

TIHA VODA MOSTOVE DERE

STILL WATERS TEAR AWAY BRIDGES

UDK 551.311.21

Nejc Bezak

dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, Slovenija, nejc.bezak@fgg.uni-lj.si

Luka Vidic

Hiša eksperimentov, Trubarjeva 39, Ljubljana, Slovenija, luka.vidic@he.si

Matjaž Mikoš

dr., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, Ljubljana, Slovenija, matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

Miha Kos

dr., Hiša eksperimentov, Trubarjeva 39, Ljubljana, Slovenija, miha.kos@he.si

Povzetek

Ustanova Hiša eksperimentov v Ljubljani je v sodelovanju s Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani razvila in januarja 2016 predala v uporabo nov interaktivni poskus ter ga poimenovala »Tiha voda mostove dere«. Prispevek prikazuje zasnovo, izvedbo in praktično uporabo poskusa, ki bo na voljo obiskovalcem Hiše eksperimentov. Podrobneje je opisano teoretično ozadje nekaterih rečnih procesov, ki jih lahko opazujemo pri uporabi poskusa. Poskus lahko uvrstimo na področje promocije izobraževanja in znanosti kot tudi razvoja orodij za učenje in zavedanje, kako pomembno je sobivati z naravo in naravnimi nesrečami.

Abstract

The Slovenian Science Centre – Hiša eksperimentov developed a new interactive “hands-on” exhibit called “Still Waters Tear Away Bridges” together with the Faculty of Civil and Geodetic Engineering of the University of Ljubljana and put it into use in January 2016. The article describes the initial design, execution and the practical use of this exhibit that will be available to visitors of the centre. The theoretical background of some of river processes that can be observed with the help of the exhibit is described into more detail. The exhibit can be used for promotion of education and science as well as for development of teaching tools and raising awareness about the importance of the coexistence with nature and natural disasters.

Uvod

Poskus, ki je nastal kot rezultat sodelovanja med ustanovo Hiša eksperimentov (HE) in Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani (UL FGG), je od januarja 2016 kot poskus št. 67 na voljo obiskovalcem Hiše eksperimentov na Trubarjevi 39 v Ljubljani. Poskus je v svojem bistvu obiskovalcem Hiše eksperimentov prilagojen laboratorijski žleb s pomičnim peščenim dnom in vgrajenimi mostnimi oporniki različnih oblik, ki omogoča izvedbo različnih poskusov, kot sta na primer preučevanje vpliva mostnega opornika na vodni tok ali opazovanje oblik rečnega dna. Vse v smislu vodila te ustanove, ki se glasi »Naredil sem in znam«. Različno stari obiskovalci Hiše eksperimentov lahko opazujejo rečne procese, ki potekajo pod vodno gladino in se jih zato pogosto ne zavedamo. Tako izpopolnijo svoje razumevanje procesov, povezanih z vodami. Namen poskusa je obiskovalcem Hiše eksperimentov predstaviti in približati premeščanje rečnih sedimentov in z njimi povezanih rečnih procesov (na primer rečna erozija, poglobljanje rečnega dna, lokalni erozijski tolmunji), ki jih poglobljeno

obravnavajo študijski programi na UL FGG. Izdelan pa je bil tudi predstavitevni video, ki je na voljo na spletnem mestu Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=0SFnSwfKipY&feature=youtu.be>.

Obravnavani rečni erozijski procesi in premeščanje rečnih sedimentov je razen z ekološkega vidika med drugim pomembno tudi z vidika zagotavljanja poplavne varnosti ter varnosti različne infrastrukture, ki je v bližini vodotokov ali prečka rečne struge (Rusjan in sod., 2015). V Sloveniji lahko močni erozivni padavinski dogodki med neurji odplavljajo veliko sproščenege erozijskega drobirja iz povirnih delov prispevnih območij vodotokov v njihove struge (Rusjan in sod., 2015). V kombinaciji z nekaterimi drugimi vrstami erozije (na primer snežna, plazna, podorna) in ob upoštevanju preperevanja kamnin (Pintar in Mikoš, 1983) je vodna erozija glavni vir dotoka sedimentov v vodotoke v Sloveniji. V vodotokih se plavine (kot pogosto imenujemo aktivni rečni sediment) prenašajo ali z rinjenjem kot rinjene plavine ali v lebdečem stanju v obliki kalnosti kot lebdeče plavine oziroma suspendirane snovi (Bezak in sod., 2016; Mikoš in sod., 2002; Mikoš,

2012 a). Plavine so del naravnega erozijsko-sedimentacijskega kroga, pri katerem se gibanje plavin končuje s sedimentacijo (odlaganjem v sedimentacijskih bazenih), nadaljuje s tektoniko in dvigovanjem površja ter ponovno začenja z erodiranjem površja v novem krogu. Plavine lahko z brušenjem povzročijo erozijske poškodbe na betonskih konstrukcijah vodnih zgradb (Kryžanowski in sod., 2012) ali se odlagajo v akumulacijskih prostorih hidroelektrarn in zmanjšujejo koristno prostornino za proizvodnjo električne energije (Javornik, 2015). Na krajih v rekah, kjer se odlagajo rečni sedimenti, se spremenijo lokalne hidravlične razmere (zmanjšanje hidravlične prevodnosti strug), kar lahko poveča lokalno poplavno in erozijsko nevarnost (Rusjan in sod., 2015).

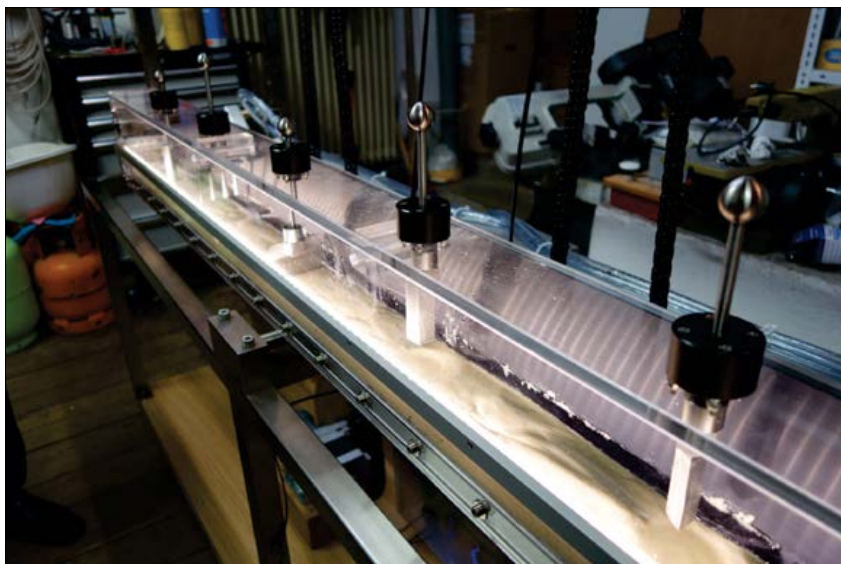
mostove dere» – gre za aluzijo na znani izrek, kako tiha voda bregove dere – če ne razumemo pojavov v rekah in gradimo mostove prek njih, nas lahko tiha voda zelo presenetiti. Temeljni namen izdelave dinamičnega poskusa v Hiši eksperimentov je bil torej nazorno predstaviti dinamiko rečnega delovanja in nakazati, kako ranljiva je lahko človekova dejavnost, kot je gradnja mostov, če ne vemo, da tiha voda bregove dere. Značilnosti rečnega delovanja nista samo hitro spodkopavanje in rušenje rečnih bregov, pogosto voda počasi spodjeda in spodkopava. Šele bistro opazovanje pojavov v rekah nas prepriča o rušilni moči vode. Kdor hoče posegati v naravo, jo mora razumeti, večinoma je razumevanje narave in naravnih procesov povezano z opazovanjem, ki se razvija bolj ali manj v otroštvu.

Predstavitev poskusa

Prispevek v nadaljevanju prikazuje zasnovo, izdelavo in načine uporabe poskusa ter teoretično ozadje nekaterih rečnih procesov, ki jih lahko opazujejo obiskovalci Hiše eksperimentov pri uporabi poskusa »Tiha voda

Zasnova

Nekateri proizvajalci laboratorijskih učnih pripomočkov, ki so med drugim namenjeni tudi za uporabo pri predmetih na UL FGG (na primer Hidravlika, Inženirska hidro-



Slika 1:
Ena izmed zadnjih različic poskusa
Figure 1:
One of the last versions of the exhibit.



Slika 2:
Končna različica poskusa, ki je na voljo obiskovalcem Hiše eksperimentov
Figure 2:
Final version of the experiment that is available to visitors.

tehnika, Vodne zgradbe, Urejanje vodotokov, Hidrologija), ponujajo tudi različne izvedbe laboratorijskega žleba s peščenim dnom. Na UL FGG pri laboratorijskih vajah pri predmetu Urejanje vodotokov in tudi pri predmetu Hudournišstvo (Urejanje hudournikov in povirij) uporabljamo laboratorijski žleb podjetja Armfield Sediment Transport Demonstration Channel S8Mkl (Armfield, 2015), ki omogoča opazovanja in meritve različnih procesov, kot sta na primer oblikovanje lokalnih erozijskih tolmunov ali spreminjanje dna rečne struge. Ta žleb je prilagojen za poučevanje (omogoča izvajanje meritev ter izbiranje med številnimi nastavitvami) in ni primeren za morebitno uporabo v Hiši eksperimentov. Pri izdelavi poskusa za Hišo eksperimentov smo izhajali iz prej navedenega laboratorijskega žleba kot možne zasnove za originalno rešitev, ki jo zahteva ustanova Hiša eksperimentov za kateri koli poskus, ki ga da v uporabo. Pri tem je bilo seveda treba zasnovo in izvedbo poskusa prilagoditi glede na posebne zahteve, ki jih morajo izpolnjevati poskusi, ki so prikazani v Hiši eksperimentov:

- robustnost;
- večkratna ponovljivost poskusa pri več zaporednih obiskovalcih brez zamudnega postavljanja naprave v začetno stanje;
- relativna hitra dinamika prikazanih procesov v poskusu, da se uporabnik ne naveliča ob pričakanju vidnih sprememb oziroma odziva na njegove posege v poskus.

Izdelava

Na podlagi posebnih zahtev so zaposleni v Hiši eksperimentov izdelali prototip in na njegovi podlagi tudi končno različico poskusa. Slika 1 prikazuje eno izmed zadnjih različic poskusa. V eksperimentalnem žlebu je upora-

bljen v trgovini kupljen pesek zrnivosti 0,063–0,355 mm, žleb ima dimenzije 1,8 m x 10 cm x 15 cm. Pri tem je bilo upoštevano modelno razmerje (razmerje med dolžino in širino žleba ter zrnavostno sestavo plavin) komercialnega učnega pripomočka podjetja Armfield (Armfield, 2015), saj je upoštevanje modelnega razmerja zelo pomembno, če želimo, da je dinamika opazovanih rečnih procesov podobna kot pri komercialnem žlebu.

Ohišje poskusa je izdelano iz akrilnega stekla, ki obiskovalcu onemogoča dostop do peska in vode v poskusnem žlebu. V žlebu je zaporedno postavljenih pet vertikalno premičnih ovir različnih oblik (okrogli steber, več manjših okroglih stebrov, zapornica, kvadratni steber ter trikotni steber; slika 1), ki so prav tako izdelani v modelnem merilu. Količina vode v modelu je 20 litrov, voda pa tja doteka iz dveh zbiralnikov, ki sta nameščena na obeh koncih žleba (slika 2). Spiranje peska iz žleba v zbiralnika vode je zmanjšano z ustrezno izbranim največjim naklonom poskusa, ki znaša 1 % (teoretično bi model lahko nastavili tudi do naklona 3 %, pri čemer pa bi bili erozijski procesi že zelo intenzivni), z robnima nivojskima zaporama in ustrezno dinamiko eksperimenta.

Uporaba modela

Vsi poskusi v Hiši eksperimentov imajo navodila, ki obiskovalcem omogočajo njihovo upravljanje (slika 2). Poskus se zažene s pritiskom na gumb (slika 2). Najprej se model postavi v vnaprej določeno lego (ustrezen naklon), nato pa začne iz zbiralnika vode ta pritekati v žleb. Obiskovalec lahko s potiskanjem ročic (slika 2) v vodni tok (žleb) dodaja ovire in opazuje procese na peščenem dnu. Po preteku 30 sekund se delovanje poskusa konča in naslednji obiskovalec lahko ponovno zažene poskus, pri čemer



Slika 3: Primer vpliva mostnega opornika (ovire) na transport sedimentov
Figure 3: Example of the influence of a pier on sediment transport.

se postopek ponovi, s to razliko, da voda priteče iz zbiralnika vode na drugi strani. Tako smo se izognili krožni izvedbi poskusa, ki se zdi podzavestno boljša rešitev, a bi zahtevala veliko zahtevnejšo tehnično rešitev. Obiskovalci lahko pri delovanju poskusa opazujejo rečne procese:

- začetek prodnega premika [ki ga ponazarjajo peščena zrna v žlebu];
- oblikovanje dna rečne struge;
- oblikovanje lokalnih erozijskih tolmunov ob ovirah, ki jih v vodni tok spusti obiskovalec;
- vpliv oblike mostnega opornika [izbrane ovire] na obliko in globino lokalnega erozijskega tolmana;
- časovni razvoj posameznih rečnih procesov [dokler ga ne prežene naslednji vedoželjni uporabnik poskusa].

Slika 3 prikazuje oblikovanje lokalnega erozijskega tolmana ob oviri, ki je postavljena v vodni tok med poskusom.

Začetek prodnega premika in premeščanje rinjenih plavin

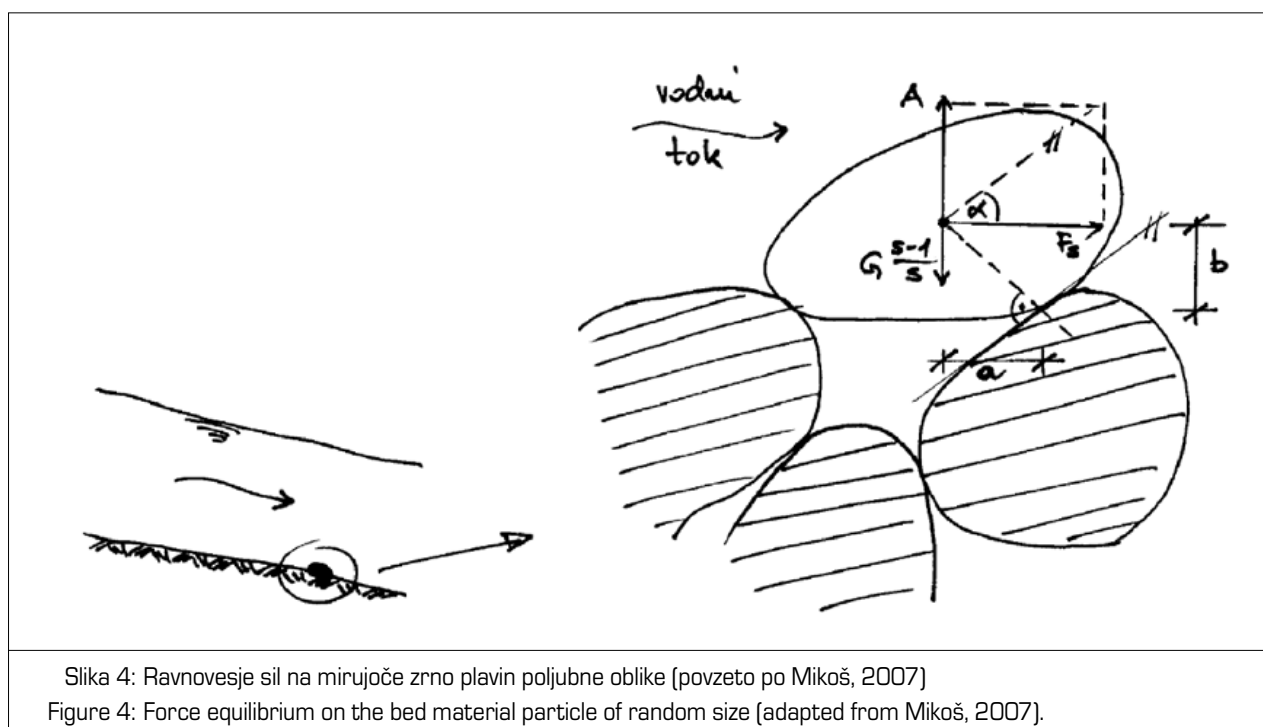
Drobna zrna iz zgornje plasti zemeljske površine (humusna plast, drobnozrnate zemljine) se skupaj z bolj grobimi zrni erozijskega drobirja premeščajo po erozijskih jarkih in hudournikih v rečno mrežo [Mikoš, 2012 a]. Na zrno plavin poljubne oblike, ki je odloženo na dnu vodotoka, delujejo, kadar je nezaklinjeno z drugimi zrni: potisna sila toka vode F_s [vodoravna komponenta – zaradi razlike v hidrodinamičnem tlaku na sprednjo in zadnjo površino zrna], dinamični vzgon A [navpična komponenta – zaradi razlike v vodnem tlaku na zgornjo in spodnjo površino zrna] ter dejanska teža potopljenega zrna G , [Mikoš, 2007; slika 4].

Ali posamezno zrno miruje ali je v premeščanju, je odvisno od vsote aktivnih sil vodnega toka in sil odpora. Velikost potisne sile toka vode določajo površina zrna plavin, ki je izpostavljena vodnemu toku (odvisna od mikrolokacije posameznega zrna in njegove velikosti, kako je zares izpostavljeno vodnemu toku, ali je vključeno med druga zrna), lokalna hitrost vode, oblikovni koeficient upora toku vode (odvisen od oblike zrna) ter gostota vode [Mikoš, 2007]. Potisna sila vode deluje vzdolž toka po obodu prečnega prereza vodotoka. V inženirski in geomorfološki praksi se obremenitev vodnega toka na plavine v dnu pogosto izraža v obliki strižne napetosti na dno struge τ_0 [N/m²], ki je med drugim odvisna tudi od naklona struge vodotoka ter hidravličnega radija (definiran kot razmerje med površino prečnega prereza in omočenim obodom), ali v obliki brezdimenzijske strižne napetosti θ [Mikoš, 2007]:

$$\theta = \frac{\tau_0}{\rho_w g (s-1) d} \quad [1]$$

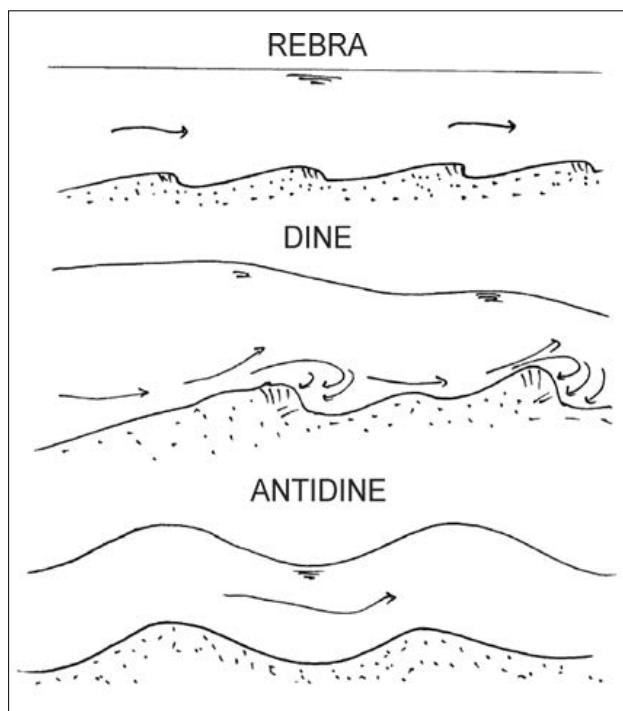
Pri tem je g zemeljski pospešek (9,81 m/s²), ρ_w gostota vode [kg/m³], s relativna gostota zrna plavin glede na vodo [$s \approx 2,65$ za apnenčaste kamnine] ter d premer zrn plavin [m]. Poleg navedenih dejavnikov na mirovanje oziroma gibanje posameznega zrna vpliva tudi debelina laminarne mejne plasti – le za zelo drobna peščena zrna [Mikoš, 2007].

Pri nizkih vodostajih, ko je potisna sila toka vode majhna, so posamezna zrna plavin v mirovanju. Ob povečanju hidravlične obremenitve se najprej začnejo premeščati najbolj izpostavljena zrna [imajo zato manjši upor], pri dodatnem povečanju hidravlične obremenitve pa se pojavi razvita prodonosnost oziroma polno premeščanje rinjenih plavin. V inženirski praksi se za določitev



začetka prodnega premika lahko uporabijo različni diagrami, ki so bili določeni na podlagi laboratorijskih eksperimentov. Tako se pogosto uporablja diagram, ki ga je že leta 1936 skupaj z brezdimenzijskim parametrom imenovanim pozneje po njem (Shieldsov parameter) opredelil Shields (1936) in s katerim lahko ocenimo, ali se ob določenih pogojih rinjene plavine premeščajo ali odlagajo. Zaradi turbulentnih nihanj v vodnem toku in v naravi neenovite zrnastosti sestave rečnih sedimentov so pogosto prehodi med posameznimi mejnimi stanji težko enolično določljivi (gre za stohastični proces, pri katerem v določeni meri lahko pogostost premika posameznega zrna plavin izrazimo v obliki normalne porazdelitve). Mikoš (2007) predstavlja dodatne informacije o premeščanju plavin pri neenoviti zrnastosti sestavi.

Zaradi premeščanja rinjenih plavin v rekah se spreminja rečno dno, kar lahko poimenujemo tudi oblike dna in opisujemo njihovo spreminjanje. Oblike oziroma tvorbe plavin na rečnem dnu se najpogosteje spreminjajo s hidravlično obremenitvijo in so pogosto izrazitejše v peskonosnih vodotokih (velikost zrn med 0,063 mm in 2 mm) – v Sloveniji, razen na Krasu, prevladujejo prodonosni vodotoki. Prevladujoče oblike dna so rebra, dine in antidine (Mikoš, 2007; slika 5). Različne oblike rečnega dna lahko opazujemo tudi v poskusnem žlebu, ki je na voljo obiskovalcem Hiše eksperimentov. Z inženirskega vidika so oblike rečnega dna pomembne predvsem pri določanju upora toku vode (energijske izgube pri toku vode v rekah), ki nas pogosto zanima pri določanju premestitvene zmogljivosti vodnih tokov za rečne plavine (Mikoš, 2007).



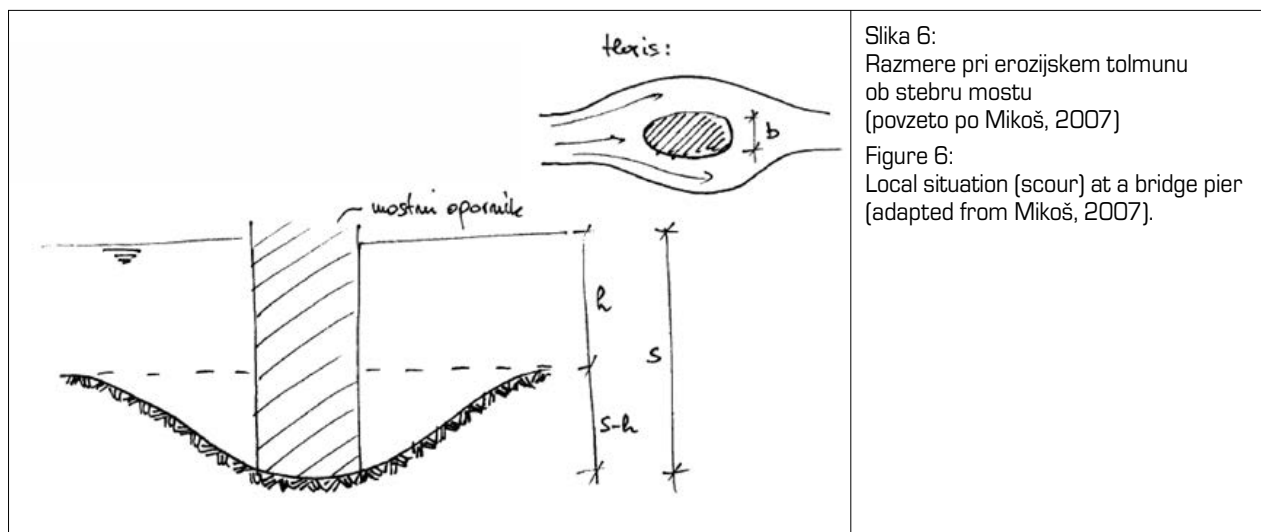
Slika 5: Različne oblike dna (povzeto po Mikoš, 2007)
Figure 5: Different bedforms (adapted from Mikoš, 2007).

Ko plavine preidejo v gibanje, jih lahko v grobem razdelimo na rinjene plavine, ki se premeščajo v bližini dna vodotoka, in lebdeče plavine, ki zaradi turbulence rečnega toka večino časa lebdijo v vodnem toku, in sicer brez stika z rečnim dnom (Mikoš, 2012 a). Rinjene plavine se premeščajo s poskakovanjem, kotaljenjem ali drsenjem (Mikoš, 2007). Poleg tega se v vodotoku premeščajo tudi kalne snovi (zelo drobne snovi), ki lebdijo v vodnem toku tudi ob običajnih hidroloških razmerah (Mikoš, 2012 a). Za oceno premestitvene zmogljivosti za rinjene in lebdeče plavine se lahko uporabijo različne enačbe, ki so jih na podlagi laboratorijskih meritev izpeljali različni avtorji (nekatero enačbo povzema Mikoš (2007)), na primer: Du Boysova enačba, Meyer-Peter-Müllerjeva enačba, Ackers-Whiteova enačba – njihovo število se z vsakim letom le še povečuje. Nekatere izmed teh enačb omogočajo zgolj oceno premestitvene zmogljivosti za rinjene plavine. Za natančnejšo oceno premeščanja plavin je pogosto najbolj smiselno uporabiti terenske meritve rinjenih in lebdečih plavin. Tako je Mikoš (2012 b) predstavil pregled terenskih meritev suspendiranih snovi v vodotokih, Bezak in sodelavci (2013) pa so pregledali opravljene meritve vsebnosti suspendiranega materiala v slovenskih vodotokih.

Erozijski procesi in vpliv stebra mostu na rečni tok

Rečno dno, na katerem se premeščajo rečni sedimenti, je občutljivo na različne dejavnike, ki vplivajo na tok vode, kot sta na primer turbulenca ter povečana strižna napetost. Erozijske procese v rekah lahko v grobem razdelimo glede na velikost območja, na katerega vpliva rečna erozija: splošno poglobljanje rečnega dna (degradacija), območna erozija in lokalna erozija. Degradacija je nenehno poglobljanje rečnega dna na daljšem odseku v daljšem časovnem obdobju ter je pokazatelj izrazito nestabilnega rečnega sistema (na primer spremembe v dotoku sedimentov z gorvodnih delov reke ali iz zaledja – povinij, spremembe v krivulji trajanja pretokov zaradi človeških posegov ali sprememb v rečnem režimu). Poglobljanje rečnega dna je značilno za odseke, na katerih je premeščanje rečnih sedimentov večje, kot je njihov dotok iz gorvodnih odsekov. Območna erozija in lokalna erozija delujeta na manjšem območju in sta pogosto povezani z gradnjo različnih inženirskih vodnih zgradb, kot so na primer: preliv, talni pragovi, nizke stopnje, mostni oporniki, jezbece. Zato je treba pri takšnih vodnih zgradbah upoštevati erozijske procese in ustrezno dimenzionirati njihove temelje (Mikoš, 2007). Za lokalne erozijske procese je značilno, da se stopnja erozije poveča ob večjih obremenitvah (večje hitrosti vode), ob manjših hidravličnih obremenitvah pa se dogajajo delne ponovne zapolnitve lokalnih erozijskih tolmunov.

Steber mostu oziroma mostni opornik predstavlja oviro za rečni tok (lokalni erozijski proces), saj zmanjšuje prečni prerez (povečana strižna napetost), poleg tega pa se v



Slika 6:
Razmere pri erozijskem tolmunu
ob stebru mostu
(povzeto po Mikoš, 2007)

Figure 6:
Local situation (scour) at a bridge pier
(adapted from Mikoš, 2007).

okolici opornika ukrivljajo tokovnice (povečana turbulenca). Slika 6 prikazuje razmere ob mostnem oporniku. V literaturi najdemo različne enačbe, s katerimi lahko ocenimo lokalno poglobitev ob oporniku [Mikoš, 2007]. Kot primer takšne enačbe navajamo enačbo Shena (Shen in sod., 1969), ki jo povzema Mikoš (2007):

$$\frac{S-h}{h} = 2Fr^{0,43} \left(\frac{b}{h}\right)^{0,645} \quad (2)$$

Pri tem so S , b in h označeni na sliki 6, Fr pa je Froudovo število, ki ga lahko izračunamo z izrazom:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (3)$$

Pri tem je v pretočna hitrost (m/s), g pa gravitacijski pospešek (9,81 m/s²). Enačb za izračun poglobitve pri mostnem oporniku je še veliko, izbrane enačbe je medsebojno primerjal Johnson (1995). Pri razvoju erozijskega tolmuna ob mostnem oporniku vidimo, da ima tolmun značilno obliko, ki je do določene stopnje podobna konjski podkvi.

Sklepne misli

Poskus »Tiha voda mostove dere« je namenjen obiskovalcem Hiše eksperimentov v Ljubljani na Trubarjevi 39 in je primer zgledega sodelovanja med ustanovo,

ki skrbi za promocijo izobraževanja in znanosti, ter univerzo. Obiskovalci lahko s postavljanjem različnih ovir s poskusom opazujejo procese, ki potekajo v rekah ob povišanih pretokih in predvsem ob poplavah, vendar se jih pogosto ne zavedamo, saj vidimo le njihove posledice po poplavi, na primer zaradi preglobokega tolmuna porušeni most. Boljše razumevanje naravnih procesov, ki so lahko tudi nevarni, povečuje odpornost družbe na njihovo delovanje in pomaga zmanjševati posledice naravnih nesreč z dvigovanjem zavedanja o mogočih posledicah neustreznega poseganja v naravne procese. Mostove moramo graditi, če želimo prečkati naravne vodotoke, kot so hudourniki, potoki in reke, a za kaj takega potrebujemo ustrezno tehniško znanje, ki ga imajo gradbeni inženirji. Kakšne naravne procese morajo spoznati pri svojem univerzitetnem študiju, pa kaže poskus, opisan v tem prispevku. Vabljeni na ogled v Hišo eksperimentov.

Zahvala

Rezultati raziskave so delno nastali v okviru dela programske skupine P2-0180 »Vodarstvo in geotehnika«, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS). Materialne stroške izdelave poskusa »Tiha voda mostove dere« v Hiši eksperimentov je prispevala Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani iz svojih tržnih sredstev ter tako postala pokrovitelj te ustanove.

Viri in literatura

1. Armfield, 2015. Sediment Transport Demonstration Channel S8Mkl. <http://discoverarmfield.com/en/products/view/s8/sediment-transport-demonstration-channel>.
2. Bezak, N., Šraj, M., Mikoš, M., 2013. Pregled meritev vsebnosti suspendiranega materiala v Sloveniji in primer analize podatkov. Gradbeni vestnik, 62(12): 274–280.
3. Bezak, N., Šraj, M., Mikoš, M., 2016. Analyses of suspended sediment loads in Slovenian rivers. Hydrological Sciences Journal doi:10.1080/02626667.2015.1006230.
4. Johnson, P., 1995. Comparison of Pier-Scour Equations Using Field Data. Journal of Hydraulic Engineering, 121(8), 626–629.
5. Javornik, L., 2015. Novelacija obratovanja HE Vrhovo z vidika upravljanja s plavinami na območju akumulacije. Magistrsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.

6. Kryžanowski, A., Mikoš, M., Šušteršič, J., Ukrainczyk, V., Planinc, I., 2012. Testing of Concrete Abrasion Resistance in Hydraulic Structures on the Lower Sava River: *Journal of Mechanical Engineering*, 58(4), 245–254.
7. Mikoš, M., 2007. Urejanje vodotokov. Skripta, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
8. Mikoš, M., 2012 a. Kalnost v rekah kot del erozijsko-sedimentacijskega kroga. *Gradbeni vestnik*, 61(6), 129–142.
9. Mikoš, M., 2012 b. Metode terenskih meritev suspendiranih snovi v rekah. *Gradbeni vestnik*, 61(7), 151–158.
10. Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M., 2002. Hidrološko izraze = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica*, 20(32), 1–325.
11. Pintar, J., Mikoš, M., 1983. Izdelava smernic in normativov z globalno usmeritvijo urejanja po ekosistemih, pojavnostih in ekološki primernosti ter načinov gospodarjenja s povirji voda. Poročilo VGI, Ljubljana.
12. Rusjan, S., Mikoš, M., Bezak, N., 2015. Vodna erozija v porečju Gradaščiце. *Ujma*, 29, 79–84.
13. Shen, H. W., Schneider, V. R., Karaki, S. S., 1969. Local Scour Around Bridge Piers, *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 95: 1919–1940.
14. Shields, A. F., 1936. Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement, vol. 26. *Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau*, Berlin, Germany, 5–24.