

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*



Univerzitetni študij vodarstva in
komunalnega inženirstva

Kandidatka:

Sara Potočnik

Hidravlična preveritev načrtovanih zadrževalnikov na Vzhodni Ložnici

Diplomska naloga št.: 157

Mentor:
prof. dr. Matjaž Četina

Somentor:
asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 2010

Stran za popravke

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **SARA POTOČNIK** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
**»HIDRAVLIČNA PREVERITEV NAČRTOVANIH ZADRŽEVALNIKOV NA
VZHODNI LOŽNICI «.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 6.12.2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE:

Nalogo so si ogledali učitelji študija Vodarstva in komunalnega inženirstva:

Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček

UDK:	556.536:627.51(043.2)
Avtor:	Sara Potočnik
Mentor:	prof. dr. Matjaž Četina
Somentor:	asist. dr. Mario Krzyk
Naslov:	Hidravlična preveritev načrtovanih zadrževalnikov na Vzhodni Ložnici
Obseg in oprema:	47 str., 4 pregl., 9 sl., 3 en.
Ključne besede:	poplave, poplavna področja, dvodimenzijski matematični model, poplavna varnost, poplavni val, porušitveni val, reka Vzhodna Ložnica, zadrževalnik Začret, pregrada Za Travnikom

IZVLEČEK

V diplomski nalogi so podani rezultati simulacij dvodimenzijskega matematičnega modeliranja toka Vzhodne Ložnice v Začretu pri Celju. Dvodimenzijski izračuni so bili izvedeni s programskim orodjem PCFLOW2D, razvitim na Katedri za mehaniko tekočin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Cilj diplomske naloge je bila ocena in primerjava poplavne varnosti ob nastopu dveh različnih poplavnih dogodkov tako v sedanjem stanju kot v projektiranem stanju, ki predvideva regulacijo V. Ložnice in izgradnjo dveh suhih zadrževalnikov na V. Ložnici - Začret in Ljubečna. V računskih primerih za projektirano stanje smo obravnavali pojav stoletnih poplavnih pretokov ob štiriurnem nalivu ter kombinacijo poplavnega in porušitvenega vala, ki bi nastopil ob morebitni delni porušitvi pregrade deponije Za Travnikom. Za projektirano stanje smo želeli preveriti zadostnost kapacitete zadrževalnika Začret v primeru delne porušitve pregrade Za Travnikom v času nastopa maksimalnih stoletnih poplavnih voda. Izračunane pretoke in gladine vode smo primerjali z rezultati za sedanje stanje.

Bibliographic – Documentalistic information

UDC:	556.536:627.51(043.2)
Author:	Sara Potočnik
Supervisor:	Prof. Matjaž Četina, Ph. D.
Co-supervisor:	Mario Krzyk, Ph. D.
Title:	Hydraulic Verification of the Flood Reservoirs on the East Ložnica River
Notes:	47 p., 4 tab., 9 fig., 3 eq.
Key words:	floods, flood plains, two dimensional mathematical model, flood safety, flood wave, dam-break wave, the East Ložnica River, reservoir »Začret«, dam »Za Travnikom«

ABSTRACT

In the diploma work results of a two-dimensional mathematical modelling of the East Ložnica River in Začret near the town of Celje are presented. Two-dimensional calculations were performed with the software tool PCFLOW2D, developed at the Chair of Fluid Mechanics of the Faculty of Civil and Geodetic Engineering of the University of Ljubljana. The aim of the work was an assessment and comparison of flood safety for two different flood events in the present and designed situation which includes the regulation of the East Ložnica River and construction of two reservoirs on the East Ložnica River – Začret and Ljubečna. Numerical computations for the designed situation were made for a flood wave caused by a 4-hours rain with 100 years peak discharges and for combination of the flood wave and a dam break wave, which could occur after the dam break of the dam »Za Travnikom«. We wanted to verify the capacity of the reservoir »Začret« in the case if partial dam break of the dam »Za Travnikom« occurs at the moment when the maximum natural flood with 100 years peak discharge is already present. Computed discharges and water surface elevations were compared with the results for the present situation.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Četini in somentorju dr. Mariu Krzyku. Posebno se zahvaljujem ga. Majdi Zakrajšek za vse usmeritve in pomoč pri izdelavi te naloge.

Najlepša hvala mama in oče, ker sta mi omogočila študij ter me vsa leta tudi drugače podpirala. Hvala tudi vsem ostalim družinskim članom ter vsem, ki ste kakorkoli pripomogli k nastanku tega diplomskega dela.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	OPIS PROBLEMATIKE - POPLAVNE RAZMERE NA OBMOČJU CELJA	3
2.1	Vzroki poplavne ogroženosti Celja	3
2.2	Poplave v preteklosti in tedanji ukrepi	4
2.3	Predvidene rešitve za zagotavljanje poplavne varnosti Celja	6
2.4	Protipoplavni ukrepi v dolini V. Ložnice do vzhodnega celjskega priključka na avtocesto	7
2.5	Preveritev zadostnosti predvidenih ukrepov za zagotavljanje poplavne varnosti v primeru porušitve pregrade Za Travnikom	14
3	OPIS MATEMATIČNEGA MODELA	17
3.1	Osnovne enačbe	17
3.2	Metoda reševanja	18
3.3	Začetni in robni pogoji.....	19
4	PODATKI	21
4.1	Geometrijski podatki	21
4.2	Hidrološki podatki	22
4.3	Hidravlični podatki	23
5	OPIS RAČUNSKIH PRIMEROV	26
5.1	Računi za sedanje stanje.....	26
5.2	Računi za projektirano stanje.....	27

6	REZULTATI.....	29
6.1	Rezultati izračunov hidravličnih posledic obeh poplavnih dogodkov za obstoječe stanje	29
6.2	Rezultati izračunov hidravličnih posledic obeh poplavnih dogodkov za projektirano stanje	33
6.3	Primerjava ogroženosti za oba poplavna primera v sedanjem in projektiranem stanju.....	41
7	ZAKLJUČKI.....	43
	VIRI.....	45
	PRILOGE	

KAZALO SLIK

Slika 1: Mostna konstrukcija na novi strugi V. Ložnice	9
Slika 2: Stoletni hidrogrami pretokov ob štiriurnem nalivu	23
Slika 3: Hidrogram porušitvenega vodnega vala	24
Slika 4: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 1	30
Slika 5: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 2	31
Slika 6: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 3	34
Slika 7: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 4	36
Slika 8: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 5	37
Slika 9: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 6	38

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Dejanske visoke vode s povratno dobo 10, 100, 500 in 5000 let, visoke vode z vplivom zadrževalnika Začret s kontroliranim iztokom na 57,3 m ³ /s in razlika maksimalnih pretokov	12
Preglednica 2: Dejanske visoke vode s povratno dobo 10, 100, 500 in 5000 let, visoke vode z vplivom zadrževalnika Ljubečna in Začret in razlika maksimalnih pretokov	13
Preglednica 3: Maksimalne kote vode v prečnih profilih na lokacijah objektov oz. maksimalne globine vode na lokacijah objektov za oba računski primera – sedanje stanje ..	32
Preglednica 4: Maksimalne kote vode v prečnih profilih na lokacijah objektov oz. maksimalne globine vode na lokacijah objektov za vse računske primere – projektirano stanje	39

1 UVOD

Temeljni vzrok za poplave v Sloveniji so obilne in intenzivne padavine, ki jih druge naravne danosti, kot je relief, lahko še stopnjujejo. Človeška dejavnost prispeva k povečanju verjetnosti pojava poplav in njihovih škodljivih posledic. Obseg in pogostost poplav se bosta v prihodnosti verjetno povečala zaradi podnebnih sprememb in neprimerne upravljanja povodij, večji obseg škode pa bo v veliki meri tudi posledica gradnje na poplavno ogroženih območjih.

Manjše poplave se na posameznih predelih vodnih območij dogajajo skoraj vsako leto. Dokaj pogoste pa so tudi večje poplave, ki ogrožajo doline rek in potokov tako v goratem in hribovitem svetu, kot tudi v ravninskem predelu. Poplavno ogroženih je v Sloveniji preko 3000 km² (15%) površin. Od tega je 940 km² takih, na katerih lahko pričakujemo poplave večjih razsežnosti. Med najbolj poplavno ogroženimi območji v Sloveniji je prav gotovo Spodnja Savinjska dolina (Metelko Skutnik, 2004).

Ukrepe za zaščito pred poplavami lahko razdelimo, glede na način delovanja, na:

- Aktivne, s katerimi vplivamo na obliko in naravo pojava, zmanjšujemo velikost in trajanje poplavnega vala (akumulacije, pogozdovanje,...). Ti ukrepi zmanjšujejo naravno nevarnost in vplivajo na naravne procese, katerih razsežnost in intenziteta lahko povzročita naravno nesrečo.
- Pasivne, s katerimi se ščitimo pred posledicami (nasipi, evakuacija,...). Ti ukrepi ne vplivajo na naravne procese, ki so vzrok za naravne nesreče, vplivajo pa na zmanjšanje škode, ki nastanejo ob naravnih nesrečah (npr. prostorsko načrtovanje, ki upošteva karte nevarnosti in tveganj zaradi naravnih nevarnosti; zaščita nepremičnin idr.).

Ukrepe za zaščito pred poplavami delimo, glede na vrsto posega, na:

- Vodogradbene, ki zajemajo gradnjo hidrotehničnih objektov, izvedbo regulacij itd.
- Alternativne, ki zajemajo upravno zakonske ukrepe, prilagojeno prostorsko načrtovanje, prepoved ali omejevanje posameznih dejavnosti, podporo željenim

dejavnostim (pogozdovanje, protipoplavna gradnja), zavarovalna politika, usklajena raba prostora (Brilly in sod., 1999).

Cilj diplomske naloge je ocena poplavne varnosti na območju Celja, ki sodi med poplavno najbolj ogrožena mesta v Sloveniji. Primerjali smo razmere ob nastopu dveh različnih poplavnih dogodkov tako v sedanjem stanju kot v projektiranem stanju, ki predvideva regulacijo V. Ložnice in izgradnjo dveh suhih zadrževalnikov na V. Ložnici - Začret in Ljubečna. V računskih primerih smo obravnavali pojav stoletnih poplavnih pretokov vsled štiriurnega naliva ter kombinacijo poplavnega in porušitvenega vala, ki bi nastopil ob morebitni delni porušitvi pregrade deponije Za Travnikom. Za projektirano stanje smo želeli preveriti zadostnost kapacitete zadrževalnika Začret v primeru delne porušitve pregrade Za Travnikom v času nastopa maksimalnih stoletnih poplavnih voda. Poleg tega smo naredili izračune še za sam poplavni val in dobljene rezultate primerjali z izračuni za sedanje stanje.

2 OPIS PROBLEMATIKE - POPLAVNE RAZMERE NA OBMOČJU CELJA

2.1 Vzroki poplavne ogroženosti Celja

Porečje Savinje obsega 1864 km². Ob deževjih vode zelo hitro odteka po hudourniških pritokih v Savinjo. Do Celja se zberejo v Savinji vode s približno 56 % njenega zbirnega področja, od tega vode z dobrih 30 % zbirnega področja zberejo pritoki (Vogljajna, Hudinja, Vzhodna Ložnica, Ložnica, Koprivnica in Sušnica), ki se izlivajo v Savinjo v Celju. To pomeni veliko koncentracijo vode, zato so povodnji velike in pogoste. Mesto Celje ima v hidrološkem pogledu najneugodnejšo lego med vsemi slovenskimi mesti.

Tako Savinja kot njeni pritoki so tudi v spodnjem toku izraziti hudourniki. Vzdolžni padeč njihovih strug je velik. Struge so premajhne, da bi lahko prevajale velike količine voda, ki zelo hitro pritečejo s prispevnih površin, zato se višek razlije po okolnih območjih. Ob neurjih posamezni pritoki narastejo več stokrat. Tudi razlike med pretoki Savinje v sušnih obdobjih in pretoki ob neurjih so lahko več kot tristokratne. Po drugi strani pa v sušnih obdobjih vode primanjkuje. Savinja navadno poplavlja v času spomladanskega in predvsem jesenskega deževja, njeni pritoki pa predvsem ob nenadnih intenzivnih nalivih v poletnem času.

Poseljevanje poplavnih površin ob Savinji, ki bi bile kljub občasnim poplavam bolj primerne za kmetijsko rabo, ima predvsem dva negativna učinka: škode, ki nastajajo na stanovanjskih in gospodarskih objektih zaradi poplav so neprimerno večje, kot bi bile, če bi bile te površine kmetijske, neprimerna poselitev pa praviloma povzroči neprimerne varovalne ukrepe, s katerimi se zmanjšujejo poplavna področja, na katerih bi se vsaj delno zadržali odtoki visokih voda ob ujmah. Tako se konice visokih voda povečujejo, s tem pa se povečuje poplavna ogroženost dolvodnih območij. Danes je že 15 % vseh poplavnih površin v Savinjski dolini poseljenih.

S spreminjanjem rabe prostora so se spremenile tudi odtočne karakteristike površja. Zaradi širitve pozidave in infrastrukture se je povečal in pospešil odtok površinskih voda, saj voda s

strešin in asfaltnih površin odteče hitreje kot pa s kmetijskih zemljišč ali gozdov. Tudi v gozdovih so bile zgrajene številne gozdne ceste, ki se ob padavinah spremenijo v odvodnike površinskih voda v dolino. Znano je, da je odtečena količina padavin s streh in asfaltnih površin tudi do 10-krat večja kot na primer s travnikov.

Poplavna ogroženost Celja se je v zadnjih desetletjih povečala tako zaradi regulacijskih ukrepov na Savinji in njenih pritokih od konca prejšnjega stoletja dalje, kot tudi zaradi neugodnih hidroloških razmer. Zaradi spremenjenih dinamičnih značilnosti reke, ki so posledica izravnave trase, relativno ozkega profila in omejenega pretakanja voda vzdolž reke, se je rečno dno poglobilo in sedaj poteka praktično na celotnem delu Savinjske doline po (skalni) lapornati podlagi. Ker se je s tem prevodnost struge nad Celjem še povečala, je možnost razlivanja v Spodnji Savinjski dolini še manjša. Zaradi tega sta Celje in Laško sedaj še bolj ogrožena kot sta bila leta 1990 (Metelko Skutnik, 2004).

2.2 Poplave v preteklosti in tedanji ukrepi

Iz starih dokumentov je razvidno, da so vode Savinje in njenih pritokov vse od rimskega časa dalje predvsem v nižinskem delu povzročala hude povodnji.

Sistematsko so Savinjo pričeli urejati proti koncu 19. stoletja. V prvi fazi so njen vijugasti tok po prodnih nanosih v Spodnji Savinjski dolini izravnali in poglobili, še vedno pa so ob osnovni strugi ohranili prostor, kamor se je voda ob visokih vodostajih lahko brez večje škode razlivala. S tem so pridobili precej novih obdelovalnih površin, zaselki, ki so postali bolj varni pred poplavo, pa so se začeli spreminjati in pospešeno razvijati.

Celju in niže ležečim predelom pa regulacija v tej fazi ni prinesla izboljšanja. Med leti 1920 in 1954 je bilo na Celjskem zabeleženih 105 poplav. Zato je bila po poplavi leta 1933 izvedena regulacija Savinje pod Celjem. Po katastrofalni poplavi junija 1954, ko so največ škode v Celju povzročili narasli pritoki Savinje, pa so regulacijska dela na vseh celjskih vodotokih postala prednostna naložba v na novo zasnovani izgradnji mesta. Regulirali so Savinjo in

njene pritoke skozi Celje (celjsko vodno vozlišče) in nato še Savinjo nad mestom. Vzporedno so med drugim zgradili tudi štiri visokovodne zadrževalnike (Šmartinsko jezero na Koprivnici, Slivniško jezero na Voglajni, Sotelsko jezero na Sotli in akumulacija Žovnek na Trnavi).

Vsi ti in številni manjši ureditveni posegi v vodni režim so prispevali k pretiranemu občutku varnosti pred poplavami, kar je hkrati z drugimi vplivnimi dejavniki družbenoekonomskega razvoja od srede sedemdesetih let prejšnjega stoletja pospeševalo nadaljnjo izrazito urbanizacijo, ki pa je žal posegla na poplavna območja in obvodni svet. K temu je največ doprinesla pomanjkljiva okoljska zavest, zmanjšan vpliv vodarske stroke, neustrezno gospodarjenje z vodnimi in obvodnimi zemljišči. Problem poplavne ogroženosti dolgo ni bil opazen tudi zaradi ugodnih hidroloških razmer, ki so se odražale v dolgotrajnem sušnem obdobju.

Novembra 1990, novembra 1998 ter septembra 2007 pa je povodenj v nekaj urah odplavila prepričanje o visoki poplavni varnosti Celja in vsa dotedanja prizadevanja v tej smeri so bila razvrednotena. Visoka voda Savinje leta 1990 (pretok Savinje v Celju $1550 \text{ m}^3/\text{s}$) je začela rušiti nasipe, kar je povzročilo razlitje visokih voda po poplavnih površinah. Če se visoke vode v Spodnji Savinjski dolini ne bi razlile, bi bile poplave v Celju in Laškem še bolj katastrofalne. Posledice preprečitve razlivanja visokih voda se odrazijo le ob visokih vodah leta 1998 (pretok Savinje v Celju $1500 \text{ m}^3/\text{s}$). Po letu 1990 je bila večina nasipov saniranih. Zaradi nasprotovanja prebivalstva je bilo zaprtih tudi večina prelivnih polj. Kljub manjšemu visokovodnemu valu Savinje v srednjem toku so imele poplave leta 1998 na območju Celja podobne razsežnosti kot leta 1990, na območju Laškega pa so bile še bolj uničujoče. Poplavna ogroženost omenjenih naselij je v precejšnji meri posledica kanaliziranja Savinje z obrežnimi nasipi (na 23 km dolgem odseku Savinje med Letušem in Celjem so bile namreč Savinji odvzete skoraj vse naravne retenzijske površine, zaradi česar je propagacija poplavnega vala hitrejša, višja pa je tudi njegova konica). Poleg zmanjšane možnosti razlivanja v Spodnji Savinjski dolini je na območju Laškega imela znaten vpliv tudi Voglajna. V poplavah septembra 2007 je imela Savinja v Celju pretok $1050 \text{ m}^3/\text{s}$. Savinja je v Celju dosegla vrh nasipa, mesta pa ni poplavila, zato predstavljajo te visoke vode maksimalni pretok, ki ga ureditev na območju osrednjega dela Celja še prenese (Metelko Skutnik, 2004).

2.3 Predvidene rešitve za zagotavljanje poplavne varnosti Celja

Poplave leta 1990 in leta 1998, ki so prizadele celotno Spodnjo Savinjsko dolino ter mesti Celje in Laško, so pokazale, da je prevodnost struge Savinje kljub poplavljanju v srednjem toku in na pritokih v spodnjem toku manjša od načrtovane in praktično nikjer ne presega visokih voda s povratno dobo 50 let.

Za izboljšanje poplavnih razmer so potrebni kompleksni ukrepi, ki obsegajo:

- protipoplavne ukrepe širšega značaja
- protipoplavne ukrepe lokalnega značaja

Protipoplavne ukrepe širšega značaja obravnava Državni prostorski načrt za zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini. S temi ukrepi naj bi se zagotovilo zmanjšanje konice poplavnega vala na pretok, ki ga rečna struga Savinje skozi Celje še prevaja. Z zadrževanjem dela poplavnega vala se zmanjša konica, trajanje vala pa se zaradi tega podaljša. Ključnega pomena za zmanjšanje ogroženosti urbanih naselij je torej zadrževanje visokih voda na poplavnih območjih.

Protipoplavni ukrepi lokalnega značaja pa so ukrepi za varovanje posameznih urbanih območij z lokalnimi ureditvami, kot so protipoplavni nasipi in zidovi, mobilne protipoplavne stene, lokalno varovanje z vrečami, odvod zalednih in lastnih meteornih voda itd.

Z namenom celovitega reševanja poplavne problematike Spodnje Savinjske doline se je pristopilo k izdelavi idejnega projekta izgradnje suhih zadrževalnikov na Savinji in njenih pritokih (Zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini, Hidrosvet d.o.o., 2010). Investitor projekta je RS, Ministrstvo za okolje in prostor, nosilec projekta Hidrosvet d.o.o., izdelovalec hidroloških študij pa Inženiring za vode d.o.o.

Ob Savinji je predvidenih osem lokacij za razlivanje in zadrževanje visokih voda, na povodju Bolske pa še dve. Za zadrževanje so predvidena neposeljena območja, pretežno so to kmetijske površine, ki so hkrati tudi poplavna območja. Predlagana območja zadrževanja so preoblikovana v območja, kjer je predvideno samo zadrževanje vode brez pretakanja po

poplavnih površinah. Skupna kapaciteta zadrževalnikov presega 12 milijonov m³ in predstavlja 10 – 20 % volumna posameznih stoletnih poplavnih valov. Zadrževanje v Spodnji Savinjski dolini bo omogočilo varovanje vseh naselij ob Savinji in zahodnega dela Celja pred poplavami, saj prevaja struga Savinje skozi Celje približno 1050 m³/s. Bistveno se bodo izboljšale razmere tudi pod sotočjem z Voglajno (jugovzhodni del Celja in Laško) (Fazarinc, 2004).

2.4 Protipoplavni ukrepi v dolini V. Ložnice do vzhodnega celjskega priključka na avtocesto

Del reševanja omenjene problematike predstavlja idejni projekt Zagotavljanje poplavne varnosti ob Vzhodni Ložnici na območju Mestne občine Celje (Hidrosvet d.o.o., 2010), na podlagi katerega je zasnovana diplomska naloga. V tej projektni dokumentaciji so podane vodnogospodarske ureditve za večjo poplavno varnost ob Vzhodni Ložnici, levemu pritoku Hudinje, na območju Mestne občine Celje. Poplavna varnost je majhna, kar se je pokazalo tudi ob poplavi leta 1998, ko je bilo obravnavano območje eno od najbolj prizadetih območij v Celju.

Predvidena je izgradnja zadrževalnikov Ljubečna in Začret na Vzhodni Ložnici, regulacija Vzhodne Ložnice, izgradnja nasipov oz. armirano-betonskih zidov ob vodotoku ter zamenjava stare mostne konstrukcije na Bežigrajski cesti. Ker je v prvi fazi predvidena le izgradnja zadrževalnika Začret in šele naknadno zadrževalnika Ljubečna, so bili visokovodni nasipi in zidovi dolvodno od pregrade Začret dimenzionirani na osnovi izračunanih gladin pri pretokih s povratno dobo 100 let Vzhodne Ložnice oz. Hudinje po izgradnji suhega zadrževalnika Začret ter upoštevanju 50 cm varnostnega nadvišanja protipoplavnih nasipov. Iz zadrževalnika Začret bo v tej fazi pri nastopu Q₁₀₀ preko zaporničnega objekta iztekalo maksimalno 57,3 m³/s. Po izgradnji zadrževalnika Ljubečna pa bo maksimalni iztok iz zadrževalnika Začret pri nastopu Q₁₀₀ le še 28,5 m³/s, tako da bo varnostno nadvišanje nasipov ob strugi V. Ložnice dolvodno od vzhodnega priključka na avtocesto (AC) 1,2 m. Načrtovana zadrževalnika imata pomembno vlogo pri zadrževanju visokih voda in s tem sorazmerno velik vpliv na pretočne količine tako Hudinje, Voglajne kot tudi Savinje.

Hidrološka obdelava zadrževalnikov in izračun vpliva zadrževanja voda na dolvodne odtočne razmere so obravnavane v hidrološki študiji »Določitev visokovodnih valov Vzhodne Ložnice in vpliv zadrževalnikov Ljubečna in Začret«, ki jo je izdelal Inženiring za vode (2009).

Predvidene protipoplavne ureditve ob Vzhodni Ložnici so prikazane v prilogi A. V nadaljevanju so natančneje opisane rešitve na območju zadrževalnika Začret.

Suhi zadrževalnik Začret

Kmalu po izlivu potoka Dobje v Vzhodno Ložnico poteka preko doline slednje lokalna cesta Teharje – Začret – Ljubečna v nasipu (povprečno 0,5 m - 1 m nad terenom). Čez približno 950 m dolino V. Ložnice ponovno prečka cesta v nasipu in sicer priključek na avtocesto. Struga V. Ložnice se tu razcepi v dva kanala. V sklopu gradnje novega AC priključka Celje vzhod je bila na odseku križanja narejena nova izkopana regulacija, ki poteka po trasi prvotne struge Vzhodne Ložnice. Na razcepu obeh strug je narejena dušilka, tako da se nizke vode prelivajo skozi nov prepust premera 1000 mm v obstoječi severni kanal. Ves višek vode pa se preko usmerjevalnega praga prelije v novo izkopano strugo. Preko razbremenilnega kanala poteka v liniji priključka na AC most (slika 1), manjši (severni) kanal pa je speljan skozi prepust.



Slika 1: Mostna konstrukcija na novi strugi V. Ložnice (Vir: Hidrosvet d.o.o., 2010)

Vzdolž levega brega severnega kanala poteka nasip s krono na koti 242 m, ki nad razcepom prečka severni kanal (severni kanal je speljan skozi prepust) in poteka po desnem bregu Vzhodne Ložnice gorvodno proti farmi Začret, tako da usmerja visoke vode proti jugu. Področje med cesto Trnovlje – Proseniško po obrobju doline, V. Ložnico in priključkom na AC ni pozidano in je predvideno za suhi zadrževalnik Začret. Trasa nasipa je prilagojena obstoječi pozidavi in terenskim razmeram. Sama pregrada zadrževalnika Začret je v obliki črke - J. Južno poteka ob cesti Trnovlje – Proseniško. Zahodni del pregrade je omejen z novo vzhodno vpadnico v Celje (priključek na AC), nato pa poteka ob levem bregu V. Ložnice do lokalne asfaltne ceste Teharje – Začret – Ljubečna. Izpustni objekt z zapornicami je predviden pravokotno na Ložnico v prerezu P72. Varnostni preliv je umeščen levo od zaporničnega objekta na ravninskem delu nasipa. Izven zadrževalnega prostora ostajajo stanovanjski objekti, ki so na desnem bregu Ložnice – naselje Začret.

Predvidena je regulacija Vzhodne Ložnice v odseku od iztočnega dela pregrade do mostu na cesti Teharje – Začret – Ljubečna. Predviden potek osi pregrade Začret je na trasi obstoječe struge V. Ložnice, zaradi tega se struga V. Ložnice zasuje. S tem ukrepom se pridobi na volumnu zadrževalnika, istočasno pa je naselje Začret varovano pred visokimi

vodami V. Ložnice. Zaledne vode naselja Začret se preko odvodnega jarka med nasipom in cesto vzdolž pregrade na severni strani speljejo do sedanjega prepusta na V. Ložnici. Ob pregradi na vodni strani je predvidena servisna oziroma dovozna pot do kmetijskih zemljišč v območju zadrževalnika. Pod potjo so predvideni prepusti za zaledne in žive vode s strani Bukovžlaka.

Z izgradnjo pregrade Začret oz. suhega zadrževalnika je potrebno strugo V. Ložnice ustrezno prilagoditi predvidenim razmeram. Dolvodno od pregrade je tako za glavno in edino strugo predvidena na novo izkopana struga (izkopana ob izgradnji AC priključka). Razcep obeh strug se zasuje, dušilko in prag ukine. Obstoječo strugo se delno zasuje in uporabi kot jarek za odvod zalednih voda s severnega dela. Jarek se v prečnem prerezu P68 izliva v obstoječo strugo, ki se dolvodno ne ureja oz. spreminja več.

Gorvodno od izpustnega prereza je predvidena izgradnja nove struge, ki bo prevajala pretok $57,3 \text{ m}^3/\text{s}$, ostalo se bo razlivalo po terenu. Normalni prerez nove struge ima trapezno obliko s širino dna 6 m in naklonom stranic 1:2. Tik pred cesto Teharje – Začret – Ljubečna se regulirana struga naveže na obstoječo.

Poleg ureditve oz. regulacije osnovne struge V. Ložnice in izgradnje vseh elementov suhega zadrževalnika Začret so potrebni na odseku P85 do P89 še dodatni protipoplavni ukrepi. Območje gorvodno od ceste Teharje – Začret – Ljubečna je sicer namenjeno razlivanju visokih voda, vendar je potrebno zaščititi območje stanovanjskih hiš in preprečiti visoki vodi, da bi se razlivala preko ceste na dolvodna območja (severno od pregrade). Zato je potrebno zamenjati mostno konstrukcijo (stara povzroča dvig gladin) in dvigniti cesto Teharje – Začret – Ljubečna na poplavno varno koto (245,5 m.n.v.). Zaradi dviga glavne ceste je potrebno prilagoditi niveleto še lokalni cesti Začret – mimo farme Žepina – do mostu in vzdrževalni cesti ob pregradi.

Značilnosti zadrževalnika Začret:

- kota maksimalne gladine pri $Q_{100} = 243,20 \text{ m.n.v.}$
- kota maksimalne gladine pri $Q_{5000} = 244,00 \text{ m.n.v.}$

- volumen zadrževalnika pri Q_{100} $V = 245.614,00 \text{ m}^3$
- volumen zadrževalnika pri Q_{5000} $V = 421.100,00 \text{ m}^3$
- varnostna višina 0,50m nad $Q_{5000} = 244,50 \text{ m.n.v.}$
- poplavljenе površine pri nastopu Q_{100} $F = 18,91 \text{ ha}$
- poplavljenе površine pri nastopu Q_{5000} $F = 29,40 \text{ ha}$
- dolžina nasipa 1.500,00 m
- širina nasipa na vrhu 4,0 m
- naklon brežin na zračni in vodni strani je 1:2,8 (razen pod samim zaporničnim objektom v naklonu 1:2 z vmesno bermo širine 2,5 m)
- volumen vgrajenega materiala 41 475,00 m^3

Zapornični objekt je predviden za možno zadrževanje visokega vala, optimalno obratovanje in zagotavljanje varnosti pred prelivanjem nasipa. Objekt je armirano-betonska konstrukcija, v kateri je nameščena kotalna zapornica svetle odprtine 10,0 x 2,50 m. Na vrhu nasipa je predvidena izvedba platoja, na katerem bo tudi objekt za upravljanje. Projektiran je tako, da omogoča:

- Pri normalnih odtočnih razmerah je ob odprtih zapornicah možen odtok voda brez zaježitve.
- Pri doseženem pretoku $Q = 28,5 \text{ m}^3/\text{s}$ na iztoku V. Ložnice se prične s pripiranjem zapornice in sicer tako, da konstantni pretok $Q = 28,5 \text{ m}^3/\text{s}$ na iztoku iz pregrade ni presežen.
- Pri večjih dotokih kot Q_{100} se zapornica odpira ne glede na pretoke dolvodno od zadrževalnika, saj je potrebno varovanje pred prelivanjem nasipa zadrževalnika.

Varnostni preliv je predviden za primer nastopa katastrofalno visokih voda (Q_{5000}). Visoke vode se odvajajo preko zaporničnega objekta, del vode pa preko bočnega preliva. Preliv je predviden v dolžini 85 m in sicer na koti 243,20 m.n.v., kar je 1,30 m pod vrhom nasipa. Zavarovanje preliva je predvideno po vrhu preliva in po brežini s kamnom premera več od 1,0 m. Prelivanje preko visokovodnega preliva bo samo v izrednih razmerah, pri večjih dotokih od Q_{100} . V teh primerih bo voda odnesla zatravljenе površine, nasip pa bo zaradi

predvidenega zavarovanja s kamnom ostal nepoškodovan.

Iz spodnje preglednice je razviden izračunan vpliv zadrževanja visokih voda v primeru, da je zgrajen le zadrževalnik Začret.

Preglednica 1: "Dejanske" visoke vode s povratno dobo 10, 100, 500 in 5000 let, visoke vode z vplivom zadrževalnika Začret s kontroliranim iztokom na 57,3 m³/s in razlika (zmanjšanje) maksimalnih pretokov (Vir: IZVO d.o.o., 2009)

PREREZ VODOTOKA	F	Q ₁₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅₀₀₀
	(km ²)	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
vrednosti pretokov "sedanje stanje"					
V. Ložnica do priključka na AC	34,9	41	86	129	205
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	41	86	129	205
vrednosti pretokov z vplivom zadrževalnika Začret					
V. Ložnica do priključka na AC	34,9	41	86	129	205
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	41	57,3	115	197
znižanje (sprememba) maksimalnih pretokov glede na "sedanje stanje" za:					
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	0	28,7	14	8

Suhi zadrževalnik Ljubečna

Zadrževalnik Ljubečna se nahaja ob Vzhodni Ložnici, gorvodno od mesta, kjer AC prečka V. Ložnico. Pregrada je dimenzionirana na osnovi analiz in optimizacij, ki so bile narejene v prej omenjenem elaboratu. Z analizo in optimizacijo dogodka s povratno dobo 100 let je bil določen maksimalni konstantni iztok 3,6 m³/s, kar pomeni, da se polnjenje zadrževalnika začne, ko je v pregradnem prerezu presežena ta vrednost, iztok pa ostaja konstantno na tej vrednosti. Širina varnostnega preliva je določena na osnovi dogodka s povratno dobo 5000 let in znaša 30 m.

Prostornina zadrževalnika Ljubečna je ocenjena na:

Pri dogodku s povratno dobo 100 let: $V = 814.600,00 \text{ m}^3$

Pri dogodku s povratno dobo 5000 let: $V = 1.079.800,00 \text{ m}^3$

V preglednici 2 so prikazani rezultati analize vpliva izgradnje zadrževalnika Začret na dolvodne razmere, kjer so pretoki v prerezu nasipa privzeti z upoštevanjem pregrade Ljubečna.

Preglednica 2: "Dejanske" visoke vode s povratno dobo 10, 100, 500 in 5000 let, visoke vode z vplivom zadrževalnika Ljubečna ($Q_0= 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_0= 0 \text{ m}^3/\text{s}$) in Začret ($Q_0= 28,5 \text{ m}^3/\text{s}$) in razlika (zmanjšanje) maksimalnih pretokov (Vir: IZVO d.o.o., 2009)

PREREZ VODOTOKA	F	Q_{10}	Q_{100}	Q_{500}	Q_{5000}
	<i>(km^2)</i>	<i>(m^3/s)</i>	<i>(m^3/s)</i>	<i>(m^3/s)</i>	<i>(m^3/s)</i>
vrednosti pretokov "sedanje stanje"					
V. Ložnica do AC (zadr. Ljubečna)	14,3	23,6	45	64	110
V. Ložnica pod zadr. Ljubečna	14,3	24	45	64	110
V. Ložnica do priključka na AC	34,9	41	86	129	205
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	41	86	129	205
vrednosti pretokov v primeru delovanja zadrževalnikov Začret in Ljubečna					
V. Ložnica do AC (zadr. Ljubečna)	14,3	23,6	45	64	110
V. Ložnica pod zadr. Ljubečna	14,3	3,6	3,6	15,1	35
V. Ložnica do priključka na AC	34,9	26,1	54	78	121
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	26,1	28,5	72	121
znižanje (sprememba) maksimalnih pretokov glede na "sedanje stanje" za (m^3/s):					
V. Ložnica pod zadr. Ljubečna	14,3	20,4	41,1	48,9	75
V. Ložnica do priključka na AC	34,9	14,9	32	51	84
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	14,9	57,5	57	84
znižanje (sprememba) maksimalnih pretokov glede na "sedanje stanje" za (%):					
V. Ložnica pod zadr. Ljubečna	14,3	85%	92%	76%	68%
V. Ložnica do priključka na AC	34,9	36%	37%	40%	41%
V. Ložnica pod zadr. Začret	34,9	36%	67%	44%	41%

Po izgradnji suhega zadrževalnika Začret (1. faza) se sedanji pretoki pri Q_{100} v prerezu tik pod pregrado zmanjšajo iz vrednosti $86 \text{ m}^3/\text{s}$ na vrednost $57,3 \text{ m}^3/\text{s}$, po izgradnji suhega zadrževalnika Ljubečna (2. faza) pa na vrednost $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Ker je v prvi fazi predvidena le

izgradnja zadrževalnika Začret, so nasipi in zidovi dolvodno od pregrade Začret dimenzionirani na pretoke Q_{100} , ki se bodo pojavili po izgradnji zadrževalnika Začret z varnostnim nadvišanjem 0,5 m. Po izgradnji zadrževalnika Ljubečna se varnostno nadvišanje pri Q_{100} zaradi znižanja gladin vsled zmanjšanega iztoka iz zadrževalnika poveča na približno 1,2 m.

2.5 Preveritev zadostnosti predvidenih ukrepov za zagotavljanje poplavne varnosti v primeru porušitve pregrade Za Travnikom

V določeni meri je bila preveritev, v kolikšni meri bi izgrajeni zadrževalnik Začret omilil poplave vsled porušitvenega vala ob morebitni porušitvi pregrade deponije »Za Travnikom«, narejena že v študiji Izračuni hidravličnih posledic porušitve pregrad »Za Travnikom« in »Bukovžlak« - I. faza, Končno poročilo za pregrado »Za Travnikom« (UL, FGG, KMTek, 2010).

Izračuni v zgoraj omenjeni študiji FGG so bili v osnovi izvršeni za stoletni poplavni val vsled enournega naliva stoletne intenzivnosti, ki ima precej nižjo konico in volumen od stoletnega vala z maksimalno konico, ki ga povzroči štiriurni naliv. Bistvo njihove študije je bilo ugotoviti, kakšno poplavo povzroči porušitveni val, ki bi lahko nastal zaradi delne porušitve pregrade deponije Za Travnikom, primerjavo teh posledic s poplavami naravnega poplavnega vala in kot najhujšo varianto – poplave pri hkratnem nastopu porušitvenega in poplavnega vala. Pri kombinaciji dveh neugodnih dogodkov se po pravilu ne kombinira dveh najhujših možnih dogodkov, ker je verjetnost sovpadanja le-teh izjemno majhna. Natančne analize poplavljenosti in ogroženosti zaradi porušitve pregrade so bile tako izvršene za sedanje stanje ob upoštevanju zgolj srednjega letnega pretoka ali pa stoletnega pretoka za enourni naliv V. Ložnice in Dobja. Naredili so sicer tudi izračune z upoštevanjem maksimalnega stoletnega pretoka, vendar le-ti niso sestavni del poročila, temveč so služili le za interno analizo. Ker so bili izdelovalci študije seznanjeni z dejstvom, da se za to območje izdelujejo projekti zadrževalnikov, so v svoji študiji izvršili še približne izračune za projektirano stanje. Predvsem se je privzelo, kot da zadrževalnik Začret zavzema celotno področje na levem bregu sedanje struge V. Ložnice do priključka na AC in je bil na tak način upoštevan nekoliko prevelik volumen zadrževalnika. Poleg tega je bil uporabljen podatek, da je iztok iz

zadrževalnika reguliran na maksimalni pretok $57 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pa velja za prvo fazo izgradnje (samo zadrževalnik Začret), medtem ko bo v drugi fazi (po izgradnji zadrževalnika Ljubečna) iztok iz zadrževalnika Začret omejen na $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Namen teh izračunov je bil v grobem ugotoviti vpliv zadrževalnikov na izboljšanje razmer tudi v primeru porušitvenega dogodka.

V diplomski nalogi smo želeli preveriti zadostnost kapacitete zadrževalnika Začret (višina krone nasipa, volumski prostor) v primeru, da se zgodi delna porušitev pregrade deponije Za Travnikom v času nastopa maksimalnih stoletnih poplavnih voda. Za projektirano stanje smo upoštevali točen potek nasipa zadrževalnika Začret ter tudi preložitve struge V. Ložnice dolvodno od mostu pri opekarni Začret. Omejitev iztoka iz zadrževalnika Začret smo upoštevali za končno projektirano stanje. Pri tem smo izvršili izračune tako za sam poplavni val kot tudi kombinacijo poplavnega in porušitvenega vala za končno projektirano stanje, da bi iz primerjave rezultatov za oba primera ugotovili, kakšno je poslabšanje stanja zaradi dodatnega poplavnega dogodka vsled porušitve. Izračune za projektirano stanje smo primerjali tudi z izračuni za sedanje stanje, ki so že bili narejeni v okviru zgoraj omenjene študije in jih povzemamo iz arhiva FGG-KMTek.

Kot je bilo že omenjeno, smo hidrogram porušitvenega vala, ki bi nastal ob morebitni porušitvi pregrade deponije »Za Travnikom«, povzeli po študiji FGG. Ob tem v spodnjem tekstu podajamo tudi kratek opis pregrade in deponije ter z njo povezane problematike.

Pregrada »Za Travnikom« se nahaja na vzhodnem obrobju Celja v dolini potoka Travnik. Leta prehaja v dolino potoka Dobje, ki se izteka v Vzhodno Ložnico. Sama dolina potoka Travnik je nenaseljena, v dolini potoka Dobje pa se nahaja nekaj hiš v bližini izliva potoka Travnik. Za pregrado se nahaja deponija sadre, ki je stranski produkt proizvodne dejavnosti Cinkarne Celje. Prvotno je bilo načrtovano, da naj bi se sadra odlagala do kote 298,5 m.n.v. (kota krone pregrade je 300 m.n.v., kota terena pri pregradi pa 256 m.n.v.). Vendar se je v zadnjem času pristopilo k postopku osuševanja sadre pred deponiranjem. Poleg tega se črpa že deponirana redka sadra, ki se jo po postopku osuševanja ponovno odlaga na gorvodnem delu deponije. Tak postopek zahteva bistveno manjši odlagalni volumen. Trenutno je kota deponirane sadre 291,5 m.n.v., nad njo pa je plast vode globine 1 m, tako da je kota površine v deponiji 292,5 m.n.v.. Z že omenjenim postopkom namerava upravljavec pregrade to koto

držati konstantno, dokler ne bo izčrpana vsa redkejša sadra, tako da bo v končni fazi ta deponija v bistvu suho odlagališče.

Zaradi nezaželenih pojavov v sami pregradi, ki so jih pokazala opazovanja oz. meritve, se je pristopilo tako h geomehanskim raziskavam stabilnosti pregrade kot tudi k ponovnem izračunu posledic v primeru porušitve pregrade v sedanjem stanju, ko je del odložene sadre za pregrado delno še v sorazmerno redkem stanju. V delu pregrade se je namreč nabrala voda, ki je namočila piritne ogorke, vgrajene v določen segment pregrade, kar je povzročilo poslabšanje varnosti pregrade. Na Katedri za mehaniko tal, FGG, so naredili stabilnostne analize pregrade v zatečenem stanju in sicer tako v statičnih kot dinamičnih pogojih.

Drsina, ki je bila določena v stabilnostnih analizah za primer upoštevanja najbolj neugodnih pogojev, je bila osnova za predpostavko o načinu rušenja pregrade in posledicah izlivanja vode in sadre iz deponije.

Glede na to, da se v deponiji nahajata v dveh slojih dva različna materiala (voda in sadra), je bil narejen ločen izračun za oba materiala, saj bi voda iz zgornjega sloja odtekla najprej, šele potem bi morda sledil zdrs dela sadre. V omenjenem projektu je bil opravljen izračun hidravličnih posledic izliva vode v dolinah potokov Travnik, Dobje in V. Ložnica ter posledic izliva redkejša sadre iz gornjega sloja deponije (debeline 10 m) v dolini potoka Travnik. Izračun propagacije porušitvenega vodnega vala po dolini potoka Travnik se je do ceste čez potok izdelal z enodimenzijskim matematičnim modelom (1D) za propagacijo vode, dolvodno od ceste ter v dolinah potokov Dobje in V. Ložnica pa z dvodimenzijskim (2D) matematičnim modelom za vodo. Propagacija plazu sadre se je obdelala z 1D matematičnim modelom za drobirski tok, ki je pokazal, da bi se masa zdrsele sadre ustavila že v dolini potoka Travnik. Zato smo v diplomi upoštevali samo porušitveni val vode in z izračuni z 2D modelom določili, kakšno poslabšanje poplavnega stanja povzroči v dolini potokov Dobje in V. Ložnica. Področje, obravnavano z 2D modelom, zajema dolino potokov Dobje in V. Ložnica v dolžini ca. 2,5 km gorvodno od vzhodnega priključka celjske obvoznice na AC.

3 OPIS MATEMATIČNEGA MODELA

Za izračune širjenja poplavnega vala oz. kombinacije poplavnega in porušitvenega vala po dolini potokov Dobje in V. Ložnica smo uporabili dvodimenzijski (2D) matematični model PCFLOW2D. Programsko orodje PCFLOW2D omogoča matematično modeliranje nestalnega toka in je bilo razvito na Katedri za mehaniko tekočin (KMTe) Fakultete za gradbeništvo in geodezijo (FGG) Univerze v Ljubljani (UL) (Četina, 1998).

Za razliko od enodimenzijskih metod, pri katerih se predpostavlja, da voda teče le v smeri osi x , se pri 2D metodah upošteva tudi tok v smeri osi y oz. tok prečno na osnovni tok. Torej obstaja prenos gibalne količine tudi v prečni smeri, s čimer se približamo realni naravi toka v vodotokih.

Osnova so trodimenzijske enačbe, ki so integrirane po globini. Rezultat tega so dvodimenzijske enačbe za globinsko povprečen model. To pomeni, da so hitrosti v vzdolžni in prečni smeri toka po celotni globini enakomerno razporejene. V naravnih vodotokih ponavadi prevladuje turbulentni tok, ki ga lahko modeliramo z globinsko povprečno verzijo k - ϵ modela turbulence.

Program uporablja osnovne enačbe za nestalni tok, Patankar-Spaldingovo numerično metodo končnih volumnov za reševanje teh enačb, preko vmesnih programov pa omogoča tudi grafični izris rezultatov. Model temelji na uporabi Kartezijevega koordinatnega sistema.

3.1 Osnovne enačbe

Upoštevana je kontinuitetna enačba (1) in dinamični enačbi v konzervativni obliki (2) in (3), ki določajo dvodimenzionalni nestalni globinsko povprečni tok.

Kontinuitetna enačba:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Dinamični enačbi:

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

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

Oznake v enačbah pomenijo :

- tčas
- h globina vode
- u in v ...komponenti hitrosti v x in y smeri
- z_b kota dna
- n koeficient hrapavosti po Manningu
- g gravitacijski pospešek
- ν_{ef} efektivni koeficient kinematične viskoznosti

Zadnja dva člena na desnih straneh dinamičnih enačb izražata vpliv efektivne viskoznosti ν_{ef} , ki je vsota laminarne viskoznosti in turbulentne viskoznosti, ki je za red velikosti večja od laminarne viskoznosti. Za ν_{ef} smo upoštevali konstantno vrednost $\nu_{ef} = 0,01 \text{ m}^2/\text{s}$, saj je bilo na podlagi izkušenj in umerjanj za tok reke Save s poplavnimi področji ugotovljeno, da ν_{ef} pri toku s prosto gladino v razmerah nestalnega toka z naglimi spremembami pretokov in gladin ne vpliva bistveno na rezultate (Četina, 1998).

3.2 Metoda reševanja

Povezan sistem parcialnih diferencialnih enačb (1) - (3) se rešuje numerično s pomočjo Patankar-Spaldingove metode končnih volumnov. Rezultat so za vse vrednosti neodvisnih spremenljivk x , y in t (torej v vsaki točki ploskve x , y in v vsakem času t) določene vrednosti

treh odvisnih spremenljivk v_x , v_y in h . Osnovne značilnosti metode so premaknjena numerična mreža, hibridna shema (kombinacija centralnodiferenčne in sheme gorvodnih razlik) ter iteracijsko popravljanje globin, dokler globine in hitrosti ne zadovoljijo kontinuitetne in dinamičnih enačb. Za integracijo po času je uporabljena polna implicitna shema.

Določiti je potrebno časovni korak računa, znotraj katerega se izvede določeno število iteracij. Na podlagi izkušenj se izbere dovolj majhen časovni korak, da dosežemo zadostno natančnost in da izračuni niso predolgi. Posledica predolgh časovnih korakov je lahko prevelika napaka v volumnih oz. je znotraj časovnega koraka potrebnih preveč iteracij. V naših izračunih smo privzeli časovni korak $\Delta t = 4$ s. Ker bi bilo zaradi drobne numerične mreže z 240.660 točkami za doseganje velike natančnosti v vsakem časovnem koraku potrebnih več kot 180 iteracij, bi to preveč podaljšalo potrebne računske čase. Zato smo število iteracij omejili na največ 60 znotraj časovnega koraka. Še v tem primeru je posamezen račun trajal skoraj 7 dni. Pri takšnih parametrih smo dosegli, da so napake v volumnu zlasti v času nastopa maksimalnih pretokov in gladin v področju zadrževalnika, ki so najbolj zanimivi z vidika varnosti, reda do 15 %, kar je za praktične primere sprejemljivo. Več podatkov o tem je predstavljenih v poglavju, kjer so opisani rezultati izračunov.

3.3 Začetni in robni pogoji

Sestavni del matematičnega modela so tudi začetni in robni pogoji. To pomeni, da je potrebno podati parametre toka v vseh točkah numerične mreže v času $t = 0$ (začni pogoji) ter na vseh robovih obravnavanega področja tekom celotnega časa računa (robni pogoji).

3.3.1 Začetni pogoji

Pri nestalnem toku je kot začetni pogoj pred prihodom vala upoštevano suho dno, kar se zaradi lažjega načina računa ponazori z majhno globino 0,01 m. Račun nato ves čas poteka po vseh celicah računskega področja in če po desetih iteracijah znotraj časovnega koraka globina ne preseže 0,02 m, program celico smatra za neaktivno in umetno postavi vrednosti

hitrosti na 0 in globino na 0,01 m. Na ta način je zagotovljen mehanizem širjenja vala po približno suhem dnu poplavnega področja.

3.3.2 *Robni pogoji*

Bistveni del robnih pogojev so podatki o vtokih in iztokih iz računskega področja. V vtočnih celicah (ki se lahko nahajajo na katerem koli robu), podamo zvezo $Q(t)$, torej hidrogram vala, ki vstopa v obravnavano področje v točno določenih celicah. Na iztočnem robu pa lahko podamo dve zvezi med parametri toka. Najpogosteje podamo zvezo $z(Q)$, ki jo določimo na podlagi vpliva dolvodnega odrezanega področja. Pri tem je kota gladine z v vsakem računskem koraku predpisana samo v eni celici struge na spodnjem robu, približno v osi posamezne struge. Gladine v ostalih točkah na robu izračuna program sam. Možno pa je na izstopnem robu podati tudi zvezo $Q(t)$, kar je ustrezno v primerih, ko imamo na robu z objektom (zapornica) reguliran iztok iz obravnavanega področja.

Poleg podatkov v vtočnih in iztočnih celicah je potrebno definirati robne pogoje tudi v vseh preostalih robnih celicah. Stranski robovi, ki potekajo približno v smeri prevladujočega toka vode, so lahko zaprtega (visok teren, ki ni nikoli poplavljen) ali odprtega tipa (odrezano ravninsko področje). Kot robni pogoj ob zaprtih robovih obravnavanega območja je upoštevano, da so hitrosti v prečni smeri na rob enake 0. Za vzdolžne hitrosti pa je uporabljen preprost pogoj "drsnih vrednosti", torej da je gradient vzdolžnih hitrosti v prečni smeri enak 0. Na odprtih stranskih robovih računskega področja je upoštevano, da so gradienti h , u in v pravokotno na rob enaki 0. Enak pogoj je upoštevan na odprtih robovih, ki potekajo prečno na prevladujočo smer toka.

Konkretni robni pogoji za primere, obravnavane v diplomu, so podrobneje opisani v poglavju 5, kjer so podani tudi ostali podatki za vse računske primere.

4 PODATKI

4.1 Geometrijski podatki

PCFLOW2D računa širjenje vode tudi po poplavnih ravninah. Za izvajanje računov na takšnih območjih je potrebno poznati podatke o topografiji terena na obravnavanem območju. Področje, obravnavano z 2D modelom, je pravokotnik, dolg 2520 m in širok 1034 m. Na zahodu sega do priključka na AC, na vzhodu sega ca. 1100 m vzhodno od vtoka potoka Dobje v V. Ložnico, na severu sega ca. 250 m severneje od obrata Začret Opekarne Ljubečna, na jugu pa ca. 100 m južneje od cestne premostitve potoka Travnik. Postavitev obravnavanega območja v prostoru je prikazana na prilogah C, D, E, G, H, I, K in L. Gostoto računske mreže smo določili na podlagi potrebne natančnosti zajema podatkov o površini obravnavanega področja. Privzeli smo velikost celic $\Delta x = \Delta y = 4$ m, v osrednjem pasu, kjer potekata oba potoka, pa smo vzeli celice dimenzij $\Delta x = 2$ m; $\Delta y = 4$ m, tako da bi čim bolje zajeli tudi področje obeh strug in terena ob njih. Numerična mreža ima tako v smeri toka potokov Dobje in V. Ložnica (vzhod-zahod, smer y) 630 točk, v smeri prečno na dolino (sever-jug, smer x) 382 točk, skupno torej 240.660 točk, v katerih se vrši izračun hidravličnih parametrov s časom.

Na področju, obravnavanem z 2D modelom, smo geometrijske podatke delno privzeli iz študije »Izračuni hidravličnih posledic porušitve pregrad »Za Travnikom« in »Bukovžlak - I. faza«, Končno poročilo za pregrado Za Travnikom (UL, FGG, KMTek, 2010). Za dolino potoka Travnik, Dobje in V. Ložnica so bile plastnice digitalizirane na rastrskih topografskih kartah 1:5000 in kartah podrobnejših geodetskih izmer iz arhiva Cinkarne Celje. Pri konstrukciji prostorske ploskve (3D) terena so z lomnimi linijami podane ceste, ki potekajo v nasipu ter potek dna in brežin kanalov potokov Dobje in V. Ložnica. Za strugo potoka Dobje in V. Ložnice gorvodno od opekarne ni merjenih podatkov, zato sta strugi konstruirani na podlagi kart in terenskega ogleda. Podatke za strugo V. Ložnice dolvodno od opekarne v Začretu in za predvideni nasip zadrževalnika Začret smo pridobili iz idejnega projekta Zagotavljanje poplavne varnosti ob Vzhodni Ložnici na območju MOC (Hidrosvet d.o.o.,

2010). Potek nasipa zadrževalnika in prestavljene struge V. Ložnice smo podali s po štirimi lomnimi linijami (3D polyline), ki so točno povzele potek terena vzdolž vznožja nasipa ter potek krone nasipa, pri strugi pa sta dve lomni liniji povzeli potek vrha, dve pa potek vznožja brežine struge (dno). Teh osem lomnih linij smo vključili v že obstoječi digitalni model terena, ki v tako dopoljnjeni obliki predstavlja končno projektirano stanje na tem področju. Prav tako so bile vključene linije ceste Teharje – Začret – Ljubečna, za katero se je po projektu privzelo, da se v območju mostu dvigne na projektirano koto mostu 245,5 m.n.v. in se spušča na obe strani z naklonom 4 ‰. Na podlagi tega digitalnega modela reliefa (DMR) je bila izdelana matrika geometrijskih podatkov v točkah numerične mreže matematičnega modela.

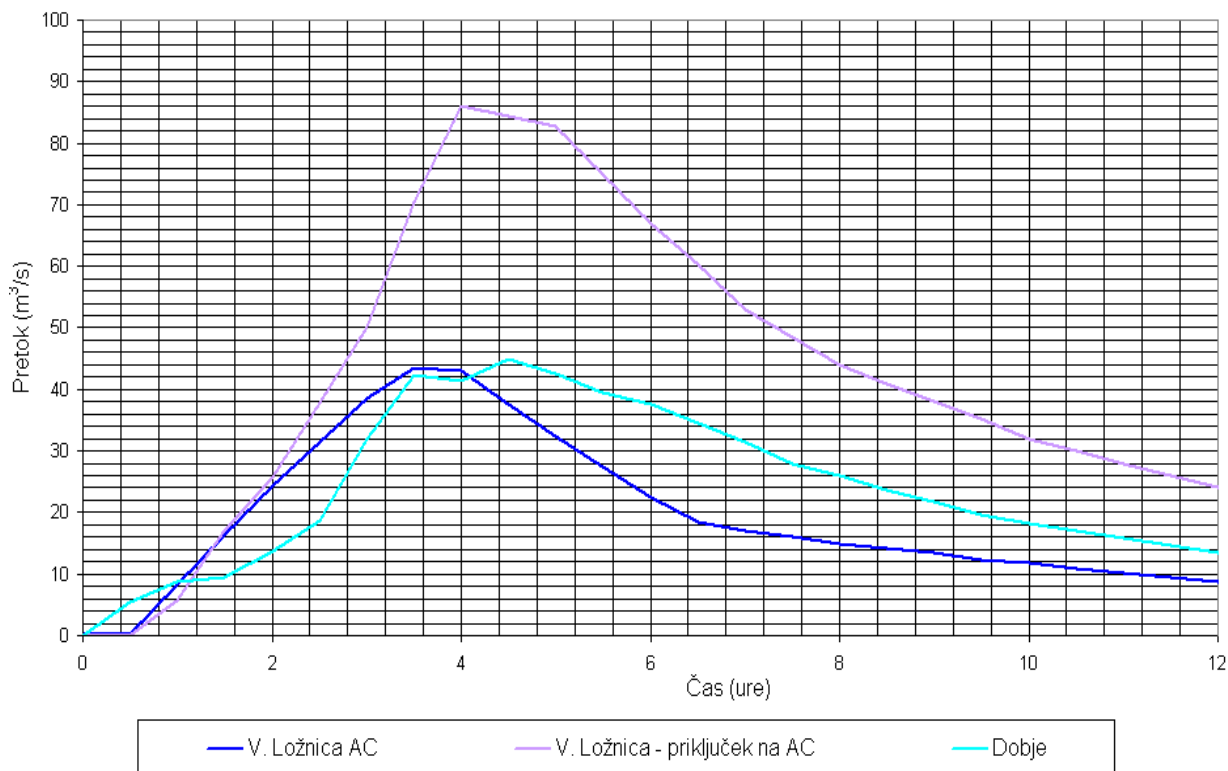
4.2 Hidrološki podatki

Statistični poplavni valovi za različne povratne dobe in različno dolgo trajajoče nalive ustrezne intenzivnosti so obdelani v hidrološki študiji Inštituta za vode (IZVO d.o.o, 2009). Od tu so privzeti tudi podatki za izbrane valove tako v študiji »Izračuni hidravličnih posledic porušitve pregrad »Za Travnikom« in »Bukovžlak« - I. faza« (UL, FGG, KMTEK, 2010) kot tudi v naši diplomii.

Hidrogram poplavnega vala pri štiriurnem naliivu ustrezne intenzivnosti za stoletno povratno dobo doseže v profilu obvoznice maksimum $86 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je najvišja konica stoletnih voda, in volumen 2,47 milijona m^3 (slika 2). Za projektirano stanje smo iz študije privzeli tudi pretok, ki bi ob nastopu stoletnih voda odtekal iz izgrajenega zadrževalnika Ljubečna in znaša $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Podatki o pretokih obstajajo le za V. Ložnico. Za potok Dobje neposrednih podatkov ni. Glede na to, da ima po hidrološki študiji hidrogram stoletne vode za V. Ložnico v profilu priključka na AC skoraj dvakrat večji maksimalni pretok kot hidrogram v profilu AC, vmes pa je edini dotok Dobje (poleg dotoka z neposrednih prispevnih površin, ki pa ga v računu ne moremo upoštevati), smo privzeli, da po strugi in dolini potoka Dobje priteka celotna razlika

med hidrogramoma V. Ložnice v obeh profilih (pred vtokom in po vtoku Dobja). Pri tem smo upoštevali hitrost potovanja vala, ki je razviden iz obeh hidrogramov (slika 2).



Slika 2: Stoletni hidrogrami pretokov ob štiriurnem nalivu

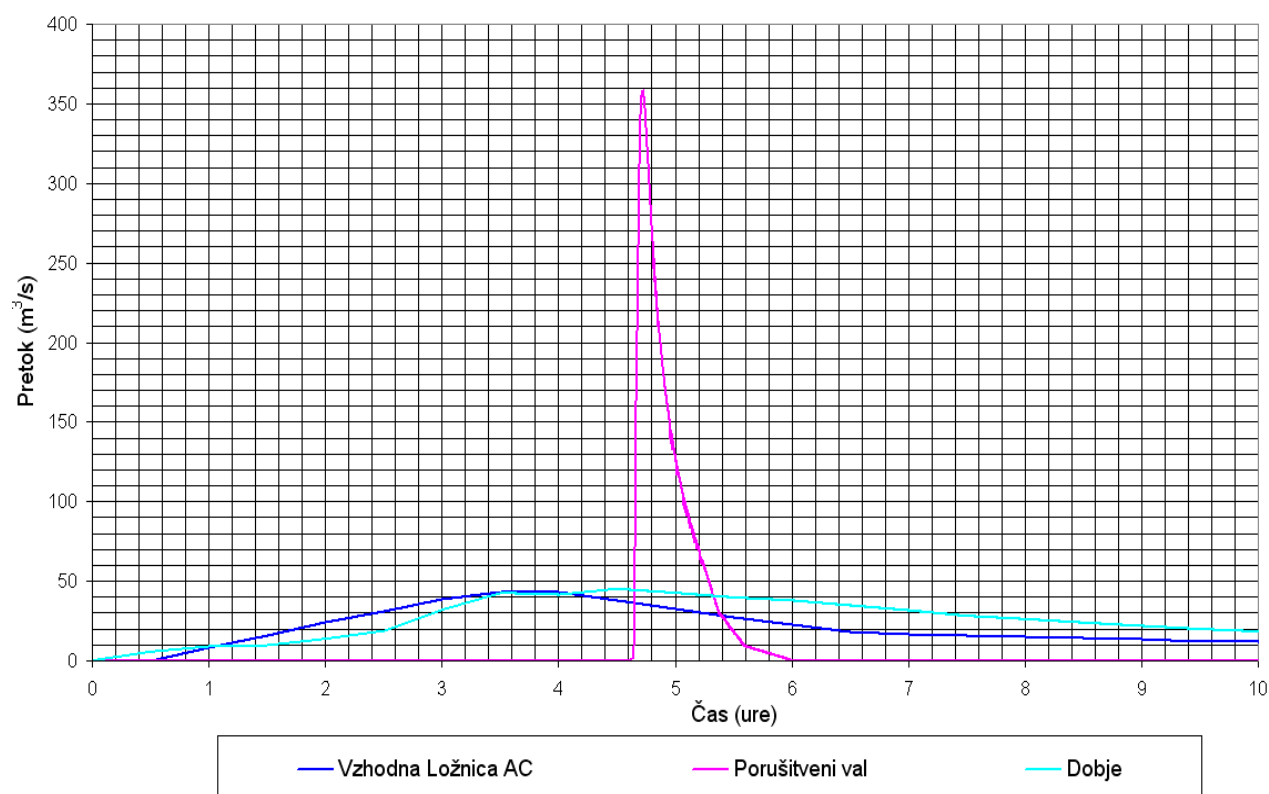
4.3 Hidravlični podatki

4.3.1 Koeficient hrapavosti

Na vrednost Manningovega koeficienta hrapavosti vpliva hrapavost ostenja, vegetacija, spreminjanje prečnih presekov vodotoka, oblika in spreminjanje omočenega oboda vzdolž trase vodotoka, prepreke, ovire, trasa vodotoka, transport plavin in izpodjedanje, vodostaj in pretok. Kadar obstajajo meritve gladin pri določenih pretokih, se ta parameter določi z umerjanjem modela, sicer pa ga zgolj ocenimo s pomočjo ustrezne literature na podlagi terenskega ogleda.

Vrednost koeficientov hrapavosti je bila povzeta po študiji »Izračuni hidravličnih posledic porušitve pregrad »Za Travnikom« in »Bukovžlak« - I. faza« (UL, FGG, KMTEK, 2010), kjer so koeficient hrapavosti ocenili glede na poraščenost in razgibanost terena. Za dolino potoka Travnik, kjer je večinoma travnato področje, so privzeli vrednost $n_G = 0,034 \text{ sm}^{-1/3}$. Dolina Dobja in Ložnice je večinoma pokrita s polji (večja zarast je le na področju planiranega suhega zadrževalnika Začet tik pred priključkom na AC), ceste v smeri vzdolžno in prečno na smer doline pa večkrat potekajo vsaj nekoliko v nasipu. Ker pa je območje obravnavano z 2D modelom, ki že sam z geometrijo zajame razgibanost terena in tega ne zajemamo s koeficientom hrapavosti, kot pri 1D modelu, so za ta odsek privzeli enako vrednost $n_G = 0,034 \text{ sm}^{-1/3}$.

4.3.2 Hidrogram porušitvenega vala



Slika 3: Hidrogram porušitvenega vodnega vala (Vir: UL, FGG, KMTEK, 2010)

V celicah 2D modela, kjer rob 2D modela seka dolino potoka Travnik, je bil s hidravličnim izračunom propagacije porušitvenega vala (1D model) določen hidrogram porušitvenega vodnega vala zaradi delne porušitve pregrade deponije Za Travnikom. Hidrogram, prikazan na sliki 3, je bil povzet po študiji »Izračuni hidravličnih posledic porušitve pregrad »Za Travnikom« in »Bukovžlak« - I. faza« (UL, FGG, KMTek, 2010).

4.3.3 Hidravlične karakteristike izpustnega objekta zadrževalnika Začret

Vstopna odprtina v zapornični objekt je dimenzije 10,0 x 2,5 m, dimenzije svetle izstopne odprtine pa 12,0 x 3,3 m. Celoten prikaz iztočne odprtine z zaporničnim objektom je prikazan v prilogi B.

5 OPIS RAČUNSKIH PRIMEROV

Glede na osnovni pretok posameznih vodotokov na obravnavanem področju smo naredili naslednje verzije izračunov širjenja poplavnega (in porušitvenega) vala vode z 2D modelom:

5.1 Računi za sedanje stanje

Kot je bilo že omenjeno, se ti izračuni niso izdelali v okviru diplome, temveč smo jih pridobili iz arhiva FGG-KMTek, da smo lahko naredili primerjavo poplavne ogroženosti v sedanjem in projektiranem stanju.

Primer 1: Na obravnavanem področju imamo pojav stoletnih poplavnih pretokov, pri tem upoštevamo sedanje stanje geometrije doline. Na V. Ložnici so uporabljene vrednosti za stoletni poplavni val za štiriurni naliv. Za Dobje pa je izračunana razlika valov na V. Ložnici v profilu priključka na AC in v profilu AC s tem, da je upoštevan časovni zamik vala med obema profiloma (0,5 ure).

Primer 2: Poleg poplavnega dogodka iz primera 1 imamo še dotok porušitvenega vala po dolini potoka Travnik. Hidrogram porušitvenega vala z začetnim osnovnim pretokom potoka Travnik $Q_0 = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ je prikazan na sliki 3. Čas nastopa porušitvenega vala je predviden tako, da približno sovpada z nastopom maksimuma poplavnega vala na obravnavanem področju. Zato je hidrogram porušitvenega vala zamaknjen za 4,7 ure glede na začetek poplavnega vala.

Na iztoku iz obravnavanega območja smo v obeh primerih na dolvodnem robu upoštevali pretočno krivuljo $z = z(Q)$ za normalni tok in sicer v profilu št. 65 preko razbremenilnega kanala, ki je bil določen z izračuni prevodne sposobnosti obstoječe struge V. Ložnice dolvodno od izhodnega roba 2D modela.

5.2 Računi za projektirano stanje

V osnovi je bilo predvideno, da se najprej izvede izračune za oba poplavna dogodka ob upoštevanju vseh določil projekta za zagotavljanje poplavne varnosti. V primeru, da bi rezultati predvsem primera 4 pokazali, da omejitev maksimalnega pretoka na izpustu iz zadrževalnika Začret po projektu povzroči prevelik dvig gladine v zadrževalniku, pa bi se izvedlo še dodaten račun. Z njim bi preverili, koliko vode bi bilo nujno izpuščati iz zadrževalnika, da ne bi prišlo do prelivanja visokovodnega preлива in s tem nekontroliranega povečevanja pretoka dolvodno od zadrževalnika ali celo do prelivanja krone preлива. Ker se je dejansko pri primeru 4 pokazalo, da bi prišlo do izdatnega prelivanja preko visokovodnega preлива, smo izvedli še dodaten račun. V njem smo iztok omejili na vrednost, na katero so dimenzionirani nasipi dolvodno od priključka na AC, to je $57 \text{ m}^3/\text{s}$. Poleg tega smo izvršili še račun, s katerim smo hoteli ugotoviti posledice blokade zapornice pri kombiniranem poplavnem dogodku.

Primer 3: Na obravnavanem področju imamo pojav stoletnih poplavnih pretokov za štiriurni naliv, pri tem upoštevamo, da sta že izgrajena zadrževalnika Začret in Ljubečna. Takrat imamo v profilu AC tudi pri stoletnih vodah konstanten odtok iz zadrževalnika Ljubečna in sicer $Q_0 = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pri našem modelu upoštevamo kot dotok po strugi V. Ložnice na severnem robu. Za dotok Dobja pa upoštevamo identičen poplavni val kot v primeru 1. Maksimalni iztok iz zadrževalnika Začret je omejen na $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Na izhodu iz 2D računskega področja je podana zveza $z(Q)$.

Primer 4: Poleg opisanega poplavnega dogodka v primeru 3 imamo še dotok porušitvenega vala po dolini potoka Travnik kot v primeru 2. Tudi v tem primeru je maksimalni iztok iz zadrževalnika Začret omejen na $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$, na iztoku iz 2D računskega področja pa smo podali enako krivuljo $z(Q)$ kot v primeru 3.

Primer 5: Ponovitev računa poplavnega dogodka iz primera 4, pri tem pa je maksimalni iztok iz zadrževalnika Začret omejen na $57 \text{ m}^3/\text{s}$.

Primer 6: Ponovitev računa poplavnega dogodka iz primera 4, pri tem pa predpostavimo, da se zapornična odprtina zamaši oz. zapornica zablokira v povsem zaprti legi.

Na iztoku iz obravnavanega območja smo v vseh treh primerih na dolvodnem robu upoštevali pretočno krivuljo $z(Q)$ za normalni tok in sicer v profilu št. 65 preko razbremenilnega kanala. Za projektirano stanje smo ta robni pogoj določili s programom HEC-RAS na podlagi pretočne sposobnosti predvidene regulacije V. Ložnice dolvodno od priključka na AC. Pri tem je kota gladine z v vsakem računskem koraku predpisana samo v eni celici struge na spodnjem robu, približno v osi struge. Gladine v ostalih točkah na robu izračuna program sam. V profilu prepusta preko reguliranega kanala V. Ložnice pa smo predpostavili, da pride pri visokih vodah do zamašitve obeh prepustov.

Poseben problem je predstavljalo modeliranje reguliranega iztoka skozi zapornično odprtino, ki se nahaja v notranjih točkah računskega področja, tako da smo morali na mestu zapornične odprtine določiti tudi notranji robni pogoj. Program nima vgrajene možnosti upoštevanja zaporničnega objekta, prav tako pa v notranjih točkah nima možnosti upoštevanja povezave $z(Q)$. Ima pa možnost upoštevanja diktiranega $Q(t)$, kar smo uporabili za rešitev našega problema.

Končni rezultat smo dobili v dveh korakih oz. z dvema zaporednima računoma za vsak poplavni primer. Najprej smo na mestu zaporničnega objekta upoštevali strugo brez omejitve pretočne sposobnosti. Pri računu propagacije vala je bil skozi to odprtino v nasipu zadrževalnika določen pretok zgolj na podlagi upoštevanja geometrije odprtine. Ta je seveda prevajala več, kot bi prevajala zapornična odprtina, ki je visoka samo 2,5 m in bi hitro prišlo do potopitve odprtine in iztekanja pod tlakom. Zato smo na podlagi hidrograma iz računa v tem prvem koraku konstruirali hidrogram kontroliranega iztoka iz zadrževalnika ($Q_{\max} = 28,5 \text{ m}^3/\text{s}$) tako, da smo konico hidrograma odtoka »porezali« pri vrednosti $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in višek (zadržani del) volumna predstavili v drugi, zakasneli del vala (sliki 6 in 7). Regulirani hidrogram smo nato enakomerno porazdelili med celice struge na mestu zapornice in ponovili izračun, tokrat z diktiranim pretokom v celicah struge na mestu zapornične odprtine v vsakem časovnem koraku.

6 REZULTATI

Globine vode smo preverjali predvsem v zadrževalniku in na lokacijah objektov. Te lokacije so označene na prilogah C do L.

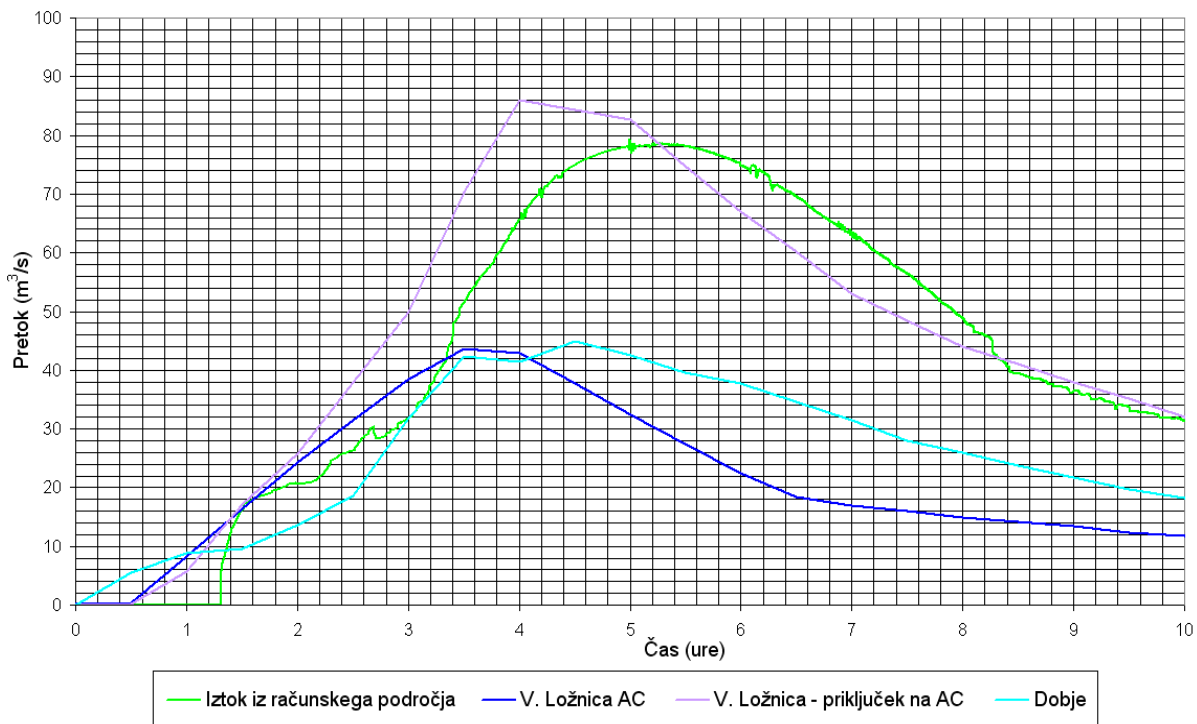
6.1 Rezultati izračunov hidravličnih posledic obeh poplavnih dogodkov za obstoječe stanje

Rezultati za računski primer 1:

Izračuni so pokazali, da ob samem poplavnem valu potoka Dobje in V. Ložnica poplavljata tako na desnem kot levem bregu. Globine vode pri hišah ob potoku Dobje (lokacije od 1 do 3') so do 0,25 m. Hiše pod opekarno (lokacija 4) voda ne doseže. Dolvodno od te lokacije se voda ob desnem bregu V. Ložnice preliva preko lokalne ceste Teharje – Začret –Ljubečna. Pri tem je cesta poplavljenjena do 0,25 m. Pri objektih farme Žepina (lokacija 5) na gorvodnem delu ob strugi V. Ložnice je globina največ 25 cm, objekti na dolvodnem koncu pa so že izven dosega vode. Stanovanjskih hiš dela naselja Začret v bližini priključka na AC (lokaciji 6 in 7) voda ne doseže. Večji del območja na levem bregu V. Ložnice, kjer je predviden zadrževalnik, je poplavljen. Največje globine vode so od 0,5 do 0,75 m in sicer pred priključkom na AC, na manjšem predelu ob sami strugi pa do 1 m. Izolinije globin za primer 1 so prikazane ne prilogi C.

Maksimalni pretok, ki ga dobimo na izhodu iz 2D modela ($79 \text{ m}^3/\text{s}$), je v konici nekoliko manjši kot hidrološka vrednost v profilu priključka na AC ($86 \text{ m}^3/\text{s}$). Razlogov je več: predvsem druga metoda določanja propagacije in oblikovanja vala, morda ne povsem ustrezna izbira časovnega zamika pri določitvi hidrograma za Dobje, nemožnost upoštevanje direktnega dotoka v matematičnem modelu, numerična napaka matematičnega modela. Ker pa je volumsko ujemanje izhodnega hidrograma matematičnega modela v primerjavi s hidrološkim dovolj dobro, smo presodili, da je privzeti način konstrukcije hidrograma za Dobje ustrezen.

Hidrogrami vtokov in iztoka so prikazani na sliki 4.



Slika 4: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 1 (Vir: UL, FGG, KMTek, 2010)

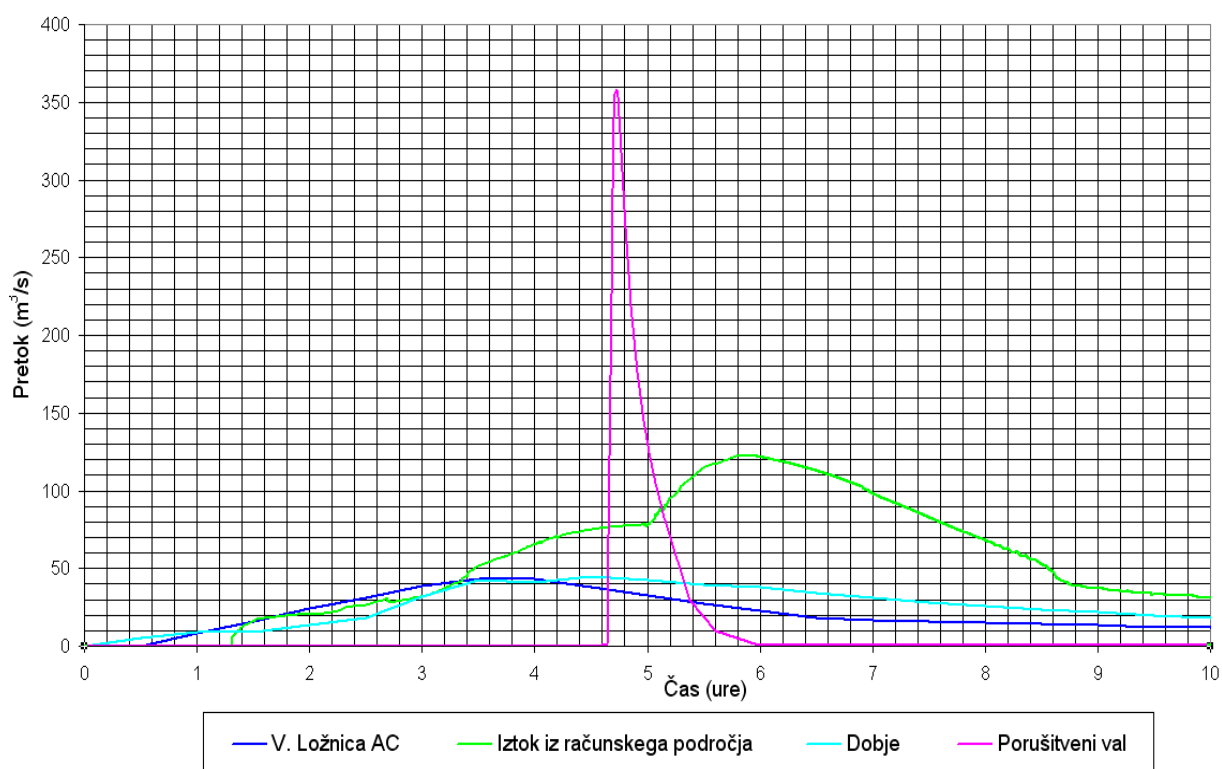
Rezultati za računski primer 2:

Globine ob sočasnem poplavnem in porušitvenem valu so na lokaciji 1 (osamljeni hiši na desnem bregu Dobja) ca. 0,9 m, prav tako na lokaciji 2 (hiša in gospodarsko poslopje na levem bregu Dobja). Pri hiši ob Dobju pred vtokom potoka Travnik (lokacija 3) je globina vode 0,56 m, ob gospodarskem poslopju na lokaciji 3' pa 0,9 m. Na večjem delu odseka od vtoka Travnika dolvodno so maksimalne globine od 0,5 do 0,75 m. Nekoliko večje globine vode (do 1,5 m) so na najnižjem področju pred cesto Teharje – Začret - Ljubečna, ki je nekoliko v nasipu in v določeni meri zajezuje tok vode. Lokalna cesta pod opekarno je preplavljena do 0,5 m, hiše ob tej cesti na lokaciji 4 pa do 0,3 m. Na levem poplavnem območju teče voda preko ceste Teharje – Začret – Ljubečna v območje, kjer je predviden zadrževalnik. Pred priključkom na AC so na tem območju globine vode do 1,75 m. Na desnem bregu V. Ložnice voda preliva cesto Teharje – Začret – Ljubečna z višino 0,5 m in tako ogroža dolvodno ležeče objekte. Večji del farme Žepina na lokaciji 5 je preplavljen z vodo globine od 0,25 do 0,5 m. Objekti najbližje strugi so zaradi nižjega terena bolj ogroženi. Tako so najbolj ogroženi gorvodni objekti poplavljeni 1 m globoko, dolvodni pa 0,65 m.

Dolvodni objekti farme, ki so najbolj oddaljeni od struge, so varni pred visoko vodo, medtem ko so gorvodni poplavljeni do globine 0,3 m. Hiše pod lokalno cesto v naselju Začret tik pred priključkom na AC (lokacija 6) so poplavljene od 0,87 do 1,05 m globoko, hiše tik nad cesto v tem delu naselja (lokacija 7) pa so poplavljene med 0,45 in 0,65 m globoko. Izolinije globin za primer 2 so prikazane na prilogi D.

Maksimalni pretok, ki bi iztekal iz računskega področja skozi mostno odprtino pod obvoznico, znaša približno $122 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimalna kota vode tik pred priključkom na AC pa $242,83 \text{ m}$.

Hidrogrami vtokov in iztoka so prikazani na sliki 5.



Slika 5: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 2 (Vir: UL, FGG, KMTek, 2010)

Primerjava obeh računskih primerov:

Izolirane globine, izrisane na obravnavanem računskem področju za oba računski primera, so prikazane na prilogah C in D, poplavni liniji za oba primera v prilogi E, podolžni profil maksimalnih gladin pa v prilogi F. Medtem ko je v podolžnem profilu podan potek gladin v osi strug potokov Dobje in V. Ložnica, so v preglednici 3 podane maksimalne kote gladin ob posameznih objektih oz. v prečnih profilih na lokacijah objektov.

Preglednica 3: Maksimalne kote vode v prečnih profilih na lokacijah objektov oz. maksimalne globine vode na lokacijah objektov za oba računski primera – sedanje stanje (* prva vrednost je kota terena ob objektih najbližje strugi in druga vrednost je kota terena ob objektih, ki so najdlje od struge)

Lokacija (kota terena)	Maksimalne kote in globine vode (m)	
	samo poplavni val	poplavni in porušitveni val
1 247,85	248,10 0,25	248,75 0,90
2 247,60	247,85 0,25	248,50 0,90
3 247,40	247,63 0,23	247,96 0,56
3' 247,00	247,25 0,25	247,90 0,90
4 244,9	244,70 -	245,20 0,30
5 gorvodno 242,10-243,00*	242,35 do 243,05 0,25 do 0,05	243,10 do 243,30 1,0 do 0,30
5 dolvodno 242,15-245,27*	242,15 -	242,80 do 245,27 0,65 do 0,0
6 gorvodno 242,00	241,60 -	242,87 0,87
6 dolvodno 241,80	241,50 -	242,85 1,05
7 gorvodno 242,10	241,60 -	242,75 0,65
7 dolvodno 242,50	241,20 -	242,95 0,45

Kombinacija poplavnega in porušitvenega vala povzroča v gorvodnem delu obravnavanega odseka do 0,65 m večje maksimalne kote vode kot v primeru nastopa samo poplavnega vala. Hiše na lokaciji 4, ki v računskem primeru 1 niso ogrožene, so v primeru 2 poplavljeni do globine 0,3 m. Na tem območju poplavna linija ne seže do območja opekarne Začret. Dolvodno se v obeh primerih voda preliva po desnem poplavnem območju preko lokalne ceste Teharje – Začret – Ljubečna, razlika v globini vode na cesti je do 0,25 m. Na področju farne Žepina (lokacija 5) je globina vode v gorvodnem delu pri kombiniranem valu večja za 0,25 - 0,75 m. Dolvodne objekte, ki ležijo ob potoku, voda v primeru poplavnega vala ne doseže, so pa ob morebitnem dodatnem porušitvenem valu poplavljeni do globine 0,65 m. Poplavna linija stoletnega vala, ki ga povzroči štiriurni naliv, se nato dolvodno precej približa strugi, tako da ne predstavlja nevarnosti za skupine hiš v tem delu naselja Začret. V računskem primeru 2 pa bi bilo to poseljeno območje (lokaciji 6 in 7) poplavljeno z globino vode od 0,45 do 1,05 m. Največje globine v dolini na levem bregu V. Ložnice, na področju bodočega zadrževalnika, so v primeru 2 večje za približno 1 m, razlika v maksimalnem pretoku skozi mostno odprtino pod obvoznica pa je $43 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksimalni pretok iztočnega hidrograma v obeh primerih nakazuje poplavno ogroženost dolvodnih objektov, ki ležijo ob V. Ložnici, kar pa ni več predmet naše obdelave. Kot smo že ugotovili iz projekta »Zagotavljanje poplavne varnosti ob Vzhodni Ložnici na območju MOC« (Hidrosvet d.o.o., 2010), podobno pa kaže tudi študija FGG, povzroča precejšnjo poplavno ogroženost dolvodno od priključka že sam poplavni val, ki je v omenjenem projektu upoštevan še ob nastopu visokih voda Hudinje. Poplavna ogroženost dolvodnega območja v primeru kombiniranega vala bi bila seveda še precej večja.

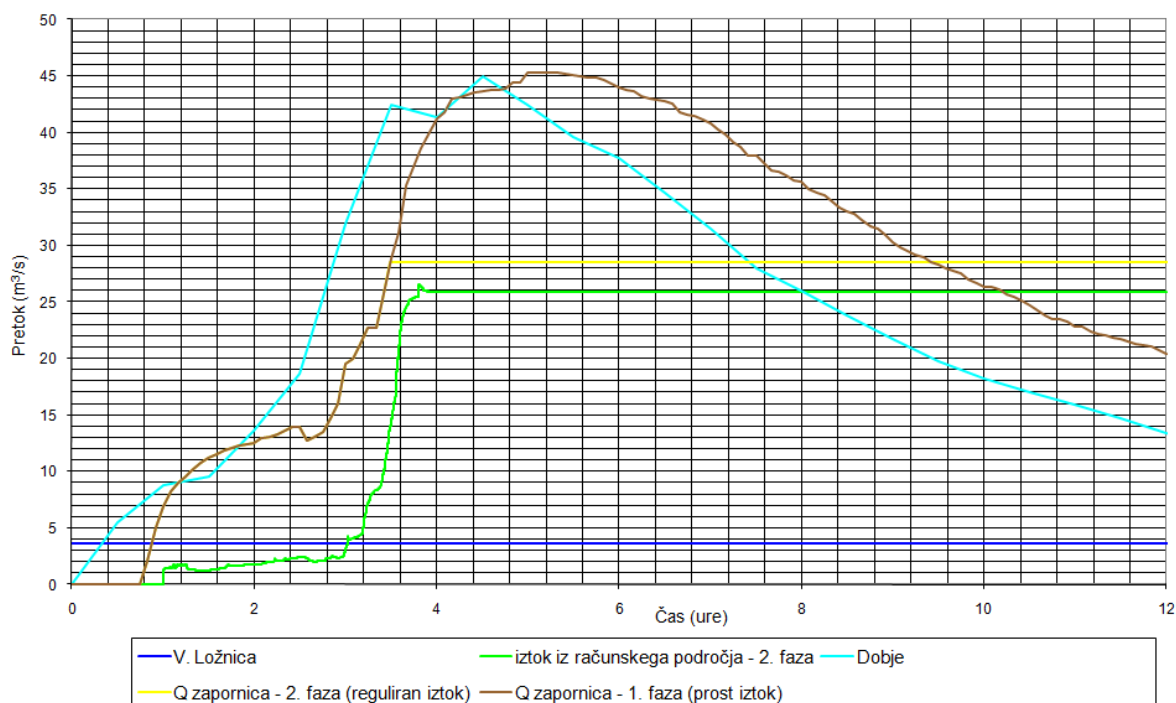
6.2 Rezultati izračunov hidravličnih posledic obeh poplavnih dogodkov za projektirano stanje

Rezultati za računski primer 3:

Na področju osamljenih hiš med potokoma Dobje in Travnik (lokacije 1, 2, 3 in 3') so globine približno enake kot v primeru 1 in sicer do največ 0,25 m. Desno poplavno območje V. Ložnice dolvodno od vtoka Dobja je poplavljeno s povprečno višino vode 0,1 m in sega

do ceste Teharje – Začret – Ljubečna. Ceste voda ne preliva. Tako je desno poplavno področje dolvodno od ceste poplavno varno. Vse lokacije do priključka na AC, na katerih so objekti (lokacije 4, 5, 6 in 7), so izven dosega vode. Vsa voda iz področja nad cesto Teharje – Začret – Ljubečna bi tekla po strugi skozi mostno odprtino in se zbirala v zadrževalniku Začret, od koder bi odtekala nadzorovano skozi izpustni objekt z zapornico. Tri ure in pol po začetku poplavnega vala (dokler hidrogram iztoka iz zapornične odprtine ne doseže pretoka $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$) voda prosto odteka skozi zapornično odprtino, po tem času pa se prične zapornica pripraviti in sicer tako, da konstantno izteka pretok $Q = 28,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Hidrogrami vtokov in iztokov so prikazani na sliki 6.

Maksimalna kota vode v zadrževalniku Začret bi bila $242,95 \text{ m.n.v.}$, kar je nekoliko pod koto visokovodnega preliva ($243,2 \text{ m.n.v.}$). Iz teh rezultatov je razvidno, da projektirani ukrepi dejansko zagotavljajo poplavno varnost na celotnem področju Začreta in vzhodnega dela Celja med priključkom na AC in Hudinjo. Izolinije globin za primer 3 so prikazane na prilogi G.



Slika 6: Hidrogrami vtokov in iztokov za računski primer 3

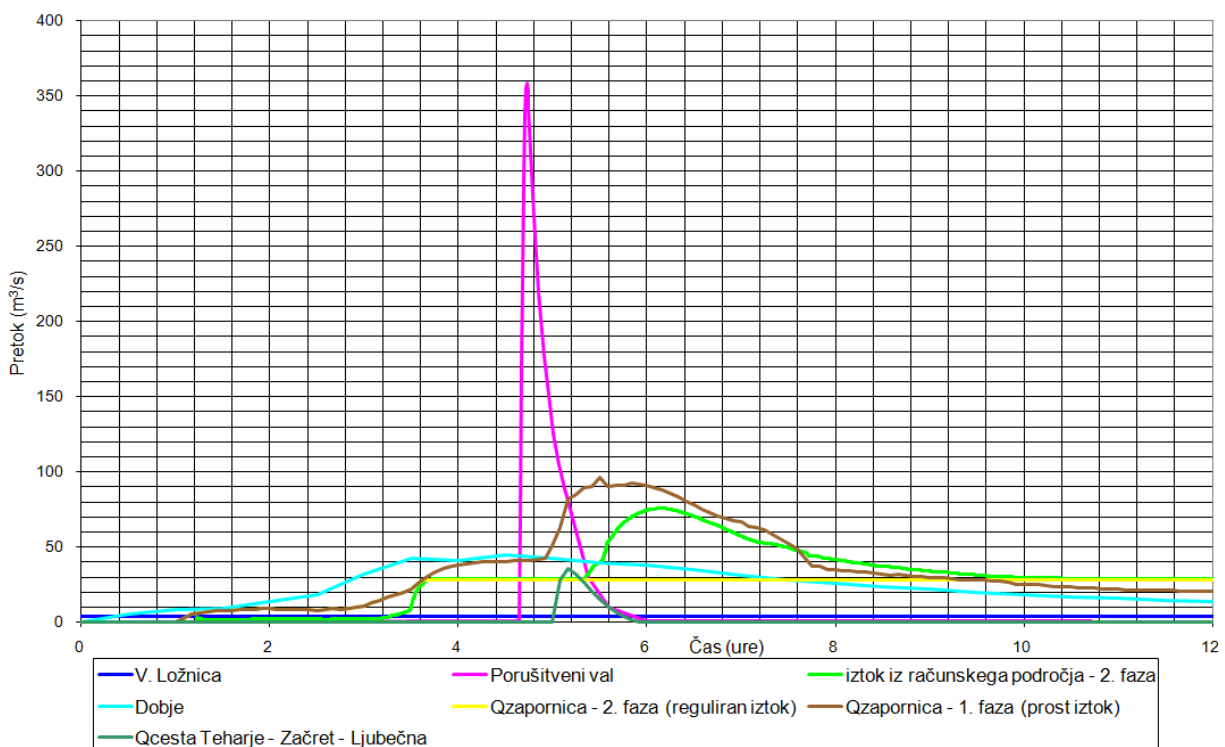
Rezultati za računski primer 4:

Globine ob nastopu kombiniranega vala so naslednje: pri hiši na desnem bregu potoka Dobje (lokacija 1) ter na mestu hiše z gospodarskim poslopjem na levem bregu potoka Dobje (lokacija 2) 0,90 m, pri naslednji hiši dolvodno (še pred izlivom potoka Travnik v potok Dobje - lokacija 3) 0,56 m, pri gospodarskem posloju ob potoku Travnik (lokacija 3') pa 0,9 m. Na večjem delu odseka od vtoka Travnika dolvodno so maksimalne globine okrog 0,5 m. Na najnižjem področju pred cesto v Začret, ki je dvignjena v nasipu in v določeni meri skupaj z mostno odprtino zajezuje tok vode, so globine do 1,75 m. Na lokaciji 4 (pod obratom Začret opekarnе Ljubečna) je kota vode 245,65 m, tako da prelije lokalno cesto pod opekarno, hiše pod opekarno pa so poplavljenе do 0,55 m. Zajezena voda se preliva preko ceste Teharje – Začret – Ljubečna proti dolvodnim poplavnim področjem tako na levi kot tudi desni strani V. Ložnice. Voda bi se na gorvodni strani mostu dvignila do zgornjega robu mostne konstrukcije. Maksimalni pretok preko ceste na desnem poplavnem področju bi bil ca. 35,6 m³/s. Voda, ki bi prelivala cesto med mostom in opekarno v Začretu in tekla po desnem poplavnem področju, bi bila popolnoma ločena od vode v zadrževalniku. Delno bi se akumulirala na nižjem delu terena na desni strani nasipa zadrževalnika, delno pa bi se prelivala preko obstoječega nasipa (kota krone 242 m) dolvodno od farme Žepina do obvoznice v prostor med nasipom zadrževalnika Začret in nasipom vzhodnega dela celjske obvoznice. Od tu bi skupaj z vodo, ki bi iztekala iz zadrževalnika Začret, tekla skozi mostno odprtino pod obvoznico dolvodno proti Celju. Na gorvodnem koncu farme najbližje V. Ložnici bi bile globine do 0,7 m, objekti, bolj oddaljeni od potoka pa bi bili poplavljeni ca. 0,05 m. Na dolvodnem koncu farme bi bili objekti bližje potoku poplavljeni do 0,4 m globoko, bolj oddaljeni od potoka pa bi bili izven dosega vode. Tik pred obvoznico bi bile hiše pod cesto (lokacija 6) poplavljenе med 0,3 m in 0,4 m, hiše nad cesto (lokacija 7) pa do ca. 0,17 m. Najbolj nizvodne, ki ležijo na malo višjem terenu, bi bile že izven dosega vode.

Maksimalna kota vode na področju projektiranega zadrževalnika bi bila 243,82 m.n.v., kar pomeni, da bi bila največja globina vode v zadrževalniku 2,75 m. Voda sega 0,68 m pod krono nasipa, vendar izdatno preliva visokovodni preliv, ki je na koti 243,2 m.n.v.. Reguliranemu pretoku 28,5 m³/s, ki teče iz zadrževalnika, se pridruži voda, ki teče preko visokovodnega preliva in voda, ki priteče z desnega poplavnega območja izven zadrževalnika.

Tako se vse vodne količine združijo v strugi V. Ložnice, po kateri teče iz roba računskega področja pod vzhodno celjsko obvoznico $75,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Ti rezultati so pokazali, da bi omejitev iztoka iz zadrževalnika povzročila tako velik dvig gladine v samem zadrževalniku, da bi prišlo do občutnega preliivanja vode preko visokovodnega preliva. Tako so preseženi pretoki, na katere so dimenzionirani projektirani visokovodni nasipi ob V. Ložnici. Zaradi omenjenega problema smo izvedli še dodaten izračun (računski primer 5). Izolinije globin za primer 4 so prikazane na prilogi H.

Hidrogrami vtokov in iztokov za primer 4 so prikazani na sliki 7.



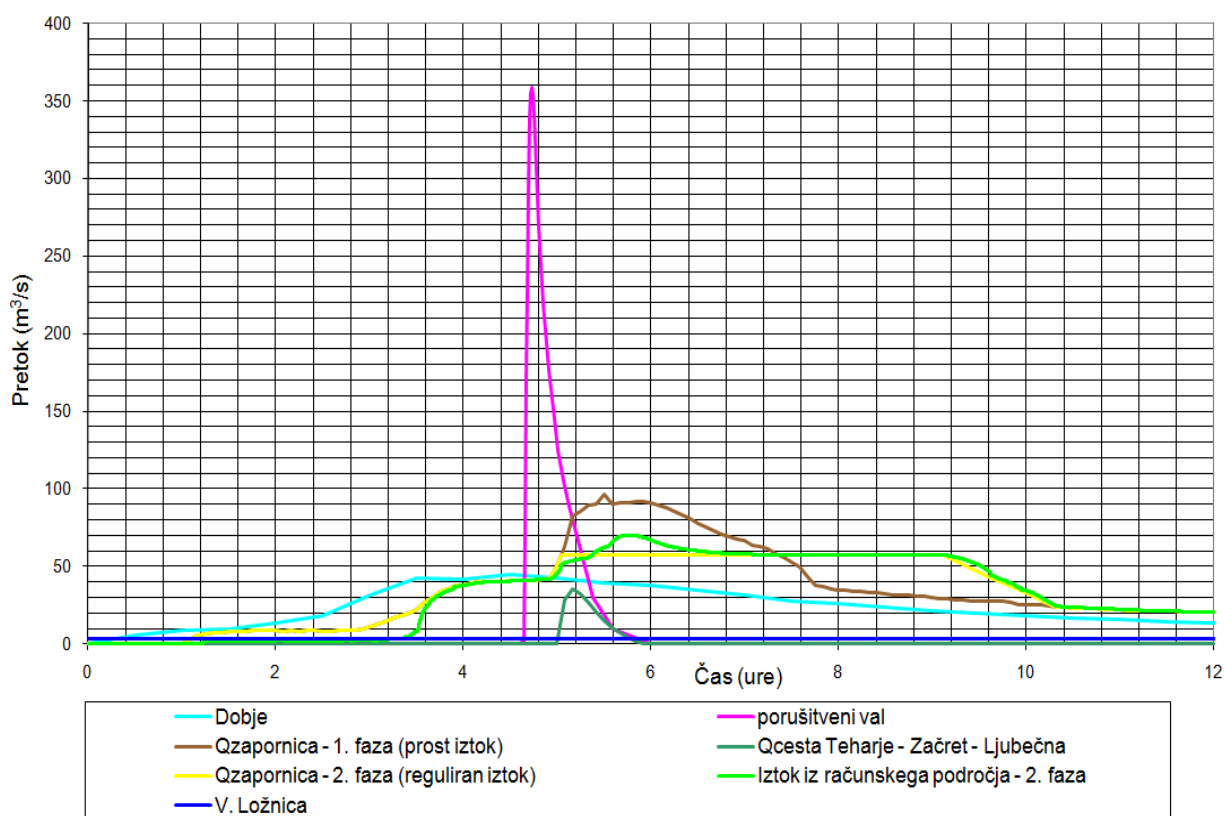
Slika 7: Hidrogrami vtokov in iztokov za računski primer 4

Rezultati za računski primer 5:

Omejitev iztoka smo dali na vrednost, na katero so dimenzionirani nasipi dolvodno od priključka na AC, to je $57 \text{ m}^3/\text{s}$. Gladina vode v zadrževalniku se zaradi izpusta večjega pretoka zmanjša na maksimalno koto 243,58 m.n.v.. Tako da tudi v tem primeru voda še

vedno teče preko visokovodnega preliva. Maksimalni pretok iz računskega področja znaša $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Z 1D modelom HEC-RAS smo preverili pretočno sposobnost projektirane regulirane struge dolvodno od pregrade. V. Ložnica še prevaja pretok $90 \text{ m}^3/\text{s}$, ne da bi prišlo do preliivanja nasipov. Pri pretoku $70 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša varnostno nadvišanje še ca. 40 cm. Da bi preliivanje popolnoma preprečili, bi morali regulirani iztok skozi zapornično odprtino povečati na ca. $65 \text{ m}^3/\text{s}$. To je sicer še vedno večja vrednost od projektirane, vendar zagotavlja nekoliko večjo varnostno višino kot pri računskih primerih 4 in 5.

Hidrogrami za računski primer 5 so prikazani na sliki 8.

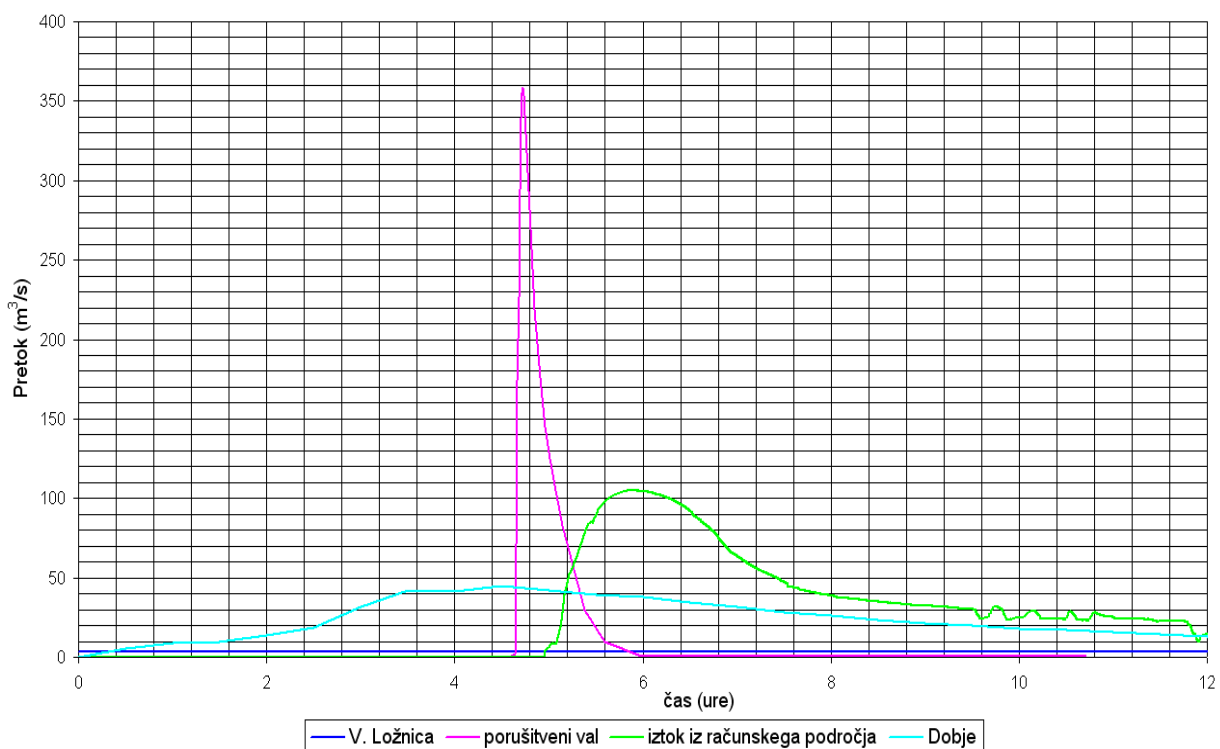


Slika 8: Hidrogrami vtokov in iztokov za računski primer 5

Rezultati za računski primer 6:

V primeru zamašitve iztočne zapornične odprtine začne voda prelivati visokovodni varnostni preliv po 4,6 urah od začetka poplavnega dogodka. Po 5,6 urah doseže voda v zadrževalniku maksimalno koto in sicer 244,22 m.n.v., kar je še 0,28 m pod krono nasipa. Maksimalni pretok na iztoku iz računskega področja je $105 \text{ m}^3/\text{s}$. Tako visok pretok bi že povzročil prelivanje visokovodnih nasipov dolvodno od priključka na AC. Prelivanje nasipov bi trajalo nekaj več kot 1 uro, tako da bi v tem primeru obstajala nevarnost poškodovanja nasipov in poplavljanja zavarovanih območij.

Hidrogrami za računski primer 6 so prikazani na sliki 9.



Slika 9: Hidrogrami vtokov in iztoka za računski primer 6

Primerjava računskih primerov za projektirano stanje:

Izolinije globin, izrisane na obravnavanem računskem področju za računski primera 3 in 4, so prikazane v prilogah G in H, poplavne linije na prilogi I, vektorji hitrosti v času maksimalnih pretokov pa so prikazani v prilogah M in N. V podolžnem profilu so podani potek gladin v osi strug potokov Dobje in predstavljene V. Ložnice, v preglednici 4 pa so podane kote gladin ob posameznih objektih. Podolžni profil maksimalnih gladin vode za primere 3 do 6 je prikazan v prilogi J.

Preglednica 4: Maksimalne kote vode v prečnih profilih na lokacijah objektov oz. maksimalne globine vode na lokacijah objektov za vse računske primere – projektirano stanje (* prva vrednost je kota terena ob objektih najbližje strugi in druga vrednost je kota terena ob objektih, ki so najdlje od struge)

Lokacija (kota terena)	Maksimalne kote in globine vode (m)	
	samo poplavni val	poplavni in porušitveni val
1 247,85	248,10 0,25	248,75 0,90
2 247,60	247,85 0,25	248,50 0,90
3 247,40	247,63 0,23	247,96 0,56
3' 247,00	247,25 0,25	247,90 0,90
4 244,90	244,30 -	245,45 0,55
5 gorvodno 242,10-243,00*	- -	242,80 do 243,05 0,70 do 0,05
5 dolvodno 242,15-245,27*	- -	242,52 do 245,27 0,37 do 0,0
6 gorvodno 242,00	- -	242,30 0,30
6 dolvodno 241,80	- -	242,20 0,40
7 gorvodno 242,10	- -	242,27 0,17
7 dolvodno 242,50	- -	242,2 -

Porušitveni val skupaj s poplavnim valom povzroča na gorvodnem odseku (lokacije 1 do 3') do 0,75 m višje maksimalne kote vode kot sam poplavni val. Dolvodnih lokacij na desnem bregu V. Ložnice sam poplavni val ne doseže. Pri dodatnem porušitvenem valu pa bi voda tekla preko ceste Teharje – Začret – Ljubečna proti dolvodnim naseljenim predelom Začreta, ki bi bili poplavljeni s povprečno globino 0,4 m. Voda, ki bi tekla po levem poplavnem področju, bi se zbirala v zadrževalniku Začret, od koder bi odtekala nadzorovano skozi izpustni objekt z zapornico, pri tem bi bil v primeru 3 in 4 iztok iz zapornice reguliran na največ 28,5 m³/s. Volumen odtoka skozi zapornično odprtino je pri kombiniranem valu 1,24 – krat večji kot pri samem poplavnem valu. V primeru samo poplavnega vala je maksimalna kota vode v zadrževalniku 1,55 m pod krono nasipa in še ne preliwa visokovodnega preliwa. Kota krone zadrževalnika (244,5 m) je dovolj visoka tudi v primeru, če bi poleg stoletnega poplavnega pretoka prišlo tudi do porušitve pregrade »Za Travnikom«. Pri kombinaciji stoletnega vala zaradi štiriurnega naliva (maksimalni stoletni val) in porušitvenega vala bi bila maksimalna gladina vode v zadrževalniku Začret ca. 0,68 m pod koto krone nasipa zadrževalnika, voda pa bi določen čas prelivala preko visokovodnega preliwa. Voda, ki priteče z desnega poplavnega področja, reguliran iztok iz zapornične odprtine in prelita voda iz zadrževalnika se tako na območju med pregrado zadrževalnika Začret in obvoznico AC združi in teče skozi mostno odprtino dalje po strugi V. Ložnice. Protipoplavni nasipi dolvodno bi tak pretok sicer še prenesli, saj do preliwanja nasipov še ne bi prišlo, vendar z zmanjšanim varnostnim nadvišanjem. Ukrep, da iz zadrževalnika Začret izpuščamo 57 m³/s namesto 28,5 m³/s ni zadosten, da bi preprečil preliwanje preko visokovodnega preliwa, ga pa nekoliko zmanjša. Regulirani iztok bi bilo potrebno še povečati (na ca. 65 m³/s), vendar je še vprašljivo, če bi preliwanje povsem preprečili. Povzročča ga namreč porušitveni val, ki je zelo strm in zato povzroči zelo hitro naraščanje pretoka in gladine. Bistveno pa je, da v nobenem primeru ne bi prišlo do preliwanja krone zadrževalnika in prav tako ne do preliwanja visokovodnih nasipov dolvodno od priključka na AC, razen v primeru 6, kjer smo predpostavili popolno zamašitev iztočne odprtine iz zadrževalnika.

6.3 Primerjava ogroženosti za oba poplavna primera v sedanjem in projektiranem stanju

Izračuni so pokazali naslednje:

Stavbe na lokacijah 1 do 3' bi bile v projektiranem stanju za primerljive poplavne dogodke ogrožene v enaki meri kot v sedanjem (obstoječem) stanju, saj zajezevanje zaradi sprememb v projektiranem stanju ne seže tako daleč. Projekt predvideva njihovo zaščito, tako da bi bile v primeru samega poplavnega vala Q_{100} varne, v primeru kombiniranega vala pa zaščita (verjetno) ne bi bila več zadostna.

V primeru poplavnega vala voda v nobenem primeru ne poplavi hiše na lokaciji 4, poplavna linija v projektiranem stanju pa poteka nižje kot poplavna linija v sedanjem stanju, ko voda cesto tudi preplavi. Razlog je v tem, da v sedanjem stanju priteka precej več vode, saj pride poplavni val tudi po V. Ložnici, medtem ko je v projektiranem stanju ta dotok zmanjšan na 3,6 m³/s zaradi zadrževalnika Ljubečna. Tako so dolvodni objekti v projektiranem stanju poplavno varni, v obstoječem stanju pa poplavni val dolvodno od ceste Teharje – Začret – Ljubečna na desnem poplavnem področju ogroža del gorvodnih objektov farme Žepina, ki bi bili poplavljeni do višine največ 0,25 m. Primerjava poplavne ogroženosti med sedanjim in projektiranim stanjem za sam poplavni val je prikazana na prilogi K.

Pri kombiniranem valu bi bila poplavljenost na lokacijah 1 do 3' v projektiranem stanju praktično enaka kot v sedanjem stanju kljub delovanju zadrževalnika Ljubečna. Iz tega sledi, da ima gorvodno od ceste Teharje – Začret – Ljubečna prevladujoč vpliv dotok porušitvenega vala z visoko in strmo, čeprav ozko konico. Na lokaciji 4 pa je v projektiranem stanju gladina celo nekoliko višja kot v sedanjem stanju zaradi vpliva dvignjene ceste Teharje – Začret – Ljubečna. Na poseljenem območju na desnem bregu V. Ložnice dolvodno od ceste Teharje – Začret – Ljubečna bi po izgradnji zadrževalnika Začret opazili največje razlike v globini poplavljenih objektov. Pri farmi Žepina bi bili tako objekti za okoli 30 cm manj poplavljeni, na lokacijah 6 in 7 pa bi bila razlika do 0,5 m. Primerjava poplavne ogroženosti med sedanjim in projektiranim stanjem za kombinirani val je prikazana na prilogi L.

Največje izboljšanje zaradi projektiranih protipoplavnih ukrepov pa se kaže na območju dolvodno od priključka na AC. Čeprav tega dela nismo računsko obdelali, je na podlagi vrednosti iztočnih hidrogramov in poznavanja poplavne ogroženosti v sedanjem stanju možno dati oceno, da bo področje, ki je sedaj poplavno izredno ogroženo, po izvedbi protipoplavnih ukrepov poplavno varno tudi v primeru, da poleg pojava stoletnega pretoka pride še do izlitja vode iz deponije Za Travnikom, razen v primeru zataknitve zapornice v popolnoma zaprti legi (primer 6).

7 ZAKLJUČKI

Cilj diplomske naloge je bila ocena in primerjava poplavne varnosti ob nastopu dveh različnih poplavnih dogodkov tako v sedanjem kot v projektiranem stanju, ki predvideva regulacijo V. Ložnice in izgradnjo dveh suhih zadrževalnikov na V. Ložnici - Začret in Ljubečna. V računskih primerih smo obravnavali pojav stoletnih poplavnih pretokov ob štiriurnem nalivu ter kombinacijo poplavnega in porušitvenega vala, ki bi nastopil ob morebitni delni porušitvi pregrade deponije Za Travnikom. Izračunov za sedanje stanje nismo izdelali v okviru diplome, temveč smo jih pridobili iz arhiva FGG – KM Tek. Podatke za projektirano stanje smo pridobili iz projekta podjetja Hidrosvet d.o.o.. Za projektirano stanje smo želeli preveriti zadostnost kapacitete zadrževalnika Začret v primeru delne porušitve pregrade Za Travnikom v času nastopa maksimalnih stoletnih poplavnih voda. Poleg tega smo naredili izračune še za sam poplavni val. Tako smo lahko dobljene rezultate primerjali z izračuni za sedanje stanje.

Za diplomsko nalogo, kjer smo se ukvarjali z matematičnim modeliranjem toka Vzhodne Ložnice v Začretu pri Celju, smo uporabili dvodimenzijski matematični model PCFLOW2D, ki je bil razvit na Katedri za mehaniko tekočin Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

Rezultati so pokazali naslednje:

- Na poplavno varnost na področju objektov ob Dobju (lokacije 1 do 3') protipoplavni ukrepi ob nastopu stoletnega poplavnega vala ne bi vplivali, razen predvidene lokalne zaščite. Poplava bi v sedanjem stanju povzročila nekaj škode na gorvodnih objektih farme Žepina, kjer bi projektirano stanje popolnoma izboljšalo razmere. Ostale lokacije, kjer se nahajajo objekti, pa ne bi bile ogrožene niti v sedanjem niti projektiranem stanju. Volumen zadrževalnika s projektiranim reguliranim iztokom $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bi tako zadostoval za zadržanje viška vode ob maksimalnem stoletnem poplavnem dogodku. S temi ukrepi bi tako zagotovili poplavno varnost pred stoletnim poplavnim dogodkom za naselje Začret in celotnemu področju dolvodno od priključka na AC, kar je bil namen projektiranih rešitev.

- Pri vtoku porušitvenega vala po dolini potoka Travnik v času nastopa stoletnih poplavnih voda bi ogroženost objektov ob potoku Dobje (lokacije 1 do 3') ostala približno enaka kot pred izgradnjo zadrževalnikov. Protipoplavna zaščita za Q_{100} v tem primeru ne bi zadostovala. Poplavno ogroženost tu povzroča predvsem porušitveni val in je sorazmerno velika tako zaradi globin (skoraj 1 m) kot tudi zaradi velikih hitrosti vode. Poplave na področju farme Žepina in dela naselja Začret pred obvoznico bi bile še vedno prisotne, čeprav z nekoliko manjšimi posledicami kot v sedanjem stanju. Rezultati kombiniranega vala v projektiranem stanju (primera 4 in 5) so nam dali misliti, da bi se prelivanje ceste Teharje – Začret – Ljubečna po desnem poplavnem področju lahko zgodilo tudi pri večjih poplavnih dogodkih (npr. Q_{5000}), kar bi bilo nevarno za objekte v tem delu (zaprti so med nasip zadrževalnika, nasip obvoznice in višji teren). Zato mislimo, da bi bilo smotrno del ceste med mostom in opekarno Začret v celoti dvigniti na koto mostu (245,5 m.n.v.). Prav tako je pomembna izvedba prehoda struge V. Ložnice s sedanje trase na projektirano traso dolvodno od mostu, ki mora omogočati čim večjo prevodnost struge na območju mostu. Na ta način bi preprečili prelivanje ceste in poplavljanje desnega poplavnega področja. Projektirane rešitve pa bi tudi v tem primeru rešile poplavno varnost Celja dolvodno od obvoznice.
- V primeru zamašitve zapornične odprtine ob nastopu poplavnega in porušitvenega vala projektirani nasipi dolvodno od obvoznice ne bi zadostovali, saj bi bilo prelivanje vode preko visokovodnega preliva iz zadrževalnika Začret preveliko. Zaščito tega dela naselja bi zagotovilo le nemoteno delovanje zaporničnega objekta.

VIRI

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. 1999. Vodne ujme: varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 186 str.

Četina, M. 1998. Dvodimenzijski program PCFLOW2D. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hidrotehnična smer: 67 str.

Fazarinc, R. 2004. Varovanje naselij v Spodnji Savinjski dolini pred poplavami. V: Oberžan, T. (ur.). Slovenski vodar. Celje, december 2004. Ljubljana, Narodna in univerzitetna knjižnica: str. 3-6.

Hidrosvet d.o.o. 2010. Zagotavljanje poplavne varnosti ob Vzhodni Ložnici na območju MOC. Idejni projekt. Ljubljana, Mestna občina Celje: 1 zv. (loč. pag.).

Inženiring za vode d.o.o. 2009. Določitev visokovodnih valov Vzhodne Ložnice in vpliv zadrževalnikov Ljubečna in Začret. Hidrološka študija. Ljubljana, Hidrosvet d.o.o.: 17 f.

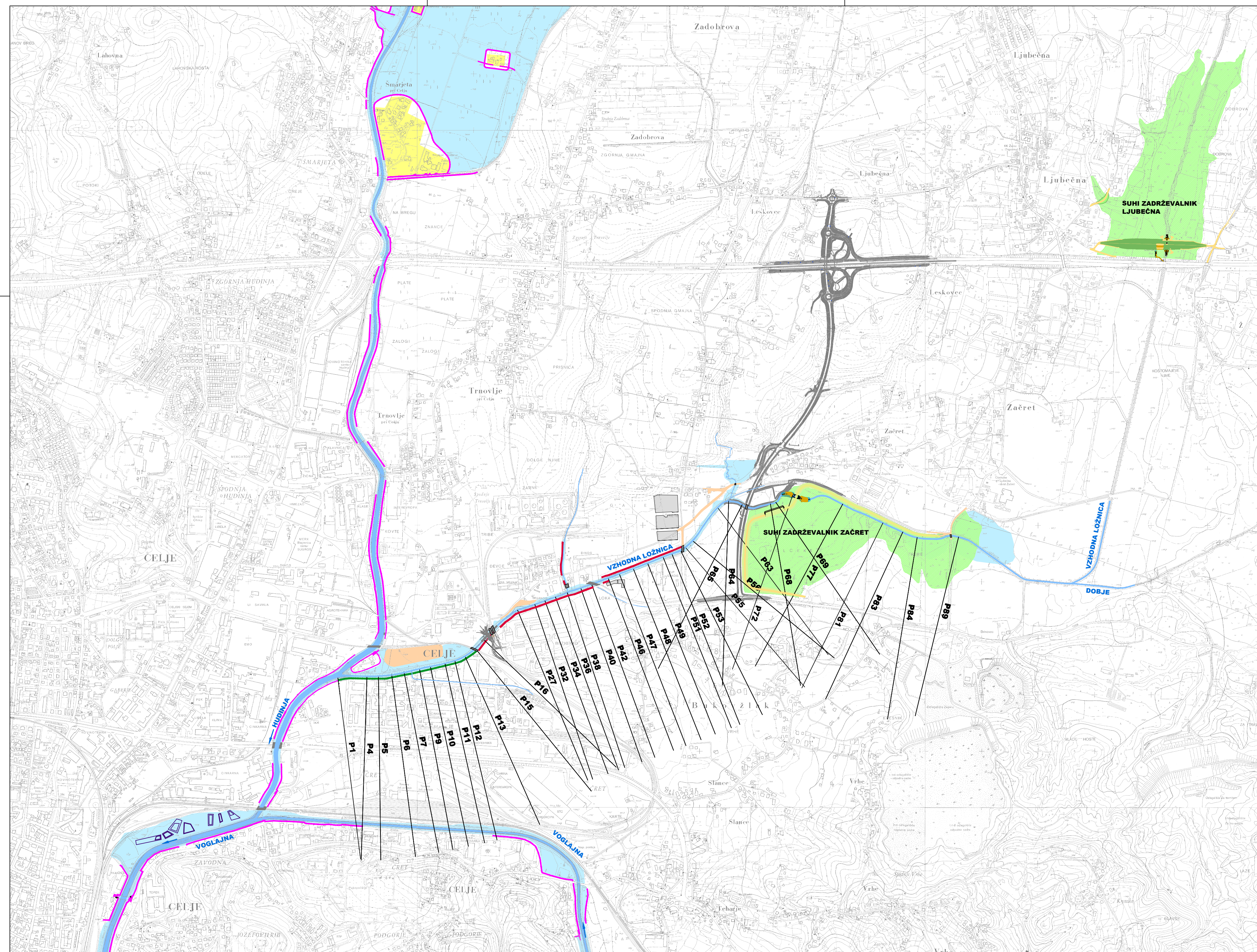
Metelko Skutnik, V. 2004. Ob 50-letnici velike poplave v Celju. V: Oberžan, T. (ur.). Slovenski vodar. Celje, december 2004. Ljubljana, Narodna in univerzitetna knjižnica: str. 9-13.

Rajar, R. 1980. Hidravlika nestalnega toka. Učbenik. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 279 str.

UL, FGG, KMTEK, 2010. Izračuni hidravličnih posledic porušitve pregrad »Za Travnikom« in »Bukovžlak« - I. faza. Končno poročilo za pregrado »Za Travnikom«. Ljubljana, Cinkarna – metalurško kemična industrija Celje, d.d.: 1 zv. (loč. pag.).

PRILOGE

Priloga A	Predvideni protipoplavni ukrepi ob Vzhodni Ložnici (M 1:10000)
Priloga B	Zapornični objekt zadrževalnika Začret (prerez, tloris) (M 1:200)
Priloga C	Izolinije globin za računski primer 1 (M 1:5000)
Priloga D	Izolinije globin za računski primer 2 (M 1:5000)
Priloga E	Primerjava poplavne ogroženosti v sedanjem stanju za oba poplavna dogodka (M 1:5000)
Priloga F	Podolžni profil maksimalnih gladin vode v dolini potokov Dobje in V. Ložnica (sedanje stanje) (M 1:50:5000)
Priloga G	Izolinije globin za računski primer 3 (M 1:5000)
Priloga H	Izolinije globin za računski primer 4 (M 1:5000)
Priloga I	Primerjava poplavne ogroženosti v projektiranem stanju za oba poplavna dogodka (M 1:5000)
Priloga J	Podolžni profil maksimalnih gladin vode v dolini potokov Dobje in V. Ložnica (projektirano stanje) (M 1:50:5000)
Priloga K	Primerjava poplavne ogroženosti med sedanjim in projektiranim stanjem za sam poplavni val (M 1:5000)
Priloga L	Primerjava poplavne ogroženosti med sedanjim in projektiranim stanjem za kombinirani val (M 1:5000)
Priloga M	Vektorji hitrosti v času maksimalnih pretokov za računski primer 3
Priloga N	Vektorji hitrosti v času maksimalnih pretokov za računski primer 4

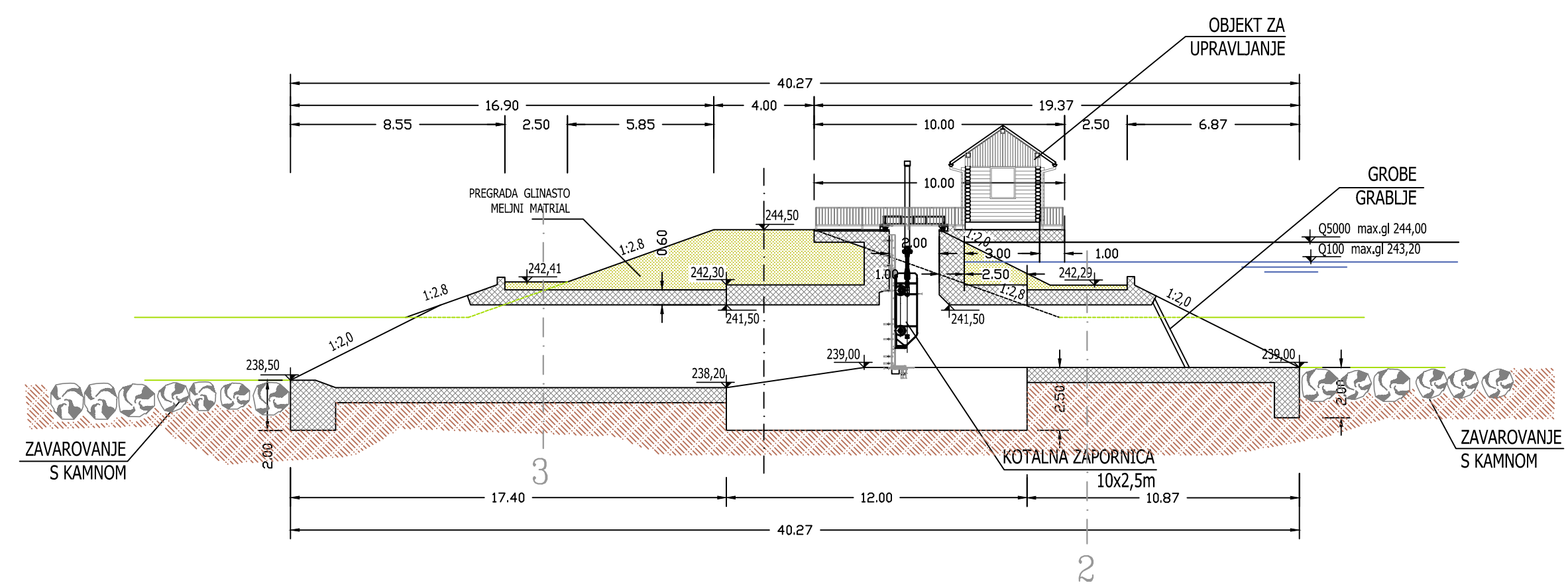


LEGENDA:	
	INUNDACIJSKA POVRŠINA
	SUHI ZADRŽEVALNIK
	PREGRADA SUHEGA ZADRŽEVALNIKA
	POZIDAVA
PREDMET TEGA PROJEKTA:	
	PREDVIDENI NASIPI
	PREDVIDENI AB ZID
	NADVIŠANJE CESTE
NI PREDMET TEGA PROJEKTA:	
	PREDVIDENA PROTIPLOVNA ZAŠČITA

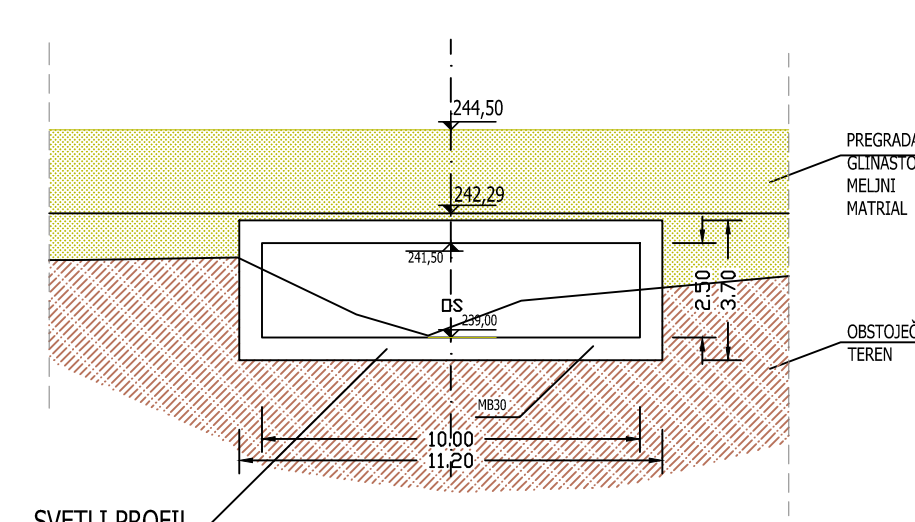
PRILOGA A:
 Predvideni protiploplavni ukrepi ob Vzhodni Ložnici
 M 1:10000

Vir: Hidrosvet d.o.o., 2010

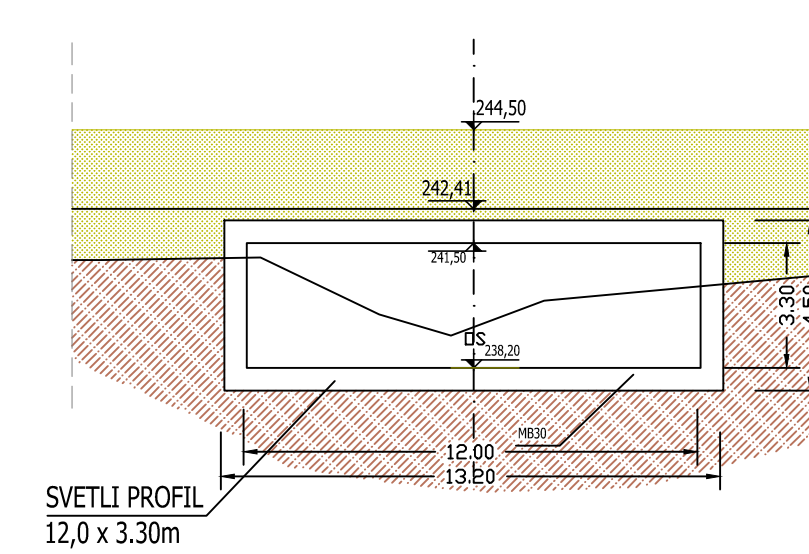
VZDOLŽNI PREREZ 1-1
M 1:200



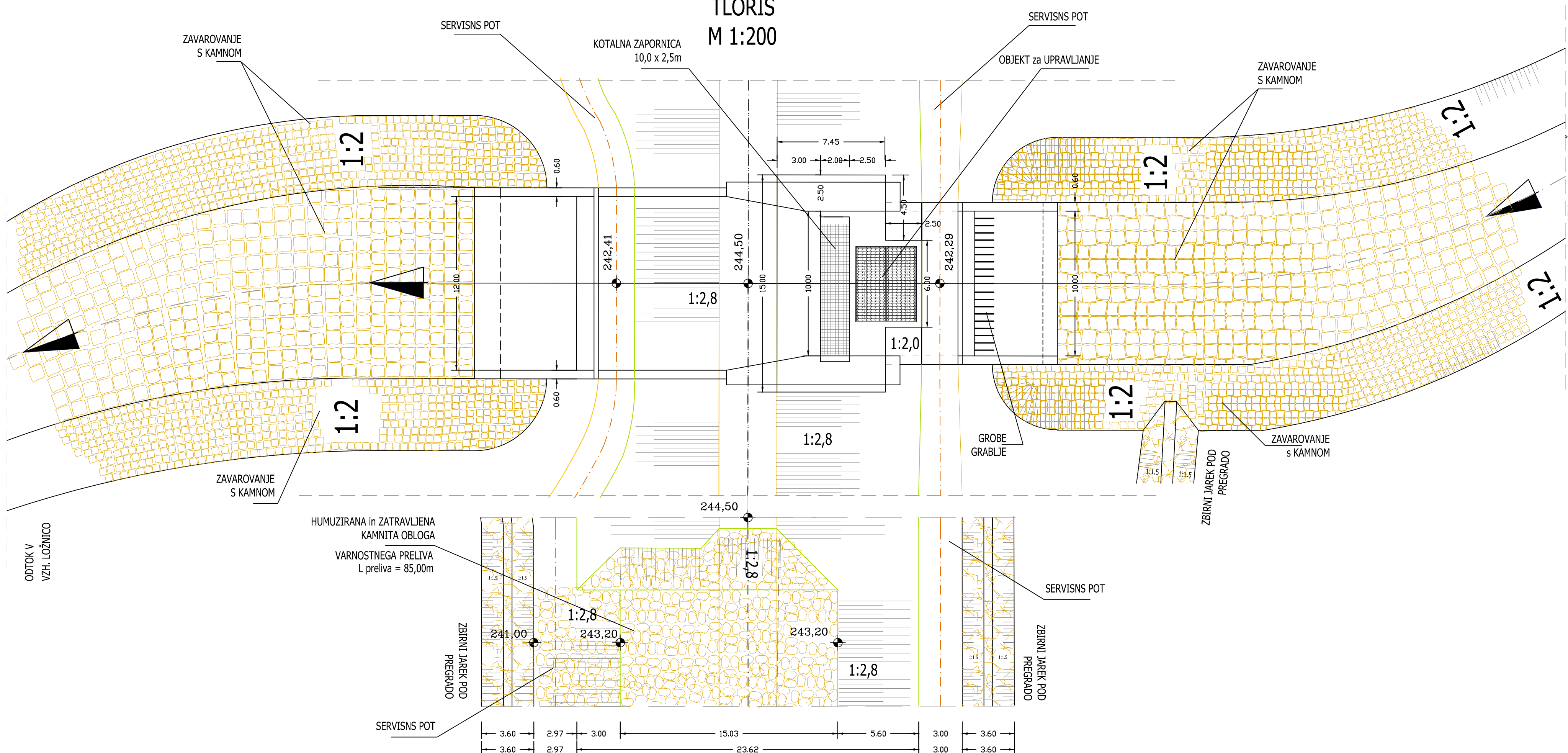
VTOK v NASIP
PREREZ 2-2
M 1:200



IZTOK iz NASIPA
PREREZ 3-3
M 1:200

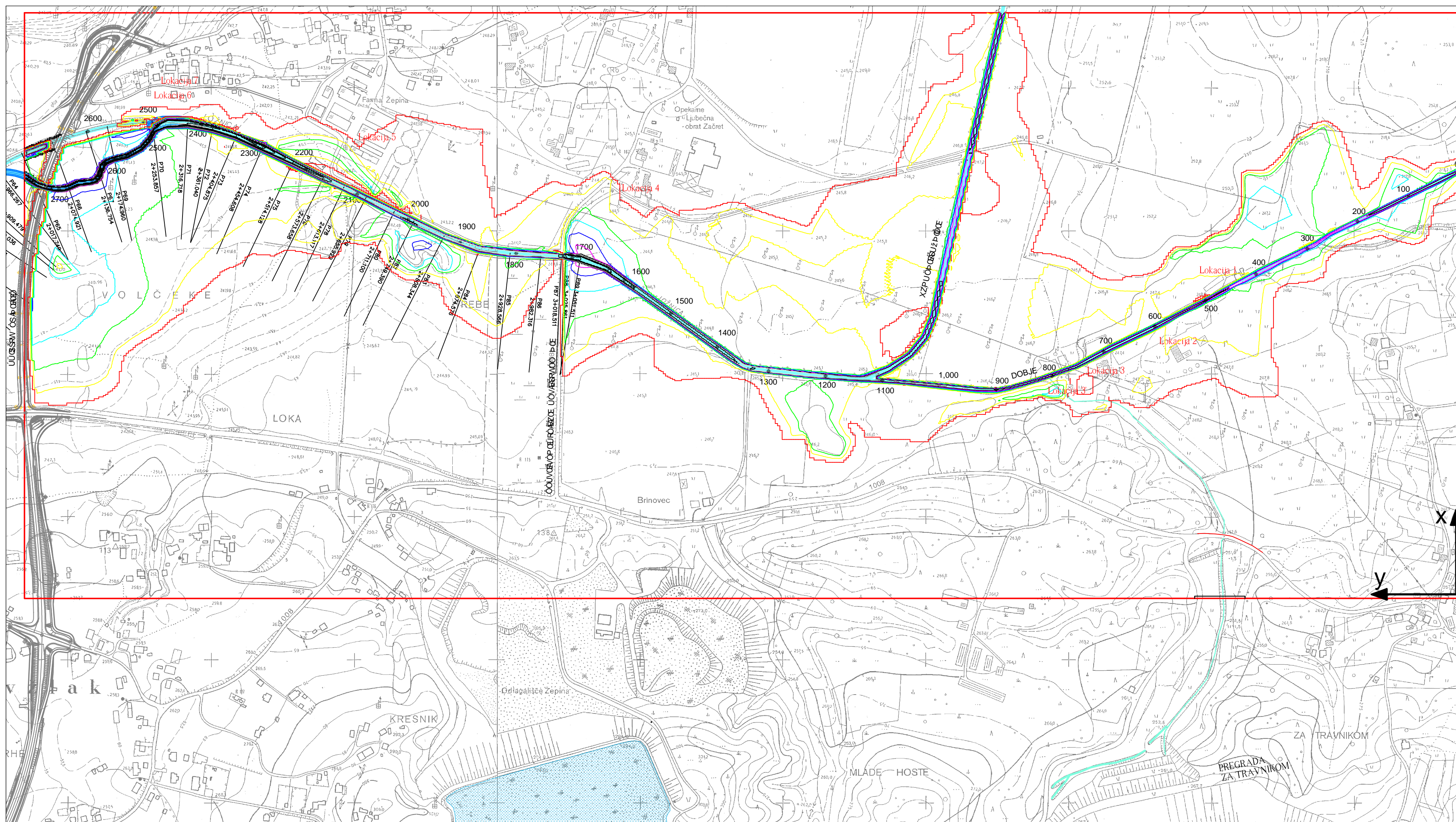


TLORIS
M 1:200



PRILOGA B:
Zapornični objekt zadrževalnika Začret (prerez, tloris)
M 1:200

Vir: Hidrosvet d.o.o., 2010



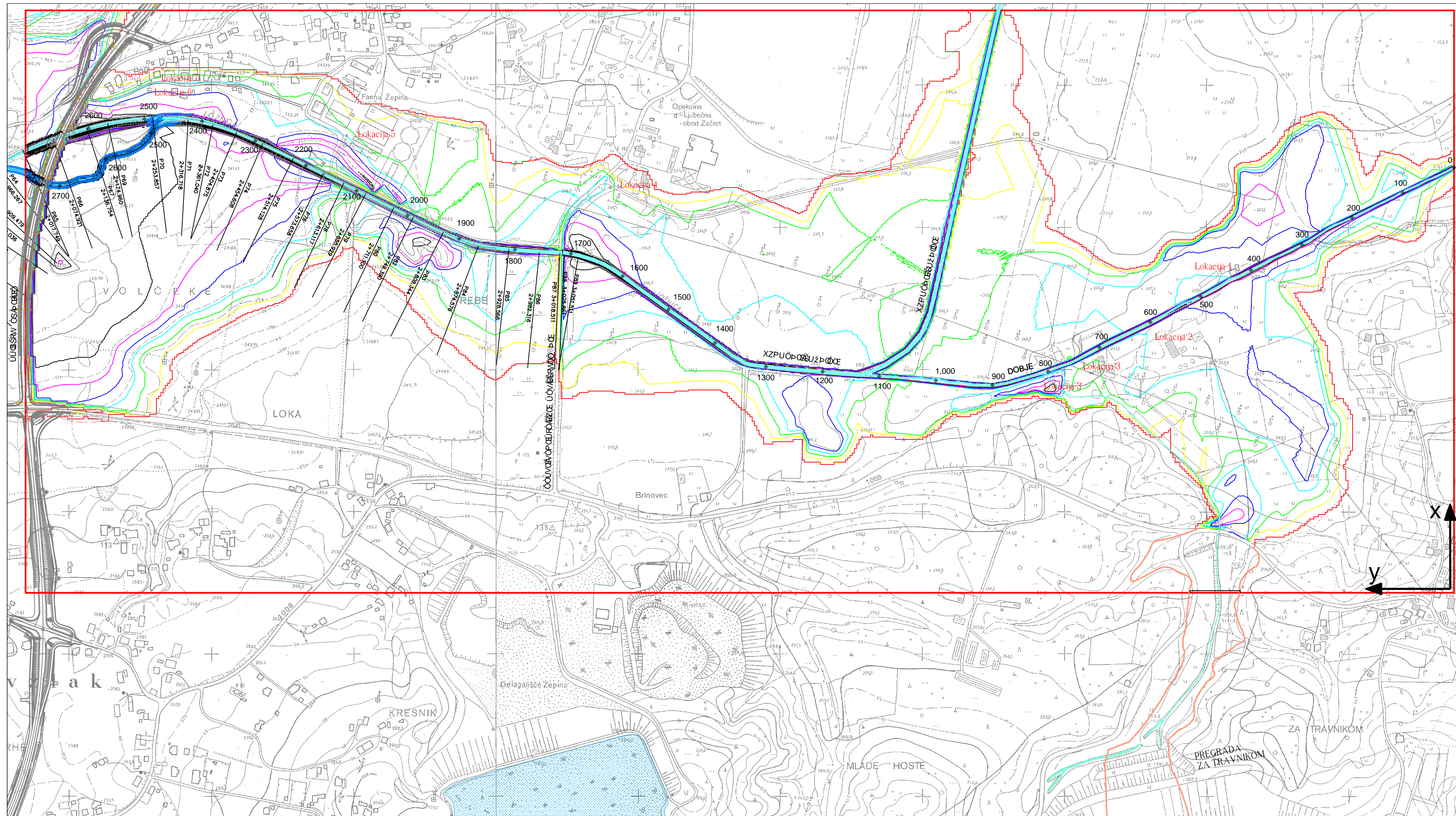
Legenda:

Izolnije globin vode za računski primer 1:

- $h=0$ m
- $h=0,25$ m
- $h=0,50$ m
- $h=0,75$ m
- $h=1,0$ m
- $h=1,25$ m
- $h=1,50$ m
- $h=1,75$ m
- $h=2,0$ m
- $h=2,25$ m
- $h=2,50$ m

Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom

PRILOGA C:
 Izolnije globin za računski primer 1
 M 1:5000



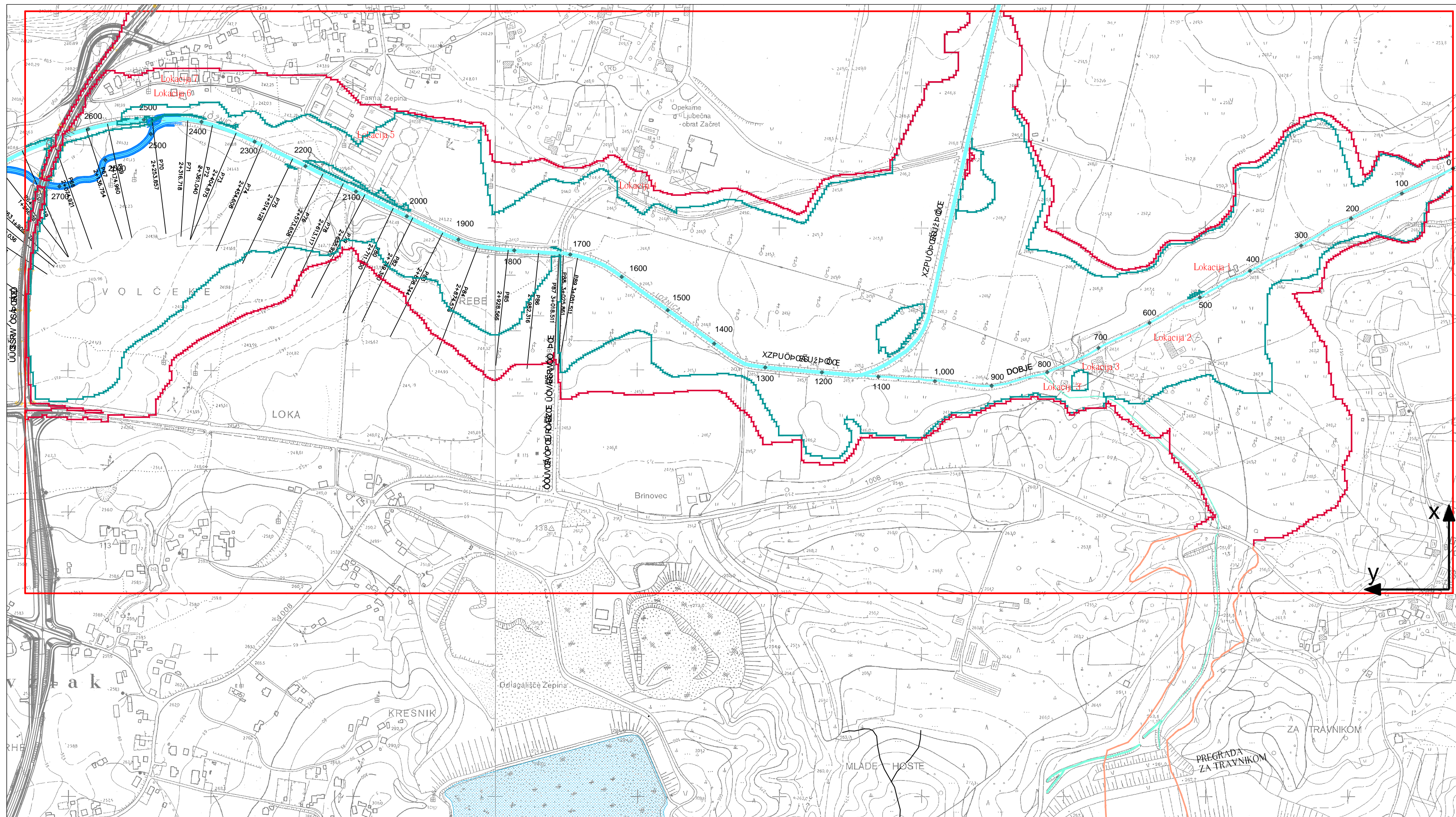
Legenda:

Izolnije gublin vode za računski primer 2:

- $h=0$ m
- $h=0,25$ m
- $h=0,50$ m
- $h=0,75$ m
- $h=1,0$ m
- $h=1,25$ m
- $h=1,50$ m
- $h=1,75$ m
- $h=2,0$ m
- $h=2,25$ m
- $h=2,50$ m

- Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom
- Poplavna linija vode ob porušitvi pregrade Za Travnikom (UL, FGG, KMTek, 2010)

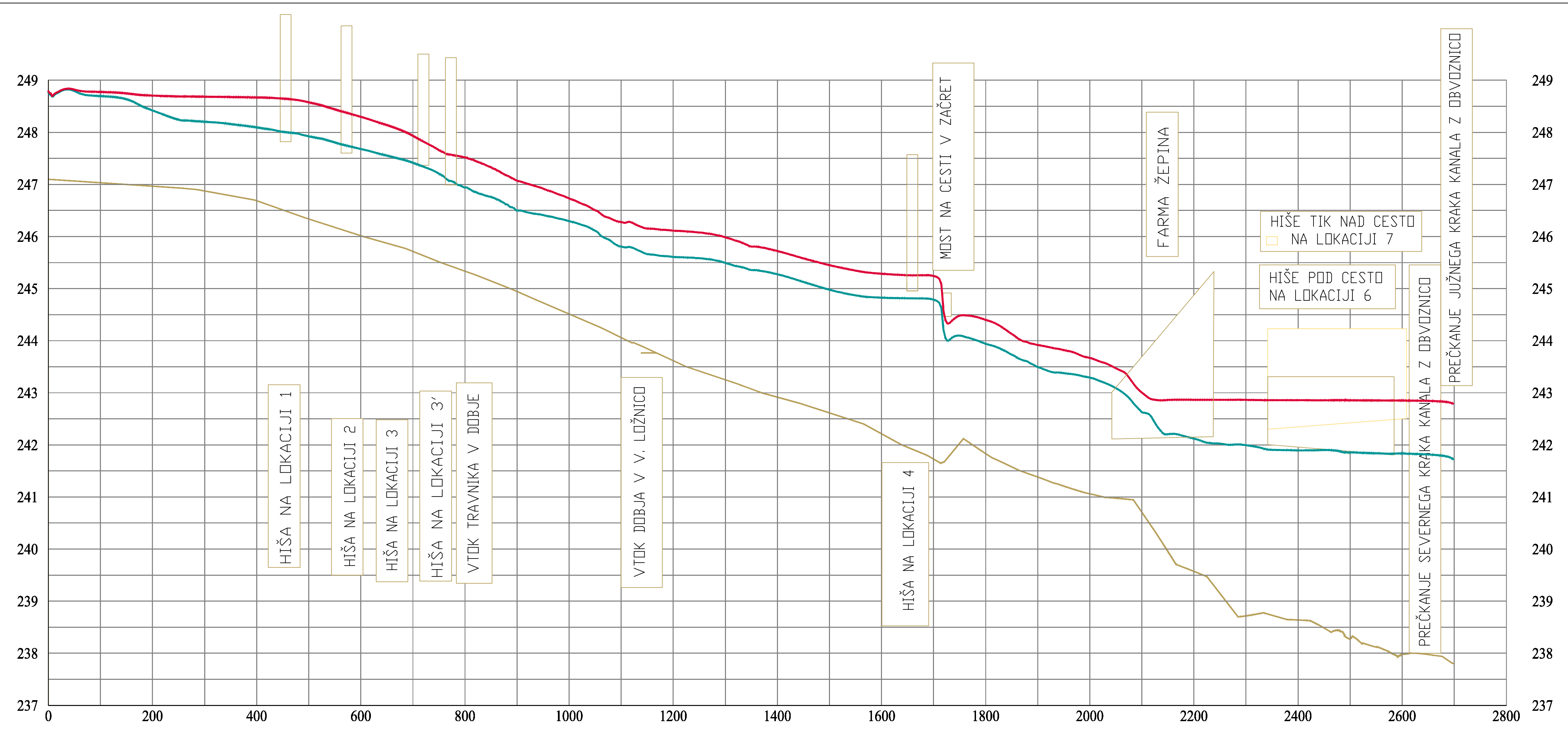
PRILOGA D:
Izolnije gublin za računski primer 2
M 1:5000



Legenda:

- Poplavna linija za računski primer 1
- Poplavna linija za računski primer 2
- Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom
- Poplavna linija vode ob porušitvi pregrade za Travnikom (Ul. FCC, KMtek, 2010)

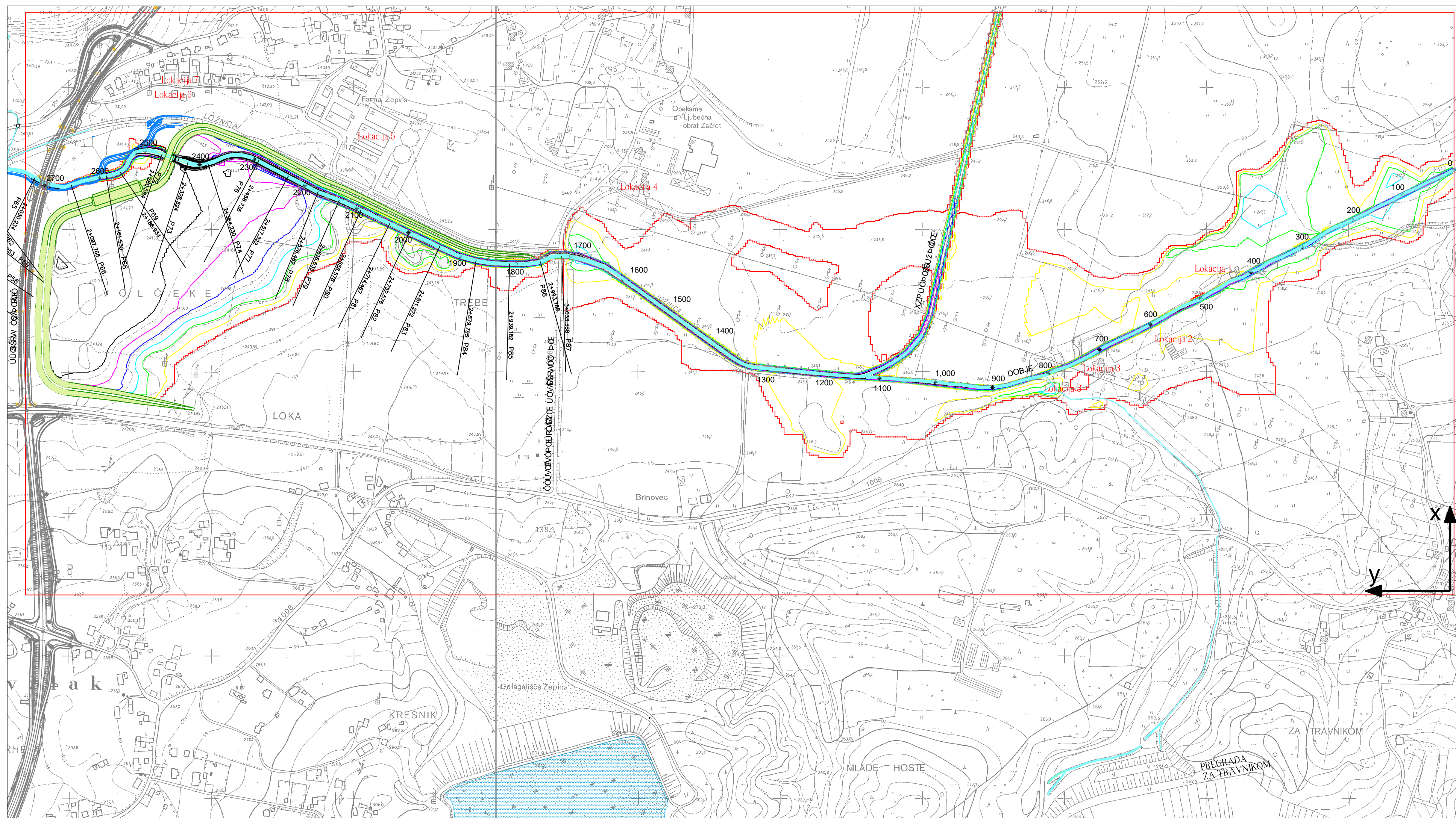
PRILOGA E:
 Primerjava poplavne ogroženosti v sedanjem stanju za oba poplavna dogodka
 M 1:5000



Legenda:

- Dno struge potokov Dobje in V. Ložnica
- Podolžni profil maksimalnih gladin za računski primer 1 (v potokih Dobje in V. Ložnica nastopi stoletni poplavni val po štiriurnem nalivu-sedanje stanje)
- Podolžni profil maksimalnih gladin za računski primer 2 (izlitje vode iz akumulacije za Travnikom, v potokih Dobje in V. Ložnica nastopi stoletni poplavni val po štiriurnem nalivu-sedanje stanje)
- Področje z enim ali več potencialno ogroženimi objekti (spodnje kote likov predstavljajo približno koto terena ob objektih)

PRILOGA F:
 Podolžni profil maksimalnih gladin vode v dolini potokov Dobje in V. Ložnica (sedanje stanje)
 M 1:50:5000



Legenda:

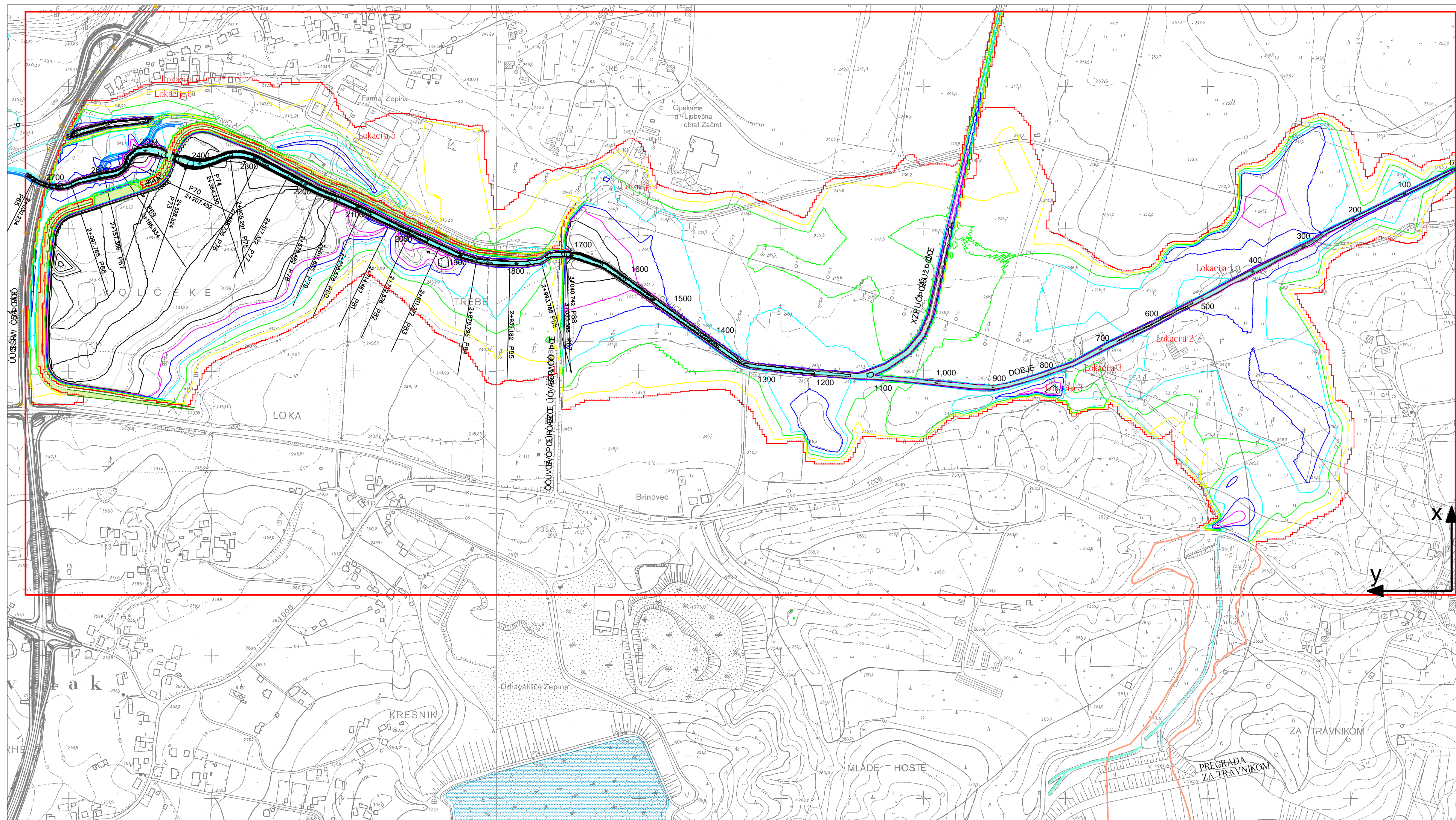
Izolnije globin vode za računski primer 3:

- h=0 m
- h=0,25 m
- h=0,50 m
- h=0,75 m
- h=1,0 m
- h=1,25 m
- h=1,50 m
- h=1,75 m
- h=2,0 m
- h=2,25 m
- h=2,50 m

Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom

Projektiran nasip zadrževalnika Začret (Hidrosvet d.o.o., 2010)

PRILOGA G:
Izolnije globin za računski primer 3
M 1:5000



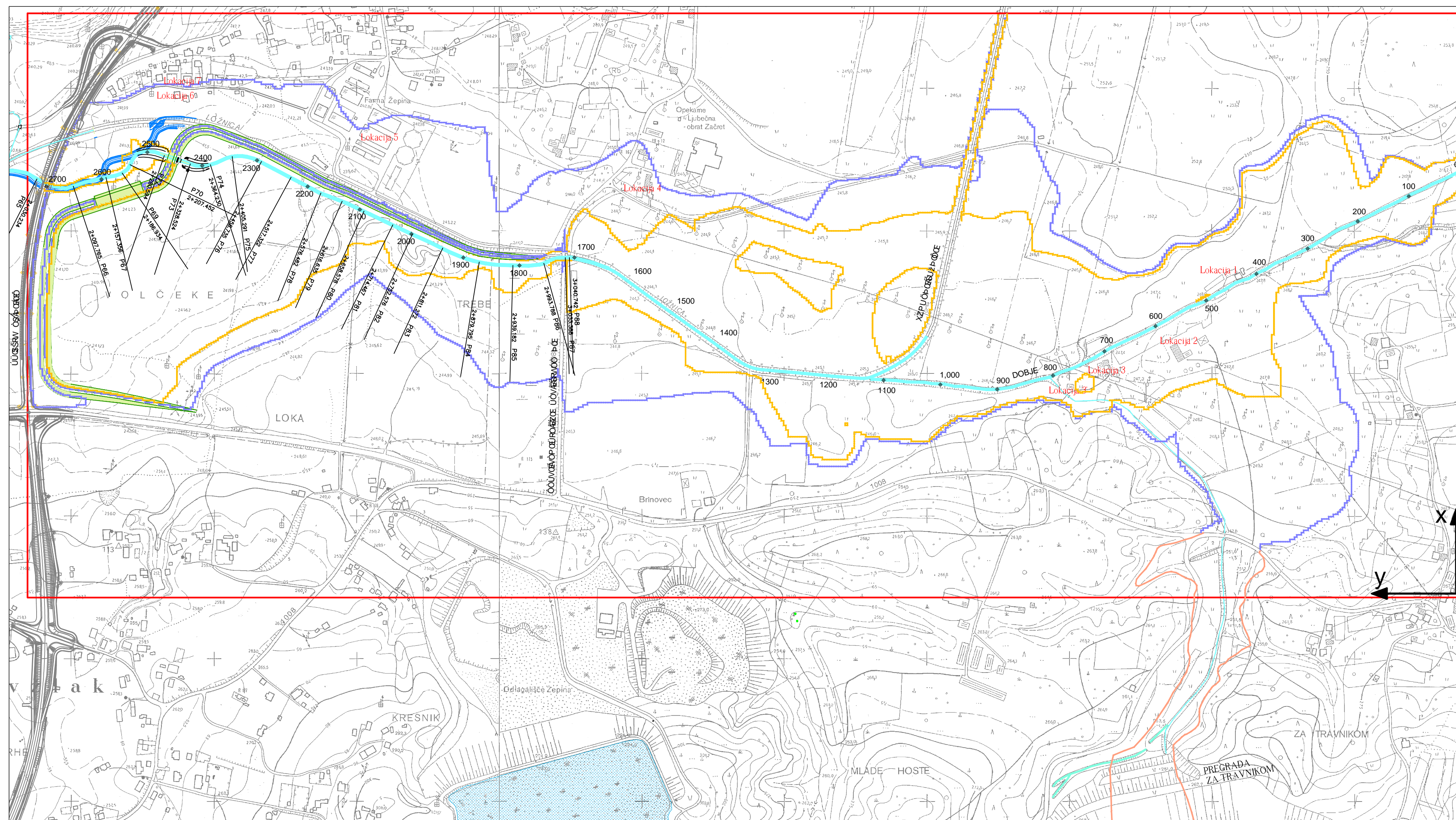
Legenda:

Izolnije globin vode za računski primer 4:

- $h=0$ m
- $h=0,25$ m
- $h=0,50$ m
- $h=0,75$ m
- $h=1,0$ m
- $h=1,25$ m
- $h=1,50$ m
- $h=1,75$ m
- $h=2,0$ m
- $h=2,25$ m
- $h=2,50$ m

- Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom
- Poplavna linija vode ob porušitvi pregrade Za Travnikom (UL, FCC, KMtek, 2010)
- Projektiran nasip zadrževalnika Začet (Hidrosvet d.o.o., 2010)

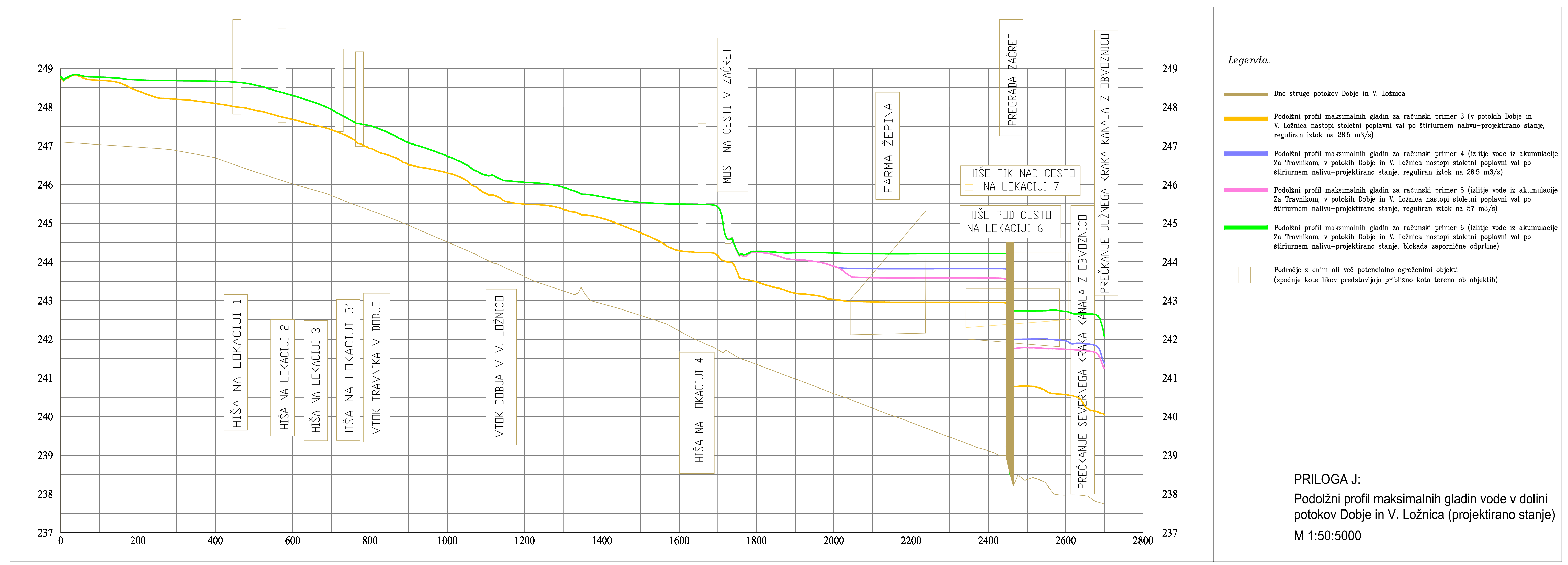
PRILOGA H:
Izolnije globin za računski primer 4
M 1:5000

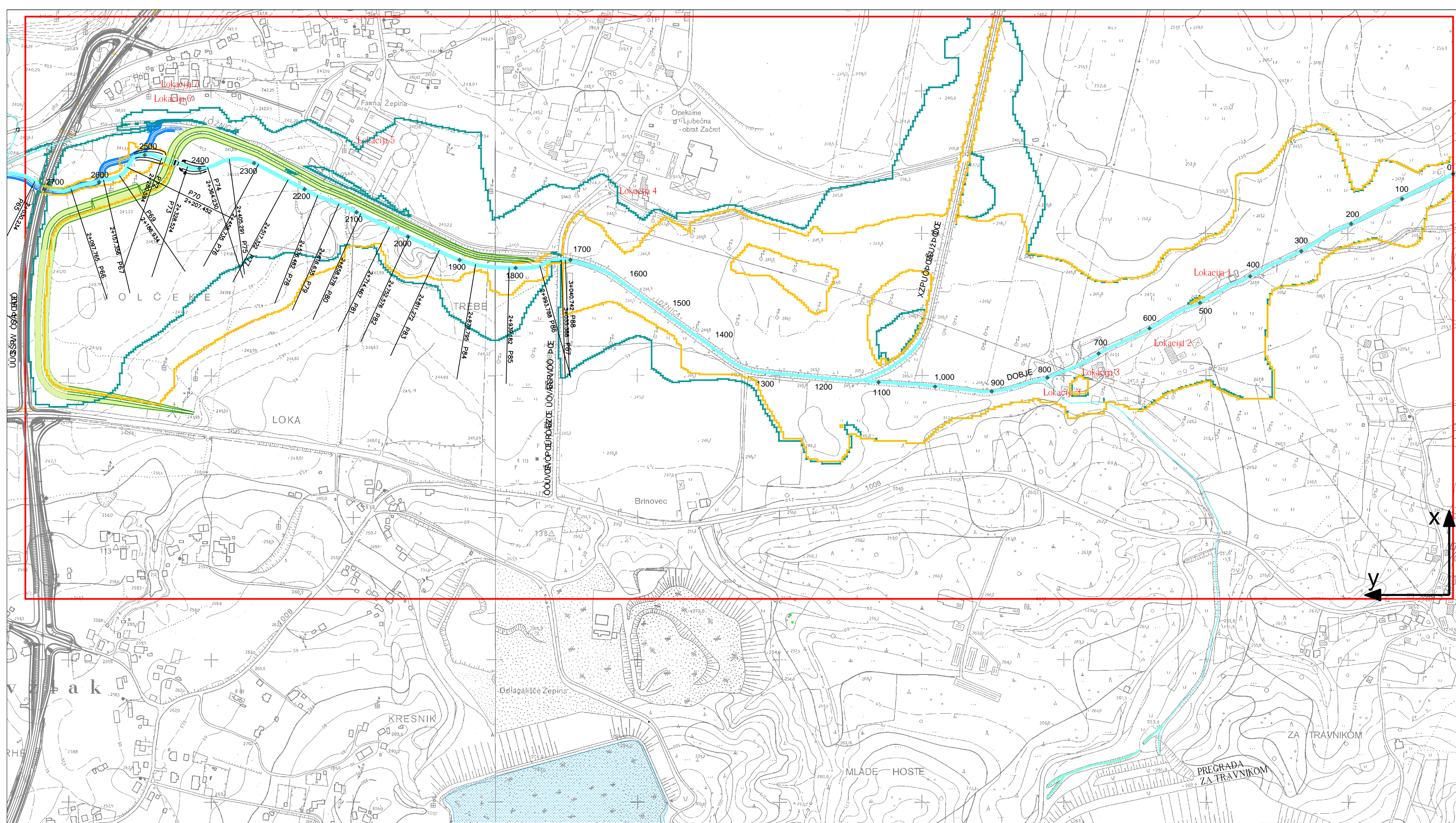


Legenda:

- Poplavna linija za računski primer 3
- Poplavna linija za računski primer 4
- Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom
- Poplavna linija vode ob porušitvi pregrade Za Travnikom (UL, FGG, KMTek, 2010)
- Projektiran nasip zadrževalnika Začet (Hidrosvet d.o.o., 2010)

PRILOGA I:
 Primerjava poplavne ogroženosti v projektiranem stanju za oba poplavna dogodka
 M 1:5000

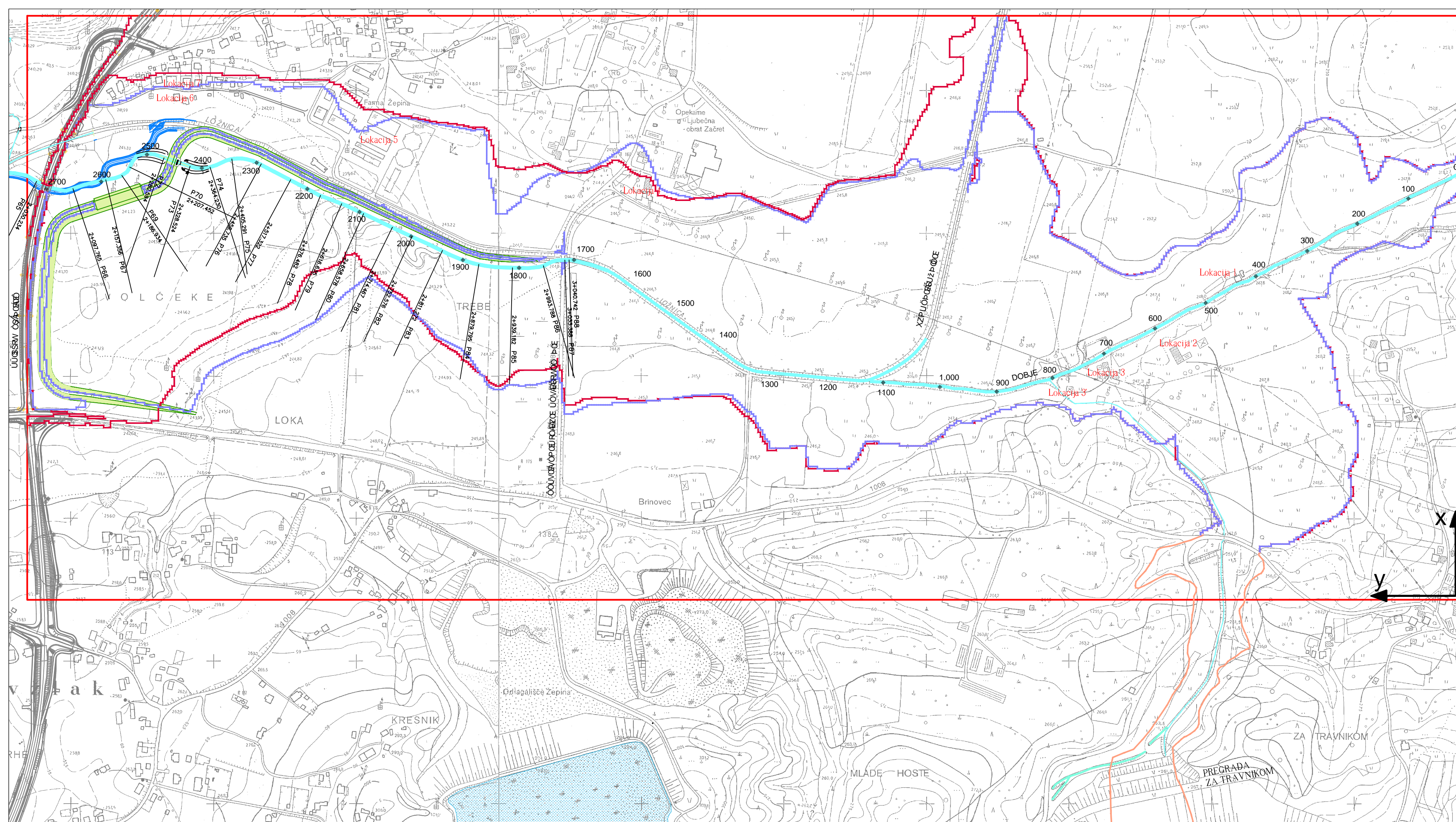




Legenda:

- Poplavna linija za računski primer 1
- Poplavna linija za računski primer 3
- Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom
- Projektiran nasip zadrževalnika Zašret (Hidrosvet d.o.o., 2010)

PRILOGA K:
 Primerjava poplavne ogroženosti med sedanjim in projektiranim stanjem za sam poplavni val
 M 1:5000

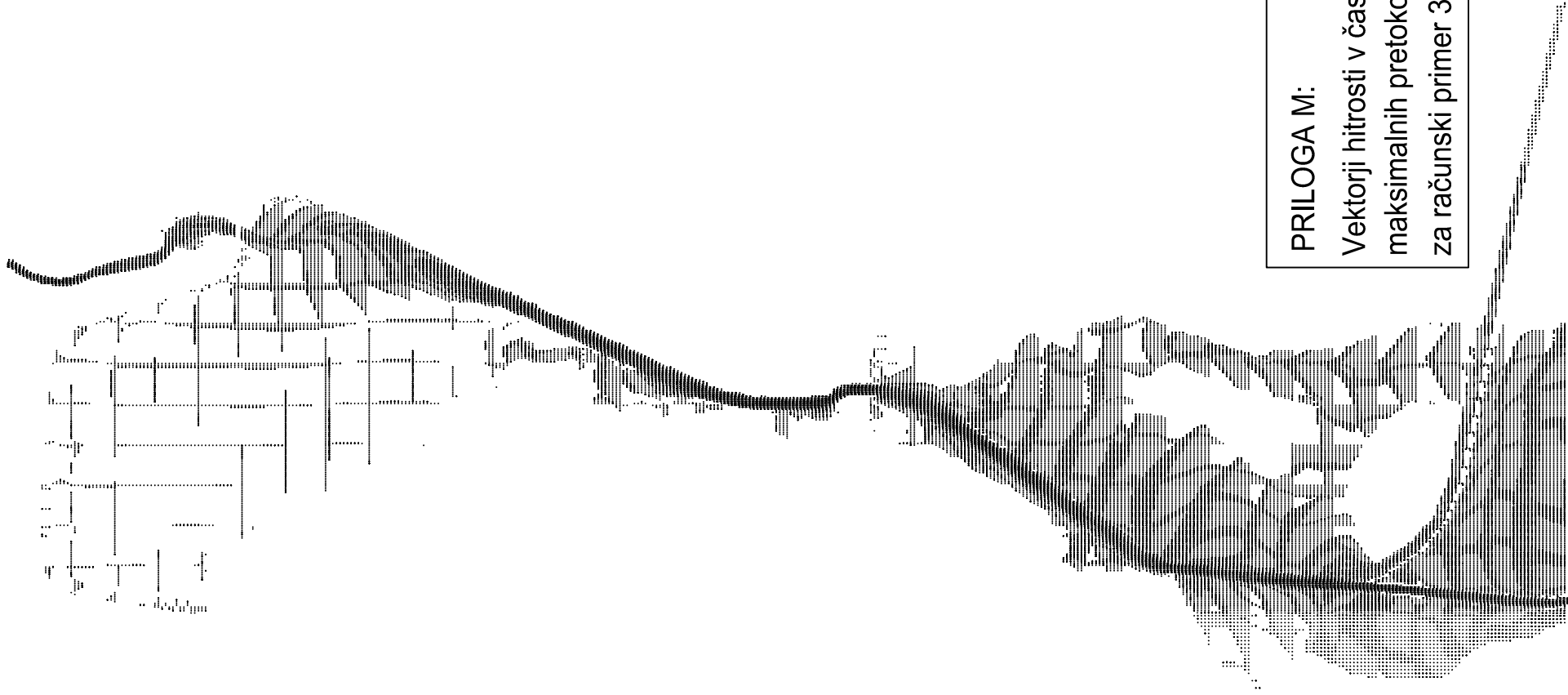


Legenda:

- Poplavna linija za računski primer 2
- Poplavna linija za računski primer 4
- Območje, obravnavano z 2D matematičnim modelom
- Poplavna linija vode ob porušitvi pregrade Za Travnikom (Ul. FCC, KMTEK, 2010)
- Projektiran nasip zadrževalnika Začret (Hidrovet d.o.o., 2010)

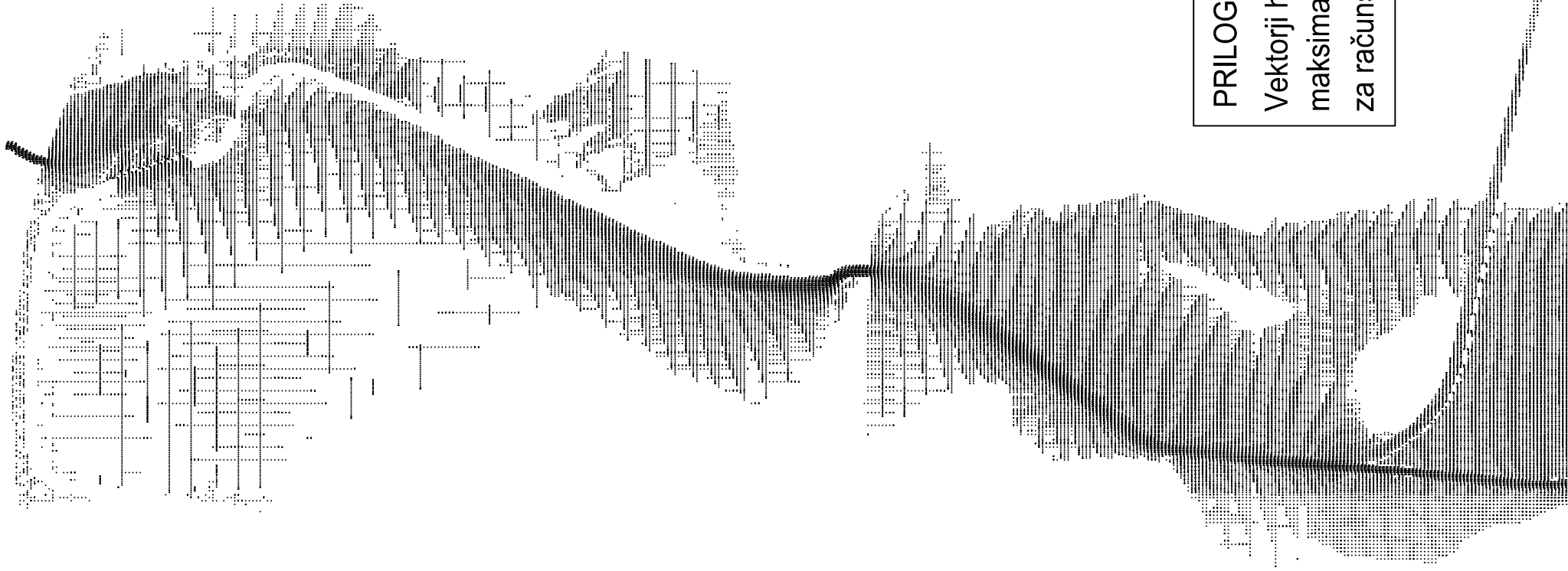
PRIOLOGA L:

Primerjava poplavne ogroženosti med sedanjim in projektiranim stanjem za kombinirani val
M 1:5000



PRILOGA M:

Vektorji hitrosti v času
maksimalnih pretokov
za računski primer 3



PRILOGA N:
Vektorji hitrosti v času
maksimalnih pretokov
za računski primer 4