

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Oblak, J., 2013. Mehanizacija, ukrepi in postopki upravljanja z rinjenimi plavinami. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Banovec, P.): 35 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Oblak, J., 2013. Mehanizacija, ukrepi in postopki upravljanja z rinjenimi plavinami. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Banovec, P.): 35 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVA

MODUL PROMET

Kandidat:

**JANIJ OBLAK**

**MEHANIZACIJA, UKREPI IN POSTOPKI  
UPRAVLJANJA Z RINJENIMI PLAVINAMI**

Diplomska naloga št.: 62/B-GR

**MACHINERY, MEASURES AND PROCEDURES FOR  
THE BEDLOAD MANAGEMENT**

Graduation thesis No.: 62/B-GR

**Mentor:**  
doc. dr. Primož Banovec

**Predsednik komisije:**  
izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 24. 09. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

»Ta stran je namenoma prazna«



## **IZJAVE**

Podpisani Janij Oblak izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »MEHANIZACIJA, UKREPI IN POSTOPKI UPRAVLJANJA Z RINJENIMI PLAVINAMI«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Cerkno, 1.9.2013

Janij Oblak

»Ta stran je namenoma prazna«

## **BIBLIOGRAFSKO DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>556.18:556.537(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Janij Oblak</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Primož Banovec</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Mehanizacija, ukrepi in postopki upravljanja z rinjenimi plavinami</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomsko delo – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>35 str., 3 tab., 38 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>rinjene plavine, prodonosnost, prodni premik, ukrepi na vodotokih, gradbena mehanizacija, sipina</b>

### **Izveček**

Diplomsko delo obravnava vprašanje upravljanja z rinjenimi plavinami, ki ima v Republiki Sloveniji, v okviru upravljanja z vodami, pomembno vlogo zaradi aktivnega sproščanja le-teh iz hribovitih območij in odlaganja na delu vodotokov, kjer se padec dna zmanjša.

V diplomskem delu spoznavamo značilnosti rinjenih plavin, mehanizme njihovih premikov, razlage zakaj se odlagajo, in metode za izračun prodonosnosti.

Osrednji del naloge je namenjen spoznavanju problematike rinjenih plavin na odseku Kamniške Bistrice med jezom Stol in jezom Titan, kjer se iz LIDAR DMV posnetkov zaznava intenzivno odlaganje rinjenih plavin. V okviru naloge je tako ocenjen vpliv odloženih plavin na zmanjšano pretočno sposobnost rečnega odseka, izvedena ocena načina odstranitve plavin z gradbeno mehanizacijo in ocena stroškov sanacije stanja oziroma odstranitve odloženih plavin z vzpostavitvijo projektno določenega prečnega prereza.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 556.18:556.537(043.2)  
**Author:** Janij Oblak  
**Supervisor:** assist. prof. Primož Banovec, Ph. D.  
**Title:** Equipment, measures and procedures for the management of bedload  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Scope and tools:** 35 p., 3 tab., 38 fig.  
**Keywords:** bedload, debris transport, sediment movement measures on watercourses, construction equipment, dune

**Abstract:**

In the thesis, the issue of bed-load management is addressed, which has an important role in the water management activities in the Republic of Slovenia, due to the active erosion processes in the mountain areas and deposition processes on the watercourse reaches where the hydraulic gradients are lower.

With the thesis we learn about the characteristics of bedload, their movements, and methods for the calculation of bedload transport.

Central part of the thesis is devoted to the specific issues of the bedload transport on the analysed reach of Kamniška Bistrica between the Stol weir and the Titan weir, where intensive deposition process could be identified using the LIDAR DTM. In the thesis the evaluation of the deposited sediments on the reduced hydraulic conveyance was performed, and the machinery necessary for this task was identified. The cost estimates were conducted in order to evaluate the necessary investment for the removal of bedload deposits and the establishment of design river cross-section.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Primožu Banovcu za sodelovanje, pridobljeno znanje, čas in pomoč pri diplomski nalogi.

Zahvaljujem se tudi svoji družini, puncu Luciji, prijateljem, da so mi stali ob strani in za vso ljubezen, razumevanje, spodbude, ki sem jih bil deležen od njih tekom študija.

»Ta stran je namenoma prazna«

## KAZALO VSEBINE

<b>IZJAVE .....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....</b>	<b>V</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>ZAHVALA .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 RINJENE PLAVINE .....</b>	<b>2</b>
2.1 ZNAČILNOSTI .....	2
2.1.1 velikost zrn plavin.....	2
2.1.2 oblika zrn plavin.....	3
2.1.3 gostota zrn plavin.....	3
2.1.4 težnostno zrno.....	3
2.2 PRODNI PREMİK .....	4
2.2.1 maksimalne ne erodirajoče hitrosti.....	5
2.2.2 vlečna sila vode (strižne napetosti) in mejni padec hudourniške struge .....	6
2.3 PREMEŠČANJE PLAVIN .....	8
2.3.1 vrednotenje premestitvene zmogljivosti vodnih tokov za rinjene plavine.....	8
2.3.1.1 Du Boysova enačba (1879) .....	9
2.3.2 račun skupne letne količine rinjenega nanosa .....	9
2.3.2.1 metoda S. Gavrilovića .....	9
2.3.3 Merjenje prodonosnosti.....	10
2.3.3.1 LIDAR.....	10
2.4 VZROKI ZA ODLAGANJE RINJENIH PLAVIN .....	11
2.4.1 Nezvezna bilanca prodonosnosti .....	11
2.4.2 Sprememba prečnega prereza .....	12
2.4.3 Sprememba hidravličnega padca .....	13
2.4.4 Sprememba pretoka vode .....	14
<b>3 UKREPI NA VODOTOKIH.....</b>	<b>15</b>
3.1 UKREPI NA VODOTOKIH, KI SE ZAPLAVLJAJO .....	15
3.1.1 Odvzemanje plavin .....	15
3.1.2 Prodni zadrževalniki .....	16
3.2 UKREPI NA VODOTOKIH, KI SE POGLABLJAJO.....	16

3.2.1 Utrditev posteljice dna struge .....	16
3.2.1.1 Umetna posteljica struge .....	16
3.2.1.2 Polaganje posameznih blokov .....	16
3.2.1.3 Obogatitev posteljice dna .....	17
3.2.2 Prečni objekti .....	17
3.2.2.1 Pregradni objekti .....	17
3.2.2.2 Pragovi .....	18
3.2.2.3 Drče .....	19
<b>4 GRADBENA MEHANIZACIJA IN UREJANJE VODOTOKOV .....</b>	<b>20</b>
4.1 BAGER .....	20
4.2 BAGER NAKLADAČ .....	20
4.3 NAKLADALNIK .....	21
4.4 SPECIALNA GRADBENA MEHANIZACIJA.....	22
4.4.1 Bager pajek .....	22
4.4.2 Amfibijski bager .....	22
4.4.3 Plavajoči bager .....	23
<b>5 KAMNIŠKA BISTRICA IN RINJENE PLAVINE .....</b>	<b>24</b>
5.1 ANALIZA ODSEKA .....	24
5.1.1 Izračun rinjenih plavin .....	24
5.1.1.1 Sipina 1.....	25
5.1.1.2 Sipina 2.....	26
5.1.1.3 Sipina 3.....	27
5.1.1.4 Sipina 4.....	28
5.2 ODSTRANITEV SIPIN.....	28
5.3 DOSEDANJE VZDRŽEVANJE KAMNIŠKE BISTRICE .....	29
5.4 UČINKI VZDRŽEVANJA NA POVEČANO PRETOČNO SPOSOBNOST KAMNIŠKE BISTRICE NA OBRAVNAVANEM ODSEKU.....	29
<b>6 UGOTOVITVE .....</b>	<b>33</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>34</b>



## KAZALO SLIK

Slika 1: Glavne osi idealiziranega zrna plavin v obliki elipsoida (Mikoš, 2000).....	3
Slika 2: Srednji (aritmetični) premer $d_m$ (Mikoš, 2009).....	4
Slika 3: Diagram za odčitavanje maksimalne ne erodirajoče hitrosti za nevezane materiale (Kostadinov, 2008, cit. po Novak, 1981). ....	6
Slika 4: Ravnotežje prostorninskega elementa $A \Delta l$ pri enakomernem toku, kjer je reakcijska sila v strugi enaka $\tau_R P \Delta l$ (Mikoš, 2009). ....	7
Slika 5: Nadomestni pretočni prerez za določitev minimalnega mejnega naklona $I_N$ (Mikoš, 2009).....	8
Slika 6: lovilna košara za rinjene plavine (Mikoš, 2000).....	10
Slika 7: Bilanca prodonosnosti na odseku vodotoka (Pemič in sod., 2008).....	12
Slika 8: Odlaganje plavin zaradi spremembe prečnega prereza vodotoka (Pemič in sod., 2008).....	13
Slika 9: Zajezitev vodotoka povzroči zmanjšanje hidravličnega padca (Pemič in sod., 2008).....	13
Slika 10: Vpliv odvzema vode iz vodotoka s spiralnim izločanjem proda na odlaganje plavin dolvodno od vzema (Pemič in sod., 2008). ....	14
Slika 11: Vpliv odvzema vode iz vodotoka z izplakovalnim kanalom na odlaganje plavin dolvodno od vzema (Pemič in sod., 2008). ....	14
Slika 12: Zmanjšanje vzdolžnega padca vodotoka s pomočjo odvzemanja plavin (Mikoš, 2000). ....	15
Slika 13: Lokalne izgube za posameznimi bloki (Mikoš, 2000).....	16
Slika 14: Ustavitevno – zaplavna pregrada (Hudourniška pregrada, 2013).....	18
Slika 15: Talni pragovi na Kamniški Bistrici (lasten vir, 2013).....	19
Slika 16: Bager pri delu na pontonu (lasten vir, 2013). ....	20
Slika 17: Bager nakladač pri delu (Bager nakladač, 2013). ....	21
Slika 18: Nakladalnik pri pripravi nasipa (lasten vir, 2013). ....	21

---

Slika 19: Bager pajek (Specialna oprema, 2013). .....	22
Slika 20: Amfibijski bager med delom (Amfibijski bager, 2013).....	23
Slika 21: Plavajoči bager na Dravi (lasten vir, 2013).....	23
Slika 22: primerjava karakterističnega prečnega prereza struge in prereza LIDAR (Banovec, 2013)..	25
Slika 23: Sipina 1 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).....	25
Slika 24: Sipina 1 vidna v ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011). .....	25
Slika 25: prečni profil pred sipino (Banovec, 2013). .....	26
Slika 26: prečni profil čez sipino (Banovec, 2013). .....	26
Slika 27: Sipina 2 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).....	26
Slika 28: Sipina 2 vidna v ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011). .....	26
Slika 29: Sipina 2 (lasten vir, 2013). .....	26
Slika 30: Sipina 3 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).....	27
Slika 31: Sipina 3 vidna v ortofoto posnetku (Zemljevid najdi.si, 2013).....	27
Slika 32: vidna sipina 3 na prečnem prerezu (Banovec, 2013). .....	27
Slika 33: Sipina 4 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).....	28
Slika 34: Sipina 4 vidna v ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011). .....	28
Slika 35: sipina 4 (lasten vir, 2013).....	28
Slika 36: prečni profil projektne stanja.....	30
Slika 37: primerjava višin vode v strugi v odvisnosti od pretoka. ....	31
Slika 38: primerjava višin gladine realnega stanja z projektним stanjem pri stoletnih vodah. ....	32

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Vrednosti $\varepsilon$ , $\lambda$ in $f$ za posamezne vrste kamnin (Kostadinov, 2008).....	5
Preglednica 2: rezultati pridobljeni iz 1D modela za projektno stanje.....	30
Preglednica 3: rezultati pridobljeni iz 1D modela za realno stanje.....	31

## **1 Uvod**

Slovenija je gorata in hribovita dežela, kjer naravne danosti omogočajo razvoj hudourniških pojavov in erozije. Tako vodotoki do stanja zasičenosti z nanosi spodkopavajo svoje korito oziroma brežine. Ko je enkrat vodni tok zasičen s plavinami, prenehajo z erodiranjem in ne spodkopavajo svojega korita. Na koncu, v primeru zmanjšanja hitrosti in povezanim zmanjšanjem transportne zmogljivosti toka, pride do odlaganja dela plavin, ki jih tok prenaša. Tako se dno korita viša z odlaganjem rinjenih plavin.

Odložene plavine zmanjšajo pretočne sposobnosti pri danem prečnem prerezu struge in tako negativno vplivajo na poplavno varnost. Pri tem se zlasti v zgornjih odsekih vodotokov pojavlja pojav odlaganja rinjenih plavin, saj se lebdeče plavine pretežno odlagajo v obliki mulja v zajezbah hidroelektrarn.

V diplomskem delu bomo spoznali značilnosti rinjenih plavin, njihove premike, zakaj se odlagajo, metode za račun prodonosnosti ter prišli do inženirskih ukrepov, kako in s kakšno mehanizacijo lahko urejamo področje rinjenih plavin.

Za lažjo predstavitev, kako velik je problem odlaganja plavin, v kakšnih razsežnostih se odlagajo, bomo pogledali odsek Kamniške Bistrice in v njem izračunali količino odloženih sedimentov ter predvsem finančno ovrednotili koliko bi stala odstranitve le teh.

## 2 Rinjene plavine

Rinjene plavine so plavine, ki se premikajo v bližini dna vodotoka. Način njihovega premeščanja je lahko drsenje, kotaljenje ali poskakovanje (Mikoš, 2000).

### 2.1 Značilnosti

Tok v strugah vsebuje razen (čiste) vode tudi različne raztopljene in neraztopljene snovi. V neraztopljene snovi uvrščamo plavje, lebdeče plavine, rinjene plavine in plavajoči led (Mikoš, 2009).

V okviru naloge nas zanimajo rinjene plavine.

Rinjene plavine so sestavljene iz peska, proda, grušča in v odvisnosti od razmer, tudi iz posameznih večjih skalnatih blokov, ki se premeščajo po strugi. Zrna rinjenih plavin se premeščajo s poskakovanjem v vodnem toku, s kotaljenjem ali drsenjem po dnu struge. Zrna rinjenih plavin se z razbijanjem, krušenjem in obrusom zmanjšujejo. Pri premeščanju rinjenih plavin uporabljamo naslednje izraze:

- specifična prodonosnost v  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$  ali  $\text{m}^3 \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$  je masni ali prostorski pretok rinjenih plavin na širinski meter hudourniške struge in časovno enoto;
- prodonosnost v  $\text{kg s}^{-1}$  ali  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  je masni ali prostorninski pretok;
- letna prodonosnost v  $\text{kg}$  ali  $\text{m}^3$  je masa ali prostornina rinjenih plavin, ki se premestijo skozi izbrani prerez v času enega leta (Mikoš, 2009).

#### 2.1.1 Velikost zrn plavin

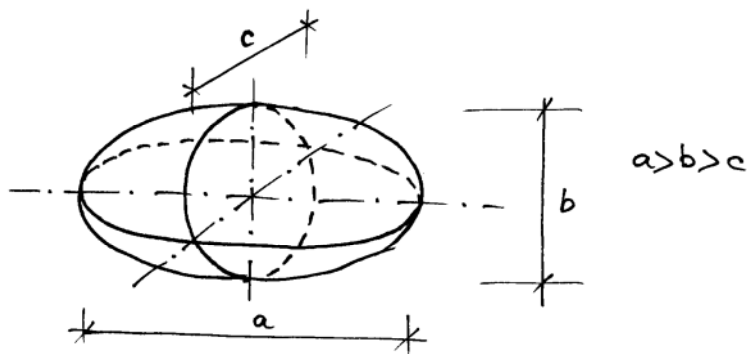
Največkrat se velikost zrna plavine določi s pomočjo karakterističnega premera, torej dolžinske dimenzije. Ta premer se lahko določi na različne načine:

- sejalna analiza

Ko se material preseje na zaporedju sit, katerih velikosti so običajno izbrana v geometrijskem zaporedju (npr. 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 32 mm,...), je velikost posamezne frakcije zrn določena z vsakokratnima velikostnima zrn obeh sit. Aritmetična sredina obeh velikosti določa srednji premer posamezne frakcije zrn (Mikoš, 2000).

- direktna meritev posameznih razsežnosti zrn

Zrno plavin lahko v prvem približku ponazorimo z obliko elipsoida, ki ima glavne osi  $a$ ,  $b$  in  $c$ . Premer  $b$  odgovarja premeru krožne odprtine sita. Različne oblike zrn plavin, ki jih srečujemo v naravi, vplivajo v glavnem na odnos obeh ostalih parametrov  $a$  proti  $c$ , torej je uporaba premera  $b$  najbolj reprezentativna od vseh treh (Mikoš, 2000).



Slika 1: Glavne osi idealiziranega zrna plavin v obliki elipsoida (Mikoš, 2000).

- premer posedanja

Če lahko določimo hitrost posedanja zrn plavin, lahko iz ustreznih enačb za račun hitrosti posedanja izračunamo premer krogle ali peščenega zrna, ki ima hitrost posedanja. Metoda je uporabna le za drobna zrna plavin in kot metoda dopolnjuje sejnalno analizo (Mikoš, 2000).

### 2.1.2 Oblika zrn plavin

Erozijski drobir in plavine v svojih izvori (erozijskih žariščih) so običajno še robate in oglate – nezaobljene. Plavine v dnu struge in rinjene plavine se zaobljuje šele med premeščanjem vzdolž hudournikov in rek zaradi abrazije (delovanja mehanskih sil v času njihovega premeščanja) in tako lahko njihovo obliko že blizu izborov ponazorimo z elipsoidom. Izvor plavin (matična kamnina) vpliva na obliko plavin, tako izrazito slojevita kamnina daje predvsem ploščate plavine (Mikoš, 2000).

### 2.1.3 Gostota zrn plavin

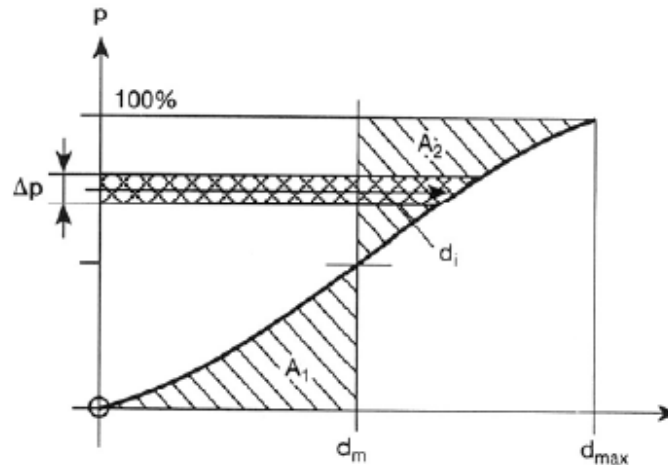
Gostoto zrn plavin določimo na enostaven način. Določimo volumen, ki ga izpodrinejo zrna plavin znane teže pod vodo. V večini primerov se gostota naravnih peskov in prodov giblje med 2650 in 2680 kg m<sup>-3</sup>. Zrna plavin, sestavljena iz t.i. težkih mineralov, so lahko bistveno gostejša, tudi preko 3000 kg m<sup>-3</sup> (Mikoš, 2000).

### 2.1.4 Težnostno zrno

Na osnovi krivulj zrnivosti rinjenih plavin je možno določiti različna merodajna zrna plavin. Običajno jih označimo z indeksom, ki nam pove, kolikšen delež zrn plavin v odstotkih je drobnejši od njihovega premera: kot npr.  $d_{16}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{65}$ ,  $d_{84}$  ali  $d_{90}$ . Za analizo premostitvene zmogljivosti vodnih tokov pa se uporablja srednje aritmetično zrno plavin  $d_m$  (Mikoš, 2000). Srednji premer  $d_m$  se grafično določi tako, da velja  $A_1 = A_2$ . Analitični izraz se zapiše kot:

$$d_m \cong \frac{\sum_i d_i \Delta p}{100\%} \quad (1)$$

kjer je:  $d_m$  – premer srednjega aritmetičnega zrna plavin [cm],  $d_i$  – premer zrna posamezne frakcije nanosa [cm],  $\Delta p$  – zastopanost posameznih frakcij [%] (Mikoš, 2009).

Slika 2: Srednji (aritmetični) premer  $d_m$  (Mikoš, 2009).

## 2.2 Prodni premik

Če pogledamo zrno rinjene plavine na dnu struge, nanj deluje potisna sila toka vode  $F$  vzporedno s dnom struge, da bi ga premaknila. Potisni sile toka vode nasprotuje več dejavnikov, ki nasprotujejo premiku zrnu rinjene plavine (Kostadinov, 2008).

Potisno silo toka vode zapišemo:

$$F = S_t \cdot g \cdot \rho \cdot \frac{V_d^2}{2 \cdot g} \quad (2)$$

kjer je:  $F$  – potisna sila vode [N],  $S_t$  – površina na katero deluje sila  $F$  [m<sup>2</sup>],  $\rho$  – gostota vode [kg m<sup>-3</sup>],  $g$  – gravitacijski pospešek [m s<sup>-2</sup>],  $V_d$  – hitrost vode pri dnu [m s<sup>-1</sup>] (Kostadinov, 2008).

Zapišemo silo odpora, ki nasprotuje premiku zrna:

$$F_t = G \cdot f \cdot g \quad (3)$$

kjer je:  $F_t$  – sila odpora [N],  $G$  – dejanska teža zrna, zmanjšana za težo izpodrinjene vode [N],  $f$  – faktor, ki vključuje vse dejavnike, kateri nasprotujejo premiku zrna (Kostadinov, 2008).

Zrna rinjenih plavin ostanejo v mirovanju dokler sta potisna sila vode in sila odpora v ravnotežju.

$$F = F_t = S_t \cdot g \cdot \rho \cdot \frac{V_d^2}{2 \cdot g} = G \cdot f \cdot g \quad (4)$$

S preoblikovanjem te formule, lahko izrazimo težo zrna  $G$ , v nadaljevanju dobimo hitrost vode v bližini dna, ki še ne erodira, vendar s povečanjem te hitrosti pride do prenosa plavin.

Če še naprej preoblikujemo, dobimo formulo za erodirano hitrost vode pri dnu ( $V_{vd}$ ), to je hitrost, ko se začnejo rinjene plavine premikati:

$$V_{vd} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot d_e^3 \cdot (\rho_n - \rho) \cdot f \cdot 2 \cdot g}{d_e^2 \cdot \varepsilon \cdot \rho}} \quad (5)$$

kjer je:  $\lambda$  – faktor obsega,  $d_e$  – efektivni premer zrna [cm],  $\rho_n$  – gostota zrn plavin [kg m<sup>-3</sup>],  $\varepsilon$  – faktor površine zrna (Kostadinov, 2008).

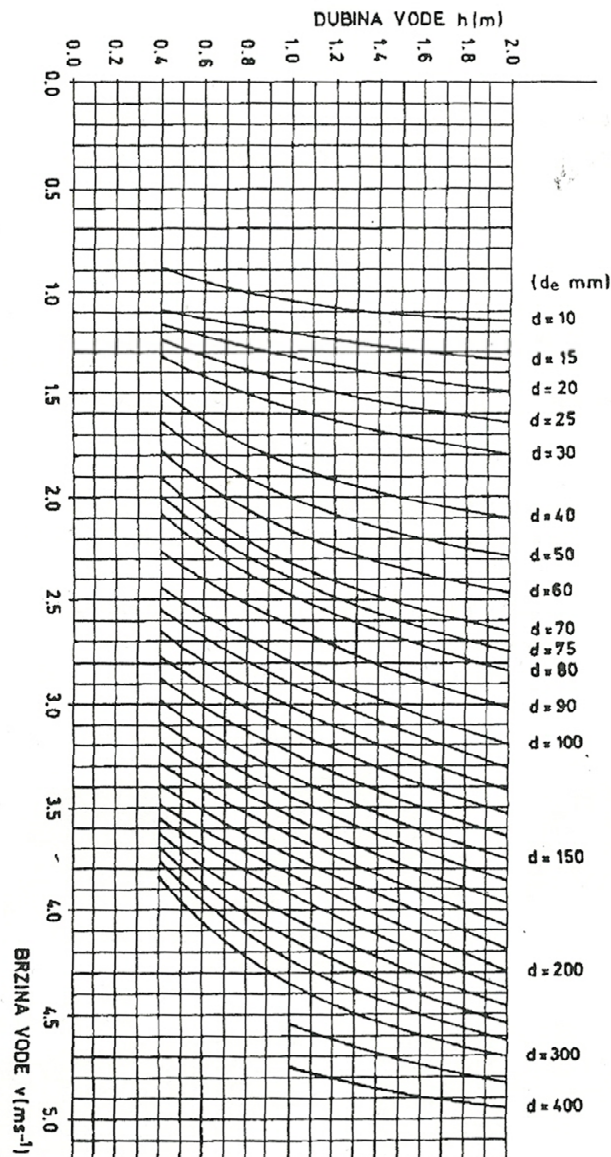
Preglednica 1: Vrednosti  $\varepsilon$ ,  $\lambda$  in  $f$  za posamezne vrste kamnin (Kostadinov, 2008).

<b>Vrsta kamnine</b>	$\lambda$	$\varepsilon$	$f$
Granit	0,419	0,861	1,23
Porfirit	0,409	0,897	1,06
Granodiorit	0,342	0,924	1,58
Dacit	0,339	0,897	1,15
Peščenjak	0,369	0,880	1,54
Skrilavci	0,317	0,828	1,62
Lapor	0,290	0,789	1,33

### 2.2.1 Maksimalne ne erodirajoče hitrosti

Za določitev ocene se lahko uporabljajo tudi empirično določene vrednosti maksimalne hitrosti vode, pri kateri še ne pride do odnašanja rinjenih plavin. Te vrednosti so odvisne od efektivnega premera zrna  $d_e$  in globine vode v koritu  $h$  (Kostadinov, 2008).





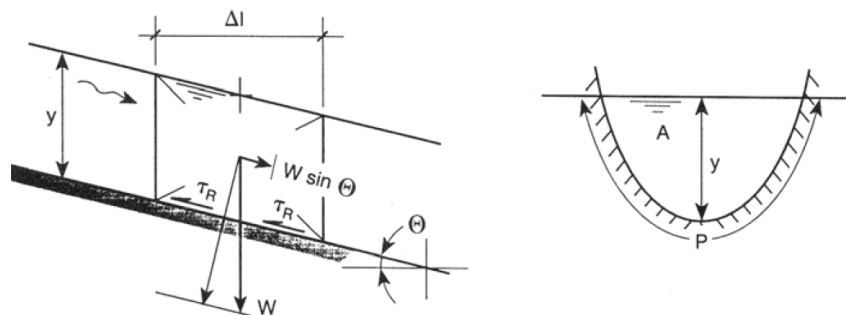
Slika 3: Diagram za odčitavanje maksimalne ne erodirajoče hitrosti za nevezane materiale (Kostadinov, 2008, cit. po Novak, 1981).

Iz diagrama je razvidno, da lahko imamo pri globljih vodotokih večje hitrosti, saj je za premik zrna merodajna hitrost vode pri dnu, katera je pri enakih profilnih hitrostih vode, večja pri plitkih vodotokih. (Kostadinov, 2008).

### 2.2.2 Vlečna sila vode (strižne napetosti) in mejni padec hudourniške struge

Mejni padec struge  $I_N$  bomo obravnavali po teoriji Meyer-Petra. Teorija je bila razvita za hidravlične razmere v vodotokih (rekah) in torej velja za širše vodotoke ob manjših padcih (<1%). V hudournikih lahko to teorijo uporabimo, če so izpolnjeni pogoj za enakomerni tok in želimo izvesti preračun načrtovanega stanja (Mikoš, 2009).

Pri toku vode v strugi deluje vlečna sila v smeri vodnega toka na dno in brežine struge. Strižna napetost  $\tau_R$  se izračuna kot razmerje med vlečno silo in omočenim obodom. Vlečna sila je obremenitev, ki deluje na strugo in povzroča prodonosnost (dejanski pretok rinjenih plavin) (Mikoš, 2009).



Slika 4: Ravnotežje prostorninskega elementa  $A \Delta l$  pri enakomernem toku, kjer je reakcijska sila v strugi enaka  $\tau_R P \Delta l$  (Mikoš, 2009).

Iz ravnotežnega pogoja za prostorninski element se izrazi:

$$\tau_R \cdot P \cdot \Delta l = W \cdot \sin \theta = \rho_w \cdot g \cdot A \cdot \Delta l \cdot \sin \theta \quad (6)$$

kjer je:  $\rho_w$  – gostota vode [ $\text{kg m}^{-3}$ ],  $g$  – pospešek sile težnosti [ $9,81 \text{ m s}^{-2}$ ],  $W$  – teža elementa prostornine z dolžino  $\Delta l$  [kg],  $A$  – površina pretočnega (prečnega) prereza [ $\text{m}^2$ ],  $P$  – omočeni obod [m],  $R$  – hidravlični radij [m],  $y$  – pretočna globina vode [m],  $I$  – naklon dna struge [-],  $I = \sin \theta \cong \tan \theta$ .

$$\tau_R = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I \quad [\text{N m}^{-2}] \quad (7)$$

Profesor Meyer-Peter je v svojih raziskavah vpeljal mejno strižno napetost  $\tau_m$ , pri kateri se začne prodonosnost. Njena vrednost je odvisna od lastnosti struge in predvsem od zrnastostne sestave plavin v strugi. Če v strugi del strižne napetosti  $\tau_R$ , ki deluje na zrna plavin, prekorači mejno strižno napetost  $\tau_m$ , se začne prodonosnost (Mikoš, 2009).

Iz izraza za  $\tau_R$  sledi, da je odvisna od naklona struge  $I$  in pretočne globine vode  $y$ , torej od pretoka vode  $Q$ . Za vsak pretok vode  $Q$  torej obstaja mejni naklon struge  $I_m$ , pri katerem ravno še ne pride do prodonosnosti oziroma poglobljanja dna struge (globinske erozije).

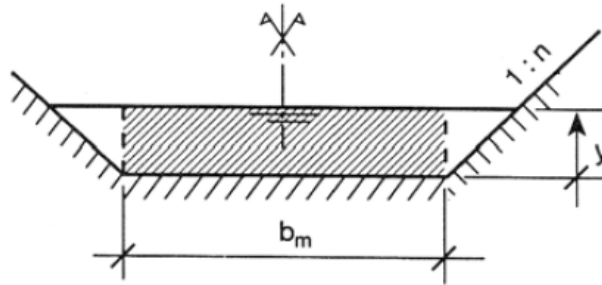
Minimalni mejni naklon  $I_N$ , pri katerem je dno struge za pregrado stabilno, ustreza naklonu zaplavka pri visokovodne pretoku  $Q_{max}$  in se zapiše kot:

$$I_N \cong \frac{0,4 d_{90}^{9/7}}{q_{max}^{6/7}} \quad (8)$$

kjer je:  $d_{90}$  premer značilnega zrna iz krivulje zrnastosti plavin, za katerega 90% zrn po težnosti manjših [m],  $q_{max}$  – maksimalni specifični pretok na širinski meter hudourniške struge [ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ].

Zapisani izraz velja za široke pravokotne pretočne prereze. Za trapezne pretočne prereze, lahko zapišemo v približku:

$$q_{max} \cong \frac{Q_{max}}{b_m}; \frac{b_m}{y} > 8 \text{ (Mikoš, 2009).} \quad (9)$$



Slika 5: Nadomestni pretočni prerez za določitev minimalnega mejnega naklona  $I_N$  (Mikoš, 2009).

### 2.3 Premeščanje plavin

Če poenostavimo, lahko potek premeščanja plavin predstavimo na naslednji način:

- dokler vodni tok ni v stanju zasičenosti z nanosom, tok spodkopava svoje korito,
- ko je vodni tok zasičen, preneha z erodiranjem in ne spodkopava svojega korita,
- v primeru zmanjšanja hitrosti in povezano zmanjšane transportne zmogljivosti toka, pride do odlaganja dela nanosa, katerega tok prenaša in tako se dno korita viša (Kostadinov, 2008).

#### 2.3.1 Vrednotenje premestitvene zmogljivosti vodnih tokov za rinjene plavine

Za rinjene plavine v dnu vodotoka velja, če je  $\tau > \tau_{cr}$ :

$$Q_B = f(Q) [\text{m}^3 \text{s}^{-1}] \quad (10)$$

Privzamemo, da so plavine v dnu vodotoka oziroma rinjene plavine obravnavane kot plavine enovite zrnivosti. S takim idealiziranim načinom vrednotenja premestitvene zmogljivosti vodnih tokov dosežemo, da si ustrežata (hidravlična) premestitvena zmogljivost (teoretična, računsko ali potencialna prodonosnost)  $Q_{TC}$  in dejanski pretok rinjenih plavin (prodonosnost)  $Q_B$ . V laboratorijskih pogojih je ob takšnih idealiziranih pogojih relativno lahko najti jasno zvezo med geometrijo, pretokom vode, značilnostmi plavin in prodonosnostjo (Mikoš, 2000).

Literatura pozna številne enačbe:

- Du Boysova enačba,
- Meyer – Peter – Müllerjeva (MPM) enačba,
- enačba VAW,
- Engelund – Fredsoe-jeva enačba,...

Du Boysova enačba velja za osnovo mnogim kasneje razvitim enačbam. MPM enačba je bila oblikovana za območje padcev  $I$  med 0,04% in 2% za rinjene plavine, brez deleža lebdečih plavin. VAW je oblikovana za območje padcev  $I$  med 3 % in 20 %, Engelund – Fredsoe-jeva enačba pa oceni

delež rinjenih plavin pri premostitveni zmogljivosti vodnih tokov z velikim deležem lebdečih plavin. Pred uporabo posamezne enačbe moramo nujno opraviti ustrezen izbor in primerjavo.

### 2.3.1.1 Du Boysova enačba (1879)

Enačba du Boysa se glasi:

$$q_B = c_s \cdot \tau_0 \cdot (\tau_0 - \tau_{cr}) \quad (11)$$

kjer je:  $c_s$  – koeficient,  $q_B$  – na m širine laboratorijskega eksperimentalnega žleba in na sekundo premeščena prostornina plavin [ $m^3/m \cdot s$ ],  $\tau_0$  – strižna napetost ob dnu [ $N \cdot m^{-2}$ ],  $\tau_{cr}$  – kritična vrednost strižne napetosti  $\tau_0$ , ki je potrebna za premik zrna plavin iz njegovega položaja [ $N \cdot m^{-2}$ ] (Mikoš, 2000).

### 2.3.2 Račun skupne letne količine rinjenega nanosa

Račun prodonosnosti – dejanskega pretoka plavin – nam omogoča, da v določeni meri in pri idealnih razmerah napovemo, koliko plavin bo erodiranih ali odloženih v strugi obravnavanega vodotoka v izbranem času. Na osnovi takega izračuna lahko ocenimo mejne prostornine odvzemov plavin ali pa prostornine plavin, ki jih bo treba odstraniti iz prodnih zadrževalnikov (Mikoš, 2000).

Problem nastane pri izbiri metode. Literatura ponuja veliko metod, vendar je vsak avtor svojo metodo izpeljal na poznanem terenu in v domačem podnebjju. Tako Kostadinov priporoča modifikacije metod na okolje obravnavanega vodotoka. Za predstavitev, je opisana metoda S. Gavrilovića.

#### 2.3.2.1 Metoda S. Gavrilovića

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F \quad (12)$$

kjer je:  $W_{god}$  – letni nanos rinjenih plavin za porečje [ $m^3 \text{ leto}^{-1}$ ],  $T$  – temperaturni koeficient področja,  $H_{god}$  – povprečna letna količina padavin [mm],  $F$  – površina porečja [ $km^2$ ],  $Z$  – koeficient erozije porečja kateri je v razponu 0,001 – 1,5, v odvisnosti od jakosti erozijskih procesov (Kostadinov, 2008).

Da pridemo do prenosa plavin na vodomernem profilu, izračunati moramo koeficient zadrževanja plavin:

$$R_u = \frac{(O \cdot D)^{0,5}}{0,25 \cdot (L + 10)} \quad (13)$$

kjer je:  $O$  – obseg prispevnega območja (dolžina razvodnice) [km],  $L$  – dolžina porečja [km],  $D$  – srednja višinska razlika porečja [km].

Na osnovi predhodnih izračunov se povprečna letna količina skupnih rinjenih in lebdečih plavin dospelih na vodomerni profil izračuna:

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F \cdot R_u \quad (14)$$

Po tem izračunu določimo še delež rinjenih plavin v % ( $\sigma$ ):

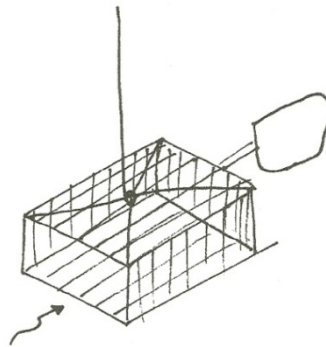
$$\sigma = \frac{Z \cdot (\rho_2 - 1)}{\pi \cdot \rho_1} \quad (15)$$

kjer je:  $Z$  – koeficient erozije v porečju,  $\rho_2$  – gostota rinjenih plavin [ $t \cdot m^{-3}$ ],  $\rho_1$  – gostota lebdečih plavin [ $t \cdot m^{-3}$ ] (Kostadinov, 2008).

### 2.3.3 Merjenje prodonosnosti

Osnova za modeliranje kateregakoli pojava je seveda kalibracija oziroma umerjanje modela. Meritve prodonosnosti so zahtevne, saj jih je potrebno izvajati v času povišanih vodostajev, ko je hitrost vodnega toka visoka in na merilne inštrumente v vodnem toku nastopajo velike sile.

Kot klasična metoda velja merjenje prodonosnosti z lovilno košaro, ki jo spustimo na dno vodotoka. Z njo lovimo premikajoče se rinjene plavine. Da bi bili rezultati kolikor toliko zanesljivi, moramo nujno sidrati lovilno košaro. To metodo danes lahko ocenimo kot nezadostno natančno (Mikoš, 2000).



Slika 6: lovilna košara za rinjene plavine (Mikoš, 2000).

Druga možnost merjenja prodonosnosti je uporaba akustičnih merskih inštrumentov, npr. hidrofona, s pomočjo katerih lahko ugotovimo ali se plavine premikajo ali ne (Mikoš, 2000).

Dandanes se zdi edina zadovoljiva rešitev za merjenje prodonosnosti izgradnja posebne merske postaje. Na taki merski postaji se rinjene plavine lovijo v poseben prečni lovilec za uvajalnim pragom. Iz lovilca se ujete rinjene plavine nato odstranijo in analizirajo (Mikoš, 2000).

#### 2.3.3.1 LIDAR

Kot nadgradnja opredeljenim metodam, in za zajem detajlne topografije rečne struge danes uporabljamo tudi lasersko podprte tehnologije, ki nam omogočajo natančno vrednotenje količine odloženih oziroma erodiranih plavin na določenem rečnem odseku. Do količine odloženih plavin tako lahko pridemo s primerjavo karakterističnega prečnega profila struge (projektirano in izvedeno korito) in obdelanimi podatki pridobljenimi z LIDAR tehnologijo (Brasington in sod., 2002).

Zračno lasersko skeniranje ali LIDAR (Light Detection And Ranginig) je tehnologija daljinskega zaznavanja zemeljskega površja in objektov na njem. LIDAR nam omogoča, da inštrument pošilja pulze na zemeljsko površje. Na osnovi merjenja razdalje potovanja pulza do zemeljskega površja in nazaj do sprejemnika, pridobiva podatke o položaju opazovanih predmetov. Poleg razdalje, LIDAR

poda še kot, čas in intenziteto odboja. Senzor LIDAR deluje v vidnem in infrardečem delu spektra, kjer je odbojnost rastlinstva največja in nevarnost za človekov vid najmanjša (LIDAR, 2012).

LIDAR omogoča pridobivanje ogromne množice podatkov o prostoru neodvisno od vremena, dnevne svetlobe, z visoko intenziteto in natančnostjo za vsak predmet na zemeljskem površju (poraščenost, naseljenost...). Zaradi penetracije skozi vegetacijo lahko pridobimo informacije o zemeljskem površju tudi na z gozdovi poraščenih območjih, vendar se količina podatkov lahko v primeru zelo goste zalistanosti močno zmanjša, kar je še posebej problematično v primeru obrežne zarasti. Zato se snemanja za potrebe upravljanja z vodami, izvajajo izven vegetacijskega obdobja. V izredno kratkem času lahko zajamemo ogromne količine podatkov. Vzoredno z laserskim zajemom poteka tudi fotografski zajem (RGB in CIR). Tako lahko dobimo več vzporednih produktov: **IN**: relief prikazan z mrežo nepravilnih trikotnikov osenčenih z barvno lestvico definirano glede na višino, **DMR**: relief prikazan z mrežo pravilnih kvadratov (grid), prikazan z barvno lestvico definirano glede na višino, **DMV**: model višin, **DMR** obarvan z ortofoto posnetkom, **DMR** karakteristične točke, **3D modeliranje, izračun volumnov, prikaz prečnih profilov** (LIDAR, 2012).

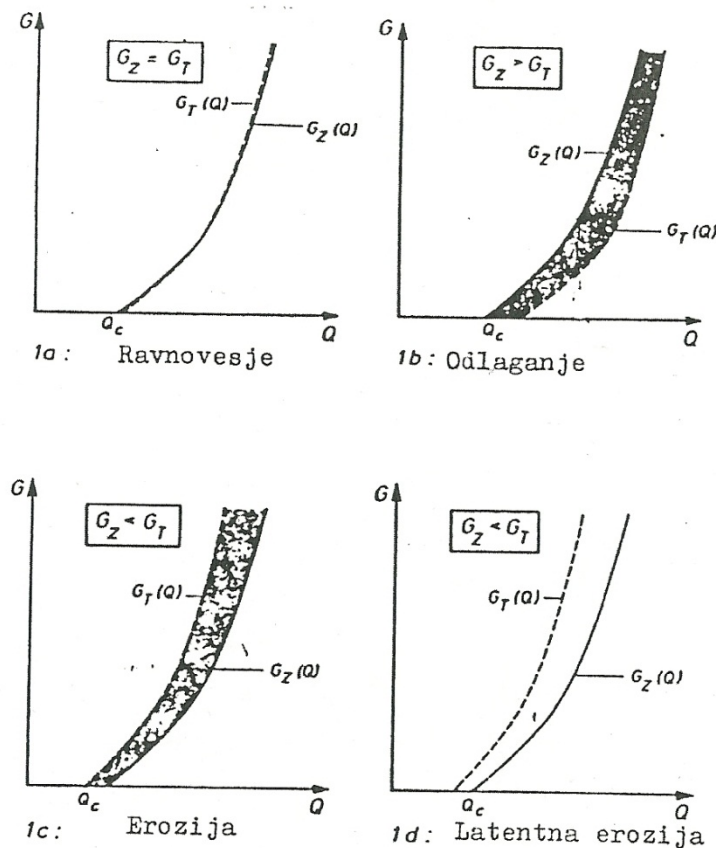
## 2.4 Vzroki za odlaganje rinjenih plavin

Vzroki zastajanja rinjenih plavin v naravnih vodotokih so lahko naravni ali antropogeni. Hidravlične pogoje za zastajanje lahko strnemo v štiri skupine:

- nezvezna bilanca prodonosnosti oziroma pretoka rinjenih plavin (presežek rinjenih plavin);
- sprememba prečnega prereza;
- sprememba hidravličnega padca;
- sprememba vodnega pretoka (odvzem vode) (Pemič in sod., 2008).

### 2.4.1 Nezvezna bilanca prodonosnosti

Zraven hidravličnih in morfoloških danosti vodotoka sta odločilni za stanje vodotoka količina rinjenih plavin  $G_T(Q)$ , ki potuje z vodnim tokom iz zgornjih delov vodotoka (dotok plavin) ter premostitvena zmogljivost vodnega toka  $G_T(Q)$ . Odseki, na katerih sta prodonosnost in premostitvena zmogljivost vodnega toka enaki, so v ravnovesnem stanju (Pemič in sod., 2008).



Slika 7: Bilanca prodnosti na odseku vodotoka (Pemič in sod., 2008).

1a)  $G_T(Q) = G_Z(Q)$  – prodnost in premestitvena zmogljivost vodnega toka sta enaki (ravnovesno stanje).

1b)  $G_T(Q) < G_Z(Q)$  – premestitvena zmogljivost vodnega toka je manjša od dotoka rinjenih plavin (odlaganje proda).

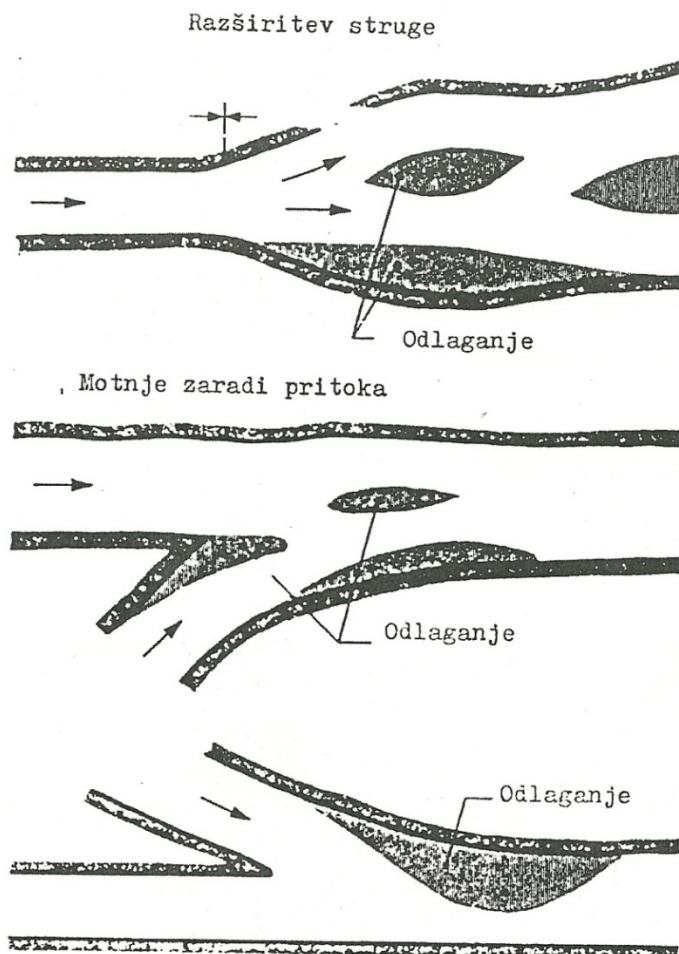
1c)  $G_T(Q) > G_Z(Q)$  – premestitvena zmogljivost vodnega toka je večja od prodnosti (poglabljanje dna).

1d)  $G_T(Q) > G_Z(Q)$  – primer latentne eroziije (skalnato ali z debelejšimi prodniki tlakovano dno vodotoka).

V grajenih strugah lahko erozijo preprečujemo z utrjevanjem korita vodotoka s čemer preprečimo procese odnašanja plavin, osnovni ukrep za obvladovanje procesa odlaganja plavin je občasno čiščenje struge z odstranjevanjem odloženih plavin.

#### 2.4.2 Sprememba prečnega prereza

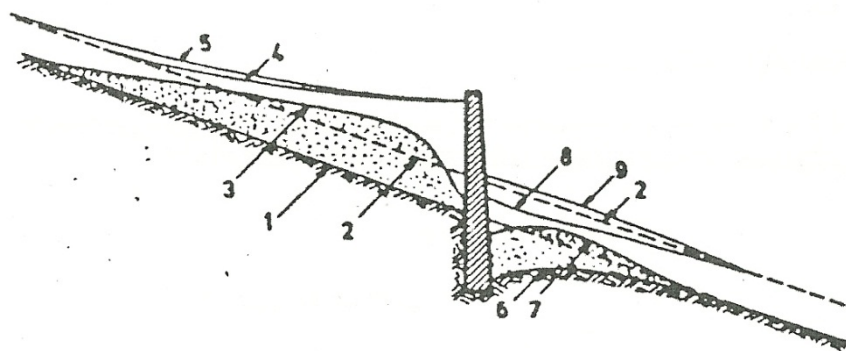
Na sliki 8 so prikazani primeri odlaganja (zastajanja) proda zaradi spremembe prečnega prereza vodotoka (razširitev prečnega prereza, sotočje vodotokov, odcepi) (Pemič in sod., 2008).



Slika 8: Odlaganje plavin zaradi spremembe prečnega prereza vodotoka (Pemič in sod., 2008).

Poleg spremembe geometrije prečnega prereza, se proces odlaganja rinjenih plavin dogaja tudi zaradi krivin vodotoka, kjer se na konkavnih delih zaradi induciranih prečnih tokov v vodotoku dogaja proces odlaganja in na konveksnih delih proces poglabljanja vodotoka oziroma razvoj tolmunov.

#### 2.4.3 Sprememba hidravličnega padca



Slika 9: Zajezitev vodotoka povzroči zmanjšanje hidravličnega padca (Pemič in sod., 2008).

Prvotno dno (1) in prvotna gladina (2) se z zajezitvijo spremenita:



- gorvodno v zaježno krivuljo (4) in zaradi odlaganja dotekajočih plavin (3) nato v dvignjeno zaježno krivuljo (5);
- dolvodno najprej v spremenjeno dno (7) in rahlo dvignjeno gladino (9), ter po tvorbi erozijskega tolmana pod zaježno zgradbo (6) v nižano gladino (8) (Pemič in sod., 2008).

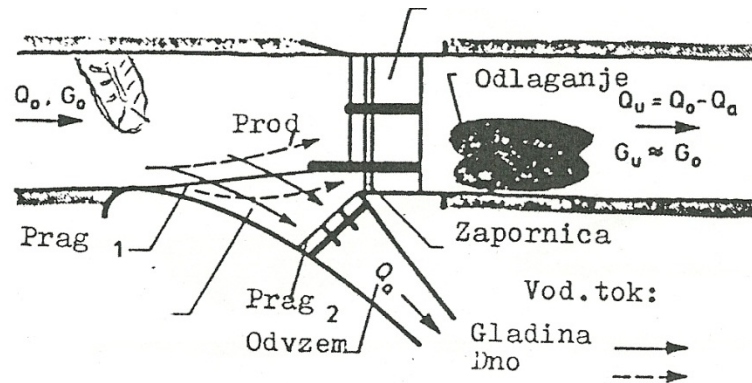
#### 2.4.4 Sprememba pretoka vode

Zaradi odvzema vode iz vodotoka se zmanjša transportna sposobnost vodnega toka; posledica je odlaganje proda dolvodno od vzema. Prikazana sta dva primera:

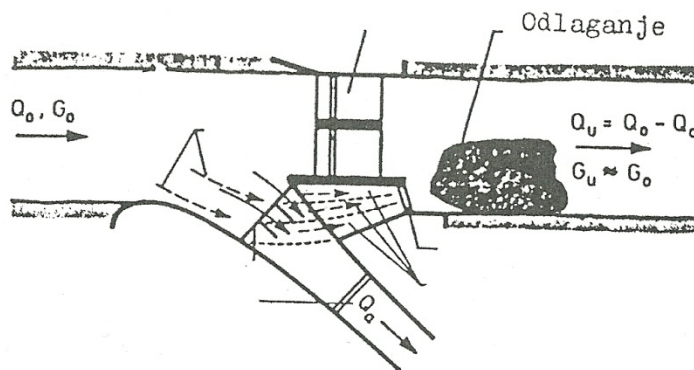
a – stranski odvzem vode pod vplivom spiralnih tokov

b – stranski odvzem vode s kanali in odplakovanje rinjenih plavin.

V obeh primerih zastajajo rinjene plavine dolvodno od jezua zaradi zmanjšane rečnega pretoka (Pemič in sod., 2008).



Slika 10: Vpliv odvzema vode iz vodotoka s spiralnim izločanjem proda na odlaganje plavin dolvodno od vzema (Pemič in sod., 2008).



Slika 11: Vpliv odvzema vode iz vodotoka z izplakovalnim kanalom na odlaganje plavin dolvodno od vzema (Pemič in sod., 2008).

### 3 Ukrepi na vodotokih

V Sloveniji je bilo od začetka organiziranega urejanja hudournikov (1875/1884) pa do danes opravljenega veliko dela pri odpravljanju posledic, pa tudi vzrokov številnih hudourniških izbruhov. V tem obdobju je bilo zgrajenih že več kot 3490 različnih ustavitvenih in zaplavniških pregrad, 3100 pragov, 57 km vegetacijskih in več kot 148 km drugih obrežnih zavarovanj tam, kjer bi hudourniki povzročili večjo škodo s poglobljanjem, zajedanjem, prenosom plavin, s sprožitvijo zemeljskih plazov. Večina objektov je bila zgrajena na primernih lokacijah, rešitve pa so bile celovite in večinoma okolju prijazne (Horvat in sod., 2008, cit. po Horvat, 1998).

#### 3.1 Ukrepi na vodotokih, ki se zaplavlajo

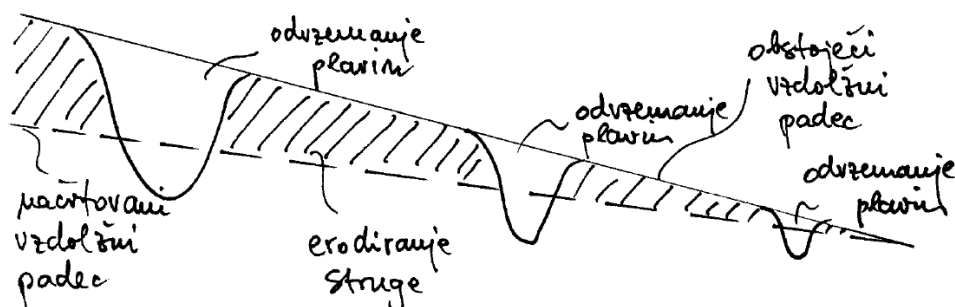
##### 3.1.1 Odvzemanje plavin

Kjer je dotok plavin kljub vsem ureditvenim ukrepom večji od premestitvene zmogljivosti, je zelo pogosto edini možni dodatni ureditveni ukrep, ki vodi k vzpostavitvi ravnovesja, odvzemanje plavin (gramoza, proda, peska in mivke) (Mikoš, 2000).

V osnovi sloni odvzemanje plavin na določitvi viškov plavin na mestu odvzemanja, to je določitvi presežka dotokov plavin nad teoretično premestitveno zmogljivostjo, določeno iz lokalne prodne funkcije. Natančna kontrola nad dejanskim pretokom plavin pa praktično ni mogoča. Zato navadno lahko določimo letne količine, ki se smejo odvzeti, ali pa za odvzem predpišemo določen postopek, ki mora biti opravljen ob vsakem posameznem odvzemu plavin. Običajno se po vsakem odvzemu čaka na dejanski odziv dna vodotoka, kar vpliva na čas in določitev količin ponovnega odvzema (Mikoš, 2000).

Pogosto je bolje odvzemati plavine v širokih pasovih prečno na vodni tok, kot pa kopati globoke prodne jame, v katere torej ob prvi visoki vodi zaidejo vse plavine.

Osnovni namen odvzemanja plavin v vodotoku je znižanje dna struge vodotoka s pomočjo krajevno omejenih odvzemnih mest. Vzdolžni padec struga vodotoka med temi odvzemnimi mesti doseže sama po sebi (Mikoš, 2000).



Slika 12: Zmanjšanje vzdolžnega padca vodotoka s pomočjo odvzemanja plavin (Mikoš, 2000).

### 3.1.2 Prodni zadrževalniki

Prodne zadrževalnike zasnujemo na tistih mestih na vodotoku, kjer se naravni vzdolžni padec dna močno spremeni in zato vodotok dotekajočih plavin ni več sposoben prenašati naprej v isti količini in zrnivosti (Mikoš, 2000).

Zlasti pogosto se gradijo prodni zadrževalniki na mestih naravnega odlaganja plavin, kjer lahko v naravnem stanju zasledimo obsežnejša prodišča ali celo prodne žepe, ki jih nato le še dodatno oblikujemo in po potrebi razširimo. Taka mesta so predvsem hudourniški vršaji, sotočja vodotokov in vzdolž vodotokov na mestih lomov vzdolžnega padca dna (Mikoš, 2000).

Zadrževalnik plavin deluje na odlaganje plavin tako, da toliko zniža pretočne hitrosti voda, da se v območju zadrževalnika usedajo zrna plavin izbrane velikosti. Običajno dosežemo zmanjšanje pretočnih hitrosti s poglobitvijo dna struge ali pa izgradnjo pregrade, ki zmanjša vodni padec gladine (Mikoš, 2000).

## 3.2 Ukrepi na vodotokih, ki se poglobljajo

### 3.2.1 Utrditev posteljice dna struge

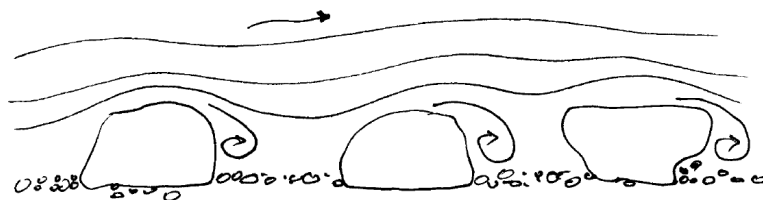
Pri tovrstnih ukrepih obdržimo naravni padec dna struge vodotoka, dno struge pa samo sistematično uredimo (Mikoš, 2000).

#### 3.2.1.1 Umetna posteljica struge

Če so razpoložljive plavine v dnu struge preveč drobne, da bi lahko same izoblikovale odporno posteljico dna, pokrijemo celotno dno struge vodotoka z bolj grobim materialom, da bi ga zaščitili pred globinsko erozijo (Mikoš, 2000).

#### 3.2.1.2 Polaganje posameznih blokov

Dno struge vodotoka utrdimo s posameznimi kamnitimi bloki, ki jih polagamo v progast nepovezan in prekinjen niz. Delovanje blokov se izraža deloma v ojačitvi krovnega sloja dna struge, kot tudi v lokalno zelo povečani hrapavosti dna. Poleg tega pa se ob dnu vodotoka zmanjša strižna napetost zaradi dodatnih energijskih izgub za vsakim kamnitim blokom (Mikoš, 2000).



Slika 13: Lokalne izgube za posameznimi bloki (Mikoš, 2000).

### 3.2.1.3 Obogatitev posteljice dna

V primeru, ko dno struge vodotoka izkazuje določen a ne zadosten odpor proti globinski eroziji, je možno doseči povečanje obstoječega odpora dna z ojačitvijo obstoječe posteljice dna. Če posteljici dna primešamo bolj groba zrna, se poveča njeno srednje zrno  $d_{mDS}$  in s tem mejna obremenitev posteljice dna (Mikoš, 2000).

### 3.2.2 Prečni objekti

Gradnja prečnih objektov pride v poštev šele pri večjih vzdolžnih padcih struge vodotokov. Skrajni primer take ureditve je popolno zagrajevanje hudourniške struge v obliki sistema hudourniških pregrad, ko vsaka pregrada podpira peto naslednje gorvodno ležeče pregrade (Mikoš, 2000).

Prečni objekti preprečujejo globinsko erozijo oz. poglobljanje dna struge, zadržujejo plavine, prebirajo plavine, podpirajo narušene bregove, prekinjajo masovne prenose plavin ob neurjih in zmanjšujejo visokovodne valove. Tvorijo niz trdnih točk v podolžnem profilu struge, podolžni padec nad njimi se zmanjšuje, temu ustrezno pa se manjšata tudi vlečna in porivna sila vode. Delimo jih v pragove in pregrade (Suhadolnik, 2007, cit. po Tratnik, 1988).

#### 3.2.2.1 Pregradni objekti

Pregrade običajno postavljamo le v zgornjih delih hudournikov, ker je delovanje hudournika običajno tam intenzivnejše in morajo biti tudi naši ukrepi temu primerno intenzivnejši. Z izgradnjo pregrad zmanjšamo vzdolžni naklon dna in s tem vlečno silo vode. Potencialna energija, ki zaradi zmanjšanja vzdolžnega naklona preostaja, se lokalno porabi pri padcu vode s krone preliva oz. vrha pregrade v podslapji tolmun. Pri tem padcu se potencialna energija v podslapju porabi za intenzivno vrtnčenje vode oz. za erozijske procese. Kjer pogoji to omogočajo, zgradimo več manjših pregrad (Suhadolnik, 2007, cit. po Horvat, 1993).



Slika 14: Ustavitevno – zaplavna pregrada (Hudourniška pregrada, 2013).

### 3.2.2.2 Pragovi

Poznamo dve vrsti pragov, in sicer take s stopnjami in take brez stopenj oz. talne pragove. Talne pragove uporabljamo za ustalitev erozijskih jarkov v zgornjih delih hudourniških območjih, pogosto pa tudi v spodnjih tokih hudournikov ter strugah v obliki kinet v spodnjih tokih (Suhadolnik, 2007, cit. po Horvat, 1993).

Talne pragove lahko oblikujemo na dva načina. Prvi način je, da na talni prag dodamo krilne lesove, ki v večji curek zberejo nizke vode in tako ugodno vplivajo na nastanek podslapnega tolmana. Ob visokih vodah tak prag še dodatno podpira brežine. Drugi način je oblikovanje praga s podaljšanim prelivom. To je prag, kjer so na prečne lesove pribite poloblice. (Suhadolnik, 2007, cit. po Bertok, 1989).

Poleg teh dveh oblik poznamo tudi talne pragove iz grobo zloženega kamenja v suho. Tu je pomembno, da je objekt dovolj masiven, da zdrži obremenitve ob velikih vodah. Lahko jih dimenzioniramo tako, da ob nizkih vodah skoncentriramo tok, ob visokih vodah pa ga razpršimo. Kjer želimo doseči ustrezen podslapni tolmun pri talnih pragovih, dna v podslapju ne utrjujemo. Zavarujemo le brežine in prag ustrezno globoko temeljimo, da zaradi spodjedanja ne pride do porušitve (Suhadolnik, 2007).

Najpogostejši prečni objekti so pragovi s stopnjami, in sicer v spodnjih in srednjih tokih hudournikov (Suhadolnik, 2007, cit. po Bertok, 1989).

Kadar moramo zgraditi pragove z višjimi stopnjami od zelenih, lahko uporabimo serijo več zaporednih pragov manjših stopenj. To je bolj primerna rešitev kot pa gradnja enega praga z višjo stopnjo. Lahko jih nadomestimo tudi z drčami. Pri seriji pragov manjših stopenj jih moramo načrtovati v taki medsebojni razdalji, da zgornji vodni skok ne doseže preliva spodnjega (Suhadolnik, 2007).

Pri vseh pragovih s stopnjami moramo zagotoviti tudi ustrezno zavarovanje brežin. Brežine moramo utrditi in zavarovati do te mere, da preprečimo neugodne posledice srkov. To dosežemo z dovolj globokim temeljenjem. Kjer ne uporabljamo betona morajo biti brežine oblikovane tako, da ne presegajo naravnega stabilnostnega kota. Izbrati moramo ustrezno dimenzijo skal in jih dodatno učvrstiti s piloti (Suhadolnik, 2007, cit. po Horvat, 1993).



Slika 15: Talni pragovi na Kamniški Bistrici (lasten vir, 2013).

### 3.2.2.3 Drče

Poznamo dve vrsti drč, ločimo pa jih glede na izbiro gradiva za izvedbo. To so kamnite in lesene drče oz. kombinacija lesene drče s kamnitim polnilom. Lesene drče in lesene drče s kamnitim polnilom so primerne v hudourniških strugah manjših razsežnosti, kamnite pa so vsestransko uporabne in tudi najpogosteje uporabljene (Suhadolnik, 2007).

Tudi pri gradnji drč je treba zagotoviti dovolj veliko stabilnost objekta. Pomembno je, da je drča primerno oblikovana in učvrščena, ker se ob visokih vodah na drči pojavi močno turbulenten tok. Učvrstitev izvedemo s pomočjo lesenih pilotov ali železnih I profilov, kadar je zabijanje težavnejše. Lahko si pomagamo tudi z vgradnjo prečnih lesov. Ravno tako moramo tudi pri drčah utrditi in zavarovati del, kjer se nahaja podslapji tolmun (Suhadolnik, 2007).



## 4 Gradbena mehanizacija in urejanje vodotokov

Na področju urejanja vodotokov se gradbena mehanizacija uporablja predvsem za utrjevanje bregov, poglobljanje strug in gradnjo objektov. Na področju rinjenih plavin, pridejo v poštev naslednji stroji:

- bager,
- bager nakladač,
- nakladalnik,
- specialna gradbena mehanizacija.

### 4.1 Bager

Stroj na lasten pogon na gosenicah, kolesih ali nogah, katerega zgornja struktura se lahko zasuče za 360° in je prvotno izdelan za izkopavanje z zajemalko brez premikanja med delovnim ciklusom stroja. Delovni cikel bagra običajno vključuje izkopavanje, dvigovanje, nehanje/zasuk in iztovarjanje materiala. Je splošen stroj za urejanje in vzdrževanje vodotokov, vodnih objektov in infrastrukture (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).



Slika 16: Bager pri delu na pontonu (lasten vir, 2013).

### 4.2 Bager nakladač

Stroj na kolesih z lastnim pogonom, opremljen s priklopom spredaj (običajno nakladalna zajemalka ali zajemalka za mešanje betona) ter manjšo zajemalno roko zadaj. Pri delovanju z zadnjo roko se za stabilnost stroja uporabljajo stabilizatorji. Zaradi majhnosti in vsestranskosti so pogosti na gradbiščih, kjer so omejitve s prostorom in kjer je potrebna hitra mobilnost. Je splošen stroj za urejanje in

vzdrževanje vodotokov, vodnih objektov in infrastrukture (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).



Slika 17: Bager nakladač pri delu (Bager nakladač, 2013).

### 4.3 Nakladalnik

Goseničar ali stroj na kolesih z lastnim pogonom s spredaj nameščeno opremo, primerno za natovarjanje (z uporabo zajemalke), ki natovarja ali izkopava s premikanjem stroja naprej. Delovni cikel stroja običajno obsega polnjenje, dvigovanje, prenos in raztovarjanje materiala. Primeren za gradnje velikih vodnih objektov in čiščenje velikih količin plavin. Za vzdrževanje se ga ne uporablja (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).



Slika 18: Nakladalnik pri pripravi nasipa (lasten vir, 2013).

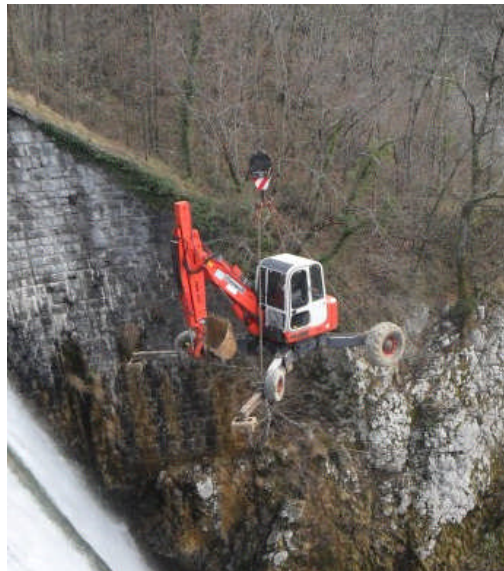


#### 4.4 Specialna gradbena mehanizacija

Specialno gradbeno mehanizacijo uporabljamo za področje vzdrževanja vodne infrastrukture, vodnih in priobalnih zemljišč. V poštev pridejo bager pajek, amfibijski bager in plavajoči bager (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).

##### 4.4.1 Bager pajek

Bager pajek je namenska gradbena mehanizacija, ki omogoča dostop in delo tudi na zelo zahtevnih in težko dostopnih krajih (v vodi do globine 2 m, v globokih močvirjih). Stroj se s fleksibilnim podvozjem prilagodi zelo raznoliki podlagi (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).



Slika 19: Bager pajek (Specialna oprema, 2013).

##### 4.4.2 Amfibijski bager

Stroj je namenjen za delo na področjih, ki so nedostopna po kopnem. Idealno za uporabo v kanalih, mokriščih ali ob obali. Velike gosenice omogočajo plovnost in stabilnost stroja (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).



Slika 20: Amfibijski bager med delom (Amfibijski bager, 2013).

#### 4.4.3 Plavajoči bager

Primeren je za poglobljanje mirnih, globokih in širokih strug. Možna je dodatna stabilizacija s pontoni in priklop različnih orodij (Podržaj, 2012, cit. po SIST EN ISO 6165:2007).



Slika 21: Plavajoči bager na Dravi (lasten vir, 2013).

## **5 Kamniška Bistrica in rinjene plavine**

Za zgornji tok Kamniške Bistrice so značilne predvsem hudourniške poplave, v spodnjem toku in zlasti ob njenih pritokih pa nižinske. Izjemno intenzivni pobočni procesi v visokogorskem svetu vplivajo na poplavno ogroženost v njenem povirnem delu, saj v dolinska dna prinašajo obilico plavin (Rogelj, 2009, cit. Po Komac in sod., 2008). Poplave so tu stalni pojav, v zadnjih petindvajsetih letih pa imamo tudi kar nekaj večjih poplav, ki so bile leta 1990, 1998, 2007 in 2010.

Po podatkih iz leta 1958 se v Kamniški Bistrici transportira letno 15 500 m<sup>3</sup> proda (Vodnogospodarski inštitut – vodogradbeni laboratorij, 1980).

### **5.1 Analiza odseka**

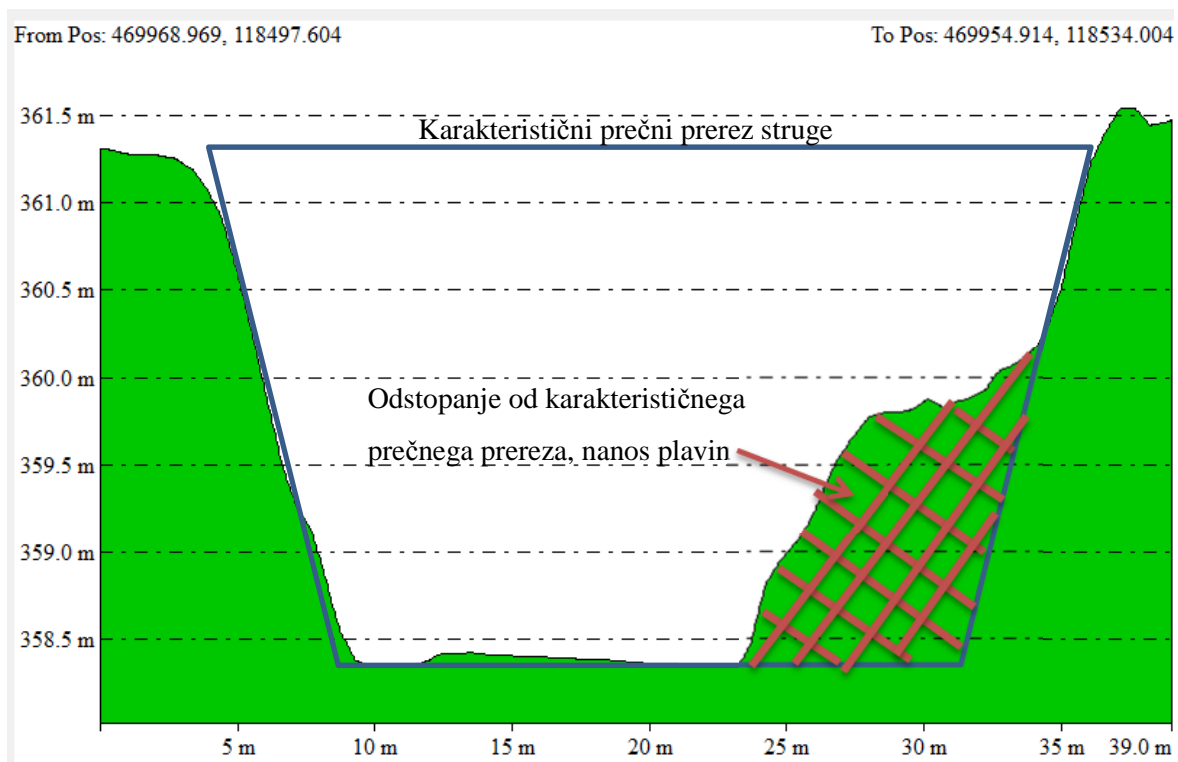
Za analizo odseka smo izbrali odsek Kamniške Bistrice med jezom Stol in Titanovim jezom. Gre za odsek dolg 3 km in ima štiri izrazite večje sipine. V tem odseku bomo obravnavali količino rinjenih plavin, kje so zastale in koliko bi stal projekt odstranitve le teh.

#### **5.1.1 Izračun količine odloženih rinjenih plavin**

V poglavju 2.3.3 smo spoznali, da je merjenje prodonosnosti z lovilno košaro označeno kot nezadostno, da s hidrofonom dobimo samo podatek, ali se plavine premikajo ali ne, posebne merske postaje pa na Kamniški Bistrici nimamo. Tako smo za analizo uporabili tehnologijo LIDAR za določitev digitalnega modela višin s katerim lahko ocenimo količine odloženih sipin na obravnavanem odseku..

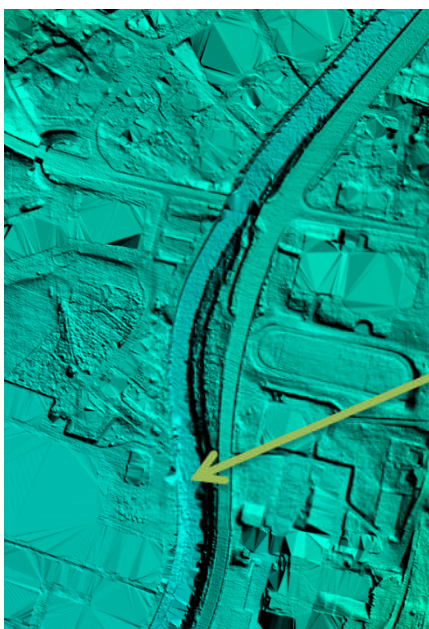
S primerjavo karakterističnega prečnega prereza in prečnega prereza pridobljenega s tehnologijo LIDAR, je bil opravljen izračun volumna sipin na odseku. Izračunani volumen sipin, glede na projektno stanje reguliranega korita vodotoka Kamniška Bistrica znaša 6514 m<sup>3</sup> (Banovec, 2013).

Količina predstavlja skupno količino odloženih plavin v koritu Kamniške Bistrice, ki se pojavlja v štirih sipinah, ki so predstavljene v nadaljevanju.

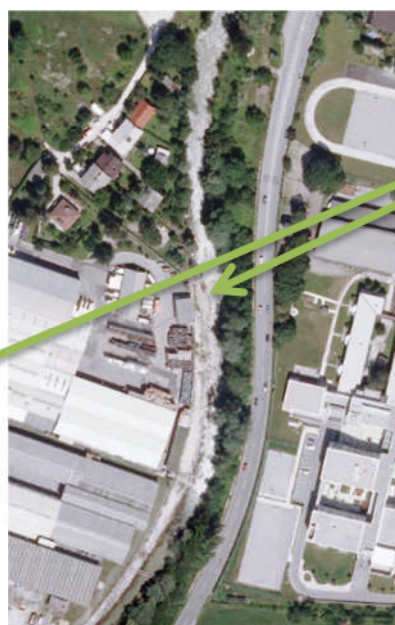


Slika 22: primerjava karakterističnega prečnega prereza struge in prereza LIDAR (Banovec, 2013).

### 5.1.1.1 Sipina 1



Slika 23: Sipina 1 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).

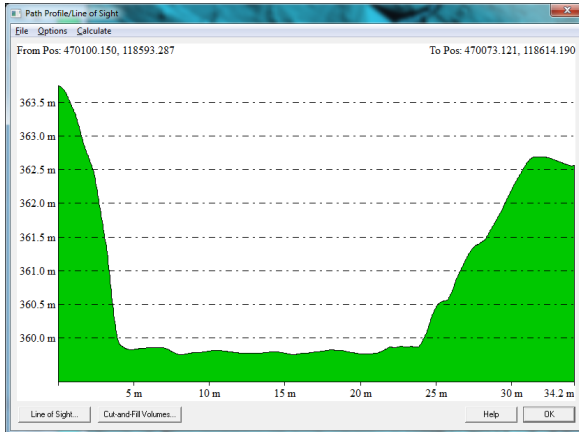


Slika 24: Sipina 1 vidna v ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011).

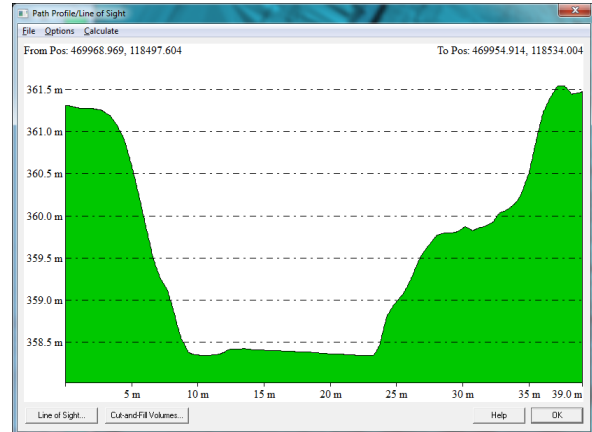
V tej sipini je bilo izračunano 2 998 m<sup>3</sup> odloženih plavin (Banovec, 2013).



### 5.1.1.2 Sipina 2



Slika 25: prečni profil pred sipino (Banovec, 2013).



Slika 26: prečni profil čez sipino (Banovec, 2013).



Slika 27: Sipina 2 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).



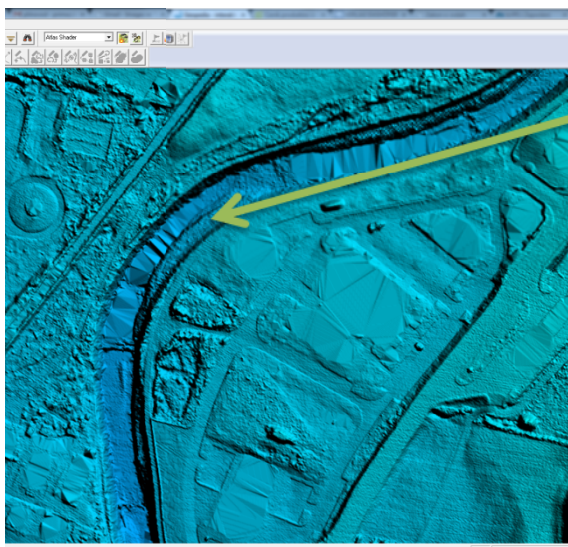
Slika 28: Sipina 2 vidna v ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011).



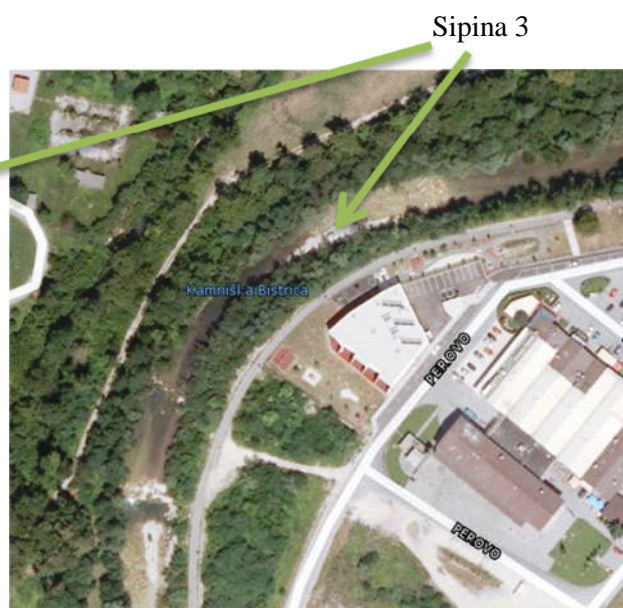
Slika 29: Sipina 2 (lasten vir, 2013).

Volumen sipine znaša 1223 m<sup>3</sup> (Banovec, 2013).

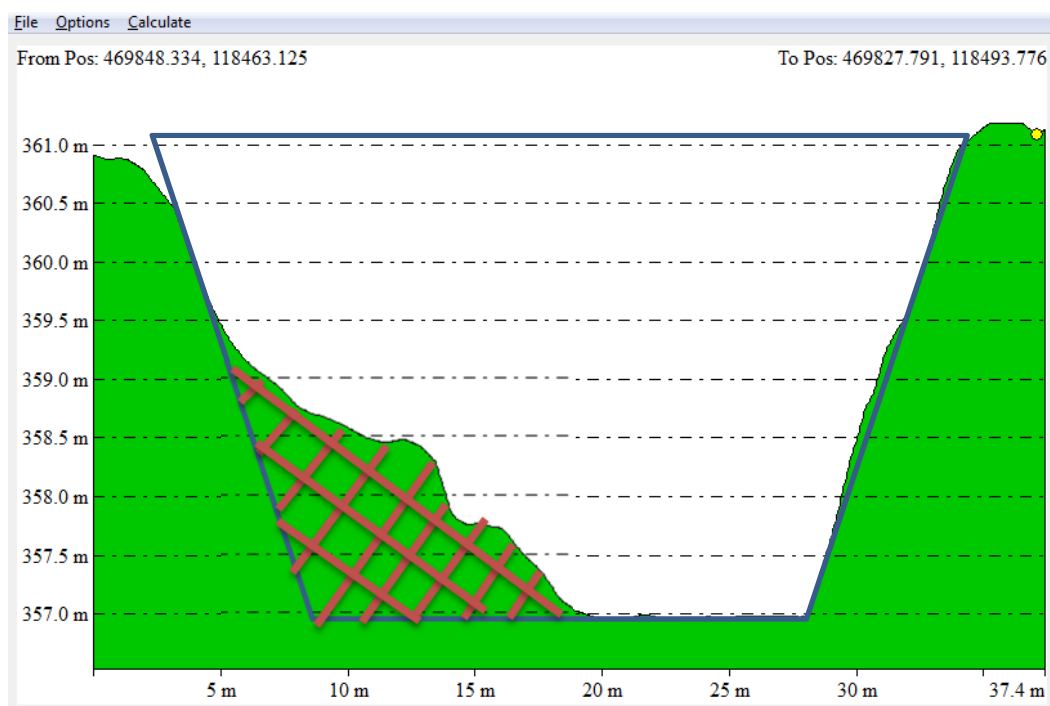
### 5.1.1.3 Sipina 3



Slika 30: Sipina 3 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).



Slika 31: Sipina 3 vidna v ortofoto posnetku (Zemljevid najdi.si, 2013).

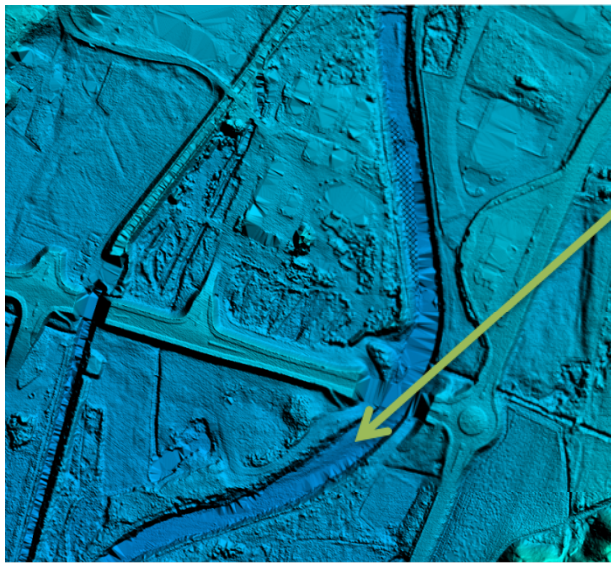


Slika 32: vidna sipina 3 na prečnem prerezu (Banovec, 2013).

Volumen sipine 3 je  $1503 \text{ m}^3$  (Banovec, 2013).

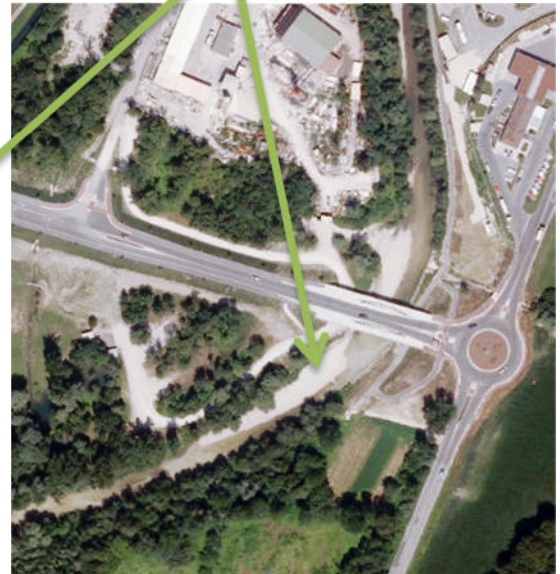


#### 5.1.1.4 Sipina 4



Slika 33: Sipina 4 vidna na LIDAR posnetku (Banovec, 2013).

#### Sipina 4



Slika 34: Sipina 4 vidna v ortofoto posnetku (Atlas okolja, 2011).



Slika 35: sipina 4 (lasten vir, 2013).

Sipina 4 ima volumen  $790 \text{ m}^3$  (Banovec, 2013).

Iz primerjave posnetkov ortofoto in LIDAR digitalnega modela višin je mogoče ugotoviti tudi to, da so odloženi deli plavin že močno zaraščeni in jih je v naravi težko prepoznati.

## 5.2 Odstranitev sipin

Za odstranitev opredeljenih  $6514 \text{ m}^3$  sipin bi uporabili naslednjo gradbeno mehanizacijo:

- bager,
- bager nakladač,
- bager pajek.

Potrebovali bi še najmanj dva kamiona za odvoz plavin na deponijo.

Cenovno bi dela po m<sup>3</sup> stala:

- izkop, nalaganje: 4,70 € + DDV,
- odvoz na začasno deponijo: 4,10 € + DDV,
- deponiranje, mletje, prodaja: 5,20 € + DDV,
- dodatni stroški (rampe, sanacija struge ki bi bila potrebna zaradi poškodb nastalih pri delu, ...): 3,70 € + DDV.

Skupaj dobimo 17,7 € + DDV (9,5%) , kar z DDV znaša 19,38 € po m<sup>3</sup>. Upoštevan je cenik brez popustov, stroški so zmanjšani zaradi mletja in prodaje gramoza, drugače bi bili višji zaradi deponiranja izkopanega materiala (Poljanec, 2013).

Po tem ceniku, bi odstranitev vseh odloženih rinjenih plavin stala 126.241 €.

Ocenjeni strošek ne zajema vseh možnih postavk, pri čemer lahko ugotovimo, da standardne postavke vodnogospodarskih del ne obstajajo, saj najbližje standardnim postavkam je popis del, ki se modificiran uporablja še sedaj pri delu izvajalcev javne službe vzdrževanja vodotokov. (Hidrogea, 1993). Možna potrebna postavka bi bila vsekakor posek in odstranitev zarasti, ki jo je mogoče ocenjevati po m<sup>2</sup> obdelane površine. Ocenjena vrednost del za posek srednje zarasti z odstranitvijo in drobljenjem znaša 2,80 € brez DDV (VGP Drava Ptuj, 2013), kar pri ocenjenih 2.280 m<sup>2</sup> znaša dodatnih 6.384 € z vključenim DDV. Poleg opredeljenega stroška je mogoče predvideti tudi stroške nadzora in nepredvidljive stroške, tako lahko skupni strošek vzdrževanja obravnavanega odseka ocenjujemo na okvirno 150.000 € z vključenim DDV.

### **5.3 Dosedanje vzdrževanje Kamniške Bistrice**

Za podatek o dosedanjem vzdrževanju in količini odvzetih plavin Kamniške Bistrice smo zaprosili izvajalca javne službe na tem območju (Hidrotehnik d.d.). Žal smo ugotovili, da ne vodi evidenc o odvzetih količinah plavin in povezanih stroških, ki bi omogočale vpogled v vzdrževanje Kamniške Bistrice za izdelavo bilance transporta rinjenih plavin za specifični odsek vodotoka.

### **5.4 Učinki vzdrževanja na povečano pretočno sposobnost Kamniške Bistrice na obravnavanem odseku**

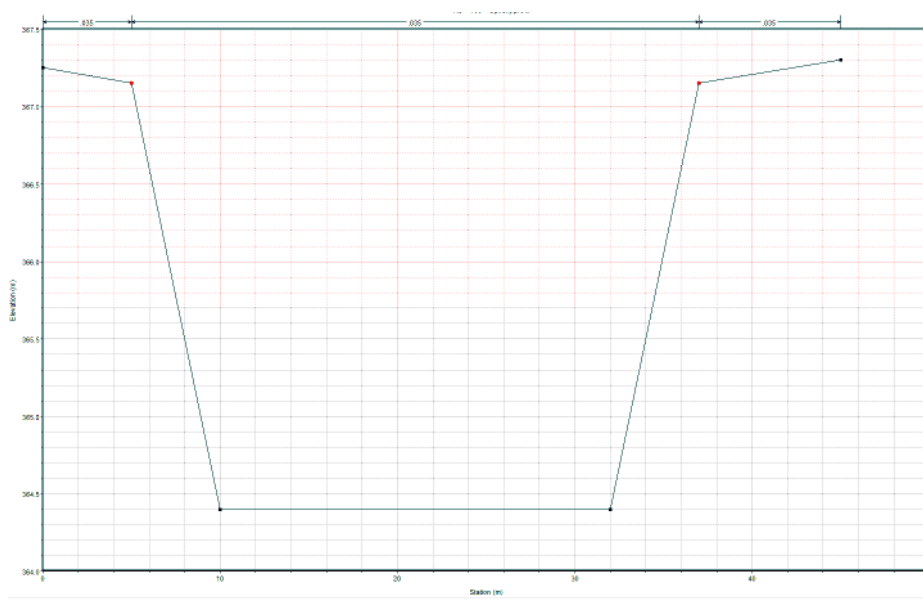
Sipine v vodotokih imajo pomemben vpliv na več segmentov upravljanja z vodami. Pomembnejši je vpliv na poplavno nevarnost, saj delno zapolnjena struga z odloženimi naplavinami ne omogoča več projektirane pretočne sposobnosti rečne struge. Posledično se zato poslabša poplavna ogroženost območij, ki se nahajajo ob rečni strugi.



Da bi okvirno ocenili poslabšanje poplavne nevarnosti zaradi pojava sipin, smo izdelali v programu HEC – RAS enodimenzijski model Kamniške Bistrice, pri čemer smo izračunali pretočno sposobnost obstoječega stanja (s sipinami) in projektne stanja (brez sipin).

V hidravličnemu modelu smo upoštevali stalni enakomerni tok,  $I = 0,6 \%$ ,  $n_g = 0,035$ . Manningov koeficient velja za projektno stanje, vendar smo ga upoštevali tudi pri realnem stanju.

Nas je zanimalo razmerje med pretokom ( $Q$ ) in višino vode v strugi ( $h$ ) glede na različno stanje zapolnjenosti rečne struge z odloženimi plavinami.



Slika 36: prečni profil projektne stanja

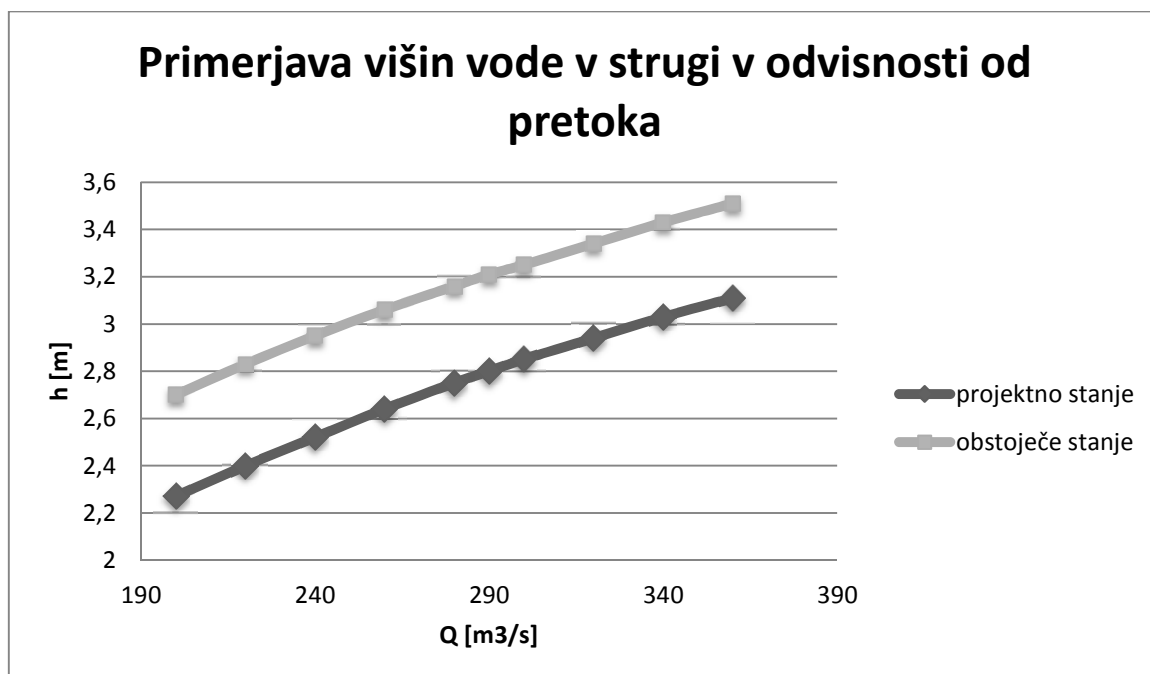
Preglednica 2: rezultati pridobljeni iz 1D modela za projektno stanje.

$Q$ [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	kota dna [m]	kota gladine [m]	kritična globina [m]	energi-ja [m]	naklon energije [m m <sup>-1</sup> ]	$v$ [m s <sup>-1</sup> ]	omočena površina [m <sup>2</sup> ]	širina zrcala [m]	Froud. koef.	$h$ [m]
200	364,4	366,67		367,25	0,006	3,38	59,22	30,24	0,77	2,27
220	364,4	366,8		367,41	0,006	3,49	63,12	30,71	0,78	2,4
240	364,4	366,92		367,57	0,006	3,59	66,93	31,16	0,78	2,52
260	364,4	367,04		367,73	0,006	3,68	70,65	31,59	0,79	2,64
280	364,4	367,15		367,87	0,006	3,77	74,28	32,1	0,79	2,75
290	364,4	367,2		367,94	0,006	3,82	75,99	37,19	0,79	2,8
300	364,4	367,25	366,87	368,01	0,006	3,87	77,9	42,17	0,8	2,85
320	364,4	367,34	366,98	368,14	0,006	3,97	81,97	45	0,8	2,94
340	364,4	367,43	367,08	368,26	0,006	4,06	85,9	45	0,8	3,03
360	364,4	367,51	367,18	368,38	0,006	4,15	89,69	45	0,81	3,11

Preglednica 3: rezultati pridobljeni iz 1D modela za realno stanje na terenu (2013).

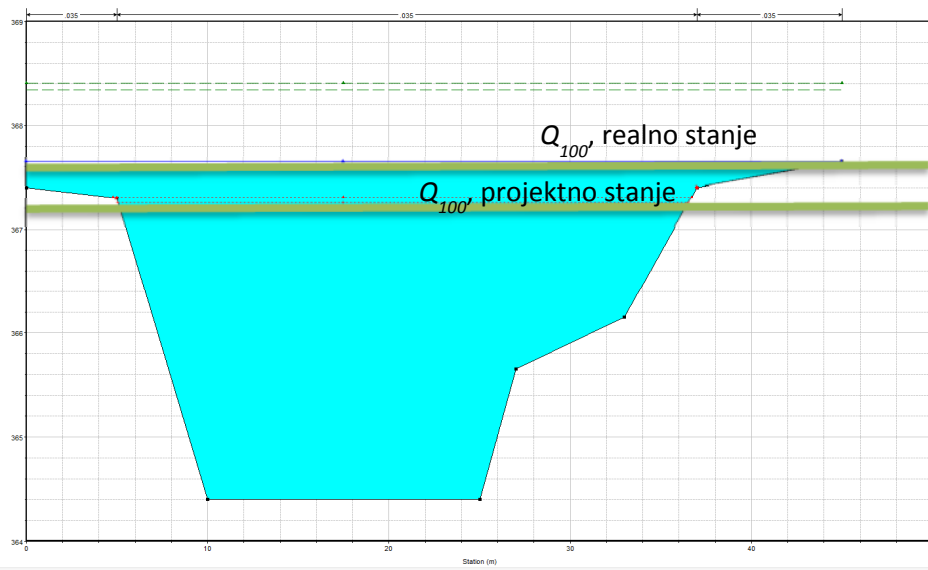
Q [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	kota dna [m]	kota gladine [m]	kritična globina [m]	energija [m]	naklon energije [m m <sup>-1</sup> ]	v [m s <sup>-1</sup> ]	omočena površina [m <sup>2</sup> ]	širina zrcala [m]	Froud. koef.	h [m]
200	364,4	367,1		367,67	0,006	3,35	59,62	30,7	0,77	2,7
220	364,4	367,23		367,84	0,006	3,45	63,68	31,35	0,77	2,83
240	364,4	367,35		368	0,006	3,55	67,61	34,56	0,78	2,95
260	364,4	367,46		368,14	0,006	3,66	71,56	38,94	0,78	3,06
280	364,4	367,56	367,21	368,28	0,006	3,77	75,51	42,07	0,79	3,16
<b>290</b>	<b>364,4</b>	<b>367,61</b>	<b>367,25</b>	<b>368,34</b>	<b>0,006</b>	<b>3,82</b>	<b>77,53</b>	<b>43,57</b>	<b>0,79</b>	<b>3,21</b>
300	364,4	367,65	367,3	368,41	0,006	3,87	79,57	45	0,8	3,25
320	364,4	367,74	367,44	368,53	0,006	3,96	83,54	45	0,8	3,34
340	364,4	367,83	367,58	368,65	0,006	4,05	87,37	45	0,8	3,43
360	364,4	367,91	367,71	368,76	0,006	4,14	91,08	45	0,81	3,51

Iz teh podatkov je razvidno, da je višina vode v strugi pri realnem stanju višja za vsaj 40 cm pri pretoku 290 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, kar je za obravnavani odsek pretok s 100-letno povratno dobo.. To je lepo razvidno iz grafa.



Slika 37: primerjava višin vode v strugi v odvisnosti od pretoka.

Za Kamniško Bistrico velja  $Q_{100} = 292 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Iz slike 38 je razvidno, da pri stoletnih vodah pri projektnem stanju voda ne prestopi bregov, pri dejanskem stanju pa se že preliva.



Slika 38: primerjava višin gladine realnega stanja z projektним stanjem pri stoletnih vodah.

## 6 Ugotovitve

Rinjene plavine so od nekdaj predstavljale problem. Za račun prodonosnosti imamo veliko formul, postopkov, ki imajo na obravnavanem območju omejeno uporabnost, saj jih je težko umerjati in na ta način potrditi njihovo ustreznost. S sodobnimi orodji je mogoče vendarle doseči izboljšano razumevanje pojava. Z zaporednim spremljanjem LIDAR posnetkov (digitalni modeli višin visoke resolucije) je mogoče slediti masam plavin, ki se premikajo po vodotokih. Te je mogoče tako meriti in tudi oceniti količine, ki bi jih bilo potrebno odstraniti za vzdrževanje ciljnega stanja rečnega korita.

Struge vodotokov lahko prevajajo le omejene količine vode. Ker so v obravnavanem odseku struge rinjene plavine odložene v sipinah, je zmanjšan prečni profil struge. Ob poplavah tako voda prestopi strugo in poplavlja po okolici. Vodotok tedaj pospešeno erodira ali odlaga material. Tovrstne pojave lahko s reguliranjem ali kanaliziranjem vodotokov do določene mere omejimo. Včasih pomaga že sprotno čiščenje in redno vzdrževanje struge.

Z regulacijo vodotokov poskušamo doseči večjo pretočno sposobnost struge za vodo ter za transport plavin, s čimer omejimo poplavljanje in nasipavanje rečnega gradiva ter posledično dvigovanje rečnega dna (Trobec, 2011).

Vzdrževanje in čiščenje vodotokov je v Sloveniji velik problem. Le to je v domeni države in koncesionarjev.

Obravnavani odsek Kamniške Bistrice je glede poplav kritičen. Ob vsakih poplavah tu voda prestopi bregove in dela škodo na gosto poseljenem delu Kamnika. Pojavi se vprašanje, kaj je za nas bolj spremenljivo: 150.000 € za odstranitev sipin in redno vzdrževanje, ali sprejeti škodo, ki jo poplave naredijo. Za primerjavo, s tem denarjem, ki bi bil potreben za odstranitev sipin, lahko kupimo deset povprečnih avtomobilov, en visokovodni pojav pa jih lahko uniči tudi več kot deset.

Zaključimo lahko, da imamo znanje, metode, primerno mehanizacijo, skratka več inženirskih rešitev, vendar je vzdrževanje vodotokov v Sloveniji žal neustrezno, pri čemer je verjetno mogoče izpostaviti zelo omejena finančna sredstva, ki se temu namenjajo.

## Viri

Banovec, P. 2013. Sipine odsek KB jez Titan do sotočja z Nevljico. Osebna komunikacija. (14.8.2013).

Brasington, J., Langham, J., Rumsby B. 2002. Methodological sensitivity of morphometric estimates of coarse fluvial sediment transport. Cambridge, Geomorphology 53 (2003): 299 – 316.

Horvat, A., Jeršič, T., Papež, J. 2008. Varstvo pred hudourniki in erozijo ob vse intenzivnejših vremenskih ekstremih. Ljubljana, Ujma 22: 200 – 208.

Atlas okolja. 2011.

[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (pridobljeno 14.8.2013).

Hidrogea d.o.o. 1993.

<http://mvd20.com/LETO1993/R6.pdf> (pridobljeno 2.9.2013).

Hudourniška pregrada. 2013.

<http://www.hidrotehnik.si/novice.aspx?id=54> (pridobljeno 6.8.2013).

Specialna oprema. 2013.

[http://www.kaskader.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=62&Itemid=88](http://www.kaskader.si/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=88)

(pridobljeno 19. 4. 2014).

LIDAR. 2012.

<http://www.mensuras.si/storitve/daljinski-zajem-podatkov/lidar> (pridobljeno 1.8.2013).

LIDAR. 2012.

<http://www.mensuras.si/storitve/obdelava-geodetskih-podatkov/analiza-lidar-podatkov> (pridobljeno 1.8.2013).

Bager nakladač. 2013.

<http://www.theconstructionindex.co.uk/the-digger-blog/view/new-holland-chillin-in-antarctica>

(pridobljeno 10.8.2013).

Amfibijski bager. 2013.

<http://www.wilcomanufacturing.com/html/3200Dpicture.html> (pridobljeno 16.8.2013).

Zemljevid najdi.si. 2013.

<http://zemljevid.najdi.si/> (pridobljeno 14.8.2013).

Komac, B., Natek, K., Zorn, M. 2008. Geografski vidiki poplav v Sloveniji. Ljubljana, Založba ZRC: 180 str.

Kostadinov, S. 2008. Bujični tokovi i erozija. Beograd, Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet: 505 str.

Mikoš, M. 2009. Osnove hudourništva. Varstvo pred hudourniki in zemeljskimi plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 217 str.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov – skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 182 str.

Pemič, A., Mikoš, M. 2008. Inženirska hidrotehnika – univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 447 str.

Podržaj, R. 2012. Uporaba različne mehanizacije pri vzdrževanju vodotokov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 75 str.

Poljanec, P. 2013. Cenik izkopa in deponiranja. Osebna komunikacija. (20.8.2013).

Suhadolnik P. 2007. Urejanje hudournikov in varstvo okolja na primeru Podlipščice. Dragomer, Univerza v Ljubljani, BF: 65 str.

Trobec, T. 2011. Vodogradbeni protipoplavni ukrepi za varstvo pred škodljivim delovanjem hudourniških poplav kot sestavni del obvladovanja poplavnega tveganja. Ljubljana, Dela 35: 103 - 124.

VGP Drava Ptuj 2013. Cenik poseka zarasti. Osebna komunikacija. (20.8.2013).

Vodnogospodarski inštitut – vodogradbeni laboratorij 1980. Zasledovanje prodonosnosti glavnih vodotokov Slovenije vzdolž njihove dolžine 1. faza. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut – vodogradbeni laboratorij: 24 – 25.