Geoportal d.o.o. Tehnološki park 21
1000 Ljubljana, Slovenija
T +386(0)1 620 33 20, F +386(0)1 620 33 29
E info@geoportal.si W www.geoportal.si

Tempos
okoljsko gradbeništvo

Številčna oznaka in vrste načrta. E/01 HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ANALIZA

SANACIJA KAMNITIH REČNIH OPORNIKOV JEKLENEGA MOSTA V KM 557+225, NA PROGI ŠT. 10 D.M. - DOBOVA - LJUBLJANA

Investitor. SŽ– Infrastruktura d.o.o.,
Kolodvorska 11,
1000Ljubljaira

Vrsta in številka projektne dokumentacije. IzN (izvedbeni načrt)
gp-pr-001/24

Številka, kraj in datum izdelave elaborata. 151/2024
Ljubljana, oktober 2025

Izdelovalec elaborata: Tempos, okoljsko gradbeništvo, d.o.o.,
Tehnološki park 21,
1000 Ljubljana

Tempos d.o.o.

Pooblaščeni inženir elaborata: Tilen Koranter, mag.inž.ok.grad., G-4771

TILEN KORANTER
mag.inž.ok.grad.
IZS PI G-4771

Status projektne dokumentacije. Za razpis

Številka izvoda. el. izvod

Zvezek. 1/1

SEZNAM SODELAVCEV

KAZALO VSEBINE PROJEKTA

	Sanacija kamnitih rečnih opornikov jeklenega mosta v km 557+225, na progi št. 10 d.m. - Dobova - Ljubljana	
0-2/01	Vodilni načrt - Načrt sanacije mostnih opornikov	gp-pr-001/24
2/02	Načrt vodnogospodarskih ureditev	150/2024
8/01	Geodetski načrt	SN-6-2024
E/01	Hidrološko hidravlična analiza	151/2024
E/02	Varnostni načrt	V.N. 256/24

KAZALO VSEBINE NAČRTA

Številka projektne dokumentacije	gp-pr-001/24
Vrsta dokumentacije	Projektna dokumentacija za izvedbo gradnje

Št.:	Dokument:	Id. oznaka:
1	Naslovna stran	S.1
2	Seznam sodelavcev	S.2
3	Kazalo vsebine projekta	S.3.1
4	Kazalo vsebine načrta	S.3.2
5	Tehnično poročilo	T.1

TEHNIČNO POROČILO

T.1 SPLOŠNI OPIS IN PROBLEMATIKA

Investitor načrtuje izvedbo sanacije kamnitih rečnih opornikov jeklenega železniškega mosta v km 557+225, na progi št. 10 d.m. - Dobova – Ljubljana, ki premešča strugo Ljubljanice. V strugo Ljubljanice so umeščeni trije mostni oporniki. Struga Ljubljanice je tik dolvodno pod mostnimi oporniki lokalno močno poglobljena, zaradi česar je potencialno ogrožena stabilnost opornikov. Vodnogospodarske ureditve na odseku so obravnavane v načrtu vodnogospodarskih ureditev 150/2024. Sanacija opornikov pa v načrtu sanacije mostnih opornikov gp-pr-001/24.

Namen tega elaborata je hidravlična analiza vpliva predvidenih ureditev na režim visokovodnih pretokov na tem odseku.

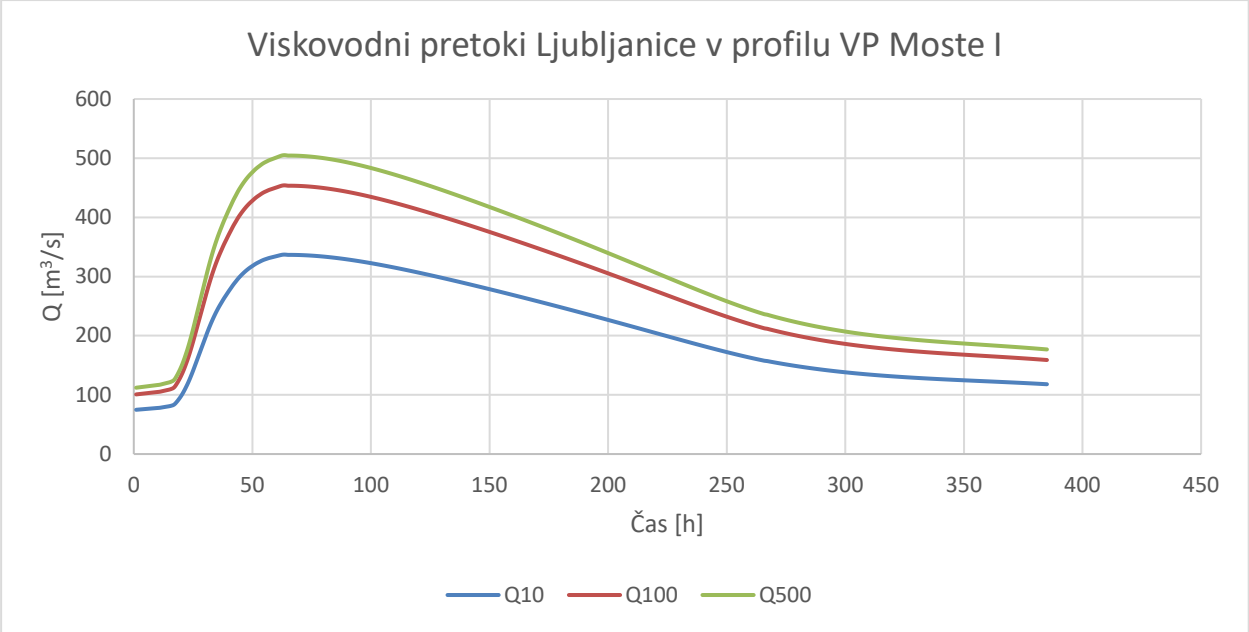
Obstoječe stanje poplavne nevarnosti na tem območju je bilo obravnavano v študiji: *Izdelava kart poplavne nevarnosti ter kart razredov poplavne nevarnosti za območje Ljubljanice od Fužin do izliva v Savo, št. B57-FR/10 (IZVO d.o.o., maj 2010).* Rezultati študije so javno objavljene karte poplavne nevarnosti (KPN in KRPN) na spletnem portalu eVode.

T.2 HIDROLOGIJA

Hidrološka izhodišča so bila povzeta iz hidrološkega poročila »*Visoke vode Ljubljanice na odseku od Fužin do izliva v Savo*«, ki povzema študijo »*Visokovodni valovi na prispevnem območju potokov Spodnjega in zgornjega Galjevca, Malence, Prošce, Ižice in Ljubljanice s povratno dobo 10, 100 in 500 let IZVO, d.o.o, 976-ba/09.*« Hidrološka izhodišča iz hidrološkega poročila so bila uporabljena v hidravlični študiji obstoječega stanja *B57-FR/10, IZVO, d.o.o., maj 2010.* Rezultat hidrološke študije so določene vrednosti in hidrogrami visokih voda Ljubljanice v profilu vodomerne postaje v.p. Moste:

$Q_2 = 274\ m^3/s$
$Q_{10} = 337\ m^3/s$
$Q_{50} = 426\ m^3/s$
$Q_{100} = 454\ m^3/s$
$Q_{500} = 505\ m^3/s$

Zgornje vrednosti in spodnji hidrogrami pri pretoku Q10 in Q100 so bili uporabljeni v hidravlični analizi v tem elaboratu.



T.3 HIDRAVLIČNA ANALIZA V HIDRAVLIČNEM MODELU

T.3.1 Geometrijski oz. geodetski podatki

Na 300 m odseku Ljubljanice na lokaciji mostu železnice so bili za izdelavo terena obstoječega stanja v hidravličnem modelu uporabljeni geodetski podatki iz geodetskega načrta tega projekta (8/01 Geodetski načrt) št. SN-6-2024. Izven tega odseka so bili uporabljeni podatki državnega LIDAR snemanja. Na območju struge izven območja geodetskega snemanja je bil LIDAR prilagojen geodetskim podatkom.

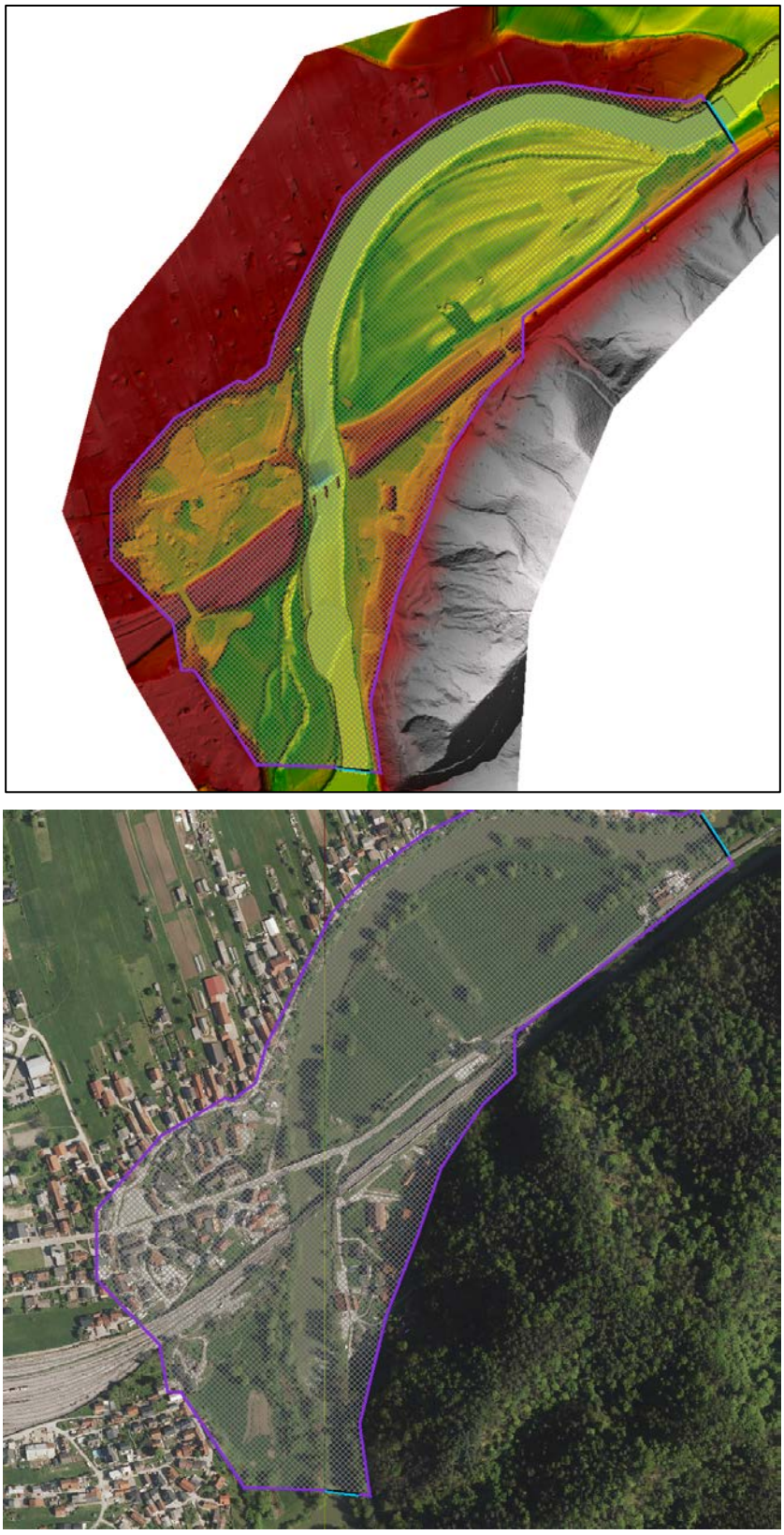
T.3.2 Hidravlični model

Izdelan je bil 2D hidravlični model v programu HEC-RAS 6.5. Območje struge in poplavno območje sta bila računana kot enotno območje znotraj dvodimenzionalnega modela.

<u>Obseg hidravličnega modela</u>

Hidravlični model obsega 1,3 km odsek Ljubljanice. Model je bil precej razširjen izven lokacije železniškega mostu, zato da smo v modelu zajeli vpliv širšega razlivanja visokih voda na tem območju. Zaradi majhnega padca struge na tem odseku je pomemben tudi vpliv spodnjega robnega pogoja, ki smo ga zmanjšali z večjim območjem obravnave.

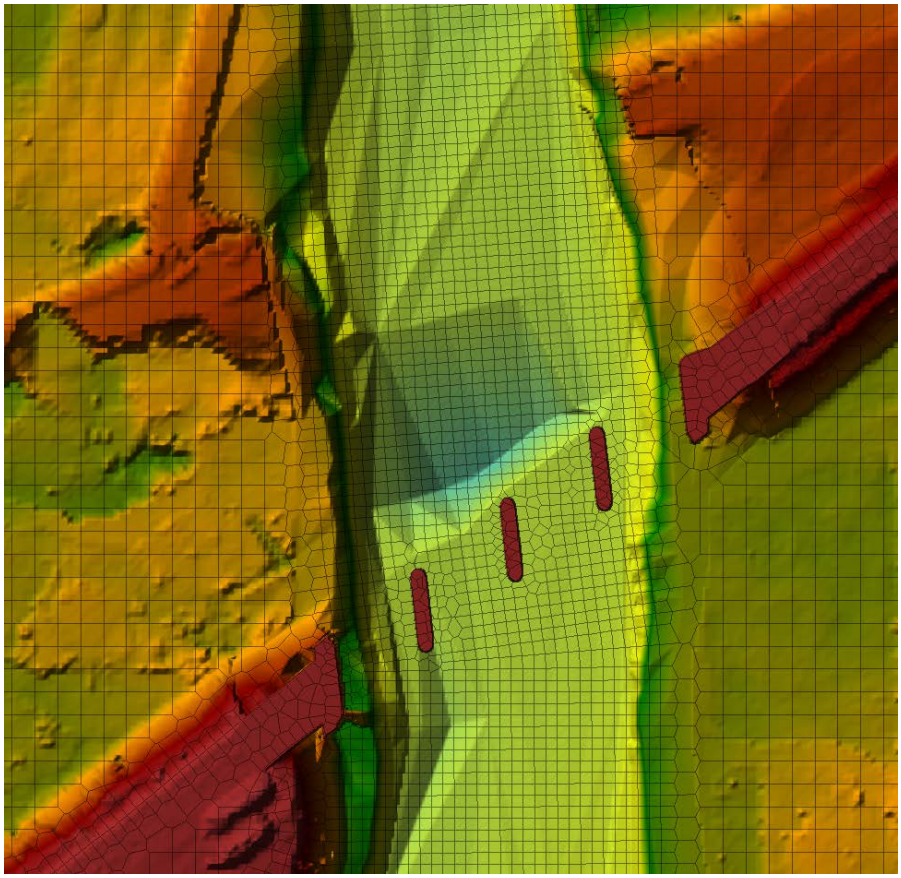
V hidravličnem modelu je bila po pripravi temeljne podlage (terena), določena osnovna računska mreža modela z celicami velikosti 4x4 m izven struge ter 2x2 m v strugi. Računsko območje hidravličnega modela je obsegalo cca 33000 celic.



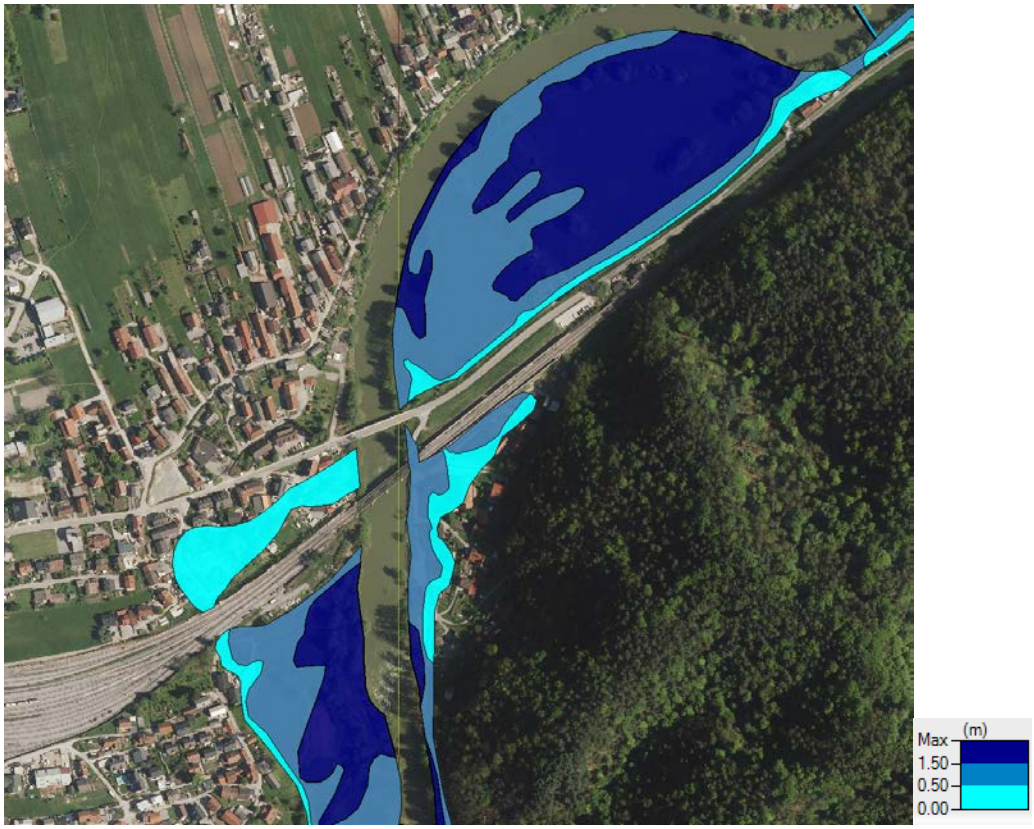
Slika 1: Obseg hidravličnega modela

T.3.3 Analiza obstoječega stanja

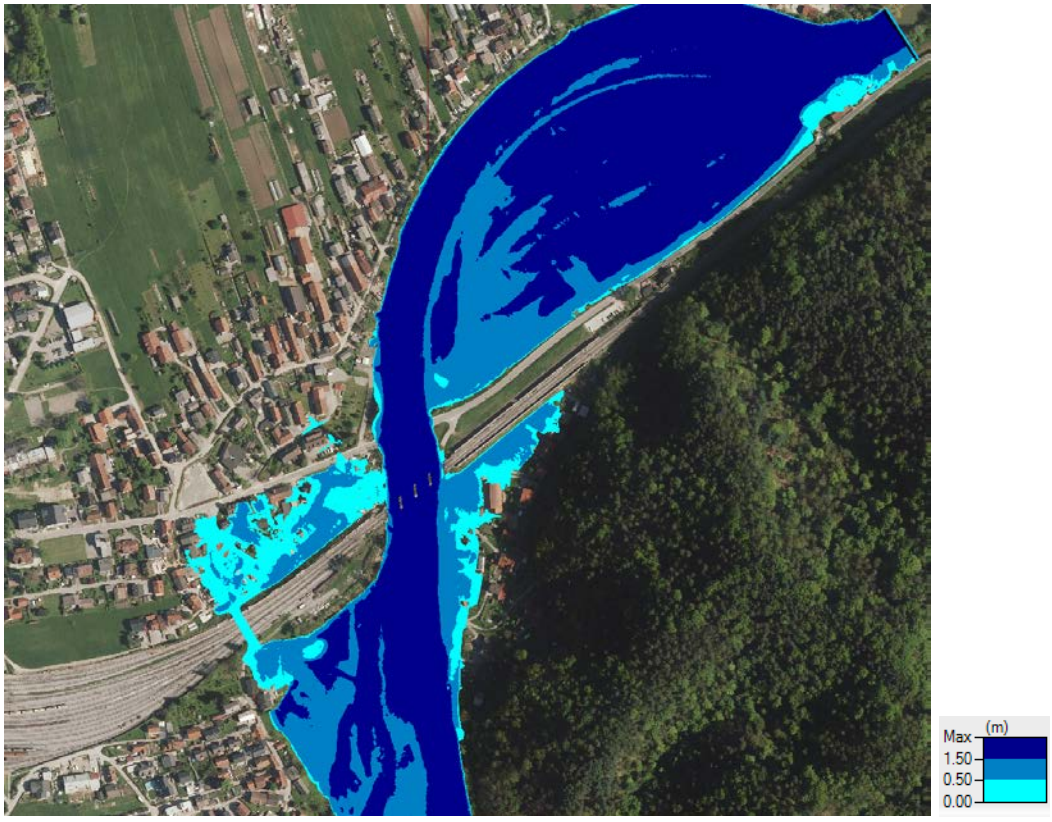
Hidravlični model obstoječega stanja je bil umerjen na rezultate hidravličnega modela iz študije *B57-FR/10 (IZVO d.o.o., maj 2010).* Umerjen hidravlični model je osnova za analizo predvidenega stanja in omogoča primerjavo med predvidenim in obstoječim stanjem. Model je bil umerjen s spreminjanjem Manningovega koeficienta hrapavosti (končni n_g za strugo = 0,036). Iz slike 3 in 4 se vidi dobro ujemanje rezultatov modela obstoječega stanja z rezultati pretekle študije. Na slikah so prikazane globine pri pretoku Q100 za obstoječe in predvideno stanje.



Slika 2: Teren obstoječega stanja na lokaciji železniškega mostu, kjer so upoštevani mostni oporniki ter poglobitev tik dolvodno pod mostnimi oporniki



Slika 3: Globine pri pretoku Q100 v obstoječem stanju, KPN iz študije B57-FR/10 (IZVO d.o.o., maj 2010)



Slika 4: Globine pri pretoku Q100 v obstoječem stanju, rezultat hidravličnega modela obst stanja

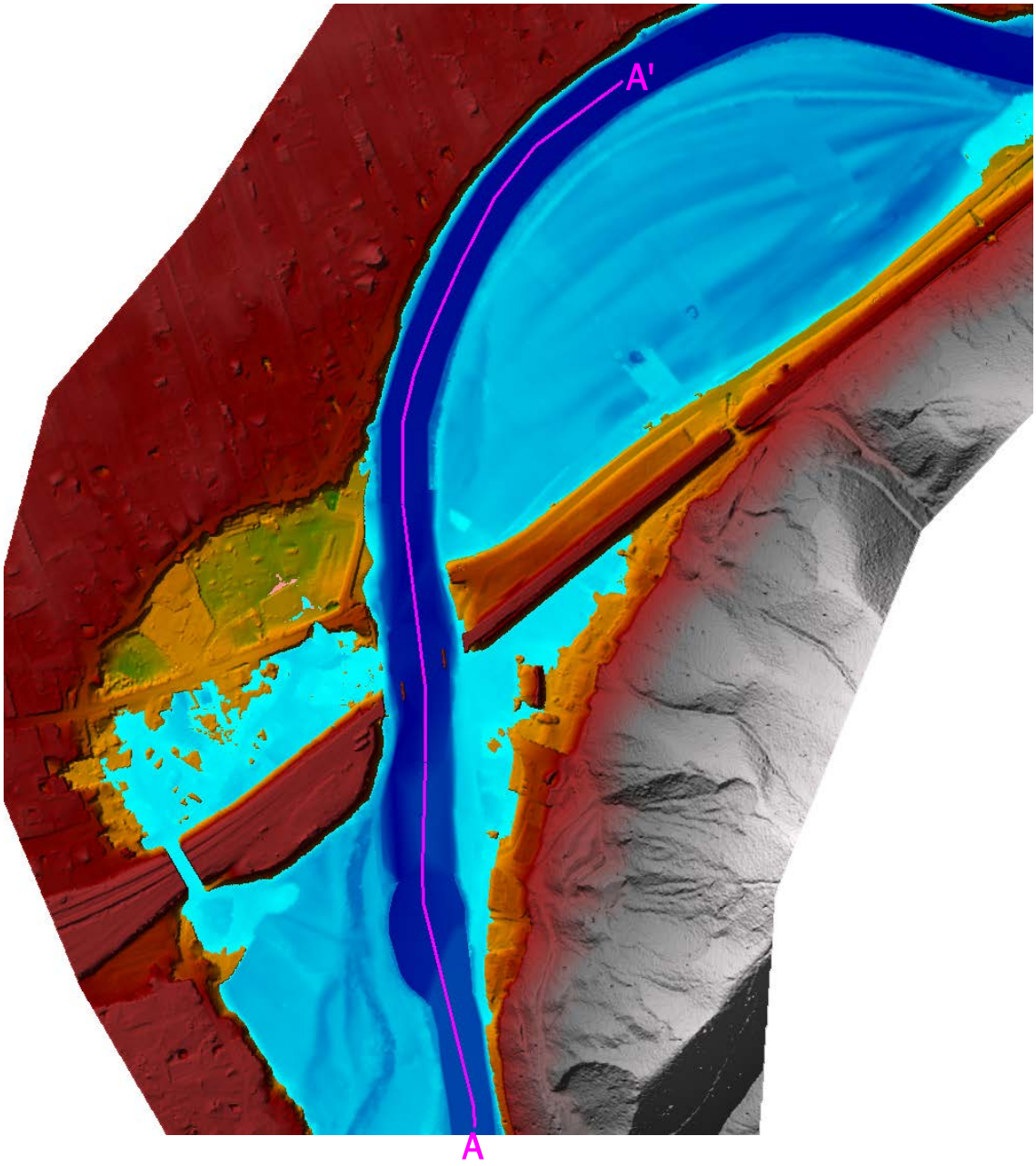
T.3.4 Analiza predvidenega stanja

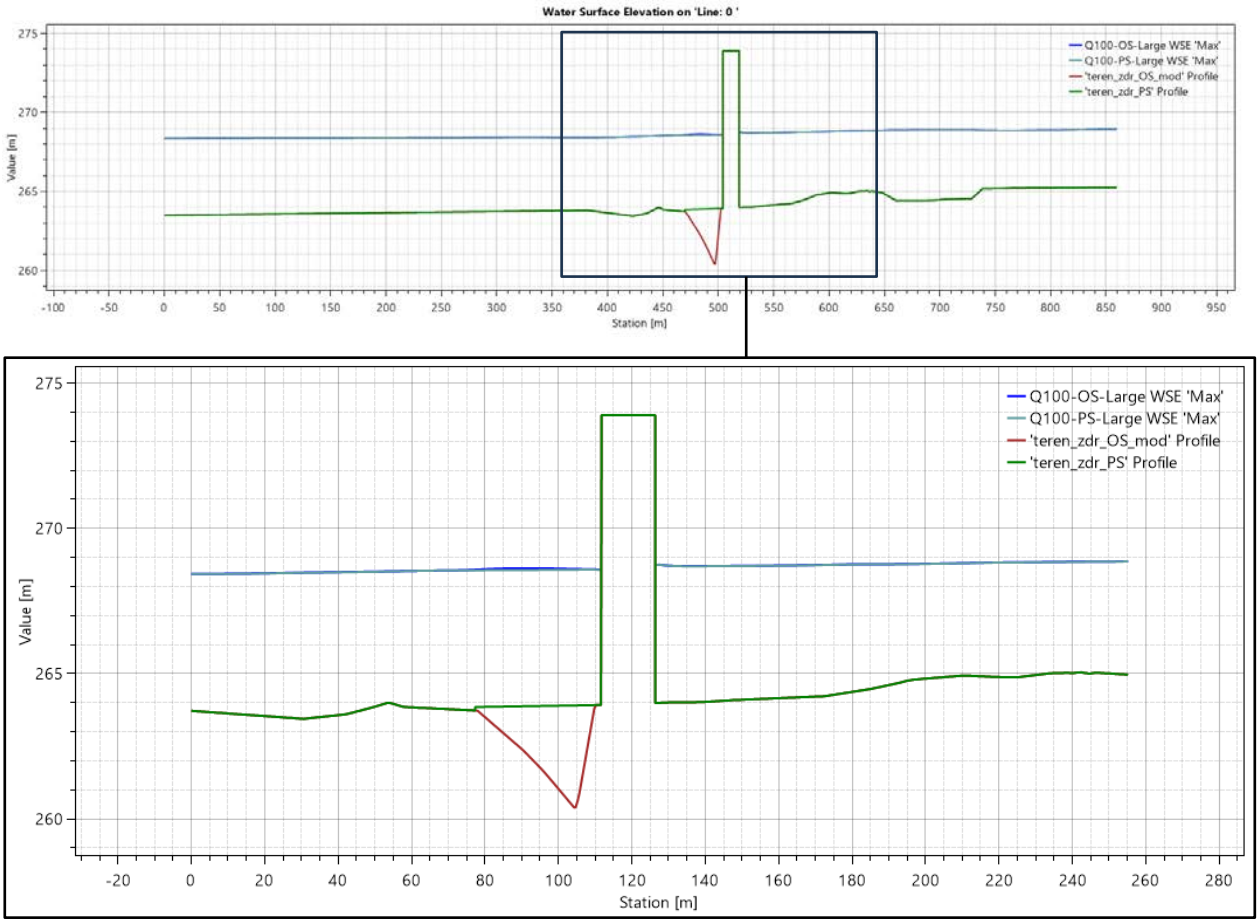
T.3.4.1 Opis predvidenega stanja

Načrt vodnogospodarskih ureditev (VGU) zajema potrebne posege za izboljšanje generalne stabilnosti nivelete dna struge Ljubljanice na odseku ob obstoječih mostnih opornikih. VGU so predvidene na 65 m odseku gorvodno in dolvodno od železniškega mostu. V sklopu ureditev je predviden začasni zasip območja poglobitve. Predvidena je vgradnja zagatne stene dolvodno od mostnih opornikov in tlakovanje dna s kamnom v betonu na območju ob opornikih. Dolvodno od zagatne stene bo omogočeno da reka ponovno formira tolmun. Tlakovanje dna se izvede do obstoječih brežin, ki se jih na posameznih odsekih zavaruje z zložbo iz kamna v suho. Na odseku desne brežine med vzhodnim mostnim opornikom in obstoječo lokalno cesto, ki poteka pod mostom, se brežino zavaruje do vrha (do roba ceste). Predvidene ureditve so načrtovane tako, da sledijo obstoječim potekom dna in brežin struge. Po izvedenih ukrepih zavarovanj se brežine zasadi z avtohtono vegetacijo, da se stanje po izvedenih ukrepih približa obstoječemu stanju.

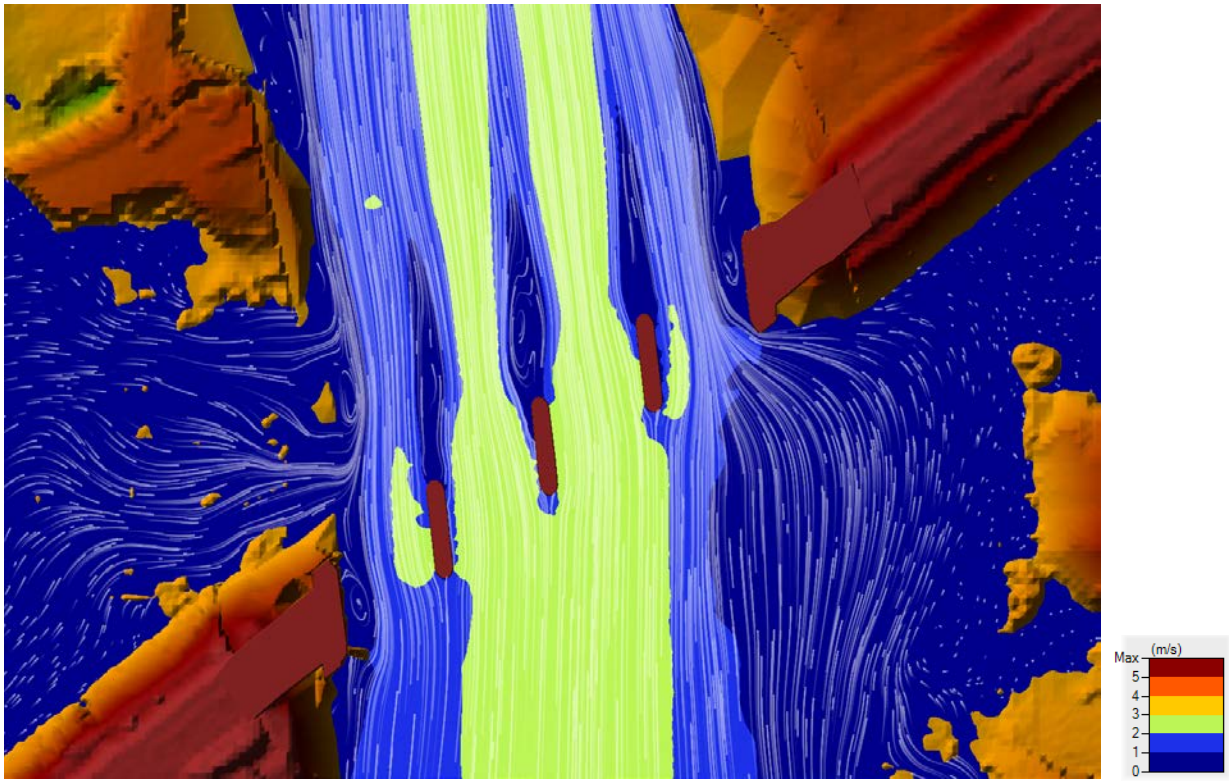
T.3.5 Rezultati hidravličnega modela predvidenega stanja

V hidravličnem modelu predvidenega stanja so bile upoštevane spremembe terena, upoštevano je bilo stanje tik po gradnji, ko reka še ne formira novega tolmuna, torej najbolj nasprotno stanje obstoječemu (hidravlične lastnosti po vzpostavitvi novega tolmuna bodo podobne obstoječmu stanju). Upoštevana je zapolnitev poglobitve in vzpostavitev zvezne navezave poteka nivelete dna struge na območju urejanja. Hidravlična analiza je pokazala, da predvideni posegi nimajo vpliva na spremembo gladinskega stanja pri visokovodnih pretokih na obravnavanem območju. Spodaj je prikazana tudi primerjava med hitrostnimi polji na ožjem območju ob mostnih opornikih in na lokaciji zasute poglobitve. Zaradi zasutja poglobitve pride do lokalne spremembe v hitrostnem polju, niso pa spremembe bistvene in se ne rezultirajo v spremembi gladin na območju. Sprememba v gladini je zgolj lokalna v profilu zasute poglobitve, kjer se gladina v predvidenem stanju zaradi višjih hitrosti zmanjša v rangu 5 cm glede na obstoječe stanje. Gorvodno od mostu sprememb v gladini ni. Posegi nimajo vpliva na obstoječe karte poplavne nevarnosti na tem območju.

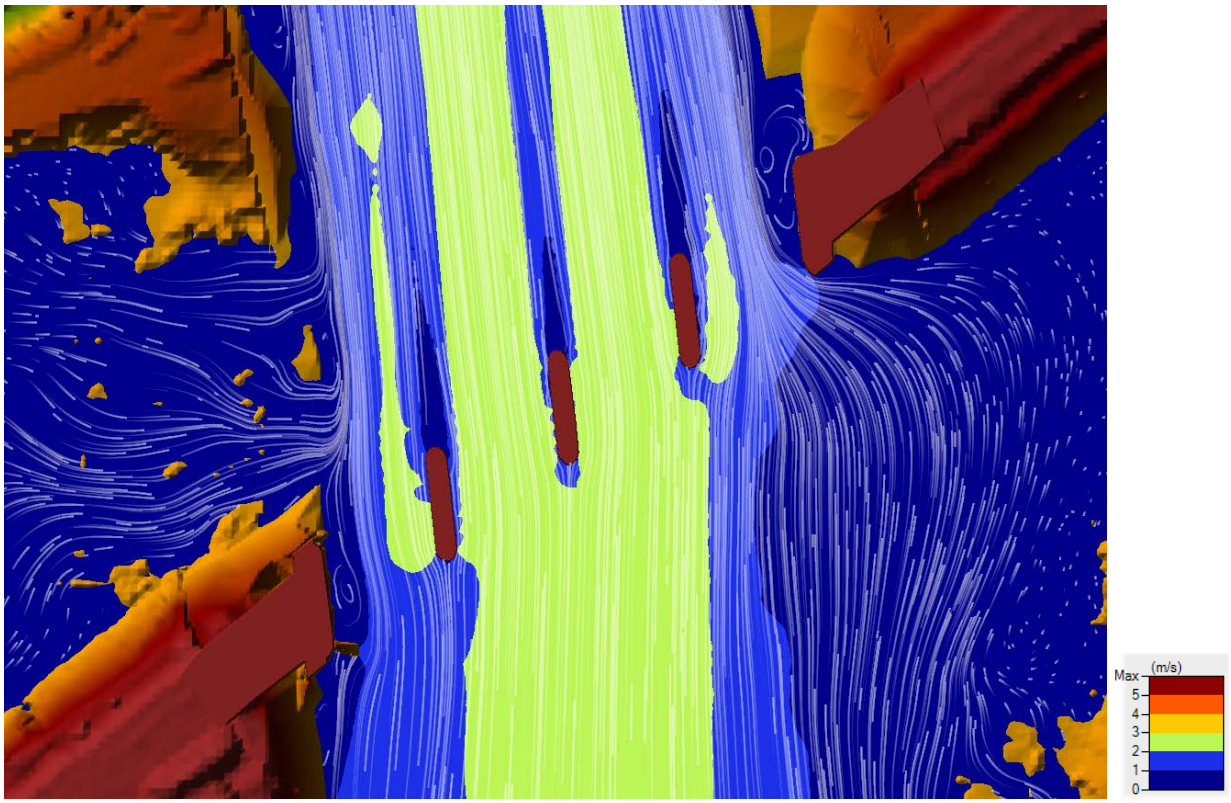

A'
A



Slika 5: Vzdolžni prerez po osi struge A-A' (rdeče- območje poglobitve, temno modro – gladina Q100 obstoječe stanje, svetlo modro – gladina Q100 predvideno stanje)



Slika 6: Polje hitrosti in tokovnice pri pretoku Q100 – obstoječe stanje

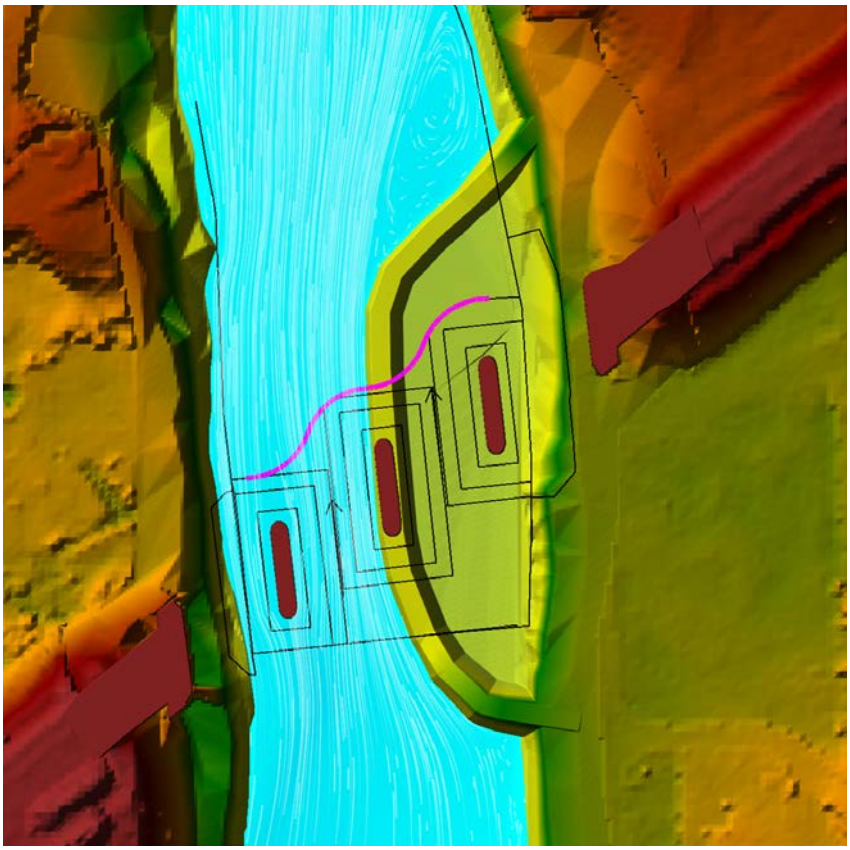


Slika 7: Polje hitrosti in tokovnice pri pretoku Q100 – predvideno stanje

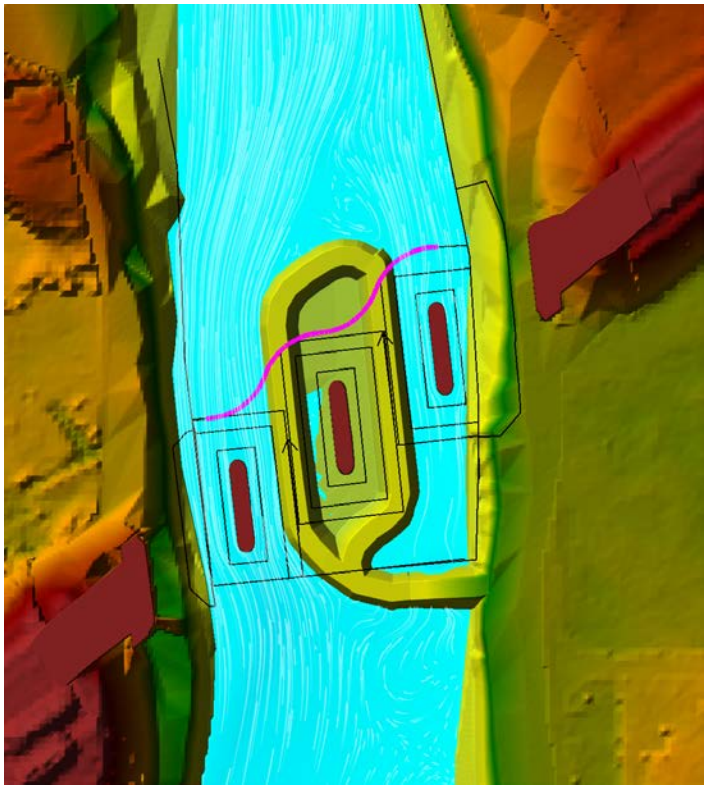
T.3.6 Čas gradnje

Posegi v času gradnje in faznost gradnje so podrobno opisane in prikazane v načrtu VGU. Faznost gradnje se generalno loči na tri posamezne faze. Namen hidravlične analize je bila določitev višin preusmeritvenih nasipov za potrebe gradnje v posamezni fazi. Izdelana je tudi analiza vpliva posamezne faze (preusmeritvenih nasipov) na morebitno poslabšanje poplavne nevarnosti na širšem območju ob pojavu izredno visokih voda v času gradnje.
Predpostavljeno je, da se bodo dela izvajala v poletnem času, v obdobju od junija do avgusta, torej v času nižjih pretokov Ljubljanice. Za načrtovanje potrebne višine nasipov je bil uporabljen pretok 56 m^3/s , ki predstavlja vQs – največji srednji pretok Lubljanice v obdobju od junija do avgusta za vodometno postajo Moste I na Ljubljanici.

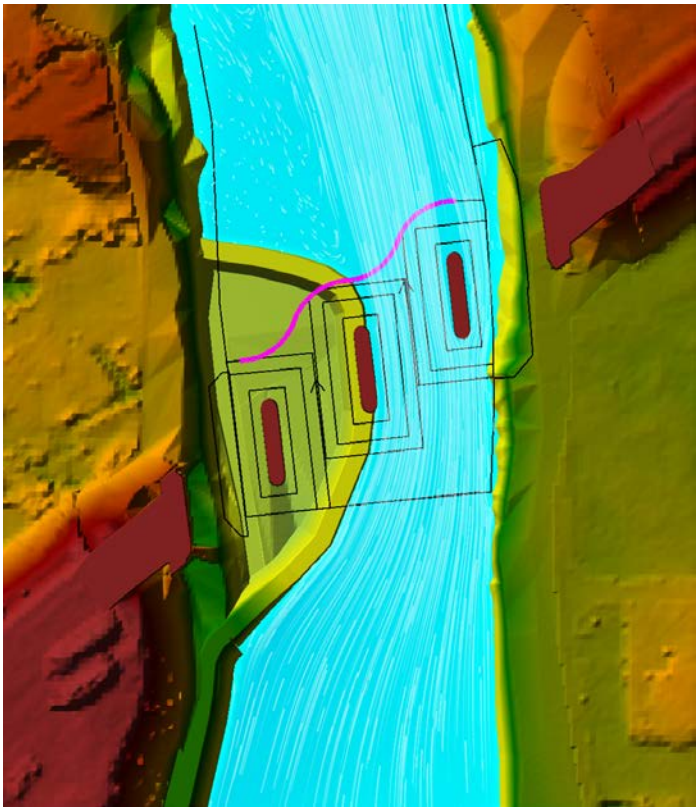
Za vse faze je bilo preverjeno, da pri Q10 in Q100 nimajo bistvenega vpliva na morebitno poslabšanje poplavne nevarnosti na širšem območju v primeru preplavitve nasipov v času gradnje.



Slika 8: Gladine in tokovnice pri pretoku 56 m^3/s v času 1. faze gradnje



Slika 9: Gladine in tokovnice pri pretoku 56 m³/s v času 2. faze gradnje



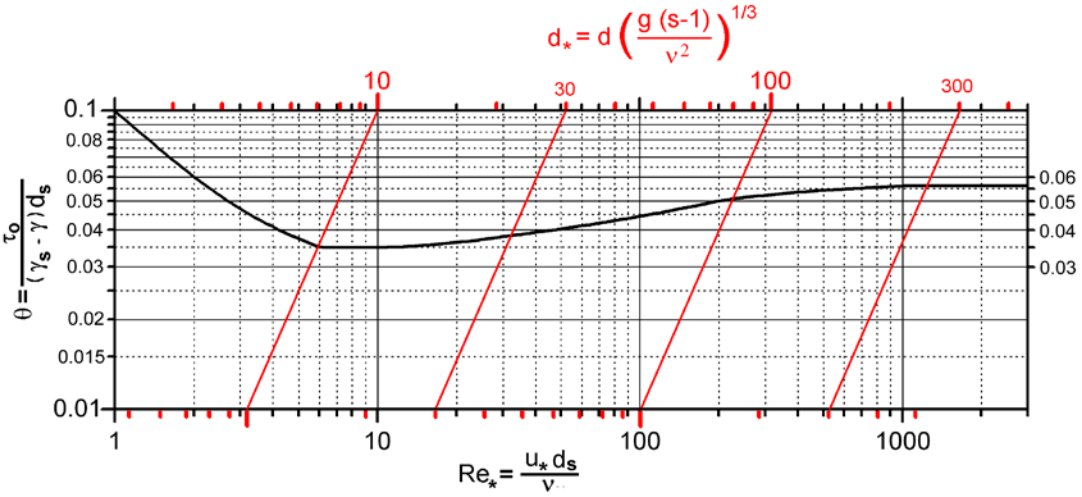
Slika 10: Gladine in tokovnice pri pretoku 56 m³/s v času 3. faze gradnje (zeleno - nova dovozna cesta ob levi brežini za 3. fazo)

T.4 HIDRAVLIČNI IZRAČUNI

T.4.1 Izračun velikosti kamnov za tlakovanje in zavarovanje brežin

T.4.1.1 Vhodni podatki za izračun

V praksi se pojavljajo različni pristopi za dimenzioniranje dna struge oz. obrežnih zavarovanj. Večina izračunov je vezanih na Shieldsov parameter, ki se ga odčita iz spodnjega nomograma.



Slika 10: Nomogram za odčitanje Shieldsovega brezdimenzijskega parametra

V nadaljevanju pa še tabela s predlogi vrednosti Shieldsovega parametra različnih avtorjev.

Preglednica 1: Vrednosti Shieldsovega parametra za potrebe izračuna d_{50}

Author	F* based on use of d_{50}
Meyer-Peter & Muller [1]	0.047
Meyer-Peter & Muller [2]	0.071 [3]
E.W. Lane	0.075 [3, 4]
Shields	0.063 [4]
Newbury & Gaboury	0.063 [4]
McLauchlin Engineers	0.091
Chow & Henderson	0.072 [3, 4]

Vhodni podatki za izračun zrna/kamenja d_{50} obrežnega zavarovanja (povzeti po rezultatih modela in literaturi):

F (Shieldsov parameter) = 0,063 (-)

S_r (spec. teža kamenja) = 2,6 (relative density of rock - limestone)

V (hitrost) = 2,6 m/s

g (gravitacijski pospešek) = 9,81 m/s^2

S_e (padec energijske linije) = 0,001 (m/m)

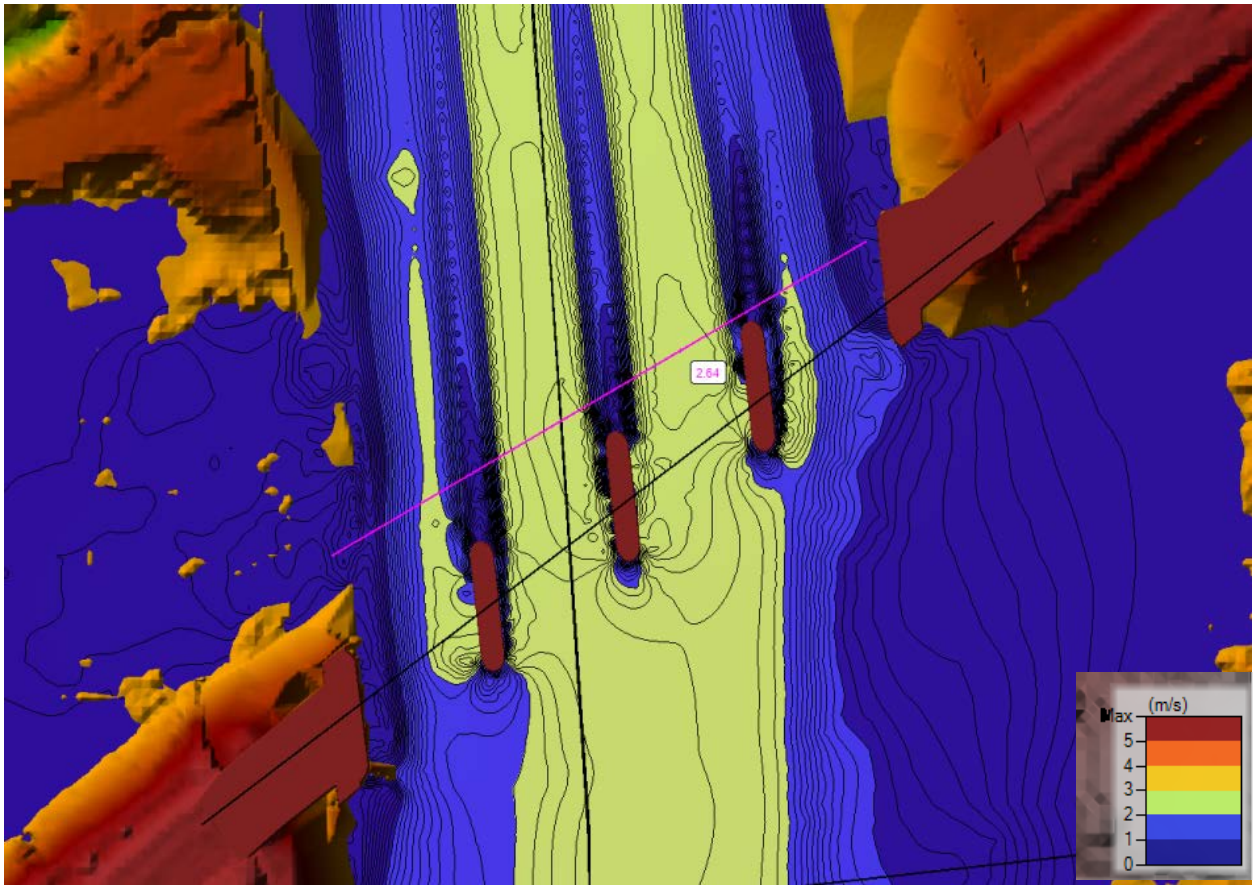
R (hidravlični radij)= 2 m

T (strižna napetost v strugi) = 53 N/m2

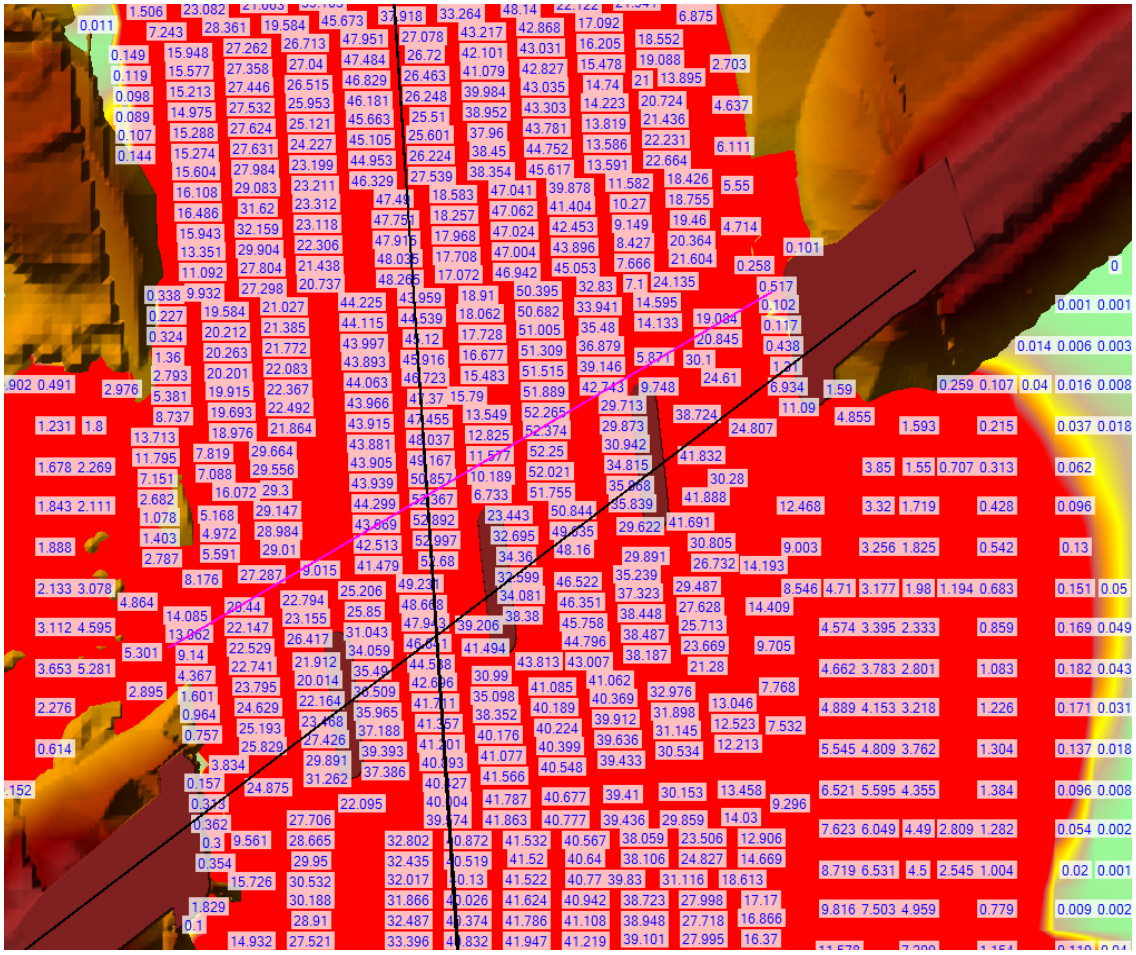
SF (varnostni faktor) = 1,2

ρ_w = 1000kg/m^3

K = 0,86



Slika 11: Hitrosti vode pri Q100 na območju opornikov mostu v predvidenem stanju



Slika 12: Rezultat modela – strižne napetosti na območju predvidenega zavarovanja

T.4.1.2 Različne metode izračuna d_{50}:

a.) Izračun d50 za struge z majhnim padcem na podlagi kritične strižne sile:

$$d_{50} = \frac{SF.R.S_e}{F*(s_r - 1)}$$ (Catchments & Creeks Pty Ltd, version 1, July 2011)

Rezultat: d_{50} = 0,024m

b.) Izračun d50 za struge z majhnim padcem na podlagi kritične strižne sile:

$$d_{50} = \frac{V^2}{2.g.K^2.(s_r - 1)}$$ (Catchments & Creeks Pty Ltd, version 1, July 2011)

Rezultat: d_{50} = 0,25m

c.) Shieldsova enačba (L.W. Mays, 2005)

$$\tau_c = (0.063)\rho_w.g.d_{50}(s_r - 1)$$

Rezultat: d_{50} = 0,05m

Komentar rezultatov:

Izračuni minimalnega potrebnega zrna d_{50} pokažejo na relativno majhne erozijske obremenitve struge na območju obravnave. Maksimalno izračunano zrno d_{50} oz. velikost kamenja v zavarovanju je 0,25m, kar je manj kot se običajno uporablja za izvedbo zavarovanja Kljub izračunom je smiselno, da se izvede obrežno zavarovanje in tlakovanje tega odseka struge z skalami večjih dimenzij tudi zaradi možnih lokalnih višjih hitrosti zaradi oblivanja mostnih opornikov ter zaradi tega, ker je v preteklosti že prišlo do erodiranja dna struge, kar je bil tudi povod za izdelavo tega projekta. Predlagana je izvedba zavarovanja s skalami velikosti 40-80cm, rege zavarovanja brežin naj se zapolni z materialom drobnih frakcij.