

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

ODDELEK ZA
GEODEZIJO



**VISOKOŠOLSKI
STROKOVNI ŠTUDIJ
GEODEZIJE
SMER PROSTORSKA
INFORMATIKA**

Kandidat:

UROŠ ARNEŽ

**IZDELAVA DINAMIČNEGA KARTOGRAFSKEGA MODELA
ODSEKA REKE SOČE**

Diplomska naloga št.: **358**

**PRODUCTION OF A DINAMIC CARTOGRAPHIC MODEL
OF THE SOČA RIVER SECTION**

Graduation thesis No.: **358**

Mentor:
doc. dr. Dušan Petrovič

Predsednik komisije:
viš. pred. mag. Samo Drobne

Ljubljana, 2011

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **UROŠ ARNEŽ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**IZDELAVA DINAMIČNEGA KARTOGRAFSKEGA MODELA ODSEKA REKE SOČE**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani.

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

Ljubljana, 26. 10. 2011

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**UDK: 528.9(497.4Soča)(043.2)****Avtor: Uroš Arnež****Mentor: doc. prof. dr. Dušan Petrovič****Naslov: Izdelava dinamičnega kartografskega modela odseka reke Soče****Obseg in oprema: 24 str., 16 sl., 30 en.****Ključne besede: kartografski model, Soča, rastrski podatki, vektorski podatki, animacija.****Izvleček**

Diplomska naloga vsebuje opis geodetskih, kartografskih in drugih tehničnih postopkov, prostorskih podatkov ter strokovnih izrazov, ki so uporabljeni pri izdelavi dinamičnega kartografskega modela. Območje prikaza obsega odsek reke Soče med vstopno-izstopnima mestoma Trnovo 1 in Trnovo 2. Model prvenstveno prikazuje stanje reke na omenjenem rečnem odseku pri petih različnih vodostajih in poti rečne plovbe za kajakaše, vezane na te vodostaje. Poleg tega model vsebuje še pomembnejše naravne in grajene objekte v rečni strugi in njeni okolici. Model je izdelan z uporabo vektorske in rastrske programske opreme. Končna oblika modela je predstavljena s petimi prostorskimi animacijami (za vsako raven vodostaja ena animacija), ki jih lahko uporabimo kot alternativo pri načrtovanju poti rečne plovbe po zahtevnem rečnem odseku.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 528.9(497.4Soča)(043.2)

Author: Uroš Arnež

Supervisor: Assist. Prof. Dušan Petrovič, Ph. D.

Title: Production of a dynamic cartographic model of the Soča river section

Notes: 24 p., 16 fig., 30 eq.

Key words: cartographic model, Soča, raster data, vector data, animation.

Abstract

The thesis contains a description of geodetic, cartographic and other technical procedures, spatial data and technical terms that are used in the creation of dynamic cartographic model. The displayed area encompasses the section of the river Soča between entry/exit sites Trnovo 1 and Trnovo 2. The model primarily shows the river condition at this section at five different water levels and the navigation routes for kayakers which are associated with these water levels. Furthermore, the model contains significant natural objects and constructed facilities in the river bed and its surroundings. The model is constructed by using vector and raster software. The final design model is presented with five spatial animations (one animation for each of the water levels), which can be used as an alternative for the navigation route planning at a demanding river section.

KAZALO VSEBINE

Izjava o avtorstvu	I
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček.....	II
Bibliographic – documentalistic information and abstract.....	III
1 UVOD	1
1. 1 Opis prikazanega rečnega odseka	1
1. 2 Namen	1
1. 3 Pogoji športne plovbe na odseku Trnovo 1-Trnovo 2.....	1
2 OPIS UPORABLJENIH PODATKOV GEODETSKE UPRAVE REPUBLIKE SLVENIJE ...	3
2. 1 Državni ortofoto (DOF 050)	3
2. 2 Digitalni model višin (DMV 0050).....	4
3 OPIS TERESTRIČNIH POSTOPKOV ZA DOLOČEVANJE POLOŽAJA V PROSTORU ...	5
3. 1 Rekognosciranje terena	5
3. 2 GPS izmera.....	5
3. 3 Zunanji urez	6
3. 4 Izravnava zunanjega ureza	8
3. 5 Detajlna izmera	11
3. 6 Namen detajlne izmere.....	11
4 IZDELAVA MODELA.....	12
4. 1 Programska oprema.....	12
4. 2 Strojna oprema	12
4. 3 Matematični elementi modela	12
4. 4 Objektni katalog	13
4. 5 Kartografska generalizacija.....	14
4. 6 Kartografsko oblikovanje.....	14
4. 6. 1 Vektorska vsebina modela	14
4. 6. 1. 1 Sestava CAD objektov	145
4. 6. 2 Izdelava vektorskega dela modela.....	145
4. 6. 3 Rastrska vsebina modela	17
4. 6. 3. 1 Sestava rastra.....	147
4. 6. 3. 2 Priprava rastrov	147

4. 6. 4 Končna oblika modela.....	14
4. 6. 5 Izdelava 3D animiranega prikaza	14
5 NAČINI UPORABE.....	20
6 MOŽNOSTI, KI JIH MODEL PONUJA ZA NADALJNE RAZISKAVE	21
7 SKLEP.....	23
8 VIRI IN LITERATURA.....	24

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: SKICA UREZA	A
PRILOGA B: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 15 m³/s.....	B1
PRILOGA B.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.....	B1
PRILOGA B.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1	B1
PRILOGA B.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1...B1	
PRILOGA C: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 25 m³/s.....	C1
PRILOGA C.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.....	C1
PRILOGA C.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1	C1
PRILOGA C.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1...C1	
PRILOGA Č: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 35 m³/s.....	Č1
PRILOGA Č.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.....	Č1
PRILOGA Č.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1	Č1
PRILOGA Č.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1...Č1	
PRILOGA D: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 45 m³/s.....	D1
PRILOGA D.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1	D1
PRILOGA D.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1	D1
PRILOGA D.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1...D1	
PRILOGA E: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 55 m³/s.....	E1
PRILOGA E.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.....	E1
PRILOGA E.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1.....	E1
PRILOGA E.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1...E1	

OKRAJŠAVE, SIMBOLI

CAD – kratica za računalniško podprto oblikovanje (angl. *Computer-aided design*). Osnovni elementi so točke, krogi, loki, krožne tetive, elipse, eliptični loki, linije, pravokotniki, poligoni, besedila, itd.. Posamezni CAD elementi se lahko sestavljajo ter organizirajo v večje bloke in kot taki vstavljajo v druge CAD objekte.

DOF – Državni ortofoto je izdelek, ki ga dobimo s transformacijo letalskega posnetka ali satelitske podobe v ortogonalno projekcijo. Predstavljen je v državnem koordinatnem sistemu in je sestavni del državne prostorske podatkovne infrastrukture.

DPI – angl. *dots per inch*, določa stopnjo ločljivosti rastra in opiše koliko slikovnih elementov se nahaja znotraj enega palca. Običajna ločljivost rastrskih slik prostorskih podatkov je 300 DPI.

DMV – Digitalni model višin, sestavljen iz niza točk, ki so v horizontalnem smislu pravilna kvadratna mreža, v vertikalnem pa imajo pripisano še višino.

FPS – angl. *frames per second*. Predstavlja število statičnih podob, ki se zvrstijo v eni sekundi. Pojem se uporablja pri animacijah, filmih...

GPS – angl. *Global Position System*. Sistem, ki omogoča določevanje položaja na podlagi merjenih razdalj med sateliti in uporabniškim sprejemnikom.

SIGNAL – slovensko omežje stalnih GPS postaj.

MNK – metoda najmanjših kvadratov je metoda izravnave, pri kateri je vsota kvadratov popravkov geodetskih opazovanj enaka minimumu.

RTK GPS izmera – angl. *Real Time Kinematic*, relativna metoda izmere, ki omogoča določevanje in oceno o natančnosti določitve položaja v realnem času.

TIN – angl. *triangulated irregular network*, slovensko mreža nepravilnih trikotnikov. Mrežo trikotnikov izdelamo iz poljubno razporejenih točk v prostoru, katere povežemo daljicami. Uporablja se za upodobitev reliefa z zahtevnejšo konfiguracijo terena (Šumrada 2009).

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

Grobi pogrešek – nedopustna napaka, ki nastane pri merskem postopku, zaradi katere moramo opazovanja ponoviti, ali ga/jih izločiti iz niza opazovanj.

Model je poenostavljena podoba izbranega dela stvarnosti, ki je predstavljena v trirazsežnem prostoru.

Dinamičen model je vrsta modela, ki ponazarja določen del fizičnega sveta tako, da je le-ta postavljen v gibanje.

Modeliranje je postopek katerega rezultat je predstavitev poenostavljenega dela stvarnosti na izbranem mediju.

Nomenklatura je sistem razdelitve topografske vsebine karte na detajlne liste.

Piksel – osnovni slikovni element rastrske podobe. Velikost piksla podaja stopnjo grafične ločljivosti podobe.

Rastriranje je postopek, s katerim vektorske podatke pretvorimo v rastrske. Značilnosti postopka so izguba zveznosti in ločljivosti (Šumrada 2009).

Rastrski podatki – dvorazsežno podatkovno polje, od katerega vsaka celica zavzame po eno tonsko vrednost. Celice v polju so enakih dimenzij, njihov položaj pa je enolično določen s številom vrstice in stolpca v katerem se nahaja.

Retuširanje je postopek obdelave originalnega rastra, v katerem se nekatere nepravilnosti nadomesti z ustrežnejšo barvo, teksturo, barvnim tonom, idr..

Tekstura – videz, izgled vzorca določenega območja.

Vektorizacija je postopek s katerim pretvorimo rastrske podatke v vektorske. Postopek zahteva veliko interaktivnega dela (Šumrada 2009).

Vektorski podatki – opisovanje objektov v prostoru s pomočjo točk, linij, poligonov in območij.

1 UVOD

1.1 Opis prikazanega rečnega odseka

Rečni odsek Trnovo 1 – Trnovo 2 velja za zahtevnejši odsek na reki Soči in hkrati najzahtevnejši del, ki je uradno še dovoljen za rekreativno čolnarjenje. Vsebuje mesta, ki si jih je včasih nujno predhodno ogledati. Po težavnostni lestvici je ta odsek ocenjen z oceno IV-V od šestih stopenj težavnosti. S stopnjo I so ocenjene počasne reke s šibkim tokom in z malo ali brez ovir. Tveganje pri tej stopnji je majhno. Drugo stopnjo težavnosti imajo reke z manjšimi brzicami in valovi ter širokimi in dobro vidnimi prehodi. Občasno je potrebno manevriranje. Tretja stopnja že vključuje ožje prehode, večje in nepravilne valove, veliko ovir, močnejše protitoke in podirajoče valove. Četrta stopnja vsebuje dolge, zahtevne brzice, ki se iztekajo v zapletene prehode. Takšne prehode je včasih dobro predhodno videti iz rečnega brega. Za varno veslanje so nujne hitre in odločne reakcije. Peta stopnja vključuje zelo dolge, zelo zahtevne in nasilne brzice, ki si jih je nujno predhodno ogledati. Reševanje v takšnih razmerah v primeru nesreče je zahtevno. Hkrati ta stopnja predstavlja zgornjo mejo, ki je še sprejemljiva za rekreativne in komercialne namene. Šesta stopnja pa vključuje lastnosti pete, ki se nadaljujejo v ekstrem. S čolnarjenjem po takšnih odsekih tvegamo življenje, reševanje pa je pogosto nemogoče. V primeru povečanega pretoka se težavnost plovbe poveča, pot plovbe pa je od vodostaja do vodostaja različna (Jelenc 2007, 33–35).

1.2 Namen

Izdelava trirazsežnega modela omogoča alternativo pri načrtovanju plovbe po zahtevnem rečnem odseku, saj prikazuje stanje rečnega odseka ob vodostajih, ki so najbolj primerni za plovbo in obsegajo pretok od $15 \text{ m}^3/\text{s}$ do $55 \text{ m}^3/\text{s}$ in poti plovbe preko rečnih ovir, vezane na te ravni vodostajev (količina pretoka se nanaša na merilno mesto Log Čezsoški). Opisana pot za posamezen vodostaj predstavlja kompromis med najvarnejšo in najlažjo izbiro plovbe. Namen dela je ponuditi brezplačne animacije predvsem rekreativnim športnikom, ki svoje aktivnosti izvajajo na reki Soči in s tem povečati seznanjenost s potjo plovbe pri različnih vodostajih na tem rečnem odseku.

1. 3 Pogoji športne plovbe na odseku Trnovo 1-Trnovo 2

Sezona športne plovbe traja od 15. marca do 31. oktobra, z vstopom na reko od 9.00 ure in izstopom iz reke do 18.00 ure. Dostop do reke je dovoljen le preko vstopno-izstopnih mest, za katera je treba plačati znesek, ki ga določa medobčinski odlok. Plovba po tem rečnem odseku je dovoljena za plovila, ki lahko prevažajo največ tri osebe (Odlok o rabi in varovanju vstopno izstopnih mest za športno plovbo ob reki Soči in njenih pritokih na območju od izvira Soče do Volčanskega mostu 2011). Poleg zakonskih omejitev velja upoštevati ustrezno psiho-fizično pripravo posameznika in stanje reke, katere pogoji se zaostrejejo z večanjem pretoka.

2 OPIS UPORABLJENIH PODATKOV GEODETSKE UPRAVE REPUBLIKE SLOVENIJE

Za potrebe izdelave modela smo uporabili podatke Geodetske uprave Republike Slovenije in sicer Državni ortofoto (DOF) ter Digitalni model višin (DMV).

2.1 Državni ortofoto (DOF 050)

Ortofoto (ortofotografija, ortofoto karta) je izdelek, ki ga dobimo s transformacijo letalskega posnetka ali satelitske podobe v ortogonalno projekcijo. V sodobnem času se ortofoto izdeluje z digitalnimi postopki obdelave. Osnovna fotografija je posneta z digitalnim fotogrametričnim snemalnim sistemom. Izdelan je iz posnetkov ločljivosti 0,5 m in DMV-ja (digitalni model višin, sestavljen iz niza točk, ki so v horizontalnem smislu pravilna kvadratna mreža, v vertikalnem pa imajo pripisano še višino) z velikostjo celice 5 m (DMV 0050).

DOF 050 je predstavljen v državnem koordinatnem sistemu, ima znano merilo in je opremljen z ravninsko koordinatno mrežo. Preko njegove fotografske vsebine lahko prikazujemo tudi druge podatke. Sistemska razdelitev (nomenklatura) in format listov ortofota je enaka kot za temeljni topografski načrt (TTN 5 in TTN 10) ter bazo topografskih podatkov DTK 5.

Ortofoto je rastrski izdelek, katerega podatki niso interpretirani, zato ne more v celoti nadomestiti topografskih podatkov na kartah in v bazah. Geometrična natančnost ortofota je v splošnem nekoliko slabša od natančnosti topografske karte primerljivega merila (zaradi vpliva vhodnih podatkov oz. same tehnologije izdelave). Je 2D izdelek, ki ga lahko uporabimo tudi v 3D prikazih prostorskih podatkov. DOF 050 kot državni izdelek se v vsakdanji praksi veliko uporablja za različne namene:

- podlaga v prostorskih GIS aplikacijah,
- podlaga za planiranje geodetskih del na terenu,
- podlaga za pripravo foto-realističnih upodobitev prostora,
- podlaga za pripravo različnih simulacij v prostoru,
- podlaga za prostorsko planiranje.

Na kakovost ortofota vplivajo predvsem: ločljivost, kakovost in vsebina vhodne slike, natančnost parametrov orientacije, kakovost digitalnega modela reliefa, uporabljena metoda za interpolacijo radiometričnih vrednosti in časovna ažurnost vhodne slike.

Ortofoto se lahko izdelata tudi iz visoko ločljivih satelitskih posnetkov. Njegova uporaba je enaka kot, če bi bil izdelan iz letalskih posnetkov, pri izdelavi pa je treba upoštevati nekoliko drugačen matematični model podobe (Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava RS, 2011a).

2. 2 Digitalni model višin (DMV 0050)

Digitalni model višin DMV 0050 je bil izdelan leta 2006 za območje celotne države z izjemo bolj zaraščenih površin, kjer izdelava DMV-ja s fotogrametričnimi postopki ni mogoča. Na zaraščenih območjih so uporabljeni starejši podatki in posnetki, ki omogočajo izdelavo DMV 0125 (velikost grida 12,5×12,5 m). DMV 0050 je vektorski prikaz, ki je v horizontalnem smislu pravilna kvadratna mreža (5×5 m), v vertikalnem smislu pa ima vsaka točka pripisano tudi višino. Model je določen v državnem koordinatnem sistemu, uporabljene višine so ortometrične (nadmorske). Položaj točk definira posplošen prikaz dela Zemeljskega površja. »Služi kot osnoven informacijski sloj za analize v prostoru. Podatki so primerni za izvajanje prostorskih analiz, za uporabo pri vizualizaciji oziroma upodabljanju prostora, uporabni so za izdelavo topografskih in tematskih kart ter v druge namene« (Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava RS, 2011b).

Poleg DMV 0050 so v Sloveniji na voljo še DMV 0125, DMV 0250 in DMV 1000, v delu pa je DMV 0010, izdelan na osnovi zračnega laserskega snemanja (LiDAR).

3 OPIS TERESTRIČNIH POSTOPKOV ZA DOLOČEVANJE POLOŽAJA V PROSTORU

3.1 Rekognoscirajne terena

Pred začetkom izmere teren najprej rekognosciramo. To pomeni, da se seznanimo z lastnostmi terena, na podlagi katerih se odločimo o geometriji postavitve stojiščnih in orientacijskih točk. Pri izbiri lokacij stojišča in orientacijskih točk upoštevamo pogoje, ki veljajo za zunanji urez. Ti pogoji so: določitev čim bolj pravilnega trikotnika med novo in danimi točkami, dane točke morajo biti vidne iz stojišča – nove točke, iz nove točke pa mora biti viden čim večji del območja izmere. V konkretnem primeru lahko pogoj pravilnega trikotnika zaradi zahtevnosti terena (zaraščenost, konfiguracija terena) upoštevamo le delno. Ko položaj navezovalnih točk določimo z uporabo GPS, upoštevamo tudi omejitve delovanja GPS sprejemnika, kar pomeni, da je v okolici izmere čim manj fizičnih ovir, ki bi lahko motile signal in s tem poslabšale natančnost določitve »danih« točk.

3.2 GPS izmera

Določevanje položaja v prostoru z uporabo GPS temelji na izmeri razdalj med sateliti in GPS sprejemnikom. Osnova za določitev razdalje je čas potovanja elektromagnetnega valovanja med satelitom in GPS sprejemnikom. Poleg tega moramo imeti definirano ploskev, na katero se nanašajo višine (geoid) in izbrano projekcijo, ki podaja prehod iz ukrivljene ploskve (referenčni elipsoid) v ravnino.

Za določitev položaja orientacijskih točk (točki 1000 in 1001) uporabimo RTK GPS metodo. Je relativna metoda izmere, kar pomeni, da je položaj uporabniškega GPS sprejemnika določen relativno glede na neko znano (referenčno) točko. Potrebujemo radijsko povezavo med referenčnim in pomičnim sprejemnikom, ki omogoča komunikacijo med obema sprejemnikoma. Preko radijske povezave uporabniški sprejemnik sprejema popravke referenčne postaje, ki so bistveni za določevanje položaja točk z geodetsko natančnostjo. Za določitev položaja orientacijskih točk smo pridobili popravke iz referenčne postaje Bovec, ki je ena izmed petnajstih takšnih postaj omrežja SIGNAL. Smiselno je izbrati najbližjo izmed referenčnih postaj, saj se natančnost določevanja položaja z oddaljevanjem uporabniškega sprejemnika od referenčne postaje slabša. Največje prednosti te izmere so centimetrska natančnost, določitev količin in ocena natančnosti v realnem času (Prešeren, P., Stopar, B., Kozmus, K. 2006).

3. 3 Zunanji urez

Zunanji urez je metoda določitve položaja nove točke na podlagi opazovanj horizontalnih in vertikalnih smeri ter poševnih dolžin do vsaj dveh točk z znanimi koordinatami.

Uporabljen instrumentarij:

Tahimeter Leica TC 803.

Natančnost merjenja dolžin: 5 mm + 2 ppm.

Natančnost merjenja kotov: 3".

GPS sprejemnik Leica SmartRover System 1200.

Horizontalna natančnost: 10 mm + 1 ppm.

Vertikalna natančnost: 20 mm + 1 ppm.

Izmerjene količine: poševni dolžini (d_{1002}^{1000} , d_{1002}^{1001}), vertikalni smeri (z_{1002}^{1000} , z_{1002}^{1001}), horizontalni smeri (hz_{1002}^{1000} , hz_{1002}^{1001}), višina inštrumenta (i), višini signalov (l_i).

Količine so izmerjene v eni krožni legi. Izmerjene kote pretvorimo iz stopinj, minut in sekund v radiane.

$$d_{1002merjena}^{1000} = 95,311m$$

$$d_{1002merjena}^{1001} = 180,842m$$

$$z_{1002merjena}^{1000} = 73^{\circ}49'45'' \rightarrow 1,288673rad$$

$$z_{1002merjena}^{1001} = 86^{\circ}34'29'' \rightarrow 1,511095rad$$

$$\alpha = hz_{1002}^{1001} - hz_{1002}^{1000} = 150^{\circ}24'12'' - 72^{\circ}40'16'' = 77^{\circ}43'56'' \rightarrow 1,356682rad$$

$$i_{1002} = 1,709m$$

$$l_{1000} = 2,650m$$

$$l_{1001} = 1,700m$$

Položaj točk 1000 in 1001 določimo z uporabo GPS.

$$Y_{1000} = 388738,130m \quad X_{1000} = 127766,950m \quad Z_{1000} = 318,900m$$

$$Y_{1001} = 388554,410m \quad X_{1001} = 127780,920m \quad Z_{1001} = 304,100m$$

Izmerjene poševne dolžine in zenitne razdalje najprej reduciramo na nivo kamen-kamen. Zaradi kratkih razdalj med točkami ne upoštevamo ostalih geometričnih in projekcijskih popravkov.

$$d_{1002\text{kamen-kamen}}^{1001} = \sqrt{(\sin z_{1002\text{merjena}}^{1001} \times d_{1002\text{merjena}}^{1001})^2 + (d_{1002\text{merjena}}^{1001} \times \cos z_{1002\text{merjena}}^{1001} + i_{1002} - l_{1001})^2} = 180,843m \quad (1)$$

$$d_{1002\text{kamen-kamen}}^{1000} = \sqrt{(\sin z_{1002\text{merjena}}^{1000} \times d_{1002\text{merjena}}^{1000})^2 + (d_{1002\text{merjena}}^{1000} \times \cos z_{1002\text{merjena}}^{1000} + i_{1002} - l_{1000})^2} = 95,053m \quad (2)$$

$$z_{1002\text{kamen-kamen}}^{1000} = \arctg \frac{\sin z_{1002\text{merjena}}^{1000} \times d_{1002\text{merjena}}^{1000}}{d_{1002\text{merjena}}^{1000} \times \cos z_{1002\text{merjena}}^{1000} + i_{1002} - l_{1000}} = 1,298181rad \quad (3)$$

$$z_{1002\text{kamen-kamen}}^{1001} = \arctg \frac{\sin z_{1002\text{merjena}}^{1001} \times d_{1002\text{merjena}}^{1001}}{d_{1002\text{merjena}}^{1001} \times \cos z_{1002\text{merjena}}^{1001} + i_{1002} - l_{1001}} = 1,511045rad \quad (4)$$

Reducirane količine uporabimo za izračun koordinat nove točke (zaradi preglednosti v izračunih oznake kamen-kamen v nadaljevanju niso več označene, se pa količine nanašajo na ta nivo). Koordinate točk 1000 in 1001 v postopku izračuna uporabimo kot dane količine.

Izračun smernega kota med danima točkama:

$$v_{1001}^{1000} = \arctg \frac{Y_{1000} - Y_{1001}}{X_{1000} - X_{1001}} = 1,646690rad \quad (5)$$

Izračun dolžine med danima točkama:

$$D_{1000}^{1001} = \sqrt{(Y_{1000} - Y_{1001})^2 + (X_{1000} - X_{1001})^2} = 184,250m \quad (6)$$

Izračun horizontalnih dolžin med novo in danima točkama:

$$d_{1002_{hz}}^{1000} = \sin Z_{1002}^{1000} \times d_{1002}^{1000} = 91,543m \quad (7)$$

$$d_{1002_{hz}}^{1001} = \sin Z_{1002}^{1001} \times d_{1002}^{1001} = 180,520m \quad (8)$$

Izračun kota β :

$$\beta = \arcsin \frac{d_{1002_{hz}}^{1000} \times \sin \alpha}{D_{1000}^{1001}} = 0,506930rad \quad (9)$$

Izračun smernega kota od točke 1001 proti 1002:

$$v_{1001}^{1002} = v_{1001}^{1000} - \beta = 1,139760rad \quad (10)$$

Izračun koordinat nove točke:

$$Y_{1002} = Y_{1001} + \sin \nu_{1001}^{1002} \times d_{1002, z}^{1001} = 388718,418m \quad (11)$$

$$X_{1002} = X_{1001} + \cos \nu_{1001}^{1002} \times d_{1002, z}^{1001} = 127856,344m \quad (12)$$

$$Z_{1002} = Z_{1001} - \cos z_{1002}^{1001} \times d_{1002, z}^{1001} = 293,320m \quad (13)$$

Rezultat zunanega ureza so Y_{1002} , X_{1002} , Z_{1002} koordinate nove točke – stojišča, ki jih kasneje uporabimo v izravnavi zunanega ureza (glej prilogo A).

3. 4 Izravnavo zunanega ureza

Ker je bilo izmerjenih količin več, kot je potrebno za enolično rešitev problema, izvedemo izravnavo zunanega ureza, katerega namen je kontrola nad grobimi pogreški opazovanj in približati se pravim vrednostim koordinat stojiščne točke. Zaradi lastnosti problema izberemo splošni model izravnave po MNK.

Kriterij nastavitve enačb za splošni model izravnave je vsota števila neznank in nadštevilnih opazovanj. Matematični model splošnega modela izravnave tako sestavlja 5 enačb, ki vsebujejo neznanke, opazovanja in konstante (dane količine). Uvedemo približne vrednosti neznank – koordinate nove točke Y_{1002} , X_{1002} , $Z_{1002} \rightarrow X_0, Y_0, Z_0$, ki jih izračunamo na podlagi opazovanj:

$$Y_0 = 388718,418m \quad X_0 = 127856,344m \quad Z_0 = 293,320m$$

Enačbe splošnega modela izravnave:

$$F1: \hat{d}_{1002}^{1000} - \sqrt{(Y_{1000} - Y_0)^2 + (X_{1000} - X_0)^2 + (Z_{1000} - Z_0)^2} = 0 \quad (14)$$

$$F2: \hat{d}_{1002}^{1001} - \sqrt{(Y_{1001} - Y_0)^2 + (X_{1001} - X_0)^2 + (Z_{1001} - Z_0)^2} = 0 \quad (15)$$

$$F3: \cos \hat{z}_{1002}^{1000} \times d_{1002}^{1000} - Z_{1000} + Z_0 = 0 \quad (16)$$

$$F4: \cos \hat{z}_{1002}^{1001} \times d_{1002}^{1001} - Z_{1001} + Z_0 = 0 \quad (17)$$

$$F5: \hat{\alpha} - \arccos \frac{(Y_{1000} - Y_0)^2 + (X_{1000} - X_0)^2 + (\sin z_{1002}^{1001} \times d_{1002}^{1001})^2 - (Y_{1001} - Y_{1000})^2 - (X_{1001} - X_{1000})^2}{2 \times \sqrt{(Y_{1000} - Y_0)^2 + (X_{1000} - X_0)^2} \times (\sin z_{1002}^{1001} \times d_{1002}^{1001})} = 0 \quad (18)$$

Matrika koeficientov opazovanj (členi predstavljajo vrednosti parcialnih odvodov enačb splošnega modela po opazovanjih):

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,269251 & 0 & -91,542679 & 0 & 0 \\ 0 & 0,059716 & 0 & -180,520241 & 0 \\ 0 & 0,009957 & 0 & 0,107737 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Matrika koeficientov neznank (členi predstavljajo vrednosti parcialnih odvodov enačb splošnega modela po približnih vrednostih neznank):

$$B = \begin{bmatrix} 0,207389 & -0,940511 & 0,269126 \\ -0,906916 & -0,417073 & 0,059610 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0,000709 & 0,003217 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Vektor odstopanj opazovanj od pravih vrednosti:

$$f = \begin{bmatrix} -0,004661 \\ -0,001599 \\ -0,013125 \\ -0,019181 \\ 0,000104 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Predpostavimo, da so opazovanja enakih natančnosti, kar nima bistvenega vpliva na končni rezultat, se pa izrazi v postopku matričnega izračuna nekoliko poenostavijo.

Matrika kofaktorjev opazovanj:

$$Q_e = AA^T \quad (22)$$

Matrika uteži:

$$P_e = Q_e^{-1} \quad (23)$$

Matrika koeficientov normalnih enačb:

$$N = B^T P_e B \quad (24)$$

Vektor stalnih členov:

$$t = B^T P e f \quad (25)$$

Vektor popravkov približnih vrednosti neznank:

$$\Delta = N^{-1} t = \begin{bmatrix} 0,000336 \\ 0,001184 \\ -0,013442 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} -0,3cm \\ -0,1cm \\ -1cm \end{bmatrix} \quad (26)$$

Vektor popravkov opazovanj:

$$v = A^T P e (f - B \Delta) = \begin{bmatrix} 4,74 \times 10^{-7} \\ 8,15 \times 10^{-7} \\ -3,46 \times 10^{-6} \\ 0,000032 \\ 0,000096 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0cm \\ 0cm \\ -0^{\circ}00'01'' \\ 0^{\circ}00'07'' \\ 0^{\circ}00'20'' \end{bmatrix} \quad (27)$$

Vrednosti izravnanih koordinat stojiščne točke:

$$\hat{Y} = Y_0 + \Delta_Y = 388718,42m \quad (28)$$

$$\hat{X} = X_0 + \Delta_X = 127856,34m \quad (29)$$

$$\hat{Z} = Z_0 + \Delta_Z = 293,31m \quad (30)$$

Iz vektorjev Δ in v je zaradi velikosti popravkov razvidno, da med opazovanji ni grobih pogreškov. Popravek α , ki znaša $20''$ je predvsem posledica določevanja položaja danih točk z uporabo GPS-RTK metode in izvedbe opazovanj s tahimetrom v eni krožni legi. Ko vrednosti iz vektorja Δ prištejemo k približnim vrednostim neznank in vrednosti iz vektorja v k vrednostim opazovanj, dobimo količine, ki enolično rešijo problem. Zanimajo nas predvsem koordinate stojišča. Ker so vrednosti danih količin določene z centimetrsko natančnostjo, po izravnavi spremenimo samo višino nove točke, kateri odštejemo 1cm. Tako za koordinate stojišča nove točke uporabimo $\hat{Y}, \hat{X}, \hat{Z}$.

3. 5 Detajlna izmera

Ker med opazovanji ni grobih pogreškov, pričnemo z detajlno izmero tj. tahimetrijo. To je metoda izmere, ki temelji na določitvi koordinat detajlnih točk na podlagi izmerjenega horizontalnega in vertikalnega kota ter poševne dolžine med dano in novo točko, ob predpostavki, da smo se predhodno preko danih točk povezali v izbran koordinatni sistem. To storimo tako, da postavimo tahimeter na novo točko, katere koordinate dobimo po izravnavi in dveh orientacijskih točk določenih z GPS.

3. 6 Namen detajlne izmere

Položaj detajlnih točk vzdolž rečnega brega na nivoju vodne gladine (nivo gladine se nanaša na najnižji prikazan vodostaj) določimo z uporabo detajlne izmere. Tako dobimo podatke o konfiguraciji terena vzdolž rečnega odseka. Pridobljene podatke primerjamo z DMV-jem. Ugotoviti želimo, kako se oba tipa podatkov medsebojno prilegata, če vemo, da so podatki detajlne izmere določeni z večjo natančnostjo.

DMV se vzdolž celotnega območja enakomerno prilega podatkom izmere, in sicer je v prostor umeščen okrog enega metra nad podatki terenske izmere. To pomeni da je relativna natančnost DMV-ja sprejemljiva za izdelavo 3D modela. DMV kasneje uporabimo kot enega izmed osnovnih podatkov za izdelavo modela. 2D položaj izmerjenih detajlnih točk je prikazan na skici (glej prilogo A: Skica ureza).

4 IZDELAVA MODELA

4.1 Programska oprema

Za izgradnjo modela je bila uporabljena sledeča programska oprema:

Prenos podatkov terenske izmere na računalnik: Leica Geo Office.

Priprava datoteke za uvoz podatkov v CAD programsko okolje: Microsoft Excel.

Vnos podatkov izmere, modeliranje: Autodesk AutoCAD Map 2010, Autodesk AutoCAD Civil 2010, Autodesk 3d Studio Max 2010, Visual Nature Studio, Google SketchUp.

Oblikovanje rastrov: Adobe Illustrator14.0.0, Adobe Photoshop 11.0.

4.2 Strojna oprema

Za izdelavo modela je bila uporabljena sledeča strojna oprema:

Terenska izmera: tahimeter-Leica TC 803, GPS sprejemnik-Leica SmartRover System 1200.

Modeliranje, obdelava rastrov: osebni računalnik.

Izračun in izravnava zunanlega ureza: žepni kalkulator.

4.3 Matematični elementi modela

Referenčna ploskev: Besslov elipsoid.

Kartografska projekcija: Gauss-Kruegerjeva projekcija.

Deformacije: zaradi majhnosti območja deformacije zanemarimo.

Merilo: zaradi enega glavnih virov (DOF 050) je merilo prikaza 1: 5000.

Orientacija modela: sever.

Območje prikaza omejeno s koordinatami:

Zgornji levi rob: $Y=388435m$ $X=127900m$.

Spodnji desni rob: $Y=389185m$ $X=127370m$.

Lokacija s pomočjo detajlnih listov: nahaja se na območju B25-01-62A.

4. 4 Objektni katalog

Celoten model je zgrajen iz več kot 13000 elementov. Vsak objekt sestoji iz določenega števila elementov. Objektni tip vsebuje istovrstne objekte oziroma objekte z enakimi značilnostmi. Te objektno tipe razvrstimo na posamezne plasti, formalno pa jih zapišemo v objektni katalog:

brzice_15m3s – objektni tip vsebuje vektorski obris brzic za pretok reke $15 \text{ m}^3/\text{s}$,

brzice_25m3s – objektni tip vsebuje vektorski obris brzic za pretok reke $25 \text{ m}^3/\text{s}$,

brzice_35m3s – objektni tip vsebuje vektorski obris brzic za pretok reke $35 \text{ m}^3/\text{s}$,

brzice_45m3s – objektni tip vsebuje vektorski obris brzic za pretok reke $45 \text{ m}^3/\text{s}$,

brzice_55m3s – objektni tip vsebuje vektorski obris brzic za pretok reke $55 \text{ m}^3/\text{s}$,

izstopno_mesto – vsebuje topografski znak »izstopno mesto«,

most – objektni tip vsebuje most, ki stoji na začetku rečnega odseka,

pot_15m3s – objektni tip vsebuje prikazano pot plovbe pri rečnem pretoku $15 \text{ m}^3/\text{s}$,

pot_25m3s – objektni tip vsebuje prikazano pot plovbe pri rečnem pretoku $25 \text{ m}^3/\text{s}$,

pot_35m3s – objektni tip vsebuje prikazano pot plovbe pri rečnem pretoku $35 \text{ m}^3/\text{s}$,

pot_45m3s – objektni tip vsebuje prikazano pot plovbe pri rečnem pretoku $45 \text{ m}^3/\text{s}$,

pot_55m3s – objektni tip vsebuje prikazano pot plovbe pri rečnem pretoku $55 \text{ m}^3/\text{s}$,

prepoved_plovbe – vsebuje tografski znak »prepoved plovbe«,

recni_tok – objektni tip vsebuje mejo med rečnim bregom in najnižjim vodostajem prikazanim v modelu,

skale – objektni tip vsebuje skale in stebre podrtga mostu, ki je na koncu rečnega odseka,

skale_tloris – objektni tip vsebuje tlorise skal,

vodostaj_15m3s – objektni tip vsebuje nivo vodne gladine pri rečnem pretoku $15 \text{ m}^3/\text{s}$,

vodostaj_25m3s – objektni tip vsebuje nivo vodne gladine pri rečnem pretoku $25 \text{ m}^3/\text{s}$,

vodostaj_35m3s – objektni tip vsebuje nivo vodne gladine pri rečnem pretoku $35 \text{ m}^3/\text{s}$,

vodostaj_45m3s – objektni tip vsebuje nivo vodne gladine pri rečnem pretoku $45 \text{ m}^3/\text{s}$,

vodostaj_55m3s – objektni tip vsebuje nivo vodne gladine pri rečnem pretoku $55 \text{ m}^3/\text{s}$,

vstopno_mesto – vsebuje topografski znak »vstopno mesto«.

4. 5 Kartografska generalizacija

Kartografska generalizacija je grafična poenostavitev prikaza celovitega stanja v naravi pri pomanjšavi v določeno merilo. Vključuje izbiro, združevanje objektov, poenostavljanje linij, prehod na pogojni prikaz in premikanje. V največji možni meri zagotavlja položajno (prostorsko) pravilnost in prepoznavnost prikazanih objektov (Petrovič, D. 2009).

Prikaz je posplošen do takšne mere, da lahko v celoti ustreza namenu. Ker je model predstavljen na digitalnem mediju, so posplošitve nujne tudi zaradi podatkovne obsežnosti. Zaradi generaliziranega prikaza je model bolj odziven, saj računalnik v času izdelave in kasneje uporabe obravnava manjše število podatkov.

Izbrani so vsi objekti, ki jih je bilo moč razbrati iz DOF-a in terenskih fotografij. Pri tem so skale in rečna bregova geometrično poenostavljeni, kar pomeni, da niso prikazani razčlenjeno, kot so v naravi, ampak so prikazani z bolj pravilnimi oblikami (daljicami). Kljub temu zunanje dimenzije skal ustrezajo pravim dimenzijam. Prav tako je linija, ki loči rečni tok in rečni breg, določena s primerno natančnostjo. Združene so skale, pri katerih ni mogoče določiti poteka meje med dvema skalama oziroma združitev bistveno ne vpliva na vsebino.

S pogojnim prikazom (topografskimi znaki) so označeni prepoved plovbe po uradno (za plovbo) prepovedanem rečnem odseku ter vstopno mesto in izstopno mesto.

4. 6 Kartografsko oblikovanje

Podatke državnih služb in terenske izmere uvozimo v izbrano programsko okolje, kjer jih obdelamo in povežemo v smiselno celoto.

4. 6. 1 Vektorska vsebina modela

Vektorsko vsebino modela izdelamo z upoštevanjem kartografskih pravil, ki so opisana v prejšnjih poglavjih in pravil vektorske topologije. Slednje pomeni, da je točka opredeljena z x , y , z koordinatami, vozlišče je točka, ki začenja ali končuje vsak linijski element, linija (vektor ali segment) je usmerjena povezava, ki se začne in konča v vozlišču (lahko tudi v istem), poligon pa tvori en ali več segmentov, ki lahko določajo zaprto območje (Šumrada 2009).

4. 6. 1. 1 Sestava CAD objektov

CAD okolje temelji na 3D koordinatnem sistemu in objektih, ki so matematično določeni v navideznem 3D prostoru. Vrste CAD elementov so zlasti točke, krogi, loki, krožne tetive, linije, pravokotniki, poligoni, elipse, eliptični loki, besedila, itd.. Krajišča in oglišča so določena s koordinatami v izbranem koordinatnem sistemu, krog je določen s koordinatami centra in radijem, krivulje pa z matematičnimi funkcijami itd.. Posamezni CAD elementi lahko sestavljajo večje bloke in kot taki so vstavljeni v druge CAD objekte. Posamezna vsebina oziroma objektni tipi so prikazani na posameznih plasteh, kar omogoča nazoren prikaz želenih podatkov. Izdelavo in obdelavo CAD objektov omogoča CAD programsko okolje, ki je v tem primeru Autodesk AutoCAD Map 2010, AutoCAD Civil 2010, Autodesk 3d Studio, Visual Nature Studio in Google SketchUp.

4. 6. 2 Izdelava vektorske vsebine modela

Ko imamo izbrano strojno opremo, programsko opremo, vektorske in rastrske podatke, podatke terenske detajlne izmere in terenske fotografije, lahko začnemo z modeliranjem. Model gradimo najprej v 2D horizontalni ravnini. Delo v precejšnji meri poteka interaktivno. Posamezni deli modela so razvrščeni v objektne tipe na posameznih plasteh (layerjih).

Osnova za to fazo so podatki terenske detajlne izmere in DOF 050. Z uporabo teh podatkov definiramo potek rečnih bregov za osnovni vodostaj $15 \text{ m}^3/\text{s}$, s poligonom (oba tipa podatkov sta bila pridobljena pri vodostaju približno $15 \text{ m}^3/\text{s}$) in skale z uporabo zaključenega poligona. Presek ploskve digitalnega modela reliefa in rečne obale (2D) določa potek rečne obale v 3D prostoru. Tako imamo v grobem definiran potek struge za najnižji vodostaj. Detajle, kot so večji padci preko skal, ki jih DMV ne prikazuje, popravimo glede na podatke terenske detajlne izmere in terenske fotografije. Večje popravke poteka reliefa je bilo treba izvesti na območju mosta v zgornjem delu odseka, ker so se posamezne višine točk DMV-ja nanašale na most in ne na dejanski relief.

Naslednji korak je vektorizacija skal, ki prav tako poteka na podlagi DOF-a. Tlorise skal, ki so prvotno izdelani v horizontalni ravnini (na nadmorski višini 0) individualno vertikalno prestavimo na takšno nadmorsko višino, kakršno ima rečni breg za isti horizontalni položaj, kot ga ima posamezen tloris. Tako je definirana višina tlorisa za vsako skalo posebej, horizontalni položaj tlorisov pa se ne spremeni. Za izdelavo skal še v tretji dimenziji uporabimo podatke terenskih fotografij, posnetih ob vodostaju $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Višine skal določimo z oceno, ki jo dobimo s primerjavo horizontalnih dimenzij DOF-a in horizontalnih in vertikalnih dimenzij skal iz terenskih fotografij. Skale so v prvi fazi izdelane iz 3D zaključenih poligonov – območij in so povezane v skeletno konstrukcijo. Lahko si jih

predstavljamo tudi kot TIN – mrežo nepravilnih trikotnikov. V drugi fazi te trikotnike obarvamo in s tem dobimo boljšo prostorsko predstavo.

Ravnino vodne gladine za najnižji vodostaj določimo na podlagi preseka rečnih obal in DMV-ja. Vse ostale vodostaje pa določimo na podlagi terenskih fotografij, posnetih ob določenih vrednostih pretoka (vodostaja). Osnova za vsak naslednji vodostaj je predhodni (nižji) vodostaj. Predhodni vodostaj dvignemo za določeno vrednost, odvisno od tega, za koliko se vodostaja višinsko razlikujeta. Višinsko razliko vodostajev določimo iz terenskih fotografij. Uporaba geodetskih in drugih metod za določevanje višinskih razlik je v tem primeru nesmiselna, saj vodna gladina zaradi lastnosti divjih voda neprestano niha. Poleg višine vodne gladine je največja razlika med dvema vodostajema večja razpotegnjenost padcev vodne mase (na območjih brzic z večjimi višinskimi razlikami) in oblika vodnih tvorb v okolici skal. Horizontalne dimenzije posameznih vodostajev izdelamo večje, kot je dejanska širina struge, saj širino struge na modelu določa presek ravnine vodne gladine in digitalnega modela reliefa. Prav tako se posamezen vodostaj nadaljuje preko skal, ki so locirane v vodni strugi. Presek teh ravnin definira naraven videz.

Most v zgornjem delu modela izdelamo na podlagi GPS RTK izmere in DOF-a. Z GPS izmero določimo višino vrha mostu (ista točka je bila uporabljena za eno izmed orientacij zunanega ureza), horizontalen položaj pa dobimo na podlagi DOF-a. Brv in stebre izdelamo z uporabo 3D zaključenih poligonov, ki tokrat niso povezani v trikotnike, ampak v štirikotnike. Štirikotniki v tem primeru definirajo enolično ravnino, ki jo kasneje lahko obarvamo.

Topografski znaki so izdelani iz CAD gradnikov, v 3D obliki. Topografska znaka za vstopno in izstopno mesto sta bila v fazi izdelave modela izdelana v naravni velikosti z namenom, da bi uporabnik pridobil občutek za dimenzije v prostoru. Kasneje se je v fazi izdelave animacije izkazalo, da sta znaka premajhna v primerjavi z ostalim prikazom, zato sta večja od naravne velikosti. Znaka sta sestavljena iz kajaka in kajaka. Del znaka je pridobljen iz spleta (Google Warehouse).

Prepoved plovbe na koncu prikazanega rečnega odseka označuje konec omenjenega odseka in začetek za plovbo uradno prepovedanega rečnega dela. Predstavljen je iz treh valjev, ki so povezani v križe.

Sedaj imamo model izdelan v vektorski obliki. Ker pa je osnovni namen izdelava modela, ki kar najbolje aproksimira naravno okolje, je treba vektorski model združiti še z 2D rastrskimi podatki, ki jih pripravimo v rastrskem programskem okolju.

4. 6. 3 Rastrska vsebina modela

Osnova rastrski vsebini modela je DOF 050, s pomočjo katerega pripravimo ostale rastre, ki jih kasneje združimo z vektorsko vsebino modela.

4. 6. 3. 1 Sestava rastra

Rastrska organizacija geometričnih podatkov temelji na mreži enakih gridnih celic, ki so navadno kvadrati. Topološke povezave in sosedski odnosi se zato lahko enostavno ugotavljajo. Rastrska struktura grafičnih podatkov je sestavljena iz matrike celic enake oblike. Položaj vsake posamezne celice je enolično določen s številko vrstice in stolpca v matriki. Vsaka celica lahko vsebuje tudi podatek ali kodo o atributu geografskega pojava.

Točka je predstavljena z eno samo celico, linija je določena z nizom sosednjih celic z enako vrednostjo, območje pa je množica sosednjih točk z enako vrednostjo atributa. Rastrska struktura je sestavljena iz celic in zato ni zvezna (linije postanejo žagaste). Zvezna navidezno postane šele na določenem nivoju resolucije. Lokacija geografskega objekta je podana z lokacijo gridne celice v mreži, ki ima navadno izhodišče v levem zgornjem kotu. Vsaki gridni celici se pripiše samo ena vrednost atributa, zato so različni atributi registrirani na različnih tematskih plasteh. Delo z rastri omogoča rastrsko programsko okolje, v tem primeru sta izbrana Adobe Illustrator, ki podpira vektorski vnos in rastrsko obdelavo podatkov ter Adobe Photoshop, ki je namenjen izključno rastrski obdelavi.

4. 6. 3. 2 Priprava rastrov

Drugi del izdelave modela poteka v rastrskem programskem okolju. Predhodno pripravimo vektorske podatke v CAD okolju. Pripravimo tlorise skal, »vodostaje« v vektorski obliki in pot plovbe za posamezen vodostaj, ki je izdelan z uporabo krivulje prav tako v vektorski obliki. Na novo moramo izdelati še območje brzic. Za osnovni vodostaj dobimo ta območja s pomočjo DOF-a in vektorizacije, za ostale vodostaje pa z uporabo terenskih fotografij, DOF-a in tudi že vektorskega dela modela.

Te vektorske podatke uvozimo v rastrsko programsko okolje, v katerem se ohrani njihova oblika. Pri prehodu iz vektorskega v rastrsko programsko okolje pa se izgubi merilo in lega podatkov. Merilo rastrskim podatkom določimo z velikostjo celice ter številom vrstic in stolpcev. V posebni datoteki definiramo velikost posamezne celice in položaj sredine zgornjega levega piksla v izbranem koordinatnem sistemu (zaradi podatkov, ki so zapisani v tej datoteki lahko kasneje izbrani raster pravilno georeferenciramo v vektorskem programskem okolju).

Tako vektorski podatki določajo območja, ki jih želimo obdelati v rastrskem okolju. Učinek, ki ga želimo doseči v tem okolju, je izboljšati lastnosti DOF-a, torej na določenih območjih izboljšati rastrsko ločljivost, teksturo, določiti pravilne barve, ter združiti posamezne vodostaje s pripadajočimi potmi.

Tako posameznemu zaključenemu območju, ki predstavlja tloris skale ali horizontalno območje posameznega vodostaja ali brzic, dodamo pravilno teksturo, ki jo izberemo iz terenskih fotografij. Vektorski podatki se pri zapisu v rastrski podatkovni zapis rastrirajo. Rastrski podatki so sedaj prikazani z ločljivostjo 300 DPI.

Prav tako retuširamo DOF tako, da ne spreminjamo pomenske vsebine, ampak odpravimo sence predvsem na območju gozda in posameznih dreves. Mesta, ki jih je predhodno prekrivala senca, nadomestimo s teksturo, ki je izbrana v bližnji okolici obdelanega mesta.

4. 6. 4 Končna oblika modela

Sedaj imamo pripravljene vse rastrske in vektorske podatke, ki jih potrebujemo za izdelavo končnega modela. Osnova je vektorska struktura modela, preko katerega napnemo retuširane rastrske podatke. To izvedemo za vsak objektni tip posebej, v kombinaciji z izbranim rastrom. Preko DMV-ja napnemo retuširan DOF, preko skal napnemo tlorise skal v rastrski obliki s pravilno teksturo in boljšo ločljivostjo, preko posameznega vodostaja pa napnemo horizontalno območje vodostaja z realno, ustrežnejšo barvo reke, brzicami in potjo plovbe.

Rečnemu toku dodamo še valove in gibanje struge, kar ponazarja videz tekoče reke.

Glede na vrsto rabe zemljišč model dodatno izpopolnimo z dodajanjem 3D objektov kot so kamni, drevesa in druga vegetacija. Posamezna vrsta rabe zemljišč je določena z območjem – zaključenim poligonom. Te podatke v digitalni obliki dobimo na spletnih straneh Ministrstva za kmetijstvo.

4. 6. 5 Izdelava 3D animiranega prikaza

3D animiran prikaz je sestavljen iz niza statičnih podob, ki si sledijo v določenem časovnem zaporedju. Krajši interval med posameznimi podobami omogoči bolj zvezno predvajanje.

Osnova za izdelavo animiranega prikaza je 3D ploskev. V tem primeru je to končna oblika modela. Preko ploskve je treba definirati pot, po kateri potuje »kamera« in pot, v katero je »kamera« usmerjena. Poti, ki sta prostorski krivulji, sta v modelu postavljeni tako, da animacija prikazuje optimalno območje modela v vsakem trenutku. Določimo še, koliko podob naj se zvrsti v eni sekundi (FPS), resolucijo prikaza in čas trajanja animacije (Šumrada 2009).

5 NAČINI UPORABE

Glede na to, da je končna oblika modela izdelana v specifičnem programskem okolju, je dostop do modela možen le z izbrano programsko opremo, kar pomeni, da širša javnost do modela nima enostavnega dostopa. Za bolj enostaven dostop in uporabo so izdelane 3D animacije, do katerih uporabniki lahko brez posebne programske opreme dostopajo preko spleta.

6 MOŽNOSTI, KI JIH MODEL PONUJA ZA NADALJNE RAZISKAVE

Model je prvenstveno izdelan za načrtovanje poti plovbe po rečnem odseku in nudi osnovo za izdelavo podrobnejših 3D modelov, ki jih izdelamo z uporabo 3D laserskega skeniranja in sonarja.

3D lasersko skeniranje je ena izmed novejših geodetskih metod za masovno zajemanje podatkov v prostoru. Zajem podatkov je hiter v primerjavi z ostalimi metodami, domeritve skorajda niso potrebne, saj so skenirani vsi objekti v vidnem polju 3D laserskega skenerja. Oblake točk lahko uporabimo večkrat in za različne namene.

3D laserski skener je naprava, ki na osnovi opravljenih meritev omogoča pridobitev prostorskih koordinat točk skeniranih objektov. Naprava zajema točke z veliko hitrostjo od 100 do 1000 točk na sekundo. Glede na način izvedbe izmere lahko laserski skener uporabimo kot stacionarno napravo, kot mobilni sistem na stativih ali podobnih stojalih ali kot letalski oziroma helikopterski sistem.

Za izdelavo modela tega rečnega odseka bi bil pomemben zelo nizek vodostaj, tako bi morali meritve izvesti v pozno poletnem ali še bolje v pozno zimskem času, ko je pretok najmanjši (okrog $7 \text{ m}^3/\text{s}$). Nizek vodostaj je pomemben zato, da zajamemo čim več objektov nad vodno gladino, saj se svetlobni žarki laserskega skenerja od vodne površine odbijejo prav tako kot od ostalih objektov. V primeru, ko želimo izdelati model za izdelavo raznih hidravličnih analiz, moramo meritve laserskega skeniranja nad vodno gladino dopolniti še z meritvami pod njo tako, da določimo še konfiguracijo rečnega dna. Te meritve lahko opravimo z uporabo sonarja (Mozetič 2004, 351–362).

Sonar (*Sound Navigation And Ranging*) je naprava, ki uporablja zvočno valovanje za določevanje položaja oziroma lege objektov, predmetov v vodi. Naprava meri čas, ki ga ultrazvok potrebuje, da prepotuje razdaljo od sonde do ovire in nazaj. Od ovire se odbije v obliki odmeva. »*Side-scan* sonar je praktična metoda za pridobitev detajlne akustične slike morskega dna, ki se imenuje sonogram in je lahko v analogni ali digitalni obliki.« Te metrične »fotografije« ne dajejo absolutnih količin med objekti, ampak relativne.

Sonogram je treba pravilno umestiti v prostor in ga »spojiti« s podatki laserskega skeniranja. Prav tako kot pri laserskem skeniranju je tudi pri izdelavi sonograma pomemben čim manjši pretok, ker je voda reke Soče pri nižjih vodostajih kristalno čista, območja brzic se močno skrčijo, kar omogoča, da se zvok pravilno prebije skoraj do vseh skal, ker zračni mehurčki v vodi prav tako predstavljajo ovire in s tem kvarijo kvaliteto sonograma (ultrazvočno valovanje potuje v vodi s hitrostjo med 1400 m/s in

520 m/s skozi zrak pa z okoli 343 m/s) (Ahačič, 2008; Kolenc, 2005). Poleg naštetega je morebiten vstop v reko pri manjših vodostajih zaradi manjšega rečnega pretoka lažje izvedljiv.

7 SKLEP

Prvotna ideja o izdelavi kartografskega modela je obsegala združitev vektorske in rastrske vsebine v končni model odseka reke Soče. Za distribucijo vsebine končnega izdelka sta obstajali dve možnosti. Z uporabo prve možnosti bi uporabniki njegovo vsebino lahko pregledovali prek spletnega pregledovalnika, za kar bi bilo treba rezervirati spletno domeno in urediti spletno gostovanje (model ni več brezplačen). Prednosti takšnega načina so predvsem časovno neomejen ogled modela, pregledovanje iz različnih zornih kotov in poljubna navidezna oddaljenost modela od uporabnika. Druga možnost je bila uvoz podatkov modela v okolje Google Zemlja, ki omogoča že omenjene možnosti pregledovanja prek spletnega pregledovalnika. Takšen način sicer pomeni brezplačno uporabo, vendar bi se zaradi slabše natančnosti reliefa vsebina modela preveč deformirala. Za izdelavo celotnega modela je bila prvotno predvidena programska oprema Autodesk AutoCAD Civil 2010, AutoCAD Map 2010 in Adobe Photoshop 11.0.

V fazi izdelave se je pokazala možnost, da izgled modela dovršimo s programsko opremo Visual Nature Studio, ki je namenjena izključno modeliranju okolja. Zaradi enostavne distribucije vsebine modela so namesto spletnega pregledovalnika izdelane prostorske animacije. Prednosti animacij so predvsem enostaven, brezplačen dostop prek spleta (YouTube) in nazoren prikaz vsebine. Izdelan model in animiran prikaz modela tako dosejata cilje, ki so bili postavljeni v fazi načrtovanja. Ker je vizualno dovršen prikaz dostopen prek spleta, bodo uporabniki presodili o kakovosti modela in uporabnosti novega načina načrtovanja čolnarjenja po divjih rekah.

Če se izkaže nov način kot uporaben, bi bilo vredno razmisliti o investitorju, ki bi zagotavljal finančno podporo, namenjeno vzdrževanju modela oziroma njegovi dopolnitvi, če vemo, da se rečna struga stalno spreminja. Za redno uporabo je ažuriranje vsebine modela nujno, saj zastareli, neresnični in nepopolni podatki uporabnike lahko zavedejo in posredno vodijo v nezgodo. Da se slednjemu izognemo, si je vsaj zahtevnejša mesta priporočljivo predhodno ogledati.

7 VIRI IN LITERATURA

Ahačič, Petra. 2008. Sonar. Seminar pri predmetu Fizika II. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Jelenc, Andrej. 2007. Veslajmo modro - priročnik za učitelje kajaka in kanuja. Ljubljana, Kajakaška zveza Slovenije.

Kolenc, Regina. 2005. Hidrografske meritve. Geodetski vestnik 49, 1: 18–28. http://www.geodetski-vestnik.com/48/3/gv48-3_351-362.pdf (Pridobljeno 24. 8. 2011.)

Lex localis. Odlok o rabi in varovanju vstopno-izstopnih mest za športno plovbo ob reki Soči in njenih pritokih na območju od izvira do Volčanskega mostu. 2011. <http://www.lex-localis.info/KatalogInformacij/PodrobnostiDokumenta.aspx?SectionID=ecac21df-91e2-4242-a36d-20e1b3253a29> (Pridobljeno 24. 8. 2011.)

Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava RS. 2011a. Državni ortofoto – DOF0050. <http://prostor.gov.si/cepp/izpis.jsp?ID=6248> (Pridobljeno 24. 8. 2011.)

Ministrstvo za okolje in prostor, Geodetska uprava RS. 2011b. Digitalni model višin – DMV0050. <http://e-prostor.gov.si/index.php?id=700> (Pridobljeno 24. 8. 2011.)

Mozetič, Blaž. 2004. Terestrično 3D (trirazsežno) lasersko skeniranje. Geodetski vestnik 48, 3: 351–362. http://www.geodetski-vestnik.com/48/3/gv48-3_351-362.pdf (Pridobljeno 24. 8. 2011.)

Petrovič, Dušan. 2009. Oblike shranjevanja in predstavljanja prostorskih podatkov. Ljubljana, FGG.

Prešeren, P., Stopar, B., Kozmus, K. 2006. GPS v geodetski praksi. Ljubljana, FGG.

Šumrada, Radoš. 2009. Grafične podatkovne baze. Uvodni pojmi. Ljubljana, FGG.

8 PRILOGE

PRILOGA A: SKICA UREZA.

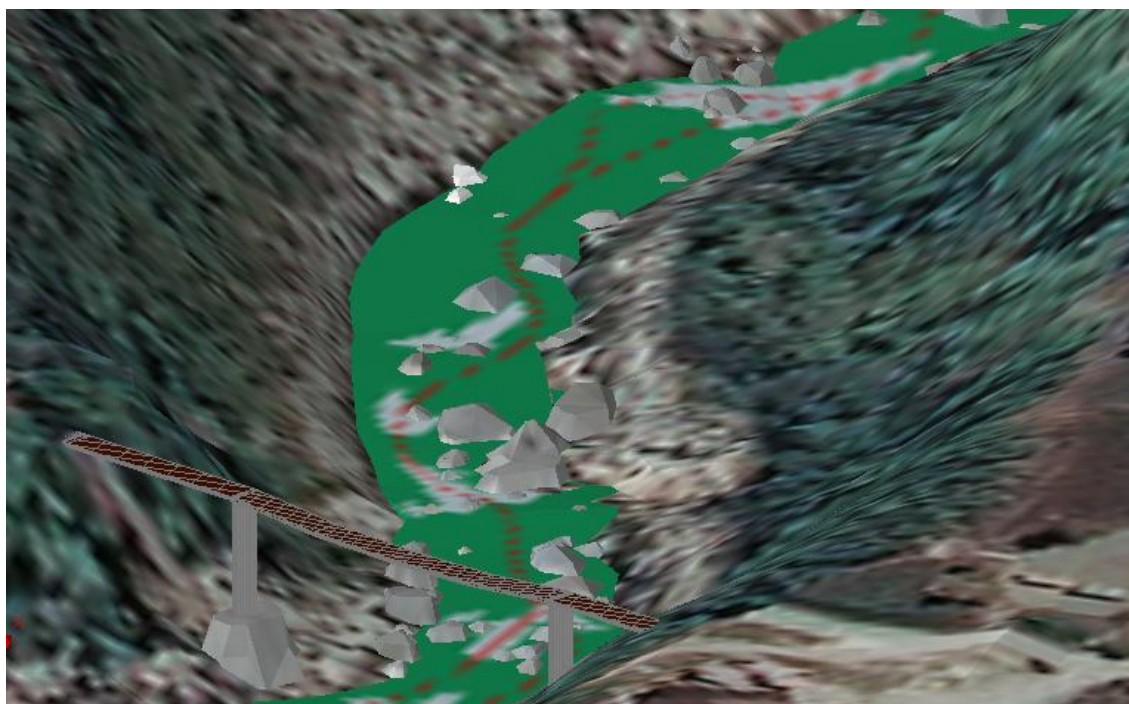


PRILOGA B: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU $15\text{m}^3/\text{s}$ (MERILNA POSTAJA LOG ČEZSOŠKI).

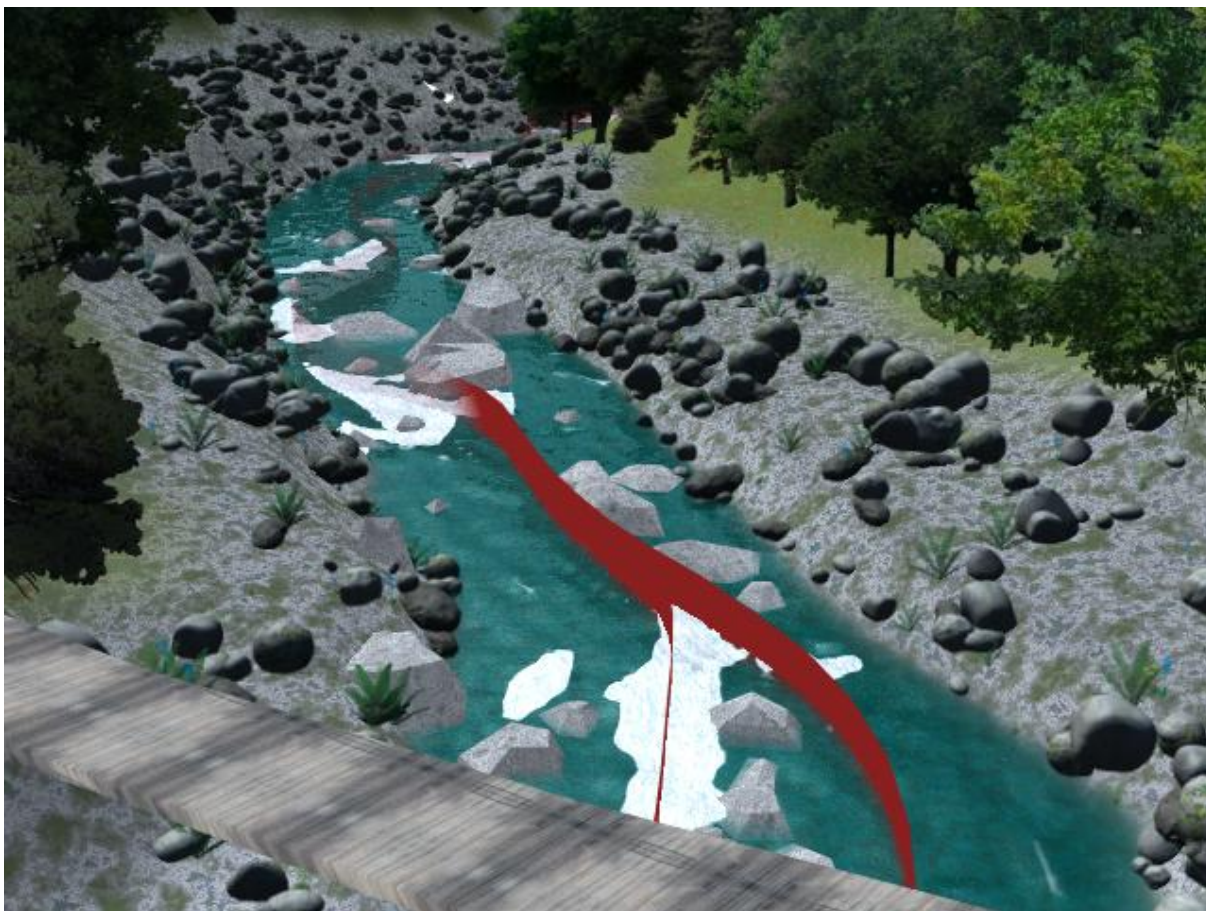
PRILOGA B.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA B.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA B.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1.

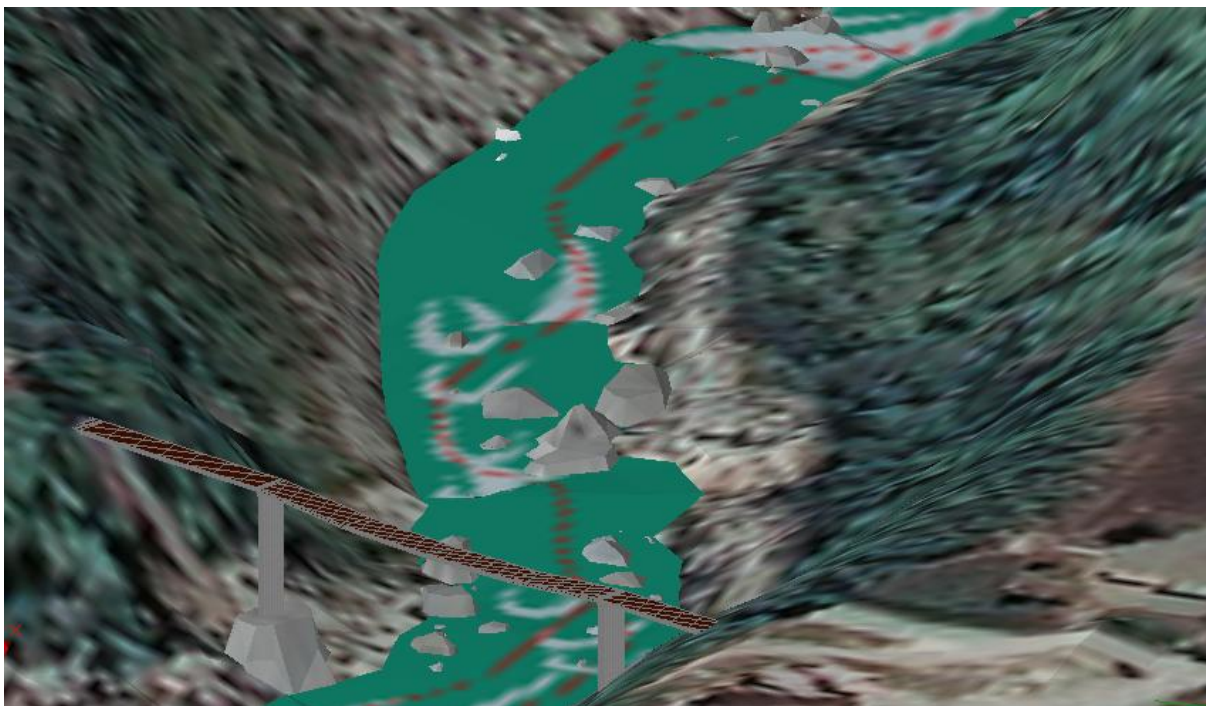


PRILOGA C: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 25 m³/s (MERILNA POSTAJA LOG ČEZSOŠKI).

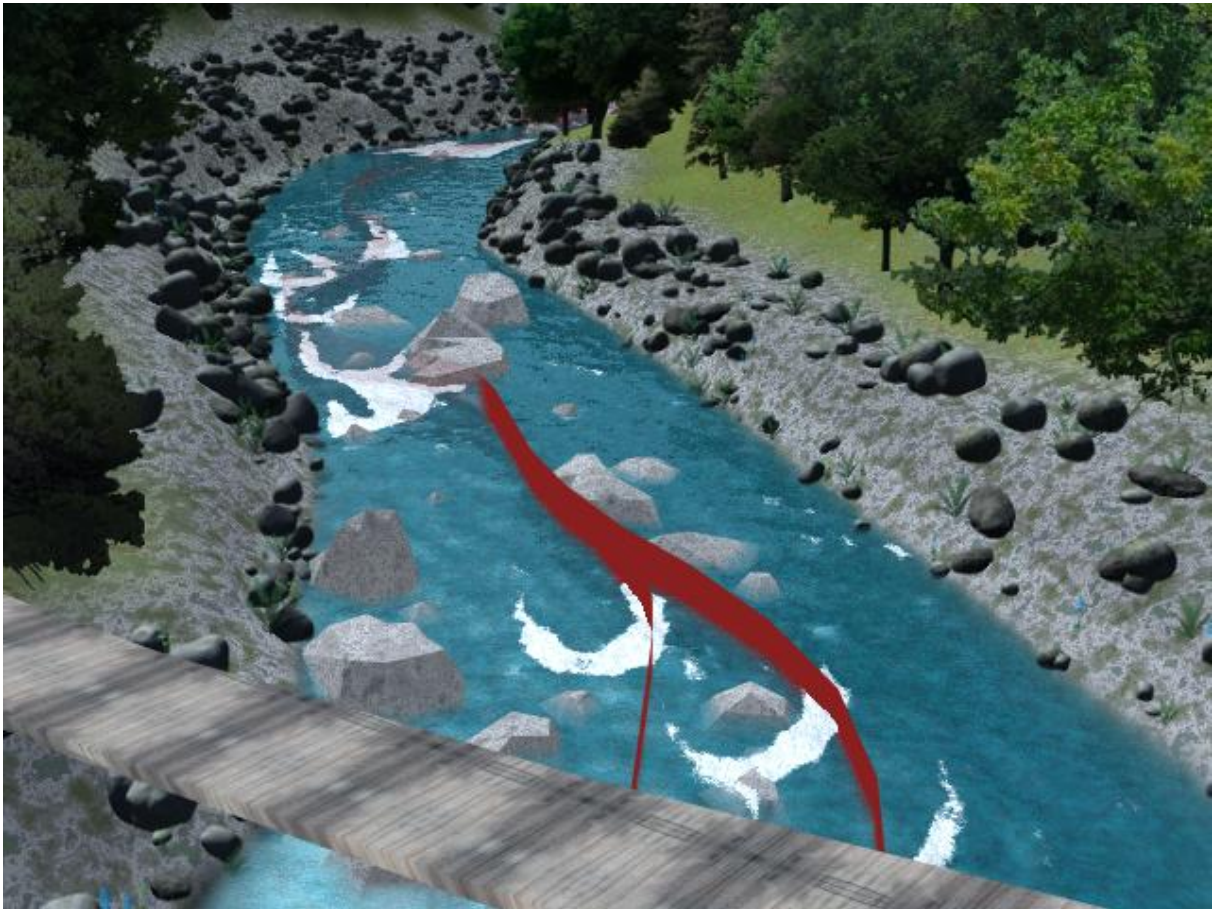
PRILOGA C.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA C.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA C.3: STATIČEN POGLED ANIMACIJE TRNOVO 1.

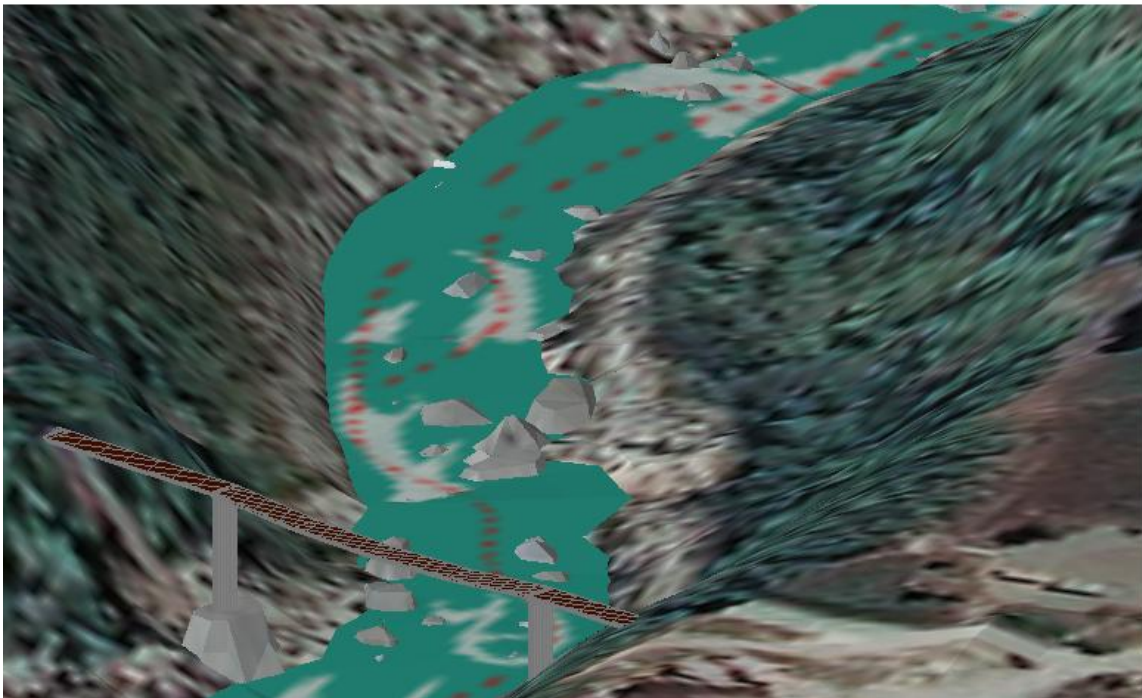


PRILOGA Č: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU $35 \text{ m}^3/\text{s}$ (MERILNA POSTAJA LOG ČEZSOŠKI).

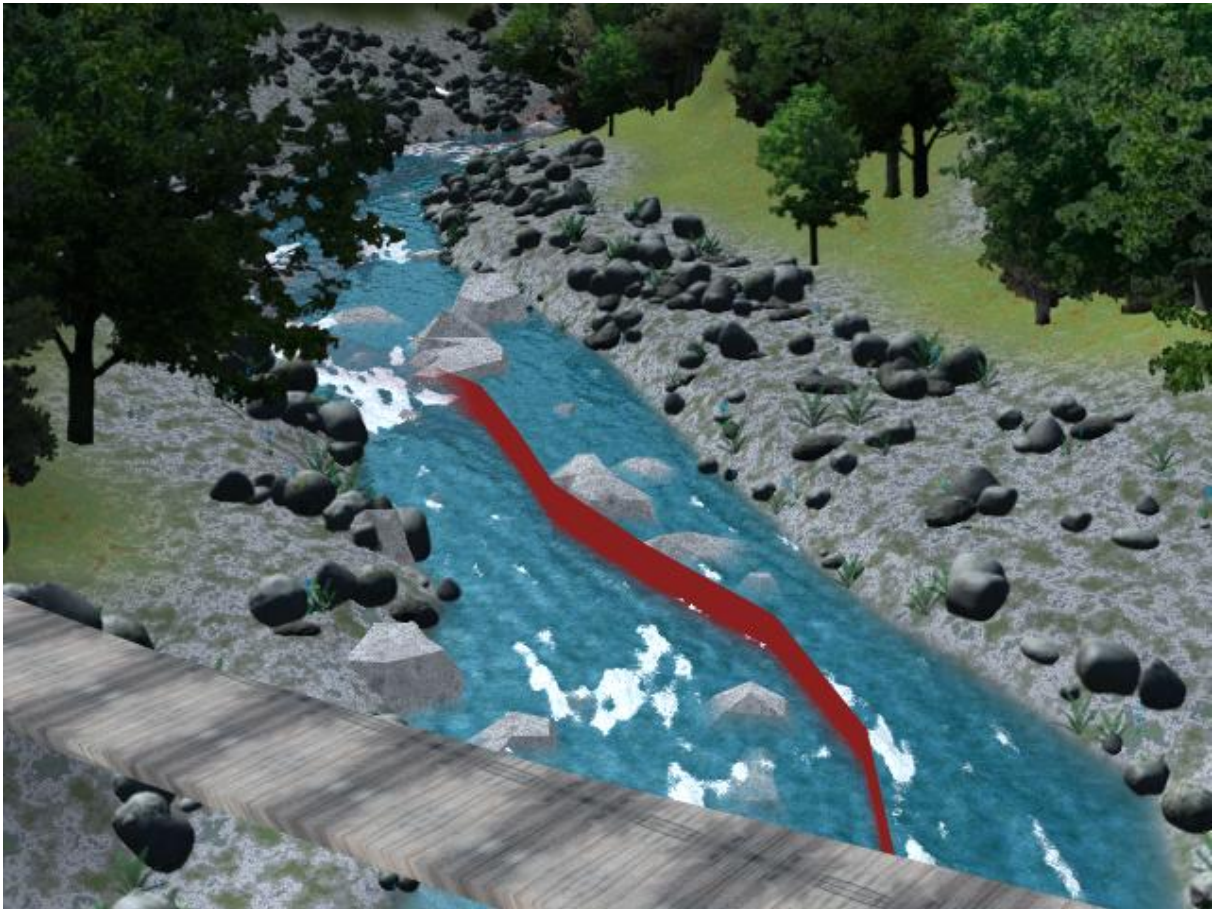
PRILOGA Č.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA Č.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA Č.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1.

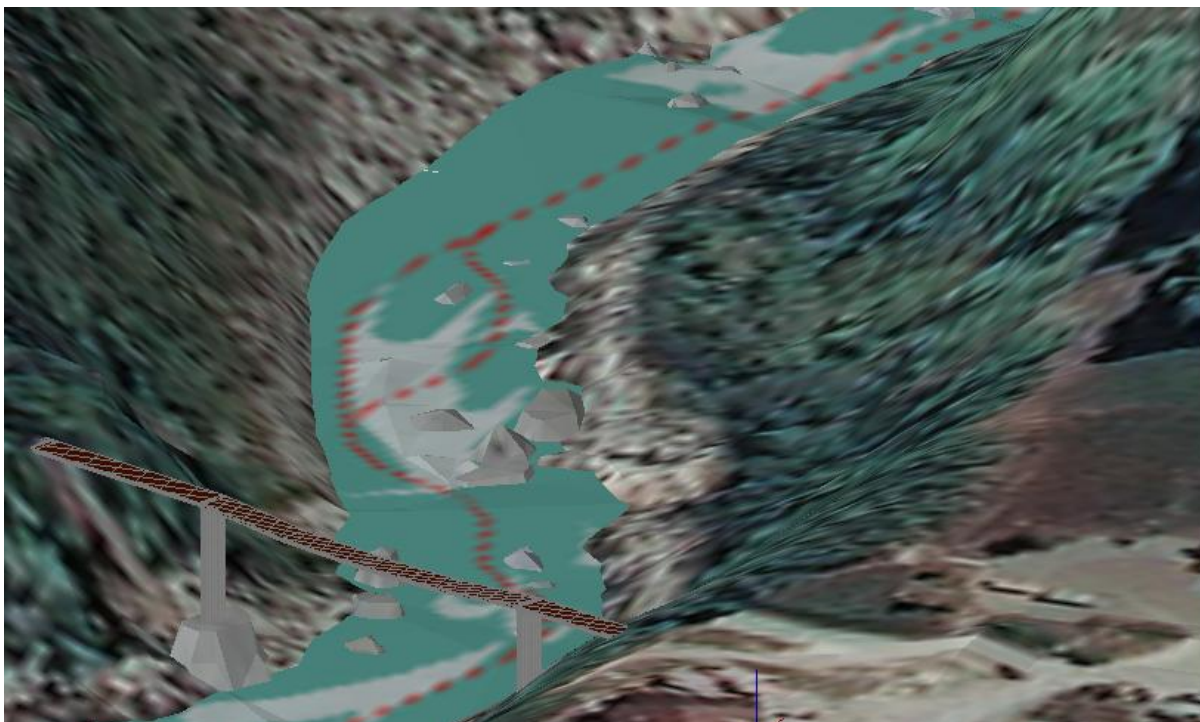


PRILOGA D: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU $45 \text{ m}^3/\text{s}$ (MERILNA POSTAJA LOG ČEZSOŠKI).

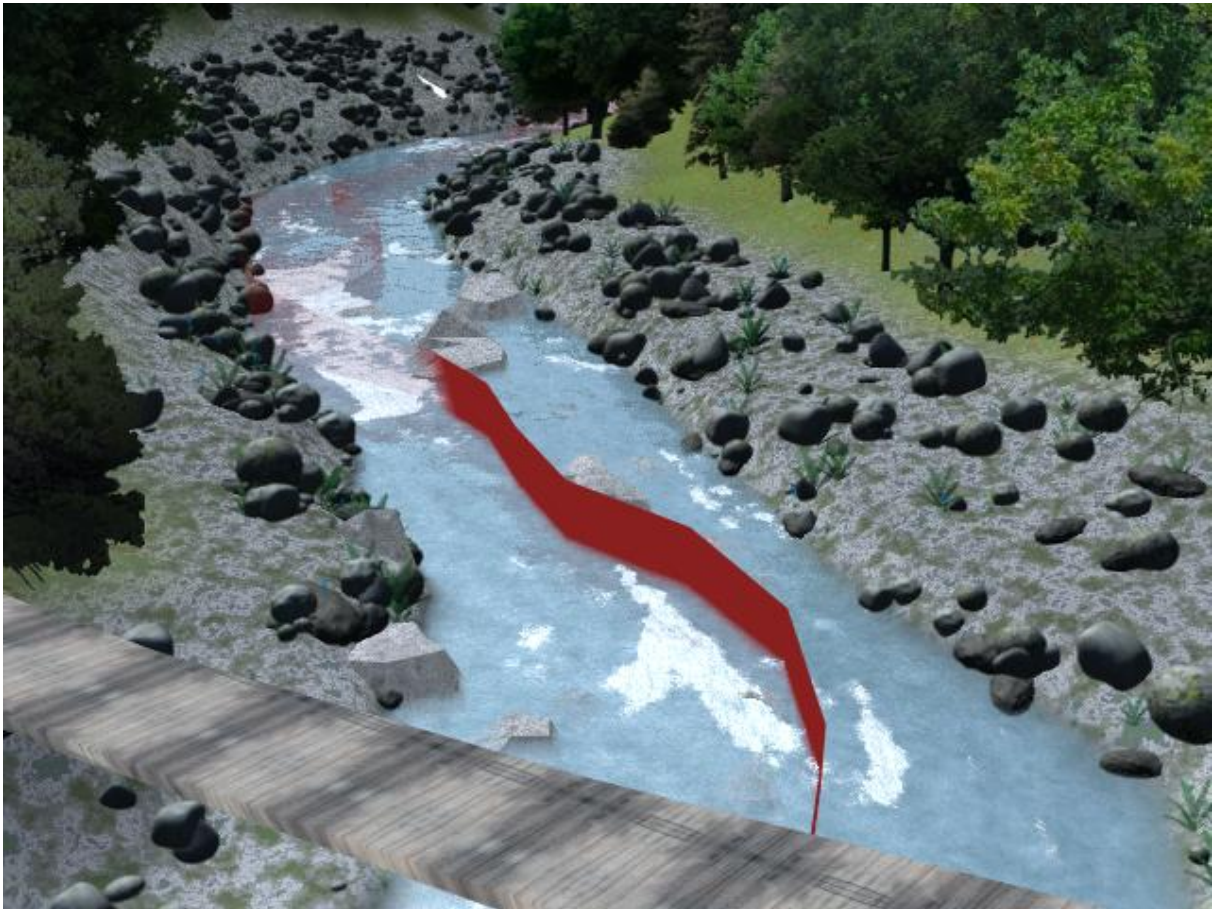
PRILOGA D.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA D.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1.

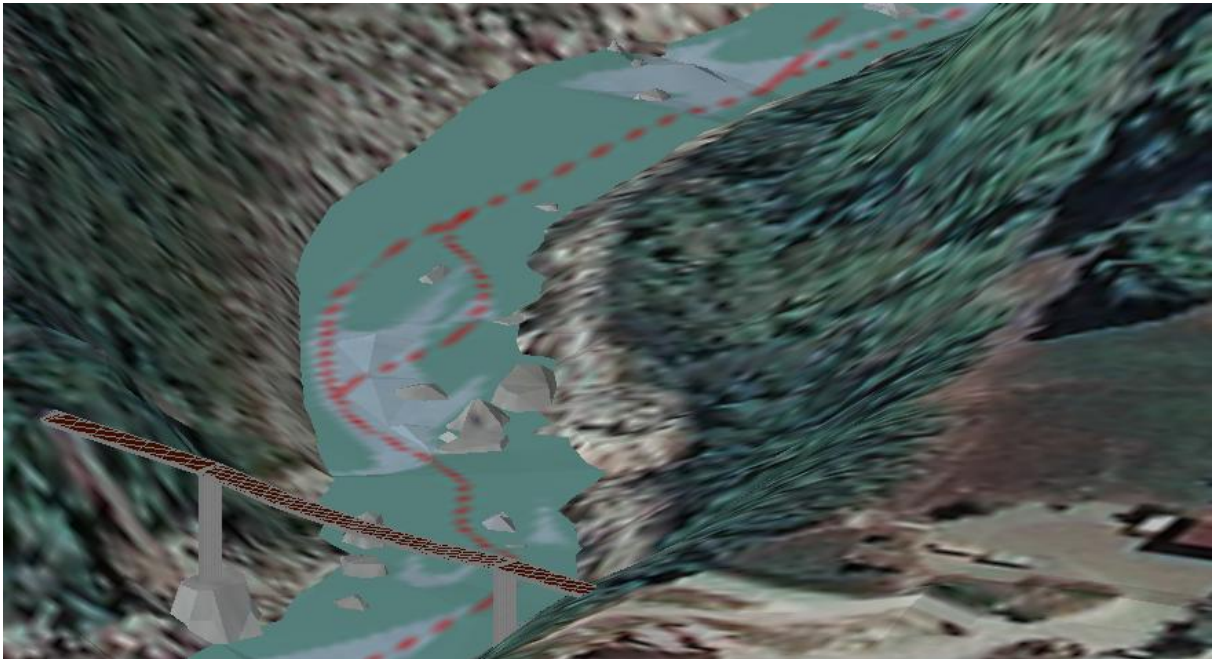


PRILOGA D.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA E: PRIKAZ STANJA REKE PRI PRETOKU 55 m³/s (MERILNA POSTAJA LOG ČEZSOŠKI).**PRILOGA E.1: FOTOGRAFIJA SOČA TRNOVO 1.**

PRILOGA E.2: STATIČEN POGLED MODELA SOČA TRNOVO 1.



PRILOGA E.3: STATIČEN POGLED IZBRANEGA KADRA ANIMACIJE SOČA TRNOVO 1.

