

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidat:

**Boštjan Pečnik**

# Idejna zasnova kajakaške proge na reki Savi v Hrastniku

Diplomska naloga št.: 237

**Mentor:**  
prof. dr. Matjaž Četina

**Somentor:**  
asist. Matej Breclj

Ljubljana, 23. 6. 2006

## **BIBLIOGRAFIKONSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>532:627.13:797.12(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Boštjan Pečnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Matjaž Četina</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. Matej Brecelj u.d.i.g.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Idejna zasnova kajakaške proge na reki Savi v Hrastniku</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>60 str., 5 en., 19 slik, 16 tab., 3 graf.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>kajakaška proga, reka Sava v Hrastniku, PCFLOW2D, tehnologija gradnje, omniflotts</b>

### **Izvleček:**

V Hrastniku se trenutno gradi nova cesta, ki bo povezala Zidani most za širši promet. V sklopu gradbenih del smo se z občino Hrastnik dogovorili o možni rekonstrukciji že obstoječe kajakaške proge v letu 2007. V ta namen diplomska naloga na podlagi svetovnih trendov pri gradnji kajakaških prog podaja tri idejne predloge prenove.

Zbrani so bili vsi potrebni podatki za izračun gladin in tokovnic (geodetski, hidrološki in hidravlični podatki). Dejansko stanje je bilo potrebno umeriti na podlagi enodimenzijskega (1D) in dvodimenzijskega (2D) modela ter preveriti vpliv rekonstrukcije proge pri nizkih in visokih pretokih z verjetnostjo nastopa 10% ( $Q_{10}$ ) in 1% ( $Q_{100}$ ). Z 2D modelom smo predstavili potek toka z vektorji hitrosti in nivoji gladin pri podanih pretokih in pri različnih variantah.

Idejni predlogi za rekonstrukcijo so bili pripravljene kot finančno nezahtevna varianta (VARIANTA 1), gradnja novega kajakaškega kanala (VARIANTA 2) ter gradnja kajakaške proge najvišjega nivoja (VARIANTA 3).

Nova kajakaška proga bi kot športni objekt pripomogla k večji konkurenčnosti hrastniških kajakašev ter omogočila prireditvev evropskega ali svetovnega prvenstva. S tem bi tudi pripomogli k prepoznavnosti mesta Hrastnik, ki danes turistično še ni dovolj razvito.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 532:627.13:797.12(043.2)  
**Author:** Boštjan Pečnik  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Matjaž Četina, Ph. D.  
**Co-supervisor:** Matej Brecej, Civ. Eng.  
**Title:** An outline scheme of the kayaking course on the Sava river in Hrastnik  
**Notes:** 60 p., 5 eq., 19 fig., 16 tab., 3 graf.  
**Keywords:** kayaking course, the river Sava in Hrastnik, PCFLOW2D, construction technology, omniflats

### **Abstract:**

The present construction of a road way will link Hrastnik with Zidani Most to ensure the road to carry heavy traffic. In regard to the construction plans made in the local community an agreement have been reached for a possible reconstruction of an existing kayaking course in 2007. The paper presents three different solutions for the construction of the kayaking course based on current worldwide trends.

The necessary data for calculating water surface profiles and discharges were collected. One-dimensional and two-dimensional models were calibrated with the actual conditions. The influence of the reconstruction of the course was examined for low and high discharges with the probability of 10 % ( $Q_{10}$ ) and 1% ( $Q_{100}$ ). With the use of the two-dimensional model we presented the velocity vectors and water surface profiles with different solutions and in different discharges.

Three propositions for the reconstruction were made: the financially undemanding solution (example 1), secondly, the construction of a new kayaking channel (example 2), and thirdly the construction of a kayaking course of worldwide standards of the highest rank (example 3).

The new kayaking course as a sport facility would contribute to the higher competition level of the Hrastnik kayak paddlers and would make possible the organization of an European or World championship. Thus, the kayaking course would also enhance the tourist awareness of the town Hrastnik.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki so mi pri izdelavi diplomske naloge pomagali na kakršen koli način, tudi z manjšimi nasveti in namigi. Kajti vsaka pomoč je še kako potrebna pri projektu, ki se ga lotiš prvič.

Glavna zahvala pa gre izr. prof. dr. Matjažu Četini in asistentu Mateju Breclju u. d. i. g., brez katerih moja diplomska naloga ne bi ugledala luči sveta. Nadalje bi se zahvalil tudi naslednjim strokovnjakom, ki so mi omogočili boljše razumevanje hidrotehničnih problemov:

asist. dr. Mario Krzyk in Majda Zakrajšek u. d. i. g. s FGG, mag. Roman Trček z ARSO in Radetu Kovačeviču, u. d. i. g. iz podjetja Projekt Inženiring.

Zahvalil bi se pa še svoji družini in svoji puncu Vanji za izjemno podporo, ki so mi jo izkazovali med študijem in pisanjem diplome.

## KAZALO VSEBINE

<b>BIBLIOGRAFIKONSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>	<b>I</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION .....</b>	<b>II</b>
<b>ZAHVALA .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>IX</b>
<b>KAZALO GRAFIKONOV.....</b>	<b>X</b>
<b>KAZALO GRAFIKONOV .....</b>	<b>X</b>
<b>KAZALO PRILOG .....</b>	<b>XI</b>
<b>DRUGO PROJEKTIRANO STANJE.....</b>	<b>XI</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 SPLOŠNO O KAJAKAŠKIH PROGAH.....</b>	<b>2</b>
2.1 PRAVILA ICF .....	2
2.2 PROGA ZA SVETOVNO PRVENSTVO.....	3
2.2.1 <i>Komentar na pravila.....</i>	<i>4</i>
2.3 TRENDI SLALOMSKIH PROG V SVETU.....	4
2.3.1 <i>Bourg Saint Maurice (Francija).....</i>	<i>4</i>
2.3.2 <i>Penrith (Avstralija).....</i>	<i>6</i>
2.3.3 <i>Saint Laurent Blangy (Francija) .....</i>	<i>8</i>
2.3.4 <i>Lannion (Francija) .....</i>	<i>9</i>
2.3.5 <i>Atene (Grčija).....</i>	<i>11</i>
<b>3 KAJAKAŠKA PROGA NA SAVI V HRASTNIKU .....</b>	<b>13</b>
3.1 OPIS PROGE.....	13
3.2 OPIS MERITEV GEOMETRIJE IN GLADIN NA PROGI.....	14
3.3 OPIS RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMA QUICKSURF.....	16

<b>4</b>	<b>REKONSTRUKCIJA PROGE .....</b>	<b>19</b>
4.1	ZAŽELENA MORFOLOGIJA .....	19
4.1.1	<i>Valovi</i> 19	
4.1.2	<i>Vodni skoki</i> .....	20
4.1.3	<i>Protitokovi</i> .....	21
4.1.4	<i>Hitrost toka</i> .....	21
4.1.5	<i>Upravljalški vidiki</i> .....	21
4.2	OSNOVNI PARAMETRI .....	22
4.2.1	<i>Širina struge</i> .....	22
4.2.2	<i>Globina</i> .....	22
4.2.3	<i>Hitrost vode in padec</i> .....	23
4.2.4	<i>Prečni prerez</i> .....	25
4.2.5	<i>Hrapavost terena</i> .....	26
4.2.6	<i>Dolžina</i> .....	26
4.2.7	<i>Ekonomska presoja</i> .....	26
<b>5</b>	<b>HIDRAVLICNI IZRAČUNI TOKA NA PROGI.....</b>	<b>27</b>
5.1	DVODIMENZIJSKI MATEMATIČNI MODEL PCFLOW2D .....	27
5.1.1	<i>Uvod</i> 27	
5.1.2	<i>Predpostavke</i> .....	28
5.1.3	<i>Osnovne enačbe</i> .....	28
5.1.4	<i>Metoda reševanja in računalniški program</i> .....	29
5.2	RAČUNANI PRIMERI .....	30
5.2.1	SEDANJE STANJE PROGE (OSNOVNI PRIMER) .....	31
5.2.2	1. VARIANTA REKONSTRUKCIJE PROGE .....	31
5.2.3	2. VARIANTA REKONTRUIRANE PROGE .....	34
5.2.4	3. VARIANTA .....	37
5.3	GEODETSKI PODATKI .....	38
5.4	HIDROLOŠKI PODATKI .....	46
5.5	HIDRAVLICNI PODATKI .....	49

5.6	ZAČETNI IN ROBNI POGOJI.....	49
5.7	UMERJANJE MODELA IN TOČNOST REZULTATOV .....	51
<b>6</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>55</b>
6.1	PRIKAZ REZULTATOV.....	55
	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>58</b>
	<b>VIRI .....</b>	<b>60</b>
	<b>OSTALI VIRI .....</b>	<b>60</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Karakteristike proge v Bourg Saint Maurice-u (Francija).....	5
Preglednica 2: Vodni stadion Penrith (Avstralija).....	7
Preglednica 3: Karakteristike proge v Saint Laurent Blangy-ju (Francija).....	8
Preglednica 4: Karakteristike proge v Lannion-u (Francija).....	10
Preglednica 5: Karakteristike proge v Atenah (Grčija).....	12
Preglednica 6: Računani primeri.....	30
Preglednica 7: Točke meritev roba vodne gladine desnega brega.....	38
Preglednica 8: Točke meritev roba vodne gladine levega brega.....	39
Preglednica 9: Točke meritev skal v strugi.....	40
Preglednica 10: Točke posameznih profilov.....	40
Preglednica 11: Točke meritev globin.....	41
Preglednica 12: Vrednosti 10, 50 in 100 letne vode.....	47
Preglednica 13: Odvisnost padca I od pretoka Q za profila P107 in P107.1.....	47
Preglednica 14: Umerjanje na podlagi 1D modela.....	51
Preglednica 15: Umerjanje na podlagi 1D modela pri $Q = 115\text{m}^3/\text{s}$ .....	52
Preglednica 16: Umerjanje koeficienta hrapavosti na podlagi 2D modela pri pretoku $115\text{ m}^3/\text{s}$ ..	53
Preglednica 17: Umerjanje koeficienta hrapavosti na podlagi 2D modela pri pretoku $100\text{ m}^3/\text{s}$ ..	53
Preglednica 18: Primerjava višinskih kot 1D in 2D modela osnovnega stanja.....	55
Preglednica 19: Rezultati 2D modela za visoke vode.....	57

## KAZALO SLIK

Slika 1: Bourg Saint Maurice (Francija).....	5
Slika 2: Mobilna ovira OMNIFLOT .....	6
Slika 3: Penrith (Avstralija).....	8
Slika 4: Saint Laurent Blangy (Francija).....	9
Slika 5: Lannion (Francija).....	10
Slika 6: Atene (Grčija).....	12
Slika 7: Pogovorno okno Quicksurfa .....	18
Slika 8: Slika stoječega vala, ki počasi prehaja v vodni skok .....	20
Slika 9: Prva varianta rekonstrukcije proge.....	31
Slika 10: Možne oblike sidranja ovir v rečno korito .....	33
Slika 11: Druga varianta .....	34
Slika 12: Možna oblika sidranja bočnih ovir v ograjeno korito [10].....	35
Slika 13: Aksonometrični pogled na rekonstrukcijo proge po 2. varianti .....	36
Slika 14: Tretja varianta rekonstruirane proge .....	37
Slika 15: Profil P107 .....	43
Slika 16: Profil P107.1 .....	44
Slika 17: Profil P107.2 .....	44
Slika 18: Hidrološki podatki 1 .....	46
Slika 19: Izračunani vektorji hitrosti pri umeritvenem pretoku $Q=115 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	54

## **KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Odvisnost padca $I$ od pretoka $Q$ med profiloma P107 in P107.1.....	48
Grafikon 2: Trajanje pretokov od 1993 – 2002 za vodomerno postajo v Hrastniku.....	48
Grafikon 3: Odvisnost pretoka $Q$ od višine vodne gladine $z$ v profilu P107.2.....	50

## **KAZALO PRILOG**

Priloga 1: Situacija

Priloga 2: Detajlna situacija merjenih točk

Priloga 3: Računsko območje in numerična mreža

Priloga 4: Aksonometrična slika dna osnovnega stanja

Priloga 5: Prečni in vzdolžni prerezi pri pretoku  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 6: Vektorji hitrosti pri pretoku  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 7: Prečni in vzdolžni prerezi pri pretoku  $Q_{\text{um}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 8: Vektorji hitrosti pri pretoku  $Q_{\text{um}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 9: Prečni in vzdolžni prerezi pri pretoku  $Q_{\text{um}} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 10: Vektorji hitrosti pri pretoku  $Q_{\text{um}} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 11: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 12: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 1670 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 13: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 2220 \text{ m}^3/\text{s}$

### **Prvo projektirano stanje**

Priloga 14: Aksonometrija terena prve variante

Priloga 15: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 16: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 17: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 18: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q_{10} = 1670 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 19: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q_{100} = 2220 \text{ m}^3/\text{s}$

### **Drugo projektirano stanje**

Priloga 20: Aksonometrija terena druge variante

Priloga 21: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 22: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 23: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q_{10} = 1670 \text{ m}^3/\text{s}$

Priloga 24: Prečni prerezi in hitrostno polje pri pretoku  $Q_{100} = 2220 \text{ m}^3/\text{s}$

## 1 UVOD

V Hrastniku se je pričela graditi cesta, ki bo povezovala Hrastnik z Zidanim mostom za večji pretok vozil. V ta namen bo namenjen tudi nov most, ki bo lociran pri novi tovarni Steklarna Hrastnik (Priloga 1). S tem projektom pa smo se z občino Hrastnik dogovorili, da bi bilo v sklopu tega projekta mogoče rekonstruirati že obstoječo kajakaško progo, ki leži prav na območju predvidene gradnje.

Naloga bi nam v ta namen podala nekatere splošne značilnosti, kako se lotiti gradnje kajakaških prog. Na podlagi zgledov oziroma svetovnih trendov bi podali tri možne variante, ki bi bile primerne za gradnjo kajakaške proge na tem območju:

- varianta, kjer je zahteva po minimalni spremembi obstoječe proge z minimalnim finančnim vložkom,
- varianta z novim kajakaškim kanalom po zgledu svetovnih trendov, a nekoliko omejenim proračunom,
- varianta z najboljšo možno konfiguracijo proge na osnovi zgledov v svetu in z neomejenimi sredstvi.

Na podlagi podanih predpostavk je bilo najprej potrebno posneti geometrijo struge Save in okoliškega terena, pridobiti hidrološke podatke o pretokih reke Save. Iz pridobljenih podatkov sta bila natopripravljeni in umerjena rezultati 1D in 2D modela toka na progi. Na podlagi rezultatov je bila narejena ocena o možnih vplivih rekonstrukcije na 10, 50 ali 100 - letno vodo.

Poleg tega so rezultati 2D podali tokovno sliko in nivoje gladin pri nižjih pretokih od 50 do 250 m<sup>3</sup>/s, kar je bila osnova za oceno možne tehnologije konstruiranja ovir na progi pri posameznih variantah.

## **2 SPLOŠNO O KAJAKAŠKIH PROGAM**

V tem poglavju so navedena pravila o tekmovalni progi za kajak in kanu s strani mednarodne kanuistične organizacije ICF (Internacional Canoe Federation). Navedena so tudi pravila za organizacijo svetovnega prvenstva.

### **2.1 Pravila ICF**

Proga

20.1. Celotna proga, po kateri se odvija kajak/kanu slalom tekma, mora biti vozna z možnostjo manevriranja po vsej dolžini in mora zagotavljati enakovredne pogoje za leve in desne kanuiste.

20.2. Proga naj ne bo krajša od 250 m, merjeno po sredini proge od starta do cilja, in ne daljša od 400 m. Na začetku proge naj bo tudi okoli 100 m prostora za ogrevanje kajakašev ter na koncu prostor za razveslavanje.

20.3. Proga naj vsebuje naravne in/ali umetne ovire. Ekipe, ki imajo akreditacijo, imajo prosti dostop do proge (brez plačila) v času uradnih treningov in tekem.

20.4. Proga mora imeti najmanj 18 in največ 25 vratic, od tega najmanj 6 in največ 7 protitočnih vratic.

20.4.1. Razdalja med zadnjimi vrati in ciljno črto ne sme biti več kot 25 m in ne manj kot 15 m.

20.4.2. Organizatorji morajo izbrati progo, kjer se lahko tekmuje brez zadržkov in zapletov. Vrata morajo biti jasno postavljena, tako da lahko stranski sodnik z veliko gotovostjo pravilno razsodi ali je tekmovalec pravilno prepeljal vrata ali ne.

20.5. Če glavni sodnik med samo tekmo ugotovi očitno spremembo v vodostaju, ki jo je mogoče odpraviti, lahko tekmovanje ustavi, dokler niso vzpostavljeni normalni pogoji za tekmovanje.

20.6. Če med tekmo nenavadni pojavi spremenijo postavitev ali naravo proge, lahko samo glavni sodnik dovoli spremembo postavitve vrat.

## **2.2 Proga za svetovno prvenstvo**

41.11.1 Proga mora imeti možnost manevriranja po vsej dolžini

41.11.2 Proga mora imeti najmanj 18 in največ 25 vrat, od tega najmanj 6 in največ 7 protitočnih vrat.

41.11.3 Proga naj ne bo krajša od 250 m, merjeno po sredini proge od štarta do cilja, in ne daljša od 400 m. Na začetku proge naj bo tudi okoli 100 m prostora za ogrevanje kajakašev ter na koncu prostor za razveslavanje.

41.11.4 Dve leti pred začetkom svetovnega prvenstva se ugotavlja ustreznost predlagane proge, ki ne sme povzročati ekološke in okoljske škode v okviru države gostiteljice.

41.11.5 Objavi naj se dolžina proge v metrih po srednji liniji.

41.11.6 Slalomske komite imenuje 3 člani pododbor, ki naj bodo iz treh različnih držav in ki so potrjeni od direktorskega odbora. Po običaju pododbor štiri dni pred začetkom tekmovanja sestavi potek proge in preveri sistem za obešanje vrat. Pododbor prav tako sestavi progo za polfinalni in finalni tek, kjer se spremeni postavitev največ šestih vrat, pri tem pa mora upoštevati pozicije sodnikov iz prvega teka. Organizator in glavni sodnik lahko svetujeta pododboru glede postavitve. Takoj, ko je proga postavljena, se naredi skica proge, ki mora biti

objavljena na vidnem mestu. Država organizatorica mora pripraviti načrt proge v merilu 1:1000 ter posredovati informacije o kontroli vodostaja pododboru.

### **2.2.1 Komentar na pravila**

Pravila nikjer ne navajajo, kolikšen padec naj bi imela reka na mestu, kjer bi se odvijala tekma. Teoretično, če bi dobesedno brali pravila, bi bilo mogoče organizirati svetovno prvenstvo na mirni tekoči vodi, vendar zaradi neatraktivnosti panoge dogodek v takšnem primeru ne bi bil zanimiv.

Praktično pa se proge izbirajo glede na svojo atraktivnost, tako za gledalce kot za tekmovalce. V slednjem primeru je mišljeno bolj na težavnost kot pa dobesedno atraktivnost. Tukaj pridejo v poštev reke z veliko padca, najmanj 4-5 m, saj povzročajo večjo težavnost kot tiste z manj padca.

### **2.3 Trendi slalomskih prog v svetu**

V tem poglavju je opisanih več tekmovalnih prog, ki imajo različen dovod vode (gravitacijski, črpalni, črpalno gravitacijski in plimovalni vodni sistem) [Hydrostadium S.A, 2006]. Vsaka proga ima svoj vodni sistem in svojo ekonomsko politiko. S tem je mišljeno predvsem obratovanje prog, ki imajo črpalni sistem in morajo pokriti stroške električne energije, ki pa ni tako poceni. Proge se razlikujejo tudi po vrsti vgrajenih ovir. Nekatere (čedalje več prog) imajo plastične, ki jih je mogoče prestavljati in ne poškodujejo vodnih plovil, druge pa imajo bolj ali manj naravne ovire, ki jih povezuje beton v kompaktno celoto.

#### **2.3.1 Bourg Saint Maurice (Francija)**

Francoska proga Bourg Saint Maurice, ki je zelo dobro poznana med kajakaši na divjih vodah, je v preteklosti privabljala mnoge tekmovalce iz celega sveta, še posebej, ko je gostila svetovna prvenstva 1969 in 1987.



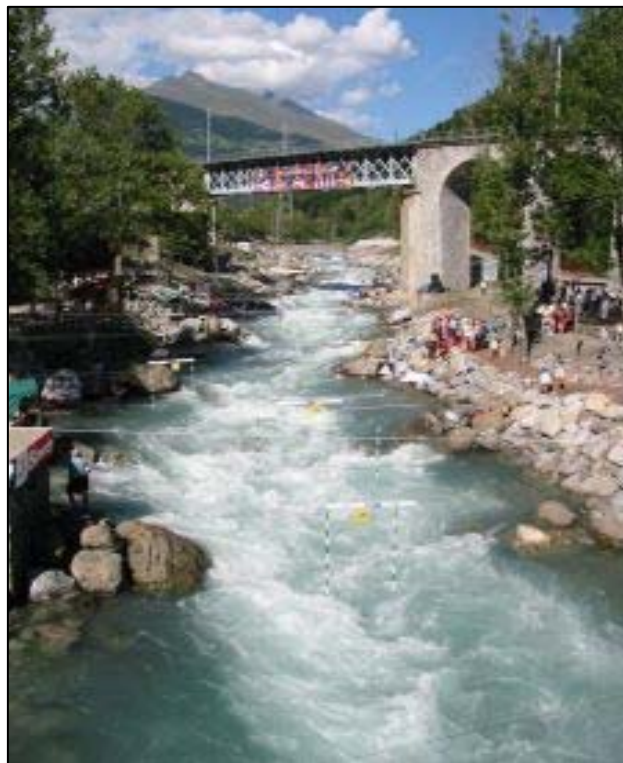
Najboljša kajakaška struga tedanjega časa je bila uničena pri poplavi 1996. Poplava je na strugi pustila opustošenje. Mesto, ki živi za kajakaški šport, je skupaj s podjetjem Hydrostadium omogočilo rekonstrukcijo takrat ene izmed najboljših prog.

Znaten padec terena, ki znaša 11,5 m in pretok, ki ga kontrolira hidroelektrarna v Tignes-u, sta izjemno pomembna pogoja za odlično kajakaško progo Bourg Saint Maurice. Obnovljena struga reke Isere je bila oblikovana po standardih, ki jih predpisuje Mednarodna kajakaška organizacija ICF za organizacijo tekmovanj najvišjega ranga. Tudi sedaj reka uživa sloves kot ena najlepših in najtežjih na svetu.

Na obnovljeni progi pa je mesto ponovno gostilo svetovno prvenstvo leta 2002, kjer je dobila kolajno tudi Slovenija.

#### Preglednica 1: Karakteristike proge v Bourg Saint Maurice-u (Francija)

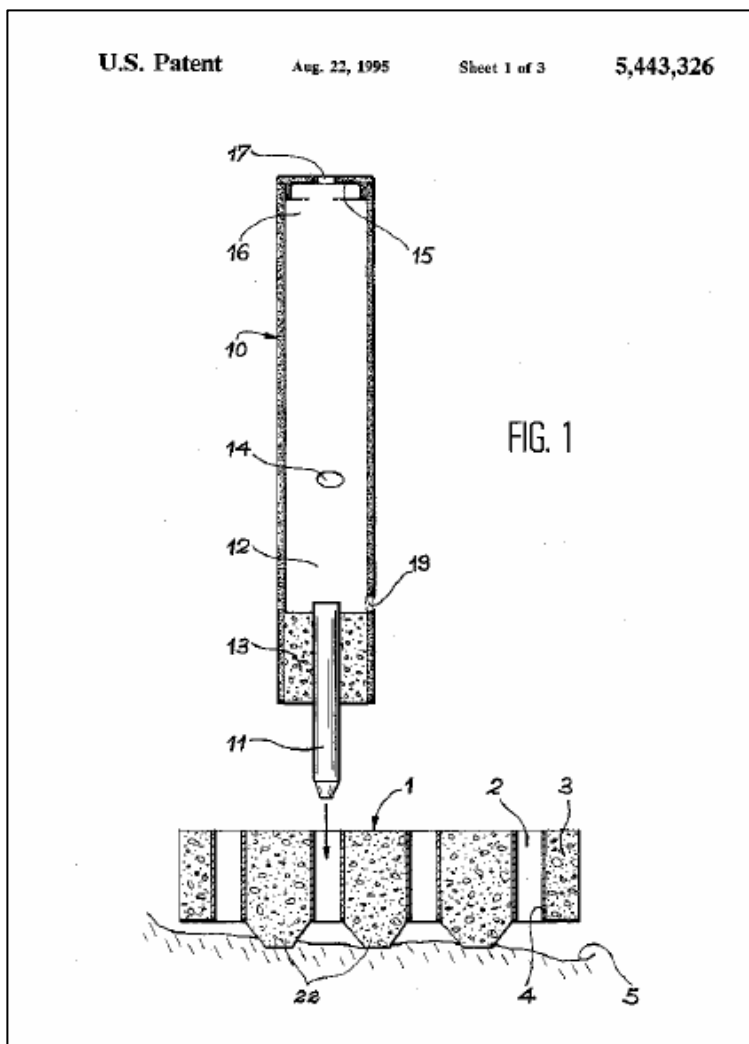
Vodni sistem	gravitacijski
Pretok	25 m <sup>3</sup> /s
Dolžina proge	330 m
Širina kanala	15 to 20 m
Padec	11,5 m
Težavnost	IV stopnja
Cena gradnje	412.000 €
Naročnik	mesto Bourg Saint Maurice



Slika 1: Bourg Saint Maurice (Francija)

### 2.3.2 Penrith (Avstralija)

Ta vodni stadion je lociran v mestu Penrith, ki je od Sidneya oddaljen 60 km. Grajen je bil izključno za olimpijske igre leta 2000. Strugo napaja voda, ki jo črpajo iz jezer, ki so služila za zapolnitev gramoznih jam. Proga je speljana v obliki črke U tako, da se startna in ciljna linija skoraj pokrivata. Tekmovalci se lahko brez izstopa iz čolna, od cilja do starta prepeljejo s tekočim trakom. V črpalni postaji se nahaja šest črpalk, ki so sposobne načrpati maksimalni pretok vode 16,8 m<sup>3</sup>/s. Stroški črpanja pa zanašajo okoli 300 €/h, kar pomeni, da se na teh umetnih stadionih, ki so najbolj v svetovnem trendu, ne trenira več brezplačno, razen en teden pred nastopom večje tekme. V finančnem pogledu imajo tako naravne proge prednost pred umetnimi.



Slika 2: Mobilna ovira OMNIFLOT

Večina prog, grajenih danes, je projektirana na trapezno korito, v katerega je možno vgraditi modularne plastične ovire OMNIFLOTS, ki jih je možno poljubno premikati. Tako je možno progo oblikovati tako za zahteve vrhunskih tekmovanj kot tudi za zahteve rekreativcev. Ta komercialna fleksibilnost pa omogoča finančno preživetje stadiona z letnimi prihodki 61 000 €, od tega pa je četrtnina čistega dobička.

Modularne ovire se postavljajo na montažne betonske plošče, ki imajo mrežo lukenj v katere se postavljajo ovire. Te montažne plošče se s pomočjo svoje zobate oblike (28) zasidrajo v dno struge. Ovire so narejene iz polietilena ter jeklene cevi za pritrditve v montažno ploščo. Oblik samih ovir je več vrst. Razlikujejo se po višini ter možnosti pritrditve na dno. Ovire se lahko pritrdijo tudi na brežino, če je seveda prečni prerez korita trapezne oblike.

**Preglednica 2: Vodni stadion Penrith (Avstralija)**

Vodni sistem	črpalni
Pretok	4 to 16,8 m <sup>3</sup> /s
Dolžina proge	320 m
Širina kanala	od 8 do 14 m
Padec	5,20 m
Težavnost	II do IV stopnje
Cena gradnje	3.960.000 € vključno s pripadajočimi objekti
Naročnik	Pacific Power International s pomočjo EDF(Eletricite de France)



Slika 3: Penrith (Avstralija)

### 2.3.3 Saint Laurent Blangy (Francija)

Objekt je zgrajen na bivšem industrijskem zemljišču. Arhitekti so projektirali strugo skozi mesto ter ji pripisali še socialni vidik. Strugo so speljali blizu osnovne šole in zapora za tiste, ki so pred iztekom kazni. Namenjena je seveda tudi meščanom, saj je vsem dobro znan pomirjujoči vpliv tekoče vode na ljudi.

Preglednica 3: Karakteristike proge v Saint Laurent Blangy-ju (Francija)

Vodni sistem	Gravitacijski in črpalni
Pretok	3 do 12 m <sup>3</sup> /s
Dolžina proge	200 m pri gravitacijskem 300 m pri črpalnem sistemu
Širina kanala	12 m
Padec	3,50 do 4,90 m
Težavnost	II do III stopnje
Cena gradnje	1.296.000 €
Naročnik	mesto Saint Laurent Blangy

Voda doteka na progo prek črpalk, ki načrpajo 9 m<sup>3</sup>/s vode, kar zagotavlja enakomeren pretok. Proga pa ima, tako kot druge moderne proge, modularne umetne ovire Omniflots, kar zagotavlja progi prilagodljivost tako začetnikom kot vrhunsko pripravljenim tekmovalcem.



**Slika 4: Saint Laurent Blangy (Francija)**

#### **2.3.4 Lannion (Francija)**

Proga je locirana v centru mesta Lannion. S pomočjo mobilnega jezusa se zajezi voda v času plime in spušča po želji kar je izjemnega eko-energetskega pomena, saj proga za ohranjanje vodostaja ne potrebuje pretirane energije in s tem ne škoduje okolju.

Mesto organizira tudi treninge za začetnike in raziskovalne tabora za otroke ter tudi mednarodne tekme.

**Preglednica 4: Karakteristike proge v Lannion-u (Francija)**

Vodni sistem	Gravitacijski in plimovalni
Pretok	4 do 15 m <sup>3</sup> /s
Dolžina proge	300 m
Širina kanala	12 m
Padec	2,70 m
Težavnost	II do IV
Cena gradnje	1.524.000 €
Naročnik	mesto Lannion



**Slika 5: Lannion (Francija)**



### 2.3.5 Atene (Grčija)

Celotna proga je grajena na betonski podlagi, razen ciljnega bazena. Prvič v zgodovini se za kajakaške tekme in za olimpijske igre uporablja slana voda, ki ima večjo gostoto kot sladka in je zato tekmovanje še težavnejše kot na sladki vodi.

Proga ima izjemno inovativno obliko in sicer v obliki številke 8, tako da teče sama pod sabo. Sestavlja jo 6 področij:

#### 1. TEKMOVALNA PROGA

- V začetni bazen črpajo vodo črpalke v črpalni postaji in tekoči trak iz vmesnega bazena. Od tukaj naprej se začne olimpijska proga.
- Olimpijska proga stoji med začetnim in vmesnim bazenom. Sestavljena je iz treh odsekov, ki jih razmejujeta dve »počivalni« območji.
- Proga je zgrajena modularno, tako da se nanjo lahko namestijo plastične ovire Omniflots, katere je mogoče poljubno spreminjati.
- Vmesni bazen, katerega površina meri 2200 m<sup>2</sup>, služi za zmanjševanje števila kajakašev na progi in napak, ki se lahko tekmovalcem zgodijo na progi (prevračanje in plavanje). Na območju, kjer je tekoči trak, je voda mirna in ni pretoka.

#### 2. PROGA ZA OGREVANJE IN TRENING

- Povezuje vmesni in končni bazen.

#### 3. PROGA »NOVE GENERACIJE«

- Proga omogoča vadbo najnovejših disciplin kot so roдео, surfanje s kajakom, ... Za te discipline je potreben dovolj velik vodni skok, ki se nadaljuje v valj, kjer lahko kajakaši izvajajo razne figure.

#### 4. CILJNI BAZEN

- 5. ČRPALNA POSTAJA je opremljena s šestimi potopljivimi propellerskimi črpalkami s kapaciteto črpanja 21m<sup>3</sup>/s (3,5 m<sup>3</sup>/s vsaka).

6. TEKOČI TRAK omogoča kajakašem enostavno premagovanje višinske razlike od ciljnega bazena do začetnega, brez da bi izstopili iz čolna.

Vsi pripadajoči objekti ob progi so bili zgrajeni po predpisih za seizmično varnost, saj je znano, da je seizmična aktivnost tukaj dokaj burna. Letno tu zaznajo več potresov.

**Preglednica 5: Karakteristike proge v Atenah (Grčija)**

Vodni sistem	črpalni
Pretok	10,5 do 17,5 m <sup>3</sup> /s
Dolžina proge	270 m
Širina kanala	10 m na koncu
Padec	2,10 % ~ 5,7 m
Težavnost	II do IV stopnje
Cena gradnje	33 mio \$
Naročnik	mesto Atene



**Slika 6: Atene (Grčija)**



### **3 KAJAKAŠKA PROGA NA SAVI V HRASTNIKU**

#### **3.1 Opis proge**

Proga leži približno 300 m dolvodno od Hrastniškega mostu (priloga 1) in je dolga 300 m. Proga je razdeljena na štiri odseke (priloga 2):

- ODSEK A (70 m): predstavlja štartno območje, kjer se lahko tekmovalci ogrevajo. Pri pretoku, ki je manjši od  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , se na sredini Save pojavi sipina, ki strugo razdeli na dva tokova.
- ODSEK B (60 m): predstavlja deroče turbulentno območje s padcem vodne gladine za 40 cm. Na odseku je postavljenih nekaj naravnih ovir, ki povzročajo raznovrstne recirkulacije.
- ODSEK C (55 m): tu se oba tokova, če je pretok manjši od  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , združita. Na levi strani pa je velik protitok. Na odseku ni veliko turbulenc razen na stičišču protioka in glavnega toka.
- ODSEK D (105 m): Ta odsek je zanimiv pri pretoku okoli  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pri tem pretoku preide zgornji del proge A,B in C v zelo umirjeno stanje, medtem ko na tem odseku nastane ugoden poligon za trening.

Proga zaradi svoje lokacije predstavlja relativno bližino kajakaškega kluba. S tem omogoča preprostejši trening brez uporabe avto prevoza. Izjemno lepa narava pa daje progi še dodatno lepoto naravnosti ter svobodo do uživanja v naravi, česar umetne proge ne dajo.

Pri tej progi pa gre za specifični problem. Locirana je namreč na mestu, kjer ima reka Sava S krivino. Ta krivina pa povzroči, da zaradi majhnih hitrosti na notranji desni strani reka nalaga prod. Zato lahko vsakršen poseg na desni breg pusti posledice v obliki nalaganje proda. Torej, če bi na desni breg postavili oviro, bi se verjetno zgodilo, da bi reka za oviro nanosila toliko proda, da bi ovira iz kajakaškega vidika izgubila smisel in za njo se ne bi ustvaril zeleni

protitok. Ovire bi bilo potrebno tako postaviti čim bolj na levo stran, kjer je dno struge stabilno.

Na desni strani pa bi lahko uporabili z vodo napolnjene mobilne ovire. Ovire bi bile križanec med modularnimi ovirami OMNIFLOTS, ki se uporabljajo na umetnih progah ter napihljivim jezom, kakršnega imajo v Tacnu.

Ovire bi lahko postavili na poljubno mesto ob bregu ter napolnili z vodo. S svojo težo bi zagotovile stabilnost ovire. Ovire bi se po končani tekmi ali treningu preprosto izpraznile in ne bi več predstavljale ovire v strugi. Kar pa bi tudi pomenilo, da reka ne bi nanesla proga na omenjeno mesto.

Ovire trenutno še niso v izdelavi. Pred uporabo teh ovir pa bi jih bilo treba testirati, kakšnemu pretoku lahko kljubujejo, ter zavarovati s stabilizacijo.

### **3.2 Opis meritev geometrije in gladin na progi**

V tem poglavju je opisan postopek opravljanja meritev desnega in levega brega ter meritev globin. Opisan je tudi postopek umestitve izmerjenih koordinat v prostor. Umestitev je potrebna, saj je treba preučiti tudi vpliv rekonstrukcije proge na stoletno vodo  $Q_{100}$ .

#### **3.2.1 Meritev desnega brega**

Prvi del meritev smo opravljali z nivelirjem, drugi del pa s teodolitom Dahlta. Pri merjenju s nivelirjem smo imeli nekaj težav pri odčitavanju horizontalne razdelbe, saj ni bilo mogoče kota odčitati na minuto natančno, temveč le na 10 minut natančno. Vendar menim, da pri tem ni bila storjena večja napaka, ki bi bistveno vplivala na rezultate. Je pa pomembno, da se teren izmeri čimbolj natančno predvsem zaradi umerjanja, saj so višinske razlike pri različnih gladinah zelo majhne.

Po začetni postavitvi stojišča ST 1 (priloga 2), smo določili izhodiščno vizuro. Nato smo izmerili horizontalne kote točk od 1 - 8 ter vmesne dolžine med točkami, ter določili pozicijo stojišča ST 2. Nato smo iz stojišča ST 2 izmerili še točke 9 - 13 ter terenske točke na robu sipine 14 - 16. Iz ST 1 in ST 2 smo na levem bregu določili pozicijo stojišča ST 3.

### 3.2.2 Meritev levega brega

Iz ST 3 smo določili točke od 7 - 17, medtem, ko smo točki 8/1 in 8/2 določili izključno iz preseka kotov iz ST 3 in ST 1. Vse ostale točke pa imajo določeno tudi medsebojno razdaljo. Iz ST 3 je bilo določeno še stojišče ST 4, iz katerega so bile določene točke 18 – 25.

### 3.2.3 Meritev globin

Izmerjenih je bilo 43 globin na mestih kot kaže priloga 2. Meritve sem opravil s pomočjo kajaka, saj nisem imel finančnih sredstev za elegantnejšo in preprostejšo rešitev. Na mirnih in globokih odsekih sem uporabljal merilno nitko, ki je bila obtežena z utežjo, ki je zagotavljala ravno linijo meritve.

Na odsekih, kjer ta postopek ni bil mogoč, sem uporabljal merilno lato. Postopek merjenja je bil zelo težaven in rahlo nenatančen, saj je prišlo do odstopanj meritev do 15 cm. Odstopanje na določenih mestih predstavlja napako ca 10 %, na drugih pa manj. Napako je potrebno upoštevati pri interpretaciji rezultatov.

### 3.2.4 Umestitev proge v prostor

Progo je bilo potrebno umestiti v prostor, da bi preučili vpliv rekonstrukcije tudi na potek gladin pri visokih vodah  $Q_{10} = 1670 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_{100} = 2220 \text{ m}^3/\text{s}$ . [8]

Celotna proga je bila umeščena na podlagi višinske točke kanalizacijskega pokrova, ki leži na levi strani ob železniški progi in ima višinsko koto 203,6 m n.v.

### 3.3 Opis računalniškega programa Quicksurf

Quicksurf [Navodila za Quicksurf] je izjemno hiter podprogram znotraj programa AutoCAD. Uporablja se za splošne naloge kot so generiranje in prezentacija plastnic terena, profilov in račun volumnov.

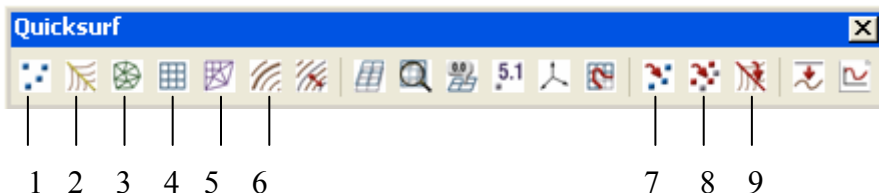
Program pretvori vnešene podatke kot so točke in prelomne linije v plastnice, mreže, nepravilne trikotne mreže (TIN) ali trikotne mreže (TGRD). Nabor vgrajenih orodij omogoča spreminjanje modelirane površine v visoko kvalitetne načrte in omogočajo cel kup inženirskih izračunov.

Program se uporablja za potrebe gradbeništva, okolja, naftnega in rudniškega inženiringa, geološkega kartiranja, merjenje zemljišč, fotogrametrijo in topoGrafikonsko kartiranje, reliefno arhitekturo, oceanoGrafikonijo in za vizualizacijo površine terena.

Quicksurf je bil narejen za uporabo z vsemi orodji AutoCAD-a. Vsi 3D modeli so kompatibilni s 3D Studiem in ostalimi 3D paketi. Nima nobene omejitve, kar se tiče števila točk ali števila površin, ki so lahko sočasno prikazane. Program izkorišča virtualni spomin AutoCAD-a, tako da je velikost projekta omejena samo s kapaciteto trdega diska.

#### 3.3.1 Uporabljena orodja

V nadaljevanju so opisana vsa orodja, ki sem jih uporabljal pri izdelavi 3D profila terena.



Ukazi od 1- 6 imajo naslednje podukaze:

None – ne naredi nič

Draw – trajno nariše izveden ukaz

Show – ukaz samo prikaže in ob naslednjem ukazu se izbriše

Redraw – ponovno nariše sliko

1...POINTS (točke) ukaz prikaže ali nariše točke, ki so bile vnešene na risalno površino

2...BREAKS (prelomi) program prikaže ali nariše že definirane prelome površine

3...TIN (nepravilna trikotna mreža) program iz podanih podatkov(točk in/ali prelomov) nariše nepravilno trikotno mrežo

4...GRID (mreža) program iz podanih podatkov nariše mrežni model površine.

5...TRIANGULATED GRID (trikotna mreža) program iz danih točk in/ali prelomov generira površinski model, ki temelji na trikotni mreži (TGRD).

6...CONTOUR (plastnice) program prikaže in/ali nariše obrise površine, ki lahko temeljijo na TIN, TGRD ali navadni mreži. Ukaz je mogoče nastaviti z opcijo *Configure Contours*. Obrisi izvirajo iz mreže, ki je linearno interpolirana preko mrežnih celic in preko TIN ali TGRD z linearno interpolacijo preko trikotnikov.

7...EXTRACT TO SURFACE (izpis v površino) iz X, Y, Z koordinat vnesenih točk program določi <.> površino terena. Pri tej operaciji program zbriše prejšnji vnos <.> in naredi novega <.>.

Podatke se označi po normalni metodi zajema točk. Objekti, ki jih je mogoče zajeti:

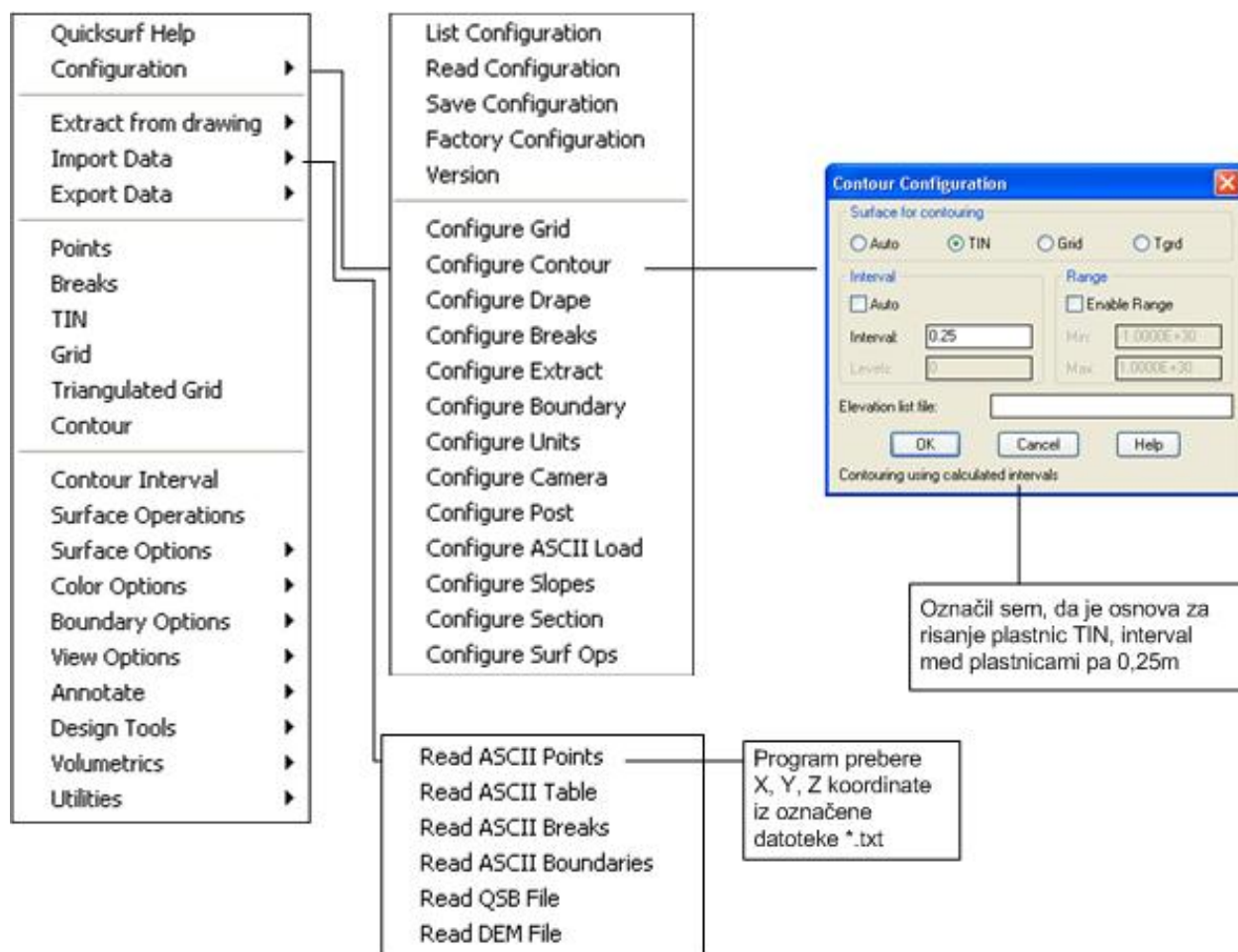
POINTS, 2D OR 3D POLYLINES, CIRCLES, ARCS, SHAPES, SOLIDS, 3DFACES, INSERTS (blocks), TEXT, 3D POLYGON, 3D POLYFACES, LINES

8... MERGE EXTRACT (združi izpis) je podobna operacija kot EXTRACT TO SURFACE z razliko, da ETS pobriše podatke iz prejšnjega vnosa <.>, ME pa nove podatke samo združi, ne da bi jih pri tem izbrisal.

9... EXTRACT BREAKS (izpis prelomov) izpiše linije prelomov in jih prenese v rezultat <.>.

Objekti, ki so že avtomatsko obravnavani kot prelomi:

2D OR 3D POLYLINES, ARC, CIRCLE, 3D FACE, TRACE, SOLID



Slika 7: Pogovorno okno Quicksurfa

## 4 REKONSTRUKCIJA PROGE

Smernice pri pripravi rekonstrukcije proge so bile večinoma povzete po [Bond K., Snel R, 1999]

### 4.1 *Zaželena morfologija*

#### 4.1.1 Valovi

##### **Premikajoči se valovi (poševni valovi):**

- So oblika valov, ki ponavadi nastajajo ob zožitvah rečne struge. Lega valov ni pravokotna, kot pri stoječem valu, temveč poševna, kjer iz obeh strani nastane t.i. jezik.
- Zanimivi so samo za ljudi (turiste), ki se spuščajo po reki navzdol in nimajo dovolj znanja za izkoriščanje protitokov in podobnih učinkov.
- Ti valovi niso primerni za surfanje ali izvajanje kakšnih akrobacij.
- Če je možno, se takih valov ne vključuje v projektiranje kajakaških prog.

##### **Stoječi valovi:**

- Namenjeni so predvsem surfanju iz ene na drugo stran reke. Turistom so vseč takšni valovi, ki niso višji od 0,5 m, saj dajejo občutek, kot bi bil na vlaku smrti.
- Neizkušeni kajakaši lahko vadijo ravnotežje in reflekse na manjših stojećih valovih.
- Zelo so primerni za izvajanje aktivnosti imenovane rodeo, kjer kajakaš z zelo kratkim čolnom dela razne figure in premete.
- Za slalomiste so predvsem zanimivi takšni valovi za prečkanje iz ene na drugo stran ne da bi pri tem izgubljali višino
- Zelo ugodno je, če je na vsaki strani stoječega vala še protitok za lažje vračanje.
- Dolžina stoječega vala naj bi bila minimalno 6 m, da se lahko kajakaš, ki ima 4 m dolg čoln, brez problemov vozi sem in tja. V primeru krajšega vala, se prednji del

čolna »zapiči« v predhodni val in ga tako ne bo mogel prečkati. Za rodeo pa so primerni valovi, dolgi okoli 4 m.



Slika 8: Slika stoječega vala, ki počasi prehaja v vodni skok

Slika 8 prikazuje meritev stoječega vala, ki je bila izvedena v šolskem laboratoriju na FGG

#### 4.1.2 Vodni skoki

- To je ekstremna oblika vodnega vala, pri katerem se del potencialne energije izgubi zaradi turbulence (pretvori se v toploto), pri tem pa nastane tako imenovana »rola« ali podirajoči valj. Ta val ima zelo močan vertikalni povratni tok tako, da lahko kajakaša, ki je usmerjen prečno na smer toka, drži v mirujočem položaju. V primeru, da želi prebiti »rolo«, ki je višja od 0,5 m, je občutek lahko tak, kot bi se zaletel v steno. Izkušeni kajakaši pri teh »rolah« nimajo velikih težav.
- Vodni skoki so zelo primerni za rodeo, kjer lahko izvajajo razne figure.



- Pri kajakaših pa gre bolj za obvladanje ravnotežja in sposobnost izvleči se iz takšnega skoka.
- Večji vodni skoki lahko prevrnejo kajak ali celo raft, kar je za turiste zanimivo doživetje.

#### **4.1.3 Protitokovi**

Slalom proga brez teh tokov sploh ne bi mogla obstajati. Če pa bi že obstajala, bi bila pa izredno nezanimiva. Smisel teh tokov je, da nastajajo za ovirami in imajo nasprotno smer kot glavni tok. Ponavadi se na ta mesta postavljajo protitočna vrata. Na tekmovanju je predvsem pomembno, da kajakaš pokaže svojo tehniko vstopa in izstopa iz protitoka in da najhitreje takšna vrata odpelje.

Protitok mora biti v prvi vrsti dovolj velik. Dolžina naj bo minimalno 5m, saj je že kajak dolg 4m, dodaten meter pa je potreben za manevriranje.

Pomembno je upoštevati, da se bodo po progi vozili tudi rafti zato mora biti protitok za raft dolg 7 m in širok več kot 1,5 m.

#### **4.1.4 Hitrost toka**

Srednja hitrost: 1,4 m/s povprečna hitrost, 4,5 m/s maksimalna hitrost

Velika hitrost: 2,0 m/s povprečna hitrost, 5,0 m/s maksimalna hitrost

#### **4.1.5 Upravljalški vidiki**

Proga mora biti konstruirana tako, da:

- Je enostavna za upravljanje. Najboljši je gravitacijski vodni sistem, kjer je dobava vode brezplačna.
- Ne potrebuje posebnega osebja za kontroliranje nivoja vodne gladine.
- Ima majhno porabo dodatne energije.
- Ima možnost kontroliranja spreminjanja vode po posameznih kanalih.

- Ima možnost kontroliranja proge brez osebja, ko ni sezone za veslanje.
- Je enostavna za vzdrževanje in čiščenje.
- Je upravljanje ekonomično.
- Potrebuje malo osebja, zdravniško osebje se potrebuje samo na tekmah.
- Je varna za uporabo tekmovalcev in obiskovalcev.

## **4.2 Osnovni parametri**

### **4.2.1 Širina struge**

Širina proge mora biti podobna širini na progah, ki prirejajo tekmovanja najvišjega razreda kot so na primer Penrith, Atene, Peking... Samo na ta način, da bodo imeli doma podobne vadbene možnosti, bodo lahko kajakaši konkurenčni tudi na mednarodnih progah. Dejstvo je, da se morajo kajakaši navaditi kratkih razdalj med vraticami.

Proge, ki imajo ozko korito kot na primer Augsburg in Seu d'Urgel (7-8 m), ne omogočajo dobro izrabo protitokov. Kajakašu je tako na primer potrebno veslati čisto po levi strani, da lahko z učinkovito hitrostjo odpelje protitok na desni strani.

Upoštevati pa je potrebno tudi odseke, kjer kajakaši veslajo navzgor. Ozke proge so bolj primerne za dolvodni spust.

### **4.2.2 Globina**

Pri določitvi globine je potrebno upoštevati naslednje pogoje:

1. Včasih se zgodi, da se kajakaš prevrne, zato je potrebno zagotoviti potrebno globino, da se ne udari z glavo ob dno. Potrebna globina je 0,9 m.
2. Če kajakaš zapusti čoln, je za plavanje dovolj 0,4 m, da ne zadane ob dno.

3. Globina veslanja:
  - kajakaš 0,3 m,
  - kanuist ter raft 0,4 m.
4. Zaradi maksimalne hitrosti valov je zaželjena globina 1m.
5. Za potrebe rodea naj bi bila globina ob vodnih skokih vsaj 1,5 m.
6. Za vzpostavitev stabilne vodne površine se je potrebno izogniti kritičnim pogojem, ko je vrednost Froudovega števila  $Fr \sim 1,0$ .

#### 4.2.3 Hitrost vode in padec

Tokovne razmere se lahko najboljše opišejo z vrednostjo Froudovega števila:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{h \cdot g}} \quad (1)$$

v.....hitrost

h.....globina

g.....gravitacijski pospešek

$Fr < 1$       mirni tok

$Fr \sim 1$       kritični tok

$Fr > 1$       deroči tok

Hidravlični pojavi, kot so vodni skoki in stoječi valovi, se pojavijo, ko se režim toka spremeni iz mirnega v deroči tok. Višina vodnih skokov naj ne bi presegla 0,7 m za amaterje in 1,0 m pa za izkušene kajakaše. To pomeni, da so zaželjena  $Fr$  števila med 1,7 in 2,5. S spreminjanjem vodne globine se spreminjajo tudi valovi.

Vrednost  $Fr = 2,5$  se lahko ustvari s hitrostjo 5 m/s in globino 0,5 m. Te vrednosti se lahko dobi samo z dovolj velikim naklonom dna kar zahteva veliko razpoložljive energije. Odvisnost hitrosti od naklona dna in koeficinta hrapavosti podaja za stalni enakomerni tok znana Manningova enačba:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I_0^{1/2} \quad (2)$$

n.....Manningov koeficient hrapavosti

R.....hidravlični radij

$I_0$ .....padec terena

Tipične vrednosti koeficientov hrapavosti so  $n = 0,012$  za gladko betonsko podlago in  $n = 0,070$  za naravno kamnito podlago.

Priporočene vrednosti hitrosti, padca dna in pretoka za novejšje kajakaške proge, ki jih priporoča Pollert [4]:

$$v = 2 \text{ m/s (1,7)}$$

$$I_0 = 1 \%$$

$$Q = 15 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.2.4 Prečni prerez

Pri novograjjenih progah se uporabljajo različni prečni prerezi:



pravokotni



trapezni



nepravilni

Prednost prerezov z ravnim dnom v primerjavi s prerezi z naravnim ali poljubno oblikovanim dnom je v tem, da na ravni prerez lahko položimo matrično ploščo za vstavljanje mobilnih modularnih ovir, medtem ko pri naravnem dnu tega ne moremo.

Slabost trapeznega prereza v primerjavi s pravokotnim je v tem, da težje pridemo iz vode, ker se ponavadi na straneh naberejo alge, mah in je strmina zelo gladka. Pri pravokotnih prerezih pa so tudi protitokovi globlji kot pri trapeznih.

Velik problem pri umetnih progah so nihanje vodne gladine. V Tacnu je možno, da gladina zaniha od 10 – 15 cm, kar pa precejšnja ovira za izvedbo tekmovanja, kjer so vrata postavljena 20 cm nad vodo.

Dobro rešitev podaja Pollert[4], ki govori, da nihanja povzroča ravnotežna hidravlična upornost. Nihanja je možno »ukrotiti« z vpeljavo ovir v strugo. Metoda se je pokazala kot uspešna.

#### **4.2.5 Hrapavost terena**

Manjša hrapavost pomeni višjo hitrost. Če primerjamo Manningov koeficient za gladko  $n=0,012$  in naravno  $n=0,07$  podlago, vidimo, da ima lahko voda pri gladki podlagi do 5x večjo hitrost. Zato je priporočljivo imeti čimbolj gladko dno struge.

#### **4.2.6 Dolžina**

Dolžina kajakaške proge naj bi ustrezala pravilom ICF, ki predlagajo dolžino od 250 – 400 m. Pri vseh progah, ki kandidirajo za tekmovanje višjega nivoja od državnega, mora biti to pravilo upoštevano.

#### **4.2.7 Ekonomska presoja**

Dandanes je gradnja umetnih prog tesno povezana z ekonomičnostjo, saj se za gradnjo namenjuje milijoni dolarjev. Nihče pa takšne proge ni pripravljen financirati, brez da bi se investicija povrnila. Proge tako niso namenjene samo kajakašem, pač pa tudi turistom, ki polnijo blagajno. S tem denarjem se pokrivajo stroški črpanja vode, amortizacija proge ter njeno vzdrževanje. Koz primer je zanimiva proga v Penrithu (Avstralija), kjer so od leta 2004, ko je bila odprta za olimpijske igre in je stala 4 mio €, vložena sredstva že skoraj odplačali. Pomembna posebnost te proge je, da je lahko odprta vse leto in lahko na ta način pridobi dodatna finančna sredstva medtem. Proge v srednji Evropi ne bi mogle doseči takšnega uspeha, saj za turiste pozimi niso zanimive.

## 5 HIDRAVLIČNI IZRAČUNI TOKA NA PROGI

### 5.1 Dvodimenzijski matematični model PCFLOW2D

#### 5.1.1 Uvod

Tokovi s prosto gladinopri hidrotehničnih problemih pogosto nastopajo v obliki turbulentnih tokov. Za modeliranje teh tokov se uporabljajo matematični in fizični modeli. Prednost prvih je v tem, da so cenejši in pri njih lahko hitro spreminjamo morfologijo terena, pri katerem ima teren povsem nove značilnosti. Prednost drugih pa je v tem, da je z njimi možno obravnavati splošne tridimenzionalne tokove z vsemi geometrijskimi detajli. Narava toka včasih dopušča določene poenostavitve (npr. obravnavanje toka v eni ali dveh dimenzijah), vendar je pri tem potrebno matematične modele umeriti in rezultate preveriti z meritvami iz narave ali s fizičnim modelom.. Navajamo nekaj primerov, kjer se lahko matematični modeli se lahko uporabljajo kot koristno orodje hidrotehničnih problemov [Četina M., 1988]:

- Poplavni valovi pri razlitju toka iz ozke doline.
- Določanje detajlnega poteka gladin in hitrosti v bližini hidrotehničnih objektov v strugi.
- Morski tokovi širših področij (S Jadran, tokovi v lukah zaradi najugodnejše postavitve valobranov in pomolov).
- 3D problem prodonosnosti v krivinah rek.
- Račun cirkulacije v jezerih ali umetnih akumulacijah zaradi vetra, dotoka ali iztoka ali toplotne stratifikacije. Določiti želimo tokove in mešanje posameznih slojev, kar ima velik vpliv na biološka dogajanja v jezeru. Tukaj gre potem za prepletanje hidromehanskih in biokemičnih procesov.
- Širjenje raznih odplak (fizikalnih, kemijskih ali toplotnih).
- Pri čistilnih napravah nas zanimajo hitrosti in efekt difuzije v posameznih točkah mešalnega bazena zaradi doseganja čim boljšega mešalnega učinka.
- Zasedovanje širjenja dima ali vroče pare iz hladilnih stolpov termoelektrarn v atmosfero. Pri tem nas zanima predvsem sprememba koncentracije preko nekega področja.

- Kroženje zraka v prostorih v notranjosti stavb. Ugotoviti želimo čimbolj smiselno razmestitev ventilacije in ogrevalnih teles.
- Določanje tokovne slike pri obtekanju teles (mostnih stebrov,...).

V okviru diplomske naloge smo za simulacijo toka v kajakaški progi uporabili dvodimenzijski hidrodinamični model PCFLOW2D [Četina M. 1998], s katerim je možno določiti globine in globinsko povprečne hitrosti. Osnove modela so na kratko predstavljene v nadaljevanju.

### 5.1.2 Predpostavke

- a) Tok je dvodimenzionalen, hitrosti  $\bar{u}$  in  $\bar{v}$  so povprečene po globini.
- b) Porazdelitev tlakov je hidrostatična.
- c) Napetosti zaradi trenja ob dno izrazimo z Manningovo empirično enačbo.
- d) Napetosti zaradi vetra so zanemarjene.
- e) Pri modeliranju globinsko povprečnih turbulentnih napetosti je uporabljen model konstantne efektivne viskoznosti  $\nu_{ef}$ .

### 5.1.3 Osnovne enačbe

Kontinuitetna enačba

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y} + q = 0 \quad (3)$$

Dinamični enačbi:

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - ghn^2 \frac{\bar{u}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{h^{4/3}} + \frac{\partial}{\partial x} \left( h\nu_{ef} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h\nu_{ef} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v}^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - ghn^2 \frac{\bar{u}\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{h^{4/3}} + \frac{\partial}{\partial x} \left( h\nu_{ef} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h\nu_{ef} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) \quad (5)$$



Oznake:

$h$  – globina vode,

$\bar{u}$  in  $\bar{v}$  – komponenti hitrosti v  $x$  in  $y$  smeri,

$z_b$  – kota dna,

$n$  – Manningov koeficient hrapavosti,

$\nu_{ef}$  – kinematični koeficient efektivne viskoznosti,

$g$  – gravitacijski pospešek,

$q$  – dotok na enoto površine (iztok iz celice je definiran kot pozitiven),

Globinsko povprečni modeli se največkrat uporabljajo za račun tokov v rekah, kjer prihaja zaradi trenja ob dno do intenzivnega mešanja v vertikalni smeri. Pri računu igra pomembno vlogo Manningov koeficient hrapavosti  $n_g$ .

#### 5.1.4 Metoda reševanja in računalniški program

Sistem parcialnih enač tipa (3) - (5) se rešuje numerično z metodo končnih volumnov Patankarja in Spaldinga, ki je podrobno opisana v [6]. Osnovne značilnosti pa so premaknjena numerična mreža, uporaba hibridne sheme in iteracijsko popravljanje polja globin, dokler globine in hitrosti ne zadovoljijo kontinuitetne in dinamičnih enačb. Pri reševanju potrebujemo robne pogoje na vtoku, iztoku in ob stenah struge.

Program je prirejen za delo na osebnih računalnikih, ki pa potrebujejo za hitrejše reševanje razmeroma hitre procesorje. Simulacije toka na progi, ki je bila pokrita z gosto numerično mrežo  $208 \times 307 = 63.856$  točk, so bile večinoma izvedene na računalnikih s procesorji P4 3GHZ in 1Gb RAM spomina. Račun enega primera je trajal približno 20 ur.

## 5.2 Računani primeri

Kajakaška proga, gledano iz hidrološkega vidika ter pridobljenih podatkov, je najbolj funkcionalna v območju pretokov od 50 – 250 m<sup>3</sup>/s. Za boljši vpogled dogajanja na progi je bil dodan še primer za 150 m<sup>3</sup>/s.

Za umeritev modela sta bila uporabljena dva pretoka. Prvi je nastopil v času meritev desne brežine 27. 5. 2005 in je znašal 115 m<sup>3</sup>/s, drugi pa v času meritve leve brežine 28. 5. 2005 in je znašal 100 m<sup>3</sup>/s. V preglednici 6 so podani primeri, ki so bili računani z dvodimenzijskim modelom. Zaradi primerjave rezultatov je bilo nekaj primerov izračunanih tudi z enodimenzijskim modelom .

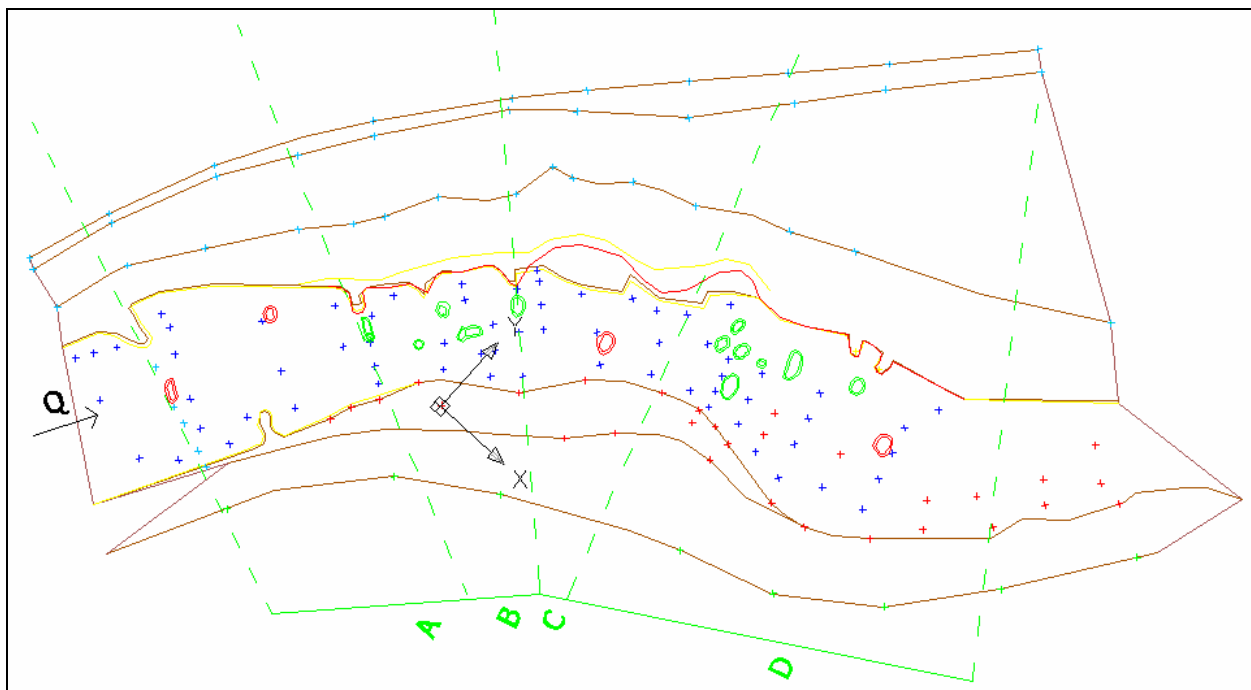
**Preglednica 6: Računani primeri**

Primer	Matem. model	Pretok v Savi ( $Q_0$ , [m <sup>3</sup> /s])	Levi (gorvodni) robni pogoj	Desni (dolvodni) robni pogoj
<b>Osnovni primer</b>				
1	PCFLOW2D	50	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
2	PCFLOW2D	150	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
3	PCFLOW2D	250	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
4	PCFLOW2D	$Q_{um} = 100$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
5	PCFLOW2D	$Q_{um} = 115$		
6	PCFLOW2D	$Q_{10} = 1670$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
7	PCFLOW2D	$Q_{100} = 2220$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
<b>1.varianta</b>				
8	PCFLOW2D	50	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
9	PCFLOW2D	150	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
10	PCFLOW2D	250	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
11	PCFLOW2D	$Q_{10} = 1670$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
12	PCFLOW2D	$Q_{100} = 2220$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
<b>2.varianta</b>				
13	PCFLOW2D	100	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
14	PCFLOW2D	150	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
15	PCFLOW2D	250	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
16	PCFLOW2D	$Q_{10} = 1670$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2
17	PCFLOW2D	$Q_{100} = 2220$	$Q = Q_0$	$Q = Q(z)$ v P107.2

### 5.2.1 Sedanje stanje proge (osnovni primer)

Proga vsebuje premalo ovir, ki omogočajo potrebno pestrost proge. Pomola (na robovih odseka B), ki so bili nekoliko popravljeni v preteklosti, so predolgi, ker povzročajo slabe tokovne razmere. Ovire so nekoliko prenizke, zato proga ni prilagojena za trening pri pretoku višjem od  $180 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.2.2 1. varianta rekonstrukcije proge



Slika 9: Prva varianta rekonstrukcije proge

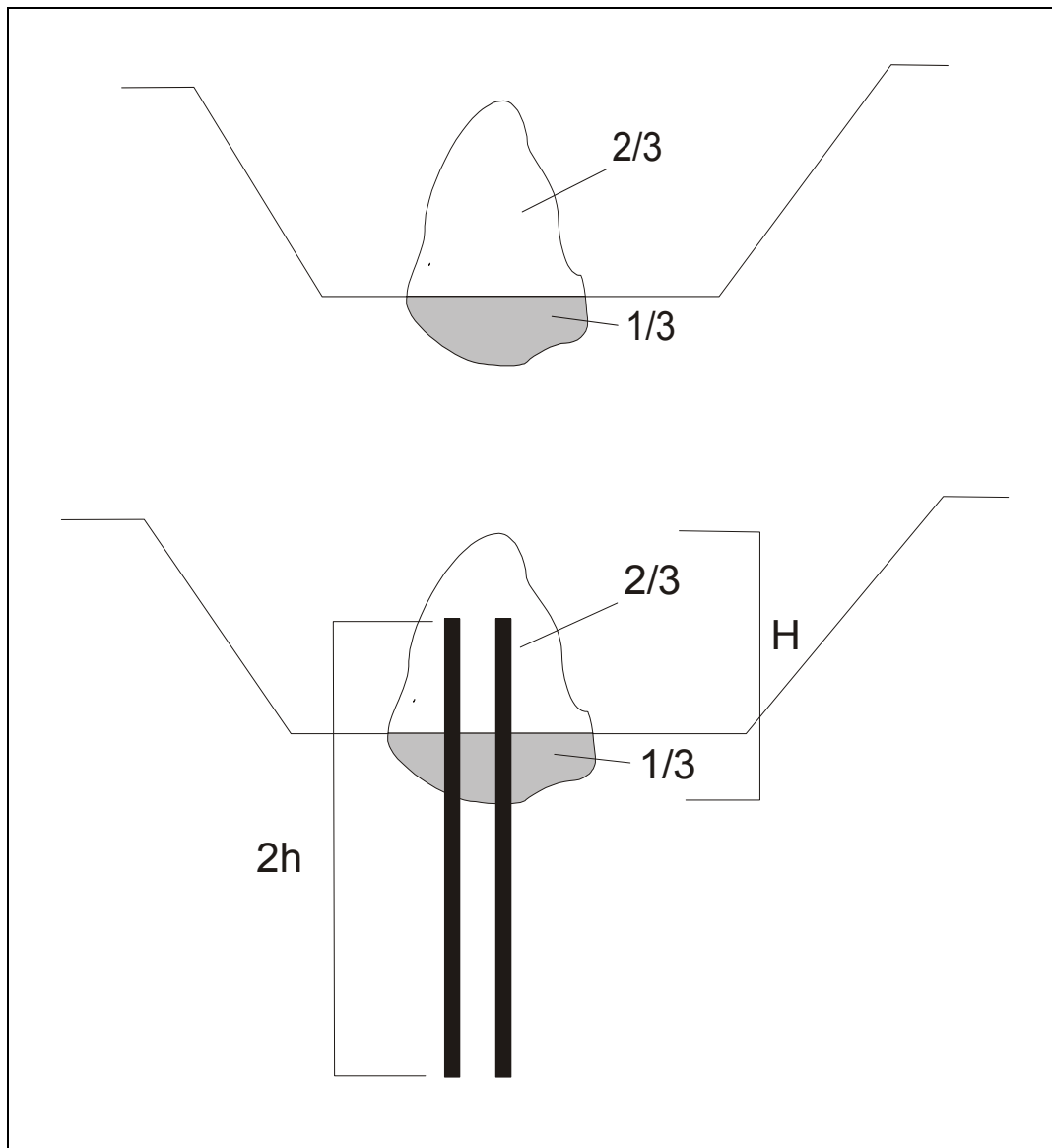
Pri prvi varianti so terenu dodane 4 ovire (na sliki 9 označene rdeče). Pomol na začetku odseka B je bil skrajšan zato, da se za njim ne bi pojavila prevelika recirkulacija, ki bi lahko ovirala nujno potreben tok na odseku B. Na tem odseku bi tudi povišali vse skale, saj namreč pri pretoku večjem od  $180 \text{ m}^3/\text{s}$  praktično nimajo več vpliva na spremembo toka in na recirkulacije. Pojavljajo se namreč samo majhne turbulence, ki pa iz kajakaškega vidika niso zanimive.

Na odseku C, kjer je osnovni teren podan rdeče, sta bili recirkulirajoči območji zmanjšani, da bi dosegli boljšo pretočnost.

Ti popravki so razmeroma majhni in zanj ne potrebujemo velikih finančnih sredstev. Po drugi strani pa je vgradnja omenjenih skal konstrukcijsko zahtevna. Težava je predvsem v tem, da te ovire ležijo precej stran od brežine, zato bi bilo za njihovo vgradnjo zaježiti polovico reke.

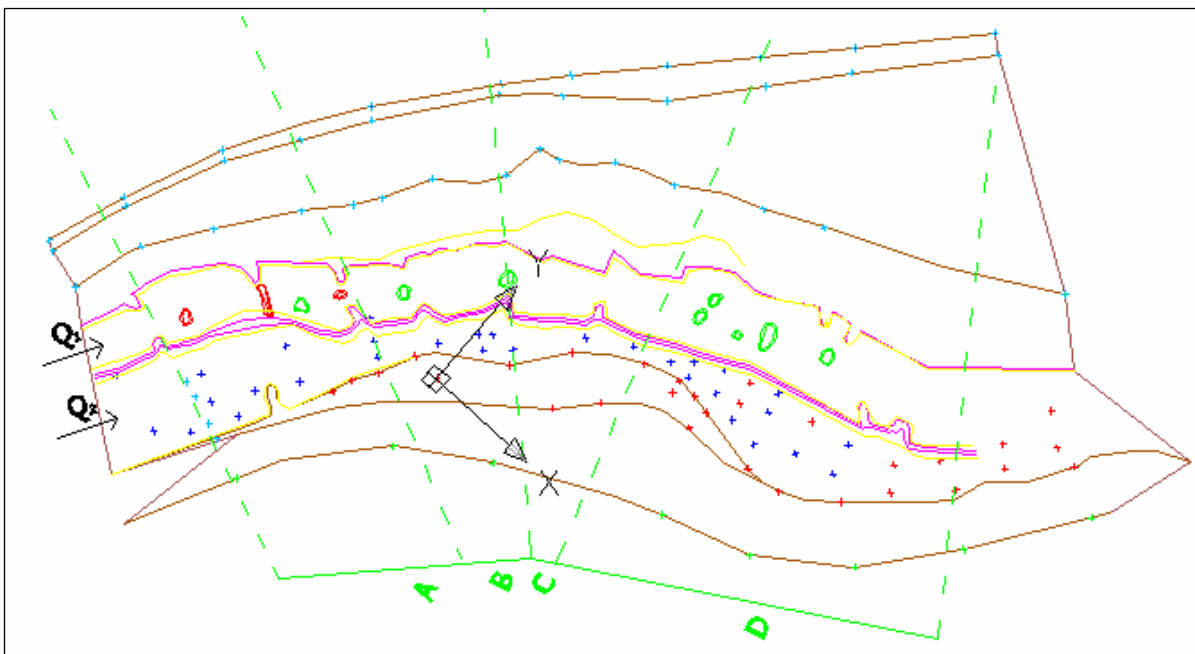
Tehnologija vgradnje rečnih ovir naj bi se zgledovala po izkušnjah g. Radeta Kovačevića, u. d. i. g., ki ima z gradnjo kajakaških prog že precej izkušenj [Kovačević R., 2006]:

- Pri prvi varianti bi bila gradnja posameznih ovir rahlo komplicirana in draga v primerjavi z drugo varianto, ki je opisana v nadaljevanju. Predhodno bi morali zgraditi kar nekaj zagat, da bi vgradili vse nove in zvišali stare ovire, pri tem pa se lahko zgodi, da visoka voda zagato odnese.
- Ovire naj se zasidrajo vsaj 1/3 volumna v rečno dno, 2/3 pa lahko gleda iz dna kot kaže slika 10.
- Lahko se sidrajo s pomočjo pilotov, katerih dolžina je odvisna ob podlage. Trdnejša kot je podlaga, krajši je lahko pilot. Sidranje s pomočjo pilotov je odvisno tudi od oblike ovir, na katero deluje moment, ki ga povzroča voda na oviro.



Slika 10: Možne oblike sidranja ovir v rečno korito

### 5.2.3 2. varianta rekonstruirane proge



Slika 11: Druga varianta

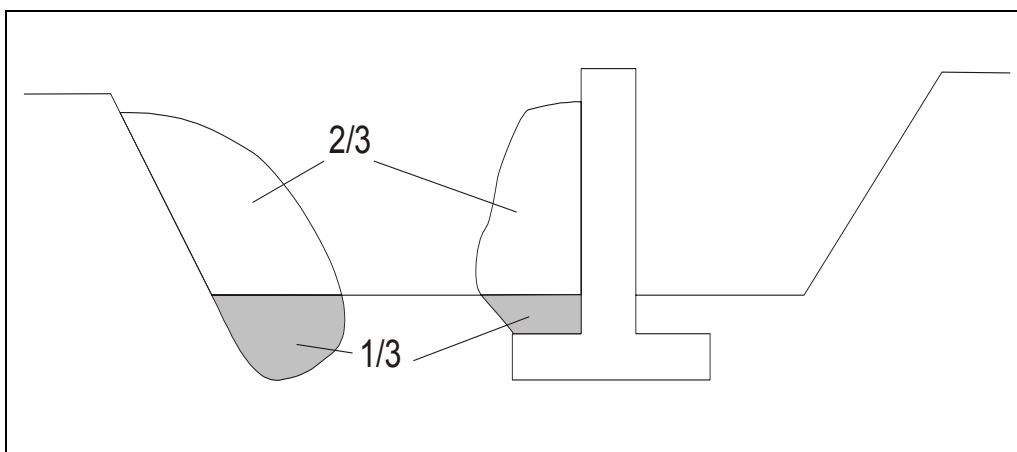
Pri drugi varianti rekonstrukcije gre za v celoti spremenjeno konfiguracijo proge, kjer bi bila kajakaška proga ograjena med dve umetno zgrajeni brežini, dno pa bi bilo povsem ravno in gladko. Pri dolžini 271 m bi imela proga 3.2 m padca, kar daje 1,2% naklon, s tem se znatno povečajo pretočne hitrosti, h čemur bi znatno pripomogel koeficient hrapavosti zaradi gladkega betona.

Na sredini odseka A bi vgradili jez, ki bi povzročal vodni skok primeren za roдео (označeno rdeče na sliki 11). Obstoječe skale na odseku D pa bi pustili in s tem ohranili naravo proge.

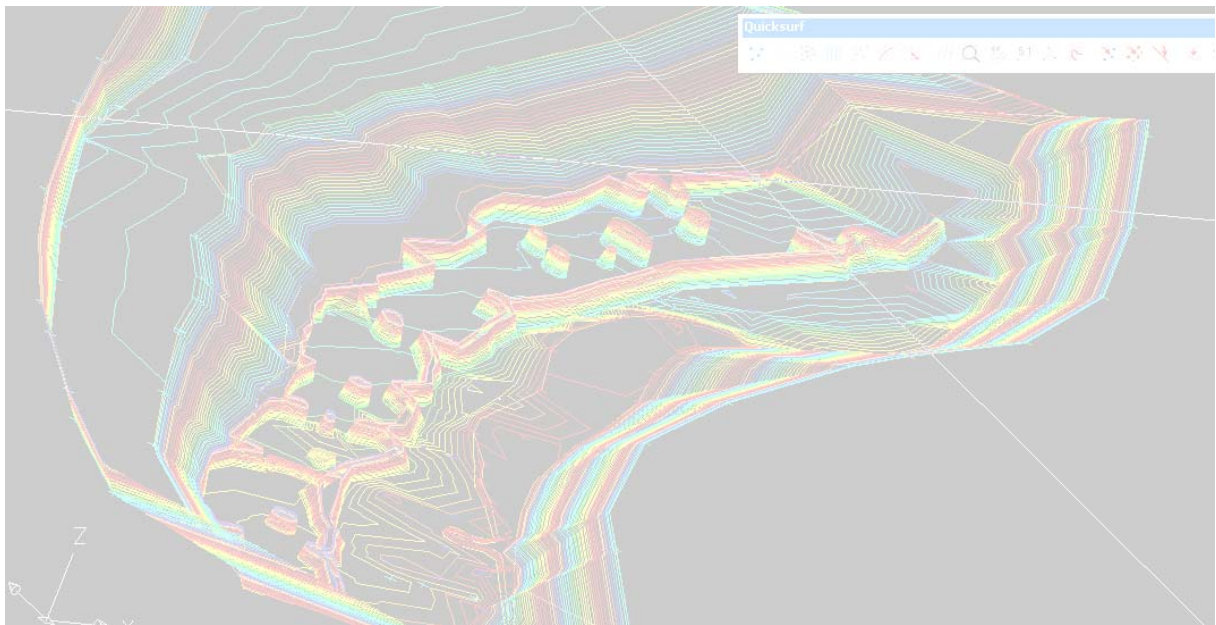
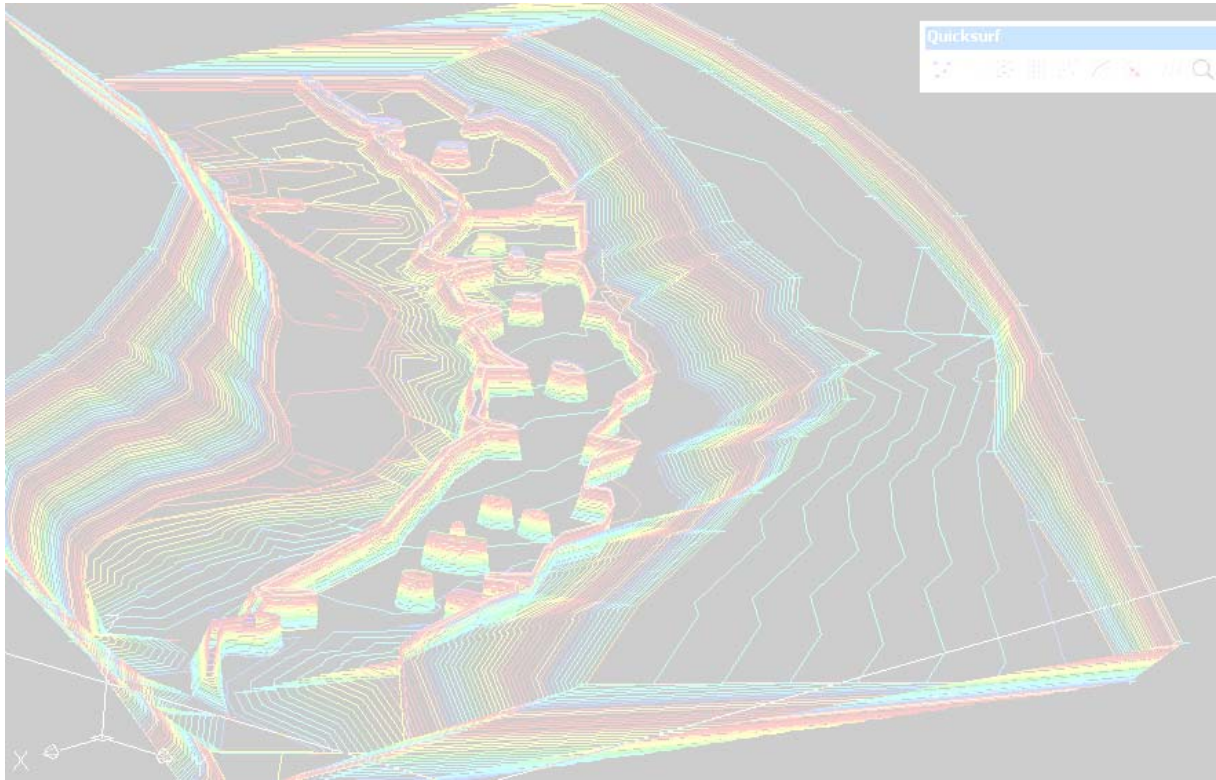
Pri tej konfiguraciji bi bilo potrebno preostali del pretoka reke ( $Q_2$ ) speljati na drugo stran, glavni pretok skozi kanal ( $Q_1$ ) pa bi bilo potrebno na nek način kontrolirati. Možen način bi bila izgradnja prepustnega jezua kot na primer v Solkanu, ali pa s pomočjo montažnega gumijastega mehkega jezua.

Prednosti gradnje te variante so:

- Najprej bi s pomočjo ene zagate po celi dolžini zgradili steno ter na drugi strani prav tako, znotraj območja pa se potem brez problemov vgradijo posamezne ovire. Lahko bi poleg dvodimenzijskega matematičnega modela, celo modelirali tok v merilu 1:1, kar bi bilo izjemnega pomena za detajlno konstrukcijo proge.



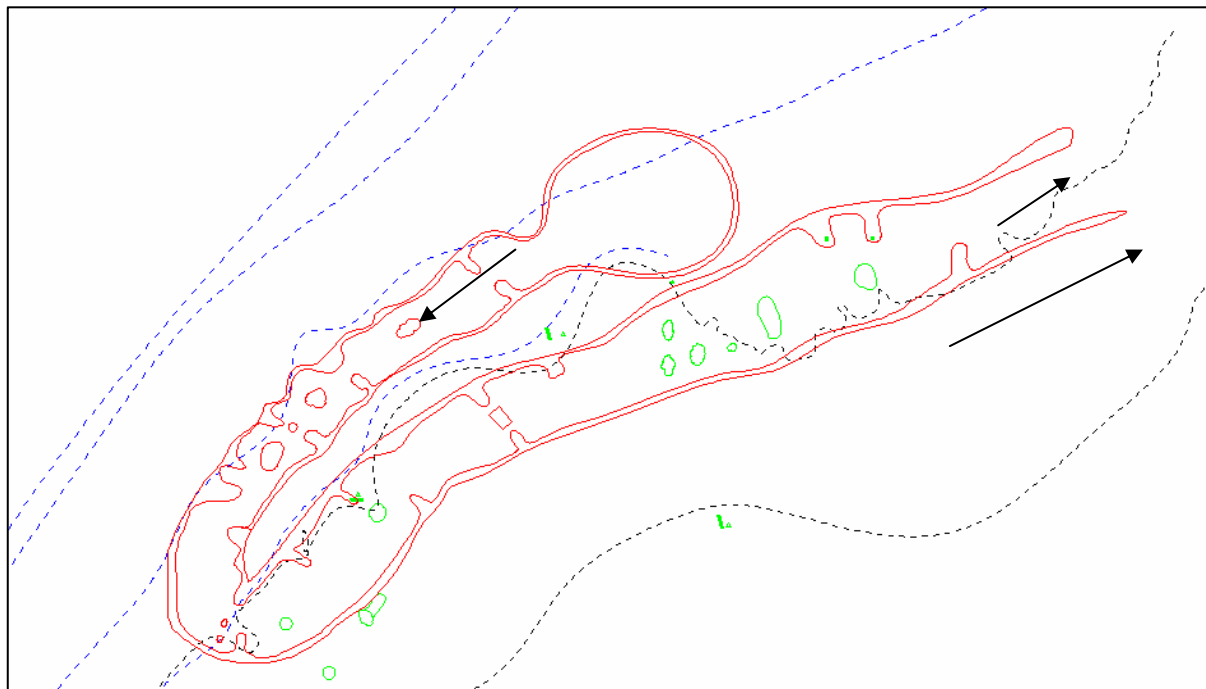
Slika 12: Možna oblika sidranja bočnih ovir v ograjeno korito [10]



**Slika 13: Aksonometrični pogled na rekonstrukcijo proge po 2. varianti**



### 5.2.4 3.varianta



**Slika 14: Tretja varianta rekonstruirane proge**

Pri tretji varianti predvidevam, da bi imela proga okoli 8 m višinske razlike od začetka proge do cilja. Vodo bi morali črpati v bazen na začetku proge s pomočjo črpalk, ki bi zagotavljale konstanten pretok v kanalu. Prerez korita bi bil trapezni in bi, po predhodni matematični analizi dvodimenzijskega toka, omogočal trodimenzijsko modeliranje v merilu 1:1. V korito bi se lahko vgradil sistem plastičnih ovir OMNIFLOTS, dodane pa bi bile tudi betonske ovire z naravnim izgledom. V zgornjem delu bi bila proga široka 11 m, spodnji pa bi se razširil na 14 m. Vsebovala bi dovolj vodnih skokov, kar bi otežilo veslanje po progi, omogočala pa bi tudi izvajanje discipline rodeo.

Problem pri tej varianti pa bi bilo črpanje vode, ki je povezano z velikimi finančnimi stroški za dobavo energije. Izgradnja takšne proge bi predstavljala prevelik poseg v naravno strugo reke. Zožitev rečne struge bi povzročila dvig gladine gorvodno, preučiti pa bi bilo potrebno tudi okoljevarstvene vidike takšnega posega v naravno rečno okolje.

### 5.3 Geodetski podatki

Prečni profili so bili pridobljeni pri [FGG]. Izmerjeni so bili leta 1990. Teren se je po desetih letih močno spremenil, saj se je na desnem bregu od hrastniškega mostu dolvodno začel odlagati odpadni material, odložen s strani lokalnih podjetij. Odlaganje ni bilo prijavljeno na Ministrstvo za okolje in pri tem ni bil upoštevan vpliv zožanja rečne struge na stoletno vodo  $Q_{100}$ . Na slikah 13 – 15 so predstavljene vse tri primerjave starih (IBE) in novih prerezov P107, P107.1 in P107.2. Njihov tlorisni položaj je razviden iz situacije (Priloga 1)

Za račun v dvodimenzionalnem programu PCFLOW2D potrebujemo kote rečne struge za vsako točko numerične mreže.

TopoGrafikonija rečnega dna je bila iz vrednotena na podlagi že znanih profilov P107, P107.1, P107.2 in novih detajlnejših meritev terena (priloga 2). Prvi in zadnji profil predstavljata hkrati tudi levi (gorvodni) in desni (dolvodni) robni pogoj.

Za potrebo natančne definicije terena struge je bilo dodanih še 16 točk na desnem in 26 na levem bregu.

**Preglednica 7: Točke meritev roba vodne gladine desnega brega**

#### **Desni breg Save (27.5.2005, 18:10, $Q_1=115m^3/s$ )**

Točka	kot	X	Y	Z	Navezava	meritev	višina stojala 1	1.30
stojišče 1	0.0	0.18	0.22	195.62	0.00	0.00		
1	233.6	-15.91	-11.67	195.65	0.03	-1.27		
2	227.0	-20.95	-19.48	195.67	0.05	-1.25		
3	221.2	-23.37	-26.69	195.73	0.11	-1.19		
4	273.0	-10.31	0.76	195.43	-0.19	-1.49		
5	38.8	15.84	19.70	195.40	-0.22	-1.52		
6	38.0	28.80	36.85	195.05	-0.57	-1.87		
7	44.8	49.89	50.28	195.09	-0.53	-2.05		
8	49.2	62.38	53.90	195.10	-0.52	-1.82		
9	52.0	69.74	53.50	194.95	-0.67	-1.97		
stojišče 2		63.36	49.50	195.62			višina stojala 2	1.23
10	148.2	76.43	52.05	194.57	-1.05	-1.61		0.56

11	162.2	99.35	47.37	194.57	-1.05	-1.61
12	159.8	112.30	48.57	194.56	-1.06	-1.62
13	149.2	130.45	59.86	194.59	-1.03	-1.59
14	182.4	75.63	44.38	195.18	-0.44	-1.00
15	288.8	47.35	30.66	195.23	-0.39	-0.95
16	291.6	36.44	18.65	195.28	-0.34	-0.90

Točke 1 - 6 in 12 - 14.2 v preglednici 8 niso bile izmerjene, temveč virtualno prikazane. Te točke so bile potrebne za določitev konture vodne struge. X in Y koordinate se točno ujemajo z načrtom proge, koordinata Z pa je bila interpolirana.

**Preglednica 8: Točke meritev roba vodne gladine levega brega**

*Levi breg Save (28.5.2005, 8:20, Q2=100m<sup>3</sup>/s)*

Točka	kot	X	Y	Z	navezava	meritev	višina stojala 3
stojišče 1	0.0	0.00	0.00		/	1.27	1.18
stojišče 2	289.9	/	/		/	1.41	
stojišče 3		-11.59	48.28	195.71	0.09		
1		-31.75	46.19	195.70			
2		-12.43	71.35	195.71			
3		-14.67	64.02	195.71			
4		-21.95	57.59	195.75			
5		-40.76	31.91	195.79			
6		-57.10	14.79	195.71			
7	322.0	-10.88	53.18	195.29	-0.33	-1.60	
8/1	46.5	-81.53	-39.84	195.91	0.89	-0.38	
8/2	55.2	-97.96	-34.57	195.81	0.79	-0.48	
9/1	49.6	-41.41	14.30	195.61	-0.01	-1.28	
9/2	57.5	-47.02	18.18	195.66	0.04	-1.23	
10	57.4	-40.50	25.77	195.35	-0.27	-1.54	
11/0	50.2	-30.12	32.67	195.14	-0.48	-1.75	
11/1	55.5	-32.22	34.12	196.44	0.82	-0.45	
11/2	61.0	-34.46	35.68	195.71	0.09	-1.18	
11/3	63.2	-26.63	44.77	195.21	-0.41	-1.68	
12		1.67	83.32	195.30			
13		19.11	86.84	195.30			
14		29.67	97.84	195.20			
14.1		33.44	104.11	195.20			
14.2		50.71	106.34	195.20			
15	225.2	-3.97	76.79	195.04	-0.58	-1.85	
16	238.1	8.06	82.69	195.23	-0.39	-1.66	
17	253.7	25.56	82.92	195.29	-0.33	-1.60	
stojišče 4	249.5	34.08	79.09	195.68	0.06	-1.21	višina stojala 4 1.32
18	165.2	40.06	104.77	195.09	-0.53	-1.85	

19	191.7	51.05	100.76	195.00	-0.62	-1.94
19.1	191.7	52.21	100.99	195.80	0.18	-1.14
20	197.8	84.33	110.01	196.64	1.02	-0.30
21	207.5	89.97	109.43	196.14	0.52	-0.80
22	204.0	92.56	101.35	196.44	0.82	-0.50

**Preglednica 9: Točke meritev skal v strugi**

Točka	X	Y	Z
01	73.07	94.10	196.20
02	64.52	87.00	195.30
03	50.70	90.73	195.30
04	57.04	85.55	195.70
05	50.43	83.24	195.60
06	-6.16	48.77	195.60
07	-10.94	33.38	195.15
08	-21.18	18.57	195.45
09	-35.56	18.50	195.20
10	-22.92	31.96	195.34
11	-13.57	30.08	195.65

V preglednici 9 so podane točke na profilih [FGG]

**Preglednica 10: Točke posameznih profilov**

Točka	X	Y	Z
P107-01	-125.67	-24.56	209.08
P107-02	-119.99	-26.79	204.16
P107-03	-116.83	-28.04	203.42
P107-04	-109.85	-30.78	198.07
P107-05	-106.77	-31.98	196.24
P107-06	-102.12	-33.81	194.16
P107-07	-97.47	-35.64	194.56
P107-08	-88.16	-39.29	193.46
P107-09	-78.85	-42.95	193.76
P107-10	-69.54	-46.60	194.06
P107-11	-60.23	-50.26	194.36
P107-12	-50.92	-53.91	194.36
P107-13	-45.62	-55.99	196.08
P107-14	-34.63	-60.31	204.55
P107-15	-28.58	-62.68	208.1
P107-16	1.85	-74.63	210.16
P107-17	67.85	-100.54	210.39
P107.1-0	27.08	118.06	202
P107.1-1	27.54	116.87	197

P107.1-2	31.99	105.19	192.3
P107.1-3	35.56	95.85	192.3
P107.1-4	64.08	21.10	196.5
P107.1-5	67.64	11.76	203.8
P107.1-6	71.21	2.42	203.8
P107.1-7	76.56	-11.60	209
P107.2-01	72.07	213.33	203
P107.2-02	100.83	189.26	202.1
P107.2-03	114.25	178.03	199
P107.2-04	129.59	165.20	197
P107.2-05	141.09	155.57	196
P107.2-06	152.60	145.95	195
P107.2-07	166.02	134.72	194
P107.2-08	167.94	133.11	191
P107.2-09	189.03	115.47	191
P107.2-10	190.94	113.86	194
P107.2-11	200.53	105.84	203.5
P107.2-12	204.75	102.31	203.5
P107.2-13	216.25	92.68	213.5

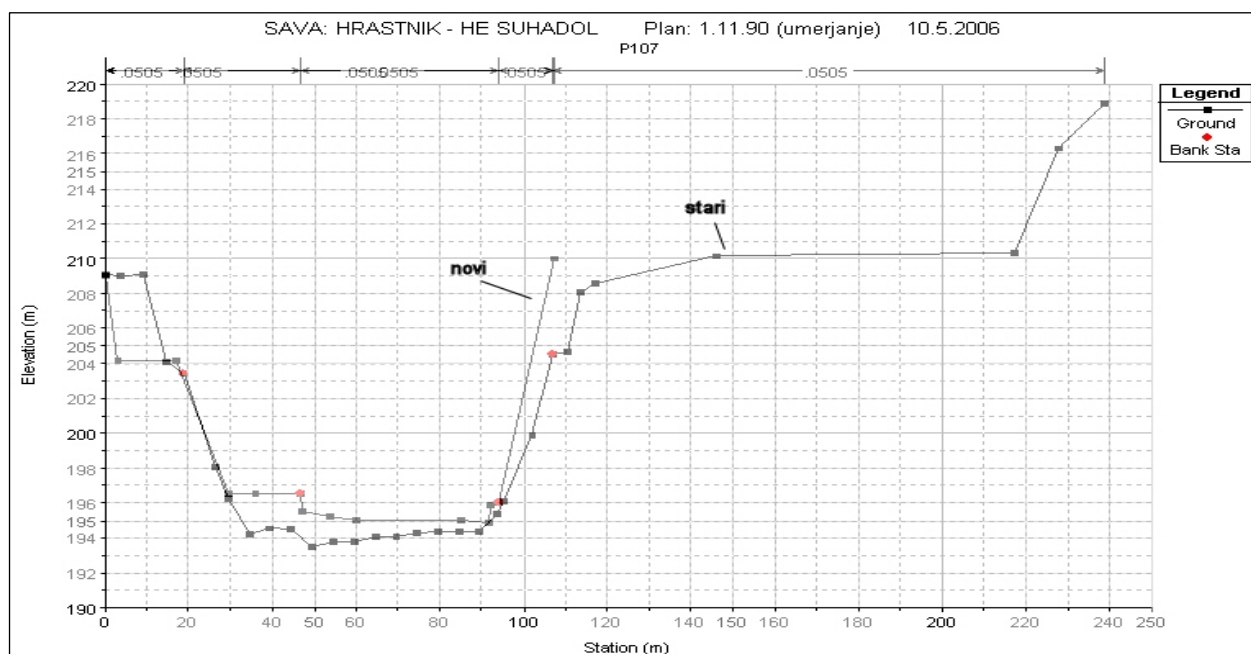
V naslednji preglednici so bile interpolirane točke 44 – 75 za boljšo definicijo terena.

**Preglednica 11: Točke meritev globin**

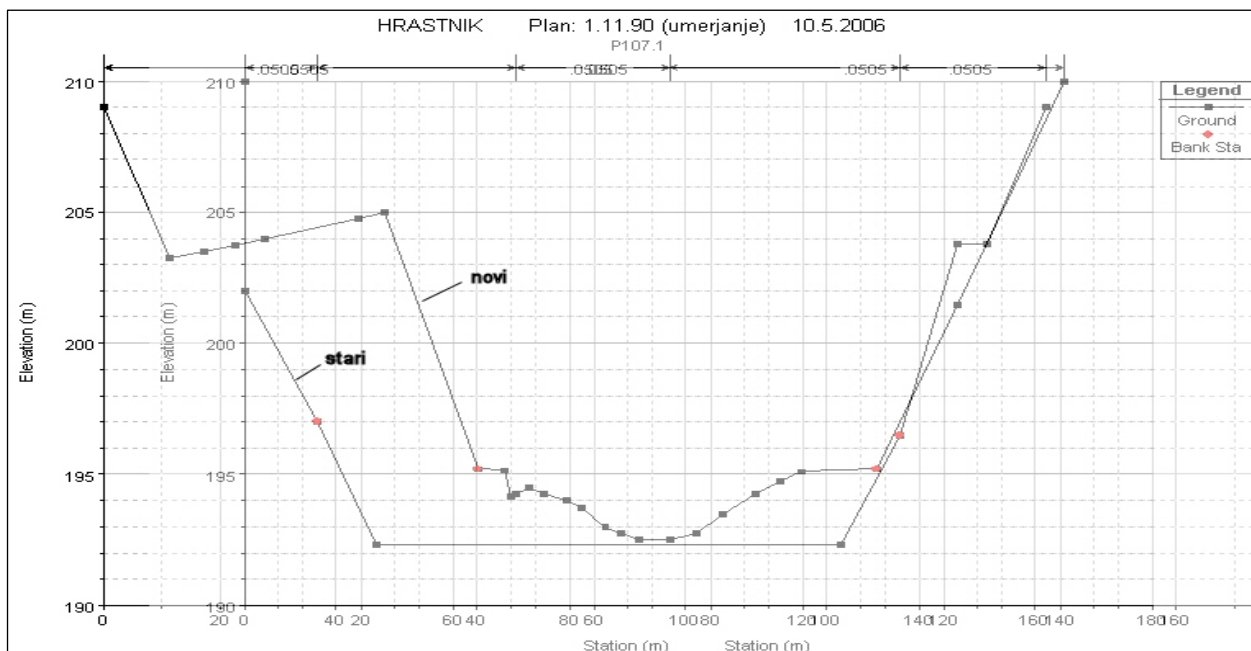
Točka	X	Y	Z	orig. H	delta H od stojišča 1	Navezava
1	-88.87	-29.10	194.01	-1.60	-0.01	-1.61
2	-84.07	-30.50	194.01	-1.60	-0.01	-1.61
3	-77.03	-35.75	194.57	-1.20	0.15	-1.05
4	-63.84	-43.16	194.87	-0.90	0.15	-0.75
5	64.06	93.25	194.11	-1.50	-0.01	-1.51
6	-63.41	-9.48	195.05	-0.65	0.08	-0.57
7	-48.31	-17.21	194.51	-1.10	-0.01	-1.11
8	-49.30	9.88	194.95	-0.70	0.03	-0.67
9	-38.67	1.84	194.71	-0.80	-0.11	-0.91
10	-33.22	8.61	194.60	-0.80	-0.22	-1.02
11	-38.44	15.30	194.11	-1.20	-0.31	-1.51
12	-37.61	24.73	194.37	-0.90	-0.35	-1.25
13	-15.40	24.22	194.41	-0.80	-0.41	-1.21
14	-23.83	42.11	193.47	-1.80	-0.35	-2.15
15	-19.70	38.92	193.66	-1.55	-0.41	-1.96
16	-7.77	39.10	194.20	-1.10	-0.32	-1.42
17	-1.67	33.41	193.69	-1.60	-0.33	-1.93
18	-9.58	52.68	193.24	-1.90	-0.48	-2.38
19	-5.98	59.26	193.34	-1.70	-0.58	-2.28

20	-8.89	61.38	192.13	-3.00	-0.49	-3.49
21	-0.60	54.03	191.57	-3.50	-0.55	-4.05
22	5.25	48.74	193.40	-1.65	-0.57	-2.22
23	-1.69	74.13	193.30	-1.80	-0.52	-2.32
24	2.47	69.71	192.54	-2.50	-0.58	-3.08
25	6.74	65.19	193.79	-1.50	-0.33	-1.83
26	30.05	83.69	192.42	-2.80	-0.40	-3.20
27	36.67	68.11	194.49	-0.60	-0.53	-1.13
28	44.36	52.93	194.85	-0.30	-0.47	-0.77
28.1	38.60	98.11	192.30	-2.80	-0.52	-3.32
29	47.45	80.16	194.82	-0.25	-0.55	-0.80
30	50.18	72.13	194.63	-0.50	-0.49	-0.99
30.1	55.57	58.25	193.84	-1.30	-0.48	-1.78
30.2	55.60	81.00	193.12	-2.00	-0.50	-2.50
30.3	57.72	75.63	194.54	-0.50	-0.58	-1.08
31	63.41	58.63	193.82	-0.70	-1.10	-1.80
32	66.68	84.71	191.47	-3.00	-1.15	-4.15
33	68.82	75.60	191.62	-3.00	-1.00	-4.00
34	73.09	59.00	192.97	-1.60	-1.05	-2.65
35	-55.15	-48.04	194.77	-1.00	0.15	-0.85
36	-37.00	-22.99	194.80	-0.90	0.08	-0.82
37	-20.64	0.17	194.61	-0.90	-0.11	-1.01
38	-25.25	3.56	194.21	-1.30	-0.11	-1.41
39	-8.31	16.88	193.95	-1.30	-0.37	-1.67
40	4.49	25.22	194.22	-1.10	-0.30	-1.40
41	-4.32	29.70	194.28	-1.10	-0.24	-1.34
42	10.37	33.00	194.10	-1.00	-0.52	-1.52
43	-0.10	42.94	193.65	-1.50	-0.47	-1.97
44	80.52	68.16	192.50			
45	84.59	92.46	193.60			
46	87.21	83.92	191.42			
47	89.35	74.81	191.65			
48	93.62	58.21	192.60			
49	112.04	102.19	193.60			
50	114.66	93.65	191.33			
51	116.80	84.54	191.40			
52	122.26	65.42	192.40			
53	116.42	113.79	193.40			
54	15.63	76.18	193.20			
55	22.24	60.61	192.20			
56	29.93	45.42	194.52			
57	-46.46	-35.39	194.80			
58	-92.36	-46.60	196.31			
59	-96.66	-52.81	196.41			
60	-99.95	-57.92	196.45			
61	-85.05	-62.76	194.80			
62	-63.29	-68.24	194.80			

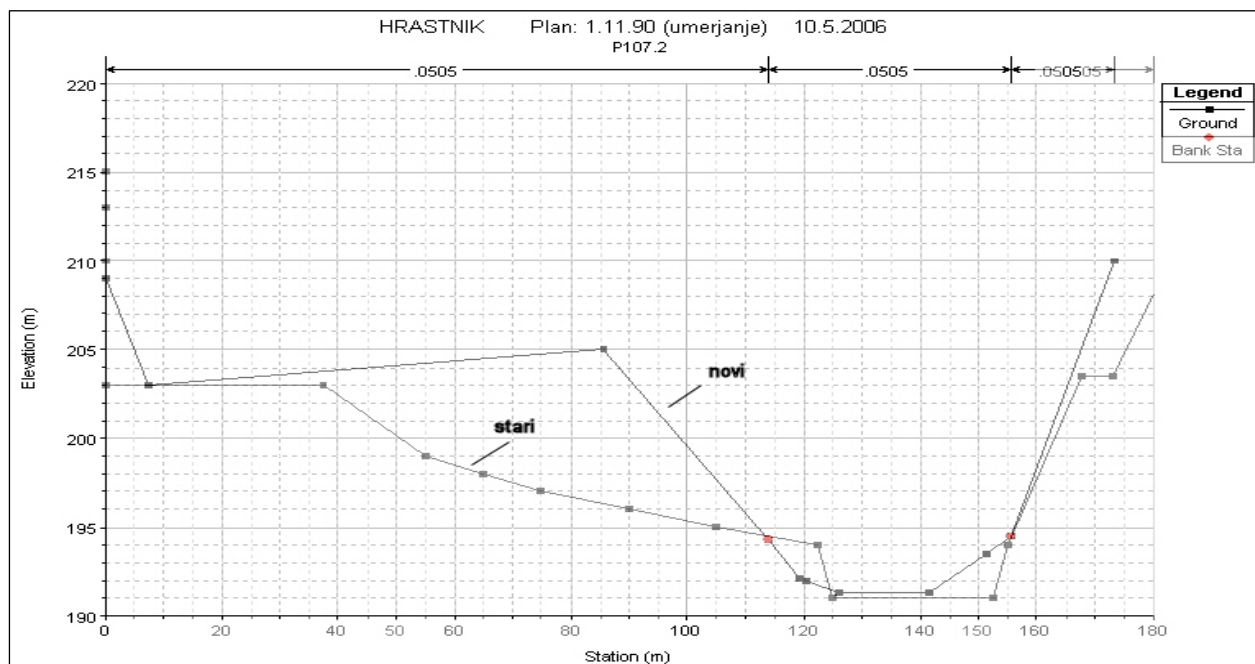
63	-47.84	-65.59	195.40
64	-39.33	-50.89	195.40
65	83.00	58.47	192.75
66	80.85	69.59	191.47
67	105.23	73.79	191.47
68	138.25	81.93	191.32
69	132.91	89.81	191.26
70	154.31	97.39	191.26
71	143.89	101.22	191.20
72	161.97	113.77	191.13
73	156.15	119.53	191.07
74	170.67	130.82	191.00
75	161.11	138.82	191.00



Slika 15: Profil P107



Slika 16: Profil P107.1



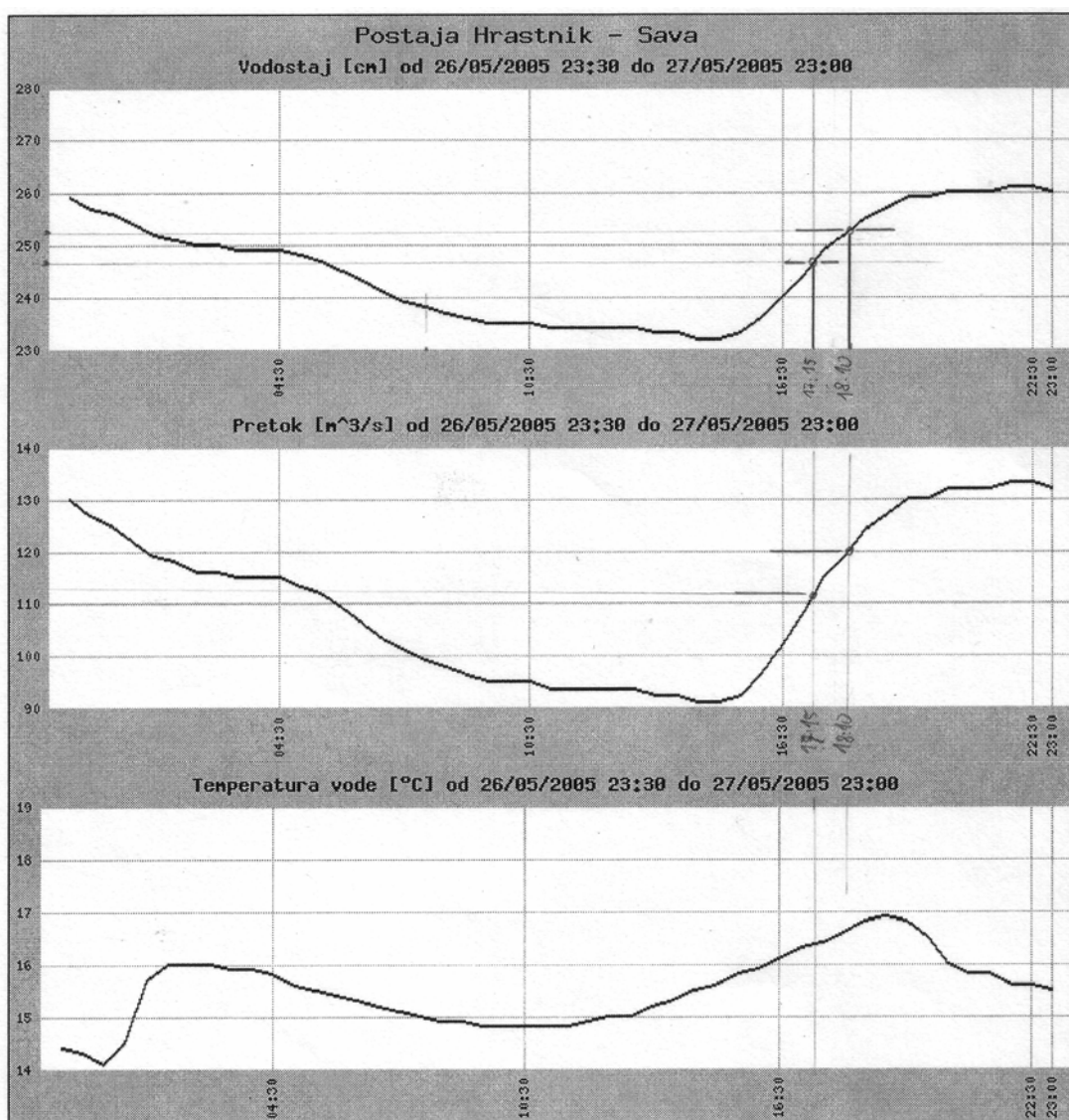
Slika 17: Profil P107.2



Na podlagi izmerjenih geodetskih točk je bil s pomočjo programa QUICKSURF pripravljen digitalni model terena (DTM) obravnavanega področja. Za 2D model PCFLOW 2D je bila uporabljena razmeroma gosta enakomerna numerična mreža z 208 točkami v prečni x smeri in 307 točkami v y smeri vzdolž toka in korakoma  $\Delta x = \Delta y = 1\text{m}$  (Priloga 3)

#### 5.4 Hidrološki podatki

Podatki o pretokih Save v času geodetskih meritev vodne gladine 26. 5. 2005 so bili pridobljeni na spletni strani [www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si). Slika 18 prikazuje nihanje vodne gladine, pretoka in temperature pri vodomerni postaji pri mostu v Hrastniku, ki leži približno 300 m gorvodno od začetka kajakaške proge. Meritve so trajale okoli ene do ene ure in pol in točno v času, ko se je gladina vode začela dvigovati.



Slika 18: Hidrološki podatki 1

Hidrološki podatki so bili pridobljeni od Agencije za okolje in prostor [ARSO, 2006]. Navedeni podatki za 10, 50 in 100 letno vodo veljajo za vodomerno postajo v Hrastniku z referenčno nadmorsko višino  $H_0 = 195,08$  m. Padec struge Save od vodomerne postaje do obravnavanega področja je bil izračunan s pomočjo rezultatov višine vodostajev programa HEC-RAS 3.1.3.

**Preglednica 12: Vrednosti 10, 50 in 100 letne vode**

P	Q (m <sup>3</sup> /s)	H (cm)	padec
Q10	1670	955	9‰
Q50	2060	1105	
Q100	2220	1170	

Račun padca od profila Most Hrastnik (MH) do P107:

$$Q_{10} = 1670 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_1 = 204,10 \text{ m}$$

$$H_2 = 203,77 \text{ m}$$

$$L(\text{MH} - \text{P107}) = 342 \text{ m}$$

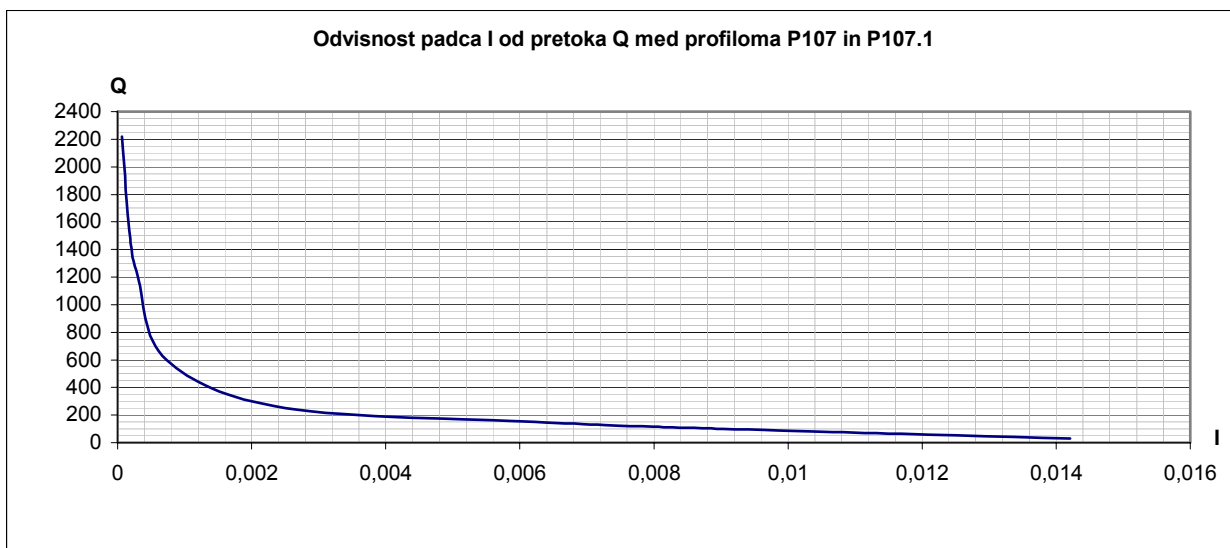
$$\eta = 9‰$$

$$\eta = \frac{H_1 - H_2}{L(\text{MH} - \text{P107})} = 0,09\%$$

V preglednici 13 so zbrani podatki o poteku padca med profiloma P107 in P107.1 pri različnih pretokih.

**Preglednica 13: Odvisnost padca I od pretoka Q za profila P107 in P107.1**

P107.0	P107.1	I	Q
195,66	193,33	0,014207	30
196	194,2	0,010976	75
196,11	194,63	0,009024	100
196,16	194,85	0,007988	115
196,34	195,32	0,00622	150
196,76	196,35	0,0025	250
199,05	198,93	0,000732	600
202	201,95	0,000305	1200
203,2	203,17	0,000183	1500
205,61	205,6	6,1E-05	2220



Grafikon 1: Odvisnost padca I od pretoka Q med profiloma P107 in P107.1



Grafikon 2: Trajanje pretokov od 1993 – 2002 za vodomerno postajo v Hrastniku

Iz Grafikonov 1 in 2 vidimo:

- a) reka ima dovolj padca gladine v območju pretokov  $50 - 250 \text{ m}^3/\text{s}$ , ko pa pretok preseže  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  pa padec gladine reke strmo pada, s tem pa tudi razpoložljiv padec energije;
- b) krivulja trajanja kaže, da pretoki v omenjenem območju od  $50$  do  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  trajajo več kot  $75 \%$  časa.

### **5.5 Hidravlični podatki**

Koeficient hrapavosti je potrebno podati v vsaki celici računskega območja. Na podlagi vizualne ocene, da ima reka prodnato dno, brežine pa so malo poraščene s travo in nizkim grmičevjem, smo koeficient hrapavosti pri umerjenju 2D modela variirali od vrednosti  $0,025$  do  $0,045$ .

Pri že izvedenem 1D modelu pa je bil upoštevan koeficient hrapavosti  $0,05$ . Vrednost je večja zato, ker z 1D modelom določene geometrijske nepravilnosti (ovire, zožitve,..) zajamemo s povečanim koeficientom hrapavosti.

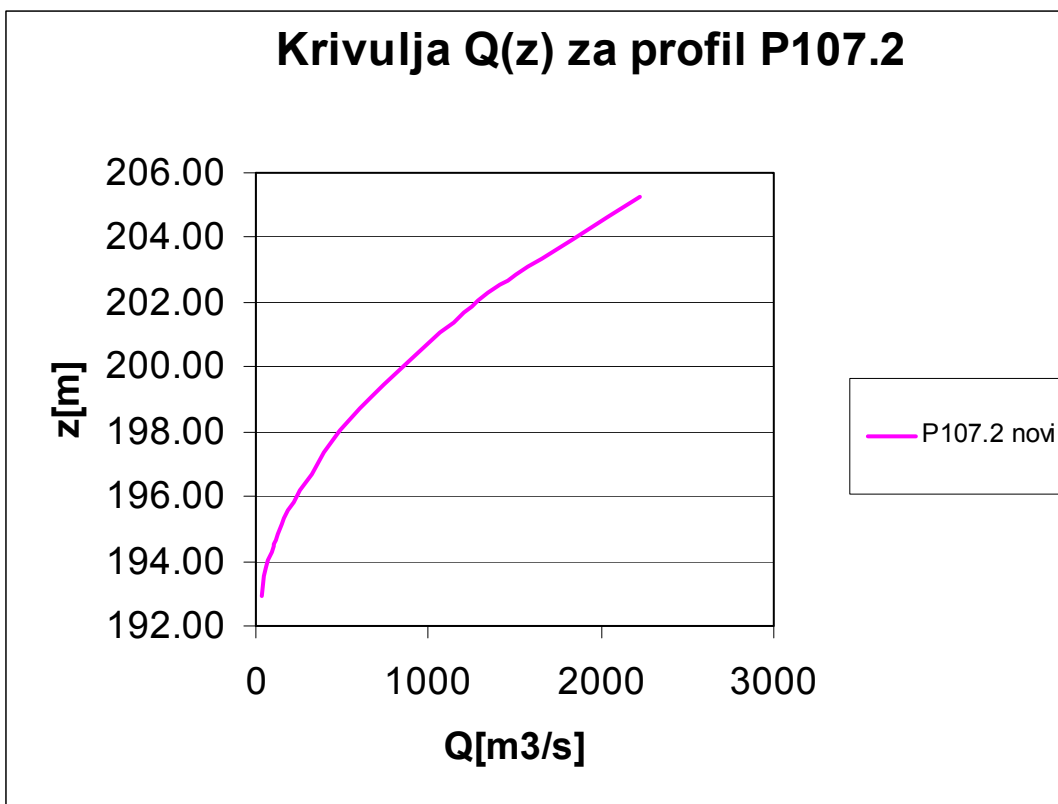
### **5.6 Začetni in robni pogoji**

Pri računu nestalnega toka smo kot začetni pogoj pred prihodom vala upoštevali suho dno. Pri vseh primerih je bil vzeti časovni korak  $\Delta t = 1 \text{ s}$ .

Kot robni pogoj ob bregovih področja je bilo upoštevano, da so hitrosti v prečni smeri enake  $0$ , za vzdolžne hitrosti pa pogoj »drsnih vrednosti«.

Na iztoku iz področja je bila upoštevana konsumpcijska krivulja  $z = z(Q)$  določena na osnovi 1D računov dolvodnega področja v profilu 107.2 (Grafikon 3) s programom HEC-RAS.

Na vtoku v področje na gorvodnem robu smo podali hidrograme  $Q(f)$ . Vsi primeri stalnega toka so bili računani kot nestalni tok, kjer se obravnavani tok doseže po  $72$  sekundah in se tekom računa obdrži njegova konstantna vrednost, dokler se razmere po  $0.5$  ure ne ustalijo.



Grafikon 3: Odvisnost pretoka  $Q$  od višine vodne gladine  $z$  v profilu P107.2

### 5.7 Umerjanje modela in točnost rezultatov

Preglednica 14 prikazuje vrednosti  $Q(h)$  pri starih in novo izmerjenih profilih P107 - P107.2 Pri pretoku  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  sem meril vodno gladino na levem bregu, pri  $115 \text{ m}^3/\text{s}$  pa na desnem. Pri profilih P107 in P107.1 so bile izmerjene gladine, tako da jih lahko primerjamo z vrednostmi enodimenzijskega modela. Boljše ujemanje 1D modela je bilo po pričakovanjih doseženo pri uporabi novih profilov, ki so bili izmerjeni v času izvajanja meritev.

Preglednica 14: Umerjanje na podlagi 1D modela

Most Hrastnik IBE	
h	Q(m <sup>3</sup> /s)
205.82	2220
204.1	1670
202.24	1200
199.34	600
197.08	250
196.37	150
196.12	115
195.99	100
195.41	50
195.07	30

Most Hrastnik novi	
h	Q(m <sup>3</sup> /s)
206.14	2220
203.74	1670
202.55	1200
199.76	600
197.8	250
197.1	150
196.79	115
196.66	100
196.41	50
195.83	30

P107 stari IBE	
h	Q(m <sup>3</sup> /s)
205.49	2220
203.77	1670
201.88	1200
198.89	600
196.3	250
195.14	150
194.88	115
194.81	100
194.56	50
194.41	30

P107 novi	
h	Q(m <sup>3</sup> /s)
205.61	2220
203.86	1670
202	1200
199.05	600
196.76	250
196.34	150
196.16	115
196.11	100
195.87	50
195.66	30

LB08.1 Izmerjena vrednost= 195.91

<b>P107.1 stari IBE</b>	
h	Q(m3/s)
205.56	2220
203.82	1670
201.92	1200
198.9	600
196.31	250
195.23	150
194.76	115
194.52	100
193.58	50
193.03	30

<b>P107.1 novi</b>	
h	Q(m3/s)
205.6	2220
203.83	1670
201.95	1200
198.93	600
196.35	250
195.32	150
194.85	115
194.63	100
193.63	50
193.33	30

DB07 Izmerjena vrednost= 195.09

<b>P107.2 stari IBE</b>	
h	Q(m3/s)
205.48	2220
203.7	1670
201.81	1200
198.77	600
196.19	250
195.13	150
194.67	115
194.44	100
193.5	50
192.95	30

<b>P107.2 novi</b>	
h	Q(m3/s)
205.26	2220
203.54	1670
201.69	1200
198.73	600
196.19	250
195.14	150
194.67	115
194.44	100
193.51	50
192.95	30

Glavni del umerjanja pa predstavlja primerjava rezultatov 2D modela PCFLOW2D z merjenimi globinami. Iskali smo ustrezne vrednosti koeficienta hrapavosti in najboljše ujemanje dosegli pri vrednosti  $n_g = 0.035$ . Vrednost je precej nižja kot pri 1D modelu, kar je razumljivo, saj so vse geometrijske nepravilnosti zajete že z razmeroma gosto numerično mrežo. Omenimo še, da smo pri vseh primerih uporabili konstantno vrednost efektivne viskoznosti  $\nu_{ef} = 0.01\text{m}^2/\text{s}$

**Preglednica 15: Umerjanje na podlagi 1D modela pri  $Q = 115\text{m}^3/\text{s}$**

	most Hrast.	P107	P107-1	P107-2
<b>IBE profil</b>	196.12	194.88	194.76	194.67
<b>NOVI profil</b>	196.79	196.16	194.85	194.67



**Preglednica 16: Umerjanje koeficienta hrapavosti na podlagi 2D modela pri pretoku 115 m<sup>3</sup>/s**

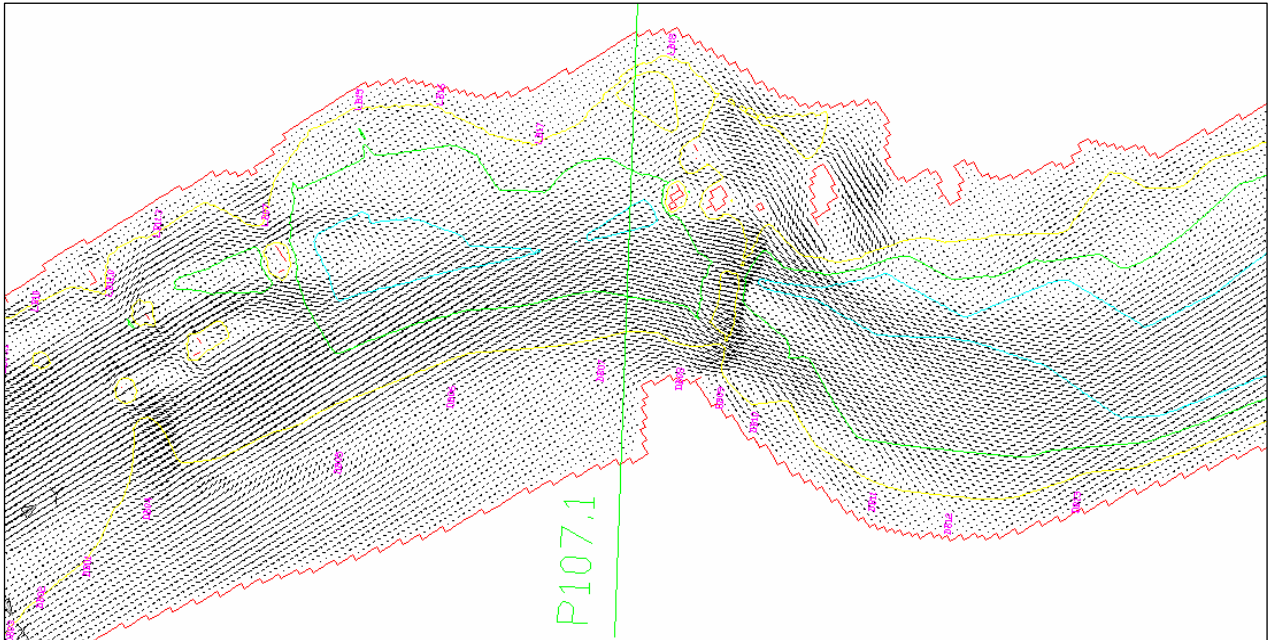
točka	I	J	merjene gladine	SKP5 n=0,038	SKP6 n=0,045	SKP7 n=0,035	SKP24 n=0,030	Δ SKP24 in m.g.
DB01	83	98.4	195.65	196.04	196.15	196.05	196.04	0.39
DB02	73	98.9	195.67	196.10	196.18	196.06	196.06	0.39
DB03	66	101.0	195.73	196.10	196.19	196.06	196.06	0.33
DB04	96	96.0	195.43	196.00	196.05	195.98	195.97	0.54
DB05	127	106.5	195.40	195.51	195.53	195.50	195.5	0.10
DB06	148	107.3	195.05	195.38	195.44	195.36	195.17	0.12
DB07	171	116.9	195.09	195.32	195.37	195.30	195.11	0.02
DB11	197	159.1	194.95	194.74	194.75	194.74	194.7	-0.25

**Preglednica 17: Umerjanje koeficienta hrapavosti na podlagi 2D modela pri pretoku 100 m<sup>3</sup>/s**

točka	I	J	merjene gladine	SKP7 n=0,035	Δ SKP7 in m.g.	SKP16 n=0,030	SKP25 n=0,030	Δ SKP25 in m.g.
LB17-18	197	77.8	195.19	195.42	0.23	195.21	195.04	-0.15
LB11.3	127	57.3	195.21	195.65	0.44	195.51	195.50	0.29
LB10	96	56.9	195.35	195.8	0.45	195.50	195.49	0.14

Preglednici 16 in 17 prikazujeta podrobnejše rezultate merjenja. Prikazane so koordinate in dejanske vrednosti merjenih gladin na računski mreži I, J. V stolpcih SKP5, SKP6, SKP7 in SKP 15 so prikazani rezultati računskega dvodimenzionalnega modela pri spremembi koeficienta hrapavosti. Do najboljšega ujemanja je prišlo v primeru SKP15 pri koeficientu  $n_g = 0.035$ , vendar se slika trka še ni dovolj natančno ujemala z meritvami in opazovanji gladin, zato je bilo potrebno še nekoliko popraviti geometrijo terena.

Po natančnem pregledu se je izkazalo, da teren na nekaterih delih proge ni bil dovolj natančno določen. Rezultat računa dvodimenzionalnega modela je pokazal globoko prodiranje vode na desnem bregu na mestu, kjer bi morala voda segati do merjenih točk vodne gladine in ne dlje. Na odseku pri točki G29, kjer naj bi se zgodil stoječi val, pa je račun pokazal močno zaježitev (slika 19), ki je vplivala na gorvodne gladine. Tako smo morali povečati prevodnost območja z znižanjem praga v točki G29 ter znižati desno brežino ob pragu. Končni rezultat umerjenja s popravljeno geometrijo tako prikazujeta primera SKP24 za  $Q = 115 \text{ m}^3/\text{s}$  in za SKP25  $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 19: Izračunani vektorji hitrosti pri umeritvenem pretoku  $Q=115 \text{ m}^3/\text{s}$

## 6 REZULTATI

### 6.1 Prikaz rezultatov

Rezultati umerjanja so podani v poglavju 5.7, Grafikonični rezultati pa v prilogah 5-24.

Ocenjujem, da smo pri meritvah naredili sledeče napake, ki jih je potrebno upoštevati pri interpretaciji rezultatov in primerjavi z rezultati izračunov:

- 0,7 % pri geodetskih meritvah tlorsnega položaja točk,
- 5 % pri merjenju višin terena, kar znaša npr. pri izmerjeni višini 2 m razlika  $\pm$  10 cm,
- 10 % napaka pri merjenju kot gladin na bregovih zaradi spremembe pretoka v času meritev,
- 10 % pri merjenju globin v strugi.

Posamezne napake na končni rezultat nimajo bistvenega vpliva, ker pa se seštevajo, moramo pri umerjanju upoštevati, da so tudi meritve obremenjene z določeno napako.

Preglednica 18: Primerjava višinskih kot 1D in 2D modela osnovnega stanja

Q(m <sup>3</sup> /s)	P107 novi		P107.1 novi		P107.2 novi	
	1D h [m]	2D h [m]	1D h [m]	2D h [m]	1D h [m]	2D h [m]
50	195.87	195.91	193.63	194.50	193.51	193.45
100	196.11	196.32	194.63	194.99	194.44	194.44
115	196.16	196.44	194.85	195.11	194.67	194.67
250	196.76	197.11	196.35	196.35	196.19	196.19

Preglednica 18 prikazuje primerjavo višinski kot gladin eno in dvodimenzijskega model pri sedanjem stanju. Večja razhajanja se pojavljajo pri profilih P107 in P107.1 pri  $Q = 115 \text{ m}^3/\text{s}$ , kjer je razlika v kotah pri 1D modelu do 28 cm nižja kot pri 2D modelu. Pri pretoku  $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$  pa znaša ta razlika do 35 cm.

Kote 1D in 2D modela se pri profilu P107.2 ujemajo, saj gre pri tem profilu za dolvodni robni pogoj. Zelo dobro se kote ujemajo tudi pri visokih pretokih  $Q_{10}=1670 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_{100}=2220 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Rekonstruirana proga po varianti 1 (priloge 14 - 19) kaže na bolj pestre vodne razmere kot pri osnovnem stanju. V samih spremembah so seveda še skrite rezerve, saj bi lahko na srednjem in spodnjem delu dodali še kakšno oviro (Priloga 15).

Pri pretoku  $Q_0 = 150 \text{ m}^3/\text{s}$  se na srednjem delu proge pozna odstranitev obstoječe ovire S10 tako, da je pretočnost skozi odsek boljša kot pri osnovnem stanju. Prav tako se zaradi odstranjene ovire pojavlja na levi strani boljša recirkulacija.

Z zvišanjem ovir smo pri pretoku  $Q_0 = 250 \text{ m}^3/\text{s}$  dosegli bolj razgibano tokovno sliko (Priloga 17). Na spodnjem delu pa je tudi še prostor za kakšno dodatno oviro.

Rekonstrukcija proge po varianti 2 (Priloge 20 - 24).

Pri drugi varianti smo izvedli izračune pri pretokih  $Q = 150, 250, 1670$  in  $2220 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pri pretoku  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  smo podali vtok samo na kajakaškem kanalu na levi strani (Priloga 22) ter predpostavili, da je desna stran zajezena. Pri pretoku  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  pa smo predpostavili vtok preko cele struge (Priloga 23). Rezultat pri obeh primerih kaže podobno tokovno sliko ter višine gladin v kajakaškem kanalu. Pojavljajo se določene izgube zaradi prelivov preko desne stene kajakaškega kanala, kar pomeni, da bi bilo treba okvir struge povišati.

Opravili smo tudi račun pri pretoku  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$  vendar je pri tokovni sliki prišlo do nelogičnega poteka hitrosti zaradi anomalij v terenu, zato omenjenega rezultata nisem priložil k diplomski nalogi.

Preglednica 19 podaja rezultate za pretoka 1670 in 2220 m<sup>3</sup>/s. Z dvodimenzijskim modelom smo dejansko dokazali tudi realno koto stoletne vode, ki je po podatki lokalnih prebivalcev leta 1990 segala okoli 206 m nadmorske višine.

**Preglednica 19: Rezultati 2D modela za visoke vode**

Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Profil J = 171	$\Delta$ [cm]
Q <sub>10</sub> = 1670	Osn.v.: 203,66 m	
	1. var: 203,65 m	- 1
	2.var: 204,33 m	+ 67
Q <sub>100</sub> = 2220	Osn.v.: 205,58 m	
	1. var: 205,55 m	- 3
	2.var: 205,91 m	+ 33

Z graditvijo druge variante bi dvignili nivo vode pri Q<sub>100</sub> za 33 cm, pri prvi varianti pa bi se gladina znižala za 3 cm. Zaradi zvišanja gladin pri drugi varianti je račun pokazal, da reka pri pretoku Q = 1670 m<sup>3</sup>/s že prej prestopi zgornji rob leve brežine pri profilu P107 (2D profil J = 24 v prilogi 23), medtem ko pri osnovnem stanju in prvi varianti še ne.

Zanimiva je primerjava vpliva različnih variant rekonstrukcije proge na gladine visokih vod v profilu P107.1 (približno 2D profil J=171), kjer se začne industrijska cona z nekaj objekti.

## ZAKLJUČEK

Z uporabo dvodimenzijskega programa PCFLOW2D smo uspeli na podlagi vseh meritev in podatkov (geodetski, hidrološki in hidravlični) simulirati tok v obstoječi in rekonstruirani kajakaški progi na Savi v Hrastniku. Izhodiščne predpostavke za rekonstrukcijo so se izkazale kot pravilne. Progo smo tako prilagodili na območje pretokov od 50 – 250 m<sup>3</sup>/s, ki so po krivulji trajanja na vodni postaji Hrastnik prisotni 75 % časa v letu. Podali smo tudi vpliv rekonstrukcije na visoke vode  $Q_{10}$  in  $Q_{100}$ .

Pri dejanski izvedbi posegov na terenu bi bilo, na podlagi rezultatov študije, ki smo jo naredili v diplomski nalogi, možno izboljšati naslednje stvari:

- Zelo natančno izmerjena geometrija bi pripomogla k točnejšim rezultatom izračunov.
- Meritve vodne gladine pri različnih pretokih na različnih mestih bi omogočile upoštevanje točnejših robnih pogojev in natančnejšo umeritev modela.
- Za meritve bi bilo ugodno, da so narejene čim hitreje zaradi možnega vpliva spreminjanja pretoka na nihanje vodne gladine.
- Gladine pri visoki vodi bi bilo priporočljivo meriti s čolnom, ki ima vgrajeno napravo, ki izkorišča pojav Dopplerjevega efekta za določanje globlin in hkrati tudi pretoka.
- Merjeni prečni profili naj bodo pri zelo spremenljivih vodnih razmerah izmerjeni vsaj na razdalji 10 m ali v področju naglega spreminjanja dna zelo manj.
- Natančno je potrebno določiti dolvodni robni pogoj
- Pri meritvah terena je potrebno upoštevati še teren minimalno 50 m gorvodno od štarta proge in 50 m dolvodno od cilja proge, da se v matematičnem modelu zmanjša vpliv morebitne netočnosti pri podanih robnih pogojih.

Na koncu pa bi rad podal še subjektivno mnenje o pristopu k projektiranju kajakaških prog. Pridružil bi se mnenju Leonarda da Vincija, ki je rekel, da moramo pri raziskovanju gibanja tekočin najprej opazovati, šele nato pa se odločati.

Pri diplomski nalogi pa nismo obravnavali problema prodonosnosti na sipini desnega brega, ker bi to presegalo časovni okvir zastavljene naloge.

## **VIRI**

Hydrostadium S.A., Francija, [www.hydrostadium.com](http://www.hydrostadium.com), feb. 2006

Četina, M. jun. 1998: Dvodimenzijski program PCFLOW2D za račun toka s prosto gladino. študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 66 str.

Bond, K., Snel, R. 1999. Functional design proposal for the Grave White Water Park. Concept version 10<sup>th</sup>

Četina, M. 1988: Matematično modeliranje 2D turbulentnih tokov, mag. delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG

Navodila za QuickSURF, mar. 2006, <http://www.petrobyte.com/quicksurf/>

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Vojkova 1b, Ljubljana, 2006

Kovačević R., 2006: Osebna komunikacija

Univerza v Ljubljani, FGG – Katedra za hidrotehniko, 2006

## **OSTALI VIRI**

Rajar, R., Četina, M. dec.1992. Modelne raziskave za izgradnjo kajak proge v Tacnu. zaključno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG: 26 str. 43 pril.

Steinman, F. 1992: Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FAGG: 281 str.

Rajar R. 1986: Hidromehanika. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja, FAGG, učb. 235 str.