Mateja ŠKERJANEC *
dr. Matjaž GLAVAN**
doc. dr. Primož BANOVEC*

MODELIRANJE OBREMENITEV POVRŠINSKIH IN PODZEMNIH VODA ZA OCENO SCENARIJEV UPRAVLJANJA S KAKOVOSTJO VODA NA RAVNI POREČIJ

POVZETEK

Evropska vodna direktiva (2000/60/ES) med glavnimi cilji navaja vzpostavitev dobrega kemijskega in ekološkega stanja vseh vodnih teles do leta 2015. Pri implementaciji omenjenih ciljev naj bi se kot temeljno izhodišče uporabljalo načelo celostnega upravljanja z vodami, ki med drugim predvideva tudi oblikovanje ukrepov na področju kakovosti voda. Ocena vplivov izbranih ukrepov oz. scenarijev zahteva razvoj sistemov za podporo odločanju, ki temeljijo na matematičnih modelih. Z umerjenim (in validiranim) modelom lahko preigravamo različne scenarije, pri čemer ugotavljamo, kakšen učinek bi imela določena sprememba na količinsko in kakovostno stanje voda v izbranem porečju. V prispevku bomo predstavili modeliranje obremenitev površinskih in podzemnih voda s hranili (dušikom in fosforjem). V ta namen smo oblikovali matematični model, ki temelji na enačbah, uporabljenih v orodjih GWLF in SWAT. Za testno območje smo izbrali porečje potoka Kožbanjščka (Goriška Brda). Parametre modela smo umerili na podlagi razpoložljivih podatkov in terenskih meritev, napovedno sposobnost modela pa smo ocenili s pomočjo izbranih statističnih kazalcev. Z modelom smo dosegli dobro hidrološko kalibracijo. Več težav smo imeli pri simulaciji dnevnih obremenitev s sedimentom in hranili. Na osnovi rezultatov kalibracije smo ocenili, da je model primeren za (grobo) oceno obstoječih in predvidenih obremenitev vodotoka s hranili. Z umerjenim modelom smo testirali scenarij načrtovane ureditve odvajanja in čiščenja odpadne vode z obravnavanega območja, pri čemer je predvidena zamenjava obstoječih greznic z malimi čistilnimi napravami in ureditev kanalizacijskega sistema s pripadajočo čistilno napravo v naselju Hruševlje (80 prebivalcev). Izkazalo se je, da bi se z izvedbo načrtovane ureditve obremenitev odvodnika s celotnim dušikom na letnem nivoju zmanjšala za 2,4 %, obremenitev s celotnim fosforjem pa bi se povečala za 1,3 %.

1 UVOD

Evropska vodna direktiva (2000/60/ES) med glavnimi cilji navaja vzpostavitev dobrega kemijskega in ekološkega stanja vseh vodnih teles do leta 2015 ter preprečevanje slabšanja stanja voda. Pri implementaciji omenjenih ciljev naj bi se kot temeljno izhodišče uporabljalo načelo celostnega upravljanja z vodami, ki med drugim predvideva tudi oblikovanje ukrepov na področju kakovosti voda. Ocena vplivov izbranih ukrepov oz. scenarijev zahteva razvoj sistemov za podporo odločanju, ki temeljijo na matematičnih modelih. V preteklosti je bilo razvitih več modelov oz. orodij za modeliranje hidroloških procesov in kakovosti voda na ravni porečij (npr. Arnold in Fohrer, 2005; Schwarz in sod., 2006; Haith in Shoemaker, 1987). Ta se med seboj razlikujejo predvsem v načinu konceptualnega prikaza porečij, v tem, kako podrobno opisujejo posamezne okoljske procese, v uporabi matematičnih izrazov za opis omenjenih procesov ter ne nazadnje v količini podatkov, potrebnih za umerjanje modela in izvajanje simulacij.

Pri modeliranju procesov na ravni porečij nas običajno zanimata generiran površinski in podzemni tok vode ter njun posledični vpliv na obremenitev glavnega odvodnika s sedimentom in hranili. Ker na omenjene procese pomembno vpliva vodna bilanca, predstavlja osnovo za natančno napovedovanje transporta hranil in sedimenta predvsem pravilen hidrološki model, s katerim poskušamo čim bolj natančno opisati dinamiko kroženja vode v opazovanem porečju. V sklopu hidroloških procesov nas

* Mateja ŠKERJANEC, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., *doc. dr. Primož BANOVEC, univ. dipl. inž. grad., Inštitut za vodarstvo, d.o.o., Hajdrihova 28a, 1000 Ljubljana
** dr. Matjaž GLAVAN, univ. dipl. inž. agr. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

zanimajo predvsem efektivne padavine, ki predstavljajo površinski odtok, in pa vodne izgube. Določene vodne izgube (npr. infiltracija in pronicanje) omogočajo vračanje vode v sistem v obliki podpovršinskega toka, medtem ko druge vodne izgube (npr. evapotranspiracija in globoko pronicanje) dejansko prispevajo k trajni izgubi vode iz opazovanega porečja. Površinski in podpovršinski tok povzročata erozijo in izpiranje hranil iz tal v različne površinske in podzemne odvodnike oz. vodne zbiralnike. Poleg naravnega kroženja vode in posledičnih obremenitev s hranili moramo upoštevati tudi antropogene vire onesnaženja, bodisi razpršene (tu imamo v mislih predvsem kmetijstvo) ali točkovne (v obliki čistilnih naprav in industrijskih izpustov).

Namen tega prispevka je predstaviti modeliranje obremenitev površinskih in podzemnih voda s hranili (dušikom in fosforjem), in sicer s posebej oblikovanim matematičnim modelom. Ta za opis zgoraj omenjenih procesov uporablja kombinacijo enačb, ki jih uporabljata orodji GWLF (Haith in Shoemaker, 1987) in SWAT (Arnold in Fohrer, 2005). Poudarek bo predvsem na postopku kalibracije izbranega modela, na katerega pomembno vpliva razpoložljivost meritev, ter na uporabi umerjenega modela za oceno stanja po izvedbi načrtovanega ukrepa (v našem primeru predvidene ureditve odvajanja in čiščenja odpadnih voda). Pri tem je bil razvit lasten model obremenitve s hranivi na nivoju povodja ob upoštevanju enačb, ki jih za opis procesov uporabljata navedeni orodji, ob tem pa se je modelirala dokaj natančno hidrologija obravnavanega povodja, bolj poenostavljeno pa se je modeliral podzemni tok vode in hraniv.

2 METODE DELA

V nadaljevanju sledi kratka predstavitev izbranega testnega območja. Podan bo tudi opis postopka kalibracije in uporabljenih statističnih kazalcev za oceno napovedne sposobnosti modela.

2.1 OPIS OBMOČJA

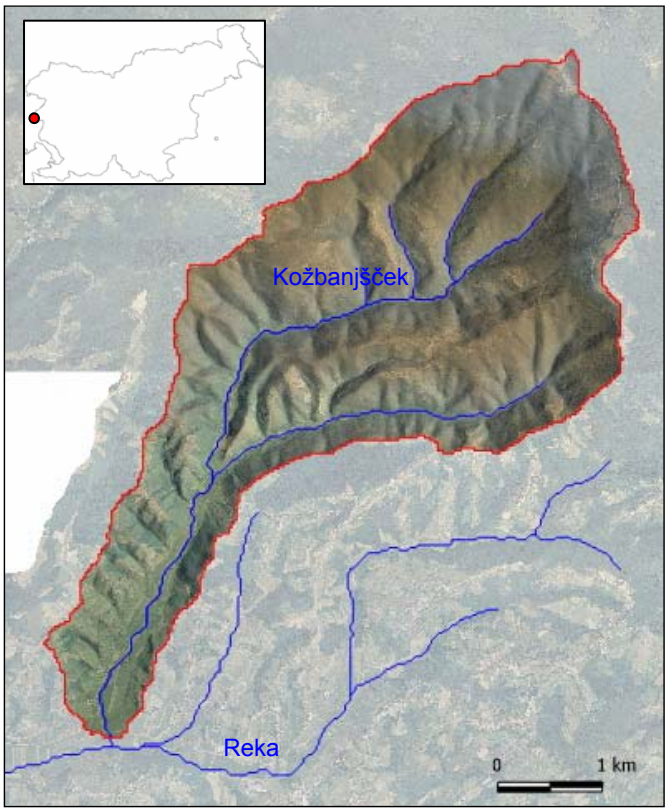
Porečje potoka Kožbanjščka meri 15 km^2. Nahaja se v zahodnem delu države, na območju občine Goriška Brda. Potok izvira pod vznožjem hriba Korada in se v naselju Neblo izliva v reko Reko. Relief prispevnega območja Kožbanjščka je razgiban, z nadmorskimi višinami med 81 m in 790 m (slika 1). Povprečni padec terena znaša 35 %. Največje naselje v porečju je Neblo s cca. 200 prebivalci, sicer pa prevladuje razpršena poselitev v obliki posameznih zaselkov.

Geološka sestava porečja je relativno preprosta in homogena. Prevladujejo sedimenti eocenskega fliša, sestavljeni iz glinavcev, laporja in peščenjaka. Na eocenskem flišu so se razvila evtrična rjava tla z meljasto ilovnato do glinasto strukturo. Zanje sta značilna večji površinski odtok in večja nevarnost erozije.

Zaradi nepropustne flišne geološke podlage porečja je rečna mreža dokaj razvejana. Podzemne vode praktično ni. Značaj potoka je hudourniški in mediteranski. Ob večjih nalivih se zaradi nepropustnosti tal tvori površinski odtok, ki hitro napolni strugo, v poletnem sušnem obdobju pa lahko potok tudi presahne. Za Kožbanjšček so značilni visoki pretoki v jesensko zimskem času (okt.–jan.) in delno spomladi (apr.) ter izredno nizki pretoki v poletnem času.

Na obravnavanem območju prevladuje submediteransko podnebje. Temperature, izmerjene na bližnji meteorološki postaji Bilje, se gibljejo med 38,6 °C v poletnih mesecih in −11,7 °C v zimskih mesecih. Povprečna letna količina padavin znaša cca. 1400 mm. Največ padavin zapade v jesenskem (sept.–nov.), najmanj pa v zimskem obdobju (jan.−marec).

Po podatkih baze grafičnih enot rabe kmetijskih gospodarstev (GERK) več kot 70 % površine porečja prekriva gozd. Vinogradi z več kot 10 % zasedajo drugo mesto. Tretji po površini so trajni travniki (8,5 %). Sledijo jim sadovnjaki (4,8 %) in pozidano območje (4,1 %). Gozd v večini primerov porašča strme in senčne predele, ki so neprimerni za vinogradništvo. Slednje se je razvilo na sončnih južnih pobočjih, kjer strmine premagujejo s terasami. Med ekstenzivnimi sadovnjaki prevladujejo nasadi češenj in oljk, med intenzivnimi sadovnjaki pa nasadi breskev. Travniki so pogosti predvsem na višjih in vetru bolj izpostavljenih legah.



Slika 1: Prikaz obravnavanega območja

2.2 KALIBRACIJA MODELA

Če želimo, da bo naš model ustrezal realnemu stanju, moramo izbrati takšne vrednosti parametrov, da bo doseženo čim boljše ujemanje rezultatov modela z dejanskimi meritvami. Vrednosti parametrov običajno določimo s postopkom umerjanja oz. kalibracije, pri čemer jih usklajujemo toliko časa, dokler napaka izračuna ne doseže sprejemljive vrednosti.

Umerjanje vrednosti parametrov modela je lahko ročno ali avtomatsko. Pri ročnem umerjanju uporabljamo pristop poskus-napaka (angl. trial and error), oceno ujemanja rezultatov modela z meritvami pa podamo na osnovi vizualne primerjave. Tovrsten pristop je zamuden in subjektiven, uspešnost umerjanja modela pa je v veliki meri odvisna od izkušenj modelarja. Pri avtomatskem umerjanju vlogo modelarja prevzame izbrano orodje oz. algoritem, ki s sistematičnim spreminjanjem vrednosti parametrov išče najboljše ujemanje rezultatov modela z meritvami. Čeprav je tovrstno umerjanje modelov v primerjavi z ročnim hitrejše, ni nujno tudi bolj učinkovito (Van Liew in sod., 2005).

Za izbrano območje smo razpolagali z dnevnimi vrednostmi meteoroloških podatkov, izmerjenih na postajah Bilje in Vedrijan, ter s pretoki, izmerjenimi na hidrološki postaji Neblo (šifra 8700). Za obdobje med 1. julijem 2008 in 30. junijem 2009 smo pridobili tudi meritve koncentracij suspendiranega sedimenta in hranil (nitratnega dušika in celotnega fosforja), ki so bile opravljene na lokaciji že omenjene hidrološke postaje Neblo (Glavan, 2011).

Kalibracija modela je bila izvedena ročno, z namenom raziskovanja učinkov uporabljenih parametrov na rezultate modela. Umerjanje je bilo izvedeno posebej za pretok, sediment in hranila. Za oceno napovedne sposobnosti umerjenega modela smo uporabili štiri statistične kazalce (preglednica 1):

- Pearsonov koeficient korelacije r,
- koeficient Nash-Sutcliffe oz. NS (Nash and Sutcliffe, 1970),
- odstotek pristranskosti (angl. percent bias oz. PBIAS; Moriasi in sod., 2007) in
- razmerje med korenom povprečne kvadratne napake (RMSE) in standardnim odklonom (ang. RMSE – observations' standard deviation ratio oz. RSR; Moriasi in sod., 2007).

Preglednica 1: **Ocena napovedne sposobnosti modela v odvisnosti od izbrane spremenljivke (pretok, sediment, hranila) in statističnih kazalcev (prirejeno po Moriasi in sod., 2007 in Van Liew in sod., 2003)**

Napovedna sposobnost modela	r in NS	RSR	PBIAS		
			Pretok	Sediment	Hranila
Zelo dobra	0,75 - 1,00	0 - 0,5	< ±10	< ±15	< ±25
Dobra	0,65 - 0,75	0,5 - 0,6	±10 - ±15	±15 - ±30	±25 - ±40
Zadovoljiva	0,50 - 0,65	0,6 - 0,7	±15 - ±25	±30 - ±55	±40 - ±70
Nezadovoljiva	< 0,5	> 0,7	> ±25	> ±55	> ±70

3 REZULTATI KALIBRACIJE

Za kalibracijo modela smo izbrali obdobje med 1. julijem 2008 in 30. junijem 2009, ker smo imeli za to obdobje na razpolago največ merjenih podatkov. Povzetek rezultatov kalibracije je podan v preglednicah 2 in 3.

Preglednica 2: **Primerjava osnovnih statističnih parametrov za merjene in simulirane vrednosti izbranih spremenljivk**

	Pretok [m^3/s]		Sediment [t/dan]		TN [kg/dan]		TP [kg/dan]	
	meritev	simulacija	meritev	simulacija	meritev	simulacija	meritev	simulacija
Povprečje	0,40	0,46	2,93	3,17	48,40	38,59	6,40	6,69
Mediana	0,07	0,02	0,12	0,00	4,38	1,53	0,20	0,14
St. odklon	1,02	1,27	26,33	21,20	146,09	121,26	47,03	32,81
Min.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Maks.	10,45	14,08	407,32	347,23	1.208,75	1.654,68	638,52	523,57

Preglednica 3: **Primerjava vrednosti izbranih statističnih kazalcev za obdobje umerjanja (1.7.2008 - 30.6.2009)**

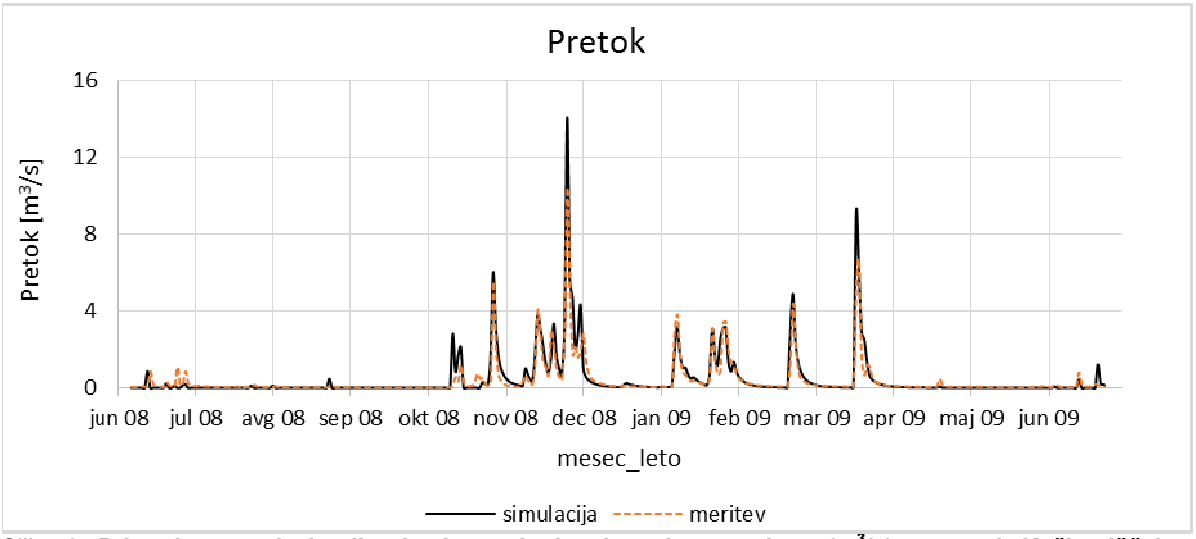
Statistični kazalec	Pretok	Sediment	TN	TP
r	0,932	0,751	0,805	0,715
NS	0,763	0,562	0,643	0,511
RSR	0,487	0,662	0,598	0,699
PBIAS	-15,358	-8,401	20,267	-4,565

Iz preglednice 2 je razvidno, da izbrani model v splošnem nekoliko preceni povprečne vrednosti izbranih spremenljivk (z izjemo celotnega dušika). Model popolnoma ujame minimalne izmerjene vrednosti spremenljivk, medtem ko maksimalne vrednosti bodisi preceni (v primeru pretoka in celotnega dušika) oz. podceni (v primeru sedimenta in celotnega fosforja). Primerjava vrednosti izračunanih statističnih kazalcev, podanih v preglednici 3, z razponi vrednosti za oceno napovedne sposobnosti modela (preglednica 1), kažejo na zadovoljivo do zelo dobro ujemanje rezultatov modela z meritvami.

V nadaljevanju sledi bolj podroben opis posameznih faz kalibracije z diskusijo.

3.1 PRETOK

V postopku hidrološke kalibracije smo umerjali simuliran povprečni dnevni pretok glede na merjen povprečni dnevni pretok (v m^3/s). Vrednosti izbranih parametrov smo spreminjali ročno, v okviru pričakovanih razponov, dokler nismo dosegli zadovoljivega ujemanja med merjenimi in simuliranimi pretoki. Primerjava osnovnih statističnih parametrov (preglednica 1) kaže na to, da je model nagnjen k precenjevanju vrednosti pretokov, kar potrjuje tudi negativna vrednost parametra PBIAS (preglednica 3). Ostali statistični kazalci kažejo na zelo dobro ujemanje rezultatov modela z meritvami (r = 0,932; NS = 0,763; RSR = 0,487). Rahla tendenca precenjevanja visokih pretokov (predvsem v jesenskem in zimskem času) je razvidna tudi iz slike 2.



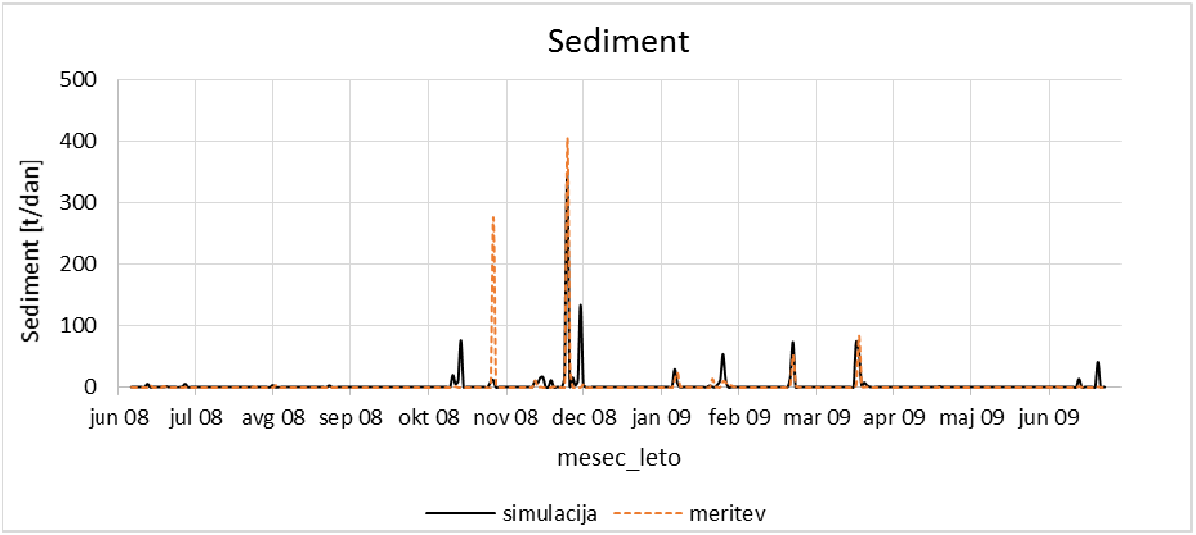
Slika 2: **Primerjava med simuliranim in merjenim dnevnim pretokom (m^3/s) za potok Kožbanjšček, za obdobje 1.7.2008 do 30.6.2009**

3.2 SEDIMENT

Po izvedeni hidrološki kalibraciji smo nadaljevali s kalibracijo erozije sedimenta s prispevne površine Kožbanjščka. Količina suspendiranega sedimenta (t/dan), na podlagi katere smo umerjali model, je bila izračunana kot produkt izmerjene koncentracije sedimenta (mg/l) in srednjega dnevnega pretoka (m^3/s).

Statistični kazalci za oceno napovedne sposobnosti modela kažejo na nekoliko slabše vrednosti kazalcev NS (0,562) in RSR (0,662). Vrednost PBIAS sodi v kategorijo zelo dobrih rezultatov, saj je odstopanje manjše od 15 % (Moriasi in sod., 2007).

Slika 3 prikazuje primerjavo rezultatov modela z meritvami. Po pričakovanjih največ sedimenta erodira v zimskem in zgodnje spomladanskem času, ko so tla v kombinaciji z obdelavo tal in vplivom vremenskih pojavov najbolj izpostavljena. Iz rezultatov je razvidno, da model v primeru določenih dogodkov preceni oz. podceni količino suspendiranega sedimenta v vodotoku. Eden izmed možnih razlogov za omenjeno odstopanje je, da so se skozi celotno obdobje opravljanja meritev v obravnavanem porečju izvajala različna zemeljska dela (širitev in obnova vinogradov), ki jih v modelu ni bilo mogoče zajeti.



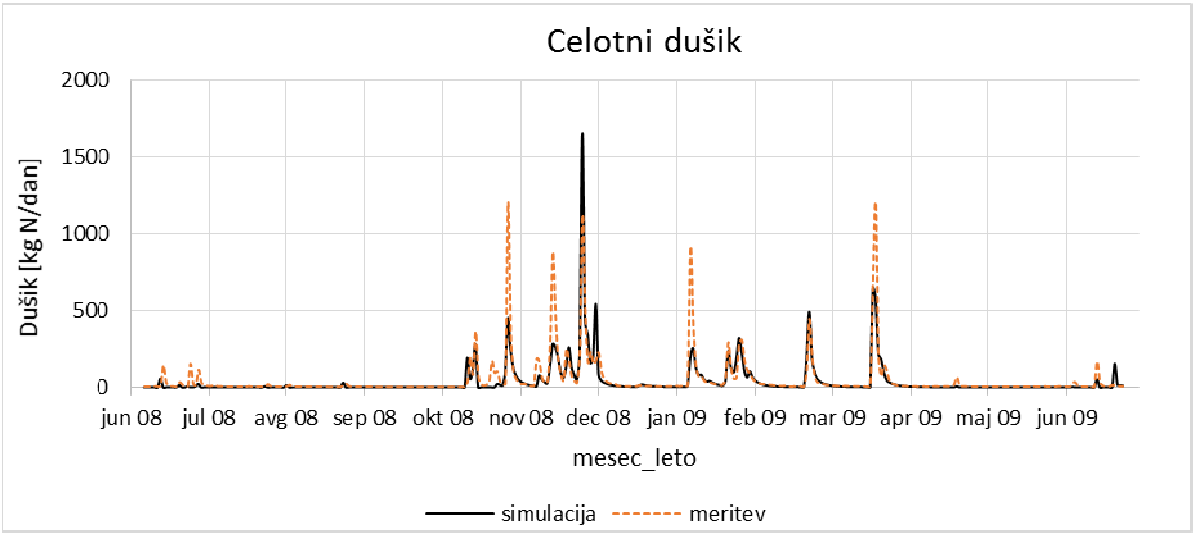
Slika 3: **Primerjava med simuliranimi in merjenimi dnevnimi količinami suspendiranega sedimenta (t/dan) za potok Kožbanjšček za obdobje 1.7.2008 do 30.6.2009**

3.3 CELOTNI DUŠIK

Na nivoju porečja predstavlja celotni dušik (TN) vsoto organskega, nitratnega, amonijevega in nitritnega dušika, izraženo v kilogramih dušika (kg N). V našem primeru je kalibracija temeljila na enoletnem nizu povprečnih dnevnih vrednosti nitrata, izmerjenih z nitratno sondo (Glavan, 2011). Odnos med nitratom (NO_3) in nitratnim dušikom (NO_3-N) je bil določen kot 1 mg/l NO_3-N je 4,4 mg/l NO_3. Na osnovi rezultatov predhodno izvedene študije (Glavan, 2011) smo predpostavili, da predstavlja nitratni dušik cca. 70 % celotnega dušika. V procesu kalibracije smo tako primerjali ocenjene in simulirane vrednosti celotnega dušika.

Glede na to, da je dušik zelo mobilen, je ustrezno natančnost modela težje doseči, še posebej zaradi pomanjkanja detajlnih podatkov ter velike (časovne in prostorske) heterogenosti pridelave poljščin in uporabe gnojil, ki je z našim modelom ni mogoče upoštevati. Na podlagi vrednosti izbranih statističnih kazalcev (preglednica 3) lahko ocenimo, da je bila kalibracija dušika v splošnem dobra. Vrednost PBIAS sodi v kategorijo zelo dobrih rezultatov, saj je bilo odstopanje vrednosti v rangu 25 % (Moriasi in sod., 2007).

Iz slike 4 je razvidno, da model dobro sledi merjenim podatkom, saj se časovno pravilno odziva na pojav maksimalnih in minimalnih količin, ki so močno povezane z dinamiko letnih časov. Razvidno je tudi to, da so količine celotnega dušika v reki v zimskem obdobju višje kot v poletnem.

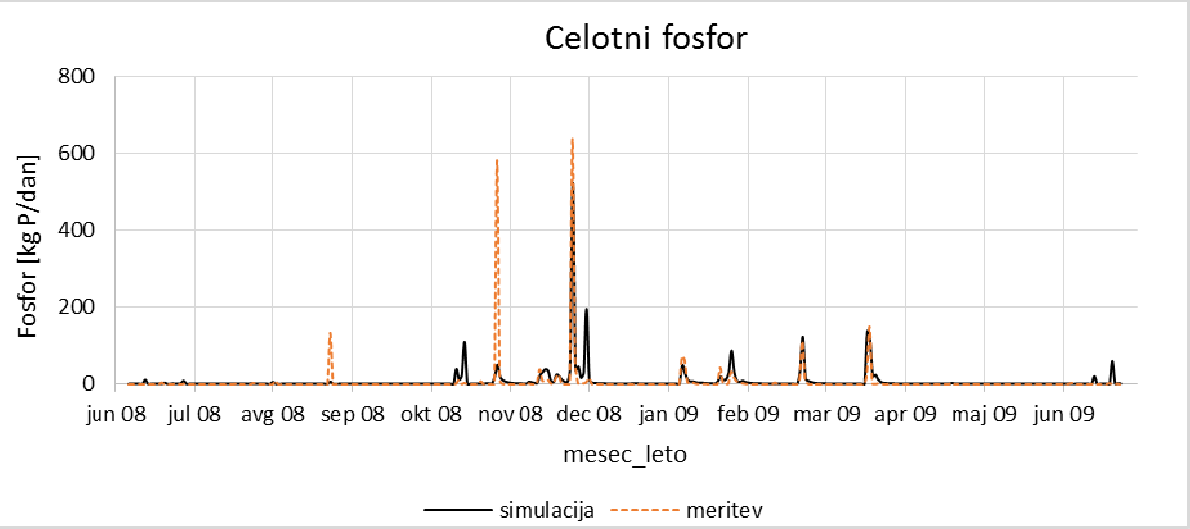


Slika 4: **Primerjava med simuliranimi in ocenjenimi dnevnimi količinami celotnega dušika (kg/dan) za potok Kožbanjšček za obdobje 1.7.2008 do 30.6.2009**

3.4 CELOTNI FOSFOR

Podatki, potrebni za umerjanje fosforja, so bili zagotovljeni z meritvami celotnega fosforja na dnevnem nivoju (Glavan, 2011). Napovedna uspešnost modela je z vidika vseh obravnavanih statističnih kazalcev (preglednica 3) primerljiva z napovedno sposobnostjo modela za sediment. Slednje je pričakovano, saj je zaradi adsorpcije na delcih sedimenta kalibracija fosforja močno vezana na predhodno kalibracijo erozije sedimenta.

Model načeloma dobro ujame vse izmerjene vrhove, z izjemo dveh, izmerjenih v avgustu in oktobru 2008 (slika 5). Oktobrski vrh je posledica visoke izmerjene koncentracije suspendiranega sedimenta v vodotoku (slika 3), medtem ko je vrh, izmerjen v avgustu, očitno posledica nenadnega izpusta, ki ga z modelom ni bilo mogoče zajeti in za katerega ni enostavne razlage.



Slika 5: **Primerjava med simuliranimi in ocenjenimi dnevnimi količinami celotnega fosforja (kg/dan) za potok Kožbanjšček za obdobje 1.7.2008 do 30.6.2009**

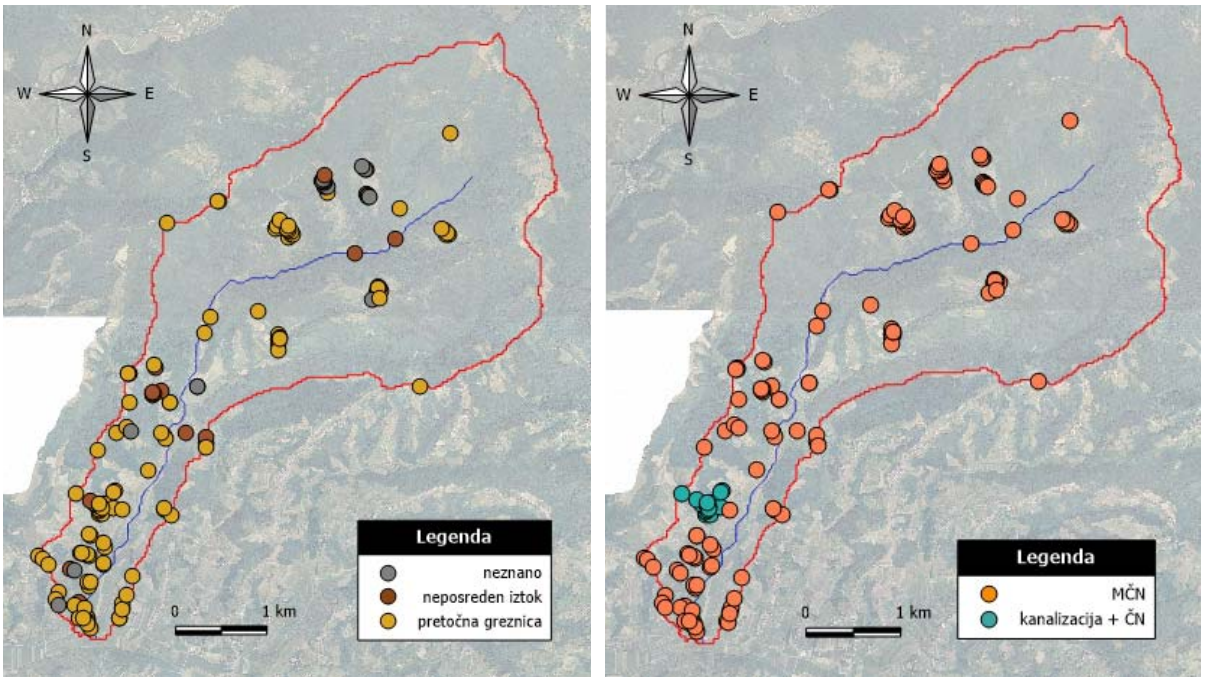
4 UPORABA UMERJENEGA MODELA ZA OCENO STANJA PO IZVEDBI NAČRTOVANEGA UKREPA

Z umerjenim modelom izbranega porečja lahko preigravamo različne scenarije, pri čemer ugotavljamo, kakšen učinek bi imela določena sprememba na količinsko in kakovostno stanje voda v izbranem porečju. Spremembe, katerih vplive lahko preiskujemo z našim modelom, vključujejo spremembe namembnosti oz. rabe zemljišč, ki imajo za posledico spremembo režima površinskega in podpovršinskega toka vode, spremembe v načinu odvajanja odpadne vode in obdelave tal ter podnebne spremembe.

V našem primeru smo se odločili za testiranje scenarija načrtovane ureditve odvajanja in čiščenja odpadne vode z obravnavanega območja. V sklopu projekta *Čezmejno sodelovanje za zmanjšanje onesnaževanja okolja, varstvo in koordinirano upravljanje povodja Soče-Isonzo preko zbiranja in čiščenja komunalnih odpadnih voda - Občina Remanzacco* je bilo evidentirano trenutno in predvideno stanje odvajanja in čiščenja odpadnih voda za celotno občino Brda. Na prispevnem območju Kožbanjščka je predvidena zamenjava obstoječih greznic z malimi čistilnimi napravami (MČN) in ureditev kanalizacijskega sistema s pripadajočo čistilno napravo (ČN) v naselju Hruševlje (slika 6).

Glede na to, da terciarna stopnja čiščenja za MČN ni zakonsko predpisana, smo predpostavili, da bo učinek odstranjevanja dušika in fosforja enak, kot je bil v primeru pretočnih greznic. Za načrtovano ČN v naselju Hruševlje smo predpostavili sekundarno stopnjo čiščenja, pri kateri se odstrani cca. 40 % celotnega dušika in 30 % celotnega fosforja (Lin, 2001). Pričakovano obremenitev z dušikom in fosforjem iz ČN smo izračunali kot produkt števila priključenih prebivalcev (80) in specifične dnevne obremenitve s posameznim hranilom na prebivalca. Za specifično obremenitev z dušikom smo predpostavili vrednost 12 g N/(preb·dan), za specifično obremenitev s fosforjem pa 1,5 g P/(preb·dan) (Tchobanoglous in sod., 2003). Izračunano obremenitev smo zmanjšali na osnovi že omenjene pričakovane stopnje čiščenja.

Rezultati za izbrani kontrolni profil Kožbanjščka so pokazali, da bi se v primeru izvedbe načrtovane ureditve obremenitev odvodnika z celotnim dušikom na letnem nivoju zmanjšala za 2,4 %, medtem ko bi se obremenitev s celotnim dušikom povečala za 1,3 % (preglednica 4).



Slika 6: **Obstoječe (levo) in predvideno stanje (desno) odvajanja in čiščenja odpadne vode s prispevnega območja potoka Kožbanjščka**

Preglednica 4: **Primerjava povprečnih dnevnih in letnih obremenitev z dušikom in fosforjem, za obstoječe in predvideno stanje odvajanja in čiščenja odpadne vode s prispevnega območja potoka Kožbanjščka**

	TN [kg/dan]		TP [kg/dan]	
Obremenitev	Obstoječe stanje	Predvideno stanje	Obstoječe stanje	Predvideno stanje
Povprečna dnevna	38,59	37,66	6,69	6,77
Letna	14.084,76	13.746,84	2.441,47	2.472,13

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da je z vidika obremenitve vodotoka s celotnim fosforjem koncentriran iztok iz ČN bolj neugoden za stanje kakovosti na izbranem kontrolnem profilu, kot pa razpršeno onesnaženje iz posameznih greznic oz. MČN.

5 ZAKLJUČKI

V predstavljenem prispevku smo izbrani model umerili na enoletni niz meritev pretokov, sedimenta in hranil. Validacija modela za opazovano območje zaradi pomanjkanja podatkov ni bila izvedena. Kalibracija pretokov je pokazala dobro ujemanje z merjenimi podatki, z rahlo tendenco precenjevanja visokih pretokov, predvsem v jesenskem in zimskem času. Kalibracija sedimentov je bila nekoliko slabša. Eden izmed možnih razlogov za to je, da so se skozi celotno obdobje opravljanja meritev v obravnavanem porečju izvajala različna zemeljska dela (širitev in obnova vinogradov), ki jih v modelu ni bilo mogoče zajeti. Kalibracija celotnega dušika je pokazala visoko dnevno variabilnost rezultatov modela, ki je tesno povezana s površinskim odtokom in posledično s pretokom v odvodniku. Model dobro sledi merjenim podatkom, saj se časovno pravilno odziva na pojav maksimalnih in minimalnih količin, ki so močno povezane z dinamiko letnih časov. Rezultati kalibracije fosforja so podobni rezultatom kalibracije sedimenta, kar je pričakovano, saj se fosfor prednostno premika adsorbiran na delcih sedimenta.

Na osnovi rezultatov kalibracije smo ocenili, da je model primeren za (grobo) oceno obstoječih in predvidenih obremenitev vodotoka s hranili. Z umerjenim modelom smo testirali scenarij načrtovane ureditve odvajanja in čiščenja odpadne vode z obravnavanega območja, pri čemer je predvidena zamenjava obstoječih pretočnih greznic z malimi čistilnimi napravami in ureditev kanalizacijskega sistema s pripadajočo čistilno napravo v naselju Hruševlje (80 prebivalcev). Izkazalo se je, da bi se z izvedbo načrtovane ureditve obremenitev odvodnika z dušikom zmanjšala, obremenitev s fosforjem pa bi se celo nekoliko povečala. Tako bi se na letnem nivoju obremenitev s celotnim dušikom zmanjšala

za 2,4 %, obremenitev s celotnim fosforjem pa bi se povečala za 1,3 %. Glede na to, da je potok Kožbanjšček hudourniškega značaja in da lahko v poletnem sušnem obdobju tudi presahne, je konstantna koncentrirana obremenitev s fosforjem iz ČN lahko bolj neugodna, kot pa razpršeno onesnaženje iz posameznih greznic oz. MČN.

Ugotovimo lahko, da je modeliranje procesov, ki opredeljujejo parametre kakovosti voda, ključnega pomena za optimizacijo rabe omejenih (finančnih, človeških, prostorskih) virov, s katerimi lahko dosegamo izboljšanje kakovosti voda oziroma vodnih teles. Z umerjenim (in validiranim) modelom lahko preigravamo različne scenarije, pri čemer ugotavljamo, kakšen učinek bi imela določena sprememba na količinsko in kakovostno stanje v izbranem povodju. Pri tem je potrebno izpostaviti, da spremljanje (ekološkega in kemijskega) stanja vodnih teles ne sme biti namenjeno samo opazovanju trendov v smislu indikatorja stanja, temveč je potrebno imeti v mislih tudi kalibracijo modelov pritiskov na vode in preko kalibriranih modelov tudi optimizacijo načrtovanih ukrepov. Večja pogostost izvajanja meritev in večja variabilnost zajetih podatkov omogočata bolj natančno kalibracijo in simulacijo ter posledično bolj zanesljivo oceno možnih scenarijev upravljanja s kakovostjo voda na ravni porečij.

Končni rezultat uporabe tovrstnih modelov so seveda jasni ekonomski in tudi finančni prihranki ter boljša raba omejenih virov, saj si v času zategovanja pasu ne moremo privoščiti investicij v ukrepe, ki ne predstavljajo bistvenega izboljšanja obstoječega stanja oz. ga še dodatno poslabšujejo.

Nadaljnje delo bi bilo mogoče vsekakor usmeriti na področje bolj poglobljenega modela presnavljanja in transporta ostalih elementov, ki sestavljajo odpadne vode, kot so: koliformne bakterije, fitofarmacevtska sredstva, prioritetne snovi, poleg tega pa tudi v podrobnejši vpogled v procese kroženja fosforjevih in dušikovih spojin.

LITERATURA

Arnold, J.G., Fohrer, N. 2005. SWAT2000, current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. Hydrol. Process. 19, 3: 563-572.

Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike. UL L št. 327/1, 22.12.2000: 275-346.

Glavan, M. 2011. Vpliv spremenjene rabe zemljišč na količino in kakovost vode v reki Reki v Goriških Brdih in reki Dragonji. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 222 str.

Haith, D.A., Shoemaker, L.L. 1987. Generalized watershed loading functions for stream flow nutrients. Water Resour. Bull. 23: 471-478.

Lin, S.D. 2001. Water and Wastewater Calculations Manual. New York, McGraw-Hill: 854 str.

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. Trans. ASABE 50: 885-900.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. J. Hydrol. 10, 3: 282-290.

Schwarz, G.E., Hoos, A.B., Alexander, R.B., Smith, R.A. 2006. The SPARROW Surface Water-Quality Model – Theory, Application and User Documentation. V: U.S. Geological Survey Techniques and Methods. Book 6, Section B, Chapter 3. Reston, VA, USGS: 248 str.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. Boston, McGraw-Hill: 1819 str.

Van Liew, M.W., Arnold, J.G., Garbrecht, J.D. 2003. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. Trans. ASABE 46, 6: 1539-1551.

Van Liew, M.W., Arnold, J.G., Bosch, D.D. 2005. Problems and potential of autocalibrating a hydrological model. Trans. ASAE 48, 3:1025-1040.