

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij vodarstva in
komunalnega inženirstva

Kandidat:

Matej Kocjan

Ureditev suhega zadrževalnika in vodotoka Pešnice na območju Šentjurja

Diplomska naloga št.: 146

Mentor:
doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 2010

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MATEJ KOCJAN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»UREDITEV SUHEGA ZADRŽEVALNIKA IN VODOTOKA PEŠNICE NA OBMOČJU
ŠENTJURJA«**

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

Ljubljana, 27.09.2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji hidrotehnične smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 556.166:556.536(043.2)
- Avtor:** Matej Kocjan
- Mentor:** doc. dr. Andrej Kryžanowski
- Naslov:** Ureditev suhega zadrževalnika in vodotoka Pešnice na
Območju Šentjurja
- Obseg in oprema:** 71 str., 8 pregl., 30 sl., 22 en., 6 graf., 4 pril
- Ključne besede:** Varstvo pred poplavami, suhi zadrževalnik, hidrološko modeliranje,
hidravlično modeliranje, sonaravno urejanje struge

Izvleček

Diplomska naloga obravnava ureditev suhega zadrževalnika na Pešnici kot enega izmed ukrepov varstva pred poplavami ter ločeno še sonaravno urejanje struge na predvidenem odseku. Z novo obvoznico in premostitveno konstrukcijo investitor posega v naravno poplavno območje Pešnice ter v pretočni profil same struge. S tega vidika je lahko pričakovati večjo poplavno ogroženost cestišča ter ostalih dolvodnih površin. Načrtovanje suhega zadrževalnika zahteva opredelitev vseh relevantnih hidroloških parametrov vplivnega območja, analizo hidravlične sposobnosti vodotoka ter analizo topografskih pogojev oz. omejitev. Z ozirom na vse našete dejavnike je tako glavni cilj zasnovati najustreznejši zadrževalni sistem. Za hidrološko in hidravlično modeliranje smo izbrali programski paket orodij HEC-HMS ter HEC-RAS. Za manipulacijo z najrazličnejšimi geografskimi podatkovnimi sloji pa je obvezna uporaba GIS- in CAD-orodij. Pri načrtovanju samega pregradnega objekta je pomembna tudi izbira vrste izpustne naprave za visokovodno akumulacijo, odvisna je predvsem od hidravličnih karakteristik in pretočne kapacitete. Za konec je v nalogi predstavljena zasnova nekaterih praktičnih in vizualnih ukrepov v sklopu sonaravnega urejanje struge na predvidenem območju. Glavni cilj oz. namen ukrepov je ljudi približati k vodi v smislu kvalitetnejšega preživljanja prostega časa ter obogatiti kvaliteto bivanja ribje populacije.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.166:556.536(043.2)
Author: Matej Kocjan
Supervisor: Assistant Prof. Ph. D. Andrej Kryžanowski
Title: Design of retention area and regulation of Pešnica stream
in the Šentjur region
Notes: 71 p., 8 tab., 30 fig., 22 eq., 6 graph., 4 ann.
Key words flood control, retention area, hydrological modelling,
hydraulic modelling, remediation of river courses

Abstract

This paper work is dealing with regulation of the flood-control reservoir (retention area) on the Pešnica as one of the measures against flood risk and separately with natural sustainable regulation of river channel in the proposed section. With the new bypass and bridge construction investor affect in the natural floodplain and stream profile of Pešnica. From this perspective, it can be expected that will increase the flood risk ahead of road and other downstream areas. Planning a flood-control reservoir requires the definition of all relevant hydrological parameters in basin, the analysis of the hydraulic conductivity in the channel and analysis of topographic conditions or restrictions. With respect to all previous factors, the main objective is to devise the most appropriate retarding system. For hydrologic and hydraulic modeling software package we chose HEC-HMS and HEC-RAS gear. For manipulation with a different geographic data layers is compulsory to use GIS and CAD tools. By planning of the dam is very important to choose the appropriate type of release structure for flood water and the choice depends mainly on their hydraulic characteristics and flow capacity. In conclusion, the thesis presents some practical design and visual measures in the context of natural sustainable regulation of the channel in the intended area. The main purpose of this measures is to bring people close to the water in the leisure time and enrich the quality of fish populations living.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu. Iskrena zahvala gre podjetju Nivo, d.o.o., kjer so mi zaupali temo diplomske naloge.

Hvala tudi vsem mojim najbližjim, ki so mi stali ob strani, me spodbujali in pomagali z nasveti.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Splošno.....	1
1.2 Obrazložitev teme	2
1.2.1 Prvi sklop-umestitev suhega zadrževalnika	2
1.2.2 Drugi sklop-sonaravno urejanje Pešnice na predvidenem območju	2
1.3 Cilji diplomske naloge	3
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA IN ZASNOVA REŠEVANJA ZADANIH NALOG.....	6
2.1 Varstvo pred poplavami.....	6
2.2 Princip delovanja suhega zadrževalnika	7
2.3 Hidrološki računski model.....	9
2.3.1 Programsko orodje HEC-HMS.....	10
2.4 Hidravlični računski model	14
2.4.1 Programsko orodje HEC-RAS.....	15
2.5 GIS-in CAD-orodja	18
3 NAČRTOVANJE SUHEGA ZADRŽEVALNIKA	21
3.1 Splošno.....	21
3.2 Zadrževalni bazen in izbira lokacije jezua.....	21
3.3 Izbira projektnega hidrograma.....	24
3.4 Izbira objekta za prevajanje poplavne vode	25
3.5 Določevanje projektnega hidrograma	26
3.5.1 Opis vodozbiralne površine Pešnice.....	26
3.5.2 Določevanje vhodnih podatkov v hidrološkem modelu Pešnice.....	29
3.5.3 Rezultati računa hidrološkega modela Pešnice z HEC-HMS.....	33
3.6 Hidravlični model Pešnice na odseku od pregrade do izliva	34
3.6.1 Opis pretočnega profila Pešnice	34
3.6.2 Hidravlično modeliranje s programom HEC-RAS	36
3.7 Zasnova suhega zadrževalnika	40

3.7.1 Določitev pretočnega prereza v profilu jezovne naprave	41
3.7.2 Določitev polnitvene krivulje poplavnega prostora	42
3.8 Obratovalna shema jezov	43
3.9 Zasnova podslapja.....	47
3.10 Hidravlična analiza predlaganih prerezov	50
3.11 Izvedba komponent suhega zadrževalnika	52
3.11.1 Prelivna sekcija jezov in podslapje.....	52
3.11.2 Varianta zapornice z gumeno membrano.....	53
3.11.3 Varianta zapornice z ravno zaklopko	54
3.11.4 Ozračnost jezov	55
3.11.5 Nasip.....	55
3.11.6 Nadvišanje lokalne ceste	58
3.12 Obratovanje zadrževalnika	59
3.13 Okoljski vidik umeščanja suhega zadrževalnika	61
3.14 Investicijska vrednost izgradnje suhega zadrževalnika	63
4 SONARAVNO UREJANJE PEŠNICE NA PREDVIDENEM ODSEKU	65
4.1 Cilji sonaravnega urejanja	65
4.1.1 Ukrepi za izboljšanje preživljanja prostega časa ob strugi.....	66
4.1.2 Ukrepi za Obogatitev bivanja ribje populacije	68
5 ZAKLJUČEK.....	71
VIRI.....	72

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povratne dobe za dimenzioniranje običajnega prostora poplavne akumulacije (prirejeno po DIN 19700 T 12).....	24
Preglednica 2: Deleži posameznih vrst rabe tal za celotno povodje Pešnice	27
Preglednica 3: Geometrijski ter topografski podatki obravnavanega povodja.....	30
Preglednica 4: Povratne dobe za ekstremne padavine (ARSO, 2005)	30
Preglednica 5: Vrednosti parametrov padavinskih izgub po SCS-metodi za posamezna podpovodja Pešnice	32
Preglednica 6: Vrednosti parametrov Snyderjevega hidrograma enote	32
Preglednica 7: Vrednosti parametrov K in X	33
Preglednica 8: Vrednosti 50- in 100-letnih pritokov, ki dosežejo Pešnico	37

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Diagram, ki prikazuje 100-, 50- in 25-letni hidrogram s 3-urnim trajanjem naliva ...	33
Grafikon 2: Pretočna krivulja korita v profilu predvidenega jezua	41
Grafikon 3: Krivulja prostornine poplavnega bazena v odvisnosti od nadmorske višine	43
Grafikon 4: Dotok in iztok iz zadrževalnika ob prehodu 100-letne vode	45
Grafikon 5: Stanje vodostaja v poplavnem bazenu ob prehodu 100-letne vode.....	46
Grafikon 6: Količina zadrževanega volumna ob prehodu poplavnega vala v odvisnosti od časa .	47

KAZALO SLIK

Slika 1: Načini delovanja zadrževalnika: nenadzorovan in nadzorovan iztok (Prirejeno po Muth et al., 1996).....	8
Slika 2: Potencialni zadrževalni prostor pred novo lokalno cesto.....	22
Slika 3: Prikaz zadrževalnega bazena z višinskimi plastnicami.....	23
Slika 4: Primer izvedbe jezua z gumeno membrano (www.savatech.si).....	25
Slika 5: Prikaz vodozbiralne površine do zadrževalnika, razdeljeno na podpovodja.....	29
Slika 6: Shematični prikaz sistema Pešnice na odseku med novo cesto in izlivom.....	35
Slika 7: Fotografija struge Pešnice.....	36
Slika 8: 3D prikaz hidravličnega modela na obravnavanem odseku Pešnice.....	38
Slika 9: Vzdolžni pretočni profil obravnavanega odseka.....	39
Slika 10: Predvidena lokacija jezua.....	40
Slika 11: Prikaz višinskih plastnic v odvisnosti od diferenčne globine Δh (prirejeno po Muth et al., 1996).....	42
Slika 12: Bočni prerez jezovne zgradbe.....	48
Slika 13: Vzdolžni profil obravnavanega odseka pri pretoku 33,5 in 0,3 m ³ /s.....	51
Slika 14: Razširjen prerez struge, ki prevaja 100-letni pretok.....	51
Slika 15: Bočni prerez jezovne konstrukcije z gumeno membrano.....	53
Slika 16: Prečni prerez jezua z izvedbo gumene membrane.....	54
Slika 17: Bočni prerez jezovne konstrukcije z ravno zaklopko.....	54
Slika 18: Prečni prerez nasipa v profilu P10.....	56
Slika 19: Zadrževalni sistem na Pešnici pred bodočo novo cesto.....	57
Slika 20: Vzdolžni profil nasipa, ki poteka prečno na dolino.....	57
Slika 21: Vzdolžni profil nasipa, ki poteka vzdolžno ob regionalni cesti.....	58
Slika 22: Nadvišanje lokalne ceste.....	58
Slika 23: Maksimalna zajezba pri zadrževanju 100-letnega poplavnega vala.....	60
Slika 24: Prikaz grafičnih enot rabe kmetijskih zemljišč (GERK-i), ki jih zajame 100-letna zajezba.....	62

Slika 25: Obravnavani odsek sonaravnega urejanja	65
Slika 26: Predvidena ureditev struge na obravnavanem odseku	67
Slika 27: Prečni profil P2 z ureditvijo stopnišča in nižjo niveleto pešpoti	68
Slika 28: Prečni profil P4 z ureditvijo nizkega praga z lesenimi oblicami	69
Slika 29: Tloris izvedbe predlaganih ukrepov urejanja struge.....	70
Slika 30: Detalj izvedbe nizkega praga z dolvodnim tolmunom	70

KAZALO PRILOG

Priloga A: Obratovalna shema jezu

Priloga B: Skupna rekapitulacija izgradnje suhega zadrževalnika

Priloga C: Vzdolžni profil obravnavanega območja

Priloga D: Idejna zasnova jezovne konstrukcije v tlorisu

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	agencija Republike Slovenije za okolje
B	širina struge
CAD	računalniško podprto načrtovanje
CN	curve number (faktor, ki določa lastnosti in vplive povodja)
DOF	digitalni ortofoto načrt
DIN	nemški inštitut za standardizacijo
GERK	grafična enota rabe kmetijskih zemljišč
GIS	geografski informacijski sistem
GURS	geodetska uprava Republike Slovenije
h	kota ali nadmorska višina
HEC-HMS	računalniški program za hidravlično modeliranje vodotokov
HEC-RAS	računalniški program za računanje odtoka s prispevnega območja
h_p	prelivna višina
MKGP	ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
MOP	ministrstvo za okolje in prostor
n_g	Manningov koeficient trenja
$Q_{i,max}$	projektni največji iztok iz zadrževalnika
t	čas
T_c	čas koncentracije
T_n	povratna doba
T_p	čas zakasnitve
TTN	temeljni topografski načrt
V	volumen oz. prostornina

1 UVOD

1.1 Splošno

Vsaka lokalna skupnost stremi k lastnem razvoju in napredku domala na vseh področjih. V interesu vsake skupnosti je, da se preko upravnih organov čim bolj kvalitetno zagotavlja življenje vsakega posameznika, uresničuje njegova sociološka bit in varuje pred morebitnimi nevarnostmi. Temelj delovanja in obstoja vsake lokalne skupnosti je infrastruktura oz. infrastrukturni objekti, ki lajšajo bivanje in omogočajo interakcijo med posamezniki. Vse večji standard in tehnološki razvoj botruje vse večjemu prepletanju človekove sfere z naravo in okoljem. Mogoče v današnjem času lahko toliko bolj opazimo občutljivost narave na inženirske posege, za katere se zdi, da vedno težje kljubujejo vsem katastrofam in ekstremnim dogodkom. Mednje prav gotovo sodijo tudi poplave, ki so predmet obdelave v naši nalogi.

Nepremišljeno poseganje v naravni koridor vodnih teles lahko predstavlja v časih visokih oz. poplavnih vod nevarnost za splošno človekovo imovino, ki se nahaja neposredno v bližini vodnega telesa. Prečne ovire v rečnih koritih, kot so mostovi, ceste in druge umetne zožitve struge, povzročajo zmanjšanje hitrosti toka vode in s tem posledično nenadzorovano zajezbo gorvodno. Prav tako lahko predstavljajo nevarnost tiste regulacije, kot so gladenje korita ali ravnanje tlorisne osi vodotoka, saj na ta način znatno povečujejo hitrost in strižno moč toka, ki pa ima lahko pri naslednji oviri škodljive učinke. S tega stališča je pomembno, da vsak tehnični poseg v vplivno območje vodnega telesa skrbno in premišljeno izvedemo, upoštevajoč tudi njen sonaravni vidik. Naraven izgled vodotoka postaja vedno večja vrednota in vedno bolj postaja vodilo vsem novim hidrotehničnim gradnjam.

V diplomski nalogi bomo obravnavali primer reševanja naseljenega območja in prometnice pred poplavami z ureditvijo suhega zadrževalnika ter primer urejanja brežin in struge vodotoka.

1.2 Obrazložitev teme

Podjetje Nivo, d.o.o., mi je predlagalo temo, ki zajema hidrotehnično urejanje potoka Pešnica v njenem spodnjem toku. Temo oz. nalogo lahko razdelimo v dva sklopa, ki ju lahko smiselno ločeno obravnavamo.

1.2.1 Prvi sklop-umestitev suhega zadrževalnika

Prvi sklop je umestitev oz. ureditev suhega zadrževalnika kot protipoplavna rešitev Šentjurja na odseku Pešnice pred bodočo lokalno cesto. Lokalna skupnost Šentjur se je iz razlogov, da razbremeni mestno jedro tovornega in potniškega cestnega prometa, odločila oz. sprejela namero, da zgradi lokalno obvozno cesto. Sam projekt je še v načrtovalni fazi. Nova trasa ceste preči vodno strugo Pešnice. Z premostitvijo lahko vplivamo na razpoložljivo hidravlično prevodnost obstoječe struge, kar je potrebno primerno reševati zaradi možnosti pojava poplav. Rešitev za preprečevanje poplav na tem odseku je več. Ena izmed takšnih je dovolj velika razširitev pretočnega profila in izbira hidravlično ugodnejšega prereza, ki bi še prevajal visoke vode. Vendar takšen ukrep pomeni samo prelaganje problematike poplav v dolvodni smeri. Druga rešitev, ki se ji bomo v tej nalogi v celoti posvetili, pa je ureditev suhega zadrževalnika pred novo premostitvijo. V tem primeru je pretočni profil mostne odprtine lahko primerno manjši, obenem pa s takšnim ukrepom protipoplavno zaščitimo mesto Šentjur.

1.2.2 Drugi sklop-sonaravno urejanje Pešnice na predvidenem območju

V tem sklopu je namen precej drugačen, ne gre več za reševanje poplavne nevarnosti, ampak je cilj, kako s nekaterimi hidrotehničnimi ukrepi oz. ureditvami »oživiti« potok Pešnice na predvidenem odseku. Pod besedo »oživitev« lahko razumemo ustvarjanje pogojev, ki bodo na tem odseku izboljšali kvaliteto preživljanja prostega časa, se pravi, privabili večje število ljudi na obrežje, povečali živelj oz. populacijo rib v vodi ter še bolj izboljšali izgled vodotoka. Za ta odsek je značilno, da ni povsem reguliran v primerjavi z dolvodno strugo. Konkretna naloga, ki

so mi jo že predlagali v tem sklopu, je ureditev sprehajalne steze ob brežini struge. Sprehajalna steza bi služila prebivalcem Šentjurja za namene preživljanja prostega časa, kot je rekreacija, oddih, sprehajanje itd. Naslednja stvar, ki bi popestrila dinamiko vodnega toka, je ureditev prečnih gradbenih objektov. Prečni gradbeni objekti kot hidrotehnični ukrep imajo večštevilo uporabnost. V tem primeru bi služili za ustvarjanje tolmunov, kar predstavlja ugodno zatočišče ribji populaciji, in za izboljšanje pogojev, ki dodatno povečujejo koncentracijo raztopljenega kisika v vodi.

1.3 Cilji diplomske naloge

Umeščanje suhega zadrževalnika terja široko znanje in večdisciplinarno obravnavanje. Torej bomo imeli v tej nalogi verigo odločitev in ukrepov, katerih končni cilj bo z vseh aspektov najbolj optimalna umestitev zadrževalnika v prostor. Pri študiji umeščanja suhega zadrževalnika je potrebno vključiti tehnični, ekonomski, okoljski ter prostorski vidik.

S tehničnega vidika bo glavni namen zasnovati takšen suh zadrževalnik, ki bo ublažil projektni poplavni val tako, da ne bo pustilo nobenih škodljivih posledic v dolvodni smeri kot tudi na premostitveni konstrukciji in na ostalem delu cestišča. Načrtovanje bo temeljilo na hidroloških in hidravličnih predpostavkah oz. pogojih, ki najbolj odražajo realno stanje. O poplavah na tem območju ni konkretnih analiz oz. podatkov. Na voljo imamo le podatke o sintetičnih padavinah različnih povratnih dob, kar narekuje potrebo po oceni hidrološkega računskega modela Pešnice. Le na podlagi daljših meritev lahko dovolj natančno določimo količino in trajanje visokovodnega pretoka določene povratne dobe, ki ga ponazorimo s hidrogramom. Če teh meritev ni razpolago, je določitev visokih voda toliko manj gotova.

Pri umeščanju objekta se bo potrebno racionalno odločiti katero kombinacijo oz. kakšen sistem visokovodnega zadrževalnika izbrati, ki bo najbolj ustrezal vsem pogojem v dani situaciji. Izbira je odvisna od hidroloških in hidravličnih lastnosti, topografije in tudi od tega, kakšen nivo varnosti želimo zagotavljati. Z vidika celotnega zadrževalnega sistema se lahko lahko odločamo

glede na lego, velikost, merodajne vodne količine, način izvedbe, zanesljivost, ekonomičnost itd.

Dimenzioniranje na maksimalno možni dogodek ni vedno smotrna rešitev. Od tega nas odvrtaajo nesorazmerno visoki stroški, s tega stališča ekonomičnost ukrepa mnogokrat vprašljiva. Potrebno je poiskati takšen projektni pretok, ki bo ustrezal finančnim možnostim investitorjev in obenem zagotavljal relativno visoko varnost. V pomoč so nam lahko standardi, ki na podlagi vseh okoliščin pomagajo določiti projektne poplave. Po drugi strani pa se dostikrat zgodi, da zaradi omejenih finančnih virov oz. varčevanja projektant pri dimenzioniranju mostnih konstrukcij ali prepustov problematiko vplivov vodnih ujm ne rešuje dolgoročno, kar se kasneje maščuje z velikimi stroški sanacije omenjenih objektov (Klabus, 1999).

Nenazadnje bo potrebno upoštevati še okoljski vidik umeščanja. Visokovodni zadrževalnik sodi med tovrstne objekte, ki za svoje delovanje koristi precej prostora, za slovenske razmere pa je vsak takšen poseg zelo občutljive narave. V tem primeru gre za suhi zadrževalnik, kar pomeni, da bo poplavni bazen omočen le ob izrednih visokih vodah, v vmesnem času pa bo površina namenjena najverjetneje kmetijski rabi. S tega vidika bo potrebno preveriti kako z novim posegom vplivamo na obstoječe stanje.

Pri sonaravnem urejanju predvidenega odseka Pešnice je cilj, da predlagamo rešitve, ki najbolj odgovarjajo potrebam obravnavane struge. V prvi vrsti je potrebno predlagati tiste ukrepe, ki bodo privabili ljudi k obrežju Pešnice v času preživljanja prostega časa in ki bodo vizualno izboljšali izgled obravnavanega odseka. Semkaj sodijo tudi tiste hidrotehnične rešitve, ki bodo olajšale bivanje ribjega življa in zagotavljale takšne pogoje, ki bo omogočalo ribji populaciji večji zarod.

Vsebina diplomske naloge bo smiselno razdeljena na dva dela. V prvem delu bodo predstavljene nekatere predpostavke. Sem sodi vse tisto, kar bo kasneje kot izhodišče uporabljeno pri načrtovanju - gre za metode, izračune, programska orodja ter dostopne podatke. V drugem delu

pa sledi praktični del, kjer bodo opravljene konkretne analize in izračuni, predlagane rešitve, komentarji, izdelani modeli ter ostale stvari, ki sodijo zraven.

Povedati je potrebno nekaj stvari glede podatkov, ki so na voljo. Končni rezultat, v tem primeru optimalna zadostitev zastavljenim ciljem, je v veliki meri odvisen od razpoložljivosti, natančnosti in relevantnosti podatkov. Mnogokrat smo omejeni z razpoložljivostjo informacij zaradi različnih vzrokov, prav tako je v tem primeru. Tako je včasih potrebno manjkajoče podatke nadomestiti z inženirsko presojo ali pa z predpostavljanjem na podlagi primerljivih situacij. Načrtovanje in izračuni v tej nalogi bodo temeljili na razpoložljivih podatkih oz. tistih podatkih, ki so bili v času izdelave naloge na voljo.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA IN ZASNOVA REŠEVANJA ZADANIH NALOG

2.1 Varstvo pred poplavami

Reševanje tovrstne problematike je tesno povezano z poznavanjem naravnih fizikalnih procesov, ki vladajo v naravi. Konkretnije, v primeru poplav je bistvenega pomena razumevanje meteoroloških, hidroloških in hidravličnih procesov. Navedeni procesi predvsem s pomočjo sončne in gravitacijske energije povzročajo kroženje vode in soustvarjajo vodni režim na nekem območju. Območje, s katerim operiramo oz. ki ima neposreden vpliv na vodotok, imenujemo prispevno območje (angl. basin). Omenjeno kroženje vode lahko v nekem času T volumensko izrazimo z matematičnim izrazom:

$$P = O + E \pm R \quad (1)$$

Kjer je:

- P padavine padle na prispevno območje A v času T ,
- O odtok iz prispevnega območja A v času T (površinski in podzemeljski odtok),
- E evaporacija na prispevnem območju v času T ,
- R retenzija vode v prispevnem območju A v času T .

Zapisan izraz je znan kot vodna bilanca na prispevnem območju in je bistvenega pomena za razumevanje vodnega režima in varovanje pred poplavami. Z ureditvijo suhega zadrževalnika neposredno vplivamo na zadnji člen v enačbi, in sicer na retenzijo vode na prispevnem območju. Ravno ta člen preprečuje padli vodi (padavinam), da najhitreje odteče po površini prispevnega območja. Padavinska voda se z različno hitrostjo steka najprej po površini povodja, nato pa po hidrografski mreži. Časovno potovanje vode od najbolj oddaljene točke povodja pa do iztočnega profila imenujemo čas koncentracije T_c (Brilly in Šraj, 2005). Obseg reševanja protipoplavne varnosti v tem primeru se bo nanašal na segment potovanja vode v vodotoku.

O poplavah govorimo, kadar vode prestopijo bregove svojih običajnih korit in se raširijo na poplavne ravnice. Vzroki za nastanek so predvsem kratkotrajni močni nalivi. To je v naravi čisto normalen proces in traja že od nekdaj. Težava je nastala, ko se je človek pričel naseljevati v neposredno okolico vodotokov in so poplave začele škodljivo vplivati na človekovo bivanje. V takšnem kontekstu se je tudi začel uporabljati izraz varstvo pred poplavami. Na splošno, varstvo pred poplavami je množica ukrepov in posegov, ki služijo za zaščito človeka in njegove okolice pred škodljivimi učinki poplav, kot so preplavitev, erozija in spreminjanje okolice. Razlikujemo med aktivnimi in pasivnimi protipoplavnimi ukrepi (Vischer in Huber, 1993). Suhi zadrževalnik kot hidrotehnični ukrep sodi v skupino aktivnih protipoplavnih ukrepov.

Poplavo ponazorimo z hidrogramom oz. z visokovodnim pretokom, ki ga karakteriziramo s srednjo povratno dobo T_n ali z verjetnostjo pojava $1/T_n$ (Muth et al., 1996). Ravno s hidrograma lahko razberemo časovno spremembo pretoka v strugi. Hidrogram je torej za naše potrebe osnovni parameter pri načrtovanju suhega zadrževalnika.

2.2 Princip delovanja suhega zadrževalnika

Zadrževalnike gradimo z namenom preoblikovanja poplavnega vala v taki meri, da zadržimo del vodne količine poplavnega vala in ga postopoma odvajamo. Suhi zadrževalnik pripada po načinu delovanja visokovodnim zadrževalnikom s to razliko, da imajo slednji še trajno zajezbo, medtem ko suhi zadrževalnik napolni poplavni bazen le v času visokih voda. Tovrstne naprave se tudi bistveno razlikujejo od akumulacij, kjer je čas zadrževanja vode bistveno daljši in govorimo že o skladiščenju vode. Suhi zadrževalnik v osnovi sestavljata poplavni bazen ter pregrada z napravami za izpust vode. Če je višina pregradnega objekta manjša od 10 m, govorimo o jezui, če pa je večja od 15 m, pa gre za pregrado.

Koncept oz. model delovanja suhega zadrževalnika temelji na zadrževanju dela poplavnega vala v retenzijskem prostoru, s čimer dolvodno preprečimo razlivanje vode izven bregov rečnih korit.

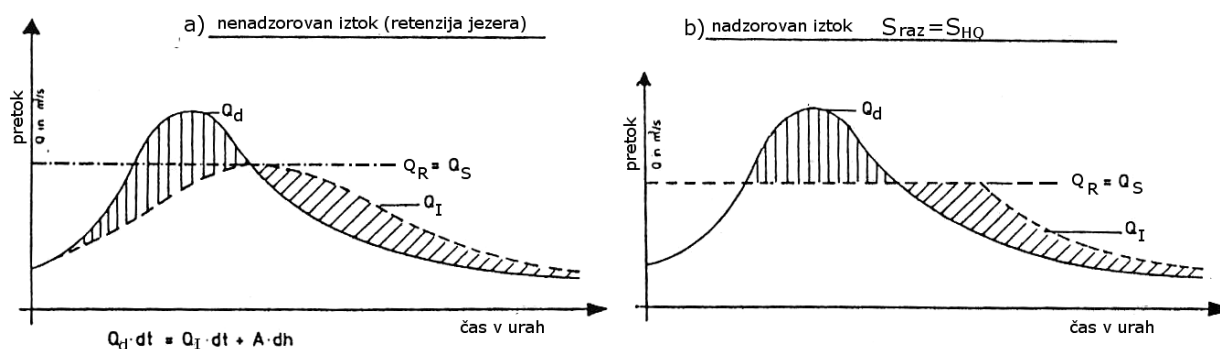
Matematično lahko tak proces opišemo z enodimenzijsko aproksimacijo kontinutetne enačbe, ki se glasi:

$$I_{pov} - O_{pov} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (2)$$

Kjer je:

- I_{pov} povprečni vtok,
- O_{pov} povprečni iztok,
- ΔS sprememba v skladiščenju.

Na spremembo v skladiščenju oz. zadrževanega volumna ΔS vplivajo predvsem oblika zadrževalnega bazena ter hidravlične karakteristike pretočnosti izpustnega dela. Glede na izpust oz. dušenje poplavne konice lahko izbiramo med zadrževalnikom s prostim oz. nenadzorovanim iztokom in pa zadrževalnikom z nadzorovanim iztokom. Bistvena razlika v njunem delovanju je v poteku iztočnega hidrograma (slika 1). Pri zadrževalniku s prostim izpustom je iztok v funkciji z višino zajeze in pa hidravličnimi karakteristikami prepustne naprave. Tu govorimo predvsem o blaženju visokovodne konice.



Slika 1: Načini delovanja zadrževalnika: nenadzorovan in nadzorovan iztok (Prirejeno po Muth et al., 1996)

Pri zadrževalnikih z nadzorovanim izpustom je celoten proces potovanja visokovodnega vala skozi zadrževalni prostor odvisen od projektnega iztoka $Q_{i,max}$ ter načina regulacije izpusta. Pri

tem je važna izbira projektnega vhodnega hidrograma določene povratne dobe in pa določitev maksimalnega iztoka $Q_{i,max}$, ki oblikuje obratovalna pravila iztočnega hidrograma. Temeljna izpustna naprava s pomočjo regulacijskega mehanizma v času vršnega pretoka prepušča največ dolvodno dovoljeni oz. neškodljivi pretok. Regulacije pretoka izvajamo s pomočjo zapornic ali zasunov.

Pri načrtovanju pregrade oz. jezua je potrebno tudi upoštevati pravilno zasnovu podslapja. Podslapje se uporablja za pretvorbo kinetične energije toka vode v potencialno energijo. Namreč zaradi vodnega skoka čez prelivno napravo nastajajo viški energije in lahko dolvodno prihaja do pospešene erozije struge. Podslapje mora biti zasnovano tako, da je odporno proti vodni eroziji in da je omogočen prehod deročega toka v mirni tok. Za učinkovito zasnovu podslapja se uporabljajo računi konjugiranih višin toka vode dolvodno od prelivne naprave.

2.3 Hidrološki računski model

Hidrološko modeliranje od nas terja širok nabor znanja z najrazličnejših področij. Hidrološki model je pravzaprav projekcija naravnega procesa. Z njim se ob pomoči fizikalnih in matematičnih orodij skuša posnemati izreden naravni pojav, ki je obenem tudi projektni dogodek na katerega se dimenzionira zadrževalni sistem. Dogodek, ki ga ponazorimo z računskim modelom, sledi zakonitostim vodnobilančne enačbe. Zanima nas dogajanje, ko na prispevno površino v kratkem času pade izredno močno deževje in kako se ta padla voda preoblikuje v površinski odtok in nazadnje kako vpliva na pretok v iztočnem profilu. Model bomo izdelali s pomočjo računalniškega programa HEC-HMS. Omenjeni program je računalniški vmesnik, ki na podlagi vhodnih podatkov ter osnovnih matematičnih enačb poda zelene rezultate (hidrograme).

2.3.1 Programsko orodje HEC-HMS

Programsko orodje HEC-HMS je rezultat dela in razvijanja ameriškega korpusa inženirjev in je s stališča uporabe prosto dostopen. Kot je bilo omenjeno, program simulira odtok s prispevne površine, ki je posledica padavin. Vmesnik sestavljajo trije osnovni moduli, in sicer modul povodja, modul meteoroloških razmer in pa kontrolni modul. Vhodne podatke predstavljajo padavine, padavinske izgube, propagacija valov ter podatki o hidrogramu enote. Vhodni parametri temeljijo na različnih metodah in enačbah, zato se bomo osredotočili le na tiste metode, ki bodo uporabljene konkretno v tej nalogi.

Padavine so bistven dejavnik pri izračunu količine površinskega odtoka. V hidrološkem modelu Pešnice bomo uporabili padavine, ki so na podlagi zgodovinskega vzorca že preračunane za posamezne povratne dobe in bodo v meteorološki model vnesene kot sintetične padavine z določeno povratno dobo. V računalniški vmesnik je potrebno vnesti verjetnost pojava, čas intenzitete naliva ter pozicijo maksimalnih padavin, izraženo v odstotku, oz. ali se glavčina maksimalnih padavin zgodi na začetku, v sredini ali pa proti koncu nevihtnega dogajanja (Brilly in Šraj, 2005). Te karakteristike nevihtnega dogodka vplivajo tudi na obliko končnega poplavnega hidrograma.

Naslednji parameter, s katerim se operira v hidrološkem izračunu, so padavinske izgube. Padavinske izgube povedo, kolikšen del padavinske vode prispeva k površinskemu odtoku in kolikšen del se zadrži na povodju. HEC-HMS za izračun padavinskih izgub uporablja številne metode, med katerimi pa se bomo odločili za SCS-metodo, ki je za uporabo dokaj enostavna in ne zahteva veliko vhodnih podatkov. Metoda določa efektivne padavine kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal in vlažnosti tal, kar zajema naslednja enačba:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3)$$

Kjer je:

- Pe akumulirane efektivne padavine v času t ,
- P višina padavin v času t ,
- I_a začetne izgube,
- S maksimalno potencialno zadrževanje.

Pri tej metodi je pomemben faktor CN , ki pravzaprav zajema lastnosti in vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti. Vrednosti CN za posamezno rabo tal so podane v prilogi, ki je tudi osnova našim izračunom. Parameter CN je tudi v zvezi z maksimalnim potencialnim zadrževanjem S , kar izraža naslednja enačba:

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN}, \text{ SI metrični sistem} \quad (4)$$

CN lahko določamo na dva načina. V tej nalogi bomo upoštevali način, ki za oceno CN uporablja tabele in vključujejo rabo, vrsto tal ter predhodno vlažnost. Dejansko pa ima povodje različno pokritost, vrsto in rabo tal. V tem pogledu se celoten CN izračuna kot:

$$CN_{skupen} = \frac{\sum A_i \cdot CN_i}{\sum A_i} \quad (5)$$

Kjer je:

- CN_{skupen} enoten skupen CN za račun odtoka,
- CN_i CN posameznega dela podpovodja,
- A_i površina pripadajočega podpovodja.

Na podlagi podatkov rabe tal in hidrogeoloških lastnosti povodja oz. podpovodja bomo ocenili faktor CN , ki je vhodni podatek v HEC-RAS, poleg še začetnih izgub I_a . Začetne izgube določimo na podlagi empirične zveze med I_a in S :

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad (6)$$

Podatek o hidrogramu odtoka je naslednji vhodni parameter s katerim operiramo v hidrološkem izračunu. Površinski odtok je posledica učinkovitih padavin. Ostala voda se na padavinskem območju zadrži oz. ujame bodisi v tleh, na rastlinah, ali pa izhlapi in na pretoke v hidrografski mreži vpliva z zamikom. Na hitrost površinskega odtoka vpliva oblika povodja, naklon, gostota hidrografske mreže in druge lastnosti. HEC-HMS za pretvorbo učinkovitih padavin v površinski odtok uporablja dva principa. Prvi, ki ga bomo uporabili tudi v našem izračunu, je empirični model, drugi pa konceptualni model. Empirični model temelji na hidrogramu enote, ki predstavlja empirično zvezo med površinskim odtokom in učinkovitimi padavinami (Brilly in Šraj, 2005) in ne vključuje opazovanja notranjih procesov.

Pri hidrološkem modeliranju Pešnice bomo uporabili sintetični hidrogram enote in sicer Snyderjev HE. Pri uporabi sintetičnih hidrogramov je prednost v tem, da kadar se ne razpolaga z meritvami na povodju, se lahko uporabi lastnosti povodja, pridoblje z GIS- in CAD-orodji. Pri Snyderjevem HE bomo uporabili metodo Tulsa District, ki je namenjena predvsem naravnim povodjem s podeželskim značajem, med katere sodi tudi obravnavano povodje. Vhodna podatka, ki ju potrebujemo pri vnosu v HEC-HMS, sta čas zakasnitve T_p ter koeficient vrha hidrograma C_p . Enačba za izračun T_p se glasi:

$$T_p = 0,708 \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0,39} \quad (7)$$

Kjer je:

T_p čas zakasnitve [h],

- L dolžina glavnega toka od iztočnega profila do razvodnice [km],
- L_c dolžina glavnega toka od iztočnega profila do prereza na vodotoku, ki je najbližje centroidu povodja [km],
- S padec povodja [‰].

Koeficient maksimalnega pretoka C_p pa izračunamo na podlagi naslednje enačbe:

$$C_p = \frac{q_p \cdot T_p}{6,992} \quad (8)$$

Veličino q_p , ki nastopa v navedeni enačbi in predstavlja maksimalni pretok pa dobimo iz naslednje zveze:

$$q_p = 4,1515 \cdot T_p^{-0,92} \quad [\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2] \quad (9)$$

Za izračun potovanja poplavnega vala po strugi vodotoka HEC-HMS uporablja številne postopke, ki temeljijo na hidroloških podatkih in so jih razvili predvsem hidrologi (Brilly in Šraj, 2005). Pri hidroloških modelih so najbolj relevantne spremembe na dotočnem in iztočnem profilu vodotoka. Za propagacijo valov v hidrološkem izračunu Pešnice bomo uporabili Muskingumov model.

Omenjeni model temelji na oceni končnih razlik kontinuitetne enačbe 2. Glavna vhodna parametra, ki nastopata v modelu, sta naslednja parametra: K , ki predstavlja čas potovanja poplavnega vala skozi odsek, in X , ki predstavlja brezdimenzijski utežni koeficient. Parameter K lahko ocenimo po enačbi:

$$K = \frac{L}{v_w} \quad (10)$$

kjer sta L dolžina odseka, v_w pa hitrost poplavnega vala. Za potrebo te naloge bomo za vrednost poplavnega vala upoštevali inženirska navodila ameriške vojske EM 1110-2-1417 (USACE, 1994), ki za v_w predlaga oceno 1,33 do 1,67-krat povprečno hitrost, ki jo dobimo po Manningovi enačbi. Drug parameter X , ki ima rang vrednosti med 0 in 0,5, lahko določimo po inženirski presoji, lahko pa se poslužimo Cungove enačbe, ki se glasi:

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q_0}{B \cdot S_0 \cdot c \cdot \Delta x} \right) \quad (11)$$

Kjer je:

- Q_0 referenčni pretok vtočnega hidrograma,
- B širina vodne gladine,
- S_0 naklon dna struge,
- c hitrost poplavnega vala,
- Δx dolžina odseka.

Vsi naštetni in opisani vhodni podatki so predpogoj, da poženemo račun v HEC-RAS. V kontrolnem modulu je potrebno nastaviti začetni in končni čas, znotraj katerega se zajame simulacija površinskega odtoka. Poleg tega je v tem modulu pomembna tudi nastavitvev računskega intervala. Za določanje volumnov zadržanega odtoka je praktično, da vzamemo čim krajši računski interval, ki ga še dovoljuje HEC-HMS.

2.4 Hidravlični računski model

Naslednja projektna količina, ki je potrebna za načrtovanje suhega zadrževalnika, je maksimalni iztok $Q_{i,max}$. Iskana količina je odvisna od hidravlične prevodnosti dolvodne struge in dolžine odseka, ki ga želimo obvarovati pred razlivanjem. Obravnavani odsek Pešnice leži med zadrževalnikom in pa izlivom v reko Voglajno. Ta odsek Pešnice je močno občutljiv na poplavljanje, saj se v neposredni okolici nahaja urbano središče Šentjurja. S tega stališča je zelo

priporočljivo, da se izdelava hidravlični računski model obravnavanega odseka, ki bo dosledno upošteval vse okoliščine in pogoje. Med te okoliščine štejemo tudi stranske pritoke, ki v času visokih voda s svojim zaledjem prav tako vplivajo na prevodnost glavne struge, ter vse zožitve pretočnega profila, med katere štejemo predvsem premostitvene konstrukcije.

2.4.1 Programsko orodje HEC-RAS

To programsko orodje omogoča izvajanje računa enodimenzionalnega stalnega in nestalnega toka s prosto gladino, račun transporta sedimentnega materiala ter analizo temperature vode. Enodimenzionalni tok pomeni, da izračun uporablja zgolj eno komponento hitrosti, in sicer v vzdolžni smeri toka. HEC-RAS je namenjen tako naravnim kot umetnim odprtim strugam. Za potrebe te naloge je pomembno modeliranje s stalnim tokom. Račun s stalnim tokom lahko uporabimo za posamezen rečni odsek, za razvejan sistem reke ali pa za celotno mrežo kanalov. Program lahko deluje v mirnem, mešanem ali deročim režimu toka. Bistven vhodni podatek v HEC-RAS je geometrija vodotoka. Geometrijo struge definiramo s pomočjo prečnih prereзов oz. profilov.

Stalni tok

Osnovni računski koncept temelji na rešitvah enodimenzionalne energijske enačbe. Za nestalni tok na primer uporablja rešitve kontinuitetne enačbe. Energijske izgube program določa na podlagi trenja (pri čemer se uporablja Manningova enačba) in izgub zaradi zožitve in razširitve. V primerih (prehod v deroči tok, mostovi, prepusti), ko imamo nenadne spremembe vodnega toka v geometriji, pa uporablja momentno enačbo.

Glavni problemi, s katerimi se program v celoti ukvarja pri hidravlični prevodnosti stalnega toka so (Hydrologic Engineering Center, 2010):

- osnovni izračun stalnega toka med prečnima profiloma,

- porazdelitev hitrosti toka v prečnem profilu,
- določevanje Manningovega n_g v sestavljenem koritu,
- izbira utežnega koeficienta hitrosti α ,
- določanje trenjskih izgub,
- izgube zaradi zožitve in razširitve,
- procedura računa,
- določanje kritične globine,
- uporaba momentne enačbe,
- omejitve modela stalnega toka.

Račun stalnega toka temelji na iterativnem računanju energijske enačbe med prečnimi profili s pomočjo standardne postopne metode. Energijska enačba se torej glasi (Hydrologic Engineering Center, 2010):

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (12)$$

Kjer je:

- Z_1, Z_2 višina oz. kota dna glavne struge v prečnih profilih,
 Y_1, Y_2 višina gladine vode v prečnih profilih,
 a_1, a_2 utežni koeficient hitrosti,
 g gravitacijski pospešek,
 h_e višina energijskih izgub.

Višina energijskih izgub h_e med dvema prečnima profiloma vključuje tako trenjske kot izgube zaradi zožitve in razširitve in jo izrazimo takole:

$$h_e = LS_f^* + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (13)$$

Kjer je:

- L dolžina odseka,
- S_f^* reprezentativni padec zaradi trenja med dvema profiloma,
- C koeficient zaradi izgub zožitve in razširitve.

Dolžino odseka dobimo z izrazom:

$$L = \frac{L_{lob}Q_{lob}^* + L_{ch}Q_{ch}^* + L_{rob}Q_{rob}^*}{Q_{lob}^* + Q_{ch}^* + Q_{rob}^*} \quad (14)$$

Kjer je:

- L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} dolžine med profiloma v levem in desnem poplavnem območju ter v glavni strugi,
- $Q_{lob}^*, Q_{ch}^*, Q_{rob}^*$ aritmetične sredine pretokov med profiloma v obeh poplavnih območjih in v glavni strugi.

Naj dodamo še, da HEC-RAS za račun hirosti v pretočnem profilu stalnega toka uporablja vsesplošno Manningovo enačbo, ki se glasi:

$$v = \frac{1}{n_g} R^{2/3} S^{1/2}, \text{ SI metrični sistem} \quad (15)$$

Kjer je:

- R hidravlični radij,
- S padec struge,
- n_g Manningov brezdimenzijski koeficient trenja.

Iskano višino vodne gladine nato HEC-RAS v posameznem prečnem profilu določi z iteracijskim reševanjem enačb 13 ter 14 med dvema prečnima profiloma. Računski postopek oz. procedura poteka:

1. program predpostavi višino vodne gladine v gorvodnem prečnem profilu,
2. določi pripadajočo porazdelitev hitrosti toka v tem prečnem profilu,
3. z vrednostjo v 2. koraku nato izračuna reprezentativni padec zaradi trenja S_f^* med obema profiloma in jo vnese v enačbo 13,
4. vrednosti, dobljene v korakih 2 in 3, vnese v enačbo 12 za dolvodni prečni profil,
5. primerja vrednosti višine vodne gladine iz 4. koraka s predpostavljeno vrednostjo višine vodne gladine. Če se vrednosti ne ujemata, korake od 1 do 5 ponavlja toliko časa, da se vrednosti ujemata z največjo razliko 0,03m.

Kakor pri HEC-HMS je tudi tu pomembna relevantnost vhodnih podatkov. V prvi vrsti je potrebno izdelati shemo vodotoka in nato vnesti geometrijo struge. Geometrija struge podajamo s prečnimi profili, ki so osnovni elementi pri iteracijskem preračunavanjem višine vodne gladine. HEC-RAS v prečnem prerezu vodotoka loči tri osnovna območja, in sicer desno in levo poplavno območje ter glavno strugo. V geometrijo struge je prav tako potrebno vnesti še Manningov koeficient trenja, koeficient zožitve in razširitve ter dolžino med profili. Pri simulaciji z stalnim tokom poleg pretočnih profilov vnesemo še robne pogoje, ki pa so odvisni od vrste režima toka.

2.5 GIS-in CAD-orodja

V sodobnem času je inženirsko delo neločljivo povezano z računalniškimi orodji, ki močno poenostavijo reševanje inženirskih problemov. Danes lahko v navidezno okolje umeščene vodne sisteme upravljamo z namiznim računalnikom, ki ima ustrezno programsko opremo (Gosar, 2008). Večini hidrotehničnih inženirjev sta kot sistema za obravnavanje prostorskih informacij poznana dvorazsežni geografski informacijski sistem (GIS) ter trirazsežni sistem za računalniško

podprto načrtovanje (Computer added design-CAD). V fazah hidrološkega in hidravličnega modeliranja sta omenjena sistema s stališča prostorske analize in pridobivanja zemeljske geometrije nepogrešljiva.

V splošnem so GIS namenjeni za potrebe hranjenja, vzdrževanja in obdelave velike količine prostorskih informacij. GIS okolja delujejo na principu hierarhičnega združevanja različnih podatkovnih slojev, kar omogoča celovitejši in natančnejši vpogled v fizični model narave. Osnovni prostorski elementi oz. gradniki, na katerih temelji vektorska analiza v GIS-u, so točka, linija in pa poligon. Osnovni gradniki so opremljeni z lokacijskimi ter atributnimi podatki. Lokacijski podatki določajo osnovnim gradnikom lokacijo v prostoru, atributni pa njihove lastnosti.

V tej nalogi bomo za GIS okolje uporabili brezplačno in odprtokodno aplikacijo MapWindow GIS Desktop. Omenjena aplikacija je odprtokodni projekt, v njem pa lahko s svojimi izkušnjami sodelujejo vsi širom sveta. Orodje MapWindow lahko s pridom uporabljamo kot namizje za GIS-okolje, za distribucijo podatkov ter tudi za razvoj osebnih, po meri izdelanih orodij za prostorsko podatkovno analizo (Watry et. al, 2007). Ima privzet celoten standard vizualizacije GIS-sistemov ter poleg tega še možnost urejanja z DBF-atributnimi tabelami, urejanje poligonov ter pretvornik podatkovnih formatov. Podpira številne podatkovne formate, med katerimi so tudi SHP, GeoTIFF, ESRI ArcInfo ASCII in binarne mreže. Posebnost tega orodja so tudi vtičniki, ki jih lahko najdemo na spletu ali pa jih izdelamo po svoji meri. Različni vtičniki (angl. plugins) lahko izvršujejo različne operacije pri analizi in manipulaciji prostorskih digitalnih podatkov.

Za konkretno prostorsko analizo so potrebni različni podatkovni sloji. Prva bistvena zahteva podatkovnih slojev je, da so ustrezno enotno prostorsko locirani, saj le na ta način lahko združujemo različne podatkovne sloje. Pri tem je pomembno predstavljanje lokacije zemeljske površine na karti oz. sloju. Osnovni zahtevi za prikaz realnih geografskih podatkov v GIS sta georeferenčni sistem (oblika zemlje) in pa kartografska projekcija. Podatkovni sloji, uporabljeni

v tej nalogi, so v Gauß-Krügerjevi kartografski projekciji z georeferenčnim sistemom GRS80. V nalogi za obravnavano območje uporabljamo naslednje podatkovne sloje:

1. DOF 025 ter DOF 050 obravnavanega območja
2. TTN 5 obravnavanega območja
3. DMV 5 obravnavanega območja
4. Hidrogeološka karta Slovenije
5. Raba površin obravnavanega območja
6. GERK-i obravnavanega območja.

CAD-sistemi za razliko od GIS-sistemov ne upoštevajo topoloških razmerij med posameznimi objekti. Delujejo na prikazovanju pozameznih detajlnih prostorskih problemov. Je tipično grafično računalniško orodje, podprto z vektorskim načinom manipuliranja z geometrijskimi elementi. Omogoča nam tridimenzionalno prikazovanje objektov, lahko pa operiramo tudi v dvodimenzionalnem okolju. V nalogi bomo uporabljali Autodeskovo aplikacijo AutoCAD-2006.

3 NAČRTOVANJE SUHEGA ZADRŽEVALNIKA

3.1 Splošno

Pred umestitvijo zadrževalnika je potrebno ugotoviti vse okoliščine in omejitve, ki so prisotne na obravnavanem odseku. Na podlagi te analize se bomo odločili oz. zasnovali najprimernejši zadrževalni sistem. Bistvena vprašanja, ki se upravičeno postavljajo, so naslednja:

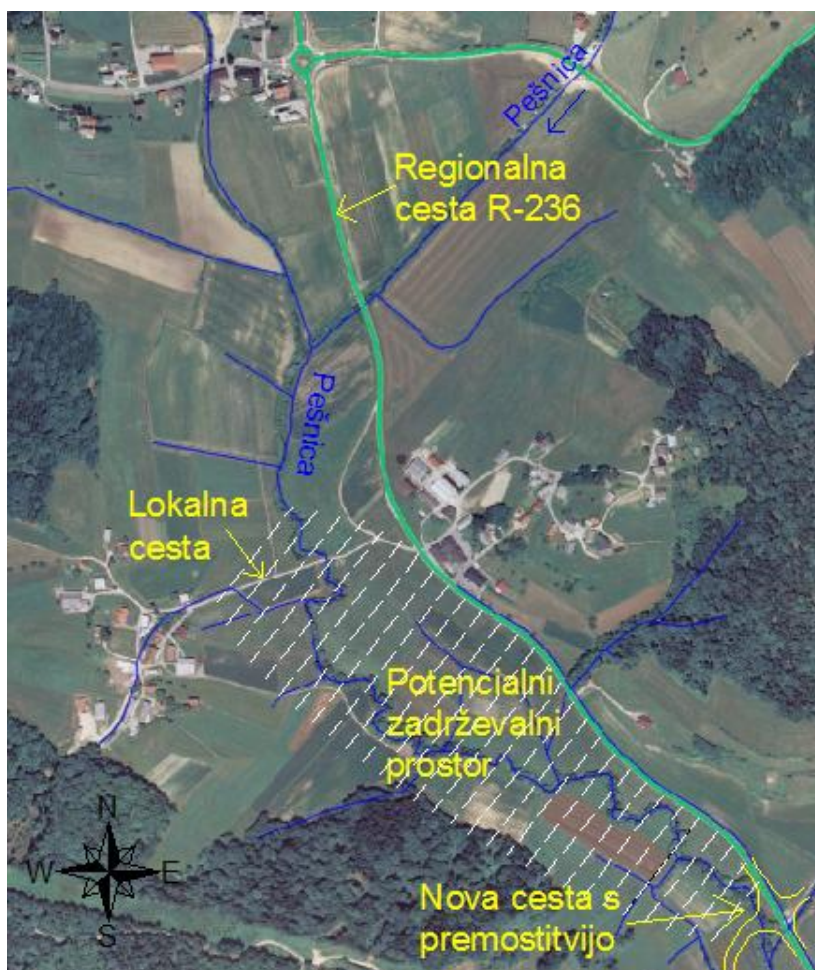
1. Kolikšen volumen zadrževalnega bazena je na razpolago?
2. Katere so topografske omejitve na lokaciji zadrževalnega bazena?
3. Kje postaviti pregrado?
4. Kakšno prepustno napravo uporabiti za prevajanje visokovodne akumulacije?
5. Katero projektno poplavo izbrati pri načrtovanju suhega zadrževalnika?
6. Kakšna je hidravlična prevodnost dolvodne struge?

Na vsa ta vprašanja je potrebno najti odgovore, ki bodo nakazali usmeritve načrtovanja in pomagali oblikovati optimalni zadrževalni sistem.

3.2 Zadrževalni bazen in izbira lokacije jezu

Iščemo najprimernejšo lokacijo zadrževalnega bazena na širšem območju pred novo cesto. Zagotoviti je potrebno čim večji razpoložljiv prostor, pri tem pa se moramo izogniti vsem oviram, kot so stanovanjski, prometni in infrastrukturni objekti. Na osnovi GIS-analize obravnavanega območja smo prišli do ugotovitve, da smo pravzaprav precej omejeni z razpoložljivim volumnom bazena. Dolina je U oblike z izrazito širokim dnom (slika 2). Povprečen padec dna doline znaša 2,5 ‰ in s takšnim padcem se dno doline dviguje še daleč v gorvodni smeri. Če pogledamo celoten prostor gorvodno od nove ceste, opazimo regionalno cesto, ki pelje vzdolž doline, manjša strnjena naselja in pa lokalno cesto, ki prečka potencialni

zadrževalni prostor 900 m gorvodno od nove ceste (slika 2). Ostalo so njivske, travniške in gozdne površine. Najbolj moteča je lokalna cesta, ki prečka poplavno polje. Pred zalitjem regionalne ceste se lahko izognemo le z ureditvijo obcestnega nasipa na tistih delih, kjer kota cestišča pade pod maksimalno zajezbo. Na nekaterih mestih je nasip cestišča dovolj visok, tako da ni potrebna ureditev dodatnih nasipov.

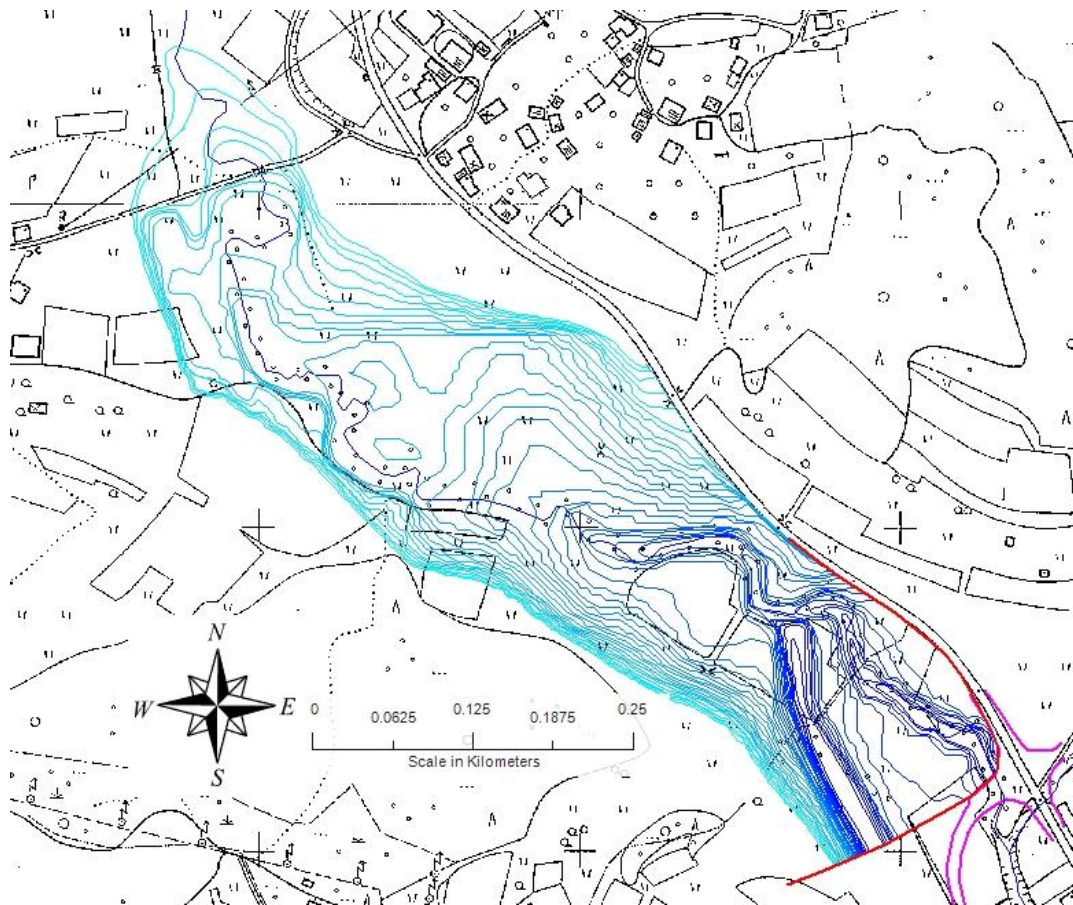


Slika 2: Potencialni zadrževalni prostor pred novo lokalno cesto

Iz razvidenega nam v bistvu preostane le ena zadovoljiva varianta, in sicer prostor med lokalno cesto in novo premostitvijo (slika 2). Gorvodno od lokalne ceste praktično nimamo primerne prostora. V prvi vrsti nas omejuje regionalna cesta, ki prečka Pešnico, po drugi strani pa

moramo upoštevati tudi kriterij, da se za potrebe zadrževalnega bazena zapre dolino na najožjem delu njene širine

Torej naš potencialni poplavni prostor obsega območje med novo premostitvijo in lokalno cesto gorvodno. Najožji del doline v tem primeru je 200 m gorvodno od nove lokalne ceste. Vendar iz potrebe pridobiti čim večji volumen poplavnega bazena, bomo izbrali lokacijo jezusa, ki bo kar se da blizu nove ceste oz. premostitve. Ob upoštevanju robnih pogojev poplavnega bazena smo na podlagi predhodne analize digitalnega modela višin z ločljivostjo 5. metrov (DMV 5) ocenili, da razpoložljivi poplavni prostor med novo cesto in cesto v zaledju znaša okoli 160 000 m³.



Slika 3: Prikaz zadrževalnega bazena z višinskimi plastnicami

Ali dana prostornina zadošča za zadržanje odločilnega poplavnega vala, je odvisno od njegove pogostnosti in pa količine, ki jo bomo ocenili v nadaljevanju. Kljub vsemu je iz praktičnih in ekonomskih razlogov bolje, da iz potrebe po dodatnem volumnu nadvišamo le lokalno cesto, kot pa če bi se odločili za gorvodnejšo lokacijo zadrževalnika, kjer bi bilo potrebno nadvišati še regionalno cesto.

3.3 Izbira projektnega hidrograma

Dejstvo je, da so omejitve glede razpoložljivosti koristnega poplavnega bazena. Ni vedno dobro dimenzionirati naprave na največjo možno projektno vrednost, saj je to nesorazmerno povezano z velikimi stroški investicije, lahko se zgodi, da naprava zaradi predimenzioniranosti nikoli ne doseže predvidene obremenitve. Prav tako ni dobro izbrati premajhne projektne vrednosti, kajti napravo lahko že v začetni fazi obratovanja doleti večja poplava, tako je lahko škoda še večja, kot bi sicer bila brez naprave. Oprli smo na predpise oz. standarde, ki z nekimi okvirnimi vrednostmi jamčijo optimalno izbiro projektne vrednosti. Za dimenzioniranje običajne poplavne akumulacije smo kot izhodišče vzeli nemške standarde (DIN). Naslednja preglednica po DIN predlaga okvirne vrednosti povratnih dob glede na rabo dolvodnih površin:

Preglednica 1: Povratne dobe za dimenzioniranje običajnega prostora poplavne akumulacije (prirejeno po DIN 19700 T 12)

Razred	Raba površin	Povratna doba T_n
1	Močno pozidano območje	100
2	Pretežno pozidano območje, regionalne prometnice	50 do 100
3	Posamezne zgradbe, nestanovanjski objekti	25 do 50
4	Kmetijske intenzivne površine	10 do 25
5	Kmetijske manj intenzivne površine	5 do 10

Glede na obstoječe stanje smo ocenili, da obravnavano območje sodi v 2. kategorijo. Med okvirnimi vrednostmi smo izbrali 100-letno povratno dobo. Torej naš običajni poplavni prostor bo ščitil poplavni val z 1 %-no verjetnostjo pojava.

3.4 Izbira objekta za prevajanje poplavne vode

Da jez služi svojemu namenu mora vsebovati t.i. dušilko, ki zavira tok vode, na ta način dosežemo željeno redukcijo konice poplavnega vala. Načinov izvedbe prepuščanja vode je več (prelivanje, iztok pod pritiskom itd.). Ker želimo reguliran iztok, se bomo odločili za zaporni sistem oz. zapornico s prelivnim načinom prepuščanja vode. Pomični jez v tem primeru velja kot enonivojska prepustna naprava, tako, da zadrževalni sistem ne bo vseboval dodatnih razbremenilnih objektov. Namreč prelivne naprave imajo že same po sebi lahko velik razbremenilni učinek. Objekt za prevajanje poplavne vode bosta sestavljala fiksni prag in pa zapornica. Iz ekonomskega in prostorskega vidika je za predvideni suhi zadrževalnik pomembno, da je zaporni sistem čim bolj enostaven, avtomatiziran in še vedno sorazmerno zanesljiv.

Za primerjavo predlagamo dve izvedbi zapornic, ki sta po načinu izvedbe dokaj enostavni. Ena varianta je lahko gumena membrana (vrečasti jez) z zračnim polnjenjem, druga pa ravna zaklopna zapornica. Načrtovanje pomičnega jezua je odvisno od hidroloških in hidravličnih parametrov, ki jih bomo določili v nadaljevanju.



Slika 4: Primer izvedbe jezua z gumeno membrano (www.savatech.si)

3.5 Določevanje projektnega hidrograma

Za izračun poplavnega hidrograma bomo uporabili programsko orodje za modeliranje površinskega odtoka HEC-HMS. Smisel računskih modelov je tudi umerjanje. V tej nalogi umerjanja ni mogoče izvesti, saj zahteva veliko merilnih inštrumentov na povodju in daljši opazovalni čas, česar nimamo na razpolago. Oprli se bomo na nekatere ocene pretokov in lastno presojo ter tako poizkušali izdelati model v razumskih okvirjih, ki bodo dajali smiselne rezultate.

3.5.1 Opis vodozbiralne površine Pešnice

V celoti gledano imamo v Republiki Sloveniji na prvi stopnji 6 glavnih padavinskih območij oz. porečij, ki pa se naprej delijo še na manjša prispevna območja. Pešnica se izliva v reko Voglajno, ki spada v porečje Savinje, ta pa je del porečja Save, ki je tudi naše največje porečje, saj zaseda kar polovico celotne površine Republike Slovenije. Vodozbiralna površina Pešnice sodi po redu velikosti oz. po šifrantu padavinskih območij v četrto raven s šifro 1686 in se uvršča med manjše oz. povirske vodozbiralne površine. Celotna površina povodja znaša 30,48 km². Povodje je približno oblike podolgovatega pravokotnika in je orientirano od severa proti jugu. Njena severna razvodnica je tudi meja med dravinjskim in posavskim porečjem oz. meja med povodjem Save in Drave.

Povodje geografsko leži v subpanonskemu pasu, za katerega je kot reliefna kategorija značilen srednje do visok gričevnat svet. Natančneje leži v območju, kjer se stikajo Celjska kotlina na zahodu, Konjiško-Bočko hribovje na severu in Voglanjsko-Soteljsko gričevje na jugozahodu. V povprečju gre za srednje strm teren. Spletni pregledovalnik kart, ki je dostopen na MKGP-portal, na podlagi karte DMR 5, za obravnavano povodje poda povprečni naklon terena 20,5 % (11,59°). Severno področje povodja je izrazito hribovito z dokaj strmim terenom, kjer so zajeti južni obronki Konjiškega hribovja. Nekateri hribi dosežejo višine tudi do okoli 600 m. Najvišji vrh je Zidarična s 601 metri. Srednji del povodja je veliko položnejši, kjer povprečna višina

znaša 280 nadmorske višine. Zanj so značilne obsežnejše ravnine, ki po tektonskem nastanku sodijo k Celjski kotlini in pa posamezne manjše vzpetine (nizko Voglanjsko gričevje). Južni del povodja je nekako nadaljevanje osrednjega položnejšega dela, le da je tu še izrazitejše Voglanjsko gričevje, vrhovi pa dosegaajo do 350 nadmorske višine.

Celotno povodje ima v glavnem z vidika pokrovnosti tal podeželjski značaj oz. lahko rečemo, da gre za ruralno povodje. S pomočjo GIS in podatkovnega sloja rabe tal, ki je dostopen na spletnem pregledovalniku ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (Dejanska raba kmetijskih zemljišč, MKGP, 2010), smo za celotno povodje določili naslednje deleže posameznih vrst rabe tal:

Preglednica 2: Deleži posameznih vrst rabe tal za celotno povodje Pešnice

Vrsta rabe tal	Delež [%]
Gozd	42,2
Travniki	31,8
Njive	10,9
Urbane površine	8,4
Ostalo	6,7

Ugotovimo lahko, da največji delež predstavljajo gozdne površine, nato si sledijo travniki, njive in pa urbane oz. pozidane površine. O močno pozidanih površinah v smislu »zapečatenih« tleh bi težko govorili, še najbolj se k temu približa območje ob izlivu Pešnice, kjer leži manjše mesto Šentjur. Ostalo so manjša strjena naselja in vasi. Večja naselja na povodju Pešnice so še: Dole, Trnovec pri Dramljah, Dramlje, Pletovarje itd. Omenimo lahko, da poleg manjših lokalnih cest obravnavano območje prečkajo še regionalni cesti R1-234 in R3-687 ter avtocesta A2.

Eden izmed bistvenih dejavnikov pri modeliranju površinskega odtoka je tudi poznavanje hidrogeoloških značilnosti tal, saj te vplivajo na intenziteto infiltracije padavin oz. na efektivnost padavinske vode. Analiza temelji na podlagi podatkovnih slojev z ARSO-vega spletnega

portala. Vodozbiralno površino Pešnice tvorita dve skupini, značilni po svojem geološkem nastanku. Prvo, ki zajema bolj ravninski svet povodja, predvsem rečne ravnice, tvorijo glinasto-prodni zasipi, za katere so značilne mešane zemljine, kot so glinasti, meljni in peščeni prodi. Zanje je značilno, da so nastali z fluvialnimi nanosi na tektonsko pogreznjen teren. Za takšna tla na tem območju je značilna medzrnska poroznost in pa majhen sloj podtalne vode z razmeroma majhno izdatnostjo (Hidrogeološka karta, ARSO, 2004). Ostali del (bolj razgiban) pa po nastanku sodi med terciarne sedimente (lapor), ki jih je dodatno še preoblikovala rečna erozija. Za ta del so značilni zbiti peski, meljevci, glinovci ter slabo litificirani laporji. Na teh območjih se podtalnica nahaja v obliki razpoklinske ali pa medzrnske vode. Tudi tu gre za plitve vodonosnike z razmeroma majhno izdatnostjo. Ponekod je značilna za vodo polprepustna plast, imenovana tudi akvitard. Najdemo pa tudi pas neprepustne plasti (področje v okolici Dramelj), ki je praktično brez virov podtalne vode.

Hidrologija

Lokacija povodja leži v subpanonski Sloveniji, kjer se že kažejo vplivi celinskega podnebja. Posledica takšne klime je tudi manjša letna količina padavin v primerjavi z zahodnejšimi deli Slovenije. Iz povprečja referenčnega obdobja 1961-1991 za to območje velja, da pade letno od 1100 do 1200 mm. V našem primeru za potok Pešnico ni na voljo merilnih naprav, ki bi merile dejanski pretok daljšega časovnega obdobja, kar bi nam zelo pripomoglo pri dimenzioniranju. Zato bomo za določevanje maksimalnih pretokov uporabili podatke o ekstremnih padavinah. Na dotičnem območju se nahaja le ena merilna postaja, in sicer padavinska postaja Šentjur, vendar s stališča inženirske prakse pridobljeni podatki s te postaje niso uporabni, ker meritve potekajo samo na beleženju višine padavin. Za dimenzioniranje protipoplavnih objektov so merodajni podatki pridobljeni z ombrografi, ki zapisujejo čas in količino dežnih padavin. Najbližja meteorološka postaja s tovrstno merilno napravo, ki sodi v enak padavinski režim kot obravnavano povodje, je v Celju. Podatki s te postaje so za inženirske potrebe lahko uporabni za obravnavano lokacijo.

3.5.2 Določevanje vhodnih podatkov v hidrološkem modelu Pešnice

Geometrija povodja Pešnice

Povodje je razdeljeno na 5 podpovodij. Ker nas zanimajo vtočni hidrogram na lokaciji suhega zadrževalnika oz. bodoče ceste, bomo v izračunu upoštevali le vodozbiralno površino do omenjene lokacije.



Slika 5: Prikaz vodozbiralne površine do zadrževalnika, razdeljeno na podpovodja

Površine posameznih podpovodij ter geometrijskih parametrov glavnih vodotokov podpovodij smo določili s pomočjo AutoCAD-aplikacije. Topografske parametre (padec povodja) pa s pomočjo ARSO-vega spletnega pregledovalnika. Vsi potrebni podatki so navedeni v naslednji tabeli:

Preglednica 3: Geometrijski ter topografski podatki obravnavanega povodja

Podpovodje	A [km ²]	L [km]	L _{ca} [km]	S [%]
PPO1	9,21	7,58	5,07	2,7
PPO2	7,93	7,48	4,63	2,5
PPO3	1,03	1,13	0,62	1,0
PPO4	6,74	5,77	3,85	1,2
PPO5.1	0,91	1,47	0,90	1,5

Padavinski projektni dogodek

V našem modelu bomo uporabili sintetične padavine. Vzeli bomo padavine določene povratne dobe z najbližje meteorološke postaje Celje, ki leži približno 10 km proč od središča našega povodja. V preglednici 4 so podatki povratnih dob za ekstremne padavine, ki so s posebno metodo statistično analizirani na osnovi dolgoletnega opazovanega vzorca.

Preglednica 4: Povratne dobe za ekstremne padavine (ARSO, 2005)

Postaja: CELJE									
Obdobje: 1970 - 2005									
Trajanje padavin	POVRATNA DOBA								
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let	250 let	
5 min	6	7	10	11	13	15	16	18	mm
10 min	8	11	15	17	20	23	25	28	mm
15 min	10	14	19	23	28	31	35	39	mm
20 min	11	16	23	27	33	37	41	47	mm
30 min	12	19	28	35	42	48	54	61	mm
45 min	14	22	34	41	51	58	65	74	mm
60 min	15	24	37	45	55	63	71	81	mm
90 min	18	28	41	49	61	69	77	88	mm
120 min	20	30	44	53	65	74	83	94	mm
180 min	24	34	48	57	68	77	85	96	mm
240 min	28	38	51	60	71	79	88	98	mm

300 min	31	40	54	62	73	82	90	101	mm
360 min	33	43	56	65	76	85	93	103	mm
540 min	39	49	63	72	84	92	101	112	mm
720 min	42	53	68	78	91	100	109	122	mm
900 min	44	56	72	83	97	107	118	131	mm
1080 min	46	58	76	87	102	112	123	137	mm
1440 min	49	63	82	94	110	122	133	149	mm

Navedeni podatki za povratne dobe ekstremnih padavin temeljijo na časovni vrsti od 1970 do 2005. Povratne dobe so izračunane po Gumblovi metodi. Za vhodne podatke so uporabljeni dolgoletni nizi 5-minutnih meritev višine padavin z ombrografi.

S kakšno verjetnostjo padavinskega dogodka bomo dimenzionirali običajni zadrževalni prostor, smo se odločili na podlagi nemških standardov za gradnjo visokovodnih zadrževalnikov. Predpostavljamo, da padavine po količini enakomerno padejo po celotni vodozbiralni površini Pešnice. Za pozicijo maksimalnih padavin smo privzeli, da padejo na sredini celotnega 24-urnega nevihtnega dogodka. Trajanje časa maksimalne intenzitete padavin pa je 3 ure. Takšno vrednost smo izbrali na podlagi informacij ARSO-vega poročila o izjemnih poplavah septembra 2007. Kokretno za Pešnico ni podatkov o padavinah in pretokih v času povodnje, je pa razvidno iz podatkov z najbližjih meteoroloških postaj, da so se maksimalne padavine zgodile v razmaku od 3 do 6 ur. Dejstvo je, da bolj kot je krajši čas naliva, višja je konica hidrograma. Vendar je za povodje Pešnice težko pričakovati tako kratke intervale naliva zaradi relativno majhne razgibanosti terena in pa geografske lege. Upoštevali smo tudi oceno 100-letnega pretoka, ki je bila opravljena s strani podjetja Nivo, d.o.o., in znaša $81 \text{ m}^3/\text{s}$ za celotno povodje.

Padavinske izgube

CN-faktorje posameznih podpovodij ob pomoči GIS-aplikacije smo določili na podlagi prilog za določevanje CN-faktorja (Brilly in Šraj, 2005) in enačbe 5. Po SCS-klasifikaciji zemljin in infiltracijskih izgub smo povodje na podlagi hidrogeološke analize uvrstili v B skupino, vendar z dvema podskupinama. Območju, ki leži pretežno na poplavnih ravninah, smo pripisali dobre

hidrološke pogoje, ostalemu območju z nekoliko slabšo infiltracijsko sposobnostjo pa slabše hidrološke pogoje. Za določitev padavinskih izgub potrebujemo še začetne izgube I_a ter maksimalno potencialno zadrževanje S . Uporabili smo enačbe 4 in 6. Izračunane vrednosti prikazuje naslednja tabela:

Preglednica 5: Vrednosti parametrov padavinskih izgub po SCS-metodi za posamezna podpovodja Pešnice

Podpovodje	CN	S [mm]	I_a [mm]
PPO1	64,25	141,31	28,26
PPO2	63,18	148,05	29,61
PPO3	68,59	116,32	23,26
PPO4	63,28	147,38	29,48
PPO5.1	66,42	128,39	25,68

Parametri Snyderjevega hidrograma enote

Pri izračunu vrednosti T_p in T_c smo uporabili enačbe 7, 8 in 9 na podlagi podatkov iz preglednice 2. Končne rezultate vsebuje naslednja preglednica:

Preglednica 6: Vrednosti parametrov Snyderjevega hidrograma enote

Podpovodje	T_p	T_c
PPO1	1,545	0,615
PPO2	1,507	0,614
PPO3	0,393	0,551
PPO4	1,462	0,612
PPO5.1	0,466	0,559

Propagacija poplavnega vala

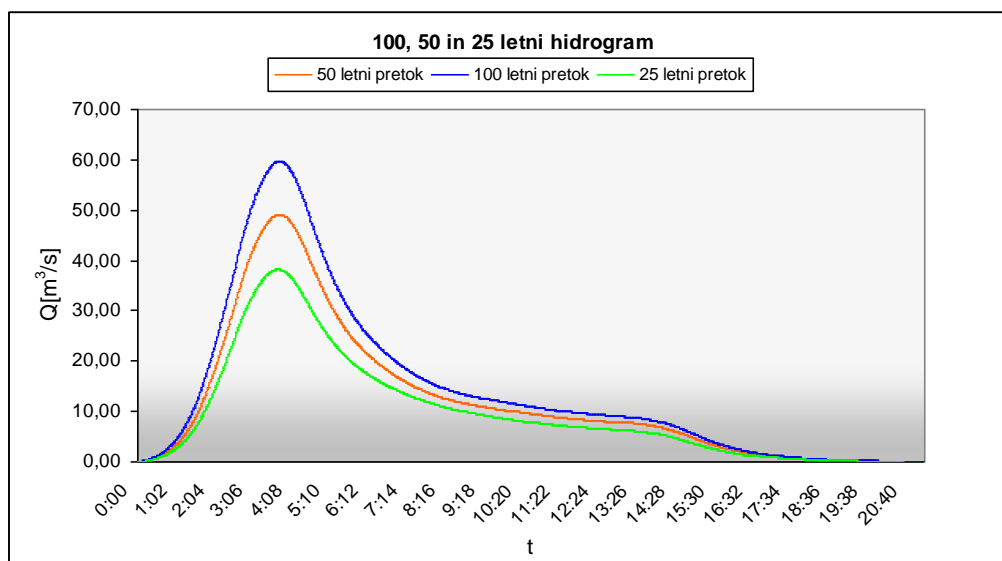
V hidrološkem modelu imamo dva odseka za propagacijo valov, ki tečeta skozi povodji PPO3 in PPO5.1. Pri tem smo določili še parametra K in X z uporabo enačb 10 ter 11.

Preglednica 7: Vrednosti parametrov K in X

Odsek	L [m]	b [m]	I [-]	v [m/s]	K [-]	X [h]
Odsek 1	1127,20	3,5	0,004	1,536	0,44	0,20
Odsek 2	1467,21	4	0,0025	1,2	0,36	0,34

3.5.3 Rezultati računa hidrološkega modela Pešnice z HEC-HMS

Zadnje dejanje hidrološkega modeliranja je zagon računa v HEC-HMS. Končni rezultat, ki nas najbolj zanima, je hidrogram za 100-letno vodo v iztočnem profilu obravnavanega povodja oz. v točki, kjer bo stala pregrada. Naslednji graf prikazuje hidrograme z 100-, 50- in 25-letno povratno dobo s 3-urnim trajanjem naliva.



Grafikon 1: Diagram, ki prikazuje 100-, 50- in 25-letni hidrogram s 3-urnim trajanjem naliva

Maksimalni pretok pri 100-letni vodi do mesta pregrade znaša $59.70 \text{ m}^3/\text{s}$. Če k 100-letnemu pretoku prištejemo še zaledno vodo od pregrade dalje do iztočnega profila, dobimo približno vrednost ocene 100-letnega pretoka za celotno povodje. Pri 50-letnem pretoku znaša maksimalna vrednost $49,10 \text{ m}^3/\text{s}$, pri 25-letnem pa $38,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.6 Hidravlični model Pešnice na odseku od pregrade do izliva

Ker gre za močno regulirano strugo, razen na mestu nove premostitvene konstrukcije in gorvodno, praktično ni več maneverskega prostora, ki bi omogočal dodatne ukrepe za povečevanje prevodnosti struge, po drugi strani obstajajo še omejitve z razpoložljivim poplavnima bazenom. Odločili smo se, da poiščemo takšen $Q_{i,max}$, ki ustreza dejanskemu stanju hidravlične prevodnosti struge. Za določevanje geometrije struge in shematičnega modela Pešnice smo uporabili GIS-orodje in podatkovne sloje obravnavanega odseka (DOF 25, DMV 5, TTN 5). V pomoč so nam bili tudi podatki prečnih profilov Pešnice, ki jih podjetje Nivo, d.o.o., uporablja kot merilo pri čiščenju rečnega korita.

3.6.1 Opis pretočnega profila Pešnice

Shema oz. obravnavani odsek Pešnice s pritoki obsega področje med bodočo lokalno cesto in pa njenim izlivom, dolg pa je 1200 m. Odsek je razdeljen na 5 pododsekov. V hidravličnem modelu smo uporabili 64 profilov, ki so medsebojno oddaljeni od 30 do 50 m. V izračunu nismo upoštevali nove premostitvene konstrukcije, predvsem iz vzroka, da ni na voljo natančnih podatkov o novem mostu oz. se na tem mestu dopuščajo odprte možnosti. Predpostavili smo, da bo projektant ob odločitvi izgradnje zadrževalnika dimenzioniral takšen most in pripadajoči pretočni profil, ki bo hidravlično minimalno ustrezal našemu $Q_{i,max}$. Na odseku lokacije mostu, kjer Pešnica izgublja reguliran videz in prehaja v meandrijočo obliko, smo pri shemi Pešnice upoštevali zavrženo os, kar je predpostavljeno tudi v idejni študiji nove ceste, in tiste hidravlične lastnosti, ki veljajo dolvodno.



Slika 6: Shematični prikaz sistema Pešnice na odseku med novo cesto in izlivom

Pretočni profili Pešnice so na obravnavanem odseku zaradi procesov zamuljevanja in odlaganja umazanije podvrženi spreminjanju svoje oblike (slika 7). S tega stališča je takšno spreminjajoče stanje izredno težko upoštevati v geometriji Pešnice. Zato smo privzeli kar prečne profile očiščenega korita. Neočiščeno korito bomo v računskem modelu upoštevali z sorazmerno višjim Manningovim koeficientom n_g . Čiščenje korit na obravnavanem odseku se izvaja vsake 2 leti s strani podjetja Nivo, d.o.o.



Slika 7: Fotografija struge Pešnice

3.6.2 Hidravlično modeliranje s programom HEC-RAS

Kot je bilo že povedano, je obravnavani odsek v veliki meri reguliran. Bregovi in glavna os sledijo ravnim linijam skoraj brez kakršnih koli nepravilnih oblik. Glavna struga je sestavljena iz oblik. Poglobljeni osrednji del struge tvori osnovno korito za prevajanje nizke in srednje vode. Dno je iz zbite zemljine in na nekaterih mestih tlakovano s kamnom ter prekrito z drobnimi plavinami. Bregovi osrednjega poglobljenega korita so obloženi s kamnom. Nato se osnovno korito močno razširi v prostor, ki je namenjen predvsem pretokom manjše pogostnosti. Površina brežin je zatravljena. Za določevanje Manningovega koeficienta trenja n_g smo uporabili preglednico na način, ki ga je predlagal W.H. Shen (Steinman, 1999). Posamezne vplive različnih faktorjev struge lahko zajamemo z naslednjo enačbo:

$$n_g = \left(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \right) m \quad (16)$$

Pri čemer velja:

n_0, n_1, n_2, n_3, n_4 vpliv materiala, vpliv stopnje hrapavosti oboda, vpliv neprizmatičnosti, relativni vpliv ovir v koritu, vpliv zaraslosti z vegetacijo,
 m vpliv stopnje meandriranja.

Korito je iz zemljinkega materiala, kar k izhodiščni vrednosti prinese 0,02. Ostali vplivi, ki smo jih zajeli v oceni n_g , so še stopnja hrapavosti z dodatkom 0,005 k izhodiščni vrednosti, neprizmatičnost z dodatkom 0,005 in vpliv zaraslosti z vegetacijo z dodatkom 0,005. Vpliv meandriranja je majhen, kar ne spremeni skupne vrednosti n_g . Končna ocena vrednosti n_g za celotni odsek znaša 0,035. Ocenjena vrednost Manningovega koeficienta je nekoliko višja kot bi bila lahko sicer. Razlog zato je predvsem v tem, da upoštevamo tveganje, ki se pojavi, ko poplavni val nastopi v času, ko je korito neočiščeno in zaraslo z visoko vegetacijo. Z višjim n_g smo bolj na varni strani. Padec vzdolžne osi na celotnem odseku variira med vrednostmi 1 in 3,8%. Povprečna vrednost padca celotnega obravnavanega odseka pa znaša 2,3%. Širina pretočne struge se na nekaterih mestih spreminja, kar je upoštevano tudi v geometriji.

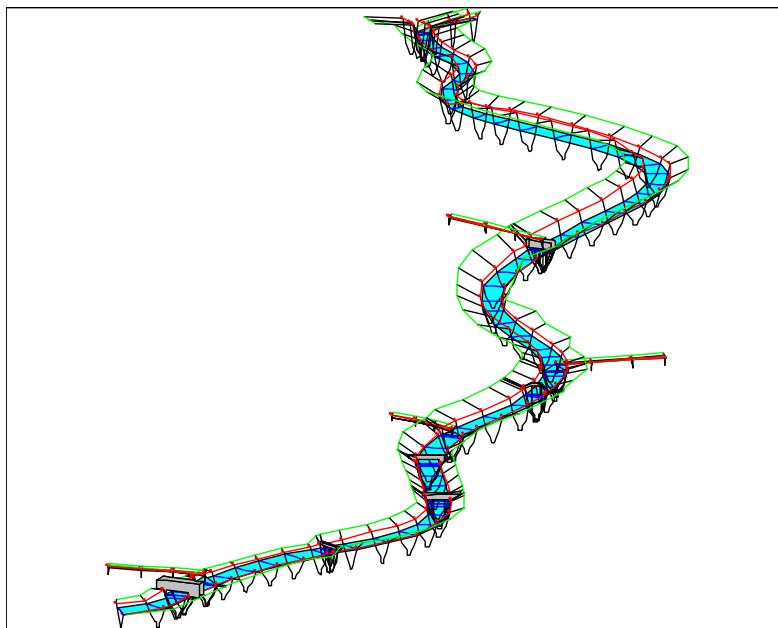
V izračunu smo upoštevali 6 mostnih konstrukcij, ki vplivajo na pretočni prerez struge. Prav tako smo v račun vključili vse glavne pritoke oz. izpuste. Neznaka, ki se pri tem pojavi, je, katere vrednosti pritokov upoštevati v simulaciji. Verjetno je, da zaradi krajšega časa koncentracije pritoki dosežejo konico oz. maksimalni pretok prej kot ga poplavni hidrogram na lokaciji zadrževalnika ob predpostavki, da istočasno pade enakomerna količina dežja po celotnem povodju. Tako bi bilo smiselno predpostaviti, da v času projektnega poplavnega vala pritoki nastopijo z nekoliko manjšo vrednostjo. Odločili smo se, da bomo v simulaciji upoštevali 50-letne pritoke

Preglednica 8: Vrednosti 50- in 100-letnih pritokov, ki dosežejo Pešnico

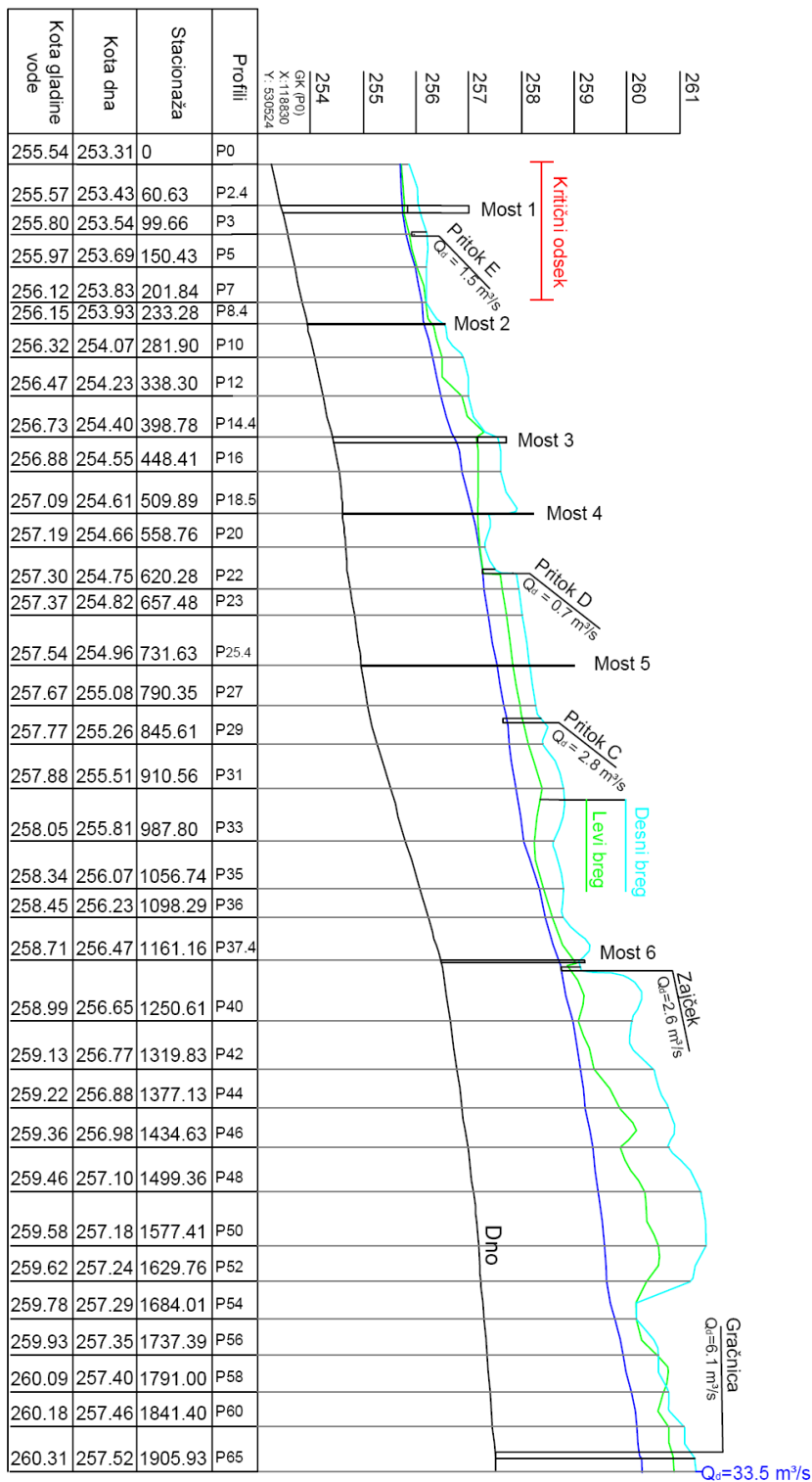
Pritok	Q_{50} [m ³ /s]	Q_{100} [m ³ /s]
Gračnica	6,1	7.3
Zajček	2.6	3.1
Pritok C	2.8	3.2
Pritok D	0.7	0.8
Pritok E	1.5	1.7

V simulaciji je upoštevano tudi, da voda v glavnem koritu ne sme vplivati gorvodno na pritoke, v smislu povzročanja gorvodne zajezbe. Dopusčamo tudi možnost, da se nekaj zaledne vode pritokov lahko preko meteornega ali kanalizacijskega sistema odvaja v bližnjo reko Voglajno. Kljub temu smo v izračunu upoštevali projektne vrednosti pritokov.

Po končani izdelavi hidravličnega modela smo prešli v zadnjo fazo modeliranja, in sicer simuliranje struge s stalnim enakomernim tokom. Simulacija je temeljila na poizkušanju različnih pretokov. V kontrolnem modulu stalnega toka smo nastavili mirni režim toka, za dolvodni padec pa privzeli vrednost 1 ‰. Začeli smo z vstopnim pretokom $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Z simulacijo toka vode smo nato na celotnem obravnavanem območju opazovali višino gladine. Pri prvem vnešenem vztopnem pretoku je prišlo do razlitja vode iz struge. Vztopni pretok smo nato korakoma zmanjševali toliko časa dokler ni bila višina vodne gladine na celotnem odseku v mejah svoje struge. Najbolj kritični odsek struge je v iztopnem profilu, tik preden se Pešnica izlije v Voglajno.



Slika 8: 3D prikaz hidravličnega modela na obravnavanem odseku Pešnice

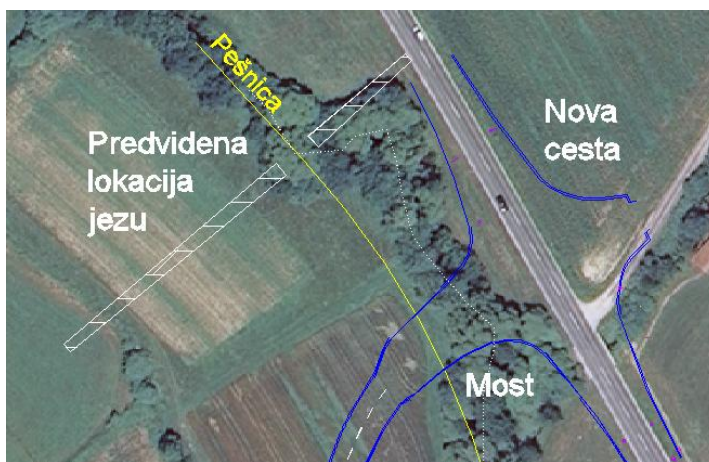


Slika 9: Vzdolžni pretočni profil obravnavanega odseka

Računski iztok $Q_{i,max}$ tako končno znaša 33,5 m³/s. To je največja vrednost, ki je še znosna za dolvodno strugo. Obenem je tudi največji pretok, ki ga lahko prepušča jezovna naprava ob prehodu odločilnega pretoka.

3.7 Zasnova suhega zadrževalnika

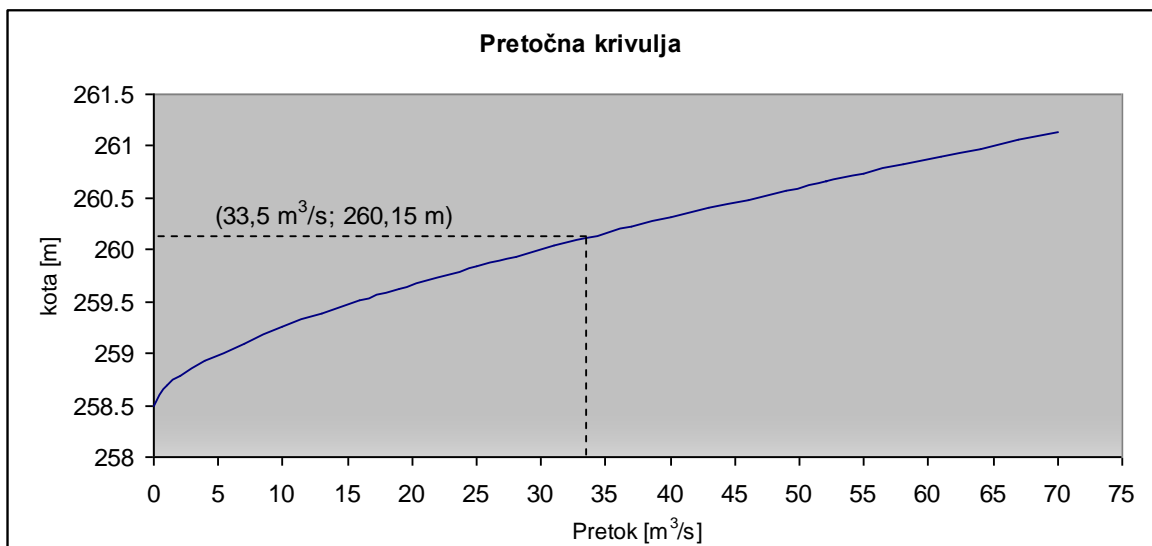
Naša naslednja naloga je konkretna umestitev suhega zadrževalnika v prostor in zasnova objektov, ki sodijo poleg, na podlagi izračunov, ki smo jih izvedli v prejšnjih sestavkih. Do sedaj smo določili že projektni hidrogram, največji iztok in potencialni zadrževalni prostor, pri katerem je potrebno določiti še točno lokacijo osi jezu. V tem pogledu lahko izbiramo med dvema možnostima. Ali os jezu postaviti tik ob mostni konstrukciji, ali pa nekoliko gorvodnejše. Izbrali smo lokacijo jezu 60 m gorvodneje od mostu (slika 10). Za takšno možnost smo se odločili, ker lahko na tej lokaciji načrtujemo jezovni objekt in ostale potrebne objekte neodvisno glede na novo cesto in mostno konstrukcijo. Dejstvo je tudi, da še ni znana dokončna širina struge pod premostitveno konstrukcijo.



Slika 10: Predvidena lokacija jezu

3.7.1 Določitev pretočnega prereza v profilu jezovne naprave

Pri določevanju pretočnega prereza na lokaciji jezua je potrebno upoštevati tudi zahtevo, da pretočni profil prevaja odločilni pretok tudi v primeru brez jezua oz. v primeru okvare delovanja zapornice. Na tem mestu je predvidena regulacija struge (slika 10) oz. izkop nadomestne struge. Globina struge je enaka globini, ki ustreza naravnemu padcu dna struge v gorvodnih profilih. V profilu je upoštevan tudi nizek prag, na katerega bo nameščena zapornica. Izbiramo torej ustrezno širino struge B. Hidravlični račun smo izvedli s pomočjo programskega orodja HEC-RAS. Predpostavili smo pravokotni pretočni prerez in širino struge 12 m.



Grafikon 2: Pretočna krivulja korita v profilu predvidenega jezua

Hidravlični račun je pokazal, da geometrijski prerez struge pri predpostavljeni širini struge 12 m zadošča za prevodnost vršnega 100-letnega pretoka, ki v tem primeru znaša $59,7 m^3/s$. Največji pretok, ki ga dani prerez še prevaja pa znaša $70 m^3/s$. Kota, pri kateri je dosežen projektni iztok pa je 260,15 m.

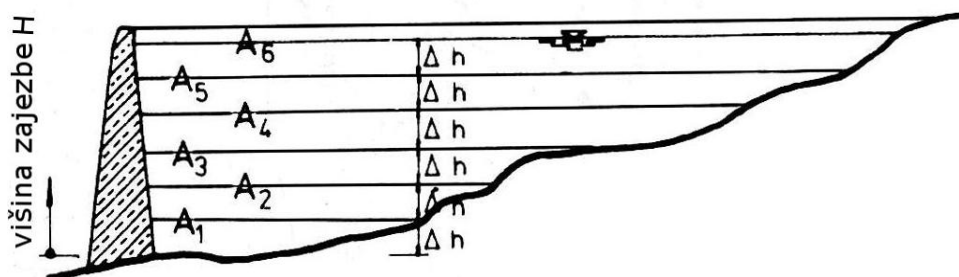
3.7.2 Določitev polnitvene krivulje poplavnega prostora

S pomočjo-GIS orodja in podatkovnega sloja DMV 5 smo izrisali višinske plastnice na predvidenim območju za zadržanje poplavne vode. Diferenčna globina Δh med višinskimi plastnicami znaša 0,1 m. Da določimo globinsko krivuljo, je potrebno površine plastnic pretvoriti v volumen pri neki globini. Pri tem smo uporabili naslednjo enačbo:

$$V = \Delta h \left(\frac{A_1}{3} + \frac{A_1 + A_2}{2} + \dots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} \right) \quad (17)$$

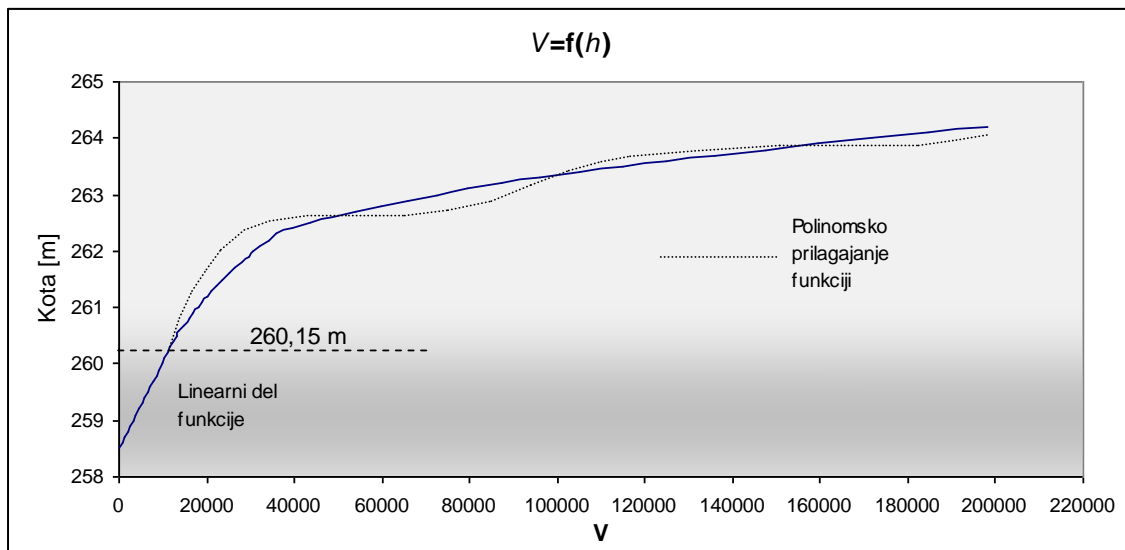
Pri čemer je:

- V celoten volumen zaježitvenega prostora [m^3],
 Δh diferenčna globina med višinskimi plastnicami [m],
 $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n$ površine višinskih plastnic od začetne do končne globine [m^2].



Slika 11: Prikaz višinskih plastnic v odvisnosti od diferenčne globine Δh (prirejeno po Muth et al., 1996)

S pomočjo enačbe 17 smo v Exelovi preglednici določili naslednjo globinsko krivuljo oz. polnitveno krivuljo.



Grafikon 3: Krivulja prostornine poplavnega bazena v odvisnosti od nadmorske višine

Za izdelavo obratovalne sheme jezua, je potrebno določiti ustrezno funkcijsko obliko oz. matematično enačbo, ki se bo najbolj prilagajala dani krivulji. Iskana spremenljivka v tem primeru je kota zajeze h . To lahko najlažje storimo po metodi najmanjših kvadratov. Pri tem smo zaradi boljšega ujemanja polnitveno krivuljo ločili na dva segmenta. Za prvi del krivulje, do kote 260,15 m, smo privzeli kar linearno aproksimacijo in ima obliko:

$$h = 0,00176 V + 258,5 \quad (18)$$

Drugemu segmentu krivulje, nad omenjeno koto, pa najboljše ustreza polinomska funkcija.

$$h = 2,3 \cdot 10^{-16} V^3 - 1,98 \cdot 10^{-10} V^2 + 5 \cdot 10^{-5} V + 260,15 \quad (19)$$

3.8 Obratovalna shema jezua

Za pravilno in avtomatizirano delovanje jezua je potrebno določiti obratovalna pravila. Obratovalna pravila so navodila, po katerih se ravna kota prelivne krone pomičnega jezua. Obratovalna pravila določimo na osnovi kontinuitetne enačbe, polnitvene krivulje ter vrednosti

največjega dopustnega iztoka. V tem primeru smo za zaporni sistem predlagali gumeno membrano oz. ravno zaklopno zapornico. Obe delujeta podobno, in sicer z dvigovanjem prelivne krone vzdržujeta dopustno prelivno količino.

Gumena membrana povzroča zajezbo s svojim dvigovanjem, ki ga povroča zračni nadtlak v membrani. Pritisk v membrani ustvarja kompresor, ki je nameščen v manipulativnem jašku. Potrební nadtlak za vzdrževanje oblike membrane je enak gorvodni prelivni višini h_p . Za pravilno delovanje gumene membrane je torej merodajna višina vodostaja gorvodno od jezú. Proizvajalci za vrečasti jez, komprimiran z zrakom, ponujajo največkrat prelivni obris polkrožne oblike. Takšen obris povzroča odlepljenje curka v prelivnem hrbtu. Količina pretoka čez prelivni obris je odvisna od širine jezú B , prelivne višine h_d ter pretočnega koeficienta, ki je odvisen od geometrije prelivnega obrisa. Na podlagi izbire prelivnega obrisa in pripadajočega pretočnega koeficienta lahko dimenzioniramo širino jezú oz. prelivno višino. Za prelivanje čez vrečast jez smo uporabili prelivno enačbo 20, ki velja za popolni preliv in za pravokotni prerez.

$$Q = 2/3\mu(2g)^{1/2} B h_d^{3/2} \quad (20)$$

Za cilindrični oz. krožni preliv je pretočni koeficient μ podan z naslednjo enačbo:

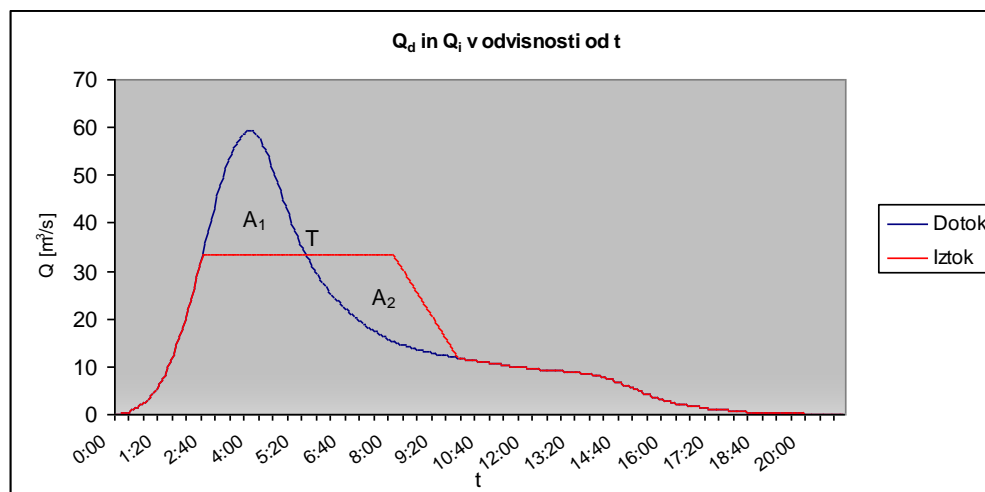
$$\mu = 0,55 + 0,22 \frac{H_0}{w} \quad \text{velja za : } 0,1 \leq \frac{H_0}{w} \leq 0,8 \quad (21)$$

Pri ravni zaklopki je struktura in princip delovanja nekoliko drugačen. Tu imamo namesto gumene membrane ploskovno zapornico, kateri tečaji so enakomerno razporejeni po celotni širini praga. Ponavadi so zaklopne zapornice različnih oblik, največkrat ukrivljene in odebeljene, uporabljajo pa se predvsem na visokih jezovih in pregradah. Za dvig zapornice se lahko uporablja jeklena vrv, zobata letev, veriga (starejše izvedbe) ali pa servomotorni pogon. Ponavadi imajo protitorzijsko oblikovane zaklopke enostranski dvižni mehanizem, drugače pa obojestranskega. Kota prelivne krone se tudi tukaj ravna glede na koto gorvodne zajezbe.

Prelivno količino lahko računamo prav tako po prelivni enačbi 20, le da imamo v tem primeru ostrorobi preliv. Za pretočni koeficient μ ostrorobega preliva lahko uporabimo približno vrednost 0,64.

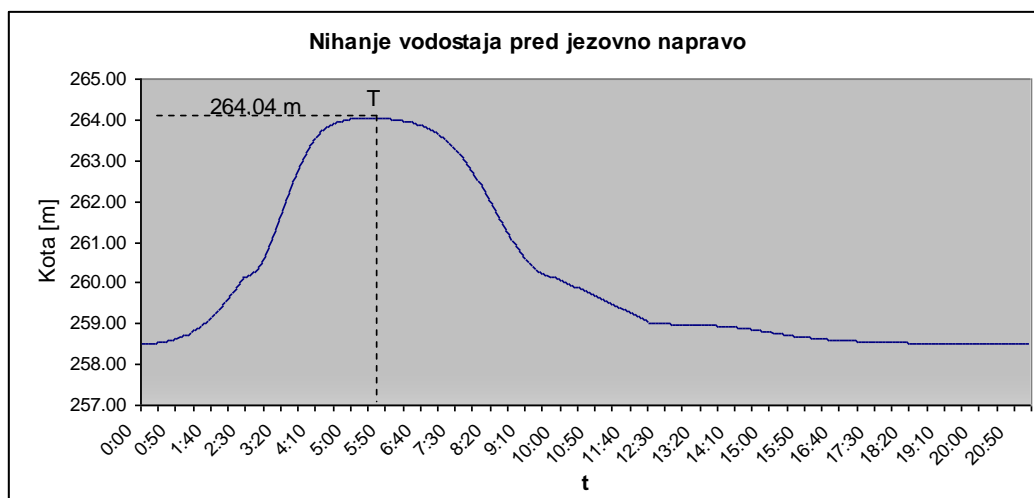
Pri prelivanju vode čez preliv je potrebno izpostaviti še problematičnost potopljenosti preliva. Prelivna enačba 20 velja pri pogoju, da imamo vedno popolni preliv oz., da je nepotopljen. Vendar se v praksi dogaja, da v začetni fazi dvigovanja zapornice prihaja do vpliva spodnje vode, zlasti pri nizkih pragovih, kar posledično zmanjša vrednost prelivne količine. V praksi lahko koto prelivne krone prilagodimo tako, da na začetku nekoliko povečamo prelivno višino glede na obratovalna pravila.

Obratovalna pravila se oblikujejo glede na potek vhodnega in izhodnega hidrograma. Osnovna enačba, s katero ponazorimo bilančno stanje v zadrževalniku je kontinuitetna enačba. Pogoj je tudi, da iz zadrževalnika ne sme iztekati več kot dovoljeni iztok $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Preglednica obratovalne sheme z vsemi potrebnimi izračuni je priložena na koncu naloge kot priloga A. V nadaljevanju bomo le z diagrami ponazorili dogajanje ob prehodu odločilnega pretoka skozi suhi zadrževalnik. Časovni računski interval v simulaciji znaša 5 min.



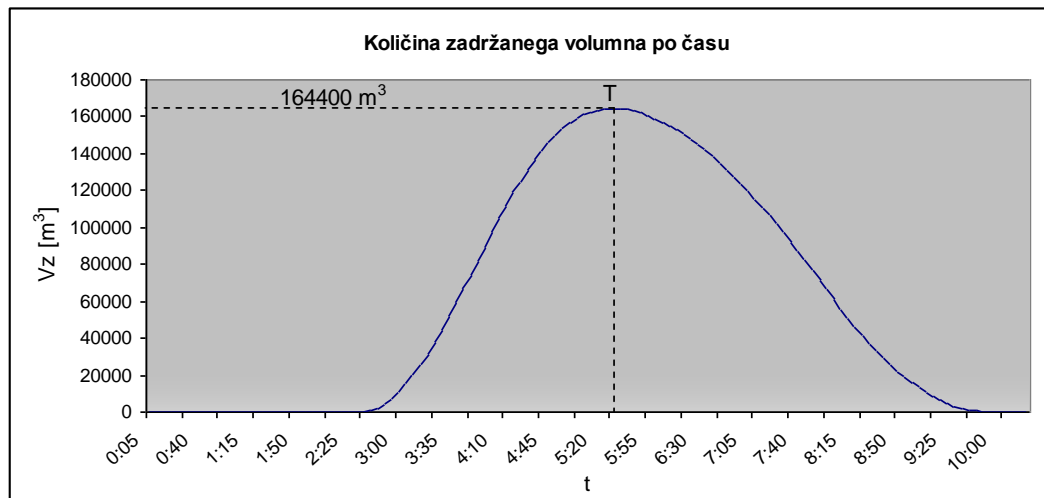
Grafikon 4: Dotok in iztok iz zadrževalnika ob prehodu 100-letne vode

Grafikon 4 prikazuje časovni potek dotoka v bazen in iztoka iz bazena. Ko začne dotekati visokovodni val, imamo spuščeno zapornico oz. prepuščamo iztok enak dotoku. Ker je pogoj, da iztok ne sme preseči $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$, se pri takšnem dotoku prične dušenje poplavnega vala. Zadrževanje vode se začne, ko kota gladine vode v strugi preseže $260,15 \text{ m}$. Če imamo gumeno membrano, ta od tega trenutka naprej vzdržuje takšen nadtlak, da ustreza prelivni količini $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Zadrževalnik doseže koto maksimalne zajeze takrat, ko je vtok zopet enak iztoku oz., ko iztočni hidrogram seka vtočnega pri točki T (grafikon 4). V tem hipu dosežemo koto največje zajeze ter največjo količino vode, ki jo zadržimo ob prehodu 100-letnega hidrograma s konstantnim reguliranim iztokom $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Kota najvišje zajeze je tako $264,04 \text{ m}$. Ker je sedaj dotok Q_d manjši od iztoka Q_i , poteka praznjenje bazena oz. spuščanje zapornice. Bazin je popolnoma izpraznjen, ko je šrafirana površina A_2 enaka površini A_1 .



Grafikon 5: Stanje vodostaja v poplavnem bazenu ob prehodu 100-letne vode

Iz grafikona 5 lahko vidimo nihanje gladine vode v zadrževalnem bazenu. Vodostaj na začetku narašča po pretočni krivulji korita, dokler pretok ne preseže $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Dalje pa se vodostaj ravna po polnitveni krivulji zadrževalnega bazena in doseže največjo višino pri koti $264,04 \text{ m}$.



Grafikon 6: Količina zadrževanega volumna ob prehodu poplavnega vala v odvisnosti od časa

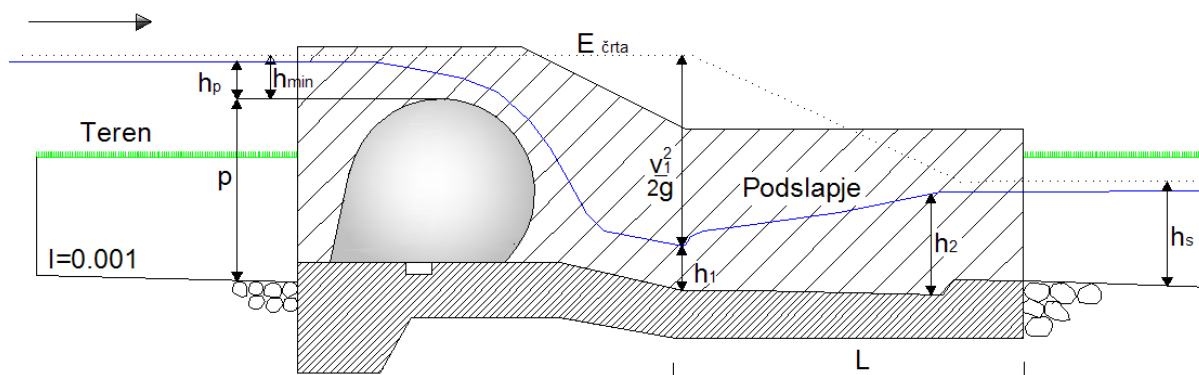
Zgornji grafikon prikazuje bilanco zadržanega volumna v odvisnosti od časa. Zadrževanje volumna vode se prične, ko naraščujoči dotok v zadrževalnik preseže $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Od tega trenutka dalje volumen vode narašča kot razlika med produktoma $Q_d \Delta t$ in $Q_i \Delta t$. Zadržani volumen vode doseže največjo vrednost, ko je pojemajoči dotok enak iztoku (točka T, grafikon 4). Takrat znaša največja vrednost volumna 164400 m^3 . Zadrževanje in praznjenje skupaj trajata 7 ur.

3.9 Zasnova podslapja

Podslapje je namenjeno za pretvorbo kinetične energije v potencialno energijo vodnega toka. Zaradi velikega padca toka vode čez prelivno napravo pride do presežkov energije toka vode. Na prelivni sekciji tok vode zaradi padca pod kritično globino preide v deroči tok. Podslapje je potrebno zasnovati tako, da bo čimprej zagotovljen prehod deročega toka v mirni tok, tako pridobimo tudi racionalno dolžino podslapja. V nadaljevanju bomo zasnovali podslapje na primeru gumene membrane, vendar ocene veljajo tudi za zaklopno zapornico.

Za učinkovito zasnovo podslapja je potrebno poznati pretočne profile na mestu jezovne naprave in gorvodno v času največje zajezbe. V našem primeru je znana širina prečnega profila ter kota

največje zajeze. Prelivno višino h_p ter višino gumene membrane p pri največji zajezi lahko določimo na podlagi enačb 16 in 17. V tem primeru h_p znaša 1,35 m, višina gumene membrane skupaj z višino nizkega praga pa 4,69 m.



Slika 12: Bočni prerez jezovne zgradbe

Najprej je potrebno preveriti, da je razmerje p/h_p manjše od vrednosti 1,33. V danem primeru je zadoščeno temu pogoju. Namreč pri izpolnitvi tega pogoja lahko zanemarimo vpliv hitrosti gorvodno od jezovne naprave. Za učinkovito delovanje podslapja in določitev minimalne dolžine podslapja je potrebno izračunati 1. konjugirano globino h_1 , 2. konjugirano globino h_2 ter globino na dovodnem odseku h_s .

$$h_1^3 - \left[p + 1,5 \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \right] h_1^2 + \frac{q^2}{2g} \left(1 + \xi \right) = 0 \quad (18)$$

$$h_2 = -\frac{1}{2} h_1 + \sqrt{\frac{1}{4} h_1^2 + 2 \frac{q^2}{g h_1}} \quad (19)$$

Navedeni enačbi lahko rešimo z iteracijskim postopkom. Pri tem je potrebno poznati še specifični pretok q na tekoči meter.

$$q = \frac{Q}{B} \quad (20)$$

Če predpostavljamo pravokotni prerez s širino 12 m, je specifični pretok pri pretoku $Q=33,5 \text{ m}^3/\text{s}$ enak vrednosti $2,79 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. Iteracijski postopek enačbe 18 smo izvedli v Exelovi preglednici. Za izraz $(1+\zeta)$ smo privzeli vrednost 1,11. Iteracijska vrednost prve konjugirane globine h_1 znaša 0,38 m. Če vrednost vstavimo v enačbo 19, znaša h_2 1,86 m.

Ker v tem primeru nismo predvideli hidrotehničnih elementov za pospeševanje disipacije razen zaključnega praga, lahko za oceno dolžino podslapja uporabimo naslednji pogoj:

$$L = 5 \sqrt{h_2 - h_1} \quad (21)$$

Ocena dolžine podslapja v dani situaciji znaša 7,5 m. Za preverjenje hidravlične ustreznosti podslapja je potrebno preveriti še delež disipirane energije v vodnem skoku. Za oceno disipirane energije se uporablja brezdimenzijsko Froudovo število.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh_1}} \quad (22)$$

Hitrost v prerezu konjugirane višine h_1 določimo na osnovi Bernoullijeve enačbe. Za vrednost $v^2/2g$ lahko vzamemo višino energijske črte pred jezom, ki znaša 5,7 m. Torej je hitrost toka v danem prerezu 10,6 m/s. Z vstavljenem vrednosti v enačbo 22 dobimo, da je Froudovo število enako 5,48. Iz tega lahko ugotovimo, da gre za stabilen in učinkovit vodni skok (Steinman, 1999).

Preveriti je še potrebno pogoj, ali je višina h_s v dolvodnem odseku večja od 2. konjugirane višine. S tem pogojem dosežemo učinkovit prehod deročega toka v mirni in vodni skok je v tem primeru blizu jez. K višini h_s je potrebno še prišteti višino končnega praga, ki je v tem primeru

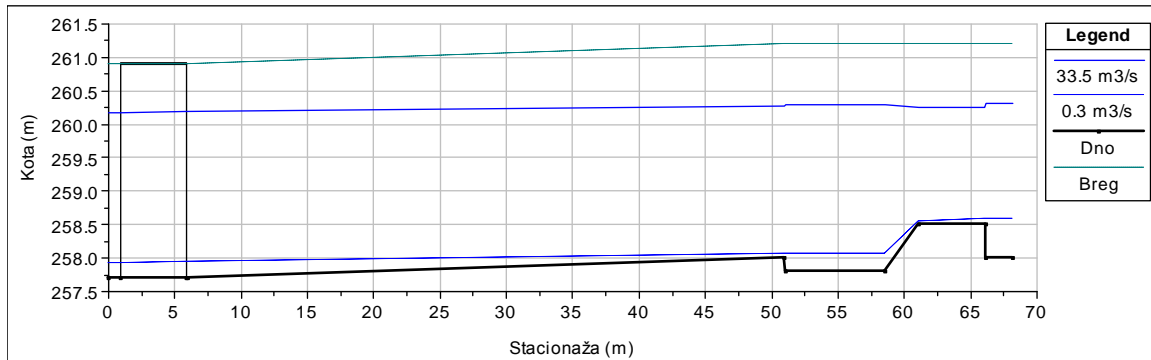
0,3 m. Iz hidravlične analize višina h_s v dolvodnem odseku pri pretoku $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$ znaša 2,2 m, kar zadošča pogoju.

Debelina talne plošče podslapja

Pri načrtovanju podslapja je pomembna tudi določitev debeline talne plošče podslapja d_T . Pri tem je merodajno obremenilno stanje plošče v primeru okvare zapornice (Pemič in Mikoš, 2005). V takšnem primeru naj bo teža plošče vsaj tolikšna, kot je sila tlaka podtalnice ali še večja. Pri podslapju predvidevamo dilatacijsko rego, s čimer dosežemo, da na talni plošči podslapja ni upogibnih momentov. Temeljna tla in pa tlak podtalnice prevzemata težo vode in pa lastno težo talne plošče. V našem primeru nimamo na voljo natančnih podatkov o globini podtalnice in vrsti materiala pod talno ploščo. Iz ARSO-vega spletnega pregledovalnika lahko razberemo, da gre tu za zelo plitek vodonosnik oz. podtalnico. Torej brez predhodne natančne geološke raziskave je težko določiti najprimernejšo debelino. Predpostavljamo, da gre za plitko podtalnico v aluvialnem materialu (vodonosniku). Za debelino talne plošče predlagamo 1 m.

3.10 Hidravlična analiza predlaganih prereзов

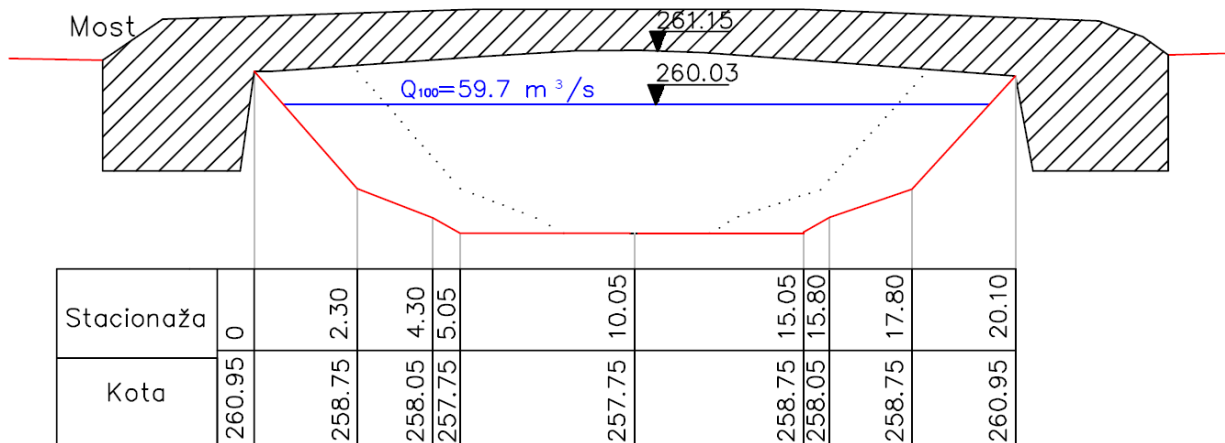
V računalniškem programu HEC-HMS smo preverili hidravlično ustreznost predlaganih prereзов v profilih med jezom in mostom. V simulaciji smo uporabili pretoka $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in pa $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. V programu smo ugotavljali tudi v kolikšni meri obstoječ prerez v profilu pod mostom oz. prerez, ki je značilen v dolvodnih profilih, prevaja pretok $33,5 \text{ m}^3/\text{s}$ in za koliko ga moramo povečati, da zagotavlja prevodnost 100-letnega pretoka, npr, če se investitor ne odloči za suhi zadrževalnik.



Slika 13: Vzdolžni profil obravnavanega odseka pri pretoku 33,5 in 0,3 m³/s

Iz slike 13 lahko opazimo, da obravnavani vzdolžni profil brez težav prevaja projektni iztok 33,5 m³/s. Pri tem imamo zapornico spuščeno, v profilu pod mostom pa velja enak prerez, ki je značilen za dolvodno strugo. Opazimo lahko le, da nad nizkim pragom pride do lokalnega znižanja vodne gladine. Kadar imamo normalne (nizke) pretoke, se čez prag pojavlja vodni skok. Opazimo lahko tudi, da se pred začetnim in zaključnim pragom pojavi manjša zajeza.

Poglejmo podrobneje še profil pod mostom. Hidravlični račun pokaže, da obstoječi prerez zadošča za prevajanje projektnega iztoka, ki znaša 33,5 m³/s, se pa gladina vode najnižji koti mostne konstrukcije približa za manj kot 1 m (slika 13).



Slika 14: Razširjen prerez struge, ki prevaja 100-letni pretok

Če želimo, da prerez v mostnem profilu prevaja 100-letno vodo, v primeru, da se investitor ne odloči za ureditev suhega zadrževalnika, je potrebno obstoječ prerez korita primerno povečati. Odločili smo se sorazmerno povečati širino struge, naklon in višina brežin pa ostaja enaka. Pogoj je tudi, da je vodostaj ob 100-letni vodi največ 1 m pod najnižjo koto mostne konstrukcije. S pomočjo simulacije v HEC-RAS-u smo ugotovili, da je v danih pogojih potrebno širino struge povečati za 7 m (slika 14).

3.11 Izvedba komponent suhega zadrževalnika

3.11.1 Prelivna sekcija jezua in podslapje

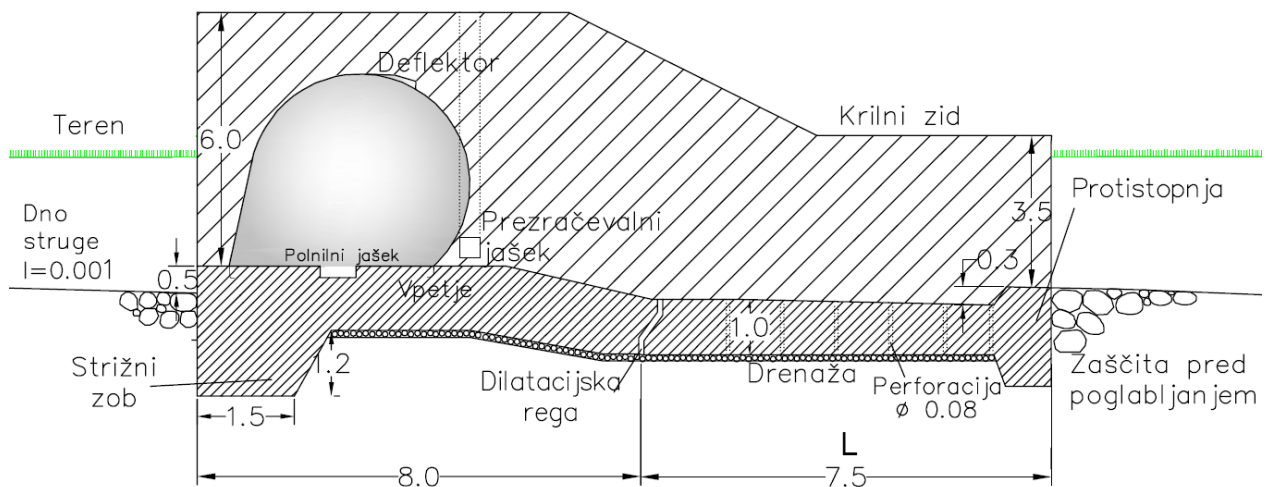
Osnovni konstrukcijski elementi, ki sestavljajo prelivno sekcijo jezua sta prag ter stranska krilna zidova. Delovna širina prelivnega dela znaša 12 m. Na vtoku v prelivno sekcijo je potrebna zgolj razširitev obstoječega korita, medtem ko je dolvodne profile potrebno izkopati na novo. Brežine na vtoku prelivne sekcije in iztoku iz podslapja so utrjena s kamnito zložbo. Gorvodni rob praga je višji za 0,5 m od dna struge, zaključni prag na koncu podslapja pa za 0,3 m nižji od dolvodnega dna struge. Prag oz. prelivna sekcija je pri ravni zaklopki nekoliko daljša kot pri gumeni membrani. Brežini prelivne sekcije podpirata krilna zidova debeline 0,5 m. Prečno na krilni zid je vgrajena tesnilna stena, ki ovira pronicanje vode med krilnim zidom in brežino oz. nasipom v času ojezeritve. Pod vtokom v prelivno sekcijo ne predvidevamo injekcijske zavesa, kajti v tem primeru gre za občasne in kratkotrajne ojezeritve na vtoku, ki bistveno ne pripomorejo k sufoziji ali pa hidravličnemu lomu.

Betonski prag oz. jezovno konstrukcijo in pa podslapje ločuje dilatacijska rega, ki izničuje upogibne momente po celotni konstrukciji. Podslapje, krilni zid in pa podstavek so iz armiranega betona zaradi vzrokov krčenja samega betona in pa neenakomernih posedkov, ki lahko nastanejo kasneje. Podslapje zaključuje protistopnja in pa strižni zob. Pod temeljno ploščo podslapja je vgrajena drenaža z filtrom. V ta namen je v plošči podslapja tudi izvedena

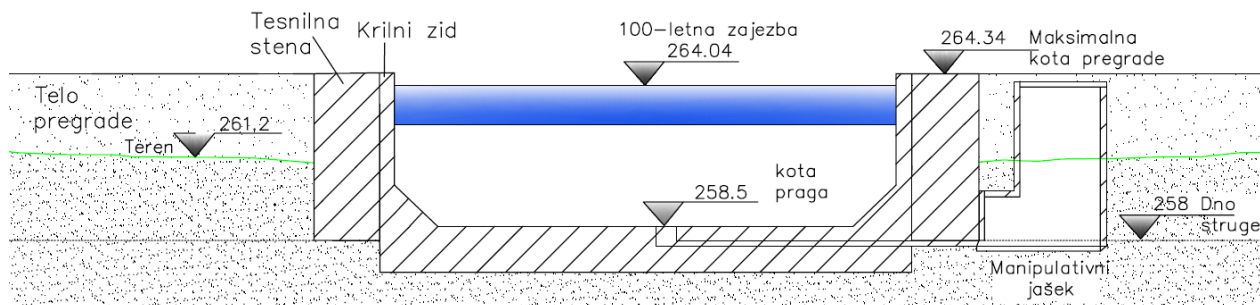
perforacija za blažitev hidrostatskih pritiskov. Vertikalne cevi so razporejene na medsebojni razdalji 1 m. Za zaključnim pragom in pred prelivno sekcijo je v dno vgrajen skalomet.

3.11.2 Varianta zapornice z gumeno membrano

Na betonskem podstavku so za potrebe vgradnje gumene membrane vbetonirani polnilni jašek, cevi za praznjenje in polnjenje gumene membrane, sidrani elementi za pritrditev gumene membrane ter merilne sonde tlaka v membrani. Prelivna sekcija je nekoliko prilagojena za lažjo vgradnjo membrane. V tem primeru se stena ob vznožju na betonski podstavek zaključuje poševno za lažje prilagajanje gumeni membrani. Za polnjenje gumene membrane potrebujemo tudi primeren prostor. V tem prostoru oz. manipulativnem jašku se nahaja kompresorska naprava za napihovanje gumene membrane in ves potrebni inštrumentarij za upravljanje in kontrolo jezua.



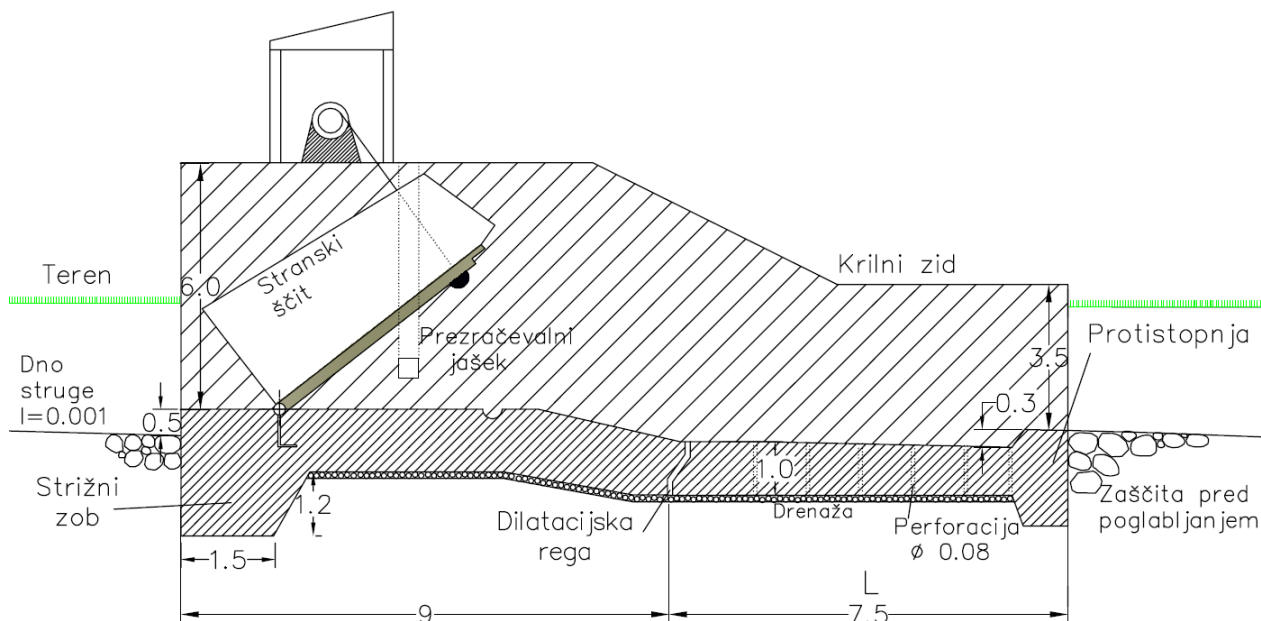
Slika 15: Bočni prerez jezovne konstrukcije z gumeno membrano



Slika 16: Prečni prerez jezusa z izvedbo gumene membrane

3.11.3 Varianta zapornice z ravno zaklopko

Druga varianta t.i. dušilke je izvedba z ravno zaklopko. Odločili smo se za enostavno izvedbo zaklopke, in sicer z ravno zaklopno ploskvijo, ki je vgrajena po celotni prelivni sekciji. Nizek prag (podstavek) ter podslapje ostajajo enaki kot pri gumeni membrani, le da je podstavek nekoliko daljši in prirejen izvedbi ravne zaklopke. Krilna zidova v tem primeru sta popolnoma ravna.



Slika 17: Bočni prerez jezovne konstrukcije z ravno zaklopko

Konstrukcija zaklopke je iz jeklenega materiala. Tečaji zaklopke so točkovno razporejeni po prelivni sekciji ter sidrani v betonski prag. Tečaj prenaša delne obremenitve zaklopke na betonski podstavek. Zaklopka je na obeh straneh tesnjena z stranskim ščitom. Na koncu spodnje ploskve zaklopke je pritrjen prečni nosilec, ki prenaša dvizžno silo na zaklopko. V betonskem podstavku je vgrajen primeren utor, v katerega se lahko uleži nosilec v času nedelovanja (slika 17). Za dvigovanje zapornice predlagamo jekleno vrv. Ta je povezana z nosilcem na zaklopki in pa vitlom, ki ga poganja elektromotor v pogonski kabini. Zapornica ima na obeh straneh predlagani pogon. Oba pogona pri dvigovanju bremena delujeta sinhrono, torej ni potrebno protitorzijsko oblikovanje zaklopke.

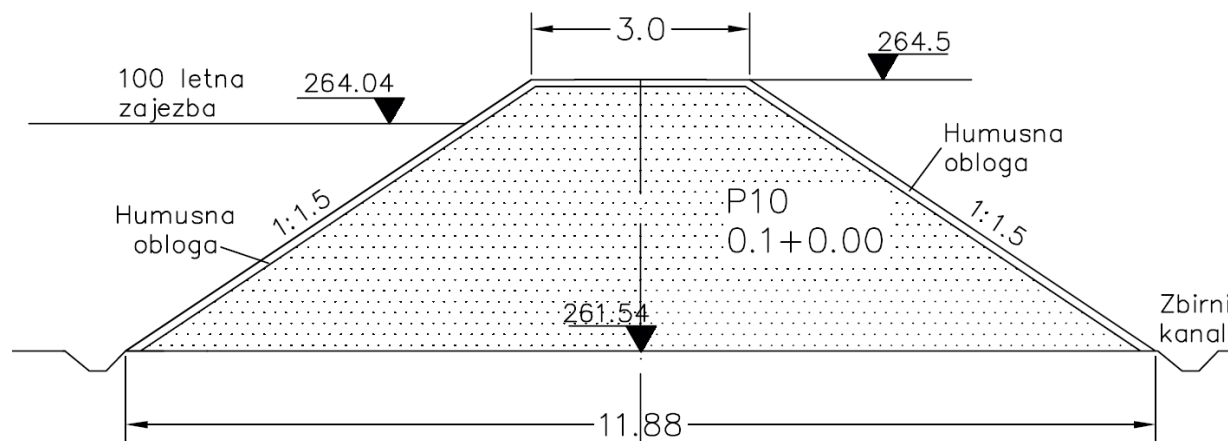
3.11.4 Ozračnost jezu

Zelo pomembno vprašanje pri delovanju jezu ob prehodu odločilnega pretoka je ozračevanje prostora med prepadajočim curkom in prelivnim hrbtom. Prepadajoča voda čez preliv izsesava zrak, ki se nahaja v prostoru med prepadnim curkom in pa prelivnim hrbtom. Če ta prostor ni primerno ozračen, prihaja v takih primerih do podtlakov. Ko občasno začne vdirati v ta prostor zrak skozi prepadajoči vodni curek, nastaja periodično nihanje curka. Če frekvenca takšnega nihanja doseže lastno frekvenco zapornice, ta začne vibrirati, kar prispeva k dodatni obremenitvi zapornice in vpliva oscilirajočega curka dolvodno. Pri gumeni membrani lahko takšen pojav preprečimo s posebnimi deflektorji, ki so vgrajeni na dolvodnem robu prelivnega roba gumene membrane. Deflektorji preprečujejo oz. motijo enotno frekvenco. Če se odločimo za ravno zaklopko lahko omenjen problem rešujemo z rezalci prepadajočega vodnega curka, ki so nameščeni na prelivnem robu zaklopke. Najbolje pa rešimo omenjeno problematiko z vgraditvijo posebne odprtine za dovajanje zraka pod prelivnim hrbtom.

3.11.5 Nasip

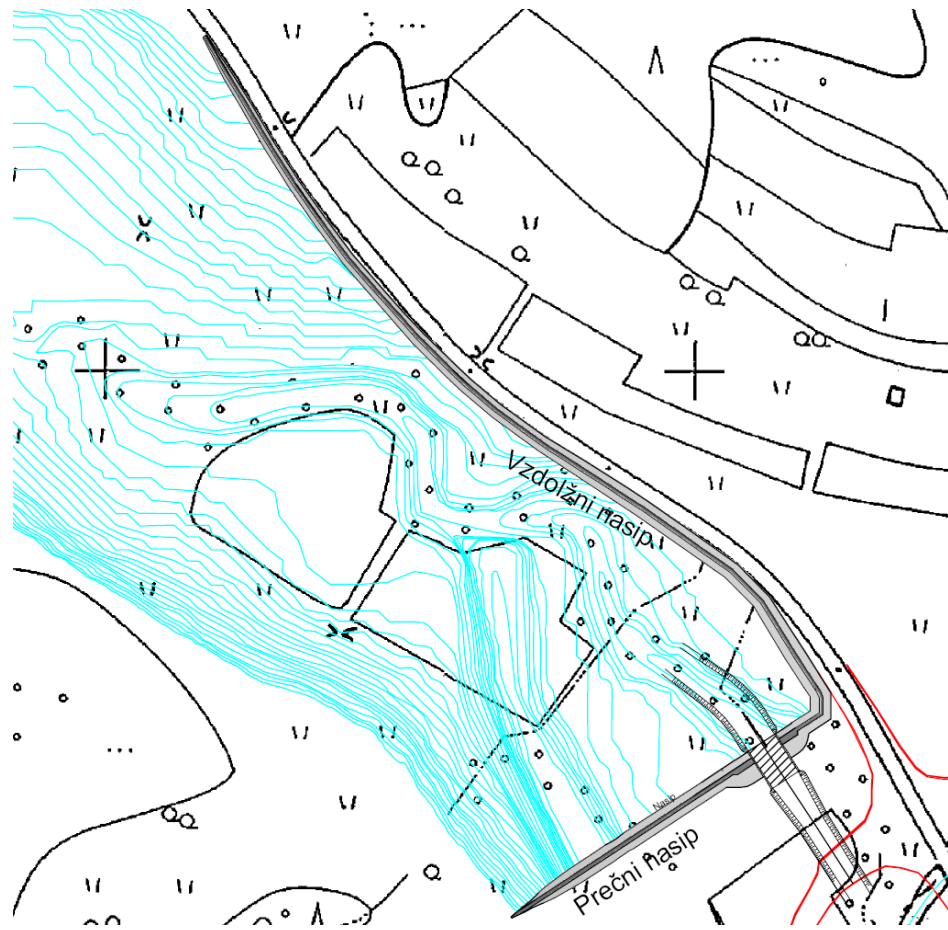
V študiji smo predvidili nasip, ki poteka prečno na Pešnico, nato pa se zalomi in poteka vzdolž regionalne ceste (slika 19). Prečni nasip meri 168,5 m, vzdolžni pa 383,3 m. Ker gre za suhi

zadrževalnik, je lahko telo nasipa iz zgoščene homogene naravnega materiala in brez tesnilnega jedra. Naravni material je lahko mešanica kamena in zemljine. Naravni material naj bo vgrajen z komprimiranjem, da povečamo strižni kot zemljine. Za naklon obeh brežin nasipa predlagamo razmerje 1 : 1,5. Širina nasipa je na mestih ob jezovni napravi prilagojena širini prelivne sekcije. Na ostalem območju je oblike predlaganih dimenzij. Širina temena znaša 3 m. Višina pregrade variira, in sicer največja višina znaša tik ob prelivni sekciji in sicer 3,3 m, nato pa se proti obeh koncih nasipa zmanjšuje. Nad projektno zaježbo je 0,5 m varnostnega nadvišanja, tako je kota temena nasipa konstantno na višini 264,5 m.

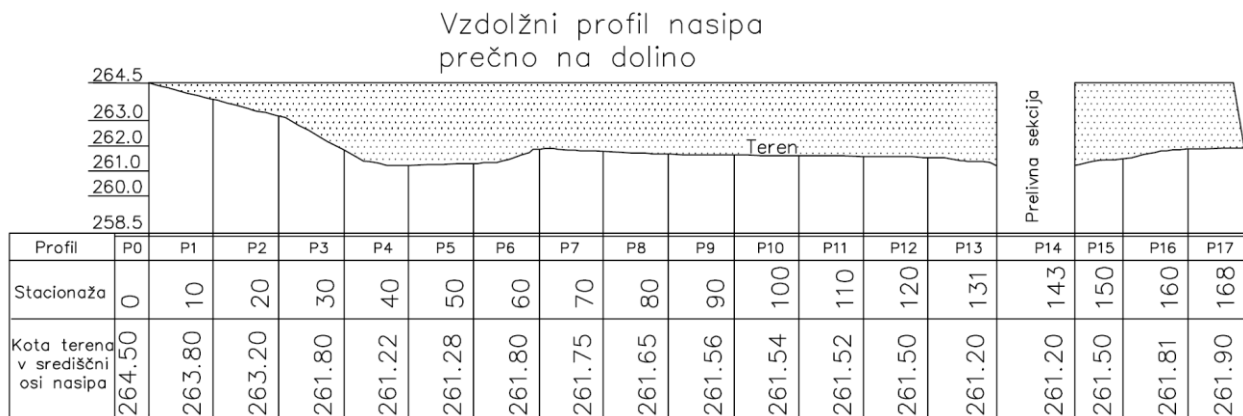


Slika 18: Prečni prerez nasipa v profilu P10

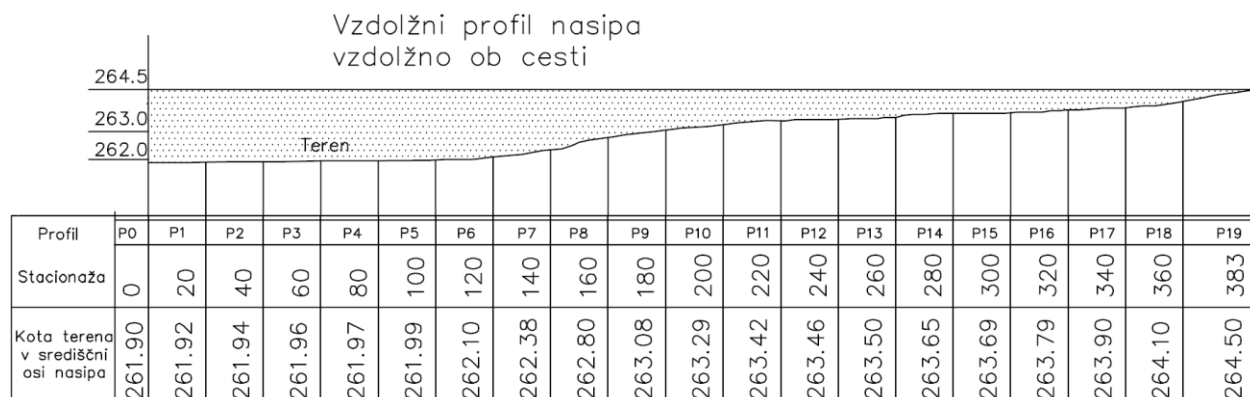
Nasip je na obeh straneh obložen s humusno oblogo v kateri je zasejana trava. Ob vznožju pregrade je urejen zbirni kanal za odvajanje meteorne vode. Iz regionalne ceste do jezua je predvidena dovozna pot, ki v začetku služi za dostop gradbene mehanizacije do gradbišča, kasneje pa je namenjena dostopu za vzdrževanje in kontrolo jezua.



Slika 19: Zadrževalni sistem na Pešnici pred bodočo novo cesto



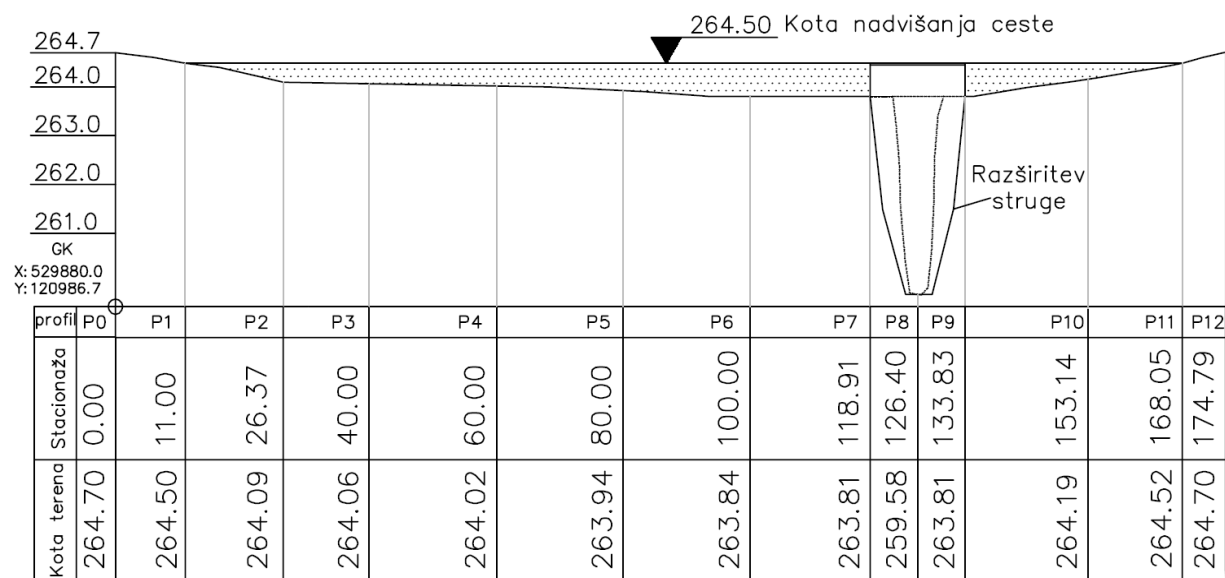
Slika 20: Vzdolžni profil nasipa, ki poteka prečno na dolino



Slika 21: Vz dolžni profil nasipa, ki poteka vzdolžno ob regionalni cesti

3.11.6 Nadvišanje lokalne ceste

Za nemoteno delovanje zadrževalnika v času poplav je potrebno rešiti še problem lokalne ceste v poplavnem bazenu. Da preprečimo zalitje ceste, jo je potrebno nadvišati na koto 100-letne zajeze plus varnostno nadvišanje. Pomembno je tudi, da obstoječi pretočni profil pod mostom povečamo, da ustreza prevodnosti odločilnega pretoka, kajti dodatna zajezev pred mostom lahko zmanjša učinkovitost delovanja predlaganega suhega zadrževalnika.



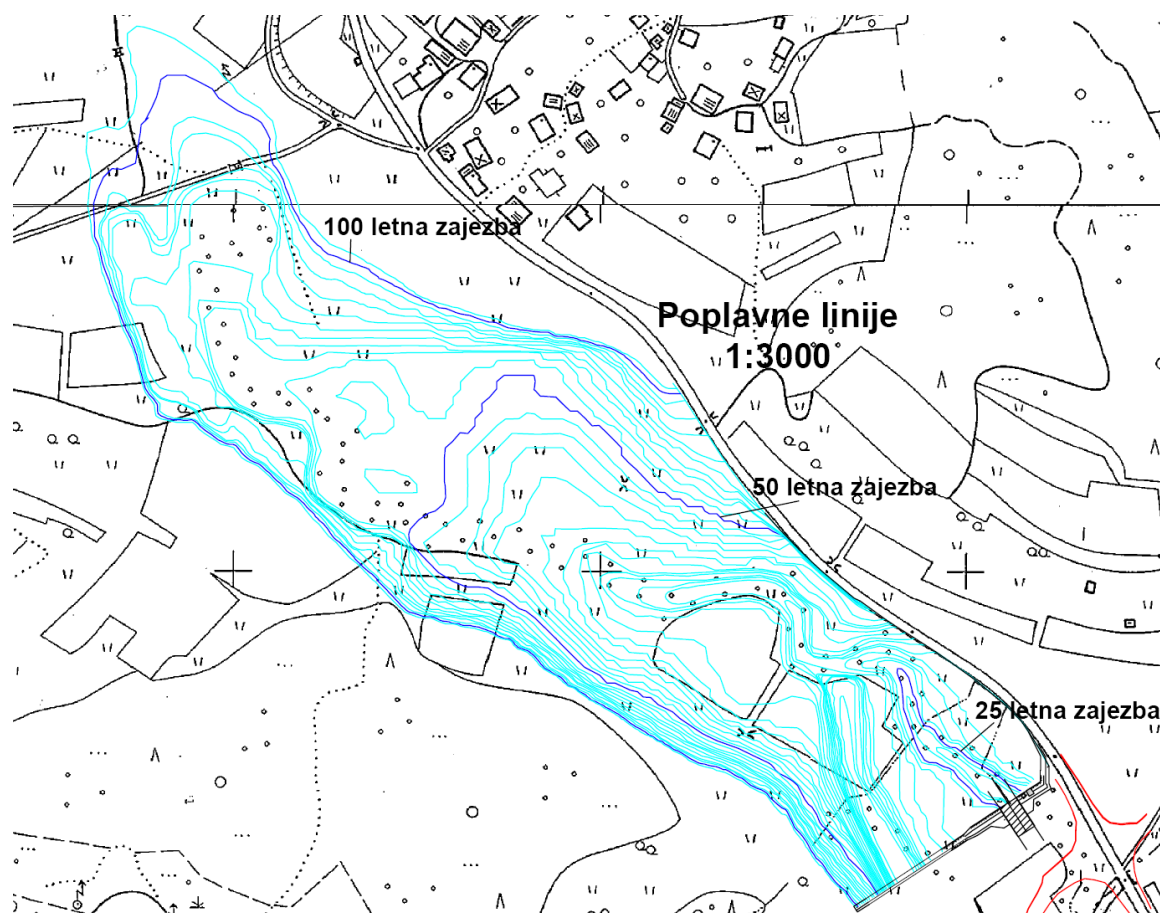
Slika 22: Nadvišanje lokalne ceste

3.12 Obratovanje zadrževalnika

Pri zadrževalnikih z nadzorovanim izpustom so pomembne obratovalne izkušnje, da lahko pravočasno predvidevamo tudi možnost regulacije. Naš suhi zadrževalnik ima možnost avtomatskega upravljanja z zapornico, vendar je kljub vsemu potrebno zadrževanje poplavnega vala vedno nadzorovati in v izrednih situacijah prevzeti upravljanje nad njim. Namreč v naravi se po večini zgodijo različni poplavni valovi, različnega trajanja in oblike in se razlikujejo od našega sintetičnega poplavnega vala, ki je le projektni primer.

Preden suhi zadrževalnik preide v normalno obratovanje, je za njegovo funkcionalnost in varnost potrebno sprejeti nekatere predpise ter pravila. Predpisi se nanašajo tako na čas delovanja zadrževalnika med poplavo, na čas mirovanja ter na čas izrednega stanja (prelivanje). Sestavni del obratovalnih predpisov je obratovalni plan, v katerem je za različne zajezne višine predpisan potreben iztok iz zadrževalnega bazena. Ko naprava že vstopi v obratovanje, je potrebno voditi obratovalni dnevnik, v katerem se zapisuje izvedba in potek operacij, kakor tudi vzdrževanje in reguliranje obratovanja. Vodenje dnevnika je pomemben dokaz, ali so bile operacije izvedene v okviru predpisov in je tudi vir informacij kasnejšim odločitvam v nepredvidljivih situacijah. Odgovoren za pravilno delovanje suhega zadrževalnika je upravljalec objekta, v tem primeru lokalna skupnost. Obseg njegovih nalog zajema upravljanje, kontrola, opozarjanje in v nekaterih primerih popravila. Lokalna skupnost lahko določi posebnega izvrševalca oz. obratovodjo, ki s svojo strokovnostjo odgovarja in skrbi za izpolnjevanje obratovalnih predpisov. Je neposredno zadolžen za regulacijo zapornic, vodi dnevnik in poroča nadrejenemu.

Ob nastopu morebitne izredne poplave je pomembno pravočasno in pravilno odločanje pri adaptaciji iztoka. Bistveno je poznavanje padavinskega modela odtoka oz. dobra meteorološka in hidrološka napoved. Bistveni podatki za reguliranje so višina vodostaja v bazenu, gorvodni ter dolvodni pretok. V primeru izrednih dogodkov (prelivanje) je potrebno takojšnje alarmiranje prebivalcev in po potrebi izvesti evakuacijo prebivalcev z ogroženih območij.



Slika 23: Maksimalna zaježba pri zadrževanju 100-letnega poplavnega vala

Na sliki 23 lahko vidimo do kod sega zaježba pri 100-, 50- in 25-letni vodi. 100 letna zaježba preplavi cesto v zaledju, ki pa jo je potrebno nadvišati na koto največje zaježbe. V primeru, da vodostaj naraste nad koto projektne 100-letne zaježbe oz. zadrževalnik prične koriščati varnostno nadvišanje, se sproži varnostni zaporni ventil, ki obenem sproži tudi praznjenje gumene membrane oz. spuščanje ravne zaklopke. To je namreč zelo pomembno iz vidika varnosti jezovne naprave in dolvodnih površin. S takojšnjim spuščanjem gumene naprave (ravne zaklopke) dobimo razbremenilni učinek. Bistveno pri tem je, da ne pride do popolne preplavitve jezu.

3.13 Okoljski vidik umeščanja suhega zadrževalnika

V tem segmentu naloge bomo preučili oz. analizirali vpliv posega na okolje v najširšem smislu. Ta analiza je zgolj študija oz. nekakšen osnutek presoje vplivov na okolje (PVO), katero je kasneje nujno potrebna za uresničitev samega projekta. Študija bo temeljila na dosegljivih podatkih in dejstvih. Analiza bo obravnavala vplive suhega zadrževalnika tako na živi kot neživi del narave.

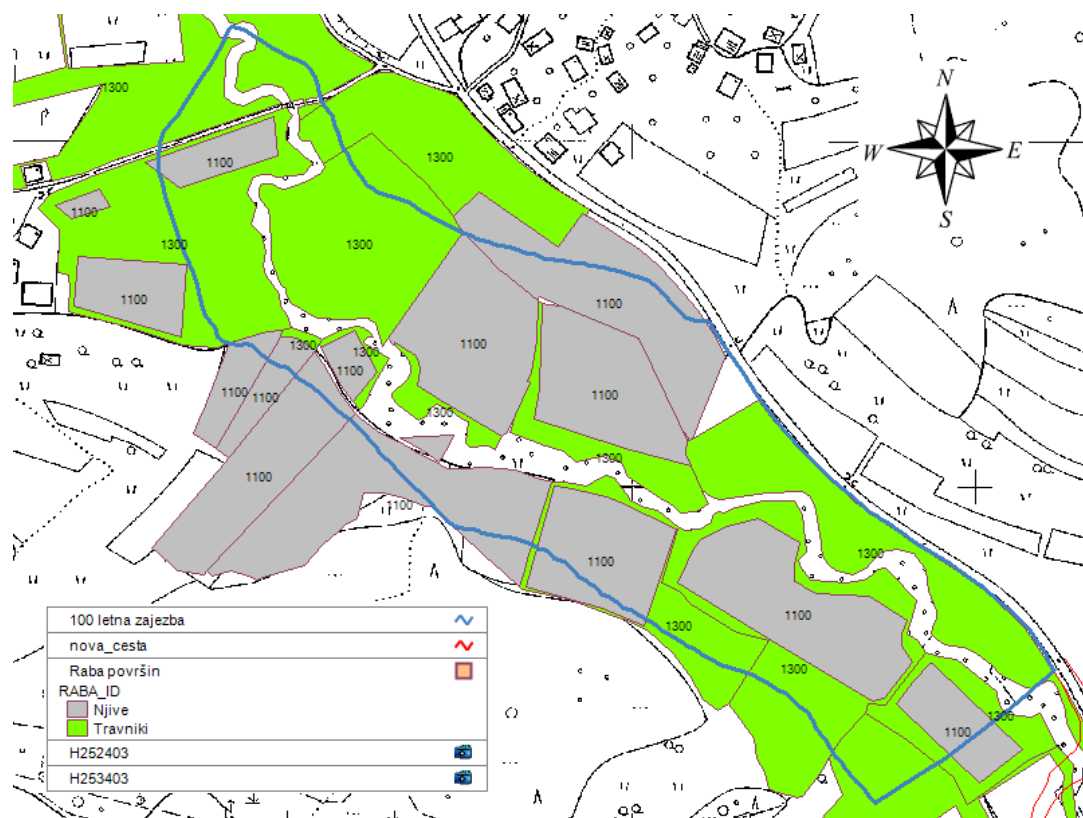
Hidrosfera

Hidrosfero delimo na podzemne in pa površinske vode. Glede nivoja podtalnice na predvidenem zadrževalniku smo že zapisali, da imamo na voljo le podatke z ARSO-vega spletnega pregledovalnika. Za omenjeno območje kaže, da je to plitek vodonosnik in ne gre za vodovarstveno območje. Tudi na spletnem pregledovalniku KALIOPA, v podatkovnem sloju katastra komunalnih objektov, ne najdemo kakršnihkoli vrtin oz. vodovodnih zajetij. Torej z vidika vodovarsta zadrževalnik ne bo predstavljal negativnega vpliva. Sprememba bo le v času ojezerenega zadrževalnika, ko bo nivo podtalnice nekoliko narasel. Tudi za površinske vode zadrževalnik naj ne bi predstavljal večjih težav. Prva ovira se pojavi s postavitvijo nasipa, s čimer na območju zapremo pot melioracijskemu jarku in pa manjšemu potočku. To težavo lahko rešimo z njuno preusmeritvijo v kanal vzdolž nasipa. Druga okoliščina je sprememba vodne dinamike oz. vodnega režima Pešnice dolvodno in gorvodno od jezu. Na dolvodni odsek vplivamo s tem, ko v času visokih voda spuščamo največ 33,5 m³/s. Tako bo vodni tok nekatere višje predele struge dosegel še bolj poredko. Gorvodno od jezu pa se kaže vpliv, ko vodotok preraste v jezero, s tem se močno poveča vodnatost območja.

Biosfera in pedosfera

Obravnavano območje se ne nahaja v katerih od evidenc zakonsko varovanih območij oz. habitatov (npr. natura 2000). Na tem območju prevladujejo predvsem kmetijska zemljišča. V

primeru 100-letne poplave imamo zalitih 123070,2 m² vseh površin (slika 24). Od tega je 58409 m² intenzivnih njivskih površin. Njihov delež na območju največje zajezbe znaša 47% vseh površin. Travnških površin pa je 52511 m², njihov delež pa znaša 43 %. Ostalo so vodna in priobalna zemljišča. Za uporabnike kmetijskih površin bodo poplave lahko predstavljale škodo kljub kratkemu zadrževalnemu času objekta. S tega stališča, je boljša opcija, da se vse njivske površine na tem območju spremenijo v travniške površine, ki so bolj odporne proti velikim količinam vode. Največjo škodo predstavlja polnitev bazena v času pospravljanja pridelka. Vendar ne smemo pozabiti, da kmetijske površine ležijo na naravnih poplavnih ravnicah in so se poplave dogajale že prej.



Slika 24: Prikaz grafičnih enot rabe kmetijskih zemljišč (GERK-i), ki jih zajame 100-letna zajezba

Za živalski svet predvsem za ribjo populacijo predstavlja težavo v oviranem gibanju preko jezovne zgradbe. V tem delu je zaradi betonskega praga in pa gladkega ostenja močno ovirana prehodnost rib.

Vplivi na poselitev

Vplivi na družbo se z umestitvijo zadrževalnika pokažejo takoj ali pa kasneje oz. posredno. Najprej je potrebno poudariti največji pozitiven vpliv in sicer varnost prebivalcev Šentjurja in njihove imovine pred uničujočimi poplavami, kar je težko ovrednotiti, dokler dejansko ne pride do takšnih poplav. Tovrstna korist bi morala odtehtati vse ostale negativne vplive. Za prvi negativen vpliv na človeka lahko omenimo izgubo pridelovalnih zemljišč in s tem posledično pridelka zaradi postavitve nasipa. Konkretno v takšni situaciji izgubimo 5574 m² obdelovalnih površin. Drugi vpliv, ki smo ga že omenili poprej, je zmanjšanje kvalitete pridelka zaradi ojezeritve poplavnega bazena. Prav tako bo oviran dostop kmetijske mehanizacije do kmetijskih površin. V tem pogledu se predlaga obvoz po regionalni cesti. Naslednji vpliv se kaže s spremembo krajinskega izgleda. Zaradi nasipa bo okoliškim prebivalcem moten običajen pogled na krajino, kar lahko pri marsikom izzove nelagodje.

3.14 Investicijska vrednost izgradnje suhega zadrževalnika

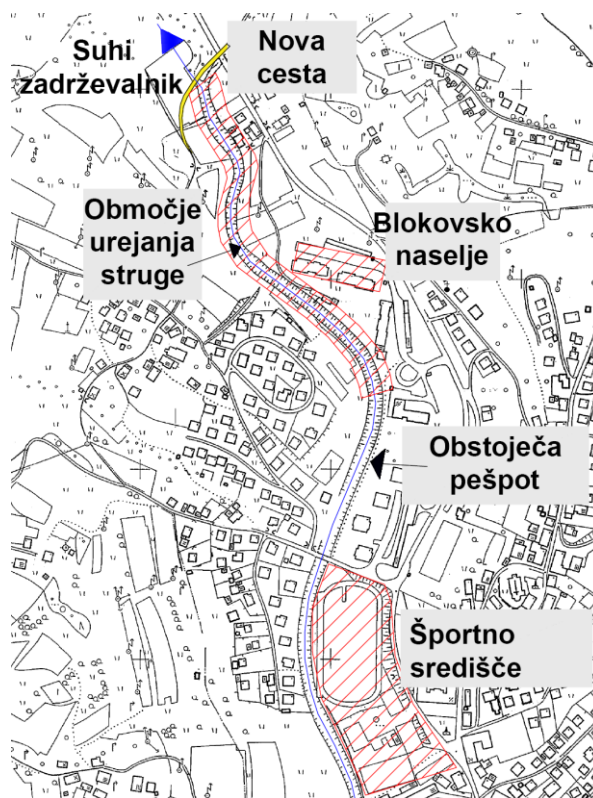
Za investitorja projekta je prav gotovo pomemben podatek o stroškovni vrednosti izgradnje projekta. V naslednjem razdelku bomo na osnovi preračunanih količin določili okvirno investicijsko vrednost celotne izgradnje suhega zadrževalnika. Postavke, za posamezne količine in storitve na enoto, temeljijo na gradbeniških normativih oz. na informacijah posameznih izvajalcev del. V ceni posameznih postavk je zajeto vse za gotova izvedena dela, z vsem osnovnim in pomožnim materialom, deli in transporti, in vse po pravilih stroke. Skupna rekapitulacija je informativno po postavkah posameznih del izpisana v prilogi B. Cene so obračunane brez DDV-ja.

Končna okvirna neto cena izgradnje zadrževalnika z gumeno membrano v grobem znaša 513090 EUR, z ravno zaklopko pa 551591 EUR. Največji delež h končni ceni doprinese zapornica, nato vgradnja nasipa in za tem vgradnja prelivne sekcije in podslapja. Kot vidimo, lahko na končno ceno vplivamo tudi z izbiro zapornice. Za gumeno membrano predlaganih dimenzij nam je izvajalec, ki se ukvarja z dobavo in vgradnjo, postavil okvirno ceno 145 000 EUR. Koliko stane vgradnja ravne zaklopke nismo uspeli dobiti pri nobenem izvajalcu. Po pričevanjih strokovnjakov bi bila ta cena znatno večja. Po lastni presoji smo za vgradnjo ravne zaklopke postavili ceno 180 000 EUR, kar seveda podraži investicijo izgradnje v primerjavi z gumeno membrano. Vendar pa je pri odločanju treba izpostaviti še stroške obratovanja in vzdrževanja jezusa, ki pa so pri gumeni membrani višji. Namreč, ta bo večino časa spraznjena, kar poslabšuje kvaliteto in trajnost materiala. Za gumeno membrano se predvideva od 20 do 25 let časa za zamenjavo. Pri ravni zaklopki je ta vsaj dvakrat večja. Če primerjamo njuni letni stopnji amortizacije, je ta znatno višja pri gumeni membrani, kar poveča stroške vzdrževanja.

4 SONARAVNO UREJANJE PEŠNICE NA PREDVIDENEM ODSEKU

4.1 Cilji sonaravnega urejanja

V tem delu diplomske naloge je cilj, da z nekaterimi hidrotehničnimi ukrepi in vizualnimi ureditvami obravnavani odsek Pešnice uredimo na takšen način, da se bo povečala kvaliteta bivanja ribje populacije in da bo to privabilo večje število ljudi k vodi. Predvideno območje, ki bo predmet sonaravnega urejanja leži na odseku med koncem obstoječe pešpoti in pa novo predvideno cesto (slika 25).



Slika 25: Obravnavani odsek sonaravnega urejanja

Namreč to je odsek, kjer struga Pešnice v gorvodni smeri počasi zgublja svoj regulirani videz in proti koncu odseka preide v popolnoma naravno vigajočo obliko. Takšen prehod se kaže tudi v

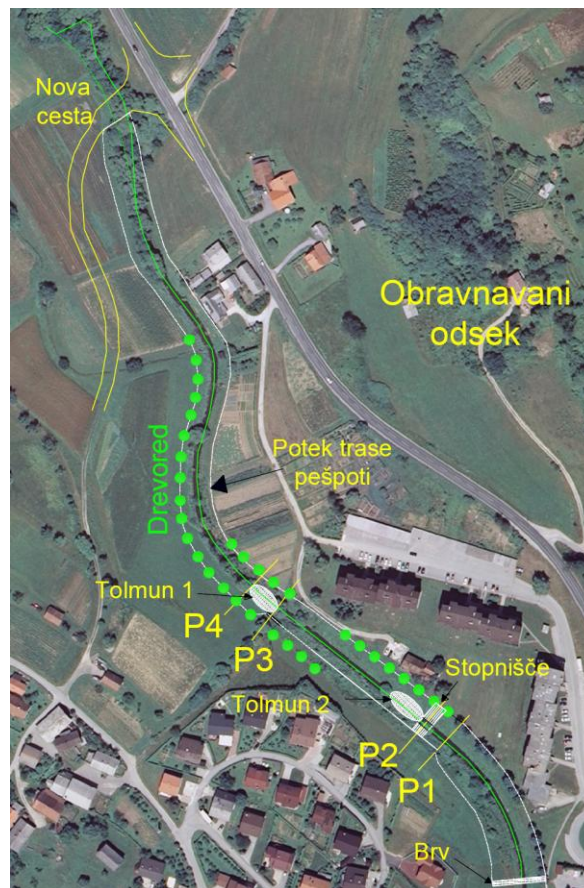
prečni geometriji struge. Do profila P3, gledano gorvodno, ima Pešnica prečni profil enak strugi Pešnice v dovodni smeri. Od profila P3 pa se v geometriji prečnega profila že kažejo naravne linije. Osrednje poglobljeno korito spreminja svojo širino ter globino, brežine pa ne sledijo povsem enoznačnemu naklonu. Padec dna struge na odseku znaša 0,1 % , razen na koncu odseka, gledano v dolvodni smeri, kjer preide v strmec z 0,18 %-padcem. Kar se tiče večjih regulacij struge, je v idejni študiji nove ceste na območju nove ceste že predviden ukrep prestavitve in zravnjanje osi struge. Pri geometriji prečnega prereza struge obravnavanega odseka smo si pomagali s profili, izdelanimi v hidravličnem modelu Pešnice.

Sonaravno urejanje struge poleg inženirskega znanja zahteva tudi smisel za estetiko. Da je vodotok čim bolj privlačen za ljudi, so potrebne nekatere vizualne in praktične ureditve. Mednje sodijo prav gotovo sprehajalna steza, drevored ter navsezadnje tudi hidrotehnični ukrepi, ki izboljšujejo kvaliteto bivanja ribje populacije. V tej nalogi smo poizkušali naštetu upoštevati in z nekim preišljenim in praktičnim pristopom vključiti v obstoječo geometrijo struge. Uvedba tovrstnih ukrepov je tudi v veliki meri odvisna od pretočne dinamike vodotoka in ostalih hidroloških pogojev. Npr. objekti za bogatenje ribjega življa pridejo do izraza ravno v sušnih časih z nizkimi pretoki, ko sta vodostaj in vsebnost kisika v vodi kritično nizka zlasti na ravnih odsekih dna z nizkim padcem. V časih visokih voda omenjeni ukrepi praktično nimajo vpliva na pretočne razmere. Potrebno je le paziti, da so objekti dovolj odporni na porivno in vlečno silo visokovodnega toka.

4.1.1 Ukrepi za izboljšanje preživljanja prostega časa ob strugi

Sprehajalna steza je prvi takšen predvideni ukrep. Pot bo potekala po obeh staneh struge. Na enem koncu odseka jo bo povezala brv za pešce, na drugem pa bo vključena v novo voziščno konstrukcijo. Predvidena pot je tudi nadaljevanje že obstoječe pešpoti, ki pri vrtcu zavije proti stanovanjskim blokom (slika 25). Povezava predvidene sprehajalne steze na obstoječo omogoča tudi vključitev v športni in zeleni park Šentjurja, s čimer si park poveča obstoječe rekreacijske površine. Niveleta osi naj se čim bolj prilagaja terenu. Sama steza bo potekala ob levem oz.

desnem poplavnem robu struge z izjemo na krajšem odseku, kjer smo predvideli nižjo niveleto. Omenjena izjema velja za območje, kjer se teren na desnem bregu struge, gledano v dolvodni smeri, močno dvigne in sicer med profiloma P4 in P1. Na tem mestu se bo niveleta sprehajalne steze spustila bližje k osrednjemu poglobljenemu koritu in ker gre za poseg v obstoječ pretočni profil struge, bo potrebno izvesti izkop za ureditev trase poti (slika 26). Širina steze je takšna, da se lahko srečata dva sprehajalca (1,5 m).

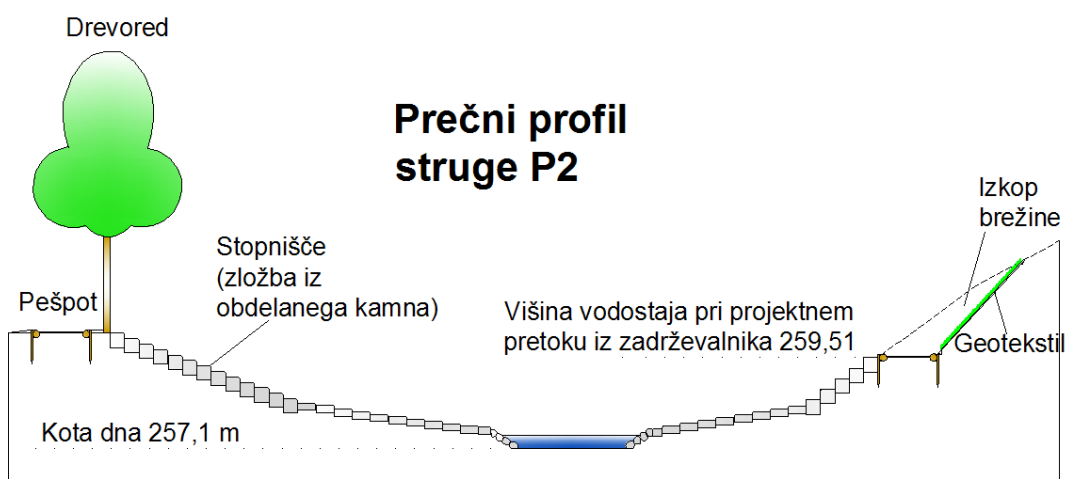


Slika 26: Predvidena ureditev struge na obravnavanem odseku

Robniki steze naj bodo izvedeni z lesenimi oblicami ali pa lesenimi okroglicami pripeti na lesene kole, ki so zabiti v zemljo, vmes pa je lahko položen pesek. Izjemoma bo na odseku med profiloma P3 in P2 izvedba drugačna. Zaradi možnosti preplavitve v času visokih voda priporočamo izvedbo tlakovanja poti s poravnanim lomljencem.

V profilu P2 (slika 26) smo predvideli tudi ureditev brežin v obliki stopnišča. Poseg je namenjen predvsem temu, da se ljudje lahko čim bolj približajo vodi. Takšno mesto smo izbrali zaradi tega, da bi ogledno točko približali stanovalcem bližnjega blokovskega naselja. Tik pred stopniščem smo predvideli tudi tolmun kot razširitev in poglobitev obstoječega osrednjega poglobljenega dela struge. Tolmun bi služil za povečanje vodnatosti struge predvsem v sušnih časih, obenem pa bi predstavljal tudi zatočišče za ribjo populacijo pred visokimi vodami.

Naslednji ukrep v tem sklopu je zasaditev drevoreda oz. ureditev drevesne zarasti. Takšen ukrep je z vidika sonaravnega urejanja pozitiven predvsem iz treh razlogov. Kot zelena vegetacija na urbanem območju povečuje kvaliteto zraka, omogoča zasenčenost vode v strugi in s tem znižuje temperaturo vode ter vizualno bogati izgled krajine. Drevesa so posejana tik ob poplavnem robu struge na medsebojni razdalji okoli 10 m. Predlagam vrsto drevja, ki je že naseljena v dolvodni smeri Pešnice.

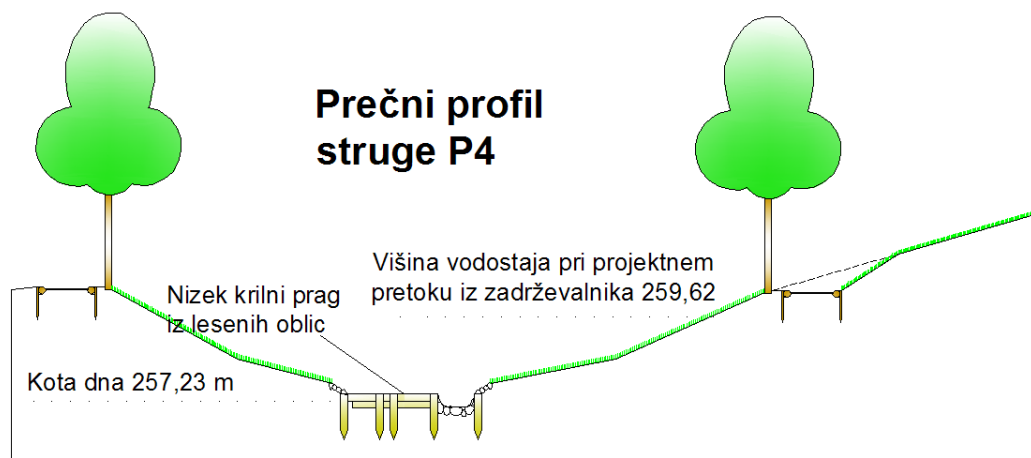


Slika 27: Prečni profil P2 z ureditvijo stopnišča in nižjo niveleto pešpoti

4.1.2 Ukrepi za Obogatitev bivanja ribje populacije

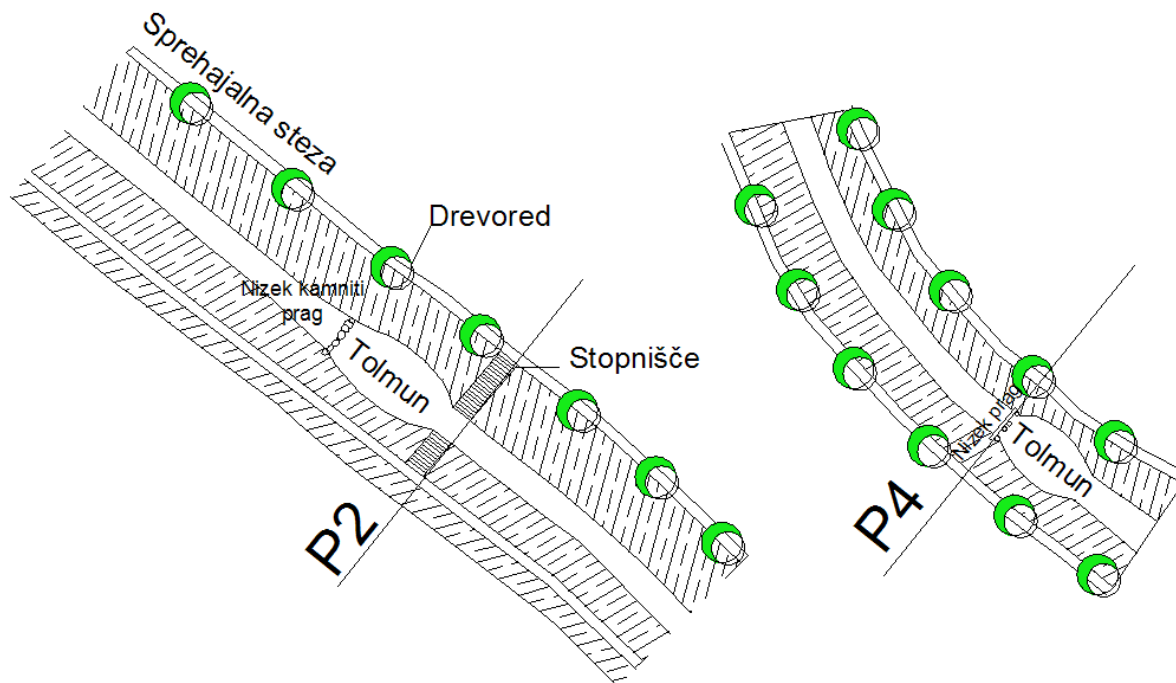
Zaradi regulacij je vodna dinamika Pešnice precej monotona. Za razbijanje takšne monotonosti so najprimernejši nizki prečni objekti (stopnja, nizek prag), ki povzročajo dolvodno deroči tok,

gorvodno pa zaplavek. Vodni skok čez oviro povzroča večje raztapljanje kisika v vodi, zaplavek pred oviro pa je lahko zavetišče ribam. Pri tem moramo paziti, da izvedba praga še vedno omogoča neovirano migracijo rib pri nizkih pretokih. Odločili smo se za nizek krilni prag z izvedbo kombinacije lesenih oblic in kamna v profilu P4. Poleg tega smo predvideli še dva tolmuna, in sicer že omenjeni tolmun pred profilom P2 ter gorvodno za nizkim pragom med profiloma P4 in P3.

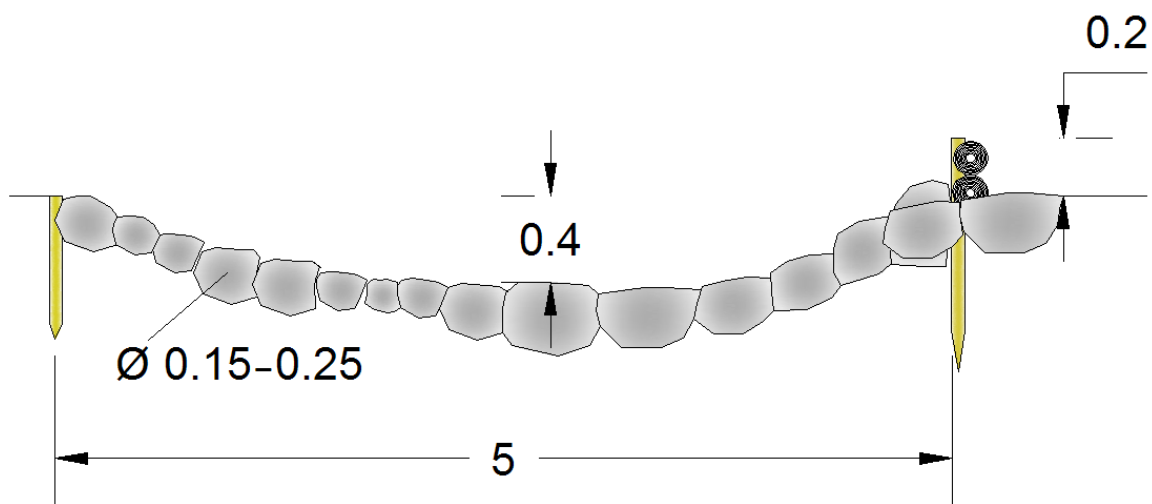


Slika 28: Prečni profil P4 z ureditvijo nizkega praga z lesenimi oblicami

Dimenzioniranje nizkega praga je odvisno od vrednosti sušnega pretoka, s čimer pa v dani situaciji ne razpolagamo. V dolvodni smeri že obstaja nizek betonski prag višine 0,2 m, zato za novi nizek prag predlagamo takšno višino praga. Bistvo nizkega praga je, da pri nizkih in srednjih pretokih povzroča vodni skok oz. prehod iz mirnega v deroči tok. Pri visokih vodah omenjeni ukrep skoraj nima vpliva na tok vode. Obravnavani odsek je kar močno porasel z najrazličnejšo vegetacijo v primerjavi s spodnjim delom Pešnice. Predlagamo čiščenje nizkega grmičevje, večje drevesne zarasti pa se naj ohranijo. Za izvedbo premostitvene konstrukcije predlagamo ozko brv z lesenim ali pa jeklenim nosilcem.



Slika 29: Tloris izvedbe predlaganih ukrepov urejanja struge



Slika 30: Detalj izvedbe nizkega praga z dolvodnim tolmunom

5 ZAKLJUČEK

S predlaganim zadrževalnim sistemom smo dolvodno veliko pripomogli k zmanjšanju poplavnih valov, s čimer se je dolgoročno močno povečala protipoplavna zaščita Šentjurja. Na dane okoliščine in pogoje menimo, da je predlagani sistem najprimernejši. Pri tem se seveda zanašamo, da so predpostavljeni vhodni podatki dovolj verodostojni. Ti so ponavadi stohastične narave in temeljijo zgolj na kratkih zgodovinskih časovnih vrstah. Vodozbiralna površina Pešnice sodi po velikosti med manjša povirska povodja, s tega stališča je izvzeta iz rednega in sistematičnega monitoringa hidroloških in hidravličnih parametrov. Omenjeni manjko smo skušali nadomestiti s sintetičnimi podatki in pa primerjanjem s sosednjimi območji. Kot primerljiv dogodek smo izbrali izjemne padavine, ki so se zgodile decembra 2007. Bistvo projektiranja suhega zadrževalnika je, da oblika maksimalnega projektnega hidrograma čim bolj odgovarja realnemu času in prostoru. S tega vidika se zadrževalnik lahko lažje prilagaja na ostale oblike prihajajočih poplavnih valov in tako oblikuje spekter obratovalnih pravil.

Opozoriti velja tudi na pomen in vpliv zadrževalnika za širše območje. S svojo vodozadrževalno sposobnostjo lahko pripomore k večji protipoplavni varnosti Voglajne in posredno Savinje na območju Celja. Namreč Voglajna in zlasti Savinja sodita med tiste reke, ki pogosto poplavlajo tudi na poseljenih področjih, tako je takšen ukrep zgolj dobrodošel. V tem smislu je pomembno tudi, da se predlagani zadrževalnik na širšem vplivnem območju obravnava in upravlja v sistemu z ostalimi zadrževalniki.

Suhi zadrževalnik za investitorja morda predstavlja velik finančni zalogaj. Na produkt investicije, v tem primeru zadržanje ekstremne poplave, pa lahko čakamo več desetletij. Zato se navidezno zdi takšna investicija nepotrebna. Vendar se v praksi izkaže, da je ob pojavu izrednih dogodkov lahko škoda cenovno bistveno večja kot bi bila sicer cena izgradnje zadrževalnega sistema.

VIRI

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 35, 41, 79, 97, 155.

DIN 19700 T 12. Stauanlagen; Hochwasserrückhaltebecken. Berlin, Beuth Verlag GmbH: 14 str.

Gosar, L. 2008. Umeščanje modelov vodnih sistemov v navidezno okolje. Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: str. 2.

Hydrologic Engineering Center. 2010. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual, Davis CA, U.S. Army Corps of Engineers: str.2-2.

Klabus, A. 1999. Poškodbe cest zaradi visokih voda hudournikov. Ujma, 13, 1-4: 173.

Muth, W., et al. 1996. Hochwasserrückhaltebecken-Planung, Bau und betrieb. 2. verbesserte Auflage, Renningen-Malmsheim, Expert Verlag: str. 6.

MKGP, 2010. Dejanska raba kmetijskih zemljišč-RABA, vector digital data.

http://rkg.gov.si/GERK/Za_OB/

MKGP, 2010. Grafična enota rabe kmetijskih zemljišč-GERK, vector digital data.

http://rkg.gov.si/GERK/Za_OB/

MOP-Agencija RS za okolje. 2004. Hidrogeološka karta (IAH), vector digital data.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

MOP-Agencija RS za okolje. 2005. Povratne dobe za ekstremne padavine

MOP-Geodetska uprava Republike Slovenije. 2006. Digitalni Ortofoto, DOF025_2006

MOP-Agencija RS za okolje. 2008. Visoke vode in poplave 18. septembra 2007. ARSO

MOP-Geodetska uprava Republike Slovenije. 1995. Temeljni topografski načrti, TTN 5

MOP-Geodetska uprava Republike Slovenije. 2006. Digitalni model višin, DMV 5

Pemič, A. in Mikoš, M. 2005. Inženirska hidrotehnika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 52.

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 150, 199.

USACE, 1994. Flood-runoff analysis, EM 1110-2-1417. Washington DC, Office of Chief of Engineers: 214 str.

Vischer, D., Huber, A. 1993. Wasserbau: Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz-und Schutzbauten an Binnengewässern. 5. Auflage. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag: str. 4, 143.

Watry, G., Ames, D., P., Michaelis, C. 2007. Quick Guide to MapWindow GIS Desktop Application. Free Software Foundation: str. 4.

http://www.mapwindow.org/download/Quick_Guide_to_MapWindow_GIS.pdf

PRILOGE

Priloga A: Obratovalna shema jezua

Priloga B: Skupna rekapitulacija izgradnje suhega zadrževalnika

Priloga C: Vzdolžni prerez obravnavanega območja

Priloga D: Idejna zasnova jezovne konstrukcije v tlorisu

Priloga A: Obratovalna shema jezua

Obdobje		Q_d [m ³ /s]	Q_i [m ³ /s]	V_d [m ³]	V_i [m ³]	Bilanca volumnov	Nihanje gladine
od	do						
0:00	0:05	0	0	0	0	0	258,50
0:05	0:10	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
0:10	0:15	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
0:15	0:20	0,3	0,3	90	-90	0	258,52
0:20	0:25	0,5	0,5	150	-150	0	258,53
0:25	0:30	0,7	0,7	210	-210	0	258,54
0:30	0:35	0,9	0,9	270	-270	0	258,55
0:35	0:40	1,3	1,3	390	-390	0	258,57
0:40	0:45	1,6	1,6	480	-480	0	258,58
0:45	0:50	2,1	2,1	630	-630	0	258,61
0:50	0:55	2,6	2,6	780	-780	0	258,64
0:55	1:00	3,1	3,1	930	-930	0	258,66
1:00	1:05	3,8	3,8	1140	-1140	0	258,70
1:05	1:10	4,5	4,5	1350	-1350	0	258,74
1:10	1:15	5,4	5,4	1620	-1620	0	258,79
1:15	1:20	6,3	6,3	1890	-1890	0	258,83
1:20	1:25	7,3	7,3	2190	-2190	0	258,89
1:25	1:30	8,5	8,5	2550	-2550	0	258,95
1:30	1:35	9,8	9,8	2940	-2940	0	259,02
1:35	1:40	11,2	11,2	3360	-3360	0	259,09
1:40	1:45	12,8	12,8	3840	-3840	0	259,18
1:45	1:50	14,4	14,4	4320	-4320	0	259,26
1:50	1:55	16,2	16,2	4860	-4860	0	259,36
1:55	2:00	18,1	18,1	5430	-5430	0	259,46
2:00	2:05	20,1	20,1	6030	-6030	0	259,56
2:05	2:10	22,2	22,2	6660	-6660	0	259,67
2:10	2:15	24,3	24,3	7290	-7290	0	259,78
2:15	2:20	26,6	26,6	7980	-7980	0	259,90
2:20	2:25	28,9	28,9	8670	-8670	0	260,03
2:25	2:30	31,2	31,2	9360	-9360	0	260,15
2:30	2:35	33,6	33,5	10080	-10050	30	260,15
2:35	2:40	36	33,5	10800	-10050	780	260,19
2:40	2:45	38,5	33,5	11550	-10050	2280	260,26
2:45	2:50	41	33,5	12300	-10050	4530	260,37
2:50	2:55	43,4	33,5	13020	-10050	7500	260,51
2:55	3:00	45,8	33,5	13740	-10050	11190	260,69
3:00	3:05	48	33,5	14400	-10050	15540	260,88
3:05	3:10	49,9	33,5	14970	-10050	20460	261,09
3:10	3:15	51,7	33,5	15510	-10050	25920	261,32
3:15	3:20	53,2	33,5	15960	-10050	31830	261,55
3:20	3:25	54,7	33,5	16410	-10050	38190	261,78
3:25	3:30	55,9	33,5	16770	-10050	44910	262,02
3:30	3:35	57	33,5	17100	-10050	51960	262,25
3:35	3:40	57,9	33,5	17370	-10050	59280	262,47
3:40	3:45	58,6	33,5	17580	-10050	66810	262,68
3:45	3:50	59,1	33,5	17730	-10050	74490	262,87
3:50	3:55	59,3	33,5	17790	-10050	82230	263,05

3:55	4:00	59,2	33,5	17760	-10050	89940	263,21
4:00	4:05	58,9	33,5	17670	-10050	97560	263,36
4:05	4:10	58,2	33,5	17460	-10050	104970	263,48
4:10	4:15	57,4	33,5	17220	-10050	112140	263,59
4:15	4:20	56,3	33,5	16890	-10050	118980	263,68
4:20	4:25	55	33,5	16500	-10050	125430	263,76
4:25	4:30	53,5	33,5	16050	-10050	131430	263,82
4:30	4:35	51,9	33,5	15570	-10050	136950	263,87
4:35	4:40	50,2	33,5	15060	-10050	141960	263,92
4:40	4:45	48,4	33,5	14520	-10050	146430	263,95
4:45	4:50	46,6	33,5	13980	-10050	150360	263,97
4:50	4:55	44,9	33,5	13470	-10050	153780	263,99
4:55	5:00	43,2	33,5	12960	-10050	156690	264,01
5:00	5:05	41,5	33,5	12450	-10050	159090	264,02
5:05	5:10	39,9	33,5	11970	-10050	161010	264,03
5:10	5:15	38,4	33,5	11520	-10050	162480	264,03
5:15	5:20	37	33,5	11100	-10050	163530	264,04
5:20	5:25	35,6	33,5	10680	-10050	164160	264,04
5:25	5:30	34,3	33,5	10290	-10050	164400	264,04
5:30	5:35	33,1	33,5	9930	-10050	164280	264,04
5:35	5:40	32	33,5	9600	-10050	163830	264,04
5:40	5:45	30,9	33,5	9270	-10050	163050	264,04
5:45	5:50	29,9	33,5	8970	-10050	161970	264,03
5:50	5:55	29	33,5	8700	-10050	160620	264,03
5:55	6:00	28,1	33,5	8430	-10050	159000	264,02
6:00	6:05	27,2	33,5	8160	-10050	157110	264,01
6:05	6:10	26,5	33,5	7950	-10050	155010	264,00
6:10	6:15	25,7	33,5	7710	-10050	152670	263,99
6:15	6:20	25	33,5	7500	-10050	150120	263,97
6:20	6:25	24,3	33,5	7290	-10050	147360	263,95
6:25	6:30	23,7	33,5	7110	-10050	144420	263,93
6:30	6:35	23,1	33,5	6930	-10050	141300	263,91
6:35	6:40	22,5	33,5	6750	-10050	138000	263,88
6:40	6:45	21,9	33,5	6570	-10050	134520	263,85
6:45	6:50	21,4	33,5	6420	-10050	130890	263,82
6:50	6:55	20,8	33,5	6240	-10050	127080	263,78
6:55	7:00	20,3	33,5	6090	-10050	123120	263,73
7:00	7:05	19,8	33,5	5940	-10050	119010	263,68
7:05	7:10	19,4	33,5	5820	-10050	114780	263,63
7:10	7:15	18,9	33,5	5670	-10050	110400	263,57
7:15	7:20	18,5	33,5	5550	-10050	105900	263,50
7:20	7:25	18,1	33,5	5430	-10050	101280	263,42
7:25	7:30	17,7	33,5	5310	-10050	96540	263,34
7:30	7:35	17,3	33,5	5190	-10050	91680	263,25
7:35	7:40	17	33,5	5100	-10050	86730	263,15
7:40	7:45	16,6	33,5	4980	-10050	81660	263,04
7:45	7:50	16,3	33,5	4890	-10050	76500	262,92
7:50	7:55	16	33,5	4800	-10050	71250	262,79
7:55	8:00	15,7	33,5	4710	-10050	65910	262,65
8:00	8:05	15,4	33,5	4620	-10050	60480	262,50
8:05	8:10	15,2	32,543	4560	-9762,9	55277	262,35
8:10	8:15	14,9	31,586	4470	-9475,8	50271	262,19
8:15	8:20	14,7	30,629	4410	-9188,7	45493	262,04
8:20	8:25	14,5	29,672	4350	-8901,6	40941	261,88
8:25	8:30	14,3	28,715	4290	-8614,5	36617	261,73

8:30	8:35	14,1	27,758	4230	-8327,4	32519	261,57
8:35	8:40	13,9	26,801	4170	-8040,3	28649	261,43
8:40	8:45	13,7	25,844	4110	-7753,2	25006	261,28
8:45	8:50	13,5	24,887	4050	-7466,1	21590	261,14
8:50	8:55	13,4	23,93	4020	-7179	18431	261,01
8:55	9:00	13,3	22,973	3990	-6891,9	15529	260,88
9:00	9:05	13,1	22,016	3930	-6604,8	12854	260,76
9:05	9:10	13	21,059	3900	-6317,7	10436	260,65
9:10	9:15	12,9	20,102	3870	-6030,6	8276	260,55
9:15	9:20	12,7	19,145	3810	-5743,5	6342	260,46
9:20	9:25	12,6	18,188	3780	-5456,4	4666	260,38
9:25	9:30	12,5	17,231	3750	-5169,3	3246	260,31
9:30	9:35	12,4	16,274	3720	-4882,2	2084	260,25
9:35	9:40	12,3	15,317	3690	-4595,1	1179	260,21
9:40	9:45	12,2	14,36	3660	-4308	531	260,18
9:45	9:50	12,1	13,403	3630	-4020,9	140	260,16
9:50	9:55	12	12,446	3600	-3733,8	6	260,15
9:55	10:00	11,9	11,9	3570	-3570	0	260,11
10:00	10:05	11,8	11,8	3540	-3540	0	260,07
10:05	10:10	11,6	11,6	3480	-3480	0	260,03
10:10	10:15	11,5	11,5	3450	-3450	0	259,99
10:15	10:20	11,4	11,4	3420	-3420	0	259,95
10:20	10:25	11,3	11,3	3390	-3390	0	259,91
10:25	10:30	11,2	11,2	3360	-3360	0	259,87
10:30	10:35	11,1	11,1	3330	-3330	0	259,83
10:35	10:40	11	11	3300	-3300	0	259,79
10:40	10:45	10,9	10,9	3270	-3270	0	259,75
10:45	10:50	10,9	10,9	3270	-3270	0	259,71
10:50	10:55	10,8	10,8	3240	-3240	0	259,67
10:55	11:00	10,7	10,7	3210	-3210	0	259,63
11:00	11:05	10,6	10,6	3180	-3180	0	259,59
11:05	11:10	10,5	10,5	3150	-3150	0	259,55
11:10	11:15	10,4	10,4	3120	-3120	0	259,51
11:15	11:20	10,3	10,3	3090	-3090	0	259,47
11:20	11:25	10,2	10,2	3060	-3060	0	259,43
11:25	11:30	10,1	10,1	3030	-3030	0	259,39
11:30	11:35	10,1	10,1	3030	-3030	0	259,35
11:35	11:40	10	10	3000	-3000	0	259,31
11:40	11:45	9,9	9,9	2970	-2970	0	259,27
11:45	11:50	9,8	9,8	2940	-2940	0	259,23
11:50	11:55	9,8	9,8	2940	-2940	0	259,19
11:55	12:00	9,7	9,7	2910	-2910	0	259,15
12:00	12:05	9,6	9,6	2880	-2880	0	259,11
12:05	12:10	9,6	9,6	2880	-2880	0	259,01
12:10	12:15	9,5	9,5	2850	-2850	0	259,00
12:15	12:20	9,5	9,5	2850	-2850	0	259,00
12:20	12:25	9,4	9,4	2820	-2820	0	259,00
12:25	12:30	9,4	9,4	2820	-2820	0	259,00
12:30	12:35	9,3	9,3	2790	-2790	0	258,99
12:35	12:40	9,3	9,3	2790	-2790	0	258,99
12:40	12:45	9,2	9,2	2760	-2760	0	258,99
12:45	12:50	9,2	9,2	2760	-2760	0	258,99
12:50	12:55	9,1	9,1	2730	-2730	0	258,98
12:55	13:00	9,1	9,1	2730	-2730	0	258,98
13:00	13:05	9	9	2700	-2700	0	258,98

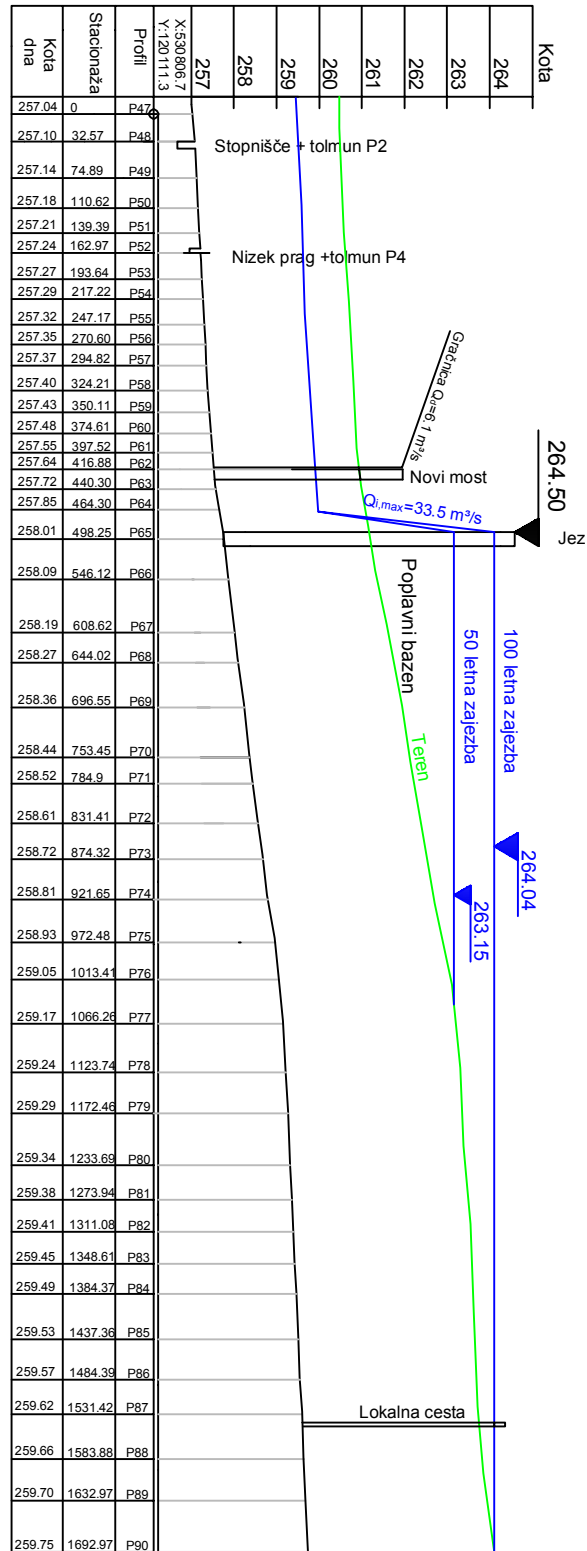
13:05	13:10	9	9	2700	-2700	0	258,98
13:10	13:15	8,9	8,9	2670	-2670	0	258,97
13:15	13:20	8,9	8,9	2670	-2670	0	258,97
13:20	13:25	8,8	8,8	2640	-2640	0	258,96
13:25	13:30	8,8	8,8	2640	-2640	0	258,96
13:30	13:35	8,7	8,7	2610	-2610	0	258,96
13:35	13:40	8,6	8,6	2580	-2580	0	258,95
13:40	13:45	8,5	8,5	2550	-2550	0	258,95
13:45	13:50	8,4	8,4	2520	-2520	0	258,94
13:50	13:55	8,3	8,3	2490	-2490	0	258,94
13:55	14:00	8,2	8,2	2460	-2460	0	258,93
14:00	14:05	8	8	2400	-2400	0	258,92
14:05	14:10	7,9	7,9	2370	-2370	0	258,92
14:10	14:15	7,7	7,7	2310	-2310	0	258,91
14:15	14:20	7,5	7,5	2250	-2250	0	258,90
14:20	14:25	7,4	7,4	2220	-2220	0	258,89
14:25	14:30	7,2	7,2	2160	-2160	0	258,88
14:30	14:35	6,9	6,9	2070	-2070	0	258,86
14:35	14:40	6,7	6,7	2010	-2010	0	258,85
14:40	14:45	6,5	6,5	1950	-1950	0	258,84
14:45	14:50	6,2	6,2	1860	-1860	0	258,83
14:50	14:55	6	6	1800	-1800	0	258,82
14:55	15:00	5,7	5,7	1710	-1710	0	258,80
15:00	15:05	5,4	5,4	1620	-1620	0	258,79
15:05	15:10	5,2	5,2	1560	-1560	0	258,77
15:10	15:15	4,9	4,9	1470	-1470	0	258,76
15:15	15:20	4,7	4,7	1410	-1410	0	258,75
15:20	15:25	4,4	4,4	1320	-1320	0	258,73
15:25	15:30	4,2	4,2	1260	-1260	0	258,72
15:30	15:35	3,9	3,9	1170	-1170	0	258,71
15:35	15:40	3,7	3,7	1110	-1110	0	258,70
15:40	15:45	3,5	3,5	1050	-1050	0	258,68
15:45	15:50	3,3	3,3	990	-990	0	258,67
15:50	15:55	3,1	3,1	930	-930	0	258,66
15:55	16:00	3	3	900	-900	0	258,66
16:00	16:05	2,8	2,8	840	-840	0	258,65
16:05	16:10	2,6	2,6	780	-780	0	258,64
16:10	16:15	2,5	2,5	750	-750	0	258,63
16:15	16:20	2,3	2,3	690	-690	0	258,62
16:20	16:25	2,2	2,2	660	-660	0	258,62
16:25	16:30	2,1	2,1	630	-630	0	258,61
16:30	16:35	2	2	600	-600	0	258,61
16:35	16:40	1,9	1,9	570	-570	0	258,60
16:40	16:45	1,8	1,8	540	-540	0	258,60
16:45	16:50	1,7	1,7	510	-510	0	258,59
16:50	16:55	1,6	1,6	480	-480	0	258,58
16:55	17:00	1,5	1,5	450	-450	0	258,58
17:00	17:05	1,4	1,4	420	-420	0	258,57
17:05	17:10	1,3	1,3	390	-390	0	258,57
17:10	17:15	1,2	1,2	360	-360	0	258,56
17:15	17:20	1,2	1,2	360	-360	0	258,56
17:20	17:25	1,1	1,1	330	-330	0	258,56
17:25	17:30	1	1	300	-300	0	258,55
17:30	17:35	1	1	300	-300	0	258,55
17:35	17:40	0,9	0,9	270	-270	0	258,55

17:40	17:45	0,9	0,9	270	-270	0	258,55
17:45	17:50	0,8	0,8	240	-240	0	258,54
17:50	17:55	0,8	0,8	240	-240	0	258,54
17:55	18:00	0,7	0,7	210	-210	0	258,54
18:00	18:05	0,7	0,7	210	-210	0	258,54
18:05	18:10	0,6	0,6	180	-180	0	258,53
18:10	18:15	0,6	0,6	180	-180	0	258,53
18:15	18:20	0,6	0,6	180	-180	0	258,53
18:20	18:25	0,5	0,5	150	-150	0	258,53
18:25	18:30	0,5	0,5	150	-150	0	258,53
18:30	18:35	0,5	0,5	150	-150	0	258,53
18:35	18:40	0,4	0,4	120	-120	0	258,52
18:40	18:45	0,4	0,4	120	-120	0	258,52
18:45	18:50	0,4	0,4	120	-120	0	258,52
18:50	18:55	0,4	0,4	120	-120	0	258,52
18:55	19:00	0,3	0,3	90	-90	0	258,52
19:00	19:05	0,3	0,3	90	-90	0	258,52
19:05	19:10	0,3	0,3	90	-90	0	258,52
19:10	19:15	0,3	0,3	90	-90	0	258,52
19:15	19:20	0,3	0,3	90	-90	0	258,52
19:20	19:25	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:25	19:30	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:30	19:35	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:35	19:40	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:40	19:45	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:45	19:50	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:50	19:55	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
19:55	20:00	0,2	0,2	60	-60	0	258,51
20:00	20:05	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:05	20:10	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:10	20:15	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:15	20:20	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:20	20:25	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:25	20:30	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:30	20:35	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:35	20:40	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:40	20:45	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:45	20:50	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:50	20:55	0,1	0,1	30	-30	0	258,51
20:55	21:00	0,1	0,1	30	-30	0	258,51

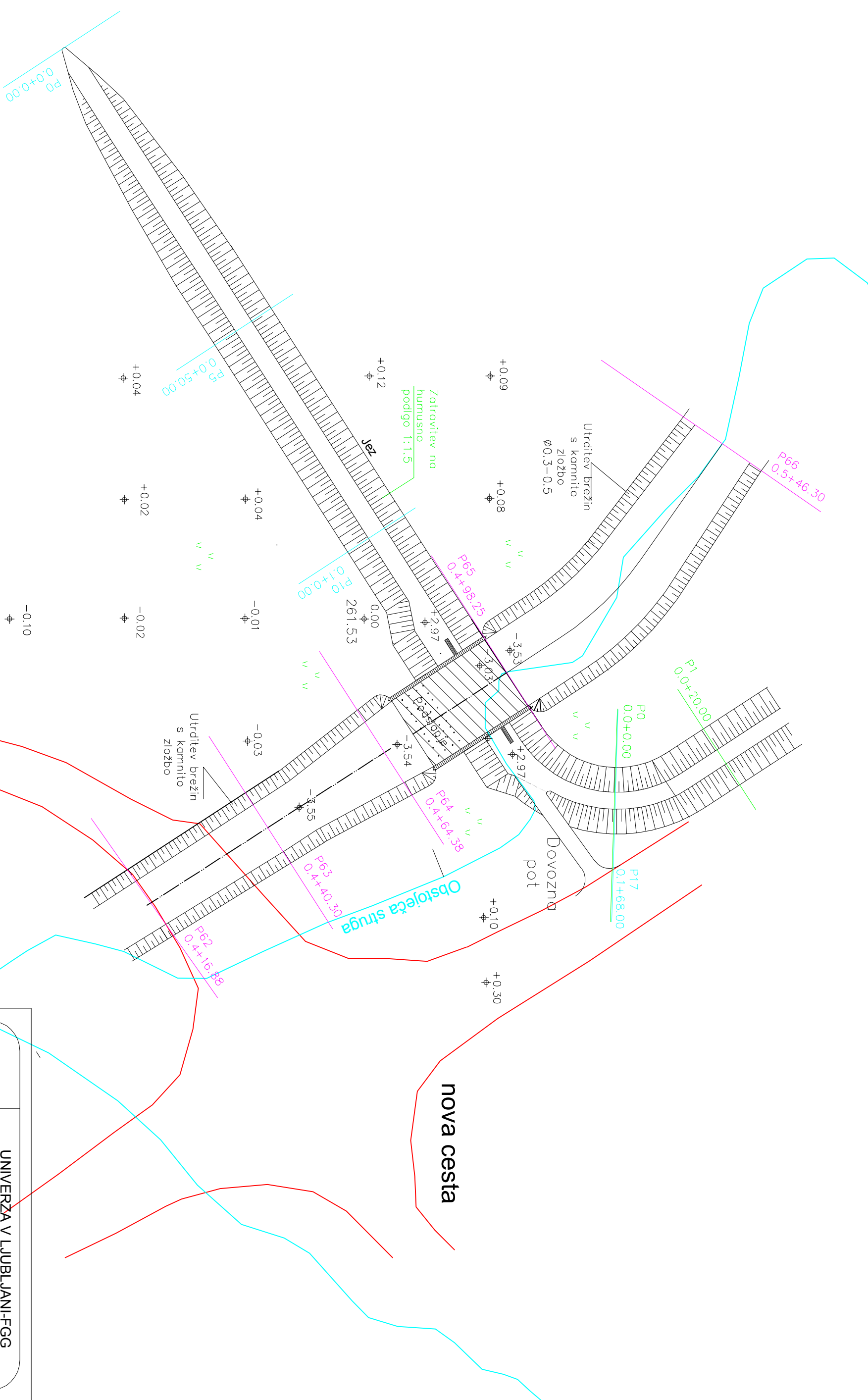
Priloga B: Skupna rekapitulacija izgradnje suhega zadrževalnika

	Enota	Predračunska količina	Cena na enoto [EUR]	Skupaj [EUR]	
ODKUP ZEMLJIŠČ	m ²	5574	5,5	30657	
GRADBENA DELA					
I	PREDDELA				
	Geodetska zakoličba objekta	-	1	3500	3500
	Čiščenje terena pred izvedbo del	-	1	1500	1500
II	ZEMELJSKA DELA				
	Izkop nove struge z odvozom materiala v staro strugo (zasip)	m ³	2670	2,6	6942
	Razširitev struge pred jezovno napravo	m ³	667	2,6	1734
	Planiranje in utrjevanje dna izkopa	m ²	1734	1,3	2254
	Zasip stare struge z utrjevanjem v slojih (material od izkopa)	m ³	1669	1,5	2503
	Dobava in ugrajevanje nasipa z razgrinjanjem in komprimiranjem lokacija materiala neznana	m ³	6704	15	100560
III	BETONSKA DELA				
	Dobava in vgrajevanje betona, opažiranje in armiranje za izvedbo jezovne konstrukcije	m ³	425	200	85000
STROJNE INŠTALACIJE					
	Gumena membrana- varianta A				
	Dobava in vgradnja gumene membrane, dobava in montaža potrebnih strojnih inštalacij za polnjenje in praznjenje gumene membrane, dobava in	-	1	145000	145000

	montaža merilnih instrumentov in alarmnega sistema				
	Ravna zaklopka-. Varianta B				
	Dobava in vgradnja ravne zaklopke, dobava in montaža strojnih inštalacij za dvižni mehanizema, dobava in montaža merilnih inštrumentov in alarmnega sistema	-	1	18000	18000
ELEKTRO INSTALACIJE					
	Dobava in montaža dovodnega kabla, omarice in notranje napeljave	-	1	2500	2500
RAZNO					
	humusiranje	m ²	3858	5,5	19290
	Zatravitev z ustrezno travno mešanico na pripravljeno humuzirano podlago	m ²	3858	1,8	6944
	Zavarovanje brežin struge s kamnito zložbo premera 0,3-0,5 m	m ²	745	25	18625
	Ureditev zbirnega kanala ob nasipu, širine 0,2 m	m	591,8	7,5	4438
	Nadvišanje lokalne ceste za 0,5 m in razširitev profila pod mostom	-	1	35000	35000
			Varianta A	SKUPAJ	466447
			Varianta B	SKUPAJ	501447
NEPREDVIDENA DELA					
	10 % vrednosti celotne vrednosti		Varianta A		46644
			Varianta B		50144
			Varianta A	SKUPAJ	513091
			Varianta B	SKUPAJ	551591



UNIVERZA V LJUBLJANI-FGG KATEDRA ZA SPLOŠNO HIDROTEHNIKO		
Projekt:	Zasnova suhega zadrževalnika	
Vsebina:	Ivzdolžni prerez obravnavanega območja	
Izdelal:	Matej Kocjan	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Datum: 18.09.2010	Merilo: /	Priloga C



UNIVERZA V LJUBLJANI-FGG		
KATEDRA ZA SPLOŠNO HIDROTEHNIKO		
Projekt:	Zasnova suhega zadrževalnika	
Vsebina:	Idejna zasnova jezua v tlorisu	
Izdelal:	Matej Kocjan	
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski	
Datum:	Merilo:	Priloga D
18.09.2010	1: 300	