

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



URŠKA MIŽIGOJ

**PREDLOG PROTIPOPLAVNEGA SISTEMA NA
POTOKU POTOČNICA ZA ZAŠČITO NASELJA
STARA VAS PRI KRŠKEM**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO**

Ljubljana, 2017

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE
STOPNJE VODARSTVO IN
OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Kandidat/-ka:

URŠKA MIŽIGOJ

**PREDLOG PROTIPOPLAVNEGA SISTEMA NA POTOKU
POTOČNICA ZA ZAŠČITO NASELJA STARA VAS PRI
KRŠKEM**

**FLOOD PROTECTION SYSTEM PROPOSAL FOR THE
POTOČNICA STREAM TO IMPROVE THE SAFETY OF THE
VILLAGE OF STARA VAS NEAR KRŠKO**

Mentor/-ica:

doc. dr. Simon Rusjan

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

viš. pred. dr. Gašper Rak

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 556.166:627.51(043.3)

Avtor: Urška Mižigoj, univ. dipl. inž. ok. grad.

Mentor: doc. dr. Simon Rusjan, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Somentor: viš. pred. dr. Gašper Rak, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

Naslov: Predlog protipoplavnega sistema na potoku Potočnica za zaščito naselja Stara vas pri Krškem

Tip dokumenta: magistrsko delo

Obseg in oprema: 64 str., 14 pregl., 33 sl., 6 en., 4 graf., 3 pril.

Ključne besede: hudournik, poplavna problematika, hidrološko hidravlična študija, ureditev struge, suhi zadrževalnik

IZVLEČEK:

Magistrsko delo obravnava poplavno problematiko potoka Potočnica na območju naselja Stara vas pri Krškem, kjer je pretekli prostorski razvoj s širitvijo urbaniziranih površin zasedel poplavna območja. Skozi naselje se je oblikoval pretočni profil, ki prevaja le letne visoke vode. Da je pretočnost profila premajhna, se je pokazalo tudi leta 2005, ko je visoka voda zalila stanovanjske in gospodarske objekte na obravnavanem območju. V sklopu magistrskega dela je bila narejena hidrološko hidravlična študija vodotoka na podlagi digitalnega modela reliefa, pri katerem so bili uporabljeni topografski podatki pridobljeni s pomočjo snemanja LIDAR. Pri pripravi in obdelavi najrazličnejših geografskih podatkovnih slojev so bila uporabljena različna GIS-orodja. S pomočjo programa HEC-HMS je bila izdelana hidrološka analiza prispevnega območja. S pridobljenim hidrogramom odtoka stoletne poplavne vode je nato bila v programu HEC-RAS analizirana obstoječa poplavna problematika. Z namenom izboljšanja poplavne varnosti naselja je bila v kombinaciji s povečanjem hidravlične prevodnosti obstoječe struge Potočnice analizirana možnost umestitve suhega zadrževalnika.

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.166:627.51(043.3)

Author: Urška Mižigoj, B.Sc.

Supervisor: Assist. Prof. Simon Rusjan, Ph. D.

Cosupervisor: Sen. Lect. Gašper Rak, Ph. D.

Title: Flood Protection System Proposal for the Potočnica Stream to Improve the Safety of the Village of Stara Vas near Krško

Document type: M. Sc. Thesis

Notes: 64 p., 14 tab., 33 fig., 6 eq., 4 graph., 3 ann.

Key words: torrent, flooding problems, hydrologic and hydraulic analyses, stream regulation, dry reservoir

ABSTRACT:

Master's dissertation investigates flooding problems of the Potočnica stream through the village of Stara vas near Krško, where flood plains have been urbanized due to a rapid spatial development in the past. Through the village a channel profile sufficient only for annual high waters was assured. In 2005, after large precipitation event, the insufficiency of the watercourse profile resulted in flooding of many residential and commercial buildings in the discussed area. The hydrologic and hydraulic analyses performed in the thesis were based on a digital relief model and with the use of topographic data derived from LIDAR scanning. For preparation and processing of various geographical data layers GIS tools were used. The hydrologic software HEC-HMC was used for a hydrologic analysis of the Potočnica stream catchment area. Based on the runoff hydrograph of flood water with return period of 100 years, the current flooding problems were analysed with the HEC-RAS software. In order to improve the flood protection of the settlement, in combination with the increase in the hydraulic conductivity of the existing Potočnica stream channel, the possibility of placing a dry reservoir was analyzed.

“Ta stran je namenoma prazna”

ZAHVALA

Mentorju doc. dr. Simonu Rusjanu se iz srca zahvaljujem za vso pomoč in strokovno vodenje pri izdelavi magistrskega dela. Pravtako bi se rada zahvalila somentorju viš. pred. dr. Gašperju Raku za strokovne nasvete in usmerjanje.

Poseba zahvala gre moji družini in fantu, ki so mi skozi celoten študij stali ob strani, me podpirali in mi pomagali. Hvala.

» Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VII
1 UVOD	1
1.1 Splošno o poplavah	1
1.2 Opis poplavne problematike	2
1.3 Cilj raziskave	3
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	4
2.1 Aktualne zakonodajne podlage za obravnavano območje	4
2.1.1 Odlok o občinskem prostorskem načrtu Občine Krško	4
2.1.2 Uredba o državnem prostorskem načrtu za območje hidroelektrarne Brežice	4
2.2 Uporaba topografskih podatkov	5
2.2.1 LIDAR	6
2.2.2 GIS-orodja	7
2.3 Hidrološke osnove	8
2.3.1 Opis računalniškega programa HEC-HMS	8
2.4 Hidravlične osnove	14
2.4.1 Opis programa HEC-RAS 5.0.3	14
2.5 Vodni zadrževalniki	15
2.5.1 Splošno o zadrževalnikih	15
2.5.2 Delovanje suhega zadrževalnika	16
2.5.3 Elementi predvidenega suhega zadrževalnika	19
3 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA IN ZNAČILNOSTI POREČJA POTOČNICE	22
3.1 Opis območja	22
3.2 Naravnogeografske značilnosti porečja Potočnice	23
3.2.1 Geologija	23
3.2.2 Pedologija	25

3.2.3	Padavine	25
3.3	Druge značilnosti porečja Potočnice pomembne z vidika posegov v prostor	26
3.3.1	Kulturna dediščina	26
3.3.2	Varstvo voda	27
3.3.3	Erozijska in plazljiva območja	27
3.3.4	Varovalni pasovi gospodarske javne, energetske in ostale infrastrukture	28
3.3.5	Namenska raba	30
4	IZDELAVA HIDROLOŠKEGA MODELA	32
4.1	Vhodni podatki	32
5	IZDELAVA HIDRAVLICNEGA MODELA	37
5.1	Geometrija prečnih prerezov in DMT	37
5.2	Manningov koeficient hrapavosti	38
5.3	Robni pogoji	41
6	PREDSTAVITEV REZULTATOV	43
6.1	Rezultati hidrološkega modela	43
6.1.1	Potočnica	43
6.1.2	Drnik	44
6.2	Rezultati hidravličnega modela	46
6.2.1	Obstoječe stanje	46
6.2.2	Načrtovano stanje	47
6.2.3	Dimenzioniranje suhega zadrževalnika	52
6.3	Vplivi suhega zadrževalnika na okolje	55
7	ZAKLJUČEK	57
8	SUMMARY	58
	VIRI	59

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Okvirne vrednosti povratnih dob za dimenzioniranje prostora poplavne akumulacije glede na rabo dolvodnih površin [24].....	19
Preglednica 2: Višina padavin različnega trajanja in različnih povratnih dob za meteorološko postajo Gornji Lenart v obdobju 1970–1992 [19].....	34
Preglednica 3: Izračun enotnega koeficienta CN z deleži površin prispevnega območja Potočnice glede na dejansko rabo	35
Preglednica 4: Izračun enotnega koeficienta CN z deleži površin prispevnega območja Drnika glede na dejansko rabo	35
Preglednica 5: Časa zakasnitve za Potočnico.....	36
Preglednica 6: Izračun časa zakasnitve za Drnik	36
Preglednica 7: Izračun vrednosti Manningovega koeficienta z visoko zaraščenostjo struge.	39
Preglednica 8: Izračun vrednosti Manningovega koeficienta s srednjo zaraščenostjo struge	40
Preglednica 9: Izračun vrednosti Manningovega koeficienta z nizko zaraščenostjo struge ..	41
Preglednica 10: Manningovi koeficienti hrapavosti na poplavnih ravnicah [28].....	41
Preglednica 11: Časi koncentracij za Potočnico pridobljeni z izračuni različnih metod	43
Preglednica 12: Primerjava pretokov 100-letne visoke vode	45
Preglednica 13: Parametri hidravličnega izračuna	54
Preglednica 14: Parametri suhega zadrževalnika	55

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: ITP-krivulje v dvojnem logaritemskem merilu za meteorološko postajo Gornji Lenart	34
Grafikon 2: Hidrogram odtoka Potočnice pri 100-letni visoki vodi z dvournim trajanjem padavin	44
Grafikon 3: Hidrogram odtoka Drnika pri 100-letni visoki vodi z enournim trajanjem padavin	45
Grafikon 4: Vtok in iztok iz suhega zadrževalnika.....	52

KAZALO SLIK

Slika 1: Običajna vodna gladina Potočnice	2
Slika 2: Poplavljen hiša v neurju leta 2005	3
Slika 3: Prikaz območja DPN, ki v posameznih odsekih velja tudi za Potočnico [7]	5
Slika 4: Prikaz delovanja laserskega skeniranja [16]	6
Slika 5: Model odtoka s porečja v programu HEC-HMS [18]	9
Slika 6: Hidrogram, kjer je trajanje padavin večje od t_c [22]	12
Slika 7: Hidrogram odtoka, kjer je trajanje padavin enako t_c [22]	13
Slika 8: Hidrogram odtoka, kjer je trajanje padavin krajše od t_c [22]	13
Slika 9: Hidrogram vtoka in iztoka iz suhega zadrževalnika [18]	16
Slika 10: Enostaven pregradni objekt zadrževalnika s talnim izpustom in prelivom [18]	17
Slika 11: Način delovanja zadrževalnika z nenadzorovanim iztokom [39]	18
Slika 12: Način delovanja zadrževalnika z nadzorovanim iztokom [39]	18
Slika 13: Lokacija porečja Potočnice [9]	22
Slika 14: Izvir potoka v Lokah na nadmorski višini 220 m	23
Slika 15: Hidrogeologija porečja Potočnice [9]	24
Slika 16: Geološka karta [9]	24
Slika 17: Pedološka karta [9]	25
Slika 18: Povprečna letna višina padavin v obdobju 1961–1990 [12]	26
Slika 19: Območje arheološke dediščine [7]	27
Slika 20: Predvidena lokacija suhega zadrževalnika [7]	28
Slika 21: Objekti GJI na območju urejanja Potočnice [7]	29
Slika 22: Namenska raba [7]	31
Slika 23: Prispevno območje Potočnice in Drnika	33
Slika 24: Hidravlični model odseka potoka Potočnice	37
Slika 25: DMT z odsekom struge v programu HEC-RAS	38
Slika 26: Odsek struge z ocenjeno vrednostjo Manningovega koeficienta 0,067	39
Slika 27: Odsek struge z ocenjeno vrednostjo Manningovega koeficienta 0,046	40
Slika 28: Odsek struge z ocenjeno vrednostjo Manningovega koeficienta 0,034	40
Slika 29: Obstoječe stanje pri Q_{100}	47
Slika 30: Načrtovano stanje s protipoplavnimi ukrepi	48
Slika 31: Prikaz lokacije suhega zadrževalnika na DMR	50
Slika 32: Prikaz lokacije suhega zadrževalnika na DOF	51
Slika 33: Prikaz plastnic na območju suhega zadrževalnika	53

LIST OF TABLES

Table 1: Rough assessments of return periods for dimension accumulation reservoir considering the land use downstream [24]	19
Table 2: Precipitation of different duration and different return period for meteorological station Gornji Lenart in period 1970–1992 [19].....	34
Table 3: Calculation of coefficient CN with the proportion of area for the entire watershed of Potočnica considering the actual land use	35
Table 4: Calculation of coefficient CN with the proportion of area for the entire watershed of Drnik considering the actual land use.....	35
Table 5: Lag time value for Potočnica	36
Table 6: Calculation of lag time for Drnik.....	36
Table 7: Calculation of Manning's n value with high vegetation	39
Table 8: Calculation of Manning's n value with medium vegetation	40
Table 9: Calculation of Manning's n value with small vegetation	41
Table 10: Manning's n values on flood planes [28]	41
Table 11: Time of concentrations for Potočnica obtained by different methods	43
Table 12: Flow comparison for 100-year flood	45
Table 13: Parameters of hydraulic calculation.....	54
Table 14: Parameters of dry reservoir	55

LIST OF GRAPHS

Graph 1: IDF-curves in double logarithmic scale for meteorological station Gornji Lenart	34
Graph 2: Runoff hydrograph of high water with return period of 100-years and 2 hours of precipitation duration.....	44
Graph 3: Runoff hydrograph of high water with return period of 100 years and 1 hour of precipitation duration for Drnik	45
Graph 4: Inflow and outflow from dry reservoir	52

LIST OF FIGURES

Figure 1: Normal water surface of Potočnica.....	2
Figure 2: Flooded house in storm 2005.....	3
Figure 3: Display of area where the national spatial plan is defined for Potočnica [7].....	5
Figure 4: Display of laser scanning activity [16].....	6
Figure 5: Runoff model of watershed in program HEC-HMS [18]	9
Figure 6: Runoff hydrograph where the precipitation duration is longer than t_c [22]	12
Figure 7: Runoff hydrograph where the precipitation duration is equal to t_c [22]	13
Figure 8: Runoff hydrograph where the precipitation duration is shorter than t_c [22].....	13
Figure 9: Hydrograph of inflow and outflow from dry reservoir [18].....	16
Figure 10: Reservoir with ground release and spillway [18].....	17
Figure 11: Principle of reservoir activity without controlling water release [39]	18
Figure 12: Principle of reservoir activity with controlling water release [39]	18
Figure 13: Location of watershed of Potočnica [9].....	22
Figure 14: Spring of the stream in Loke at altitude 220 m	23
Figure 15: Hydrogeology of watershed of Potočnica [9]	24
Figure 16: Geological map [9]	24
Figure 17: Soil map [9].....	25
Figure 18: Average annual precipitation in the period 1961–1990 [12].....	26
Figure 19: Area of archaeological heritage [7].....	27
Figure 20: Estimated location of dry reservoir [7]	28
Figure 21: GJI objects in the regulation area of Potočnica [7]	29
Figure 22: Namenska raba [7].....	31
Figure 23: Watershed of Potočnica and Drnik	33
Figure 24: Hydraulic model with section of Potočnica stream.....	37
Figure 25: DTM with the section of stream in HEC-RAS program	38
Figure 26: The section of stream with defined Manning's n value 0,067.....	39
Figure 27: The section of stream with defined Mannins's n value 0,046.....	40
Figure 28: The section of stream with Manning's n value 0,034	40
Figure 29: Existing situation for Q_{100}	47
Figure 30: Planned situationwith flood prevention measures.....	48
Figure 31: Location of dry reservoir on DEM	50
Figure 32: Location of dry reservoir on DOF	51
Figure 33: Display of contours on dry reservoir location	53

1 UVOD

1.1 Splošno o poplavah

Poplave so v Sloveniji zelo pogoste in največkrat povzročajo veliko škodo. Skupna površina poplavnih območij pri nas znaša več kot 6 % površine državnega ozemlja, če pa upoštevamo tudi hudourniška (erozijska) območja, pa znaša tudi do 10 % površine ozemlja, kar je približno 2000 km². Poplave se lahko pojavljajo ne glede na letni čas, so pa najpogostejše jeseni, ob dolgotrajnih in obilnih padavinah. Poleti nastanejo poplave predvsem ob večjih neurjih in so predvsem krajevne in hudourniške [1].

Največja nevarnost poplav obstaja ob hudourniških strugah rek in potokov. Hudourniške poplave se pojavljajo v gorskem, hribovitem in gričevnatem svetu, pa tudi ob nekaterih večjih rekah. So kratkotrajne in zelo silovite, pojavijo se v zelo kratkem času po dogodku, ki jih povzroči (kratkotrajne intenzivne padavine, hitro taljenje snega, porušitev pregrade ipd.). Njihova značilnost je, da vode zelo hitro naraščajo in ob tem prenašajo tudi večje količine plavin in plavja, nato pa po nekaj urah že upadejo. Poleg hudourniških poplav poznamo tudi nižinske poplave, poplave na kraških poljih, morske in mestne poplave ter poplave zaradi porušitve pregrad [2].

Poplave vseh vrst povzročajo smrtne žrtve, družbeno in okoljsko škodo ter gospodarske izgube. Škoda na poplavnih območjih je običajno velika in vključuje poškodbe stanovanjskih objektov, gospodarske javne infrastrukture, trgovskih in industrijskih objektov, pridelkov na kmetijskih površinah itd. Velikokrat se ob poplavah pojavijo tudi različni spremljajoči procesi, kot so zemeljski ali hribinski plazovi, drobirski tokovi, bočna ali globinska erozija, ki dodatno povzročijo še večjo škodo. Med posledice poplav uvrščamo tudi onesnaženje vodnih teles in prekinitev z oskrbo s pitno vodo in električno energijo [1]. Omeniti velja, da je škoda ob poplavah, kjer se voda počasi dviga ali zadržuje manj časa na poplavnem območju, precej manjša kot ob hipnih in silovitih poplavah ali daljšemu zadrževanju vode na poplavnem območju.

Pri zmanjševanju poplavne ogroženosti z raznimi ukrepi, tako gradbenimi kot negradbenimi, moramo upoštevati celoten cikel obvladovanja poplavne ogroženosti [1]:

- spodbujanje aktivnosti za zmanjševanje poplavne nevarnosti ter spodbujanje ustrezne rabe zemljišč, gospodarjenje s kmetijskimi zemljišči in gozdovi;
- varstvo: aktivnosti za zmanjševanje verjetnosti poplav oz. zmanjšanje vpliva poplav na določeni lokaciji in povečanje odpornosti na poplave;
- zavedanje: ozaveščanje ljudi o poplavni nevarnosti in ustreznem ukrepanju;
- pripravljenost: aktivnosti ob pojavu ekstremnega dogodka

- obnova: vzpostavitev stanja na prvotno stanje pred dogodkom, izvedba analize in upoštevanje novih spoznanj.

1.2 Opis poplavne problematike

Hudournik je opredeljen kot hribski vodotok z erodibilno strugo ali erodibilnim zlivnim območjem, relativno visokimi padci ali velikim razmerjem med pretokom visoke in nizke vode. V Sloveniji ločimo hudournike visokogorja ter hudournike sredogorja in gričevja, ki se razlikujejo predvsem po orografskih lastnostih [3]. Potok Potočnica, ki ga obravnavamo v nalogi in je podrobneje predstavljen v nadaljevanju, spada med hudournike sredogorja in gričevja, kjer je strmi padec dna le v najbolj zgornjem delu toka, v srednjem ali vsaj v spodnjem delu pa je vzdolžni padec nivelete dokaj majhen. Nevarnost, ki jo za razliko od hudournikov visokogorja predstavljajo hudourniki sredogorja in gričevja, pa je lahko bistveno večja, saj se običajno nahajajo v gospodarsko pomembnejšem in bolj poseljenem delu ozemlja.

Potok Potočnica se nahaja v občini Krško in teče skozi naselje Stara vas pri Krškem. S širitvijo urbanega prostora skozi naselje gorvodno od železniške proge do nekdanjega mlina nad naseljem se je strugi pustilo premalo prostora za prevajanje visokih voda. Obstoječi pretočni profil prevaja le letne visoke vode. To se je pokazalo tudi ob neurju leta 2005, ko je visoka voda zalila stanovanjske in gospodarske objekte. To dokazuje tudi slika 2, ki prikazuje stanovanjsko hišo z zalitim kletnim prostorom. Primerjavo gladin Potočnice med njenim normalnim vodostajem in ob večjem neurju prikazujeta slika 1 in slika 2, ki sta posneta na isti lokaciji.



Slika 1: Običajna vodna gladina Potočnice

Figure 1: Normal water surface of Potočnica



Slika 2: Poplavljen hiša v neurju leta 2005

Figure 2: Flooded house in storm 2005

Do sedaj je bilo za protipoplavno varnost naselja Stara vas narejenih že več študij. Z Inštituta za vode RS (v nadaljevanju IzVRS) smo pridobili poročilo hidrološko hidravličnega elaborata iz leta 2011 in nekaj prilog s končnimi rezultati hidravličnega modeliranja v hidravličnem modelu MIKE. Omeniti velja, da so tudi v tej študiji količine visokih voda povzete iz predhodne študije *Hidrološka študija pritokov Save-na odseku od vtoka Savinje do državne meje*, narejene v oktobru 2004. Predlagani ukrepi v študiji IzVRS zajemajo razširitev in poglobitev struge, kjerkoli bi to bilo izvedljivo, vendar se ocenjuje, da ti ukrepi obvarujejo naselje le pred 20-letno visoko vodo. Naš namen je bil obvarovati naselje pred 100-letno visoko vodo in zato smo poleg predlagane ureditve struge, s katero se sicer poveča zmožnost prevajanja visokih voda skozi naselje (vendar sami ukrepi niso zadostni), presojali druge možnosti izboljšanja poplavne problematike. Primarni ukrep je bila presoja možnosti umestitve ter analiza delovanja suhega zadrževalnika in v ta namen je bila izdelana nova hidrološko hidravlična analiza.

1.3 Cilj raziskave

Cilj raziskave je bil predlagati in analizirati delovanje protipoplavnega sistema, ki bi obvaroval naselje Stara vas pri Krškem pred 100-letno visoko vodo. Sama regulacija struge, predlagana v študiji IzVRS, ni zadostna za zagotovitev varnosti pred večjimi poplavnimi vodami in zato smo analizirali možnost umestitve suhega zadrževalnika.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Aktualne zakonodajne podlage za obravnavano območje

2.1.1 Odlok o občinskem prostorskem načrtu Občine Krško

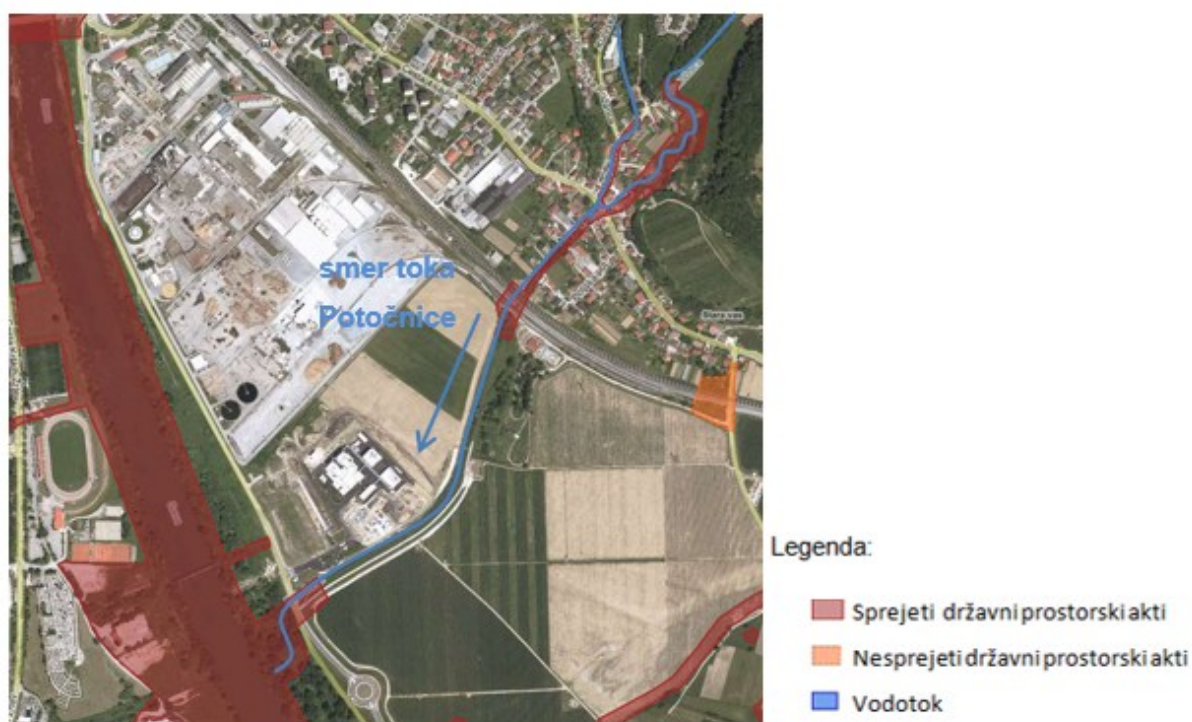
Z občinskim prostorskim načrtom (dalje OPN) so določeni cilji in izhodišča prostorskega razvoja občine, načrtovane prostorske ureditve lokalnega pomena ter določeni pogoji umeščanja objektov v prostor. OPN je dokument, ki celovito obravnava prostorsko načrtovanje Občine Krško in je obenem strateški kot tudi izvedbeni prostorski akt ter podlaga za pripravo občinskih podrobnih prostorskih načrtov in projektov za pridobitev gradbenega dovoljenja [4].

V odloku o občinskem prostorskem načrtu Občine Krško so navedene dopustne rešitve in omejitve ureditve Potočnice na vodnem območju v zgornjem delu, kjer je predvidena gradnja suhega zadrževalnika. Iz posameznih členov odloka je za tematiko obravnavano v nalogi pomembno predvsem naslednje [4]:

- na območju vodotoka in vodnih zemljišč se ohranja naravno stanje ekosistemov ter izvaja sonaravno urejanje brežin z ekoremediacijskimi ukrepi ali drugimi ukrepi z ohranjanjem naravne vegetacije in naravnega toka struge;
- lahko se gradi objekte vodne infrastrukture, namenjene ohranjanju in uravljanju vodnih količin ter varstvu pred škodljivim delovanjem voda;
- dovoljena je gradnja gradbeno-inženirskih objektov (jezovi, vodne pregrade in drugi vodni objekti), nezahtevnih in enostavnih pomožnih objektov namenjeni obrambi in varstvu pred naravnimi nesrečami ter drugih gradbeno-inženirskih objektov (oporni zidovi, skarpe, stabilizacijski objekti za zadrževanje plazov);
- objekti morajo biti protipotresno grajeni, in sicer sicer v skladu s pogoji, ki veljajo za 8. stopnjo potresne intenzitete po lestvici MSK-64.

2.1.2 Uredba o državnem prostorskem načrtu za območje hidroelektrarne Brežice

V sklopu uredbe o državnem prostorskem načrtu (DPN) za območje hidroelektrarne Brežice se rešuje tudi poplavna varnost naselja Stara vas pri Krškem. V uredbi so določene ureditve izlivnega dela Potočnice ter njenega gorvodnega dela od železniškega prepusta skozi urbano naselje do nekdanjega mlina nad naseljem (slika 3). Vse ureditve na omenjenih delih Potočnice, razen kjer je potrebna klasična težka zaščita, se izvedejo sonaravno z ekoremediacijo [5]. Konkretno rešitve urejanja Potočnice, določene z DPN, so opisane v poglavju 6.2.2.1 Povečanje pretočne zmogljivosti struge skozi naselje in nadvišanje desnega bregu Mlinščice.



Slika 3: Prikaz območja DPN, ki v posameznih odsekih velja tudi za Potočnico [7]

Figure 3: Display of area where the national spatial plan is defined for Potočnica [7]

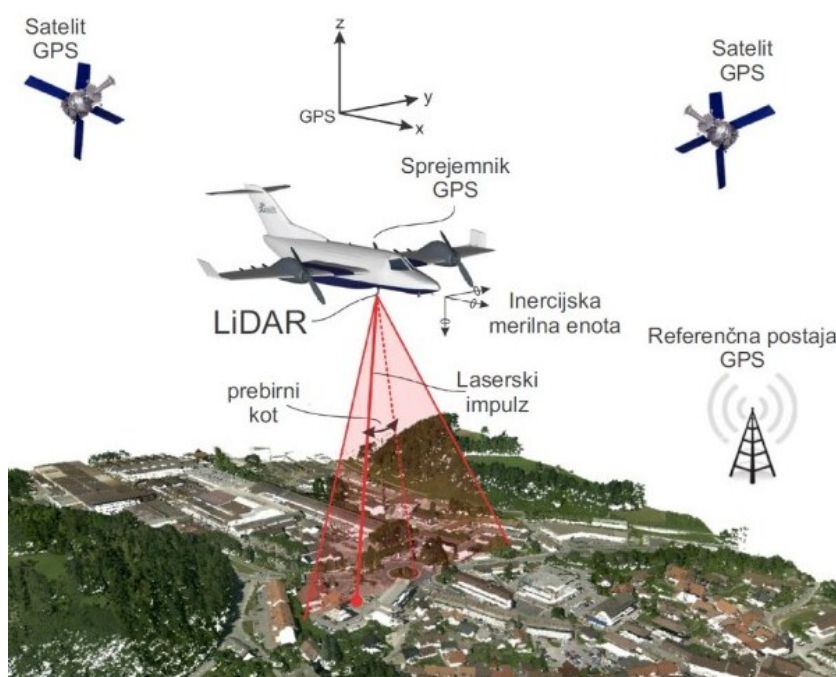
2.2 Uporaba topografskih podatkov

Topografske podatkovne baze so nepogrešljiv vir podatkov o stanju prostora. Predstavljajo osnovo za analiziranje značilnosti zemljišča in načrtovanje raznih posegov v prostor. Med topografske podatke uvrščamo podatke o vseh objektih in pojavih na zemljišču (relief, hidrografijo, pokritost tal, prometno infrastrukturo, zgradbe in druge objekte). Shranjujejo se v digitalni obliki, s pomočjo orodij geografskega informacijskega sistema (GIS) pa lahko izvajamo različne prostorske analize [43]. Poznamo številne tehnike pridobivanja topografskih podatkov, s pomočjo katerih izdelamo digitalni model terena (DMT), ki je potreben za pripravo podatkov o geometriji rečnega korita in poplavnih območij ob vodotoku. Tehnike so naslednje: aerofotogrametrija, metode daljinskega zaznavanja (satelitski posnetki, radarsko snemanje ali lasersko snemanje) in terenske meritve [43]. V naši raziskavi smo uporabili topografske podatke, pridobljene s snemanjem LIDAR. Velika prednost takšne pridobitve podatkov je poleg velike natančnosti tudi manjša odvisnost od vremena, saj se pridobivanje izvaja tudi ponoči zaradi aktivnega elektromagnetnega valovanja, ki omogoča tudi delno prodiranje signala skozi vegetacijo [15].

2.2.1 LIDAR

LIDAR (Light Detection And Ranging) je tehnologija daljinskega zaznavanja, ki se je razvila v 80. letih prejšnjega stoletja ter postaja vse bolj dostopna in uporabna na različnih področjih. Podatki, pridobljeni z zbiranjem višinskih podatkov terena z veliko gostoto točk, služijo predvsem za hidravlične analize vodnih razmer, izdelavo karte poplavne nevarnosti, simulacijo poplavnih območij, oblikovanje protipoplavnih ukrepov ter načrtovanje in urejanje prostora [15].

Lasersko tipalo, nameščeno na zračnem plovilu (letalo, helikopter) ali na vesoljskem plovilu, spada med aktivne senzorje daljinskega zaznavanja, kjer je sistem sam svoj vir energije. Ta naprava odda in potem ujame od terena odbiti žarek ter na podlagi časa potovanja žarka določi razdaljo, od katere se je žarek odbil. Pri tem je zelo pomemben sestav treh naprav: navigacijska naprava GNSS (Global Satellite Navigation System) in inercialni sistem (INS), ki sta namenjena umestitvi podatkov v prostor, ter laserski sistem, ki oddaja laserske žarke in sprejema njihove odboje od terena in objektov [15]. Na sliki 4 je prikazan sistem delovanja laserskega skeniranja z letalom.



Slika 4: Prikaz delovanja laserskega skeniranja [16]

Figure 4: Display of laser scanning activity [16]

Podatki, pridobljeni s snemanjem LIDAR, so javno dostopni preko spletnega pregledovalnika na portalu eVode. Za naš model terena smo uporabili podatke v projekciji D48GK (1km^2) in sicer DMR (digitalni model reliefa) podatke. Ti prikazujejo teren brez grajenih objektov, izločeni so vsi mostovi in na območju naselij se DMR interpolira pod zgradbami, zaradi česar

so lahko ponekod vidne rahle nezveznosti. Bistvenega pomena za dobro hidrološko in hidravlično modeliranje so natančni podatki o topografiji terena in geometriji rečne struge. Zato je pomembno, da smo pri pridobitvi podatkov na osnovi snemanja LIDAR pozorni na letni čas snemanja (delež laserskega prodiranja je odvisen od gostote in vrste vegetacije), leto snemanja (aktualnost podatkov) ter na primerno gostoto zajema točk (natančnejši prikaz terena). Za naše obravnavano območje smo na voljo imeli podatke, ki so nastali na osnovi snemanja LIDAR marca in junija 2014, gostota zajema pa znaša 5 točk/m² [14].

2.2.2 GIS-orodja

Z uporabo tehnologije geografskega informacijskega sistema (GIS) lahko v računalniku shranimo poenostavljeni model stvarnega sveta. Prostorski in opisni podatki predstavljajo določeno realno okolje in geografske pojave v njem in s pomočjo orodij GIS jih lahko shranjujemo in obdelujemo, tako da jih predstavimo v enostavnejši obliki za določene informacijske potrebe. Tak pristop omogoča uporabo različnih tehnik za vzdrževanje, obdelavo, analizo in predstavitev podatkov. V GIS-u sestavljata podatke dve različni sestavini: prostorski in opisni atributi. Prostorski podajajo grafične, lokacijske, geometrijske in topološke značilnosti, opisni pa podajajo tematsko vsebino geografskega pojava. Prostorski podatki so lahko grafično urejeni in predstavljeni na dva načina. Vektorski pristop temelji na upodobitvi geografskih pojavov v obliki točk, linij in poligonov, rastrski pristop pa temelji na upodobitvi geografskega prostora v obliki enakih in sistematično urejenih celic [17].

Za prostorsko analizo so potrebni različni geografski podatkovni sloji. Pomembno pri združevanju slojev pa je, da so enotno prostorsko locirani. V raziskavi smo uporabili naslednje podatkovne sloje:

- DMR z mrežo 1 m x 1 m,
- DOF 050 obravnavanega območja,
- rabo tal obravnavanega območja,
- hidrologijo (vodna telesa površinskih voda),
- hidrogeološko karto Slovenije,
- pedološko karto Slovenije,
- geološko karto Slovenije.

Za potrebe hidrološko hidravličnega modeliranja smo uporabili naslednji GIS-orodji:

SAGA GIS

SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis) je geografski informacijski sistem in vsebuje orodja za prostorske analize. Je odprtokodni program in enostaven za uporabo.

Omogoča delo z rastrskimi kot tudi z vektorskimi podatki. V naši raziskavi smo s SAGO izdelali DMT obravnavanega območja Potočnice z velikostjo celice 1 m x 1 m.

ArcGIS

Programsko orodje ArcGis so razvili v ameriškem inštitutu ESRI (Environmental System Research Institute), kjer se ukvarjajo z reševanjem geografskih problemov s pomočjo računalniške programske opreme. Z omenjenim orodjem si pomagamo pri vizualnih prikazih, analizah, obdelavi GIS-podatkov, raziskovanju, izdelavi različnih kart ipd. Na podlagi obstoječih prostorskih podatkovnih baz lahko izvedemo najrazličnejše transformacije v nove sklope podatkov [44].

Geometrijo prečnih profilov smo naredili s pomočjo orodja HEC-GeoRAS, ki je ena izmed zbirk orodij razširitve ArcGIS, s pomočjo katerega smo pripravili prostorske podatke za hidravlično obdelavo s programom HEC-RAS. DMR obravnavanega območja smo za obdelavo s HEC-GeoRAS podali v obliki nepravilne triagonalne mreže TIN. Določili smo potek glavnega rečnega kanala, linije rečnega toka in bregov ter linije prečnih profilov. Vse skupaj smo uvozili v program HEC-RAS in tako pridobili geometrijo prečnih profilov.

Za kontrolo podatkov, pridobljenih s snemanjem LIDAR, bi bila nujna klasična geodetska meritev prečnih prereзов struge na posameznih odsekih struge, saj bi ta bolje definirala geometrijo rečnega korita. Slabost snemanja LIDAR je, da ne omogoča merjenja višine terena pod gladino vode (globino struge), vendar v našem primeru gre za potok z običajno nizko gladino vode, kar pomeni dovolj natančno geometrijo struge. Večji problem pri določitvi geometrije prečnih profilov je predstavljala gosta vegetacija (grmovnice) na brežinah struge, kjer žarki laserskega skenerja le stežka prodrejo do tal. Poleg tega smo s terenskim ogledom ugotovili, da je v nekaterih prečnih profilih geometrija nerealna, zato so bili ti profili premerjeni in vrednosti ročno vnešene v program hidravličnega modeliranja.

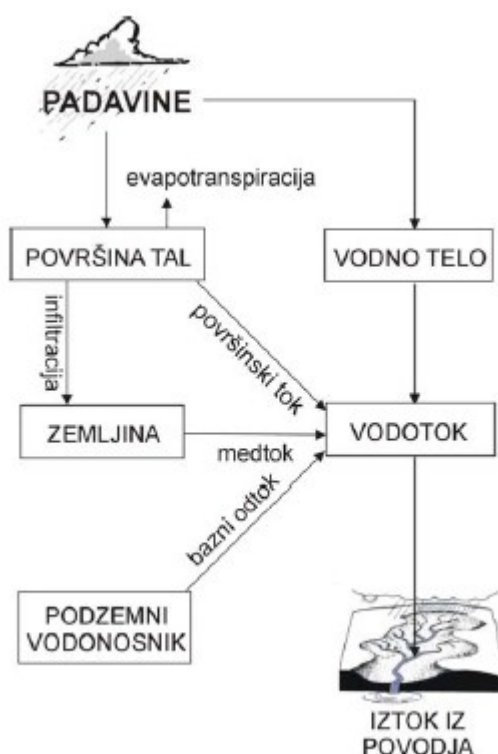
2.3 Hidrološke osnove

V hidrološkem modelu želimo s pomočjo fizikalnih in matematičnih orodij posnemati določen izredni naravni dogodek, ki sledi zakonitostim vodne bilance [18]. V določenem časovnem obdobju na površino prispevnega območja pade izredna količina padavin in nas zanima preoblikovanje padle vode v površinski odtok. Za simulacijo površinskega odtoka s porečja Potočnice smo uporabili program HEC-HMS.

2.3.1 Opis računalniškega programa HEC-HMS

Program je razvil hidrološki inženirski center (HEC) ameriške vojske in je najbolj razširjen program za izračun površinskega odtoka s povodja, saj je z vidika uporabe prosto dostopen.

Vključuje možnosti upoštevanja naravnega ali umetnega odtoka s povodij kot tudi zaloge vode ter poplave. Dobljene hidrograme lahko uporabimo za različne študije, kot so napovedovanje poplav in vodnih zalog, ugotavljanje odtoka s povodij, modeliranje pregrad, prepustov itd. Zasnovan je na matematičnih odnosih, ki so namenjeni predstavitvi meteoroloških pojavov ter hidroloških in hidravličnih procesov, ki zajemajo odnos med padavinami in odtokom. Ti procesi so ločeni na padavine (zadržane in infiltrirane), bazni odtok in transformacijo padavin v odtok. Na sliki 5 je prikazan poenostavljen model odtoka s porečja v programu HEC-HMS [18].



Slika 5: Model odtoka s porečja v programu HEC-HMS [18]

Figure 5: Runoff model of watershed in program HEC-HMS [18]

Za izdelavo hidrološkega modela smo potrebovali naslednje vhodne podatke: padavine, padavinske izgube ter podatke o hidrogramu enot. Ker smo se odločili za poenostavljen model odtoka z enim elementom podporečja, propagacije valov nismo računali.

PADAVINE

Padavine so glaven podatek za izračun površinskega odtoka. V hidrološkem modelu smo uporabili sintetični histogram, ki se pogosto uporablja pri analizah za potrebe planiranja in projektiranja, ko nimamo na razpolago (dovolj) merjenih padavinskih podatkov. Sintetične padavine določamo s podrobnimi statističnimi analizami padavinskih dogodkov za daljše obdobje [18].

Poleg količine padavin, za katero privzamemo, da je enakomerno razporejena po porečju, je pomembna tudi časovna porazdelitev padavin. Za izdelavo sintetičnega histograma je potrebno vedeti, v katerem delu padavinskega dogodka je intenziteta padavin največja oz. kje se nahaja največji delež padlih padavin. To razberemo iz brezdimenzijskih Huffovih krivulj, ki temeljijo na padavinskih podatkih zbranih z ombrografi. Zaradi boljše preglednosti se iz 50-percentilne Huffove krivulje izdela normirani sintetični histogram [20]. S pomočjo časovne porazdelitve padavin za postajo Lisca smo izdelali sintetični histogram porečja, kjer smo uporabili količine padavin z najbližje meteorološke postaje Gornji Lenart.

PADAVINSKE IZGUBE

Padavine, ki so prestrežene, infiltrirane ali akumulirane na površini ter ne prispevajo k površinskemu odtoku, so padavinske izgube. Vse preostale pa prispevajo k odtoku in jih imenujemo efektivne ali neto padavine [18]. HEC-HMS za izračun padavinskih izgub uporablja številne metode, mi pa smo se odločili za metodo SCS, ki je splošno razširjena in dokaj enostavna.

Metoda SCS efektivne padavine določi kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal in vlažnosti tal, kar predstavlja naslednja enačba [18]:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

Kjer je:

P_e akumulirane efektivne padavine v času t ,

P višina padavin v času t ,

I_a začetne izgube in

S maksimalno potencialno zadrževanje.

Maksimalno zadrževanje S se izračuna na naslednji način [18]:

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN}, SI \text{ sistem} \quad (2)$$

Lastnosti zemljine so opisane s faktorjem CN , ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine. Za porečja z več vrstami zemljin in različno rabo tal se enoten CN izračuna na naslednji način [18]:

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i * CN_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

Kjer je:

CN_{skupen} enoten skupen CN za račun odtoka,

CN_i CN posameznega dela podpovodja,

A_i površina pripadajočega dela podpovodja.

Začetne izgube dobimo z naslednjo empirično zvezo [18]:

$$I_a = 0,2 * S \quad (4)$$

HIDROGRAM ENOTE

HEC-HMS za transformacijo učinkovitih padavin v površinski odtok uporablja dva načina, in sicer s konceptualnimi modeli ali empiričnimi modeli, kar je odvisno od razpoložljivih informacij za oceno parametrov in primernosti predpostavk pri posamezni metodi. Empirični modeli so modeli hidrogramov enot, s katerimi poskušamo oceniti povezavo med površinskim odtokom in učinkovitimi padavinami brez opazovanja notranjih procesov [18]. Glede na to, da ne razpolagamo z merjenimi podatki, smo uporabili sintetični hidrogram enote, ki se oblikuje na podlagi določenih lastnosti povodja in različnih empiričnih izhodišč.

Odločili smo se za SCS hidrogram enote, ki je brezdimenzijski z enim samim vrhom. Parameter modela SCS je čas zakasnitve t_p , ki ga dobimo s pomočjo naslednje empirične enačbe [18]:

$$t_p = L^{0,8} \frac{(S_r + 25,4)^{0,7}}{28,14 * \sqrt{Y}} \quad (5)$$

Kjer je:

t_p čas od težišča histograma učinkovitih padavin do vrha enotnega hidrograma,

L hidravlična dolžina povodja,

S_r maksimalna retenzija povodja na osnovi CN koeficienta,

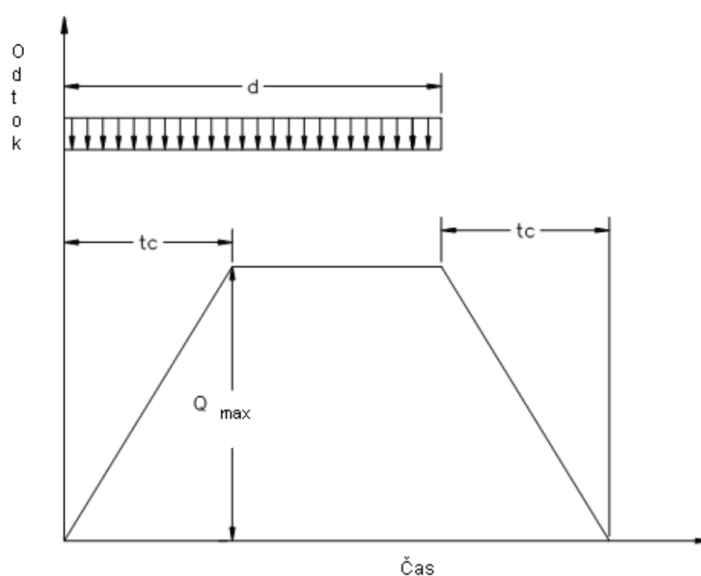
Y naklon povodja.

Čas koncentracije

Čas koncentracije t_c je čas potovanja vode od najbolj oddaljene točke porečja do iztočnega profila. Na čas najbolj vplivata oblika povodja in padec površine. Pri podolgovatih povodjih je čas večji, medtem ko je pri ovalnih manjši. Vpliv padca površine se čuti predvsem v krajšem času koncentracije pri porečjih z večjim padcem [18].

Čas koncentracije je pomemben pri izbiri trajanja nevihtnega dogodka. Če je čas trajanja nevihte enak ali večji od časa koncentracije, to ne bo vplivalo na konico največjega pretoka, saj vsa odtekla voda prispeva k površinskemu odtoku. Problem nastane, če si izberemo krajše trajanje padavin, kot je čas koncentracije, kjer ne dobimo potrebnega vrha največjega pretoka. Torej obstajajo tri možnosti [22], [23]:

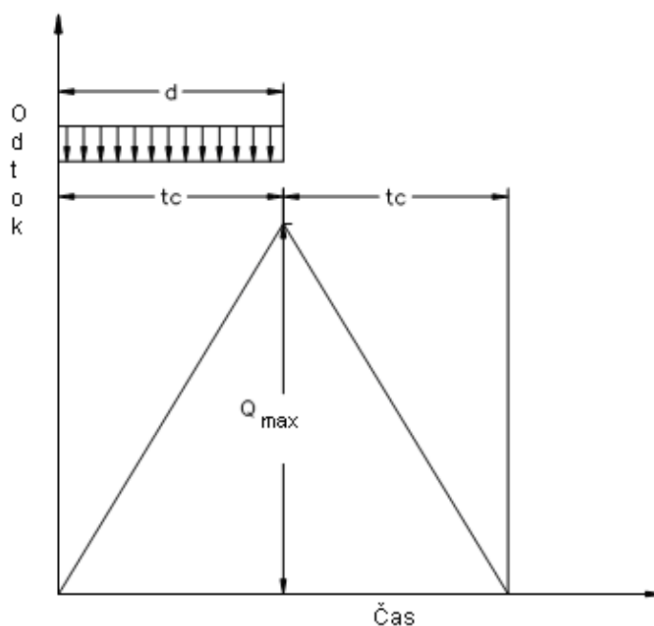
- 1 Če je trajanje padavin d daljše od časa koncentracije t_c , je hidrogram trapezne oblike z enakomernim največjim pretokom, naraščujoči in padajoči del imata enako trajanje (slika 6).



Slika 6: Hidrogram, kjer je trajanje padavin večje od t_c [22]

Figure 6: Runoff hydrograph where the precipitation duration is longer than t_c [22]

- 2 Če je trajanje padavin d enako času koncentracije t_c , je hidrogram trikotne oblike, kjer je naraščanje v času koncentracije t_c do največjega pretoka in nato padanje v enakem času nazaj na nič (slika 7).



Slika 7: Hidrogram odтока, kjer je trajanje padavin enako t_c [22]

Figure 7: Runoff hydrograph where the precipitation duration is equal to t_c [22]

- 3 Če je trajanje padavin d krajše od časa koncentracije t_c , je hidrogram trapezne oblike z maksimalnim pretokom, ki se pojavi po koncu trajanja padavin do časa koncentracije (slika 8). Naraščujoči in padajoči del sta enaka trajanju padavin.

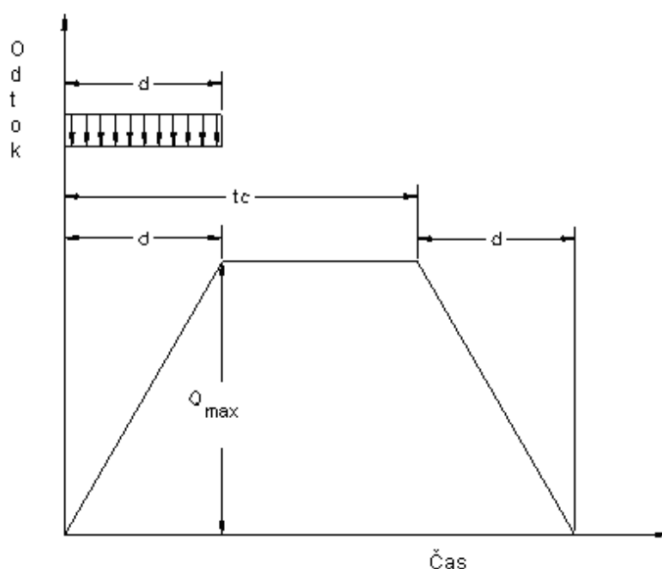


Figure 8: Runoff hydrograph where the precipitation duration is shorter than t_c [22]

Slika 8: Hidrogram odтока, kjer je trajanje padavin krajše od t_c [22]

Za oceno časa koncentracije prispevnega območja Potočnice smo uporabili empirične enačbe, ki se uporabljajo na nemerjenih porečjih oziroma v primeru, ko nimamo dovolj podatkov. Različni avtorji so podali različne enačbe za izračun časa koncentracije, pri tem pa

moramo upoštevati omejitve, ki so značilne za posamezne enačbe [18]. Čas koncentracije smo izračunali po metodi Kirpich, Kerby, SCS TR-55, Ramser, Carter, USBR in Bransby-Williams. Pri tem je treba poudariti, da so nekatere enačbe namenjene izračunu časa koncentracije površinskega toka, nekatere pa toka po strugi.

2.4 Hidravlične osnove

Hidravlični model je orodje, ki pomaga inženirju simulirati dinamiko gibanja vode po površini. Dobra kakovost vhodnih podatkov je poleg same usposobljenosti modelarja bistvenega pomena za zagotovitev natančnih prikazov poplavnosti obravnavanega območja. Rezultate modeliranja je treba pred uporabo kritično oceniti, saj ima vsak model svoje zahteve in omejitve uporabe. Hidravlično analizo potoka Potočnica smo naredili s pomočjo modela HEC-RAS verzije 5.0.3.

2.4.1 Opis programa HEC-RAS 5.0.3

Programsko orodje HEC-RAS je bilo razvito za hidravlične izračune na ameriškem centru za hidrologijo. Prve verzije so omogočale le računanje enodimenzionalnega modela stalnega toka, kasneje so se začele razvijati nove verzije z veliko več funkcijami. Hidravlični model 5.0.3. omogoča modeliranje 1D stalnega in nestalnega toka, 2D nestalnega toka ter kombinacijo 1D in 2D nestalnega toka. Poleg tega omogoča tudi račun transporta sedimentnega materiala ter analizo kakovosti vode. Program deluje v mirnem, deročem in mešanem režimu toka. Bistven vhodni podatek je geometrija vodotoka, pri kateri definiramo geometrijo prečnih prerezov struge, v našem primeru pridobljenih s pomočjo podatkov LIDAR in programa Arc-GIS [28].

Rezultati modeliranja nam pokažejo razmere v prečnih profilih, mostovih in drugih prečnih konstrukcijah, krivulje pretokov in energijskih izgub, nivoje vodne gladine ipd. grafično in tudi tabelarično. Na razpolago je tudi grafičen prikaz vzdolžnega prereza struge v 2D- in 3D-obliki z nivoji vodne gladine. Novost med novejšimi verzijami pa je tudi funkcija Ras Mapper, s katero pripravimo vhodne podatke o topografiji terena, prikažemo prostorski obseg razlivanja poplavnih voda in prikažemo ostale hidravlične izračune.

Pri 1D-modelih je hitrost toka računana v eni smeri in sicer v smeri toka vodotoka. 2D-modeli pa omogočajo izračune hitrosti v dveh dimenzijah in se uporabljajo za računanje poplavnih ravnin. Za napovedovanje poplav je vse bolj aktualen kombinirani 1D/2D-sistem nestalnega toka, kjer se uporablja 1D-račun za strugo in 2D-račun za poplavno območje. Slednjega smo uporabili v našem hidravličnem modelu.

Kombinirani 1D/2D model nestalnega toka

Sistem temelji na iteracijski metodi, kjer se izračuni za 1D in 2D izvajajo istočasno za vsak časovni korak posebej. Pri tem je omogočena neposredna povezava pretoka med 1D- in 2D-elementi. Mi smo uporabili bočne povezave (bočni oz. stranski preliv) med strugo in 2D-območji, ki so locirane tik ob vodotoku. Linija, ki ločuje 1D- od 2D-območja je modelirana kot nasip. Pri računu toka čez nasip je uporabljena enačba za preliv, ki omogoča tudi delovanje v obratni smeri, torej da se voda vrača nazaj v strugo [31].

Zunanjo mejo 2D-območja predstavlja poligon. Znotraj poligona uporabnik definira računsko mrežo s primerno velikostjo celic, v katerih izračuni potekajo s pomočjo metode končnih volumnov. Računska mreža je lahko strukturirana ali nestrukturirana, kar pomeni, da so celice lahko kvadratne, trikotne, 5-, 6- pa vse do 8-kotne oblike. Velikost posamezne računske celice je sekundarnega pomena, saj nimajo ravne dna in profil celice ni nujno ravna linija z eno nadmorsko višino. Uporaba natančne batimetrije računskih celic (upoštevanje prostorske ločljivosti DMV in ne prostorske ločljivosti računske celice, kot je to običajno v drugih hidravličnih programih) omogoča podrobne informacije topografije terena za pridobitev geometričnih in hidravličnih podatkov. Ti podrobni podatki o terenu določajo, kako se tok vode giblje skozi profil (med celicama) in na ta račun je lahko velikost celice večja [26], [31].

2.5 Vodni zadrževalniki

2.5.1 Splošno o zadrževalnikih

Pogosti in intenzitetni poplavni dogodki ter vse večji posegi človeka v obvodni prostor in na poplavne ravnice so vzroki uničujočih poplav, ki so v zadnjem času vse bolj pereč problem. Zmanjševanje poplavne ogroženosti se izvaja s protipoplavnimi ukrepi, ki se delijo na negradbene in gradbene protipoplavne. Prednost izvajanja imajo negradbeni, to so preventivni ukrepi s ciljem ohranjanja neposeljenosti poplavno ogroženih območij, med katere spadajo hidrološke napovedi, informiranje o potencialni nevarnosti, prostorsko načrtovanje itd. [35]. Vodogradbeni ukrepi pa zmanjšujejo poplavno nevarnost na poplavnih območjih, ki si jih je človek prisvojil, in z njimi pasivno branimo določeno območje, npr. z nasipi ali regulacijami vodotoka skozi naselje, ali pa aktivno vplivamo na nastanek nevarnosti npr. z zadrževalniki, ki zmanjšujejo konico poplavnega vala [36], [37].

Zadrževalniki se lahko uporabljajo za zadovoljevanje potreb po vodi za različne dejavnosti: za turizem, za preskrbo s pitno in industrijsko vodo, namakanje, pridobivanje energije, redčenje odpadne vode, zadrževanje visokih voda ipd. Večinoma služijo zadrževalna oz. akumulacijska jezera kot večnamenski objekti [38].

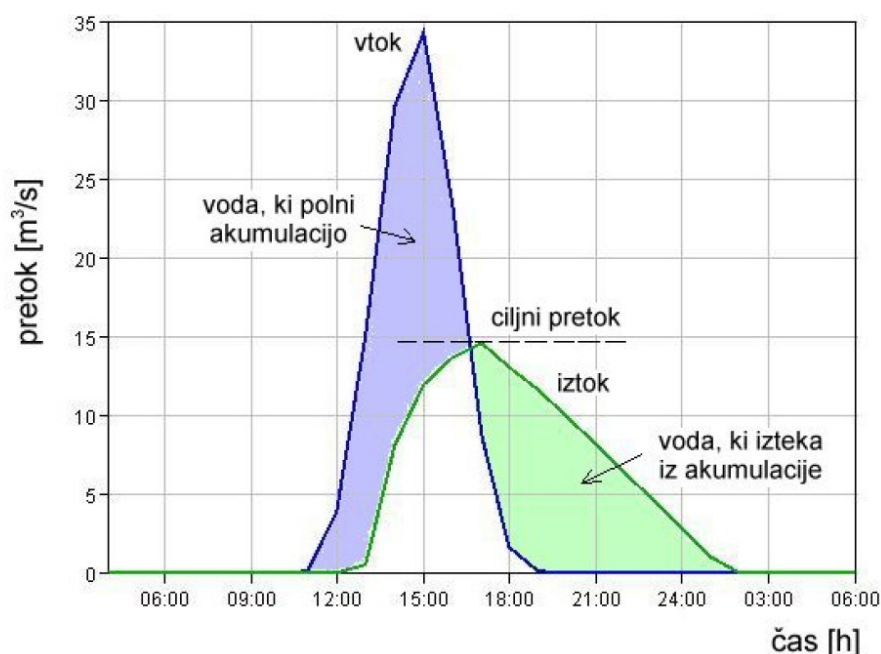
Zadrževalniki vode so objekti, s katerimi lahko ob poplavah zadržijo večje količine vode in tako zmanjšajo pretok v strugi ter s tem vplivajo na manjši obseg poplavljanja. Ločimo dva tipa zadrževalnikov, in sicer suhega in mokrega. Suhi se napolni z vodo le ob poplavah, mokri pa služijo kot večnamenske akumulacije, pri katerih je le del prostornine namenjen za zadrževanje konice poplavnega vala [40].

Posebno težavo pri zadrževalnikih predstavljajo dotoki materialov (plavin in plavja), ki zapolnjujejo zadrževalni prostor. Pri zapolnjevanju zmanjšujejo koristni volumen zadrževalnika in hkrati ogrožajo tudi stabilnost objekta, saj lahko ogrozijo delovanje varnostnih (talnih) izpustov, če jih zamašijo ali zasujejo [38]. Iz tega razloga je treba predvideti objekte gorvodno od zadrževalnika, ki bi služili prestrezanju dotoka plavin in plavja v akumulacijski prostor ali v sklopu izvedbe vtočnega dela talnega prepusta.

2.5.2 Delovanje suhega zadrževalnika

Suhi zadrževalnik v osnovi sestavlja pregradni del s pripadajočimi objekti za prelivanje vode ter akumulacijski prostor. Ta se napolni le v času visokih voda, kjer se voda zadrži le za nekaj dni, drugače pa je prostor namenjen drugim dejavnostim npr. kmetijstvu [38].

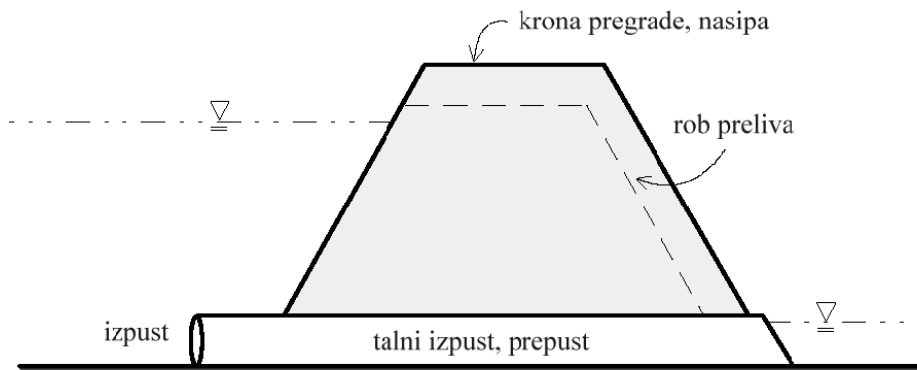
Princip delovanja suhega zadrževalnika temelji na zadrževanju dela poplavnega vala v retenzijskem prostoru, s tem preprečimo dolvodno razlivanje vode iz struge (slika 9).



Slika 9: Hidrogram vtoka in iztoka iz suhega zadrževalnika [18]

Figure 9: Hydrograph of inflow and outflow from dry reservoir [18]

Zadrževalnik zadrži presežek vode in ga kasneje spušča skozi iztočni objekt (npr. talni izpust) ali v primerih ekstremnih razmer čez preliv na vrhu pregrade (slika 10), s čimer omogoča bolj uravnotežen odtok, zmanjšuje poplave in povečuje minimalne pretoke [18].



Slika 10: Enostaven pregradni objekt zadrževalnika s talnim izpustom in prelivom [18]

Figure 10: Reservoir with ground release and spillway [18]

Celoten proces opišemo z enodimenzijsko aproksimacijo kontinuitetne enačbe [18]:

$$I_{pov} - O_{pov} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (6)$$

Kjer je:

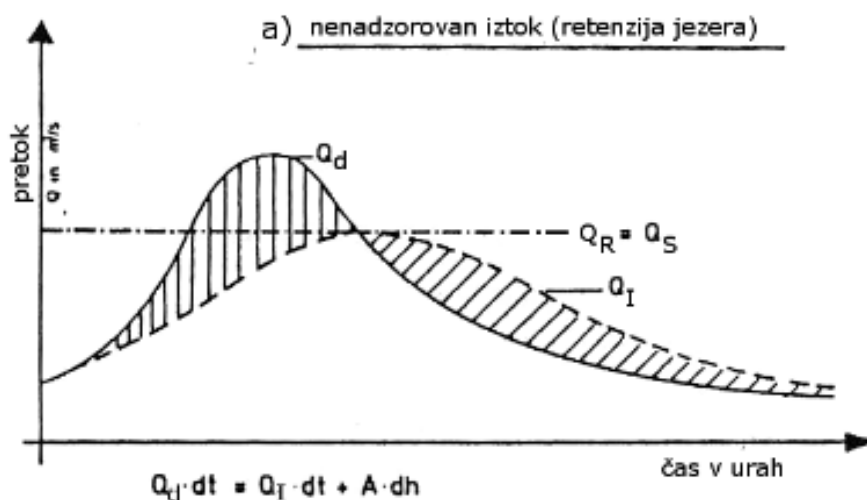
I_{pov} povprečni vtok

O_{pov} povprečni iztok

ΔS sprememba v skladiščenju

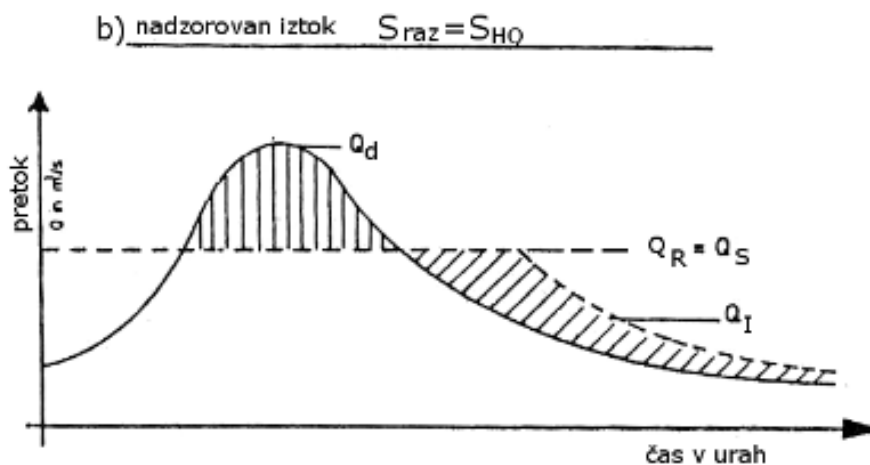
Na zadrževani volumen v akumulaciji v največji meri vplivajo karakteristike zadrževalnega prostora (rezervoarja) in hidravlične karakteristike pretočnosti izpustnih delov [39].

Glede na način izpusta (dušenje konice) ločimo zadrževalnike s prostim nenadzorovanim iztokom in zadrževalnike z nadzorovanim iztokom (sliki 11 in 12). Pri nenadzorovanem izpustu gre predvsem za blaženje visokovodne konice, kjer je iztok funkcija višine zajeze in hidravličnih karakteristik iztočnega objekta. Pri nadzorovanem izpustu pa je izpust odvisen od projektnega iztoka $Q_{i,max}$ in načina regulacije izpusta. Izpustna naprava regulira pretok s pomočjo zapornic/ zasunov ter prepušča največ dovoljeno dovoljeni pretok [39].



Slika 11: Način delovanja zadrževalnika z nenadzorovanim iztokom [39]

Figure 11: Principle of reservoir activity without controlling water release [39]



Slika 12: Način delovanja zadrževalnika z nadzorovanim iztokom [39]

Figure 12: Principle of reservoir activity with controlling water release [39]

Pri načrtovanju in umeščanju suhega zadrževalnika v prostor smo bili osredotočeni na naslednje dejavnike:

- topografija predvidene lokacije zadrževalnika (ozka dolina, kar omogoča izgradnjo krajšega pregradnega objekta in čim večji prostor za zadrževanje vode, po možnosti obdan z naravno bariero),
- razpoložljivi volumen zadrževalnega prostora,
- izbira projektne poplave, na katero dimenzioniramo zadrževalnik,
- izbira iztočnega objekta za prevajanje visokih vod,
- hidravlična prevodnost struge vodotoka dolvodno od suhega zadrževalnika.

Pri izbiri projektne poplave, na katero bi dimenzionirali zadrževalnik, smo upoštevali nemški standard DIN 19700 T 12, ki za dimenzioniranje običajnega prostora poplavne akumulacije predlaga okvirne vrednosti povratnih dob glede na rabo dolvodnih površin. Naša naloga je bila zaščititi strnjeno dolvodno naselje Stara vas, ki smo jo uvrstili v razred II po nemškem standardu in da bi bili na varni strani, smo se odločili, da bomo v suhem zadrževalniku zadržali poplavni val z 1% verjetnostjo poplavnega dogodka (glej preglednico 1).

Preglednica 1: Okvirne vrednosti povratnih dob za dimenzioniranje prostora poplavne akumulacije glede na rabo dolvodnih površin [24]

Table 1: Rough assessments of return periods for dimension accumulation reservoir considering the land use downstream [24]

Razred	Raba površin	Povratna doba T_n
I	Močno pozidano območje	100
II	Pretežno pozidano območje, regionalne prometnice	50– 100
III	Posamezne zgradbe, nestanovanjski objekti	25–50
IV	Kmetijske intenzivne površine	10–25
V	Kmetijske manj intenzivne površine	5–10

2.5.3 Elementi predvidenega suhega zadrževalnika

Akumulacijski prostor

Akumulacijski prostor suhega zadrževalnika je namenjen zadrževanju visoke vode, ki se v samem bazenu nahaja le kratek čas (do nekaj dni). Nahaja se lahko ob samem vodotoku ali pa izven toka vodotoka. Odločitvena faktorja umeščanja zadrževalnika v prostor sta zadosten razpoložljivi volumen akumulacijskega prostora in namenska raba prostora, pri kateri se izogibamo gosti poseljenosti.

Pregradni objekt

Glede na višino zgradbe formalno-pravni vidik razvršča zaježitvene zgradbe na dolinske (visoke) pregrade (višina > 10 m) in jezove (višina < 10 m). Varnostne zahteve pri načrtovanju, gradnji in nenazadnje tudi pri vzdrževanju zaježitvenih zgradb pa se ne nanašajo samo na višino ali velikost akumulacije, temveč so usmerjene na stopnjo

ogroženosti prebivalstva in okolja v območju zaježitvenih zgradb ter akumulacije na morebitno porušitev [41].

NASIPNI MATERIAL JEZOVNE ZGRADBE

Glede na material na grobo ločimo betonske in nasute pregrade. Na predvideni lokaciji zadrževalnika je prečni prerez jezovne zgradbe v obliki širše U-doline, za katero je najbolj primerna nasuta pregrada s centralnim tesnilnim jedrom. Nasuta zemeljska pregrada bi bila najboljša izbira zaradi slabše nosilnosti temeljnih tal, kjer so pričakovani posedki večji, in sicer bi bila primerna slojevita zemeljska pregrada s centralnim tesnilnim jedrom [38], [42]. Zemeljske pregrade so torej lahko homogene ali slojevite, pri slednjih tesnitev dosežemo z vgrajevanjem neprepustnega jedra in spremljajočih plasti (filtri, gorvodna zaščitna plast, dilatacije). Dodatno tesnitev uvedemo glede na prepustnost podlage, in sicer s tesnilno steno, horizontalno preprogo, injekcijsko zaveso itd. [38].

Prednosti zemeljskih pregrad so [38]:

- primerne za zaježitev širokih dolin,
- prilagodljive na različne pogoje temeljenja,
- uporaba naravnih materialov,
- mogoče je vgraditi zelo različne materiale,
- zelo mehaniziran in kontinuiran proces gradnje,
- relativno manjši stroški (v primerjavi z betonskimi pregradami).

Pri nasutih pregradah moramo biti še posebej pozorni na stabilnost pobočij pregrade in temeljnih tleh, posedanje tal, precejanje vode skozi pregrado, da ne pride do notranje erozije v pregradi ali v temeljnih tleh [42].

PRIPADAJOČI OBJEKTI ZA IZPUST VODE

➤ **TALNI PREPUST**

V nalogi nismo predvideli nobene hidromehanske opreme za reguliranje iztoka iz suhega zadrževalnika. Torej gre za nenadzorovan izpust vode, kjer je iztok odvisen od višine zaježbe in hidravličnih značilnosti iztočnega objekta.

Vzdolž izpustnega dela se pojavljajo različne vrste toka vode. Ta je običajno odvisna od višine gladine zaježene vode v zadrževalniku [42]:

- ob nizkih višinah gladine vode v akumulaciji voda teče v obliki toka s prosto gladino, kjer je za analizo toka uporabna Manningova enačba;

- pri zadržanju visokih voda, kjer se zaježitvena višina dvigne, vtok v prepust postane potopljen. Celotni presek izpusta je lahko zapolnjen z vodo, pojavi se tok pod tlakom;
- najpogostejši način delovanja prepusta pri visokovodnih razmerah je potopljena vtočna odprtina v prepust (hidravlično obravnavamo kot iztok iz odprtine) in pogosti prehodi toka pod tlakom v tok s prosto gladino vzdolž prepusta (odvisno od naklona dna prepusta).

➤ **VARNOSTNI PRELIV**

Izvedbi prelivnega dela na nasutih pregradah se praviloma izogiba zaradi nevarnosti obtekanja utrjenega preliva in erozijskih procesov, vendar v našem primeru je rešitev pogojno upravičena zaradi manjše višine jezu, kjer so tudi pričakovani pretoki manjšega obsega. Vsekakor pa je treba ustrezno zavarovati utrditev preliva in krilnih zidov ter preprečiti pojav prodiranja vode pod utrditvijo preliva in erozijske procese v telesu pregrade [42].

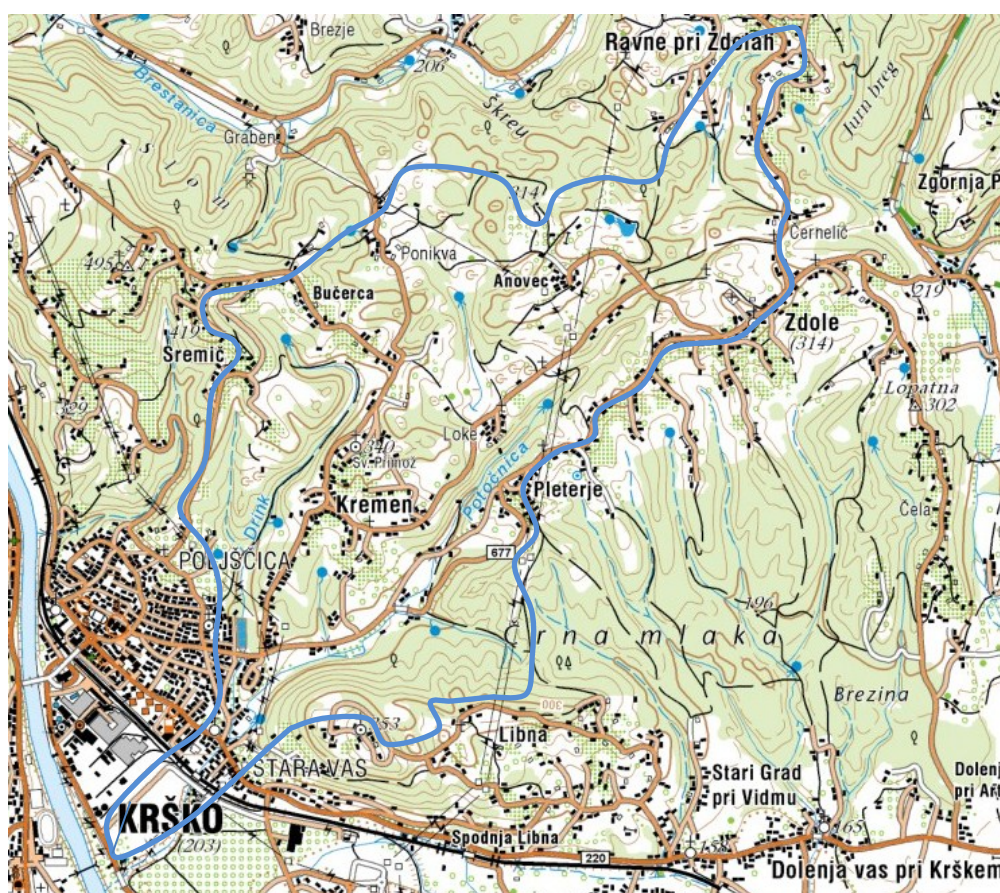
➤ **PODSLAPJE**

Praviloma se vsak preliv zaključi v utrjenem podslapju, kjer se kinetična energija toka vode pretvarja v potencialno energijo preko vodnega skoka. Učinkovitost pretvorbe (disipacije) je odvisna od Froudovega števila pred vodnim skokom in globine spodnje vode. Zasnova podslapja mora omogočati prehod iz deročega v mirni tok ter nuditi odpornost na povečanje strižnih napetosti, s katerimi vodni tok deluje na ostenje struge [42].

3 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA IN ZNAČILNOSTI POREČJA POTOČNICE

3.1 Opis območja

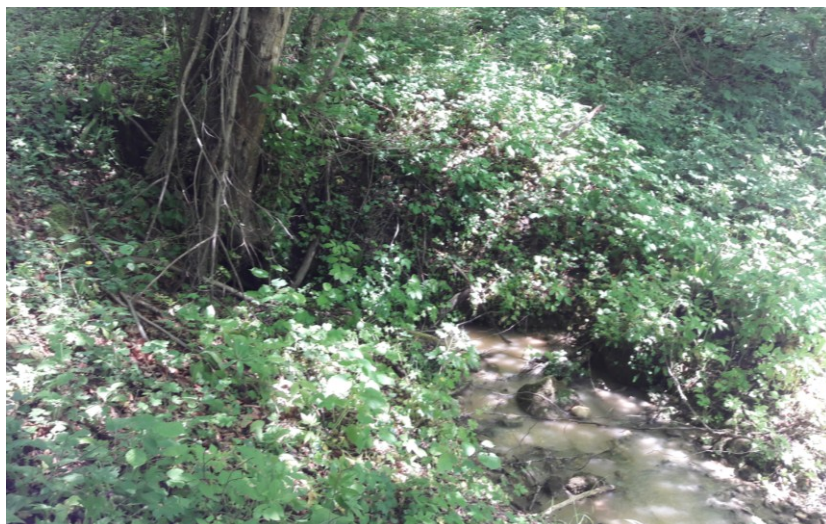
Potok Potočnica oziroma Starovaški potok, kot mu rečemo vaščani, je levi pritok reke Save in teče skozi naselje Stara vas pri Krškem. Celotna površina prispevnega območja znaša 8,4 km² in je podolgovate oblike, orinetirano od SZ proti JV. Lokacija porečja Potočnice je vidna na sliki 13. Višinska razlika med najvišjo in najnižjo točko porečja znaša 268 m. Območje pokrivajo predvsem gozdne in travniške površine v zgornjem delu in kmetijske ter urbane površine v srednjem in spodnjem delu.



Slika 13: Lokacija porečja Potočnice [9]

Figure 13: Location of watershed of Potočnica [9]

Potočnica izvira v Ravnah na Zdolah na nadmorski višini 330 m. Sprva okoli 800 m površinsko odteka in nato ponikne ter se po 1700 m zopet pojavi na površju v Lokah na nadmorski višini 215 m. Izvir v Lokah (slika 14) smo privzeli kot glavnega in od tu naprej potok površinsko odteka še okoli 4,3 km s povprečnim padcem 1,9 % in se nato izliva v reko Savo.



Slika 14: Izvir potoka v Lokah na nadmorski višini 220 m

Figure 14: Spring of the stream in Loke at altitude 220 m

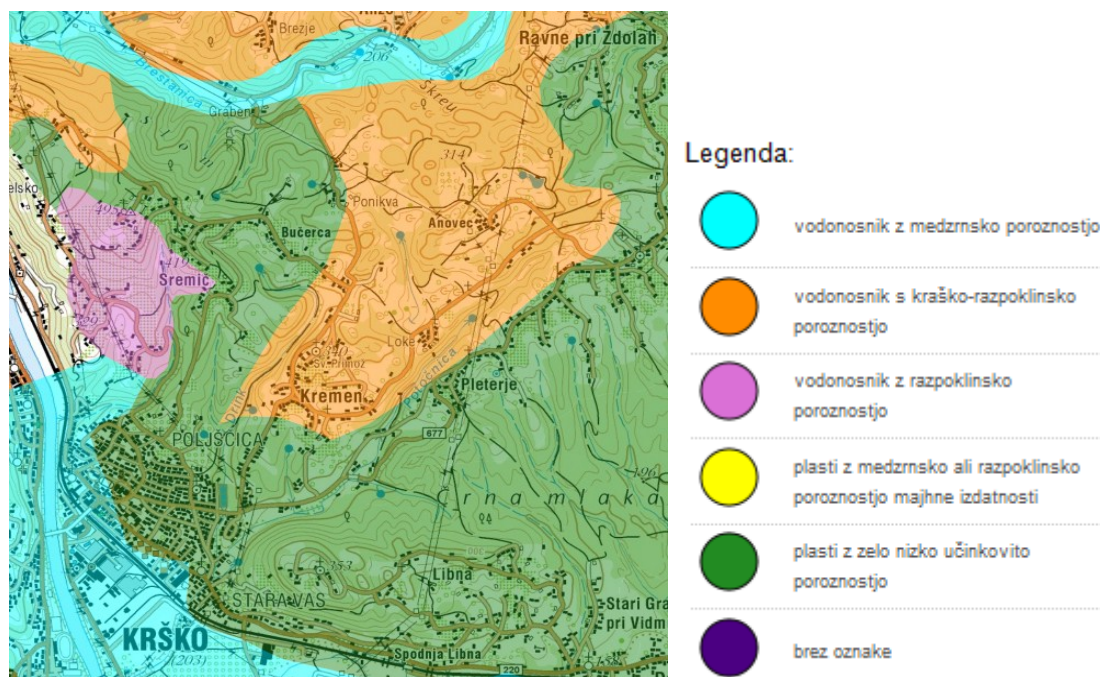
V zgornjem delu Potočnice, torej od izvira v Lokah, struga sprva vijuga po gozdnem zemljišču, mimo nekdanj delujočega mlina in perišča in se mu po nekaj sto metrih pridruži pritok Ločki dol, kjer se struga razširi. Potok nadaljuje pot mimo kmetijskih zemljišč, travnikov in nekaj stanovanjskih objektov. V spodnjem delu teče potok med hišami strnjeno poseljenega naselja Stara vas pri Krškem in se mu pri mostu Krško-Brežice pridruži glavni pritok Drnik. Od železniškega prepusta, ki je oddaljen približno 230 m dolvodno od sotočja z Drnikom, potok teče po že urejeni strugi vse do izliva v reko Savo.

Od vznožja Gorjancev do Goričkega se razprostirajo ravnine in gričevja panonskega sveta, katerega del je tudi Krško. Na območju porečja Potočnice je tako na eni strani poseljena ravnina, ki jo je v ledenih dobah s prodom nasula reka Sava (spodnji tok vodotoka) in na drugi strani razgibana, lapornata in ilovnata gričevja, poraščena z vinogradi in sadovnjaki (zgornji in srednji tok vodotoka). Z GIS-analizo DMR-ja prispevnega območja Potočnice je bila določena najvišja točka porečja z vrednostjo 419,5 m, najnižja kota pa se giblje okoli 160 m. Povprečen naklon celotnega porečja vodotoka znaša približno 26 %.

3.2 Naravnogeografske značilnosti porečja Potočnice

3.2.1 Geologija

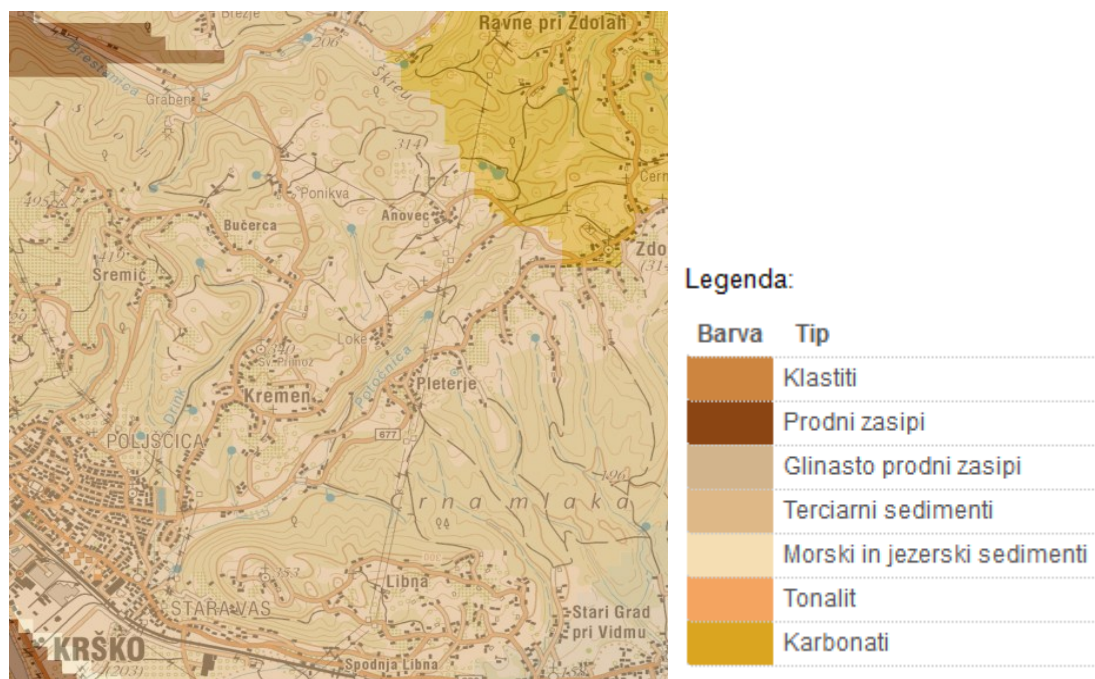
Na porečju Potočnice manjši delež zavzemajo plasti z zelo nizko učinkovito poroznostjo, večji delež pa zavzema vodonosnik s kraškorazpoklinsko poroznostjo (slika 15). Slednji so nizko do zmerno izdatni, sestavljeni iz karbonatnih kamnin, v glavnem apnenci in dolomiti [8].



Slika 15: Hidrogeologija porečja Potočnice [9]

Figure 15: Hydrogeology of watershed of Potočnica [9]

Iz geološke karte (slika 16) je razvidno, da je podlaga pretežno sestavljena iz terciarnih sedimentov, v zgornjem delu v manjšem obsegu tudi iz karbonatov. Terciarni sedimenti veljajo za mehkejšje, erozijsko manj odporne sedimente [13].



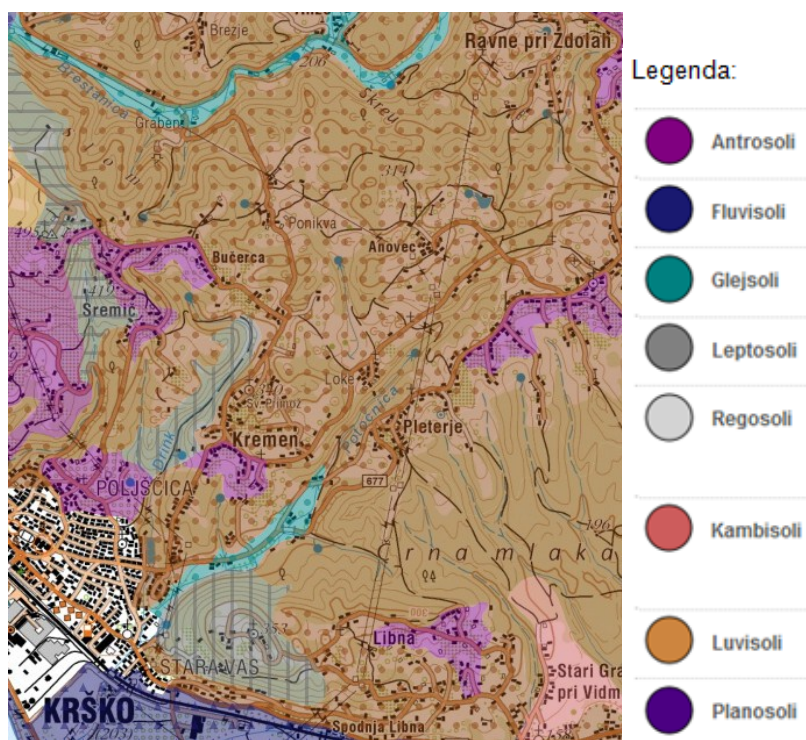
Slika 16: Geološka karta [9]

Figure 16: Geological map [9]

3.2.2 Pedologija

Na porečju Potočnice prevladujejo evtrično rjava tla na mehkih karbonatnih kamninah (lapornati apnenci), ponekod tudi na laporju in na mešanih karbonatnih in nekarbonatnih kamninah. V majhnem deležu pa najdemo tudi rendzino na mehkih karbonatnih kamninah, evtričen mineralen hipoglej in rigolana vinogradniška tla. Evtrična rjava tla se po globini zelo razlikujejo in segajo od 30 cm do preko 100 cm. Po teksturi so pretežno ilovnata, meljasto-ilovnata ali glinasto-ilovnata, običajno z večjo količino gline. Tla so najbolj primerna za kmetijstvo [10].

Glede na WRB klasifikacijo so na sliki 17 prikazane glavne skupine prsti, ki se nahajajo na porečju Potočnice.

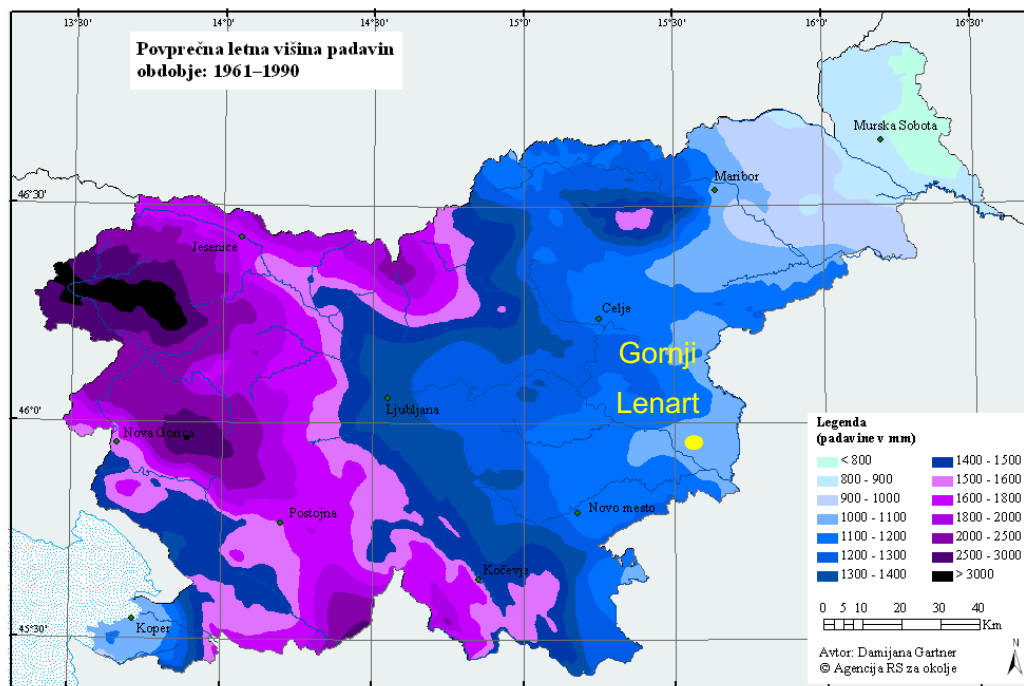


Slika 17: Pedološka karta [9]

Figure 17: Soil map [9]

3.2.3 Padavine

Karta povprečnih letnih višin padavin (slika 18) kaže, da je na vzhodnem delu območja Slovenije, natančneje na območju porečja Potočnice, povprečna letna višina padavin med 1000 in 1100 mm, kar je podpovprečna letna količina padavin v Sloveniji.



Slika 18: Povprečna letna višina padavin v obdobju 1961–1990 [12]

Figure 18: Average annual precipitation in the period 1961–1990 [12]

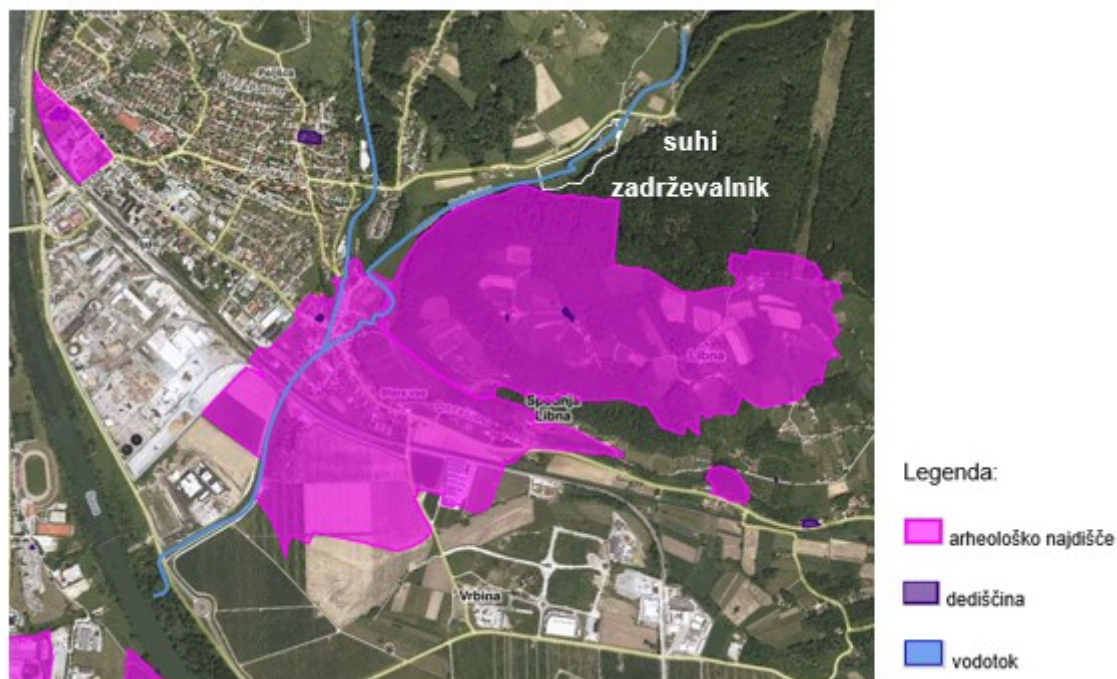
V bližini prispevnega območja se nahaja meteorološka postaja Gornji Lenart. Na tej postaji beležijo podatke padavin s pomočjo ombrografa, ki poleg količine padavin meri tudi intenziteto padavin. Z večletnimi nizi meritev so bile po Gumbelovi metodi izračunane povratne dobe za ekstremne padavine [11]. Te predstavljajo enega izmed vhodnih podatkov hidrološkega modela.

3.3 Druge značilnosti porečja Potočnice pomembne z vidika posegov v prostor

3.3.1 Kulturna dediščina

Razen kulturne dediščine na predvidenem območju urejanja Potočnice ni ekološko pomembnih območij, Nature 2000, zavarovanih območij in ne naravnih vrednot, kjer bi veljali splošni omilitveni ukrepi.

Med gradnjo se varuje kulturno dediščino pred poškodovanjem in uničenjem. Na sliki 19 je prikazano območje arheološke dediščine na porečju Potočnice. Investitor mora pred pridobitvijo kulturnovarstvenega soglasja zagotoviti izvedbo predhodnih arheoloških raziskav za vrednotenje arheološkega potenciala. Za vse posege v registrirana območja je treba pridobiti soglasje za raziskavo in odstranitev arheološke ostaline.



Slika 19: Območje arheološke dediščine [7]

Figure 19: Area of archaeological heritage [7]

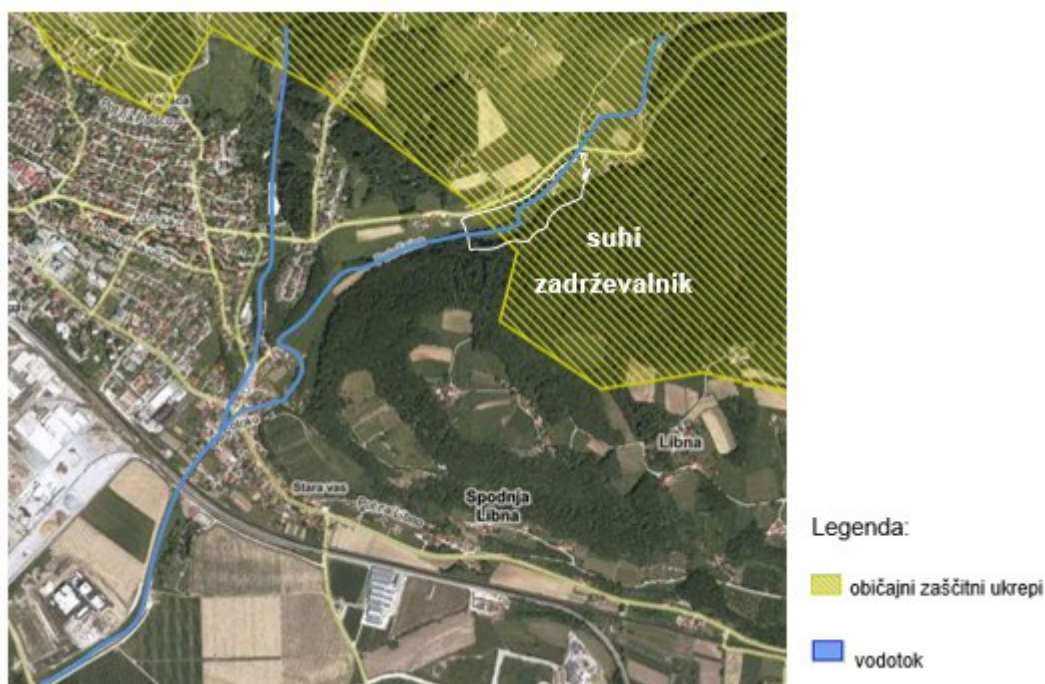
3.3.2 Varstvo voda

Ureditve Potočnice na delih, kjer ni potrebna klasična težka zaščita, se izvedejo sonaravno z ekoremediacijo. Obstoječe brežine se čim bolj ohrani, utrjevanje struge se izvede z lesenimi in na območju premostitve s kamnitimi talnimi pragovi. Na območju objektov se ustrezno zavaruje s tlakom iz lomljenca in rastjem, brežine pa se zatravijo in zasadijo z avtohtonimi grmovnimi in drevesnimi vrstami. Med gradnjo kot tudi obratovanjem ureditvenih del se mora v vodotoku zagotoviti ekološko sprejemljiv pretok [5].

Treba je upoštevati varovanje priobalnega zemljišča z odmikom 5 m od vodnega zemljišča Potočnice. Na vodnem in priobalnem zemljišču je prepovedano postavljati naprave in objekte, ki bi ogrožali stabilnost zemljišč, zmanjševali varnost pred škodljivim delovanjem voda, ovirali pretok vode in onemogočali razmnoževanje vodnih ter obvodnih organizmov [5].

3.3.3 Erozijska in plazljiva območja

Del območja na lokaciji predvidene gradnje suhega zadrževalnika spada med erozijsko in plazljivo območje, kjer veljajo običajni zaščitni ukrepi. Na sliki 20 je prikazana predvidena lokacija suhega zadrževalnika, ki sega v v erozijsko in plazljivo območje.



Slika 20: Predvidena lokacija suhega zadrževalnika [7]

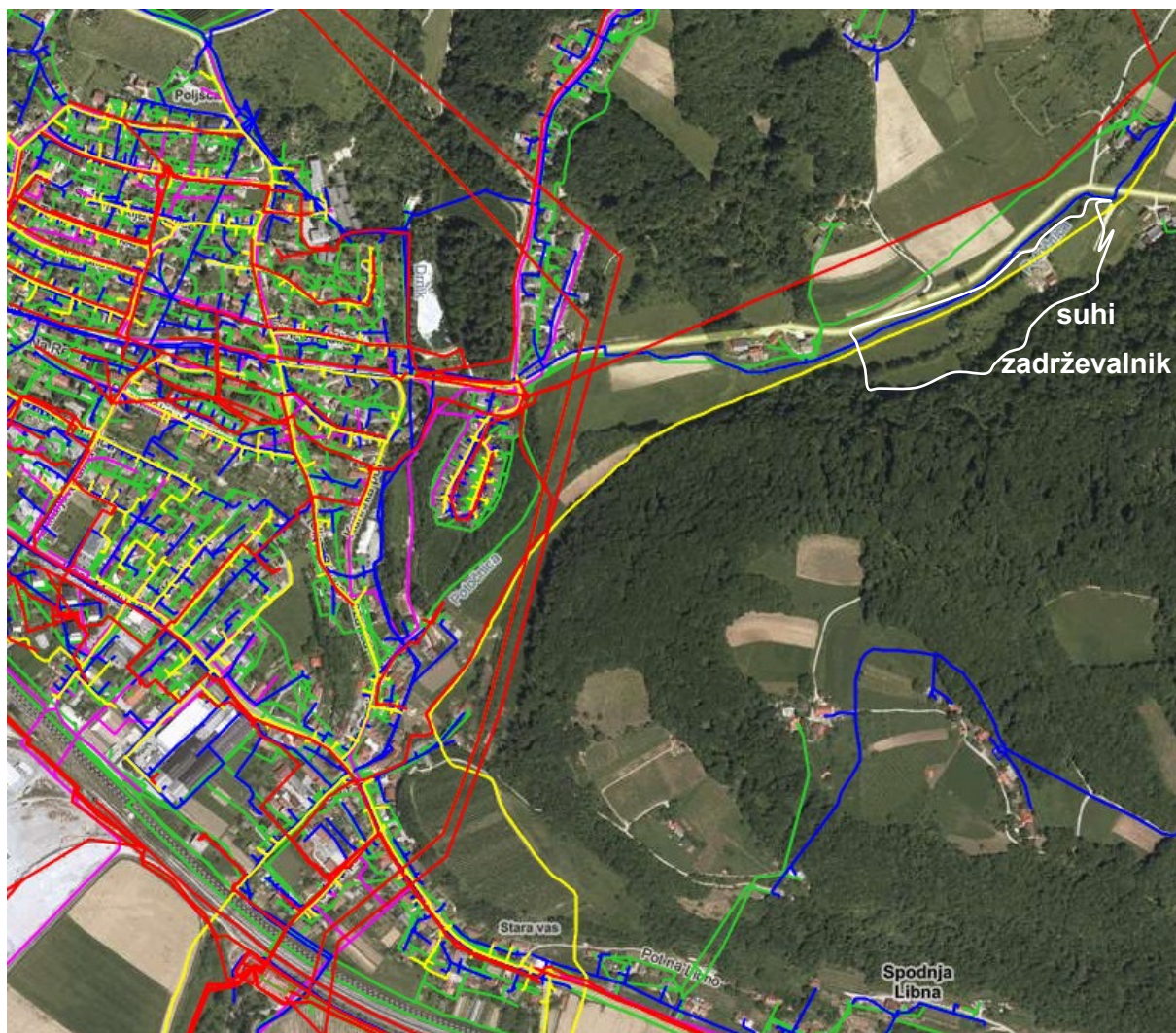
Figure 20: Estimated location of dry reservoir [7]

Na erozijskih območjih je prepovedano poseganje na način, ki pospešuje erozijo in oblikovanje hudournikov, nenadzorovano zbiranje ali odvajanje zbranih voda po erozivnih ali plazljivih zemljiščih, omejevanje pretoka hudourniških voda, pospeševanje erozijskih moči voda ali slabšanje ravnovesnih razmer, razen zaradi zagotavljanja pretočne sposobnosti hudourniške struge [5].

V primeru nevarnosti plazenja in erozije se za območje, po predhodni oceni ogroženosti ter izdelanih načrtih zaščite in reševanja, predvidi ukrepe za preprečitev nevarnosti. Posegi se na erozijskih območjih izvajajo v skladu s predpisi s področja varovanja in upravljanja z vodami. Pred izdajo dovoljenja za gradnjo je potrebno izdelati strokovno geološko-geotehnično poročilo [5].

3.3.4 Varovalni pasovi gospodarske javne, energetske in ostale infrastrukture

V varovalnih pasovih so posegi dopustni na podlagi veljavnih predpisov, projektnih pogojev in pisnega soglasja upravljavca posamezne infrastrukture. Za vsak poseg je treba izdelati ustrezno projektno dokumentacijo oziroma elaborat križanja [4]. Slika 21 prikazuje predvideno lokacijo suhega zadrževalnika in objekte gospodarske javne infrastrukture (GJI), ki se nahajajo na predvidenem območju urejanja Potočnice.



Legenda:

- Plinovod
- Komunikacije
- Kanalizacija
- Vodovod
- Elektrovod

Slika 21: Objekti GJI na območju urejanja Potočnice [7]

Figure 21: GJI objects in the regulation area of Potočnica [7]

Objekti GJI na območju urejanja Potočnice so naslednji:

- Prometna infrastruktura

Skozi naselje (preko glavnega mostu Potočnice v naselju) poteka regionalna cesta I. reda Krško–Brežice. Varovalni pas na vsako stran ceste znaša 15 m. V neposredni bližini predvidene lokacije suhega zadrževalnika se nahaja regionalna cesta III. reda Pišece–Zgornja Pohanca–Krško. Varovalni pas na vsako stran ceste prav tako znaša 15 m. Upravljavec obeh je Direkcija RS za infrastrukturo. Vzporedno od regionalne ceste Krško–Brežice, oddaljenosti približno 250 m, se nahaja glavna železniška proga, katere varovalni pas znaša 108 m [4].

➤ Energetska infrastruktura

Rumena črta na sliki 21 predstavlja potek plinovoda. Varovalni pas distribucijskih in priključnih plinovodov znaša 5 m od osi plinovoda na vsako stran. Upravljavec je Plinovodi, d. o. o. [4].

Z rdečo barvo (slika 21) je označen elektroenergetski vod. Širina varovalnega pasu elektroenergetskih vodov za podzemni napetostni nivo od 1kV do 20kV je 2 m (1 m na vsako stran od osi daljnovoda) in za nadzemni napetostni nivo 110kV je 30 m (15 m na vsako stran od osi daljnovoda). Upravljavec je Elektro Celje, d. d. [4].

➤ Druga infrastruktura, pri kateri varovalni pasovi znašajo 3 m od osi voda

Na sliki 21 je z zeleno črto označen komunikacijski vod, katere upravljavec je Telekom Slovenije, d. d., z modro črto je označena vodooskrbna cev, katere upravljavec je Kostak, d. d., ter z roza barvo je označen kanalizacijski vod, katere upravljavec je Kostak, d. d. [4].

3.3.5 Namenska raba

Na lokaciji suhega zadrževalnika (slika 22) se nahajajo pretežno kmetijska zemljišča in v manjšem obsegu tudi gozdna zemljišča. V spodnjem delu toka pa se nahajajo območja stanovanj, centralne in proizvodne dejavnosti.



Slika 22: Namenska raba [7]

Figure 22: Namenska raba [7]

4 IZDELAVA HIDROLOŠKEGA MODELA

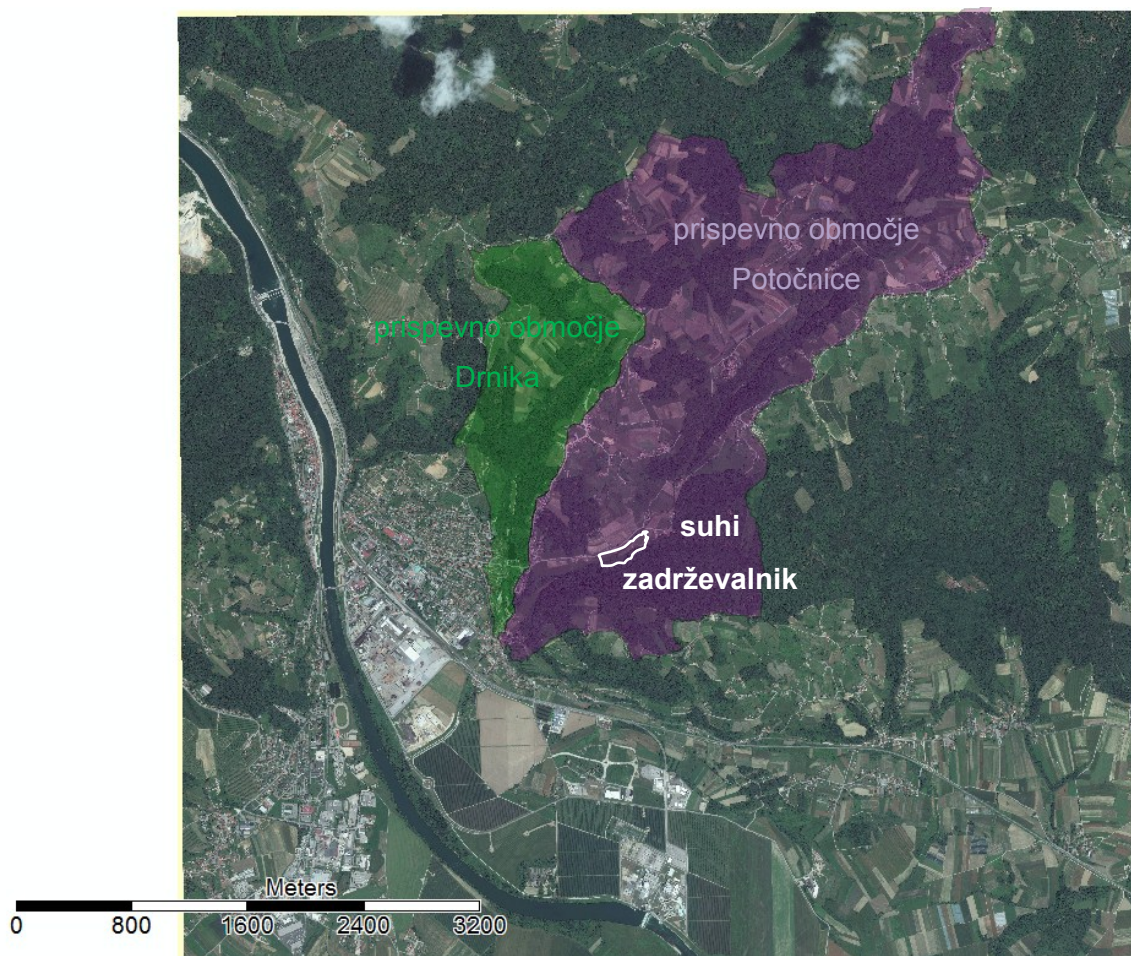
V hidrološkem modelu HEC-HMS smo določili poplavni val z 1% verjetnostjo dogodka, ki smo ga potrebovali za nadaljno hidravlično modeliranje.

Celoten projekt v programu HEC-HMS je sestavljen iz treh modelov (model porečja, meteorološki model in kontrolni model). Ločeno smo izdelali dva projekta, enega za Potočnico in enega za glavni pritok Drnik. V posameznem projektu je shema porečja predstavljena z enim elementom podporečja, kateri ima dva ločena procesa: padavinske izgube in transformacijo padavin v odtok. Baznega odtoka nismo upoštevali. V meteorološkem modelu so na voljo različne metode podajanja padavin, odločili smo se za padavine z določeno povratno dobo (ang. *Frequency Storm*). V kontrolnem modelu pa smo določili 5 minutni časovni korak izračuna ter določili naključen začetni in končni čas simulacije odtoka.

4.1 Vhodni podatki

Pri simulaciji odtoka smo upoštevali prispevno območje Potočnice z lokacijo iztočnega profila pred mostom, preko katerega poteka regionalna cesta Krško–Brežice ter pred glavnim pritokom Drnika. Velikost prispevnega območja smo določili v programu SAGA in znaša 6,5 km² (slika 23).

Nekaj metrov dolvodno od iztočnega profila hidrograma, natančneje 6 m dolvodno od mostu regionalne ceste Krško–Brežice, se Potočnici pridruži njen največji pritok Drnik. Za izračun odtoka smo uporabili padavinske podatke postaje Gornji Lenart, kot smo to naredili za Potočnico. Velikost prispevnega območja znaša 1,6 km² (slika 23). Omeniti je treba, da pritok Drnik nismo hidravlično modelirali zaradi slabih geometrijskih podatkov rečnega korita in zato smo dobljeno vrednost pretoka, pridobljeno s hidrološkim modelom, upoštevali kot stranski dotok v glavno strugo Potočnice.



Slika 23: Prispevno območje Potočnice in Drnika

Figure 23: Watershed of Potočnica and Drnik

Padavinski projektni dogodek

V hidrološki model so bili vnesene padavine z določeno povratno dobo z bližnje meteorološke postaje Gornji Lenart. Postaja se nahaja na nadmorski višini 150 m in je oddaljena približno 6,5 km zračne razdalje od težišča porečja Potočnice. V preglednici 2 so prikazane povratne dobe ekstremnih padavin, ki so bile določene na podlagi dolgoletnega opazovanja. S podatki o intenzivnih padavinah s trajanjem 5 minut pa vse do 24 ur so bile povratne dobe izračunane po Gumbelovi metodi. Kot vhodni podatki so bili uporabljeni večletni nizi meritev padavin z ombrografi [19].

Preglednica 2: Višina padavin različnega trajanja in različnih povratnih dob za meteorološko postajo Gornji Lenart v obdobju 1970–1992 [19]

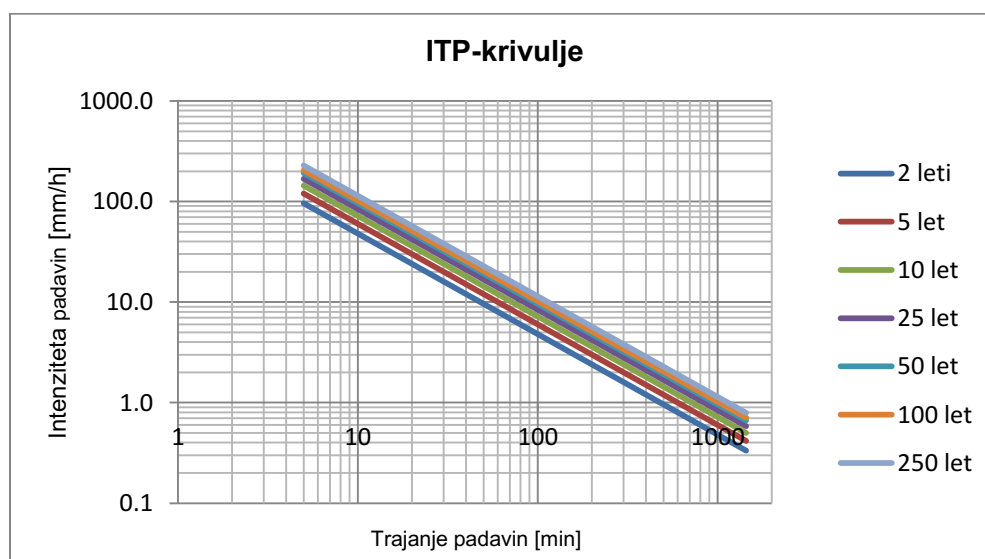
Table 2: Precipitation of different duration and different return period for meteorological station Gornji Lenart in period 1970–1992 [19]

Postaja: GORNJI LENART
Obdobje: 1970 - 1992

Višina padavin (mm)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA							
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let
5 min	4	8	10	12	14	16	17	19 mm
10 min	7	12	16	19	23	25	28	32 mm
15 min	7	14	20	24	30	33	37	42 mm
20 min	7	16	23	28	34	38	42	48 mm
30 min	8	19	29	36	44	51	57	65 mm
45 min	9	21	34	43	54	62	70	81 mm
60 min	10	23	37	46	57	66	74	86 mm
90 min	16	27	43	54	67	77	87	100 mm
120 min	18	30	48	60	75	86	97	111 mm
180 min	21	33	51	63	78	89	100	114 mm
240 min	22	37	55	66	81	93	104	118 mm
300 min	22	39	59	72	88	101	113	129 mm
360 min	22	42	61	74	91	103	115	131 mm
540 min	29	47	67	81	98	110	123	139 mm
720 min	32	51	71	84	101	114	126	143 mm
900 min	32	53	73	87	103	116	128	144 mm
1080 min	37	55	74	87	103	116	128	144 mm
1440 min	41	58	76	88	103	116	128	144 mm

Za izdelavo sintetičnega histograma padavin in določanje visokovodnih valov z določeno povratno dobo se uporabljajo ITP-krivulje (intenziteta-trajanje-pogostost), ki grafično ponazarjajo intenziteto padavin glede na podan časovni interval, pri čemer horizontalna os predstavlja trajanje, vertikalna os pa intenziteto padavin [18], [23]. Grafikon 1 predstavlja ITP-krivulje za meteorološko postajo Gornji Lenart v obdobju 1970-1992.



Grafikon 1: ITP-krivulje v dvojnem logaritemskem merilu za meteorološko postajo Gornji Lenart

Graph 1: IDF-curves in double logarithmic scale for meteorological station Gornji Lenart

Padavinske izgube

V preglednici 3 so podani deleži površin prispevnega območja Potočnice glede na dejansko rabo prostora ter rezultat izračuna koeficienta CN in začetnih izgub, kjer smo uporabili enačbo 2, 3 in 4. Prav tako smo postopek ponovili še za prispevno območje Drnika, rezultati zanj so podani v preglednici 4.

Table 3: Calculation of coefficient CN with the proportion of area for the entire watershed of Potočnica considering the actual land use

Vrsta dejanske rabe	Klasifikacija	Površina [%]	CN	CN _{skupen}	S[mm]	I _a [mm]
Njiva	Kmetijske površine	17.7	76	67	122.58	24.52
Rastlinjak						
Vinograd						
Intenzivni sadovnjak						
Ekstenzivni oz. travniški sadovnjak						
Neobdelano kmetijsko zemljišče						
Trajni travnik	Travnik	27.1	58			
Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	Gozd	49.4	66			
Drevesa in grmičevje						
Gozd						
Pozidano in sorodno zemljišče	Neprepustne površine	5.8	98			
Voda						

Table 4: Calculation of coefficient CN with the proportion of area for the entire watershed of Drnik considering the actual land use

Vrsta dejanske rabe	Klasifikacija	Površina [%]	CN	CN _{skupen}	S[mm]	I _a [mm]
Njiva	Kmetijske površine	20.9	76	70	108.86	21.77
Vinograd						
Intenzivni sadovnjak						
Ekstenzivni oz. travniški sadovnjak						
Neobdelano kmetijsko zemljišče						
Trajni travnik	Travnik	17.9	58			
Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	Gozd	50.4	66			
Drevesa in grmičevje						
Gozd						
Pozidano in sorodno zemljišče	Neprepustne površine	10.8	98			
Voda						

S pomočjo pedološke karte iz portala Geopedie smo ugotovili, da na prispevnem območju Potočnice in Drnika prevladujejo evtrična rjava tla na mehkih karbonatnih kamninah. Za takšne vrste tal je določen odtočni potencial B [21]. To pomeni, da gre za povprečen do nizek odtočni potencial po SCS-klasifikaciji zemljin. Rabo tal smo določili s pomočjo portala MKGP (sloj Raba tal 2017) in orodja ArcGis.

SCS-hidrogram enote

Za izračun vrednosti časa zakasnitve t_p smo uporabili enačbo 5. V preglednici 5 je podan rezultat časa zakasnitve za Potočnico in v preglednici 6 čas zakasnitve za Drnik.

Preglednica 5: Časa zakasnitve za Potočnico

Table 5: Lag time value for Potočnica

L [km]	6,1
CN	67
Sr [mm]	122,577
Y [%]	26,11
t_p [min]	59

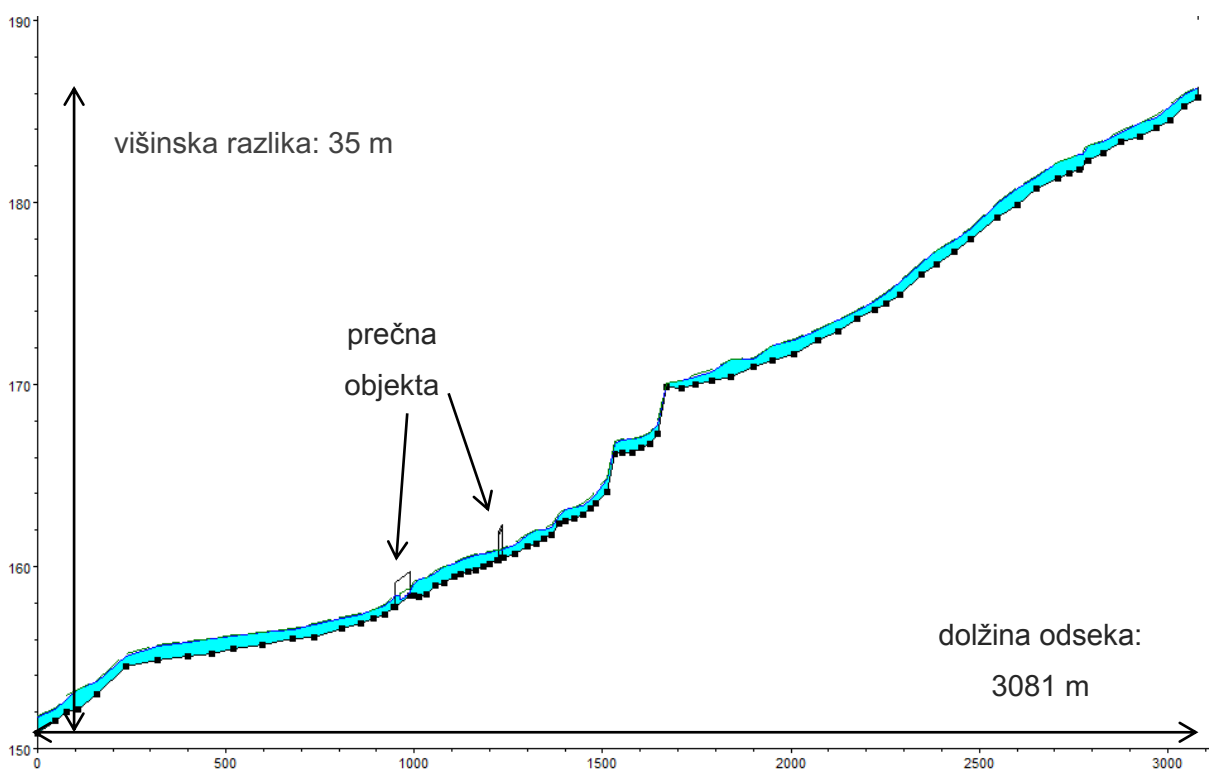
Preglednica 6: Izračun časa zakasnitve za Drnik

Table 6: Calculation of lag time for Drnik

L [km]	3,7
CN	70
Sr[mm]	108,857
Y[%]	33,5
t_p [min]	32

5 IZDELAVA HIDRAVLIČNEGA MODELA

V hidravličnem modelu HEC-RAS smo modelirali del struge Potočnice v dolžini 3081 m s povprečnim naklonom dna nivelete 1,4 % (slika 24). Uporabili smo 63 profilov z medsebojno razdaljo od 15 m do največ 70 m. Krajše razdalje smo imeli na odsekih večjega meandriranja vodotoka oz. na mestih, kjer se zgodijo večje spremembe v prečnih prerezih (površina prereza, naklon dna ipd.). Zaradi težav s samo stabilnostjo modeliranja pa smo morali dodati tudi interpolirane profile, katerih največja razdalja ni presegla 10 m. V model smo vstavili tudi dve prečni konstrukciji, in sicer most Krško–Brežice in železniški prepust. To sta objekta, ki povzročata večje motnje gibanju vodnega toka in pri tem obravnavamo vpliv teh objektov na gladinska stanja. Pomembno je, da so prečni profili znani tik pred in za objektom, da program ustrezneje izračuna energijske izgube in s tem potek gladin vzdolž odsekov teh objektov.

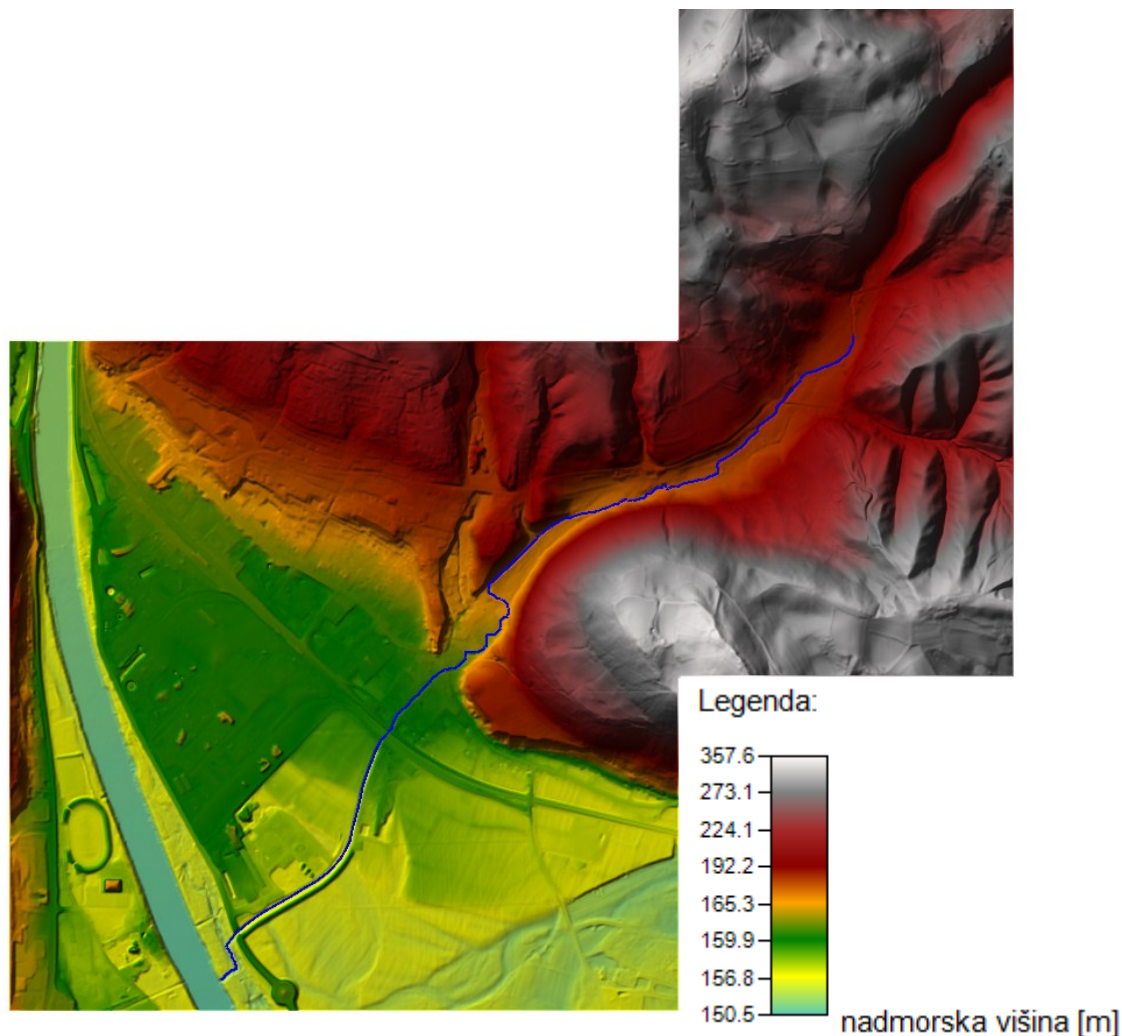


Slika 24: Hidravlični model odseka potoka Potočnice

Figure 24: Hydraulic model with section of Potočnica stream

5.1 Geometrija prečnih prerezov in DMT

Osnova našega kombiniranega 1D/2D-modela je bila geometrija prečnih profilov in izdelan DMT. Pri tem smo uporabili podatke LIDAR in GIS-orodja za njihovo obdelavo. Slika 25 prikazuje DMT obravnavanega območja s prikazanim hidravličnim odsekom Potočnice.



Slika 25: DMT z odsekom struge v programu HEC-RAS

Figure 25: DTM with the section of stream in HEC-RAS program

5.2 Manningov koeficient hrapavosti

Glavna nasprotujoča sila toka vode je sila, ki se pojavlja zaradi hrapavosti ostenja rečnega korita in poplavnih površin. Za dobro oceno vrednosti Manningovega koeficienta, potrebnega v izračunih, je treba dobro poznati dejavnike, od katerih je hrapavost odvisna. Ker nismo razpolagali z meritvami na terenu, smo vrednost koeficienta dobili z empirično metodo.

V hidravličnem modelu smo za strugo vodotoka določili tri različne vrednosti Manningovega koeficienta. Izračunali smo jih po naslednji enačbi [30]:

$$n_G = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m \quad (7)$$

Kjer je:

n_g Manningov koeficient hrapavosti,

- n_b osnovna vrednost Manningovega koeficienta za ravne struge vodotokov, ki potekajo v naravnih materialih,
- n_1 korekcijski faktor, s katerim opredelimo vpliv površinskih nepravilnosti v strugi vodotoka,
- n_2 korekcijski faktor, s katerim opredelimo vpliv spremembe oblike in velikosti prečnega profila struge vodotoka,
- n_3 korekcijski faktor, s katerim opredelimo vpliv ovir toku vode v strugi vodotoka,
- n_4 korekcijski faktor, s katerim opredelimo vpliv zarasti v strugi vodotoka,
- m korekcijski faktor za opredelitev vpliva meandriranja struge vodotoka.

- a) Odseki vodotoka s prečnimi prerezi, ki imajo večjo zaraščenost struge, predvsem v zgornjem delu vodotoka:



Slika 26: Odsek struge z ocenjeno vrednostjo Manningovega koeficienta 0,067

Figure 26: The section of stream with defined Manning's n value 0,067

Preglednica 7: Izračun vrednosti Manningovega koeficienta z visoko zaraščenostjo struge

Table 7: Calculation of Manning's n value with high vegetation

n_b	0,03	Stabilna struga v gramozu in vmesnimi večjimi kamni
n_1	0,006	Opazne površinske nepravilnosti v strugi
n_2	0,003	Običajno postopne in občasne večje spremembe v geometriji struge
n_3	0,003	Majhne ovire toku vode
n_4	0,025	Velika obraslost struge
m	1	Majhna stopnja meandriranja
n_g	0,067	Manningov koeficient za glavno strugo

- b) Odseki vodotoka s prečnimi prerezi s pretežno travnatimi brežinami, nekaj vmesnimi drevesnicami in kamni:



Slika 27: Odsek struge z ocenjeno vrednostjo Manningovega koeficienta 0,046

Figure 27: The section of stream with defined Mannins's n value 0,046

Preglednica 8: Izračun vrednosti Manningovega koeficienta s srednjo zaraščenostjo struge

Table 8: Calculation of Manning's n value with medium vegetation

n_b	0,03	Stabilna struga v gramozu in vmesnimi večjimi kamni
n_1	0,002	Manjše površinske nepravilnosti v strugi
n_2	0,002	Postopne spremembe v geometriji struge
n_3	0,002	Majhne ovire toku vode
n_4	0,004	Manjša obraslost struge
m	1,15	Opazna-srednja stopnja meandriranja
n_g	0,046	Manningov koeficient za glavno strugo

- c) Reguliran odsek od železniškega prepusta do mostu pred izlivom:



Slika 28: Odsek struge z ocenjeno vrednostjo Manningovega koeficienta 0,034

Figure 28: The section of stream with Manning's n value 0,034

Preglednica 9: Izračun vrednosti Manningovega koeficienta z nizko zaraščenostjo struge

Table 9: Calculation of Manning's n value with small vegetation

n_b	0,028	Stabilna struga v gramozu
n_1	0,001	Zelo male površinske nepravilnosti v strugi
n_2	0,001	Majhne spremembe v geometriji struge
n_3	0,001	Majhne ovire toku vode
n_4	0,003	Manjša obraslost struge
m	1	Majhna stopnja meandriranja
n_g	0,034	Manningov koeficient za glavno strugo

Poleg vrednosti koeficienta hrapavosti za strugo je treba določiti tudi vrednosti na poplavnih območjih (preglednica 10). Te smo določili s pomočjo priročnika HEC-RAS. Omeniti velja, da smo na lokacijah objektov (stanovanjski in gospodarski objekti) uporabili Manningov koeficient z vrednostjo 0,1.

Preglednica 10: Manningovi koeficienti hrapavosti na poplavnih ravnicah [28]

Table 10: Manning's n values on flood planes [28]

Vrsta dejanske rabe	Klasifikacija	Manningovi koeficienti (priročnik HEC-RAS)
Njiva	Obdelovalne površine	0.05 (zreli, po vsej površini gojeni pridelki)
Rastlinjak		
Vinograd		
Intenzivni sadovnjak		
Ekstenzivni oz. travniški sadovnjak		
Trajni travnik	Travnik	0.05 (visoka trava)
Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	Gozd	0.16 (gostejši gozdovi z malo podrtimi drevesi)
Neobdelano kmetijsko zemljišče		
Drevesa in grmičevje		
Gozd		
Pozidano in sorodno zemljišče	Pozidano in sorodno zemljišče	0.025 [32]

5.3 Robni pogoji

Pred začetkom izračuna smo morali še določiti robne pogoje. Ti se razlikujejo glede na režim in vrsto toka.

Stalni tok

Simulacijo stalnega toka smo uporabili za ugotovitev pretočnosti obstoječe struge in kasneje za pretočnost struge po predvideni ureditvi. Na začetku program predpostavi miren režim in s pomočjo Froudovega števila preverja pravilnost predpostavke. Pri mirnem režimu je treba določiti dolvodni robni pogoj, saj račun gladine vode poteka v protitočni smeri, v primeru deročega toka pa račun poteka v smeri toka, kjer je potreben gorvodni robni pogoj [27]. V programu smo za dolvodni robni pogoj izbrali normalno globino (angl. *normal depth*). Vstavili smo potreben podatek o padcu energijske črte, kar je približno enako vrednosti naklona dna

struge, ki znaša 1,4 %. Simulacijo stalnega toka smo začeli z vstopnim pretokom $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri tem opazovali vodne gladine. Pretok smo zmanjševali, vse dokler na obravnavanem območju voda ni več segala iz struge. Pri tem pa nismo upoštevali najbolj kritičnega odseka z zelo nizko pretočnostjo rečnega korita, kjer voda v manjšem obsegu poplavlja obvodne travnate površine.

Podatek o pretočnosti struge smo potrebovali za računski iztok oz. za dimenzioniranje iztočnega objekta (odprtine prepusta) iz predvidenega suhega zadrževalnika. Pretočnost struge predstavlja največji dovoljeni iztok, ki ga lahko prepušča iztočni objekt suhega zadrževalnika, da se ob tem zagotavlja protipoplavna varnost dolvodnih območij.

Nestalni tok

Z nestalnim tokom smo analizirali vpliv poplavljanja stoletne vode Potočnice s pritokom stoletne vode Drnika. Določili smo robne pogoje tako na gorvodnem, kot tudi na dolvodnem koncu. Za zgornji robni pogoj smo uporabili hidrogram pretoka za stoletno vodo, ki smo ga pridobili s hidrološko analizo v programu HEC-HMS. Za spodnji robni pogoj pa smo zopet uporabili normalno globino. Potreben je bil tudi dodatni notranji robni pogoj, in sicer hidrogram stranskega pritoka za dotok Drnika. Slednji zaradi slabe geometrije prečnih prereзов ni bil hidravlično analiziran in je bil upoštevan kot točkovni stranski dotok v strugo Potočnice.

6 PREDSTAVITEV REZULTATOV

6.1 Rezultati hidrološkega modela

Cilj izračuna hidrološkega modela je hidrogram odtoka s prispevnega območja Potočnice in hidogram odtoka s prispevnega območja Drnika. Diagram nam pove časovne spremembe pretoka v vodotoku. Po pojavu večjih padavin začne pretok naraščati, hitro doseže maksimum in nato postopoma upada, kar je skladno s predpostavljenim hudourniškim odzivom prispevnega območja.

Kritični oziroma maksimalni pretok, na katerega bomo dimenzionirali suhi zadrževalnik, je 100-letni pretok z dvournim nalivom pri Potočnici. Kot je bilo že omenjeno, smo se za 100-letni pretok odločili tudi na podlagi nemškega standarda, za čas trajanja padavin pa glede na čas koncentracije posameznega prispevnega območja.

6.1.1 Potočnica

Preglednica 11 prikazuje čase koncentracije izračunane po različnih metodah. Opazimo, da so časi različni, nekateri pod eno uro in nekateri nad eno uro. Z znanimi podatki o času koncentracije smo se odločili za dvourni naliv, s katerim smo na varni strani. V prilogi A so podani rezultati izračunov časov koncentracij za Potočnico po različnih metodah.

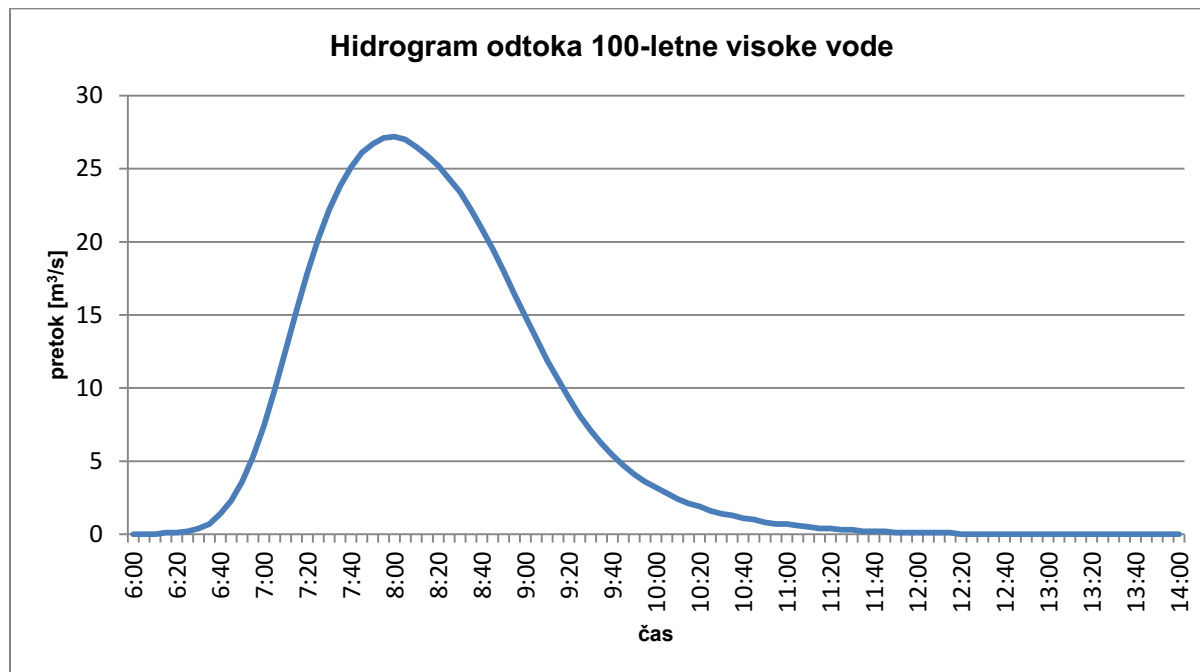
Preglednica 11: Časi koncentracij za Potočnico pridobljeni z izračuni različnih metod

Table 11: Time of concentrations for Potočnica obtained by different methods

Kerby+ SCS TR 55+ Ramser	73 min
Kirpich+SCS TR 55+Ramser	64,2 min
Carter	53,6 min
USBR	67,7 min
Bransby-Williams	49,7 min

Na grafikonu 2 je prikazan hidrogram površinskega odtoka za prispevno območje Potočnice v iztočnem profilu, ki se nahaja pri mostu, preko katerega poteka regionalna cesta Krško–Brežice. Za padavine z dvournim trajanjem in 100-letno povratno dobo dobimo konico pretoka, ki znaša $27,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Volumen celotnega odtoka je 194.700 m^3 . Pri nastopu visokovodne konice ima velik vpliv tudi razporeditev padavin, pri kateri smo s pomočjo brezdimenzijskih Huffovih krivulj predpostavili, da je intenziteta padavin največja v prvi

polovici padavinskega dogodka, in da je maksimalna intenziteta pri 25 % trajanja padavinskega dogodka. Hidrogram odtoka je vhodni podatek v program HEC-RAS, s pomočjo katerega je narejen hidravlični model Potočnice.



Grafikon 2: Hidrogram odtoka Potočnice pri 100-letni visoki vodi z dvournim trajanjem padavin

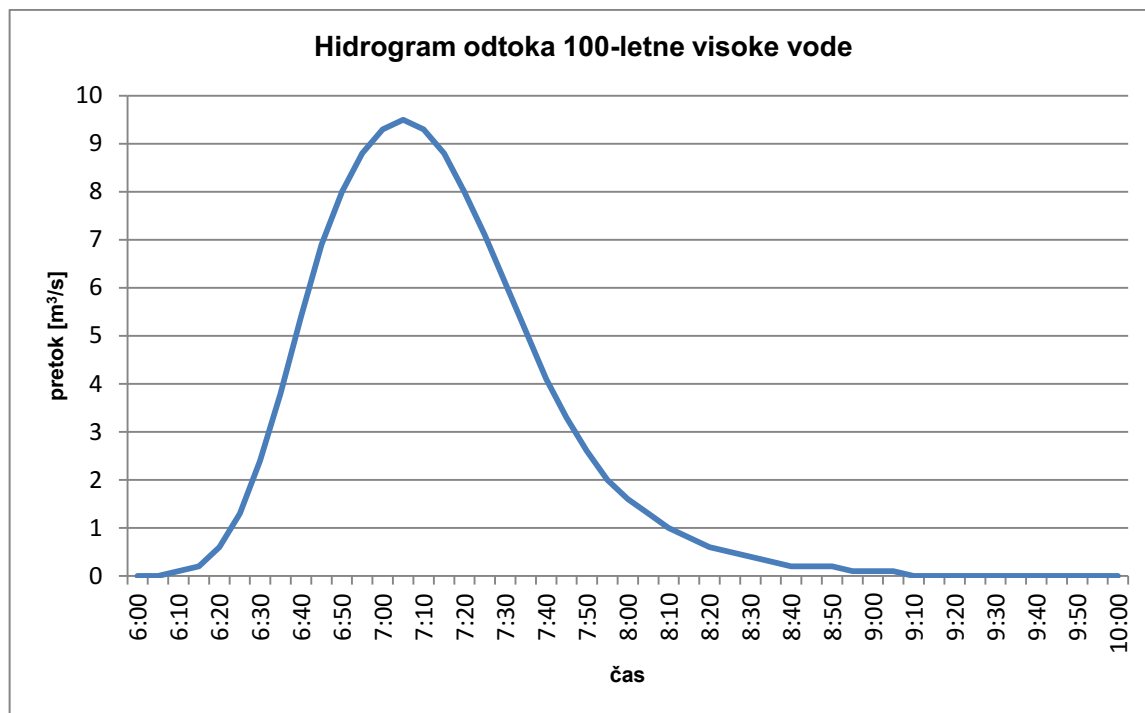
Graph 2: Runoff hydrograph of high water with return period of 100-years and 2 hours of precipitation duration

6.1.2 Drnik

V prilogi B so podani rezultati za izračun časa koncentracije za Drnika. Izračunali smo ga kot vsoto časov potovanja po površini povodja (Kerby), v plitvem koncentriranem toku (SCS TR-55) in po strugi (Ramser):

$$t_c = t_c (\text{Kerby}) + t_c (\text{SCS TR-55}) + t_c (\text{Ramser}) = 45.1 \text{ min}$$

Na grafikonu 3 je prikazan hidrogram površinskega odtoka za prispevno območje pritoka Drnika s površino 1,6 km². Za padavine z enournim trajanjem in 100-letno povratno dobo dobimo maksimalni pretok, ki znaša 9,5 m³/s. Volumen celotnega odtoka je 36.000 m³. Razporeditev padavin smo predpostavili na enak način kot pri Potočnici, torej maksimalna intenziteta je pri 25 % trajanja padavinskega dogodka. Hidrogram odtoka je v hidravličnem modelu vstavljen kot stranski dotok v glavno strugo, saj zaradi pomanjkljivih podatkov o geometriji struge potoka Drnik (le-ta je bila iz razpoložljivih topografskih podatkov zaradi majhnih dimenzij slabo razvidna) nismo mogli izdelati podrobnejšega hidravličnega modela.



Grafikon 3: Hidrogram odtoka Drnika pri 100-letni visoki vodi z enournim trajanjem padavin

Graph 3: Runoff hydrograph of high water with return period of 100 years and 1 hour of precipitation duration for Drnik

Primerjava podatka o pretoku 100-letne vode s študijo IzVRS

Rezultate maksimalnih pretokov, ki smo jih pridobili numerično, lahko primerjamo s podatki, povzetimi iz elaborata IzVRS, kjer so uporabili hidrološke podatke iz študije *Hidrološka študija pritokov Save-na odseku od vtoka Savinje do državne meje*, narejene v oktobru 2004 [25]. V preglednici 12 opazimo, da so naše vrednosti konic visokih vod Potočnice in Drnika višje od konic podanih v hidrološki študiji IzVRS. V hidravličnem modelu smo uporabili višje vrednosti pretokov, ki smo jih pridobili s pomočjo empiričnih enačb in programa HEC-HMS, kar pomeni še dodatno varnost pri dimenzioniranju zadrževalnika.

Preglednica 12: Primerjava pretokov 100-letne visoke vode

Table 12: Flow comparison for 100-year flood

	Naši pridobljeni podatki	Podatki povzeti iz študije IzVRS
Q_{100} (Potočnica)	27,2 m³/s (pred pritokom Drnika)	14 m³/s(pred pritokom Drnika) 20 m³/s (za pritokom Drnika)
Q_{100} (Drnik)	8 m³/s	9,5 m³/s

6.2 Rezultati hidravličnega modela

V tem poglavju je predstavljeno stanje ob poplavljanju visoke vode s povratno dobo 100 let in načrtovano stanje s potrebnimi protipoplavnimi ukrepi, ki preprečujejo poplavljanje naselja Stara vas pri Krškem. Izhodišče modeliranja je hidrogram odtoka 100-letne visoke vode za Potočnico ter pritok Drnik, ki smo ju dobili s pomočjo hidrološke analize v programu HEC-HMS. Obseg poplavljanja smo s pomočjo 2D-območij podrobneje analizirali le v delu naselja, ki smo ga želeli zaščititi pred 100-letno visoko vodo.

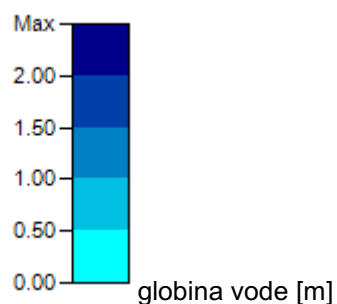
6.2.1 Obstoječe stanje

Slika 29 predstavlja obstoječe stanje ob 100-letni visoki poplavni vodi. 2D-območji, skupne velikosti okoli 23 hektarjev, sta locirani tik ob strugi vodotoka na obeh straneh bregov v pozidanem delu naselju Stara vas pri Krškem. Začetek območja je pri prvem slapu oz. pri prvih stanovanjskih hišah in sega vse do spodnjega nasipa železniške proge. Rdeči kvadrati prikazujejo stanovanjske in gospodarske objekte.

Na sliki 29 je prikazana maksimalna globina vode na obravnavanem območju ob poplavljanju 100-letne visoke vode. Prevladujejo območja z globino do 0,5 m, na depresijskih območjih pa te narastejo do največ 2 m. Glavni vzrok poplavljanja površin je premajhna pretočna sposobnost obstoječe struge Potočnice skozi naselje. Ocenili smo jo na vrednost $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$, pri tem pa nismo upoštevali najbolj kritičnega odseka struge v zgornjem delu desnega 2D-območja (rumena črta), kjer voda pri tem pretoku sega izven struge, vendar pride do manjšega prelitja na travnate površine. V spodnjem delu obravnavanega območja stanje še dodatno poslabša pritok Drnika, ki se priključi Potočnici za mostno konstrukcijo, preko katere poteka regionalna cesta.



Legenda:



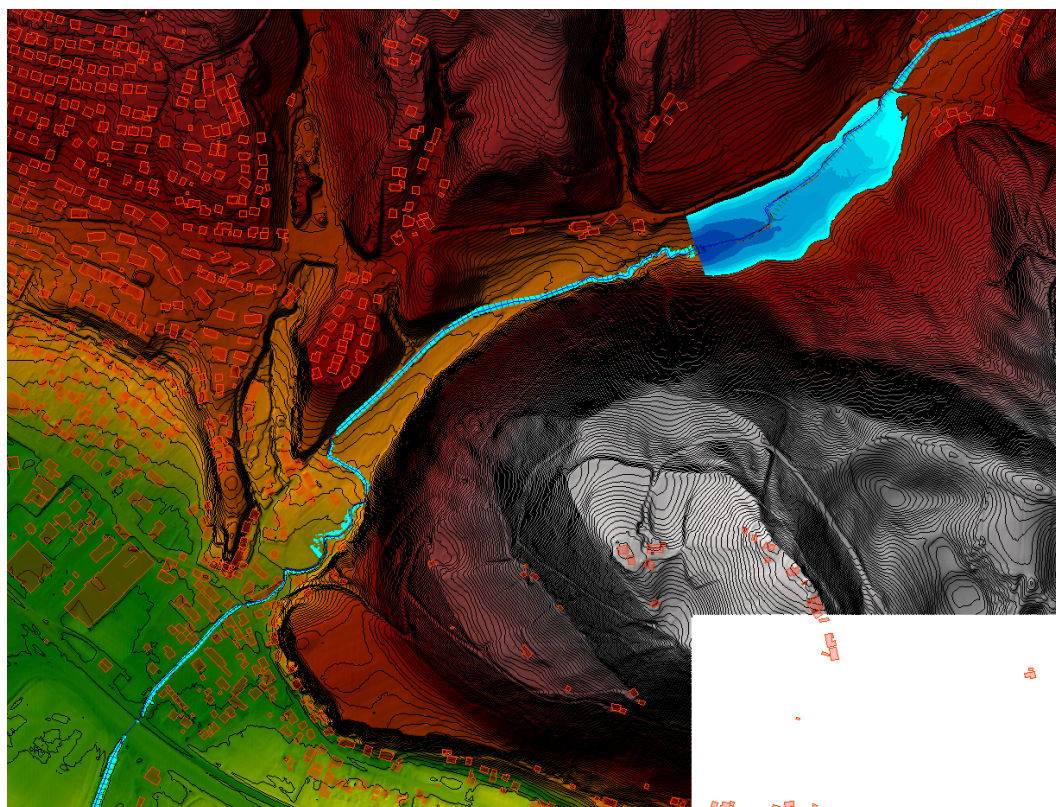
Slika 29: Obstoječe stanje pri Q_{100}

Figure 29: Existing situation for Q_{100}

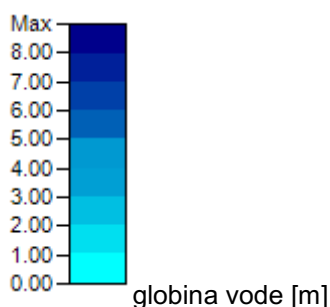
6.2.2 Načrtovano stanje

Slika 30 predstavlja stanje ob naslednjih predvidenih protipoplavnih ukrepih:

- povečanje pretočne zmogljivosti struge skozi naselje, kjer za to obstajajo prostorske možnosti;
- nadvišanje desnega bregu Mlinščice;
- umestitev suhega zadrževalnika;
- obrežni zid.



Legenda:



Slika 30: Načrtovano stanje s protipoplavnimi ukrepi

Figure 30: Planned situation with flood prevention measures

Situacija vseh predvidenih protipoplavnih ukrepov, ki so v naslednjih podpoglavjih tudi opisani, je razvidna iz priloge C.

6.2.2.1 Povečanje pretočne zmogljivosti struge skozi naselje in nadvišanje desnega bregu Mlinščice

Sprva smo za rešitev poplavljanja predvideli samo možnost umestitve suhega zadrževalnika, katerega predlagana lokacija je razvidna iz slike 30, vendar samo ta protipoplaven ukrep, zaradi premajhne razpoložljive kapacitete zadrževalnega prostora, ni bil zadosten. Iz tega razloga smo s pomočjo pridobljenih podatkov o ureditvi struge oziroma povečanju pretočne

zmogljivosti struge skozi naselje povzeli rešitve iz študije IzVRS, v kateri je predvidena ureditev Potočnice zagotavlja zaščito naselja pred 20-letno visoko vodo.

S predlaganimi rešitvami v omenjeni študiji, smo pretočno zmogljivost struge z obstoječih 1.8 m³/s povečali na 7 m³/s. Dodatno smo podaljšali odsek ureditve, ki je bilo predvideno samo do nekdanjega mlina, in sicer smo povečali pretočno zmogljivost struge do slapa na stacionaži 1632 na začetku 2D-območja. Skupna dolžina ureditve struge znaša 630 m (priloga C). Na odseku ureditve so predlagani naslednji pretočni profili [25]:

- od železniškega prepusta gorvodno do profila 1272 imajo profili na dnu širino 2 m, naklona brežin do višine okoli 1 m 3 : 1, višje po brežini pa naklon 1 : 1,5;
- od profila 1272 do profila 1519 imajo profili na dnu širino 2 m in naklona brežin 1 : 1,5;
- od profila 1539 do profila 1632 je struga razširjena za največ 1,5 m na dnu z naklonom brežin 1 : 1,5.

Na celotnem odseku struge je predvidena le poglobitev nivelete potoka od 20 cm do 100 cm (razen na odseku med profiloma 1539 in 1632, kjer smo imeli prostor za razširitev struge), saj možnosti širitve obstoječe struge omejujejo obstoječi stanovanjski objekti in cesta v naselju. Projektirani padec dna znaša 8 ‰. V območju železniškega prepusta se niveleta poglobi za 0,5 m, pod mostno konstrukcijo regionalne ceste pa za približno 1 m [25].

Poleg povečanja pretočnega profila je predvideno tudi nadvišanje desnega bregu odseka Mlinščice od profila 1539 do profila 1632, in sicer s povprečno višino 1 m (z upoštevanjem 0,5 m varnostnega nadvišanja), tako da 100-letna voda več ne sega iz območja struge.

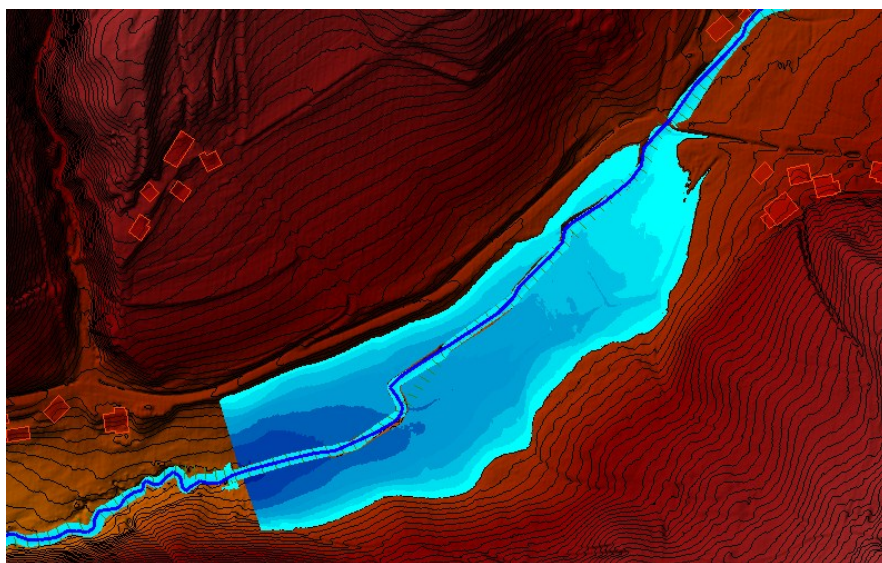
V uredbi o državnem prostorskem načrtu za območje hidroelektrarne Brežice za zaščito Stare vasi pred 20-letno vodo predpisujejo ureditev Potočnice od železnice gorvodno v dolžini 550 m, in sicer z naslednjimi ukrepi [5]:

- poveča se pretočni profil in poglobi dno;
- za utrditev dna in razgibavanje toka se med nizke pragove vgradijo betonsko-kamniti talni pragovi, za premagovanje višinske razlike pa se zgradijo kamnite drče;
- premostitve in prepusti se ohranijo in preuredijo;
- brežine se zavaruje z vipo, kamnom v betonu, kamnometom in kamnito zložbo v betonu, pri čemer se izvede globoke fuge in zagotovi razgibanost dna;
- desni breg ob Mlinščici se poveča, gorvodno od tod pa se poplavne površine ohranijo;
- izlivni odsek Drnika (dolžine 208 m) v okviru cestišča se uredi z zgraditvijo večjega škatlastega profila, gorvodno pa se izvede sanitarni poseg;

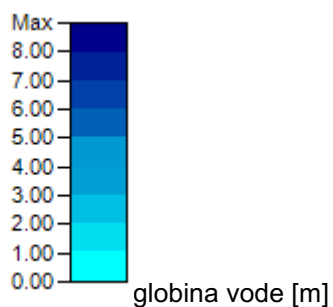
- pri ureditvi se obstoječa zarast čim bolj ohranja, odstranjeni del pa se nadomesti z drevnino avtohtonih vrst, v primeru večjega posega v strugo pa se nato zasadijo drevesa in grmovnice avtohtonih hidrofilnih vrst z naravno razmestitvijo na zgornjem delu brežin in prav tako se spodbudi razvoj naravne zarasti.

6.2.2.2 Umestitev suhega zadrževalnika

Predvidena lokacija suhega zadrževalnika je oddaljena približno 660 m gorvodno od našega 2D-območja oziroma naselja Stara vas (priloga C). Za to lokacijo smo se odločili glede na topografijo terena, oddaljenost samih objektov, in kar je najpomembneje, razpoložljivi volumen akumulacijskega prostora glede na rabo prostora, kjer se nahajajo pretežno travnate površine. Pregradni objekt oziroma zemeljski nasip je lociran v ožjem delu doline z maksimalno višino 8,5 m (slika 31). Prostor za jezo pa omogoča zadržanje vode, ki je obdan z naravno bariero na levi strani in obstoječim cestnim nasipom na desni in gornji strani akumulacije (slika 32).

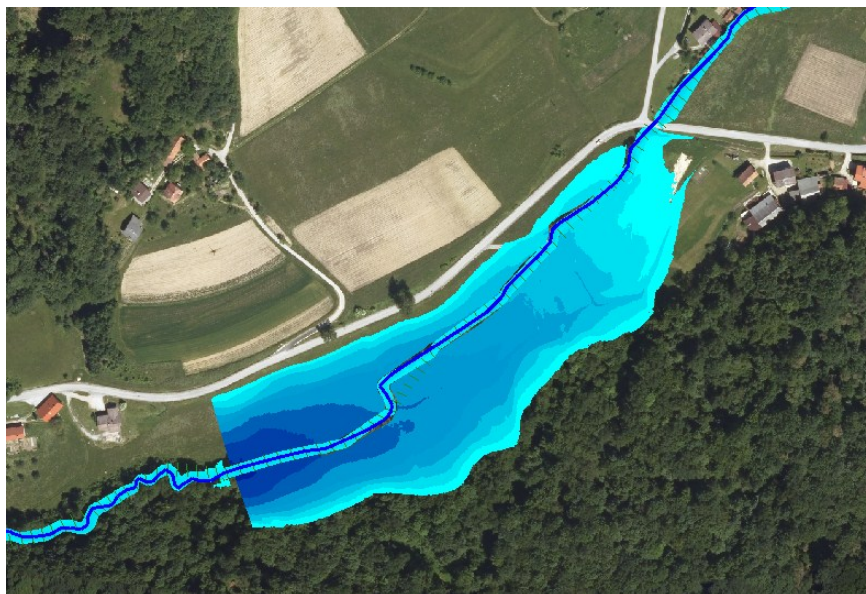


Legenda:

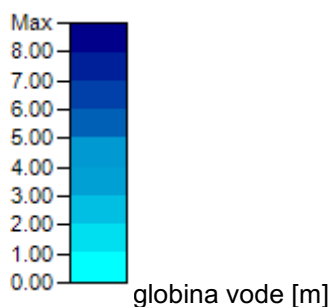


Slika 31: Prikaz lokacije suhega zadrževalnika na DMR

Figure 31: Location of dry reservoir on DEM



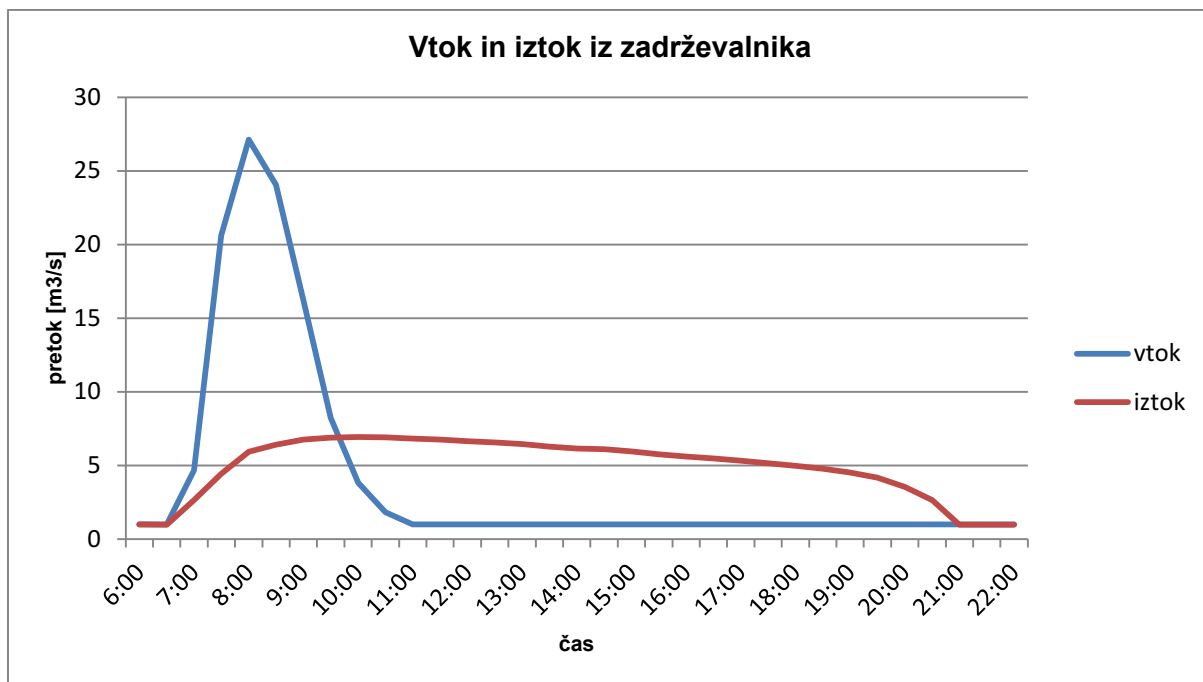
Legenda:



Slika 32: Prikaz lokacije suhega zadrževalnika na DOF

Figure 32: Location of dry reservoir on DOF

Grafikon 4 prikazuje časovni potek vtoka in iztoka iz suhega zadrževalnika. Pogoji, ki smo ga pri tem upoštevali, je bil, da iz zadrževalnika preko izpustnega objekta (škatlast prepust, zasnova je opisana v nadaljevanju) ne sme iztekati več kot dovoljeni pretok $7 \text{ m}^3/\text{s}$, ki predstavlja dolvodno pretočnost struge, pridobljeno s pomočjo predhodno ureditve struge. Suhi zadrževalnik zadrži presežek vode (volumen vode, ki povzroča dolvodno razlivanje naselja) in ga počasneje spušča skozi talni izpust z maksimalnim iztokom $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Konico poplavnega vala smo uspeli znižati iz $27,1 \text{ m}^3/\text{s}$ na $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$, z zamikom sploščatene konice iztočnega hidrograma za ca. 2 ur. Voda se v akumulacijskem prostoru zadrži 13 ur. Z maksimalno konico $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$ preoblikovanega poplavnega vala smo uspešno dosegli cilj naloge, tj. zaščititi naselje Stara vas pred poplavljanjem 100-letne visoke vode. Več o načrtovanju suhega zadrževalnika sledi v poglavju 6.2.3.



Grafikon 4: Vtok in iztok iz suhega zadrževalnika

Graph 4: Inflow and outflow from dry reservoir

6.2.2.3 Obrežni zid

Kljub predhodni ureditvi vodotoka in umestitvi suhega zadrževalnika je v odseku struge med železniškim prepustom in regionalno cesto še vedno prišlo do manjšega prelitja vode, ki je doseglo tudi stanovanjske objekte. Rešitev se nahaja v podrobnejši analizi pritoka Drnika, ki pa v tej nalogi zaradi manjkajočih podatkov o geometriji struge Drnika ni bila opravljena. Na pritoku Drnik se v srednjem delu nahaja ribnik, v katerega se izliva vsa voda iz gornjega dela. Voda izstopa preko talnega prepusta in nadaljuje pot po obstoječi strugi, vse do vtoka v cevni prepust. Po 200 m zaprtega profila se pri mostni konstrukciji pridruži Potočnici. Z možnostjo večjega zadržanja vode v ribniku bi lahko vplivali na poplavni val in s tem manjšo količino iztekajoče vode, s čimer bi preprečili razlivanje vode. Ker te možnosti nimamo, smo na problematičnem odseku vodotoka predvideli obrežni zid dolžine okoli 200 m na obeh straneh potoka. Na desni strani bi ta znašal povprečne višine 45 cm, na levi pa povprečne višine 40 cm (priloga C).

6.2.3 Dimenzioniranje suhega zadrževalnika

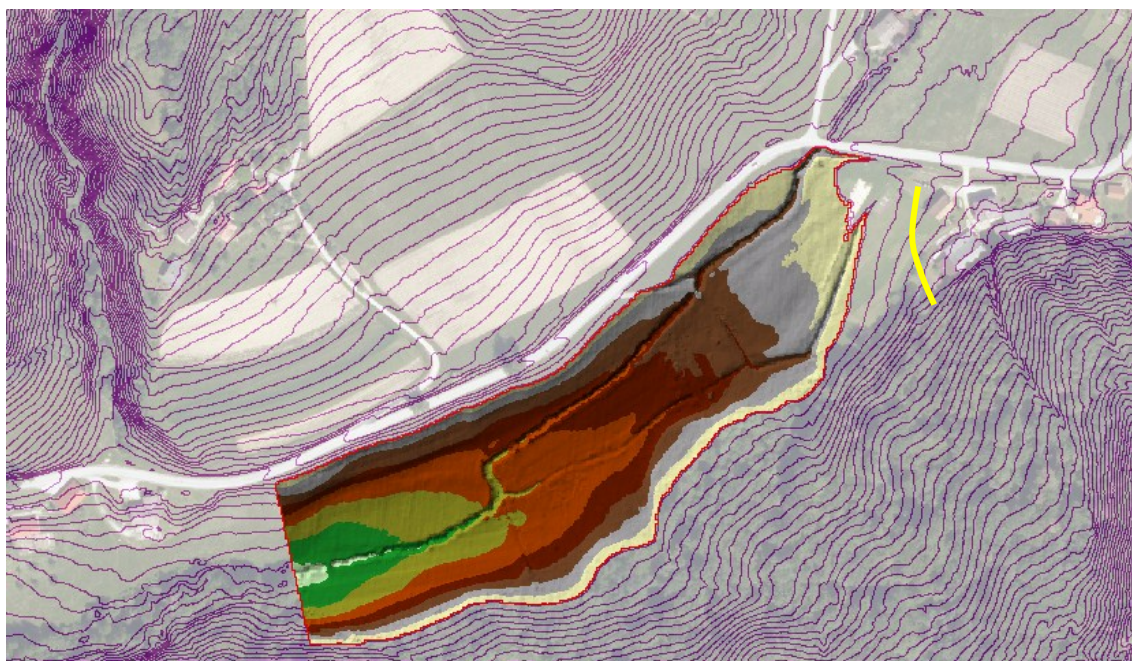
V raziskavi se z dimenzioniranjem prečnega prereza pregradnega objekta suhega zadrževalnika nismo podrobneje ukvarjali, definirali smo samo potrebno višino objekta, da zagotovimo predviden zadrževalni volumen. Bolj smo bili osredotočeni na dejavnike pri sami umestitvi zadrževalnika v prostor (topografija terena, razpoložljiv prostor zadrževanja, izbira

projektne poplave, izbira prepustnih naprav ipd.). **Ocene oziroma smernice dimenzioniranja** posameznih elementov zadrževalnika so opisane v naslednjih podpoglavjih.

Akumulacijski prostor

Razpoložljivo prostornino akumulacijskega prostora smo izračunali s pomočjo orodja ArcGIS in digitalnega modela reliefa. Slika 33 prikazuje plastnice z razmikom 1 m ter relief terena v zadrževalniku, v katerem so prikazana območja med plastnicami z višinsko razliko 1 m. Zunanja rdeča črta predstavlja obseg zadržane vode pri maksimalni zaježitvi Q_{100} na koti 183,9 m n.v., kar je 1,3 m pod krono pregrade. Celotni volumen zaježitvenega prostora na tej koti znaša 120.600 m³. Velikost poplavljenе površine pri nastopu Q_{100} znaša približno 4 ha.

Pri maksimalni zaježitvi Q_{100} voda ne poplavlja cestišča in kar je pomembneje, okoliški stanovanjski objekti so pri tem oddaljeni vsaj 40 m z upoštevanim 1 m varnostne višine. Zaradi večje varnosti bi lahko najbolj izpostavljene objekte še dodatno zavarovali z nizkim zemeljskim protipoplavnim nasipom (rumena črta na sliki 33).



Legenda:

183 - 183.9	plastnice
182 - 183	
181 - 182	
180 - 181	
179 - 180	
178 - 179	
177 - 178	
176.017 - 177	
nadmorska višina [m]	zemeljski nasip

Slika 33: Prikaz plastnic na območju suhega zadrževalnika

Figure 33: Display of contours on dry reservoir location

Jezovna zgradba

V nalogi smo predvideli jezovno zgradbo maksimalne višine 8,5 m in dolžine 100 m. V telesu pregrade je predviden škatlast talni prepust in varnostni preliv čez pregradni objekt.

TALNI PREPUST

Talni prepust prepušča največ dolvodno pretočnost struge, ki smo jo ocenili na $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Dimenzije škatlastega prepusta smo določili s pomočjo programa HEC-RAS, s katerim smo ocenili potrebne dimenzije izpusta, in znašajo $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. Nato smo rezultate preverili še z ločenim hidravličnim preračunom objekta, pri katerem smo uporabili hidravlične enačbe za dimenzioniranje prepustov in mostnih odprtin. Preglednica 13 prikazuje uporabljene predpostavke in rezultate našega hidravličnega izračuna. Pri izračunu smo preverili, ali je pretok pogojen z vtočno odprtino, in ugotovili, da ne gre za kritične razmere na vtoku, ampak se zaradi daljše dolžine prepusta te pojavijo vzdolž njega. Ob predpostavki, da je vzdolž prepusta tok pod tlakom, smo izračunali potrebne dimenzije škatlastega prepusta, ki znašajo $1,2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. V primeru predpostavke, da hidravlično prevodnost prepusta kontrolira vtočna odprtina v prepust, je dimenzija odprtine prepusta še nekoliko manjša v primerjavi s predpostavljenim tokom pod tlakom vzdolž prepusta. Dobljeni hidravlični izračuni so v primerjavi z vrednostmi dimenzij v HEC-RAS-u manjši. Ob tem je treba poudariti, da obstaja velika nevarnost zamašitve odprtine zaradi zastajanja plavin in plavja. Zato iz varnostnega vidika predlagamo odprtino večjih dimenzij, npr. $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, pri čemer bi bil pretok skozi prepust nadzorovan s pomočjo hidromehanske opreme.

Preglednica 13: Parametri hidravličnega izračuna

Table 13: Parameters of hydraulic calculation

Q (max iztok iz prepusta) =	6.9	m^3/s
L (dolžina prepusta) =	27	m
ξ_{vt} (izgube na vtoku)=	0.85	[-]
ξ_{izt} (izgube na iztoku)=	0.92	[-]
μ_v (koeficient iztoka)=	0.5	[-]
z_{sp} (spodnja kota vtoka) =	176.2	m
z_{zq} (spodnja kota iztoka)=	176.4	m
I (naklon prepusta)=	0.007	[-]
n (Manningov koef. Hrap.) =	0.020	[-]
H_{sp} (višina spodnje vode) =	0.8	m
$H_{(gor.r.p.)}$ (energijska višina)=	6.8	m
B (širina prepusta) =	1.20	m
H (višina prepusta) =	1.00	m

VARNOSTNI PRELIV

V primeru, da bi prišlo do zamašitve talnega prepusta, predlagamo tudi ureditev varnostnega preliva na kroni pregradnega objekta, ki bi odvajal potrebno količino vode. Ker se izvedbi prelivnega dela na nasutih pregradah praviloma izogiba, zaradi nevarnosti obtekanja utrjenega preliva in erozijskih procesov predlagamo, da se osrednji del nasute pregrade izvede v betonsko armirani konstrukciji. Poleg varnostnega preliva menimo, da bi bilo potrebno vgraditi rešetke za lovljenje in zadrževanja večjega plavja, in sicer na vtočnem delu talnega prepusta in tudi na mostni odprtini dostopne ceste do objektov gorvodno od zadrževalnika, ki predstavlja vtočni del v zadrževalni bazen.

V preglednici 14 so povzeti parametri predvidenega suhega zadrževalnika. Med koto vrha pregrade in koto maksimalne zaježitve pri Q_{100} je upoštevano varnostno nadvišanje 1,3 m.

Preglednica 14: Parametri suhega zadrževalnika

Table 14: Parameters of dry reservoir

Višina pregrade	8,5	m
Dolžina pregrade	100	m
Kota vrha pregrade	185,2	m n. v.
Kota preliva	184,4	m n. v.
Kota maksimalne gladine pri Q_{100}	183,9	m n. v.
Iztok iz talnega prepusta	6,9	m ³ /s
Površina akumulacijskega prostora pri zaježitvi Q_{100}	39.960	m ²
Volumen akumulacijskega prostora pri zaježitvi Q_{100}	120.600	m ³ /s

6.3 Vplivi suhega zadrževalnika na okolje

Predviden suhi zadrževalnik z ocenjeno zmogljivostjo zadrževanja poplavne vode 120.600m³ (kar je doseženo pri 100-letni visoki vodi z varnostnim nadvišanjem) in površini akumulacijskega prostora velikosti približno 4 ha sodi med manj zahtevne objekte, saj je pregradni objekt manjši od 10 m (jez), krona zemeljskega nasipa pa je krajša od 250 m. Manj zahteven objekt je definiran kot objekt, ki ni uvrščen med zahtevne, nezahtevne ali enostavne objekte. Pogoji za gradnjo, ne glede na zahtevnost objekta, je skladnost s prostorskimi akti. Za gradnjo manj zahtevnega objekta je zahtevana pridobitev gradbenega dovoljenja na podlagi izdelane projektne dokumentacije ter izdelava projekta izvedenih del in na njegovi podlagi uporabno dovoljenje. Za vodne zbiralnike s površino manjšo od 15 ha ali prostornino zajetja vode 250.000 m³ ni treba izvesti presoje vplivov na okolje in pridobiti okoljevarstvenega soglasja. Prav tako na predvideni lokaciji zadrževalnika ni treba pridobiti

naravovarstvenega in kulturnovarstvenega soglasja, saj ne posegamo v območja ohranjanja narave ali v varstvo kulturne dediščine. Za vsak zadrževalnik pa je treba pridobiti vodno soglasje, saj gradnja takih vodnih objektov vpliva na vodni režim in stanje voda. V primeru posegnja v varovalni pas GJI ali v varovano območje je pred začetkom izdelovanja PGD treba pridobiti projektne pogoje, za prijetne rešitve pa soglasja pristojnega organa [6].

Pregradni nasip ne bi imel večjih negativnih vplivov na samo zunanjo podobo prostora, saj bi z izgradnjo nasute pregrade, ohranjanjem obstoječe zarasti vodotoka in zasaditve pregradnega nasipa (razen centralnega dela, ki bi bil v betonski izvedbi) ohranili naraven izgled prostora.

Gre za gradnjo suhega zadrževalnika, kar pomeni, da znotraj njega večino časa ne bo vode. Zaradi krajšega zadržanja vode ne bi bilo bistvenih vplivov na vegetacijo, živalstvo in spremembo vodnega režima tal, npr. pri 100-letni visoki vodi se bo ta zadrževala le za približno 13 ur. Na predvideni lokaciji se nahajajo obdelovalna površina, travniki, drevesa in grmičevja, vendar že vrsto let poplavno območje prekrivajo samo travniške površine, ki bi bile namočene le v primeru večjih poplavnih voda. Lastnikom zemljišč bi se v primeru poplavnega dogodka predlagala primerna odškodnina ali pa tudi predhodni odkup zemljišč.

Z izvedbo določenih ukrepov, kot so drenažni jarki, tesnilne zavese, tesnilno jedro ipd., bi preprečili vpliv talne in precejne vode na stabilnost pregradnega objekta. Prednost predvidene lokacije zadrževalnika je tudi ta, da so okoliški objekti dovolj oddaljeni in tako z vidika morebitne porušitve pregrade dovolj zaščiteni. Vsekakor pa bi bila potrebna podrobna analiza porušitve pregrade, ki bi pokazala, kakšno ogroženost ta predstavlja za dolvodno naselje.

7 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo podali predlog protipoplavnega sistema na potoku Potočnica, ki bi naselje Stara vas pri Krškem zaščitil pred poplavljanjem 100-letne visoke vode. Do zdaj je bilo za varnost naselja narejenih že več študij, vendar predlagane ureditve Potočnice omogočajo zaščito naselja le pred 20-letno visoko vodo, pri čemer ocenjujemo, da ob obstoječih razmerah visoke vode s 5-letno povratno dobo ogrožajo naselje. Poleg regulacije predvidenega odseka struge Potočnice smo v raziskavi analizirali možnost umestitve suhega zadrževalnika. Morda bi celotna rešitev za investitorja (lokalno skupnost, občino) predstavljala prevelik finančni zalogaj, vendar se včasih premalo zavedamo posledic izrednih dogodkov, kjer je lahko finančna škoda bistveno večja, kot bi znašala celotna protipoplavna ureditev.

Hidrološko hidravlična analiza vodotoka je bila narejena na podlagi digitalnega modela reliefa, kjer smo uporabili topografske podatke pridobljene s pomočjo snemanja LIDAR. Za pridobitev natančnejše geometrije prečnih profilov potoka je potrebna terenska geodetska izmera, a žal teh terenskih podatkov nismo imeli. Narejena študija vodotoka temelji na sintetičnih podatkih in različnih predpostavkah, saj nismo imeli na razpolago (dovolj) merjenih podatkov. Porečje Potočnice spada med manjša območja, ta namreč znaša le 8,4 km². Površinski odtok smo izračunali s pomočjo programa HEC-HMS in padavin s povratno dobo 100 let. Bistvo projektiranja protipoplavne ureditve s suhim zadrževalnikom je oblika hidrograma odtoka, ki mora čim bolj odražati realno stanje. V ta namen smo pri nastopu visokovodne konice upoštevali neenakomerno razporeditev padavin, največja je namreč v prvi polovici padavinskega dogodka, maksimalna intenziteta pa je pri 25 % trajanja padavinskega dogodka.

V hidravličnem modelu smo analizirali vpliv 100-letne visoke vode Potočnice. Omeniti velja, da smo opravili tudi hidrološko analizo Drnika, glavnega pritoka Potočnice, vendar je bil v programu HEC-RAS upoštevan le kot točkovni pritok, saj zaradi slabe geometrije prečnih prereзов ni bil podrobneje hidravlično modeliran. Glede na obstoječe stanje 100-letne poplavne vode smo z različnimi ukrepi uspešno zaščitili naselje pred poplavljanjem. Poleg regulacije vodotoka skozi naselje, kjer smo uporabili že predlagane rešitve v študiji IzVRS z nekaj dopolnitvami, smo v srednjem toku Potočnice nad naseljem Stara vas predlagali možnost umestitve suhega zadrževalnika. Z njim smo uspešno zmanjšali konico poplavnega vala in s tem dosegli varnost naselja pred 100-letno poplavno vodo.

8 SUMMARY

In this master's thesis, we presented a proposal for the flood protection system of the Potočnica stream, which would protect the village of Stara vas in Krško from the 100-year flood. So far, several flood protection studies of the settlement were made, but the proposed regulations of Potočnica assure the protection of the settlement against 20-year flood. In addition to the regulation of the foreseen section of the Potočnica stream, we analyzed the possibility of placing a dry reservoir. Perhaps the overall solution for the investor would be too big, but sometimes we are not aware of the consequences of extraordinary events, where financial damage can be significantly greater than the overall flood resolution.

Hydrological hydraulic analysis of the watercourse was made on the basis of the digital elevation model, where we used the topographic data obtained by using official state LIDAR data. In order to obtain a more precise geometry of cross-sectional profiles, a field geodetic measurements would be required, but unfortunately we did not have these field data. The study of the watercourse is based on synthetic data and various assumptions, as we did not have (enough) measured data. The watershed of Potočnica is small, as it is only 8,4 km². Surface runoff was calculated using the HEC-HMS program and rainfall with a return period of 100 years. The essence of designing a flood protection system with a dry reservoir is the form of a runoff hydrograph, which should as much as possible reflect the real situation. To this end, the occurrence of the hydrograph peak we took into account the uneven distribution of precipitation, namely that it is the highest in the first half of the precipitation event and that the maximum intensity is at 25 % of the precipitation event.

In the hydraulic model we analyzed the impact of the 100-year flood for Potočnica stream. It is worth mentioning that we performed a hydrological analysis of Drnik, the main tributary of Potočnica, but it was inserted as a point inflow in the HEC-RAS program because it was not hydraulically modeled due to the poor geometry of the cross-sections. Given the existing situation of 100-year flood, we have assured successful protection of the settlement from flooding by combining different flood protection measures. In addition to the regulation of the watercourse through the settlement, where we used solutions proposed in the IzVRS study, with our additional solutions, we proposed in the middle flow of Potočnica above the village of Stara vas the possibility of placing a dry reservoir. With it, we successfully reduced the peak of the flood wave and accomplished the security of the village from flooding of high water with return period of 100 years.

VIRI

[1] Ocena ogroženosti Republike Slovenije zaradi poplav. 2016. Ljubljana. Uprava RS za zaščito in reševanje: 60 str.

https://skupnostobcin.si/wp-content/uploads/2016/11/ocena-ogrozenosti-poplave_predlog_november2016.pdf (Pridobljeno 1. 9. 2017)

[2] Mikoš, M. 2009. Osnove hudournišva. Varstvo pred hudourniki in zemeljskimi plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 228 str.

[3] Suhadolnik, P. Hudoruniška ureditev in varstvo okolja na primeru Podlipščice. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta (samozaložba P. Suhadolnik): 74 f.

[4] Odlok o občinskem prostorskem načrtu občine Krško. Uradni list RS, št. 61/2015 z dne 21. 8. 2015.

[5] Uredba o državnem prostorskem načrtu za območje hidroelektrarne Brežice. Uradni list RS, št. 50/12 in 69/13.

[6] Pintar, M., Podboj, M., Fazarinc, R. 2011. Analiza zakonodaje za pridobivanje dovoljenj in soglasij za gradnjo malih vodnih zbiralnikov. Ljubljana.

http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/users/1/agronomija/Melioracije/V4-1066/6_DS3_Analiza_zakonodaje_za_pridobivanje_dovoljenj_in_soglasij_106-146.pdf
(Pridobljeno 5. 10. 2017)

[7] Prostorski informacijski sistem občin. Podatkovni sloji.

<http://www.geoprostor.net/PisoPortal/Default.aspx> (Pridobljeno 15. 6. 2017)

[8] Wikipedia. Podtalnica.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Podtalnica> (Pridobljeno 2. 8. 2017)

[9] Portal Geopedia. Prostorski sloji.

http://www.geopedia.si/?params=L8804#T105_L8804_x540644_y91564_s14_b4
(Pridobljeno 2. 8. 2017)

[10] Tehnična navodila za določanje bonitete zemljišč. 2008. Geodetska uprava Republike Slovenije: 91 str.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/zakonodaja/ZEN/Tehnicna_navodila_za_dolocanje_bonitete_zemljisc_Internet.pdf (Pridobljeno 25. 7. 2017)

[11] Agencija RS za okolje. Opis opazovalnih postaj.

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/observation-stations/description/>

(Pridobljeno 25. 7. 2017)

[12] Agencija RS za okolje. Karta povprečne letne višine padavin.

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebie/karte/karta4028.html> (Pridobljeno 25. 7. 2017)

[13] Radinja, D. 1972. Zakrasevanje v Sloveniji v luči celotnega morfogenetskega razvoja. Geografski zbornik XIII: 47 str.

http://giam.zrc-sazu.si/sites/default/files/zbornik/GZ_1301_197-242.pdf

[14] Izvedba laserskega skeniranja Slovenije. 2014. Tehnično poročilo o izdelavi izdelkov. Ljubljana. Geodetski inštitut Slovenije: 20 str.

http://gis.arso.gov.si/related/lidar_porocila/b_14_izdelava_izdelkov.pdf

(Pridobljeno 15. 8. 2017)

[15] eVODE. Projekt Lasersko skeniranje in aerofotografiranje 2011.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/novice/Teksti_novic/LIDAR_opis.pdf

(Pridobljeno 15. 8. 2017)

[16] Google. Prikaz delovanja laserskega skeniranja.

https://www.researchgate.net/figure/267555217_fig1_Figure-1-LiDAR-system-components-Source-deercrossingdailynewsinfophotohtml

(Pridobljeno 15. 8. 2017)

[17] Šumrada, R., Drobne S. GIS tehnologija. Ljubljana. Inženirska zbornica Slovenije: 41 str.

http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/geomatika.pdf

(Pridobljeno 15. 8. 2017)

[18] Brilly, M., Šraj, M. 2006. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS. Skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 172 str.

[19] Agencija RS za okolje. Povratne dobe za ekstremne padavine po gumbelovi metodi. 2009. Ljubljana.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf (Pridobljeno 15. 5. 2017)

[20] Dolšak, D. 2015. Algoritem za analizo časovne porazdelitve padavin znotraj padavinskega dogodka. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba D. Dolšak): 172 f.

[21] Sovre, K. 2009. Diplomaska naloga. Hidrološka študija visokih voda Bistrice v porečju Sotle. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Sovre): 126 f.

[22] Kestnar, K. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kestnar): 63 f.

[23] Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

[24] Olshausen, H. G. 1997. VDI-Lexikon. Bauingenieur-wesen. 106 str.

https://books.google.si/books?id=eqPLBgAAQBAJ&pg=PA105&lpg=PA105&dq=DIN+19700+T+12&source=bl&ots=tAfBsyls98&sig=mo3103EZyKbPk6rbc_NueXRCgGc&hl=sl&sa=X&ved=0ahUKEwjQzP_b-PPTAhXoNpoKHVCKDxQQ6AEIJzAA#v=onepage&q=DIN%2019700%20T%2012&f=false

(Pridobljeno 10. 5. 2017)

[25] Šiško Novak, S. 2011. Ureditvev Potočnice v Stari vasi pri Krškem. Poročilo hidrološko hidravličnega elaborata. IZVRS. (Pridobljeno 5. 12. 2016)

[26] River Analysis System HEC-RAS. 2016. Release notes, Version 5.0.3. Hydrologic Engineering Center: 20 str.

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_5.0.3_Release_Notes.pdf (Pridobljeno 18. 3. 2017)

[27] Brunner, G. W. 2016. HEC-RAS, River Analysis System User's Manual, Version 5.0. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center: 960 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf> (Pridobljeno 18. 3. 2017)

[28] Brunner, G. W. 2016. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual, Version 5.0. Hydrologic Engineering Center: 538 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> (Pridobljeno 18. 3. 2017)

[29] Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

[30] Arcement, G. J. Jr., Schneider, V.R. 2000. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. United States Geological Survey Water-supply, paper 2339: 67 str.

<http://www.engr.colostate.edu/~bbledsoe/CIVE413/Arcement&Schneider.pdf>

(Pridobljeno 15. 5. 2017)

[31] Brunner, G. W. 2016. HEC-RAS, River Analysis System 2D modeling User's Manual, Version 5.0. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center: 171 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%202D%20Modeling%20Users%20Manual.pdf> (Pridobljeno 5. 9. 2017)

[32] Mignot, E., Paquier, A., Haider, S. 2005. Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations.

http://www.hach.ulg.ac.be/cms/system/files/Mignot_2006.pdf (Pridobljeno, 15. 5. 2017)

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

[34] Brunner, G. W., P. E. Common Model Stability Problems When Performing an Unsteady Flow Analysis. Hydrologic Engineering Center: 48 str.

<http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/modelcalibration/6.%20%20Hydraulic%20Model%20Calibration/4.1%20L-11%20CommonModelStabilityProblemsInUnsteady%20FlowAnalysis.pdf>

(Pridobljeno 1. 10. 2017)

[35] Mazi, T., Ajdič, M., Anzeljc, D., Stele Jeglič, M., Bizjak, A. 2015. Priprava kataloga gradbenih in negradbenih protipoplavnih ukrepov.

<http://mvd20.com/LETO2015/R15.pdf> (Pridobljeno 1. 8. 2017)

[36] Trobec, T. 2011. Vodogradbeni protipoplavni ukrepi za vrstvo pred škodljivim delovanjem hudourniških poplav kot sestavni del obvladovanja poplavnega tveganja. Izvirni znanstveni članek. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta: 22 str.

<http://revije.ff.uni-lj.si/Dela/article/viewFile/dela.35.6.103-124/702> (Pridobljeno 10. 10. 2017)

[37] Kozelj, D., Kozelj, K., Steinman, F., Gosar, L. 2008. Poplavna ogroženost in posledice dogodkov preostalega tveganja.

<http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2008/145.pdf> (Pridobljeno 1. 8. 2017)

[38] Steinman, F., Banovec, P. 2004. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

[39] Kocjan, M. 2010. Ureditev suhega zadrževalnika in vodotoka Pešnice na območju Šentjurja. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kocjan): 100 f.

[40] Hidrotehnik zgradil protipoplavni objekt-suhi zadrževalnik v občini Škofljica. Hidrotehnik, vodnogospodarsko podjetje d.d.

<http://www.hidrotehnik.si/zadnji-izvedeni-projekti/hidrotehnik-zgradil-protipoplavni-objekt-suhi-zadrzevalnik-v-obcini#> (Pridobljeno 15. 8. 2017)

[41] Pemič, A., Mikoš, M. 2008. Inženirska hidrotehnika. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 447str.

[42] Kryžanovski, A. 2016. Hidrotehnični objekti. Osebni zapiski s predavanj pri predmetu hidrotehnični objekti. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

[43] Petrovič, D. Ljubljana. Topografija in kartografija. Inženirska zbornica Slovenije. Matična sekcija geodetov: 30 str.

http://www.izs.si/fileadmin/dokumenti/strokovni_izpiti/msgeo/topo_in_karto.pdf

(Pridobljeno 17. 11. 2017)

[44] Rak, G. 2006. Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Rak): 81 f.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: IZRAČUNI ČASOV KONCENTRACIJ ZA POTOČNICO PO RAZLIČNIH
METODAH

PRILOGA B: IZRAČUNI ČASOV KONCENTRACIJ ZA DRNIK PO RAZLIČNIH METODAH

PRILOGA C: SITUACIJA PREDVIDENIH UKREPOV

PRILOGA A: IZRAČUNI ČASOV KONCENTRACIJ ZA POTOČNICO PO RAZLIČNIH METODAH

1 Kirpichova enačba (za površinski tok) [18]:

Kirpichova enačba se uporablja za izračun površinskega toka na majhnih agrokulturnih povodjih. Uporaba je priporočljiva za tokove na neporaščeni površini, zato je potrebno za travnate površine t_c pomnožiti z 2. Dolžina površinskega toka ne sme presegati 100 m.

$$t_c = \frac{0.066 * L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

L=dolžina površinskega toka [km]	0,1
S=naklon povodja [m/m]	0,261
t_c =čas koncentracije površinskega toka [min]	2,3

2 Kerby-jeva enačba (za površinski tok) [18]:

Kerby-jeva enačba je priporočljiva za izračun na razdaljah, ki ne presegajo razpona od 100 do 150 m. Z vsako zemljišče posebej so določena priporočila za uporabo koeficientov hrapavosti površine. Pri izračunu smo uporabili odčitani koeficient n iz spodnje preglednice.

$$t_c = 0,024 * \left(\frac{n * L}{\sqrt{S}} \right)^{0,467}$$

gladka, neprepustna površina	0,02
gladka, strnjena odkrita prst	0,1
skromna trava, kulture ali zmerno hrapava in nepokrita prst	0,2
pašniki ali povprečna trava	0,4
listnati gozd	0,6
strnjeni gozdovi in gosta trava	0,8

L = dolžina površinskega toka [m]	100
n = koeficient hrapavosti (pašniki/povprečna trava)	0,4
S = nagib povodja [m/m]	0,261
t _c = čas koncentracije površinskega toka [min]	11,0

3 Enačba SCS TR-55 (za plitvi koncentrirani tok) [18]:

$$t_c = \frac{L}{3600 * v}$$

$$v = 4,918 * \sqrt{S}$$

S = nagib povodja [m/m]	0,261
v = hitrost toka za netlakovane površine [m/s]	2,5
L = razdalja površinskega toka [m]	2870
t _c = površinski čas potovanja [min]	19,04

4 Ramserjeva enačba (za tok v strugi) [18]:

Ramserjeva enačba določa čas koncentracije v odvisnosti od dolžine struge in povprečnega padca struge. Enačba ne velja za povodja, manjša od 5 km², ker na takih povodjih prevladuje površinski tok.

$$t_c = 0,01997 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

L = dolžina struge [m]	3145
S = povprečni nagib kanala [m/m]	0,0253
t _c = čas koncentracije [min]	42,9

5 Carterjeva enačba [22]:

Carterjeva metoda je namenjena urbaniziranim porečjem, kjer je upoštevan Manningov koeficient med 0,013 in 0,025. Omejitve za to enačbo so naslednje: površina porečja do 20,7 km², dolžina najdaljše poti vodnega delca med 1 in 11,3 km ter naklon do 2 %.

$$t_c = 45,63 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,6}$$

L = najdaljša pot vodnega delca [km]	6,1
S = povprečni naklon vodotoka [m/km]	22
t _c = čas koncentracije [min]	53,6

6 Enačba USBR [22]:

Enačba USBR je bila razvita za gorata porečja.

$$t_c = 14,433 * \left(62,83 * \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

L = najdaljša pot vodnega delca [km]	6,1
H = višinska razlika med najvišjo točko in točko iztoka porečja [m]	259,2
t _c = čas koncentracije [min]	67,7

7 Bransby-Williamsova enačba [22]:

Bransby-Williamsova enačba je preprosta enačba, ki se uporablja v primeru pomanjkanja podatkov in predvsem za neprepustna porečja.

$$t_c = \frac{0,01456 * L}{A^{0,1} * S^{0,2}}$$

L = dolžina toka [m]	3145
S = povprečni naklon porečja [m/m]	0,261
A = površina porečja [km ²]	6,5
t _c = čas koncentracije [min]	49,7

PRILOGA B: IZRAČUNI ČASOV KONCENTRACIJ ZA DRNIK PO RAZLIČNIH METODAH

1 Kerby-jeva enačba (za površinski tok) [18]:

$$t_c = 0,024 * \left(\frac{n * L}{\sqrt{S}} \right)^{0,467}$$

L = dolžina površinskega toka [m]	100
n = koeficient hrapavosti (pašniki/povprečna trava)	0,4
S = nagib povodja [m/m]	0,335
t _c = čas koncentracije površinskega toka [min]	10,4

2 Enačba SCS TR-55 (za plitvi koncentrirani tok) [18]:

$$t_c = \frac{L}{3600 * v}$$

$$v = 4,918 * \sqrt{S}$$

S = nagib povodja [m/m]	0,335
v = hitrost toka za netlakovane površine [m/s]	2,85
L = razdalja površinskega toka [m]	317
t _c = površinski čas potovanja [min]	1,9

3 Ramser-jeva enačba (za tok v strugi) [18]:

$$t_c = 0,01997 * L^{0,77} * S^{-0,385}$$

L = dolžina struge [m]	3653
S = povprečni nagib kanala [m/m]	0,0592
t _c = čas koncentracije [min]	32,8