

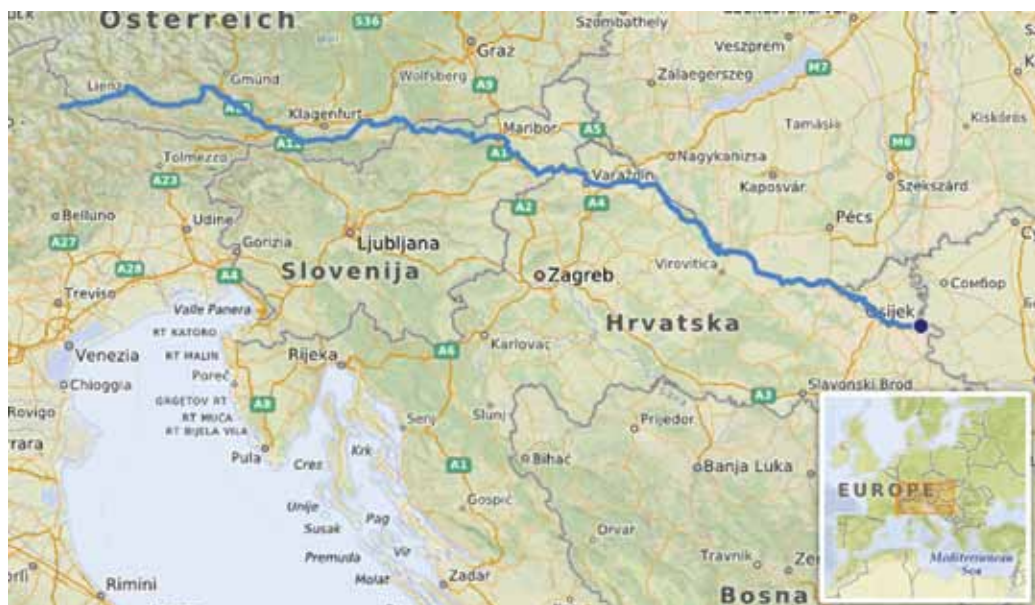
Hidromorfološka dinamika reke Drave

Heraklit: *V isto reko ne moreš stopiti dvakrat*

Smiljan Juvan, Tijana Mičić, Miha Kračun

Zaradi spreminjajočih meteoroloških razmer so tudi hidrološke razmere v vodotokih nenehna spremenljivka. Dinamika pretokov pa ima poleg drugih dejavnikov neposredni vpliv na spreminjanje rečnih strug, ki se ponekod poglobljajo, meandrirajo ali pa v celoti spremenijo potek svoje struge. Sproščanje plavin v erozijskih povirjih vodotokov in njihovo premeščanje vzdolž rečnega toka sta pomembna dejavnika spreminjanja rečne struge. Regulacijski posegi lahko rečno morfodinamiko delno spremenijo, tudi ustalijo, a posledice izvedenih ukrepov se lahko pokažejo v drugem delu rečnega toka. Posegi v rečno dinamiko reke Drave so v največji meri posledica izgradnje triindvajsetih hidroelektrarn na njenem celotnem toku. Posledice gorvodno izvedenih ukrepov se kažejo na dolvodnem delu. Analiza morfološke dinamike reke Drave zahteva celostno obravnavo rečnega toka in pomeni izredno zapleten in zahteven strokovni izziv.

Hidrografski opis



Prikaz celotnega poteka reke Drave od izvira do izliva v Donavo. Vir: Wikipedia.

Reka Drava izvira v severovzhodni Italiji, in sicer na južnem robu Toblaškega polja na nadmorski višini približno 1.450 metrov. Pri Dravogradu vstopi v Slovenijo, kjer vse do Maribora teče v Dravski dolini med Pohor-

jem in Kozjakom. Večji pritoki na območju so desni pritoki Meža, Vuhreščica, Velka, Radoljna, Lobnica in Ruški potok. Do mesta Maribor ima reka alpski značaj. Pod Mariborom preide Drava iz ozke doline

na Dravsko polje. Pod jezom v Melju se rečni tok deli v energetske kanal Hidroelektrarne Zlatoličje in v strugo Drave. Pod jezom v Markovcih pa vse do Ormoža se del rečnega toka prevaja po hidroenergetskem kanalu Hidroelektrarne Formin, del pa po strugi reke Drave. Tok se združi v Ormoškem jezeru, ki je akumulacijsko jezero Hidroelektrarne Varaždin. Pred Ormoškim jezerom se izliva v Dravo njen največji levi pritok v Sloveniji, reka Pesnica. Pod jezom v Markovcih se z desne strani izliva v Dravo še reka Dravinja in več manjših haloških potokov. Večji pritok na Hrvaškem je reka Mura. Reka Drava se na madžarsko-hrvaški meji izliva v reko Donavo na nadmorski višini približno 81 metrov. Skupna dolžina reke Drave tako znaša približno 750 kilometrov, celotna prispevna površina porečja Drave znaša približno 40.000 kvadratnih kilometrov (*Drava – Natura 2000, reka za prihodnost*, v izdelavi).

Izvedeni posegi v vodni režim

Energetska izraba Drave je temeljito spremenila tudi njene hidrogeografske značilnosti, saj se reka od Beljaka do Maribora

v glavnem samo preliva iz enega akumulacijskega jezera v drugega. Na Dravi je od Spittala v Avstriji do Legrada na Hrvaškem sklenjena veriga triindvajsetih hidroelektrarn. Brežine akumulacijskih jezer so večinoma protierozijsko zavarovane, izvedene so tudi ureditve izlivnih odsekov pritokov Drave. V Sloveniji sta tako samo še dva večja odseka reke Drave, kjer so lahko prisotne večje morfološke spremembe struge. To sta odseka struge, kjer sta zgrajeni derivacijski hidroelektrarni Zlatoličje in Formin.

V tem delu pa je zaradi derivacije pretoka bistveno spremenjen hidrološki rečni režim. Pri nizkih pretokih teče večina pretoka po energetskih kanalih, po strugi Drave pa ekološko sprejemljivi pretok, ki znaša na odseku med Mariborom in Ptujem pozimi deset kubičnih metrov na sekundo in poleti dvajset kubičnih metrov na sekundo, na odseku med Markovci in Ormožem pa pozimi pet kubičnih metrov na sekundo in poleti deset kubičnih metrov na sekundo. Pri visokovodnih pretokih se preko jezov prelivajo pretoki, višji od obratovalnega pretoka v kanalu, in v primeru katastrofalnih poplav ali

Območje reke Drave med Mariborom in Ptujem. Avtor slike: Janez Jurij Flexner, 1690. Vir: Vodarstvo na porečju Drave skozi čas, 2019.



vzdrževalnih del celotni pretoki. Naravna dinamika spreminjanja morfologije je tako podrejena spremenjenim odtočnim razmeram, kjer predvsem primanjkuje vsakoletnih visokih vod. Na strugi Drave so bili že pred izgradnjo Hidroelektrarne Zlatoličje in Hidroelektrarne Formin izvedeni številni ukrepi z izravnavo struge in protierozijskimi zavarovanji brežin ter protipoplavnimi nasipi. V okviru rednih vzdrževalnih del izvajajo redna čiščenja zarasti na prodiščih in manjše lokalne posege za ohranjanje življenjskih prostorov in gnezdišč ter hkrati obstoječe pretočnosti struge. Vsi ukrepi so se v zadnjih letih izvajali zato, da se ob vodnogospodarskih ukrepih izboljša tudi ekološko stanje rečnega življenjskega prostora.

Hidromorfološki procesi

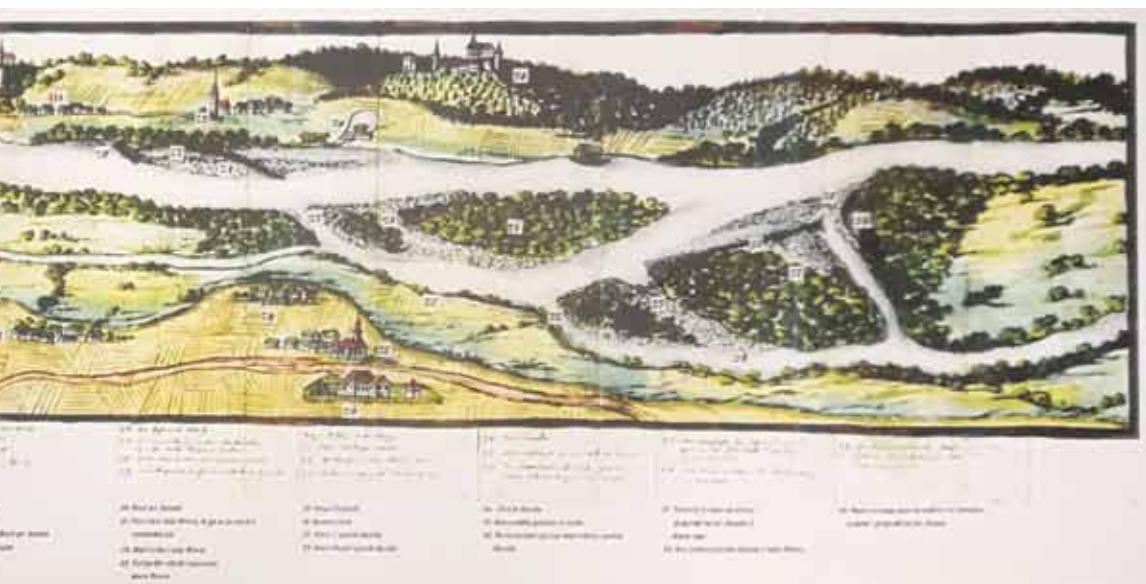
Spremembe zaradi zajezev in derivacij vodotokov se ne kažejo samo v pretočnem režimu, temveč tudi v premeščanju plavin. Zajezivitve najbolj vplivajo na zmanjšanje prenosa rinjenih plavin. Debelejše frakcije sedimenta se zaradi zmanjšane hitrosti v večjem deležu odlagajo v akumulacijskih jezerih. Največjo hidromorfološko dinamiko lahko pričakujemo na odseku reke Drave med Mariborom in Ormožem, kjer je struga

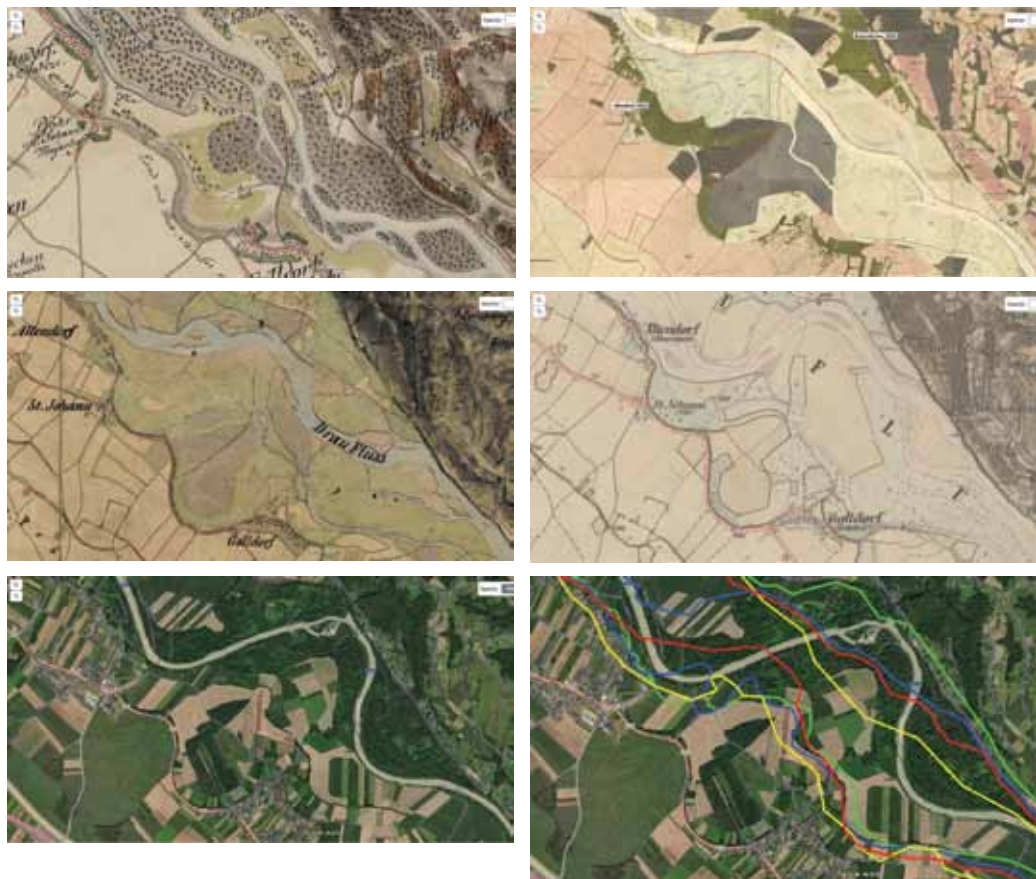
v večji meri še ohranila svoj značaj, razen hidrologije, ki je po izgradnji obeh derivacijskih hidroelektrarn močno spremenjena. V nadaljevanju je predstavljena predvsem analiza tega odseka Drave. Del naravne struge je tudi na obmejnem območju med Ormoškim jezerom in Središčem ob Dravi.

Morfološke spremembe reke Drave z oceno izhodiščnega stanja

Morfološke spremembe vodotokov so posledica naravnih pojavov in vplivov človeških posegov v topografijo vodotokov in vplivov na vodni režim. Spreminjanje morfologije spremljamo z več metodami. Za določitev tako imenovanih izhodiščnih stanj uporabljajo zgodovinske karte in poslikave, ki so najstarejši grafični zapisi poteka strug. Najstarejši zapisi so v obliki poslikav in slik. Za območje Drave med Mariborom in Ptujem je najstarejša grafika z značilnimi morfološkimi elementi izrisal Janez Jurij Flexner leta 1690.

Na območju Slovenije so najstarejše znane karte vojaške izmere iz osemnajstega in devetnajstega stoletja, ki zagotavljajo zadostno natančnost za primerjavo morfoloških sprememb in sprememb rabe tal. V primerjavi kart iz posameznega obdobja so razvidne





Primerjava arhivskih kart iz osemnajstega in devetnajstega stoletja na območju med Staršami in Krčevino pri Vurberku. Slike prikazujejo arhivske izmere, ki so objavljene v Avstrijskem državnem arhivu. Od zgoraj levo proti desni si sledijo:

■ Jožefinska vojaška topografska izmera (prva vojaška izmera) (1784-1785),

■ Franciscejski kataster (1818-1828),

■ Franciscejska vojaška izmera (druga vojaška izmera) (1820-1836),

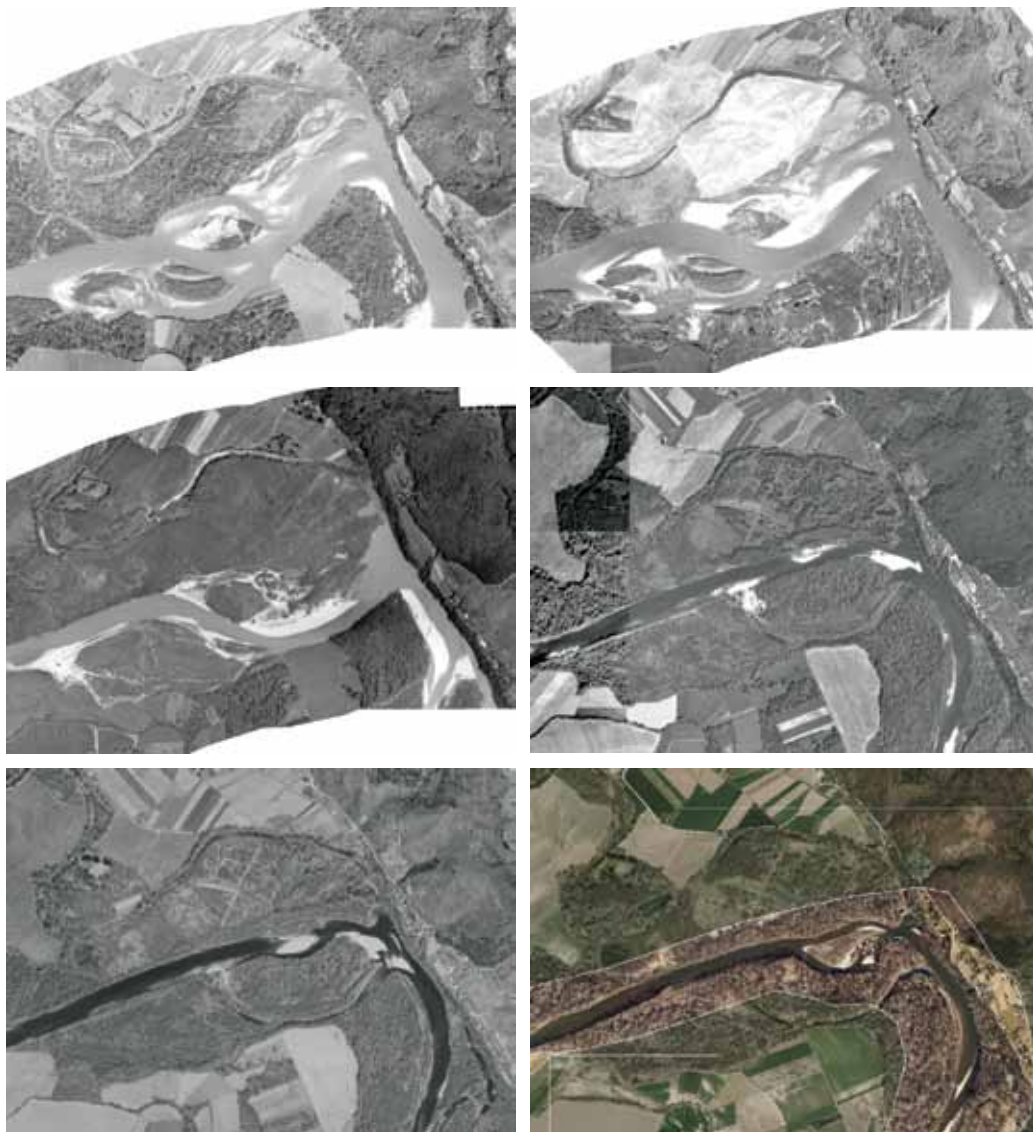
■ Franciscejsko-jožefinska izmera (tretja vojaška izmera) (1869-1887),

digitalni ortofoto danes (2022) in primerjava skrajnih obsegov rečnega območja na ortofoto podlagi. Vir: Drava – Natura 2000, reka za prihodnost, v izdelavi. Avstrijski državni arhiv.

spremembe v poteku struge in stranskih rokavov. Z georeferenciranjem arhivskih kart lahko zarišemo območje vodnega prostora in ga primerjamo s stanjem danes. V nadaljevanju prikazujemo primerjavo razvoja rečne struge na območju Starš. V zaporedju slik je razvidno, da se je širok rečni koridor, ki je potekal v smeri od severozahoda proti jugovzhodu z razširjeno razvejeno strugo s stranskimi rokavi in sipinami ali celo otoki

(na primer otok pri Staršah), z leti zožil in obrnil proti Krčevini. Spremembe so razvidne tudi v širini struge, iz širine od približno 0,6 do 1,3 kilometra se je zmanjšala na širino, ki je danes približno sto metrov.

V času po drugi svetovni vojni se je z razvojem vojaških fotografij in aerofotografij natančnost zajema bistveno izboljšala. Tako lahko z digitaliziranjem in georeferenciranjem arhivnih aerofotografij primerjamo



Primerjava izsekov na območju rezervata Zlatoličje v letih od 1959 do danes (2022). Vir: Drava – Natura 2000, reka za prihodnost, v izdelavi. Digitalizirani in georeferencirani aerofotoposnetki iz let 1956, 1966 in 1975.

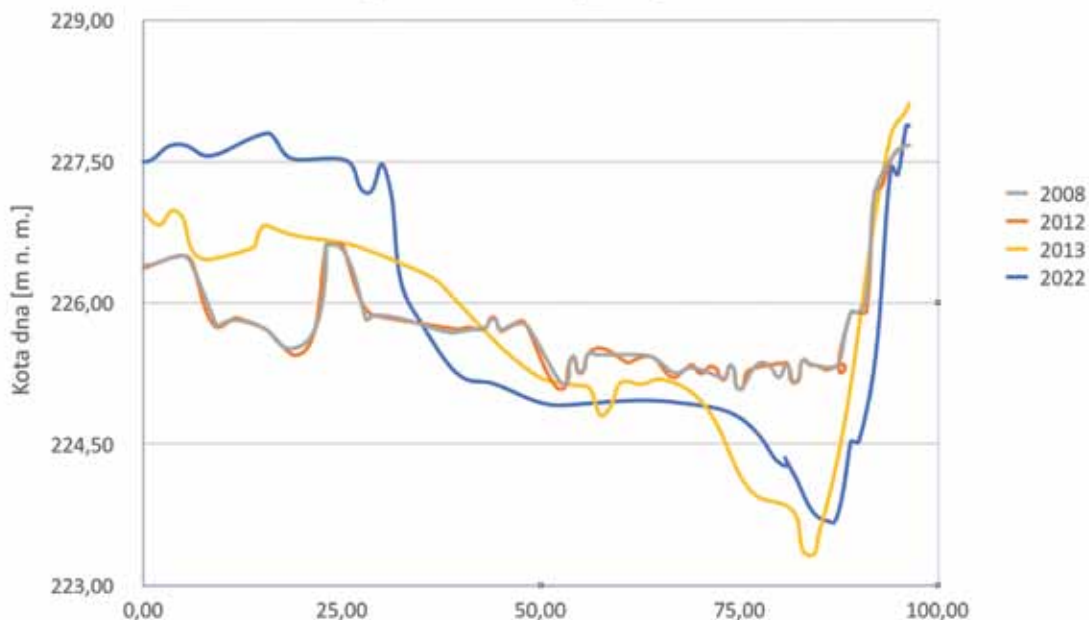
spremembe morfologije vse do danes. Najstarejši posnetki območja reke Drave so iz leta 1959, tako je razvidno stanje struge reke Drave pred izgradnjo Hidroelektrarne Zlatoličje.

Iz primerjave so razvidni razvoj območja sipin in struge ter različne stopnje zaraščanja ob strugi. Površina morfološko aktivnega,

spreminjajočega se dela struge se je danes v primerjavi z letom 1959 bistveno zmanjšala predvsem zaradi zaraščanja območij ob strugi. Kot zanimivost je na aeroposnetku iz leta 1966 razvidno sajenje dreves v pravilni tlorisni mreži na severni strani struge.

Tretji pristop pri spremljanju morfoloških sprememb je sistem geodetskega snemanja

Primerjava batimetrije v profilu Z53



Primerjava spreminjanje batimetrije na območju stalnega prečnega prereza Z53 na območju sipine Zumrova jama v rezervatu Zlatolišje.

prečnih prerezov, ki so določeni na stalnih mestih. Tovrstni sistem uporabljajo predvsem na mejnih odsekih (dober primer tovrstne prakse je mejni odsek reke Mure med Slovenijo in Avstrijo). S cikličnim snemanjem lahko primerjamo spremembe v posameznem prečnem prerezu. V enaindvajsetem stoletju so začeli redno zajemati topografske podatke s tehnologijo laserskega skeniranja celotnega površja (tako imenovani LiDAR), ki v kombinaciji s sonarskim merjenjem dna struge (batimetrije) omogoča izdelavo visokokakovostnih digitalnih modelov prečnega prereza (DMR). Primerjava digitalnih modelov omogoča prepoznavanje območij erozije in naplavljanja materiala in celo določitev volumnov ter balance naplavin in erozije med posameznimi meritvami. Na obravnavanem odseku reke Drave med Mariborom in Ptujem smo opravili pregled izmer iz preteklih meritev (2008, 2012, 2013) in

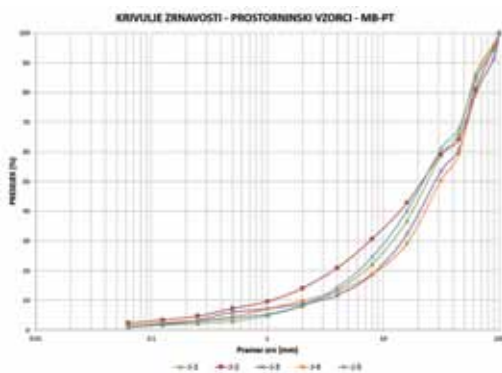
primerjavo z zadnjimi meritvami topografije na celotnem območju koridorja reke Drave (to je območje do poplavne linije s stoletno povratno dobo), ki so bile izvedene v okviru projekta *zaDravo* v letu 2022 (*Drava – Natura 2000, reka za prihodnost*, v izdelavi).

Analiza premeščanja sedimentov

V vodotokih se plavine prenašajo v lebdečem stanju (suspendirane plavine) ali z rinjenjem (rinjene plavine). Rinjene plavine so običajno prod, pesek in grušč, ki ga vodni tok premešča po dnu struge vodotoka. Lebdeče (suspendirane) plavine so del skupne količine plavin, ki so ob premeščanju zelo redko v stiku z dnom vodotoka. Zaradi turbulence lebdiijo in se zadržujejo na določeni razdalji od dna vodotoka. Glede na zrnatostno sestavo so to predvsem drobni delci velikostnega razreda gline in melja (Rusjan, Mikoš, 2006).



Primer odvzema vzorca. Vir: LIVEDRAVA, 2016.



Zrnavostne krivulje vzorcev sedimenta.
Vir: LIVEDRAVA, 2016.

Prenos sedimentov je zapleten trirazsežnostni naravni pojav, ki kljub napredku v znanosti in tehnologiji še ni popolnoma raziskan. Iz začetnih empiričnih enačb so se do danes razvili zapleteni večrazsežnostni modeli, ki lahko napovejo bilanco proda in koncentracijo lebdečih plavin v prostoru in času. Za tovrstne modele pogosto potrebujemo veliko podatkov, ki jih je mogoče pridobiti le s celovitimi in dolgotrajnimi meritvami, teh pa običajno ni na razpolago. Zato je treba glede na kakovost in kvantiteto razpoložljivih podatkov racionalno izbrati zapletenost matematičnega modela. V preteklosti so prenos plavin v vzdolžni smeri modelirali z enorazsežnostnimi modeli, z razvojem in zmogljivostjo programske in računalniške opreme pa prihajajo v ospredje vse bolj dvorazsežnostni in celo trirazsežnostni modeli, ki računajo tudi prečno in globinsko razporeditev sedimentov.

Osnova za izračun prenosa sedimentov je umerjen hidravlični model. Hidravlični modeli običajno umerjajo na znani visokovodni dogodek, za katerega so bile vzdolž računskega odseka merjene gladine pri znanem pretoku. Za umerjanje modela Drave je bil uporabljen poplavni dogodek iz novembra leta 2012, ko je konica vala dosegla pretok 2.830 kubičnih metrov na sekundo, kar je več od pretoka, ki ustreza povratni dobi sto

let. Za umerjanje modela prenosa plavin pri enorazsežnostnih modelih uporabijo razpoložljive zaporedno izmerjene prečne prereze vodotoka, pri dvorazsežnostnih modelih pa zaporedno izmerjene batimetrije struge. Na odseku Maribor-Ptuj so se v obdobju od leta 2008 do leta 2013 izvedle tri meritve batimetrije struge, ki pa niso zajemale celotnega odseka struge. V idealnem primeru bi se lahko na podlagi prvih dveh meritev (leta 2008 in leta 2012) model umeril ter nato na podlagi meritve leta 2013 tudi verificiral. Vendar pa so bila po prvi meritvi batimetrije na obravnavanem odseku izvedena številna vzdrževalna dela v strugi, ki so obsegala predvsem nižanje in preoblikovanje prodišč ter odstranitev zarasti na prodiščih (LIVEDRAVA, 2016). V sklopu projekta *zaDravo* so se izvedle nove meritve batimetrije, na podlagi katerih bodo izdelali dopolnjeni hidromorfološki model za potrebe projekta načrtovanih posegov (*Drava – Natura 2000, reka za prihodnost*, v izdelavi).

Podatek o strukturi rinjenih sedimentov predstavljajo zrnavostne krivulje odvzetih prostorninskih vzorcev, koncentracija suspendiranih plavin pa se meri z merilci (senzorji) motnosti. Na odseku Drave od Maribora do Zavrča je bilo na prodiščih odvzetih sedem vzorcev sedimenta, ki so jih odpeljali v laboratorij za izdelavo sejalnih

krivulj. V odvzetih vzorcih plavin so bila zrna v velikosti od 0,063 milimetra (gline in melji) pa vse do zelo velikih prodnikov, manjših od sto milimetrov. Enotna podoba kaže na upadanje srednjega zrna. Rezultati sejalnih analiz kažejo, da se premer srednjega zrna na obravnavanem odseku giblje od 19,5 do 31,5 milimetra (LIVEDRAVA, 2016).

Aktivnosti za izboljšanje kakovosti in zanesljivosti rezultatov modelov morajo biti usmerjene predvsem v pridobivanje dodatnih in za kakovostni model nujnih vhodnih podatkov. V ta namen je treba izboljšati in vzpostaviti program hidroloških meritev, izboljšati meritve gladin ob visokih vodah za boljše umerjanje hidravličnega modela, izvajati pogostejše batimetrične izmere, vzorčevanje in analizo ter meritve zrnastostne sestave rinjenih in suspendiranih plavin in tako dalje. Le na podlagi kakovostnih vhodnih podatkov lahko izboljšamo tudi kakovost rezultatov modelov prenosa plavin.

Strategija upravljanja voda z načrtovanjem posegov v režim prodonosnosti

Pri načrtovanju posegov se je treba zavedati, da lahko hidromorfološke procese, kot posledico erozije in sedimentacije plavin, pričakujemo na celotnem poplavnem območju reke Drave. Tako poplavna kot tudi erozijska območja ni sprejemljivo v večji meri spreminjati, njihovo omejevanje je smiselno le tam, kjer so ogrožena naselja ali infrastrukturalni objekti. Na širšem območju, kjer to omogoča ekstenzivna raba prostora, je treba poplavno in morfološko dinamiko ohranjati. Gotovo ne bo možno vzpostaviti stanja, kot ga kažejo karte izpred več stoletij, z razvejeno in meandrirajočo strugo, lahko pa nam takšna slika predstavlja vzorec, ki ga je možno doseči vsaj na krajših odsekih. Modeliranje prenosa plavin in hidromorfoloških procesov je treba vključiti v projekte načrtovanja posegov v vodni režim. Zavedati pa se je treba, da zaradi zapletenosti procesa in pomanjkanja merjenih po-

datkov o prodonosnosti lahko pričakujemo kot rezultat modelov predvsem ocene erozije ali odlaganja sedimentov. Kar pa ni nepomembno zaradi preprečevanja škodljivih posledic na širšem vplivnem območju reke Drave.

Slovarček:

Batimetrija. Topografija podvodnega dela vodnega telesa, pri rekah govorimo o topografiji rečnega korita.

Georeferenciranje. Metoda, s katero vsaki točki na digitalni sliki ali skenogramu določimo koordinate realnega sveta v državnem koordinatnem sistemu.

Hidromorfologija. Preučuje, kako naravne in človeške dejavnosti vplivajo na hidrologijo in geomorfologijo vodnih teles in ekosistemov.

Odplavljanje zemljin, tudi dotok plavin.

Celotni odtok plavin s prispevne površine ali določenega mesta v določenem obdobju. Obsega lebdeče in rinjene plavine (kalnost in prodonosnost). Običajno je izražen v teži na enoto časa.

Plavine. Trdni mineralni delci, ki jih morje ali celinske tekoče vode plavijo iz izvorov plavin kot rinjene plavine po dnu strug vodotokov ali kot lebdeče plavine z vodnim tokom.

Prodonosnost. Količina (teža, masa ali prostornina) rinjenih plavin, premeščena skozi prečni prerez vodotoka v enoti časa.

Rečna morfologija. Veda o oblikovanju rek in poplavnih območij ter o oblikah strug zaradi delovanja vode.

Sediment. Tiste plavine, ki se v mirujoči vodi izločijo in usedejo na dno. So sestavni del vodnega ekosistema in predstavljajo substrat, po katerem teče voda in na katerem uspevajo rastline in živali.

Literatura:

Avstrijski državni arhiv. <https://maps.arcanum.com/en/>
Spletni vir. (Januar 2023.)

Digitalizirani in georeferencirani aerofotoposnetki iz let
1956, 1966 in 1975. Arhiv RS. (Januar 2023.)

Drava – Natura 2000, reka za prihodnost – Izboljšanje
stanja ohranjenosti vrst in habitatnih tipov rečnega in
obrečnega pasu reke Drave, z akronimom »zaDravo«.

Študija učinkov ukrepov projekta »zaDravo« in
spremembe morfologije reke Drave. VGB Maribor d. o. o.,
v izdelavi.

LIVEDRAVA – Obnova rečnega ekosistema nižinskega
dela Drave v Sloveniji. A.2 – Hidravlično modeliranje
transporta plavin. Odsek Maribor-Ptuj.

Št.: LIFE11NAT/SI/882. Št.: 3436/13-A2-TS-MP.
VGB Maribor d. o. o., Maribor: s. n., december 2016.

Rusjan, S., Mikoš, M., 2006: *Dinamika premeščanja
lebdečih plavin v porečjih*. Ljubljana, *Acta hydrotehnica*,
24: 1–20.

Vodarstvo na porečju Drave skozi čas. *Almanah Mišičev
vodarski dan–30 let*. VGB Maribor d.o.o., VGP Drava
d. d., MOP RS. Maribor, 2019.



Mag. Smiljan Juvan, univ. dipl. inž. grad., je magister gradbeništva, ki
je bil do nedavnega večletni direktor Vodnogospodarskega biroja Maribor,
d. o. o. Ima več kot štirideset let izkušenj z izdelavo projektov s področja
urejanja voda ter upravljanjem z vodami in vplivi posegov na vodne
ekosisteme. V svoji karieri je sodeloval in še sodeluje pri največjih projektih
na vodotokih v Sloveniji.



Tijana Mičić, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž., je vodja oddelka
za projektiranje v Vodnogospodarskem biroju Maribor, d. o. o. Vodi
hidrotehnične projekte in sodeluje pri modeliranju pri hidro-hidravličnih
študijah ter študijah sprememb morfologije reke Drave in Mure.



Miba Kračun, mag. inž. ok. grad., je magister okoljskega gradbeništva.
Zaposlen je v Vodnogospodarskem biroju Maribor, d. o. o. Deluje na
področju projektiranja vodnogospodarskih ureditev in modeliranja pri
hidrološko-hidravličnih študijah ter trenutno pri morfološki študiji reke
Drave.