidrološkom režimu i biološkim pokazateljima kakvoće vode.

#### 4.6.7. Analiza pritisaka i utjecaja lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja zaštite prirode, te usluga ekosustava

Lokaliteti NATURA 2000 postavljaju posebne zahtjeve na upravljanje kakvoćom voda. Iako se samo proglašenje područja smatra mjerom i opisuje se kroz postojeće stanje, očuvanje lokaliteta NATURA 2000 uz dobro stanje voda zahtijeva i dobro stanje funkcija ekosustava, kao i mogućnost pružanja UE-a. Navedeno, kroz prikaz biološke strukture vodnog tijela prema UE prikazano je i opisano u poglavlju br.2, Slika 2-6. Postizanje dobrog stanja voda, je nužan preduvjet za opstanak zaštićenih vrsta, no to za zaštićene vrste nije dovoljno. Potrebno im je osigurati *specifične uvjete za život u vodnom tijelu provedbom odgovarajućih mjera kojima se smanjuju pritisci i utjecaji na vodno tijelo*. Od planirane revizije WFD-a, koja se trebala provesti 2019. godine i koja je odgođena, očekuje se, između ostalog, *fokusiranje na funkcionalnost vodnih ekosustava i njihov položaj u riječnom slivu*. Time će se značajno povećati uloga UE-a u planovima upravljanja vodama riječnog sliva. Opis i vrste UE-a koje priroda pruža besplatno, a čovjek ih koristi, objašnjeni su u poglavlju br.2, str., podpoglavlju 2.2.11. Prikaz komplementarnog odnosa između WFD-a i UE-a može se vidjeti na Slici 4-3.

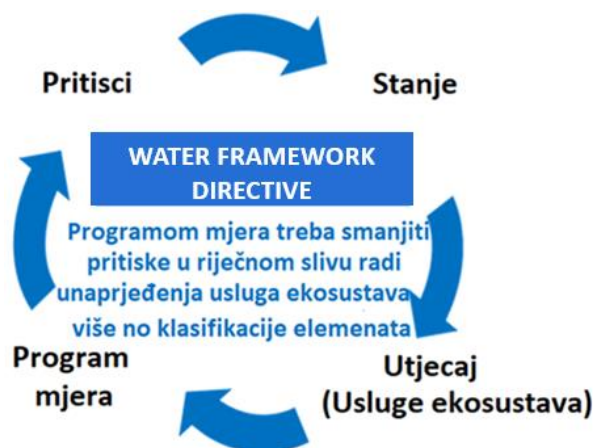


Slika 4-3: Prikaz komplementarnog odnosa između WFD-a i UE-a (prilagođeno prema Vlachopoulou i sur., 2014)

*Poboljšanje stanja ekosustava omogućuje uključivanje UE-a u PoMs. Zbog povećanja antropogenih pritisaka i utjecaja, smanjuje se sposobnost pružanja UE-a potrebnih za prihvatljivu razinu ljudskog blagostanja. U sklopu plana upravljanja*



vodama riječnog sliva temeljem WFD-a, modeliraju se antropogeni pritisci i provode PoMs kako bi se poboljšalo stanje ekosustava, što je EK naglasila već 2000 godine, a korištenje UE-a je važan korak u holističkom pristupu upravljanja kakvoćom voda (Ćosić-Flajsig G., et al., 2019). Identificirana su tri područja važna za ostvarenje ciljeva WFD-a: bolje razumijevanje uzroka pogoršanja u uvjetima višestrukog stresa/pritisaka, te veća integracija politika u planiranju i provedbi mjera. WFD zahtijeva dubinsko razumijevanje riječnog sliva i njegova upravljanja koji usklađuju međuzavisnosti čovjeka i prirode s ciljem poboljšanja sustava upravljanja u cjelini. Procjena UE-a temelji se na *analizi pritiska i utjecaja u riječnom slivu i njihova rangiranja* prema tip specifičnoj klasifikaciji vodotoka, te *primjeni specifičnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva*, a ne samo općih, i monitoringa. Ukoliko je postignuto dobro stanje voda i postižu se okolišni ciljevi riječnog sliva, to omogućava korištenje UE-a i time optimiziranje PoMs-a. Primjena UE-a u PoMs-u, unutar upravljanja kakvoćom voda, prikazana je na Slici 4-4.



Slika 4-4: Primjena UE-a u PoMs-u unutar upravljanja kakvoćom voda (Giakoumis T. & Voulvoulis N., 2019)

Povezivanja ciljeva WFD-a s UE-om uključuje pregled pojedinačnih okolišnih ciljeva riječnog sliva, kvalitativnu procjenu jačine njihove veze s pojedinim UE-a i njegovo ocjenjivanje, što uključuje prikaz komplementarnog odnosa između WFD-a i EU-a. Primjer važnosti zaštite zaštićene vrste i osiguranja uvjeta za život zaštićene vrste u vodnom tijelu prezentiran je prilikom određivanja E-protoka u podpoglavlju 4.6.7. i poglavlju 5, jer je očuvanje prirodnog staništa dio projektiranja. Holističkim pristupom upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva postižu se ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva i ključni elementi društvenog blagostanja vezanog uz UE. Na primjeru sliva rijeke Sutle, preduvjet osiguranja UE-a je postizanje dobrog stanja voda, smanjenja rizika od eutrofikacije i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, kao i



provedba osnovnih mjera, dodatnih mjera vezanih uz očuvanje NATURA 2000 područja, te dopunskih PoMs-ova uključujući E-protok. U poglavlju br.5. detaljnije su obrazloženi preduvjeti ostvarenja UE-a sliva rijeke Sutle.

Život ljudi bez UE-a ne bi bio moguć, a UE-a se izražavaju novčanim vrijednostima, što ukazuje na dimenzije čovjekove ovisnosti o prirodi. Novčane vrijednosti se mogu izraziti kao cijena štete, a ne kao cijena za nadomjestak prirodne usluge ekosustava. Dodatna korist primjene UE-a je uključivanje dobrobiti čovjeka i unaprjeđenje kvalitete života čime se dodatno ostvaruje sociološka komponenta održivog razvoja, uz ekonomsku i okolišnu. Daljnja istraživanja mogu pružiti praktični dokaz mogućnosti usklađivanja pristupa EU-a u provedbi WFD-a, te odabir i testiranje funkcionalnih pokazatelja kao dopune strukturnim pokazateljima koji se već koriste u okviru WFD-a.

#### **4.6.8. Analiza pritisaka i procjena utjecaja uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje – E- protok**

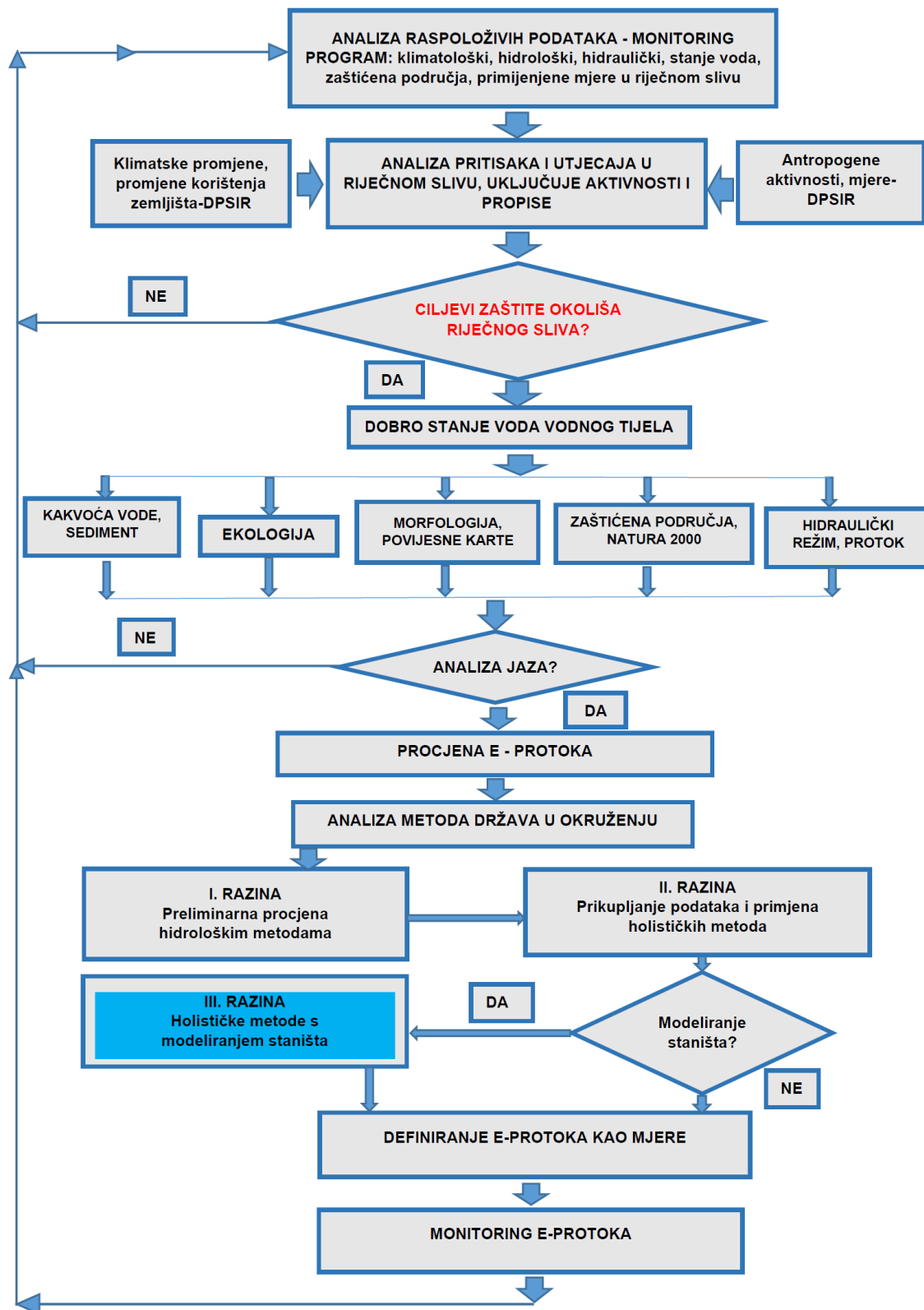
*Analizom pritisaka korištenja voda, uslijed promjene protoka rijeke radi izgradnje brane, ustanovljeno je da se radi o jednoj od najozbiljnijih prijetnji slatkovodnim ekosustavima. Naime, prirodni sezonski porast i sezonski pad vodostaja oblikuju vodna i obalna staništa, te osiguravaju uvjete za migraciju i mrijest i omogućuju pravilno funkcioniranje rijeka (Poff, N. L. et al., 2010) (WFD CIS Guidance No.25., 2010). U WFD-u nije eksplicitno napisan zahtjev za definiranje E-protoka, a provedba WFD je više usmjerena na kakvoću vode (WFD, 2000), kao što je detaljno opisano u poglavlju br. 2. U okviru zajedničke strategije provedbe WFD-a izrađen je dokument koji je definirao ekološki protok i zajedničko razumijevanje načina na koji bi se ekološki protoci trebali računati i primjenjivati u sljedećem ciklusu planova upravljanja riječnim slivovima (engl.: *River Basin Managements Plans: RBMPs*) (WFD CIS Guidance No. 31., 2015). Metode Konvencije Ujedinjenih naroda o vodotocima i TEEB-a, poglavlje br.2., su kategorizirane na različite načine (Tablica 2-2). U smjernicama WMO-a (WMO, 2019) predstavljen je novi pristup definiranja E-protoka kojim se proširuju ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva uključivanjem geomorfoloških promjena rijeka. Uspostava i održavanje E-protoka bitan je element u očuvanju riječnih ekosustava i UE-a, te ga je potrebno uključiti kao ograničenje u procjeni vodnih resursa i njihovog korištenja u sklopu nacionalnih zakonodavnih okvira (Borja A. et al., 2004). Stoga, smjernice WMO-a predstavljaju metodologiju temeljenu na znanju i literaturi o procesima riječnog sustava koja uzima u obzir hidrološke i morfološke aspekte u definiranju E-protoka u svrhu ostvarenja integralnog upravljanja vodama riječnog sliva i pružanja usluga*

ekosustava i ostvarenja dobrobiti ljudi. E-protok se ne odnosi samo na minimalnu količinu vode koja bi se trebala održavati u rijeci, već i na karakterističnu sezonsku i međugodišnju varijabilnost režima prirodnog protoka. Sudjelovanje javnosti prilikom definiranja E-protoka treba se razvijati u svim fazama procesa planiranja upravljanja vodama prema WFD-u. E-protoci nastoje maksimizirati socioekonomske mogućnosti koje pružaju zdravi i održivi ekosustavi, a odgovarajuće upravljanje UE-ima podržava otpornost ekosustava i otpornost onih koji ovise o tim uslugama da se nose sa stresovima kao što su suša, ekstremni vremenski događaji i klimatske promjene. Uzimajući u obzir specifične klimatske, hidrografske i hidrološke uvjete, te definiciju E-protoka, svaka zemlja EU-a razvila je postupke za njihovo istraživanje i određivanje. Od država članica EU-a očekuje se da bi definiranje E-protoka olakšalo korištenja vode za ljudske i vodne ekosustave i postizanja dobrog stanja voda osiguravanjem hidrološkog režima, i to korištenjem Smjernice WMO-a i holističkim pristupom definiranja E-protoka. Ovisno o odabranim kriterijima, različiti su autori razvili niz metoda određivanja E-protoka (Theodoropoulos C. & Skoulikidis, N., 2014). Određivanje E-protoka složen je i zahtjevan zadatak koji doprinosi učinkovitom upravljanju vodama riječnog sliva kako bi se maksimizirale društvene i ekonomske koristi bez ugrožavanja okoliša. To zahtijeva integralni, sveobuhvatan i holistički pristup upravljanju vodama i definiranja E-protoka, kako bi se osiguralo da riječni sustav ostane okolišno, ekonomski i društveno zdrav (Gupta A.D., 2008). Najčešći kriteriji uključuju korištenje/zahvaćanje vode, ciljeve upravljanja riječnim slivom, uključenost stručnjaka, raspoloživo vrijeme, potrebna financijska sredstva i zakonodavstvo; dakle, ne postoji jednostavna ili jedinstvena metoda za određivanje E-protoka (WFD CIS Guidance No. 31., 2015). Uz hidrološku procjenu varijabilnosti prirodnog toka, potrebno je povezati definiciju E-protoka s hidromorfološkim procesima i ciljevima zaštite okoliša riječnog sliva (Wohl E. et al., 2015). Kao što je opisano u poglavlju br. 2, većina E-protoka definira protoke rijeka ispod brane koja mijenja režim toka vode nizvodno i zadržava sediment, a posebno je važno uključiti klimatske promjene. Nedavno su, u radovima autora Acreman & Arthington (Acreman, M. C., & Arthington A. H., 2016), identificirana četiri osnovna izazova definiranja E-protoka: (1) politička odluka da se prepozna potreba za održavanjem dovoljne količine vode u rijekama i močvarnim sustavima; (2) definiranje zahtjeva protoka ekosustava; (3) praktična pitanja i troškovi provedbe za postizanje potrebnog režima protoka okoliša; i (4) projektiranje i održavanje robusnih sustava praćenja za procjenu ekoloških i drugih ishoda E-protoka u okviru prilagodljivog upravljanja. Temeljem navedenog potrebno je

eksplicitno povezivanje riječnih protoka s UE-a i ljudskom dobrobiti, tako da se zahtjevi za protokom svake biofizičke komponente močvarnog ekosustava (npr. ribe, beskralješnjaci, biljke) analiziraju pojedinačno, a zatim se kombiniraju kako bi se definirao režim E-protoka (Acreman M.C. et al., 2014). Nemaju sve države članice EU-a nacionalno zakonodavstvo i službenu metodologiju za određivanje E-protoka, kao ni Republika Hrvatska. Stoga, u ovom istraživanju razvijen je i predložen inovativni holistički model definiranja E-protoka za profil nizvodno od brane Vonarje na rijeci Sutli koji povezuje hidrološke, morfološke i ekološke karakteristike temeljene na istraživanju rijeke Sutle i njezinih bioloških zajednica. Definiranje E-protoka jedna je od najučinkovitijih dopunskih mjera WFD-a za očuvanje vodnog režima i poboljšanje uvjeta vodnih staništa, omogućujući državama članicama postizanje ciljeva zaštite okoliša svakog riječnog sliva (WFD CIS Guidance No.25. , 2010).

Holistički pristup procjene E-protoka sastoji se od sljedećih postupaka: (1) morfološka karakterizacija riječnog sustava, (2) analiza hidrološkog režima i režima sedimenta, (3) ekološki odgovor na izmijenjeni režim toka i odabir ciljnih zajednica, te (4) usporedba i odabir mogućih scenarija E-protoka. Proceduralni koraci su zamišljeni za korištenje u upravljanju vodnim resursima i mogu se primijeniti na bilo koju tipologiju rijeka. Metodološki pristup integrira alate različitih disciplina, kao što su hidrologija, geomorfologija rijeka i biologija, te analizira postojeće holističke metodologije procjene E-protoka u Europi i diljem svijeta. Međutim, na temelju dostupnih podataka iz postojećeg nadzornoga monitoringa i ciljanih istraživanja, utvrđeno je da se navedeni pristupi u slučaju pilot-sliva rijeke Sutle ne mogu primijeniti. Stoga, analizirane su metodologije koje se koriste u zemljama u okruženju, a to su hidrološko-hidrauličke metode i slovenska metoda koja ima hidrološko-hidrauličke i biološke elemente.

Temeljem provedenog istraživanja, analiza i dostupnih podataka i informacija, predlaže se primjena holističke metodologije procjene E-protoka čiji je svaki korak opisan Slikom 4-5.



Slika 4-5: Dijagram toka holističkog pristupa modelu procjene E-protoka (Ćosić-Flajsig G. et al., 2020)

Određivanje E-protoka, prikazano je na Slici 4-5 i detaljno objašnjeno u radu Ćosić-Flajsig et al., 2020. sa sljedećim elementima:

1. *Analiza dostupnih podataka – program monitoringa* (klima, hidrologija, hidraulika, stanje voda, zaštićena područja i provedene mjere)
2. *Analiza pritiska i utjecaja na riječne slivove*, uključujući radnje i propise unutar okvira Pokretačke sile - Pritisci - Utjecaji - Stanje – Odgovori/mjere (DPSIR)
3. *Postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva* predstavlja ključni element u pružanju UE-a i poboljšanju ljudskog blagostanja. Dodatno se analiziraju ciljevi zaštite voda riječnog sliva NATURA 2000 područja.  
*Ako DA - ciljevi su postignuti*, prijelazi se na prvi korak analize podataka  
*Ako NE - ciljevi nisu postignuti*, provjerava se jesu li vodna tijela dobrog stanja voda.
4. *Dobro stanje voda vodnih tijela.:* Za sva tijela riječnog sliva analiziraju se sljedeći elementi: analiza kakvoće vode i sedimenta, analiza ekoloških podataka, analiza hidromorfoloških karakteristika karakterističnih dijelova vodotoka, analiza povijesnih karata toka rijeke i izgradnje brana za formiranje akumulacija, analiza NATURA 2000 područja i definiranje indikatorske vrste ribe, analiza uzdužnog riječnog toka i karakterističnih presjeka, hidrološka analiza povijesnih podataka o protocima i vodostajima s karakterističnim profilima i definiranim biološkim minimumom nizvodno od brane.
5. *Analiza postojećeg jaza* se sastoji od identificiranja vodnih tijela koja su u opasnosti od nepostizanja dobrog stanja voda u odnosu na planirano dobro stanje voda.  
*Ako DA - potrebno je znati E-protok*,  
*Ako NE - potrebno se vratiti na prvi korak*, analiza dostupnih podataka
6. *Procjena E-protoka* - analiza pristupa definiranju E-protoka.
7. *Metodološka analiza u zemljama u okruženju* i usporedba vrijednosti.
8. *I. RAZINA* - Preliminarna procjena hidrološkim metodama.
9. *II. RAZINA* - Prikupljanje terenskih podataka i primjena holističkih metoda.
10. *Postoji li mogućnost modeliranja staništa?*  
*Ako DA* - prijelazi se na III. RAZINU - holističke metode s modeliranjem staništa.  
*Ako NE* - primjenjuje se holistički pristup za definiranje E-protoka za dva karakteristična profila/lokacije za različita hidrološka razdoblja (sušna i kišna razdoblja).
11. *Definiranje E-protoka kao mjere.*
12. *Praćenje E-protoka i povratak na prvu točku, Analiza dostupnih podataka.*

Definiranje E-protoka je interdisciplinarni proces. Za svako vodno tijelo, zaštitu prirode ili druge mjere zaštite preporuča se korištenje hijerarhijskog okvira identificiranja holističke metodologije procjene E-protoka koja će najbrže dovesti do

provedbe i prilagodljivog upravljanja odredbama protoka. Ova okvirna metoda s tri razine, prikazana u Tablici 2-2, poglavlje br. 2, osmišljena je na način da inženjeri koji računaju E-protok mogu identificirati "najbolju" metodu - ili vjerojatnije, metode - na temelju raspoloživih resursa i dostupnih podataka, najvažnijih pitanja i nesigurnosti. Hidrološki režim, koji je neophodan za vodne ekosustave postizanje okolišnih ciljeva, trebao bi odrediti procjenu E-protoka. Zajedno, režim protoka, režim nanosa i morfologija rijeke su važne determinante koje osiguravaju UE (Borja A. et al., 2004).

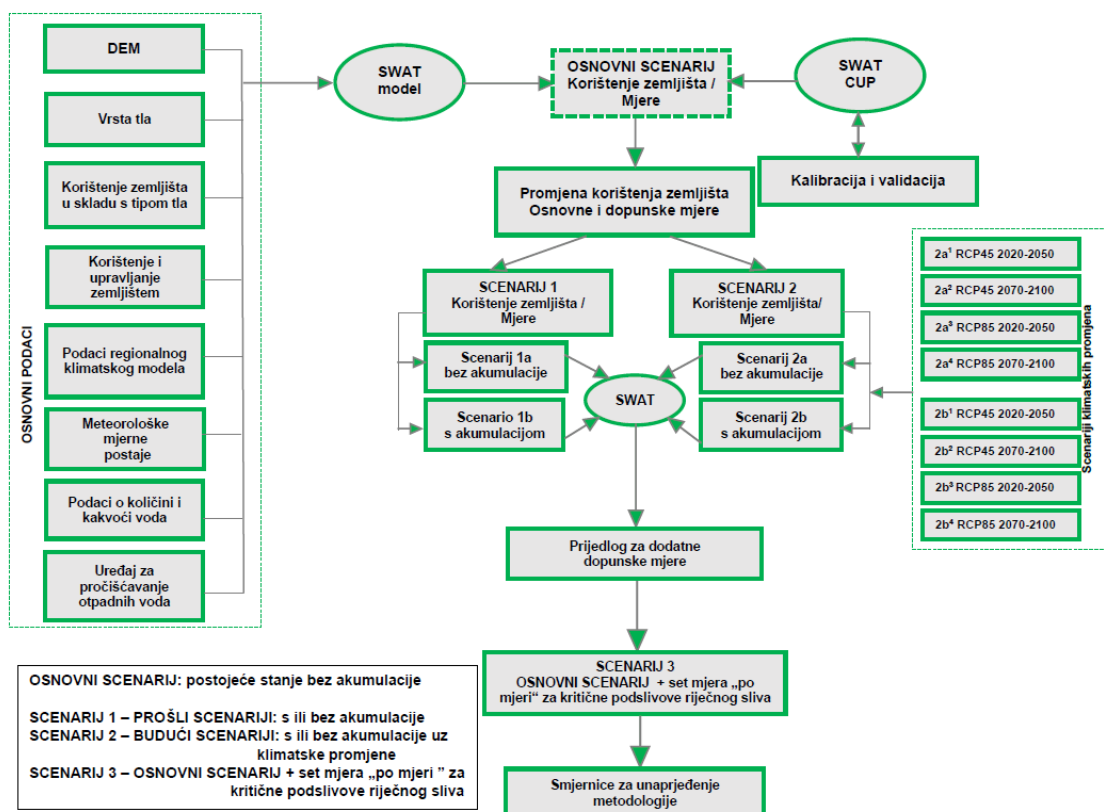
Očuvanje hidrološkog režima je u skladu s postizanjem ciljeva zaštite okoliša WFD-a u prirodnim površinskim vodama, odnosno, potreban je kompromis između korištenja voda i integriteta riječnog ekosustava. Temeljem provedbe WFD-a, količina vode i režim protoka imaju *utjecaj* i smatraju se pratećim hidromorfološkim elementima za biološke elemente kakvoće koji su neophodni za postizanje dobrog ekološkog stanja. Promjena prirodnog protoka branom, preusmjeravanjem ili kanaliziranjem vode ima ozbiljne utjecaje na biološku raznolikost i usluge ekosustava (Sharad K. Jain, 2012).

Ključno pitanje na koje treba odgovoriti je kolika je promjena u protoku prevelika, značajno manja ili veća od prosječnog prirodnog protoka i kada "promjena" postane "degradacija" ili "neprihvatljiv negativan utjecaj". UE-ovi su povezani s odgovarajućom razinom funkcionalnosti procesa riječnih vodnih resursa, što se može objasniti ciljevima zaštite okoliša riječnog sliva (WFD CIS Guidance No.25. , 2010). WFD navodi da se ciljevi zaštite okoliša u vodotocima mogu postići samo ako su zajamčeni odgovarajući režimi protoka i sedimenta, te povezana kakvoća morfologije vodotoka. Uspostavljanje i održavanje takvih režima protoka, odnosno E-protoka, bitan su element u očuvanju riječnih ekosustava i UE-a te, ih treba uključiti kao dodatnu mjeru integralnog upravljanja vodama prema WFD-u i definirati u nacionalnom zakonodavstvu (Borja A. et al., 2004). Različiti pristupi i alati su sada dostupni za procjenu E-protoka, a njihova implementacija je uključena u integralno upravljanje vodnim resursima za vrednovanje UE-ova (Ćosić-Flajsig G., et al. 2019). Konceptija E-protoka ključni je element u mnogim međunarodnim politikama, kao što su Konvencija o biološkoj raznolikosti koju su potpisale 194 stranke, Ramsarska konvencija o močvarama koju je potpisalo 168 strana i Europska okvirna direktiva o vodama (Acreman M.C. et al., 2014). Bitno je procijeniti kvalitetu, količinu, učestalost, trajanje, vrijeme i brzinu promjene riječnog toka kako bi se održale funkcije, procesi i usluge slatkovodnog ekosustava o kojima ovise život i ekonomske prilike (Poff, N. L.

et al., 2010). U poglavlju 5 opisano je definiranje E-protoka za vodno tijelo nizvodno od brane Vonarje u slivu rijeke Sutle.

#### **4.7. Definiranje scenarija**

U ovom koraku, definiraju se scenariji, a generiranje se može provoditi sa ili bez korištenja matematičkih modela. Izboru varijantnih rješenja potrebno je prići vrlo široko, uz klasifikaciju, bez prethodnog preferiranja neke od varijanti, kako bi konačni zaključak bio što realniji. U ovom istraživanju, za potrebe upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, uz modeliranje SWAT-om sadašnjeg stanja - OSNOVNI SCENARIJ, modelirani su SCENARIJ 1 - PROŠLI SCENARIJI: jedan scenarij „s“ akumulacijom i jedan scenarij „bez“ akumulacije, te SCENARIJ 2 - BUDUĆI SCENARIJI: četiri scenarija „s“ akumulacijom i četiri scenarija „bez“ akumulacije. Izrađen je i SCENARIJ 3 – OSNOVNI SCENARIJ + dopunske mjere „po mjeri“ kritičnih podslivova. Temeljem svih scenarija i izrađenih analiza moguće je izraditi nacrt smjernica za unaprjeđenje metodologije upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva. Cilj izrade i evaluacije različitih scenarija je unaprjeđenje upravljanja kakvoćom vode s različitim pritiscima, uključujući i klimatske promjene, i provedenim dopunskim mjerama „po mjeri“ riječnog sliva uz UE i dobrobit ljudi. Priprema modela SWAT zahtijeva osnovne podatke: podatke digitalnog modela nagiba terena (engl.: *digital elevation model*, DEM), podatke o vrsti tla, podatke o uporabi zemljišta prema vrsti tla, podatke o uporabi zemljišta i podatke o upravljanju zemljištem, meteorološke podatke sa nadzornih mjernih postaja, hidrološke podatke hidroloških mjernih postaja, podatke sa nadzornih mjernih postaja kakvoće i količine vode, podatke o klimatološkim nadzornim mjernim postajama za podatke o regionalnom modelu klime, te podatke o UPOV-ima koji su prikazani u Poglavlju br.3. Shema različitih scenarija integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela, izrađena je prema prilagođenoj ideji iz rada Taffarello D. i drugi (Taffarello D. et al. 2018) i razvijena s varijantnim scenarijima, koji su izrađeni temeljem OSNOVNOG MODELA – scenarij stanja u sadašnjosti „bez“ akumulacije koji uključuje korištenje zemljišta i postojeće mjere. Mjere se odnose na smanjenje izvora nutrijenata i sedimenta od točkastih i raspršenih izvora onečišćenja. Shema modela upravljanja kakvoćom vode SWAT-om, prikazana na slici 4-6.



Slika 4-6: Shema različitih scenarija integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela

Također, za pripremu osnovnog scenarija – postojećeg stanja SWAT modelom, uz postojeće korištenje zemljišta, hidrološke uvjete na temelju niza podataka od 30 godina i sadašnjih mjera, uključujući poljoprivredu i pročišćavanje otpadnih voda, korišteni su kvantitativni i kvalitativni javno dostupni podaci. Kalibracija i validacija OSNOVNOG MODELA izvedena je pomoću SWAT - CUP alata.

Nakon izrade OSNOVNOG MODELA izrađeni su različiti scenariji, i to Scenarij 1, Scenarij 2 i Scenarij 3. Scenariji 2 su integrirali europski okvir djelovanja kroz (engl.: *White Paper Adapting to climate change: Towards a European framework for action*) (COM/2009/147) kao i okvir smanjenja ranjivosti utjecaja klimatskih promjena. Oni su osmišljeni temeljem Strategije prilagodbe klimatskim promjenama za Hrvatsku (do 2070.) (NN 46/2020) i Strategija prilagodbe klimatskim promjenama Slovenije (do 2050.) (ARSO, 2019), te rezultata regionalnih i nacionalnih modela ARSO-a. Izrađeni su sljedeći scenariji integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela:

- **Scenarij 1** – stanje u prošlosti, koji uključuju korištenje zemljišta i provedene mjere u prošlosti uz podscenarije: **Scenarij 1<sup>a</sup>** bez akumulacije i **Scenarij 1<sup>b</sup>** s akumulacijom,



- **Scenarij 2** - stanje u budućnosti, koje uključuje korištenje zemljišta, planirane mjere u budućnosti uz scenarije:
  - a) **bez akumulacije: Scenarij 2<sup>a1</sup>** za RCP45 2020.-2050., **Scenarij 2<sup>a2</sup>** za RCP45 2070.-2100., **Scenarij 2<sup>a3</sup>** za RCP85 za 2020.-2050. i **Scenarij 2<sup>a4</sup>** za RCP85 2070.-2100.
  - b) **s akumulacijom: Scenarij 2<sup>b1</sup>** za RCP45 2020.-2050., **Scenarij 2<sup>b2</sup>** za RCP45 2070.-2100., **Scenarij 2<sup>b3</sup>** za RCP85 za 2020.-2050. i **Scenarij 2<sup>b4</sup>** za RCP85 2070.-2100.
- **Scenarij 3** - OSNOVNI SCENARIJ + set mjera „po mjeri“ riječnog sliva **kritične podslivove**.

**Scenarij 1** – stanje u prošlosti, uz podscenarije Scenarij 1<sup>a</sup> i Scenarij 1<sup>b</sup>, uključio je osnovne mjere za točkaste izvore onečišćenja. To je UPOV Kumrovec, jedini izgrađen UPOV u riječnom slivu. Obzirom na konvencionalni način obrade poljoprivrednog zemljišta, mjere smanjenja raspršenih izvora onečišćenja iz poljoprivrede nisu se primjenjivale, kao što su BAP, primjena mjera vezanih uz ND i ostale okolišne standarde (npr.: oranje u jesen i ogoljeno zemljište tijekom zime, poljoprivredne površine bez pokrova ljeti nakon žetve). Korišten je identični klimatološki niz kao i za osnovni scenarij kako bi rezultati bili usporedivi.

**Scenarij 2** - stanje u budućnosti, za buduće scenarije, osim osnovnih i dodatnih mjera za navedeno razdoblje radi modeliranja pritiska nutrijentima i sedimentom SWAT modelom, te su korišteni modeli klimatskih promjena radi modeliranja pritiska i procjene utjecaja klimatskih promjena.

**Scenarij 3** – uključuje OSNOVNI SCENARIJ + set mjera „po mjeri“ riječnog sliva kritične podslivove, a detaljnije je opisan u podpoglavlju 4.9. Izrađen je temeljem OSNOVNOG SCENARIJA za kritične podslivove s „hot spots“ lokacijama pritiska nutrijenata, uz primjenu mjera „po mjeri“ riječnog sliva.

#### 4.7.1. DEFINIRANJE SCENARIJA 2 – STANJE U BUDUĆNOSTI

Za prikaz komponenti klimatskog sustava i njihovih međudjelovanja koriste se **globalni klimatski modeli**, odnosno govori se o simulacijama klime klimatskim modelima. Globalni klimatski model (engl.: Global Climatic Model: GCM) sastoji se od modela atmosfere, oceana, tla i leda, te uključuje cikluse ugljika i sumpora. Model se temelji na zakonima fizike prikazanim matematičkim jednadžbama koje opisuju procese u pojedinim komponentama klimatskog sustava uzimajući u obzir i njihova međudjelovanja, te je to združeni sustav (NN 46/2020) (ARSO, 2019). GCM može

pružiti pouzdane informacije predviđanja na oko 1000 x 1000 km pokrivajući ono što bi moglo biti uvelike različit krajolik sa vrlo različitim potencijalom za poplave, suše ili druge ekstremne događaje, te mogu pružiti projekcije o promjeni klime na Zemlji u budućnosti. Ukoliko se rezultati simulacija buduće klime iz GCM-a koriste za procjenu rizika od klimatskih promjena na nekom manjem području kao što je država ili sliv rijeke, tada je ono najčešće pokriveno samo s nekoliko ćelija globalnog modela. U tom slučaju rezultati globalnog modela ne mogu dovoljno dobro opisati prostorne varijacije unutar analiziranog područja. Međunarodne zajednica je motivirana za ublažavanje klimatskih promjena, no prilagodbe klimatskim promjenama odvijaju se na regionalnim i nacionalnim razinama. Jedan od načina povećanja rezolucija rezultata GCM-a je **metoda dinamičke prilagodbe** (engl.: *Dynamical Downscaling*) regionalnim klimatskim modelom (Regional Climatic Model: **RCM**), koji se koristi nad nekim manjim područjem, ali s višom prostornom rezolucijom, uglavnom od 10 - 50 km (NN 46/2020) (ARSO, 2019). Obilježja reljefa u regionalnom modelu bolje odgovaraju stvarnom reljefu. Kao i u globalnim modelima, procesi u pojedinim komponentama klimatskog sustava i njihova međudjelovanja u regionalnim klimatskim modelima prikazani su matematičkim jednadžbama. Kako bi regionalni model mogao započeti sa simulacijama, potrebne su vrijednosti varijabli klimatskog sustava u svim točkama mreže regionalnog modela na početku simulacije. Osim početnih uvjeta, tijekom cijele integracije, regionalni model zahtijeva vrijednosti varijabli na rubovima domene. Rubove domene čine donja i gornja granica atmosfere, te lateralne granice koje su određene područjem nad kojim se regionalni model koristi (NN 46/2020) (ARSO, 2019). Za WCRP-*World Climate Research Programme* metoda dinamičke prilagodbe regionalnom klimatskom modelom je važna tema istraživanja, kao i prilika uključivanja šire zajednice klimatskih znanstvenika u svoje aktivnosti (NN 46/2020) (ARSO, 2019). Za izradu Scenarija 2 – stanja u budućnosti, kao i svih podscenarija, radi modeliranja pritisaka uslijed klimatskih promjena korišteni su **RCP 4.5 I RCP 8.5**, pri tome RCP (engl.: *Representative Concentration Pathways*) su reprezentativne "staze" (trajektorije) koncentracija. Za sliv rijeke Sutle razvijeno je osam *budućih* scenarija, i to: s akumulacijom: **2a1 RCP 4.5 2020–2050, 2a2 RCP 4.5 2070–2100, 2a3 RCP 8.5 2020–2050 i 2a4 RCP 8.5 2070–2100**; i bez akumulacije: **2b1 RCP 4.5 2020 –2050, 2b2 RCP 4.5 2070–2100, 2b3 RCP 8.5 2020–2050, i 2b4 RCP 8,5 2070–2100** (Slika 4). Nakon izračuna i analize prošlih scenarija i budućih scenarija, moguće je predložiti dopunske mjere. One su predstavljene u ovom radu.

Za scenarije RCP4.5 i RCP8.5, za razdoblja (2020.-2050. i 2070.-2100.), odabrano je 6 simulacija klimatskih modela (tzv. kombinacije globalnih i regionalnih modela) iz Koordiniranog regionalnog eksperimenta smanjenja skale klime (engl.: *Coordinated Downscaling Experiment - European Domain*), URO-CORDEX projekta EURO-CORDEX projekt (2021). Za svaki scenarij korišteno je šest karakterističnih klimatskih modela za dobivanje varijabilnosti za ulazne i izlazne vrijednosti. Na temelju OSNOVNOG MODELA za RCP4.5 (umjereno optimističan scenarij) i RCP8.5 (pesimistični scenarij), za razdoblja 2020. -2050. i 2070. -2100., izrađeni su scenariji koji su koristili šest regionalnih klimatskih modela koji se dinamički smanjuju (engl.: Regional Climatic Model: RCM), CCLM4 (DrivModel: CNRMCERFACS-CNRM-CM5), CCLM4 (DrivModel: MPI-M-MPI-ESM-LR), HIRHAM5, INERIS, RACMO22E i RCA4. (Tablica 4-4).

Tablica 4-4: Šest modela utjecaja klimatskih promjena korišteni za Scenarij 2

Redni broj	Naziv modela	Regionalni model	Izveden model
1	CLMcom	CCLM4	CNRM-CERFACS-CNR
2	CLMcom	CCLM4	MPI-M-MPI-ESM-LR
3	DMI	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
4	IPSL	INERIS	IPSL-IPSL-CM5A-MR
5	KNMI	RACMO22E	MOHC-HadGEM2-ES
6	SMHI	RCA4	MPI-M-MPI-ESM-LR

CLMcom - The Climate Limited-area Modelling Community (CLM-Community)

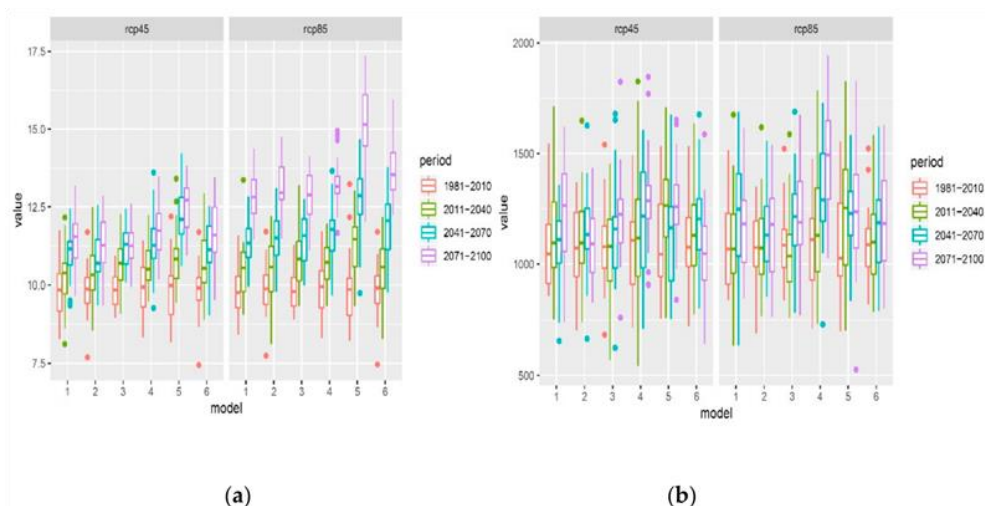
DMI - The Danish National Centre for Climate Research

KNMI - Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)

SMHI - The Swedish Meteorological and Hydrological Institute

Nazive modela definiraju institucije/zajednice koje su izradile model, a iz kojih su razvijeni regionalni modeli i izvedeni modeli.

**Na razini lokalnog riječnog sliva** korištene su *metode korekcije pristranosti (bias correction: BC)* kako bi se spriječili nerealni rezultati na dnevnoj razini, BC je proveden za oborine, srednju temperaturu zraka (Slika 4-7), maksimalnu temperaturu zraka, minimalnu temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka, globalno sunčevo zračenje i brzinu vjetra.



Slika 4-7: Klimatski modeli (a) srednja temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), BC devijacija od 1981.–2010. u odnosu na RCP 4.5 i RCP 8.5, šest karakterističnih klimatskih modela i razdoblja; (b) srednje oborine (mm), BC devijacija od 1981.–2010. u odnosu na RCP 4.5 i RCP 8.5, i šest karakterističnih klimatskih modela i razdoblja (Honzak L. - ARSO, 2021)

EURO-CORDEX projekt poslužio je kao katalizator, te je korigirao sustavnu pogrešku na osnovu 1981- 2010 korekcija pristranosti za sljedeće varijable: prosječna temperatura ( $t_{as}$ ), minimalna temperatura ( $t_{as_{min}}$ ), maksimalna temperatura ( $t_{as_{max}}$ ), oborina ( $pr$ ), potencijalna evapotranspiracija ( $evspsbl_{pot}$ ), relativna zračna vlažnost, osunčanost i vjetar. Klimatske scenarije je pripremio Luka Honzak koji radi u ARSO-u na novim klimatskim scenarijima (Honzak L. - ARSO, 2021).

Očekivane promjene srednje godišnje temperature prikazane su na Slici 4-8.



Slika 4-8: Očekivane promjene srednje godišnje temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) devijacija od 1981.–2010. u odnosu na RCP 4.5 i RCP 8.5, tijekom tipičnog sadržaja stakleničkih plinova (RCP) do 2100. godine za šest karakterističnih klimatskih modela i razdoblja (Luka Honzak – ARSO, 2021)

U nastavku, Tablica 4-5, prikazane su korištene referentne postaje klimatskih promjena za sliv rijeke Sutle.

Tablica 4-5: Korištene podataka referentnih postaja klimatskih promjena za sliv rijeke Sutle za modeliranje SWAT programom

ID postaja	Postotak pokrivanja	x	y
549	4,275534442	15,5625	46,3125
550	4,038004751	15,6875	46,3125
551	0,475059382	15,8125	46,3125
588	3,087885986	15,4375	46,1875
589	22,80285036	15,5625	46,1875
590	12,11401425	15,6875	46,1875
591	4,038004751	15,8125	46,1875
628	4,988123515	15,4375	46,0625
629	14,48931116	15,5625	46,0625
630	16,86460808	15,6875	46,0625
670	10,9263658	15,6875	45,9375
671	1,662707838	15,8125	45,9375
710	0,237529691	15,6875	45,8125

Svi skupovi podataka i metapodaci hidroloških i meteoroloških mjernih postaja u slivu rijeke Sutle i njegovom zaleđu prikupljaju se u bazi podataka JT1, dostupnoj na web stranici projekta, u pregledniku na poveznici <http://frisco-project.eu>. Ostale korisne poveznice na kojima se mogu pronaći razni skupovi podataka, statistike, metapodatke stanice itd. su:

- <http://hidro.dhz.hr/>
- [http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php?p\\_vodotok=Sotla](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Sotla)
- [http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski\\_arhiv.html](http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/hidroloski_arhiv.html)
- <http://www.arso.gov.si/vode/podatki/>

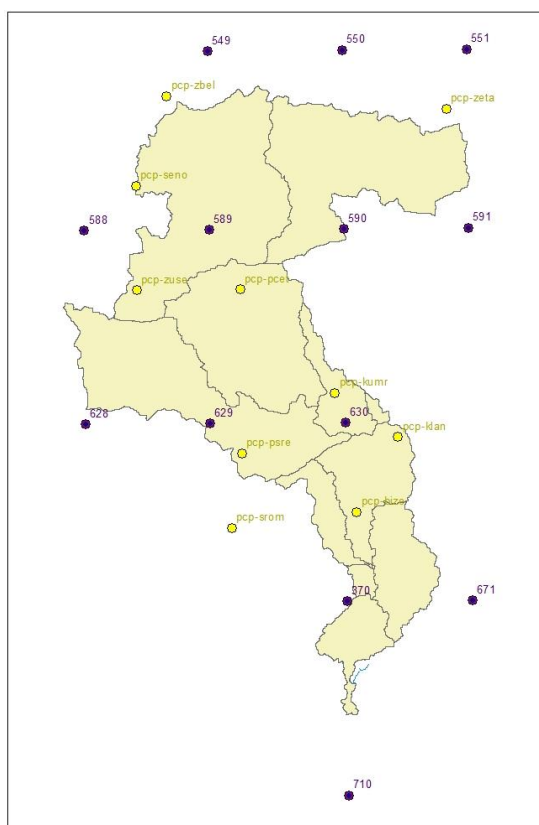
Za potrebe istraživanja, gdje je u OSNOVNOM SCENARIJU za većinu podataka bilo dostupno nekoliko mjesta mjerenja, odabrani su i podaci o klimatskim promjenama samo za nekoliko točaka. Izabrane su one koje pokrivaju najveći dio područja istraživanja. Za varijantne scenarije koji uključuju klimatske promjene korišteni su modelirani podaci referentnih postaja klimatskih promjena za sliv rijeke Sutle. Za proučavanje učinaka klimatskih promjena na korištena je rezolucija ćelije od 12 km x

12 km. Korištene procijenjene mjerne postaje klimatske promjene na širem istražnom području sliva rijeke Sutle za modeliranje SWAT modelom su: 589, 590, 629, 630 i 670. Za šest klimatskih modela, korištene su točke u *modelima utjecaja klimatskih promjena za buduće scenarije*, navedene u Tablici 4-6.

Tablica 4-6: Procijenjene mjerne postaje klimatske promjene na širem istražnom području sliva rijeke Sutle korištene za modeliranje SWAT modelom

ID postaje	Postotak pokrivanja	x	y
589	22,80285036	15,5625	46,1875
590	12,11401425	15,6875	46,1875
629	14,48931116	15,5625	46,0625
630	16,86460808	15,6875	46,0625
670	10,9263658	15,6875	45,9375

Na Slici 4-9 prikazana je karta klimatoloških mjernih postaja i mjernih postaja za klimatske promjene koje su uzete u izračun.



Slika 4-9: Karta oborinskih mjernih postaja i mjernih postaja za klimatske promjene koje su uzete u izračun: 589, 590, 629, 630 i 670

Kako bi se smanjila mogućnost pogrešne interpretacije rezultata, podaci modela prilagođeni su (kalibrirani) na razdoblje u kojem su izmjereni podaci (1981.-2010.). Pri tumačenju rezultata korišten je isti pristup: procijenjeni su rezultati klimatskih scenarija za razdoblja 2020.-2050. i 2070.-2100. kao postotak promjene prosječnog godišnjeg

otjecanja N-a, P-a i sedimenta za svako razdoblje u usporedbi s baznim razdobljem. (1981.-2010.), a zatim za određeni postotak promijenjene prosječne godišnje vrijednosti simulacije za kalibrirani OSNOVNI SCENARIJ za svako područje. Rezultati utjecaja očekivanih klimatskih promjena u istraživanim područjima prikazani su kao očekivana godišnja promjena u određenom razdoblju u odnosu na trenutno stanje. Radi velike neizvjesnosti vezane uz prognoziranje budućnosti, rezultati se neće tumačiti kao apsolutne vrijednosti, već kao postoci u odnosu na OSNOVNI SCENARIJ, odnosno kao informacija o vjerojatnosti povećanja ili smanjenja otjecaja N-a, P-a i sedimenta.

#### **4.8. Procjena utjecaja za scenarije**

U ovom je koraku, za svaki scenarij pripremljena je procjena utjecaja na vode za osnovne i dodatne mjere. Korištenje SWAT modela, u OSNOVNOM SCENARIJU i svim scenarijima (*prošlost* i *budućnost*), pokazalo je da je najznačajniji utjecaj na površinske vode nastaje uslijed pritiska nutrijenata i sedimenta, što rezultira rizikom nepostizanja dobrog stanja vode i eutrofikacije vode. Uspješno upravljanje kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva uključuje PoMs, od UPOV-a i mjera za smanjenje raspršenih izvora onečišćenja, do jeftinih rješenja za sprječavanje onečišćenja vodnih tijela. Ukoliko su dostupni podaci nedostatni, ponovno se analizira problem i dostupni podaci, prikupljaju novi podaci, te izrađuje OSNOVNI SCENARIJ s osnovnim i dodatnim mjerama. Prilikom procjene utjecaja analizirane su dostupne informacije, uključujući postojeće mjere, korištenje vode, zahtjeve ekosustava, analizu povijesnog toka rijeke prije izgradnje brane i drugi hidrotehnički zahvati koji utječu na regulaciju rijeke. Analiza uzdužnih profila rijeke i volumena akumulacije preduvjeti su za održavanje riječnog ekosustava uzvodno i nizvodno od akumulacije, kao i samog ekosustava akumulacije. Ukoliko se zaključi da je modeliranje prošlih i budućih scenarija uz klimatske promjene zadovoljavajuća, moguće je prijeći na sljedeći korak, no ukoliko nije potrebno je provjeriti modeliranje pritiska provjerom ulaznih podataka, pa čak i vratiti se na prvi korak i ponovno provjeriti raspoložive podatke. Svaki korak u dijagramu toka vrlo je važan i mora se uspješno dovršiti. Broj ponavljanja i povratak na prethodni korak ili korake ovisi o rezultatima dobivenim u svakoj prethodnoj fazi. Ukoliko su dobiveni rezultati zadovoljavajući u smislu smanjenja pritiska onečišćenja nakon provedenih mjera, bit će moguće prijeći na sljedeći korak. Dopunske poljoprivredne mjere odabiru se među mjerama programa ruralnog razvoja (*Rural Development Program: RDP*). Kao dopunske mjere, vezano uz WFD, su predloženi E-

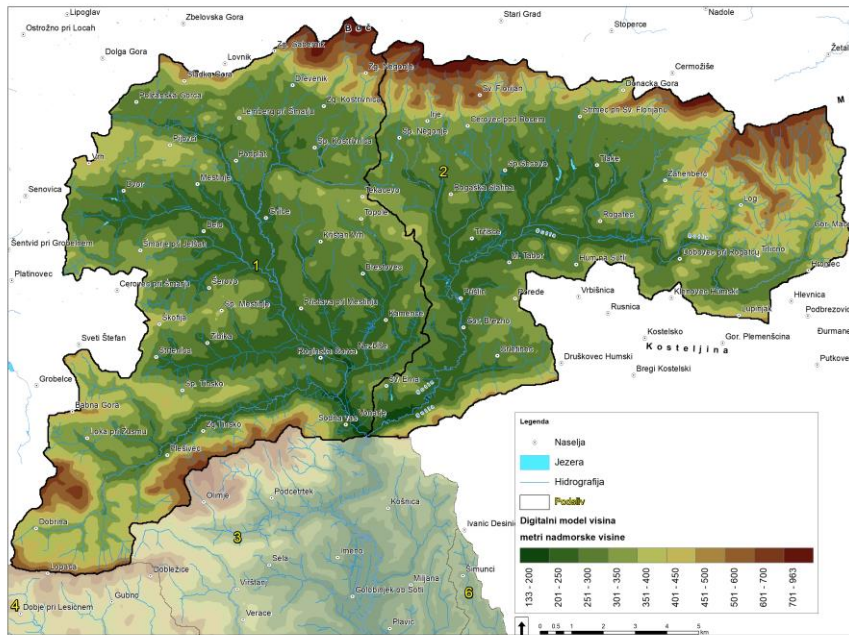
protok i UE-a. Nakon toga, moguće je pripremiti procjenu utjecaja za svaki scenarij i u sljedećem koraku, moguće je odabrati mjere „po mjeri“ riječnog sliva za predložene scenarije korištenja SWAT modela. Skup dopunskih mjera formirat će se na razini podsliva za „hot spots“ kod kojih postoji najveći rizik od nepostizanja dobrog stanja vode (uključuje i hidromorfološko stanje) i eutrofikacije. Temeljem provedenih mjera priprema se monitoring voda radi praćenja njihove učinkovitosti. Praćenje učinka provedenih mjera „po mjeri“ riječnog sliva monitoringom pomoći će u postizanju ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva.

#### **4.9. Analiza primjene mjera „po mjeri“ podslivova riječnog sliva**

Sliv rijeke Sutle podijeljen je na 11 podslivova, na kojima su analizirani problemi vezani uz postizanje dobrog stanja voda na mjernim postajama kakvoće voda u prošlosti i danas, kao i hidrografija, topografija terena (nagib), korištenje zemljišta i naseljenost svih podslivova. Problem upravljanja kakvoćom voda rijeke Sutle, koji je kulminirao eutrofikacijom Sutlanskog jezera i rijeke Sutle nizvodno od brane Vonarje 1987. godine i 1988. godine, rješava se analizom pritisaka kritičnih podslivova sliva rijeke Sutle. To su u ovom slučaju podslivovi 1 i 2 koji su utjecali na promjene kakvoće voda u podslivu 2 i u podslivu 3 neposredno ispod brane Vonarje. Stoga, zaključeno je da najznačajniji pritisci nastaju u podslivovima 1 i 2, te smanjenjem pritisaka na prihvatljivu razinu u podslivovima 1 i 2 značajno će se unaprijediti upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva. Stoga, temeljem prethodnih analiza na podslivovima 1 i 2 primijenjen je predloženi model upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva i predložene dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva kako bi se unaprijedilo upravljanje kakvoćom voda prekograničnog ruralnog sliva rijeke Sutle. U prilog navedenom zaključku, važno je naglasiti da se rizik od nepostizanja dobrog stanja voda (u prošlosti i danas) pojavljuje se na mjernoj postaji Prišlin, i to neposredno ispod pregrade Prišlin koja služi za zadržavanje sedimenta radi sprječavanje njegova ulaska u retenciju/akumulaciju Vonarje i nalazi se u podslivu 2.

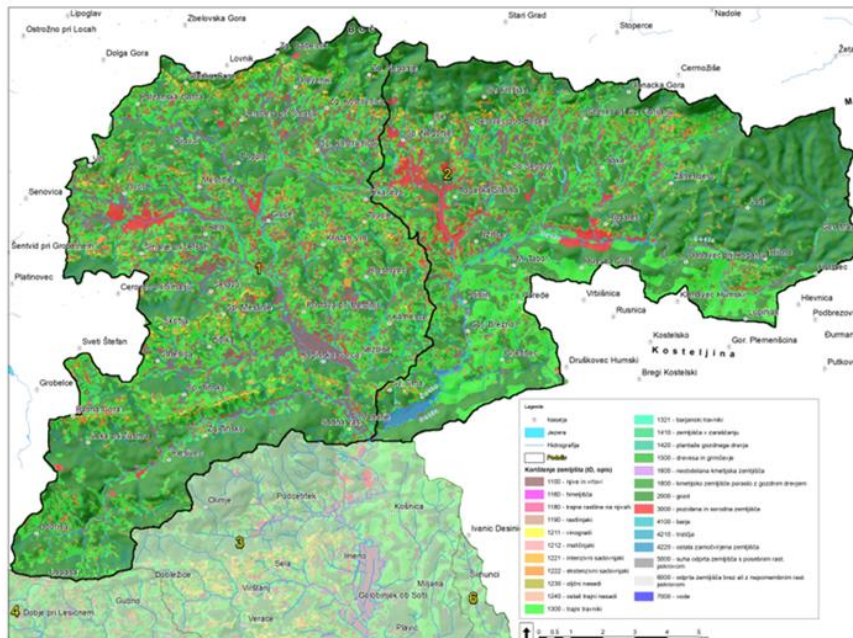
Na Slici 4.2. prikazana je podjela sliva rijeke Sutle u 11 podslivova, te posebno, crnom bojom označen podslivovi 1 i 2. Posebno analizirani podslivovi 1 i 2 i prikazani su na Slici 4-10.





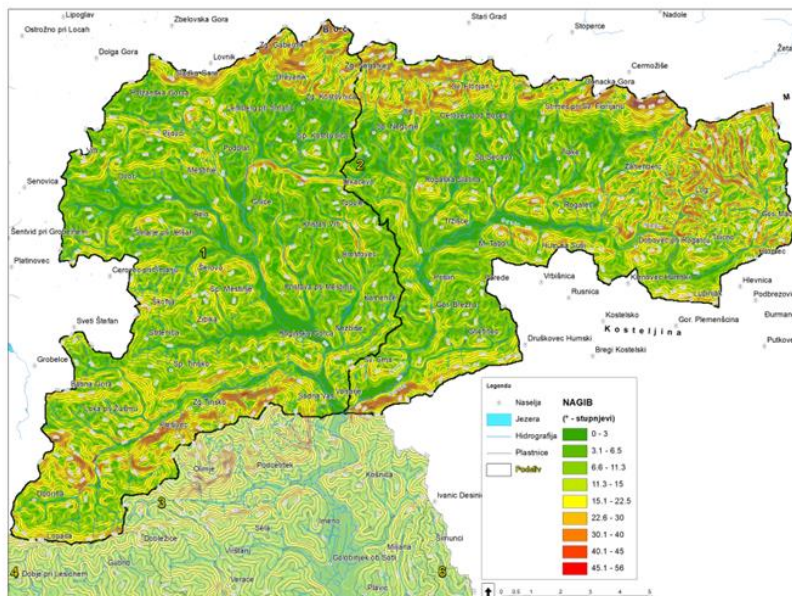
Slika 4-10: Podsliv 1 i 2 prekograničnog ruralnog riječnog sliva rijeke Sutle koji uključuje digitalni model visina, hidrografska mreža s jezerima i naselja

Za podsliv 1 i 2 napravljena je detaljna analiza digitalnog modela visina, hidrografske mreže s jezerima, naselja i analiza korištenja zemljišta (Slika 4-11).



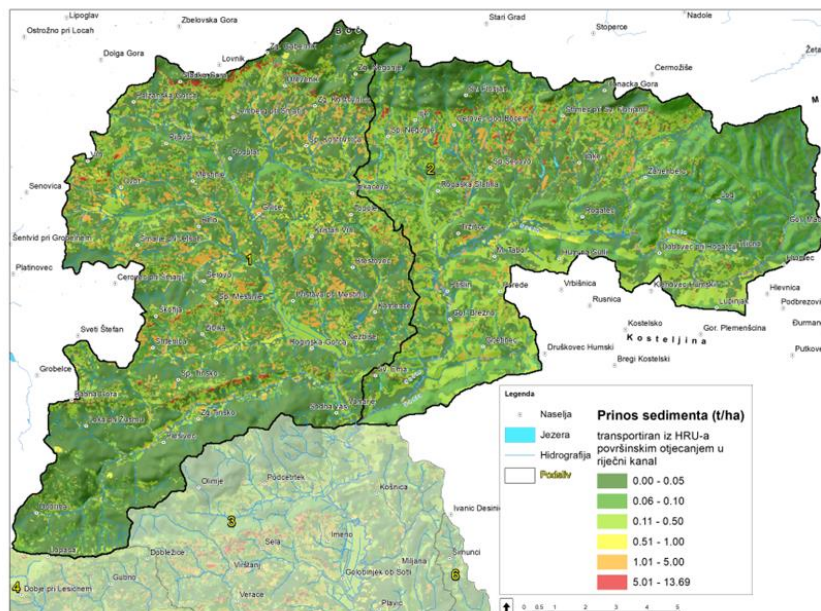
Slika 4-11: Karte podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle, korištenje zemljišta

Za podsliv 1 i 2 napravljena je detaljna analiza digitalnog modela visina, hidrografske mreže s jezerima, naselja i nagiba terena (Slika 4-12).



Slika 4-12: Karte podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle, nagib terena

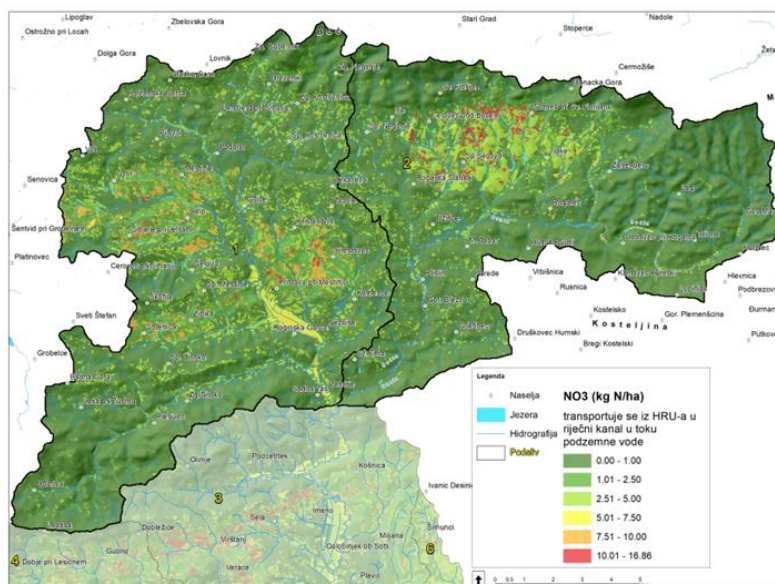
Za podsliv 1 i 2 napravljena je detaljna analiza pritiska sedimentom temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA (Slika 4-13).



Slika 4-13: Karte podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle za sediment temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA

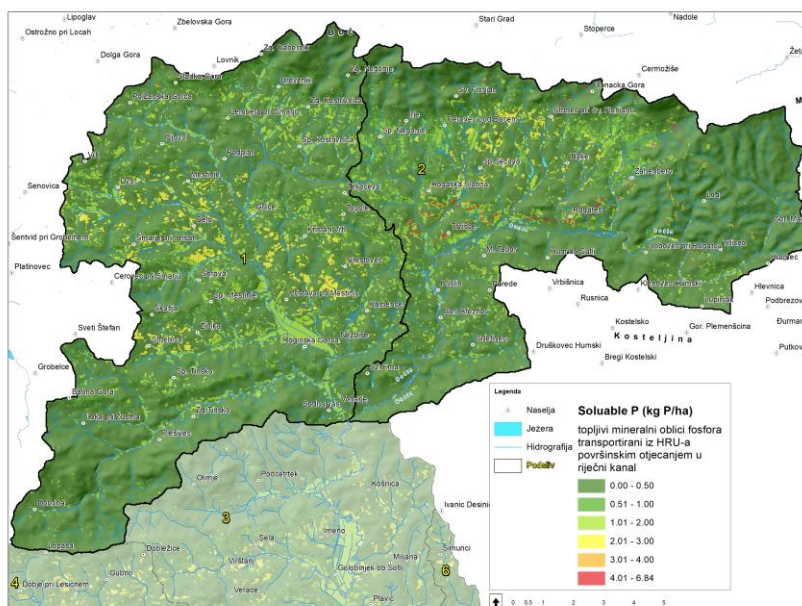
Za podsliv 1 i 2 napravljena je detaljna analiza pritiska dušikom temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA (Slika 4-14).





Slika 4-14: Karte podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle za ukupni dušika temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA

Za podsliv 1 i 2 napravljena je detaljna analiza pritiska fosforom temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA (Slika 4-15).



Slika 4-15: Karte podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle za ukupni fosfor temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA

Također, analizirani su podaci o kakvoći voda vodnih tijela i pritisci na vodna tijela temeljem svih scenarija (OSNOVNOG SCENARIJA, prošlih i budućih scenarija). Temeljem analiza karata prikazanih na Slikama 4-10 do 4-15, kao i rezultata prošlih i budućih scenarija, na kritičnim točkama koje značajno doprinose unosu nutrijenata i

sedimenta u rijeku Sutlu predložene su dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva. Za primjenu dopunskih mjera odabrane su građevinske mjere, primjena zelene infrastrukture kao višenamjenskih objekata za područja poljoprivrede, šumarstva i hidromorfologije, te negrađevinske mjere koje se koriste u poljoprivredi i šumarstvu. Odabrane dopunske mjere uključene su u SWAT model za OSNOVNI SCENARIJ, te je provedena provjera učinkovitosti predloženih dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva za podsliv 1 i 2, u smislu smanjenja unosa nutrijenata i sedimenta u rijeku Sutlu i unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda.

### **Odabir dopunskih mjera**

Neke od dopunskih mjera definirane su sa slovenskom Zakonu o vodama (Zakon o vodah, Uradni list RS, št.67/02,2/04– ZZdl-A,41/04–ZVO-1,57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15 in 65/20). U članku 14. vezanom uz obalno zemljište kopnenih/unutarnjih voda kaže se: „Vanjska granica obalnog zemljišta proteže se na vodama 1. reda 15 (petnaest) metara od granice vodnog zemljišta, a na vodama 2. reda 5 (pet) metara od granice vodnog zemljišta.“. U članku 65. (zabrana gnojidbe i uporabe sredstava za zaštitu bilja) kaže se: „Zabranjena je gnojidba ili uporaba sredstava za zaštitu bilja na obalnim zemljištima u tlocrtnoj širini 15 metara od obale voda 1. reda i pet metara od obale voda 2. reda“. *Sutla je rijeka 1. reda, stoga kao dopunsku mjeru treba napraviti vanjsku granicu obalnog 15 metara od granice vodnog zemljišta i zabrana gnojidbe ili uporabe sredstava za zaštitu bilja na obalnim zemljištima u tlocrtnoj širini 15 metara od obale.* Prema III. Akcijskom programu zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla (NN 73/21), članak 11. vezano za područje utjecaja - *prijelazne zone* (engl.: *filter buffer strips*) koje trebaju biti na vodotocima koji se nalaze uz poljoprivredna zemljišta. U njemu se navodi: „Zabranjena je primjena gnojiva: na 20 m udaljenosti od vanjskog ruba korita jezera ili druge stajaće vode, na 3 m udaljenosti od vanjskog ruba korita vodotoka širine korita 5 metara ili više, na nagnutim terenima uz vodotokove, s nagibom većim od 10% na udaljenosti manjoj od 10 m od vanjskog ruba korita vodotoka“. U „Praktičnom vodiču koji ima za cilj podržati odabir, izradu i provedbu prirodnih mjera za zadržavanje voda u Europi“ (engl.: *A guide to support the selection, design and implementation of Natural Water Retention Measures in Europe - Capturing the multiple benefits of nature-based solutions*), autora Strosser P. et al, 2015. (Strosser P. et al., 2015) pojašnjava se uloga NWRM-a (DG Environment, 2022), te postizanje ciljeva vodne i okolišne politike, kao i srodnih politika.

### ***Definicija NWRM-a kako je navedeno u dokumentu politike EU-a (NWRM, 2016)***

Prirodne mjere za zadržavanje voda su *višefunkcionalne mjere* kojima je cilj zaštititi vodne resurse i istaknuti mogućnost *obnavljanja ili održavanja ekosustava*, kao i *prirodnih značajki i karakteristika vodnih tijela* radi upravljanja vodama pomoću *prirodnih mjera i procesa* (NWRM, 2016). Glavni fokus primjene NWRM-a je *povećati kapacitet zadržavanja vode u vodonosniku, tlu, te vodnim ekosustavima i ekosustavima* ovisnima o vodi s ciljem poboljšanja njihovog stanja. Primjena NWRM-a podržava *zelenu infrastrukturu*, *pospješuje količinsko stanje voda vodnog tijela* i smanjuje *osjetljivost na poplave i suše*. To pozitivno utječe *na kemijsko i ekološko stanje vodnog tijela* obnavljanjem prirodnog funkcioniranja ekosustava i UE-a. Obnovljeni ekosustavi pridonose *prilagodbi i ublažavanju klimatskih promjena*. NWRM nisu nove mjere, jer se neke već dugo provode u različitim zemljama i sektorima, no koriste se pod drugim imenima i stručnim žargonima. Mjere se temelje na promjeni morfologije područja, kao i sastava tla (npr., povećanje hrapavosti i infiltracije tla, smanjenje vršnog protoka, prigušivanje površinskog otjecanja i sedimenta). Kao što je definirano u dokumentu politike EU-a o NWRM-a, a glavne osobine su:

- Zadržavanje vode (otjecanje ili riječni tokovi) izvan postojećih kapaciteta sustava, te otjecanje kontroliranom brzinom ili infiltracijom u podzemne vode;
- Korištenje kapaciteta zadržavanja tla i vodnih ekosustava za pružanje unaprjeđenja stanja okoliša i kakvoće voda, unaprjeđenja biološke raznolikosti, te otpornosti i prilagodbe klimatskim promjenama;
- Primjenjuju se obično u relativno manjim razmjerima, u odnosu na veličinu sliva;
- Oponašaju prirodne procese, iako nisu uvijek "prirodni" sami po sebi (npr. zeleni krovovi) (NWRM, 2016).

Sveukupni ciljevi svakog od ključnih dokumenata okolišne politike EU-a i naziv izvora, te eksplicitne i implicitne poveznice na Vodič koji podupire odabir, projektiranje i primjena NWRM-a u Europi, prikazani su Tablicom 4-7.

Tablica 4-7: Eksplicitne i implicitne poveznice prirodnih mjera za zadržavanje vode prema europskoj okolišnoj politici

EU POLITKA	SVEUKUPNI CILJ(EVI) POLITIKE	EKSPPLICITNE I IMPLICITNE POVEZNICE NA NWRM	IZVOR
WFD	Dobro stanje svih voda EU-a	Prilog WFD-a sadrži i popis mjera koje se mogu uzeti u obzir u programima mjera. Između ostalog, to uključuje ponovno stvaranje i restauraciju močvarnih područja.	Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 23. listopada 2000. godine kojom se uspostavlja okvir o djelovanju Zajednice na području politike voda
Direktiva o poplavama	Smanjiti i upravljati rizicima od poplava za zdravlje ljudi, okoliš i gospodarstvo	Direktivom o poplavama propisano je da Planovi upravljanja rizicima od poplava, također, mogu uključivati održivu uporabu zemljišta, zadržavanje vode, te kontrolirano plavljenje određenih područja u slučaju poplava.	Direktiva 2007/560/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 23. listopada 2007. godine o procjeni i upravljanju rizicima od poplava
Strategija prilagodbe klimatskim promjenama	Pomoći Europi u klimatskoj otpornosti i unaprjeđenju svih razina upravljanja na sprječavanju i prilagodbi klimatskim promjenama	Strategija prilagodbe EU stavlja poseban naglasak na uvođenje opcija prilagodbe „win-win“, „low-cost“ i „no-regret“. To uključuje održivo upravljanje vodama i sustavima ranog upozoravanja. Pristupi koji se temelje na ekosustavima obično su isplativi po različitim scenarijima. Oni su lako dostupni i pružaju višestruke koristi, kao što je smanjen rizik od poplava, manju eroziju tla, poboljšanje kakvoće vode i zraka i smanjenje učinka „toplinskog otoka“.	Priopćenje Komisije Europskom parlamentu, vijeću, Europskom i socijalnom odboru i Odboru regija Strategija EU o prilagodbi klimatskim promjenama
Zelena infrastruktura (ZI)	Promicanje razvoja zelene infrastrukture i njihove prednosti za održivi razvoj, uz stvaranje radnog okvira za poticanje i razvoj ZI projekata u sklopu pravnih, političkih i financijskih instrumenata	Zelena infrastrukturna rješenja povećavaju otpornost na katastrofe i sastavni su dio EU politike o upravljanju rizicima od katastrofa. Utjecaj takvih događaja na društvo i okoliš često se može smanjiti pomoću rješenja ZI kao što su funkcionalne poplavne ravnice, priobalne šume, zaštitne šume u planinskim područjima, morski obalni prudovi i obalne močvare koje mogu biti izgrađene u kombinaciji s infrastrukturom za smanjenje katastrofa.	Priopćenje Komisije Europskom parlamentu, vijeću, Europskom i socijalnom odboru i Odboru regija Zelena infrastruktura (ZI) – jačanje prirodnog kapitala Europe
Nacrt plana za zaštitu europskih vodnih resursa	Osigurati dostupnost dovoljne količine kvalitetne vode za potrebe ljudi, gospodarstva i okoliša u cijeloj EU	Postizanje dobrog stanja voda korištenjem alternativnih praksa korištenja zemljišta, posebno NWRM-om radi sprječavanja poplava i suša. Posebno obnovom poplavnih područja i močvara. ZI omogućava usluge ekosustava. Mjere uključiti u planove upravljanja vodnim područjem i treba postati prioritet financiranja pod CAP- om.	Priopćenje Komisije Europskom parlamentu, vijeću, Europskom i socijalnom odboru i odboru regija, Nacrt plana za zaštitu europskih vodnih resursa
Zajednička poljoprivredna politika (CAP)	Poboljšanje stanja okoliša kroz obveznu komponentu „ozelenjavanja“, politika izravnih plaćanja koja će podržati poljoprivredne prakse korisne za prirodu i okoliš	Mjera CAP-a „ozelenjavanja“ uključujući dezertifikaciju usjeva, održavanje stalnih livada i ekološki prioritetnih područja bit će razlogom za 30 % pojedinačnih poljoprivrednih plaćanja.	Priopćenje Komisije Europskom parlamentu, vijeću, Europskom i socijalnom odboru i Odboru regija CAP prema 2020: Susret s hranom, prirodnim resursima i teritorijalnim izazovima budućnosti
Uredba za ruralni razvoj	Vraćanje, očuvanje i poboljšanje ekosustava vezanih uz poljoprivredu i šumarstvo	Zadržavanje voda je implicitni cilj EU-a za ruralni razvoj. Obnavljanje, očuvanje i poboljšanje ekosustava vezanih uz poljoprivredu i šumarstvo, s naglaskom na: - Biološku raznolikost i NATURA 2000 područja - Unaprjeđenje upravljanja vodama (gnojiva i pesticidi) - Sprječavanje erozije i poboljšanje upravljanja tlom	Uredba (EZ) br.1305/2013 Europskog parlamenta i vijeća od 17. prosinca 2013.o potpori ruralnom razvoju od strane Europskog poljoprivrednog fonda za ruralni razvoj (EPFRR) i stavljanje izvan snage Uredbe Vijeća (EZ) br.1698/2005

WFD je uvela pravni okvir održivog upravljanja vodnim resursima diljem Europe, uz obvezu izrade planova upravljanja riječnim slivovima s odgovarajućim PoMs-ima. Budući da je poljoprivreda identificirana kao glavni izvor onečišćenja i PoMs-i se odnose na procjenu i smanjenje pritisaka iz poljoprivrede. Važni pritisci poljoprivrede na vode mogu se opisati kao: pritisci iz raspršenih izvora onečišćenja, hidromorfološki pritisci na vodna tijela vodotoka uslijed fizičke modifikacije vodnih tijela i pritisci na vodna tijela vodotoka uslijed prekomjernog korištenja voda. Uz vodnu politiku, važno je napomenuti da je i sam poljoprivredni sektor poduzeo mjere za smanjenje pritisaka iz poljoprivrede. Od 1992. godine napor CAP-a, u tom smislu, stalno se povećavaju, u okviru 1. stupa (izravna potpora), kao i u okviru 2. stupa (ruralni razvoj) (Vlachopoulou M., et al., 2014). Tako su doneseni sljedeći specifični ciljevi značajni za upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva:

- izrada različitih načina rješavanja pritisaka iz poljoprivrede;
- identificiranje potencijalnih nedostataka u rješavanju pritisaka iz poljoprivrede;
- razvijanje europskog kataloga mjera o različitim načinima rješavanja pritisaka iz poljoprivrede.

Prema analizama izrađenih planova upravljanja vodama riječnog sliva, dokazano je da poljoprivredni sektor stvara značajan pritisak na površinske i podzemne vode u smislu kakvoće i količine onečišćenja. Iako struktura i opseg ovih problema značajno variraju među riječnim slivovima, oni su značajni za svaki riječni sliv. PoMs se moraju provesti temeljem procjene analiza Pregleda utjecaja ljudskih djelatnosti na okoliš i ekonomska analiza korištenja voda iz čl. 5 WFD-a, koji glasi: „Svaka zemlja članica mora osigurati da se za svako vodno područje ili za dio međunarodnog vodnog područja na njenom teritoriju izradi: analiza njegovih značajki, pregled utjecaja ljudskih djelatnosti na stanje površinskih i podzemnih voda, i ekonomska analiza korištenja voda u skladu s navedenim tehničkim specifikacijama“.

Prema članku 11., PoMs se donosi temeljem rezultata analiza iz čl. 5, a radi postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva iz čl. 4. Ti programi mjera mogu se pozivati na mjere koje proizlaze iz propisa donesenih na nacionalnoj razini i koje pokrivaju cijeli teritorij zemlje članice, a mogu biti primjenjive za sva vodna područja i/ili dijelove međunarodnih vodnih područja na njenom teritoriju. Analizom mogućnosti unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda sliva rijeke Sutle primjenom dopunskih mjera analizirane su dopunske mjere iz kataloga NWRM (NWRM, 2016) s mjerama koje je moguće modelirati SWAT modelom (Arnold J.G. et al., 2012), (OPS- SWAT model, 2022), prikazane crvenom bojom u Tablici 4-8.

Tablica 4-8: Dopunske mjere iz kataloga NWRM i mjere koje je moguće modelirati SWAT modelom označene crvenom bojom (prema (NWRM, 2016), (Arnold J.G. et al., 2012),) (OPS-SWAT model, 2022)

SWAT MODEL NWRM	Izrada terasa	Drenaža	Konturiranje	Prijelazne zone	Sjetva u pojasevima	Vatra	Zatrvljeni vodeni putevi	Ažuriranje parametara sadnje bilja	Upravljanje ostacima	Generička konzervatorska praksa	Stabilizacija obale	Močvare	Jezera
<b>Poljoprivreda</b>													
Livade i pašnjaci													
Tampon trake i živice													
Rotacija usjeva													
Sadnja duž kontura													
Međusadnja													
Poljoprivreda bez oranja													
Poljoprivreda s plitkim oranjem													
Zeleni pokrov													
Rana sjetva													
Tradicionalna izrada terasa													
Zemljoradnja s kontroliranim													
Smanjene gustoće gnojnica													
Malčiranje													
<b>Šume</b>													
Šumska obalna tamponska													
Održavanje šumskog													
Pošumljavanje akumulacija													
Ciljana sadnja za "hvatanje"													
Pretvorba korištenja zemljišta													
Kontinuirano pokrivanje šuma													
Upravljanje "osjetljivog"													
Odgovarajuće oblikovanje													
Ribnjaci za hvatanje													
Grubi drvenasti ostaci													
Urbani park šume													
Drveće u urbanim područjima													
Strukture kontrole vršnog													
Područja kopnenog toka u													
<b>Hidromorfologija</b>													
Akumulacije i jezera													
Restauracija močvara i													
Restauracija poplavnih													
Remeandriranje													
Renaturalizacija prirodnog													
Obnova i ponovno povezivanje													
Ponovno povezivanje mrtvih zona													
Renaturalizacija materijala													
Uklanjanje brana i ostalih													
Prirodna stabilizacija obala													
Uklanjanje zaštite obale rijeke													
Restauracija jezera													
Restauracija prirodnom infiltracijom													
Renaturalizacija polderskih područja													









Svaki PoMs sadrži osnovne i dodatne mjere, prema potrebi i dopunske mjere. U sljedećem koraku analizirane su dopunske mjere iz kataloga NWRM (NWRM, 2016) i mjere koje je moguće modelirati SWAT modelom, (OPS-SWAT model, 2022), te odabrane one koje su primjenjive za sliv rijeke Sutle. Analizirane su sljedeće mjere: planirano upravljanje izrada terasa, konturiranje, prijelazne zone, sjetva u pojasevima, upravljanje ostacima, generička konzervatorska praksa, vatra - operacija provedbe požara, zatravljeni vodeni putovi. Ono što je novo i što ide u prilog korištenja NWRM-a su njihove višestruke pogodnosti koje daju mogućnosti za njihovu primjenu u ostalim područjima okolišne politike, osim onih u sklopu kojih su razvijene i tradicionalno se provode. Drugim riječima, tradicionalne poljoprivredne mjere koje se provode u sklopu poljoprivrednih aktivnosti i poljoprivredne politike dobile su novi značaj u smislu provedbe europskih politika zaštite okoliša riječnog sliva.

Rijetko se provodi pojedinačna mjera NWRM-a, već prvenstveno u kombinaciji s drugim NWRM-om i često sa sivom infrastrukturom u riječnom slivu. Poseban je izazov pronaći pravu kombinaciju mjera koje odgovara karakteristikama i problemima upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva koji se proučava. To su: izrada terasa, konturiranje, prijelazne zone, sjetva u pojasevima, upravljanje ostacima, generičke konzervatorske prakse, stabilizacija obale, močvare i jezera. Neke od mjera su prihvaćene kao mjere koje mogu biti „po mjeri“ riječnog sliva, koje su prikazane u Tablici 4-10, kao što su: izrada terasa, konturiranje, prijelazne zone, sjetva u pojasevima, upravljanje ostacima, generička konzervatorska praksa. Ostale mjere, kao što su: vatra, zatravljeni vodeni putevi i ažuriranje parametara sadnje bilja pokazale su se neprihvatljive obzirom na karakteristike riječnog sliva i veličinu poljoprivrednih parcela. Navedene mjere prvenstveno se primjenjuju u poljoprivrednoj praksi SAD-a. Od primjene jezera (prirodna ili umjetna) koje su odabrane kao prikladna mjera odustalo se radi nedostatka informacija o postojećim jezerima i njihovoj funkciji, te mogu li obzirom na relativno mali volumen služiti i za zadržavanje sedimenta i hranjiva. Također, odustalo se od stabilizacije obale jer je ustanovljeno da prirodnost riječnog toka rijeke Sutle u podslivu 2 koji se analizira, u odnosu na povijesne karte, nije promijenjena, te da stabilizacija obala nije potrebna već ona postoji u prirodnom obliku.

Iz skupa dopunskih mjera, koje se mogu modelirati SWAT modelom i **označene su crvenom bojom** u Tablici 4-8, odabrane su mjere „ po mjeri“ riječnog sliva koje su pogodne za sliv rijeke Sutle, **te su odabrane za primjenu u podslivu 1 i 2 riječnog sliva rijeke Sutle** , i posebno pojašnjene u Tablici 4-9.

Tablica 4-9: Odabrane i primijenjene odabrane dopunske mjere, **označene crvenom bojom** u Tablici 4-8, koje se mogu modelirati SWAT modelom i pogodne su za sliv rijeke Sutle, „po mjeri“ riječnih podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle

Red. br.	Naziv mjere hrv/ engl	Opis mjere/učinkovitost uklanjanja N i P, sedimenta	Slika mjere	Primjena mjere
1.	Izrada terasa/ <i>Terracing operation</i>	Izrađuju se terase u nasipu unutar polja radi zaustavljanja otjecanja i sprječavanje erozije. Terasa je izgrađena preko padine na konturi, a polje općenito sadrži nekoliko pravilno raspoređenih terasa. Učinkovitost: ST 85 %; N 20%, P; 70%	 (Terasa, 2022)	Samo na njive i voćnjake za sve nagibe veće od 25%
2.	Konturiranje/ <i>Contouring</i>	Konture se izrađuju po nadmorskoj visini, prema izohipsama. Cijela njiva je posijana u konturama i cijela njiva je s jednom kulturom.	 (Konturiranje 2002)	Koristi se za njive nagiba između 11%-25%.
3.	Prijelazne zone/ <i>Filter buffer strip</i>	Prijelazne zone su vegetativna područja koja se nalaze između površinskih vodnih tijela (i usjeva, pašnjaka, šuma ili poremećenog zemljišta). Poznate i kao vegetativni filter ili pufer trake. Omogućuju usporavanje otjecanja vode, tako da se sediment i nutrijenti apsorbirani u sedimentu, talože i zadržavaju na biljnom materijalu prijelazne zone, te štite vode od unosa sedimenta i onečišćenja. Učinkovitost: ST 65%; N 70%, P 75%	 (Prijelazne zone, 2022)	Prema slovenskom zakonodavstvu 15 m za rijeku Sutlu i 5m za pritoke. Prema hrvatskom zakonodavstvu 20 m od stajačice, 3 m od obale širine korita više od 5 m, 10 m za nagibe terena veće od 10 %. Koristi se za nagib veći od 11% radi potrebe prilagođene tehnologije obrade tla.
4.	Sjetva u pojasima/ <i>Strip cropping</i>	Sjetva u pojasevima odvija se po nadmorskoj visini i po izohipsama. Izmjenjuju se kulture manjeg oborinskog otjecaja, te zadržava sediment (primjerice na na travi se više zadržava sediment)	 (Sjetva u pojasima, 2022)	Koristi se za nagib između 11%-25%.

5.	Upravljanje ostacima/ <i>Residue management</i>	Malčiranje je nanošenje biljnih ostataka ili drugih prikladnih materijala na površinu zemljišta. To je kao najbolja praksa upravljanja koja djeluje na prirodni malč, kao što je slama. Učinkovito je u povećanju organske tvari i poboljšanje teksture tla, te smanjenju oborinskog otjecaja kako bi se smanjila erozija tla. Obično se koristi u kombinaciji sa sjetvom (direktna sjetva, minimalna obrada tla). Učinkovitost: ST= 71%, N= nema podataka, P= nema podataka	 <p>(Upravljanje ostacima, 2023)</p>	Na njivama, slama ostaje nakon žetve.
6.	Generička konzervatorska praksa / <i>Generic conservation practice</i>	Ova operacija ograničava obradu tla kako bi se održao specifičani minimalni ostatak biljaka koji uključuje minimalna obradu bez oranja, te se tako konzerviraju nutrijenti i organska tvar (humus). Učinkovitost: ST 75%, N 55%, P 45%	 <p>(Generička konzervatorska praksa, 2022),</p>	Na njivama

Zaključeno je da će prioritarna provedba mjera u kritičnim najuzvodnijim podslivovima imati pozitivan utjecaj i na nizvodne podslivove. Sve to će omogućiti izradu pripreme smjernica za poboljšanje metodologije upravljanja kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva. Na isti način moguće je provesti odabir optimalnih dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva za sve podslivove riječnog sliva i sve scenarije budućeg stanja „s“ i „bez“ akumulacije.

## 5. REZULTATI I RASPRAVA

Prema postavljenim hipotezama i razvijenom modelu integralnog upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, koji je predstavljen dijagramom toka (Slika 4-1), provedeno je istraživanje. U doktorskom radu (u poglavlju 4) izrađen je opis svih koraka istraživanja prema razvijenom modelu, kao i odabranih metoda i metodologija koje su primijenjene na istražnom području riječnog sliva rijeke Sutle. U ovom poglavlju, poglavlju 5, prikazat će se za svaki korak istraživanja razvijenog modela, numerički i prostorni rezultati uz pripadajuću raspravu tih rezultata.

### 5.1. Rezultati i rasprava integralnog modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom

U sljedećim poglavljima i podpoglavljima prezentirani su rezultati razvijenog modela i provedenih metoda i metodologije, i to:

- rezultati identifikacije problema upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, te analize dostupnih podataka, prema DPSIR pristupu, za pilot sliv rijeke Sutle,
- identifikacija značajnih indikatora pritisaka, te rezultati kvantifikacije pritisaka na vodna tijela sliva rijeke Sutle,
- rezultati modeliranja/analize pritisaka i procjena utjecaja, koji uključuju:
  1. rezultate modeliranja pritisaka i procjena utjecaja unosa nutrijenata i sedimenta u vodna tijela rijeke Sutle SWAT modelom za sadašnje stanje bez akumulacije – OSNOVNI SCENARIJ,
  2. rezultate modeliranja pritisaka i procjene utjecaja unosa nutrijenata i rizik eutrofikacije u karakterističnim vodnim tijelima SWAT modelom,
  3. rezultate analize pritisaka i procjene utjecaja uslijed promjene toka vodotoka,
  4. rezultate analize hidromorfoloških pritisaka i procjene utjecaja uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin,
  5. rezultate modeliranja pritisaka i procjene utjecaja unosa sedimenta u vodna tijela sliva rijeke Sutle SWAT modelom,
  6. rezultate analize pritisaka i utjecaja lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja zaštite prirode, te usluga ekosustava,
  7. rezultate analize pritisaka i procjena utjecaja uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje – E-protok.
  8. rezultate definiranja scenarija i procjene utjecaja za scenarije,

9. rezultate definiranja „hot spot“ točaka u slivu rijeke Sutle i odabir kritičnih podslivova (podslivova 1 i 2),

10. rezultate analize primjene dopunskih mjera „po mjeri“ kritičnih riječnih podslivova (podslivova 1 i 2) s „hot spot“ točkama, na dijelu riječnog sliva rijeke Sutle.

Nakon prikaza rezultata, provedena je rasprava, analizirana moguća primjena rezultata istraživanja i znanstveni značaj rezultata kao temelj dokazivanja postavljenih hipoteza doktorskog rada.

### **5.1.1. Rezultati i rasprava integralnog modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom**

Pri sveukupnom sagledavanju problema upravljanja kakvoćom voda ruralnog prekograničnog riječnog sliva rijeke Sutle uključena su različita interdisciplinarna znanja radi analize značajnih pritisaka i utjecaja, a posebno utjecaja onečišćujućih tvari na vode i vodne ekosustave za prekogranični ruralni riječni sliv. Korištenjem problemski-orijentiranog DPSIR pristupa i ArcGIS-a, provedena je analiza javno dostupnih podataka, informacija, indeksa i indikatora, studija i projekata, podataka i informacija vezanih uz postojeće pritiske na vode, postojeće stanje voda, i povijesne podatke, te postojeće i planirane mjere. Razumijevanje odnosa unutar DPSIR pristupa ključno je za predlaganje ekonomski opravdanih PoMs-a u riječnom slivu. U Tablici 5-1 prikazane su pokretačke sile i značajni pritisci za vodna tijela površinskih voda.

#### **Identifikacija i opis pokretačkih sila**

Identificirane su sljedeće pokretačke sile u slivu rijeke Sutle: urbanizacija, podaci o stanovništvu i naseljima; korištenje zemljišta; poljoprivreda; industrija/poduzetništvo/turizam i rekreacija, te turizam/rekreacija/parkovi. Analizom pokretačkih sila, ustanovljeno je da u slivu rijeke Sutle većina stanovništva živi u malim seoskim naseljima. Na hrvatskoj strani rijeke Sutle stanovništvo živi u 67 manjih naselja s 16.700 stanovnika, a na slovenskoj strani u 84 naselja živi 38.139 stanovnika. Gustoća naseljenosti na slovenskoj strani Sutle iznosi 85 stanovnika/km<sup>2</sup>, što je gotovo 20% manje od slovenskog prosjeka (100 stanovnika/km<sup>2</sup>). Gustoća naseljenosti na hrvatskoj strani rijeke iznosi 120 stanovnika/km<sup>2</sup>, što je više od polovice hrvatskog prosjeka (78 stanovnika/km<sup>2</sup>). Samo jedno naselje u slivu ima više od 2000 stanovnika, Rogaška Slatina.

Tablica 5-1: Pokretačke sile/pritisci hrvatske i slovenske strane sliva rijeke Sutle (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014)

	Sliv na desnoj strani rijeke Sutle, slovenski dio	Sliv na lijevoj strani rijeke Sutle, hrvatski dio
<b>Površina slivnog područja</b>	459,9 km <sup>2</sup> (78% ukupne površine)	130,7 km <sup>2</sup> (22% ukupne površine)
<b>Pokretačke sile</b>	Turizam i rekreacija (termalne vode i lječilišta), zaštita kulturne i prirodne baštine promet, poljoprivreda	Poljoprivreda, zaštita kulturne i prirodne baštine, promet
<b>Urbanizacija: Broj naselja prema rasponu broja stanovnika</b>	Broj	
	stanovnika	naselja
	<100	33
	101-500	47
	501-1000	1
	1001-1500	0
	>1500	3
	<b>Ukupno</b>	<b>84</b>
	Broj	
	stanovnika	naselja
	<100	21
	101-500	41
	501-1000	3
	1001-1500	1
	>1500	1
	<b>Ukupno</b>	<b>67</b>
<b>Najveća urbana područja i broj stanovnika</b>	Rogaška Slatina: 4800 Šmarje pri Jelšah: 1600	Klanjec: 3230 Hum na Sutli: 1240
<b>Broj stanovnika</b>	<b>38139</b>	<b>16700</b>
<b>Gustoća stanovnika</b>	85 stanovnika / km <sup>2</sup>	120 stanovnika / km <sup>2</sup>
<b>Korištenje zemljišta</b>	km <sup>2</sup> %	
	Poljoprivredno zemljište	285,3 62
	Šume	167,1 36,3
	Kopnene močvare	0,7 0,2
	Urbane, industrijske, komercijalne i prometne jedinice	6,8 1,5
	<b>Ukupno</b>	<b>459,9 100</b>
		km <sup>2</sup> %
Poljoprivredno zemljište	85,6 65,5	
Šume	28,8 22,0	
Kopnene močvare	0,2 0,2	
Urbane, industrijske, komercijalne i prometne jedinice	16,1 12,3	
<b>Ukupno</b>	<b>130,7 100</b>	
<b>Poljoprivreda</b>	km <sup>2</sup> %	
	Obradivo tlo	14,0 3,1
	Heterogena poljoprivredna područja	229,7 49,9
	Pašnjaci	39,6 8,6
	Trajni nasadi	2,0 0,4
	Grmlje i/ili zeljasta vegetacija	2,2 0,5
	<b>Ukupno km<sup>2</sup></b>	<b>285,3 62%</b>
	km <sup>2</sup> %	
Obradivo tlo	0,1 0,1	
Heterogena poljoprivredna područja	59,2 45,3	
Pašnjaci	26,3 20,1	
Trajni nasadi	0,0	
Grmlje i/ili zeljasta vegetacija	13,4 10,2	
<b>Ukupno km<sup>2</sup></b>	<b>85,6 65,5%</b>	
	ruralno stanovništvo: 10% stanovništva; glavna poljoprivredna djelatnost: stočarstvo; farme su rascjepkane;	ruralno stanovništvo: 30% stanovništva; glavna poljoprivredna djelatnost: vinogradi; stočarstvo; farme su rascjepkane;
<b>Industrija/poduzetništvo i turizam/rekreacija</b>	Proizvodnja stakla; mineralna voda; proizvodnja pića; 250 malih poduzeća (trgovina, savjetovanje, bankarstvo, građevinske usluge)	Industrijski objekti u Humu na Sutli – proizvodnja stakla, obrt i proizvodnja u Klanjcu, stočarstvo i klaonice u Gornjem Čemehovcu
<b>Turizam/Rekreacija/Parkovi</b>	Zdravstveni centar Rogaška Slatina; Spa centar Olimje; Regional park Kozjansko; Krajobrazni parkovi Boč and Jovsi;	Etno selo Kumrovec

U Tablici 5-2 prikazane su pokretačke sile, pritisci i stanje voda vodnih tijela za hrvatski i slovenski dio sliva rijeke Sutle.

Tablica 5-2: Indikatori D-a, P-a i S-a, prema DPSIR pristupu, za hrvatski i slovenski dio sliva rijeke Sutle (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014)

Sutla/Sotla riječni sliv	Slovenski dio riječnog sliva	Hrvatski dio riječnog sliva
<b>Površina riječnog sliva</b>	459,9 km <sup>2</sup> (78 % cijelog sliva)	130,7 km <sup>2</sup> (22 % cijelog sliva)
<b>Pokretačke sile:</b>	Turizam i rekreacija, zaštita kulturne i prirodne baštine	Poljoprivreda, zaštita kulturne i prirodne baštine, promet
<b>Pritisak – Urbanizacija:</b> Broj naselja; Naselja veća od 2000 stanovnika Broj stanovnika.; Gustoća stanovnika	84; 1  38139; 85 /km <sup>2</sup>	67; 1  16700; 120/km <sup>2</sup>
<b>Pritisak – Korištenje zemljišta</b>	62 % poljoprivrednog zemljišta; 36,3 % šume; 8,6% pašnjaka; 0,4 % trajnih nasada; 0,5 % 0,4 % gmlje	65,5 % poljoprivredno zemljište; 22 % šume; 20,1 % pašnjaci; 0 % trajnih nasada; 10,2 % gmlja
<b>Pritisak – Poljoprivreda</b> Ruralno stanovništvo	10 % stanovništva bavi se poljopr. aktivnostima: stočarstvo, fragmentirano zemljište	30 % stanovništva bavi se poljopr. aktivnostima: vinogradi, stočarstvo, fragmentirano zemljište
<b>Pritisak – Industrija/ Poduzetništvo/ Turizam</b>	Proizvodnja stakla; mineralna voda – proizvodnja pića; 250 malih poduzeća	Industrija u Humu na Sutli (proizvodnja stakla), Proizvodnja u Klanjcu, farma u G. Ćemehovcu i Dubravici
<b>Pritisak: Turizam/Rekreacija/Turizam</b>	Lječilište Rogaška Slatina; Spacentar Olimje; Regionalni park Kozjansko; Park prirode Boč i Jovsi	Etno selo Kumrovec
<b>Pritisak – NATURA 2000</b>	Cijela rijeka Sutla/Sotla	
<b>Indikatori pritiska</b>	Emisije nutrijenata, teret nutrijenata – za sva vodna tijela	
<b>Stanje – stanje voda</b>	Sutla-Prišlin postaja – umjereno stanje; Sutla Zelenjak postaja – dobro stanje; Sutla Harmica postaja – umjereno stanje	
<b>Indikatori stanja</b>	Koncentracija fosfora (Ukupni P, ortofosfat); Koncentracija dušika (Ukupni N, NO <sub>3</sub> ) – za sva vodna tijela	
<b>Indikatori utjecaja</b>	ekološko stanje i makrozoobentos (sastav zajednice, biomasa) fitoplankton (klorofil a, biovolumen) i Sechi dubina; makrofiti (manja dubina rasta) fitobentos (bentičke alge)	

Poljoprivredno zemljište čini 62% u Hrvatskoj i 65,5 % u Sloveniji ukupnog zemljišta. Poljoprivreda je dobro razvijena, iako nije intenzivna. Šume čine 36,3% u Hrvatskoj i 22 % u Sloveniji ukupnog zemljišta. Industrija i obrt razvili su se u većim naseljima kao što su Rogaška Slatina i Šmarje pri Jelšah i Hum na Sutli (Ćosić-Flajsig G. et al. 2014). Zbog vrlo raštrkanih naselja ruralnog karaktera na prostorima riječnog sliva, postoji samo nekoliko kanalizacijskih sustava, a otpadne vode se prikupljaju i pročišćavaju u većim urbanim sredinama i naseljima. Pokretači i pritisci su zajednički za određeni broj problema, npr. poljoprivreda u smislu ekološke kakvoće vode, te onečišćenja voda nutrijentima i opasnim tvarima. Urbanizacija je identificirana kao pokretač, crpljenje vode je identificirano kao pritisak na vodne resurse. Kao posljedica toga, zbog manje vode u rijeci (problem protoka) pogoršava se ekološko stanje voda. U Tablici 5-2, temeljem prikupljenih i analiziranih podataka, prema DPSIR pristupu, prikazani su indikatori pokretačkih sila, pritisaka i stanja voda za hrvatski i slovenski dio sliva rijeke Sutle. Prema DPSIR pristupa, definirani su UPOV-i kao pritisak iz



točkastih izvora onečišćenja, i to: u dogradnji u Rogaškoj Slatini (9000 ES), Šmarju pri Jelšah (3200 ES), Podčetrtku (1990 ES). Mali UPOV-i su u Kozju (1000 ES), Olimju (750 ES), Podsredi (250 ES), Kostrivnici (198 ES) i Svetom Florijanu (150 ES). U RH, UPOV-i su izgrađeni u Humu na Sutli (2000 ES) i Kumrovcu (3000 ES). Otpadne vode u ostalim naseljima prikuplja se u individualne propusne septičke taložnice ukoliko se nepročišćena otpadna voda ne ispušta izravno u male potoke i rijeke (Ćosić-Flajsig G. et al. 2014).

### **Identifikacija značajnih pritisaka**

Analiza značajnih pritisaka/utjecaja provedena je u četiri faze. U prvoj fazi su određene granice vodnih tijela temeljem granica tipova i hidromorfoloških promjena. U drugoj fazi, za određena vodna tijela proračunate su sume tereta onečišćenja iz svih registriranih izvora onečišćenja. Treća faza je obuhvaćala usporedbu ukupno proračunatog tereta onečišćenja s graničnim vrijednostima za dobro stanje odgovarajućeg tipa površinskih voda. U četvrtoj fazi su temeljem analize tereta onečišćenja i ocjene utjecaja uslijed izmjena ekološkog stanja identificirani potencijalno značajni pritisci za svako vodno tijelo. Nakon prikupljanja, analize svih javno dostupnih podataka informacija i njihovog prostornog prikaza u ArcGIS-u, identificirani su značajni pritisci za šest hrvatskih vodnih tijela površinskih voda rijeke Sutle, i to:

#### *(i) pritisak nutrijenata na vodna tijela*

Pritiskom nutrijenata od stanovništva i poljoprivrede modificiraju se ekosustavi i kao najvažniji rezultat pritiska/utjecaj - uzrokuju eutrofikaciju;

#### *(ii) pritisak na vodna tijela prioritetnim onečišćujućim tvarima*

Pritiskom prioritetnim onečišćujućim tvarima nastaje rizik nepostizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog *sliva*, kao što je slučaj s mjernom postajom Prišlin;

#### *(iii) pritisak sedimenta na vodna tijela*

Pritisak sedimentom na mjernu postaju površinskih voda Prišlin očituje se *u odnosu na povećanu količinu i onečišćeni sediment*. Mjerna postaja Prišlin je uspostavljena neposredno prije pregrade Prišlin, a uloga pregrade je zadržavanje sedimenta;

#### *(iv) pritisak modificiranja prirodnog toka izgradnjom brane Vonarje*

Pritisak modificiranja prirodnog toka izgradnjom brane, i to na količinu voda, protok i vodnu bilancu, te uzrokuje značajne fizičke, hidrološke i hidrolomorfološke pritiske na riječni ekosustav.



Brane i akumulacije voda, čak i ako su izvjesno vrijeme van korištenja, izazivaju velike fizičke i hidrološke (dinamika protoka vode) pritiske na riječne ekosustave i na kraju pogoršanja ekološkog stanja nizvodno od brane.

*(v) hidromorfološki pritisci*

Hidromorfološki pritisak nastaje nizvodno od brane Vonarje i uzrokuje promjene stanja voda vodnog tijela nizvodno od brane Vonarje.

*(vi) pritisci od korištenja površinskih voda*

Pritisci od korištenja voda nastaju *uslijed izgradnje brane* i formiranja akumulacije (danas funkcionira kao retencija za zadržavanje vodnog vala) i ispuštanja biološkog minimuma nizvodno.

Prema rezultatima nadzornog monitoringa *ocijenjeno je stanje voda, te uočen „jaz“ između dobrog stanja voda i ocjene stanja voda u vodnom tijelu*. Ocjenu stanja voda izrađuju Hrvatske vode što je detaljno obrađeno u poglavlju br.3. Iz navedenog proizlazi potreba izrade korelacije pritisaka i stanja voda dobivenog putem nadzornog monitoringa. U slučaju kada rezultati monitoringa pokazuju da su svi mjereni pokazatelji u granicama dobrog stanja za odgovarajući tip vodnog tijela, pritisak/utjecaj se označava kao *nije značajan*. Kada se za vodna tijela ne raspolaže rezultatima monitoringa, ocjena značajnosti dobiva se analizom, i to: *vjerojatno nije značajan* – ukoliko je procijenjeno da nema pritiska ili pritisak postoji, ali sam ili u kombinaciji s drugim pritiscima, bez primjene prikladnih mjera neće dovesti do nepostizanja dobrog stanja voda, te *vjerojatno značajan* – ukoliko je procijenjeno da je pritisak takav da sam ili u kombinaciji s drugim pritiscima, bez primjene prikladnih mjera može dovesti do nepostizanja dobrog stanja (2000/60/EC). *Analizom stanja voda*, identificiran je problem u slivu rijeke Sutle koji se odnosi na rizik postizanja dobrog stanja voda vodnih tijela sliva rijeke Sutle i rizik ne postizanja ciljeva zaštite okoliša vodnih tijela sliva rijeke Sutle. *Stanje voda* je analizirano putem stanja voda i NATURA 2000 područja. Navedeni rizici su veći nego što su bili u prošlosti. Prve analize pokazale su da je u rijeci Sutli još uvijek prisutan značajan unos nutrijenata. Razlozi su nepročišćene urbane otpadne vode, višak dušika primijenjen na poljoprivrednom zemljištu i nepovoljni uvjeti za kisik zbog visokih temperatura i niskih protoka vode. Poljoprivredne aktivnosti, također, mogu dovesti do povećanih koncentracija suspendiranih tvari, nutrijenata, pesticida i herbicida u vodi. Pokazatelji stanja voda i pokazatelji monitoringa su koncentracije fosfora (ukupno P i ortofosfat) i dušika (ukupno N, NO<sub>3</sub>) za sva vodna tijela. Korišteni izvori podataka su sustavi nacionalnog monitoringa,

statistički popisi, registri i radovi autora usmjerenih na istraživanje kakvoće vode, nutrijenata i eutrofikaciju.

*Pri procjeni utjecaja uslijed rizika onečišćenja nutrijentima i eutrofikacije vodnog tijela stajačice i nizvodnog vodnog tijela tekućice*, korišteni su pokazatelji pritiska i vrijednosti stanja vodnog tijela ovisno o kategoriji voda/stanju voda vodotoka. Proces eutrofikacije su izravno (preko bioloških pokazatelja) ili neizravno (putem fizikalno-kemijskih pokazatelja, hidromorfoloških pokazatelja, režima vode) pod utjecajem bioloških procesa. Procjena utjecaja provedena je za sljedeća četiri pokazatelja: BPK<sub>5</sub>, KPK-M<sub>n</sub>, ukupan dušik i ukupan fosfor. Pokazatelji utjecaja na vode su ekološko stanje i makrozoobentos (sastav zajednice, biomasa) za sva vodna tijela; fitoplankton (klorofil a, biovolumen), prozirnost putem Secchi-a, makrofiti i koncentracija kisika na dnu vode za vodna tijela jezera; i fitobentos (sastav zajednice bentoskih algi) za vodna tijela rijeka i jezera (Ćosić-Flajsig G. et al. 2014). Procijenjeno je da je utjecaj navedenih pokazatelja na ekosustave relativno dobro poznat, te da njihov međusobni odnos daje pouzdanu sliku o porijeklu onečišćenja, odnosno omogućava pouzdanije definiranje lokacija mjera u kasnijim fazama planiranja programa mjera. *Pri procjeni utjecaja uslijed značajnih hidromorfoloških pritisaka* uzet je u obzir samo utjecaj na vodna tijela koja su promijenila kategoriju. U slučajevima kada su rezultati monitoringa pokazali da neki mjereni pokazatelji imaju vrijednosti lošije od graničnih vrijednosti dobrog stanja voda za odgovarajući tip vodnog tijela, pritisak/utjecaj je označen kao *značajan*.

## **Rasprava**

U prošlosti, kao značajan utjecaj na vode, uočena je pojava eutrofikacije vodnih tijela sliva rijeke Sutle. Nastala je kao posljedica unosa nutrijenata i organskog onečišćenja, zbog kojih je Sutlansko jezero/akumulacija Vonarje ispražnjena 1989. godine (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.). Iako su i RH i RS članice EU-a, svaka država ima planove razvitka i svaka na svoj način provodi vodnu politiku, te nisu zajednički izradile plan upravljanja vodama slivom, niti su definirani ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva. *Prekomjerni unos nutrijenata, nepovoljni uvjeti kisika zbog visokih temperatura, mali protoci i hidromorfološke promjene* doveli su do pojave eutrofikacije u prošlosti i visokog rizika eutrofikacije vode. Smanjenje rizika eutrofikacije voda mora se temeljiti na interesima svih korisnika riječnog sliva, UE a i dobrobiti ljudi. Analiza stanja voda, pritiska i procjena utjecaja provedena je u Hrvatskim vodama i prikazana u poglavlju 3. Temeljem navedene procjene utjecaja, pretpostavlja se da postizanje ciljeva zaštite okoliša nije pouzdano za pet od šest vodnih tijela rijeke Sutle, obzirom da nije pouzdano postizanje dobrog stanja voda. Za samo jedno vodno tijelo, nizvodno od

mjerne postaje Zelenjak prognozira se postizanje ciljeva zaštite okoliša. Prema analizama povijesnih podataka kakvoće voda, najveći rizik je nepostizanje dobrog stanja voda i rizik eutrofikacije za vodno tijelo nizvodno od brane Vonarje.

U radu (Ćosić-Flajsig, G. et al. 2014), temeljem provedbe analize DPSIR pristupom, *uočeni su značajni utjecaji na vode, te predložene mjere* prema provedbi UWWTD (91/21/EEZ) i CAP-a, kojima će se pritisci na vode smanjiti na prihvatljivu razinu. Očekuje se da će se na taj način omogućiti postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, postizanje dobrog stanja voda i smanjenje rizika od eutrofikacije voda. Obzirom da se radi o ruralnom slivu navedeno područje će tek postati prioritet u sklopu provedbe politike ruralnog razvitka, koji uključuje i poljoprivredu i infrastrukturu malih aglomeracija, i korištenja sredstava iz europskih fondova. Mnoge lokalne i regionalne inicijative podržavaju ponovno punjenje prirodne retencije vodom i stvaranje Sutlanskog jezera, izgradnju turističkih i rekreacijskih objekata te korištenje vode za navodnjavanje i opskrbu pitkom vodom. To ukazuje na potrebu za poboljšanjem kakvoće vode rijeke Sutle i redefiniranjem jezera Sutla kao višenamjenskog jezera (Rismal M., 2016), no Slovenija je odustala od te ideje za naredno kratkoročno razdoblje. Rezultati korištenja DPSIR pristupa drugih autora pokazali su učinkovitost u primjeni i unaprjeđenju integralnog upravljanja vodama i upravljanju kakvoćom voda, kao što su (Kagalou I. et al., 2012) i (Song X. & Frostell B., 2012). DPSIR pristup je izvrstan pristup koji omogućava temeljem javno dostupnih podataka i informacija postavljanje uzročno-posljedičnih odnosa svih čimbenika DPSIR-a u riječnom slivu. Obzirom na razinu procjene bez kvantifikacije pritisaka, nije moguće odrediti mjere već samo pretpostaviti da će mjere koje su preuzete kao obveza europske vodne politike rezultirati dobrim stanjem voda vodnih tijela koja su pod rizikom nepostizanja dobrog stanja voda i eutrofikacije voda, te uz učinkovitu obveznu provedbu NATURA 2000 područja omogućiti postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Provedbu dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva nije se moglo planirati u ovoj fazi, te korištenje ArcGIS u prostornim analizama nije moglo pružiti dostatan vizualni prikaz obrađenih indikatora pritisaka i podataka putem DPSIR-a, ali je značajno unaprijedio razumijevanje analiziranih indikatora pritisaka, indikatora stanja voda i indikatora utjecaja na vode.

### **5.1.2. Rezultati i rasprava o kvantifikaciji pritisaka**

Nakon provedene analize korištenjem DPSIR pristupa ustanovljena je potreba za prostornom kvantifikacijom pritisaka. Radi toga je napravljena analiza raspoloživih alata za matematičko modeliranje pritisaka koja je provedena u poglavljima 2 i 4. Kao najprihvatljiviji matematički model, prema postavljenim kriterijima, odabran je matematički model SWAT. Inovativnim pristupom, razvijenim modelom koji je opisan u poglavlju 4 i prikazan na Slici 4-1, definiran je korak potrebe kvantifikacije pritisaka izvora onečišćenja. Modeliranje pritisaka na vodna tijela SWAT modelom, radi unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, objedinjuje veliki opseg svima razumljivih proračuna pružajući holističko tumačenje antropoloških utjecaja na prirodne hidrološke sustave. SWAT model omogućuje i procjenu pritisaka od klimatskih promjena na vodne resurse i poljoprivrednu produktivnost, pa se može zaključiti da se pokazao najprikladnijim za manje prekogranične ruralne riječne slivove.

#### **Rasprava**

Odabran je matematički model SWAT koji koristi javno dostupne podatke. Ukoliko se želi unaprijediti i poboljšati proces modeliranja pritisaka korištenjem matematičkog modela SWAT, potrebno je unaprijediti rad SWAT modela korištenjem podataka unaprijeđenog monitoringa za potrebe modela. Za kvantifikaciju pritisaka iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja odabran je SWAT model radi ostvarenja pouzdanije kvantifikacije pritisaka na vode, kao i mogućnosti povezivanja pritisaka i stanja voda s procjenom utjecaja na vode korištenjem DPSIR pristupa. Navedeno je posebno važno u slučaju nepostizanja dobrog stanja voda i rizika nepostizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. SWAT model integrira sve relevantne ekohidrološke procese, u smislu količine vode (riječni protok, oborinski utjecaj, podzemni tok, korištenje voda, navodnjavanje, akumulacije i jezera), kakvoću vode (vrijeme, erozija, rast biljaka, ciklusi nutrijenata, pesticidi, temperatura tla, upravljanje poljoprivrednim zemljištem, proizvodnja usjeva, upravljanje urbanim zemljištem i agro-okolišne mjere), te utjecaja klimatskih promjena (Gassman P.W. et al., 2007), (Abbaspour, K.C. et al, 2015). Stoga se koristi za izračun TMDL-a i simulaciju primjene različitih mjera, uključujući BMP i BAP. Kao što se navodi u radu Volk M. et al.(Volk M. et al., 2011), SWAT model korišten je za ekohidrološko modeliranje u Njemačkoj, modeliranjem pronosa nutrijenata i sedimenta otjecanjem s područja ruralnog riječnog sliva i uključivanjem podataka o količini i kakvoći vode točkastih izvora onečišćenja, te i izrade različitih scenarija upravljanja kakvoćom voda u kontekstu WFD-a temeljem procjene utjecaja i utjecaje uslijed klimatske promjene, s i bez primjene PoMs-ova. Za

potrebe ovog istraživanja korišten je SWAT 2012 model i ESRI ArcGIS 10.3 softver. Zaključeno je da je nepotrebno isto istraživanje provesti s novijom verzijom SWAT+ modela uz korištenje QGIS-a. Korištenje software-a je usporedivo jer su mnogi istraživači primijenili SWAT 2012 model i predstavili svoja istraživanja, kao što je pojašnjeno u poglavlju br.4.

### **5.1.3. Rezultati i rasprava modeliranja/analize pritisaka i procjene utjecaja**

Modeliranje/analiza pritisaka i procjena utjecaja ima značajno mjesto u ovom istraživanju. Temeljem prikazanog modela, Slika 4-1 u Poglavlju br.4., provedeno je modeliranje s kvantifikacijom pritisaka i procjenom utjecaja i analiza pritisaka i procjena utjecaja. Svako od ključnih tema upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva pridružena je metodologija modeliranja ili analize koja je prilagođena temi. Obrađene su sljedeći planirani koraci i prezentirani rezultati, te provedena rasprava:

1. Odabran je ArcSWAT model s ArcGIS-om, kao izvrstan je alat koji pomaže u boljem razumijevanju korištenja DPSIR pristupa, modeliranje i kvantifikacije pritisaka, te temeljem toga bolje tumačenje procjene utjecaja na vode. Provedeno je modeliranje pritisaka nutrijenata i sedimenta na vodna tijela rijeke Sutle SWAT modelom za sadašnje stanje bez akumulacije – OSNOVNI SCENARIJ.
2. Temeljem rezultata OSNOVNOG SCENARIJA izrađena je procjena rizika eutrofikacije vodnih tijela nizvodno od brane Vonarje. Također, prezentirano je modeliranje Volenweiderovim modelom, prema radu Rismal M. (Rismal M., 2016), te utjecaj unosa nutrijenta u vodna tijela, temeljem kojeg su predložene određene mjere radi smanjenja rizika od eutrofikacije voda.
3. Analizirane su stare zemljopisne karte sliva rijeke Sutle, 1. vojna izmjera i nakon izgradnje brane Vonarje, uzdužni profil rijeke Sutle i poprečni presjeci rijeke Sutle napravljeni u sklopu projekta FRISCO. Izrađena je analiza pritisaka i procjena utjecaja koja je započela je s analizom promjene toka rijeke Sutle u odnosu na 1. vojnu izmjeru i izgradnju brane Vonarje i pregrade Prišlin analizom longitudinalnog profila i poprečnih presjeka vodotoka Sutla. Temeljem provedene analize izrađena je procjena utjecaja promjene karakteristika vodotoka u longitudinalnom smislu i na pojedinim poprečnim presjecima.
4. Provedena je analiza hidromorfoloških pritisaka uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin, procjena utjecaja temeljem pritisaka i hidromorfološkog monitoringa vodnih tijela rijeke Sutle.

5. Modelirani su pritisci i procjena utjecaja unosa sedimenta na vodna tijela SWAT modelom.
6. Analizirani su lokaliteti NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja, te provedena procjena utjecaja zahtjeva njihove zaštite na postizanje dobrog stanja voda i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i mogućnosti korištenja UE-a.
7. Analizirani su pritisci uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje i provedena procjena utjecaja promijenjenog protoka u odnosu na prirodni režim na očuvanje indikatorskih vrsta i postizanje dobrog stanja voda, te definiranje E-protoka.

Detaljni rezultati modeliranja/analiza pritisaka i procjena utjecaja, kao i rasprava dobivenih rezultata opisani su u sljedećim podpoglavljima.

#### **5.1.3.1. Rezultati i rasprava kvantifikacije pritisaka modeliranja SWAT modelom**

##### **Ulazni podaci i baze podataka**

Svi ulazni podaci za korištenje SWAT modela dobiveni su iz službeni izvora javnih podataka. U poglavlju 3 prikupljeni su svi relevantni podaci za opis postojećeg stanja. Također, navedene su sve relevantne vrste, karakteristike i opis, te izvor podataka za modeliranje pojedinih scenarija korištenjem matematičkog modela SWAT. Odabrani su konzistentni, neprekinuti nizovi klimatoloških i hidroloških podataka, te podataka o kakvoći vode, za odabrane mjerne postaje i za razdoblje (2001. – 2014. godine). Za reprezentativne klimatološke podatke odabrani su podaci 3 postaje u Sloveniji i jedne mjerne postaje u Hrvatskoj. Mjerne postaje i niz koji je korišten, preporučeni su u provedbi projekta FRISCO (2014. - 2020. godine) za hidrološko i hidrauličko modeliranje radi provjerenih i pouzdanih nizova podataka. Temeljem metapodataka prikazanih u Tablici 5-3, pripremljeni su podaci za ulazne tablice SWAT modela. Bez unosa obveznih specificiranih podataka, pripremljenih na određeni propisani način, nije moguće provesti modeliranje matematičkim modelom SWAT. Mjerna postaja Zelenjak, jedina je mjerna postaja hidroloških podataka i podataka o kakvoći vode na rijeci Sutli. Za razliku od ostalih hidroloških mjernih postaja, odabrana mjerna postaja Zelenjak kontinuirano djeluje 40-tak godina. Korišten je konzistentan, neprekinut niz od 2001. – 2012. godine u kojem je način prikupljanja, obrada i prezentacija „sirovih“ podataka bila ujednačena. Nakon 2013. godine, i ulaska RH u EU, više se ne prikupljaju svi podaci svake godine. Također, prezentiraju se obrade podataka kao informacije, a ne kao „sirovi“ podaci.

U tablici 5-3 navedene su vrste, karakteristike, izvor i opis podataka, *baze podataka i analiza podataka* korištenih za modeliranje matematičkim modelom SWAT.

Tablica 5-3: Izvori ulaznih podataka za sliv rijeke Sutle

Vrsta podataka	Karakteristike	Izvor	Opis podataka
<b>Topografija (DEM raster)</b>	Slovenija: 25 m Austrija: 1 m	Copernicus land services – Europska agencija zaštite okoliša	nagib
<b>Tla</b>	Slovenija: 1:25000 Hrvatska: 1:25000 Prostorna varijabilnost tla, vrste i svojstva tla	Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i hrane RS; Biotehnički fakultet (Sveučilište u Ljubljana), Agronomski fakultet (Sveučilište u Zagrebu)	prostorna varijabilnost tla, vrste i svojstva tla
<b>Korištenje zemljišta</b>	Slovenija, Hrvatska: 1m vektorski podaci (Grafičke jedinice poljoprivrednog zemljišta) Hrvatska: 100 m Corine Land Cover (CLC) 2012, Version 18.5.1	Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i hrane RS; Hrvatska agencija za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvo i ruralni razvoj, Ribarstvo i ruralni razvoj; Copernicus land services - Europska agencija zaštite okoliša	korištenje zemljišta, klasifikacija zemljišnog pokrova i prostorni prikaz
<b>Informacije o upravljanju zemljištem</b>	/	Poljoprivredna i šumarska komora Slovenije - Poljoprivredna savjetodavna služba; terenski obilazak	rotacija usjeva (sadnja, berba, upravljanje), primjena gnojiva (stopa i vrijeme)
<b>Klima</b>	Slovenija 9 i Hrvatska 3 postaje	Agencija za zaštitu okoliša RS (ARSO), Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ)	dnevne oborine, temperatura (max., min.), relativna vlažnost, vjetar, solarna radijacija od 2001 -2014
<b>Protok rijeke</b>	1 monitoring postaja (HR Zelenjak)	Agencija za zaštitu okoliša RS (ARSO); Hrvatske vode	Dnevni podaci o protoku (m <sup>3</sup> /s) od 2001 - 2014
<b>UPOV</b>	Slovenija: 10 Hrvatska: 2	Agencija za zaštitu okoliša RS (ARSO); Hrvatske vode	Prosječni dnevni protok s orgP, sediment i org. N i ostali pokazatelji
<b>Kakvoća vode</b>	1 monitoring postaja (HR - Zelenjak)	mjesečni monitoring	Uk.ST, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Uk.P, Uk.N (2001 - 2012)

### Ciljne funkcije (engl.: Objective functions) izvedbe modela

*U sklopu postavljanja i evaluacija SWAT modela*, sliv rijeke Sutle podijeljen je na 11 podslivova i 1970 HRU-ova, Slika 4-2. Broj HRU-ova u svakom podslivu određen je minimalnom graničnom površinom od 0%:0%:0% za: klase korištenja zemljišta, tla i klasama nagiba. Veliki broj HRU-ova je u korelaciji s topografijom i nagibom terena, raspršenim poljoprivrednim površinama i 39 tipova tla istraživanog područja. *Analiza osjetljivosti* provedena je korištenjem mjerenih podataka za rijeku Sutlu, i to za najosjetljivije pokazatelje: *prosječni dnevni protok i mjesečni sediment, nitrate i fosfor*. Za *verifikaciju i kalibraciju OSNOVNOG SCENARIJA* postojećeg stanja korišteni su nizovi hidroloških podataka i podataka o kakvoći vode mjerne postaje Zelenjak. *Analiza*

osjetljivosti i kalibracija dnevnog vremenskog koraka protoka provedena je za podsliv 11-ispust za 2009. – 2014., s trogodišnjim razdobljem „zagrijavanja“ (2001. – 2003.) i jednim razdobljem validacije (2004. – 2008.). Analize osjetljivosti i kalibracije mjesečnog vremenskog koraka sedimenta, nutrijenti ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ) i dnevnog protoka vodotoka provedene su za mjernu postaju monitoringa kakvoće voda Zelenjak na protocima podsliva 6 za razdoblje od 2004. do 2012. godine. Kako bi se postigli prihvatljivi rezultati kalibracije i validacije za OSNOVNI SCENARIJ, popis pokazatelja modela je promijenjen sa zadanih na konačne vrijednosti za izvedbu modela za protok. Stoga, za izvođenje kalibracije modela korišteni su najosjetljiviji pokazatelji. Kalibracija se temeljila na službenim podacima praćenja. Prema analizi osjetljivosti, utvrđeno je da je definirani protok osjetljiv na promjene, te je imao najznačajniji utjecaj na izlazne rezultate modela. U Tablici 5-4 navodi se kalibracijske i validacijske vrijednosti izvedbe modela za protok, sediment, nitrati i mineralni fosfor.

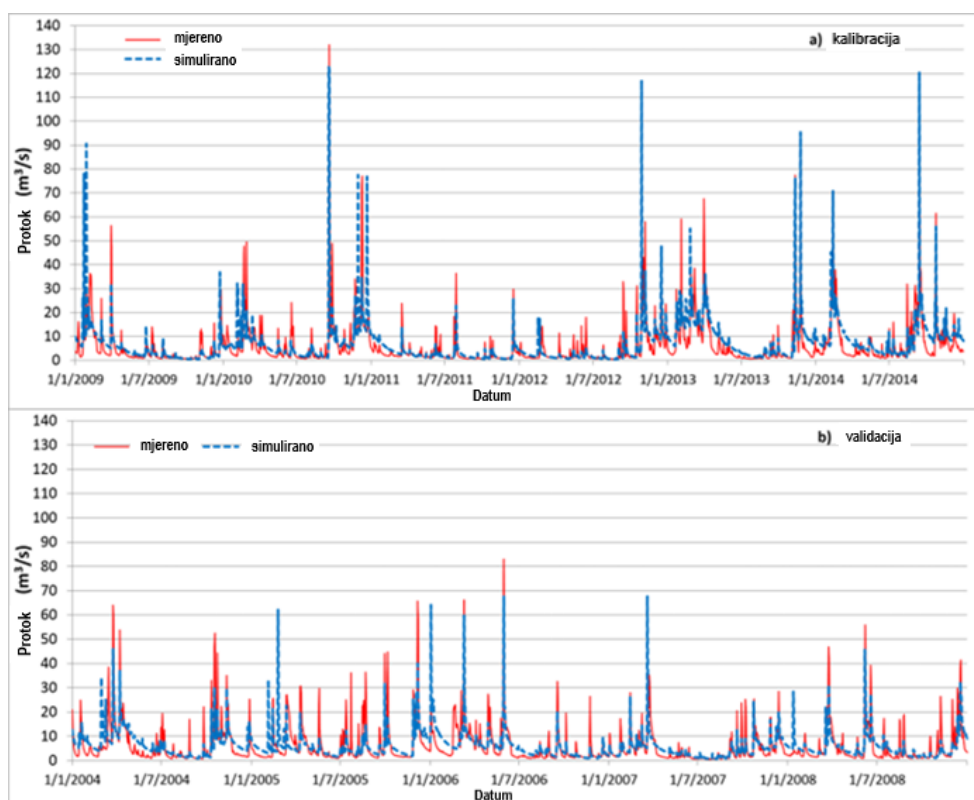
Tablica 5-4: Statističke vrijednosti za kalibraciju za riječni protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (2004. – 2014.) i koncentraciju sedimenta ( $\text{mg/l}$ ), koncentraciju nitrarnog dušika ( $\text{mg/l}$ ) i opterećenje nitrarnog dušika ( $\text{kg/dan}$ ) i opterećenje mineralnim fosforom u rijeci Sutli (2004. – 2012.)

	Ciljne funkcije	
	$E_{NS}$	$P_{BIAS}$
<b>Protok vodotoka (dnevni)</b>		
Kalibracija (2009 – 2014)	0.59	-10.58
Validacija (2004 – 2008)	0.54	0.59
<b>Sediment (mjesečni)</b>		
Kalibracija tereta (2004 – 2012)	0.72	34.35
<b>Nitrati (mjesečno)</b>		
Kalibracija koncentracije (2004 – 2012)	0.82	-1.96
Kalibracija tereta (2004 – 2012)	0.65	31.30
<b>Mineralni fosfor (mjesečno)</b>		
Kalibracija tereta (2004 – 2012)	0.41	2.32

Ciljne funkcije pokazuju da je simulirani ukupni protok unutar prihvatljivog raspona (Tablica 5-4). Tablica 5-4 navodi kalibracijske i validacijske vrijednosti za izvedbu modela za protok. U modeliranju klimatskih promjena parametri SWAT modela nisu mijenjani. Vrijednosti negativnog postotka pristranosti (Negative percent bias:  $P_{BIAS}$ ) ukazuju na malu precijenjenost simuliranih vrijednosti. Vrijednosti Nash-Sutcliffeova učinkovitost (Nash-Sutcliffe efficiency:  $E_{NS}$ ) kreću se od negativne beskonačnosti (loš model) do 1,0 (savršen model) (Moriasi et al., 2007). SWAT modelom simulirani trend protoka je dobar i vrlo dobar, budući da simulirane vrijednosti protoka ne prelaze izmjerene podatke o protoku za više od 15% (Moriasi et al., 2007). Potrebno je naglasiti



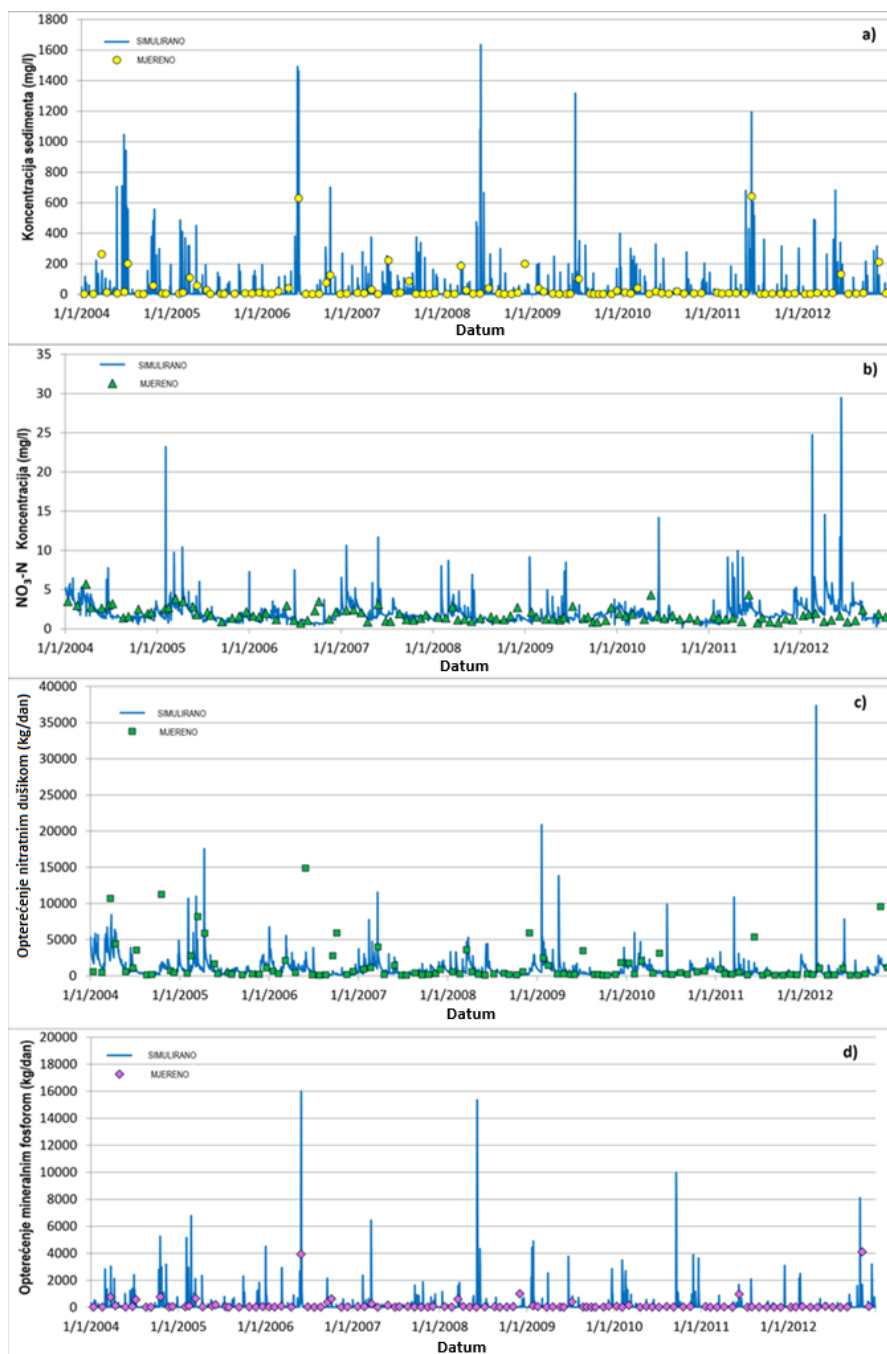
da je  $E_{NS}$  koeficijent koji je vrlo osjetljiv na vrijednosti koje odskoču od prosjeka u odnosu na dobivene rezultate (Krause P. et al., 2005). Prema dnevnom vremenskom koraku,  $E_{NS}$  je u rasponu od vrlo dobrih rezultata za sediment i nitrat-dušik i zadovoljavajućeg za fosfor,  $P_{BIAS}$  je u rasponu od zadovoljavajuće izvedbe modela za sediment i vrlo dobrog za nitrat - dušik i fosfor (Moriassi D.N. et al., 2012). Prvi korak u procesu kalibracije i validacije pri korištenju SWATmodela je određivanje najosjetljivijih pokazatelja za određeni riječni sliv. Za analizu osjetljivosti i kalibraciju koristi se poseban softver nazvan SWAT-CUP, a u sklopu njega postoji algoritam Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) (Arnold et al., 2012; Abbaspour et al., 2007). Na Slici 5-1 napravljen je prikaz s *usporedbom simuliranih i mjerenih vrijednosti, izračunatih temeljem mjerenja, za protok na mjernoj postaji Zelenjak na rijeci Sutli, i to za a) kalibraciju i b) validaciju u rijeci Sutli (2004. – 2012.).*



Slika 5-1: *Usporedba simuliranih i mjerenih vrijednosti protoka za a) kalibraciju i b) validaciju u rijeci Sutli za mjernu postaju Zelenjak na ispustima podsliva 6 sliva rijeke Sutle između 2004. i 2010. godine*

*Kalibracija se temeljila na službenim podacima monitoringa. Kalibracija parametara modela varirala je unutar prihvatljivog raspona sve dok nije postignuta zadovoljavajuća korelacija između izmjerenih i simuliranih podataka. Na Slici 5-2 napravljen je prikaz s usporedbom simuliranih i mjerenih vrijednosti za koncentraciju sedimenta (mg/l),*

koncentracija nitrata (mg/l), opterećenje nitrata (kg/dan) i opterećenje mineralnim fosforom (kg/dan) u rijeci Sutli (2004. – 2012.).

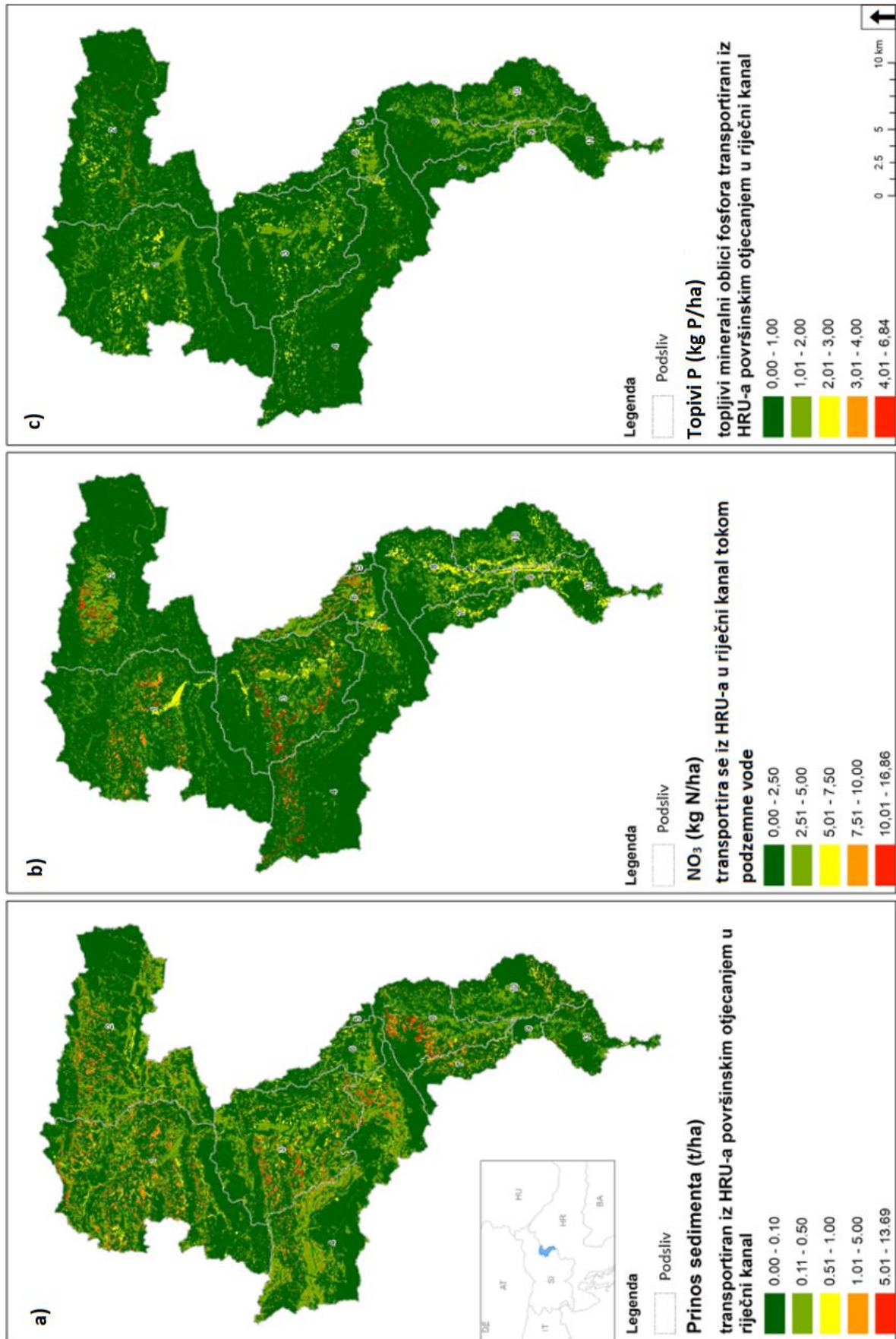


Slika 5-2: Usporedba simuliranih i mjenjenih a) koncentracija sedimenta, b) koncentracije nitrata, c) opterećenja nitrata i d) opterećenja mineralnog fosfora u rijeci Sutli za postaju Zelenjak na ispustima podsliva 6 sliva rijeke Sutle između 2004. i 2010. godine

Nakon završetka kalibracije OSNOVNOG SCENARIJA, pokazatelji su ostali definirani za daljnje korištenje pri modeliranju ostalih scenarija. Nakon što je kalibracija osnovnog scenarija završena, pokazatelji su ostali fiksni za daljnju upotrebu u modeliranju scenarija. *Rezultati validacije u ovom istraživanju u skladu su s rezultatima kalibracije.*

## **OSNOVNI SCENARIJ za sliv rijeke Sutle – scenarij postojećeg stanja**

Temeljem metodologije iz poglavlja 4., prostorni prikaz simulacija pritisaka sedimenta, nitrat-dušika i fosfora u slivu rijeke Sutle prikazani su na Slici 5-3.



Slika 5-3: Prosječni godišnji prinos a) sedimenta (t/ha/god), b) prinos nitrata (kg N/ha/god) i c) prinos topivog fosfora (kg P/ha) transportiranih u glavni vodotok rijeku Sutlu iz hidroloških jedinica podslivova (HRU-a).

Prosječni godišnji prinosi sedimenta na razini HRU-a podijeljen je u šest klasa, radi preglednijeg prikaza, a nitrat- dušika i fosfora na razini HRU-a u pet klasa, te prikazani na Slici 5-3. Crvena boja predstavlja područja s kritičnom razinom izračunatog transporta sedimenta i nitrata-dušika i fosfora iz HRU-ova, definirana su kao kritična područja izvora (engl.: critical source areas, CSA), te određena analizom područja izvora pritiska i područja pronosa nutrijenata i sedimenta povezana s vodnim tijelima u OSNOVNOM SCENARIJ. Na primjer, HRU-ovi kod kojih je godišnji prosječni godišnji prinos sedimenta transportiranih u glavni vodotok veći od 0,5 t/ha i prosječno prinos nitrat-dušika transportiranog u glavni vodotok od pritiska putem podzemnih voda veći od 5 kg/ha, označeni su kao CSA. CSA područja imaju erozijski nestabilnu geologiju i tipove tla podložne eroziji tla, te su jako podložna djelovanju sila pod utjecajem vremenskih prilika. Na prostornu varijabilnost prinosa sedimenta utječu mnogi čimbenici, posebice korištenje zemljišta, praksa gospodarenja zemljištem, nagib i karakteristike tla. Utjecaj gospodarenja zemljišta na eroziju i ispiranje dušika, kao i njihovi grafički prikazi, uvelike ovise o točnosti prostornih i atributnih podataka korištenih u procesu modeliranja. Ova područja imaju geološke tipove tla koji su podložni eroziji tla i zbog toga podložni djelovanju vremenskih sila. Na prostornu varijabilnost pronosa sedimenta i nutrijenata utječu mnogi čimbenici, a posebice korištenje BAP-a, te nagib i karakteristike tla. Kvaliteta grafičkog prikaza ovisi o točnosti prostornih i atributnih podataka korištenih u procesu modeliranja. U Tablici 5-5 mogu se vidjeti numerički modelirani ( modelom SWAT) HRU rezultati za OSNOVNI SCENARIJ - sadašnji u razdoblju između 2004. – 2014. godine.

Tablica 5-5: Numerički modelirani HRU rezultati za OSNOVNI SCENARIJ - sadašnji u razdoblju između 2004.-2014. godine (Ćosić-Flajsig G. et al., 2021)

Korištenje zemljišta	Prosječan prinos sedimenta (t/ha)	Prosječan prinos nitrata (kg N/ha)	Prosječan prinos topivog P (kg P/ha)
Obradivo tlo	1,91	3,61	1,80
Voćnjak	0,02	4,54	0,78
Travnjak	0,08	0,76	0,31
Šuma	0,02	0,61	0,08
Vinogradi	3,51	3,83	0,69
Urbano područje	0,23	0,21	0,31
Voda	0,00	0,00	0,00
Močvare	0,08	0,93	0,29
<b>Ukupni prosjek za riječni sliv</b>	<b>0,78</b>	<b>1,97</b>	<b>0,60</b>

Izvor nastanka sedimenta u ovom riječnom slivu je prostorno heterogen i u prosjeku iznosi 0,78 t/ha/god. Istraživanje pokazuje da u pojedinim HRU-ovima prinos

sedimenta može doseći i do 31,61 t/ha/godišnje (Tablica 5-5, Slika 5-3). Ova vrijednost također može biti prekoračena tijekom razdoblja obilnih oborina. Najveća količina sedimenta pronosi/transportira se iz vinograda (3,5 t/ha/god.), a slijede obradiva tla - oranice (1,91 t/ha/god.) (Slika 5-3). Područja s oranicama, a posebno ona na plićim tlima i na nizinskim pjeskovitim tlima, izložena su ispiranju dušika i fosfora koje završava u glavnom vodotoku, rijeci Sutli. Njihovi izvori, u ovom riječnom slivu, prostorno su koncentrirani na poljoprivrednom zemljištu i u prosjeku iznose 1,97 kg N/ha/god. i 0,59 kg P/ha/god. Ovo istraživanje pokazuje da u određenim HRU-ima prinos nitrata i topivog mineralnog fosfora mogu doseći i do 54,53 kg/ha/god. odnosno 12,99 kg/ha/godina (Slika 5-3). Prosječna najveća količina nitrarnog dušika prenosi se iz voćnjaka (4,54 kg/ha/god), zatim iz vinograda (3,83 kg/ha/god) i oranica (3,61 kg/ha/god). S druge strane, prosječno najveća količina topljivog fosfora u mineralnim oblicima prenosi se u glavni kanal iz oranica (1,8 kg/ha/god), zatim iz voćnjaka (0,78 kg/ha/god) i vinograda (0,69 kg/god). **Rezultati modeliranja za razdoblje istraživanja, između 2004. i 2014. godine, pokazali su da se u prosjeku može očekivati gotovo 14.000 t/god sedimenta, 1741 t/god Uk.N i 125 t/god Uk.P na ušću Sutle u rijeku Savu.** Također, rezultati su pokazali da glavni točkasti izvori onečišćenja (UPOV-i) u normalnim uvjetima doprinose minimalnim količinama N (10,75 t/god) (0,62%) i P (4,29 t/ god), (3,43%).

## Rasprava

Prema predloženoj metodologiji istraživanja, prikazanoj dijagramom toka razvijenog modela integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva (Slika 4-1) i shemi različitih scenarija integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela (Slika 4-6), provedeno je istraživanje korištenjem ulaznih podataka i baza podataka. Rezultati izračunatih pritisaka sedimenta, nitrarnog dušika i fosfora u slivu rijeke Sutle prikazani su numerički i prostornim i prikazima. *Nadzorni monitoring* osigurao je sve ulazne podatke koji se koriste, *no* potrebno je nastaviti s prikupljanjem novih podataka *da bi se unaprijedila kvaliteta rezultata* SWAT modela. U odnosu na rezultate *OSNOVNOG SCENARIJA*, glavni izvor onečišćenja *uk. N-om* u slivu rijeke Sutle je otjecanje s poljoprivrednog zemljišta i šuma. *Obzirom na lokaciju Prišlin u odnosu na topografiju riječnog sliva, i ulogu pregrade za smanjenje unosa nanosa u akumulaciju Vonarje/Sutlansko jezero, mjereni podaci pokazuju umjereno do loše stanje voda i kakvoću sedimenta koja označava antropogeni utjecaj.* To je potvrdila i procjena pronosa nutrijenata i nanosa u slivu koji nastaje uslijed korištenja zemljišta, te točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, korištenjem matematičkog modela SWAT.

U radu Ćosić-Flajsig et al. (Ćosić-Flajsig et al., 2021) na lokaciji mjerne postaje Prišlin utvrđene su najveće količine nutrijenata i nanosa (t/god). Upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, temeljem razvijene metodologije i izradom OSNOVNOG SCENARIJA SWAT modelom, omogućuje se provođenjem odgovarajućih mjera smanjenja unosa nanosa i nutrijenata na lokaciji Prišlin. Potvrdu razvijene metodologije upravljanja kakvoćom voda ruralnog riječnog sliva korištenjem SWAT modela i slične rezultata modeliranja SWAT modelom može se naći u radovima autora koji su istraživali male ruralne riječne slivove, poput (Szmarinska K. et al., 2009), kao i velike riječne slivove poput (Piniewski, M. et al., 2017), (Epelde, A.M. et al., 2015) i (Čerkasova N et al., 2018). Svi oni ukazuju na najveći doprinos procijenjenih pritisaka sedimenta, N-a i P-a od raspršenih izvora onečišćenja, pri čemu se jedinični pritisak (kg/ha/god), kao i ukupni pritisak razlikuje ovisno o korištenju zemljišta, poljoprivrednim kulturama, pokrivenosti šumskim površinama, te o topografiji terena riječnog sliva.

#### **5.1.4. Rezultati i rasprava modeliranja pritisaka nutrijentima SWAT modelom i Vollenweiderovim modelom radi procjene rizika od eutrofikacije voda**

Nakon izgradnje brane Vonarje 80-tih godina 20. stoljeća, stvorena je akumulacija Vonarje/Sutlansko jezero, volumena 12.4 milijuna m<sup>3</sup> (detaljno u podpoglavlju br.3.4.). Cilj izgradnje akumulacije bio je osigurati vodu za javni vodoopskrbni sustav za hrvatska i slovenska naselja, navodnjavanje poljoprivrednih površina, uz istovremeno retenciranje vode u svrhu zaštite od poplava nizvodnih područja. Ubrzo nakon punjenja, akumulacija je eutrofizirala uslijed unosa nutrijenata i organskog onečišćenja iz točkastih i raspršenih izvora, pa je ispražnjena 1988. godine i sada funkcionira kao retencija, (FRISCO 2.1., 2014.-2020.) Analizirani su rezultati modeliranja pritisaka nutrijentima SWAT modelom i Vollenweiderovim modelom eutrofikacije, prema radu Rismal M., (Rismal M., 2016) i procjena rizika eutrofikacije vodnih tijela nizvodno od brane Vonarje. Utjecaji organskog onečišćenja na vodni okoliš koji su uzrokovani: ispuštanjem komunalnih otpadnih voda bez ili s UPOV-om, industrijskih otpadnih voda i utjecaj sa poljoprivrednih površina, uključuje smanjenje kakvoće prema kemijskim i biološkim pokazateljima i smanjenje biološke raznolikosti vodnih ekosustava i mikrobiološke kakvoće vode. Povećanje industrijske i poljoprivredne proizvodnje, zajedno s porastom broja stanovnika priključenih na javnu odvodnju, rezultira povećanjem ispuštanja organskog onečišćenja i nutrijenata u površinske vode. *Prema rezultatima SWAT modela iz prethodnog podglavlja 5.1.3.1., Slika 5-3, glavni izvor onečišćenja dušikom je oborinski utjecaj sa poljoprivrednih površina, dok fosfor većinom dolazi iz kućanstava i industrije.* Ovim istraživanjem,



željelo se *modelirati pritiske i procijeniti utjecaje* radi provedbe odgovarajućih mjera kojima će se izbjeći nova moguća pojava eutrofikacije. Eutrofikacija je pojava koja predstavlja jedan od najvećih izazova upravljanja vodama. U slučaju prekograničnog riječnog sliva, izazov je još veći zbog niza čimbenika koji se odnose na različitost upravljanja vodama, pristupe, interese i scenarije razvoja za riječni sliv. *Pokazatelji utjecaja* koji se koriste vezano uz eutrofikaciju, razlikuju se ovisno o kategoriji vode, ali su izravno (biološki pokazatelji) ili neizravni (fizičko-kemijski pokazatelji na koje utječu biološki procesi) osjetljivi na nutrijente (EEA, 2016). Neuravnotežen ekosustav i promjena kemijskog sastava čine vodno tijelo neprikladnim za rekreacijske i druge svrhe, kao što su uzgoj riba, a voda postaje neprihvatljiva za korištenje čovjeka.

### **Rezultati analize indeksa bioloških elemenata kakvoće vode, alge kao indikatori eutrofikacije**

Pritisci nutrijenata, N iz poljoprivrednih aktivnosti i P iz točkastih izvora, ulaskom u vode u kritičnom omjeru mogu uzrokovati eutrofikaciju slatkovodnog ekosustava. Analizu rezultata SWAT modela, uključujući dostupne podatke o kakvoći vode na temelju nadzornog monitoring sustava, provele su Hrvatske vode. *Analizirani su rezultati istraživačkog biološkog monitoringa, te je izvršena analiza indeksa bioloških elemenata kakvoće vode i prisutnosti algi kao pokazatelja eutrofikacije.* Trofički indeks dijatomeje (*Trophic Diatom Indeks: TDI*) je pokazatelj koji ukazuje na opterećenje vodnog tijela nutrijentima i povećanom temperaturom vode, tj. razinu trofije na temelju prisutnosti vrsta dijatomeja (algi) (Rott et al., 1999). Saprobni indeks (saprobnost) (*saprobic indeks: SI*) je multimetarski indeks koji označava količinu nutrijenata u vodotoku (Pantle & Buck, 1955; Zelinka & Marvan 1961). SI je izračunat prema revidiranim saprobnim vrijednostima za svaku vrstu dijatomeja (alge) prema hrvatskom HRIS (Hrvatski saprobni indeks) indikatorskom sustavu (Primc-Habdija et al., 2003). Nedijatovski indeks (non-Diatom indeks: NDI) daje informacije o prisutnosti i postotku svih skupina algi (osim dijatomeja) u jednom uzorku. Naime, prisutnost Cyanobacteria i Chlorophyta može značiti značajno povećanje razine trofije/saprobnosti. Zbog biološke procjene samo temeljem TDI-a ocjena kakvoće može biti upitna, posebice na degradiranim mjestima. Za klasifikaciju biološkog stanja važno je definirati Ekološki omjer kakvoće (engl.: *Ecological Quality Ratio: EQR*). Naime, vrijednosti svakog korištenog indeksa značajno se razlikuju, te je bilo potrebno vrijednosti preobraziti u usporediv oblik, tj. stvarne vrijednosti indeksa pretvaraju se u vrijednosti između 0 i 1 (1 je najkvalitetnija, a 0 najlošija kvaliteta). Vrijednosti **EQR za TDI i SI indeks** za mjernu postaju kakvoće voda **Sutla-Prišlin za 2012.** godinu (Slika 3-26 i Podpoglavlje



3.3.), kada su Hrvatske vode provodile redoviti biološki monitoring, bile su 0,38, što ukazuje na **loše stanje vode**, dok su vrijednosti za **SIPB i SIHRIS** 0,74, što ukazuje na **dobro stanje vode**. Vrijednosti **EQR za TDI i SI indeks** za mjernu postaju kakvoće voda **Sutla-Zelenjak** za 2012. godinu (Slika 3-26 i Podpoglavlje 3.3.) kada se provodio redoviti nadzorni monitoring, iznosile su 0,69, što ukazuje na **dobro stanje voda**. Vrijednosti za **SIPB i SIHRIS**, koje su iznosile 0,77, također ukazuju na **dobro stanje voda**. Vrijednosti **EQR za TDI i SI indeks** za mjernu postaju kakvoće voda **Sutla-Harmica** za 2012. godinu, kada se provodio redoviti nadzorni monitoring iznosile su 0,68, što ukazuje na **dobro stanje vode**, Vrijednosti za **SIPB i SIHRIS** su 0,75 i također su ukazivale na **dobro stanje voda**. Vrijednosti **EQR za NDI** za sve tri mjerne postaje kakvoće voda (**Sutla-Prišlin, Sutla-Zelenjak i Sutla Harmica**) bile su 0,3 i ukazivale na **loše stanje vode** (Ćosić-Flajsig et al., 2017). Korišteni indeksi, TDI, SI i NDI ukazuju na *porast razine trofije na mjernoj postaji Prišlin*, što je bilo posebno uočljivo iz TDI, NDI i lošeg stanja vode. Podaci *mjerne postaje Prišlin pokazuju najlošiju kakvoću vode radi opterećenja nutrijentima* uslijed dva veća naselja s industrijskim područjima uzvodno i povećanim unosom nutrijenata sa poljoprivrednih i šumskih površina radi topografije terena riječnog sliva. S druge strane, mjerne postaje Zelenjak i Harmica pokazale su dobro stanje vode (Ćosić-Flajsig et al., 2017). Napomena: Za razdoblje do 2012. godine od Hrvatskih voda su se mogli pribaviti originalni podaci mjerenja putem nadzornog monitoringa, a nakon toga dostupne su samo informacije vezane uz redoviti nadzorni monitoring i informacije o provedenim ciljanim istraživanjima.

## Rasprava

Rad Rismal M., (Rismal M., 2016) nastao je potaknut idejom ponovnog ojezerenja i uspostave Sutlanskog jezera. Prikazanim modelom u radu željelo se ukazati na potrebu primjene mjera smanjenja točkastih izvora onečišćenja, i to izgradnjom UPOV-a i dogradnjom UPOV-a na 3. stupanj pročišćavanja. Kao dodatna, inovativna mjera predložena je izgradnja tlačnog cjevovoda pročišćenih otpadnih voda aglomeracije Rogaška Slatina koji zaobilazi Sutlansko jezero duljine 6,5 km s ispustom nizvodno od brane Vonarje. Radi se o relativno skupom rješenju. Istovremeno, u istraživanju nije dovoljno posvećena pozornost raspršenim izvorima onečišćenja. Napravljena je računaska procjena koja je ukazala na njihov vrlo mali utjecaj, dok temeljem rezultata SWAT modela modeliranjem zaključeno: „Prema rezultatima SWAT modela iz podglavlja 5.1.3.1., Slika 5-3, glavni izvor onečišćenja dušikom je oborinski otjecaj sa poljoprivrednih površina, dok fosfor većinom dolazi iz kućanstava i industrije“. Uz prekomjerni unos organskih tvari i nutrijenata, kod

nepovoljnih uvjeta koncentracije kisika zbog visokih temperatura i niskog protoka vode, rizici eutrofikacije voda u rijeci Sutli su visoki. Provedeno modeliranje putem Vollenweider-eva limnološkog modela, koji je proveo Rismal M. u svom radu (Rismal M., 2016), doprinosi razumijevanju procesa eutrofikacije, iako se radi relativno jednostavnom proračunu. Proračun je usmjeren isključivo na P, dok rezultati SWAT modela ukazuju na problem unosa nutrijenata, posebno N-a, sa poljoprivrednih površina. Model je precizniji za točkaste izvore onečišćenja, a za raspršene izvore onečišćenja procijenjen je kao utjecaj P-a sa poljoprivrednih površina kategoriziranih prema vrsti poljoprivrednog zemljišta. Inovativna ideja o izgradnji tlačnog cjevovoda pročišćenih otpadnih voda UPOV-a Rogaška Slatina, uz povećanje kapaciteta UPOV i izgradnje 3. stupnja pročišćavanja otpadnih voda, čiji ispušt je planiran ispod brane Vonarje vrlo je zanimljiva, no postavlja se pitanje ekonomske opravdanosti obzirom na duljinu cjevovoda. Ukoliko se provede ponovna uspostava Sutlanskog jezera predložena rješenja potrebno je analizirati, i to zajedno s prijedlogom povećanja visine brane Vonarje s rješenjem bočnog preljeva. Modeliranje procesa eutrofikacije pomoću SWAT modela, iako postoji ekstenzija SWAT-a za eutrofikaciju, nije bilo moguće provesti jer ne postoji mjereni podaci razine vode u jezeru i kakvoće vode za razdoblje intenzivnih procesa eutrofikacije u razdoblju 1987. – 1989. godine. Glede provedbe potrebnih mjera, planirani prioritet je smanjiti točkaste izvore onečišćenja izgradnjom UPOV-a, a posebno UPOV-a III. stupnja pročišćavanja otpadnih voda u Rogaškoj Slatini kojim će su umanjiti unos nutrijenata. Očekuje se da će se navedeno realizirati do konca 2023. godine, no ostaje problem onečišćenja sa poljoprivrednih površina. Utjecaj korištenja zemljišta na pronos nutrijenata oborinskim utjecajem sa šumskih i poljoprivrednih zemljišta uspješno je moguće smanjiti provedbom zelene infrastrukture i agro-okolišnih mjera, kao što je prikazano u poglavlju 4.1.9.

Za razdoblje od 2004. do 2012. godine, monitoring kakvoće voda pokazao je povišene vrijednosti TDI i NDI u rijeci Sutli. U budućnosti, potrebno je provesti detaljnija istraživanja bioloških elemenata kakvoće voda, posebice perifitonske i makrofitne vegetacije, koji su u izravnoj vezi s eutrofikacijom. Također, potrebno je uspostaviti nadzorni monitoring karakterističnih pokazatelja eutrofikacije radi identifikacije kritičnih procesa i njihove specifičnosti za različite kategorije vodnih tijela. Koristeći sustav indikatora koji objašnjava uzročnu vezu procesa eutrofikacije, poseban naglasak treba staviti na *analizu bioloških pokazatelja kakvoće vode, i to: indikatore izravnih učinaka unosa nutrijenata: fitobentos, fitoplankton, makrofite, povećanje zamućenosti i smanjenje svjetlosne prozirnosti, te indikatore neizravnih učinaka unosa nutrijenata:*

*promjena staništa, toksini algi i organske tvari koje utječu na makrobekralješnjake i ribe (ETC/ICM Technical Report, 2016). Preporuča se koristiti sljedeće indikatore eutrofikacije:*

- pritisak za sva vodna tijela: emisije nutrijenata,
- stanje za sva vodna tijela: koncentracije fosfora (ukupni P, ortofosfat), koncentracije dušika (ukupni N, NO<sub>3</sub> - nitrati),
- utjecaj za sva vodna tijela: ekološko stanje i makrozoobentos (sastav zajednice, biomasa), phytobentos (sastav zajednice bentoskih algi),
- utjecaj za vodna tijela jezera: fitoplankton (klorofil a, biovolumen) i dubina Secchi,
- makrofiti (manja dubina rasta i sastav zajednice)
- *utjecaj za vodna tijela stratificiranih jezera: koncentracije kisika na dnu jezera (FAO,1998). Utjecaj unosa nutrijenata na vodne ekosustave i navedeni indikatori utjecaja na vode u različitim scenarijima razvoja ključni su za predlaganje mjera, a takav pristup potvrđen je u radovima (McQuatters-Gollop, A., et al, 2009) (Dupas R. et al., 2015).*

#### **5.1.5. Rezultati i rasprava analize procjene utjecaja promjene toka rijeke Sutle**

Rijeka Sutla je stoljećima bila granična rijeka, a detaljan opis njezine uloge izrađen je u Poglavlju br. 3. Procjena promjene toka rijeke Sutle, u odnosu na 1. vojnu izmjeru i izgradnju brane Vonarje i pregrade Prišlin, izrađena je analizom longitudinalnog profila i poprečnih presjeka rijeke Sutle. Pedesetih godina 20. stoljeća izveden niz manjih parcijalnih zahvata na stabilizaciji korita (pragovi, obaloutvrde, uzdužne građevine i sl.), kako sa slovenske, tako i sa hrvatske strane, od kojih je dio doveden u doprirodno stanje, dio uništen, a dio je i danas moguće detektirati i obavlja svoju funkciju. *Najznačajnija hidrotehnička građevina izgrađena 80-tih godina 20. stoljeća je brana Vonarje, a nakon toga pregrada Prišlin radi zadržavanja nanosa kako se akumulacija ne bi zapunila.* Posljednjih dvadesetak godina od hidrotehničkih radova na Sutli se provode radovi gospodarskog i tehničkog održavanja u skromnom obimu. Gospodarsko održavanje uključuje košnju i sječu raslinja na kraćim dionicama uz naseljena mjesta i na graničnim prijelazima, a tehničko održavanje sanaciju erozijskog djelovanja voda, izgradnjom kraćih obaloutvrda. Od zaštitnih vodnih građevina najznačajniji su nasipi, a najznačajnija regulacijska i zaštitna vodna građevina na Sutli je brana Vonarje, nekada akumulacija Sutlansko jezero, a danas retencija. Osnovna namjena joj je zadržavanje velikog vodnog vala rijeke Sutle i povećanje zaštite od poplave nizvodnih naselja (Projekt FRISCO 2.1., 2014.-2020.).

Sutla u svom gornjem toku ima veliki uzdužni nagib i bujični tok, dok se u srednjem toku uzdužni nagib vrlo brzo smanjuje i prelazi u nizinski tok s velikim zavojima – meandrima. Korito rijeke Sutle karakterizira obraslost gustim raslinjem (drveće i šibljje) na većem dijelu toka, što uzrokuje formiranje „čepova“ koji kod velikih voda u Sutli uzrokuju lokalna plavljenja. Također je prisutna i česta pojava erozija pokosa korita na konkavama krivina, uslijed čega dolazi do značajnog meandriranja korita i šteta na okolnom zemljištu (Projekt FRISCO 1., 2014.-2020.). Gotovo cijelim tokom rijeke Sutle, kod pojave velikih voda, dolazi do izlivanja iz korita i plavljenja okolne površine (u pravilu poljoprivredne) i na hrvatskoj i na slovenskoj strani. Na dijelovima uz naselja i prometnice izgrađeni su, ili su planirani, hidrotehnički zahvati radi obrane od poplave.

Analizom longitudinalnih profila usporedbom s prethodnim radovima nisu ustanovljene značajne promjene u odnosu na “prirodno stanje vodotoka”, osim na lokacijama pregrade Prišlin i brane Vonarje. U sklopu projekta FRISCO1 provedeno je geodetsko snimanje 280 poprečnih riječnih profila na Sutli. Mjerenje je izvršila Agencija za okoliš Republike Slovenije. Iz točaka izmjerenih na terenu izrađeni su i analizirani poprečni profili i longitudinalni profil Sutle. Za sve profile izrađen je grafički crtež u odabranom mjerilu s označenim i prikazanim vodostajem u trenutku mjerenja. Rezultati mjerenja profila prikupljaju se u bazi podataka JT1 i objavljuju u Web Vieweru i pod Rezultatima projekta na web stranici projekta <http://frisco-project.eu>. Analiza poprečnih profila izvršena je usporedbom prethodnog i postojećeg stanja dobivenog u sklopu projekta FRISCO1, i to na lokacijama hidroloških mjernih postaja na kojima su postojali karakteristični poprečni profili. Nisu uočene značajne promjene u odnosu na prethodno “prirodno stanje vodotoka”.

## **Rasprava**

Rezimirajući analizu provedenu za sliv rijeke Sutle, pripremljen je generalizirani DPSIR model s posebnim naglaskom na kakvoću vode, rizik ne postizanja dobrog stanja voda i rizik od eutrofikacije. Poljoprivreda, stanovništvo (otpadne vode) i promjene protoka su ozbiljne pokretačke sile koje vrše pritisak na vodni sustav mijenjaju njegovu biološku raznolikost. Izgradnja brane Vonarje na rijeci Sutli, te nakon toga izgradnja pregrade Prišlin, smatraju se najznačajnijim hidrotehničkim radovima, osim aktivnosti koje su provođene u svrhu obrane od poplava. *Unatoč tome, rijeka Sutla je u svom najvećem dijelu zadržala svoj prirodni tok, što potvrđuje i činjenica da je cijeli tok rijeke Sutli pod zaštitom lokaliteta NATURA 2000. Obnova rijeke, u skladu s vodećim načelima za renaturalizaciju rijeka, mora biti pripremljena u smislu*

*revitalizacije uloge očuvanja prirode koje uključuju važnost korištenja prirodnih retencija i upravljanja kakvoćom vode.* Kod obnove kontinuiteta rijeke uklanjanje barijera je najučinkovitije rješenje prolaza riba unutar riječnog koridora, no na rijeci Sutli je 2019. godine obnovljena brana unutar istih gabarita. Stoga, u budućnosti, ukoliko se uspostavi Sutlansko jezero potrebno je *primijeniti rješenje smanjenja utjecaja brane i povećanja uzdužnog kontinuiteta vodotoka postavljanjem riblje staze za migraciju riba uzvodno.* Navedeno bi pogodovalo reofilnim vrstama riba, a navedenom mjerom restauracije uvjetovalo bi se i povećanje mikrostaništa što bi vjerojatno dovelo do povećanja raznolikosti vrsta, dok bi se na određenim reguliranim dijelovima rijeke Sutle trebalo vratiti meandre tamo gdje su oni postojali prije reguliranja.

#### **5.1.6. Rezultati i rasprava analize hidromorfoloških pritisaka procjena utjecaja uslijed izgradnje brane Vonarje i pregrade Prišlin**

Ocjena općeg hidromorfološkog stanja temeljila se na dostupnim podacima za kakvoće voda prema europskoj normi EN15843 (HRN EN 15843:2010), kao i na propisanoj Metodologiji praćenja i vrednovanja hidromorfoloških pokazatelja (Hrvatske vode, 2016). Sukladno Vodiču o kemijskom monitoringu sedimenta i biote u sklopu EU WFD-a (WFD CIS Guidance No.25.,2010), **procjena općeg hidromorfološkog stanja** temeljila se na dostupnim podacima hidromorfoloških elemenata vezanih uz kakvoću voda, a obuhvaćaju ju sljedeći elementi: tlocrt vodnoga tijela, presjek korita, količina prirodnog i umjetnog materijala, struktura obale i promjene na obali, tip/sastav vegetacije, stupanj bočne povezanosti rijeke i naplavne nizine, itd. Sutla je pogranični vodotok Hrvatske i Slovenije, pa je svaka država definirala svoj nadzorni monitoring voda, mjerne postaje i vodna tijela. Hrvatska je proglasila šest vodnih tijela na rijeci Sutli i jedno vodno tijelo na pritoci Sutlišću. Slovenija je proglasila dva vodna tijela na rijeci Sutli i tri vodna tijela na pritokama Mestinjščica i Bistrica. U Tablici 3-8, u poglavlju br. 3, prikazani su podaci o vrsti monitoringa (hidrologija, kakvoća vode, hidromorfologija i sediment), mjerne postaje i pripadajuća vodna tijela rijeke Sutle za Hrvatsku i Sloveniju. Hidromorfološki monitoring i procjena sedimenta, koji su uključeni u nadzorni monitoring 2016. godine, provodi se svakih 5 godina, te su uspostavljene hidromorfološke mjerne postaje na rijeci Sutli: Luke Poljanske, Zelenjak i Harmica. U Tablici 3-9, poglavlje br.3, prikazane su lokacije i vrsta mjernih postaja: hidrologije, kakvoće voda, hidromorfologije i sedimenta, te vodnih tijela i ocjena stanja voda i vodnog režima za hrvatske mjerne postaje. Ocjena stanja voda na hidromorfološkim mjernim postajama ocijenjena je za mjernu postaju Luke Poljanske kao dobro stanje voda, mjernu postaju Zelenjak kao dobro stanje voda i mjernu postaju Harmica kao

umjereno dobro stanje voda. Ukupna hidromorfološka procjena za mjernu postaju Luke Poljanske, koja se nalazi nizvodno od brane Vonarje, ima neznatno promijenjen hidrološki režim, dobro stanje voda i neznatno promijenjeno stanje sedimenta.

## **Rasprava**

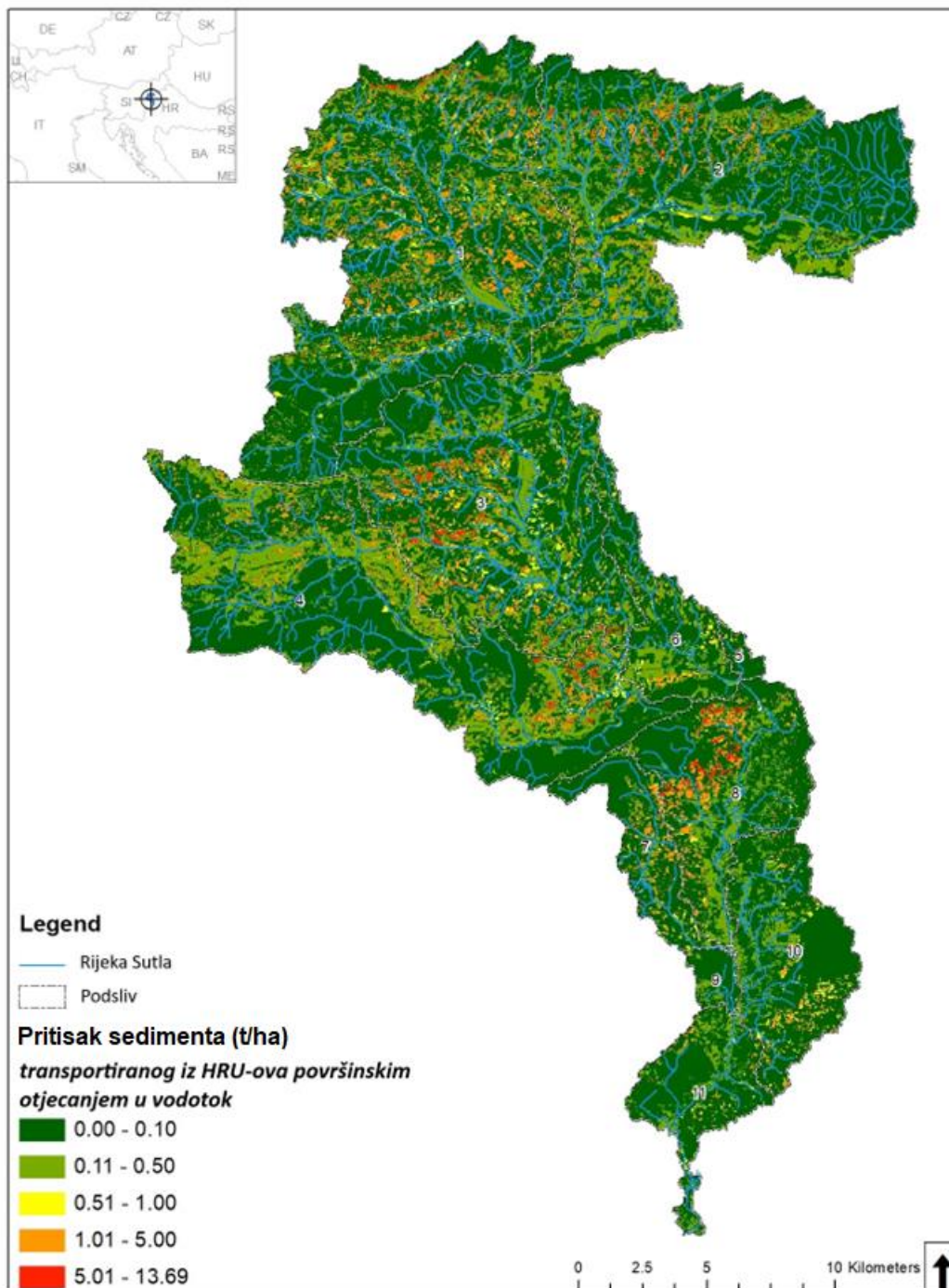
Izgradnjom brane Vonarje i uslijed antropogenih pritisaka došlo je do narušavanja prirodnog hidrološkog režima, te značajnog smanjenja pronosa suspendiranog nanosa u odnosu na razdoblje prije izgradnje objekata. Obzirom da je nizvodno od brane Vonarje smanjen donos novog materijala, voda svojom erozijskom aktivnošću produbljuje korito. Izmjene u ravnoteži pronosa nanosa uzrokuju hidromorfološke promjene u koritu, produbljivanje riječnog korita i urušavanje obala, stvaranje uspora i povećanje brzina tečenja u vodotoku pod čijim se djelovanjem javljaju lokalne erozije, uz istovremeno taloženje finog pijeska i mulja na obalama nizvodno. Također, lokalni erozijski procesi i produbljivanje dna može dovesti do narušavanja stabilnosti konstrukcija hidrotehničkih građevina. Prema opisu poglavlja 3, Sutlansko jezero trenutno funkcionira kao retencija, a postoje planovi za ponovnim ojezerenjem od kojih je Vlada Slovenije trenutno odustala. Praćenje hidromorfološkoga stanja putem mjerne postaje za koju je procijenjeno da najbolje definira promjene u vodnom tijelu kojem pripada, iznimno je važno. Procjena pojedinog tipa supstrata sedimenta preuzeta je iz Priručnika za AQEM metodologiju (AQEM Consortium, 2002) i prikazana u poglavlju 3.3.1.2. Značajke i ocjena hidromorfološkoga stanja rijeke Sutle. WFD razvija koncepciju ekološkog stanja kakvoće vode na temelju stanja bioloških, hidromorfoloških i osnovnih fizikalno-kemijskih elemenata kakvoće, stoga nije moguće postići dobro stanje voda na mjernim postajama Pršlin i Harmica ukoliko postoji antropogeni pritisak koji uzrokuje hidromorfološki pritisak i postoji utjecaj na hidromorfološke pokazatelje. Povećani utjecaj klimatskih promjena i varijacije u količini vode u hidrološkoj godini mogu dodatno promijeniti prirodu hidrološkog režima u riječnom slivu, transport nutrijenata i sedimenta, a time i utjecati na upravljanje kakvoćom voda u riječnom slivu. Navedeno ukazuje da će analize hidromorfoloških pokazatelja u budućnosti biti još značajnije, posebice iza zradu prognostičkih modela vezanih uz utjecaje klimatskih promjena. Posljedice izmjena u režimu pronosa nanosa u riječnom toku najčešće nisu odmah vidljive, ali s vremenom postaju sve veće i utiču na razine srednjih i malih voda rijeke. Potrebno je putem dobro razvijenog biološkog i hidromorfološkog monitoringa, koji je u Hrvatskoj u potpunosti uspostavljen tek 2016. godine, unaprijediti broj mjernih mjesta, frekvenciju i praćenje hidromorfološke promjene vodnog tijela, promjene hidrološkog režima i hidromorfoloških promjena

uključujući narušavanje uzdužnog kontinuiteta. Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva mogu se postići ako se zajamče odgovarajući režimi protoka i sedimenta za određenu vrstu vodotoka i pripadajuću morfologiju vodotoka. Sve to utiče na mogućnost korištenja širokog raspona UE-a za dobrobit ljudi i napredak ljudskog društva, te su povezani s odgovarajućom razinom funkcionalnosti riječnih procesa i postizanjem okolišnih ciljeva riječnog sliva. Jezera i značajno izmijenjena umjetna stajaća vodna tijela (akumulacije i retencije zbog izgradnje brana/brana na vodotoku) kandidati su za značajno izmijenjena vodna tijela. Vodno tijelo retencije potrebno je, u budućnosti, proglasiti značajno izmijenjenim i u odnosu na to definirati ciljeve ekološkog potencijala.

#### **5.1.7. Rezultati i rasprava modeliranja pritiska i utjecaja sedimenta na vodna tijela SWAT modelom**

Metodologija procjene sedimenta temeljena je na DPSIR pristupu uz analizu svih relevantnih informacija nadzornog monitoringa. Na temelju modela reljefa, prostorne analize i analize korištenja zemljišta uz potporu ArcGIS-a, zaključuje se da su značajne pokretačke sile naselja i poljoprivreda, a značajni pritisci su preusmjeravanje vodotoka i promjena režima toka (utjecaj umjetnih objekata u koritu, utjecaj promjena u širem slivnom području na karakter prirodnog toka). Prema prikazanoj metodologiji u poglavlju 4.1.6., provedeno je istraživanje upravljanja sedimentom u slivu rijeke Sutle. Većina mjernih postaja nalazi se na glavnom toku rijeke Sutle jer su se na njoj u prošlosti događali najveći problemi. Za praćenje stanja voda i sedimenta na rijeci Sutli ustanovljena je mjerna postaja nadzornog monitoringa Prišlin koja se nalazi neposredno prije pregrade za zadržavanje nanosa. Biološki monitoring s procjenom sedimenta, prema planiranom programu monitoringa, obavlja se svakih 5 godina, a započeo je 2016. godine. Obzirom na lokaciju mjerne postaje Prišlin, u odnosu na topografiju riječnog sliva, kao i ulogu pregrade za smanjenje unosa nanosa u akumulaciju Vonarje/Sutlansko jezero, mjereni podaci pokazuju umjereno do loše stanje voda i kakvoću sedimenta koja označava antropogeni utjecaj. Općina Rogaška Slatina je pokrenula cijeli niz inicijativa za njegovo ponovno ojezerenje, no ARSO je donio odluku da se trenutno ne pokreću aktivnosti oko ojezerenja, te Sutlansko jezero trenutno funkcionira kao retencija. Upravo na lokaciji mjerne postaje Prišlin SWAT modelom utvrđeni su najveći pritisci i kvantificirane su najveće količine nutrijenata i sedimenta (t/god) (Ćosić-Flajsig G. et al., 2017), (Ćosić-Flajsig G. et al., 2022), a što je prikazano u poglavlju 5.1.3. Na Slici 5-4 prikazani su rezultati modeliranja SWAT modelom kao prostorni prikaz simuliranog prosječnog godišnjeg prinosa- pritiska

sedimenta (t/ha/god) transportiranog iz HRU-ova površinskim otjecanjem vodotok za razdoblje 2004. – 2014.

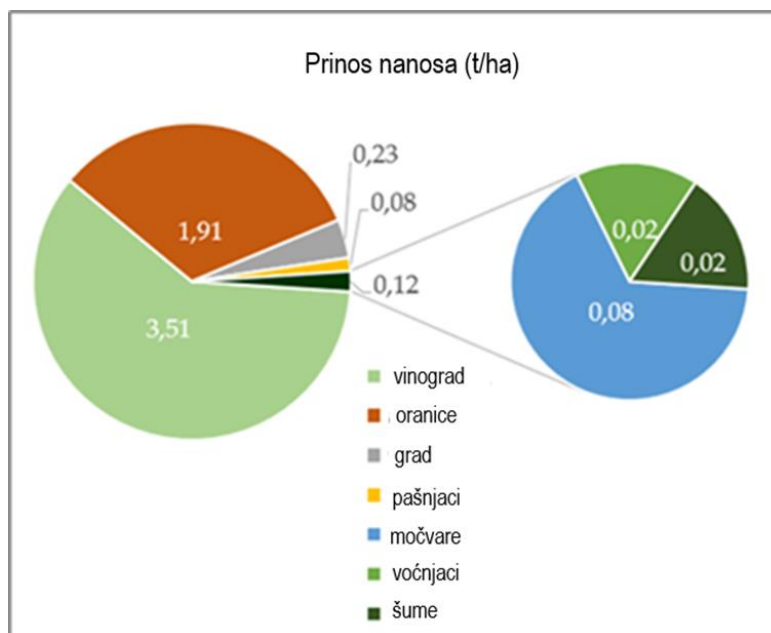


Slika 5-4: Rezultati SWAT modela: Prostorni prikaz simuliranog prosječnog godišnjeg pritiska sedimenta (t/ha/god) transportiranog iz HRU-ova površinskim otjecanjem u vodotok za razdoblje 2004. – 2014. godine

Upravljanjem kakvoće voda riječnog sliva provođenjem odgovarajućih mjera moguće je smanjiti unos nanosa i onečišćenja na lokaciji Prišlin. Na Slici 5-5 prikazani



su rezultati srednjih vrijednosti HRU-a OSNOVNOG SCENARIJA za razdoblje između 2004. do 2014. godine.



Slika 5-5: Rezultati srednjih vrijednosti HRU-a OSNOVNOG MODELA za razdoblje između 2004 .do 2014. godine (Ćosić-Flajsig G. et al., 2022)

Prema Slici 5-4 i Slici 5-5, izvor sedimenta u ovom riječnom slivu je prostorno heterogen i u prosjeku iznosi **0,78 t/ha/god**. HRU je najmanja je prostorna jedinica modela, a ovo istraživanje pokazuje da u pojedinim HRU-ovima prinos sedimenta može doseći i do **31,61 t/ha/godišnje**. Ova vrijednost može biti prekoračena tijekom razdoblja obilnih oborina. **Najveća količina sedimenta transportirana je iz vinograda (3,51 t/ha/god), a slijede oranice (1,91 t/ha/god).**

Vezano uz monitoring sedimenta, kojim je moguće usporedba mjerenih podataka s modeliranim, važno je napomenuti sljedeće: za Sloveniju nema dostupnih podataka o procjeni sedimenta, u Hrvatskoj se provodi redoviti monitoring površinskih voda uz hidromorfološki monitoring koji je započeo 2016. godine i određuje stanje voda, koje je na mjernoj postaji Sutla-Prišlin procijenjeno kao umjereno stanje voda. Sve mjerne postaje nizvodno od brane Vonarje imaju neznatno promijenjeno stanje voda u odnosu na procjenu sedimenta. U poglavlju 3.3.1.2. opisane su veličine čestice sedimenta, te je navedeno da na mjernoj postaji Sutla - Prišlin dominiraju veće čestice sedimenta. Za ostale mjerene postaje na kojima dominiraju manje čestice sedimenta važno je naglasiti da što je čestica manja to je veća relativna površina, što znači da je veći dio

mnogih opasnih tvari koje dolaze onečišćenjem voda sadržan u sitnijim frakcijama sedimenta, a koje mogu biti i glavni izvor hrane za biotu.

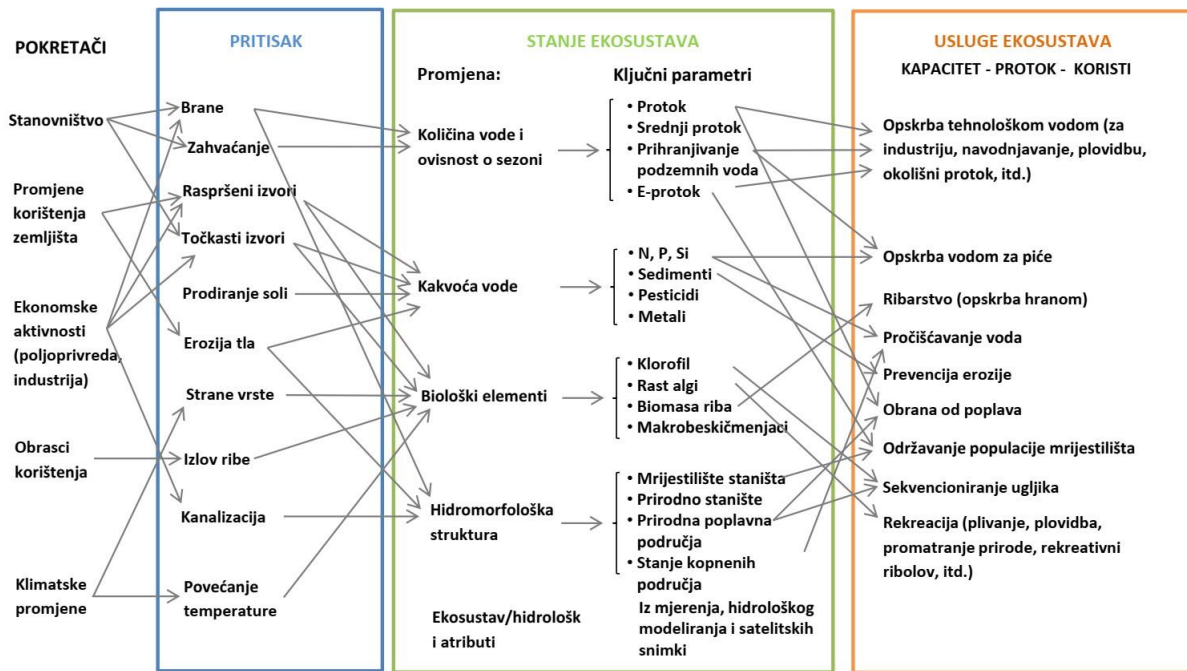
## Rasprava

Na primjeru sliva rijeke Sutle, temeljem prikazanih rezultata, može se zaključiti da upravljanje nanosom mora biti sastavni dio integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, što zahtijeva specifična znanja i interdisciplinarni pristup riječnom slivu dinamici pronosa i kakvoći sedimenta. Posljedice promjena u režimu transporta nanosa u riječnom toku obično nisu odmah vidljive. Vezano uz **procjenu pritisaka sedimenta na vodna tijela**, može se zaključiti da struktura sliva ponajviše utječe na zadržavanje sedimenta uzvodno, što izravno utječe na morfologiju poprečnih presjeka vodotoka nizvodno. Za numeričku i prostornu kvantifikaciju pritisaka sedimenta u slivu rijeke Sutle, korišten je SWAT model. Modeliranje je provedeno za OSNOVNI SCENARIJ uz primjenu dopunskih mjera "po mjeri" riječnog sliva na kritičnim podslovovima, u gornjem dijelu riječnog sliva, radi smanjenja „hot spots“ područja pritiska sedimenta. Temeljem dobivenih rezultata, za buduće scenarije pod utjecaja klimatskih promjena trebaju se primijeniti dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva. Uzorke sedimenta treba sakupljati učestalošću koja odgovara očekivanim promjenama pronosa sedimenta, što uključuje odgovarajuće praćenje režima sedimenta i odgovarajući hidromorfološki monitoring. To ukazuje na potrebu poboljšanja nadzornog praćenja rijeke Sutle uključivanjem sedimenta i biote, koji su manje pod utjecajem brzih promjena kvalitete vode i podložni slučajnim ili sustavnim/sezonskim promjenama (Per Stålnacke & Geoffrey D. Gooch, 2010). Treba naglasiti da zdravi ekosustavi, koji su u stanju pružiti usluge ekosustava, trebaju imati, uz odgovarajuću kakvoću vode za odgovarajući tip vodotoka, adekvatan transport i morfodinamiku nanosa. Direktiva o standardima kvalitete okoliša (2008/105/EZ), zajedno s WFD, definira dobro kemijsko stanje vodnih tijela i obvezu njegovog postizanja, te daje pravni temelj za kontrolu prioritarnih tvari u sedimentu i bioti (WFD CIS Guidance No.25., 2010). Uredba o standardima kakvoće vode (NN 96/19) ograničena je na koncentracije u vodnom stupcu i trebala bi se odnositi i na sedimente i biotu u poboljšanom nadzornom praćenju, kao i na isplativ pristup početnom pregledu onečišćenja, te identificiranje mogućih izvora onečišćenja. U program nadzornog monitoringa potrebno je s većom frekvencijom i većim brojem mjernih postaja uvrstiti i sediment i biotu radi kvalitetnije procjene stanja voda i procjene postizanja okolišnih ciljeva. Procjenom prijenosa sedimenta u slivu kao posljedica korištenja zemljišta, te točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, korištenjem SWAT model, u prostornom

prikazu crvenom bojom prikazana su područja kritične razine izračunanog sedimenta, nitratnog-dušika i fosfora u slivu rijeke Sutle (Slika 5-4). Obzirom da su raspoloživi podaci nadzornog monitoringa nedostatni, te da ih je teško interpretirati obzirom na lokaciju mjernih postaja i period njihovog rada, temeljem rezultata SWAT modela predložiti će se mjere zelene infrastrukture i agro-okolišne dopunske mjere iz Kataloga mjera prirodnog zadržavanja vode (NWRM, 2016) s mjerama koje je moguće modelirati SWAT-om (OPS-SWAT model, 2022), relevantne za smanjenje transporta sedimenta. To su mjere "po mjeri" riječnog sliva za kritične podslivove s „hot spots“ pritisaka sedimenta, podslivove 1 i 2, s podatkom uklanjanja suspendirane tvari: terasiranje s učinkom uklanjanja suspendiranih tvari (ST 85%), filter trake (ST 65%), upravljanje ostacima (ST 71%), generička konzervatorska praksa (ST 75 %), močvarna područja (ST 77,5%), konturiranje i sjetva u pojasevima. Ako je došlo do značajne količine akumulacije pronosom sedimenta, gubitka tla i erozije, potrebno je obrazovanjem poljoprivrednika utjecati na to da poljoprivredno zemljište bude obrašteno (nikada ne smije biti ogoljeno). U kritičnim slučajevima, potrebno je provesti pošumljavanje kako bi se spriječila erozija i uklanjanje nanosa. U radu (Nasirzadehdizaji, R. & Akyuz, D.E., 2022.) modeliran je proces erozije i pronosa sediment u riječnom slivu, te utvrđena područja pošumljavanja radi kontrole procesa. U radu (Bracmort K.S. et al., 2006. ) išlo se korak dalje, te je korištenjem SWAT modela analizirana učinkovitost primijenjenih mjera BMPs-a radi unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda.

#### **5.1.8. Rezultati i rasprava analize lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja i usluga ekosustava i procjena utjecaja**

Rezultati analize lokaliteta NATURA 2000 rijeke Sutle i drugih zaštićenih područja, ukazuje na važnost smanjenja pritisaka nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu radi zahtjeva za očuvanjem zaštićenih područja i obveze postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva na tim područjima provedbom dodatnih mjera, ali i dopunskih mjera u riječnom slivu i smanjenju utjecaja. To je potvrđeno procjenom pritisaka nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu korištenjem matematičkog modela SWAT. U radu (Grizzetti B. et al, 2016), naglašena je važnost stanja voda i ekosustava, kao i upravljanja kakvoćom voda unutar upravljanja vodama, za procjene mogućnosti korištenja UE-a. Navedeni pristup, odnos pokretača - pritisaka - stanje ekosustava - ključni pokazatelji UE-a prikazan su Slikom 5-6.



Slika 5-6: Integralni okvir procjene za analizu veza između pritiska, stanja ekosustava i UE-a (prema (Grizzetti B. et al., 2016., preuzeto za sliv rijeke Sutle)

Svi prikazani pritisci i pokretači prisutni su u slivu rijeke Sutle. Prikaz stanja ekosustava i njegova funkcionalnost kroz promjene ekosustava i ključne parametre pokazuje više no što bi pokazalo stanje voda. Usluge ekosustava (zadnji stupac) opisane su kroz vrijednosti i koristi koje ovise o kapacitetu ekosustava i protoku voda. Sve prikazane UE-a koriste se u slivu rijeke Sutle, ili su potencijalne ili korištene u bližoj prošlosti. Popis pritiska, stanja ekosustava i UE-a, kao i strelice koje ih opisuju, nisu konačne. Tek uz sudjelovanje javnosti moguće je doraditi ovaj integralni okvir za sliv rijeke Sutle, tim više jer se radi o prekograničnom riječnom slivu. Pri tom, potrebno je naglasiti da funkcioniranje ekosustava u sebi objedinjuje: dobro stanje voda, postizanje okolišnih ciljeva i otklanjanja rizika od eutrofikacije voda. To je znatno više od procjene stanja voda temeljem nadzornog monitoringa i procjene postizanja okolišnih ciljeva temeljem nejasnih kriterija. Upravljanje NATURA 2000 zaštićenim područjima uključuje kontrolu točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, te je posebno usmjereno na procjenu pritiska i mjere smanjenja pritiska sedimenta i nutrijenata u priljevnom području NATURA 2000 da bi se osiguralo dobro stanje voda vodnih tijela NATURA 2000 područja. Obzirom da je cijela rijeka Sutla pod zaštitom NATURA 2000 područja (Šemnički, P., 2014) cijeli sliv rijeke Sutle je priljevno područje vodnih tijela NATURA 2000 područja, te je očuvanje NATURA 2000 područja ovisno o uspješnom upravljanju kakvoćom voda riječnog sliva, čiji su elementi bili detaljno metodološki obrađeni u dijelovima poglavlja 4, a rezultati i diskusija u dijelovima ovog poglavlja. Na primjeru

vodnog tijela u kojem obitava potočna mrena, koja je jedna od zaštićenih riba NATURA 2000 područja rijeke Sutle, može se uočiti da je za život navedene vrste uz postizanje dobrog stanja voda, koje uključuje i dobro hidromorfološko stanje, potrebno osigurati odgovarajući protok i brzine u vodnom tijelu, što je obrađeno u podpoglavlju 5.1.9., kao definiranje dopunske mjere E-protoka u njemu. Korištenje UE-a vodnih tijela rijeke Sutle koja su zaštićena NATURA 2000 područja, ovisno je o uspješnom upravljanju kakvoćom voda riječnog sliva rijeke Sutle, postizanju dobrog stanja površinskih voda i smanjenju rizika nepostizanja okolišnih ciljeva i eutrofikacije, a preduvjet ostvarenja navedenog su rezultati i rasprava procjene ključnih utjecaja (poglavlje 5.2.).

### **Rasprava**

Obzirom da ne postoji plan upravljanja vodama sliva rijeke Sutle, ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva nisu jasno postavljeni iako se u ocjeni stanja voda, poglavlje 3, navodi procjena mogućnosti postizanja ciljeva i nemogućnost procjene za biološke elemente kakvoće. Da bi se provodile dopunske mjere radi očuvanja zaštićenih područja, potrebno je provoditi dodatna ciljana istraživanja. U daljnjim istraživanjima značajan doprinos u provedbi dopunskih mjera može dati vrednovanje UE-a NATURA 2000 područja u kojima obitavaju zaštićene vrste. Na taj način, moguće je kvalitetnije definirati ciljeve zaštite okoliša riječnog sliva, kao i dopunske mjere koje omogućuju njihovo postizanje. Naime kao što UE-a nije moguće ostvariti bez odgovarajućeg upravljanja vodama, tako je i za odgovarajuće upravljanje kakvoćom voda unutar upravljanja vodama riječnog sliva potrebno procijeniti moguće UE-a temeljem analize provedenih osnovnih i dodatnih mjera, te planiranih dopunskih mjera. Za donošenje dopunskih mjera očuvanja UE-a „po mjeri“ riječnog sliva potrebno je omogućiti sudjelovanje javnosti, te zajednički definirati UE-a, ekonomski ih valorizirati, kao i dobiti čovjeka koje nastaju njihovim korištenjem.

Na očuvanje vodnih ekosustava i UE-a za dobit ljudi značajno utječe odgovarajući nadzorni monitoring potreban za procjenu stanja voda i postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Tek temeljem odgovarajućih podataka i procjena moguće je na odgovarajući način definirati UE-a, no podatke postojećeg nadzornog monitoringa (stanja voda, režim voda) obzirom na lokaciju mjernih postaja i razdoblje njihovog rada teško je interpretirati. Uz definiranje hidrološkog režima, režima unosa nutrijenata u površinske vode, režima korištenja voda i režima pronosa i unosa sedimenta, potrebno je definirati E-protok.

### **5.1.9. Rezultati i rasprava analize pritisaka i utjecaja uslijed promjene protoka rijeke Sutle radi izgradnje brane Vonarje**

WFD eksplicitno ne zahtijeva definiranje E- protoka, već se količina voda i režim protoka smatraju pratećim hidromorfološkim elementima za biološke elemente kakvoće koji su neophodni za postizanje dobrog stanja voda, a očuvanje hidrološkog režima je u skladu s postizanjem okolišnih ciljeva WFD-a u prirodnim površinskim vodama. 2015. godine, EK je izradila smjernice za definiranje ekološkog protoka u sklopu implementacije WFD-a (WFD CIS Guidance No. 31, 2015). Temeljem Smjernica određivanja E-protoka s fluvijalnom geomorfologijom za održavanje usluga ekosustava (WMO, 2019), izrađen je inovativni holistički pristup procjene E-protok nizvodno od brane Vonarje prikazan u radu (Ćosić-Flajsig et al., 2020), a metodologija je prikazana u poglavlju br.4. U vodnim tijelima u slivu rijeke Sutle, prema WFD-u, procijenjeni su značajni pritisci koji mogu utjecati na promjenu hidrološkog režima i koji utječu na biološke elemente kakvoće vode, jer prema WFD-u dobro stanje površinskih voda i E-protok definirani su kao „hidrološki režim koji je u skladu s postizanjem ciljeva zaštite okoliša WFD-a u prirodnim površinskim vodama”.

#### **Baza podataka**

Temeljem dostupnih izvora podataka i informacija dobivenih o nadzornom monitoringu voda i njegovoj provedbi, stanja voda i vodnim tijelima u slivu rijeke Sutle, u poglavlju br.3, kao i ostalih raspoloživih spoznaja o riječnom slivu napravljene su analize prema predloženoj koncepciji holističkog pristupa modelu procjene E-protoka (Slika 5-7), (Tablica 5-6).

Tablica 5-6: Dostupni izvori podataka za definiranje E-protoka na temelju nadzornog monitoringa u slivu rijeke Sutle

Monitoring postaja	Lokacija	Vrsta monitoringa	Vodno tijelo	Procjena stanja
Lupinjak	uzvodno od brane	kakvoća vode	CSRI0029_006	više nije u funkciji
Hum na Sutli	uzvodno od brane	hidrologija	CSRI0029_006	nema utjecaja brane prirodni hidrološki režim
Prišlin	uzvodno od brane	sediment	CSRI0029_006	antropogeni utjecaj
Prišlin	uzvodno od brane	kakvoća vode	CSRI0029_006	loše, loše do dobro stanje vode
<b>brana Vonarje i Sutlansko jezero</b>			CSRI0029_005	nema procjene
Luke Poljanske	nizvodno od brane	hidro-morfologija	CSRI0029_004	neznatno promijenjeno stanje
Luke Poljanske	nizvodno od brane	kakvoća vode	CSRI0029_004	loše, loše do dobro stanje vode
Bratkovec	nizvodno od brane	hidrologija	CSRI0029_004	utjecaj brane, neznatno izmijenjen hidrološki režim
Zelenjak	nizvodno od brane	hidro-morfologija	CSRI0029_003	promjena zbog antropogenog utjecaja
Zelenjak	nizvodno od brane	hidrologija	CSRI0029_003	nizak utjecaj brane, prirodan hidrološki režim
Zelenjak	nizvodno od brane	kakvoća vode	CSRI0029_003	dobro stanje vode
Harmica	nizvodno od brane	hidro-morfologija	CSRI0029_001	promjena zbog antropogenog utjecaja
Harmica	nizvodno od brane	kakvoća vode	CSRI0029_001	dobro do loše stanje vode
Ključ	nizvodno od brane	hidrologija	CSRI0029_001	nizak utjecaj brane, prirodan hidrološki režim

Kako nisu bili dostupni podaci za dionicu vodotoka 150 m nizvodno od ušća vodotoka Mestinjšćicu u rijeku Sutlu, analizirani su dostupni podaci za mjernu postaju Bratkovec (9,1 km nizvodno), vodno tijelo CSRI0029\_004 i mjernu postaju Zelenjak (28,5 km nizvodno), vodno tijelo CSRI0029\_003. Mjerna postaja Luke Poljanske (2,5 km nizvodno), vodno tijelo CSRI0029\_004, postala je nova mjerna postaja za praćenje kakvoće vode i hidromorfologije. Za hidrološke mjerne postaje Bratkovec i Zelenjak analizirani su hidrološki podaci, uključujući utjecaj brane, izmijenjeni prirodni hidrološki režim, te protok, brzina i visina vodnog stupca za indikatorsku vrstu ribe potočna mrena (*Barbus balcanicus*). Potrebno je naglasiti da je utjecaj brzina vode (tj. nagib i hrapavost korita) na varijacije hidroloških uvjeta i režima tečenja, a ribe su prikladni indikatori praćenja utjecaja nizvodno od brane jer se koriste i kao indikatori održavanja biološke ravnoteža vodotoka. Osnovni ekološki uvjeti za ribe su dubina vode, brzina vode i potopljeno stanište (FAO, 1998). Sve to ukazuje na veliku povezanost riba i hidroloških uvjeta. Vodotoci ili dijelovi vodotoka s padom dna između 1,5 i 3,2% karakteristično su naseljeni mrenom s pratećim vrstama riba (FAO, 1998) ili potočnom mrenom za srednje tokove. Ihtiološkim istraživanjima utvrđeno je da ovim dijelom rijeke

Sutle dominira potočna mrena - *Barbus balcanicus* (Slika 5-7) koji pripada obitelji Cyprinidae (šaran), stoga je ova vrsta odabrana kao bioindikatorski organizam, a ujedno to je jedna od sedam važnih vrsta riba potrebnih za očuvanje rijeke Sutle u sklopu ekološke mreže NATURA 2000 (Šemnički P., 2014).



Slika 5-7: *Barbus balcanicus* (Kotlik, Tsigenopoulos, Rab & Berrebi, 2002.)

Temeljem dostupnih podataka, izrađena je holistička procjena E-protoka pomoću analize tri profila na različitim lokacijama, mjerne postaje Bratkovec, Luke Poljanske i Zelenjak, u različitim razdobljima hidrološke godine (suho razdoblje – razdoblje intenzivne vegetacije i kišno razdoblje). Brane remete pronos sedimenta što ima posljedice na morfologiju i biotu, a definiranjem E-protoka nizvodno od brana za profil Bratkovec omogućava se povezivanje hidroloških, morfoloških i ekoloških karakteristika temeljem bioindikatorske vrste - ribe potočna mrena (*Barbus balcanicus*), te upravljanje hidrološkim režimom protoka i režimom sedimenta. U slučaju ponovnog formiranja Sutlanskog jezera, zbog važnosti očuvanja biološke raznolikosti rijeke Sutle koja protiče kroz područje Natura 2000, bit će potrebno ponovno definirati E-protok.

Kao što je prikazano u Tablici 2-3, poglavlje br. 2, E-protoci podržavaju usluge podrške, usluge opskrbe, usluge regulacije i kulturološke UE-ove. Temeljem metodologije predstavljene u poglavlju 4, te istraživanjem sliva rijeke Sutle, **holističkim pristupom definiran je E-protok** rijeke Sutle za profil nizvodno od brane, povezivanjem hidroloških, morfoloških i ekoloških karakteristike vodotoka i njezinih bioloških zajednica, prikazano u radu (FAO, 1998). **E-protok je dobiven hidrološkom metodom koja uključuje razdoblja rasta vegetacije, koji iznosi 0,504 m<sup>3</sup>/s, a povećan je na 0,68 m<sup>3</sup>/s kako bi se zadovoljili zahtjevi bioindikatora, potočne mreže *Barbus balcanicus*.** Za hidrološke mjerne postaje Bratkovec i Zelenjak analizirani su hidrološki podaci, uključujući utjecaj brane,



izmijenjeni prirodni hidrološki režim, te protok, brzina i visina vodnog stupca za indikatorsku vrstu potočna mrena, **Barbus balcanicus**, koja se mrijesti između travnja i lipnja, a za vrijeme mrijesta potrebna je dubina vode veća od 40 cm i brzina vode veća od 49 cm/s. Analiza uzdužnog profila rijeke i volumena prirodne retencije Sutlanskog jezera (akumulacije) preduvjet su za održavanje riječnog ekosustava uzvodno i nizvodno od samog ekosustava jezera. Rizik nepostizanja dobrog stanja voda – prognoza – izrađena je na temelju Plana upravljanja vodnim područjem 2016.-2021., Izvoda iz Registra vodnih tijela, a ne na temelju izmjerenih podataka jer Luke Poljanske, reprezentativna monitoring mjerna kakvoće vode za vodno tijelo nizvodno od brane Vonarje, postoji tek posljednjih nekoliko godina. Tablice 5-7 i 5-8 objašnjavaju sve korake “po mjeri” prijedloga E-toka koji se temelji na holističkom pristupu za CSRI0029\_004 vodno tijelo rijeke Sutle.

Tablica 5-7: Prijedlog E-protoka holističkim pristupom

Razina	Lokacija	Vrsta procesa	Opis	Vrijednosti
<b>Zaštićena područja</b>	sva vodna tijela	Plan upravljanja vodnim područjima 2016-2021 Izvod iz Registra vodnih tijela	sva vodna tijela su locirana u zaštićenim područjima, NATURA 2000	indikatorska vrsta ribe Barbus balcanicus, Nizvodno od brane
<b>Analiza metoda u okolnim zemljama</b>	Crna Gora, Bosna i Hercegovina i Slovenija	metode određivanja E-protoka	svе metode su hidrološke	Slovenska metoda uključuje ekološki aspekt
<b>I. RAZINA Preliminarna procjena hidrološkim metodama</b>	cijeli riječni sliv Bratkovec i Zelenjak	hidrološke analize	Slovenska metoda Sušna I kišna sezona	vrijednosti
<b>II. RAZINA Prikupljanje podataka i primjena holističkih metoda</b>	nizvodno od brane Bratkovec i Zelenjak Luke Poljanske, Prišlin	hidrološke analize ekološke analize hidromorfološke analize analiza sedimenta	stručno znanje-analiza hidroloških serija rezultati terenskog istraživanja	Barbus balcanicus dubina i brzina vode povećavaju protok
<b>III. RAZINA Holističke metode s modeliranjem staništa</b>	nizvodno od brane	nedostatak podataka	modeliranje staništa	Nije primijenjena
<b>Definiranje E-protoka</b>	Bratkovec	hidrološki nasuprot ekološkim zahtjevima	usporedba serija minimalnog protoka na postaji Bratkovec	konačni E-protok
<b>Monitoring E-protoka</b>	Bratkovec i cijeli riječni sliv	hidrološke analize ekološke analize hidromorfološke analize	prijedlog monitoringa za E-protok	monitoring mjerne postaje

Najveći utjecaj na ihtiofaunu rijeke Sutle, osim stranih i invazivnih vrsta, vjerojatno ima stalni antropogeni pritisak, te se mora obratiti pozornost na smanjenje unosa organske

tvari i nutrijenata. Razina trofije raste zbog nepročišćenih otpadnih voda i ispiranja velike količine nutrijenata sa poljoprivrednih i šumskih površina (FAO, 1998). Uspoređeni su rezultati primjene metodologije E-protoka u zakonodavstvu zemalja u okruženju za vodno tijelo rijeke Sutle CSRI0029\_004, a rezultati su prikazani u Tablici 5-8, a detaljno obrađeni u radu Ćosić-Flajsig G. et al. , 2020 (Ćosić-Flajsig G. et al., 2020).

Tablica 5-8: Rezultati metodologija E-protoka u zemljama u okruženju i usporedba dobivenih vrijednosti (Ćosić-Flajsig G. et al., 2020)

Metode	Pokazatelj	Vrijednosti za mjernu postaju Bratkovec
<b>HRVATSKA</b>	Minimalni srednji mjesečni protok 95% vjerojatnosti pojave	Q min. sred.95%= 0.15 m <sup>3</sup> /s
<b>CRNA GORA</b> (Službeni list Republike Crne Gore, 2016)	$\frac{Q_{sr,min}}{\min Q_{sr}} = \frac{3.687 \text{ m}^3/\text{s}}{1.045 \text{ m}^3/\text{s}} = 3.53 \leq 10$ $Q_{E-protok} = \begin{cases} srQ_{min} & \text{for } \frac{mQ_{min}}{mQ_{M(j)}} \leq 10 \\ 0,2 \times srQ_{min} & \text{for } \frac{mQ_{min}}{mQ_{M(j)}} \geq 10 \end{cases}$	srpanj- kolovoz: Q = 0.185 m <sup>3</sup> /s i 0.157 m <sup>3</sup> /s Siječanj: Q <sub>E-prot</sub> = <sub>min</sub> Q <sub>sr</sub> = 1.045 m <sup>3</sup> /s
<b>BOSNA I HERCEGOVINA</b> (Službene novine Federacije BiH, 2006.),	$Q_{E-protok} = \begin{cases} 0,1 \times Q_{sr}; & \text{za razdoblje svibanj-listopad} \\ 0,15 \times Q_{sr}; & \text{za razdoblje studeni-travanj} \end{cases}$	svibanj - listopad: 0.504 m <sup>3</sup> /s – <b>0.680 m<sup>3</sup>/s</b> (dubina vode 40 cm i brzina vode 50 cm/s) studeni - travanj: 0.380 m <sup>3</sup> /s - <b>0.680 m<sup>3</sup>/s dubina vode 30</b> cm i brzina vode 40 cm/s)
<b>SLOVENIJA</b> Službeni list, RS, No. 97, (2009), (Smolar-Žvanut N., 2001)	Hidrološki (srednja vrijednost godišnjeg protoka, srednji minimalni protok, prosječni protok desetljeća) Osobine tehničkih rješenja zahvaćanja vode (povratna, nepovratna) Dispozicija (udaljenost između točaka zahvata i povratne vode) Q <sub>E-protok</sub> = f X Q <sub>sr,min</sub> Količina zahvaćene vode	Q <sub>sr,min</sub> = 0.95 m <sup>3</sup> /s Q <sub>E-protok</sub> = <b>0.95 m<sup>3</sup>/s</b> (cijele godine i suho razdoblje) – vraćanje zahvaćene vode Q <sub>E,protok</sub> = 1.52 m <sup>3</sup> /s (kišno razdoblje) – vraćanje zahvaćene vode

Promjene u uzdužnom kontinuitetu na rijeci Sutli uzrokovane su izgradnjom hidrotehničkih građevina u koritu vodotoka. Utjecaj strukture riječnog sliva najvećim je dijelom vezan uz uzvodno zadržavanje nanosa, što izravno utječe na morfologiju poprečnih presjeka vodotoka nizvodnih područja. Ukupna hidromorfološka procjena za dionicu na mjernoj postaji Luke Poljanske nizvodno od brane Vonarje, kao i za cijelo vodno tijelo, odražava neznatno izmijenjeno stanje. Hidrološko stanje je neznatno izmijenjeno, a uzdužna veza je neprekinuta. Morfološko stanje je dobro, tj. blago promijenjeno. Obale potoka su prirodne, s malo izmijenjenom obalnom vegetacijom. Procesi sedimentacije erozijom odražavaju umjereno odstupanje od prirodnog stanja. Prema dijagramu toka holističkog pristupa modelu procjene E-protoka prikazanog na Slici 4-5, Tablice 5-6, Tablica 5-7 i Tablica 5-8, u nastavku su prikazani značajni koraci

metodologije holističkog pristupa modela procjene E-protoka i rezultate istraživanja na rijeci Sutli. Tablica 5-7 i Tablica 5-8 objašnjavaju sve korake prema procjeni E-protoka, koji se temelji na holističkom pristupu, i to za CSRI0029\_004 vodno tijelo rijeke Sutle. Odabir biološke indikatorske vrste ribe *Barbus balcanicus*, nizvodno od brane, važan je obzirom da je cijela rijeka Sutla zaštićena kao NATURA 2000 područje. Analiza metoda i iskustava zemalja u okruženju pokazuje da se većinom koriste hidrološke, a samo u Sloveniji uključuje studije (Smolar-Žvanut N., 2001) bez dodatnih terenskih istraživanja. E-protok je definiran za hidrološku mjernu postaju Bratkovec, 9,1 km nizvodno od brane. Mjerna postaja praćenja kakvoće voda Luke Poljanske, koja je važna za ocjenu stanja vode, nalazi se 2,5 km nizvodno od brane. Na postaji Bratkovec raspon razine vodnog lica i širina vodne površine rastu eksponencijalno s porastom vodostaja, za razliku od rezultata na postaji Zelenjak, gdje je rast linearan zbog različitih poprečnih profila promatranih postaja. Holistički pristup definira E-protoka za profil Bratkovec, povezujući hidrološke, morfološke i ekološke karakteristike. UE se ne može realizirati bez rješavanja problema E-protoka.

## **Rasprava**

Prilikom projektiranja izgradnje brane Vonarje i Sultanskog jezera /akumulacije Vonarje, prema tadašnjim propisima, definiran je biološki minimalni protok nizvodno od brane od 120 l/s. Za postizanje dobrog stanja vode i okolišnih ciljeva riječnog sliva, umjesto korištenja minimalnog biološkog protoka nizvodno od brane, potrebno je definirati E-protok. E-protok za pojedine dionice vodotoka predstavlja jednu od najvažnijih komplementarnih mjera upravljanja vodama. Na temelju dostupnih podataka izrađen je koncept holističkog pristupa modelu procjene E-protoka koristeći tri profila/lokacije, Bratkovec, Luke Poljanske i Zelenjak, u različitim razdobljima hidrološke godine (sušno i kišovito) u skladu s sa zahtjevima WFD-a za postizanje dobrog stanja voda. Provedba sveobuhvatnog i holističkog pristupa prijedlogu okvira za procjenu E-protoka, prateći globalne trendove u EU, zahtijeva pristup na tri razine za integraciju hidroloških, hidrauličkih staništa i holističkih metoda. Nizvodno od brane Vonarje, temeljem istraživanja sliva rijeke Sutle, E-protok je definiran povezivanjem hidroloških, morfoloških i ekoloških karakteristika s holističkim pristupom. Uz hidrološke metode uvedeni su i biološki indikatori (ribe) te je dobiven novi značajno veći E-protok nizvodno od brane. Zajedno s režimom toka, režim sedimenta i morfologija rijeke važne su odrednice koje osiguravaju željene usluge slatkovodnih ekosustava i njihovu ekonomsku vrijednost (Theodoropoulos C. & Skoulikidis, N., 2014). Za punu primjenu holističkog pristupa III. razinom definiranja E-protoka

neophodno je unaprijediti istraživački hidrološki i biološki monitoring, modelirati staništa, uskladiti hidrološki i monitoring kakvoće voda između Hrvatske i Slovenije. Na temelju istraživanja sliva rijeke Sutle i dobivenih rezultata uočeno je da su dostupni hidrološki podaci nedostatni, kao i podaci o dugoročnim antropogenim i prirodnim promjenama vodnog režima, uključujući klimatske promjene. To ukazuje na potrebu poboljšanja nadzornog monitoringa kako bi se osigurale hidrološke informacije usmjerene na specifične ciljeve E-protoka. Preduvjet je provesti istraživanje trirazinskom metodom i dobiti rezultate prihvatljive za opstanak zajednica bentosa, kao što je prikazano u članku Theodoropoulos i Skoulikidisa (Theodoropoulos C., Skoulikidis, N., 2014). Na temelju holističke metode procjene E-protoka (I. razina, II. i III. razina) potrebno je izraditi PoMs koji će se provjeravati podacima hidrološkog, morfološkog i biološkog monitoringa. Predloženi inovativni holistički pristup procjeni E-protoka može pridonijeti unaprjeđenju definiranja E-protoka. Inovacija holističkog pristupa procjeni E-protoka uključuje analizu svih podataka i dostupnih istraživanja, unatoč nedostatku odgovarajućeg monitoringa, kako bi se stekla nova saznanja o riječnom slivu i njegovim vodnim tijelima, te potom izradi procjene E-protoka. Prikazani model procjene E-protoka i rezultati istraživanja upućuju na nužnost holističkog pristupa procjeni E-protoka kao dopunske mjere WFD-a. Dodatna složenost upravljanja vodama proizlazi iz utjecaja klimatskih promjena (s neizvjesnostima) na korištenje zemljišta, pokrov zemljišta, vodne resurse, korištenje voda i različite aspekte okoliša (Solangi et al., 2019), (Karleuša B. et al., 2018). Te su promjene nužne za identificiranje vodostaja i trendova protoka te za predviđanje utjecaja. Dodatno, potrebno je utvrditi najveći utjecaj na ihtiofaunu rijeke Sutle kako bi se E-protok definirao holističkim pristupom. Uz pregrađivanje i kanaliziranje vodotoka, te pojavu stranih i invazivnih vrsta, utvrđeno je da najveći utjecaj imaju onečišćenje vode i stalni antropogeni pritisak iz točkastih i difuznih izvora onečišćenja korištenjem matematičkog modela SWAT (Ćosić-Flajsig et al, 2017). Prema broju otopljenih nitrata i ortofosfata na mjernoj postaji Prišlin, stanje vode odgovara dobrom i srednje dobrom. Prema radu Pistocchi i sur. (Pistocchi et al. 2017), europska koncepcija E-protoka predložila je identifikaciju vodnih tijela koja nisu uspjela zadovoljiti dobro ekološko stanje zbog izmjene vodnog režima, te jaza između trenutnog i referentnog stanja. Promjena režima toka, poput onih uzrokovanih retenciranjem i izgradnjom brane, uzrokuje promjene u različitim UE-ovima uzvodno i nizvodno od takvih intervencija. Stoga bi definiciju E-protoka, kao dopunske mjere prema WFD-u, trebale zajednički pripremiti Hrvatska i Slovenija kao ključnu mjeru za očuvanje biološke raznolikosti, UE-

a i dobrobiti ljudi u slivu rijeke Sutle. Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se bolje razumio odgovor biote i riječnih ekosustava na uspostavu E-protoka holističkim procjenama, uključujući interakcije s riječnom morfologijom, prijenosom sedimenta, podzemnim vodama i dinamikom poplavne ravnice. Za potvrdu E-protoka potreban je odgovarajući monitoring, s dovoljno podataka i informacija, te stručnim znanjem. Ova okvirna metoda od tri razine, osmišljena je tako da praktičari E-protoka mogu identificirati "najbolju" metodu - ili vjerojatnije, metode - na temelju raspoloživih dostupnih podataka, najvažnijih pitanja i nesigurnosti. Procjenu E-protoka trebao bi odrediti hidrološki režim nužan da vodni ekosustavi postignu okolišne ciljeve, jer režim protoka, režim nanosa i morfologija rijeke su važne odrednice koje osiguravaju UE-a (WMO, 2019).

## **5.2. Rezultati i rasprava procjene ključnih utjecaja**

Rizik nepostizanja dobrog stanja voda – prognoza – izrađena je temeljem Plana upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2016. - 2021. godine, Izvoda iz Registra vodnih tijela, temeljem izmjerenih podataka jer Luke Poljanske, reprezentativna mjerna postaja monitoringa kakvoće vode za vodno tijelo nizvodno od brane Vonarje, postoji tek posljednjih nekoliko godina. U postupku prihvaćanja je Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027. Registar vodnih tijela se novelira donošenjem Plana upravljanja vodnim područjima i vrijedi tijekom šestogodišnjeg trajanja Plana. Trenutno je važeći Registar vodnih tijela za razdoblje 2016. – 2021. godina. Sljedeća novelacija Registra vodnih tijela biti će provedena nakon stupanja na snagu Plana upravljanja vodnim područjima 2022. – 2027. godine.

Potrebno je naglasiti postojanje mnogih praznina u rezultatima monitoringa, posebice hidroloških, zbog nepotpunih nizova podataka. Stoga, nije bilo moguće provoditi sustavne analize i definirati trendove vezane uz pojedine ciljeve zaštite okoliša, već se više moralo oslanjati na stručna znanja. Tako je temeljem DPSIR pristupa procijenjen rizik nepostizanja ciljeva zaštite okoliša za cijeli sliv. Rizik od nepostizanja dobrog stanja voda – JAZ – za hidromorfološke pritiske i stanje voda procijenjen je temeljem postojećih studija, kao i procjena pripremljenih za specifične ciljeve i razdoblja bez programa redovitog hidromorfološkog monitoringa. Temeljem modeliranja/analize značajnih pritisaka napravljena je procjena ključnih utjecaja na vode. Temeljem svega navedenoga, izrađena je sveobuhvatna analiza dostupnih podataka i prikazani rezultati u Tablici 5-9.

Tablica 5-9: Sveobuhvatni rezultati provedene analize dostupnih podataka

Razina	Lokacija	Vrsta analize	Opis	Vrijednosti
<b>Rizik ne postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva</b>	Cijeli riječni sliv	DPSIR Analize pritisaka, stanja i primijenjene mjere	Procjena utjecaja kvantifikacija N, P i sedimenta korištenjem matematičkog modela SWAT	Najveći unos nutrijenata i sedimenta na mjernoj postaji Prišlin
<b>Rizik ne postizanja dobrog stanja voda - JAZ</b>	Prišlin i Luke Poljanske	Stanje voda Hidromorfologija	Ovisno o mjerenjima Jedno mjerenje	Loše, umjereno, dobro Umjereno dobro
	Cijeli riječni sliv	Analiza povijesnih karata, uzdužni tok presjeci	Analiza vojnih karata I i II Snimanje projekta LIDAR FRISCO Analiza presjeka	Rijeka Sutla je uvijek bila granična rijeka, a tok se nije bitno mijenjao Karakteristike pojedinih dijelova rijeka
<b>Rizik od nepostizanja dobro stanje vode-prognoza</b>	<b>Opći podaci o vodnom tijelu CSRI0029_006</b>	Plan upravljanja crnomorskim vodnim područjem 2016.-2021** Izvod iz Registra vodnih tijela	<b>(Lupinjak) i Prišlin</b> Ekološko stanje - umjereno Biološko stanje – umjereno Kemijsko stanje – dobro	Procjena nije pouzdana
	<b>Opći podaci o vodnom tijelu CSRI0029_005</b>		Postojeća prirodna retencija, Buduće Sutlansko jezero monitoring postaja - umjereno	
	<b>Opći podaci o vodnom tijelu CSRI0029_004*</b>		<b>Luke Poljanske Dobro stanje voda*</b>	
	<b>Opći podaci o vodnom tijelu CSRI0029_003</b>		<b>Zelenjak</b> Dobro stanje voda Nema monitoring postaja	
	<b>Opći podaci o vodnom tijelu CSRI0029_002</b>		Dobro stanje voda <b>Harmica</b>	
	<b>Opći podaci o vodnom tijelu CSRI0029_001</b>		Ekološko stanje – umjereno Biološko stanje - umjereno Kemijsko stanje – dobro	

\*Za vodna tijela nizvodno od brane

\*\*Plan upravljanja crnomorskim vodnim područjem 2022- 2027 je u fazi donošenja

Rizik ne postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva definiran je samo za vodno tijelo CSRI0029\_004, na kojem je definiran najveći unos nutrijenata i sedimenta na mjernoj postaji Prišlin. Promjene vezane uz longitudinalni kontinuitet na rijeci Sutli uzrokovane su izgradnjom brane Vonarje i barijere Prišlin. Ukupna hidromorfološka procjena za dionicu na mjernoj postaji Luke Poljanske koja se nalazi nizvodno od brane Vonarje i njenog vodnog tijela, odražava neznatno izmijenjeno stanje. Utjecaj strukture riječnog sliva najvećim dijelom je vezana uz uzvodno zadržavanje nanosa, što izravno utiče na morfologiju poprečnih presjeka vodotoka nizvodnih područja. Hidrološko stanje je neznatno izmijenjeno, a uzdužni presjek je kontinuiran. Obale vodotoka su prirodne, s malo izmijenjenom obalnom vegetacijom. Proces sedimentacije i erozije

odražavaju umjereno odstupanje od prirodnog stanja. Ukupna hidromorfološka procjena za dionicu za koju je referentna mjerna postaja Luke Poljanske nizvodno od brane Vonarje, kao i za cijelo vodno tijelo, odražava neznatno izmijenjeno stanje. Hidrološko stanje je neznatno izmijenjeno, a uzdužna veza je neprekinuta. Morfološko stanje je dobro, tj. blago promijenjeno. Obale potoka su prirodne, s malo izmijenjenom obalnom vegetacijom. Proces sedimentacije i erozije odražavaju umjereno odstupanje od prirodnog stanja. Bočna povezanost rijeke s poplavnom ravnicom i mogućnost bočnog pomicanja korita je prirodna prema Strategiji EU za biološku raznolikost (COM/2020/380). Rijeka Sutla, kao dio ekološke mreže Natura 2000, važna je za očuvanje 7 vrsta riba i jedne školjke (Šemnički P., 2014). Vodotoke, odnosno njihove dijelove, s padom dna između 1,5 i 3,2 ‰ karakteristično naseljavaju mrena s pratećim vrstama riba (FAO, 1998) ili *Barbus balcanicus* za dio nizvodno od brane Vonarje. Zbog nepročišćenih otpadnih voda i ispiranja velikih količina hranjivih tvari iz poljoprivrednih i šumskih zemljišta (WFD CIS Guidance No. 23, 2009), stupanj trofije raste. Uslijed izgradnje brane i antropogenih utjecaja na rijeku Sutlu i njezine obale, prirodni procesi u transportu nanosa značajno su promijenili nizvodno od brane Vonarje uzdužni kontinuitet rijeke Sutle. Ujedno, utjecaj strukture sliva i zadržavanje sedimenata uzvodno provedbom odgovarajućih mjera, izravno utječe na morfologiju poprečnih presjeka vodotoka nizvodno. Navedeni pritisci mogu uzrokovati promjene u hidrološkom režimu i biološkim pokazateljima kakvoće vode. Prilikom projektiranja izgradnje brane Vonarje i Sutlanskog jezera/akumulacije Vonarje, prema tadašnjim propisima, definiran je biološki minimalni protok nizvodno od brane. Temeljem istraživanja sliva rijeke Sutle, E-protok je definiran povezivanjem hidroloških, morfoloških i ekoloških karakteristika i biološkog indikatora (riba) s holističkim pristupom, te je dobiven novi značajno veći E-protok nizvodno od brane (Ćosić-Flajsig, G. et al., 2020).

## Rasprava

Rezultati navedeni u Tablici 5-9 predstavljaju program daljnjeg istraživanja. Definirani su sljedeći ključni utjecaji na vode za upravljanje kakvoćom vode prekograničnog ruralnog riječnog sliv:

- Analiza riječnog sliva uključuje utjecaj uspostave akumulacije na mjestu prirodnog zadržavanja, prirodne retencije, Natura 2000 područja (Šemnički, P. (2014), okolišni E-protok (Ćosić-Flajsig G. et al., 2020), analiza starih karata, hidromorfoloških pritisaka, analiza sedimenata (Ćosić-Flajsig G. et al., 2022) i analiza uzdužnog profila i presjeka vodotoka (Projekt FRISCO 1, (2014. – 2020.), radi definiranja

scenarija i mogućih osnovnih, dodatnih i dopunske mjere (Ćosić-Flajsig G. et al., 2021).

- Modeliranje procjene utjecaja primjenom DPSIR pristupa i SWAT modela s ArcGIS -om uključuje unos podataka o hranjivim tvarima na određenim točkama sliva rijeke i vodnog tijela, kako bi se modelirao rizik od nepostizanja dobrog stanja vode i eutrofikacije voda (Ćosić-Flajsig G. et al., 2017).

U OSNOVNOM SCENARIJU i svim ostalim scenarijima (PROŠLI i BUDUĆI scenariji) korištenjem SWAT modela, procijenjeni su značajni pritisci nutrijenata i sedimenta na vode koji su utjecali na prekogranični ruralni sliv rijeke Sutle, te uzrokovali promjene u hidrološkom režimu (Ćosić-Flajsig et al., 2020) i biološkim elementima kakvoće vode (Ćosić-Flajsig et al., 2017). Nutrijenti su ključni faktor za eutrofikaciju, te bi ih trebalo uključiti u PoMs kako bi se smanjile „hot spots“ u riječnom slivu i ukupni teret onečišćenja nutrijenata. To je u interesu svih korisnika riječnih slivova, kao i UE-a i dobrobiti ljudi. Okolišni ciljevi, povezani s procesima vodnih resursa rijeke i UE, mogu se postići ako se zajamči odgovarajuća kakvoće vode, riječni protok, režimi sedimenta i srodna riječna morfologija. Predložena metodologija procjene eutrofikacije primjenjuje podatke dobivene na temelju promatranih vrijednosti u prirodi i modeliranja pritiska nutrijenata SWAT modelom. Na temelju ključne analize utjecaja, plan IWRM-a središnji je element koji idealno ispunjava zahtjeve različitih politika vezanih za vodu i drugog nacionalnog zakonodavstva (2000/60/EC), (NN 96/19). Programi monitoring sustava za procjenu eutrofikacije sastoje se od dvije različite koncepcije monitoringa: monitoring elemenata biološke kakvoće, uključujući podržavajuće elemente kakvoće, i nadzorni monitoring nutrijenata (i drugih fizikalno - kemijskih elemenata kakvoće) kao alata provjeravanja. Općenito, nadzor nutrijenata treba provoditi učestalije no nadzor bioloških elemenata kakvoće (ETC/ICM Technical Report – 2/2016). Osnovne obvezne mjere, prema UWWTD-u (91/676/EEC, provedene su za aglomeracije veće od 2000 ES, za petinu stanovništva.



### 5.3. Rezultati i rasprava pritisaka i utjecaja SWAT modelom definiranih varijantnih scenarija

Za ovo istraživanje, koje se temelji na DPSIR pristupu, svi izvori ulaznih podataka za SWAT model su službeni javni podaci uz dodatne podatke prikupljene terenskim radom. Tablica 5-10 daje pregled ulaznih podataka za SWAT model.

Tablica 5-10: Ulazni podaci za sliv rijeke Sutle SWAT modela

Vrsta podataka	Karakteristike i opis podataka	Izvor	Scenarij
<b>Topografija (DEM raster)</b>	Slovenija: 25 m—nagib terena Austrija: 1 m—nagib terena	CLS EEA	Svi scenariji
<b>Tla</b>	Slovenija: 1:25,000 Hrvatska: 1:25,000 Prostorna varijabilnost tla, vrste i svojstva tla	MAFFS BFULJ FAUZ	Svi scenariji
<b>Korištenje zemljišta</b>	Slovenija, Hrvatska: 1 m Vektorski podaci (Grafičke jedinice poljoprivrednog zemljišta) Hrvatska: 100 m <i>Corina Land cover</i> (CLC), 2012, Version 18.5.1, Korištenje zemljišta, Klasifikacija zemljišnog pokrova i prostorni prikaz	MAFFS BFULJ FAUZ	Svi scenariji
<b>Upravljanje zemljištem</b>	Plodoredi (žetva, sadnja, upravljanje), primjena gnojiva (udio i vrijeme)	CAFS obilazak terena	Svi scenariji
<b>Vrijeme</b>	Dnevne oborine, temperatura (max., min.), relativna vlažnost zraka, vjetar, sunčevo zračenje od 2001.-2014.	EARS CMHS	POSTOJEĆI i PROŠLI scenariji
<b>Podaci o klimatskim promjenama</b>	Dnevne oborine, temperatura (max., min.), relativna vlažnost zraka, vjetar, sunčevo zračenje od 2020.-2050. i 2070.-2100.	EARS CMHS	RCM podaci BUDUĆI scenariji
<b>Protoci rijeka</b>	Podaci o dnevnom protoku (m <sup>3</sup> /s) od 2001–2014	EARS CMHS	SADAŠNJI scenarij
<b>Kakvoća vode</b>	1 monitoring postaja (HRV-Zelenjak) TSS, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , TP, TN (2001–2012)	mjesečni monitoring HV	SADAŠNJI scenarij
<b>Podaci o akumulaciji</b>	Akumulacija: volumen, površina, mjesec rada, koncentracija sedimenta, hidraulička vodljivost, istjecanje	projektna dokumentacija	PROŠLI i BUDUĆI scenariji
<b>Aglomeracije</b>	ES, prostorni položaj pripremljen u ArcGIS-u	EARS HV	BUDUĆI scenariji
<b>UPOV</b>	Prosječni dnevni protok org P, sedimenta i org N i drugi pokazatelji	EARS HV	Svi scenariji
<b>Septičke taložnice</b>	Septički sustavi: godine izgradnje, stalni stanovnici, prosječna površina područja odvodnje otpadnih voda	EARS HV	Svi scenariji

UPOV = uređaj za pročišćavanje otpadnih voda; CLS = Copernicus land services; EEA = European Environment Agency; MAFFS = Ministry of Agriculture, Forestry and Food of the Republic of Slovenia; BFULJ = Biotechnical Faculty University of Ljubljana; AFSZ = Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; ARSO = Agencija Republike Slovenije za okolje; DHMZ = Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske; HV = Hrvatske vode; Agencija za gospodarenje vodama Hrvatske; CAFS= Chamber of Agriculture and Forestry of Slovenia, Agricultural Advisory Service.

Najveći dio podataka, koji se odnose na upravljanje vodama i zemljištem, prikupljeni su iz službenih javnih izvora (javne baze podataka, pokazatelji i podaci), projekata i studija, te nisu terenski mjereni. Izvori službenih podataka su iz nacionalnih monitoring sustava i statističkog popisa i registara, te su prikupljeni za najduže raspoloživo razdoblje.

Službeni nadzorni monitoring sustav pružio je sve korištene ulazne podatke, no da bi se dalje razvijala primjena SWAT modela potrebno je nastaviti prikupljati nove podatke. Sve vezano uz klimatske promjene, korištenje modela, te preduvjeti definiranja scenarija, prezentirano je u Poglavlju br.4. Nakon definiranja PROŠLIH i BUDUĆIH scenarija upravljanja riječnim slivom, rezultati numeričkog modeliranja procjene pritisaka za sve scenarije prikazani su u Tablici 5-11, i to: vrijednosti za  $Q_{sr/god}$  ( $m^3/s$ ), sediment (t) i ukupno N (kg) za profil mjerenja prije utoka rijeke Sutle u rijeku Savu. Vrijednosti za sve scenarije (osim OSNOVNOG SCENARIJA) predstavljaju prosječno postotno povećanje ili smanjenje vrijednosti u odnosu na OSNOVNI SCENARIJ. U zagradama je prikazan raspon postotnih vrijednosti u odnosu na šest korištenih modela.

Tablica 5-11: Numerički rezultati za OSNOVNI - SADAŠNJI, PROŠLE i BUDUĆE scenarije

Scenarij	$Q_{sr/god}$ ( $m^3/s$ ) sred.(min., maks.) %	Sediment (t) sred.(min., maks.) %	Ukupni N (t) sred.(min., maks.) %	Ukupni P (t) sred.(min., maks.) %
<b>SADAŠNJI</b>	<b>7,76</b>	<b>13853</b>	<b>1898</b>	<b>119</b>
<b>PROŠLI 1a</b>	1 %	72 %	38 %	55 %
<b>PROŠLI 1b</b>	0 %	81 %	53 %	53 %
<b>BUDUĆI 2a<sup>1</sup></b>	4 % (-5,7; 9,3)	4 % (-12;19)	1 % (-13;10)	-6 % (-21;4)
<b>BUDUĆI 2a<sup>2</sup></b>	17 % (-7; 5,1)	9 % (-15;35)	4 % (-14;23)	5 % (-21;13)
<b>BUDUĆI 2a<sup>3</sup></b>	12 % (1;29)	12 % (-5;26)	5 % (-4;17)	-3 % (-10;6)
<b>BUDUĆI 2a<sup>4</sup></b>	23 % (3;67)	22 % (-5;77)	8 % (-9;39)	-3 % (-15;23)
<b>BUDUĆI 2b<sup>1</sup></b>	5 % (-13;19)	10 % (-19;29)	2 % (-12;10)	2 % (-12;11)
<b>BUDUĆI 2b<sup>2</sup></b>	17 % (-7;50)	12 % (-13;39)	4 % (-13;23)	2 % (-12;20)
<b>BUDUĆI 2b<sup>3</sup></b>	12 % (1;29)	15 % (-2;32)	5 % (-5;16)	4 % (-4;11)
<b>BUDUĆI 2b<sup>4</sup></b>	22 % (3;66)	25 % (-3;84)	7 % (-9;38)	3 % (-10; 31)

Napomena: Prosječne promjene postotnih vrijednosti za PROŠLE i BUDUĆE scenarije (u zagradama su minimalne i maksimalne % promjene u skladu s različitim klimatskim modelima) su definirani u skladu s apsolutnim vrijednostima SADAŠNJEG scenarija

Prema OSNOVNOM SCENARIJU, i usporedbom s PROŠLIM scenarijem („bez“ i „s“ akumulacijom) nije bilo značajnih promjena u protoku rijeke Sutle. Međutim, u prošlosti je bilo znatno više sedimenta (scenarij 2<sup>a</sup> - 72%, scenarij 2<sup>b</sup> - 81%), pri čemu je najviša razina sedimenta izračunata u potoku Bistrica. Za PROŠLE scenarije, vrijednosti  $Q_{sr/god}$  slične su vrijednostima OSNOVNOG SCENARIJA. Vrijednosti sedimenta, ukupnog N-a i ukupnog P-a značajno su veće od vrijednosti OSNOVNOGSCENARIJA, obzirom na provedene mjere vezano uz urbane otpadne

vode i osnovne poljoprivredne mjere koje u prošlosti nisu postojale. Rezultati pokazuju da glavni točkasti izvori (UPOV-i) u normalnim uvjetima doprinose minimalnim količinama N-a i P-a na dnevnoj bazi. Većina onečišćenja fosforom dolazi iz kućanstava i industrije. Približno 20% stanovništva priključeno je na javni kanalizacijski sustav i UPOV, pri tome je utjecaj malih naselja je važan na lokalnom području. Rezultati monitoringa kakvoće voda, Privitak 2, potvrđuju navedeno. Povećane vrijednosti ukupnog N-a (scenarij 2<sup>a</sup> - 38%, scenarij 2<sup>b</sup> – 53%) i ukupnog P-a (scenarij 2<sup>a</sup> - 55%, scenarij 2<sup>b</sup> - 53%) rezultirale su ne postizanjem dobrog stanja voda i eutrofikacijom voda u prošlosti. Glavni razlog bilo je upravljanje poljoprivrednim zemljištem na poljima s jesenskim oranjem i ostavljanjem golog tla tijekom zime. Značajno veće vrijednosti u prošlosti nego danas mogu se objasniti provedbom osnovnih mjera gospodarenja otpadnim vodama i poljoprivredom temeljene na novim okolišnim politikama i njihovim obvezama. Može se zaključiti da je u odnosu na rezultate OSNOVNOG SCENARIJA glavni izvor onečišćenja dušikom u slivu rijeke Sutle bilo je otjecanje iz poljoprivrednog zemljišta i šuma. Za scenarije BUDUĆNOSTI, očekivane povećane vrijednosti srednjih godišnjih protoka kreću se od 4 do 22%, pri čemu se očekuje da će se vrijednosti minimalnih godišnjih protoka smanjiti (rezultat od -22%), a maksimalne vrijednosti povećati do 66%, što je u skladu s očekivanim ekstremnim događajima radi klimatskih promjena. Očekivane prosječne godišnje vrijednosti sedimenata kreću se od 4 do 25%, a maksimalne godišnje vrijednosti sedimenata dosežu 84%. Očekivane prosječne godišnje ukupne vrijednosti N-a povećat će se s 1 na 8%, a ukupni P s -5% na 6%. Očekuje se povećanje vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka, za BUDUĆE scenarije, s vrijednostima u rasponu od 4% do 22%. Očekuje se da će se vrijednosti minimalnih godišnjih protoka kretati od -13% do 5,7%, a značajno povećanje vrijednosti maksimalnih protoka, očekuje se u rasponu od 9,3% do 66%. Očekivano povećanje godišnjih vrijednosti sedimenta kreće se od 4% do 25%, minimalne godišnje vrijednosti sedimenta kreće se od -2% do 19%, a maksimalne godišnje vrijednosti sedimenta kreće se od 19% do 84%.

Za ukupni N, očekivane srednje godišnje vrijednosti kreću se od 1% do 8%, minimalne godišnje vrijednosti kreću se od -5% do -14%, a maksimalne godišnje vrijednosti od 9% do 39%. Za ukupni P, očekivane srednje godišnje vrijednosti kreću se od -5% do 6%, minimalne godišnje vrijednosti se kreću od -4% do -21%, maksimalne godišnje vrijednosti se kreću od -4% do 31%. Vrijednosti  $Q_{sr}/god$  za BUDUĆE scenarije su najniže za RCP4.5 (2020–2050), a zatim slijede vrijednosti za RCP8.5 (2070–2100). U nekim scenarijima raspon ovih vrijednosti pokazuje prosječni

protok raste do 17% (min.-7; max.50) ili 25%, za sediment (min.-3; max.84), dok su za ukupni N i ukupni P, te promjene manje. Rezultati scenarija vezanih uz utjecaj klimatskih promjena ukazuju na potencijalno značajno povećanje protoka rijeke Sutle i pronosa sedimenta, ali ne inutrijenata, što je rezultat osnovnih mjera koje su provedene. Međutim, identificirane su „hot spots“ u nekim podslivovima, a predložit će se i niz prilagođenih mjera iz kataloga dopunskih mjera. Očekivalo se da će sve vrijednosti biti znatno veće zbog utjecaja klimatskih promjena koje se javljaju s prosječnim protokom i sedimentom. Međutim, ukupne vrijednosti ukupnog N-a i ukupnog P-a bile su niže jer se primjena gnojiva, N-a i P-a, na poljoprivrednom zemljištu bolje koriste. U scenariju za RCP 4.5 2020–2050 „bez“ akumulacije, povećanje vrijednosti iznosi 4%, a u ukupnom P-u došlo je do pada vrijednosti u usporedbi sa sadašnjim scenarijem od - 6%. U scenarijima „s“ akumulacijom vrijednosti su bile nešto veće. U scenariju RCP 4.5 2070–2100, „bez“ i „s“ akumulacijom, vrijednosti su bile značajno veće za protok i sediment. U scenariju RCP 8.5 2020–2050, vrijednosti su bile nešto niže nego za RCP 4.5 2070–2100. U scenariju „bez“ akumulacije, čak je došlo do pada ukupnog P od -3%. U scenariju RCP 8.5 2070–2100 primijećene su veće srednje vrijednosti, osobito za prosječni protok i sediment, ali uočen je iznimno veliki rasponi vrijednosti, i to osobito velike maksimalne vrijednosti. Ovi scenariji ukazuju na mogućnost izrazito problematičnih situacija u riječnom slivu. Također, scenariji otvaraju raspravu o utjecaju odabira RCM-a na modeliranje klimatskih promjena korištenjem modela riječnih slivova, kao npr. SWAT model. Također, ovim istraživanjem se postavlja pitanja o upotrebljivosti rezultata za politiku upravljanja kakvoćom voda i donošenja odluka vezanih uz provedbu rezultata za kratkoročne ili dugoročne strategije upravljanja vodama ili planova upravljanja riječnim slivom. Za BUDUĆE scenarije, prostornom analizom ustanovljeno je da su „hot spots“ na istim mjestima kao u scenarijima OSNOVNOG SCENARIJA i PROŠLIM scenarijima, te su se na njih morale primijeniti odgovarajuće mjere. Jedna od vrlo prikladnih, jednostavnih i praktičnih mjera bila je primjena prijelazne zone 5 m od vodotoka. Ukoliko je došlo do pritisaka značajne količine sedimenta, gubitka tla ili erozije, potrebno je kroz poljoprivredno obrazovanje utjecati na održavanje obraštaja poljoprivrednog zemljišta (nikad ogoljeno zemljište). U kritičnim slučajevima pošumljavanje treba provesti kako bi se spriječila erozija i uklanjanje sedimenta. Slični rezultati prikazani su u radovima Glavan, M. i Pintar, M., 2012 .; (Glavan, M. i Pintar, M., 2012), Epelde, A. M. i drugi , 2014. (Epelde A M. et al., 2014); Piniewski, M. i drugi, 2017. (Piniewski, M, 2017) u kojem je zaključeno da su za ruralni sliv rijeke Reke u

Sloveniji scenariji klimatskih promjena pokazali trend dugoročnog povećanja koncentracija sedimenta, ali i da bi trend mogao ići i u suprotnom smjeru prema određenom smanjenju. Očekivane promjene u količini oborina mogu dovesti do povećanog gubitka tla i nutrijenata kroz procese erozije i ispiranja te bi moglo rezultirati umjereno većim koncentracijama sedimenta i ukupnog N-a i ukupnog P-a od onih koje su zabilježene, kao i u slivu rijeke Sutle.

Podaci za minimalne i maksimalne vrijednosti protoka u slivu rijeke Sutle ukazuju na hidrološke ekstreme, ali i na promjenu pojavljivanja ekstrema prema godišnjim dobima. Očekuje se značajno povećanje sedimenta, za razliku od malog povećanja ukupnog N-a i ukupnog P-a zbog provedenih osnovnih i dodatnih mjera. Za BUDUĆE scenarije potrebno je odabrati dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva, iz kataloga dopunskih mjera, kojima se osigurava kontinuirana obraštenost zemljišta, veća vlažnosti tla i bolje korištenje nutrijenata za rast usjeva, te je smanjeno ispiranje i otjecanje nutrijenata u površinske vode. Tako se smanjuje pritisak nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu, kao i rizik od eutrofikacije voda i rizik od nepostizanja dobrog stanja voda. Navedene mjere integralnog upravljanja vodama omogućuju korištenje usluga ekosustava i sprječavaju značajan unos sedimenta te ukupni unos N-a i ukupni unos P-a. Prema BUDUĆIM scenarijima, predviđa se manji protok, a više sedimenta, čime se ugrožava opstanak potočne mreže, *Barbus balcanicus* i naglašava se potreba definiranja E-protoka-a. Na temelju dobivenih rezultata utjecaja na protok, sediment, ukupni N i ukupni P, predložene su mjere upravljanja poljoprivredom i vodama.

Ocjenom rezultata predloženog modela i usporedbom s rezultatima drugih autora u sličnim slivovima, može se zaključiti da su rezultati logični i prihvatljivi. Stoga, predloženi model je prihvatljiv za rješavanje problema upravljanja kakvoćom voda pod utjecajem klimatskih promjena (Ćosić-Flajsig G., et al., 2021). S obzirom na postojeće stanje i definirane „hot spots“ nutrijenata i sedimenta na razini podsliva, bilo je potrebno definirati dopunske mjere koje su predmet daljnjeg istraživanja. Preporučene mjere smanjenje unosa nutrijenata s poljoprivrednih područja uključuju agro-okolišne politike, poput osiguranja prijelaznih zona uz vodotoke, financijsku potporu za organsku i ekološku proizvodnju hrane, planove integralnog upravljanja riječnim slivom, te učinkovitu uporabu organskog i umjetnog gnojiva. Povećane razine tereta nutrijenata i sedimenta u tekućicama utjecale su na potrebu promjene upravljanja u poljoprivredi, no implementacija samo prijelaznih zona, vegetativnih tamponskih traka (engl.:

vegetative buffer strips: VBS) pokazala je učinkovitost u smanjenju prosječnih godišnjih tereta nutrijenta i sedimenta u tekućicama.

## Rasprava

Većina onečišćenja uk. P-a dolazi iz kućanstava i industrije. Važno je naglasiti da je svaki od prikazanih scenarija u ovom radu uspostavljen temeljem izvorne kalibracije i validacije OSNOVNOG SCENARIJA, jer kvaliteta rezultata kalibracije i validacije utječe na modeliranje scenarija s iste početne točke. Svaki od scenarija dodao je različit višestruki pogled na sadašnje i buduće stanje sliva. Tijekom istraživanja, postupno su se dodavali elementi u varijantama scenarija, kao što su promijenjeno upravljanje poljoprivredom, postojanje akumulacije, izgrađeni/planirani UPOV-i podaci o klimatskim promjenama. To je omogućilo bolje razumijevanje utjecaja prošlog ili budućeg upravljanja poljoprivrednim zemljištem, učinkovitost UPOV-a i postojanje akumulacije. Utjecaji navedenih elemenata na kakvoću i količinu vode ispitani su u uvjetima klimatskih promjena, a pokazatelji SWAT modela nisu mijenjani. Svrha varijantnih scenarija pod utjecajem klimatskih promjena je istražiti utjecaje promjenjivih klimatskih uvjeta u riječnom slivu na riječni tok, te pritisak tereta sedimenta i pritisak tereta nutrijenta na vodna tijela vodotoka.

Drugi autori (Kersebaum, K.C. et al., 2003), (Szmarinska K. et.al, 2009), (Glavan, M. & Pintar, M. 2012), koji su proučavali ruralne riječne slivove sličnih područja u umjereno kontinentalnoj klimi došli su do sličnih zaključaka u pogledu upravljanja kakvoćom vode u ruralnim riječnim slivovima, što doprinosi provedbi politika WFD-a i održivom razvoju. Budući scenariji doprinose predviđanju količine i kakvoće vode vezano uz uspostavu akumulacije, mogućnosti navodnjavanja i turizam. Ovdje se ocjena slaže s autorima (Piniewski, M. et al, 2017), (Čerkasova, N. et al., 2018) koji su se istim problemom bavili koristeći SWAT model. PoM-ovi za smanjenje pritiska onečišćenja nutrijentima ispunjavaju zahtjeve WFD-a, UWWTD -a, ND -a i nacionalnog zakonodavstva. Moraju biti isplativi, a dionici se moraju uključiti u raspravu, uključujući bolju međusektorsku suradnju i korištenje UE-a (Glavan M. et al., 2020). S obzirom na to da je sliv rijeke Sutle prekograničan, potrebno je uskladiti hidrološko praćenje i praćenje kakvoće vode, te lokacije postaja nadzornog monitoringa u skladu s novim zahtjevima.

Valja napomenuti da su novi podatci stvoreni temeljem postojećih podataka koji se mogu koristiti u daljnjim istraživanjima jer su svi relevantni podatci iz obje države prikupljeni i ocijenjeni. Podaci, iskustvo i znanje tijekom suradnje sa stručnim i znanstvenim institucijama Slovenije korišteni su za modeliranje utjecaja klimatskih

promjena, što je posebno važno s obzirom na činjenicu da se 78% sliva rijeke Sutle nalazi u Sloveniji. Iako su Hrvatska i Slovenija članice EU -a, poseban je problem bilo prikupljanje podataka jer svaka država ima svoje hidrološke i meteorološke mjerne postaje, a samo Hrvatska ima postaje za kakvoću vode. Nadležne institucije Hrvatske i Sloveniji trebale bi prikupljati i obrađivati različite podatke u riječnom slivu te pripremiti vlastite studije. Svaka država provodi vlastitu vodnu politiku jer ne postoji jedinstveni plan upravljanja riječnim slivom, a određeni problemi s vodama rješavaju se bilateralno.

Uobičajena praksa u prošlosti s prekomjernim korištenjem za različite namjene vode iz vodotoka, mora biti ograničena, posebno u svjetlu utjecaja klimatskih promjena i sve veće vjerojatnosti izrazito sušnih i vlažnih razdoblja. Razvoj bi se trebao podudarati s politikom zaštite okoliša, uključujući zaštitu vodnih resursa. Unatoč činjenici da je rijeka Sutla granica između Hrvatske i Slovenije, ona je važan most koji povezuje stanovnike s obje strane rijeke koji stoljećima žive zajedno. Preduvjet za uspješno upravljanje kakvoćom vode ovog prekograničnog sliva je bolja suradnja između Hrvatske i Slovenija da bi se izbjegla negativna iskustva s eutrofikacijom iz prošlosti. Preporuča se unaprjeđenje nadzornog monitoringa na način da se praćenje sedimenata i/ili biote može koristiti zajedno s praćenjem vodnog stupca kako bi se dobila koherentna i sveobuhvatna slika stanja vodnih tijela unutar svakog sliva, kao i isplativ pristup za početni pregled područja onečišćenja, za usporedbu koncentracija onečišćenja u različitim područjima i identificiranje mogućih izvora onečišćenja (EC, 2010). U budućnosti će biti potrebno provesti detaljnija istraživanja bioloških elemenata kakvoće vode, posebice vegetacije perifitona i makrofita, koji su izravno povezane s eutrofikacijom.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da se odluke o uvođenju mjera za očuvanje količine i kakvoće vode, temeljene na OSNOVNOM SCENARIJU i PROŠLIM scenarijima, te BUDUĆIM scenarijima utjecaja klimatskih promjena, moraju detaljno raspraviti među donositeljima odluka i politika prije provedba dodatnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva. Predloženi model donosi kreatorima politike priliku da cjelovito upravljaju kakvoćom voda riječnog sliva i donose odluke u vezi s primjenom dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva koje uključuju osnovne i dopunske mjere i UE. Ovaj pristup implementiran je u istraživanje vezano uz sliv rijeke Sutle, ali bi se metodologija mogla primijeniti na sličnim prekograničnim ruralnim riječnim slivovima. Daljnja i raširena primjena ovog pristupa omogućit će opsežnije stjecanje osnovnog znanja o riječnom

slivu, koje uključuje prirodne procese, nastanak onečišćenja i smanjenje rizika od eutrofikacije.

#### **5.4. Rezultati i rasprava pritisaka nakon primjene dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva na kritičnim podslivovima na OSNOVNOM SCENARIJU – SCENARIJI S DOPUNSKIM MJERAMA**

Prema prikazanoj metodologiji u podpoglavlju 4.1.9., podslivovi 1 i 2 (od ukupno 11 podslivova sliva rijeke Sutle) su identificirani kao kritični slivovi s „hot spots“ u odnosu na pritisak nutrijenata i sedimenta. Stoga, zaključeno je da će provedba *dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva u navedena dva podsliva*, uz provedene osnovne i dodatne mjere, unaprijediti upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva. Dodatne mjere, koje su definirane po hrvatskim propisima su obvezne i odnose se na zaštitu zaštićenih područja prema WFD EU-a, te nisu uključene u modeliranje SWAT-om. Naime, njihova provedba nije toliko značajna za kvantifikaciju redukcije nutrijenata i sedimenta, već za provedbu vodnih politika i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Radi unaprjeđenja rezultata OSNOVNOG SCENARIJA s postojećim osnovnim mjerama, izrađen je OSNOVNI SCENARIJ1 s osnovnim mjerama i septičkim taložnicama u podslivovima 1 i 2, te na područjima na kojima nije planiran sustav javne odvodnje. Tako je za podslivove 1,2,3,4 i 6 planirana primjena septičkih taložnica s procjenom od 142 septičke taložnice /km<sup>2</sup>. U podslivovima 5,7,8,9,10 i 11 nisu planirane septičke taložnice jer je u tim podslivovima većinom urbano korištenje zemljišta s planiranim sustavima javne odvodnje, a izuzeci u korištenju septičkih taložnica odnose se na izrazito dislocirane stambene objekte. Rezultati OSNOVNOG SCENARIJA I OSNOVNOG SCENARIJA1 u koju su uključene septičke taložnice ukazuje na istovjetne vrijednosti redukcije pritisaka protoka, sedimenta ukupnog N-a i ukupnog P-a SWAT modelom. Prema prikazanim rezultatima, uključivanje septičkih taložnica u modeliranje redukcije pritisaka nutrijenata i sedimenta SWAT modelom ukazuje na beznačajni doprinos septičkih taložnica rezultatima modeliranja obzirom na pretpostavljenu relativno malu gustoću septičkih taložnica.

Za dopunske mjere u podslivovima 1 i 2, odabir mjera zelene infrastrukture i agro-okolišnih mjera proveden je uz zadovoljenje dva kriterija: odabir mjera koje se nalaze u NWRM katalogu i mogućnost modeliranja mjera SWAT modelom. Uglavnom su to agro-okolišne mjere koje se realiziraju kroz BAP i obradu poljoprivrednog zemljišta, te imaju višenamjensku funkciju upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva.



U Tablici 5-12 opisani su SCENARIJI S DOPUNSKIM MJERAMA i mjere koje ga sačinjavaju.

Tablica 5-12: Opis SCENARIJA S DOPUNSKIM MJERAMA i mjera koje ga sačinjavaju

<b>SCENARIJI S DOPUNSKIM MJERAMA (4) – izrađen temeljem OSNOVNOG SCENARIJA = OSNOVNI SCENARIJ1 (nema akumulacije, samo postojeći UPOV-i)</b>	
4.0	Sve dopunske mjere iz scenarija 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 Sjetva u pojasevima (njive na nagibima >11% i <25%) <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje površinske erozije - USLE_P (mgt) = 0.60</li> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (mgt) = -12%</li> </ul> Izrada terasa (sve njive i voćnjaci na nagibima >25%): <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje površinske erozije - USLE_P (mgt) = 0.16</li> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (mgt) = -14%</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje duljine nagiba- SLSUBBSN (HRU) = 9.1463 m (zadana vrijednost)</li> </ul> Upravljanje ostacima (na svim njivama slama ostaje nakon žetve) <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (mgt) = - 4% (dodatno)</li> <li>• Prijelazne zone 5m / za njive na svim vrstama tla na nagibu &gt;11%</li> </ul>
4.1	Konturiranje (sve njive na nagibima većim od >11) USLE_P: 0.80; CN2: -10% <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje površinske erozije - USLE_P (mgt) = 0.80;</li> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (mgt) = -10%;</li> </ul>
4.2	Sjetva u pojasevima (sve njive na nagibima većim od >11) USLE_P: 0.60; CN2: -12% <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje površinske erozije - USLE_P (.mgt) = 0.60;</li> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (.mgt) = -12%;</li> </ul>
4.3	Izrada terasa (sve njive i voćnjaci na nagibima >25%): <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje površinske erozije - USLE_P (.mgt) = 0.16;</li> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (.mgt) = -14%, <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje duljine nagiba – SLSUBBSN (HRU) = 9.1463 m (zadana vrijednost)</li> </ul> </li> </ul>
4.4	Upravljanje ostacima (na svim njivama ostavlja se slama nakon žetve) <ul style="list-style-type: none"> <li>• smanjenje oborinskog otjecaja - CN2 (.mgt) = - 4%</li> </ul>
4.5	Prijelazne zone (njive, tlo i nagibi) <ul style="list-style-type: none"> <li>• povećanje zadržavanja sedimenta - FILTERW (.mgt)</li> </ul> 4.5a = 5m / za sve njive i na svim vrstama tla i nagibima >11% 4.5b = 15 m / za sve njive na svim vrstama tla i svim vrstama nagiba Prema ekspertnoj procjeni =5 m. Detaljniji opis u podpoglavlju 4.1.9.

Legenda:

USLE\_P = reduce sheet erosion – površinska erozija

mgt = management measure – mjera upravljanja

CN2 = reduce overland flow - smanjenje oborinskog otjecaja

SLSUBBSN (HRU) = reduce slope length - smanjenje duljine nagiba

FILTERW = increase sediment trapping - povećanje zadržavanja sedimenta

Odabrane mjere su: *izrada terasa, konturiranje, prijelazne zone, sjetva u pojasevima, upravljanje ostacima, generička konzervatorska praksa*. Na OSNOVNOM SCENARIJU, primijenjene su mjere „po mjeri“ riječnog sliva za podslivove 1 i 2 kojima se značajno smanjio pritisak sedimenta, ukupnog, N i ukupnog P-a, te su izrađeni SCENARIJI S DOPUNSKIM MJERAMA. Svaka odabrana dopunska mjera ili njihova kombinacija, čini SCENARIJ S DOPUNSKIM MJERAMA, i to su scenariji: 4 = 4.2 + 4.3 + 4.4 + 4.5, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 i 4.5a U scenariju 4 nije primijenjeno konturiranje 4.1, jer mjera nije prikladna za riječni sliv rijeke Sutle, a daje približno iste učinke kao mjera

4.2. U Tablici 5-13 prikazani su rezultati SCENARIJA S DOPUNSKIM MJERAMA za procjenu pritiska protoka sedimenta, ukupnog N-a i ukupnog P-a SWAT modelom.

Tablica 5-13: Rezultati SCENARIJA S DOPUNSKIM MJERAMA za procjenu pritiska sedimenta, ukupnog N-a i ukupnog P-a SWAT modelom

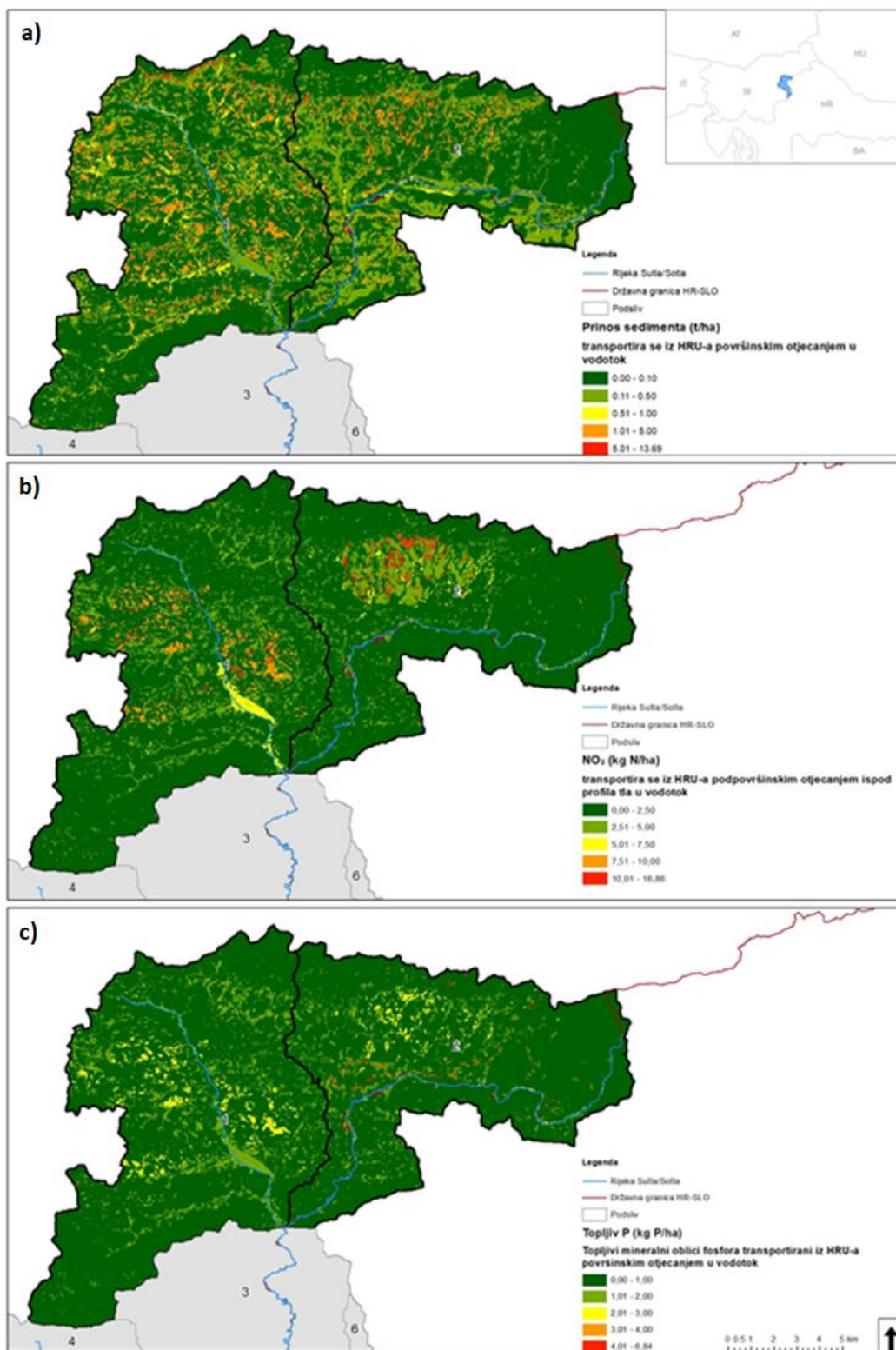
SCENARIJI S DOPUNSKIM MJERAMA	PROTOK (m <sup>3</sup> /s)	SEDIMENT (t)	UKUPNI DUŠIK(t/ha)	UKUPNI FOSFOR (t/ha)
SADAŠNJI	7,76	13853	1898	119
MJERA 4 = sve mjere od 4.2-4.5a	7,82	9331	1331	878
MJERA 4.1 - konturiranje	7,76	11269	1658	103
MJERA 4.2 - sjetva u pojasevima	7,76	10636	1599	987
MJERA 4.3 – izrada terasa	7,76	13292	1849	116
MJERA 4.4 – upravljanje ostacima	7,76	12246	1707	105
MJERA 4.5a – prijelazne zone - 5 m	7,76	11249	1638	101
MJERA 4.5 b – prijelazne zone - 15 m	7,76	8506	1209	67

U Tablici 5-14 prikazani su rezultati SCENARIJA S DOPUSKIM MJERAMA, za mjeru 4, te zasebno mjera 4.1, 4.2, 4.3, 4.4., 4.5 a i 4.5b. SWAT modelom u postocima u odnosu na OSNOVNI SCENARIJ za pritisak protoka, sedimenta, ukupnog N-a i ukupnog P-a. Za mjeru 4.3. - izrada terasa, potrebno je napomenuti da nije tako veliki učinak uklanjanja sedimenta obzirom da je malo poljoprivrednih površina (njiva i voćnjaka) s nagibom većim od 25% na koje se ova mjera odnosi. U provedbi mjere 4, mjera 4.3. daje doprinos smanjenju sedimenta zajedno s ostalim mjerama.

Tablica 5-14: Rezultati SCENARIJA S DOPUNSKIM MJERAMA SWAT modelom u postocima u odnosu na OSNOVNI SCENARIJ za pritisak protoka, sedimenta, ukupnog N-a i ukupnog P-a.

SCENARIJI DOPUNSKIH MJERA	PROTOK (%)	SEDIMENT (%)	UKUPNI DUŠIK(%)	UKUPNI FOSFOR (%)
MJERA 4	1	-33	-30	-27
MJERA 4.1	0	-19	-13	-14
MJERA 4.2	0	-23	-16	-18
MJERA 4.3	0	-4	-3	-3
MJERA 4.4	0	-12	-10	-12
MJERA 4.5a	0	-19	-14	-16
MJERA 4.5b	0	-39	-36	-44

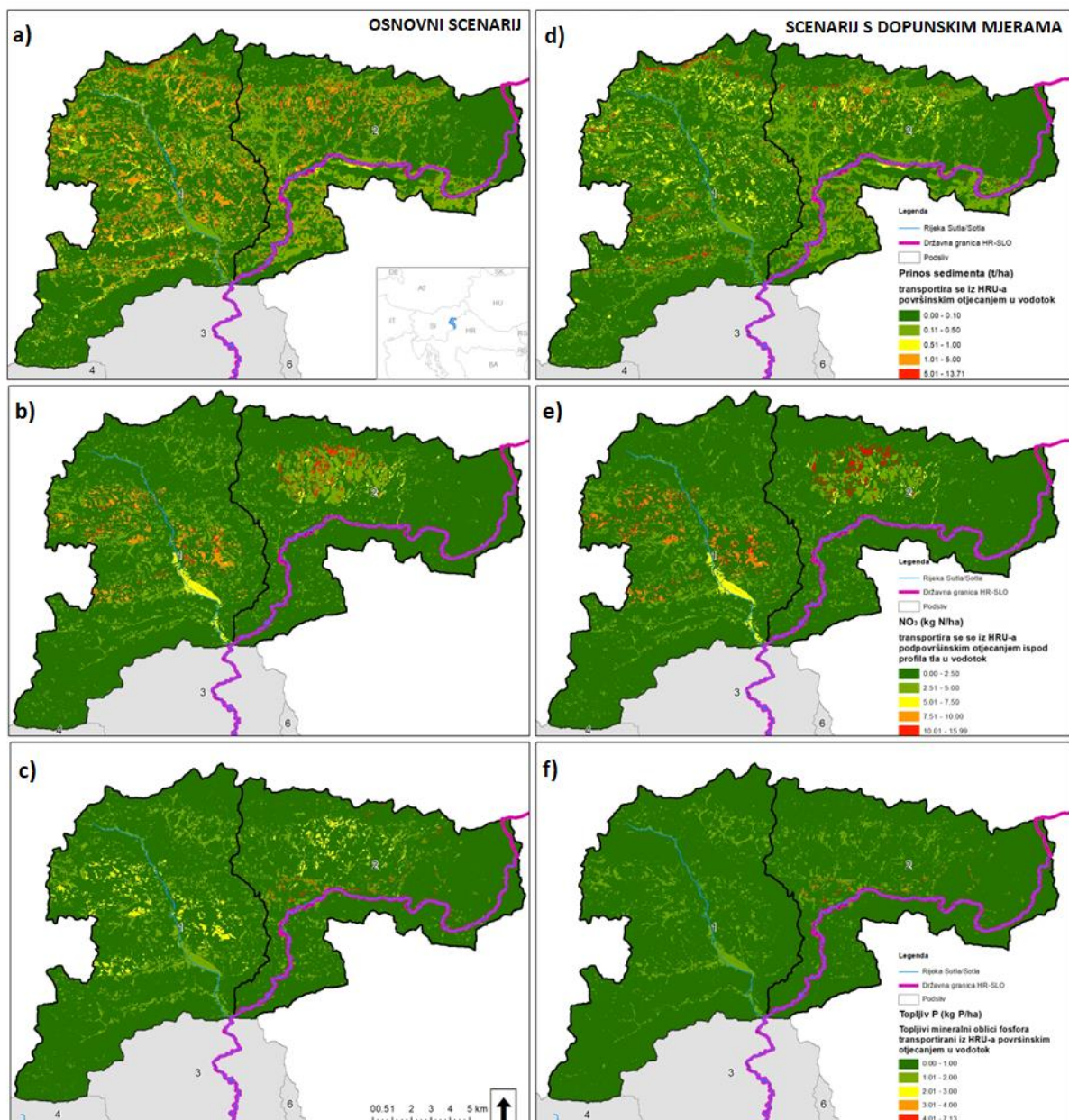
Ukoliko se uspoređuju mjere 4.1 i 4.2, mjera 4.2 značajno doprinosi smanjenju pritiska i primjerenija je za sliv rijeke Sutle. Mjera 4.5b najznačajnije doprinosi smanjenju pritiska, no korištena je mjera 4.5a koja je realnija. Rezultati mjere 4, prikazani su Slikom 5-8.



Slika 5-8: Rezultati primijenjene mjere 4 „po mjeri riječnog sliva za podslivove 1 i 2 SWAT modelom za: a) sediment, b) N i c) P



Prema Tablici 5-15, mjera 4 koja uključuje mjere: 4.2, 4.3, 4.4 i 4.5a je najučinkovitija iako povećava pritisak protoka za 1%, a istovremeno smanjuje pritisak sedimenta za 33%, uk. N za 30% i uk. P dušika za 27%. Mjera 4.5.b primijenjena za cijeli sliv daje najučinkovitije rezultate. Radi se o primjeni prijelaznih zona na udaljenosti od 15 m. Rezultati usporedbe OSNOVNOG SCENARIJA i SCENARIJA S DOPUNSKIM MJERAMA koje uključuju mjeru 4, a rezultati su prostorno prikazani Slikom 5-9.



Slika 5-9: Modeliranje redukcije nutrijenata N-a i P-a, te sedimenta temeljem OSNOVNOG SCENARIJA s osnovnim mjerama (lijevo a) - c) ) i OSNOVNOG SCENARIJA s osnovnim i S DOPUNSKIM MJERAMA opisanih mjerom 4 SWAT modelom (desno d) – f))

S lijeve strane, na Slici 5-9, odozgo prema dolje, prikazano je modeliranje SWAT modelom a) redukcije sedimenta, b) redukcije N-a i c) redukcije P-a temeljem OSNOVNOG SCENARIJA s osnovnim mjerama (prethodno prikazano u Poglavlju 4: a) - Slika 4-13, b) - Slika 4-14 i c) - Slika 4-15). S desne strane, na Slici 5-9, odozgo prema dolje, prikazano je modeliranje SWAT modelom d) redukcije sedimenta, e) redukcije N-a i f) redukcije P-a temeljem OSNOVNOG SCENARIJA1 s osnovnim i S DOPUNSKIM MJERAMA opisanih mjerom 4. Usporedbom prikaza Slika 5-9 (lijevo) i Slika 5-9 (desno), i to: usporedba redukcije sedimenta za a) i d), usporedba redukcije N-a za b) i e), usporedba redukcije P-a za c) i f) - uočeno je značajno smanjenje pritisaka i uklanjanje „hot spots“ koji su oznaka prekomjernih pritisaka za koje je nužna provedba mjera.

### **Rasprava**

U ovom radu razvijen je konceptualni model upravljanja *kakvoćom voda riječnog sliva*. Vezano uz kvantifikaciju i prostorni prikaz pritisaka za podsliv 1 i 2 uz primjenu dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva korištenjem matematičkog modela SWAT. Rezultati modeliranja pokazali su značajne učinke primjene dopunskih mjera koje su agro-okolišne i mjere zelene infrastrukture. Osnovne poljoprivredne mjere uključene u pripremu upravljanja poljoprivrednim zemljištem uključuju zahtjeve unakrsne usklađenosti i standarde koji se odnose na zaštitu izvora vode definirane u ND i standardima EU-a o dobrom poljoprivrednom i ekološkom stanju zemljišta (engl.: *good agricultural and environmental condition of land*; GAECL). Mjere iz ND obuhvaćaju maksimalnu količinu od 170 kg organskog N godišnje, te razdoblja u kojima je dopuštena primjena organskog N-a. Standardi GAECL-a za održavanje dobrih poljoprivrednih i okolišnih uvjeta zemljišta uključuju osnovne mjere za sprječavanje erozije tla definiranjem minimalnog pokrova tla i minimalne prakse upravljanja zemljištem (pokriveno tlo, obrada tla u odgovarajuće vrijeme). Dopunske mjere odabrane su među mjerama Programa ruralnog razvoja (PRR) koje se sastoje od podmjera, a bave se višestrukim pitanjima zaštite okoliša. U radovima drugih autora utvrđena je potvrda dobivenih rezultata, i to: metodologije smanjenja raspršenih izvora onečišćenja primjenom agro-okolišnih mjera u EU u radu (Babulo B. B. et al., 2011.), redukcije pritisaka korištenjem SWAT modela primjenom agro-okolišnih mjera u prekograničnom riječnom slivu rijeke Ledave autora Glavana M. i drugih (Glavan M et al., 2016.), te redukcija pritisaka korištenjem SWAT modela primjenom agro-okolišnih mjera prijelazne zone u radu (Barlund I. et al., 2007). U daljnjim istraživanjima, da bi se postiglo optimalno upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, potrebno je primijeniti

dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva i za ostalih 9 od 11 podslivova za OSNOVNI SCENARIJ, unaprjeđenjem primijenjenih mjera (npr. za manje nagibe poljoprivrednih zemljišta i osiguranja zadržavanja sedimenta i nutrijenata u ekstremnim hidrološkim situacijama intenzivnih oborina i oborinskog otjecaja), kao i za sve BUDUĆE SCENARIJE povezane s utjecajem klimatskih promjena, različitih scenarija integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela. Istovremeno, predložene mjere mogu se primijeniti i na npr.: manje nagibe poljoprivrednih zemljišta kako bi se osiguralo zadržavanje sedimenta i nutrijenata u ekstremnim hidrološkim situacijama intenzivnih oborina i oborinskog otjecanja.

U budućim istraživanjima trebalo bi predložiti i prilagoditi mjere za smanjenje „hot spots“ pritisaka nutrijenata u slivu rijeke Sutle i provjeriti ih novim scenarijima koji uključuje optimalan set mjera „po mjeri“ riječnog sliva. Ovom doktorskom disertacijom željelo se pokazati što se može postići razvijenim inovativnim modelom upravljanja kakvoćom voda uz korištenje SWAT modela, no da bi se definirao optimalni scenarij potrebno je provesti istraživanje razvoja scenarija s različitim setovima mjera „po mjeri“ riječnog sliva. Primjenom metoda višekriterijske analize, uz sudjelovanje javnosti, moguće je odabrati optimalni set dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva. Uključivanje javnosti u odabir optimalnog PoMs-a potreban je kako bi postao operativan i uključio bolju međusektorsku integraciju vodnih politika podjelu tereta između sektora.

Cijeli prikazani dio istraživanja koji se odnosi na odabir dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, osim što je pokazao učinkovitost primijenjenih mjera, može poslužiti i za izradu preporuka primjene dopunskih mjera. Zaključeno je da će predložene dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva uspješno funkcionirati i za BUDUĆE scenarije, no njihovu uspješnost treba utvrditi monitoring voda.

Provedenim istraživanjima i prikazanim rezultatima uz pripadajuću raspravu, temeljem razvijenog modela integralnog upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva DPSIR pristupom potvrđeni su glavni cilj istraživanja i četiri podcilja istraživanja, kao i dvije hipoteze rada. U daljnjim koracima istraživanja, nakon analize svih rezultata dobivenih prema točkama 1-10, u sljedećem ciklusu radi daljnjeg unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda prekograničnog ruralnog riječnog sliva, predlaže se izrada analiza „hot spot“ pritisaka nutrijenata i sedimenta kritičnih podslivova, te primjena dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva za sve podslivove i sve scenarije.

### **Smjernice dopune postojećeg nadzornog monitoringa**

U cijelom poglavlju 5, u raspravi svakog od poglavlja, navedene su preporuke dopune postojećeg nadzornog monitoringa koje sve zajedno čine smjernice dopune postojećeg nadzornog monitoringa. Odnose se prvenstveno na prijedlog kontinuiranog mjerenja meteoroloških, hidroloških, podataka o kakvoći voda i sedimentu i praćenje i kvantifikacija izvora onečišćenja.

### **Smjernice za monitoring primijenjenih dopunskih mjera**

Da bi se provjerila učinkovitost odabranih mjera „po mjeri“ podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle, projektira se monitoring voda neposredno nizvodno od provedenih mjera, koji uključuje količinu i kakvoću voda na istim mjernim postajama. Postojeće monitoring postaje, kao i podaci koji se prikupljaju na njima, uključuju se u program monitoringa mjera „po mjeri“ podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle. Obzirom na financijsku zahtjevnost provedbe programa monitoringa, predlaže se *provedba ciljanog, istražnog monitoringa ograničenog vremenskog trajanja* s paralelnom kontrolom stanja voda putem mjernih postaja operativnog i nadzornog monitoringa. Operativni monitoring se provodi u određenim vremenskim razdobljima kod vodnih tijela kod kojih je utvrđeno da ne postižu dobro stanje voda ili su pod rizikom ne postizanja dobrog stanja voda. Sveukupnom analizom svih dostupnih podataka prikupljenih temeljem provedenog istražnog monitoringa potrebno je odlučiti o uspostavi novih mjernih postaja nadzornog monitoringa voda u odnosu na količinu i kakvoću voda. Preduvjet postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva Sutle na dva kritična podsliva, podsliv 1 i podsliv 2, je postizanje dobrog stanja voda vodnih tijela za koja postoje mjerne postaje nadzornog monitoringa, očuvanje i zaštita biološke raznolikosti lokaliteta NATURA 2000, te očuvanje odgovarajuće kakvoće voda za različite vrste korištenja voda (npr. ribolov). Obzirom da nije izrađen plan upravljanja vodama sliva rijeke Sutle, nisu niti definirani ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva, kontrola njihova postizanja provodi se temeljem općih znanja vezanih uz upravljanje vodama i upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva.

## 6. ZAKLJUČAK

Analizom dostupne literature i postojećih istraživanja, kao i istraživanjem provedenom tijekom izrade doktorskog rada i razvoja modela integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva, utvrđeno je da je ovo znanstveno istraživanje jedinstveno jer se radi o inovativnom interdisciplinarnom, holističkom integralnom pristupu upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva. Model je primijenjen i potvrđen na slivu rijeke Sutle, te obzirom na ulazne podatke i dobivene rezultate, očekuje se primjena i za druge ruralne prekogranične i ruralne riječne slivove vodnih tijela panonske ekoregije, ali i za druge regije kontinentalne klime. Tijekom početnoga istraživanja, kod prijave teme doktorske disertacije, korištenjem znanstvenih metoda istraživanja, definiran je glavni cilj i četiri podcilja istraživanja, odnosno doktorskog rada. Svi ciljevi su postignuti tijekom izrade doktorskog rada. Postavljene su dvije hipoteze koje su, također, potvrđene provedenim istraživanjima u sklopu izrade ovog doktorskog rada.

**Glavni cilj istraživanja** bio je *razviti model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva unutar integralnog upravljanja vodama radi postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva*. Intenzivno korištenje tla i voda riječnog sliva ima za posljedicu potrebu ostvarenja ravnoteže između okolišnih i razvojnih ciljeva riječnog sliva primjenom modela upravljanja kakvoćom voda. Razvijeni model se temelji na odabiru optimalnog scenarija upravljanja kakvoćom voda korištenjem DPSIR pristupa, definiranje scenarija SWAT modelom uz utjecaj klimatskih promjena, te odabira seta dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva uključujući usluge ekosustava i dobrobit čovjeka.

Navedeni cilj ostvaren je primjenom razvijenog modela upravljanja kakvoćom voda DPSIR pristupom, opisanog dijagramom toka na Slici 4-1. Uz detaljno opisan model, opisana je i njegova provedba po svim koracima naznačenim u dijagramu toka. Usporedba rezultata pojedinih koraka razvijenog modela s drugim istraživanjima na sličnim riječnim slivovima, potvrdila je ispravnost pristupa. Modeliranjem scenarija postojećeg stanja i scenarija prošlog stanja i scenarija budućeg stanja s utjecajem klimatskih promjena, s provedenim osnovnim mjerama SWAT modelom, utvrđeno je da optimalni scenarij upravljanja kakvoćom voda mora uključivati set dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva. Izdvojeni su kritični podslivovi s „hot spots“ pritisaka nutrijenata i sedimenta korištenjem SWAT modela za scenarij postojećeg stanja, te uz primjenu dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva u kritičnim gornjim podslivovima riječnog sliva, dobiveno je značajno smanjenje pritisaka „hot spots“-a. Rezultati su



opravdali pretpostavke, a korištene dopunske mjere „po mjeri“ riječnog sliva, i to agro-okolišne mjere i mjere zelene infrastrukture, dokazano doprinose povećanju korištenja UE-a u riječnom slivu. Zaključeno je da bi provedba dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva za sve podslivove, prema prioritetima rješavanja ovisno o pritiscima nutrijenata i sedimenta, i sve buduće scenarije s utjecajima klimatskih promjena, trebala ostvariti očekivanu redukciju pritiska nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu. Obzirom da je primjena razvijenog holističkog, integralnog modela upravljanja kakvoćom voda potvrđena na prekograničnom ruralnom slivu rijeke Sutle, može se zaključiti da je model primjenjiv i na drugim riječnim slivovima jer su rezultati predloženog modela usporedivi sa sličnim modelima upravljanja kakvoćom voda na sličnim ruralnim prekograničnim slivovima.

U sklopu istraživanja, uz naprijed navedeni **glavni cilj istraživanja**, postavljena su i ispunjena **četiri podcilja znanstvenog istraživanja**:

**Prvi podcilj** istraživanja je *izrada prijedloga kontinuiranog mjerenja meteoroloških, hidroloških podataka, podataka o kakvoći voda i sedimentu i praćenje i kvantifikacija izvora onečišćenja*. Obzirom da je analizom provedenih istraživanja u sklopu izrade doktorskog rada na slivu rijeke Sutle, utvrđen nedostatak mjerenja pokazatelja nadzornog monitoringa prema odredbama WFD-a prema broju i učestalosti mjerenja pokazatelja, ostvaren je prvi podcilj istraživanja izradom prijedloga *smjernica dopune postojećeg nadzornog monitoringa*. Prijedlog je izrađen na način da su komentari postojećeg monitoringa i prijedlog njegova unaprjeđenja prikazani u raspravi svih rezultata prema koracima provedbe razvijenog modela. Prijedlozi se odnose na pokazatelje nadzornog monitoringa i operativnog monitoringa (za mjerne postaje na kojima je utvrđeno nepostizanje dobrog stanja voda), kao i potrebu provedbe istraživačkog monitoringa. Nadzorni monitoring vodnih tijela površinskih voda sliva rijeke Sutle treba revidirati u smislu veće učestalosti redovitog mjerenja i uključivanja većeg broja pokazatelja, te ga koristiti u kombinaciji s postupkom procjene pritiska i utjecaja nutrijenata i sedimenta. Također, napravljen je prijedlog monitoringa koji prati učinkovitost primijenjenih dopunskih mjera.

**Drugi podcilj** istraživanja je *ispitati mogućnost razvoja modela upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva temeljenog na DPSIR pristupu* radi pouzdanije procjene utjecaja na vode uz provedbu optimalnog seta mjera prema odabranim scenarijama. Postavljeni drugi podcilj ostvaren je razvijenim modelom upravljanja kakvoćom voda koji se temelji na DPSIR pristupu. Pokazalo se da je DPSIR pristup izvrstan holistički interdisciplinarni pristup u sagledavanju svih

problema riječnog sliva i njihovih okolišnih aspekata. Istraživanje je započelo DPSIR pristupom i pružilo osnovne informacije o riječnom slivu, da bi se nastavilo kvantifikacijom pritiska umanjenih provedenim osnovnim mjerama pomoću SWAT modela, te analizom procijenjenih utjecaja i usporedbom sa stanjem voda. Provedbom dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva korištenjem SWAT modela,  *smanjeni su pritisci prikazani u postotku srednjih vrijednosti sedimenta i nutrijenata u rasponu vrijednosti prema Tablici 5-13, i to: od (-4) do (-39) % za sediment, od (-3) do (-36)% za uk. N, te od (-3) do (-44)% za uk. P. Istovremeno, vrijednosti protoka su neznatno povećane, i to u rasponu od 0 do 1%. Navedenim rezultatima utvrđena je učinkovitost pristupa. Zaključeno je da bi primjenom dopunskog seta mjera „po mjeri“ cijelog riječnog sliva na sve buduće scenarije pod utjecajem klimatskih promjena bilo moguće uz korištenje metoda višekriterijske analize dobiti optimalni set dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva.*

**Treći podcilj** istraživanja je  *definiranje postupaka validacije i evaluacije mogućnosti predviđanja pritiska nutrijenata i sedimenta ruralnog prekograničnog riječnog sliva.* Korištenjem SWAT modela s različitim scenarijima koji uključuju klimatske promjene uz provedbu osnovnih mjera i ponovno uspostavljanje akumulacijskog jezera, prema Slici 4-6, dokazano je da je moguće definirati postupke validacije i evaluacije, kao i mogućnosti rješavanja problema kritičnih podslivova s „hot spots“ pritiska nutrijenata i sedimenta izradom različitih scenarija. Primjenom dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva za dva kritična podsliva na osnovnom scenariju – scenariju sadašnjeg stanja, te analizom postignutih rezultata, zaključeno je da se može očekivati učinkovitost dopunskih mjera i za buduće scenarije koji uključuju klimatske promjene, te da je postignut treći podcilj.

**Četvrti podcilj** je  *mogućnost razvoja modela nastalog temeljem niza metodologija i metoda, s primjenom mjera „po mjeri riječnog sliva“, koji tako izrađen pruža sveobuhvatni interdisciplinarni holistički integralni pristup upravljanju kakvoćom voda riječnog sliva.*

Na dijelu riječnog sliva, utvrđeno je nepostizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva i nepostizanje dobrog stanja voda, kao i kritični podslivovi s „hot spots“ pritiska nutrijenata i sedimenta u riječnom slivu. Temeljem razvijenog modela prikazanog Slikom 4-1, te korištenjem niza u radu obrazloženih, metoda i metodologija za svaki korak razvijenog modela, definirani su kritični podslivovi riječnog sliva. Obzirom da se radi o najuzvodnijim podslivovima, smanjenje „hot spots“ pritiska nutrijenata i sedimenta dopunskim mjerama „po mjeri“ riječnog sliva utiče na unaprjeđenje stanja

voda rijeke Sutle podslivova i nizvodno, kao i na postizanje dobrog stanja voda i postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva. Time je ostvaren četvrti podcilj razvoja modela.

Prijavom teme doktorskog rada postavljene su **sljedeće hipoteze istraživanja**, i to:

1. *Model integralnoga upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva i pouzdanija procjena utjecaja na vode, te provedba optimalnog seta mjera temeljenog na odabranim scenarijama, imat će značajan utjecaj na postizanje okolišnih ciljeva.*

**Prva hipoteza** doktorske disertacije temelji se na pretpostavci da je upotrebom DPSIR pristupa moguće razviti model integralnoga upravljanja vodama prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva, uz korištenje javno dostupnih podataka o kakvoći voda i izvorima onečišćenja u riječnom slivu, te izraditi različite scenarije radi postizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva. Definiranje seta dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, temeljenog na odabranim scenarijama, provedena je odabirom mjera „po mjeri“ riječnog sliva na kritičnom podslivu 1 i kritičnom podslivu 2 koji imaju najznačajniji utjecaj na postizanje dobrog stanja površinskih voda riječnog sliva, kao i na postizanje okolišnih ciljeva riječnog sliva. Provedba optimalnog seta mjera na odabranim scenarijima bit će moguća nakon primjene dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva za sve podslivove riječnog sliva i sve buduće scenarije koji uključuju utjecaj klimatskih promjena uz sudjelovanje javnosti i korištenje višekriterijske analize.

2. *Utjecaj stanovništva i poljoprivrede, obnova akumulacije na slivu rijeke Sutle, te utjecaj klimatskih promjena, uz optimalni set mjera koji je izrađen „po mjeri“ riječnog sliva, neće imati negativan utjecaj na kakvoću voda i eutrofikaciju voda.*

**Druga hipoteza** doktorskog rada temelji se na pretpostavci da je razvijeni inovativni model, temeljen na DPSIR pristupu, primjenjiv za prekogranične ruralne slivove, te je moguće razviti metodologiju procjene utjecaja stanovništva i poljoprivrede, obnove akumulacije- Sutlanskog jezera, te utjecaja klimatskih promjena uz optimalni set mjera koji je izrađen „po mjeri“ riječnog sliva kojim će se postići dobro stanje voda i smanjiti rizik eutrofikacije voda. Razvijeni inovativni model upravljanja kakvoćom voda korištenjem DPSIR pristupa s ArcGIS prostornom analizom i SWAT modelom, omogućio je modeliranje pritisaka od stanovništva i poljoprivrede i procjenu utjecaja, te se pokazao prikladnim za pilot sliv rijeke Sutle. Procjena smanjenja pritisaka od stanovništva i poljoprivrede uslijed primjene osnovnih i dodatnih mjera izrađena je za buduće scenarije „s“ i „bez“ obnove akumulacije uz utjecaje klimatskih promjena korištenjem SWAT modela. Tako je potvrđena druga hipoteza, jer je

neodgovarajuće upravljanje akumulacijom u prošlosti kontrolom pritiska nutrijenata u riječnom slivu uzrokovalo nepostizanje dobrog stanja voda i eutrofikaciju voda. Daljnja i šira primjena ovog pristupa omogućit će šire stjecanje temeljnih znanja o slivu rijeke Sutle, što uključuje prirodne procese, generiranje onečišćenja i daljnji rad na smanjenju rizika od eutrofikacije. U budućnosti, radi smanjenja rizika od eutrofikacije voda potrebno je provesti detaljnija istraživanja bioloških elemenata kakvoće vode, posebice perifitona i makrofitske vegetacije koji su izravno povezani s eutrofikacijom. Kako bi se dobila potpuna slika, istraživanja bi se trebala provoditi najmanje tri godine uzastopno u toplijem dijelu godine i za vrijeme nižih vodostaja. Također, potrebno je proučavati i modelirati procese nastajanja, transporta i taloženja sedimenata u riječnom slivu, morfologiju rijeke, pratiti замуćenost vode, kakvoću sedimenta i kakvoću vode. Uz analizu rizika nepostizanja dobrog stanja voda, rizika od eutrofikacije voda i rizika nepostizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva važno je intenzivnije uključiti hidrološki režim i režim nanosa, riječnu hidromorfologiju, te ostvarivanje usluga ekosustava unutar integralnog upravljanja vodama.

*Nedostaci/neizvjesnosti ovoga istraživanja* odnose se na *dostupnost podataka, informacija i znanja* potrebnih za holistički integralni pristup upravljanja kakvoćom voda prekograničnoga ruralnoga riječnog sliva. Raspoloživost javnih podataka i informacija, iako bi dostupnost trebala biti neupitna, često je bila teško ostvariva, a dobiveni podaci su često činili nehomogene prekinute nizove. U nekim slučajevima, analizom podataka, ustanovljeni su u potpunosti krivo izmjereni podaci, pa su zamijenjeni primjerenijim podacima dopunom sa susjednih mjernih postaja kako bi se ostvario homogeni niz i uspješnost rada SWAT modela. Posebno je potrebno istaknuti manjkavost nepovezanosti mjernih postaja količine i kakvoće voda, kao i nepovezanost tih mjernih postaja s definiranim vodnim tijelima površinskih voda, zajednički za obje države. Naime, postojeće mjerne postaje, posebno mjerne postaje količine voda zadržale su svoje lokacije neovisno o novodefiniranim vodnim tijelima. Također, Hrvatska i Slovenija, definirale su svaka svoja površinska vodna tijela, prate količinu i kakvoću voda rijeke Sutle svaka za svoje mjerne postaje i izvještavaju Europsku komisiju o stanju voda svaka za svoja vodna tijela koja nisu identična na istom vodotoku, rijeci Sutli. Korišteni su i rezultati istraživačkog monitoringa na koji bi u budućnosti trebalo obratiti veću pozornost sustavnim praćenjem određenih relevantnih čimbenika kroz duže vremensko razdoblje kako bi se nadopunilo znanje o procjeni pritiska stanju voda, kao i o procjeni utjecaja i procesima riječnog sliva. Također, uočen je nedostatak broja i pokrivenosti klimatoloških i hidroloških mjernih

postaja, kao i mjernih postaja kakvoće voda, te nehomogenost nizova podataka. Interdisciplinarna znanja koja su korištena stečena su suradnjom i učenjem od različitih stručnjaka koji ne pripadaju hidrotehničkoj struci (agronomi, biolozi, geografi, klimatolozi), kao i samostalnim radom. Uključivanje različitih struka u primjenu holističkog pristupa, koji uključuje interdisciplinarnost i multidisciplinarnost, dalo bi kvalitetnija rješenja, dok je ovo istraživanje u sklopu izrade doktorskog rada dalo neophodne smjernice za njihovo ostvarenje.

*Znanstveni doprinos prezentiranog istraživanja ovog doktorskog rada* sastoji se od *razvoja inovativnog integralnog modela upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva*, te uključuje i razvoj sljedećih metodologija:

- Razvoj metodologije analize scenarija, uključujući utjecaj klimatskih promjena i obnovu akumulacije, i primjene dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva,
- Razvoj metodologije za implementaciju seta dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva,
- Razvoj metodologije za implementaciju UE-a i dobrobiti čovjeka u model korištenjem mjera zelene infrastrukture i agro-okolišnih mjera, kao i definiranja E-protoka.

Temeljem javno dostupnih prostornih i statističkih podataka, izrađen je model upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva, primijenjen na pilot slivu - ruralnom slivu rijeke Sutle koji je prekogranični riječni sliv Hrvatske i Slovenije s državnom granicom na rijeci Sutli. Doprinos metodologiji izrade plana upravljanja vodama dat je razvojem inovativnog modela, obzirom da za prekogranični riječni sliv ne postoji plan upravljanja vodama, uz različite i neujednačene izvore javnih podataka, ishodišnu točku čine prethodna istraživanja koja su usmjerena na prikupljanje i analizu postojećih istraživanja, projekata i znanstvenih radova koji ukazuju na probleme u riječnom slivu i potrebu integralnoga upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva. U sklopu razvijenog inovativnog modela, korištenjem SWAT modela, predložena je metodologija izrade različitih scenarija, uključujući utjecaj klimatskih promjena i primjene mjera kojima se sprječava rizik ne postizanja dobrog stanja voda i rizik eutrofikacija voda. Također, u sklopu razvijenog modela predložena je metodologija za implementaciju seta dopunskih mjera „po mjeri“ ruralnog prekograničnog riječnog sliva, koja je primijenjena na dva kritična podsliva 1 i 2 za koja je ustanovljeno da imaju najveći broj „hot spots“ pritiska nutrijenata iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja. Radi nepostojanja plana upravljanja vodama prema WFD-u nisu definirani niti okolišni ciljevi riječnog sliva, kao niti UE vodnih tijela riječnog sliva. Holistički pristup integralnog upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva doprinosi korištenju UE-a. Navedeno se unaprjeđuje i

ostvaruje primjenom zelene infrastrukture i agro-okolišnih mjera kao dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, kao i definiranja E-protoka vodnog tijela ispod brane korištenjem indikatorske vrste lokaliteta NATURA 2000.

*Rezultati ovog istraživanja mogu doprinijeti sveukupnom znanju znanstvene zajednice vezano uz unaprjeđenje upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva korištenjem razvijenog modela s interdisciplinarnim holističkim integralnim pristupom. Njegovo dodatno unaprjeđenje moguće je ostvariti uključivanjem širokog kruga stručnjaka sa specifičnim znanjima, te kako je već ranije istaknuto, otvorenošću i timskim radom stručnjaka i znanstvenika. Očekuje se da razvijeni model, kao i razvijene metodologije u njemu, mogu poopćiti, te da se mogu primijeniti i na druge riječne slivove i tako doprinijeti unaprjeđenju upravljanja kakvoćom voda. Poopćenju razvijenog modela i mogućnosti primjene posebno doprinose prikazi: *modela integralnog upravljanja kakvoćom voda DPSIR prikazan Slikom 4-1 i dijagramom toka holističkog pristupa modelu procjene E-protoka čiji je model prikazan Slikom 4-3, te shemom različitih scenarija integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela prikazan Slikom 4-4. Može se zaključiti da je za integralno upravljanje kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva potrebno primijeniti razvijeni inovativni model, te ga dalje unaprjeđivati radi postizanja dobrog stanja i smanjenja rizika nepostizanja okolišnih ciljeva i rizika eutrofikacije. Temeljem novih znanja o procesima u slivu, korištenjem provedenih analiza, moguće je izraditi procjenu rizika nepostizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva, procjenu rizika nepostizanja dobrog stanja voda procjenu rizika od eutrofikacije, prijedlog dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, kao i unaprjeđenje upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva.**

*Koristi i preporuke za dionike ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva su uključivanje u proces primjene razvijenog modela uz sticanje interdisciplinarnih znanja, otvorenost prema primjeni dopunskih mjera „po mjeri“ riječnog sliva koje su relativno jednostavne i jeftine, radi ostvarenja holističkog integralnog upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva. Odluke o odabiru dodatnih mjera „po mjeri“ riječnog sliva, uz obvezno uključivanje zelene infrastrukture kojima se unaprjeđuje upravljanje kakvoćom voda prema određenim scenarijima, moraju se analizirati i dubinski raspraviti među donositeljima odluka prije provedbe. Uključivanjem dionika u cijeli proces potvrđuje se primjenjivost odabranih rješenja, te bolja edukacija dionika i veća uključenost za sve projekte koji će se poduzimati u riječnom slivu. Ovakva uključenost je preduvjet izrade plana upravljanja vodama riječnog sliva, jer bilateralna suradnja za*

vodna pitanja dviju država može postaviti samo okvir, dok stvarnu upravljačku vrijednost može ostvariti tek uključivanje dionika.

*Preporuke kreatorima politika i zakonodavcima* je primjena ovakvih modela koji, osim vodne politike WFD-a, uključuju cijeli niz europskih okolišnih politika vezanih uz očuvanje biološke i krajobrazne raznolikosti, poljoprivrednu politiku, uključivanje zelene infrastrukture, prilagodbu klimatskim promjenama. Konceptija integralnoga upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva uključuje holistički pristup što zahtijeva specifična znanja o riječnom slivu koji uključuje sve aspekte procjene vodnog režima i stanja voda i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva. Stoga, u daljnjem istraživanju potrebno je: izučavati i modelirati hidrološke i hidromorfološke procese, korištenje i upravljanje zemljištem, biološke procese, režim sedimenta koji uključuje pronos i taloženje sedimenta u riječnom slivu, i riječnu morfologiju, generiranje onečišćenja u riječnom slivu, te; provoditi monitoring suspendiranog i vučenog sedimenta uz kakvoću sedimenta i kakvoće voda; uključiti analizu rizika nepostizanja dobrog stanja voda, rizika eutrofikacije i nepostizanja okolišnih ciljeva riječnog sliva. U svrhu uspješnog upravljanja kakvoćom voda unutar integralnoga upravljanja vodama riječnog sliva potrebno je provoditi procjene utjecaja i modeliranja utjecaja na vode kako bi se provele odgovarajuće osnovne i dopunske mjere, kao i pripadajući monitoring koji uključuje odgovarajući monitoring režima sedimenta (taloženog i vučenog sedimenta) i odgovarajući hidromorfološki monitoring. Potrebno je naglasiti da zdravi ekosustavi, koji su u mogućnosti pružiti UE, trebaju uz odgovarajuću kakvoću voda za odgovarajući tip vodotoka imati i odgovarajući pronos sedimenta i morfodinamiku. Uspostavljanje i održavanje hidrološkog režima i definiranje E-protoka, važan je element u očuvanju riječnih ekosustava i UE-a koje pružaju, te bi ih trebalo uključiti kao ograničenje u procjenu korištenja voda i u nacionalne zakonodavne okvire. Također, potrebno je uključivanje vrednovanja UE-a, interdisciplinarnim pristupom i uspostavom kvalitetnih indikatora čije praćenje će dati kvalitetno vrednovanje UE-a, i to posebno prilikom odabira optimalnog seta mjera „po mjeri“ riječnog sliva uz uključivanje dionika. Preporuča se provedba ovoga modela na drugim riječnim slivovima. Ovaj pristup implementiran je u istraživanje sliva rijeke Sutle, ali bi se model mogao primijeniti na sličnim prekograničnim ruralnim riječnim slivovima. Primjena inovativnog modela omogućila bi opsežnije stjecanje osnovnog znanja o riječnom slivu, koje uključuje prirodne procese, nastanak onečišćenja i smanjenje rizika od eutrofikacije, kao i unaprjeđenje nadzornog monitoringa na način da se praćenje sedimenata i/ili biote može koristiti zajedno s praćenjem vodnog stupca

kako bi se dobila koherentna i sveobuhvatna slika stanja vodnih tijela unutar svakog sliva.

*Buduća istraživanja* trebala bi uključivati analizu svih podslivova riječnog sliva Sutle i za sve scenarije, te odabir optimalnog seta mjera „po mjeri“ riječnog sliva, kao i uključivanje dionika u odabir i vrednovanje optimalnog seta mjera. Tako bi se stvorilo snažno oruđe upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva. SWAT model se pokazao kao zahtjevan alat, obzirom na brojnost podataka i potrebu korištenja interdisciplinarnih znanja, no istovremeno vrlo prilagodljiv alat jer koristi javno dostupne podatke bez nužnih dodatnih istraživanja. Korištenjem unaprjeđenih verzija SWAT modela u budućnosti očekuje se ostvarenje još kvalitetnijih i pouzdanijih rezultata u primjeni inovativnog modela. Također, važno je naglasiti da rezultati ovog istraživanja proizlaze iz korištenja i vještina rada sa SWAT modelom na osnovi razumijevanja sliva, uz specifična znanja korisnika modela. Korištenjem drugog matematičkog modela, ili SWAT modela od strane drugog korisnika modela, na slivu rijeke Sutle može se napraviti usporedba i ostvariti bolje razumijevanje upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva. Stoga, ocjene scenarija nikada se ne smiju smatrati konačnima, već samo mogućim odgovorom na promjene korištenja zemljišta, utjecaja klimatskih promjena ili primjene dopunskih agro-okolišnih mjera i mjera zelene infrastrukture mjera „po mjeri“ riječnog sliva. Rezultati modela i njihova interpretacija od strane korisnika modela moraju dovesti do konstruktivne rasprave, čiji je cilj holističko integralno upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, što je i cilj vodne i okolišne politike. Naime, procjena utjecaja scenarija napravljena je uz poznavanje brojnih neizvjesnosti koje prate model i opisane su u radu. Korištenje razvijenog inovativnog modela upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva može se koristiti i na drugim riječnim slivovima sličnih karakteristika.

Rezultati dobiveni tijekom istraživanja riječnog sliva rijeke Sutle, uspoređeni su i mogu biti usporedivi s rezultatima razvijenih drugih modela upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva. Stoga, preporuke za sliv rijeke Sutle trebale bi biti primjenjive i na upravljanje kakvoćom voda drugih ruralnih prekograničnih riječnih slivova EU-a.



## 7. LITERATURA

- [1] Abbaspour K.C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J., Srinivasan R. (2007), Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, *J Hydrol.* 2007, Feb 15, 333 (2-4), pp.: 413-30
- [2] Abbaspour, K.C.; Rouholahnejad, E.; Vaghefi, S.; Srinivasan, R.; Yang, H.; Kløve, B. (2015), A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol.* 2015, 524, 733–737, <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.02752>.
- [3] Acreman M.C., Arthington A.H., Colloff M.J., Couch C., Crossman N., Dyer F., Overton I., Pollino C. (2014), Stewardson M., Young W., “Environmental flows for natural, hybrid and novel riverine ecosystems in a changing world. *Frontiers in Ecology and Environment*”, *Frontiers in Ecology and the Environment* 21, 466–473 (2014) <http://dx.doi.org/10.1890/130134>.
- [4] Acreman, M. C., & Arthington A. H. (2016), *Environmental Flows: Overview*, *The Wetland Book* (2016): 1–11. doi:10.1007/978-94-007-6172-8\_352-1.
- [5] ARD – Agriculture and Rural Development (2022), *Poljoprivreda i ruralni razvoj*, (engl.: Agriculture and Rural Development), dostupno na: [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance\\_en](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en) (pristupljeno: 19.11.2022.)
- [6] Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R. (1998), Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1. Wiley Online Library.
- [7] Arnold, J., Fohrer, N. (2005), SWAT 2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological processes* 19, 563-572.
- [8] Arnold J.G., Moriasi D. N., Gassman P. W., Abbaspour K. C., White M. J., Srinivasan R., Santhi C., Harmel R. D., van Griensven A., Liew M. W. Van, Kannan N., Jhaet M. K. (2012): SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *T Asabe*, Jul-Aug; 55(4):1491–508, 12–6, 259–267.
- [9] Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R., Williams J.R., Haney E.B., Neitsch S.L. (2012), *Soil & Water Assessment Tool, Input/Output Documentation, Version 2012*, Texas Water Resources Institute, TR-439
- [10] ARSO (2015), *Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016. – 2021.*
- [11] ARSO (2022) *Osnutek Načrta upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2022. - 2027.*

- [12] Arthington Angela H. & Zalucki J.M. (1998), Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods, (Eds), LWRRDC Occasional Paper 27/98.
- [13] Ashraf Vaghefi, S, Mousavi S. J., Abbaspour K. C. Srinivasan R. Arnold J. R. (2015), Integration of hydrologic and water allocation models in basin scale water resources management considering crop pattern and climate change: Karkheh River Basin in Iran, *Reg Environ Change* (2015) 15:475–484 DOI 10.1007/s10113-013-0573-9.
- [14] AQEM Consortium (2002), Manual for the application of the AQEM system a comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive, Version 1.0
- [15] Babulo B. B., Yatich T.T.B. & Mäkelä M. (2011), A conjoint analysis of landholder preferences for reward-based land-management contracts in Kapingazi watershed, Eastern Mount Kenya, June 2011, *Journal of Environmental Management* 92(10):2634-46, DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.06.001
- [16] Belletti B., Rinaldi M., Gurnell A.M., Buijse A.D., Mosselman E. (2015) A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environ Earth Sci* 73:2079–2100
- [17] Bicknell, B., Imhoff, J., Kittle Jr, J., Jobes, T., Donigian Jr, A., Johanson, R. (2001), *Hydrological Simulation Program–FORTRAN: HSPF Version 12 User's Manual*. AQUA TERRA Consultants, Mountain View, California.
- [18] Board, T.W.D. (1970), *DOSAG-I Simulation of Water Quality in Streams and Canals Program Documentation and User's Manual*. Systems Engineering Division of the Texas Water Development Board.
- [19] Borja A., Valencia V., Franco J., Muxika I., Bald J., Belzunce M.J. and Solaun O. (2004): The Water Framework Directive: Water alone, or in association with sediment and biota, in determining quality standards? August 2004, *Marine Pollution Bulletin* 49(1-2):8-11, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.04.008
- [20] Bouraoui F., Grizzetti B., Adelsköld G., Behrendt H., de Miguel I., Silgram M., Gómez S., Granlund K., Hoffmann L., Kronvang B., Kvaernø S., Lázár A., Mimikou M., Passarella G., Panagos P., Reisser H., Schwarzl B., Siderius C., Sileika A.S., Smit AA, Sugrue R., Vanliedekerke M., Zaloudik J. (2009), Basin characteristics and nutrient losses: the EUROHARP catchment network perspective. *J Environ Monit.* 2009 Mar;11(3):515-25. doi: 10.1039/b822931g. Epub 2009 Feb 18. PMID: 19280031.
- [21] Brown Linfield C., Barnwell Tom (1987), *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual*, January 1987
- [22] Bunn S. E., & Arthington A. H. (2002), *Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity.* Environmental

- Management 30, no. 4 (October 1, 2002): 492–507. doi:10.1007/s00267-002-2737-0.
- [23] Carvalho, L., Mackay, E. B., Cardoso, A. C., Baattrup-Pedersen, A., Birk, S., Blackstock, K. L., Borics, G., Borja, A., Feld, C. K., Ferreira, M. T., Globevnik, L., Grizzetti, B., Hendry, S., Hering, D., Kelly, M., Langaas, S., Meissner, K., Panagopoulos, Y., Penning, E., Solheim, A. L. (2019). Protecting and restoring Europe's waters: An analysis of the future development needs of the Water Framework Directive, *Science of The Total Environment*, 658, 1228-1238. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.255>
- [24] Council Directive (76/464/EEC) of 4 May 1976 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community, EEC, hrv.: Direktiva za opasne tvari.
- [25] Council Directive (80/68/EEC) of 17 December 1979 on the protection of groundwater against pollution caused by certain dangerous substances, EEC, hrv.: Direktiva za podzemne vode.
- [26] Council Directive (98/83/EC) of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, hrv.: Direktiva o pitkoj vodi.
- [27] Council Directive (91/676/EEC) of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, EEC, hrv.: Nitratna direktiva.
- [28] Council Directive (91/271/EEC) of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment (UWWTD), EEC, hrv.: Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda.
- [29] Council Directive (92/43/EEC), of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora [www.eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0043&from=EN](http://www.eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0043&from=EN), (pristupljeno: 16.02.2020.), EEC, hrv.: Direktiva o staništima.
- [30] Council Directive (98/83/EC) of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, EC, Direktiva o kakvoći vode namijenjene za ljudsku potrošnju.
- [31] Council Directive (2000/60/EC) EU Water Framework Directive - WFD, European Parliament and Council; European Union: Maastricht, The Netherlands, EC, <http://ec.europa.eu/environment>, (pristupljeno: 19.10.2021.), hrv.: Okvirna direktiva o vodama.
- [32] Council Directive (2006/7/EC) of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC, EC, hrv.: Direktiva o kakvoći vode za kupanje.

- [33] Council Directive (2006/11/EC) of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 on pollution caused by certain dangerous substances discharged into the aquatic environment of the Community, EC, hrv.: Direktiva o prioritetnim tvarima.
- [34] Council Directive (2006/118/EC) of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration, EC, hrv.: Direktiva o podzemnim vodama.
- [35] Council Directive (2007/60/EC) of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (91/676/EEC), EC, hrv.: Direktiva o procjeni upravljanja poplavnim rizicima.
- [36] Council Directive (2008/105/EC) of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, EZ, hrv.: Standard kakvoće okoliša.
- [37] Council Directive (2008/1/EC) of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control, IPPCD (Codified version), EC, hrv.: Direktiva o cjelovitom nadzoru i sprječavanju onečišćenja.
- [38] Čerkasova, N.; Umgiesser, G.; Erturk (2018), A. Development of a hydrology and water quality model for a large watershed to investigate the impacts of climate change—A SWAT application. *Ecol. Eng.* 2018, 124, 99–115.
- [39] Ćosić-Flajsig G., Karleuša B., and Kompare B. (2013), Planning wastewater collection and treatment in agglomerations below 2.000 ES in protected areas, 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, September 9-12, 2013, Bratislava, Slovakia
- [40] Ćosić-Flajsig G., Globevnik, L., Karleuša B. (2014), Water quality of the river Sutla and possibility of river restoration, In conference proceedings of People, Buildings and Environment 2014, an international scientific conference, Kroměříž, Czech Republic, pp. 531-544, ISSN: 1805-6784., [www.fce.vutbr.cz/ekr/PBE](http://www.fce.vutbr.cz/ekr/PBE)
- [41] Ćosić-Flajsig G., Vučković I., Karleuša B. (2015a), Stanje voda rijeke Sutle i mogućnosti restauracije rijeke (Water status of Sutla river and possibilities of river restoration), 6. Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode na investicijskom valu (6 th. Croatian water conference with international participation, Croatian waters on the investment waves), Opatija, 2-23. svibnja 2015, Croatia, pp.297-305
- [42] Ćosić-Flajsig G. & Karleuša B., (2015b), Inovativni pristup upravljanju kakvoćom voda ruralnih slivova, Zbornik radova 6. hrvatske konferencije o vodama: Hrvatske vode na investicijskom valu, Biondić D., Holjević D. (ur.), Opatija: Hrvatske vode, 2015. str.259-268, ISBN 978-953-7672

- [43] Ćosić-Flajsig, G.; Karleuša, B.; Vučković, I.; Glavan, M. (2017a), Analysis of the eutrophication factors in the Sutla River Basin, *Acta Hydrol. Slovaca* 2017, 18, 290–300.
- [44] Ćosić Flajsig G., Belaj M., Barbara Karleuša B. (2017b), Upravljanje površinskim vodama primjenom kombiniranog pristupa, *GRAĐEVINAR* 69 (2017) 8, 617-631, DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.2063.2017>
- [45] Ćosić-Flajsig G., Vučković I., Karleuša B. (2019), Usluge ekosustava u integralnom upravljanju vodama, 7. Hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode, Opatija 2019
- [46] Ćosić-Flajsig, G.; Vučković, I.; Karleuša, B. (2020), An Innovative Holistic Approach to an E-flow Assessment Model. *Civ. Eng. J.* 2020, 6, 2188–2202, <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091611>.
- [47] Ćosić-Flajsig G., Karleuša B., Glavan M., (2021), Integrated Water Quality Management Model for the Rural Transboundary River Basin—A Case Study of the Sutla/Sotla River. // *Water*, 13 (2021), 18; 2569, 27 doi:10.3390/w13182569
- [48] Ćosić-Flajsig G., Karleuša B., Vučković I., Glavan M., (2022), Significance of Hydromorphological and Sediment Analysis in River Basin Water Quality Management. // *Environmental Sciences Proceedings*, 21 (2022), 1; 14, 9 doi:10.3390/environsciproc2022021014
- [49] Defilippis J. (2005), Hrvatska u ruralnom prostoru Europe, *Sociologija sela*, 43 (2005), 170 (4): 823-836, dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/53179> (pristupljeno: 18.11.2022.)
- [50] Douglas-Mankin K.R., (2010), Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model; Current Development and application, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 2151-0032, Vol: 53(5) 1423-1431
- [51] Dupas R., Delmas M., Dorioz J.M., Garnier J., Moatar F., Gascuel-Odoux C. (2015), Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk, *Ecological Indicators* 48, 396-407
- [52] Dyson M., Bergkamp G., Scanlon J., (2003), *Flow: essentials of environmental flows*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK
- [53] Farmer A., Dworak T., Bogaert S., Berglund M., Zamparutti T., Interwies E., Strosser P., Stanley K., Schmidt G., Cools J., Hernández G., Dieter Vandembroucke D., Victoria Cherrier V. and Newman S. (2012), Assessment of policy options for the Blueprint to safeguard EU waters, technical report.

- [54] EC - European Commission, White Paper (2009a), White Paper Adapting to climate change: Towards a European framework for action (COM/2009/147))
- [55] EC -European Commission, (2009b), Common implementation strategy for the WFD (2000/60/EC) Technical Report-2009–027, 2009
- [56] EC - European Commission (2010), Technical guidelines for the identification of mixing zones pursuant to Art. 4(4) of the Directive 2008/105/EC, 16. Technical background document on identification of mixing zones.
- [57] EC – European Commission (2011), EU biodiversity strategy to 2020 Our life insurance, our natural capital, COM/2011/0244 final (Strategija Europske unije za biološku raznolikost do 2020. godine)
- [58] EC - European Commission (2012a), Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) River Basin Management Plans; COM (2012) 710 Final.
- [59] EC – European Commission - Blueprint (2012b), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions a Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. COM/2012/0673. Final. 2012., <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52012DC0673> (pristupljeno: 16.09. 2021.)
- [60] EC - European Commission (2015a.), Commission Staff Working Document, Report on the progress in implementation of the Water Framework Directive Programmes of Measures. Accompanying the document: Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. The Water Framework Directive and the Floods Directive: Actions towards the 'good status' of EU water and to reduce flood risks. COM (2015) 120 Final.
- [61] EC - European Commission (2015b), Commission Staff Working Document, Report on the progress in implementation of the Water Framework Directive Programmes of Measures. Accompanying the document: Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. The Water Framework Directive and the Floods Directive: Actions towards the "good status" of EU water and to reduce flood risks. COM (2015) 50 final
- [62] EC - European Commission (2015c), Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. The Water Framework Directive and the Floods Directive: Actions Towards the 'Good Status' of EU Water and to Reduce Flood Risks. COM (2015) 120 Final. (Available at: [http://europeanmemoranda.cabinetoffice.gov.uk/files/2015/04/7152-15\\_\(1\).pdf](http://europeanmemoranda.cabinetoffice.gov.uk/files/2015/04/7152-15_(1).pdf) Accessed 03 June 2016).

- [63] EC - European Commission (2015d), Commission Staff Working Document, Report on the progress in implementation of the Water Framework Directive, Programmes of Measures
- [64] EC - European Commission, (2015e), Staff Working Document, Report on the progress in implementation of the Water Framework Directive Programmes of Measures, The Water Framework Directive, and the Floods Directive: Actions towards the "good status" of EU water and to reduce flood risks.
- [65] EC - European Commission (2015f), Commission Staff Working Document, Report on the progress in implementation of the Water Framework Directive, Programmes of Measures
- [66] EC - European Commission (2017), Environment, Water Policy, dostupno na: [http://ec.europa.eu/environment/water/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/index_en.htm), (pristupljeno: 22. 3. 2017.)
- [67] EC (2017), An Official Website of EU, <http://www.ec.europa.eu>, 2017, (pristupljeno: 22.3.2017.)
- [68] EC European Commission (2020), EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives, COM/2020/380 final (Strategija Europske unije za biološku raznolikost do 2030. godine)
- [69] ECRR, European Centre for River Restoration (2022), <https://www.ecrr.org>, (pristupljeno: 22.08.2022.)
- [70] Edsel B.D., Camp J.V., LeBoeuf E. J., Penrod J.R., Dobbins J.P. and Abkowitz M.D. (2011), Watershed Modelling and its application; A State-of-the-Art Review, The Open Hydrology Journal/2011, 5, 26-50
- [71] EEA - European Environment Agency (2016), European assessment of eutrophication abatement measures across land-based sources, inland, coastal and marine waters. In ETC/ICM Technical Report—2/2016; European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 2016., <http://water.eionet.europa.eu> (pristupljeno: 19.05 2017.) ISBN 978-3-944280-55-4.
- [72] EEA European Environment Agency (2018), European Water Assessment of Status and Pressures 2018 – Report, No 7/2018, ISSN 1977-8449 Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018
- [73] Elektroprojekt d.d. i PMF -Prirodoslovno–matematički fakultet – Geografski odsjek Sveučilišta u Zagrebu (2018), Sustavno ispitivanje hidromorfoloških elemenata kakvoće u rijekama u 2016. i 2017. godini“ (Elektroprojekt d.d. i Prirodoslovno–matematički fakultet – Geografski odsjek Sveučilišta u Zagrebu

- [74] Elektroprojekt d.d. i PMF - Prirodoslovno–matematički fakultet – Geografski odsjek Sveučilišta u Zagrebu (2021), Sustavno ispitivanje hidromorfoloških elemenata kakvoće u rijekama u 2019. i 2020. godini
- [75] Epelde A. M., Cerro I., Sánchez-Pérez J. M., Sauvage S., Srinivasan R. & Antigüedad I. (2015) Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality, *Hydrological Sciences Journal*, 60:5, 825-843, DOI: 10.1080/02626667.2014.967692
- [76] ETC/ICM Technical Report – 2/2016, (2016): European assessment of eutrophication abatement measures across land-based sources, inland, coastal and marine waters, ISBN 978-3-944280-55-4, 2016, Web: <http://water.eionet.europa.eu> (pristupljeno: 19.05.2017).
- [77] EU (2020), 8th Environment Action Programme to 2030, [https://ec.europa.eu/environment/strategy/environment-action-programme-2030\\_en](https://ec.europa.eu/environment/strategy/environment-action-programme-2030_en), pristupljeno:31.05.2022
- [78] EU (2017), Introduction to the New EU Water Framework Directive. (dostupno na: [http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/info/intro_en.htm), (pristupljeno: 22. 3. 2017.)
- [79] EURO-CORDEX project (2021), Coordinated Downscaling Experiment - European Domain, ([www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net))
- [80] EUROSTAT (2020). Regional statistics by typology [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/reg\\_typ\\_esms.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/reg_typ_esms.htm) (pristupljeno: 18.11.2022.)
- [81] FAO (1998), Rehabilitation of rivers for fish, European Inland Fisheries Advisory Commission, Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of DG Environment (2022), Natural water retention measures: NWRM (Prirodne mjere za zadržavanje voda), official webpage: <http://www.nwrm.eu>, (pristupljeno: 27.05.2022.)
- [82] FAO (1998), Rehabilitation of rivers for fish, European Inland Fisheries Advisory Commission, Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of United Nations by Fishing News Books, (Cowx, I.G., Welcomme, R.L., UK in Alden Press, Oxford and Northampton, 260 str.
- [83] Gassman P.W., Reyes M. R., Green C. H., Arnold J. G., (2007), The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Application, and Future Research Directions, *Transactions of the Asabe*, 2007 Jul-Aug ;2017, 50 (4):1211-50



- [84] Generička konzervatorska praksa, (2022),  
<https://www.usda.gov/media/blog/2017/11/30/saving-money-time-and-soil-economics-no-till-farming>, (pristupljeno: 7.09.2022.)
- [85] Geoffrey Gooch G., Rieu-Clarke A., Stålnacke P. (2010), Integrating water resources management: interdisciplinary methodologies and strategies in practice, IWA Publishing, London, New York, 2010
- [86] Giakoumis T.& Voulvoulis N. (2018), The Transition of EU Water Policy Towards the Water Framework Directive's Integrated River Basin Management Paradigm, *Environmental Management* (2018) 62:819-831
- [87] Giakoumis T., Voulvoulis N. (2018a), A participatory ecosystems services approach for pressure prioritisation in support of the Water Framework Directive, *Ecosystem Services* 34 (2018) 126–135
- [88] Giakoumis T. & Voulvoulis N. (2019), Water Framework Directive programmes of measures: Lessons from the 1st planning cycle of a catchment in England, *Science of The Total Environment* Volume 668, 10 June 2019, Pages 903-916, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.405>
- [89] Glavan, M.; Pintar, M. (2012), Modeling of Surface Water Quality by Catchment Model SWAT. In *Studies on Water Management Issues; InTech: Vienna, Austria, 2012; www.intechopen.com* (pristupljeno: 16.09.2021.) ISBN 978-953-307-961-5.
- [90] Glavan M. & Pintar M. (2012), Strengths, weaknesses, opportunities, and threats of catchment modelling with soil and water assessment tool (SWAT) model. V: NAYAK, Purna (ur.). *Water resources management and modelling*, Rijeka, Croatia: Intech, cop. 2012. Str. 39-64. ISBN 978-953-51-0246-5. <http://www.intechopen.com/articles/show/title/strengths-weaknesses-opportunities-and-threats-of-catchment-modeling-with-soil-and-water-assessment>. [COBISS.SI-ID 7041145]
- [91] Glavan M., Ojsteršek Zorčič P., and Pintar M. (2016), Modelling Agri-Environmental Measures for Minimizing Soil Erosion While Protecting Valuable Agricultural Land. *River Basin Management*. Intech. DOI: 10.5772/63380
- [92] Glavan, M.; Bele, S.; Curk, M.; Pintar, M. (2020), Modelling Impacts of a Municipal Spatial Plan of Land-Use Changes on Surface Water Quality—Example from Goriška Brda in Slovenia. *Water* 2020,12, 189.
- [93] Gopal B. (2016), A conceptual framework for environmental flows assessment based on ecosystem services and their economic evaluation”, *Ecosystem Services* 21, (2016): 35-58

- [94] Griffiths, M. (2002), The European Water Framework Directive: An Approach to Integrated River Basin Management, European Water Management, 2002.
- [95] Grizzetti B., Lanzanova D., Liqueste C., Reynaud A., Cardoso A.C. (2016a), Assessing water ecosystem services for water resource management, Environmental Science & Policy, Volume 61, July 2016, Pages 194-203, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- [96] Grizzetti, B., Liqueste C., Antunes P., Carvalho L., Geamana N., Giuca R., Leone M., Mc Connell S., Preda E., Santos R., Turkelboom F., Vadineanu A., Woods H., (2016b), Environmental science & policy ecosystem services for water policy: insights across Europe, Environmental Science Policy, 66, 179–190.
- [97] Grizzetti B., Liqueste C., Pistocchi A., O. Vigiak O., Zuliana G., Bouraoui F., De Rooa A., Cardoso A.C. (2019), Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters, Science of the Total Environment 671 (2019) 452–465, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.155>
- [98] Griffiths, M. (2002), The European Water Framework Directive: An Approach to Integrated River Basin Management, European Water Management, 2002.
- [99] Gupta A.D. (2008), Implication of environmental flows in river basin management, Physics and Chemistry of the Earth 33, (2008): 298-303., [doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.004](https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.004).
- [100] Guipponi C. (2012): From the DPSIR reporting framework to a system for a dynamic and integrated decision-making process, MULINO Conference, Venice.
- [101] GWP - Global Water Partnership (2000), Integrated Water Resources Management, TAC Background Paper no. 4
- [102] Holzwarth F. (2002), The EU Water Framework Directive-a key to catchment-based governance, Water Sci Technol., 2002;45(8):105-12.
- [103] Honzak L. – ARSO (2021), Priprema klimatskih scenarija za korištenje SWAT modela na slivu rijeke Sutle
- [104] Horne, A.J.H.& Goldman, C. R. (1994), Limnology, McGraw-Hill, New York, 576 str.
- [105] Hrvatske vode (2009), HRN EN 15843:2010., Savjetodavna norma za određivanje stupnja modifikacije riječne hidromorfologije (EN 15843:2010)
- [106] Hrvatske vode (2015), Metodologija primjene kombiniranog pristupa. Hrvatske vode, Zagreb.

- [107] Hrvatske vode (NN 66/16) (2016a), Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. koji sadrži Plan upravljanja rizicima od poplava za Republiku Hrvatsku
- [108] Hrvatske vode (2016b), Metodologiji monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja, koja je propisana od strane Hrvatskih voda (Klasa: 325—04/15-03/6, Urbroj:374-1-2-16-4 od 12. travnja 2016.)
- [109] Hrvatske vode, (2019) Plan upravljanja vodnim područjima 2022-2027, pregled značajnih vodnogospodarskih pitanja
- [110] Hrvatske vode (2022), Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima 2022. - 2027., Zagreb, siječanj 2022. godine
- [111] ICOLD - International Commission on Large Dams, (2017), Role of dams. Why do we need dams? from [http://www.icold-cigb.net/GB/dams/role\\_of\\_dams.asp](http://www.icold-cigb.net/GB/dams/role_of_dams.asp).
- [112] Imboden Dieter M. (1974), Phosphorus model of lake eutrophication, First published: March 1974, Limnology and Oceanography, <https://doi.org/10.4319/lo.1974.19.2.0297>
- [113] IMPRESS (2002), Guidance for the Analysis of Pressures and Impacts in Accordance with the Water Framework Directive, Common Implementation Strategy Working Group 2.1., 156 pp., Office for Official Publications of the European Communities, Retrieved on July 12, 2005, from <http://forum.Europa.eu.int/Public/irc/env/wfdlibrary>, ISBN: 92-894-5123
- [114] Johnston J.M., McGarvey D.J., Barber M. C, Laniak G., Babendreier J., Parmar R., Wolfe K., Kraemer S.K., Cyterski M., Knightes C.D., Rashleigh B., Suarez. L., Ambrode R. (2011), An integrated modelling framework for performing environmental assessments: Application to ecosystem services in the Albemarle-Pamlico basins (NC and VA, USA), Ecological Modelling 222, 2471-2484
- [115] Kagalou I. & Leonardos I.& Anastasiadou C.& Neofytou C. (2012), The DPSIR Approach for an Integrated River Management Framework, A Preliminary Application on a Mediterranean Site (Kalamas River -NW Greece), Springer Science+Business, Media B.V. 2012.
- [116] Karleuša B. (2005), Unapređenje gospodarenja vodama korištenjem ekspertnog sustava (engl.: Water management improvement on the expert system basis), doktorski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 302 stranice
- [117] Karleuša, B., Rubinić, J., Radišić, M., Krvavica, N. (2018), Analysis of Climate Change Impact on Water Supply in Northern Istria (Croatia), Teh. Vjesnik., 20, (2018), Supplement 2; 366-374 doi:10.17559/TV-20170809140304.
- [118] Kersebaum, K.C.; Steidl, J.; Bauer, O.; Piorr, H.-P. (2003), Modelling scenarios to assess the effects of different agricultural management and land use options

- to reduce diffuse nitrogen pollution into the river Elbe. *Phys. Chem. Earth Parts A/B/C* 2003,28, 537–545.
- [119] King J., Brown C. & Sabet H. (2003) A Scenario-Based Holistic Approach to Environmental Flow Assessments for Rivers, *River Research and Applications* 19(5-6):619 – 639, DOI:10.1002/rra.709
- [120] King J.M., Tharme R.E. & de Villiers M.S., (2008) *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology (updated Edition)*, WRC Report No TT 354/08
- [121] Konturiranje(2002),  
<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fak.picdn.net%2Fshutterstock%2Fvideos%2F1058180503%2Fthumb%2F1.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.shutterstock.com%2Fvideo%2Fclip-1058180503-descending-aerial-contour-farming-on-hillside-curve&tbid=pkpXqkJzWyfptM&vet=12ahUKEwiSlSnijfP1AhWCzSoKHZfxDKkQMyheegQIARB7..i&docid=iaO7UGhBpTT-hM&w=853&h=480&itg=1&q=contour%20farming&hl=en&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwiSlSnijfP1AhWCzSoKHZfxDKkQMyheegQIARB7>,  
(pristupljeno: 7.09.2022.)
- [122] Krause P., Boyle D. P., and Bäse F., (2005): Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Adv Geosci*, 89–97.
- [123] Kristensen P. (2004), The DPSIR Framework, Paper presented at the 27-29 September 2004 workshop on a comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya
- [124] Kronvang B. et al. (2009), Towards European Harmonized Procedures for Quantification of Nutrient Losses from Diffuse Sources -the EUROHARP project, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol.11, No.3, 2009, pp. 503-505
- [125] MAES Working Paper (2010) Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg.
- [126] Masch F. D.and Associates (1970), *QUAL-I Simulation of Water Quality in Stream and Canals, Program Documentation and User's Manual*, Texas Water Development Board. 1970.
- [127] Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystem and Human Well-being; Synthesis*: Island Press, Washington.

- [128] Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., Veith T.L., (2007): Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *T Asabe*. 2007 May-Jun; 50(3):885–900
- [129] Moriasi D.N., Wilson B., Douglas-Mankin K.R., Arnold J.G., Gowda P.H. (2012), *Hydrologic and Water Quality Models: Use, Calibration, and Validation*, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032, Vol. 55(4): 1241-1247
- [130] McQuatters-Gollop A., Gilbert J. A, Mee L.D, Vermaat J. E., Artioli Y., Humborg C. & Wulff F. (2009), How Well do Ecosystem Indicators Communicate the Effects of Anthropogenic Eutrophication? May 2009, *Estuarine Coastal and Shelf Science* 82(4):583-596, DOI: 10.1016/j.ecss.2009.02.017
- [131] Narodne novine br.15/1981 (NN15/81), Uredba o klasifikaciji voda
- [133] Narodne novine br. 15/1981a (NN 15/81a), Uredba o kategorizaciji voda
- [134] Narodne novine br. 77/1998 (NN 77/98), Uredba o klasifikaciji voda
- [135] Narodne novine br. 77/1998a (NN 77/98a), Uredba o kategorizaciji voda
- [136] Narodne novine, br. 33/2011 (NN 33/11), Odluka o određivanju područja voda pogodnih za život slatkovodnih riba
- [137] Narodne novine br. 96/2019 (NN 96/19), Uredba o standardu kakvoće voda
- [138] Narodne novine br. 127/2019 (NN 127/19), Zakonu o zaštiti prirode
- [139] Narodne novine br. 78/2022 (NN 78/22), Odluka o određivanju osjetljivih područja
- [140] Naughton, M., DeSantis, N., Martoussevitch, A., (2017) *Managing multi-purpose water infrastructure, A review of international experience.*
- [141] Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J. R., Williams J.R. (2005): *Soil and water assessment tool theoretical documentation – Version 2005*. Texas, Temple: Agricultural Experiment Station, Blackland Research Centre, Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Laboratory.
- [142] NWRM (2016), *Katalog mjera prirodnog zadržavanja vode* (engl: *Natural Water Retention Measures EU, NWRM*) (<http://nwrn.eu>), (pristupljeno: 10.09.2022.)
- [143] OPS- SWAT model (2022), *Scheduled management operation, Terracing, Tile Drainage, Contouring, Filter Strips, Strip Cropping, Fire Operation, Grassed Waterways, Plant Parameter Update.*
- [144] Pavić Rogošić L. (2011) *Ruralni razvoj u Hrvatskoj, EU – Croatia Joint Consultative Committee, 8. sastanak, 27. siječnja 2011., Zagreb*

- [145] Per Stålnacke & Geoffrey D. Gooch, (2010), Integrated Water Resources Management Per Stålnacke & Geoffrey D. Gooch, Irrig Drainage Syst (2010) 24:155–159 DOI 10.1007/s10795-010-9106-6
- [146] Pantle, R. & Buck H. (1955): Die biologische Überwachung der Gewas und die Darstellung der Ergebnisse. Gas Wasserfach 96, 1955, pp: 603.
- [147] Piniewski M., Szcześniak M., Kardel I., Berezowski T., Okruszko T., Srinivasan Vikhamar Schuler R., D., Kundzewicz Z. W., (2017) Hydrological modelling of the Vistula and Odra River basins using SWAT, Hydrological Sciences Journal, 62:8, 1266-1289, DOI: 10.1080/02626667.2017.1321842
- [148] Piniewski, M.; Szcześniak, M.; Huang, S.; Kundzewicz, Z. (2017a), Projections of runoff in the Vistula and the Odra River basins with the help of the SWAT model. Hydrol. Res. 2017, 49, 303–317
- [149] Pithart, D. Petrov Rančić I., Kutleša P., Duplić A. (2014): Studija o vrednovanju slatkovodnih usluga ekosustava Hrvatske, GEF, Državni zavod za zaštitu prirode RH, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode RH, UNDP, Zagreb
- [150] Poff N., LeRoy J., Allan D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegard K. L., Richter B. D. Sparks, R. E. and Stromberg J. C., (1997) The Natural Flow Regime, BioScience 47, no. 11 (December 1997): 769–784. doi:10.2307/1313099.
- [151] Poff, N. L., Richter B. D., Arthington A. H., Bunn S. E., Naiman R. J., Kendy E., Acreman M. (2010), "The Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA): a New Framework for Developing Regional Environmental Flow Standards." Freshwater Biology 55, no. 1 (January 2010): 147–170. doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02204.
- [152] Primc-Habdija et al. (2003): Biološka valorizacija voda, Metode i indikatorski sustav HRIS. – Biološki odsjek, PMF-a, Zagreb, pp 82.
- [82] Prijelazne zone, (2022),  
([https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fthumb%2Ff%2Ffa%2FNRCSIA99613\\_-\\_lowa\\_%25283861%2529%2528NRCS\\_Photo\\_Gallery%2529.tif%2Fflossless-page1-1200px-NRCSIA99613\\_-\\_lowa\\_%25283861%2529%2528NRCS\\_Photo\\_Gallery%2529.tif.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FFilter\\_strip&tbnid=wNYImZC0D-d7HM&vet=12ahUKEwiTwryOgt\\_1AhXFwoUKHb1TCXkQMygAegUIARC4AQ..i&docid=N6vfqMnSlo4CXM&w=1200&h=806&itg=1&q=filter%20strip%20grass&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwiTwryOgt\\_1AhXFwoUKHb1TCXkQMygAegUIARC4AQ](https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fwikipedia%2Fcommons%2Fthumb%2Ff%2Ffa%2FNRCSIA99613_-_lowa_%25283861%2529%2528NRCS_Photo_Gallery%2529.tif%2Fflossless-page1-1200px-NRCSIA99613_-_lowa_%25283861%2529%2528NRCS_Photo_Gallery%2529.tif.png&imgrefurl=https%3A%2F%2Fen.wikipedia.org%2Fwiki%2FFilter_strip&tbnid=wNYImZC0D-d7HM&vet=12ahUKEwiTwryOgt_1AhXFwoUKHb1TCXkQMygAegUIARC4AQ..i&docid=N6vfqMnSlo4CXM&w=1200&h=806&itg=1&q=filter%20strip%20grass&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwiTwryOgt_1AhXFwoUKHb1TCXkQMygAegUIARC4AQ),  
(pristupljeno: 7.09.2022.)

- [153] Projekt REFORM (2015), REFORM: REstoring rivers FOR effective catchment Management <https://reformrivers.eu/start.html>. (pristupljeno: 22.08.2022.)
- [154] Projekt FRISCO (2014.-2020.), Slivna područja rijeke Sutle, <https://frisco-project.eu/hr/slivna-podrucja-rijeka/sutla/> (pristupljeno: 10.11.2021.)
- [155] Projekt FRISCO1 (2014.-2020.), FRISCO (Cross-Border Harmonised Slovenian-Croatian Flood Risk Reduction 1– Non-Structural Measures) Project EU the Cooperation Programme INTERREG V-A Slovenia–Croatia; 2014–2020. Hidrografski atlas reke Sotle, <http://frisco-project.eu>, (pristupljeno: 17.10.2021.)
- [156] Projekt FRISCO 2.1. (2014.-2020.), Čezmejno usklajeno zmanjševanje poplavne ogroženosti 2.1 – gradbena ukrepa Vonarje, <https://frisco21-project.eu/sl/rezultati/>(preuzeto: 16.02.2020.)
- [157] Projekt FRISCO 2.1. (2014.-2020.a), <https://www.geokon.hr/modernizacija-i-nadgradnja-pregrade-vonarje/><https://frisco21-project.eu/sl/rezultati/>(preuzeto: 28.03.2023.)
- [158] Reinhard, W.& Döpfer, M. (2014), Support in the Establishment and Implementation of a System of Integrated Pollution Prevention and Control and PRTR, EU-Twinning Project IS12ENPAPEN07,2014.
- [159] Regulation EU (2013), Standard EU-a o dobrim poljoprivrednim i okolišnim uvjetima zemljišta (engl.: good agricultural and environmental conditions of land use: GAEC), Annex II of Council Regulation (EC) No 1306/2013
- [160] RGN - Rudarsko geološko naftni fakultet (2016), Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske, Zagreb 2016. godine
- [161] RGN - Rudarsko geološko naftni fakultet (2018), Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske, RGN - Rudarsko geološko naftni fakultet, Zagreb, 2018. godine
- [162] Rieu-Clarke A., Ruby Moynihan R., and Magsig B.O. (2012) UN Watercourses Convention User's Guide, (2012), [https://www.researchgate.net/profile/BjornOliver\\_Magsig/publication/230734482\\_UN\\_Watercourses\\_Convention\\_User's\\_Gide/links/09e41503b2df33f00e000000/UN-Watercourses-Convention-Users-Guide.pdf](https://www.researchgate.net/profile/BjornOliver_Magsig/publication/230734482_UN_Watercourses_Convention_User's_Gide/links/09e41503b2df33f00e000000/UN-Watercourses-Convention-Users-Guide.pdf), (pristupljeno: 14.06.2020.)
- [163] Rismal, M. (2016), Vodna akumulacija Vonarje je že 28 let prazna (The Vonarje water reservoir has been empty for 28 years). In Urbani Izziv; Posebna Izdaja: Ljubljana, Slovenia, 2016.

- [164] Rott E. et al., (1999), Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation und autökologische, Anmerkungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien, pp: 1–248.
- [165] Schoumans O.F., Silgram M. (2003), Review and Literature Evaluation of Quantification Tools for the Assessment of Nutrient Losses at Catchment Scale, EUROHARP 1-2003.
- [166] Schoumans O.F. et al. (2009), Description of nine nutrient loss models: capabilities and suitability based on their characteristics, Journal of Environmental Monitoring, www.rsc.org/jem, DOI: 10.1039/b823239c.
- [167] Sharad K. Jain (2012), Assessment of Environmental Flow Requirements, Hydrological Processes 26, no. 22 (July 18, 2012): 3472–3476. doi:10.1002/hyp.9455.
- [168] Singht Vija P., Frevert Donald K. (2006), Watershed Models, ISBN 0.8493-3509-0
- [169] Sjetva u pojasima, (2022),  
[https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/GA/Contour\\_Farming\\_\(330\)\\_J\\_obsheet\\_Oct\\_2015B.pdf](https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/GA/Contour_Farming_(330)_J_obsheet_Oct_2015B.pdf), (pristupljeno: 7.09.2022)
- [170] Službeni list EU-a (95/308/EZ), (1995.), ODLUKA VIJEĆA EU -a Konvencija o zaštiti i uporabi prekograničnih vodotoka i međunarodnih jezera (95/308/EZ) dostupno na <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31995D0308&from=RO> (pristupljeno: 20.11.2022.)
- [171] Službene novine Federacije BiH (2006), Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka
- [172] Službeni list Republike Srbije, No. 97 (2009), Uredba o kriterijima za određivanje i načinu praćenja i izvješćivanja o ekološki prihvatljivom protoku
- [173] Službeni list EU-a (2013), 7th Environmental Action Programme to 2020 and long-term to 2050), L 354/171, dostupljeno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1386&from=EN> (pristupljeno: 23.11.2022.)
- [174] Službeni list Republike Crne Gore (2016), Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka površinskih voda
- [175] Smolar-Žvanut N. (2001), Vloga perifitonskih algi pri določanju ekološko sprejemljivega protoka vode v tekočih vodah – The role of periphytic algae in determination of ecologically acceptable flow in running waters, Acta Hydrotehnica 19 (2001) (30).1-24



- [176] Snellen W.B., Schrevel A. (2004), IWRM: for sustainable use of water—50 years of experience with the concept of integrated water management. Background document to FAO/Netherlands Conference on Water for Food and Ecosystems, [http://www.fao.org/ag/wfe2005/docs/IWRM\\_Background.pdf](http://www.fao.org/ag/wfe2005/docs/IWRM_Background.pdf), (pristupljeno: 10.08.2022.)
- [177] Snodgrass W. J. & O'Melia C. R. (1975) Predictive model for phosphorus in lakes. *Envir. Sci. Tech.* 9, 937-944.
- [178] Solangi G.S. et al. (2019), Spatiotemporal dynamics of land surface temperature and its impact on the vegetation, *Civil Engineering Journal* Vol. 5, No. 8, August, (2019), doi: 10.28991/cej-2019-03091368.
- [179] Solimini A. et al., (2009), Towards holistic assessment of the functioning of ecosystems under the Water Framework Directive, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2009 vol: 28 (2) pp: 143-149
- [180] Song X. & Frostell B. (2012), The DPSIR Framework and a Pressure-Oriented Water Quality Monitoring Approach to Ecological River Restoration, *Water* 2012, 4, 670-682; doi:10.3390/w4030670
- [181] Strategija upravljanja vodama (2009), AKD Zagreb, Zagreb, ožujak 2009, ISBN 978-953-7672-00-3
- [182] Streeter, H., Phelps, E. (1925), Study of the pollution and natural purification of the Ohio river. III. Factors concerned in the phenomena of oxidation and reaeration. Rapport technique., Johannesburg Summit, [http://www.un.org/jsummit/html/basic\\_info/basicinfo.html](http://www.un.org/jsummit/html/basic_info/basicinfo.html) (pristupljeno: 28.10.2021.)
- [183] Strosser P., Delacámara G., Hanus A., Williams H. & Jaritt N. (2015), A guide to support the selection, design, and implementation of Natural Water Retention Measures in Europe - Capturing the multiple benefits of nature-based solutions. Final version, April 2015.
- [184] Szmarinska K., Miatkowski Z., Smietanka M., Silwinski D. & Brzozowski J. (2009), Application SWAT Model to Small Agricultural Catchment in Poland, 2009 International SWAT Conference, Colorado, USA, 163-17
- [185] Šemnički, P. (2014), Rijeka Sutla – Natura 2000 područje, Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Krapinsko-zagorske županije, 2014
- [186] Taffarello D., Srinivasan R., Samprogna Mohor G. Bittencourt Guimarães J.L., Calijuri M. do C., Eduardo Mario Mendiondo E. M. (2018), Modeling freshwater quality scenarios with ecosystem-based adaptation in the headwaters of the Cantareira system, Brazil *Hydro. Earth Syst. Sci.*, 22, 4699–4723, 2018 <https://doi.org/10.5194/hess-22-4699->

- [187] TEEB (2010), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*, Edited by Pushpam Kumar, Earthscan, London and Washington, 2010
- [188] Terase, (2022)  
[https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fpreprostost.si%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F04%2FTerase-v-vasi-Hinje-pri-%25C5%25A0entjan%25C5%25BEu-1-M-Medium.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fpreprostost.si%2Fterase-v-vasi-hinje-pri-sentjanzu-1-m-medium%2F&tbid=dVUGk8\\_Mxrl7sM&vet=12ahUKEwjJwvWAgN\\_1AhUGahokHTZpBR0QMygsegUIARD7AQ..i&docid=jYvJt6kB8asdIM&w=1159&h=768&itg=1&q=njive%20na%20terase&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwjJwvWAgN\\_1AhUGahokHTZpBR0QMygsegUIARD7AQ](https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fpreprostost.si%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F04%2FTerase-v-vasi-Hinje-pri-%25C5%25A0entjan%25C5%25BEu-1-M-Medium.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fpreprostost.si%2Fterase-v-vasi-hinje-pri-sentjanzu-1-m-medium%2F&tbid=dVUGk8_Mxrl7sM&vet=12ahUKEwjJwvWAgN_1AhUGahokHTZpBR0QMygsegUIARD7AQ..i&docid=jYvJt6kB8asdIM&w=1159&h=768&itg=1&q=njive%20na%20terase&client=firefox-b-d&ved=2ahUKEwjJwvWAgN_1AhUGahokHTZpBR0QMygsegUIARD7AQ),  
(pristupljeno: 7.09.2022.)
- [189] Tharme R. E. (2003), *A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers*”, *River Res. Appl.* (2003): 19: 397-441.
- [190] Theodoropoulos C. & Skoulikidis, N. (2014), *Environmental flows: the European approach through the Water Framework Directive 2000/60/EC*. In: *Proceedings of the 10th International Congress of the Hellenic Geographical Society.*, p. 1140-1152
- [191] Tuppad P., Kannan N., Srinivasan R., Rossi C. G. & Arnold J.G., (2010), *Simulation of Agricultural Management Alternatives for Watershed Protection*, *Water Res. Manag.* 2010 Sep; 24(12):3115–44.
- [192] TVA - Tennessee Valley Authority (2022), Wikipedia,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Tennessee\\_Valley\\_Authority](https://en.wikipedia.org/wiki/Tennessee_Valley_Authority), (pristupljeno: 10.08.2022.)  
<https://www.agdaily.com/crops/realizing-no-till-benefits-requires-residue-management>, (pristupljeno: 7.09.2022.)
- [193] UN - United Nations by Fishing News Books (1998), (Cowx I. G, Welcomme R. L.), UK in Alden Press, Oxford and Northampton, 260 pages (1998)
- [194] UN - United Nations Department of Economic and Social Affairs Division for Sustainable Development (2012), *Sustainable Development in the 21st Century (SD21) Review of implementation of Agenda 21 and the Rio Principles Detailed review of implementation of Agenda 21 January 2012* dostupno: [http://www.un.org/jsummit/html/basic\\_info/basicinfo.html](http://www.un.org/jsummit/html/basic_info/basicinfo.html), (pristupljeno: 10.08.2022.)

- [195] UN-Water, (2021) Transboundary Boundary, dostupno na:  
<https://www.unwater.org/water-facts/transboundary-waters> (pristupljeno:  
19.03.2023.)
- [196] USAID - United States Agency for International Development (2018),  
Environmental Flows, Technical Guidance Document
- [197] Upravljanje ostacima, (2023),  
[https://live.staticflickr.com/4071/4688668123\\_32e3167019\\_b.jpg](https://live.staticflickr.com/4071/4688668123_32e3167019_b.jpg), (pristupljeno:  
19.05.2023.)
- [198] Vincent, C., et al. (2002), Guidance on typology, classification and reference  
conditions for transitional and coastal waters, Report of CIS WG2.4 (Coast),  
2002.
- [199] Vlachopoulou M., Coughlin D., Forrow D., Kirk S., Logan P., Voulvoulis N. (2014),  
The Potential of Using the Ecosystem Approach in the Implementation of the EU  
Water Framework Directive, Science of the Total Environment 470-471, 2014,  
pp. 684-694
- [200] Vollenweider R. A. (1975) Input-output models. Schweiz. Z. Hydrol. 37, 53-84.
- [201] Voulvoulis, N., Arpon, K.D., Giakoumis, T. (2017), The EU Water Framework  
Directive: From great expectations to problems with implementation, Science of  
the Total Environment, 575 (2017) 35, pp. 358–366
- [202] Volk, M.; Fohrer, N.; Schmalz, B.; Ullrich, A. (2011), Application of the SWAT  
model for ecohydrological modelling in Germany. CAB Int. Soil Hydrol. Land Use  
Agric. 2011, 176–195.
- [203] Wohl, E., Lane, S. N. and Wilcox A. C. (2015), The science and practice of river  
restoration, Water Resour. Res., 51, (2015): 5974–5997, doi: 10.1002/  
2014WR016874.
- [204] Water Europe (2021), The Water Framework Directive will not be Revised  
<https://watereurope.eu/the-water-framework-directive-will-not-be-revised>,  
(pristupljeno: 3.05.2021.)
- [205] WFD CIS Guidance Document No. 1, (2003), WFD CIS Guidance Document No.  
1 Economics and the Environment – The Implementation Challenge of the Water  
Framework Directive, EC - European Commission
- [206] WFD CIS Guidance Document No.5 (2003), Common implementation strategy  
for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 5,  
Transitional and Coastal Waters Typology, Reference Conditions and  
Classification Systems, EC - European Commission

- [207] WFD CIS Guidance Document No.7 (2003), Common implementation strategy for the Water Framework Directive EU 2000/60/EC. Guidance Document 7, Monitoring under the Water Framework Directive, EC - European Commission
- [208] WFD CIS Guidance No.9. (2003), Implementing the Geographical Information Systems (GIS) of the Water Framework Directive
- [209] WFD CIS Guidance No.9. (2009), Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No. 23, Guidance Document on Eutrophication Assessment in the Context of European Water Policies [85] Jain, Sharad K. (2012), Assessment of Environmental Flow Requirements." *Hydrological Processes* 26, no. 22 (July 18, 2012): 3472–3476. doi:10.1002/hyp.9455.
- [210] WFD CIS Guidance document No. 23 (2009), Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document on Eutrophication Assessment in the Context of European Water Policies, No. 23, Technical Report - 2009 – 030, EC - European Communities, ISBN 978-92-79-12987-2
- [211] WFD CIS Guidance document No. 24 (2009), Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document No. 24 River Basin Management in a Changing Climate. Tech. Rep. 2009, 40., EC - European Communities Available online: <http://ec.europa.eu> (accessed on: 16. September 2021.).
- [212] WFD CIS Guidance No.25. (2010), Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance on Chemical Monitoring of Sediment and Biota within the EU WFD, No. 25, (hrv.: Vodič o kemijskom praćenju sedimenta i biote u okviru ODV EU-a, No 25), 2010., Technical Report - 2010 – 041
- [213] WFD CIS No. 28 (EC) - (2012) Guidance document No. 28 Technical Guidance on the Preparation of an Inventory, Discharges and Losses of Priority and Priority Hazardous Substances Technical Report - 2012 – 058
- [214] WFD CIS Guidance No. 31. (2015), Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive, Chemical Monitoring of Sediment and Biota, No 31), 108 pp, [www.ec.europa.eu/environment/water/waterframework/facts\\_figures/guidance\\_docs\\_en.htm](http://www.ec.europa.eu/environment/water/waterframework/facts_figures/guidance_docs_en.htm) (pristupljeno: 16.02.2020.)
- [215] WG IPPC (2021), The Sixth Climate Change Report by the Intergovernmental Panel on Climate Change: IPPC, (Šesto međuvladino izvješće o klimatskim promjenama Međudržavnog panela o klimatskim promjenama

- [216] Williams J. G., Moyle P. B., Webb A. J., Kondolf G. M. (2019), Environmental flow assessment: methods and applications, John Wiley&Sons, Inc., 2019, 1, pp. 1 – 220, doi: 10.1002/9781119217374.
- [217] WISE - Water Information System for Europe (2022), The Water Framework Directive map contains information from the 2nd River Basin Management Plans (RBMPs) reported by EU Members States, <https://maps.eea.europa.eu/wab/WaterFrameworkDirective> (pristupljeno: 28.02.2022.)
- [218] WMO - World Meteorological Organization (2019), Guidance on Environmental Flows, Integrating E-flow Science with Fluvial Geomorphology to Maintain Ecosystem Services, WMO-No. 1235, Geneva, Switzerland, [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=9808](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9808) (pristupljeno: 15.11.2021.)
- [219] Wohl E., Lane S. N. and Wilcox A. C. (2015), The science and practice of river restoration, *Water Resour. Res.*, 51, (2015): 5974–5997, doi: 10.1002/2014WR016874.
- [220] World Water Council - WWC (2022), Sustainable Sevelopment Goals. Knowlegde Platform, <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=30022&nr=88&menu=3170>, (pristupljeno: 10.08.2022.)
- [221] WWC (1997), 1st World Water Forum, Marrakesh, March <https://www.worldwatercouncil.org/en/marrakesh-1997> (pristupljeno: 22.08.2022.)
- [222] WRE - Water Resources Engineers (1973), Computer program documentation for the stream quality model Qual II
- [223] Zelinka, M. & Marvan, P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57, 1961, pp: 389–407.
- [224] Žiger Z. & Bognar A. (1969), Geomorfološka obilježja gornjeg toka rijeke Sutle, *Hrvatski geografski glasnik* 69/1, 25 – 39 (2007.), UDK 551.435(282.249 Sutla), 551.311.2(282.249 Sutla)
- [225] Žiger Z & Bognar A. (2007), Geomorfološka obilježja gornjeg toka rijeke Sutle, *Hrvatski geografski glasnik* 69/1, 25 – 39, 2007.

## 8. POPIS SLIKA

Slika 2-1: Provedba WFD-a holističkim upravljanjem vodama riječnog sliva (Solimini A. et al., 2009) .....	17
Slika 2-2: DPSIR pristup kod procjene postizanja ciljeva vodne politike za eutrofikaciju i organsko onečišćenje (Kristensen P., 2004) .....	20
Slika 2-3: Pojednostavljeni prikaz postupka za utvrđivanje i premošćivanje jaza između uobičajenog pristupa i cilja dobrog stanja voda (EC, 2015a).....	26
Slika 2-4: Struktura programa mjera (Griffiths, M., 2002) .....	28
Slika 2-5: Radi postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva ekonomski elementi su povezani i moraju biti integrirani u upravljanje vodama (WFD CIS Guidance Document No. 1, 2003).....	30
Slika 2-6: Problemi u primjeni DPSIR pristupa u provedbi WFD-a (Voulvoulis, N. et al., 2017) .....	40
Slika 2-7: Prikaz biološke strukture prema uslugama ekosustava (prilagođeno prema (Vlachopoulou, M. et al., 2014).....	42
Slika 2-8: Očekivani odnos razina usluga ekosustava (protok) i ekološkog stanja vodnih ekosustava (Grizzetti B. et al., 2019) .....	42
Slika 2-9: Usluge ekosustava kao važan dio Programa mjera u sklopu provedbe WFD-a (Giakoumis T. & Voulvoulis N., 2018).....	43
Slika 3-1: Riječni sliv Sutle. Desni dio (zapadni) riječnog sliva je slovenski. Lijevi dio (istočni) riječnog sliva je hrvatski (preuzeto iz (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014)).....	52
Slika 3-2: Rijeka Sutla s pritokama i granicom sliva (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.) .....	55
Slika 3-3: Ušće Sutle i Bistrice na karti 1. vojne izmjere, 1806.–1869. (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.) .....	57
Slika 3-4: Uzdužni nagib rijeke Sutle s „0“ kotama (Žiger Z & Bognar A., 2007).....	58
Slika 3-5: Geomorfološka karta doline rijeke Sutle od izvora do Kumrovečke zavale (Žiger Z. & Bognar A., 1969) .....	61
Slika 3-6: Prosječna mjesečna temperatura zraka izmjerena na meteorološkim postajama Bednja, Bizeljsko, Krpina i Puntijarka u razdoblju 1981.–2010. (Projekt FRISCO1 (2014.-2020.) .....	62
Slika 3-7: Klimatološke, meteorološke i hidrološke mjerne postaje na širem području sliva rijeke Sutle (Projekt FRISCO, 2014.-2020.) .....	65
Slika 3-8: Prekogranični riječni sliv rijeke Sutle, površinska vodna tijela, hidrološke mjerne postaje i mjerne postaje kakvoće vode.....	72
Slika 3-9: Hidromorfološka mjerna postaja i kakvoća sedimenta: mjerna postaja Luke Poljanske (lijevo) i mjerna postaja Zelenjak (desno) .....	80
Slika 3-10: Natura 2000 područje u Sloveniji (Izvor:ARSO) (lijevo) (FRISCO project, 2014.-2020.).....	84
Slika 3-11: Natura 2000 područje u Hrvatskoj (Izvor:DHMZ) (desno) (FRISCO project, 2014.-2020.).....	84
Slika 3-12: Zaštićeni krajobraz Zelenjak (Projekt FRISCO, 2014-2020) .....	85
Slika 3-13: Sutlansko jezero u prošlosti (lijevo) (Rismal M., 2016) .....	86
Slika 3-14: Obnovljena brana Vonarje i retencija danas (desno) (Projekt FRISCO 2.1., 2014.-2020.a).....	86
Slika 3-15: Pregrada Prišlin (Projekt FRISCO 2.1., 2014.-2020.a) (lijevo).....	87
Slika 3-16: Izgled doline rijeke Sutle na lokaciji gdje je bilo Sutlansko jezero za vrijeme kada je retencija Vonarje ispunjena vodom te asocira na močvarno područje (Projekt FRISCO1, 2014. -2020.) (desno) .....	87

Slika 3-17: Kartografski prikaz akumulacije u prošlosti (lijevo) .....	87
Slika 3-18: Položaj mjernih postaja u odnosu na branu Vonarje (desno) .....	87
Slika 4-1: Dijagram toka razvijenog modela integralnog upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva.....	93
Slika 4-2: Prekogranični ruralni sliv rijeke Sutle s lokacijom brane Vonarje s digitalnim modelom nadmorske visine, hidrografskom mrežom i 11 podslivova..	117
Slika 4-3: Prikaz komplementarnog odnosa između WFD-a i UE-a (prilagođeno prema Vlachopoulou i sur., 2014).....	118
Slika 4-4: Primjena UE-a u PoMs-u unutar upravljanja kakvoćom voda (Giakoumis T. & Voulvoulis N., 2019).....	119
Slika 4-5: Dijagram toka holističkog pristupa modelu procjene E-protoka (Ćosić-Flajsig G. et al., 2020).....	123
Slika 4-6: Shema različitih scenarija integralnog upravljanja kakvoćom voda korištenjem SWAT modela.....	127
Slika 5-1: Usporedba simuliranih i mjerenih vrijednosti protoka za a) kalibraciju i b) validaciju u rijeci Sutli za mjernu postaju Zelenjak na ispustima podsliva 6 sliva rijeke Sutle između 2004. i 2010. godine .....	160
Slika 5-2: Usporedba simuliranih i mjerenih a) koncentracija sedimenta, b) koncentracije nitrata, c) opterećenja nitrata i d) opterećenja mineralnog fosfora u rijeci Sutli za postaju Zelenjak na ispustima podsliva 6 sliva rijeke Sutle između 2004. i 2010. godine.....	161
Slika 5-3: Prosječni godišnji prinos a) sedimenta (t/ha/god), b) prinos nitrata (kg N/ha/god) i c) prinos topivog fosfora (kg P/ha) transportiranih u glavni vodotok rijeku Sutlu iz hidroloških jedinica podslivova (HRU-a). .....	163
Slika 5-4: Rezultati SWAT modela: Prostorni prikaz simuliranog prosječnog godišnjeg pritiska sedimenta (t/ha/god) transportiranog iz HRU-ova površinskim otjecanjem vodotok za razdoblje 2004. – 2014. godine.....	175
Slika 5-5: Rezultati srednjih vrijednosti HRU-a OSNOVNOG MODELA za razdoblje između 2004 .do 2014. godine (Ćosić-Flajsig G. et al., 2022).....	176
Slika 5-6: Integralni okvir procjene za analizu veza između pritisaka, stanja ekosustava i UE-a (prema (Grizzetti B. et al., 2016., preuzeto za sliv rijeke Sutle) .....	179
Slika 5-7: <i>Barbus balcanicus</i> (Kotlik, Tsigenopoulos, Rab & Berrebi, 2002.).....	183
Slika 5-8: Rezultati primijenjene mjere 4 „po mjeri riječnog sliva za podslivove 1 i 2 SWAT modelom za: a) sediment, b) N i c) P .....	202
Slika 5-9: Modeliranje redukcije nutrijenata N-a i P-a, te sedimenta temeljem OSNOVNOG SCENARIJA s osnovnim mjerama (lijevo a) -c) ) i OSNOVNOG SCENARIJA s osnovnim i S DOPUNSKIM MJERAMA opisanih mjerom 4 SWAT modelom (desno d) – f)).....	203

## 9. POPIS TABLICA

Tablica 2-1: DPSIR problemski orijentiran pristup korišten u analizi pritisaka i utjecaja (IMPRESS, 2002).....	20
Tablica 2-2: Pregled mjera vezanih uz vode koje podupiru okolišnu politiku EU-a (adaptirano Dworak T. et al., 2012) .....	29
Tablica 2-3: Tri sheme klasificiranja metoda procjene E-protoka (prilagođeno s Williams J. G., 2019) .....	33
Tablica 2-4: Potrebni podaci i javno dostupni podaci (Solangi G.S. et al., 2019) .....	34
Tablica 2-5: Primjeri UE-a: usluge podrške, usluge opskrbe, usluge regulacije i kulturoloških usluga ovisnih o E-protoku (USAID, 2018) .....	35
Tablica 2-6: Zajedničke mjere koje se koriste u primjeni direktiva EU-a radi zaštite voda (EC, 2017) .....	38
Tablica 2-7: Pregled okvirne prikladnosti/primjenjivosti kvantifikacijskih alata za primjenu alata na različite uvjete koji se javljaju u Europi (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003).....	47
Tablica 2-8: Potencijalna prilagodljivost modela za tri vrste scenarija (Schoumans O.F. & Silgram M., 2003).....	48
Tablica 2-9: Sažetak rezultata vrednovanja modela upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva (Edsel B.D. et al., 2011).....	50
Tablica 3-1: Hidrografske karakteristike sliva rijeke Sutle (Projekt FRISCO, 2014.-2020.) .....	56
Tablica 3-2: Vrijednosti nagiba pada uzdužnog profila rijeke Sutle od izvora do ušća (Žiger Z & Bognar A., 2007) .....	59
Tablica 3-3: Klimatološke mjerne postaje referentne za modeliranje SWAT modelom sliva rijeke Sutle .....	66
Tablica 3-4: Meteorološke mjerne postaje referentne za modeliranje SWAT modelom sliva rijeke Sutle .....	67
Tablica 3-5: Hidrološke mjerne postaje na rijeci Sutli i pritokama Mestinjšćici I Bistrici (prilagođeno prema (Projekt FRISCO1, 2014.-2020.) .....	68
Tablica 3-6: Karakteristični protoci na rijeci Sutli na hidrološkim stanicama Zelenjak i Bratkovec .....	69
Tablica 3-7: Karakteristični vodostaji na rijeci Sutli za hidrološke stanice Zelenjak i Bratkovec .....	70
Tablica 3-8: Mjerne postaje s vrstama monitoring programa i vodna tijela (prema planovima upravljanja vodnim područjima 2016-2021 RH i RS) (Hrvatske vode, 2016), (ARSO, 2016).....	73
Tablica 3-9: Mjerne postaje kakvoće voda s ocjenom hidromorfoloških elemenata, utjecaja brane i procjene sedimenta za slovenska i hrvatska vodna tijela .....	78
Tablica 3-10: Popis ciljnih i drugih vrsta riba ciprinidnih voda rijeke Sutle (NN 33/11) .....	81
Tablica 4-1: Set podataka i/ili indikatora modela upravljanja kakvoćom voda temeljem DPSIR pristupa (Kristensen P., 2004), (Kagalou I. et al., 2012), (Guipponi C., 2012) .....	97
Tablica 4-2: Pregled potencijalnih prednosti i nedostataka kvantifikacijskih alata SWAT-a (Schoumans i Silgram, 2003).....	105
Tablica 4-3: Modeliranje/analiza pritisaka i procjena utjecaja .....	108
Tablica 4-4: Šest modela utjecaja klimatskih promjena korišteni za Scenarij 2 .....	130
Tablica 4-5: Korištene podataka referentnih postaja klimatskih promjena za sliv rijeke Sutle za modeliranje SWAT programom .....	132

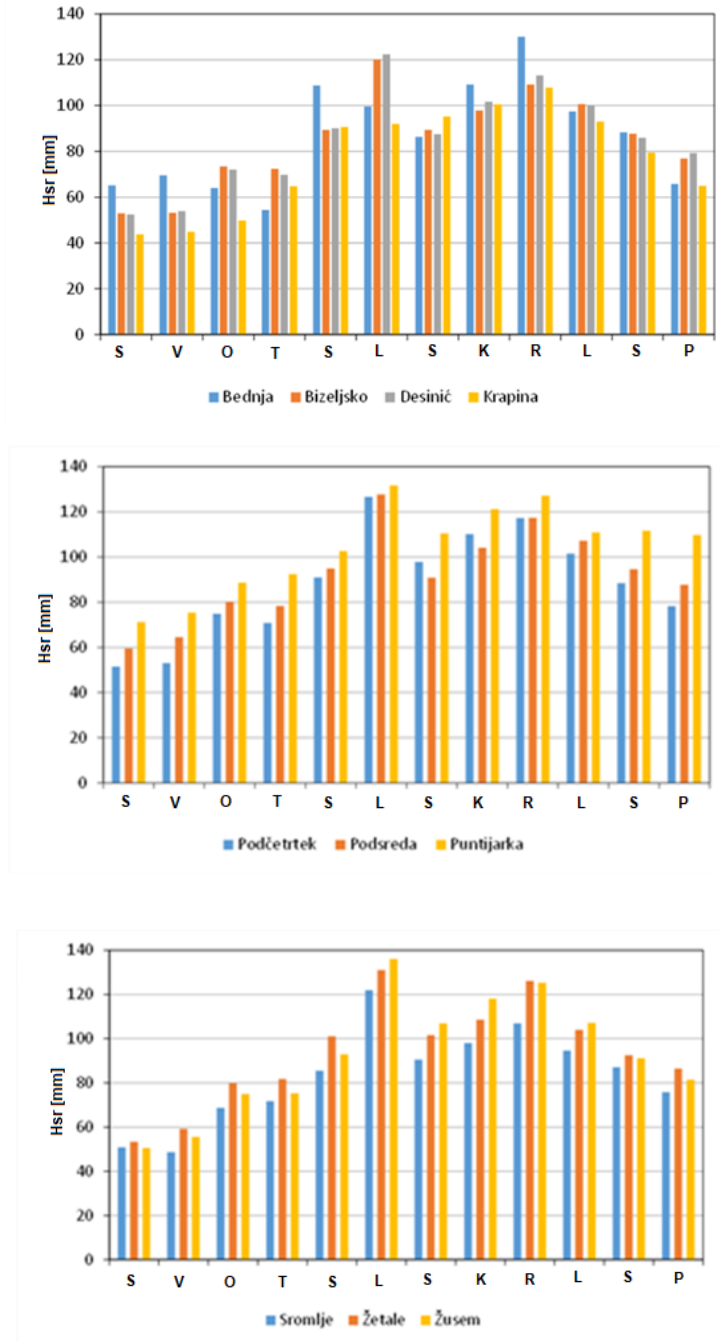


Tablica 4-6: Procijenjene mjerne postaje klimatske promjene na širem istražnom području sliva rijeke Sutle korištene za modeliranje SWAT modelom .....	133
Tablica 4-7: Eksplicitne i implicitne poveznice prirodnih mjera za zadržavanje vode prema europskoj okolišnoj politici .....	141
Tablica 4-8: Dopunske mjere iz kataloga NWRM i mjere koje je moguće modelirati SWAT modelom označene crvenom bojom (prema (NWRM, 2016), (Arnold J.G. et al., 2012),) (OPS- SWAT model, 2022) .....	143
Tablica 4-9: Odabrane i primijenjene odabrane dopunske mjere, <b>označene crvenom bojom</b> u Tablici 4-8, koje se mogu modelirati SWAT modelom i pogodne su za sliv rijeke Sutle, „po mjeri“ riječnih podslivova 1 i 2 sliva rijeke Sutle .....	145
Tablica 5-1: Pokretačke sile/pritisci hrvatske i slovenske strane sliva rijeke Sutle (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014) .....	149
Tablica 5-2: Indikatori D-a, P-a i S-a, prema DPSIR pristupu, za hrvatski i slovenski dio sliva rijeke Sutle (Ćosić-Flajsig G. et al., 2014) .....	150
Tablica 5-3: Izvori ulaznih podataka za sliv rijeke Sutle .....	158
Tablica 5-4: Statističke vrijednosti za kalibraciju za riječni protok (m <sup>3</sup> /s) (2004. – 2014.) i koncentraciju sedimenta (mg/l), koncentraciju nitratnog dušika (mg/l) i opterećenje nitratnog dušika (kg/dan) i opterećenje mineralnim fosforom u rijeci Sutli (2004. – 2012.) .....	159
Tablica 5-5: Numerički modelirani HRU rezultati za OSNOVNI SCENARIJ - sadašnji u razdoblju između 2004.-2014. godine (Ćosić-Flajsig G. et al., 2021) ..	164

## 10. PRIVICI

## 10.1. PRIVITAK 1

### Meteorološke postaje u slivu rijeke Sutle



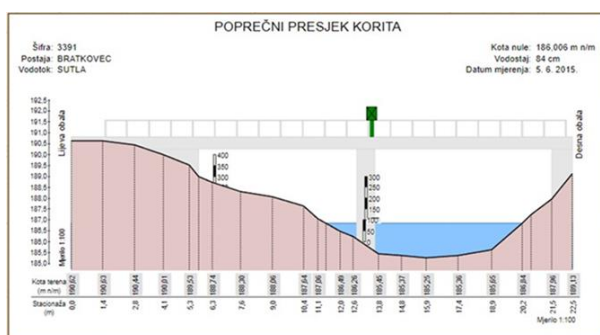
Slika 1: Prosječna mjesečna količina oborina izmjerena na meteorološkim postajama Bednja, Bizeljsko, Desinić, Krapina, Podčetrtek, Podsreda, Puntijarka, Sromlje, Žetale i Žusem u razdoblju 1981.–2010. (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

## Hidrološke mjerne postaje

Za hidrološke mjerne postaje Bratkovec i Zelenjak analizirani su raspoloživi nizovi podataka, i to: postaja Zelenjak niz podataka od 1980. godine do 2016. godine za mjernu postaju Zelenjak i niz podataka od 1993. do 2014. za mjernu postaju Bratkovec.

### Hidrološka mjerna postaja Bratkovec

Nizvodno od naselja Podčetrtrek, na rijeci Sutli nalazi se hrvatska hidrološka postaja Bratkovec. Opremljena je limnigrafom i provodi mjerenja od 1993. godine. Na Slici 2 prikazan je poprečni presjek korita na hidrološkoj mjestnoj postaji Bratkovec,



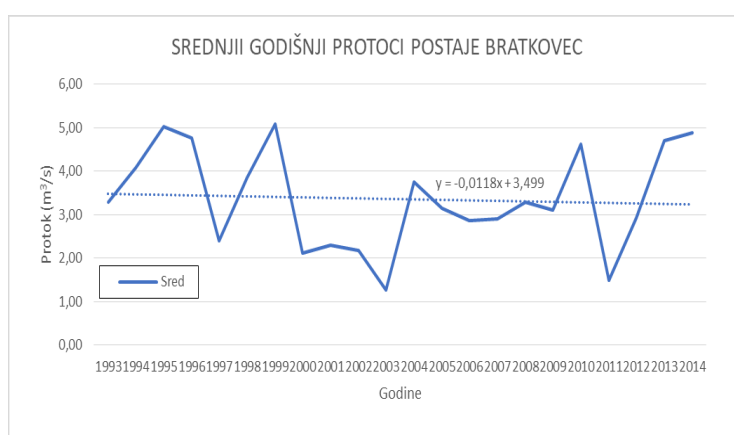
Slika 2: Poprečni presjek korita na hidrološkoj mjestnoj postaji Bratkovec (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

Na Slici 3 prikazana je fotografija mjerna postaja Bratkovec s limnigrafom.



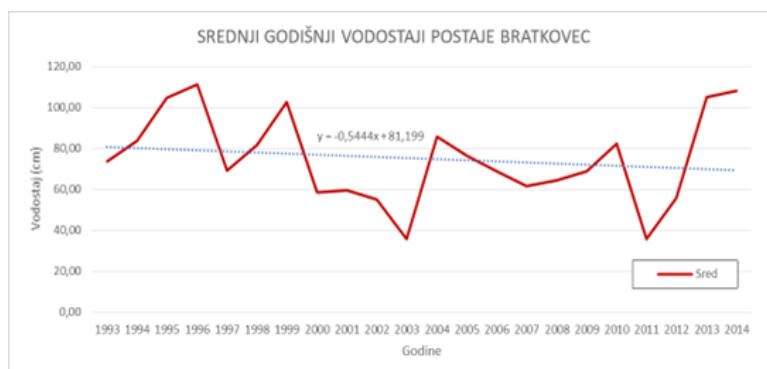
Slika 3: Hidrološka mjerna postaja Bratkovec (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

Maksimalni protok Sutle na postaji Bratkovec izmjeren je 17. svibnja 2013. godine i iznosi  $69,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , a minimalni protok izmjeren je 18. kolovoza 1993. godine i iznosi  $0,016 \text{ m}^3/\text{s}$ . Prosječni godišnji protok Sutle u razdoblju 1993. – 2015. na vodomjernoj postaji Bratkovec iznosi  $3,29 \text{ m}^3/\text{s}$ . Temeljem prikupljenih podataka hidrološke mjerne postaje Bratkovec za razdoblje od 1993. godine do 2014. godine analizirani su srednji i mali protoci, kao i srednji i mali vodostaji, koji su posebno značajniji za potrebe upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva. Analiza srednjih godišnjih protoka hidrološke postaje Bratkovec prikazana je na Slici 4.



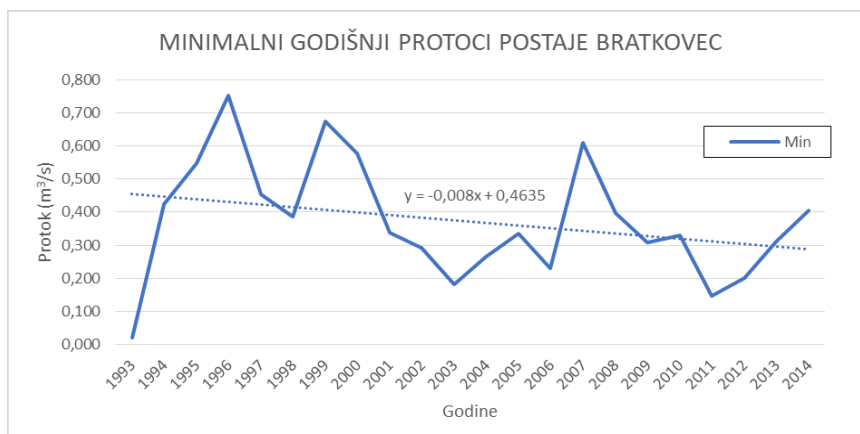
Slika 4: Srednji godišnji protoci postaje Bratkovec (1993.-2014.)

Uočen je veoma blagi negativan trend srednjih godišnjih protoka koji iznosi  $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$  kroz razdoblje od 21 godinu. Srednji godišnji vodostaji mjerne postaje Bratkovec, analizirani kroz 21 godinu, prikazani su na Slici 5.



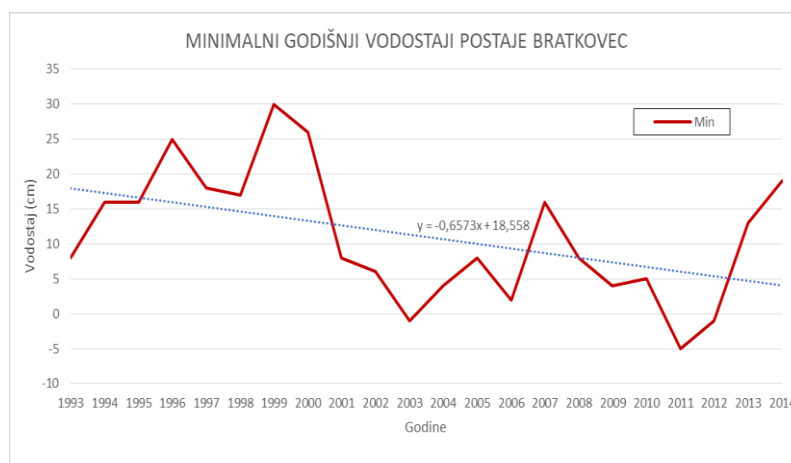
Slika 5: Srednji godišnji vodostaji postaje Bratkovec (1993.-2014.)

Uočen je negativan trend srednjih godišnjih protoka, kroz 21 godinu prikupljanja podataka, koji pokazuje oko 10 cm niže srednje godišnje vodostaje na postaji Bratkovec. Minimalni godišnji protoci mjerne postaje Bratkovec analizirani su kroz razdoblje od 21 godinu (1993.-2014.), te prikazani na Slici 6.



Slika 6: Minimalni godišnji protoci postaje Bratkovec (1993.-2014.)

Uočen je veoma blagi negativni trend minimalnog protoka od prosječno 0,165 m<sup>3</sup>/s. Minimalni vodostaji mjerne postaje Bratkovec, kroz razdoblje od 21 godinu (1993.-2014.), prikazani su na Slici 7.



Slika 7: Minimalni godišnji vodostaji postaje Bratkovec (1993.-2014.)

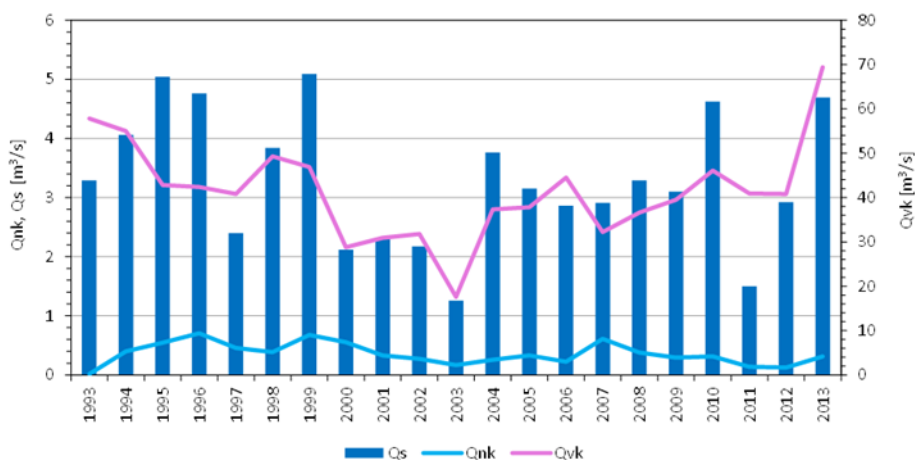
U promatranom razdoblju, uočen je blagi negativan trend minimalnih vodostaja, prosječno 13,5 cm. Da bi stekao kvalitetniji uvid u vodni režim korišteni su podaci Hidrografskog atlasa Sotle, koji su prikazani u nastavku, Tablica 1.

Tablica 1: Značajni protoci Sutle na hidrološkoj postaji Bratkovec

Bratkovec	protok (m <sup>3</sup> /s) -razdoblje: 1993. –2015.				
	Q <sub>ne</sub>	Q <sub>np</sub>	Q <sub>sred</sub>	Q <sub>vp</sub>	Q <sub>vk</sub>
mali	0,016	0,021	1,26	11	17,6
srednji	0,356	0,37	3,29	33	41,4
velik	0,704	0,751	5,09	47,5	69,4

Tumač: Q<sub>ne</sub> – niske ekstreme vrijednosti; Q<sub>np</sub> – niske prosječne vrijednosti; Q<sub>sred</sub> – srednji protok; Q<sub>vp</sub> – visoke prosječne vrijednosti; Q<sub>ve</sub> - visoke ekstremne vrijednosti

Temeljem obrada navedenih podataka izrađeni su srednji maksimalni protoci, srednji protoci, i srednji minimalni protoci, hidrološke mjerne postaje Bratkovec za razdoblje 1993.-2015. godine s usporednim vrijednostima. Uz srednje vrijednosti protoka, analizirane su srednje niske vrijednosti protoka i srednje visoke vrijednosti protoka. Također, radi boljeg uvida u ekstreme analizirani su ekstremi malih protoka i ekstremi velikih protoka, te stavljeni u raspon od malih, minimalnih i visokih velikih vrijednosti protoka. Na Slici 8 prikazani su trendovi srednjih godišnjih protoka, niskih ekstrema protoka i visokih ekstrema protoka za mjernu postaju Bratkovec.

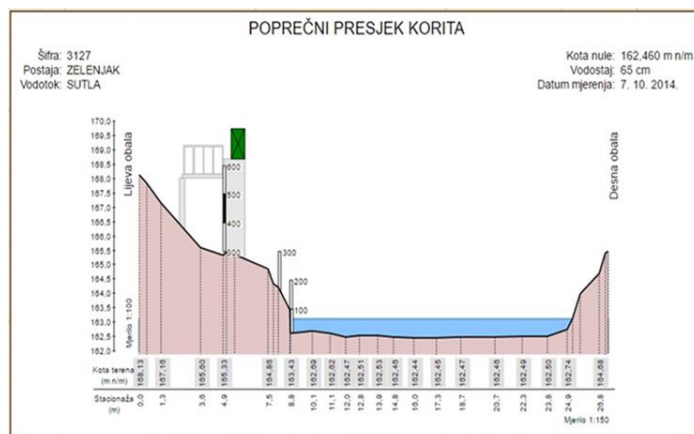


Slika 8: Srednji godišnji protoci ( $Q_s$ ), niski ekstremi ( $Q_{nk}$ ) i visoki ekstremi ( $Q_{vk}$ ) na hidrološkoj postaji Bratkovec tijekom mjernog razdoblja (1993. – 2013.) (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

Minimalni protoci događaju se ljeti, u srpnju i kolovozu, dok najveći zimi u veljači i ožujku, te u jesen u studenom i prosincu.

### Hidrološka mjerna postaja Zelenjak

Hrvatska hidrološka mjerna postaja Zelenjak osnovana je sredinom 1957. godine, a 1979. godine limnigraf je zamijenjen automatskom mjernom postajom na kojoj se mjere vodostaji i protoci. Na Slici 9 prikazan je poprečni presjek korita na lokaciji hidrološke mjerne postaje Zelenjak.



Slika 9: Hidrološka mjerna postaja Zelenjak (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

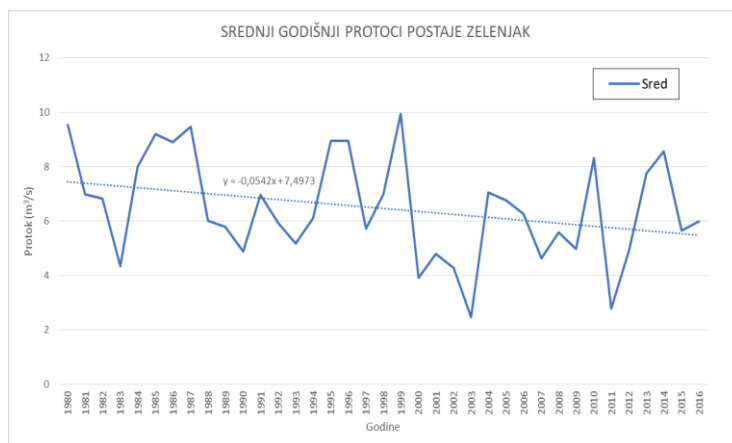
Na Slici 10 prikazana je fotografija hidrološke mjerne postaje Zelenjak.



Slika 10: Hidrološka mjerna postaja Zelenjak (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

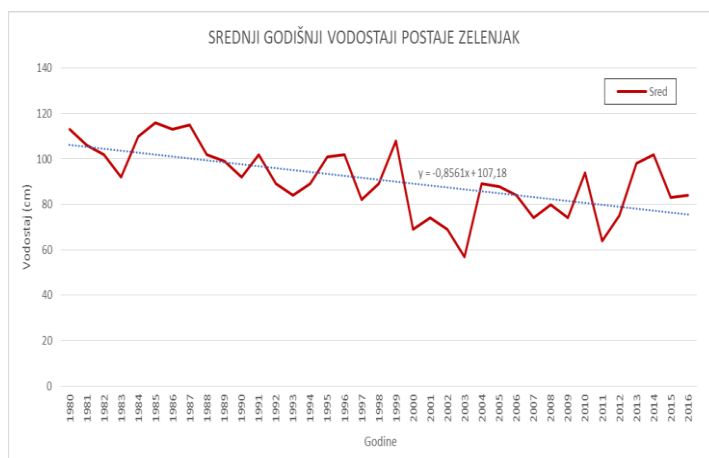
Najveći protok rijeke Sutle na mornoj postaji Zelenjak izmjeren u razdoblju 1958. – 2016., i to 25. listopada 1964. godine, iznosio je **250 m<sup>3</sup>/s**, a najmanji 26. rujna 1992. godine i iznosio je **0,31 m<sup>3</sup>/s**. Prosječni godišnji protok Sutle u razdoblju 1958. – 2015. na vodomjernoj postaji Zelenjak iznosi **6,84 m<sup>3</sup>/s**. Na Slici 11 prikazani su srednji godišnji protoci postaje Zelenjak.





Slika 11: Srednji godišnji protoci postaje Zelenjak (1980.-2016.)

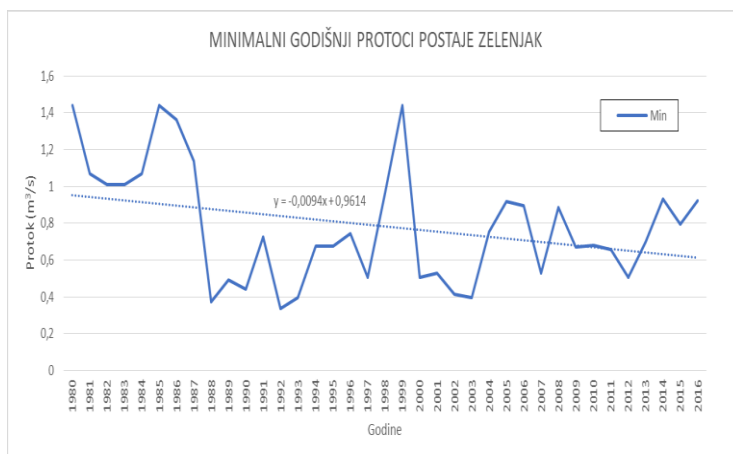
Na Slici 11 uočen je blagi, ali kontinuirani, negativan trend srednjih godišnjih protoka. Za promatrano razdoblje od 36 godina negativan trend u slučaju protoka iznosi približno 1,9 m<sup>3</sup>/s. Na Slici 12 prikazani su srednji godišnji vodostaji postaje Zelenjak.



Slika 12: Srednji godišnji vodostaji postaje Zelenjak (1980.-2016.)

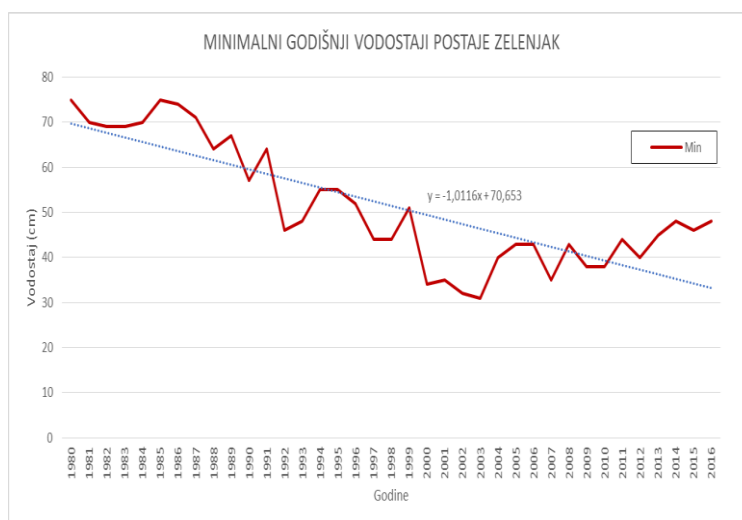
Uočen je blagi, ali kontinuirani, negativan trend srednjih godišnjih protoka. Za promatrano razdoblje od 36 godina negativan trend u slučaju vodostaja iznosi cca 29 cm.

Na Slici 13, za razdoblje od 36 godina, uočen je malen ali i dalje negativan trend godišnjeg protoka na postaji Zelenjak od oko 0,35 m<sup>3</sup>/s.



Slika 13: Minimalni godišnji protoci hidrološke postaje Zelenjak (1980.-2016.)

Na Slici 14, za razdoblje od 36 godina, uočen je malen ali i dalje negativan trend godišnjih vodostaja na postaji Zelenjak od oko 37 cm.



Slika 14: Minimalni godišnji vodostaji hidrološke postaje Zelenjak (1980.-2016.)

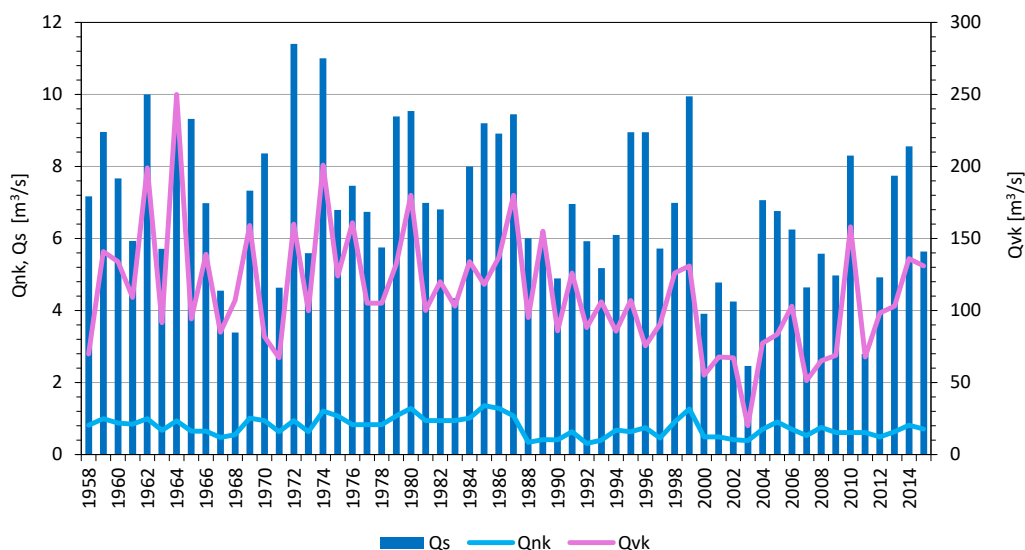
Radi kvalitetnijega uvid u vodni režim korišteni su podaci Hidrografskog atlasa Sotle (Projekt FRISCO, 2014.-2020.), koji su prikazani u nastavku, Tablica 2, Slika 15. Temeljem obrada navedenih podataka izrađeni su srednji maksimalni protoci, srednji protoci, i srednji minimalni protoci, hidrološke mjerne postaje Zelenjak za razdoblje 1993.-2015. godine, a usporedba vrijednosti se može vidjeti u Tablici 2.

Tablica 2: Značajni protoci Sutle za hidrološku postaju Zelenjak (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

Zelenjak	protok (m <sup>3</sup> /s) - razdoblje: 1965–2015					protok (m <sup>3</sup> /s) - razdoblje: 1981–2010				
	Q <sub>nk</sub>	Q <sub>np</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>vp</sub>	Q <sub>vk</sub>	Q <sub>nk</sub>	Q <sub>np</sub>	Q <sub>s</sub>	Q <sub>vp</sub>	Q <sub>vk</sub>
mali	0,308	0,335	2,46	16,5	20	0,308	0,335	2,46	16,5	20
srednji	0,764	0,835	6,84	91	112	0,711	0,768	6,47	76,5	99,3
velik	1,36	1,44	11,4	250	250	1,36	1,44	9,95	132	180

Tumač: Q<sub>ne</sub> – niske ekstreme vrijednosti; Q<sub>np</sub> – niske prosječne vrijednosti; Q<sub>sred</sub> – srednji protok  
Q<sub>vp</sub> – visoke prosječne vrijednosti; Q<sub>ve</sub> – visoke ekstremne vrijednosti

Uz srednje vrijednosti protoka, analizirane su srednje niske vrijednosti protoka i srednje visoke vrijednosti protoka. Također, radi boljeg uvida u ekstreme analizirani su ekstremi malih protoka i ekstremi velikih protoka, te stavljeni u raspon od malih, minimalnih i velikih vrijednosti, Slika 15.



Slika 15: Srednji ljetni protoci (Q<sub>s</sub>), niski ekstremi (Q<sub>ne</sub>) i visoki ekstremi (Q<sub>ve</sub>) na hidrološkoj postaji Zelenjak u mjerenom razdoblju (1958.–2015.) (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

## 10.2. PRIVITAK 2

### Stanje površinskih vodnih tijela rijeke Sutle

Ocjena stanja površinskih voda za Plan upravljanja vodnim područjima 2016. – 2021. određena je na temelju ekološkog stanja i kemijskog stanja vodnih tijela prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/19). Ukupno stanje vodnog tijela definira se na temelju mjerodavnih vrijednosti najlošijeg elementa kakvoće. Također, na snazi su i izmjene i dopune Uredbe o standardu kakvoće voda (NN 96/19). U ocjenu ekološkog stanja površinskih voda ulaze biološki elementi kakvoće voda (fitoplankton, perifiton, makrofitska vegetacija, bentički makro beskralješnjaka i ribe), hidromorfološki (hidrološki režim, kontinuitet toka, morfološki uvjeti i indeks korištenja), osnovni fizikalno-kemijski elementi koji prate biološke elemente kakvoće voda, a koji uključuju: pH vrijednost, režim kisika (BPK<sub>5</sub> i KPK), amonij, nitrate, ukupni dušik, ortofosfate i ukupni fosfor te specifične onečišćujuće tvari (teške kovine, AOX, PCB). Kemijsko stanje površinskih voda ocjenjuje se na temelju liste specifičnih (prioritetnih) tvari (kompleksni organski spojevi) i drugih onečišćujućih tvari, gdje je za svaku pojedinu prioritetnu tvar utvrđena koncentracija koja se ne bi smjela prekoračiti. Za ocjenu ekološkog stanja površinskih voda na temelju bioloških elemenata kakvoće primjenjuje se omjer kakvoće svakog pojedinog elementa. Omjer ekološke kakvoće (OEK) pokazatelja/indeksa je omjer između izmjerenih vrijednosti i referentnih vrijednosti pokazatelja/indeksa za određeni tip površinskih voda i kreću se u rasponu od 0 do 1. Tijela površinskih voda sukladno WFD, što je preneseno i u zakonodavstvo Republike Hrvatske, prikazuju se na kartama koje sadrže prikaz stanja svakog vodnog tijela površinske vode odgovarajućom bojom.

U nastavku, daje se Izvadak iz Registra vodnih tijela izrađen prema Planu upravljanja vodnim područjima 2016.-2021 u Hrvatskim vodama za 6 vodnih tijela površinskih voda sliva rijeke Sutle, i to: CSRI0029\_006, CSRI0029\_005, CSRI0029\_004, CSRI0029\_003, CSRI0029\_002 i CSRI0029\_001 iz prosinca 2021. godine. Nacrt Plana upravljanja vodnim područjima 2021.-2027. godine još uvijek nije službeno prihvaćen. Analize se baziraju na podacima o ekološkom stanju, biološkim elementima kakvoće, fizikalno-kemijskim pokazateljima, specifične onečišćujuće tvari, hidromorfološkim elementima i kemijskom stanju.

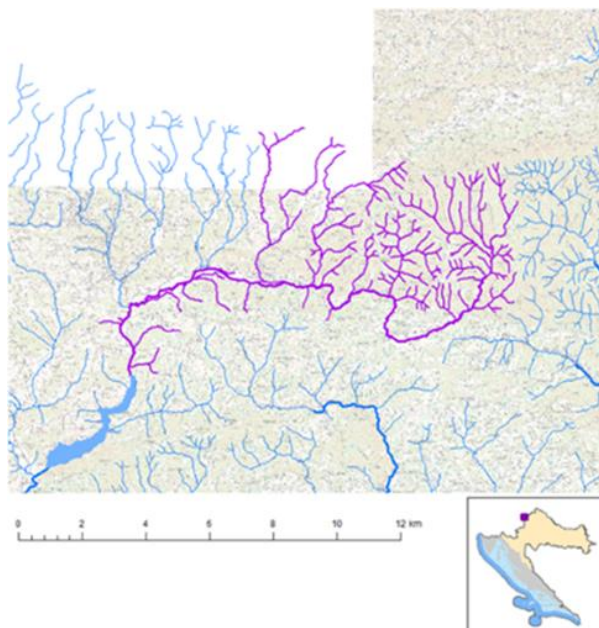
## Izvadak iz registra vodnih tijela Hrvatskih voda

Vodno tijelo CSRI0029\_006, Sutla

Ocjena stanja, izrađena po Hrvatskim vodama, prikazana je na Tablici 1, Slici 1 i Tablica 2.

Tablica 1: Opći podaci vodnog tijela CSRI0029\_006

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA CSRI0029_006	
Šifra vodnog tijela:	CSRI0029_006
Naziv vodnog tijela	Sutla
Kategorija vodnog tijela	Tekućica / River
Ekotip	Gorske i prigorske male i srednje velike tekućice (1)
Dužina vodnog tijela	20.2 km + 110 km
Izmjenjenost	Prirodno (natural)
Vodno područje:	rijeke Dunav
Podsliv:	rijeke Save
Ekoregija:	Panonska
Države	Međunarodno (HR, SL)
Obaveza izvješćivanja	EU, Savska komisija
Tijela podzemne vode	CSGI-24
Zaštićena područja	HR53010021*, HR2001070*, HRCM_41033000* (* - dio vodnog tijela)
Mjerne postaje kakvoće	18004 (Lupinjak, Sutla) 18003 (Prišlin, Sutla)



Slika 2: Vodno tijelo CSRI0029\_006

Tablica 2: Stanje voda vodnog tijela CSRI0029\_006

STANJE VODNOG TIJELA CSRI0029_006					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno Ekolosko stanje Kemijsko stanje	loše loše dobro stanje	loše loše dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiže ciljeve
Ekolosko stanje Biološki elementi kakvoće Fizikalno kemijski pokazatelji Specifične onečišćujuće tvari Hidromorfološki elementi	loše loše dobro vrlo dobro dobro	loše loše dobro vrlo dobro dobro	dobro nema ocjene dobro vrlo dobro dobro	dobro nema ocjene dobro vrlo dobro dobro	procjena nije pouzdana nema procjene procjena nije pouzdana postiže ciljeve postiže ciljeve
Biološki elementi kakvoće Fitobentos Makrofiti Makrozoobentos	loše loše loše umjereno	loše loše loše umjereno	nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	nema procjene nema procjene nema procjene nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji BPK5 Ukupni dušik Ukupni fosfor	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	procjena nije pouzdana postiže ciljeve postiže ciljeve procjena nije pouzdana
Specifične onečišćujuće tvari arsen bakar cink krom fluoridi adsorbilni organski halogeni (AOX) poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi Hidrološki režim Kontinuitet toka Morfološki uvjeti Indeks korištenja (ikv)	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve
Kemijsko stanje Klorfenvinfos Klorpirifos (klorpirifos-etil) Diuron Izoproturon	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	postiže ciljeve nema procjene nema procjene nema procjene nema procjene
NAPOMENA: NEMA OCJENE: Fitoplankton, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortofosfati, Pentabromdifenileter, C10-13 Kloroalkani, Tributikositrovi spojevi, Trifluralin DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmij i njegovi spojevi, Tetrakloruglijk, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloretan, Diklometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktilfenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3-cd)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretalen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklometan *prema dostupnim podacima					

**Legenda za Tablicu 2 - Stanje vodnog tijela CSRI0029\_006:**

\* Stanje voda na mjernim postajama sukladno Uredbi 73/13

Stanje- Stanje voda na temelju modela pritisaka i utjecaja

Analiza opterećenja i utjecaja (2021.) - Stanje voda nakon provođenja osnovnih mjera (izgradnja UPOV)

Analiza opterećenja i utjecaja (nakon 2021.) - Stanje voda nakon provođenja svih mjera za plansko razdoblje.

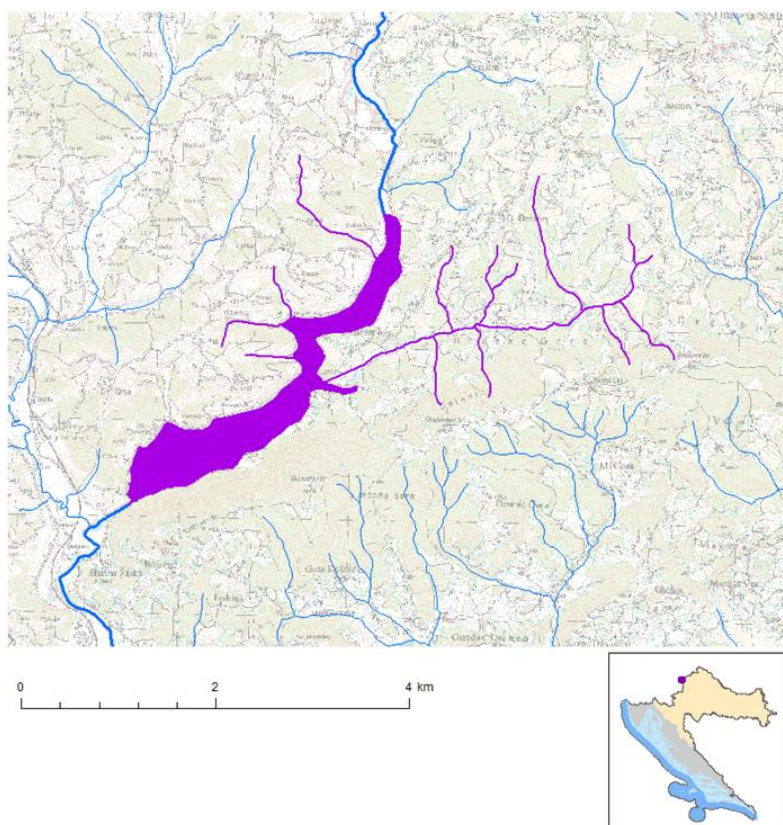


## Vodno tijelo CSRI0029\_005, Sutla

Ocjena stanja, izrađena po Hrvatskim vodama, prikazana je na Tablici 3, Slika 2 i Tablica 4.

Tablica 3: Opći podaci vodnog tijela CSRI0029\_005

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA CSRI0029_005	
Šifra vodnog tijela:	CSRI0029_005
Naziv vodnog tijela	Sutla
Kategorija vodnog tijela	Tekućica / River
Ekotip	Nizinske srednje velike i velike tekućice (4)
Dužina vodnog tijela	4.83 km + 15.8 km
Izmjenjenost	Izmjenjeno (changed/altered)
Vodno područje:	rijeke Dunav
Podsliv:	rijeke Save
Ekoregija:	Panonska
Države	Međunarodno (HR, SL)
Obaveza izvješćivanja	EU, Savska komisija
Tijela podzemne vode	CSGI-24
Zaštićena područja	HR53010021*, HR2001070*, HRCM_41033000* (* - dio vodnog tijela)
Mjerne postaje kakvoće	



Slika 2: Vodno tijelo CSRI0029\_005

Tablica 4: Stanje voda vodnog tijela CSRI0029\_005

STANJE VODNOG TIJELA CSRI0029_005					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno Ekolosko stanje Kemijsko stanje	umjereno umjereno dobro stanje	umjereno umjereno dobro stanje	umjereno umjereno dobro stanje	umjereno umjereno dobro stanje	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiže ciljeve
Ekolosko stanje Fizikalno kemijski pokazatelji Specifične onečišćujuće tvari Hidromorfološki elementi	umjereno umjereno vrlo dobro dobro	umjereno umjereno vrlo dobro umjereno	umjereno umjereno vrlo dobro umjereno	umjereno umjereno vrlo dobro umjereno	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiže ciljeve procjena nije pouzdana
Biološki elementi kakvoće	nema ocjene	nema ocjene	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji BPK5 Ukupni dušik Ukupni fosfor	umjereno dobro umjereno dobro	umjereno dobro umjereno dobro	umjereno dobro umjereno dobro	umjereno dobro umjereno dobro	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana
Specifične onečišćujuće tvari arsen bakar cink krom fluoridi adsorbilni organski halogeni (AOX) poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi Hidrološki režim Kontinuitet toka Morfološki uvjeti Indeks korištenja (ikv)	dobro umjereno umjereno umjereno dobro	umjereno umjereno umjereno umjereno dobro	umjereno umjereno umjereno umjereno dobro	umjereno umjereno umjereno umjereno dobro	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiže ciljeve
Kemijsko stanje Klorfenvinfos Klorpirifos (klorpirifos-etil) Diuron Izoproturon	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	postiže ciljeve nema procjene nema procjene nema procjene nema procjene
<p>NAPOMENA: Određeno kao izmjenjeno vodno tijelo prema analizi opterećenja i utjecaja - Nepouzdana ocjena hidromorfoloških elemenata zbog nedostatka referentnih uvjeta i klasifikacijskog sustava NEMA OCJENE: Biološki elementi kakvoće, Fitoplankton, Fitobentos, Makrofiti, Makrozoobentos, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortofosfati, Pentabromdifenileter, C10-13 Kloroalkani, Tributilkositrovi spojevi, Trifluralin DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmij i njegovi spojevi, Tetrakloruglijik, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloretan, Diklometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktilfenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3-cd)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretalen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklormetan *prema dostupnim podacima</p>					

**Legenda za Tablicu 4 - Stanje vodnog tijela CSRI0029\_005:**

\* Stanje voda na mjernim postajama sukladno Uredbi 73/13

Stanje- Stanje voda na temelju modela pritisaka i utjecaja

Analiza opterećenja i utjecaja (2021.) - Stanje voda nakon provođenja osnovnih mjera (izgradnja UPOV)

Analiza opterećenja i utjecaja (nakon 2021.) - Stanje voda nakon provođenja svih mjera za plansko razdoblje

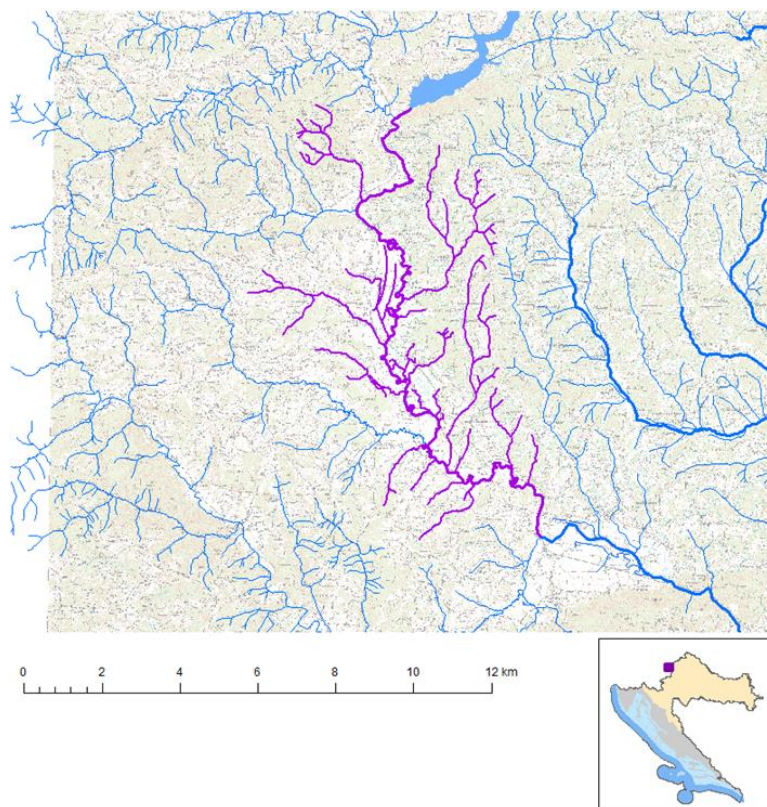


## Vodno tijelo CSRI0029\_004, Sutla

Ocjena stanja, izrađena po Hrvatskim vodama, prikazana je na Tablici 5, Slici 3 i Tablica 6.

Tablica 5: Opći podaci vodnog tijela CSRI0029\_004

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA CSRI0029_004	
Šifra vodnog tijela:	CSRI0029_004
Naziv vodnog tijela	Sutla
Kategorija vodnog tijela	Tekućica / River
Ekotip	Nizinske srednje velike i velike tekućice (4)
Dužina vodnog tijela	23.1 km + 68.1 km
Izmjenjenost	Prirodno (natural)
Vodno područje:	rijeke Dunav
Podsliv:	rijeke Save
Ekoregija:	Panonska
Države	Međunarodno (HR, SL)
Obaveza izvješćivanja	EU, Savska komisija
Tijela podzemne vode	CSGI-24
Zaštićena područja	HR53010021*, HR2001070*, HR2001348*, HRCM_41033000* (* - dio vodnog tijela)
Mjerne postaje kakvoće	



Slika 3: Vodno tijelo CSRI0029\_004

Tablica 6: Stanje voda vodnog tijela CSRI0029\_004

STANJE VODNOG TIJELA CSRI0029_004					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno Ekolosko stanje Kemijsko stanje	dobro dobro dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiče ciljeve
Ekolosko stanje Fizikalno kemijski pokazatelji Specifične onečišćujuće tvari Hidromorfološki elementi	dobro dobro vrlo dobro dobro	dobro dobro vrlo dobro dobro	dobro dobro vrlo dobro dobro	dobro dobro vrlo dobro dobro	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiče ciljeve postiče ciljeve
Biološki elementi kakvoće	nema ocjene	nema ocjene	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji BPK5 Ukupni dušik Ukupni fosfor	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	procjena nije pouzdana postiče ciljeve postiče ciljeve procjena nije pouzdana
Specifične onečišćujuće tvari arsen bakar cink krom fluoridi adsorbilni organski halogeni (AOX) poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve
Hidromorfološki elementi Hidrološki režim Kontinuitet toka Morfološki uvjeti Indeks korištenja (ikv)	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro	postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve postiče ciljeve
Kemijsko stanje Klorfenvinfos Klorpirifos (klorpirifos-etil) Diuron Izoproturon	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	postiče ciljeve nema procjene nema procjene nema procjene nema procjene
NAPOMENA: NEMA OCJENE: Biološki elementi kakvoće, Fitoplankton, Fitobentos, Makrofiti, Makrozoobentos, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortofosfati, Pentabromdifenileter, C10-13 Kloroalkani, Tributikositrovi spojevi, Trifluralin DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmijski spojevi, Tetrakloruglijik, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloretan, Diklometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktilfenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3-cd)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretalen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklormetan *prema dostupnim podacima					

**Legenda za Tablicu 6 - Stanje vodnog tijela CSRI0029\_004:**

\* Stanje voda na mjernim postajama sukladno Uredbi 73/13

Stanje- Stanje voda na temelju modela pritisaka i utjecaja

Analiza opterećenja i utjecaja (2021.) - Stanje voda nakon provođenja osnovnih mjera (izgradnja UPOV)

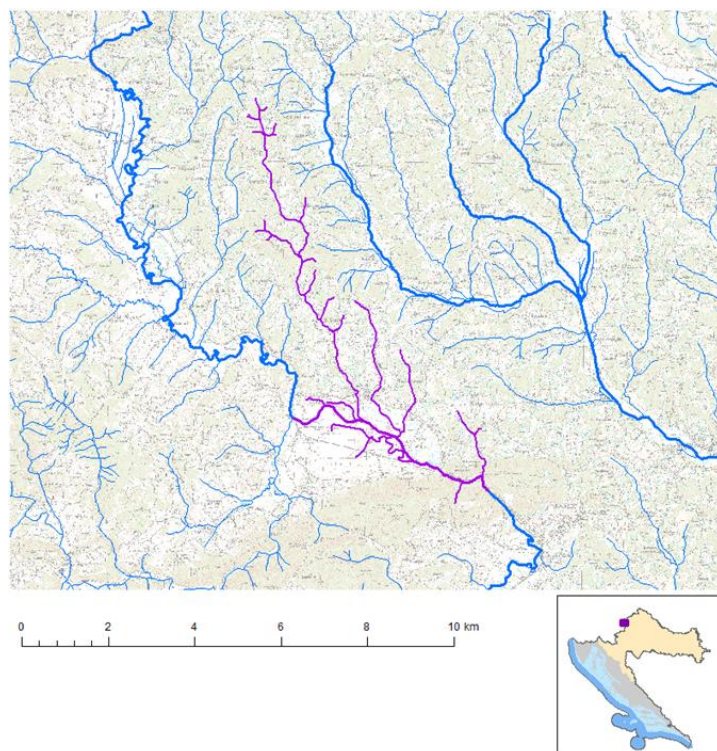
Analiza opterećenja i utjecaja (nakon 2021.) - Stanje voda nakon provođenja svih mjera za plansko razdoblje

## Vodno tijelo CSRI0029\_003, Sutla

Ocjena stanja, izrađena po Hrvatskim vodama, prikazana je na Tablici 7, Slici 4 i Tablici 8.

Tablica 7: Opći podaci vodnog tijela CSRI0029\_003

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA CSRI0029_003	
Šifra vodnog tijela:	CSRI0029_003
Naziv vodnog tijela	Sutla
Kategorija vodnog tijela	Tekućica / River
Ekotip	Nizinske srednje velike i velike tekućice (4)
Dužina vodnog tijela	5.68 km + 28.9 km
Izmjenjenost	Prirodno (natural)
Vodno područje:	rijeke Dunav
Podsliv:	rijeke Save
Ekoregija:	Panonska
Države	Međunarodno (HR, SL)
Obaveza izvješćivanja	EU, Savska komisija
Tijela podzemne vode	CSGI-24
Zaštićena područja	HR53010021*, HR2001070*, HR555515241*, HRCM_41033000* (* - dio vodnog tijela)
Mjerne postaje kakvoće	18002 (Zelenjak, Sutla)



Slika 4: Vodno tijelo CSRI0029\_003

Tablica 8: Stanje voda vodnog tijela CSRI0029\_003

STANJE VODNOG TIJELA CSRI0029_003					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno	dobro	dobro	dobro	dobro	procjena nije pouzdana
Ekolosko stanje	dobro	dobro	dobro	dobro	procjena nije pouzdana
Kemijsko stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	postiže ciljeve
Ekolosko stanje	dobro	dobro	dobro	dobro	procjena nije pouzdana
Biološki elementi kakvoće	dobro	dobro	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji	dobro	dobro	dobro	dobro	procjena nije pouzdana
Specifične onečišćujuće tvari	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Biološki elementi kakvoće	dobro	dobro	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fitobentos	dobro	dobro	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Makrozoobentos	dobro	dobro	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji	dobro	dobro	dobro	dobro	procjena nije pouzdana
BPK5	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Ukupni dušik	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Ukupni fosfor	dobro	dobro	dobro	dobro	procjena nije pouzdana
Specifične onečišćujuće tvari	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
arsen	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
bakar	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
cink	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
krom	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
fluoridi	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
adsorbilni organski halogeni (AOX)	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Hidrološki režim	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kontinuitet toka	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Morfološki uvjeti	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Indeks korištenja (ikv)	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kemijsko stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	postiže ciljeve
Klorfenvinfos	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Klorpirifos (klorpirifos-etil)	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Diuron	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Izoproturon	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
NAPOMENA: NEMA OCJENE: Fitoplankton, Makrofiti, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortosofati, Pentabromdifenileter, C10-13 Kloroalkani, Tributilkositrovi spojevi, Trifluralin DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmijski spojevi, Tetraklorugljik, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloreten, Diklometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktanilfenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3- cd)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretalen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklormetan *prema dostupnim podacima					

**Legenda za Tablicu 8 - Stanje vodnog tijela CSRI0029\_003:**

\* Stanje voda na mjernim postajama sukladno Uredbi 73/13

Stanje- Stanje voda na temelju modela pritisaka i utjecaja

Analiza opterećenja i utjecaja (2021.) - Stanje voda nakon provođenja osnovnih mjera (izgradnja UPOV)

Analiza opterećenja i utjecaja (nakon 2021.) - Stanje voda nakon provođenja svih mjera za plansko razdoblje

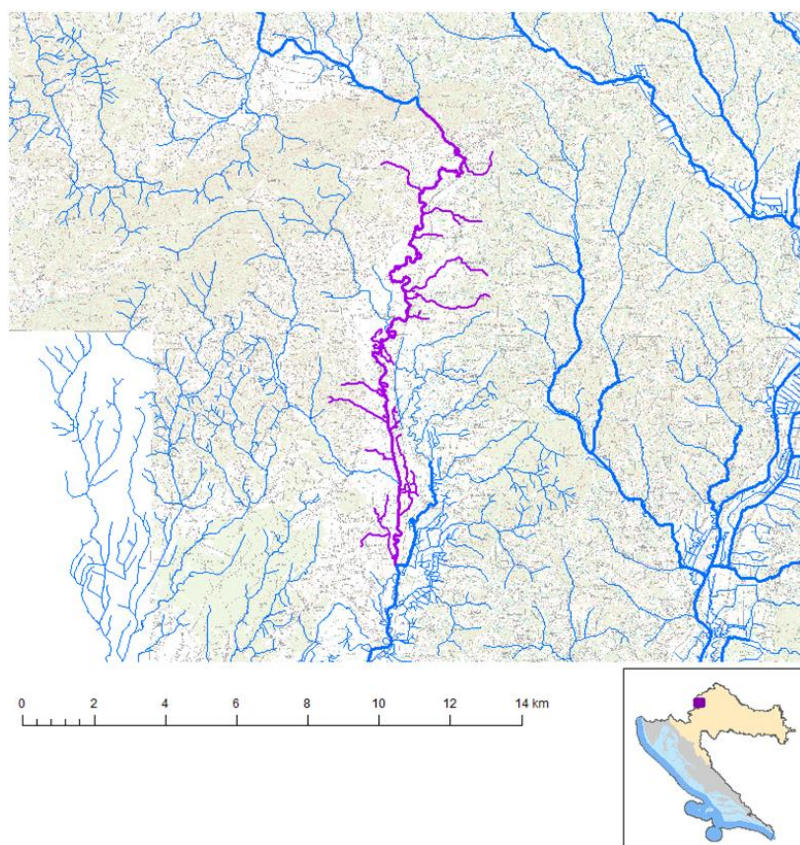


## Vodno tijelo CSRI0029\_002, Sutla

Ocjena stanja, izrađena po Hrvatskim vodama, prikazana je na Tablici 9, Slici 5 i Tablici 10.

Tablica 9: Opći podaci vodnog tijela CSRI0029\_002

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA CSRI0029_002	
Šifra vodnog tijela:	CSRI0029_002
Naziv vodnog tijela	Sutla
Kategorija vodnog tijela	Tekućica / River
Ekotip	Nizinske srednje velike i velike tekućice (4)
Dužina vodnog tijela	19.8 km + 31.3 km
Izmjenjenost	Prirodno (natural)
Vodno područje:	rijeke Dunav
Podsliv:	rijeke Save
Ekoregija:	Panonska
Države	Međunarodno (HR, SL)
Obaveza izvješćivanja	EU, Savska komisija
Tijela podzemne vode	CSGI-24
Zaštićena područja	HR53010021*, HR2001070*, HRCM_41033000* (* - dio vodnog tijela)
Mjerne postaje kakvoće	



Slika 5: Vodno tijelo CSRI0029\_002

Tablica 10: Stanje voda vodnog tijela CSRI0029\_002

STANJE VODNOG TIJELA CSRI0029_002					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Ekolosko stanje	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kemijsko stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	postiže ciljeve
Ekolosko stanje	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Fizikalno kemijski pokazatelji	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Specifične onečišćujuće tvari	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Biološki elementi kakvoće	nema ocjene	nema ocjene	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
BPK5	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Ukupni dušik	dobro	dobro	dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Ukupni fosfor	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Specifične onečišćujuće tvari	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
arsen	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
bakar	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
cink	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
krom	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
fluoridi	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
adsorbilni organski halogeni (AOX)	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Hidrološki režim	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kontinuitet toka	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Morfološki uvjeti	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Indeks korištenja (ikv)	dobro	dobro	dobro	dobro	postiže ciljeve
Kemijsko stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	dobro stanje	postiže ciljeve
Klorfeninfos	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Klorpirifos (klorpirifos-etil)	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Diuron	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
Izoproturon	dobro stanje	dobro stanje	nema ocjene	nema ocjene	nema procjene
NAPOMENA: NEMA OCJENE: Biološki elementi kakvoće, Fitoplankton, Fitobentos, Makrofiti, Makrozoobentos, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortofosfati, Pentabromdifenileteri, C10-13 Kloroalkani, Tributikositrovi spojevi, Trifluralin DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmij i njegovi spojevi, Tetrakloroglijk, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloreten, Diklometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktilfenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3-cd)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretalen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklometan *prema dostupnim podacima					

### Legenda za Tablicu 10 - Stanje vodnog tijela CSRI0029\_002:

\* Stanje voda na mjernim postajama sukladno Uredbi 73/13

Stanje- Stanje voda na temelju modela pritisaka i utjecaja

Analiza opterećenja i utjecaja (2021.) - Stanje voda nakon provođenja osnovnih mjera (izgradnja UPOV)

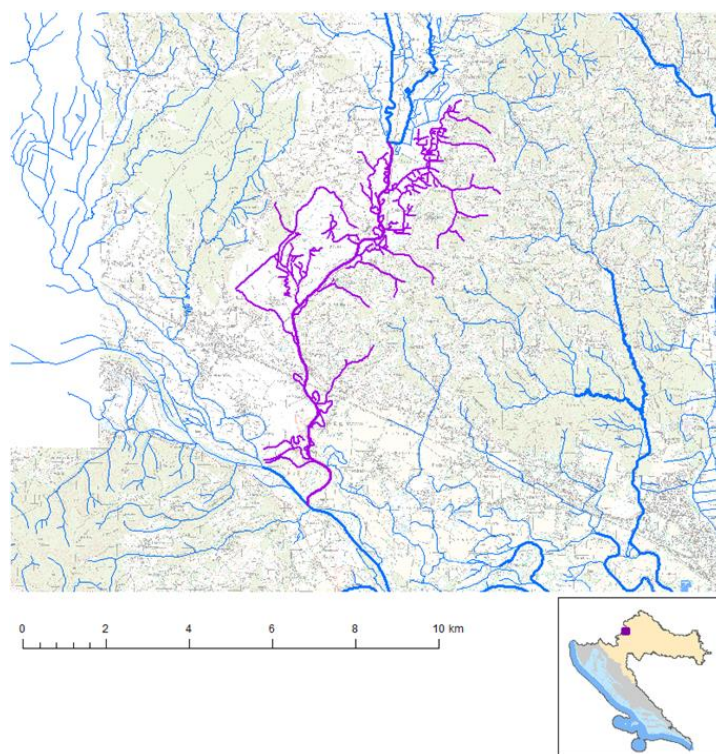
Analiza opterećenja i utjecaja (nakon 2021.) - Stanje voda nakon provođenja svih mjera za plansko razdoblje

## Vodno tijelo CSRI0029\_001, Sutla

Ocjena stanja, izrađena po Hrvatskim vodama, prikazana je na Tablici 11 Slici 6 i Tablica 12

Tablica 11: Opći podaci vodnog tijela CSRI0029\_001

OPĆI PODACI VODNOG TIJELA CSRI0029_001	
Šifra vodnog tijela:	CSRI0029_001
Naziv vodnog tijela	Sutla
Kategorija vodnog tijela	Tekućica / River
Ekotip	Nizinske srednje velike i velike tekućice (4)
Dužina vodnog tijela	10.8 km + 68.8 km
Izmjenjenost	Prirodno (natural)
Vodno područje:	rijeke Dunav
Podsliv:	rijeke Save
Ekoregija:	Panonska
Države	Međunarodno (HR, SL)
Obaveza izvješćivanja	EU, Savska komisija
Tijela podzemne vode	CSGI-24, CSGI-27
Zaštićena područja	HR53010021*, HR2001070*, HRNVZ_42010008*, HRCM_41033000* (* - dio vodnog tijela)
Mjerne postaje kakvoće	18001 (Harmica, Sutla)



Slika 6: Vodno tijelo CSRI0029\_002

Tablica 12: Stanje voda vodnog tijela CSRI0029\_001

STANJE VODNOG TIJELA CSRI0029_001					
PARAMETAR	UREDBA NN 73/2013*	ANALIZA OPTEREĆENJA I UTJECAJA			
		STANJE	2021.	NAKON 2021.	POSTIZANJE CILJEVA OKOLIŠA
Stanje, konačno Ekolosko stanje Kemijsko stanje	loše loše dobro stanje	loše loše dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	dobro dobro dobro stanje	procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana postiže ciljeve
Ekolosko stanje Biološki elementi kakvoće Fizikalno kemijski pokazatelji Specifične onečišćujuće tvari Hidromorfološki elementi	loše loše dobro vrlo dobro dobro	loše loše dobro vrlo dobro dobro	dobro nema ocjene dobro vrlo dobro dobro	dobro nema ocjene dobro vrlo dobro dobro	procjena nije pouzdana nema procjene procjena nije pouzdana postiže ciljeve postiže ciljeve
Biološki elementi kakvoće Fitobentos Makrofiti Makrozoobentos	loše dobro loše umjereno	loše dobro loše umjereno	nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	nema procjene nema procjene nema procjene nema procjene
Fizikalno kemijski pokazatelji BPK5 Ukupni dušik Ukupni fosfor	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	dobro dobro dobro dobro	procjena nije pouzdana postiže ciljeve procjena nije pouzdana procjena nije pouzdana
Specifične onečišćujuće tvari arsen bakar cink krom fluoridi adsorbilni organski halogeni (AOX) poliklorirani bifenili (PCB)	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro vrlo dobro	postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve
Hidromorfološki elementi Hidrološki režim Kontinuitet toka Morfološki uvjeti Indeks korištenja (ikv)	dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro dobro	dobro vrlo dobro vrlo dobro dobro dobro	postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve postiže ciljeve
Kemijsko stanje Klorfenvinfos Klorpirifos (klorpirifos-etil) Diuron Izoproturon	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje dobro stanje	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	dobro stanje nema ocjene nema ocjene nema ocjene nema ocjene	postiže ciljeve nema procjene nema procjene nema procjene nema procjene
NAPOMENA: NEMA OCJENE: Fitoplankton, Ribe, pH, KPK-Mn, Amonij, Nitrati, Ortofosfati, Pentabromdifenileter, C10-13 Kloroalkani, Tributilkositrovi spojevi, Trifluralin DOBRO STANJE: Alaklor, Antracen, Atrazin, Benzen, Kadmij i njegovi spojevi, Tetrakloruglijk, Ciklodienski pesticidi, DDT ukupni, para-para-DDT, 1,2-Dikloreten, Diklorometan, Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP), Endosulfan, Fluoranten, Heksaklorbenzen, Heksaklorbutadien, Heksaklorcikloheksan, Olovo i njegovi spojevi, Živa i njezini spojevi, Naftalen, Nikal i njegovi spojevi, Nonilfenol, Oktilfenol, Pentaklorbenzen, Pentaklorfenol, Benzo(a)piren, Benzo(b)fluoranten; Benzo(k)fluoranten, Benzo(g,h,i)perilen; Ideno(1,2,3-cd)piren, Simazin, Tetrakloretilen, Trikloretilen, Triklorbenzeni (svi izomeri), Triklorometan *prema dostupnim podacima					

**Legenda za Tablicu 12 - Stanje vodnog tijela CSRI0029\_001:**

\* Stanje voda na mjernim postajama sukladno Uredbi 73/13

Stanje- Stanje voda na temelju modela pritisaka i utjecaja

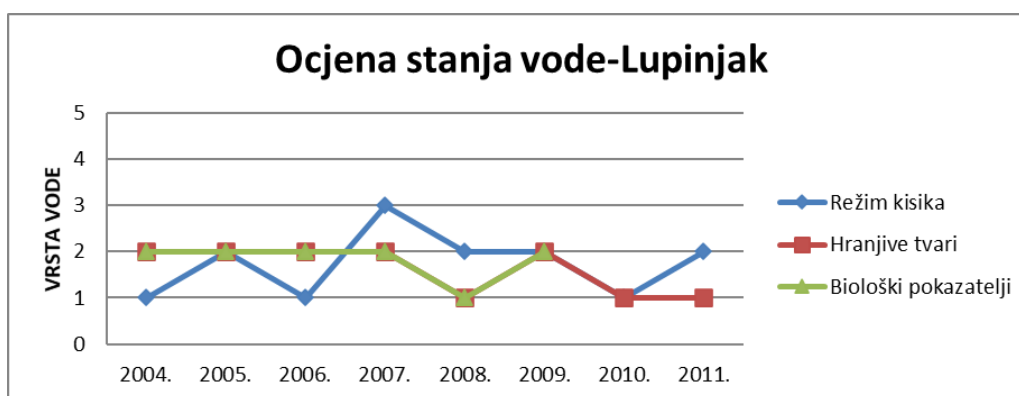
Analiza opterećenja i utjecaja (2021.) - Stanje voda nakon provođenja osnovnih mjera (izgradnja UPOV)

Analiza opterećenja i utjecaja (nakon 2021.) - Stanje voda nakon provođenja svih mjera za plansko razdoblje

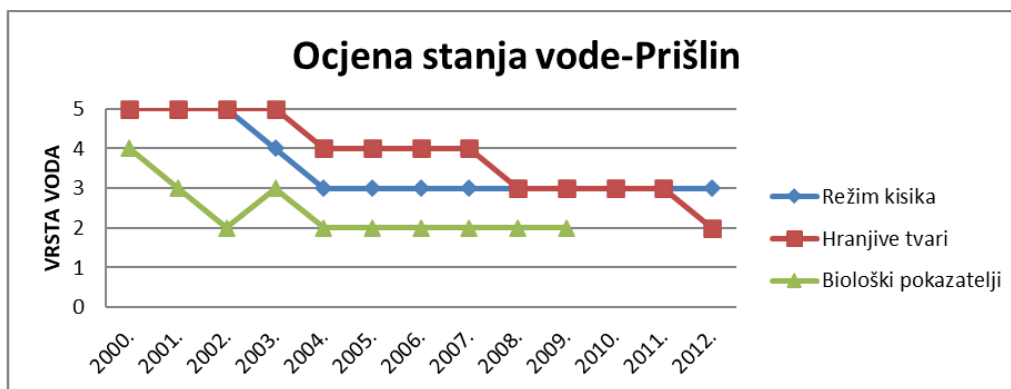


## Ocjena stanja voda prema Uredbi o klasifikaciji voda i Uredbi o kategorizaciji voda za razdoblje 2000. – 2012. godine

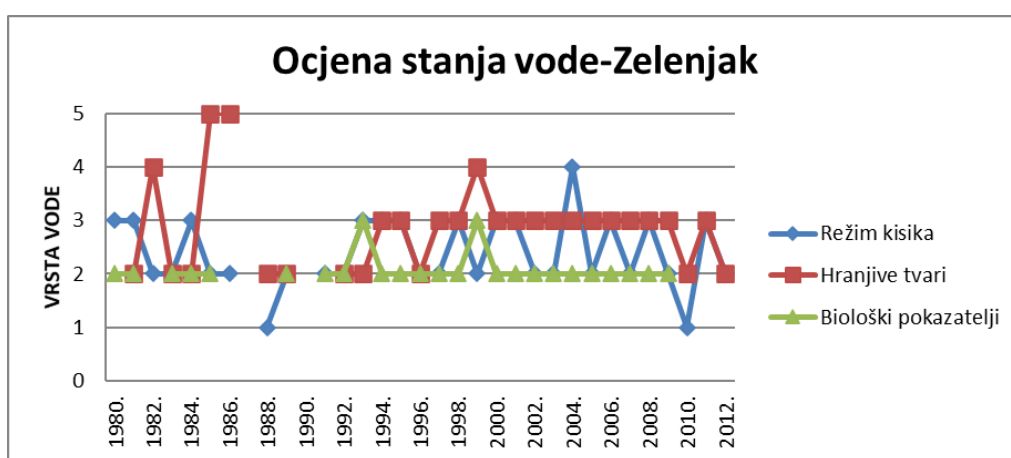
Za razdoblje 2010. – 2013. godine, ocjena stanja voda izrađena je temeljem Uredbe o klasifikaciji voda (NN 77/1998) i Uredbe o kategorizaciji voda (NN 77/1998) određena je kategorija voda (od I. do V.) svih važnijih vodotoka u Hrvatskoj, a prema stvarnom stanju određenom na temelju izmjerenih pokazatelja pridružuje se vrsta vode. Prva (I.) kategorija/vrsta su vode najbolje kakvoće dok je peta (V.) najlošije. Stanje kakvoće voda zadovoljava kada je vrsta vode jednaka ili manja od kategorije. Za ocjenu kakvoće površinskih voda koriste se sljedeće skupine pokazatelja: režim kisika, nutrijenti, mikrobiološki pokazatelji, biološki pokazatelji, također se ispituju i dodatni pokazatelji (metali, organski spojevi i radioaktivnost) prema posebnim programima. Na slikama 7 - 10, prikazan je trend kretanja ocjene stanja vode za pojedine pokazatelje do 2012. godine na hrvatskim mjernim postajama Lupinjak – najuzvodnija mjerna postaja čiji rad je ukinut, Prišlin, Zelenjak i Harmica prema Uredbi o klasifikaciji voda. U nastavku, daje se trend kakvoće vode prema režimu kisika, hranjivima i biološkim indikatorima za mjerne postaje Lupinjak, Prišlin i Harmicu, prema raspoloživim podacima (Slika 7 – Slika 10).



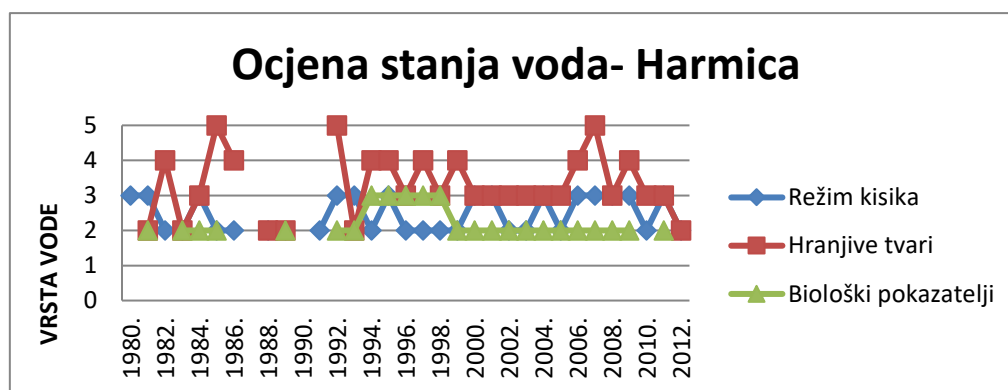
Slika 7: Trend kretanja ocjene stanja vode za pojedine pokazatelje – Lupinjak



Slika 8: Trend kretanja ocjene stanja vode za pojedine pokazatelje - Prišlin



Slika 9: Trend kretanja ocjene stanja vode za pojedine pokazatelje - Zelenjak



Slika 10: Trend kretanja ocjene stanja vode za pojedine pokazatelje - Harmica

Prilikom analize dostupnih podataka ustanovljeno je da podaci ne čine homogene nizove jer se kroz godine nisu mjerili isti pokazatelji na svim postajama. Također, nisu sve postaje istovremeno uspostavljene, pa najdulji niz postoji za postaje Harmica i Zelenjak (1980.-2012.), a najkraće za Lupinjak (2004.-2012.). Bojama su označene vrste vode na temelju godišnje ocijene kakvoće za pojedinu mjernu postaju.

Od izvora do grada Klanjca, kakvoća vode rijeke Sutle planirana je I. vrsta, no to nije postignuto. Na **mjernoj postaji Lupinjak** voda je samo povremeno, prema nekim pokazateljima, bila I. vrste, *dok je većinom bila II. vrste*.

Na **mjernoj postaji Prišlin** godinama je bilo najlošije stanje vode rijeke Sutle. To se može pripisati nepročišćenim komunalnim otpadnim vodama u Rogaškoj Slatini i industriji koja se nalazi uzvodno od postaje u Humu na Sutli, a koja do 2004. godine nije odgovarajuće pročišćavala svoje otpadne vode. U zadnjih nekoliko godina promatranog razdoblja, stanje vode ima pozitivan trend, biološki pokazatelji i nutrijenti odgovaraju II. vrsti voda. Ocjena dugoročnog stanja može se najbolje iščitati temeljem bioloških pokazatelja, a stanje voda prema biološkim pokazateljima je na ovoj postaji zadovoljavajuće i svrstava vodu u II. vrstu. Kakvoća voda na mjernoj postaji Prišlin bila je nepovoljna u odnosu na nutrijenti i režim kisika za razdoblje od 2000. – 2003. godine, dok se kasnijim razdobljima javlja poboljšano stanje voda.

Na **mjernoj postaji Zelenjak** stanje voda je uglavnom II. i III. vrste s iznimkom lošeg stanja, odnosno V. vrste voda prema hranjivim tvarima 1985. i 1986. godine. Mjerenja su izvršena neposredno prije ispuštanja Sutlanskog jezera, a pretpostavlja se da je onečišćenje, povezano s malim protocima, utjecalo na ovu mjernu postaju.

Nizvodno od grada Klanjca Sutla bi trebala biti II. vrste, a na tom dijelu se nalazi jedino **mjerna postaja Harmica**. *Voda je na toj postaji bila uglavnom II. i III. vrste*.

Visoke temperature i manjak kisika uzrokuju loše stanje voda prema režimu kisika, za postaju Prišlin (2000.-2003.), te Zelenjak 2004. godine, kada su izmjerene temperature vode bile visoke. Ispuštanjem većih količina otpadne tvari tijekom dužeg vremena, dolazi do promjena i poremećaja biološke ravnoteže. Odstupanja bioloških pokazatelja vidljiva su na mjernoj postaji kakvoće voda Prišlin 2000. godine, kada je evidentirana IV. vrsta vode za navedeni pokazatelj, dok su ostala razdoblja za sve postaje označena prosječno II. vrstom vode, što je prihvatljivo. Analizom grafičkih prikaza vidi se i odstupanje kod skupine pokazatelja režima kisika za mjerne postaje Zelenjak 2005. godine, te Prišlin 2007. godine., koje se u daljnjoj analizi povezuju sa temperaturom, vode radi velikog utjecaja na otopljenost kisika, te zasićenost kisikom. Primjerice, ljeti kada su zabilježene visoke temperature vode preko 25 °C, količine otopljenog kisika su minimalne, dok zimi kad je voda značajno hladnija i temperature su u prosjeku oko 5°C, koncentracije otopljenog kisika su velike. Međuovisnost otopljenog kisika i temperature vode, te njihovo obrnuto proporcionalno kretanje veličina, koje itekako je važno za održavanje kvalitete vode, kao i međuovisnost BPK<sub>5</sub> i KPK s minimalnim mjesečnim protocima, formiraju ocjenu stanja voda po skupini

pokazatelja režim kisika. Prema mjerenjima, zabilježene visoke koncentracije KPK (u tim godinama), iznosile su više od 25 mg O<sub>2</sub>/l, dok su minimalni mjesečni protoci bili manji od 1 m<sup>3</sup>/s. Također, velike koncentracije BPK<sub>5</sub>, izmjerene su 2001. godine u Harmici (24 mg O<sub>2</sub>/l) dok je protok bio 1,15 m<sup>3</sup>/s.

Na mjernim postajama Zelenjak i Harmica ocjenjena je V. vrsta voda prema organskom opterećenju i nutrijentima, neposredno prije pojave eutrofikacije Sutlanskog jezera i njegova ispuštanja 1986. godine. Protoci tih godina bili su manji od uobičajenih, u prosjeku su iznosili oko 2 m<sup>3</sup>/s. Nepovoljne hidrološke prilike i unos organskog onečišćenja i hranjiva putem kanalizacijskog sustava Rogaške Slatine u Sutlansko jezero, kao i nedostatak upravljanja Sutlanskim jezerom, pretpostavlja se da je uzrokovalo pojavu eutrofikacije. Prema podacima Hrvatskih voda odstupanja u kakvoći voda odnosila su se uglavnom na povišene koncentracije nutrijenata i pokazatelja režima kisika, pod utjecajem značajnijim antropogenih utjecaja iz točkastih (industrija, komunalne otpadne vode) i raspršenih (poljoprivreda) izvora onečišćenja. Koncentracije opasnih tvari na većini postaja i u većini uzoraka nisu prelazile propisane standarde. U nepovoljnim hidrološkim razdobljima malih voda zabilježene su i veće koncentracije BPK<sub>5</sub> i KPK u rijeci Sutli.

### **Ocjena stanja voda prema Uredbi o klasifikaciji voda i Uredbi o kategorizaciji voda za razdoblje 2011. – 2013. godine**

Za najuzvodniju **mjernu postaju Lupinjak**, podaci postoje samo za 2011. i za tu godinu podaci postoje samo za osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje koji prate biološke elemente kakvoće voda i prema navedenim pokazateljima Sutla je na tom dijelu u *dobrom stanju*. Za **mjernu postaju Prišlin**, tijekom trogodišnjeg razdoblja od 2011. do 2013. vrijednosti osnovnih fizikalno kemijskih pokazatelja (uključuju vrijednosti električne vodljivosti, pH vrijednosti, alkalitet, režim kisika, amonij, nitrate ukupni dušik i ukupni fosfor) koji prate biološke elemente kakvoće voda su bile unutar granica za *loše stanje voda*. Tijekom cijelog razdoblja bile su poviše vrijednosti električne vodljivosti (što ukazuje na povećanje ukupnih otopljenih tvari i onečišćenje), KPK, BPK<sub>5</sub>, hranjivih soli i prema navedenim pokazateljima rijeka Sutla je u bila u granicama *lošeg stanja voda*. Vrijednosti prioriternih tvari (kompleksni organski spojevi) i drugih onečišćujućih tvari (arsen, bakar, cink i krom) tijekom trogodišnjeg razdoblja pokazuju *dobro kemijsko stanje voda*. Analize bioloških elementa kakvoće voda koje su obavljene u 2012. godini na mjernoj postaji Prišlin ukazuju na *umjereno dobro stanje* voda s obzirom na biološke elemente kakvoće voda. Biološki elementi

kakvoće voda koji su mjereni su perifiton, makrofitska vegetacija i bentički makro beskralješnjaci, i prema mjerenim biološkim elementima kakvoće voda na ovoj mjernoj postaji je voda u *umjereno dobrom stanju*. Rezultati analiza bentičkih makrobekralješnjaka (makrozoobentos) ukazuju na organsko onečišćenje, a vjerojatan uzrok tome su veća naselja (Hum na Sutli s hrvatske strane i Rogaška Slatina sa slovenske strane) s pripadajućom industrijom uzvodno od mjerene postaje.

Za mjernu postaju **Zelenjak** tijekom trogodišnjeg razdoblja od 2011. do 2013., vrijednosti osnovnih fizikalno kemijskih pokazatelja (uključuju vrijednosti električne vodljivosti, pH vrijednosti, alkalitet, režim kisika (otopljeni kisik, KPK i BPK<sub>5</sub>), amonij, nitrate ukupni dušik i ukupni fosfor) koji prate biološke elemente kakvoće voda su bile unutar granica za *dobro stanje voda*. Vrijednosti prioritetnih tvari za mjernu postaju Zelenjak (kompleksni organski spojevi) i drugih onečišćujućih tvari (arsen, bakar, cink i krom) tijekom trogodišnjeg razdoblja pokazuju *dobro kemijsko stanje voda*. Analize bioloških elementa kakvoće voda koje su obavljene u 2012. godini ukazuju na *dobro stanje voda* s obzirom na biološke elemente kakvoće voda.

Za mjernu postaju **Sutla-Harmica** tijekom trogodišnjeg razdoblja od 2011. do 2013. Vrijednosti osnovnih fizikalno kemijskih pokazatelja (uključuju vrijednosti električne vodljivosti, pH vrijednosti, alkalitet, režim kisika (otopljeni kisik, KPK i BPK<sub>5</sub>), amonij, nitrate ukupni dušik i ukupni fosfor) koji prate biološke elemente kakvoće voda su bile unutar granica za *dobro stanje voda*. Vrijednosti prioritetnih tvari za mjernu postaju Sutla-Harmica (kompleksni organski spojevi) i drugih onečišćujućih tvari (arsen, bakar, cink i krom) tijekom trogodišnjeg razdoblja pokazuju *dobro kemijsko stanje voda*. Analize bioloških elementa kakvoće voda koje su obavljene u 2012. godini na mjernoj postaji Harmica ukazuju na *dobro stanje voda* s obzirom na biološke elemente kakvoće voda.

Biološki elemente kakvoće voda koji su mjereni su perifiton, makrofitska vegetacija i bentički makro beskralješnjaci.

U Sloveniji, prema izvješću ARSO-a za 2012. i 2013., temeljem provedenih mjerenja na mjernim postajama Trlično, Rogaška Slatina i Rigonce 2012. i 2013. godine rijeka Sutla je ocijenjena kao dobro kemijsko stanje. Podaci o općim fizikalno-kemijskim elementima su ocijenjeni kao vrlo dobro stanje voda, dok rezultati mjerenja specifičnih onečišćujućih tvari pokazuju dobro stanje voda. Zbog toga, ukupno ekološko stanje Sutle ocjenjuje se kao dobro stanje voda.

## **Ocjena stanja voda prema Uredbi o standardu kakvoće voda od 2013. godine do danas**

Direktiva o standardima kakvoće okoliša 2008/105/EZ, zajedno s ODV-om, definira dobro kemijsko stanje vodnih tijela i obvezu njegovog postizanja, te daje pravnu osnovu za nadzor prioriternih tvari u sedimentu i bioti. Za većinu tvari s popisa prioriternih tvari (45) i 7 specifičnih onečišćujućih tvari uključenih u Direktivu, uspostava standarda kvalitete okoliša ograničena je na koncentracije u vodenom stupcu, a trebala bi biti i za nanos i biotu. Temeljem navedenog europskog zakonodavstva, koje je implementirano u nacionalna, slovenska i hrvatska zakonodavstva, napravljene su ocjene stanja voda.

Na temelju Plana upravljanja vodama za razdoblje 2013.-2015. godine, rijeka Sutla je podijeljena na šest vodnih tijela na promatranom području (Poglavlje 3, Slika 3-26 i Tablica 3-13). Kemijsko stanje rijeke Sutle u svim ovim vodnim tijelima je DOBRO stanje voda, dok se ekološko stanje vodnih tijela CSRI0029\_001 Sutla i CSRI0029\_006 Sutla ocjenjuje kao LOŠE stanje voda. Za preostala vodna tijela ekološko stanje je ocijenjeno DOBRO, osim za CSRI0029\_005 Sutla, koje je ocijenjeno kao UMJERENO stanje voda (Projekt FRISCO, 2014.-2020.). U 2015. godini kemijsko stanje podzemnih voda u vodnom tijelu koje se proteže od Posavskog gorja do središnje Sutle općenito je ocijenjeno DOBRO (Projekt FRISCO, 2014.-2020.).

Stanje voda prema sveukupnim podacima nadzornog monitoringa Hrvatskih voda (fizikalno-kemijski elementi, biološki elementi (fitobentos, makrofiti, makrozoobentos, ribe), hidromorfološki elementi (hidrološki režim, kontinuitet rijeke, morfološki uvjeti), te kemijsko stanje (specifične onečišćujuće tvari, prioriternne tvari i druge onečišćujuće tvari) iz 2016. godine, ocijenjeno je prema Uredbi o standardu kakvoće voda, te prikazano Tablicom 13.

Tablica 13: Stanje voda prema sveukupnim podacima nadzornog monitoringa Hrvatskih voda iz 2016. godine

Mjerna postaja	Ekološko stanje								Kemijsko stanje	Stanje voda	
	fizikalno-kemijski elementi	biološki elementi				hidromorfološki elementi					
		fitobentos	makrofiti	makrozoobentos	ribe	hidrološki režim	kontinuitet rijeke	morfološki uvjeti			specif. onečiš. tvari
<b>Prišlin</b>	dobro	umjereno	vrlo loše	umjereno	nema	nema	nema	nema	dobro	dobro	<b>vrlo loše</b>
<b>Luke Poljanske</b>	umjereno	umjereno	vrlo loše	umjereno	dobro	neznatno promijenj.	neprekinut	neznatno promijenj.	dobro	dobro	<b>vrlo loše</b>
<b>Zelenjak</b>	dobro	nema	nema	nema	nema	gotovo prirodno	neprekinut	neznatno promijenj.	dobro	dobro	<b>dobro</b>
<b>Harnica</b>	dobro	nema	nema	nema	nema	gotovo prirodno	gotovo prirodno	u velikoj mjeri promijenjen	dobro	dobro	<b>dobro</b>

Izvor: službeni podaci i informacije Hrvatskih voda

Osnovni fizikalno kemijski pokazatelji, s hidromorfološkim pokazateljima, podržavajući su pokazatelji u ocjeni ekološkog stanja voda, dok su biološki elementi kakvoće voda glavni elementi u ocjeni ekološkog stanja. Biološki elemente kakvoće voda koji su mjereni su perifiton, makrofitska vegetacija i bentički makrobeskralješnjaci (makrozoobentos). Na mjernoj postaji Prišlin može se vidjeti izrazito loše stanje voda. Navedena godina je izdvojena jer su po planu monitoring programa u toj godini obavljena praćenja po svim pokazateljima. Prema Izvješću o stanju površinskih voda u 2019. godini Hrvatskih voda u Tablici 14 prikazana je ocjena ekološkog stanja na mjernim postajama.

Tablica 14: Ocjena stanja na hrvatskim mjernim postajama nadzornog i operativnog monitoringa na rijeci Sutli u 2019. godini

Red. broj	Mjerna postaja		Vodno tijelo	Ekološko stanje	Fiz.-kem. elementi	Spec. oneč. tvari	Hidro morf. elem.	Stanje voda
	Šifra	Naziv						
1	18003	Prišlin	CSRI0029_006	UMJERENO	DOBRO	V.DOBRO		UMJERENO
2	18005	Luke Poljanske	CSRI0029_004	LOŠE	DOBRO	V.DOBRO		LOŠE
3	18002	Zelenjak	CSRI0029_003	UMJERENO	DOBRO	V.DOBRO		UMJERENO
4	18001	Harmica	CSRI0029_001	UMJERENO	UMJERENO	V.DOBRO		UMJERENO

Izvor: službeni podaci i informacije Hrvatskih voda

Prema izvješću ARSO-a za razdoblje 2016. – 2019. godine, na mjernoj postaji Rogaška Slatina na rijeci Sutli ocijenjeno je *umjereno stanje voda*, a za mjernu postaju Rigonce na rijeci Sutli ocijenjeno je *dobro stanje voda*. Na mjernoj postaji Bistrica Lesično Polje i mjernoj postaji Bistrica povirje – Lesično na rijeci Bistrica ocijenjeno je *dobro stanje voda*.

Na mjernoj postaji Mestinjščica na rijeci Mestinjščici ocijenjeno je *umjereno stanje voda*. Umjereno stanje voda je rezultat umjerenog stanja: fitobentos i makrofiti, trofičnost; bentoski beskralježnjaci – saprobnost; te opća degradacija riba. U Tablici 15 prikazana je ocjena ekološkog stanja slovenskih vodnih tijela Sutle, Mestinjščice i Bistrice za razdoblje 2016.–2019. godine.



Tablica 15: Ocjena ekološkog stanja vodnih tijela Sutle, Mestinjščice i Bistrice Republike Slovenije za razdoblje 2016.–2019. godine

Vodno tijelo	SI192VT5	SI192VT1	SI1924VT2	SI1924VT1	SI1922VT
Vodno tijelo	Rigonce	Rogaška Slatina	Bistrica Lesično Polje	Bistrica povirje – Lesično	Mestinjščica
Vodotok	Sotla	Sotla	Bistrica	Bistrica	Mestinjščica
Fitobentos i makrofiti saprobnost	vrlo dobro	dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	dobro
Fitobentos i makrofiti trofičnost	vrlo dobro	umjereno	dobro	vrlo dobro	umjereno
Bentos. beskralj. - saprobnost	vrlo dobro	umjereno	vrlo dobro	vrlo dobro	dobro
Bentoski beskraljež.	dobro	dobro	dobro	vrlo dobro	dobro
Opća degrad. riba	nema metodologije	umjereno	nema metodologije	nema metodologije	umjereno
BPK <sub>5</sub>	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	vrlo dobro
Stanje hranjiva-nitrati	vrlo dobro	dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	dobro
Stanje hranjiva - ukupni P	vrlo dobro	dobro	vrlo dobro	vrlo dobro	dobro
Posebna onečišćenja	dobro	dobro	dobro	dobro	dobro
Hidromorfol. elementi	ocjena nije potrebna	ocjena nije potrebna	ocjena nije potrebna	ocjena nije potrebna	ocjena nije potrebna
Ekološko stanje	dobro	umjereno	dobro	dobro	umjereno

Usporedbom vrijednosti izmjerenih na mjernim postajama kakvoće voda Rogaska Slatina (slovenska) i Prišlin (hrvatska) koje su vrlo blizu, ocijenjeno je *umjereno stanje voda*. Mjerna postaja kakvoće voda Rigonce (slovenska) i Harmica (hrvatska), također se

nalaze u neposrednoj blizini, no ocjena stanja voda za Rigonce je *dobro stanje voda*, a za Harmicu *umjereno dobro stanje voda*.

## 10.3. PRIVITAK 3

### Brana Vonarje

Brana Vonarje, nalazi u uskom dijelu doline ispod sela Vonarje, uzvodno od ušća rijeke Mestinjščice u rijeku Sutlu. Postoje dvije barijere, tj. gornja se nalazi na pregradi Prišlin, a donja na brani Vonarje, obje barijere trenutno su u funkciji suhe retencije. Gornja betonska pregrada na Prišlinu omogućava formiranje kontinuiranog jezera tijekom rada sustava i sprječava razvoj močvara u gornjem dijelu doline. Donja brana Vonarje je zapravo zemljani nasip visine 12 m. Informativne ploče s osnovnim informacijama o pregradi Prišlin i brani Vonarje nalaze se na Slici 1 i Slici 2.



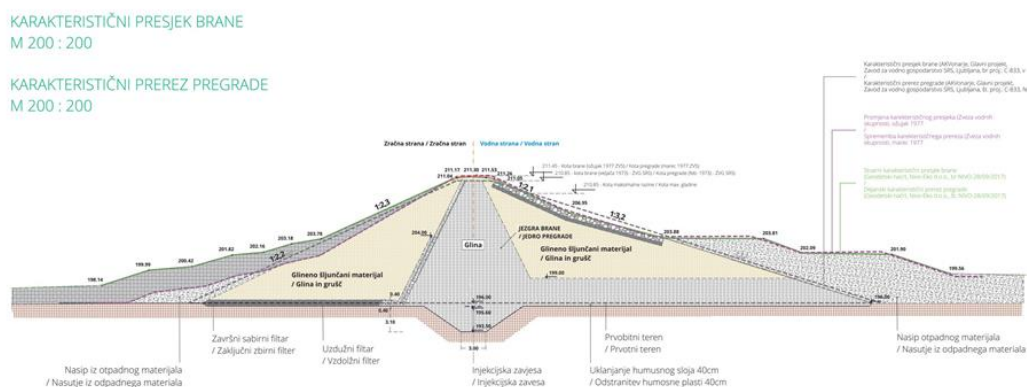
Slika 1: Pregrada Prišlin (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)



Slika 2: Brana/pregrada Vonarje (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

U skladu s ugovorom sklopljenim s Hrvatskom, Slovenija upravlja objektima i izvodi radove redovnog održavanja. Posljednjih desetak godina, prije pokretanja Projekta FRISCO, došlo je do značajnih oštećenja na običnim betonskim i na armiranobetonskim konstrukcijama brane, a dotrajala je i hidromehanička i

elektromehanička oprema, zbog čega je bila potrebna sanacija. U području utjecaja akumulacije, gdje je dolina nenaseljena, zemljište se pretežno sastoji od livada i poljoprivrednih površina. Provedenim analizama u sklopu projekta FRISCO pokazalo se da će Sutla, i uz zadržavanje visokih voda u retenciji Vonarje, još uvijek poplaviti nizvodni dio doline, jer je obogaćena vodom Mestinjščice. Stoga se planirana izgradnja retencija na pritokama Sutle. Nizvodno od ušća Sutle u Mestinjščicu, na desnoj obali Sutle u Podčetrtku nalazi se vodeni park Aqualuna, koji je dio lječilišta Termi Olimia. Otjecanje vode iz poplavnog područja iznad vodenog parka usmjerava se natrag u kanal poprečnim nasipom koji se nalazi sjeverno od parka. Nizvodno od vodenog parka, poplavno područje se širi da bi se opet sužavalo kod Harine Žlake. Korištenjem rezultata provedenih kroz projekt FRISCO 1 (npr. unaprijeđeni prognostički model, unaprijeđeni hidraulički model i sl.) omogućeno je optimalno upravljanje branom Vonarje. U sklopu projekta FRISCO 2.1: Prekogranično usklađeno smanjenje rizika od poplava 2.1 - građevinska mjera brana Vonarje, provedena je građevinska mjera rekonstrukcije/obnove brane Vonarje. okviru kojeg je provedena strukturna (građevinska) mjera za smanjenje rizika od poplava na području rijeke Sutle s obje strane granice, kroz modernizaciju i nadgradnju brane Vonarje koja se koristi za zadržavanje velikovodnog vala sliva Sutle tijekom obilnih kiša. Projektom modernizacije i nadgradnje pregrade Vonarje, povećanje visine krune pregrade, provedena je obnova konstruktivnih elemenata pregrade (betonske i metalne konstrukcije), zamjena dotrajale hidromehaničke opreme i opreme za manipulaciju zapornicama, zamjena i dogradnja električnih instalacija i elektroopreme, ugradnja opreme za automatizaciju upravljanja zapornicama i daljinski nadzor upravljanja zapornicama ugradnja opreme za praćenje stanja pregrade (akcelerografa, piezometara, inklinometara) i izvedba novog elektro priključka za pregradu. Na Slici 3 prikazan je karakteristični presjek obnovljene brane i osnovni tehnički podaci o brani Vonarje.



Slika 3: Karakteristični presjek obnovljene brane i osnovni tehnički podaci o brani Vonarje (Projekt FRISCO, 2014.-2020.)

- Kota krune brane 211,45 m n. m.;
- Kota preljevnog objekta 207,50 m n. m.;
- Najviša kota 209,35 m n. m.;
- Sigurnosna strana 1,5 m;
- Visina brane nad terenom 14,85 m;
- Dužina brane 102,2 m;
- Širina krune do 4,0 m;
- Biološki minimum 120 l / s;
- Volumen akumulacije pri 207,50 m n. m.:  $7 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Volumen akumulacije pri 209,35 m n. m.:  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$

S lijeve strane brane vidljiva je građevinska izvedba nizvodne strane brane, dok se s desne strane može vidjeti građevinska izvedba vodne strane. U nastavku su prikazane slike obnovljene vodne strane brane Vonarje Slika 4 do 7.



*Slika 4 do 7: Slike obnovljene vodne strane brane Vonarje (Project FRISCO 2.1., 2014.-2020.)*



## 10.4. PRIVITAK 4

### Postojeće mjere

#### Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Kumrovcu

Uređaj je izgrađen prema projektu 1981. godine a pušten je u rad 1984. godine. Kapacitet uređaja je 3000 ES ali stvarno opterećenje je maksimalno 500 ES zbog malog broja priključenih jer je UPOV predimenzioniran, Slika 1 i Slika 2.



Slika 1: Uređaj u Kumrovcu



Slika 2: Crpka s rešetkom

Uređaj je projektiran i izveden kao mehaničko-biološki i sastoji se od sljedećih dijelova: crpna stanica, primarni taložnik, prokapnik, sekundarni taložnik, crpna stanica za recirkulaciju viška mulja i zgrada za osoblje, Slika 3 i Slika 4. Na uređaju nije predviđeno zbrinjavanje mulja, pa je mulj potrebno odvoziti na drugi UPOV radi njegove obrade.



Slika 3: Primarni taložniki i bioeracijski bazen



Slika 4: Sekundarni taložnik

## Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Humu na Sutli

UPOV je trećeg stupnja pročišćavanja SBR tehnologije Na njega je još potrebno priključiti 9 poslovnih i 47 stambenih objekata. Sastoji se od fekalne stanice iz koje se otpadna voda crpi crpkom preko mjerača protoka u kompaktnu predtretmamsku stanicu, Slika 5.



*Slika 5: Ulazna crpna stanica*

Unutar predtretmamske stanice se nalaze pjeskolov, mastolov i fina rešetka te mehaničko miješalo koje kontinuiranim miješanjem stabilizira tok otpadne vode, Slika 6.



*Slika 6: Pjeskolov i mastolov*

Otpadna voda se nakon predtretmamske stanice crpi u bioaeracijski bazen SBR tehnologije, gdje se aerira putem puhala, Slika 7.



*Slika 7: Bioaeracijski bazeni*

Na ulaznoj postaji postoji gruba rešetka, a otpad koji se zadrži na njoj se mehanički transportira u spremnik otpada. Izdvojene masti i ulja iz predtretmanske stanice se sakupljaju u posebnu posudu, a izdvojeni pijesak i otpad s fine rešetke se sakupljaju u tipski kontejner za otpad. Mulj iz bioreaktora se transportira u spremnik viška mulja gdje se provodi proces ugušćivanja, voda se vraća na početak procesa pročišćavanja, a ugušćeni mulj dolazi do spiralne preše gdje se odvajaju kruti i tekući dio mulja.

### **Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Rogaškoj Slatini**

UPOV u Rogaškoj Slatini je projektiran na 9000 ES, a izveden je kao drugi stupanj pročišćavanja SBR tehnologije. Tijekom 2021. godine započelo je proširenje za 3500 ES (na 12.500 ES) i dogradnja trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda. Crpilište vodu digne na nivo uređaja, gdje fine rešetke odstranjuju plutajuće čestice. Čestice padaju na pokretnu traku koja ih vodi u kontejner. Nakon toga voda otječe kroz pjeskolov i mastolov gdje se uklone iz nje pijesak i čestice masti. Mehanički pročišćene vode se preliju u bazen te iz bazena u biološke reaktore Slika 8 i Slika 9 i Slika 10. U reaktorima se odvija proces pročišćavanja otpadnih voda aktivnim muljem, višak mulja odlazi u lagune gdje se stabilizira. Pročišćena voda odlazi u prijemnik-rijeku Sutlu.





*Slika 8: Crpna stanica s rešetkama*



*Slika 9: Pjeskolov i mastolov*



*Slika 10: Bioaeracijski bazen*

## 11. ŽIVOTOPIS

Gorana Ćosić - Flajsig, rođena je 23. ožujka 1961. godine u Beogradu, a od 1962. godine živi u Zagrebu u kom je završila osnovnu školu i Matematičko informatički obrazovni centar (MIOC) u Zagrebu, 1979. godine. Tijekom studija bila je demonstrator kolegija Hidraulika. Diplomirala je 1985. godine na Fakultetu građevinskih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, te magistrirala 2007. godine s temom: „Indikatori optimalnog monitoringa kakvoće voda“ pod mentorstvom dr.sc. Davora Malusa, izv. prof. na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Poslijediplomski sveučilišni (doktorski) studij Građevinarstvo na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci upisala je 2013. godine, a 2019. godine obranila temu doktorske disertacije. Sudjelovala je u radu tri znanstvena projekta, te u radu niza stručnih i znanstvenih skupova, konferencija i kongresa. Objavila je niz stručnih i znanstvenih radova i ima MB znanstvenika: 295035 (<https://www.bib.irb.hr/pregled/profil/23598>). Sudjelovala u radu Organizacijskog odbora i Znanstvenog odbora 6. i 7. Hrvatske konferencije o vodama, i recenzirala niz znanstvenih i stručnih radova za konferenciju, kao i u radu Organizacijskog odbora 3., 4. i 5. hrvatske konferencije o vodama. Također, kao studentica doktorskog studija i nastavnica TVZ-a sudjelovala je u ERASMUS i CEPUS mobilnostima.

Završetkom studija 1985. godine, zapošljava se u tvrtki Hrvatske vode, kao referent, samostalni referent, glavni inženjer i koordinator poslova do rujna 2006. godine. Od 1999. godine radi u Zavodu za vodnogospodarstvo Hrvatskih voda na poslovima glavnog inženjera i koordinatora poslova na dokumentima strateškog planiranja upravljanja vodama. Radila je kao koordinator izrade Vodnogospodarske osnove Hrvatske za područje zaštite voda i vodnih ekosustava, te Strategije upravljanja vodama, kao i svih strateških dokumenata RH zastupajući sektor voda. Bila je predstavnik Republike Hrvatske u radu: Međunarodne komisije za zaštitu rijeke Dunav (ICPDR) u EMIS ekspertnoj grupi, Međuministarske komisije za SAP BIO i SAP BIO (Barcelonska konvencija) i 12. sastanka Komisije o održivom razvitku UN-a. Bila je Član predpristupnog povjerenstva za pristup EU-u Vlade RH za područje Voda - Okoliš, 2005-2007. godine, sudjelovala u cijelom nizu povjerenstava i aktivnosti vezanih uz predpristupne procese, te završila cijeli niz treninga, radionica i edukacija u inozemstvu vezanih uz vodnu politiku i upravljanje vodama u EU. Radila je kao nacionalni konzultant za vode u devet projekata vezanih uz unaprjeđenje upravljanja vodama sukladno europskoj vodnoj politici.

Od 2006. godine zaposlena je na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, Graditeljski odjel, kao viši predavač. Nositelj je i sunositelj sljedećih kolegija:

- Zaštita okoliša, Zaštita voda, Korištenje voda, Vodogradnje, Opskrba vodom i odvodnja II (stručni studij);
- Upravljanje okolišem, Pročišćavanje otpadnih voda, Vodni sustavi (specijalistički studij),

u okviru kojih je bila mentor preko sto i deset diplomskih ili završnih radova. U nekoliko mandata obnašala je dužnost predstojnice Zavoda za hidrotehniku i zaštitu okoliša, kasnije predstojnice Katedre za hidrotehniku i zaštitu okoliša, dok navedene pozicije nisu ukinute Statutom TVZ-a.

Tijekom dosadašnjeg stručnog, znanstvenog i nastavnog rada u najvećoj mjeri bavila se sanitarnom ili zdravstvenom hidrotehnikom, zaštitom voda, te integralnim upravljanjem vodama i procjenom utjecaja na vode i okoliš. Sudjelovala u izradi idejnih projekata, procjena utjecaja na okoliš, recenzija projekata i studija izvodljivosti koje su financirane iz europskih fondova, te kao nacionalni konzultant.

Članica je pet strukovnih udruga, te dobitnica priznanja Hrvatskog društva za zaštitu voda za izniman doprinos u radu udruge, 2008. godine. Također, članica je Tehničkog odbora „Obrada otpadnih voda“ (TO 554) Hrvatskog zavoda za norme.

Govori i piše engleski jezik.

## 12. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Pavlović, Dario; Kovačević, Dejan; Ćosić-Flajsig, Gorana **(2022)**, Bioretencije – građevine zelene infrastrukture, Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Stručno-poslovni skup s međunarodnim sudjelovanjem 9. – 13. 11. 2022., Vodice, Hrvatska
2. Ćosić-Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara; Vučković, Ivan; Glavan, Matjaž **(2022)**, *Significance of Hydromorphological and Sediment Analysis in River Basin Water Quality Management*. // Environmental Sciences Proceedings, 21 (2022), 1; 14, 9 doi:10.3390/environsciproc2022021014 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)
3. Ćosić-Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara; Glavan, Matjaž **(2021)**, *Integrated Water Quality Management Model for the Rural Transboundary River Basin—A Case Study of the Sutla/Sotla River*. // Water, 13 (2021), 18; 2569, 27 doi:10.3390/w13182569 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)
4. Ćosić-Flajsig, Gorana; Vučković, Ivan; Karleuša, Barbara **(2020)**, *An Innovative Holistic Approach to an E-flow Assessment Model*. // Civil Engineering Journal, 6 (2020), 11; 2188-2202 doi:10.28991/cej-2020-03091611 (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)
5. Ćosić-Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara; Vučković, Ivan **(2020)**, *Analiza značaja upravljanja sedimentom na primjeru rijeke Sutle*. // Okrugli stol s međunarodnim sudjelovanjem, Nanos u vodnim sustavima – stanje i trendovi / Oskoruš, Dijana ; Rubinić, Josip (ur.). Varaždin: MIODIO d.o.o. Rijeka, 2020. str. 37-48. (<https://www.bib.irb.hr/1092144>) (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
6. Luketić, Ana; Ćosić-Flajsig, Gorana **(2020)**, *Mobilni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda oružanih snaga Republike Hrvatske*, Časopis za vodnogospodarstvo: Hrvatska vodoprivreda 2020. (<https://www.bib.irb.hr/1127445>) (popularni rad).
7. Ćosić - Flajsig, Gorana; Glavan, Matjaž; Karleuša, Barbara **(2019)**, *Integrated water quality management model for rural cross-border river basin: The Sotla/Sutla river*. // International Soil and Water Assessment Tool Conference - SWAT 2019 Beč, 2019. str. 76-76 (poster, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)
8. Ćosić-Flajsig, Gorana; Vučković, Ivan; Karleuša, Barbara **(2019)**, *Usluge ekosustava u integralnom upravljanju vodama*. // 7. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode, Opatija, 30. svibnja - 1. lipnja 2019. / Biondić, Danko; Holjević, Danko; Vizner, Marija (ur.). Zagreb: Grafički zavod Hrvatske d.o.o., 2019. str. 1177-1186 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
9. Ćosić-Flajsig, Gorana; Kovačević, Dejan; Deak, Doroteja **(2019)**, *Primjena zelene infrastrukture u urbanim područjima na primjeru dijela gradske četvrti Sopot u // 7. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode / Biondić, Danko ; Holjević, Danko ; Vizner, Marija (ur.). Zagreb: Grafički zavod Hrvatske d.o.o., 2019. str. 1187-1196 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)*

10. Ćosić-Flajsig, Gorana; Vučković, Ivan; Karleuša, Barbara; Petričec, Mladen **(2018)**, *Holistički pristup definiranju ekološki prihvatljivog protoka kao mjere ODV-a* // Znanstveno-stručni skup Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda, te smanjenja poplavnih rizika – suvremeni trendovi i pristupi / Rubinić, Josip ; Ivanković, Ivana ; Bušelić, Gordana (ur.). Rijeka: MIODIO d.o.o. Rijeka, 2018. str. 193-196. (<https://www.bib.irb.hr/1005862>) (predavanje, domaća recenzija, prošireni sažetak, znanstveni)
11. Ćosić Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara; Vučković, Ivan; Glavan, Matjaž **(2017)**, *Analysis of the Eutrophication Factors in the Sutla River Basin*. // Acta Hydrologica Slovaca, 18 (2017), 2; 290-300. (<https://www.bib.irb.hr/904621>) (međunarodna recenzija, članak, znanstveni)
12. Ćosić Flajsig, Gorana; Belaj, Miljenko; Karleuša, Barbara **(2017)**, *Upravljanje površinskim vodama primjenom kombiniranog pristupa / Combined approach to surface water management*. // Građevinar : časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera, 8 (2017), 617-631 doi:10.14256/JCE.2063. 2017 (međunarodna recenzija, pregledni rad, znanstveni)
13. Filković, Igor; Ćosić Flajsig, Gorana **(2017)**, *Priprema projekta poboljšanja vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Petrinja*. // Stručno-poslovni skup s međunarodnim sudjelovanjem Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, 4.-8. 10. 2017., Vodice / Mile Beslić, Dario Ban (ur.). Ičići: Revelin d.o.o., 2017. str. 51-63 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
14. Ćosić Flajsig, Gorana; Kovačević, Dejan; Pirović, Ante **(2017)**, *Primjena zelene infrastrukture u odvodnji i pročišćavanju otpadnih voda*. // HGVIK, Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji, Vodice 2017 / Mile Beslić, Dario Ban (ur.). Ičići: Revelin d.o.o., 2017. str. 253-265 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
15. Glavan, Matjaž; Ćosić Flajsig, Gorana **(2017)**, *Modelling diffuse and point source pollution risks in the case of transboundary Sotla river basin*. // International Soil and Water Assessment Tool Conference, SWAT 2017, June 28-30, 2017, Warsaw, Poland, Book of Abstracts Warsaw, Poland, 2017. str. 79-79 (poster, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)
16. Ćosić-Flajsig, Gorana; Vučković, Ivan; Karleuša, Barbara **(2015)**, *Stanje voda rijeke Sutle i mogućnosti restauracije rijeke*. // Zbornik radova 6. hrvatske konferencije o vodama: Hrvatske vode na investicijskom valu / Biondić, Danko ; Holjević, Danko (ur.). Opatija: Hrvatske vode, 2015. str. 297-306. (<https://www.bib.irb.hr/764936>) (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
17. Ćosić-Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara **(2015)**, *Inovativni pristup upravljanja kakvoćom voda ruralnih slivova*. // Zbornik radova 6. hrvatske konferencije o vodama: Hrvatske vode na investicijskom valu / Biondić, Danko ; Holjević, Danko (ur.). Opatija: Hrvatske vode, 2015. str. 259-268. (<https://www.bib.irb.hr/764929>) (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
18. Ćosić-Flajsig, Gorana; Globevnik, Lidija; Karleuša, Barbara **(2014)**, *Water Quality of the River Sutla and Possibility of River Restoration*. // in Proceedings of People, Buildings and Environment 2014 – International Scientific Conference / Korytárová, Jana ; Serrat, Carles ; Hanák, Tomáš ; Grossmann, Jiří (ur.). Kromeriž, Češka Republika: Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 2014. str.

- 531-544 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
19. Ćosić-Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara (2014), *An Approach to Water Quality Management in Rural Areas*. // in Proceedings of People, Buildings and Environment 2014 – International scientific conference E / Korytářová, Jana ; Serrat, Carles ; Hanák, Tomáš ; Grossmann, Jiří (ur.). Kromeriž, Češka Republika: Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 2014. str. 545-557 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
  20. Ćosić-Flajsig, Gorana; Karleuša, Barbara; Kompare, Boris (2013), *Planning Wastewater Collection and Treatment in Agglomerations Below 2.000 PE in Protected Areas*. // Thirteenth International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Proceedings Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2013. str. 269-286. (<https://www.bib.irb.hr/644051>) (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
  21. Jelak, Dalibor; Ćosić-Flajsig, Gorana (2013), *Provedba zaštite voda primjenom kišnih rasterećenja*. // Stručno-poslovni skup s međunarodnim sudjelovanjem Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji / Beslić Mile i Ban Dario (ur.). Rijeka: Revelin d.o.o., 2013. str. 443-453 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  22. Ćosić-Flajsig; Gorana; Drenški, Alenka (2012), *Pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda kod individualnih sustava odvodnje u sklopu aglomeracije veće od 2000 ES*. // Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji / Beslić Mile i Ban Dario (ur.). Rijeka: Revelin d.o.o., 2012. str. 261-271 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  23. Marko Brajković, Gorana Ćosić-Flajsig, Siniša Širac (2011), *Primjena tehnologija trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda u Hrvatskoj*. // 5. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena / Biondić D., Holjević D., Tropan Lj. (ur.). Zagreb: IO d.o.o. Rijeka, 2011. str. 1073-1086 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  24. Ćosić-Flajsig, Gorana (2011), *Hrvatsko zakonodavstvo gospodarenja muljem sa komunalnih uređaja*. // 5. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena / Biondić D., Holjević D., Tropan Lj. (ur.). Zagreb: IO d.o.o. Rijeka, 2011. str. 1117-1129 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  25. Ćosić-Flajsig, Gorana; Runtić, Tomislav Ante (2010), *Sustav javne odvodnje grada Zagreba i zaštita voda*. // Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji / Beslić Mile i Ban Dario (ur.). Rijeka: Revelin d.o.o., 2010. str. 115-127 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  26. Ćosić-Flajsig, Gorana; Jović, Nemanja; Bačun, Albin (2009), *Mogućnosti unaprjeđenja hidrauličkog modela sustava javne vodoopskrbe grada Zagreba*. // Stručno-poslovni skup Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji 2009 / Beslić, Mile ; Ban Dario (ur.). Rijeka: io d.o.o. Rijeka, 2009. str. 317-326 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  27. Ćosić-Flajsig, Gorana; Holjević, Danko, Holjević, Tatjana (2009), *Iskustva navodnjavanja i zaštita okoliša u Hrvatskoj*. // 11 th International Symposium on

- Water Management and Hydraulic Engineering Ohrid, Makedonija, 2009. (poster, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)
28. Petrićec, Mladen; Ćosić-Flajsig, Gorana (2008), *Harmonization of Croatian Regulation of Meteorological and Hydrological Monitoring of Storage Reservoirs with the EU WFD. // On the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management / Mitja Brilly, Mojca Šraj (ur.)*. Ljubljana: Slovenian National Committee for the IHP UNESCO, 2008. str. 161-161 (poster, međunarodna recenzija, sažetak, znanstveni)
  29. Petrićec, Mladen; Ćosić-Flajsig, Gorana (2008), Priprema tehničkih propisa za hidrološki monitoring akumulacijskih jezera. // Hidrološka mjerenja i obrada podataka / Ožanić, Nevenka (ur.). Rijeka: Građevinski fakultet u Rijeci, 2008. str. 97-104 (predavanje, cjeloviti rad (in extenso), ostalo)
  30. Ćosić-Flajsig, Gorana (2008), *Direktiva o vodi za ljudsku upotrebu i Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda EU-a. // Sabor hrvatskih graditelja 2008 / Simović, Veselin (ur.)*. Zagreb: Sveučilišna tiskara d.o.o., 2008. str. 867-879 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  31. Bruins, Hans; Ćosić-Flajsig, Gorana; Singer, Davorin (2007), *Compliance with European Union Urban Waste Water Treatment Directive in Croatia. // 4. hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode i Europska Unija - izazovi i mogućnosti / Gereš, Dragutin (ur.)*. Zagreb: Sveučilišna tiskara, 2007. str. 847-856 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
  32. Ćosić-Flajsig, Gorana; Zlatović, Sonja; Petrićec, Mladen (2007), *Okoliš u graditeljstvu na Graditeljskom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. // 2nd International Symposium on Environmental Management Zagreb: Faculty of Chemical Engineering and Technology, University of Zagreb, 2007. (<https://www.bib.irb.hr/304503>)* (predavanje, sažetak, stručni)
  33. Ćosić-Flajsig, Gorana; Petrićec, Mladen (2006), *Methodology of Monitoring Development as a Part of Water Quality Management. // 23rd Conference of the Danube Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management / Bruk, Stevan ; Petković, Tioslav (ur.)*. Beograd, 2006. str. 90-90 (predavanje, međunarodna recenzija, sažetak, ostalo)
  34. Petrićec, Mladen; Ćosić-Flajsig, Gorana; Lukšić Mojca; Filipović Mira (2005), *Integrated Water Management in Croatia. // Ninth International Symposium on Water Management and hydraulic Engineering, proceedings / Nachtnebel H.P. and Jugović C.J. (ur.)*. Vienna: Borsedruck, Vienna, 2005. str. 69-78 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
  35. Gugić, Goran; Ćosić-Flajsig, Gorana (2004), *A Development Plan for Lonjsko Polje Nature Park - Ways Towards Integrated River Basin Management. // River Restoration 2004: principles, processes, practices / Geres, Dragutin (ur.)*. Zagreb: Hrvatske vode, 2004. str. 149-154 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
  36. Ćosić-Flajsig, Gorana; Malus, Davor; Vlašić, Alena (2004), *Utjecaj izgradnje prometnica na kakvoću voda. // Sabor hrvatskih graditelja 2004 / Simović, Veselin (ur.)*. Velika Gorica: mtg-topgraf d.o.o., 2004. str. 915-924 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)

37. Malus, Davor; Ćosić-Flajsig, Gorana; Petročec, Mladen **(2003)**, *Onečišćenje automobilskim prometom u Republici Hrvatskoj*. // 3. hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode u 21. stoljeću / Gereš, Dragutin (ur.). Zagreb: MTG topgraf-Velika Gorica, 2003. str. 835-841 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
38. Precali, Robert; Šolić, Mladen; Šurmanović, D; Ćosić-Flajsig, Gorana **(2003)**, Stanje kakvoće priobalnog mora Hrvatske. // 3. Hrvatska konferencija o vodama / Gereš, D. (ur.). Zagreb: Hrvatske vode, 2003. str. 435-442 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
39. Ćosić-Flajsig, Gorana **(2003)**, Postojeće stanje, načela i strateške smjernice u planiranju zaštite voda i vodnih ekosustava. // 3. hrvatska konferencija o vodama, Vode u 21. stoljeću / Gereš, Dragutin (ur.). Zagreb: MTG topgraf - Velika Gorica, 2003. str. 565-576 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
40. Ćosić-Flajsig, Gorana; Bonacci, Ognjen; Gereš, Dragutin; Tušar, Božena; Vlahović, Tatjana **(2000)**, Rehabilitation and multipurpose function of the nature park Lonjsko polje. // 1st World Water Congress of the International Water Association: proceedings; NP 151 Paris: International Water Association, 2000. str. 1-4 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
41. Gereš, Dragutin; Tušar, Božena; Vlahović, Tatjana; Ćosić-Flajsig, Gorana; Bonacci, Ognjen **(2000)**, Water supply in the Varaždin County and the nitrate problem. // 1st World Water Congress of the International Water Association, Paris, 3-7 July 2000, Text of posters Pariz: International Water Association, 2000. str. 1-4 (poster, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), znanstveni)
42. Ćosić-Flajsig, Gorana **(1999)**, Koncesije u vodnom gospodarstvu. // 2. hrvatska konferencija o vodama, Hrvatske vode od Jadrana do Dunava / Gereš, Dragutin (ur.). Zagreb: MPTopgraf -Velika Gorica, 1999. str. 622-627 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
43. Vodopija, Marijan; Ćosić-Flajsig, Gorana **(1995)**, *Kanalizacijski sustav i funkcija uređaja za pročišćavanje*. // 1. hrvatska konferencija o vodama, Održivi razvoj i upravljanje vodama / Gereš, Dragutin (ur.). Zagreb: TOPGRAF-Velika Gorica, 1995. str. 415-421 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), ostalo)