

# VPLIV TRANSPORTA RINJENIH PLAVIN NA POPLAVNO OGROŽENOST V POREČJU SAVE DOLINKE DO JESENIC

Luka Javornik<sup>1</sup>, Sašo Šantl<sup>2</sup>

## Povzetek

Leta 2022 se je začel izvajati skupen partnerski projekt za pripravo podlag za strategijo upravljanja naplavin v porečju reke Save. V okviru strategije smo pripravili dvodimenzionalen model transporta rinjenih plavin za izračun količin, bilance in ključnih lokacij odlaganja ter erozije v najbolj prodonosnem delu porečja reke Save v porečju Save Dolinke na severozahodu Slovenije. Rinjene plavine so plavine, ki se premeščajo po dnu ali poskakujejo v vodni tok, vendar ostajajo v bližini rečnega dna. S stališča velikosti zrn so te plavine večje od dva milimetra. Lebdeče oziroma suspendirane plavine so tiste plavine, ki potujejo neovirano s tokom v času srednjih in povišanih pretokov in so posledica spiranja zemljin (Mikoš, 2012). Navadno so to vrste glin, melja in tudi drobnega peska. Robni pogoji modela transporta rinjenih plavin so bili določeni za tri hidrološke scenarije, in sicer enkratni dogodek s konico velikosti  $Q_{100}$  ter za vodnato in sušno leto. Rezultati prikazujejo zmogljivost transporta rinjenih plavin vzdolž posameznega odseka modeliranja, reprezentativna območja s preseženimi ravnmi erozije in predvsem območja odlaganja. Poseben poudarek smo namenili določitvi območij, kjer se zadržuje preveč rinjenih plavin in je s tem posledično lahko povečana poplavna ogroženost v porečju Save Dolinke do Jesenic. Rezultati modela transporta rinjenih plavin skupaj s strokovno oceno transportiranih količin rinjenih plavin in terensko oceno vodovarstvenih nadzornikov o količinah odloženih oziroma erodiranih rinjenih plavin vzdolž Save Dolinke do Jesenic so pokazali na lokacije, kjer lahko pričakujemo povečano poplavno ogroženost zaradi močno neravnovesnega stanja transportne zmogljivosti Save Dolinke.

## THE IMPACT OF THE BEDLOAD TRANSPORT ON FLOOD RISK IN THE SAVA DOLINKA RIVER BASIN UP TO JESENICE

### Abstract

In 2022, a joint partnership project was initiated to prepare the basis for a strategy of managing sediments in the Sava River basin. As part of this strategy, a two-dimensional model of the bedload transport was used to calculate quantities, balance, and key deposition and erosion locations in the most bedload-laden part of the Sava Dolinka River basin in north-western Slovenia. The term bedload refers to sediments that move along the riverbed or saltate in the water flow, remaining close to the riverbed, with particle sizes larger than 2 mm. Floating or suspended sediments, on the other hand, are sediments that travel freely during average and elevated water discharges, and are a consequence of soil particles erosion (Mikoš, 2012). They mainly consist of clays, silts, and fine sands. The boundary conditions of the bedload transport model were determined for three hydrological scenarios: a single event with a peak discharge of  $Q_{100}$  and for both a wet and a dry hydrological year. The results demonstrate the bedload transport capacity along individual sections of the model, representative areas with increased erosion depths, and, most importantly, the areas of increased sedimentary deposit thickness. Particular emphasis was given to identifying areas where excessive bedload accumulates, which could consequently increase the flood risk in the Sava Dolinka River basin up to Jesenice. The results of the bedload transport model, combined with expert estimates of the bedload transported quantities, together with field evaluations by water protection supervisors, identified locations of the potential flood risk increase is due to the significantly unbalanced transport capacity conditions in the Sava Dolinka River.

<sup>1</sup> mag., Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ulica 6, Ljubljana, luka.javornik@izvrs.si

<sup>2</sup> dr., Inštitut za vode Republike Slovenije, Einspielerjeva ulica 6, Ljubljana, saso.santl@izvrs.si

## UVOD

Za ohranitev zveznosti rek, zmanjšanje poplavne in erozijske nevarnosti, ohranjanje stabilnosti rečne struge in raznolikosti habitatov ter zagotavljanje dobrega ekološkega stanja je bistveno vzpostaviti

strategijo upravljanja plavin na nacionalni in lokalni ravni. V letih 2022 in 2023 se izvaja projekt za pripravo strategije upravljanja plavin v porečju reke Save v Sloveniji, podprl pa je upravljanje rečnih plavin z analizo porečja Save v okviru zagotavljanja ravnovesja rinjenih plavin, zaščite pred poplavami oziroma

erozijo in dobrega ekološkega stanja, hkrati pa bi zagotovil podlago za odvzem (na)plavin za gospodarske dejavnosti. V nadaljevanju je predstavljena analiza transporta plavin z uporabo dvodimenzionalnega (2D) modeliranja transporta plavin, pri čemer smo na podlagi rezultatov identificirali mesta in količine čezmerno odloženih plavin, ki lahko vplivajo na povečanje poplavne ogroženosti.

## METODA

### Območje analize

Območje analize je porečje Save Dolinke s Pišnico do Jesenic (prodni zadrževalnik Hrušica), ki je bilo izbrano na podlagi treh meril. Na tem območju so glavni viri rinjenih plavin v porečju reke Save, zlasti v hudourniških pritokih, kot so Pišnica, Martuljek, Beli potok, Belca in v manjši meri tudi Triglavsko Bistrica. Poleg tega je bilo na tem območju največ pobud za podelitev koncesije za odvzem rinjenih plavin za gospodarske dejavnosti. Na podlagi obstoječih podatkov (DRSV, 2022a) je znano tudi, da se na tem območju premeščajo večje količine rinjenih plavin.

### Podatki

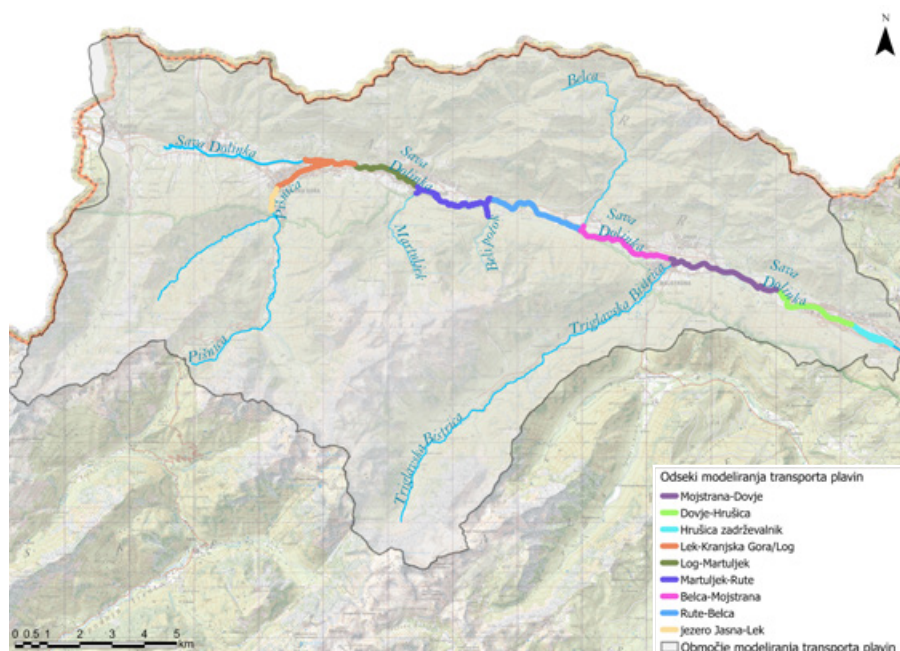
Za analizo transporta rinjenih plavin Save Dolinke je bilo treba pridobiti naslednje prostorske in hidrološke podatke ter podatke o vzorčenju rinjenih plavin:

- tridimenzionalno (3D) terestrično snemanje batimetrije Save Dolinke in Pišnice s topografijo znotraj meja vodnega zemljišča (prostorski podatki – (DRSV,

2022b)) na odsekih Jasna–Kranjska Gora in Kranjska Gora–prodni zadrževalnik Hrušica pri Jesenicah. Snemanje je bilo opravljeno pozno pozimi v času nizkih vodostajev in brezlistne fenofaze;

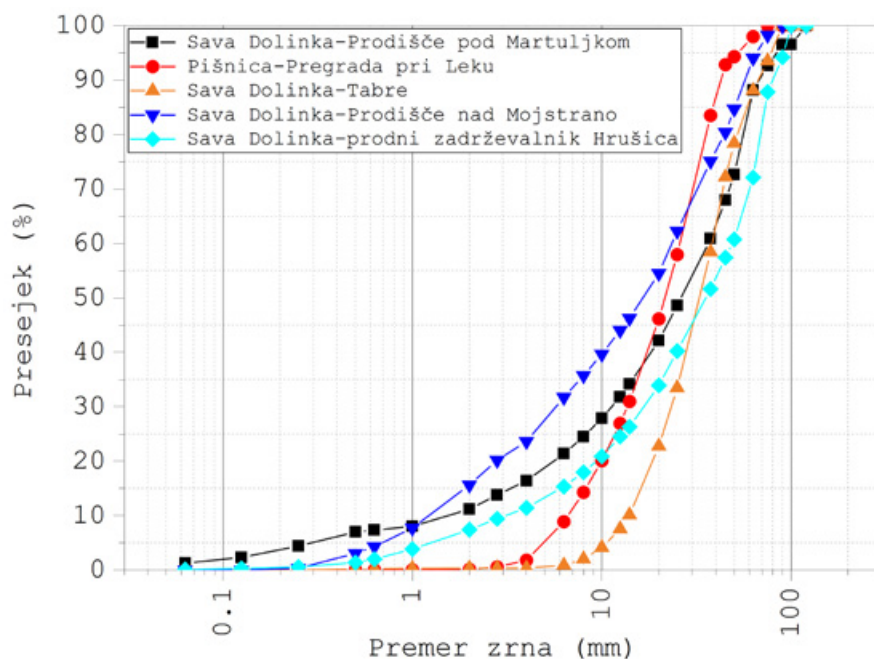
- državne terenske podatke lidar za območja znotraj dosega poplavnih voda s povratno dobo 0,01;
- podatke o padavinah padavinske postaje Kranjska Gora I (obdobje 1961–2012) za oceno površinskega odtoka pritoka Pišnica (ARSO, 2022a);
- historične hidrološke podatke (pretoki, globine oziroma vodostaji) iz obstoječih hidrološko-hidravličnih analiz (IZVO-R, 2019) in z izbranih vodomernih postaj na Savi Dolinki (Kranjska Gora I, obdobje 1991–2021, Mojstrana I, obdobje 1953–1966, in Jesenice, obdobje 1918–2017) za opredelitev robnih pogojev v modelu (ARSO, 2022b);
- vzorčenje grobozrnatih naplavin za pridobitev presejnih krivulj na različnih globinah terena, torej plasti naplavin znotraj meja vodnega zemljišča;
- podatke o rabi tal za določitev Manningovih koeficientov hrapavosti znotraj meja vodnega zemljišča;
- pedološke podatke za opredelitev hidroloških skupin zemljin znotraj meja vodnega zemljišča (MKGP, 2022);
- letne podatke o odlaganju plavin in eroziji (lokacije, količine) iz podatkovnih zbirk vodovarstvenih nadzornikov in drugih virov o količini odlaganja (DRSV, 2022a), predvsem za vzdrževanje pretočnosti struge. Ti podatki so bili uporabljeni za validacijo modela.

Z izjemo podatkov vzorčenja naplavin na ključnih točkah in terestričnih podatkov 3D so bili vsi podatki pridobljeni v (spletnih) podatkovnih zbirkah



**Slika 1:** Odseki modeliranja transporta plavin (vir: DRSV, GURS, 2022)

*Figure 1: Bedload modelling sections (Source: DRSV, GURS, 2022)*



Slika 2: Presejne krivulje na mestih vzorčenja naplavin na območju modeliranja transporta plavin

Figure 2: Granulometric curves at sediment sampling sites

nacionalnih oziroma lokalnih organov upravljanja voda, in sicer Direkcije RS za vode (DRSV) ter Agencije RS za okolje (ARSO).

### Vzorčenje naplavin

Mesta vzorčenja grobozrnatih oziroma rinjenih naplavin so bila določena na podlagi lokacij pobud za podelitev koncesije za komercialen odvoz naplavin in značilnih mest modela transporta plavin, predvsem mesta izlivov hudourniških pritokov v Savo Dolinko. Vzorčevanje je potekalo do globine 10–15 cm. Podatki o zrnastosti sestavi na večjih globinah so bili pridobljeni iz obstoječe literature, in sicer geotehničnih študij ob rekonstrukcijah cest, mostov in podobnega.

Rezultat vzorčenja grobozrnatih naplavin na petih mestih vzorčenja na območju modeliranja transporta plavin je pet presejnih krivulj (slika 2), ki kažejo na večji povprečni delež grobozrnatih plavin v povirnih delih (pregrada pri Leku na Pišnici) in v povprečju bolj drobnozrnate plavine v dolinskem delu porečja Save Dolinke, na primer prodišče nad Mojstrano in predvsem prodni zadrževalnik Hrušica. Mesta vzorčenja naplavin smo izbrali glede na:

- lokacije pobud za odvoz naplavin za gospodarsko rabo;
- podeljene koncesije za odvoz naplavin za gospodarsko rabo;
- lokacije, kjer so bile iz podatkov razvidne večje količine odvzetega materiala v okviru javne gospodarske službe (DRSV, 2022a);

- lokacije na hudournikih, ki imajo veliko transportno zmogljivost in erozijsko aktivno zaledje.

### Raba tal

Prostorski podatki o rabi tal (MKGP, 2022) so bili uporabljeni za določitev Manningovih koeficientov hrapavosti ( $n_g$ ) oziroma lastnosti materialov v okviru robnih pogojev modeliranja. Vsaki kategoriji rabe tal je bil dodeljen posamezni Manningov koeficient hrapavosti v skladu s klasifikacijo CORINE. Manningov koeficient hrapavosti za vodna telesa je bil dodeljen modeliranim območjem, ki so izpostavljena vsaj poplavam z enoletno povratno dobo. Zaradi prevladujočega alpskega terena (Yochum in sod., 2014) ter značilnosti, velikosti zrn in porazdelitve rinjenih plavin je bil  $n_g$  znotraj struge določen pri 0,045. Druge vrste rabe tal so bile od 0,02 (gosto poseljena območja) do 0,07 (gozdne površine).

## MODEL TRANSPORTA PLAVIN S KLJUČNIMI VHODNIMI PARAMETRI

### Numerični model transporta rinjenih plavin

Za simulacijo je bil uporabljen model transporta plavin SRH-2D, različica 3.0 (USBR, 2020) z integriranimi dvodimenzionalnimi (2D) globinsko povprečnimi St. Venantovimi dinamičnimi enačbami, ki se rešujejo z uporabo numerične metode končnega volumna. Numerična mreža je bila sestavljena iz trikotnih elementov s povprečno velikostjo stranice štiri metre.

Za časovno in izvedbeno optimalno modeliranje dinamike transporta plavin v porečju Save Dolinke je bilo območje modeliranja razdeljeno na devet odsekov s povprečno dolžino približno tri kilometre (slika 1), pri čemer je širina območja temeljila na dosegu visokih voda z verjetnostjo 0,01 (100-letne visoke vode).

## Vhodni parametri modela

Določili smo modelne parametre in izbrali enačbo transporta rinjenih plavin skupaj z reprezentativnimi zrnavostnimi razredi, časovnim korakom ter trajanjem simulacije, in sicer 0,5 sekunde oziroma 120 ur za scenarija z visokovodnim dogodkom intenzitete  $Q_{100}$  in vodnato hidrološko leto oziroma 96 ur za scenarij za suho hidrološko leto. Privzeta vrednost paraboličnega faktorja turbulence je bila 0,7. Specifična teža plavin je bila  $2,65 \text{ kg/m}^3$ , debelina aktivne plasti pa 150 mm. Za simulacije je bila izbrana transportna enačba po Wuju (Wu in sod., 2000), in sicer enačba 1, saj se lahko zelo različno uporablja s stališča prevladujočih zrn plavin v masnem toku plavin, torej je uporabna v prevladujočem toku rinjenih, lebdečih plavin ali mešanega stanja z rinjenimi in lebdečimi plavinami.

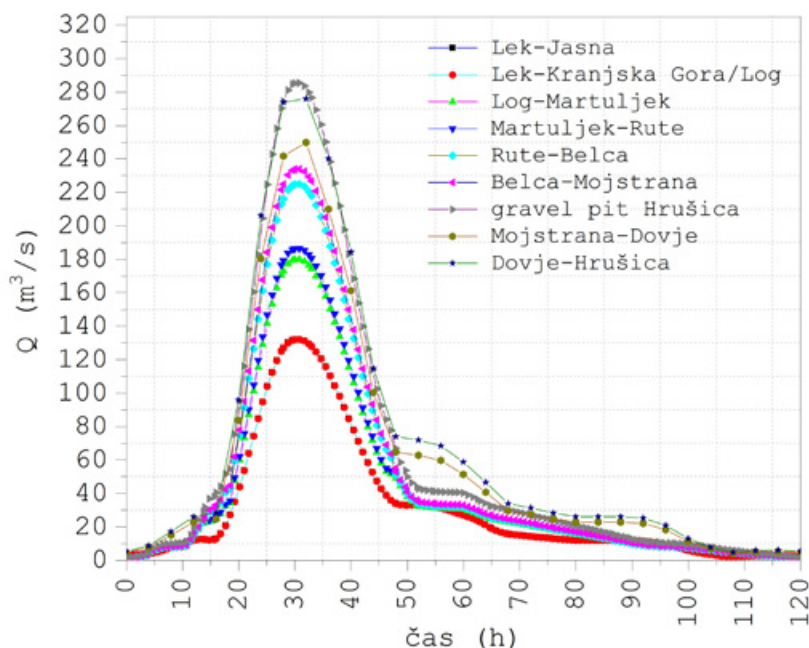
$$\frac{q_{bi}}{q_*} = 0,0053 \left( \frac{\tau_g}{\tau_{ci}} - 1 \right)^{2,2} \quad (1)$$

$q_{bi}$  je masni tok plavin,  $\tau_g$  je strižna napetost, odvisna od srednjega zrna plavin s presejkom 50 odstotkov

(slika 2), Manningovega koeficienta hrapavosti in strižnih napetosti na dnu struge,  $\tau_{ci}$  je strižna napetost posameznega zrnavostnega razreda  $i$ ,  $q_*$  je strižna napetost posameznega zrnavostnega razreda, odvisna od specifične teže plavin, premera povprečnega zrna posameznega zrnavostnega razreda in faktorjev izpostavljenosti oziroma potopljenosti posameznih zrn zrnavostnega razreda glede na okoliško plast (na)plavin. Kritični Shieldsov parameter, ki opredeljuje začetek prodnega premika, je bil 0,03. Za reprezentativne velikosti rinjenih plavin, ki se na začetku simulacije pojavljajo v masnem toku plavin, smo na podlagi podatkov iz vzorčenja naplavin izbrali osem zrnavostnih razredov od 0,5 do 64 mm, to so iz zrnavostnih razredov srednji peski, grobi peski, zelo grobi peski, zelo fini prod, fini prod, srednji prod, grobi prod in zelo grobi prod.

## ROBNI POGOJI

Robni pogoji modela so bili nastavljeni v skladu s tremi hidrološkimi scenariji, in sicer individualen visokovodni hidrološki dogodek s konico velikosti verjetnosti 0,01 ( $Q_{100}$ ), reprezentativno vodnato hidrološko leto ter reprezentativno suho hidrološko leto. Reprezentativno vodnato hidrološko leto je bilo izbrano na podlagi merila letne vsote padavin vsaj 2000 mm, letna vsota padavin pri suhem hidrološkem letu pa ne sme presegati 1400 mm. V obravnavanem primeru sta bila kot vhodna robna pogoja uporabljena hidrogram pretokov trajanja štiri oziroma pet dni in masni tok plavin po zrnavostnih razredih plavin v odvisnosti od časa. Izjema je bil najbolj gorvodno ležeči odsek



**Slika 3:** Pretočne količine v odvisnosti od časa (hidrogram s konico  $Q_{100}$ ) na vtoku vsakega modelnega odseka

**Figure 3:** Hydrographs with  $Q_{100}$  peak at the inlet of each modelled section

Jasna–Lek na Pišnici, kjer je bila namesto odvisnosti masnega toka od časa uporabljena transportna enačba plavin po Wuju. Spodnji oziroma izhodni robni pogoj je pri vseh odsekih predstavljala krivulja odvisnosti pretoka od globine vode.

Sedimentološki vhodni robni pogoj za vsak odsek, razen za najbolj gorvodni odsek Jasna–Lek, je bilo razmerje med časom oziroma trajanjem in masnim tokom plavin za posamezni zrnastostni razred  $t-Q_s$ , pri čemer je i posamezni zrnastostni razred. V okviru določitve sedimentološkega robnega pogoja je treba določiti še reprezentativne velikosti zrnastostnih razredov plavin, ki dotekajo v odsek. V skladu z domnevo o upoštevanju le transporta rinjenih plavin smo določili osem zrnastostnih razredov, ki predstavljajo zrnastostno strukturo na zgornjem robu modela. V praksi je meja med drobnozrnatimi in grobnozrnatimi plavinami pri 2 mm premera srednjega zrna. Zaradi upoštevanja zmanjševanja srednjega zrna vzdolž modelnih odsekov (od 22 mm pri Jezeru Jasna do 6 mm pri zadrževalniku Hrušica) sta bila privzeta dva zrnastostna razreda iz skupine drobnozrnatih plavin (srednji in grobi peski) (Ashworth in Ferguson, 1989).

## OPREDELITEV MEJNO POVEČANEGA ODLAGANJA NAPLAVIN

Debelino odlaganja plavin smo razdelili na tri stopnje, pri čemer smo najprej izhajali iz 2. odstavka 12. člena Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Uradni list RS, 60/07). To je edini zakonski akt, ki vsaj v osnovi določa številčna merila nevarnosti zaradi procesov odlaganja in erozije naplavin. V nadaljevanju smo za razred tako imenovane majhne nevarnosti, ki je določen v 12. členu pravilnika, uporabili merila, izhajajoč iz vrednosti presejka  $d_{90}$  (90 odstotkov zrn v presejku je manjšega premera), kjer se tako imenovana aktivna plast (to je plast dna vodotoka, ki sodeluje v izmenjavi masnega toka plavin z dotekajočimi plavinami v razmerah, ki omogočajo prodni premik) določa na podlagi presejka  $d_{90}$  po enačbi  $(0,5 \text{ do } 3) \times d_{90}$  (Recking in sod., 2021). Aktivna plast dna vodotoka je odvisna od pretočnih količin in morfologije struge ter terenskih značilnosti vodnega zemljišča. Na nekaterih mestih na vodnem zemljišču se količina plavin zmanjšuje, drugje pa povečuje, zato lahko rečemo, da aktivna plast sodeluje tudi pri odlaganju plavin.

Odsek	$d_{90}$ (mm)	$(0,5 \text{ do } 3) \times d_{90}$ (mm)
Jasna–Lek	50	150
Lek–Kranjska Gora	60	180
Kranjska Gora–Log	70	210
Log–Martuljek	60	180
Martuljek–Rute	60	180
Rute–Belca	70	210
Belca–Mojstrana	60	180
Mojstrana–Dovje	70	210
Dovje–Hrušica	80	240
Zadrževalnik Hrušica	60	180

**Preglednica 1:** Mejna debelina povečano odloženih naplavin  
**Table 1:** Threshold thickness of increased sediment deposits

V preglednici 1 so v prvem stolpcu vrednosti  $d_{90}$  iz sejnalnih analiz, v drugem pa upoštevamo enačbo  $(0,5 \text{ do } 3) \times d_{90}$ . Poudarjene vrednosti v zadnjem stolpcu so povišane vrednosti debeline naplavin. Merilo v zadnjem stolpcu torej določa spodnjo mejo povečane debeline naplavin.

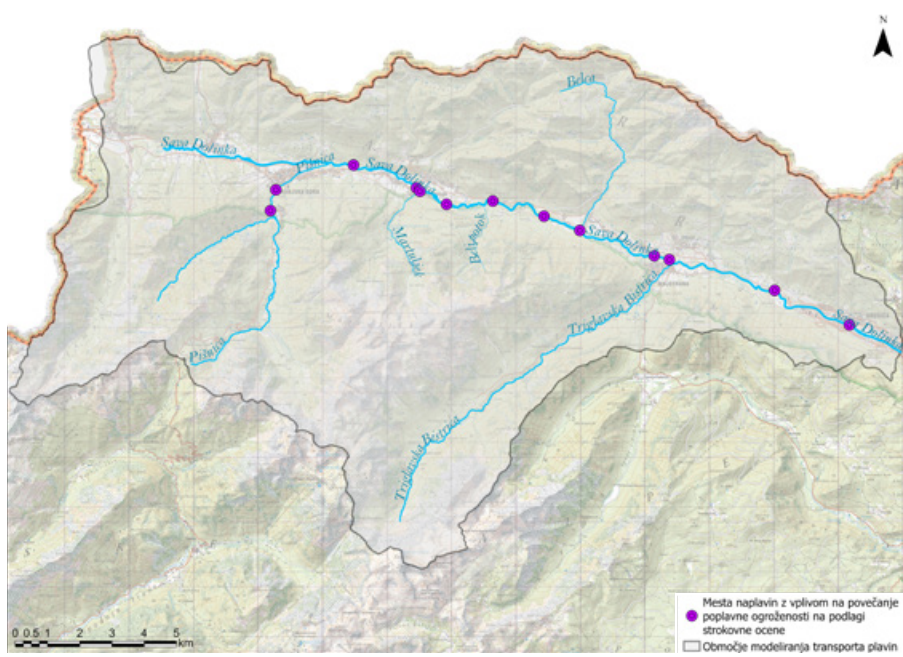
Zaradi tega smo merila iz 12. člena za uporabo pri interpretaciji rezultatov modela transporta plavin za fazo odlaganja plavin tako priredili:

- kritična stopnja odlaganja plavin, pri kateri je pri pretoku  $Q_{100}$  debelina odloženega sloja večja od metra;
- povečana stopnja odlaganja plavin, pri kateri je pri pretoku  $Q_{100}$  spodnja meja debeline odloženega sloja odvisna od presejka  $d_{90}$  po izrazu  $(0,5 \text{ do } 3) \times d_{90}$  (mm) (preglednica 1), zgornja meja pa pri metru debeline odloženega sloja;
- običajna stopnja odlaganja plavin, pri kateri je pri pretoku  $Q_{100}$  debelina odloženega sloja manjša od debeline, določene po merilu  $(0,5 \text{ do } 3) \times d_{90}$  (mm) (preglednica 1).

Iz predhodnih alinej izhajajo trije razredi, in sicer kritično, povečano ter običajno ob nastopu dogodka  $Q_{100}$ , na podlagi katerih smo prepoznali reprezentativna območja odlaganja naplavin.

## VPLIV MEJNO POVEČANEGA ODLAGANJA NAPLAVIN NA POPLAVNO OGROŽENOST

Kritične lokacije odlaganja plavin in območja erozije na odseku Save Dolinke do Jesenic smo določili



**Slika 4:** Mesta čezmerno odloženih naplavin, ki so jih določili vodovarstveni nadzorniki oziroma ki so bila določena na podlagi strokovne ocene. Ta mesta lahko vplivajo na povečanje poplavne ogroženosti. (vir: DRSV, GURS, 2022)

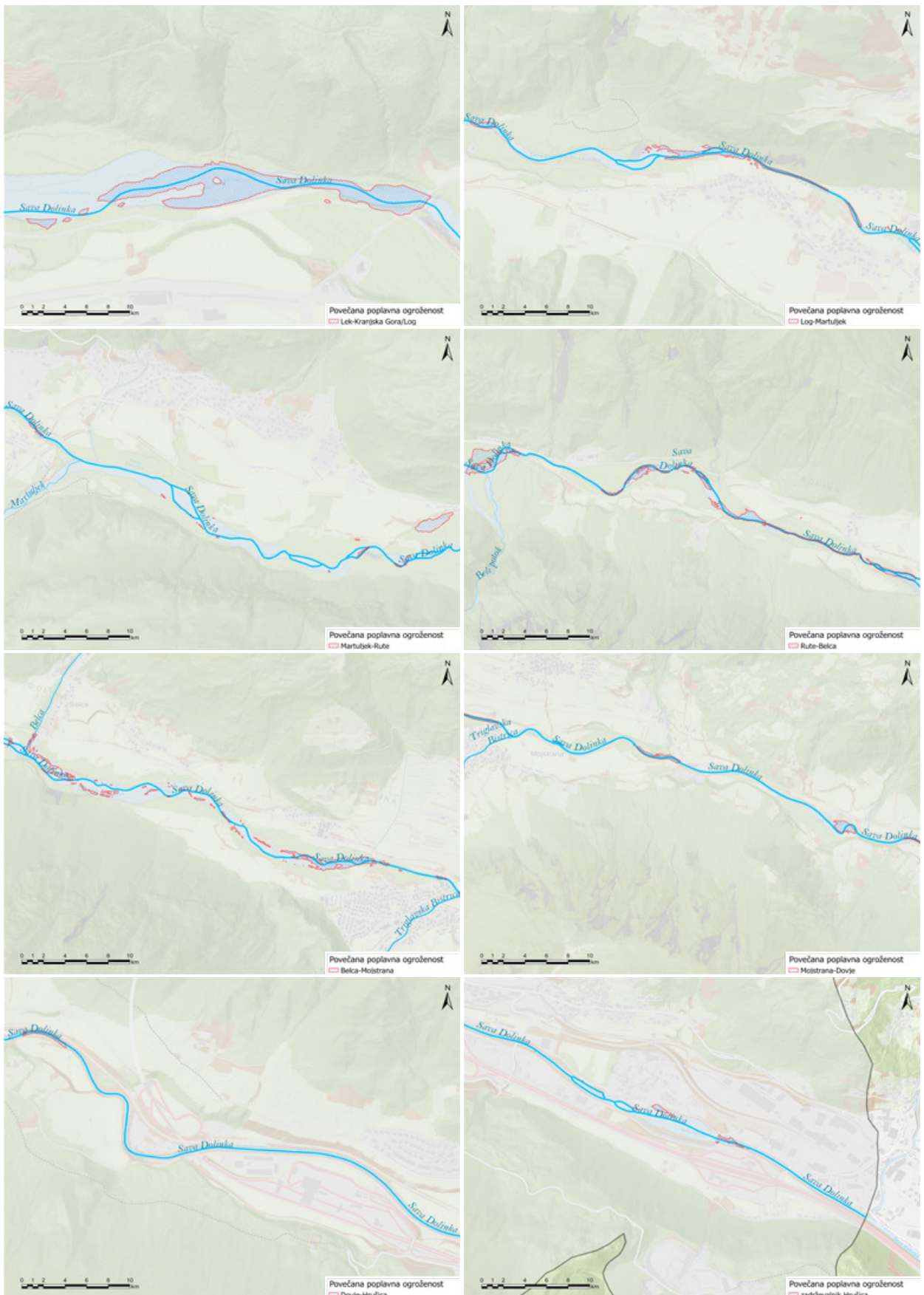
**Figure 4:** Locations of increased sediment deposit thickness which were identified by water protection supervisors or based on expert estimates. Here, flood risk is increased. (Source: DRSV, GURS, 2022)

s pomočjo modelskih izračunov transporta plavin. Treba je poudariti, da gre večinoma le za ocene dejanskih količin odloženega oziroma erodiranega materiala. Za izbrane lokacije, ki so bile določene kot kritične tako z vidika odlaganja materiala ali erozije, je bil opravljen tudi terenski ogled območja.

Odseke odlaganja plavin smo uporabili še za analizo odsekov, na katerih lahko pride do povečane poplavne ogroženosti zaradi zastajanja naplavin. Podatke o linijskih odsekih odlaganja naplavin, ki lahko povečajo poplavno ogroženost, smo primerjali s prostorskimi podatki z opozorilne karte poplav

Lokacija	Vodotok	Kratek opis stanja	Ocena kritičnosti
Jasna–Lek	Pišnica	skupina prodišč	modelni izračun
Log	Sava Dolinka	skupina manjših prodišč in večje prodišče	modelni izračun
Log–Gozd - Martuljek	Sava Dolinka	dotok iz zaledja in Pišnice, večje prodišče	strokovna ocena oz. vodovarstveni nadzornik
Gozd - Martuljek	Sava Dolinka	dotok plavin iz Martuljka in drugega zaledja, večje prodišče	strokovna ocena oz. vodovarstveni nadzornik
Log–Martuljek	Sava Dolinka	večji prodišči	modelni izračun
Martuljek–Rute	Sava Dolinka	večji prodišči	modelni izračun
Rute–Belca	Sava Dolinka	večji prodišči	modelni izračun
Dolvodno od Komunale Kranjska Gora	Sava Dolinka	dotok plavin iz zaledja na desnem bregu Save Dolinke, večje prodišče	strokovna ocena oz. vodovarstveni nadzornik
Belca–Mojstrana	Sava Dolinka	večji prodišči	modelni izračun
Mojstrana–vtok Belce	Sava Dolinka	Dotok plavin iz zaledja. Na Belci je od leta 2020 pri žagi narejena pregrada z velikim zadrževalnikom proda. Večje prodišče in več manjših prodišč	strokovna ocena oz. vodovarstveni nadzornik
Mojstrana–Dovje	Sava Dolinka	tri skupine manjših prodišč povprečne dolžine 100 m	modelni izračun
Dovje–Hrušica	Sava Dolinka	krajše prodišče in večje območje po dnu struge, kjer se čezmerno odlagajo plavine	modelni izračun
Zadrževalnik Hrušica	Sava Dolinka	odlaganje plavin znotraj zadrževalnika na levem bregu in mestu takoj dolvodno od iztoka iz prodnega zadrževalnika Hrušica	modelni izračun

**Preglednica 2:** Lokacije, kjer prihaja do povečane poplavne ogroženosti zaradi odlaganja naplavin  
**Table 2:** Locations of an elevated flood risk due to the sediment deposits



Slika 5: Mesta čezmerno odloženih naplavin, ki vplivajo na povečanje poplavne ogroženosti na podlagi izračunov modela transporta plavin ob nastopu visokovodnega dogodka  $Q_{100}$  (vir: DRSV, GURS, 2022)

Figure 5: Locations of increased sediment deposit thickness elevating flood risk based on sediment transport model results at the onset of flood event with peak discharge of  $Q_{100}$

na tem območju za zelo redke poplave. Analiza kaže na največji vpliv na povečanje poplavne ogroženosti na odsekih od Martuljka do Dovjega, kjer se odlaga tudi največ naplavin, poleg tega so na teh območjih tudi najbolj prodonosni pritoki v porečju Save Dolinke, in sicer Martuljek, Beli potok, Belca ter Triglavška Bistrica.

V preglednici 2 so lokacije s količinami, na katerih prihaja do povečane poplavne ogroženosti zaradi odlaganja naplavin. Območja, ki lahko povečajo stopnjo poplavne ogroženosti, so bila določena na podlagi modelnih izračunov na območju modeliranja transporta plavin in strokovne ocene vključno s podatki vodovarstvenih nadzornikov (podlaga opozorilna karta poplav – zelo redke, redke in pogoste poplave). Kritična mesta odlaganja (na)plavin s stališča povečanja poplavne ogroženosti so tista mesta oziroma odseki s povečanimi količinami odloženih (na)plavin (merilo kritično), ki segajo na območja poligonov opozorilne karte poplav (OPKP). Ocena kritičnosti odlaganja naplavin s stališča povečane poplavne ogroženosti je z oznako VN v oceni vodovarstvenih nadzornikov oziroma strokovne ocene oziroma z oznako M, če je bila ocena dana na podlagi modela transporta plavin.

Modelni izračuni modela transporta plavin na splošno potrjujejo mesta (in količine) čezmernega odlaganja naplavin, ki so jih določili vodovarstveni nadzorniki in ki so bila določena na podlagi strokovne ocene. Rezultati transporta plavin na podlagi visokovodnega dogodka  $Q_{100}$  sicer kažejo na nekoliko več lokacij čezmernega odlaganja naplavin, saj ocene vodovarstvenih nadzornikov in strokovne

ocene temeljijo na debelinah odloženih naplavin zaradi manjših pretokov.

## SKLEPNE MISLI

Na podlagi modela transporta plavin in meril mejne opredelitve odlaganja naplavin so bila na območju modela 2D določena mesta, kjer se odlagajo plavine. Za nadaljnjo obravnavo so pomembna območja odlaganja plavin, ki glede na debelino sloja naplavin spadajo v kategorijo povečano ali kritično. Na območju modela transporta plavin so s stališča poplavne ogroženosti zaradi naplavin najbolj izpostavljeni odseki na Savi Dolinki (na Pišnici z vidika OPKP ni prepoznane poplavne ogroženosti), in sicer na gorvodnih odsekih, kjer se zadržuje več (grobozrnatih) rinjenih naplavin, zaradi morfologije struge (Martuljek in Mojstrana) ali pa predvsem na sotočjih prodonosnih pritokov s Savo Dolinko (na primer Beli potok in Belca), kjer se zaradi naplavin zmanjšuje pretočni prerez tako pritokov kot predvsem Save Dolinke (preglednica 2). Ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti zaradi povečanih količin naplavin nismo predvideli, razen interventnih odvzemov naplavin ob ogroženi stabilnosti gorvodnih in dolvodnih rečnih odsekov.

## ZAHVALA

Predmetna študija je bila pripravljena na podlagi raziskav in analiz, opravljenih v okviru projekta Strategija odvzema naplavin na porečju reke Save, naročnik pa je bila Direkcija RS za vode.

## Viri in literatura

1. ARSO, 2022a. Padavinski podatki iz arhiva meritev padavinskih postaj ARSO. <https://meteo.arslo.gov.si/met/sl/app/webmet/#web-met=-8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydLJWbIR3LwVnaz9SYtVmY-h9icIFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp-5m0nMHbvZXZulWYnwCchJXYtVgdLJn0n0UQQdSf>, 15. 4. 2022.
2. ARSO, 2022b. Hidrološki podatki iz hidrološkega arhiva ARSO. <https://vode.arslo.gov.si/hidarhiv>, 20. 4. 2022.
3. Ashworth, P. J., Ferguson, R. I., 1989. Size-selective entrainment of bed load in gravel bed streams. *Water Resources Research*, 25(4), 627–634. <https://doi.org/10.1029/WR025i004p00627>.
4. DRSV, 2022a. Podatki o odvzemih naplavin po koncesijskih območjih Save v obdobju 2014–2018. Mitja Centa z DRSV je posredoval po elektronski pošti, 15. 3. 2022.
5. DRSV, 2022b. Vodno zemljišče tekočih celinskih voda. <http://www.evode.gov.si/index.php?id=104>.
6. IZVO-R. 2019. Hidrološka analiza obravnavanih vodotokov. Poplavna študija za območje občine Kranjska Gora. H-46/14, G79-FR/14. Ljubljana.
7. Mikoš, M., 2012. Kalnost v rekah kot del erozijsko-sedimentacijskega kroga, Gradbeni vestnik, letnik 61, št. 6, 129–136.
8. MKGP, 2022. Podatki o rabi tal, različica 20220930, september 2022.
9. Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti. Uradni list RS, št. 60/07. <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV8318>.
10. Recking, A., in drugi, 2021. Contribution of grain sorting to the bedload active layer dynamics. HAL open science. <https://hal.science/hal-03400273>.
11. USBR, 2020. SRH-2D User Manual: Sediment Transport and Mobile-Bed Modeling. [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/models/srh2d/downloads/SRH-2DSedimentTranptModelingUsersManual\\_V3.3\\_June2020\\_Final508.pdf](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/models/srh2d/downloads/SRH-2DSedimentTranptModelingUsersManual_V3.3_June2020_Final508.pdf).
12. Wu, W., Wang, S. S. Y., Jia, Y., 2000. Nonuniform sediment transport in alluvial rivers. *Journal of Hydraulic Research*, 38(6), 427–434.
13. Yochum, S. E., Comiti, F., Wohl, E., 2014. Photographic guidance for selecting flow resistance coefficients in high-gradient channels. <https://www.researchgate.net/publication/266970182>.