

# UNAPRJEĐENJE MONITORINGA KAKVOĆE POVRŠINSKIH VODA U RURALNIM ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA

**dr. sc. Gorana Ćosić-Flajsig,**  
**dipl. ing. građ.**

Tehničko veleučilište u Zagrebu,  
Graditeljski odjel, Av. V. Holjevca 15,  
Zagreb, Hrvatska,  
gcflajsig@tvz.hr

**prof. dr. sc. Barbara Karleuša,**  
**dipl. ing. građ.**

Sveučilište u Rijeci,  
Građevinski fakultet,  
Ul. Radmile Matejčić 3, Rijeka,  
Hrvatska

**dr. sc. Ivan Vučković, dipl. ing. biol.**

Elektroprojekt d.d.,  
Građevinsko-arhitektonski biro,  
Odjel ekologije,  
Alexandera von Humboldta 4,  
Zagreb, Hrvatska

Monitoring kakvoće površinskih voda jedan je od najvažnijih alata upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva. Postojeći monitoring kakvoće površinskih voda uspostavljen je prije nekoliko desetljeća s različitim ciljevima, te stoga nije u potpunosti usklađen sa zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU-a. Korištenje dobivenih podataka prate poteškoće povezivanja količine i kakvoće površinskih voda zbog neusklađenosti hidrološkog monitoringa i monitoringa kakvoće površinskih voda. To rezultira nedostatkom kvalitetnih podataka i korištenja matematičkih modela te nedostatkom odgovarajućih informacija za upravljanje kakvoćom voda. Na primjeru prekograničnog ruralnog sliva rijeke Sutle (Hrvatske i Slovenije), prikazana je analiza postojećeg monitoringa kakvoće voda i potreba za njegovim unaprjeđenjem. Predložena metodologija, kroz korake unaprjeđenja postojećeg monitoringa, vodi ka monitoringu kakvoće površinskih voda "po mjeri" (engl. *tailor-made*) riječnog sliva.

**Ključne riječi:** upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva, SWAT model, prekogranični ruralni riječni sliv rijeke Sutle, monitoring, holistički pristup

## 1. UVOD

Monitoring površinskih voda jedan je od najvažnijih alata upravljanja kakvoćom površinskih voda. Za dobivanje kvalitetnih informacija o stanju voda vodnih tijela iz podataka dobivenih monitoringom, važno je definirati reprezentativna mjerna mjesta i učestalost mjerenja pokazatelja u pojedinom vodnom tijelu. To nije lak posao i potrebno ga je kontinuirano usavršavati kako bi se postigla željena kvaliteta potrebnih informacija. Iako se monitoring kakvoće površinskih voda sustavno provodi od sedamdesetih godina prošlog stoljeća, kako u Republici Hrvatskoj tako i u Republici Sloveniji, kao referentna godina za ocjenu kakvoće površinskih voda uzima se 2000. godina. Tada je unaprjeđen cjelokupni sustav monitoringa kakvoće površinskih voda (standardizirane su metode uzorkovanja i ispitivanja), kao i baze podataka o kakvoći voda.

Do početka provedbe monitoringa kakvoće površinskih voda sukladno Okvirnoj direktivi o vodama

Europske unije (ODV EU-a) (European Union 2000), monitoring kakvoće površinskih voda uglavnom je bio usmjeren na određivanje vrijednosti fizikalnih i kemijskih pokazatelja, koji prezentiraju stanje voda u trenutku uzorkovanja. Danas prema ODV-u EU-a i korištenjem problemski orijentiranog pristupa (engl. *driving forces* – D; *pressure* – P; *state* – S; *impact* – I, *response* – R (DPSI); hrv. pokretači, pritisci, stanje, utjecaj, odgovor) podaci monitoringa kakvoće površinskih voda jedan su od najvažnijih alata upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, u okviru integralnog upravljanja vodama riječnog sliva. Postojeći sustavi monitoringa kakvoće površinskih voda uspostavljeni su prije nekoliko desetljeća s različitim ciljevima, pa ih danas nije lako povezati i unaprijediti sukladno zahtjevima ODV-a EU-a. Kao alati unaprjeđenja metodološkog pristupa Monitoringa za provedbu ODV-a EU-a, predložene su smjernice vezane uz monitoring voda (engl. *Monitoring under the Water Framework Directive*,

*Guidance Document No 7*) (European Communities 2003). Zbog raznolikosti pritiska na slivu, tipova vodnih tijela, bioloških zajednica, hidromorfoloških, kemijskih i fizikalno-kemijskih karakteristika unutar Europske unije, odgovarajuća provedba Programa mjera prema zahtjevima ODV-a EU-a razlikuje se među državama članicama i riječnim slivovima, a svaka metodologija predložena smjernicama mora biti prilagođena posebnim okolnostima (European Communities 2003). Informacije dobivene temeljem monitoringa površinskih voda potrebne su za ocjenu stanja voda, procjenu rizika postizanja dobrog stanja voda vodnih tijela koja su identificirana za primjenu mjera, procjenu rizika nepostizanja ciljeva zaštite okoliša vodnih tijela, učinkovito projektiranje programa monitoringa te procjenu dugoročnih promjena u prirodnim uvjetima i kao rezultat antropogenih aktivnosti. Također, koriste se za utvrđivanje veličine i utjecaja iznenadnog onečišćenja, kod interkalibracije, za procjenu usklađenosti sa standardima i ciljevima zaštićenih područja, kvantificiranje referentnih uvjeta za vodna tijela površinskih voda i procjenu količine onečišćujućih tvari unesenih preko međunarodnih granica. Temeljem karakterizacije i procjene utjecaja provedenih u skladu s člankom 5. i Dodatkom II ODV-a EU-a (European Communities 2003), a u Hrvatskoj i prema Uredbi o standardu kakvoće voda, dopune i ispravak (NN 96/19, 20/23, 50/23), države članice uspostaviti će za svako razdoblje važenja plana upravljanja vodnim područjima tri vrste programa monitoringa, i to: nadzornog, operativnog i istraživačkog monitoringa.

**Nadzorni monitoring površinskih voda** treba pružiti informacije za utvrđivanje dugoročnih promjena: dopune i vrednovanja postupka ocjene utjecaja ljudskih aktivnosti na stanje voda, planiranja budućeg monitoringa, ocjenjivanja dugoročnih promjena prirodnih uvjeta i ocjenjivanja dugoročnih promjena uzrokovanih intenzivnim ljudskim aktivnostima. Nadzorni monitoring obavlja se na dovoljnom broju tijela površinskih voda da bi se omogućila cjelovita ocjena stanja površinskih voda. Nadzorni monitoring provodi se za: sve biološke elemente kakvoće, sve hidromorfološke elemente kakvoće, sve osnovne fizikalno-kemijske elemente kakvoće, sve specifične onečišćujuće tvari i sve pokazatelje kemijskog stanja. Rezultate takvog monitoringa treba pregledavati i koristiti, u kombinaciji s postupkom procjene utjecaja na vode opisanim u Dodatku II ODV-a EU-a (European Communities 2003), kako bi se odredili zahtjevi za programe monitoringa u sadašnjim i narednim Planovima upravljanja vodnim područjem (engl. *River basin management plan – RBMP*).

**Operativni monitoring** provodi se na: tijelima površinskih voda za koja je utvrđen rizik od nepostizanja ciljeva zaštite i na kojima se prati ocjena promjene stanja tijekom provedbe programa mjera, i tijelima površinskih voda u koje se ispuštaju prioritne tvari. Rezultati operativnog monitoringa koriste se za ocjenu

stanja voda i analizu značajki vodnoga područja. Plan provedbe operativnog monitoringa može se mijenjati tijekom razdoblja provedbe Plana upravljanja vodnim područjima na temelju rezultata analiza utjecaja ljudskih aktivnosti i ocjene stanja voda te prema potrebi, smanjiti opseg monitoringa na onim tijelima površinskih voda gdje utjecaj nije značajan ili je onečišćenje otklonjeno.

**Istraživački monitoring** provodi se: kada razlozi prekoračenja graničnih vrijednosti pokazatelja za ocjenu stanja voda nisu poznati unutar DPSIR-a; kada nadzorni monitoring ukazuje na malu vjerojatnost da određeno tijelo površinske vode postigne ciljeve zaštite okoliša i kada nadzorni monitoring ukazuje na malu vjerojatnost da određeno tijelo površinske vode postigne ciljeve zaštite voda, a operativni monitoring još nije uspostavljen kako bi se utvrdili razlozi nepostizanja ciljeva zaštite okoliša; radi utvrđivanja veličine i utjecaja iznenadnog onečišćenja; te radi osiguranja informacija za uspostavljanje programa mjera za postizanje ciljeva zaštite okoliša i određivanja programa posebnih mjera za otklanjanje posljedica iznenadnih onečišćenja. Korištenje nebioloških indikatora za procjenu stanja bioloških elemenata kakvoće voda može se nadopuniti korištenjem bioloških indikatora, ali ih se ne može zamijeniti. Bez sveobuhvatnog znanja o svim pritiscima na vodno tijelo i njihovim kombiniranim utjecajima na biološke elemente kakvoće voda, važno je provoditi izravno mjerenje stanja bioloških elemenata kakvoće vode korištenjem bioloških indikatora.

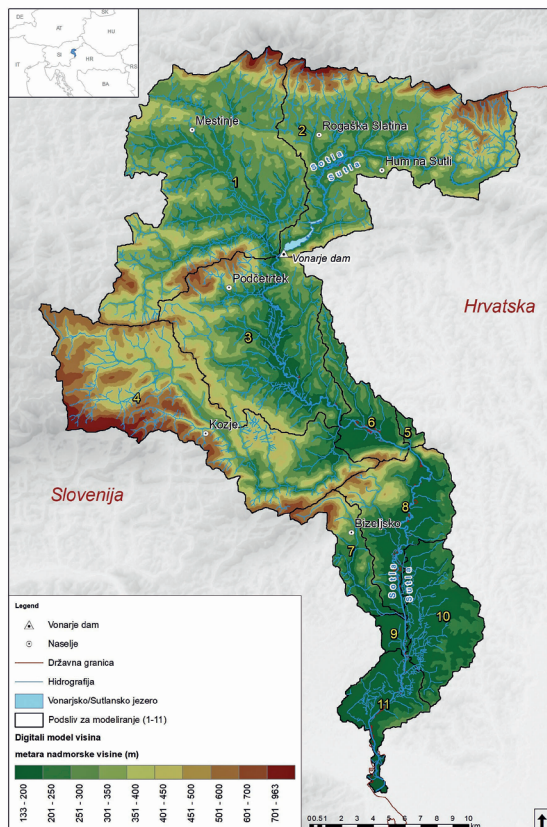
U Hrvatskoj je izrađen dokument pod nazivom Program usklađivanja monitoringa na temelju članka 50. stavka 6. i članka 252. stavka 1. Zakona o vodama iz 2023. godine (NN 47/23). Od početka 2024. godine poslove sustavnog praćenja voda obavlja novoosnovani Institut za vode. Temeljem Uredbe o standardima kakvoće voda doneseni su Plan praćenja stanja voda u Hrvatskoj za 2023. godinu (NN 96/19, 20/23, 50/23) i Plan praćenja stanja voda u Republici Hrvatskoj za 2022. godinu (Hrvatske vode, 2022) na temelju rezultata procjene stanja površinskih i podzemnih voda sukladno članku 52., te analize značajki vodnog područja sukladno članku 51. i usklađenosti s programom mjera iz članka 53. Zakona o vodama za razdoblje obuhvaćeno Planom upravljanja vodnim područjima. U sklopu međudržavnog monitoringa sa Slovenijom, prati se kakvoća rijeke Sutle prema Poslovniku o radu Pododbora za kakvoću voda Stalnog hrvatsko-slovenskog povjerenstva za vodno gospodarstvo. Na rijeci Sutli mjerne postaje na prekograničnom vodotoku između Hrvatske i Slovenije su Harmica za Hrvatsku i Rigonce za Sloveniju. Mjerna postaja za praćenje sadržaja prioritnih tvari u bioti rijeke Sutle je Harmica (Hrvatske vode 2022). Prikupljeni podaci monitoringa korisni su za matematičko modeliranje kakvoće vode, kao što je matematički model Soil Water Assessment Tool (SWAT) korišten za ruralne riječne slivove, radi što bolje očuvanje zaštićenog područja NATURA 2000 kojem pripada dio sliva Sutle.

## 2. MATERIJALI I METODOLOGIJA

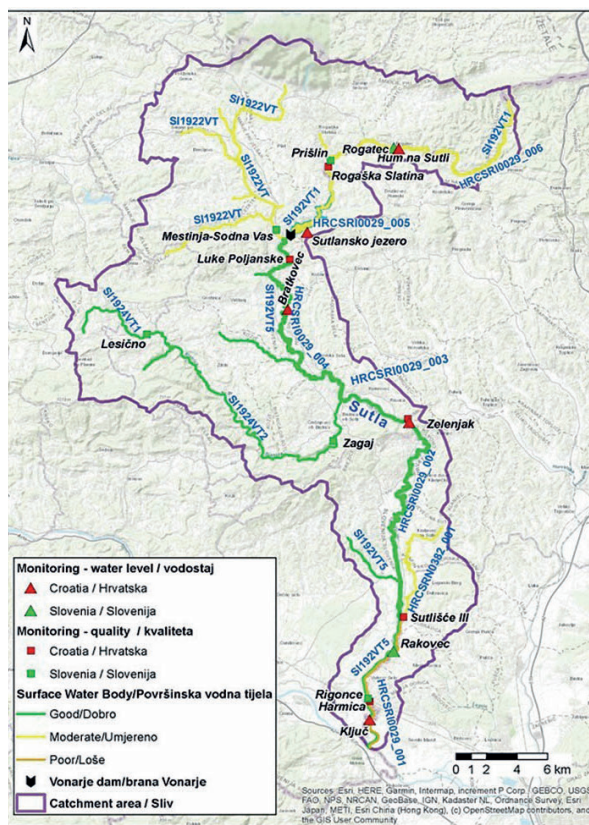
### 2.1. Case study – riječni sliv rijeke Sutle

Rijeka Sutla čini prirodnu granicu između Slovenije i Hrvatske. Dužina toka je oko 90 kilometra, a površina

sliva je 590,6 km<sup>2</sup>, od čega se 78 % nalazi u Sloveniji, a 22 % u Hrvatskoj. Riječni sliv čini uski pojas prosječne širine 1-2 km (najviše 5 km). Rijeka Sutla, kao dio ekološke mreže NATURA 2000, važna je za očuvanje sedam vrsta riba i jedne vrste školjkaša prema Direktivi o staništima



Slika 1a: Prekogranični ruralni sliv rijeke Sutle: (a) digitalni visinski model, hidrografska mreža s jezerima, naseljima, 11 podslivova i branom Vonarje



Slika 1b: Vodno stanje površinskih vodnih tijela i lokacije nadzornih postaja monitoringa i lokacija brane Vonarje (Ćosić-Flajsig i sur. 2021)

Tablica 1: Mjerne postaje s vrstom monitoringa i vodnim tijelima (Ćosić-Flajsig 2023)

Mjerna postaja	Vrsta monitoring	Vodno tijelo
Hum na Sutli	hidrologija	CSRI0029_006
Prišlin	sediment / kakvoća voda	
Rogatec	hidrologija	
Rogaška Slatina	kakvoća voda	SI192VT1
retencija Vonarje	-	CSRI0029_005
Luke Poljanske	hidromorfologija / kakvoća voda	CSRI0029_004
Bratkovec	hidrologija	
Zelenjak	hidromorfologija / hidrologija / kakvoća voda	CSRI0029_003
Rakovec	hidrologija	SI192VT5
Rigonce	kakvoća voda	
Harmica	hidromorfologija / kakvoća voda	
Ključ	hidrologija	CSRI0029_001
Sutlišće III – Sutlišće	kakvoća voda	
Mestinja - Sodna Vas - Mestinjščica	hidrologija / kakvoća voda	SI192VT
Zagaj- Bistrica	hidrologija / kakvoća voda	
Lesično - Bistrica	kakvoća vode	SI192VT2

(Šemnički 2014; projekt FRISCO 2020). Na slovenskoj strani veći pritoci su pritoci Mestinjščica i Bistra, dok se na hrvatskoj strani nalaze manji i uglavnom bujični vodotoci. Prosječna godišnja količina oborina u slivu rijeke Sutle je 1200 mm, a evapotranspiracija oko 650 mm. Rijeka Sutla ima veliki početni pad preko 7 km, s promjenom od 620 m n.m. do 250 m nadmorske visine. Nakon toga, pad se smanjuje na 112 m nadmorske visine, na ušću rijeke Save. Na vodomjeru Zelenjak (nizvodno od brane) prosječni protok iznosi 7,3 m<sup>3</sup>/s (minimalni 0,9 m<sup>3</sup>/s, a maksimalni 129 m<sup>3</sup>/s). Režim toka rijeke Sutle je panonskog tipa s dvama identičnim vrhovima, jednim u rano proljeće i drugim u kasnu jesen. Niski protoci javljaju se ljeti i zimi, a najmanji su protoci u kolovozu (projekt FRISCO 2020). Nakon izgradnje brane Vonarje 1980-ih, izgrađeno je Sutlansko jezero/akumulacija Vonarje korištenjem prirodne retencije, zapremine 12,4 milijuna m<sup>3</sup>, dužine cca 6 km, površine 195 ha (slika 1a). Sutlansko jezero izgrađeno je kao višenamjenski hidrotehnički objekt sa svrhom javne vodoopskrbe, navodnjavanja, obrane od poplava i turističke djelatnosti. Radi eutrofikacije voda i višekratnih pomora riba 1989. godine Sutlansko jezero je ispražnjeno u nedostatku boljih remedijacijskih mjera, i koristi se kao suha retencija za zadržavanje velikih voda rijeke Sutle. Na dnu retencijskog prostora razvio se močvarni ekosustav, brana je obnovljena, a u planu je ponovna uspostava akumulacije. Rijeka Sutla ima uglavnom prirodan hidrološki i hidraulički režim, iako je izgradnjom brane Vonarje i rekonstrukcijom 2020. godine (projekt FRISCO 2020) prirodni hidrološki i hidraulički režim dijelom narušen promjenama u pronosu vučenog sedimenta i značajnim smanjenjem količine suspendiranog sedimenta. Budući da je rijeka Sutla granični vodotok, svaka država je definirala svoj program monitoringa (količina, kakvoća, sediment), mjerne postaje i vodna tijela. Hrvatska je proglasila šest vodnih tijela, dok je Slovenija proglasila dva vodna tijela na rijeci Sutli i četiri vodna tijela na pritokama (Čosić-Flajsig i sur. 2021). Na rijeci Sutli analizirani su meteorološki, hidrološki podaci i podaci o kakvoći vode (uključujući sediment i hidromorfologiju) te položaj mjernih postaja u odnosu na definirana vodna tijela (slika 1 b).

U tablici 1 prikazane su mjerne postaje s tipom programa monitoringa i vodnim tijelima sliva rijeke Sutle te dostupni podaci monitoringa.

Vodnatijela na hrvatskoj strani rijeke Sutle, CSRI0029\_006, CSRI0029\_004, CSRI0029\_003 i CSRI0029\_001, imaju hidrološke postaje i postaje kakvoće vode, dok su vodna tijela CSRI0029\_005 i CSRI0029\_002 bez mjernih postaja. Vodno tijelo CSRI0029\_005 ima dvije hidrološke mjerne postaje: Bratkovec i Zelenjak. Vodno tijelo na pritoci Sutlišće ima samo mjernu postaju kakvoće vode. Svako slovensko vodno tijelo rijeke Sutle, SI192VT1 i SI192VT5, ima hidrološku mjernu postaju i mjernu postaju kakvoće vode. Tri vodna tijela na pritokama Mestinjščica i Bistrica: SI192VT (Mestinjščica) ima hidrološku mjernu postaju i

mjernu postaju kakvoće voda, SI192VT2 (1) (Bistrica) ima hidrološku mjernu postaju i mjernu postaju kakvoće voda i SI192VT2 (2) (Bistrica) ima samo mjernu postaju kakvoće voda. Nakon slovenske mjerne postaje Rogaška Slatina, hrvatsko vodno tijelo CRSI0029\_005 – retencija Vonarje je bez mjerne postaje. Od 2011. do 2016. Hrvatska, kao i Slovenija, imala je dva površinska vodna tijela na rijeci Sutli. Dva tadašnja vodna tijela imala su po dvije mjerne postaje, i to: vodno tijelo DRI9003: Lupinjak (mjerna postaja je ukinuta 2013. godine) i Prišlin te vodno tijelo DSRI90001: Zelenjak i Harmica. Mjerna postaja Prišlin nalazi se na barijeri Prišlin. Vodno tijelo CSRI0029\_005 je retencijsko područje bivšeg Sutlanskog jezera i nema mjernu postaju. Nova mjerna postaja Luka Poljanska uvedena je 2016. godine i referentna je za vodno tijelo CSRI0029\_004. Izvadak iz registra vodnih tijela Hrvatskih voda - Stanje vodnih tijela površinskih voda rijeke Sutle – (Hrvatske vode 2021), stanje voda za 6 vodnih tijela površinskih voda sliva rijeke Sutle prikazano je na slici 1 uz opće podatke o vodnom tijelu. Na temelju ocjene koju su provele Hrvatske vode, kakvoća vode za vodno tijelo CSRI0029\_005 bez mjerne postaje ocijenjena je kao umjereno stanje, a vodno tijelo CSRI0029\_002 – CRO bez mjerne postaje ocijenjeno je kao dobro stanje voda. Sukladno kakvoći voda za tijela uzvodno od brane Vonarje, CSRI0029\_006 – CRO i CSRI0029\_005, ista su ocijenjena kao umjereno stanje voda. Kakvoća voda za vodna tijela nizvodno od brane Vonarje, CSRI0029\_004 – CRO i CSRI0029\_003, ocijenjena su kao dobro stanje. Sukladno kakvoći voda za vodno tijelo CSRI0029\_001 isto je ocijenjeno kao umjereno stanje voda jer je kakvoća voda pritoke Sutlišće ocijenjena kao umjereno stanje voda. Mjerne postaje nadzornog i operativnog monitoringa za praćenje sadržaja prioritarnih tvari u bioti su Harmica i Zelenjak. Monitoring bioloških elemenata kakvoće voda s procjenom sedimenta, prema programu monitoringa, provodi se svakih 5 godina, a započeo je 2016. godine. Ocjena općeg hidromorfološkog stanja temeljila se na dostupnim podacima za nekoliko hidromorfoloških elemenata vezanih uz kakvoću voda prema europskoj normi EN15843 (2010), kao i na metodologiji praćenja i ocjene hidromorfoloških pokazatelja (Hrvatske vode 2016).

Temeljem navedene norme i metodologije koju su propisale Hrvatske vode, kao i istraživanja koje je provedeno u sklopu projekta Sustavno istraživanje hidromorfoloških elemenata kakvoće u rijekama u 2016. i 2017. godini (Elektroprojekt i PMF 2018), utvrđeno je hidromorfološko stanje sljedećih vodnih tijela na sljedećim mjernim postajama: Sutla – Luke Poljanske CSRI0029\_004 malo izmijenjeno stanje, Sutla – Zelenjak CSRI0029\_003 malo izmijenjeno stanje, Sutla – Harmica CSRI0029\_003 malo izmijenjeno stanje. Izgradnjom brane Vonarje na rijeci Sutli, zbog značajnih hidromorfoloških promjena, tekuće vode postaju stajaće vode i mijenja se kategorija voda. Vodno tijelo CSRI0029\_005 postalo je kandidat za jako izmijenjeno vodno tijelo gdje je potrebno odrediti

granice klasa ekološkog potencijala. Zbog značajnih hidromorfoloških promjena, promijenio se protok, a time i stanje vode. Metodologija procjene sedimenta izrađena je prema ODV-u EU-a, temeljena na DPSIR pristupu, izrađena je analizom svih relevantnih podataka i informacija. Uzdužni presjek rijeke Sutle uključuje značajke uzdužnog toka vodotoka (Ćosić-Flajsig i sur. 2022). Mjerna postaja nadzornog monitoringa Prišlin, smještena neposredno ispred barijere za zadržavanje sedimenta, istovremeno je mjerna postaja monitoringa kakvoće vode i sedimenta na rijeci Sutli. Za Sloveniju nema dostupnih podataka o procjeni sedimenta.

S obzirom na položaj Prišlina, topografiju riječnog sliva i ulogu barijere za smanjenje unosa sedimenta u Sutlansko jezero, izmjereni podaci pokazuju umjereno do loše stanje vode i kvalitetu sedimenta koja ukazuje na antropogeni utjecaj. Nizvodno od brane Vonarje smanjuje se izdašnost novog sedimenta, a voda svojom erozijom produbljuje korito povećavajući brzinu toka u dijelu rijeke nizvodno od brane. Značajna količina sedimenta zaustavlja se na barijeri Prišlin, koja je izgrađena kako bi se smanjio unos sedimenta u Sutlansko jezero i smanjio njegov radni volumen. Zajedno s promijenjenim hidrološkim režimom, unos sedimenta hranjivih tvari ukazuje na rizik od eutrofikacije voda rijeke Sutle, kao i na rizik nepostizanja dobrog stanja voda, odnosno rizik od nepostizanja ciljeva zaštite okoliša sliva rijeke Sutle.

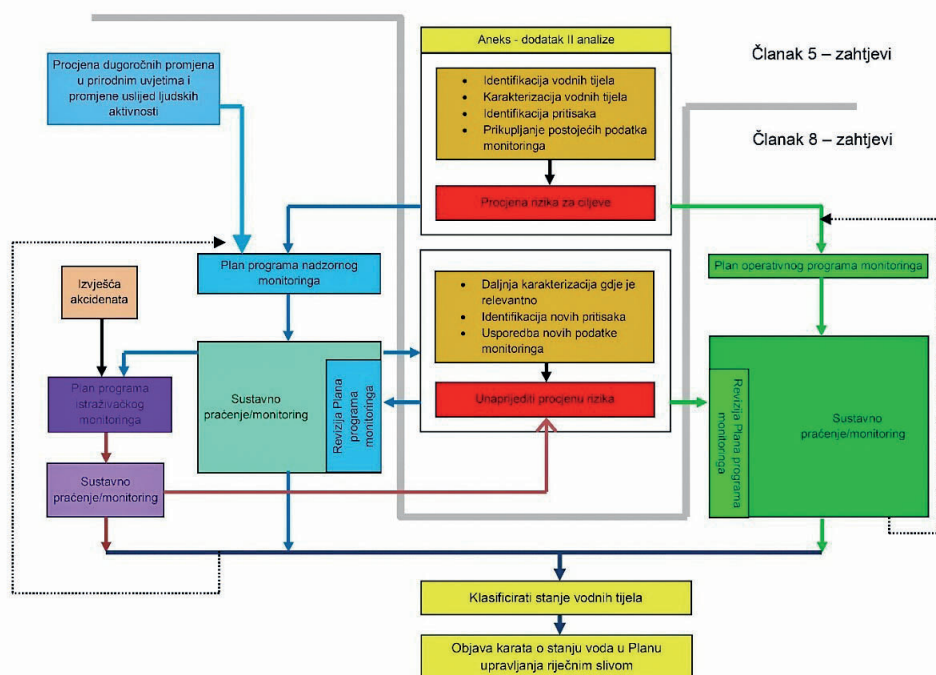
Ciljevi zaštite okoliša riječnog sliva mogu se postići samo ako su zajamčeni odgovarajući režimi protoka i sedimenta i s tim povezana kakvoća riječne morfologije. Planom prekograničnog monitoringa za 2022. godinu, međudržavnog vodotoka rijeke Sutle između Hrvatske

i Slovenije, uzorkovanje vode provedeno je na sljedeći način:

- u veljači i srpnju provedeno je zajedničko uzorkovanje na Sutli, a analize fizikalnih i kemijskih elemenata provodila je svaka strana u svom laboratoriju;
- ostala uzorkovanja obavila je svaka strana samostalno;
- uzorkovanje na biološke elemente kakvoće u rijeci Sutli obavljeno je jednom u tri godine, a svaka strana provodi uzorkovanje zasebno po svojoj nacionalnoj metodologiji pri niskim vodostajima (Hrvatske vode 2022). U okviru hrvatskog i slovenskog monitoringa ne postoji hidromorfološka mjerna postaja na rijeci Sutli.

### 3. PRIJEDLOG METODOLOGIJE MONITORINGA POVRŠINSKIH VODA

Projektiranje monitoringa kakvoće površinskih voda, prema ODV-u EU-a treba biti izrađeno prema problemski orijentiranom DPSIR pristupu uz poznavanje uzročno-posljedične veze i njihovih čimbenika. Dodatak V ODV-a EU-a ukazuje da su informacije o monitoringu površinskih voda jedan od najvažnijih alata politike upravljanja vodama (Europska unija 2000). Pripremljene su Smjernice za praćenje kakvoće površinskih voda br. 7, 2003. (engl. *Monitoring under the Water Framework Directive, Produced by Working Group 2.7*) (European Communities 2003), koje objašnjavaju sve važne korake u planiranju monitoringa. Nakon identificiranja i karakterizacije vodnih tijela, potrebno je definirati pokretačke sile i antropogene pritiske vodnog tijela. To ne znači da će mjerne postaje monitoringa biti potrebne u svakom vodnom tijelu. Svaka država članica



Slika 2: Shematski dijagram koji ilustrira izradu projekta programa monitoringa površinskih voda (European Communities 2003)

mora odrediti koliko je mjernih postaja potrebno na pojedinom vodnom tijelu da bi se utvrdilo njegovo ekološko i kemijsko stanje. Ovaj proces odabira vodnih tijela i mjernih postaja monitoringa trebao bi uključivati tehnike statističke procjene prihvatljive razine pouzdanosti i preciznosti. Programi nadzornog i operativnog monitoringa bit će izrađeni na temelju procjene rizika ciljeva zaštita okoliša za svako vodno tijelo. Osim antropogenog utjecaja, projekt nadzornog monitoringa ovisi o procjeni dugoročnih promjena prirodnih uvjeta. Osnova za bolju klasifikaciju vodnih tijela je nadzorni i operativni monitoring, uključujući uspoređivanje novih podataka monitoringa, daljnju karakterizaciju vodnih tijela, identifikaciju novih pritisa i revidiranje projekta nadzornog i operativnog monitoringa. Ovaj proces prati svaki ciklus donošenja plana upravljanja vodnim područjima riječnog sliva. **Slika 2** predstavlja shematski prikaz dijagrama koji ilustrira izradu projekta programa monitoringa površinskih voda i sve važne točke izrade projekta nadzora i operativnog monitoringa (European Communities 2003).

Osim svih važnih točaka izrade projekta nadzornog i operativnog monitoringa prikazanih na **slici 2**, glavni fokus monitoringa je na identifikaciji i karakterizaciji vodnog tijela, identifikaciji pritisa i analizi podataka prikupljenih postojećim monitoringom. Također, uključuje se i sljedeće: (i) kakvoća vode koja uključuje hranjive tvari; (ii) geomorfološke promjene; (iii) hidrološki i hidraulički režimi voda; (iv) biološke elemente kakvoće voda; (v) krajolik (obrasci korištenja zemljišta); i (vi) biljne zajednice (kanal i poplavno područje) (European Communities 2003). Jedna od najvažnijih zadataka provedbe nadzornog, operativnog i istraživačkog monitoringa zaštićenih područja je odgovarajući odabir vodnih tijela i mjesta mjerne postaje monitoringa unutar vodnog tijela. Kvantificiranje vremenske i prostorne varijabilnosti elemenata kakvoće i pokazatelja značajnih elemenata kakvoće u površinskim vodnim tijelima koji se analiziraju, važan je dio izrade projekta programa monitoringa (European Communities 2003).

Programi nadzornog monitoringa daju ocjenu

ukupnog stanja površinskih voda svakog riječnog sliva unutar vodnog područja. Programi operativnog monitoringa služe utvrđivanju stanja vodnih tijela za koja je identificirano da su u riziku od neispunjenja ciljeva zaštite okoliša i za procjenu svih promjena stanja voda temeljem programa mjera, te moraju koristiti pokazatelje koji ukazuju na elemente kakvoće koji su najosjetljiviji na pritisak na vodno tijelo (European Communities 2003). Za pritiske točkastih i raspršenih izvora onečišćenja i hidromorfološke pritiske biraju se mjerne postaje operativnog monitoringa. Odabrani broj mjernih postaja monitoringa mora biti dovoljan za procjenu veličine i utjecaja navedenih pritisa, a postaja monitoringa treba biti odabrana prema onome što se procjenjuje kao najosjetljivije mjesto. Za operativni monitoring potrebno je pratiti one biološke i hidromorfološke elemente kakvoće voda koji su najosjetljiviji na pritiske kojima su vodna tijela izložena. Na primjer, ako je organsko onečišćenje značajan pritisak na vodno tijelo, onda bi bentoski beskralješnjaci mogli biti najosjetljiviji i najprikladniji pokazatelj procjene pritiska (European Communities 2003). Postoje neke dileme u vezi s trenutnim pokazateljima i pokazateljima koji se odnose na kakvoću površinskih voda, a koji su u uporabi i klasificirani korištenjem DPSIR pristupa prema ODV-u EU-a i relevantnoj literaturi. Indikatori orijentirani na pritisak i utjecaj korišteni su u istraživanju (Ćosić-Flajsig i sur 2021), korištenjem matematičkog modela SWAT, a njihovi rezultati poslužili su kao osnova za projektiranje monitoringa kakvoće površinskih voda "po mjeri" riječnog sliva.

**Tablica 2** predstavlja sažetak elemenata kakvoće voda koji se koriste za klasifikaciju ekološkog stanja svih površinskih voda u ODV-u EU-a i za tehnike projektiranja monitoringa, a klasificirani su kao orijentirani na pritisak, utjecaj i stanje voda (Xingqiang Song i Björn Frostell 2012).

Većina trenutnog upravljanja kakvoćom voda orijentirana je na stanje/utjecaj, dok je samo praćenje protoka vode djelomično orijentirano na pritisak. Informacije monitoringa kakvoće voda orijentirane

**Tablica 2:** Klasifikacija tehnika monitoringa temeljena na DPSIR pristupu (modificirano iz rada Xingqiang Song i Björn Frostell 2012)

Kategorija	Podkategorija	Pokazatelji/Indikatori	Klasifikacija
Hidro-morfologija	Hidrologija	Vodotoci (količina i dinamika) veza s vodnim tijelima podzemnih voda, vrijeme zadržavanja, hidrološki proračun itd.	Orijentirana na Pritisak i Orijentirana na Stanje
	Morfologija	Morfološko riječno korito (struktura i supstrat) obrasci kanala, kontinuitet rijeke, struktura priobalne zone, stanje obale, itd.	Orijentirana na Stanje
Kemija	Kakvoća voda	Kisik, KPK, BPK5, toplinski uvjeti, salinitet, stanje zakiseljavanja, stanje hranjiva, itd.	Orijentirana na Stanje
Ekologija	Fizikalno stanište	Istraživanje riječnih staništa, istraživanje obalnog koridora, sastav mezostaništa, itd.	Orijentirana na Utjecaj
	Biologija	Fauna beskralješnjaka, fitobentos, fitoplankton, makroalge, makrofiti, ribe, itd.	Orijentirana na Utjecaj

na stanje/utjecaj same po sebi često ne odražavaju značajne pritiske degradacije kakvoće voda uzrokovane antropogenim aktivnostima. Istovremeno, u sadašnjem upravljanju vodama postoji mnogo znanja o procjeni rizika degradacije kakvoće vode temeljem monitoringa onečišćivača vodama i hidrološkim promjenama. Projekt monitoringa uključuje odluke o mjestima uzorkovanja, učestalosti uzorkovanja i metodama. Ovaj odabir je kompromis između dostatne pokrivenosti uzoraka u vremenu i prostoru radi generiranja značajnih rezultata, ali uz ograničenje troškova praćenja. Pristup orijentiran na stanje/utjecaj usmjeren je na monitoring stanja voda i monitoring različitih utjecaja degradacije voda. Sukladno tome, odgovori vezani uz stanje/utjecaj obično nastoje regulirati onečišćivača koja se ispuštaju u vodu. Ovaj bi pristup uglavnom rezultirao razvojem mjera na nizvodnim krajevima sustava, kao što je izgradnja više uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV). Nasuprot tome, pristup orijentiran na pritiske nastoji pratiti izvore različitih pritisaka na vodni okoliš uslijed socio-ekonomskih aktivnosti, a korištenje ovog pristupa moglo bi doprinijeti smanjenju emisija radi ublažavanja degradacije vode. Ovo je ključno za analizu rizika degradacije i poboljšanja kakvoće voda prema DPSIR pristupu (Xingqiang Song i Björn Frostell 2012).

Okvirni DPSIR pristup je sustavni pristup upravljanja kakvoćom voda istraživanjem interdisciplinarnih veza svih čimbenika. Unatoč tome što je često korišten, DPSIR pristup je također izazivao i razne kritike. Neke tipične kritike DPSIR pristupa uključuju: (i) on tvori skup statičkih pokazatelja i ne može uzeti u obzir dinamiku sustava o kojem se raspravlja; (ii) pruža nejasne uzročno-posljedične veze složenih ekoloških problema i ograničeno razumijevanje pokretača ekoloških promjena; (iii) sugerira linearne jednosmjerne uzročne lance ekoloških problema; i (iv) analizira okolišne trendove jedino ponavljanjem izvješća o pokazateljima u redovitim intervalima. S druge strane, (Karageorgis i sur. 2006) tvrde da bi fokus trebao biti na vezama između čvorova DPSIR-a primjenom specifičnih društveno-ekonomskih modela i modela temeljenih na prirodnim sedimentima kako bi se bolje razumjela uzročno-posljedična dinamika (Xingqiang Song i Björn Frostell 2012). Za izradu monitoringa kakvoće površinskih voda "po mjeri" riječnog sliva (povezani nadzorni i operativni monitoring), kao dio DPSIR pristupa, potrebno je koristiti indikatore kakvoće voda. Korištenje pokazatelja kakvoće vode bez poznavanja uzročno-posljedične veze čimbenika DPSIR pristupa i svih važnih procesa u riječnom slivu nije prihvatljivo. S obzirom na nužnu interdisciplinarnost prilikom izrade projekta plana monitoringa kakvoće površinskih voda, prilikom projektiranja nije moguće formulirati opća pravila, već je potrebno utvrditi osnovna načela, kriterije i smjernice za izradu projekta monitoringa. Jedno od ključnih načela je korištenje nebioloških indikatora za procjenu stanja bioloških indikatora kakvoće voda koji može nadopuniti korištenje bioloških indikatora, ali ga ne može zamijeniti.

Za dobivanje sveobuhvatnog znanja o svim pritiscima na vodno tijelo i njihovim kombiniranim biološkim utjecajima, izravna mjerenja stanja bioloških elemenata korištenjem bioloških indikatora uvijek će biti potrebna za provjeru valjanosti bioloških utjecaja predloženih nebiološkim indikatorima.

Predložena inovativna metodologija monitoringa kakvoće površinskih voda u ovom radu uključuje:

1. uspoređivanje sa zahtjevima standarda i ODV-a EU-a, otkrivanje "praznina" i poboljšanje monitoringa kakvoće površinskih voda prema ODV-u EU-a,
2. korištenje okvirnog DPSIR pristupa s GIS-om, zajedno s drugim metodama koje se odnose na procjenu dugoročnih promjena u prirodnim uvjetima i promjenama uzrokovanim antropogenim aktivnostima,
3. utvrđivanje relevantnih pritisaka i utjecaja kao korisnog pristupa procjeni rizika od neispunjavanja ciljeva monitoringa kakvoće površinskih voda,
4. pristupi monitoringa kakvoće voda usmjereni na pritisak i utjecaje na vode, korištenjem matematičkog modela SWAT, bitni su za bolje razumijevanje stanja kakvoće voda i utjecaja na vode u procesu planiranja monitoringa kakvoće površinskih voda,
5. proračun pritiska onečišćenja matematičkim modelom SWAT, procjena utjecaja te usporedba s izmjerenim vrijednostima pokazatelja stanja voda,
6. korištenje indikatora stanja/utjecaja na vode usmjerenih na monitoring stanja voda korištenjem indikatora usmjerenih na utjecaje na vode u korelaciji s pokazateljima usmjerenim na pritisak na vode,
7. korištenje indikatora kakvoće voda, kao dijela DPSIR pristupa, za projektiranje monitoringa kakvoće površinskih voda "po mjeri" riječnog sliva, vodeći računa o prirodnim uvjetima riječnog sliva.

Metodološki pristup uključuje analizu postojećeg programa monitoringa površinskih voda, zahtjeva ODV-a EU-a i europske vodne politike te postojećih podataka monitoringa površinskih voda za korištenje matematičkih modela (na primjer SWAT model), i dobivanje odgovarajućih informacija za učinkovito i kvalitetno upravljanje kakvoćom voda riječnog sliva. Posebno je istaknut problem monitoringa površinskih voda prekograničnog riječnog sliva, iako su obje zemlje članice EU-a, te potrebe usklađivanja, optimiziranja i funkcioniranja brojnih mjernih postaja i učestalosti njihova mjerenja za dobivanje potrebnih podataka i informacija uz ograničena financijska sredstava.

#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

Prema predloženoj inovativnoj metodologiji monitoringa kakvoće površinskih voda prikazani su rezultati ovog istraživanja. Prva točka i prvi dio, izrađeni su usporedbom zahtjeva standarda i ODV-a EU-a, gdje su otkrivene "praznine" prikazane u [tablici 3. Tablica](#)

**Tablica 3:** Mjerne postaje kakvoće vode za hrvatska i slovenska vodna tijela (Čosić-Flajsig i sur., 2022)

Vodno tijelo	Mjerna postaja	Hidrološki režim	Utjecaj brane	Kakvoća voda	Procjena sedimenta
Uzvodno od brane Vonarje					
CSRI0029_006 – HR SI192VT1 - SLO	Prišlin -HR	većinom prirodno	ne	umjereno	antropogeni utjecaj
Brana Vonarje i Sutlansko jezero / CSRI0029_005	Nema mjerne postaje nema procjene				
Nizvodno od brane Vonarje					
CSRI0029_004 – HR SI192VT5- SLO	Luke Poljanske - HR	malo promijenjeno	da	dobro	malo promijenjeni uvjeti
CSRI0029_003 – HR SI192VT5- SLO	Zelenjak – HR	prirodno	da	dobro	malo promijenjeni uvjeti
CSRI0029_002 – HR	Nema mjerne postaje	prirodno	da	dobro	nema procjene
CSRI0029_001 – HR SI192VT5- SLO	Harmica - HR	prirodno	da	umjereno dobro	malo promijenjeni uvjeti

3 prikazuje mjerne postaje kakvoće voda, vodna tijela i procjene vezane uz hidrološki režim, utjecaj brane, kakvoće voda i procjenu sedimenta. Kao što je prikazano na slici 1, hidrološke mjerne postaje Rogatec (SLO) i Hum na Sutli (HR) nalaze se vrlo blizu jedna drugoj i pripadaju istom vodnom tijelu: SI192VT1 (SLO) i HRCSRI0029\_006 (HR). Mjerne postaje kakvoće voda Rogaška Slatina (SLO) i Prišlin (HR) nalaze se vrlo blizu jedna drugoj i pripadaju istom vodnom tijelu: SI192VT1 (SLO) i HRCSRI0029\_006 (HR). Također, mjerne postaje za kakvoću vode Rigonce (SLO) i Harmica (HR) nalaze se vrlo blizu jedna drugoj i pripadaju istom vodnom tijelu: SI192VT5 (SLO) i HRCSRI0029\_001 (HR). Hrvatska je definirala šest vodnih tijela na rijeci Sutli, ali svako vodno tijelo nema svoju reprezentativnu mjernu postaju. Na primjer, vodna tijela (tablica 3 i slika 1), CSRI0029\_005 i CSRI0029\_002 nemaju svoje reprezentativne mjerne postaje.

Vodno tijelo CSRI0029\_003 ima dvije hidrološke mjerne postaje: Bratkovec i Zelenjak, ali to nije nužno loše i ne umanjuje potrebu praćenja vodnog režima na pojedinim mjernim mjestima vodnog tijela. Slovenija je proglasila dva vodna tijela na rijeci Sutli: vodno tijelo SI192VT1 s mjernom postajom Rogatec i vodno tijelo SI192VT5 s mjernom postajom Rakovec, te dva vodna tijela na rijekama Mestinjščici i Bistrici s po jednom mjernom postajom. Većina mjernih postaja na rijeci Sutli nema kontinuitet rada. Danas 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. U neposrednoj blizini nalaze se dvije mjerne postaje Rogatec i Hum na rijeci Sutli, stoga je potrebno unaprjeđenje suradnje u provedbi hidrološkog monitoringa voda između Republike Hrvatske i Republike Slovenije. Mjerna postaja Hum na Sutli uspostavljena je nakon prestanka rada mjerne postaje Rogatec, a nakon njezine ponovne uspostave u

neposrednoj blizini su dvije hidrološke mjerne postaje. Na vodomjernoj postaji Brezno, koja se nalazi na profilu Sutlanskog jezera, Hrvatske vode su nekoliko godina mjerile podatke o vodostajima, no vodomjernu postaju i podatke nikada nije verificirao Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Usporedbom izmjerenih vrijednosti na mjernim postajama Rogaška Slatina (Slovenija) i Prišlin (Hrvatska), koje su vrlo blizu jedna drugoj, stanje voda na mjernim postajama ocijenjeno je kao umjereno. U neposrednoj blizini nalaze se i mjerne postaje Rigonce (Slovenija) i Harmica (Hrvatska). Stanja voda na mjestnoj postaji Rigonce ocijenjeno je kao dobro, dok je stanje na mjestnoj postaji Harmica umjereno.

Na temelju predstavljene analize i rezultata, predloženi su inovativni koraci metodologije monitoringa kakvoće površinskih voda koji se razmatraju u sljedećim koracima:

#### **1. Uspoređivanje sa standardom i zahtjevima ODV-a EU-a, otkrivanje "praznina" i poboljšanje praćenja kvalitete površinskih voda prema ODV-u EU-a.**

U skladu s unaprjeđenjem monitoringa kakvoće površinskih voda prema ODV-u EU-a, Hrvatska sa šest vodnih tijela na rijeci Sutli i Slovenija s dvama vodnim tijelima na rijeci Sutli i dvama na pritokama trebaju pripremiti usuglašeni prijedlog vodnih tijela i pripadajućih mjernih postaja za hidrološki monitoring i monitoring kakvoće/stanja voda, optimizirati rad postojećih mjernih postaja, kao i učestalost mjerenja potrebnih pojedinih pokazatelja. Navedeno stanje prisutno je od uspostave mjerenja na rijeci Sutli dok su Hrvatska i Slovenija još bile u sastavu Jugoslavije, a nastavilo se uspostavom samostalnih država 1991. godine.

Danas su obje zemlje članice EU-a, te postoji regionalna suradnja u području vodnog gospodarstva kroz međudržavno povjerenstvo za bilateralnu suradnju preko kojeg se provodi čitav niz bilateralnih projekata. S

obzirom na to da ne postoji zajednički plan upravljanja vodama sliva rijeke Sutle, još uvijek ne postoji odgovarajuće planiranje upravljanja vodama i razmjena potrebnih informacija, a samim time ni usklađeni nadzorni hidrološki monitoring i monitoring kakvoće voda. Treba napomenuti da su podaci iz programa nadzornog monitoringa potrebni za ocjenu stanja voda i postizanje ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva, ali ih je s obzirom na položaj mjernih postaja i različita razdoblja njihova rada teško interpretirati.

## **2. Korištenje okvirnog pristupa DPSIR-a s GIS-om, zajedno s drugim metodologijama koje se odnose na procjenu dugoročnih promjena u prirodnim uvjetima i promjena uzrokovanih antropogenim aktivnostima.**

U [tablici 3](#) prikazane su mjerne postaje kakvoće vode i vodna tijela te procjene vezane uz hidrološki režim, utjecaj brane, kvalitetu vode i procjenu sedimenta. Mjerna postaja Prišlin, kao dio nadzornog monitoringa, smještena neposredno ispred barijere za zadržavanje sedimenta, ujedno je mjerna postaja kakvoće voda i sedimenta na rijeci Sutli ([slika 1](#)).

## **3. Utvrđivanje relevantnih pritisaka i utjecaja kao korisnog pristupa procjeni rizika od neispunjavanja ciljeva monitoringa kakvoće površinskih voda**

S obzirom na to da je mjerna postaja Zelenjak jedina mjerna postaja na kojoj se uz hidrološka mjerenja kontinuirano provode i mjerenja kakvoće vode, odabrana je za kalibraciju matematičkog modela SWAT. To bi trebao biti pristup za sve mjerne postaje vodnih tijela.

S obzirom na položaj Prišlina, topografiju riječnog sliva i ulogu barijere u smanjenju unosa sedimenta u Sutlansko jezero, izmjereni podaci pokazuju umjereno do loše stanje kakvoće vode što ukazuje na prirodni i antropogeni utjecaj. Analizirane su ključne mjerne postaje ispod brane Vonarje, koja značajno utječe na vodni režim i čije postojanje naglašava potrebu upravljanja kakvoćom voda riječnog sliva, a koje imaju kontinuitet u mjerenju vodostaja i protoka – Bratkovec i Zelenjak (Projekt FRISCO 2020).

Za određivanje vodnog režima važni su podaci o kvalitativnim vrijednostima, kao i dugi i neprekinuti vremenski niz podataka s hidroloških postaja. Položaj mjernih postaja u riječnom slivu i promjene nastale tijekom rada hidroloških mjernih postaja, kao što je vidljivo iz [tablice 3](#), otežavaju pravilnu obradu izmjerenih vrijednosti, izradu hidrološke analize i ocjenu utjecaja izgradnje brane Vonarje na vodni režim rijeke Sutle. Također, teško je osigurati izračun većine karakterističnih pokazatelja hidroloških promjena za određivanje hidrološkog režima (npr. mjesečne hidrološke količine, veličina i trajanje godišnjih ekstrema (protok niskih i visokovodnih razdoblja, raspored ekstrema), brzina i učestalost promjene stanja, razlika između dnevnih vrijednosti protoka).

## **4. Pristupi praćenju kakvoće voda usmjereni na pritisak i utjecaj, korištenjem matematičkog modela**

## **SWAT, ključni su za bolje razumijevanje stanja voda (posebno kakvoća) i utjecaja na vode u procesu planiranja monitoringa kakvoće površinskih voda.**

Značajni pritisci točkastog i raspršenog onečišćenja te hidromorfološki pritisci prekograničnog ruralnog sliva rijeke Sutle mogu uzrokovati promjene u hidrološkom režimu, ekološkom i kemijskom stanju voda. Pritisak hranjiva i sedimenta iz točkastih i raspršenih izvora imaju značajan utjecaj na stanje voda. Pronos riječnog sedimenta vitalna je komponenta prirodnog hidromorfološkog režima svakog površinskog vodotoka, pa tako i rijeke Sutle. Međutim, zbog antropogenih utjecaja na rijeku Sutlu i njezino priobalje, nizvodno od brane Vonarje značajno su se promijenili prirodni procesi transporta sedimenta. Promjene u uzdužnom kontinuitetu rijeke Sutle, uzrokovane izgradnjom brane definirane su kao tipovi pritiska. Utjecaj strukture riječnog sliva uzvodno od mjerne postaje Prišlin, najvećim se dijelom odnosi na zadržavanje sedimenta uzvodno, što izravno utječe na hidromorfologiju prekograničnog vodotoka nizvodno.

## **5. Proračun pritiska onečišćenja matematičkim modelom SWAT, procjena utjecaja i usporedba s izmjerenim podacima objašnjenim indikatorima stanja.**

Na temelju DPSIR pristupa, radi unaprjeđenja upravljanja kakvoćom voda, matematički model SWAT izračunava procjenu pritiska onečišćenja (količina i prostorna distribucija). To omogućuje procjenu utjecaja i usporedbu s izmjerenim podacima na temelju pokazatelja stanja. Unaprjeđenje ovog procesa zahtijeva unaprjeđenje kvalitete podataka, posebno u slučaju prekograničnog ruralnog riječnog sliva. Također, analizirana je dostupnost podataka. Utvrđeni su sljedeći potrebni koraci za unaprjeđenje prikupljenih podataka: priprema popisa podataka, naznaka oblika podataka i potrebe prikaza u drugom formatu za korištenje modela, analiziranje mogućnosti davanja zamjenskih podataka (greške u podacima, isprekidanost serije podataka), unaprjeđenje ujednačenosti podataka u Hrvatskoj i Sloveniji kao članicama EU-a, unaprjeđenje podataka + dodatni podaci + javni podaci (HR), unaprjeđenje programa monitoringa u vezi s nedostatkom podataka biološkog monitoringa (HR i SLO) i podataka vezanih uz tlo (HR).

## **6. Korištenje indikatora orijentiranih na stanje/ utjecaje usmjerenih na monitoring stanja voda korištenjem indikatora orijentiranih na utjecaje u korelaciji s indikatorima orijentiranim na pritisak.**

U okviru DPSIR pristupa procjena eutrofikacije pripada čimbenicima koji opisuju stanje voda i utjecaj na vode. Ishod procjene mogao bi rezultirati provedbom mjera. Kako bi se mogle formulirati mjere, potrebno je razumjeti veze između pokretača, pritisaka, stanja, utjecaja i odgovora. Potreba za mjerama postaje očita ukoliko se procjenjuje da je vodno tijelo eutrofično ili da bi moglo uskoro postati eutrofično. Mora biti jasno kako će se razviti odgovarajuće mjere i odlučiti o tome kako

bi se smanjila/eliminirala eutrofikacija u tom vodnom tijelu (ETC/ICM 2016).

Pritisak hranjivih tvari iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja značajno utječe na stanje voda i biološke elemente kakvoće voda. Analizom bioloških pokazatelja mora se obuhvatiti pritisak hranjiva iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, posebice raspršeni izvori onečišćenja. U analizi rizika od nepostizanja dobrog stanja voda i postizanja ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva važno je uključiti pritisak hranjiva iz točkastih i raspršenih izvora onečišćenja, hidromorfološki pritisak te hidrološki režim i režim pronosa sedimenta. Na temelju prikazanih rezultata, sliv rijeke Sutle pokazuje da upravljanje sedimentom mora biti sastavni dio integralnog upravljanja vodama, što zahtijeva specifična znanja i interdisciplinarni pristup dinamici riječnog sliva i sedimenta. To ukazuje na potrebu unaprjeđenja nadzornog monitoringa rijeke Sutle uključivanjem sedimenta i biote, koji su manje pogođeni brzim promjenama kakvoće vode i koji su podložni nasumičnim ili sustavnim/sezonskim promjenama.

#### **7. Korištenje indikatora kakvoće vode, kao dio DPSIR pristupa, za osmišljavanje monitoringa kakvoće površinskih voda "po mjeri" riječnog sliva, vodeći računa o prirodnim uvjetima riječnog sliva.**

Na temelju prezentiranih rezultata, na primjeru sliva rijeke Sutle, može se zaključiti da podaci o korištenju zemljišta i zemljišnom pokrovu, meteorološki i hidrološki podaci, podaci o pritiscima, kakvoća vode (uključujući biološke elemente kakvoće, fizikalno-kemijske i hidromorfološke karakteristike) i upravljanje sedimentom moraju biti dio integralnog upravljanja vodama koji zahtijeva specifična znanja i interdisciplinarni pristup riječnom slivu i dinamici sedimenta. Za postizanje dobrog stanja voda i ciljeva zaštite okoliša riječnog sliva važno je uključiti sve podatke iz monitoringa (operativnog i istraživačkog monitoringa te monitoringa zaštićenih područja). Treba napomenuti da su podaci iz programa nadzornog monitoringa potrebni za ocjenu stanja voda i postizanje okolišnih ciljeva, ali ih je s obzirom na položaj mjernih postaja i vrijeme njihova rada teško interpretirati. Poboljšanje nadzornog monitoringa rijeke Sutle potrebno je realizirati uključivanjem kontinuiranog mjerenja sedimenta i analize biote na koje manje utječu brze promjene kvalitete voda (Europska unija 2010). Konceptija integralnog upravljanja riječnim slivom uključuje holistički pristup u svim aspektima procjene vodnog režima i režima upravljanja sedimentom. Rezultati istraživanja uspješnog upravljanja kakvoćom voda u sklopu integralnog upravljanja riječnim slivom (Ćosić-Flajsig 2023) temelje se na rezultatima pritiska hranjivih tvari i sedimenta modeliranih matematičkim modelom SWAT za prošle scenarije, sadašnji scenarij i buduće scenarije s utjecajem klimatskih promjena. Procjene utjecaja na vode modeliranjem različitih scenarija, s podrškom SWAT modela, potrebno je temeljito raspraviti među donositeljima odluka i politika

prije provedbe odgovarajućih dodatnih mjera "po mjeri" riječnog sliva radi smanjenja vrućih točaka hranjivih tvari i sedimenta u slivu rijeke Sutle. Konceptija integralnoga upravljanja riječnim slivom uključuje holistički pristup uključujući primjenu svih aspekata procjene vodnog i sedimentnog režima. Upravljanje ruralnim prekograničnim riječnim slivovima, kao što je sliv rijeke Sutle, poseban je izazov, čak i u slučajevima kada su obje zemlje (Hrvatska i Slovenija) članice EU-a i provode zahtjeve ODV-a. Za to je potrebno osmisliti monitoring "po mjeri" riječnog sliva, unaprijediti monitoring kakvoće površinskih voda, uspostaviti i održavati monitoring mjerne postaje te definirati pokazatelje i učestalost uzorkovanja. U EU-u je početkom 21. stoljeća usvojen pristup osmišljavanja monitoringa "po mjeri" riječnog sliva, održavane su radionice na tu temu, a mnoge su zemlje izradile smjernice i primijenile ih kako bi poboljšale svoj monitoring. O tome nema puno objavljenih radova, pa su pristup i radovi autora izvan EU-a zanimljivi jer su pripremljeni prema DPSIR pristupu i glavnim principima pristupa "po mjeri" riječnog sliva, kao što je ovaj rad. U radu (Habash i sur. 2018) autori su predložili prilagođeni protokol "po mjeri" riječnog sliva (engl. *tailor-made protocol – TMP*) koji se sastoji od statističkih alata i izvedenih klastera za vizualizaciju korištenjem GIS-a, za procjenu postizanja ciljeva kakvoće voda kanala za navodnjavanje zbog povećanih koncentracija onečišćujućih tvari i pritiska na vode za kanal El-Nubaria, u Egiptu.

## **5. ZAKLJUČAK**

Upravljanje kakvoćom voda sliva rijeke Sutle, suradnjom Republike Hrvatske i Republike Slovenije, potrebno je postići radi održivog korištenja voda i zemljišta. Naime, iako su obje zemlje preuzele i implementirale pravnu stečevinu EU-a, postoje različiti pristupi u primjeni europske vodne politike, a svaka država polazi od svojih nacionalnih razvojnih planova. Upravljanje kakvoćom voda ruralnoga prekograničnog riječnog sliva uključuje primjenu svih aspekata procjene režima vode i sedimenta. Za uspješno upravljanje kakvoćom voda u sklopu integralnoga upravljanja riječnim slivom potrebno je provesti matematičko modeliranje s različitim scenarijima i procjenom pritiska i utjecaja na vodu. Sve navedeno u ovom radu ukazuje da je predložena inovativna metodologija praćenja kakvoće površinskih voda potrebna radi unaprjeđenja nadzornog i operativnog monitoringa kakvoće površinskih voda rijeke Sutle. Razvijeni DPSIR pristup, s većom upotrebom pokazatelja orijentiranih na stanje/utjecaje usmjerene na monitoring stanja voda korištenjem pokazatelja orijentiranih na utjecaje u korelaciji s pokazateljima orijentiranim na pritisak, može pomoći u osmišljavanju monitoringa kakvoće površinskih voda "po mjeri" riječnog sliva vodeći brigu o prirodnim uvjetima riječnog sliva i zaštićenih područja NATURA 2000. Vezano uz lokacije hidroloških mjernih postaja i postaja za mjerenje kakvoće voda, postoji

potreba za gušćom mrežom promatračkih točaka za svako vodno tijelo i položaja u vodnom tijelu u odnosu na točkaste i raspršene izvore onečišćenja. Treba naglasiti da zdravi ekosustavi u zaštićenim područjima NATURA 2000, koji mogu pružati usluge ekosustava, trebaju imati odgovarajuću kakvoću voda za određeni tip vodotoka.

## ZAHVALA

Ovaj rad je sufinanciralo Sveučilište u Rijeci projektima: Implementiranje inovativnih metodologija, tehnologija i alata za osiguravanje održivog upravljanja vodama (23-67) i Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od posljedica klimatskih promjena na krškim područjima (23-74) ■

## LITERATURA

Ćosić-Flajsig, G.; Karleuša, B.; Glavan, M. 2021. Integrated Water Quality Management Model for the Rural Transboundary River Basin – Case Study of the Sutla /Sotla River. *Water*. 13(18): 2569.

Ćosić-Flajsig, G.; Karleuša, G.; Vučković I.; Glavan M. 2022. Significance of Hydromorphological and Sediment Analysis in River Basin Water Quality Management. *Environmental Sciences Proceedings 21(14). Conference: EWaSS. 12–15 July Naples.*

Ćosić-Flajsig, G. 2023. Model integralnoga upravljanja kakvoćom voda ruralnoga prekograničnoga riječnog sliva. Doktorski rad. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Rijeka.

Elektroprojekt d.o.o. i Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek Sveučilišta u Zagrebu. 2018. Sustavno ispitivanje hidromorfoloških elementa kakvoće u rijekama u 2016. i 2017. g. Zagreb. 474 str.

EN 15843, 2010 Water quality – Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology.

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.

Europska unija. (EU) 2000. EU Water framework Directive, Directive 2000/60/EC. *European Parliament, and Council.* Europska unija: Maastricht. The Netherlands.

European Communities. 2003. Guidance Document No 7 Monitoring under the Water Framework Directive. *Produced by Working Group 2.7.*

Europska unija. 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. *Technical Report - 2010 - 041.*

FRISCO project 2020. <https://www.friscoproject.eu> (pristupljeno: 16. veljače 2022.).

Habash, A. S. H. H.; Anas Mohamed El-Molla, A. M.; Shaban, M. S. M. A. i Abdelall, M. A. 2018. Tailor-made protocol for assessing water quality of irrigation canals: Case study of El-Nubaria canal, Egypt. *Water Science*. 32:2: 380–399.

Hrvatske vode. 2016. Metodologija monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja.

Hrvatske vode. 2021. Izvadak iz registra vodnih tijela Hrvatskih voda – Stanje vodnih tijela površinskih voda rijeke Sutle. *Zahtjev za pristup informacijama upućen Hrvatskim vodama.*

Hrvatske vode. 2022. Plan monitoringa stanja voda u Republici Hrvatskoj u 2022. godini <https://voda.hr/sites/default/files/202302/PLAN%20MONITORINGA%20STANJA%20VODA%20U%202022.%20GODINI.pdf>, (pristupljeno: 16. veljače 2022.).

Karageorgis, A.; Kapsimalis, V.; Kontogianni, A.; Skourtos, M.; Turner, K.; Salomons, W. 2006. Impact of 100-year human interventions on the Deltaic Coastal Zone of the Inner Thermaikos Gulf (Greece): A DPSIR framework analysis. *Environ. Manag.* 38: 304–315.

Narodne novine. (47/23) 2023a. Zakon o vodama.

Narodne novine. (96/19, 20/23, 50/23) 2023b. Uredba o standardu kakvoće vode, dopuna i ispravak.

Šemnički, P. 2014. Rijeka Sutla – Natura 2000 područje (Sutla River – Natura 2000 sites). Javna ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode Krapinsko-zagorske županije.

Xingqiang Song i Björn Frostell 2012. The DPSIR Framework and a Pressure-Oriented Water Quality Monitoring Approach to Ecological River Restoration. *Water*. 4(3): 670–682.

## IMPROVEMENT OF THE SURFACE WATER QUALITY MONITORING IN RURAL PROTECTED AREAS

**Abstract:** Surface water quality monitoring is one of the most important management tools for the river basin water quality management. Existing surface water quality monitoring systems were established decades ago with different goals, and therefore today are not fully harmonized to the requirements of the WFD EU. The obtained data and information used follow the difficulties of connecting the quantity and quality of surface waters due to the inconsistency of hydrological monitoring and surface water quality monitoring. This results in lack of quality data, lack of use of mathematical models, and lack of appropriate information for making reliable decisions for water quality management. The analysis of the existing water quality monitoring based on the collected available data, as well as the need for its improvement, is presented in the case study of the transboundary rural Sutla River Basin. The proposed methodology, based on the shortcomings, proposes necessary steps for the improvement of existing monitoring as the purpose of the "tailor-made" surface water quality monitoring.

**Key words:** water quality river basin management, SWAT model, transboundary rural river basin, Sutla, monitoring, holistic approach

## VERBESSERUNG DER ÜBERWACHUNG DER QUALITÄT VON OBERFLÄCHENGEWÄSSERN IN LÄNDLICHEN SCHUTZGEBIETEN

**Zusammenfassung:** Die Überwachung der Oberflächenwasserqualität ist eines der wichtigsten Instrumente für das Wasserqualitätsmanagement von Flusseinzugsgebieten. Da die bestehende Überwachung der Oberflächenwasserqualität vor mehreren Jahrzehnten mit unterschiedlichen Zielsetzungen etabliert wurde, entspricht sie den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie nicht vollständig. Bei der Verwendung von erhobenen Daten gibt es Schwierigkeiten mit der Verbindung von Quantität und Qualität von Oberflächengewässern, da die hydrologische Überwachung und die Überwachung der Oberflächengewässerqualität unkoordiniert sind. Dies führt zu einem Mangel an Qualitätsdaten, an der Verwendung mathematischer Modelle und an geeigneten Informationen für das Wasserqualitätsmanagement. Am Beispiel des grenzüberschreitenden ländlichen Wassereinzugsgebietes des Flusses Sutla (Kroatien und Slowenien) wird eine Analyse der bestehenden Überwachung der Wasserqualität und der Notwendigkeit ihrer Verbesserung dargestellt. Die vorgeschlagene Methodik führt durch die Schritte einer Verbesserung der bestehenden Überwachung zu einer maßgeschneiderten Überwachung (engl. tailor-made) der Oberflächenwasserqualität des Flusseinzugsgebietes.

**Schlüsselwörter:** Wasserqualitätsmanagement eines Flusseinzugsgebietes, SWAT-Modell, grenzüberschreitendes ländliches Flusseinzugsgebiet, Sutla, Überwachung, ganzheitlicher Ansatz