

red. prof. dr. Renata JECL*

doc. dr. Janja KRAMER*

Gregor PODLOGAR

UPORABA AKUSTIČNEGA DOPPLERJEVEGA MERILNIKA PRETOKOV (ADMP) ZA ANALIZO LEBDEČIH PLAVIN V REKAH

POVZETEK

V prispevku so predstavljeni nekateri rezultati meritev pretokov z uporabo akustičnega Dopplerjevega merilnika pretokov (ADMP), ki se opravljajo kot del aktivnosti v okviru mednarodnega projekta Čezmejna vodarska iniciativa za reki Drava in Mura – DRA_MUR_CI (Drava-Mura Crossborder Initiative). V sklopu delovnega paketa 3, ki se nanaša na raziskave s področja transporta sedimentov v rekah, se na izbranih profilih reke Drave in Mure izvajajo kontinuirne meritve pretokov, sočasno pa se tudi odvzemajo vzorci vode, na podlagi katerih se kasneje v laboratoriju določi vrsta in količina sedimentov. Končni rezultati meritev, ki so pretok, posnetek dna struge, površina prečnega prereza izbranega profila, srednja hitrost toka itd., služijo kot vhodni podatki za kasnejše vzpostavljanje modela lebdečih plavin v rekah, ki bo uporaben predvsem za kalibracijo obstoječega modela sedimentov rek kot osnovo za njihovo nadaljnjo upravljanje.

Raziskave potekajo v sodelovanju s partnerji iz sosednje Avstrije in sicer z Oddelekom urada avstrijske koroške deželne vlade, odgovornim za strokovno področje hidrologije, vodnogospodarske zaščite, vzdrževanja, vodnega javnega dobra, (Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 18, Wasserwirtschaft), ki imajo bogate izkušnje s spremljanjem transporta lebdečih plavin v rekah. V okviru projekta se izvaja medsebojna primerjava rezultatov meritev, skupni izsledki pa zagotavljajo vzpostavitev učinkovitega in natančnega modela lebdečih plavin.

UVOD

V okviru mednarodnega projekta DRA_MUR_CI Čezmejna vodarska iniciativa za reki Drava in Mura, na območjih rek Drava in Mura v državah Slovenija in Avstrija potekajo različne aktivnosti ki se nanašajo na področje gospodarjenja z vodami. Aktivnosti šestih delovnih sklopov projekta, ki jih skupno izvaja sedem projektih partnerjev iz Slovenije in Avstrije pokrivajo različna področja od, ravnanja ob poplavih in zmanjševanje tveganj, transporta sedimentov, ekološki status voda in sosednjih habitatov, ukrepe kot tudi obveščanje javnosti. Glavno vodilo projekta je, da je gospodarjenje z vodami učinkovito le v primeru, da sodelujeta obe državi in se upoštevajo vsi deli rek, glavna cilja pa sta izboljšanje in prilagoditev modelov za napovedovanje visokih voda in izboljšanje čezmejnega ravnanja ob poplavih ter zmanjševanje tveganj na rekah in porečjih.

Na Fakulteti za gradbeništvo, Univerze v Mariboru, poleg samega vodenja projekta prevzemamo del aktivnosti v okviru delovnega paketa 3, ki se nanaša na raziskave povezane s transportom sedimentov v obeh rekah in njunih porečjih. Glavni cilj delovnega paketa je izboljšati znanje s področja transporta sedimentov in kalibracija obstoječih oziroma vzpostavitev novih modelov lebdečih plavin za obe reki.

Aktivnosti delovnega paketa se delijo v dva večja sklopa, kjer se prvi nanaša na pridobivanje podatkov o pretoku, geometriji struge ter količini in vrsti plavin, v drugem delu pa sledi podrobna hidrodinamična analiza, kjer se simulirajo tokovnice obravnavanih odsekov rek v povezavi s predvidenim transportom sedimentov.

Glavna naloga prvega obdobja trajanja projekta je tako bila vzpostavitev mreže merilnih mest na obeh rekah (na reki Dravi na odseku od Villacha v sosednji Avstriji do meje s Hrvaško, na reki Muri pa na odseku med Gornjo Radgono in krajem Mele), kjer se od leta 2009 izvajajo kontinuirne meritve pretokov, hkrati pa se odvzemajo vzorci vode za kasnejšo laboratorijsko analizo.

* red. prof. dr. Renata JECL, doc. dr. Janja KRAMER, Gregor PODLOGAR, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova ul. 17, 2000 Maribor

V drugem obdobju trajanja projekta se bo na podlagi izmerjenih rezultatov in ugotovitev o medsebojni povezanosti količine sedimentov in izmerjenega trenutnega pretoka vzpostavljala model lebdečih plavin rek. V prvem koraku se bo poskušal vzpostaviti 3D model struge na izbranem odseku, s ponazoritvijo predvidenega usedanja sedimentov glede na velikost zrn za tipične pretoke. Kontinuirni monitoring dogajanja v strugi bo pripomogel k približanju modela dejanskemu stanju, na podlagi katerega se bodo lahko določili učinkoviti ukrepi urejanja vodotokov, s čimer bi lahko omejili prekomerno usedanje sedimentov na kritičnih mestih.

Podatke o pretoku rek, geometriji struge, in trdninah v reki pridobivamo z uporabo posebne merilne opreme, in sicer z akustičnim Dopplerjevim merilnikom pretokov (v nadaljevanju ADMP), s katerim na Fakulteti za gradbeništvo razpolagamo zadnja tri leta. Z izvajanjem predhodnih raziskovalnih projektov smo zbrali številne pomembne izkušnje, ki nam pripomorejo pri pridobivanju natančnih in zanesljivih rezultatov.

V pričujočem prispevku je v prvem delu opisan osnovni princip merjenja in delovanja ADMP merilnika, v nadaljevanju pa so podani nekateri rezultati in krajša analiza že pridobljenih podatkov iz preteklega enoletnega obdobja trajanja projekta. Detajlnejša analiza in konkretni modeli transporta sedimentov se bodo razvijali v naslednjem obdobju trajanja projekta.

PRINCIP MERJENJA Z ADMP

ADMP merilnik (slika 1), ki ga uporabljamo za meritve pretokov rek je vrste RioGrande ZedHed 1200 kHz, in je bil razvilit pri Teledyne RD Instruments v San Diegu, California, ZDA. Merilna oprema omogoča merjenje pretokov v strugah z globinami nad 0,4 m. Zaradi specifičnega t.i. širokopasovnega postopka merjenja lahko merimo z istim merilnikom hitrostni profil do globine 15 m ter hitrosti toka do 10 m/s. ADMP hitrost toka po predpostavki enači s hitrostjo v vodi raztopljenih oziroma suspendiranih delcev. Za določitev hitrosti izkorišča princip Dopplerjevega pojava, torej se meri sprememba med oddano in prejeto frekvenco. Hitrost vode se meri posredno, preko v vodi raztopljenih delcev, zračnih mehurčkov in drugih delcev. Hkrati se izmeri tudi globina struge kot čas potovanja signala do dna struge in nazaj. Pri vseh meritvah se uporablja frekvenčno obočje med 500 in 2000 kHz.

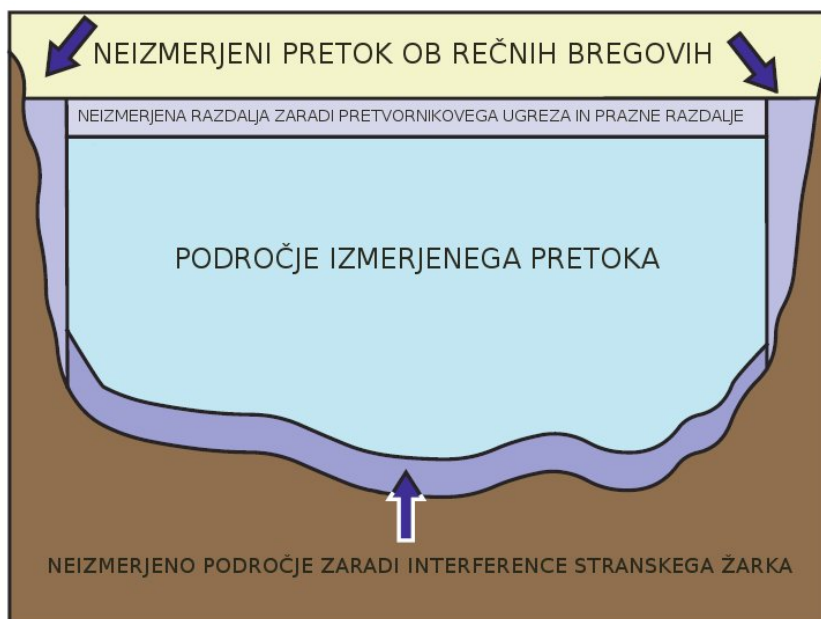
Meritve globine in hitrosti se izvajajo sočasno, z enim samim prečkanjem struge. Z uporabo pripadajoče programske opreme WinRiver in radijske zveze med merilnikom in prenosnim računalnikom, (omogočena je tudi brezžična povezava), lahko vse prenesene podatke o izmerjenih vrednostih preverjamo sproti in v realnem času. Končni rezultati meritev so pretok, površina prečnega prereza, srednja hitrost itd. in so znani takoj po končanem prečkanju.



Slika 1: Akustični Dopplerjev merilnik pretokov

Meritve se izvajajo s prečkanjem struge, med katerim mora merilnik v vsakem trenutku poznati svoj položaj. Tega določijo glede na položaj na začetku gibanja, lastno hitrost in smer gibanja ter čas, ki je pretekel med posameznima vertikalnima meritvama (profiliranjema). Vertikalna meritev je sestavljena iz vsaj dveh odbojev, od raztopljenih delcev in od dna, zato jo imenujemo skupek oziroma garnitura. Glede na dinamiko sprememb hitrosti ali globine lahko povečamo število posameznih odbojev v skupku, s čimer se razumljivo poveča tudi časovni interval med skupkoma. Rezultat meritve enega skupka predstavljajo povprečne, relativne (glede na merilnik) vrednosti vektorjev hitrosti vode v vodnem stolpcu ter oddaljenosti in hitrosti dna. Slednjo enači merilnik s svojo hitrostjo, pri čemer izmerjenemu vektorju zamenja le orientacijo.

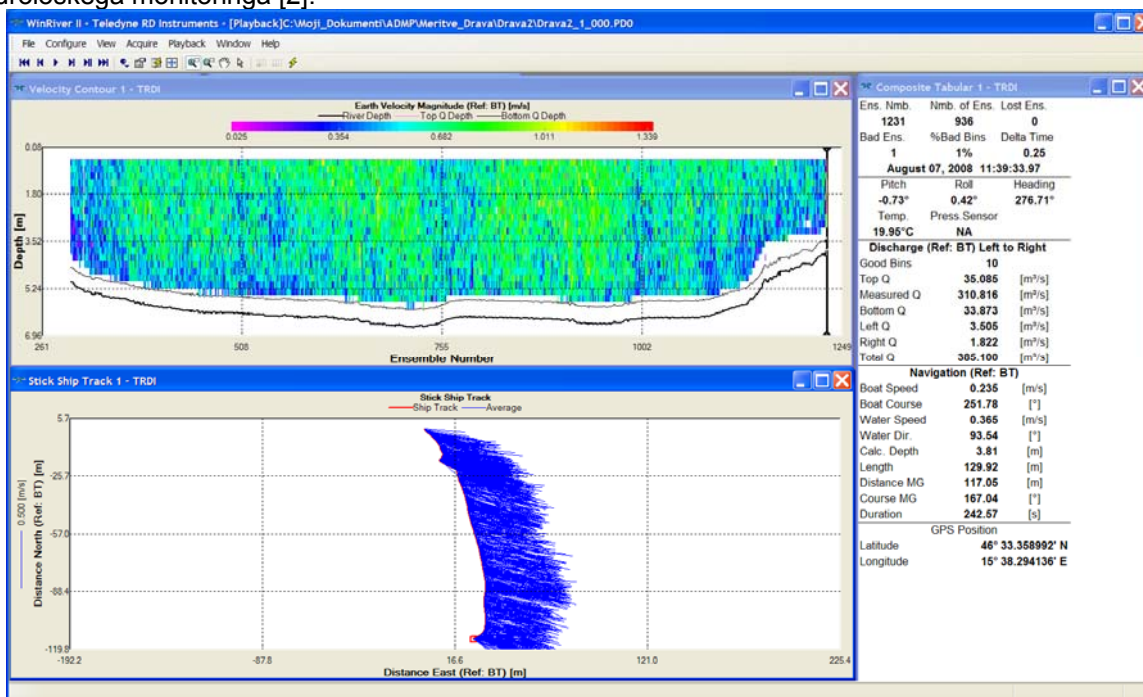
Zaradi natančnosti meritev je pomembno, da je gibanje merilnika preko struge enakomerno v razponu od 0,2 m/s do 1 m/s. Istočasno naj bi bil, zaradi večjega števila vertikal, čas med posameznima skupkoma čim krajši. Običajno znaša med 0,5 s ter 1,5 s. Ker merilnik nenehno nadzira svoj položaj, za določitev pretoka ni potrebno, da se giblje pravokotno preko struge, niti, da se giblje po ravni črti. Merilnik namreč pretok skozi posamezen skupek sproti integrira ter kumulativno prišteva oziroma odšteva. Pomembna nastavitvev pri meritvi je debelina plasti v vodnem stolpcu, ki predstavlja časovni interval, na katerega se razdelijo odbiti signali. Med meritvami debeline plasti ne moremo spreminjati, zato je pomembno, da s pravilno izbiro pokrijemo tako plitve, kot globoke dele. Podrobni razdelitvi vodnega stolpca se izogibamo zaradi večjega števila prenesenih podatkov in posledično daljšega časa med skupki, večje porabe energije in možnosti izgube podatkov pri prenosu ter, kot posledica manjšega merskega volumna in pulzacij hitrosti, tudi večjega standardnega odklona izmerjenih hitrosti. Zaradi ugreza merilnika ter dejstva, da je vsak od štirih oddajnikov hkrati tudi sprejemnik, na površini ostane plast, ki je merilnik ne more izmeriti. Debelina te plasti znaša med 20 in 30 cm. Podobno je neizmerjeno območje, kot posledica motnje uklona zvočnega žarka, na dnu struge. Debelina tega območja znaša 6% globine vode. Neizmerjeni del predstavljata tudi oba robova struge, zato je potrebno na začetku in koncu meritev oceniti oddaljenost merilnika od bregov. Pretok skozi neizmerjene dele se prišteje k izmerjenemu pretoku z uporabo interpolacijskih oziroma ekstrapolacijskih metod. Neizmerjeni deli prereza struge so prikazani na sliki 2 [3].



Slika 2: Prikaz neizmerjenih površin prečnega prereza pri meritvi z ADMP merilnikom [3]

Pripadajoča programska oprema WinRiver omogoča sprotno spremljanje in kontrolo izmerjenih rezultatov med samim izvajanjem meritve. Na sliki 3 je prikazano delovno okno, kjer je levo zgoraj predstavljen izmerjen prečni prerez s prikazom vektorjev hitrosti. Levo spodaj je tloris prečnega prehoda struge; rdeča črta ponazarja pot merilnika glede na smer sever - jug, z modro pa so prikazani povprečni vektorji hitrosti (smer in velikost) po posameznih vertikalah. Na desni strani so zbrane najpomembnejše izmerjene številske vrednosti. Merilna oprema omogoča tudi priklop GPS naprave, s katero lahko posnamemo pot prehoda čolna in merilnika ter tudi natančne koordinate odvzema vzorcev vode. Na tak način zagotovimo, da vzorce na vsaki naslednji meritvi odvzamemo na istem mestu.

Verodostojnost metode merjenja pretokov rek z uporabo ADMP merilnika se je določevala s primerjavo s konvencionalno metodo, kjer se pretok rek določa z uporabo hidrometričnih kril in je bila izvedena na Agenciji za Republike Slovenije za okolje (ARSO). Iz analize primerjalnih meritev na številnih slovenskih rekah je bilo ugotovljeno, da se rezultati med seboj dobro ujemajo, iz poročila pa lahko razberemo, da prinaša nova merilna metoda z ADMP številne prednosti in izboljšave v procesu hidrološkega monitoringa [2].



Slika 3: Primer delovnega okna v programu WinRiver z rezultati

REZULTATI MERITEV IN ANALIZA

Kontinuirne meritve pretokov in odvzem vzorcev vode na rekah Dravi in Muri se izvajajo na naslednjih izbranih lokacijah:

- Drava - Zavrch, v bližini meje s Hrvaško, na območju stare struge reke Drave,
- Drava - Šturmov potok, območje predvidene strojnice bodoče črpalne hidroelektrarne Kozjak in bližina HE Fala,
- Drava - Lavamünd, v bližini HE Lavamünd (slika 6),
- Mura - odsek med Gornjo Radgono in krajem Mele.

Meritve na profilih v sosednji Avstriji prevzemajo projektni partnerji Oddelek urada avstrijske koroške deželne vlade, odgovornim za strokovno področje hidrologije, vodnogospodarske zaščite, vzdrževanja, vodnega javnega dobra, (Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 18, Wasserwirtschaft). Metode določanja količine in vrste sedimentov rekah, ki jih uporabljajo se razlikujejo od tistih, ki jih uporabljamo na Fakulteti za gradbeništvo UM. Razlike so predvsem pri načinu in količini odvzetih vzorcev, kot tudi kasnejše določanje količine suspendiranega materiala. Podatke o pretokih in geometriji struge pa prav tako pridobivajo z uporabo ADMP.

V nadaljevanju je prikazanih nekaj najbolj reprezentativnih rezultatov pridobljenih na profilih na Šturmovem potoku in v Lavamündu.

Rezultati - Šturmov potok

V tabeli 1 so prikazani rezultati izmerjenega pretoka reke Drave na profilu Šturmov potok z dne 14.10.2010. Skupno je bilo v tem primeru opravljenih 10 prehodov, na podlagi katerih se je na koncu določil povprečni pretok. Ob vsakem prehodu se poleg izmerjenega pretoka zabeleži stran brežine začetka prečkanja, čas začetka prehoda, ter relativna napaka izmerjenega pretoka posameznega prehoda.

Na izbranem profilu lahko rezultate izmerjenega pretoka primerjamo s podatki, pridobljenimi s strani hidroelektrarne Fala. Iz tabele 2 je razvidno, da je pretok, izmerjen dne 14.10.2010 ob 12:00 znašal 490 m³/s, ob 13:00 pa 439 m³/s. Ugotovimo lahko, da se rezultati izmerjenega povprečnega pretoka z ADMP med 12:00 in 13:00 uro dobro ujemajo s podatki iz hidroelektrarne.

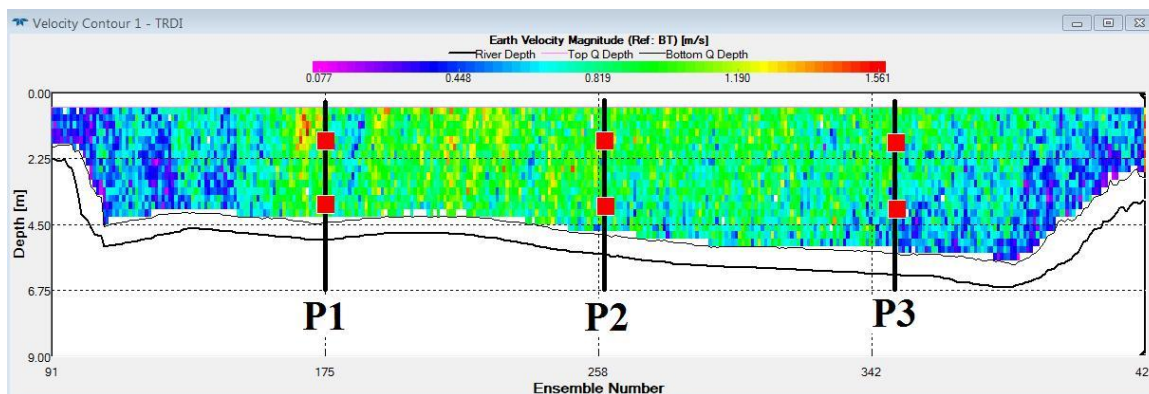
Slika 4 prikazuje enega izmed izmerjenih hitrostnih profilov. Iz slike so lepo razvidne vrednosti hitrosti po prerezu v odvisnosti od globine in oddaljenosti od brežin, ter posnetek dna struge. Na profilu so označene tudi točke odvzema vzorcev vode za ugotavljanje količine sedimentov. Skupno se odvzame šest vzorcev vode na treh različnih mestih mestih (v bližini levega in desnega brega ter na sredini) in na dveh različnih globinah (2m in 4m). Rezultati izmerjene količine sedimentov na posameznih mestih so podani v tabeli 3.

Prehod	Brežina	Čas	Skupni pretok [m ³ /s]	Razlika Q [%]
Šturm000	levi breg	11:54	439,657	-0,38
Šturm001	desni breg	12:01	435,185	-1,40
Šturm002	levi breg	12:06	453,777	2,82
Šturm003	desni breg	12:09	454,374	2,95
Šturm004	levi breg	12:13	444,786	0,78
Šturm005	desni breg	12:16	437,296	-0,92
Šturm006	levi breg	12:19	438,501	-0,64
Šturm007	desni breg	12:21	441,558	0,05
Šturm008	levi breg	12:25	427,621	-3,11
Šturm009	desni breg	12:27	440,836	-0,12
Šturm008	levi breg	12:31	444,003	0,60
Šturm009	desni breg	12:37	438,573	-0,63
Povprečje			441,347	0,00

Tabela 1: Vrednosti izmerjenih pretokov dne 14.10.2009 na Šturmovem potoku

Ura	Pretok [m ³ /s]
12:00	490
13:00	439

Tabela 2: Vrednosti izmerjenih pretokov dne 14.10.2009 na HE Fala

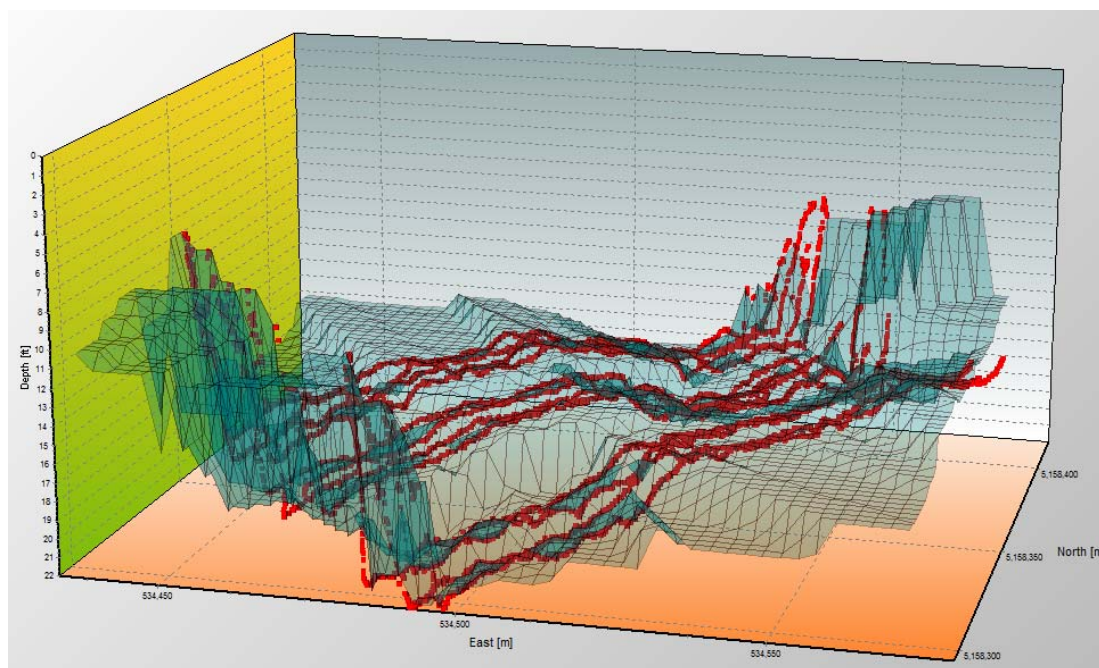


Slika 4: Izmerjen profil na merilnem mestu Šturmov potok z dne 14.10.2010 ter točke odvzema vzorcev vode

Rezultati pridobljeni z meritvami omogočajo nadaljnjo obdelavo in obravnavo hidrodinamičnih rečnih karakteristik. Na trgu lahko najdemo številne programske pakete, ki omogočajo obdelavo podatkov pridobljenih z ADMP, predvsem z namenom modeliranja turbulentnih karakteristik toka, ugotavljanja premika rečnega dna, kot tudi transporta suspendiranih sedimentov. Na Fakulteti za gradbeništvo smo v začetni fazi raziskav poskušali vzpostaviti tri-dimenzionalen model odseka struge, kar omogoča programski paket AdcpXP. Primer 3D modela odseka struge reke Drave dolžine 20m na območju Šturmovega potoka je prikazan na sliki 5.

Številka vzorca	Datum	Koncentracija sedimentov [mg/l] (odvzem vzorca)
P1-1	14.10.2009	12,0
P1-2	14.10.2009	12,0
P2-1	14.10.2009	14,0
P2-2	14.10.2009	12,0
P3-1	14.10.2009	11,0
P3-2	14.10.2009	14,0

Tabela 3: Izmerjena količina koncentracije sedimentov z den 14.10.2010 na profilu na Šturmovem potoku



Slika 5: Tridimenzionalen model struge reke Drave na lokaciji Šturmov potok

Rezultati - Lavamünd

Slika 6 prikazuje izbrane profile spremljanja količine suspendiranih sedimentov na merilnem mestu v Lavmündu. Z namenom primerjave posameznih metod določevanja količine sedimentov, se je junija 2010 organizirala skupna meritev s partnerji iz Avstrije. Le-ti za določevanje količine suspendiranega materiala uporabljajo kombinacijo direktnega in indirektnega monitoringa. Prva metoda je z uporabo senzorjev motnosti, s katerimi se na izbrani točki v reki neprenehoma spremlja in snema koncentracija lebdečih plavin. Ker na senzorce za merjenje motnosti močno vpliva velikost zrn suspendiranih sedimentov je potrebno te rezultate kalibrirati s fizično odvzetimi vzorci. Ti vzorci se zbirajo v bližini mest, kjer so nameščeni senzori za merjenje motnosti vsaj enkrat na teden, v primeru nastopa visokih voda pa še bolj pogosto. Koncentracija sedimentov iz odvzetih vzorcev se določa s filtriranjem, sušenjem in tehtanjem. Hkrati s časovnim spreminjanjem količine suspendiranega materiala, se

določa tudi prostorska razporeditev v odvisnosti od globine. Senzorji motnosti so nameščeni na prvem profilu (pred mostom), fizični vzorci vode pa se odvzemajo na profilu pod mostom, kjer se opravi tudi ADMP meritve.



Slika 6: Izbrana profila meritev pretokov na območju HE Lavamünd v sosednji Avstriji

Ker imamo na Fakulteti za gradbeništvo na razpolago čoln, kar nam omogoča poljubno izbiranje mest merjenja, smo na skupni meritvi izmerili pretok na obeh označenih profilih. Rezultati meritev pretoka so podani v tabelah 4 in 5, izmerjena hitrostna profila pa prikazuje slika 7. Iz obeh profilov je razvidno, da se oblika dna struge na zelo kratki razdalji bistveno spremeni. Na profilu, izmerjenim pod premostitvenim objektom pa je močno viden vpliv stebrov, kar je tudi potrebno upoštevati pri kasnejši analizi rezultatov.

Prehod	Brežina	Čas	Skupni pretok [m ³ /s]	Razlika Q [%]
Lavamünd100	levi breg	09:52	428,304	-1,59
Lavamünd101	desni breg	09:59	434,322	-0,20
Lavamünd102	levi breg	10:01	449,177	3,21
Lavamünd103	desni breg	10:04	429,032	-1,42
Povprečje			435,209	0,00

Tabela 4: Vrednosti izmerjenih pretokov dne 17.6.2010 v Lavamündu (nad mostom)

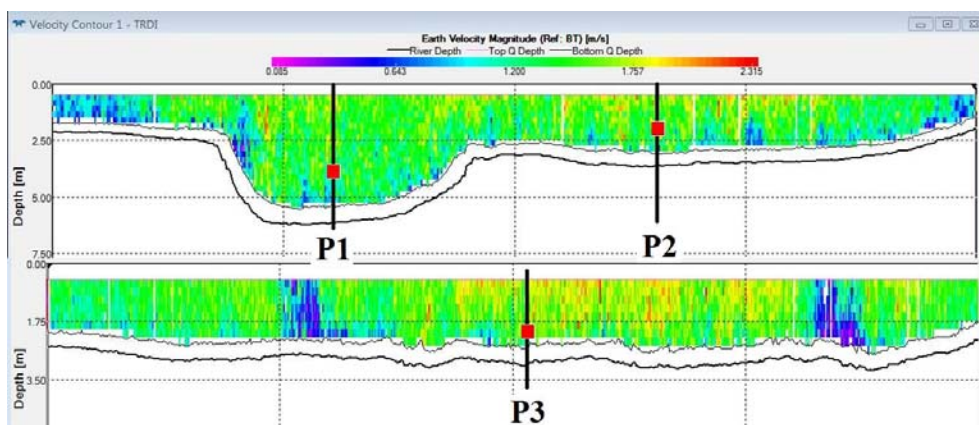
Prehod	Brežina	Čas	Skupni pretok [m ³ /s]	Razlika Q [%]
Lavamünd200	levi breg	10:31	436,975	0,56
Lavamünd201	desni breg	10:39	432,797	-0,41
Lavamünd202	levi breg	10:44	437,299	0,61
Lavamünd203	desni breg	10:49	445,116	2,43
Lavamünd204	levi breg	10:53	431,230	-0,77
Lavamünd205	desni breg	10:56	424,017	-2,43
Povprečje			434,561	0,00

Tabela 5: Vrednosti izmerjenih pretokov dne 17.6.2010 v Lavamündu (pod mostom)

Za ugotavljanje količine suspendiranih sedimentov so se odvzeli trije vzorci vode, na lokacijah, ki so označene na sliki 6. Na mestih P1 in P2, se je odvzela količina 10l, na mestu P3 pa 60l. Rezultati izmerjene koncentracije sedimentov so podani v Tabeli 6.

Tabela 7 v nadaljevanju prikazuje rezultate koncentracije sedimentov izmerjenih s strani partnerjev iz Avstrije. Tabela je povzeta po poročilu [1] in podaja primerjavo med koncentracijo določeno s senzorji

motnosti (na prvem profilu pred mostom), ter z direktnim odvzemom vzorcev vode in filtriranjem (vzorci odvzeti pod mostom). Vsi vzorci so odvzeti na sredini struge na štirih različnih globinah.



Slika 7: Izmerjena profila na merilnem mestu v Lavamündu ter točke mest odvzemov vzorcev vode

Številka vzorca	Datum	Koncentracija sedimentov [mg/l] (odvzem vzorca)
P1	17.6.2010	15,0
P2	17.6.2010	21,0
P3	17.6.2010	18,0

Tabela 6: Izmerjena količine koncentracije sedimentov na dveh profilih v Lavamündu;

Številka vzorca	Datum	Čas	Koncentracija sedimentov [mg/l] (odvzem vzorca)	Koncentracija sedimentov [mg/l] (senzorni motnosti)
II/1	17.06.2010	10:30	19,6	52,00
II/2	17.06.2010	11:00	6,8	52,00
II/3	17.06.2010	12:30	13,2	52,00
II/4	17.06.2010	13:00	9,6	51,00

Tabela 7: Primerjava izmerjene količine koncentracije sedimentov po dveh metodah na profilu v Lavamündu [1]

ZAKLJUČEK

V prispevku so predstavljeni nekateri začetni rezultati meritev pretoka rek Drava in Mura z ADMP, ki se izvajajo kot del aktivnosti projekta DRA_MUR_CI in se nanašajo na delovni sklop, ki obravnava problematiko transporta sedimentov. Predstavljeni rezultati bodo služili kot vhodni podatki za nadaljnjo detajlno analizo hidrodinamičnih karakteristik odsekov obeh rek, na podlagi katerih se bo poskušal vzpostaviti čim bolj natačen model lebdečih plavin. Vse aktivnosti, ki se izvajajo, potekajo v tesnem sodelovanju s partnerji iz sosednje Avstrije, ki imajo na področju raziskav transporta sedimentov že bogate izkušnje. Sodelovanje omogoča primerjavo rezultatov in izmenjavo izkušenj, kar zagotavlja izpeljavo natančnih končnih modelov, ki bodo pripomogli k bolj učinkovitemu urejanju vodotokov.

VIRI

- [1] Amt der Kärntner Landesregierung, *DRA_MUR_CI: Comparative measurements at the measurement sites Lavamünd and Šturm, Poročilo skupnih meritev*, Dunaj 2010.
 [2] J. Uhan. *Hidrološki rokopis Slovenije 2003*, ARSO, Ljubljana 2006.
 [3] RD Instruments, *Win River II, Quick Start Guide*, San Diego, 2007.