

Hidrološka analiza bujice Jamina na otoku Rabu

Paparić, Tomislav

Graduate thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:795516>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-01**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



zir.nsk.hr



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Tomislav Paparić

**HIDROLOŠKA ANALIZA BUJICE JAMINA
NA OTOKU RABU**

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski stručni studij
Graditeljstvo u priobalju i komunalni sustavi
Revitalizacija vodotoka**

**Tomislav Paparić
JMBAG:
0114020317**

**HIDROLOŠKA ANALIZA BUJICE JAMINA
NA OTOKU RABU**

Diplomski rad

Rijeka, studeni 2023

IZJAVA

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Ime i prezime

U Rijeci, 07.11.2023.

Zahvala:

Želim se zahvaliti osobama koje su mi pružile sve potrebno da bi došao do ovog rada i uspješno ga napisao.

Zahvaljujem se komentoru Doc.dr.sc. Ivani Sušanji Čule, mag.ing.aedif. na stručnoj pomoći, prenesenom znanju, podršci prilikom odabira teme i na motivirajućem duhu tijekom izrade ovog rada. Također, zahvaljujem se i mentoru Prof. dr. sc. Nevenki Ožanić na danoj suglasnosti za predloženu temu, na kojoj mi je bilo veliko zadovoljstvo raditi.

Hvala prijateljima, kolegama i kolegicama s posla koji su mi bila moralna podrška, također veliko hvala kolegama i kolegicama s kojima sam ravnomjerno dijelio timske zadatke tokom studiranja.

Hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje u samom startu i bez kojih do ovog rada ne bi bilo moguće doći, u znak zahvale ovaj rad posvećujem upravo njima.

I na kraju, ali nikako manje važno, zahvaljujem se svojoj supruzi Sandri i kćeri Leani na strpljenju i razumijevanju tijekom studiranja.

SAŽETAK:

U ovom radu prikazana je analiza sliva i proračun maksimalnih količina protoka za različite povratne periode. Korištene su dvije metode za proračun, Racionalna metoda i SCS metoda jediničnog hidrograma. Na temelju dobivenih rezultata analizirano je retencioniranje vode i dana je preporuka za dimenzioniranje kanala. Dobiveni rezultati popraćeni su grafičkim i tabličnim prikazu.

Ključne riječi: analiza sliva, Racionalna metoda, SCS metoda, jedinični hidrogram

ABSTRACT:

This paper presents the analysis of the watershed and the calculation of maximum flow volumes for different return periods. Two methods were used for the calculation, the Rational method and the SCS method of the unit hydrograph. Based on the obtained results, water retention was analyzed and a recommendation was given for channel sizing. The obtained results are accompanied by graphical and tabular presentation.

Key words: watershed analysis, Rational method, SCS method, unit hydrogram

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD----- | 7 |
| 2. UVODNO O UTOCIMA VODOTOKA U MORE,CILJANO NA BUJIČNE VODOTOKE----- | 9 |
| 2.1. Moguće vrste rješenja----- | 9 |
| 2.2. Primjeri----- | 9 |
| 3. POVIJEST I STANJE BUJICE JAMINA----- | 11 |
| 3.1. Općenito----- | 11 |
| 3.2. Današnje stanje i definiranje problema (utok u more)----- | 17 |
| 4. HIDROLOŠKO HIDRAULIČKA ANALIZA BUJICE JAMINA----- | 35 |
| 4.1. Smještaj i opis bujice----- | 35 |
| 4.2. Tumačenje urbanističkog plana uređenja----- | 36 |
| 4.3. Fizičke osobine sliva----- | 37 |
| 4.3.1. <i>Određivanje oblika sliva</i> ----- | 37 |
| 4.3.2. <i>Pad sliva</i> ----- | 38 |
| 4.3.3. <i>Gustoća drenske mreže na slivu</i> ----- | 38 |
| 4.4. Izračun otjecanja sa sliva bujice Jamina----- | 39 |
| 4.4.1. <i>Racionalna metoda</i> ----- | 39 |
| 4.4.2. <i>SCS metoda uz primjenu jediničnog hidrograma</i> ----- | 46 |
| 4.5. Analiza retencioniranja vode----- | 56 |
| 4.5.1. <i>Hidraulički izračun ulaznog izlaznog hidrograma na retencijama</i> ---- | 57 |
| 4.5.2. <i>Hidraulički izračun ulazno izlaznog hidrograma na prirodno formiranoj retenciji</i> ----- | 58 |
| 4.5.3. <i>Hidraulički izračun kanala</i> ----- | 65 |
| 5. ZAKLJUČAK----- | 68 |
| 6. NACRTI----- | 69 |
| 7. LITERATURA----- | 70 |

Popis tablica

| | |
|---|----|
| Tablica 1: Racionalni koeficijent----- | 40 |
| Tablica 2: Jednadžba ITP krivulje za različita povratna razdoblja----- | 44 |
| Tablica 3: Brojevi krivulja otjecanja----- | 47 |
| Tablica 4: Jednadžba ITP krivulje za različita povratna razdoblja----- | 49 |
| Tablica 5: Ukupna visina oborina P prema ITP krivulji----- | 51 |
| Tablica 6: Izračun kumulativnih efektivnih oborina P_e ----- | 52 |
| Tablica 7: Protok prema SCS metodi za različite povratne periode----- | 52 |
| Tablica 8: Prikaz maksimalnih protoka za određene povratne periode na temelju izrađenog hidrograma----- | 55 |
| Tablica 9: Ovisnost dubine vode u retenciji i volumena vode u retenciji----- | 60 |
| Tablica 10: Rezultati dobivenih ovisnosti dubine i volumena----- | 61 |
| Tablica 11: Rezultati izlaznog hidrograma----- | 62 |

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1: Prikaz stanja sliva 1986. g. i danas (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina) ----- | 12 |
| Slika 2: Pregledan situacija sliva (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina)----- | 13 |
| Slika 3: Prikaz planiranih vegetacijskih radova (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina)----- | 14 |
| Slika 4: Stari most, prijelaz preko prirodno formiranog kanala (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina)----- | 15 |
| Slika 5: Tlocrt i presjek projektiranog mosta i završnog objekta (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina)----- | 15 |
| Slika 6: Vegetacija na neuređenom dijelu prirodno formiranog korita----- | 18 |
| Slika 7: Nanos kamenja sa sliva u donji dio neuređenog korita----- | 18 |
| Slika 8: Poprečni objekt na gornjem djelu korita za zadržavanje nanosa----- | 19 |
| Slika 9: Poprečni objekt za zadržavanje nanosa, pogled nizvodno----- | 20 |
| Slika 10: Nanos uzvodno od poprečnog objekta----- | 21 |
| Slika 11: Poprečni objekt za zadržavanje nanosa (gabion)----- | 22 |
| Slika 12: Nacrt izvora špilje Jamina (Nenad Buzjak, Vedran Jalžić, Branko Jalžić, Petra Kovač-Konrad, Rapski zbornik II, UDK:551.44:556.36>(497.5)(210.7 Rab))----- | 23 |
| Slika 13: Ulaz u izvor Jamina----- | 24 |
| Slika 14: Armiranobetonski most i poprečni objekt, pogled nizvodno----- | 25 |
| Slika 15: Armiranobetonski most i poprečni objekt, pogled uzvodno----- | 26 |
| Slika 16: Poprečni presjek kanala danas (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina)----- | 27 |
| Slika 17: Poprečni presjek kanala, normalni profil kinete danas (Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina)----- | 27 |

| | |
|--|----|
| Slika 18: Uređeno korito bez protoka vode----- | 28 |
| Slika 19: Pogled uzvodno i nizvodno uređenog dijela korita----- | 28 |
| Slika 20: Položaj uređenog kanala i izgrađen autokamp (https://geoportal.dgu.hr)----- | 30 |
| Slika 21: Protok u kanalu nakon intenzivnije kiše----- | 31 |
| Slika 22: Turbulentno tečenje vode----- | 31 |
| Slika 23: Ušće bujice Jamina----- | 32 |
| Slika 24: Krater na plaži nakon bujične vode----- | 33 |
| Slika 25: Saniranje nastalog kratera na plaži----- | 33 |
| Slika 26: Lokacija sliva i bujice Jamina (https://geoportal.dgu.hr)----- | 36 |
| Slika 27: Zaštićeni krajobraz (ID_PPUO_Lopar_3A_uvjeti.korist. -priroda-i-kultura_PP3.pdf.) https://www.opcina-lopar.hr ----- | 37 |
| Slika 28: Situacijski prikaz sliva----- | 39 |
| Slika 29: ITP krivulja za Otok Rab (DHMZ SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ služba za klimatologiju)----- | 43 |
| Slika 30: ITP krivulja za Otok Rab (DHMZ SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ služba za klimatologiju)----- | 50 |
| Slika 31: Grafički prikaz hidrograma otjecanja----- | 56 |
| Slika 32: Situacija prirodno formirane retencija----- | 59 |
| Slika 33: Tlocrt i presjek prirodno formirane retencije----- | 59 |
| Slika 34: Ovisnost dubine vode u retenciji te volumena vode----- | 60 |
| Slika 35: Izlazno ulazni hidrogram----- | 65 |
| Slika 36: Prikaz dobivenih rezultata prema početnim uvjetima kanala----- | 66 |

1. UVOD

Slivna područja i bujične vode su grana hidrologije, odnosno potamologija koja se bavi proučavanjem površinske vode i vodnog režima. Bujične vode su poseban oblik površinskih voda čija su korita u pravilu za vrijeme bez oborina ili sa oborinama malog intenziteta suha, ili sa zanemarivom količinom otjecanja površinskih voda. U krškim područjima kakvog u Hrvatskoj ima puno, od krajnjeg sjevera pa to krajnjeg juga Jadrana uključujući i sve otoke, osim 2-3 otoka koja se ne mogu svrstati u krška područja, slivne površine su strme i bujične vode imaju veliku hidrauličku energiju. Ušća bujičnih voda obično su u uvalama i pješćanim plažama koja su sve primamljivija područja ljudima u pogledu mjesta za opuštanje. Ubrzanom tempom urbanizacije prostora uvidjelo se da antropogene izmjene provedene na slivnim područjima bujica mogu stvarati probleme pa se potaknuto sve učestalijim štetnim djelovanjem voda u urbanoj sredini krenulo sa uređenjem slivova i vodotoka bujica. Činjenicom da je turizam danas grana djelatnosti koja iz godine u godinu ima sve veće financijske prihode, kako za državu tako i za pojedinca koji ima svoje poslovanje usmjereno ka turizmu, u tom pogledu su bujične vode od velikog značaja u smislu regulacije, uređenja sliva i vodotoka.

Ovaj diplomski rad obuhvaća analizu sliva bujice Jamina koji je popraćen izračunom. U tu svrhu je provedena analiza prema ombografskim podacima na postaji Rab iz raspoloživog 53-godišnjeg razdoblja mjerenja, 1970. – 2022. od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda. Prema podacima iz ITP krivulje, dvjema metodama se proračunalo maksimalni protok za različite povratne periode.

Prva metoda za hidrološki izračun je korištena Racionalna metoda kojom se napravila analiza pokrova sliva i otjecanje, na temelju podataka iz analize i podacima iz ITP krivulje izračunao se $Q [m^3/s]$ maksimalni protok za povratne periode od 2, 10 i 100 godina. Racionalna metoda je jedna od najjednostavnijih i najpoznatijih metoda hidrologije i zasniva se na određivanju maksimalnih protoka na temelju fizičkih osobina sliva i drugih čimbenika koji utječu na otjecanje.

Druga metoda koja je korištena za proračun maksimalnog protoka je SCS metoda koju je razvila Služba za očuvanje tla, Američkog odjela za poljoprivredu (Soil Conservation Service, SCS, of the US Department of Agriculture) za primjenu u seoskim područjima. Kasnije je ista metoda prilagođena za uporabu u urbanim područjima i primjenu na računalima. Metoda se oslanja na definiranje broja krivulje, CN (curve number), koji najviše ovisi o tipu tla, stupnju

izgrađenosti i prethodnim uvjetima vlažnosti. CN je u stvari koeficijent otjecanja koji obuhvaća učinke infiltracije, akumulacije i trajanja oborina. Ovom metodom su dobiveni nešto manji maksimalni protoci u odnosu na Racionalnu metodu i rađeni su dodatno izračuni za 5, 20 i 50 godišnji povratni period za maksimalne protoke. (Izvor: SCS metoda proračuna.doc (grad.hr), 28.10.2023.

Cilj ovoga istraživanja je stjecanje saznanja o sveobuhvatnoj problematici slivnih površina i bujičnih voda. Na temelju stečenog znanja postići optimalno rješenje za predmetni bujični tok, bez većih zahvata u postojeće korito u donjem toku bujice na način da se smanji količina vode u proticajnom profilu kanala. Rezultat se želi postići retencijom bujične vode u gornjem dijelu uređenog toka.

Diplomski je rad sastavljen od 6 poglavlja uključujući uvod, literaturu te zaključak. Poglavlja su podijeljena na način da svako poglavlje opisuje dio na koji se odnosi tako da se stekne detaljna slika od obrađenoj temi.

Poglavlje 1. Uvod – u uvodnom djelu je dan prikaz općenito o obrađenoj temi, njezinom značaju te o tome što je sve obuhvaćeno ovim Diplomskim radom.

Poglavlje 2. Uvodno o utocima vodotoka u more, ciljano na bujične vodotoke – u 2. poglavlju je dan prikaz što karakterizira bujične vodotoke i koji se problemi javljaju sa velikim bujičnim vodama.

Poglavlje 3. Povijest i stanje bujice – U ovom dijelu se daje uvid u stanje bujice Jamina prije i nakon zahvata, odnosno uređenjem slivne površine i bujičnog toka.

Poglavlje 4. Idejni projekt Urbane revitalizacije bujice Jamina – u 4. poglavlju je dan prikaz računski dio i grafički dio. Također je dan prikaz o lokaciji i pravnom statusu prema urbanističkom planu uređenja u skladu sa Zakonom o vodama.

Poglavlje 5. Zaključak – u ovom poglavlju dan je presjek kroz provedeno istraživanje i na temelju dobivenih rezultata je iznesen stav i preporuke za daljnje zahvate na predmetnom zadatku.

2. Uvodno u utocima vodotoka u more, ciljano na bujične vodotoke

2.1. Moguće vrste rješenja

Bujice ili bujični tokovi su povremeni ili stalni prirodni vodotoci (jaruge, suhe doline, potoci i rječice), čija su slivna područja zahvaćena erozivnim procesima. Karakterizirane su naglim nadolascima poplavnih voda koje nastaju neposredno poslije ili za vrijeme intenzivnijih oborina ili ubrzanog topljenja snijega, kao i velikim količinama nanosa i razornom snagom toka. Pod pojmom erozija podrazumijevaju se promjene na površinskom sloju tla koje nastaju kao posljedica djelovanja kiše, snijega, mraza, temperaturnih razlika, vjetra, valova, struja, tekućih voda i antropogenih činilaca. Te promjene uvijek označavaju procese isključivo vezane za otkidanje, transport i taloženje čestica. Izvor: Uređenje bujičnih tokova (bujica) (cetinadd.hr), <https://www.cetinadd.hr>, pristup 20.07.2023.

Na području podvelebitskih i otočnih bujica obrana od poplava uglavnom se sastoji od regulacijskih radova u svrhu osiguranja nesmetanog protoka velikih voda i od izgradnje regulacijskih vodnih građevina kako bi se smanjio pronosa nanosa i osigurala stabilnost korita. U svrhu smirivanja donjeg toka gradu se kaskade i stepenice u koritu. Kao moguća rješenja su stvaranje inundacijskog područja, gradnja oteretnog kanala, postavljanje većih kamenih blokova u gornjem dijelu sliva radi smanjenje brzine toka. Izvor: Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja, sektor F-Južni Jadran, <https://voda.hr>, pristup 20.07.2023.

2.2 Primjeri

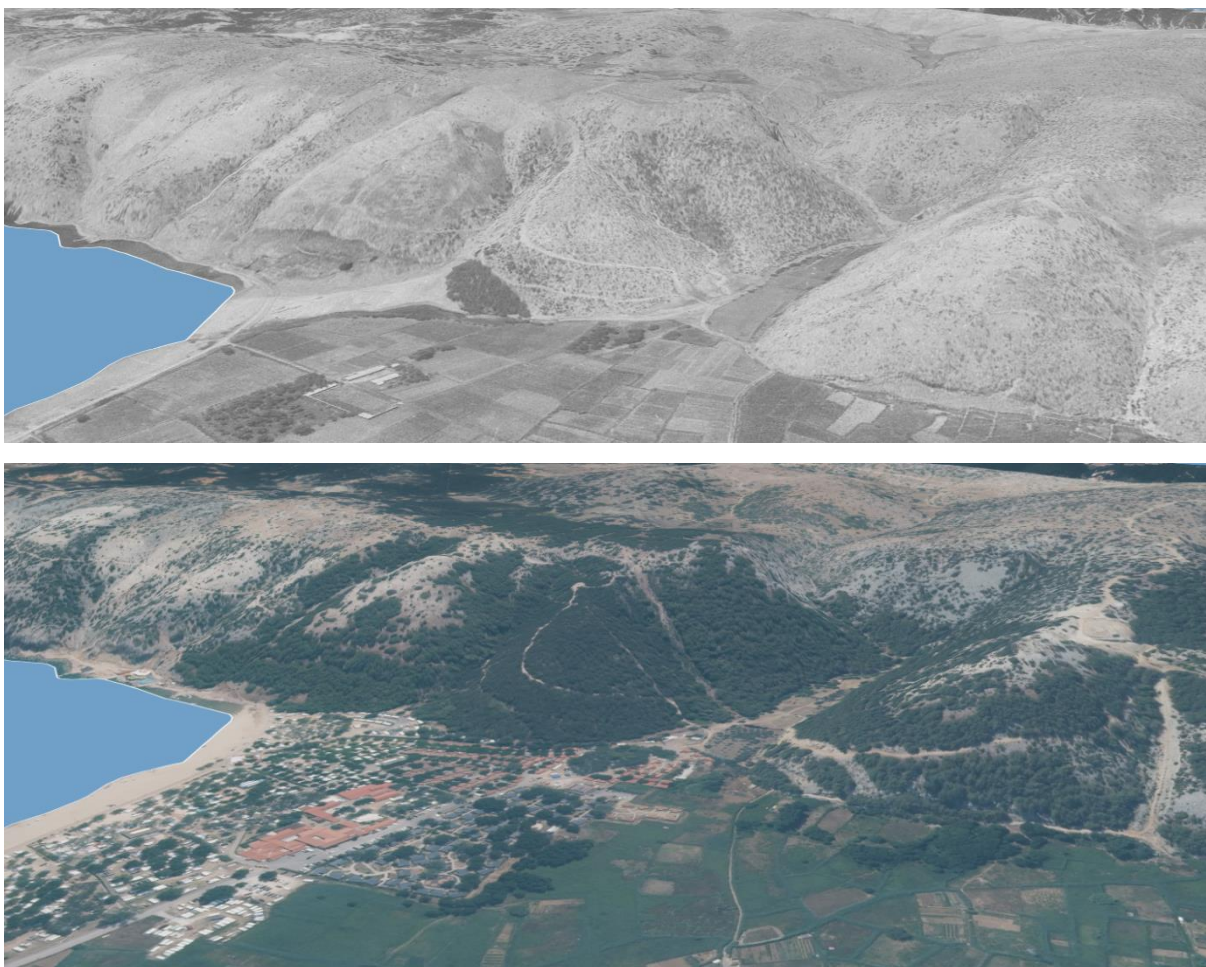
Jedan od mogućih rješenja poslužiti će primjer regulacija dijela bujice Vodna Draga u Sibinju Krmpotskom u Primorsko-goranskoj Županiji. Predmetni zahvat se odnosi na radove regulacije dionice bujice Vodna Draga u duljini od oko 392 m u mjestu Sibinj Krmpotski na području grada Novog Vinodolskog u Primorsko-goranskoj županiji. Cilj predmetnog zahvata je regulacijom bujice omogućiti sigurno otjecanje te spriječiti erozijske procese i plavljenje koje ugrožava područje autokampa i okolnih privatnih posjeda. Duljina trase novog kanala iznosi ukupno 391,80 m i sadrži 9 krivina. Radi lakšeg praćenja situacije i predviđenih radova regulacije predmetna dionica je podijeljena na 3 dionice koje se kreću od ilegalno iskopanog platoa do utoka u more. Korito je cijelom svojom dužinom devastirano i neuređeno stoga je u svim dionicama potrebno izvesti zahvate regulacije definiranjem nove trase i nivelete te izgradnjom hidrotehničkih objekata. Uzdužni pad vodotoka prilagođen je karakteristikama terena, a dionicu karakteriziraju blagi nagibi između 2,34 % i 5,31 %. Za potrebe projekta izrađena je hidrološka analiza slivnog područja, usvojena je vrijednost za 50 – godišnji povratni

period koji iznosi $Q=18,80 \text{ m}^3/\text{s}$ te se s tom količinom pristupilo hidrauličkom proračunu za dimenzioniranje kanala i pripadajućih objekata regulacije. Nizvodno od Jadranske magistrale bujica prolazi kroz prostor autokampa Sibirj, zbog čega se trasa uređenja vodotoka postavlja lijevim rubom doline. Predviđeno je otvoreno korito sa obalnim zidovima visine 1,20 metara i dnom širine 4 m. Obalni zidovi su armiranobetonski, obloženi kamenom u betonu, sa padom lica zida 5:1. Dno kanala obloženo je kamenom u betonu. Na dionici se na mjestu postojećih terasa nalazi niz stepenica. Kako je postojeći teren kampa uređen terasama, predviđene stepenice na vodotoku prate postojeće terase. Predviđene su 4 stepenice čija će krila biti potrebno tlocrtno uklopiti u zidove terasa. Neposredno prije utoka u more predviđen je propust radi omogućavanja duž obalne pješačke komunikacije. Posljednji dio dionice predmetnog zadatka dužine je oko 172 metara koja vodi do nelegalno iskopanog platoa. Ova dionica obuhvaća strmiji dio toka do površine gdje je predviđen zaključni objekt. Radi savladavanja uzdužnog pada predviđena je ugradnja tipskih stepenica visine 1,30 metara. Između profila 30 i 32 predviđeno je otvoreno korito širine 6,0 m i visine 1,20 sa prijelaznim građevinama i kanalom obloženim rip – rap-om. U profilu 32 se nastavlja isti oblik kanala, sa prijelaznim građevinama i obložen rip – rapom u debljini obloge od 0,80 m, dna širine 4,0 m i obalnih zidova visine 1,5 m. Zaključni objekt je visine 3,4 m sa slapištem dužine 8,55 m i širine dna 4 m, produbljeno za 0,6 m. Izvor: Regulacija dijela bujice Vodna Draga u Sibirju Krmpotskom, Primorsko-goranska Županija, Vita projekt d.o.o. Zagreb, <https://www2.pgz.hr>, preuzeto 28.10.2023.

3. POVIJEST I STANJE BUJICE JAMINA

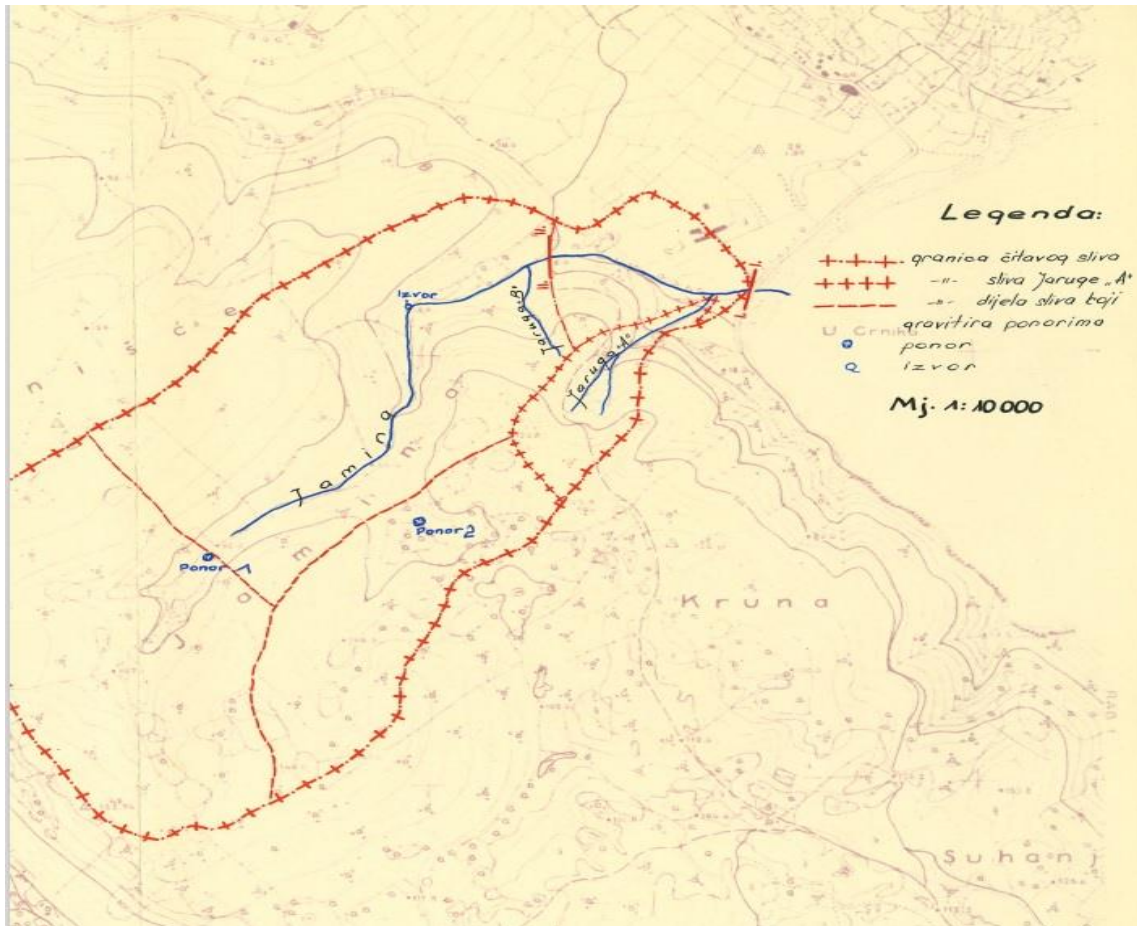
3.1. Općenito

Bujica Jamina je do kraja 60-ih godina prošloga stoljeća bila neuređen vodotok, odnosno voda je prirodnim putem otjecala u „Loparsko polje“ i u uvalu crnika (danas Rajska plaža). Turizam još 60-ih godina nije bio razvijen pa je lokalno stanovništvo u punom mahu obrađivalo zemlju, zapravo nema obitelji koja se u to vrijeme nije bavila poljoprivredom i stočarstvom. Prema riječima lokalnih starješina, površina sliva koja utječe na bujicu Jamina je bila potpuno pošumljena i prevladavao je stablo crnike. Vegetacija je bila osebujna i bila je prva slika netaknute prirode. Obzirom na to da onda nije bilo ozbiljno shvaćeno upravljanje šumom i kontrolirana sječa, lokalno stanovništvo je neovlašteno i bez organizirane sječe vršila sječu i koristila drva za ogrjev i izradu dijelova čamaca. Inače, drvo crnike je jako kalorično i ima veću gustoću u odnosu na neke druge vrste drva pa je to drvo bilo jako pogodno za stanovništvo. Bivša država Jugoslavija je izgradila zatvor na obližnjim otocima (Goli otok i Grgur) na kojima se stanovništvo koristilo vegetacijom za ispašu svojih stada ovaca, koza itd., pa je zabranila pristup otocima. Stanovništvo je bilo prisiljeno sa svojim stadima vršiti ispašu na drugim lokacijama, a jedna od tih lokacija je bila površina sliva na kojim se paralelno vršila neovlaštena sječa. Kontinuiranom upotrebom površine sliva za ispašu i paralelno vršenje neovlaštene sječe je opustošilo površine gotovo do golog kamena. Kako je vegetacija potpuno uništena tako je erozija tla za vrijeme većih kiša počela biti sve izraženija pa se u prirodno formirano korito sve više taložilo nanosa i time na nekim dijelovima dovela prirodno korito na visinu okolnih površina. Okolne površine, poznatije kao „Loparsko polje“ je bilo plodno tlo zbog svoje lokacije (u podnožju sliva) pa je za vrijeme ljetnih suša veliku ulogu igrale procjedne vode koje su veći dio sezone vlažile tlo pa su potrebe za navodnjavanjem bile manje. Zanimljiva je činjenica da su upravo te površine korištene većim djelom za usjeve, odnosno za prehranu zatvorenika na izgrađenom zatvoru na Golom otoku i Grguru. Napredovanjem erozije je dovelo do toga da se za vrijeme većih kiša bujična voda počela izljevati iz prirodnog korita i poplavljivat okolne obradive površine i uništavati usjeve. Sve učestalije izlivanje je potaknulo pitanje za uređenjem vodotoka pa se polovicom 60-ih godina prošloga stoljeća krenulo u proces regulacije Jamina. Zanimljivo je vidjeti (slika 1) stanje sliva iz 1968. g. i danas. Izvor: Projekt uređenja bujice Jamina od Opće Vodne zajednice Rijeka iz 1965 g.

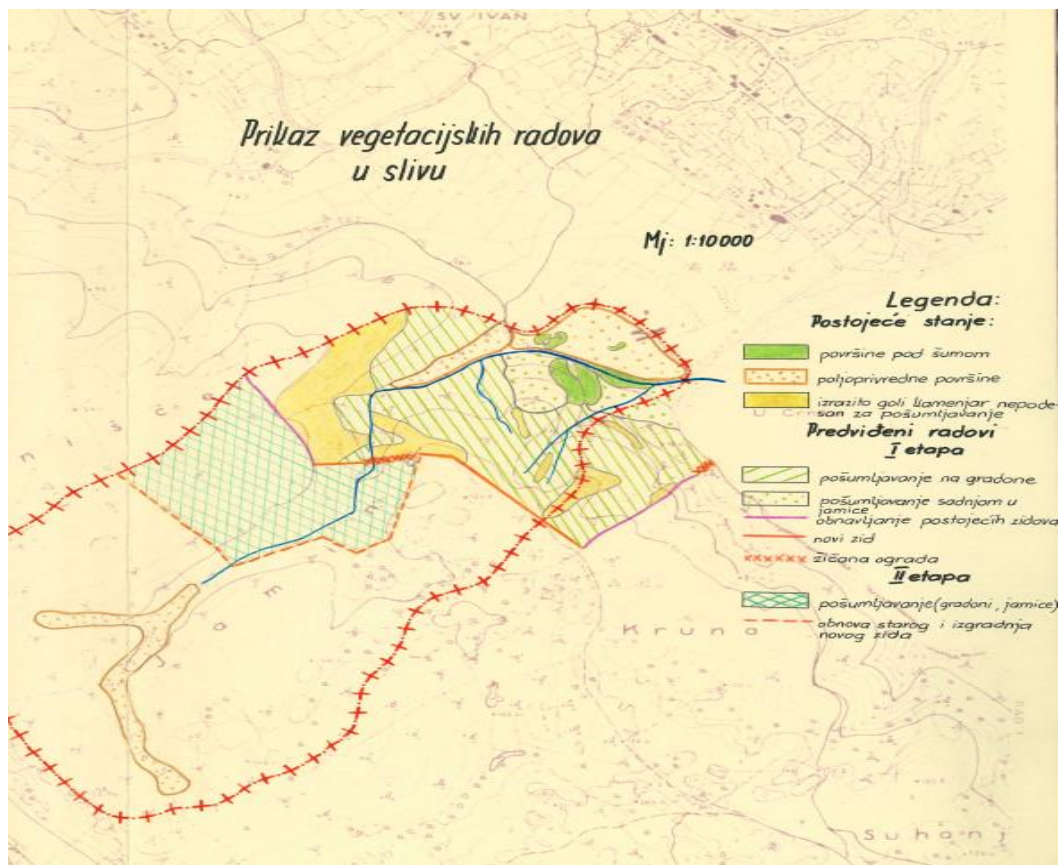


Slika 1: Prikazuje stanje sliva (gornja slika) 1968. g. i stanje sliva (donja slika) 2022. g. (preuzeto sa <https://geoportal.dgu.hr>, 28.10.2023.)

Početkom 70-ih godina prošloga stoljeća se krenulo sa uređenjem toka bujice Jamina u dužini od 700 m koje je obuhvaćalo i dva manja sliva nazvanih u projektu Jaruga A i Jaruga B (slika 2), odnosno kojeg prihvaća glavno korito bujice Jamina. Također je radovima obuhvaćeno i pošumljavanje (slika 3) cjelokupne površine sliva.



Slika 2: Pregledna situacija sliva M 1:10000, Opća vodna zajednica Rijeka, istražno-projektni odsjek, uređenje bujice Jamina. 1965. g.

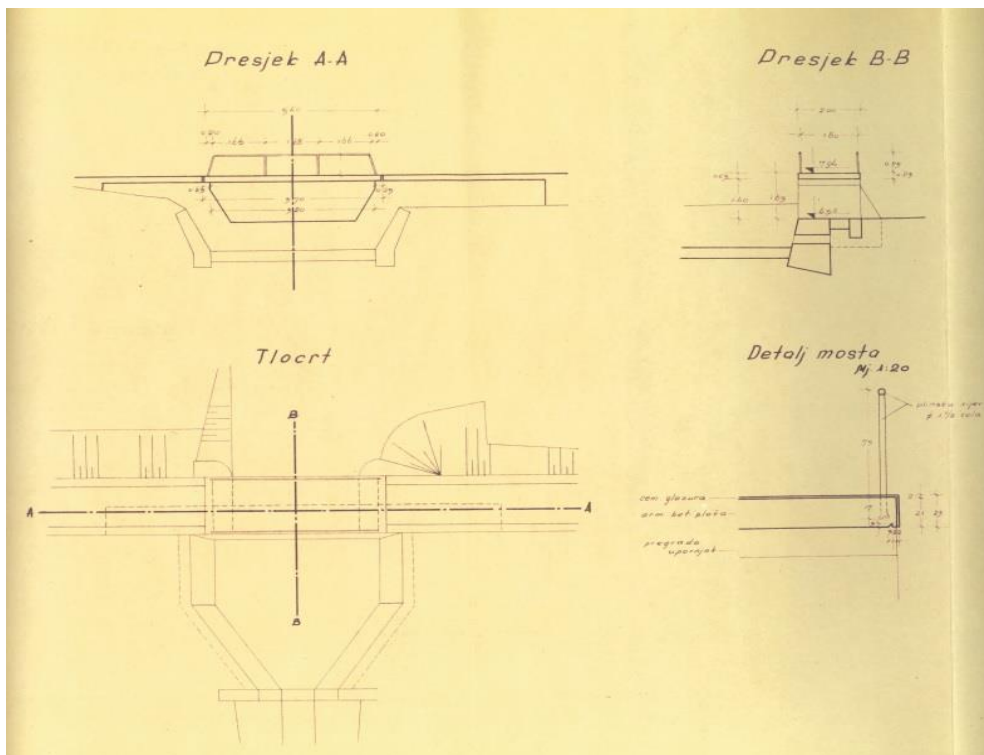


Slika 3: Prikaz planiranih vegetacijskih radova, Opća vodna zajednica Rijeka, istražno-projektni odsjek, uređenje bujice Jamina. 1965. g.

Uređenje glavnog korita počelo je na samom ušću u more stacionaža kanala 0+000,00 pa do stacionaže kanala 0+419,49 stara cesta Lopar – Sup. Draga (danas poznatija kao Premužićeva staza) gdje taj dio kanala završava mostom (slika 4) i gradnjom završnog preljevnog objekta (slika 5).



Slika 4: Stari most koji prelazi preko prirodno formiranog korita, Opća vodna zajednica Rijeka, istražno-projektni odsjek, uređenje bujice Jamina. 1965. g.



Slika 5: Tlocrt i presjek projektiranog mosta i završnog objekta na kineti 0+419,49, Opća vodna zajednica Rijeka, istražno-projektni odsjek, uređenje bujice Jamina. 1965. g.

Kao jedino rješenje za gradnju završnog preljevnog objekta je trup stare ceste jer je okolni teren malo uzdignut, donji dio korita prolazi kroz pjeskovito i muljevito tlo i kota nivelete je manja pa bi gradnja objekta još više smanjila kotu nivelete što bi nepovoljno djelovalo na utoku u more jer bi se znatno smanjila brzina otjecanja što bi se odrazilo na taloženje erozije i smanjivanje protočne površine korita. Nagib nivelete je projektiran sa padom od $I=-1,3\%$ i brzinom od $v=5,06\text{ m/s}$. Prema tadašnjim pravilima struke je brzina dosta veća od $v=3,5\text{ m/s}$ za korita građena od kamena u mortu ali je brzina prihvaćena iz razloga što su veliki protoci na toku rijetki pa se time pokušalo smanjiti taloženje pijeska kojeg u donjem dijelu kinete vjetar poprilično nanosi u zimskim mjesecima. Prije utoka u more kineta prolazi ipod kolnog mosta i završava sa pragom. Na drugom dijelu dionice od završnog objekta i mosta pa do stacinaže kanala 0+680,00 uređenje korita predviđeno je sa objektima od žičane košare (gabionima) jer na tom dijelu ima kamena koji se iskoristio za punjenje gabiona. Korito je prirodno formirano u kamenitom tlu što je dovoljna stabilizacija pa nema potrebe za većim zahvatima u profil korita. Na stacionaži kinete 0+530,00 do 0+550,00 je strma padina koju voda potkopava pa se je na tom dijelu napravljen uzdignuti prag čime se kota nivelete podigla od podnožja padine i tok vode je malo preusmjeren kako bi se erozija svela na minimum. Izgradnja daljnjih objekta ne bi imala smisla jer je teren strmovit i kamenit. Uzvodno od završnog objekta se nalazi izvor Jamina iz kojeg za vrijeme većih kiša izvire podzemna voda, dok za vrijeme bez padalina izvor miruje. Detaljan opis izvora će se obraditi pod točkom današnje stanje i definiranje problema utoka u more.

Uređenje sliva A (u projektu uređenje bujice Jamina nazvan Jaruga A) su odrađeni samo u donjem dijelu toka u dužini od cca. 150 m. Na tom dijelu toka korito prolazi kroz pijesak, odnosno pješćane dine koje djelovanjem vode i vjetra stalno mijenjaju smjer toka. Korito je fiksirano a od stacinaže 0+095,00 je kineta malo izdignuta od postojećeg terena da se izbjegne zatrpavanje pijeskom. Uzvodno su izvedena 4 praga od žičanih košara (gabioni) radi fiksiranja korita i zaustavljanja nanosa.

Uređenje sliva B (u projektu uređenje bujice Jamina nazvan Jaruga B) nisu odrađeni posebni zahvati. Prirodno korito se nalazi u kamenitoj čvrstoj stijeni pa bi bilo kakvi radovi financijski bili neopravdani s obzirom na to da sliv na utoku u glavno korito donosi samo za veće kiše (pljusak) malu količinu nanosa nevezanog kamena i erodiranog tla. Radovi koji su odrađeni na ovom djelu su pošumljavanje površine sliva koja utječe na korito B tako da se s time riješilo, odnosno svelo na minimum erozija tla.

3.2. Današnje stanje i definiranje problema (utok u more)

Za potrebe definiranja sliva i same bujice Jamina proveden je detaljan obilazak iz kojeg proizlazi usporedba prvotnog stanja, stanja nakon provođenja regulacije vodotoka te stanje danas.

Kada gledamo cjelokupni sliv, uređeno i neuređeno korito može se reći da vegetacija (slika 6) koja je bila obuhvaćena uređenjem bujice uspjela i da dobro služi svrsi, odnosno smanjenju erozije. Neuređeno korito je približno onome stanju kada su ga inženjeri opisivali u tehničkom opisu u projektu iz 1965. godine. Uređeno korito fizički gledano je većim djelom u dobrom stanju, ima oštećenja na objektima koji služe za smanjenje brzine vode i gabionima koji su sada već prekriveni erodiranim tлом i kamenjem. Donji dio toka ima poprilično nataloženog materijala što je znatno smanjilo površinu profila korita što se odražava za velike vode prelijevanjem vode iz korita. Održavanje korita je većim djelom onemogućeno zbog formiranja autokampa uzdužno uređenom djelu korita i to cijelom dužinom do samoga utoka u more. Pristup je moguć jedino ljudstvom a to je nedovoljno za kompletno čišćenje kanala, potrebni su radni strojevi za vađenje nanosa pijeska, zemlje i kamenja. Na slici 6 se može vidjeti kako zasađena stabla i nisko raslinje zadržava pokos od veće erozije. Vidljivo je kako sa gornjeg dijela sliva voda donosi kamenje i taloži ga na donjem djelu neuređenog korita (slika 7) gdje se zbog prirodnog smanjenja nagiba terena smanjuje brzina vode.



Slika 6: Vegetacija na neuređenom dijelu prirodno formiranog korita. (Slika autora 26.03.2023.)



Slika 7: Nanos kamenja sa sliva u donji dio neuređenog korita. (Slika autora 26.03.2023.)

Poprečni objekt (slika 8 i 9) napravljen od žičanih košara ispunjenih kamenjem (gabion) koji služi za zadržavanje nanosa (erozije) sa gornjeg djela sliva. Slapište poprečnog objekta izvedeno je zidanim kamenom u betonu. Na dnu slapišta vidljiva su oštećenja koje je hidraulički skok erozivnim silama prouzročio te produbio prostor slapišta. Bujične pregrade se uobičajeno sastoje i od zapreminskog prostora iza same pregrade a čiji je zadatak prikupljanje nanosa. U ovom slučaju nanos je gotovo dostigao kotu vrha poprečnog objekta, odnosno pregrade.



Slika 8: Poprečni objekt na gornjem djelu korita za zadržavanje nanosa. (Slika autora 05.09.2022.)



Slika 9: Poprečni objekt za zadržavanje nanosa, pogled nizvodno. (Slika autora 26.03.2023.)

Oštećeno slapište poprečnog objekta kojemu prijete rušenje kompletnog objekta ako u skorije vrijeme se ne izvrši sanacija. Jačinu sile bujične vode odlično dokazuje masivno kamenje koje je voda prebacila preko poprečnog objekta za zadržavanje nanosa i nataložila nizvodno od objekta. Dio kamenja je od same konstrukcije, odnosno dijelovi razrušenog djela poprečnog objekta. Nanos kamenog materijala uvodno od poprečnog objekta (slika 10) je toliko napredovalo da je sada kota nivelete neuređenog korita viša od kote pregrade poprečnog objekta. Ovo je prvi objekt na neuređenom djelu korita bujice Jamina. Najveći prihvat slivne površinske vode se događa upravo na ovom djelu neuređenog korita. Za većih kiša se aktivira podzemna voda kojoj se izvor (izvor Jamina) nalazi također na ovom djelu najvećeg prihvaća slivne vode.



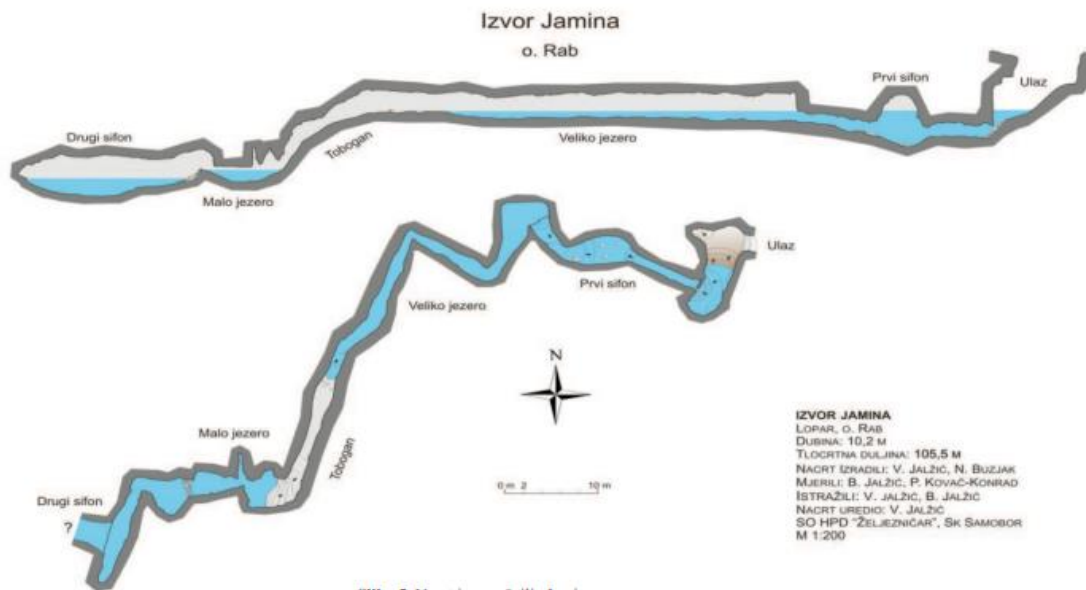
Slika 10: Nanos uzvodno od poprečnog objekta. (Slika autora 26.03.2023.)

Poprečni objekt za zadržavanje nanosa koji je u fizičkom smislu u dobrom stanju. Slobodnom tečenju smeta stablo u smislu prepreke koje je palo poprečno preko korita (slika 11) pa otvara mogućnost stvaranja čepa nagomilavanjem borovih iglica i slično za vrijeme slabijih voda kada voda nema veliku silu. S donje strane poprečnog objekta vidljiv je dio uređenog korita koji u dijelu djelovanja vode sa slapišta nema nanosa, dok malo nizvodno je korito potpuno zatrpano nanosom zemlje i kamena. Na ovom dijelu zasigurno dolazi do prelijevanja vode po okolnom neuređenom dijelu što za posljedicu ima nošenje nanosa i taloženje u niže dijelove korita.



Slika 11: Poprečni objekt za zadržavanje nanosa (gabion). (Slika autora 18.04.2022.)

Izvor Jamina nalazi se u dijelu morfostrukture grebena Kamenjak jugozapadno od Loparskog polja. Izvor je jednostavna špilja (slika 12) s hidrogeološkom funkcijom povremenog izvora. Oblikovana je u naslagama gornjokrednog vapnenca dobro razvijene sekundarne poroznosti. Voda potječe iz okršenog zaleđa Krune. Speleoronilačkim istraživanjima utvrđeno je postojanje 105,5 m dugog kanala promjenjiva smjera. Najniža točka dna kanala je na dubini 10,2 m. Kada nema izviranja vode, kanal je djelomično ispunjen zaostalom vodom u obliku manjih jezera.



Slika 12: Nacrt izvora-špilje Jamina. (Izvor: Rapski zbornik II, UDK:551.44:556.36>(497.5)(210.7 Rab, preuzeto 20.07.2023.)

Ulazni dio u kojem voda stagnira kada nema izviranja je polukružni tlocrt s okomitim stijenama (slika 13). S obzirom na prevjesne stijene i polukružni oblik na spoju s jarugom Jamina, s velikom se sigurnošću može pretpostaviti da je i ovo nekada bio špiljski prostor u kojem je došlo do urušavanja stropa čime je dobio današnji anfiteatralni oblik. Od Jaruge taj je prostor, koji možemo smatrati ulaznim i u speleogenetskom smislu sastavnim dijelom špilje, odvojen stjenovitim „pragom“ visine do 1,8 m. Otvor na gornjem rubu anfiteatra je dimenzije 12 x 9 m. Današnje strmo dno koje se spušta prema površini jezerca pokriveno je tлом, a u donjem dijelu, uz obalu jezerca, javljaju se kršje i veći blokovi koji također govore u prilog pretpostavci o urušavanju.



Slika 13: Ulaz u izvor Jamina, pogled za vrijeme stagnacije vode i netom nakon izviranja. (Slika autora 26.03.2023. i 05.09.2022.)

Na stijenama iznad ulaznog jezerca vidljivi su tragovi promjene razine vode i različitog trošenja matčne stijene. Tijekom istraživanja 2010. g. ekipa speleoga i speleoronilaca, članova Speleoškog odsjeka HPD-a „Željezničar“ (Zagreb), Hrvatskog biospeleološkog društva i Speleološkog kluba „Samobor“ razina vode bila je niska pa izviranja nije bilo. Također nije zabilježeno strujanje vode. Prema pričama starješina mještana Lopara, voda iz Jamine povremeno izvire u veljači i ožujku što se poklapa s povećanom količinom padalina. Tada je protok vode iz Jamine veći od protoka jarugom Jamina pa njezina voda vjerojatno „presijeca“ tok jaruge, odnosno površinske vode sa sliva.

O snazi istjecanja svjedoči i udubina ispod kamenog praga na ušću vode iz izvora Jamina u neuređeno korito sliva nastala erozijom velike količine vode koja slapovito prlijeva preko stjenovitog praga koji izvor odvaja od jaruge.

Sa armiranobetonskim mostom koji prelazi preko korita (slika 14) počinje potpuno regulirani dio korita, odnosno taj objekt služi kao završni objekt reguliranog vodotoka. U sklopu mosta je izgrađen objekt sa proširenom površinom poprečnog presjeka korita (slika 15) radi smanjenja brzine tečenja i kaskadom jer je na ovom dijelu nagib terena nešto veći.

Na slici 14 moguće je vidjeti kako je voda nailaskom na završni objekt stvorila prirodno proširenje odnosno došlo je do erozije prirodnih pokosa kanala. Voda se u ovom djelu prirodno retencionira te se brzina vode smanjuje prije ulaska vode u sam kanal.

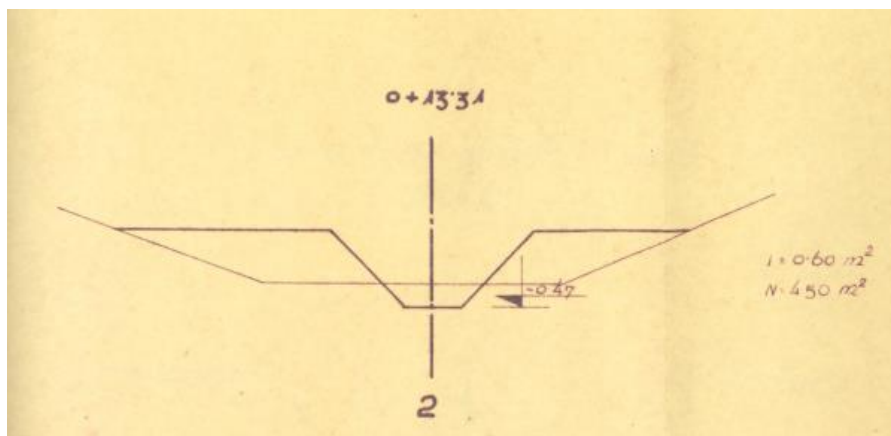


Slika 14: Armiranobetonski most i poprečni objekt, pogled nizvodno. (Slika autora 26.03.2023.)

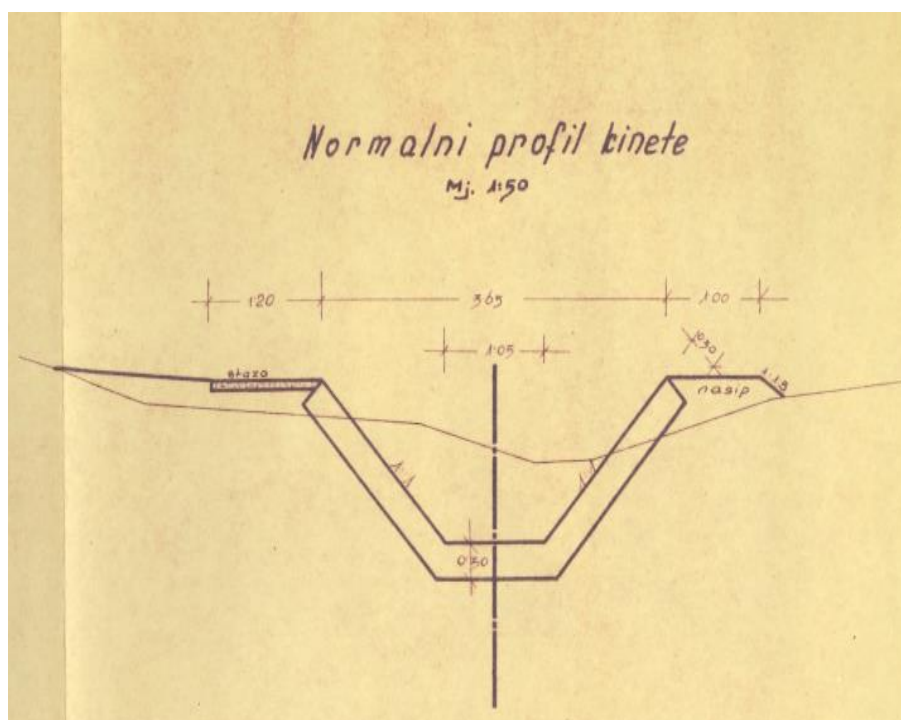


Slika 15: Armiranobetonski most i poprečni objekt, pogled uzvodno. (Slika autora 26.03.2023.)

Nizvodno od mosta više nema poprečnih hidrotehničkih objekata već samo uzdužni hidrotehnički objekt, odnosno korito trapeznog presjeka. Korito je izgrađeno od okolnog kamena koji je učvršćen sa cementnim mortom. Ovakva vrsta gradnje pogoduje smanjenju brzine tečenja vode što je u predmetnoj situaciji i više nego poželjno zbog ušća korita koji je u presjeku. Slike u nastavku pokazuju poprečni profili korita iz projekta uređenje bujice Jamina iz 1965. g. i izgled izgrađenog korita, odnosno kako izgleda danas.



Slika 16: Poprečni presjek korita. (Izvor: Projekt uređenja bujice Jamina od 1965.g.)



Slika 17: Poprečni presjek korita, normalni profil kinete. (Izvor: Projekt uređenja bujice Jamina od 1965.g.)



Slika 18: Uređeno korito bez protoka vode, pogled uzvodno. (Slika autora 26.03.2023.)



Slika 19: Pogled uzvodno i nizvodno uređenog dijela korita. (Slika autora 26.03.2023.)

Kako se razvijao turizam na otoku, posebice u Loparu, potreba za izgradnjom smještaja je rasla iz godine u godinu. Tako je u neposrednoj blizini uređenog korita izgrađen autokamp koji se godinama širio, danas autokamp ima postavljene mobilne kućice do samog korita što otežava pristup koritu za potrebe održavanja. Iako postoji mogućnost za micanje mobilnih kućica za vrijeme trajanja radova, korito je moguće očistiti i bez potrebe pristupa strojeva, odnosno ljudstvom. Usprkos tome, nažalost, korito se ne održava redovito i prema zahtjevima struke.

Rezultat toga je godinama taloženje nošenog nanosa sa gornjeg dijela neuređenog korita i vegetacija u koritu koja još pospješuje taloženje, što je smanjilo trenje vode sa dnom korita i time onemogućilo smanjenje brzine toka vode i smanjenju površine poprečnog presjeka korita što za uzvrat ima prelijevanje vode iz uređenog korita za vrijeme padalina većeg intenziteta.

Danas, 60-ak godina od projektiranja i izgradnje svjedočimo sve češćim i sve intenzivnijim padalinama pa samim time imamo sve veća prelijevanja koja su na sreću zbog sastava okolnog terena i konfiguracije kratkotrajna sa minimalnom štetom.

U nastavku je dan položaj uređenog korita (slika 20) u odnosu na izgrađen autokamp gdje je žutom crtom označen uređeni dio korita. Najkritičnije je u donjem dijelu korita malo prije ušća u more gdje je onemogućen pristup izgradnjom autokampa, baš u tom dijelu je najintenzivnije taloženje nanosa sa gornjeg dijela korita i nanosa pijeska nošenog vjetrom.

Ovaj podatak oko nanosa pijeska vjetrom se spominje još 1965. g u projektu uređenje bujice Jamina od Opće vodne zajednice Rijeka. U zimsko vrijeme kada su bure izraženije formiraju se dine pijeska visine do 2 m koje kasnije sa oborinskom površinskom vodom završe u koritu.



Slika 20: Položaj uređenog korita i izgrađen autokamp. (Preuzeto: <https://geoportal.dgu.hr/> 29.08.2023.)

Za vrijeme intenzivnijih oborina visina vode u koritu dostiže kotu vrha korita (slika 21 i 22), uslijed klimatskih promjena za očekivati je da će ovakvih velikih bujičnih voda biti sve više. Već je gore spomenuto da se u ovakvim situacijama radi o minimalnim štetama uzrokovano poplavljanjem, što ne garantira u budućnosti da neće biti štete većih razmjera. Obzirom na to da se na ovom dijelu vodotoka radi o uređenom okolnom prostoru, odnosno autokampu, jasno je da postoji opasnost za ljudsko zdravlje i sigurnost u ljetnim mjesecima kada kamp broji od 3-4 tisuće gostiju.



Slika 21: Protok u koritu nakon intenzivnije kiše, pogled uzvodno. (Slika autora 15.08.2020.)



Slika 22: Turbulentno tečenje vode, pogled uzvodno. (Slika autora 15.08.2020.)

Na ušću koji se nalazi na poznatoj rajskoj plaži, poslije ovakvih bujičnih toka vode se napravi krater dubine po par metra i širine 30-40 m (slika 23 i slika 24). Obzirom na to da je utok u more, pjeskovita plaža koja se nalazi između kraja uređenog vodotoka i mora je nekoherentno tlo i voda lako erodira to tlo. U takvim situacijama se pristupa strojevima kako bi se sanirao krater na plaži a nerijetko se i pokupi i do 10 m³ kamenja (slika 25).



Slika 23: Ušće bujice Jamina na plaži za vrijeme povećanog protoka. (Slika autora 15.08.2020.)



Slika 24: Krater na plaži nakon bujične vode. (Slika autora 16.08.2020.)



Slika 25: Saniranje nastalog kratera na plaži. (Slika autora)

U cilju sanacije trenutačnog problema od velike je važnosti prvo provesti hidrološku analizu bujice Jamina zbog velikih promjena na pokrovu sliva koje su se dogodile od 1965. godine kada je zadnji put provedena analiza.

Analiza maksimalnih protoka biti će provedena Racionalnom metodom te SCS metodom s jediničnim hidrogramom.

S obzirom da se na samom završnom objektu reguliranog toka kanala nalazi prirodno formirana retencija, provesti će se analiza retenciniranja vode te ispitati mogućnost uređenja toga prostora u svrhu smanjenja protoka u samom kanalu.

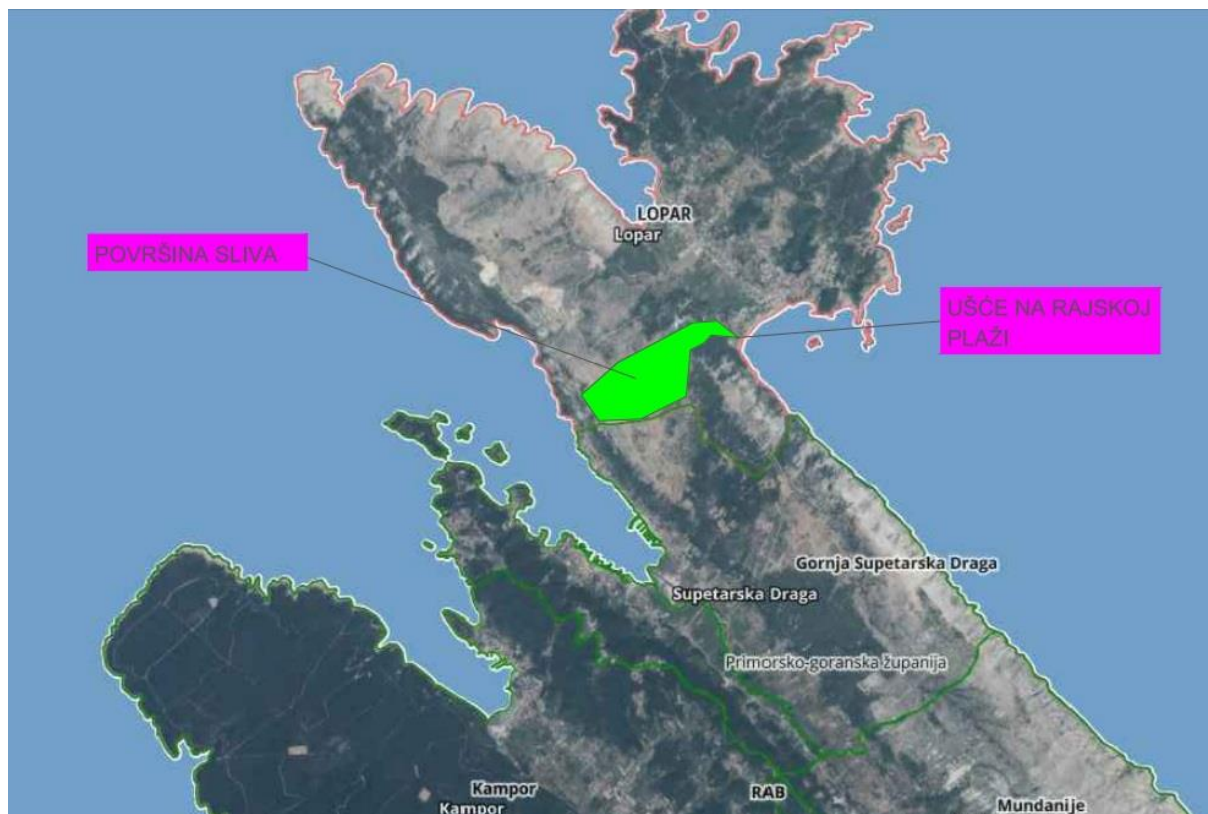
Pod uvjetom umanjenja protoka u samom kanalu, moguće je jednostavnije te sigurnije upravljati nizvodnim djelom kanala.

4. HIDROLOŠKO HIDRAULIČKA ANALIZA BUJICE JAMINA

Unutar ovoga dijela biti će opisane smještaj bujice Jamina uz tumačenje urbanističkog plana uređenja predviđenog na slivu same bujice. U nastavku će biti prikazan izračun fizičkih osobina sliva te potom prikaz izračuna protoka za 2, 10 i 100 godina povratnog perioda primjenom Racionalne metode i SCS metode s jediničnim hidrogramom. S obzirom na trenutačno gore navedene probleme bujice Jamina ispitati će se mogućnost retencioniranja dijela vodnog vala na završnom objektu bujice.

4.1. Smještaj i opis bujice

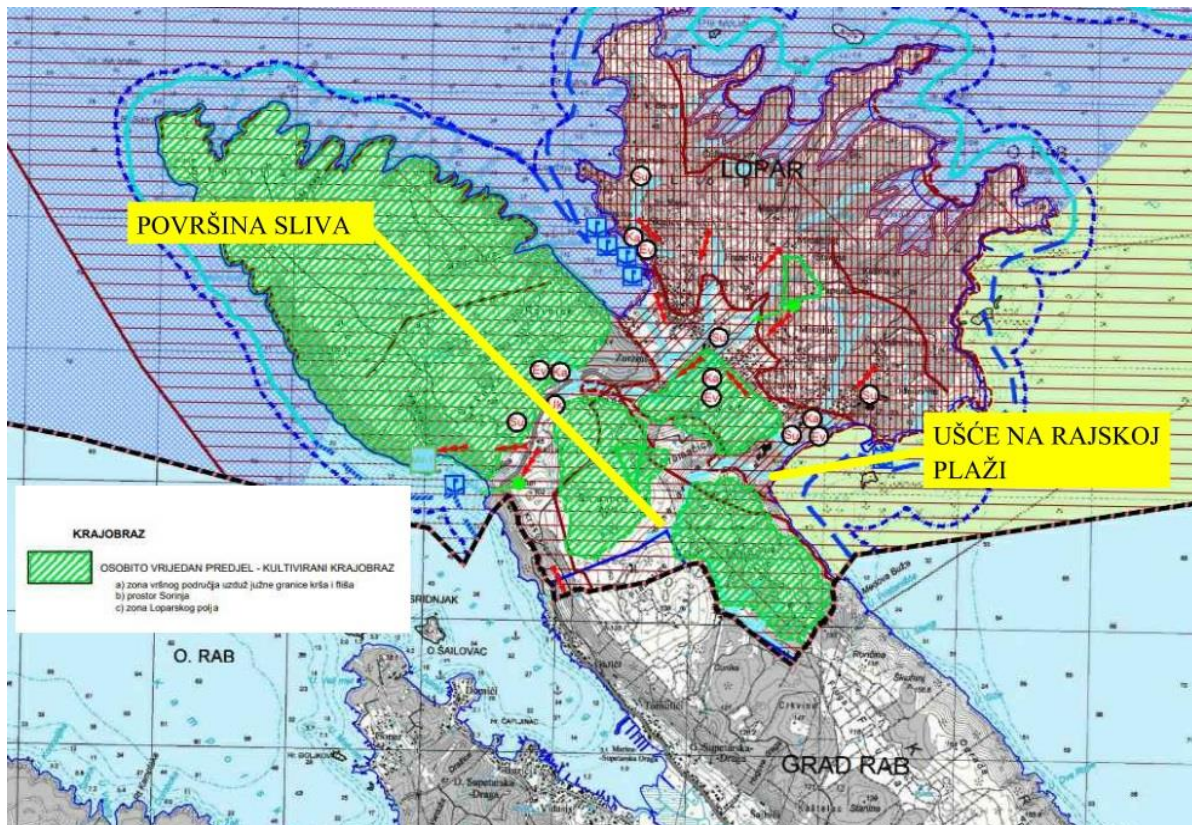
Bujica Jamina nalazi se na otoku Rabu, jugozapadni dio mjesta Lopar (slika 26). Gornja granica najviša nadmorska visina sliva graniči sa mjestom S. Draga i proteže se sjeverozapadnim dijelom morfostrukture grebena Kamenjak sve do najniže točke granice sliva, odnosno do razine mora kod ušća na Rajskoj plaži. Površina sliva bujice Jamina iznosi 1,30 km² a duljina kanala, uključujući uređeni dio i dio koji je prirodno formiran iznosi 1750 m. Srednji nagib sliva je 8,54 % a visinska razlika između najudaljenije točke sliva i ušća je 149,5 m. Bujica Jamina je tipični bujični tok koji je većim dijelom godine bez, ili sa zanemarivom količinom protoka. U granicama sliva nalazi se izvor Jamina koji je isto tako većinom godine u mirovanju, dok za vrijeme većih oborina izvire voda koja se ulijeva u prirodno formiran kanal bujice Jamina. Za izvor Jamina nema evidentiranih hidroloških istraživanja pa je informacija o količini izviranja vode nepoznata.



Slika 26: Lokacija sliva i bujice Jamina. (preuzeto sa <https://geoportal.dgu.hr>, izradio autor, 30.10.2023.)

4.2. Tumačenje urbanističkog plana uređenja

Tijekom više tisućljeća, snažne su bure i morski valovi oblikovali reljef Lopara koji je sličan ispruženim prstima na ruci s brojnim uvalama u kojima su pješčani žali. Na tim žalima nailazi se na živuće stromatolite, vrlo rijetke slojevite tvorevine cijanobakterija koje se na Zemlji razvijaju već milijunima godina u plitkim morima s niskim muljevito-pjeskovitim obalama. Uz obalu i u unutrašnjosti poluotoka erozija je stvorila zanimljive oblike pješčanih piramida, a cijelo je područje izrazito bogato ostacima ljuštura pradavnih organizama, krednjaka, puževa i školjkaša koji su živjeli u doba nastanka loparskih stijena u eocenu. Upravo zbog brojnih fosila i neobične geološke građe, u Loparu su prepoznate zanimljive lokacije. Specifična geološka podloga pridonosi trošenju stijena u pijesak koji se nakuplja na morskim žalima gdje se oblikuju malene embrionske pješčane dine. One su stanište ekološke mreže Natura 2000 – embrionske obalne sipine, od osobite važnosti za očuvanje rijetkoga živog svijeta koje uglavnom sačinjavaju biljke pješčarke ili psamofiti. Kanal bujice Jamina i površina sliva (slika 27) nalazi se između zona zaštićenih krajobraza. Izvor: <https://ju-priroda.hr/zasticena-podrucja-pgz/lopar/>, (Preuzeto 31.10.2023.)



Slika 27: Zaštićeni krajobraz, zeleno je označeno zona kultivirani krajobraz. (Preuzeto sa http://www.opcina-lopar.hr/wp-content/uploads/2020/02/ID_PPUO_Lopar_3A_uvjeti-korist.-priroda-i-kultura_PP3.pdf, 31.10.2023.)

4.3. Fizičke osobine sliva

4.3.1. Određivanje oblika sliva

Oblik sliva utječe na vrijeme trajanja hidrograma vodnih valova te vrijeme koncentracije dotoka vode. Utjecaj oblika se opisuje koeficijentom koncentriranosti sliva.

Njege se određuje po Srebreновиću, Hortonu i Graveliusu.

$$\text{Srebreновиć: } K = \frac{2 \cdot A}{O \cdot U} = \frac{2 \cdot 1,3}{4,9329 \cdot 0,98393} = 0,54 \quad (1)$$

$$\text{Horton: } K = \frac{A}{L^2} = \frac{1,3}{1,885^2} = 0,37 \quad (2)$$

$$\text{Gravelius: } K = \frac{0,28 \cdot O}{A^{0,5}} = \frac{0,28 \cdot 4,9329}{1,3^{0,5}} = 1,21 \quad (3)$$

Gdje je:

K – Koeficijent koncentriranosti [–]

A – Površina sliva [km^2]

O – Opseg sliva [km]

L – Dužina toka vode [km]

U – Udaljenost od težišta sliva do protjecajnog mjernog profila [km]

Sliv bujice Jamina možemo smjestiti u kategoriju slivova **lepezastog oblika**, čije su karakteristike:

→ Nagla koncentracija

→ Vrlo velik mjerodavni intenzitet

→ Kratkotrajnom otjecanje

4.3.2. Pad sliva

Pad sliva je izračunat prema SCS metodi i iznosi $l = 12 \%$

$$l = \frac{2 \cdot \Delta h}{L} = \frac{2 \cdot (120 - 0,5)}{1885,11} = 12 \% \quad (4)$$

Gdje je:

Δh – Visinska razlika sliva [m]

L – Fiktivna dužina sliva [m]

4.3.3. Gustoća drenske mreže na slivu

U drensku mrežu ubrajamo sve vodotoke u slivu (stalne, povremene, isprekidane). Najčešće se računa specifična gustoća riječne mreže D a definirana je izrazom (4). Prema specifičnoj gustoći riječne mreže može se razlikovati dobro ($D > 4 \text{ km}/\text{km}^2$), srednje ($D = 1-4 \text{ km}/\text{km}^2$), i slabo dreniran sliv ($D < 1 \text{ km}/\text{km}^2$). (Žugaj, 2000)

Specifična gustoća drenske mreže (D_i) je odnos ukupne duljine svih vodotoka u slivu ($\sum L$) i ukupne površine sliva (A).

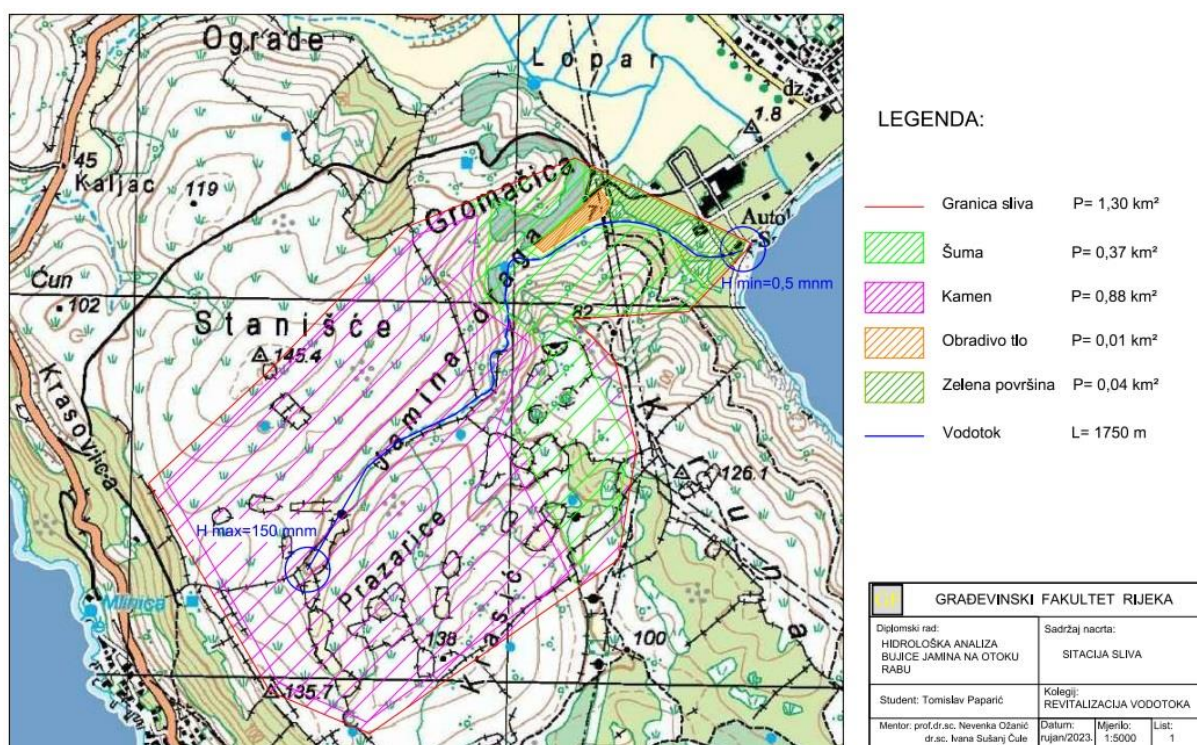
$$D_i = \frac{\sum L}{A} = \frac{\text{km}}{\text{km}^2} = \frac{1,89}{1,3^2} = 1,12 \quad (5)$$

$D_i = 1-4 \text{ km/km}^2$ iz čega je zaključeno da je sliv srednje dreniran.

4.4. Izračun otjecanja sa sliva bujice Jamina

Kao što je i ranije navedeno u nastavku će biti prikazani izračuni otjecanja sa sliva bujice Jamina prema Racionalnoj metodi i korištenjem SCS metode za izračun efektivnih oborina te primjenom jediničnog hidrograma.

4.4.1. Racionalana metoda



Slika 28. Situacijski prikaz sliva. (Izradio autor)

Ukupna površina sliva je $P = 1,30 \text{ km}^2$

Površina sliva prema karakteristikama slivne površine:

- Šuma $P = A_1 = 0,37 \text{ km}^2$ više od 7 %
- Kamen $P = A_2 = 0,88 \text{ km}^2$ više od 7 % Zbrajamo u zelene površine
- Obradivo tlo $P = A_3 = 0,01 \text{ km}^2$ 0-2 %
- Zelena površina $P = A_4 = 0,04 \text{ km}^2$ više od 7 %

Duljina vodotoka je 1750 m, $H_{\max} = 150 \text{ mm}$, $H_{\min} = 0,5 \text{ mm}$

Maksimalni pad I_{\max} računa se kao $\frac{\Delta H}{L} = \frac{150 - 0,5}{1750} = 0,085$ (6)

Iz tablice očitamo vrijednost racionalnog koeficijenta C za povratne periode 2 god., 5 god., i 100 god.

Tablica 1: Racionalnog koeficijenta (Izvor: Građevinski Fakultet Rijeka, kolegij vodogradnje)

Vrijednosti racionalnoga koeficijenta C (V. T. Chow, 1988.)

| Karakteristike pokrova | Povratno razdoblje (godine) | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 |
| Neizgrađena područja | | | | | | | |
| Obradivo tlo | | | | | | | |
| 0 – 2 % | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.57 |
| 2 – 7 % | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.60 |
| više od 7 % | 0.39 | 0.42 | 0.44 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.61 |
| Livade | | | | | | | |
| 0 – 2 % | 0.25 | 0.28 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.53 |
| 2 – 7 % | 0.33 | 0.36 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.49 | 0.58 |
| više od 7 % | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.60 |
| Šume | | | | | | | |
| 0 – 2 % | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.35 | 0.39 | 0.48 |
| 2 – 7 % | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.56 |
| više od 7 % | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.52 | 0.58 |

- Srednji racionalni koeficijent: $C_r = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$

gdje su:

C_1, C_2, \dots, C_n – koeficijenti otjecanja različitih tipova ili vrsta površina
 A_1, A_2, \dots, A_n – pripadajući dijelovi određena tipa/vrste površine

Izračunavamo srednju vrijednost racionalnog koeficijenta zbog različitih karakteristika pokrova sliva za svako povratno razdoblje prema sljedećoj formuli:

$$C_{sr} = \frac{C_1 * A_1 + C_2 * A_2 + \dots + C_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (7)$$

Srednji koeficijent za povratni period **2 godina:**

$$C_{sr} = \frac{0,31 * 0,01 + 0,37 * 0,92 + 0,35 * 0,37}{0,37 + 0,92 + 0,01} = 0,44$$

Srednji koeficijent za povratni period **10 godina:**

$$C_{sr} = \frac{0,36 * 0,01 + 0,42 * 0,92 + 0,41 * 0,37}{0,01 + 0,92 + 0,37} = 0,51$$

Srednji koeficijent za povratni period **100 godina:**

$$C_{sr} = \frac{0,47 * 0,01 + 0,53 * 0,92 + 0,52 * 0,37}{0,01 + 0,92 + 0,37} = 0,64$$

MJERODAVNI MAKSIMALNI INTEZITET OBORINE I VRIJEME KONCETRACIJE ZA POVRATNE PERIODE OD 2, 10 i 100 GODINA

Za slučaj kada nemamo dovoljno parametra za proračun brzine u vodotoku, koristimo izraz koji je dao I. I. Herheulidze [6]

$$v_p = (1,6 + 1,1 \cdot \log p) \cdot \sqrt[4]{I_{max}} \quad [m/s] \quad t_{cp} = \frac{L}{v_p} \quad (8)$$

Gdje je v_p brzina otjecanja za određeni povratni period.

2 – godišnji povratni period

$$v_2 = (1,6 + 1,1 \cdot \log(2)) \cdot \sqrt[4]{0,085} = 1,04271811 \text{ m/s}$$

10 – godišnji povratni period

$$v_{10} = (1,6 + 1,1 \cdot \log(10)) \cdot \sqrt[4]{0,085} = 1,45786898 \text{ m/s}$$

100 – godišnji povratni period

$$v_{100} = (1,6 + 1,1 \cdot \log(100)) \cdot \sqrt[4]{0,085} = 2,0518156 \text{ m/s}$$

2 – godišnji povratni period (vrijeme koncentracije)

$$t_{c 2} = \frac{1750 \text{ m}}{1,04271811 \text{ m/s}} = 1678,306 \text{ s} = 27,9717657 \text{ min}$$

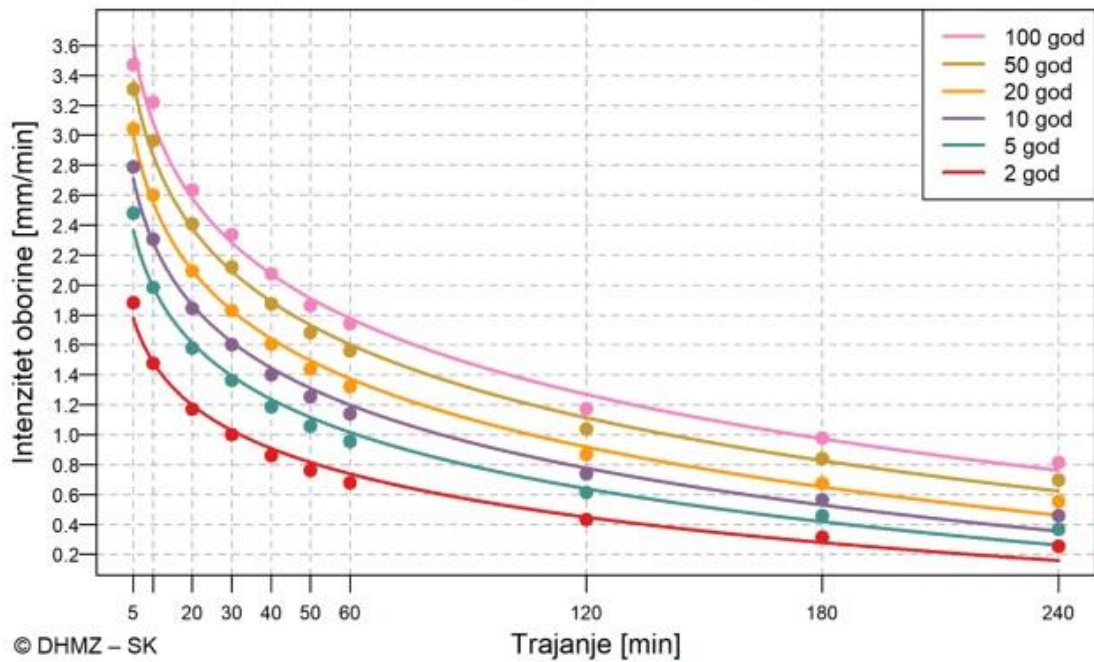
10 – godišnji povratni period (vrijeme koncentracije)

$$t_{c 10} = \frac{1750 \text{ m}}{1,45786898 \text{ m/s}} = 1200,382218 \text{ s} = 20,0063703 \text{ min}$$

100 – godišnji povratni period (vrijeme koncentracije)

$$t_{c 100} = \frac{1750 \text{ m}}{2,0518156 \text{ m/s}} = 852,9031556 \text{ s} = 14,21505259 \text{ min}$$

RAB (1970. – 2022.)



Slika 29: ITP krivulja za Otok Rab i povratni period 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina. (Izvor: DRŽAVNI HIDROMETOROLOŠKI ZAVOD SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ služba za klimatologiju, Rujan 2023.)

ITP krivulja pokazuje funkcionalnu vezu između intenziteta oborine (i), njegovog trajanja (T) i povratnog razdoblja (P). Krivulje su prilagođene za ukupni raspon promatranih trajanja (5 min do 240 min). Najbolje prilagođavanje za intenzitetima oborine za sva povratna razdoblja daje logaritamska krivulja:

$$i = a + b \cdot \ln(t) \quad (9)$$

Konstante a i b ovise o karakteristikama oborinskog režima područja, a t je trajanje oborine u minutama odnosno satima.

Tablica 2: Jednadžbe ITP krivulja za različita povratna razdoblja (T) prilagođene intenzitetima oborine za minutna (5 do 240 min) trajanja i koeficijent korelacije (R). Rab, razdoblje:1970. – 2022. Izvor: DHMZ služba za klimatologiju, rujan 2023.

| T (god) | Krivulja | R |
|---------|--------------------------|--------|
| RAB | | |
| 2 | 2.451731-0.418599 ln (t) | 0.9934 |
| 5 | 3.243743-0.544261 ln (t) | 0.9954 |
| 10 | 3.691624-0.609006 ln (t) | 0.9971 |
| 20 | 4.071766-0.658964 ln (t) | 0.9982 |
| 50 | 4.499284-0.707478 ln (t) | 0.9979 |
| 100 | 4.776276-0.732748 ln (t) | 0.9963 |

INTENZITET OBORINE

2 – godišnji povratni period

$$i_2 = 2,451731 - (0,418599 \cdot \ln(27,9717657)) = 1,057295839 \text{ mm/min}$$

10 – godišnji povratni period

$$i_{10} = 3,691624 - (0,609006 \cdot \ln(20,0063703)) = 1,867011124 \text{ mm/min}$$

100 – godišnji povratni period

$$i_{100} = 4,776276 - (0,732748 \cdot \ln(14,21505259)) = 2,831341925 \text{ mm/min}$$

ODREĐIVANJE MJERODAVNOG MAKSIMALNOG PROTOKA RACIONALNOM METODOM ZA POVRATNE PERIODE 2, 10 i 100 GODINA

$$Q_{MP} = C_{sr} \cdot i_p \cdot A \quad \text{Izraz za racionalnu metodu} \quad (10)$$

2 – godišnji povratni period

$$C_{sr} = 0,44$$

$$i_2 = 1,057295839 \text{ mm/min}$$

$$A = 1,3 \text{ km}^2$$

$$Q_{M2} = 16,67 \cdot 0,44 \cdot 1,057295839 \cdot 1,3 \\ = 10,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

10 – godišnji povratni period

$$C_{sr} = 0,51$$

$$i_{10} = 1,867011124 \text{ mm/min}$$

$$A = 1,3 \text{ km}^2$$

$$Q_{M10} = 16,67 \cdot 0,51 \cdot 1,867011124 \cdot 1,3 \\ = 20,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

100 – godišnji povratni period

$$C_{sr} = 0,64$$

$$i_{100} = 2,831341925 \text{ mm/min}$$

$$A = 1,3 \text{ km}^2$$

$$Q_{M100} = 16,67 \cdot 0,64 \cdot 2,831341925 \cdot 1,3 \\ = 39,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4.2. SCS metoda uz primjenu jediničnog hidrograma

SCS metoda (US Soil Conservation Service) je metoda izravnoga (efektivnog) otjecanja u funkciju kumulativnih oborina i raspoloživoga kapaciteta podzemne retencije sliva. Metoda proizlazi iz činjenice da na malome slivu za vrijeme dugotrajne kiše kumulativno otjecanje s porastom vremena postaje jednako kumulativnoj oborini. Razlika između kumulativne oborine i otjecanja u nekoj točki predstavlja višak oborine koji odlazi u podzemnu retenciju sliva ograničenoga kapaciteta. Pomoću spomenute metode konstruirati će se hidrogrami otjecanja oborina različitih povratnih perioda. Hidrogram predstavlja grafički prikaz intenziteta otjecanja nekoga vodotoka u funkciji vremena. Oblik hidrograma ovisi o fizičko-geografskim karakteristikama slivnog područja (kapacitetu infiltracije, geološkom i pedološkom sastavu, obliku, veličini i padu sliva) te o trajanju, intenzitetu i raspodjeli oborina na slivu. Kao osnova za konstruiranje hidrograma otjecanja na predmetnom slivu, koristiti će se jedinični hidrogram određeni kao prirodni ili sintetički hidrogram od 1 mm izravnog otjecanja koje je jednolično na cijelome slivu u određenome trenutku. Teoriju jediničnoga hidrograma je postavio L.K. Sherman još 1932.god. polazeći od pretpostavke da se sliv ponaša kao linearan i stacionaran sustav kod kojega vrijede principi proporcionalnosti i superpozicije. Prema toj teoriji na određenome slivu pljuskovi istoga trajanja proizvode hidrograme koji imaju:

- približno jednake vremenske baze neovisno o intenzitetu oborine
- veličine ordinata proporcionalne zapremini efektivne (neto) kiše
- raspodjele otjecanja u vremenu (oblike) neovisne o prethodnim i budućim kišama.

Kod SCS metode se koristi krivo linijski bezdimenzionalni jedinični hidrogram kojeg je izveo Victor Mockus (1957.god.). Prema svemu gore navedenom, prije konstruiranja hidrograma otjecanja na predmetnom slivu, potrebno je izračunati osnovne ulazne podatke. Krivo linijski bezdimenzionalni jedinični hidrogram SCS metode se može aproksimirati ekvivalentnim trokutnim hidrogramom koji ima iste jedinice za vrijeme i protoke, a time i isti postotak od 37,5 % volumena unutar vremena podizanja vala T_P .

Ulazni podaci za izračun prema SCS metodi:

Fiktivna dužina sliv L [km] računa se kao: (11)

$$L = \sqrt{\frac{A(2 - K)}{K}} = \sqrt{\frac{0,1521858 \text{ km}^2(2 - 0,67)}{0,67}} = 1885,106972 \text{ m}$$

Gdje je:

K – Koeficijent koncentriranosti prema Srebrenoviću

A – Površina sliva [km^2]

Hidraulička dužina toka l za područje krša definirano faktorom krša f_k :

$$l = (1,25 + 1,75f_k)L = (1,25 + 1,75 \times 1) \times 1885,106972 = 2001,03 \text{ m} \quad (12)$$

Gdje je:

f_k – Faktor krša $f_k = 1$

L – Fiktivna dužina sliva [m]

Tablica 3: Brojevi krivulja otjecanja za odabrane poljoprivredne, suburbane i urbane slivne površine.

Izvor: <http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/ODVODNJA>, preuzeto 25.10.2023.

| Način korištenja zemljišta (Način obrade - stanje terena) | Tip tla | CN | Površina [m^2] |
|--|---------|---------------------|---------------------------|
| <i>Prirodna šuma (srednje)</i> | C | CN ₁ =70 | A ₁ = 370000 |
| <i>Popločeni parkinzi i staze, krovovi</i> | C | CN ₂ =98 | A ₂ = 880000 |
| <i>Ulice i putevi: popločeni s kišnom kanalizacijom</i> | C | CN ₃ =91 | A ₃ = 10000 |
| <i>Travnjaci, parkovi, golf tereni, groblja (pod travom od 50% do 75%)</i> | C | CN ₄ =79 | A ₄ = 40000 |
| Tip C: dobri uvjeti otjecanja (srednji stupanj infiltracije) - djelomično propusne naslage | | | |

Mjerodavna CN krivulja: (13)

$$CN = \frac{CN_1 \times A_1 + CN_2 \times A_2 + CN_3 \times A_3 + CN_4 \times A_4}{A}$$
$$CN = \frac{70 \times 370000 + 98 \times 880000 + 91 \times 10000 + 79 \times 40000}{1300000}$$
$$CN = \mathbf{89,4}$$

Kapacitet retencije tla S: (14)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 = \frac{1000}{89,4} - 10 = \mathbf{1,19}$$

Gdje je:

CN – Mjerodavna vrijednost broja krivulje

Vrijeme zakašnjenja sliva T_L : (15)

$$T_L = 0,001362 \times l^{0,8} \times (S + 1)^{0,7} \times J^{-0,5}$$
$$T_L = 0,001362 \times 2001,03^{0,8} \times (1,19 + 1)^{0,7} \times 12^{-0,5}$$
$$T_L = \mathbf{0,30 h}$$

Gdje je:

S – Kapacitet retencije tla

J – Srednji pad sliva [%]

Vrijeme koncentracije sliva t_c : (16)

$$t_c = 1,667 \times T_L = 1,667 \times 0,30 h = \mathbf{0,50 h}$$

Jedinično trajanje kiše ΔD : (17)

$$\Delta D = 0,133 \times t_c = 0,133 \times 0,50 h = \mathbf{0,065951 h = 3,9571 min}$$

Vrijeme podizanja hidrograma T_p : (18)

$$T_p = 0,5 \times \Delta D + T_L = 0,5 \times 0,065951 + 0,30 = \mathbf{0,33 h = 19,9785 min}$$

Vrijeme retardacije hidrograma T_r : (19)

$$T_r = 1,67 \times T_p = 1,67 \times 0,33 h = \mathbf{0,55 h = 33,1 min}$$

Bazno vrijeme hidrograma T_b : (20)

$$T_b = T_p + T_r = 0,33h + 0,55 h = \mathbf{0,88 h = 58,8 min}$$

Maksimum jediničnog hidrograma q_p : (21)

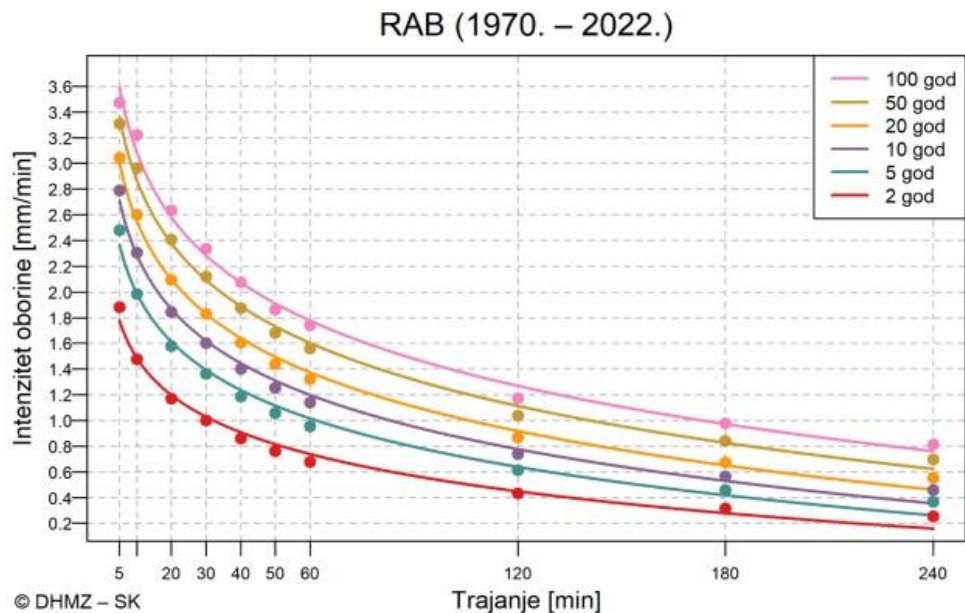
$$q_p = 0,208 \times \frac{A}{T_p} = 0,208 \times \frac{1,3 km^2}{0,33 h} = \mathbf{0,82 m^3/s /mm}$$

Mjerodavne količine oborina su izračunate prema modificiranim ITP krivuljama danim za Rapsko područje.

Tablica 4: Jednadžbe ITP krivulja za različita povratna razdoblja (T) prilagođene intenzitetima oborine za minutna (5 do 240 min) trajanja i koeficijent korelacije (R). Rab, razdoblje:1970. – 2022. Izvor: DHMZ služba za klimatologiju, rujan 2023.

| T (god) | ITP krivulja (mm/min), t | r |
|----------------|---------------------------------|----------|
| 2 | $i' = 6.22 t^{-0.565}$ | 0.991 |
| 5 | $i' = 7.21 t^{-0.513}$ | 0.994 |
| 10 | $i' = 6.97 t^{-0.454}$ | 0.997 |
| 20 | $i' = 6.37 t^{-0.388}$ | 1.000 |
| 50 | $i' = 5.33 t^{-0.290}$ | 0.987 |
| 100 | $i' = 4.52 t^{-0.212}$ | 0.925 |

Grafički prikaz ITP krivulja za Rab za različita povratna razdoblja:



Slika 30: ITP krivulja za Otok Rab i povratni period 2, 5, 10, 20, 50 i 100 godina. (Izvor: DRŽAVNI HIDROMETOROLOŠKI ZAVOD SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ služba za klimatologiju, Rujan 2023.)

Prema gore prikazanim ulaznim podacima izračunate su protoke ($m^3/s/mm$) te ordinate krivolinijskog bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma (Victor Mockus) u intervalima vremena $\Delta D = 0,065951 h$ za ukupno bazno vrijeme hidrograma $T_b = 0,88 h$. Dobivene vrijednosti formiraju vektor $I = (i_1, i_2 \dots i_n)$.

Određene su kumulativne (ukupne) visine oborina P u pojedinim intervalima vremena ΔD unutar ukupnog trajanja kiše T . Izračunate su kumulativne efektivne oborine P_e na temelju veličina P (iz prethodne faze) i mjerodavnog parametra $CN = 89,4$.

$$P_e = 25,4 \times \frac{\left(0,03937 \times P - \frac{200}{CN} + 2\right)^2}{0,03937 \times P - \frac{800}{CN} - 8} \quad (22)$$

Gdje je:

P – Ukupna količina oborina u pojedinom intervalu [mm]

Na temelju izračuna (21) određene su efektivne oborine u intervalima vremena ΔD koje formiraju vektor $O = (o_1, o_2 \dots o_n)$ te su definirane koordinate hidrograma velikih voda međusobnim sumiranjem umnožaka komponentata vektora $I = (i_1, i_2 \dots i_n)$ i $O = (o_1, o_2 \dots o_n)$.

U nastavku je dan numerički i grafički prikaz rezultata kompjuterskog proračuna hidrograma velikih voda za karakteristična povratna razdoblja.

Tablica 5: Ukupna visina oborine P prema ITP krivulji.

| Povratni period | P ₂ | P ₅ | P ₁₀ | P ₂₀ | P ₅₀ | P ₁₀₀ |
|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Vrijeme[min] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 0,07 | 7,42 | 9,87 | 11,29 | 12,53 | 13,95 | 14,91 |
| 0,13 | 12,55 | 16,76 | 19,25 | 21,44 | 24,03 | 25,80 |
| 0,20 | 16,81 | 22,52 | 25,94 | 28,98 | 32,63 | 35,18 |
| 0,26 | 20,51 | 27,55 | 31,81 | 35,64 | 40,29 | 43,57 |
| 0,33 | 23,79 | 32,04 | 37,07 | 41,64 | 47,24 | 51,23 |
| 0,40 | 26,73 | 36,09 | 41,85 | 47,12 | 53,62 | 58,30 |
| 0,46 | 29,40 | 39,78 | 46,23 | 52,16 | 59,54 | 64,89 |
| 0,53 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,59 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,66 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,73 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,79 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,86 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,92 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 0,99 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 2,04 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 3,03 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 4,02 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 5,01 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 6,00 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |
| 6,60 | 31,83 | 43,16 | 50,26 | 56,83 | 65,05 | 71,06 |

Tablica 6: Izračun kumulativnih efektivnih oborina P_e

| Povratni period | P_{e2} | P_{e5} | P_{e10} | P_{e20} | P_{e50} | P_{e100} |
|-----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Vrijeme [min] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,07 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2,0 |
| 0,13 | 1,2 | 2,8 | 4,0 | 5,2 | 6,7 | 7,8 |
| 0,20 | 2,8 | 5,8 | 7,9 | 9,9 | 12,5 | 14,3 |
| 0,26 | 4,7 | 9,0 | 11,9 | 14,7 | 18,2 | 20,8 |
| 0,33 | 6,6 | 12,0 | 15,8 | 19,3 | 23,8 | 27,1 |
| 0,40 | 8,4 | 15,0 | 19,5 | 23,7 | 29,1 | 33,2 |
| 0,46 | 10,2 | 17,8 | 23,0 | 27,9 | 34,2 | 38,9 |
| 0,53 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,59 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,66 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,73 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,79 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,86 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,92 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 0,99 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 1,06 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 3,03 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 4,02 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 5,01 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 6,00 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |
| 6,60 | 11,9 | 20,5 | 26,3 | 31,9 | 39,1 | 44,4 |

Tablica 7: Protok prema SCS metodi za različite povratne periode.

| Protok za povratni period | Q_2 | Q_5 | Q_{10} | Q_{20} | Q_{50} | Q_{100} |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Vrijeme t [h] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,20 | 0,09 | 0,30 | 0,48 | 0,65 | 0,87 | 1,02 |
| 0,26 | 1,66 | 3,31 | 4,43 | 5,49 | 6,85 | 7,83 |
| 0,33 | 4,06 | 7,23 | 9,38 | 11,43 | 14,06 | 16,00 |
| 0,40 | 5,71 | 9,92 | 12,76 | 15,48 | 18,99 | 21,60 |

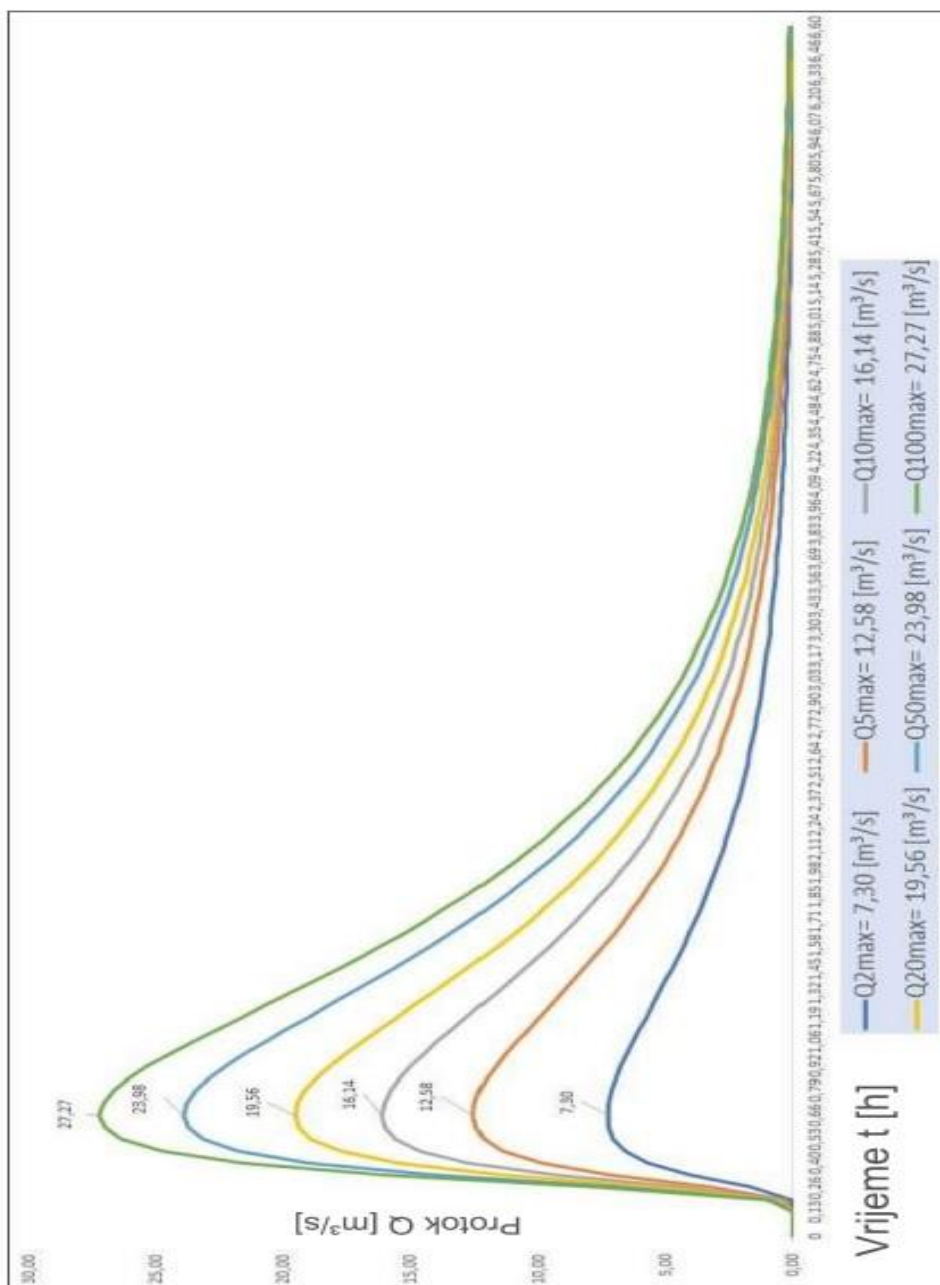
| | | | | | | |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,46 | 6,62 | 11,42 | 14,66 | 17,77 | 21,78 | 24,77 |
| 0,53 | 7,07 | 12,17 | 15,62 | 18,93 | 23,20 | 26,38 |
| 0,59 | 7,25 | 12,48 | 16,02 | 19,42 | 23,80 | 27,06 |
| 0,66 | 7,30 | 12,58 | 16,14 | 19,56 | 23,98 | 27,27 |
| 0,73 | 7,26 | 12,51 | 16,05 | 19,45 | 23,84 | 27,11 |
| 0,79 | 7,15 | 12,31 | 15,80 | 19,16 | 23,48 | 26,70 |
| 0,86 | 6,99 | 12,03 | 15,44 | 18,72 | 22,94 | 26,09 |
| 0,92 | 6,79 | 11,69 | 15,00 | 18,19 | 22,29 | 25,35 |
| 0,99 | 6,56 | 11,30 | 14,51 | 17,58 | 21,55 | 24,51 |
| 1,06 | 6,32 | 10,89 | 13,97 | 16,94 | 20,76 | 23,61 |
| 1,12 | 6,07 | 10,45 | 13,42 | 16,26 | 19,93 | 22,66 |
| 1,19 | 5,81 | 10,01 | 12,85 | 15,57 | 19,08 | 21,70 |
| 1,25 | 5,55 | 9,56 | 12,27 | 14,88 | 18,23 | 20,74 |
| 1,32 | 5,30 | 9,12 | 11,71 | 14,19 | 17,39 | 19,78 |
| 1,38 | 5,04 | 8,68 | 11,14 | 13,51 | 16,56 | 18,83 |
| 1,45 | 4,79 | 8,26 | 10,60 | 12,84 | 15,74 | 17,90 |
| 1,52 | 4,55 | 7,84 | 10,06 | 12,20 | 14,95 | 17,00 |
| 1,58 | 4,32 | 7,44 | 9,54 | 11,57 | 14,18 | 16,12 |
| 1,65 | 4,09 | 7,05 | 9,05 | 10,96 | 13,44 | 15,28 |
| 1,71 | 3,88 | 6,67 | 8,57 | 10,38 | 12,72 | 14,47 |
| 1,78 | 3,67 | 6,32 | 8,10 | 9,82 | 12,04 | 13,69 |
| 1,85 | 3,47 | 5,97 | 7,66 | 9,29 | 11,38 | 12,95 |
| 1,91 | 3,28 | 5,64 | 7,24 | 8,78 | 10,76 | 12,24 |
| 1,98 | 3,10 | 5,33 | 6,84 | 8,29 | 10,16 | 11,56 |
| 2,04 | 2,92 | 5,03 | 6,46 | 7,83 | 9,59 | 10,91 |
| 2,11 | 2,76 | 4,75 | 6,09 | 7,39 | 9,05 | 10,30 |
| 2,18 | 2,60 | 4,48 | 5,75 | 6,97 | 8,54 | 9,71 |
| 2,24 | 2,45 | 4,22 | 5,42 | 6,57 | 8,05 | 9,16 |
| 2,31 | 2,31 | 3,98 | 5,11 | 6,19 | 7,59 | 8,63 |
| 2,37 | 2,18 | 3,75 | 4,82 | 5,84 | 7,15 | 8,14 |
| 2,44 | 2,05 | 3,53 | 4,54 | 5,50 | 6,74 | 7,66 |
| 2,51 | 1,93 | 3,33 | 4,27 | 5,18 | 6,35 | 7,22 |
| 2,57 | 1,82 | 3,14 | 4,02 | 4,88 | 5,98 | 6,80 |
| 2,64 | 1,71 | 2,95 | 3,79 | 4,59 | 5,63 | 6,40 |
| 2,70 | 1,61 | 2,78 | 3,57 | 4,32 | 5,30 | 6,02 |
| 2,77 | 1,52 | 2,61 | 3,36 | 4,07 | 4,98 | 5,67 |
| 2,84 | 1,43 | 2,46 | 3,16 | 3,83 | 4,69 | 5,33 |
| 2,90 | 1,34 | 2,31 | 2,97 | 3,60 | 4,41 | 5,02 |
| 2,97 | 1,26 | 2,18 | 2,79 | 3,39 | 4,15 | 4,72 |
| 3,03 | 1,19 | 2,05 | 2,63 | 3,18 | 3,90 | 4,44 |
| 3,10 | 1,12 | 1,92 | 2,47 | 2,99 | 3,67 | 4,17 |
| 3,17 | 1,05 | 1,81 | 2,32 | 2,82 | 3,45 | 3,92 |
| 3,23 | 0,99 | 1,70 | 2,18 | 2,65 | 3,24 | 3,69 |
| 3,30 | 0,93 | 1,60 | 2,05 | 2,49 | 3,05 | 3,47 |
| 3,36 | 0,87 | 1,50 | 1,93 | 2,34 | 2,87 | 3,26 |
| 3,43 | 0,82 | 1,41 | 1,81 | 2,20 | 2,69 | 3,06 |

| | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|
| 3,50 | 0,77 | 1,33 | 1,70 | 2,07 | 2,53 | 2,88 |
| 3,56 | 0,72 | 1,25 | 1,60 | 1,94 | 2,38 | 2,70 |
| 3,63 | 0,68 | 1,17 | 1,50 | 1,82 | 2,23 | 2,54 |
| 3,69 | 0,64 | 1,10 | 1,41 | 1,71 | 2,10 | 2,39 |
| 3,76 | 0,60 | 1,03 | 1,33 | 1,61 | 1,97 | 2,24 |
| 3,83 | 0,56 | 0,97 | 1,25 | 1,51 | 1,85 | 2,11 |
| 3,89 | 0,53 | 0,91 | 1,17 | 1,42 | 1,74 | 1,98 |
| 3,96 | 0,50 | 0,86 | 1,10 | 1,33 | 1,63 | 1,86 |
| 4,02 | 0,47 | 0,81 | 1,03 | 1,25 | 1,54 | 1,75 |
| 4,09 | 0,44 | 0,76 | 0,97 | 1,18 | 1,44 | 1,64 |
| 4,15 | 0,41 | 0,71 | 0,91 | 1,10 | 1,35 | 1,54 |
| 4,22 | 0,39 | 0,67 | 0,86 | 1,04 | 1,27 | 1,45 |
| 4,29 | 0,36 | 0,63 | 0,80 | 0,97 | 1,19 | 1,36 |
| 4,35 | 0,34 | 0,59 | 0,75 | 0,91 | 1,12 | 1,27 |
| 4,42 | 0,32 | 0,55 | 0,71 | 0,86 | 1,05 | 1,20 |
| 4,48 | 0,30 | 0,52 | 0,67 | 0,81 | 0,99 | 1,12 |
| 4,55 | 0,28 | 0,49 | 0,62 | 0,76 | 0,93 | 1,05 |
| 4,62 | 0,27 | 0,46 | 0,59 | 0,71 | 0,87 | 0,99 |
| 4,68 | 0,25 | 0,43 | 0,55 | 0,67 | 0,82 | 0,93 |
| 4,88 | 0,21 | 0,35 | 0,46 | 0,55 | 0,68 | 0,77 |
| 4,95 | 0,19 | 0,33 | 0,43 | 0,52 | 0,63 | 0,72 |
| 5,01 | 0,18 | 0,31 | 0,40 | 0,49 | 0,60 | 0,68 |
| 5,08 | 0,17 | 0,29 | 0,38 | 0,46 | 0,56 | 0,64 |
| 5,14 | 0,16 | 0,28 | 0,35 | 0,43 | 0,52 | 0,60 |
| 5,21 | 0,15 | 0,26 | 0,33 | 0,40 | 0,49 | 0,56 |
| 5,28 | 0,14 | 0,24 | 0,31 | 0,38 | 0,46 | 0,53 |
| 5,34 | 0,13 | 0,23 | 0,29 | 0,35 | 0,43 | 0,49 |
| 5,41 | 0,12 | 0,21 | 0,27 | 0,33 | 0,41 | 0,46 |
| 5,47 | 0,12 | 0,20 | 0,26 | 0,31 | 0,38 | 0,43 |
| 5,54 | 0,11 | 0,19 | 0,24 | 0,29 | 0,36 | 0,41 |
| 5,61 | 0,10 | 0,18 | 0,23 | 0,27 | 0,34 | 0,38 |
| 5,67 | 0,10 | 0,17 | 0,21 | 0,26 | 0,32 | 0,36 |
| 5,74 | 0,09 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,30 | 0,34 |
| 5,80 | 0,08 | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,28 | 0,32 |
| 5,87 | 0,08 | 0,14 | 0,18 | 0,21 | 0,26 | 0,30 |
| 5,94 | 0,07 | 0,13 | 0,16 | 0,20 | 0,24 | 0,28 |
| 6,00 | 0,07 | 0,12 | 0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,26 |
| 6,07 | 0,07 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,22 | 0,24 |
| 6,13 | 0,06 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,23 |
| 6,20 | 0,06 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,19 | 0,22 |
| 6,27 | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,20 |
| 6,33 | 0,05 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,17 | 0,19 |
| 6,40 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,18 |
| 6,46 | 0,04 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,15 | 0,17 |
| 6,53 | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,14 | 0,16 |
| 6,60 | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,15 |

Tablica 8: Prikaz maksimalnih protoka za određene povratne periode na temelju izrađenog hidrograma

| Vrijeme $t=$ | $Q_{2max} =$ | $Q_{5max} =$ | $Q_{10max} =$ | $Q_{20max} =$ | $Q_{50max} =$ | $Q_{100max} =$ |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 0,53 | 7,30 | 12,58 | 16,14 | 19,56 | 23,98 | 27,27 |
| [h] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] | [m^3/s] |

Grafički prikaz hidrograma otjecanja (slika 31).



Slika 31: Grafički prikaz maksimalnog protoka za različite povratne periode.

4.5. Analiza retencioniranja vode

Na slivu bujice Jamina provedena je hidrološka obrada te su izračunati mjerodavni protoci prema novom stanju sliva. Rezultati se očekivano razlikuju od onih koji su provedeni u projektu Uređenje bujice Jamina od OPĆE VODNE ZAJEDNICE RIJEKA, ISTRAŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, br. projekta R-15a iz 1965 godine.

Rezultati su drugačiji prvenstveno zbog izmjene pokrova sliva te preciznijeg izračuna te novo definiranih ITP krivulja za Rab.

S obzirom na već ranije definiran problem maksimalnog ispunjenja profila i prelijevanja za vrijeme većih oborina te uočavanjem prirodnog retencioniranja vode na završnom objektu (slika 14), jedna od mogućih opcija umanjjenja štetnog djelovanja voda na tom području može biti pronađena u ispitivanju retencioniranja dijela voda na završnom objektu.

4.5.1. Hidraulički izračun ulazno izlaznog hidrograma na retencijama

Kao što je i ranije navedeno, uzvodno od završnog objekta reguliranog dijela bujice Jamina formirala se prirodna retencija. S obzirom na definirane probleme i stanje same bujice u nastavku će se ispitati funkcija iste te da li je moguće uređenjem te iste retencije postići smanjenje protoka u postojećem kanalu te da li je moguće postići mirno tečenje vode s obzirom da se trenutačno u kanalu pojavljuje ispunjenje kompletnog profila kanala uz silovito tečenje.

Hidraulički proračun prirodne retencije provesti će se korištenjem pulsne metode, a koja će biti u nastavku objašnjena.

Izračun ulazno izlaznog hidrograma u retenciji temelji se na povezanosti ulaznog protoka $I(t)$ i izlaznog protoka $Q(t)$ za koji vrijedi sljedeća jednadžba kontinuiteta, odnosno promjena volumena vode u retenciji $dS(t)$ je definirana kao:

$$dS(t)/d(t) = I(t) - Q(t) \quad (23)$$

Iz prikazane jednadžbe proizlazi da, kada je ulazni protok veći od izlaznog protoka dolazi punjenja volumena retencije dok se u suprotnom ista prazni. Upravo zbog skladištenja volumena vode dolazi do toga da izlazni hidrogram nema jednak oblik kao i ulazni hidrogram. Retencija utječe na ulazni hidrogram na taj način da se maksimalni protok umanjuje te da se on produžuje u vremenu.

Dotok u retenciju uključuje sve protoke koji prihranjuju retenciju u smislu direktnog dotoka, oborine koje direktno padaju na površinu retencije i svu vodu koja je direktnim ili indirektnim putem usmjerena u retenciju. Izlazni protok definiran je izlazom iz retencije koji uključuju prirodni odljev iz retencije, ispuste i preljeve koji su izrađeni.

U smislu izračuna rada retencija u cilju umanjenja štetnog djelovanja voda u ovom smislu definira se ulazni hidrogram od direktnog utoka te izlazni hidrogram definiran ispustom ili preljevom.

Kako bi se izračun proveo prvo je potrebno definirati funkciju ovisnosti razine vode h i volumena retencije S . Ovisnost je definirana sljedećim odnosom:

$$S = g(h) \quad (24)$$

Isto tako potrebno je definirati i izlazni protok koji ovisi o hidrauličkom objektu koji je za tu svrhu izrađen, pa protok može biti definiran propustom, preljevom ili nekim trećim objektom.

Kada su definirani ulazni podaci, gore spomenuta jednažba kontinuiteta rješava se diskretizacijom kako bi se aproksimirala ovisnost ulaznog i izlaznog hidrograma u vremenskim koracima j i $j+1$.

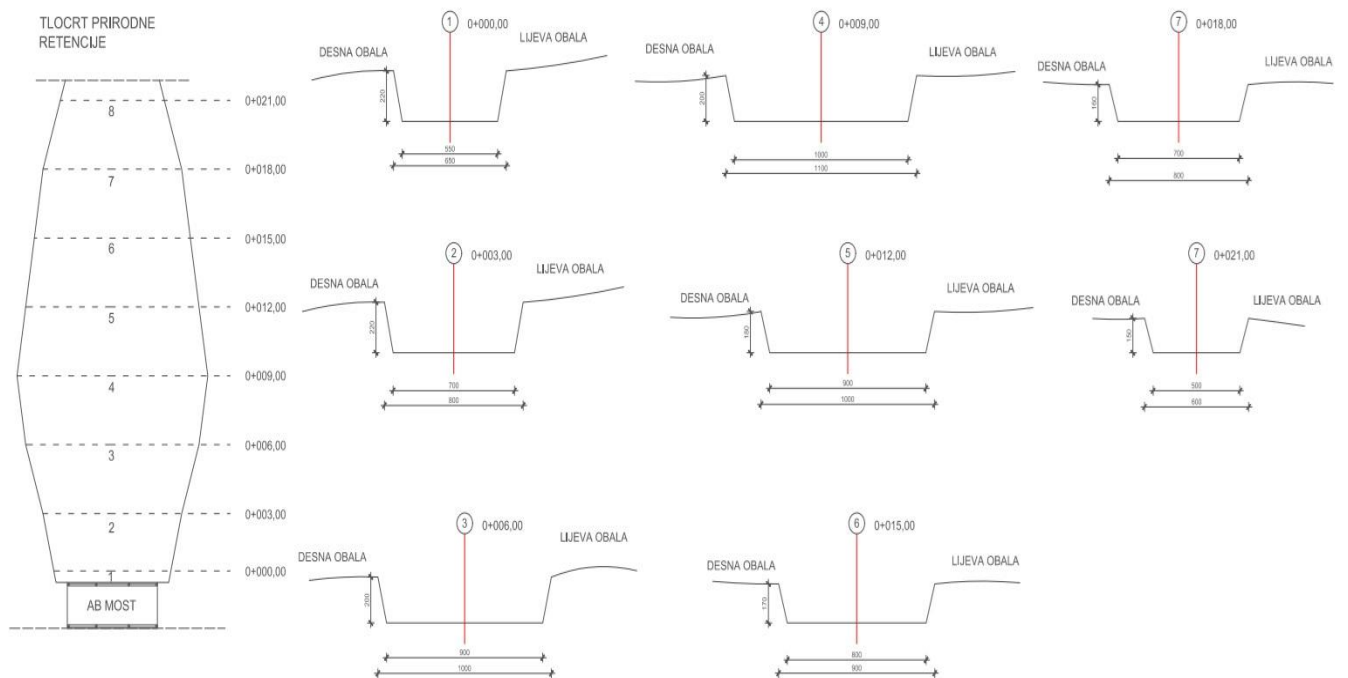
$$S_{j+1} - S_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2} \Delta t - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} \Delta t \quad (25)$$

4.5.2. Hidraulički izračun ulazno izlaznog hidrograma na prirodno formiranoj retenciji

Analiza je izvršena na temelju geodetske izmjere postojeće prirodne retencije kako bi se analizirao njezin utjecaj na tečenje u nizvodnom djelu kanala. U nastavku je prikazana situacija na slici 32, a izmjera na slici 33.



Slika 32: Situacija prirodno formirane retencije. (Izradio autor)



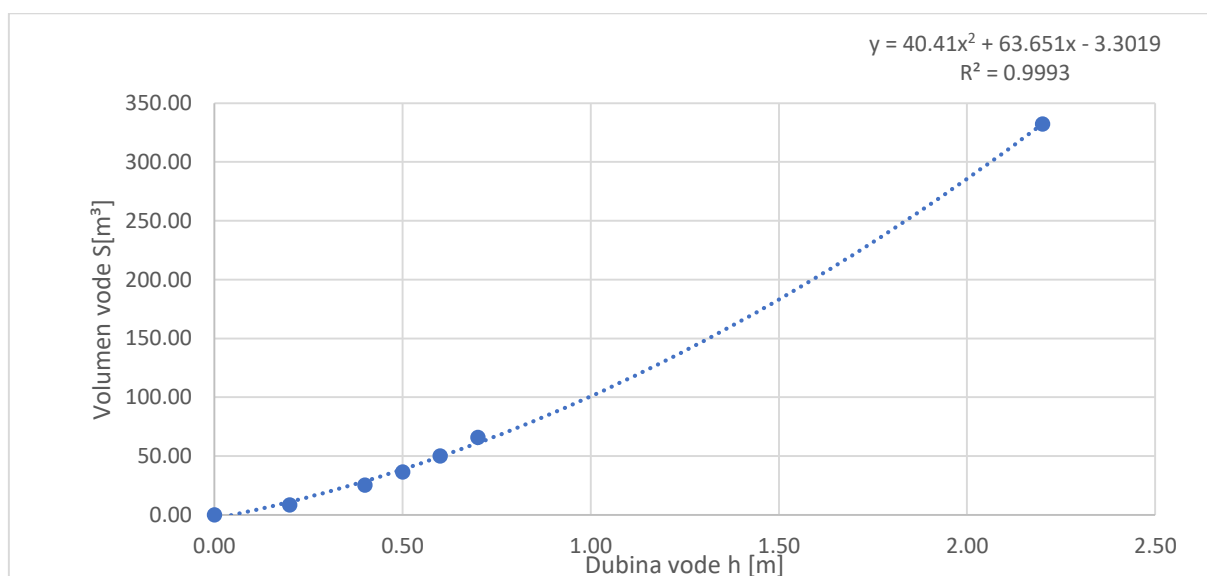
Slika 33: Tlocrt i presjek prirodno formirane retencije. (Izradio autor)

Ulazni hidrogram za ovu analizu je preuzet iz hidrološkog izračuna, odnosno definiran je SCS metodom i jedničnim hidrogramom. Izračun je proveden računarom izrađenom u excelu pripremljenom sa strane doc. dr. sc. Ivane Sušanj Čule.

Prvo je dobivena ovisnost dubine vode u retenciji h i volimena S a ista je prikazana tablično te funkcijom na slici 34.

Tablica 9: Ovisnost dubine vode u retenciji i volumena vode u retenciji.

| h [m] | S [m ³] |
|-------------------------|--------------------------|
| Dubina vode u retenciji | Volumen vode u retenciji |
| 0.00 | 0.00 |
| 0.20 | 8.49 |
| 0.40 | 25.21 |
| 0.50 | 36.36 |
| 0.60 | 49.98 |
| 0.70 | 65.71 |
| 2.20 | 332.05 |

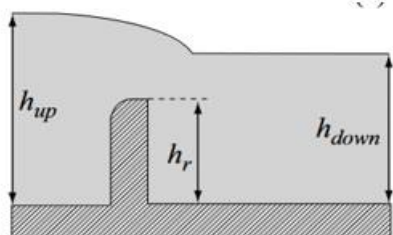


Slika 34: Ovisnost dubine vode u retenciji te volumena vode.

Na temelju poznatih podataka o volumenu S i izračunu otjecanja kroz završni objekt pripremljena je tablica u kojoj je prikazana ovisnost dubine vode o volumenu, protoku kroz završni objekt te ovisnost SIC (eng. Storage Indication Curve) u razmacima od $\Delta t = 0,07$ sati.

Kako je završni objekt prirodne retencije most s izrađenim preljevom, protok $I(h)$ je računat prema sljedećoj funkciji u kojoj je definiran koeficijent $m=1$, dužina prelijevanja $L=4m$, a visina prelijevanja $h_r=0,75m$

$$I(h) = \frac{2}{3\sqrt{3}} \cdot m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot (h - h_r)^{3/2} \quad (26)$$



Tablica 10: Rezultati dobivenih ovisnosti dubine i volumena.

| h [m] | S [m ³] | I [m ³ /s] | Y(h) |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-------|
| Dubina vode u retenciji | Volumen vode u retenciji | Protok | SIC |
| 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 0.1 | 3.47 | 0 | 0.03 |
| 0.2 | 11.04 | 0 | 0.09 |
| 0.3 | 19.43 | 0 | 0.16 |
| 0.4 | 28.62 | 0 | 0.24 |
| 0.5 | 38.63 | 0 | 0.33 |
| 0.6 | 49.44 | 0 | 0.42 |
| 0.7 | 61.05 | 0 | 0.51 |
| 0.8 | 73.48 | 0.34 | 0.96 |
| 0.9 | 86.72 | 0.95 | 1.68 |
| 1 | 100.76 | 1.75 | 2.60 |
| 1.1 | 115.61 | 2.69 | 3.66 |
| 1.2 | 131.27 | 3.76 | 4.86 |
| 1.3 | 147.74 | 4.94 | 6.19 |
| 1.4 | 165.01 | 6.23 | 7.62 |
| 1.5 | 183.10 | 7.61 | 9.15 |
| 1.6 | 201.99 | 9.08 | 10.78 |
| 1.7 | 221.69 | 10.63 | 12.50 |
| 1.8 | 242.20 | 12.26 | 14.30 |
| 1.9 | 263.52 | 13.97 | 16.19 |
| 2 | 285.64 | 15.76 | 18.16 |
| 2.1 | 308.57 | 17.61 | 20.21 |
| 2.2 | 332.31 | 19.53 | 22.33 |

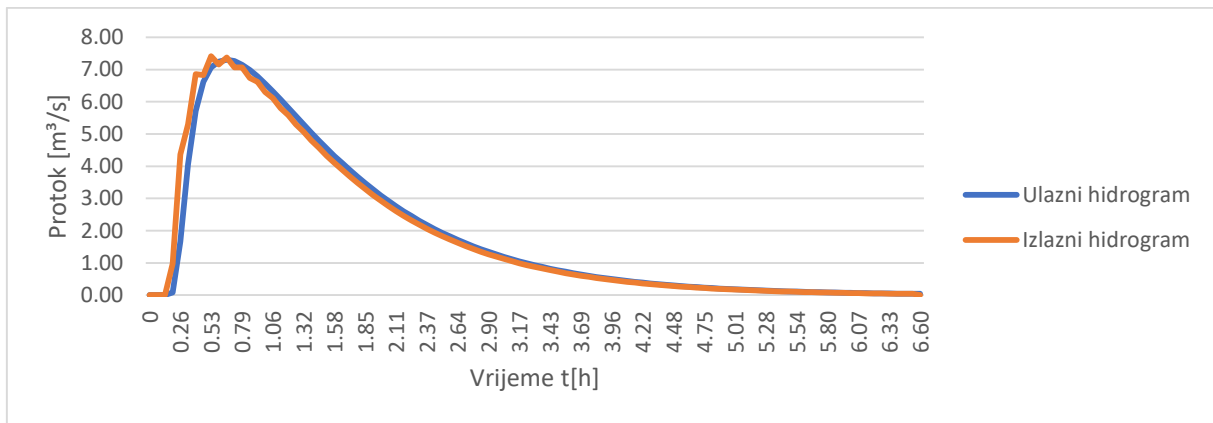
Na temelju dobivenih ovisnosti izračunat je izlazni hidrogram kao što je prikazano u nastavku.

Tablica 11: Rezultati izlaznog hidrograma.

| | Ulazni hidrogram | I1+I2 | | | |
|---------|---------------------|---------------------|--------------|---------------------|--------|
| Vrijeme | (2 g. p.p.) | Zbrojeni hidrogram | 2S/delta t-Q | Yj + 1 | Qizlaz |
| t | | [m ³ /s] | | [m ³ /s] | |
| [h] | [m ³ /s] | | | | |
| 0 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.0 | 0.00 |
| 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| 0.13 | 0.00 | 0.09 | 0.0 | 0.1 | 0.00 |
| 0.20 | 0.09 | 1.75 | 0.0 | 1.7 | 0.98 |
| 0.26 | 1.66 | 5.72 | -0.2 | 5.5 | 4.36 |
| 0.33 | 4.06 | 9.77 | -3.2 | 6.6 | 5.30 |
| 0.40 | 5.71 | 12.33 | -4.0 | 8.3 | 6.86 |
| 0.46 | 6.62 | 13.69 | -5.4 | 8.3 | 6.83 |
| 0.53 | 7.07 | 14.31 | -5.4 | 8.9 | 7.42 |
| 0.59 | 7.25 | 14.55 | -5.9 | 8.6 | 7.16 |
| 0.66 | 7.30 | 14.56 | -5.7 | 8.9 | 7.38 |
| 0.73 | 7.26 | 14.41 | -5.9 | 8.5 | 7.07 |
| 0.79 | 7.15 | 14.14 | -5.6 | 8.5 | 7.07 |
| 0.86 | 6.99 | 13.78 | -5.6 | 8.2 | 6.74 |
| 0.92 | 6.79 | 13.35 | -5.3 | 8.0 | 6.62 |
| 0.99 | 6.56 | 12.89 | -5.2 | 7.7 | 6.30 |
| 1.06 | 6.32 | 12.39 | -4.9 | 7.5 | 6.11 |
| 1.12 | 6.07 | 11.88 | -4.8 | 7.1 | 5.80 |
| 1.19 | 5.81 | 11.37 | -4.5 | 6.9 | 5.59 |
| 1.25 | 5.55 | 10.85 | -4.3 | 6.5 | 5.30 |
| 1.32 | 5.30 | 10.34 | -4.0 | 6.3 | 5.07 |
| 1.38 | 5.04 | 9.84 | -3.8 | 6.0 | 4.80 |
| 1.45 | 4.79 | 9.35 | -3.6 | 5.7 | 4.57 |
| 1.52 | 4.55 | 8.87 | -3.4 | 5.5 | 4.33 |
| 1.58 | 4.32 | 8.41 | -3.2 | 5.2 | 4.11 |
| 1.65 | 4.09 | 7.97 | -3.0 | 5.0 | 3.88 |
| 1.71 | 3.88 | 7.54 | -2.8 | 4.8 | 3.68 |
| 1.78 | 3.67 | 7.13 | -2.6 | 4.5 | 3.48 |
| 1.85 | 3.47 | 6.74 | -2.4 | 4.3 | 3.29 |
| 1.91 | 3.28 | 6.37 | -2.3 | 4.1 | 3.10 |
| 1.98 | 3.10 | 6.02 | -2.1 | 3.9 | 2.93 |
| 2.04 | 2.92 | 5.68 | -1.9 | 3.7 | 2.77 |

| | | | | | |
|------|------|------|------|-----|------|
| 2.11 | 2.76 | 5.36 | -1.8 | 3.6 | 2.61 |
| 2.18 | 2.60 | 5.05 | -1.7 | 3.4 | 2.46 |
| 2.24 | 2.45 | 4.76 | -1.5 | 3.2 | 2.32 |
| 2.31 | 2.31 | 4.49 | -1.4 | 3.1 | 2.19 |
| 2.37 | 2.18 | 4.23 | -1.3 | 3.0 | 2.06 |
| 2.44 | 2.05 | 3.99 | -1.2 | 2.8 | 1.94 |
| 2.51 | 1.93 | 3.75 | -1.1 | 2.7 | 1.83 |
| 2.57 | 1.82 | 3.53 | -1.0 | 2.6 | 1.72 |
| 2.64 | 1.71 | 3.33 | -0.9 | 2.5 | 1.62 |
| 2.70 | 1.61 | 3.13 | -0.8 | 2.4 | 1.52 |
| 2.77 | 1.52 | 2.95 | -0.7 | 2.3 | 1.43 |
| 2.84 | 1.43 | 2.77 | -0.6 | 2.2 | 1.35 |
| 2.90 | 1.34 | 2.61 | -0.5 | 2.1 | 1.27 |
| 2.97 | 1.26 | 2.45 | -0.5 | 2.0 | 1.19 |
| 3.03 | 1.19 | 2.31 | -0.4 | 1.9 | 1.12 |
| 3.10 | 1.12 | 2.17 | -0.3 | 1.8 | 1.05 |
| 3.17 | 1.05 | 2.04 | -0.3 | 1.8 | 0.99 |
| 3.23 | 0.99 | 1.92 | -0.2 | 1.7 | 0.93 |
| 3.30 | 0.93 | 1.80 | -0.2 | 1.6 | 0.88 |
| 3.36 | 0.87 | 1.69 | -0.1 | 1.6 | 0.82 |
| 3.43 | 0.82 | 1.59 | -0.1 | 1.5 | 0.77 |
| 3.50 | 0.77 | 1.50 | 0.0 | 1.5 | 0.73 |
| 3.56 | 0.72 | 1.40 | 0.0 | 1.4 | 0.68 |
| 3.63 | 0.68 | 1.32 | 0.1 | 1.4 | 0.64 |
| 3.69 | 0.64 | 1.24 | 0.1 | 1.3 | 0.60 |
| 3.76 | 0.60 | 1.16 | 0.1 | 1.3 | 0.57 |
| 3.83 | 0.56 | 1.09 | 0.2 | 1.3 | 0.53 |
| 3.89 | 0.53 | 1.03 | 0.2 | 1.2 | 0.50 |
| 3.96 | 0.50 | 0.97 | 0.2 | 1.2 | 0.47 |
| 4.02 | 0.47 | 0.91 | 0.2 | 1.2 | 0.44 |
| 4.09 | 0.44 | 0.85 | 0.3 | 1.1 | 0.41 |
| 4.15 | 0.41 | 0.80 | 0.3 | 1.1 | 0.39 |
| 4.22 | 0.39 | 0.75 | 0.3 | 1.1 | 0.36 |
| 4.29 | 0.36 | 0.70 | 0.3 | 1.0 | 0.34 |
| 4.35 | 0.34 | 0.66 | 0.4 | 1.0 | 0.32 |
| 4.42 | 0.32 | 0.62 | 0.4 | 1.0 | 0.30 |
| 4.48 | 0.30 | 0.58 | 0.4 | 1.0 | 0.28 |
| 4.55 | 0.28 | 0.55 | 0.4 | 1.0 | 0.27 |
| 4.62 | 0.27 | 0.51 | 0.4 | 0.9 | 0.25 |
| 4.68 | 0.25 | 0.48 | 0.4 | 0.9 | 0.23 |
| 4.75 | 0.23 | 0.45 | 0.5 | 0.9 | 0.22 |
| 4.81 | 0.22 | 0.43 | 0.5 | 0.9 | 0.21 |
| 4.88 | 0.21 | 0.40 | 0.5 | 0.9 | 0.19 |

| | | | | | |
|------|------|------|-----|-----|------|
| 4.95 | 0.19 | 0.37 | 0.5 | 0.9 | 0.18 |
| 5.01 | 0.18 | 0.35 | 0.5 | 0.9 | 0.17 |
| 5.08 | 0.17 | 0.33 | 0.5 | 0.8 | 0.16 |
| 5.14 | 0.16 | 0.31 | 0.5 | 0.8 | 0.15 |
| 5.21 | 0.15 | 0.29 | 0.5 | 0.8 | 0.14 |
| 5.28 | 0.14 | 0.27 | 0.5 | 0.8 | 0.13 |
| 5.34 | 0.13 | 0.26 | 0.5 | 0.8 | 0.12 |
| 5.41 | 0.12 | 0.24 | 0.6 | 0.8 | 0.12 |
| 5.47 | 0.12 | 0.23 | 0.6 | 0.8 | 0.11 |
| 5.54 | 0.11 | 0.21 | 0.6 | 0.8 | 0.10 |
| 5.61 | 0.10 | 0.20 | 0.6 | 0.8 | 0.10 |
| 5.67 | 0.10 | 0.19 | 0.6 | 0.8 | 0.09 |
| 5.74 | 0.09 | 0.17 | 0.6 | 0.8 | 0.08 |
| 5.80 | 0.08 | 0.16 | 0.6 | 0.8 | 0.08 |
| 5.87 | 0.08 | 0.15 | 0.6 | 0.7 | 0.07 |
| 5.94 | 0.07 | 0.14 | 0.6 | 0.7 | 0.07 |
| 6.00 | 0.07 | 0.14 | 0.6 | 0.7 | 0.07 |
| 6.07 | 0.07 | 0.13 | 0.6 | 0.7 | 0.06 |
| 6.13 | 0.06 | 0.12 | 0.6 | 0.7 | 0.06 |
| 6.20 | 0.06 | 0.11 | 0.6 | 0.7 | 0.05 |
| 6.27 | 0.05 | 0.10 | 0.6 | 0.7 | 0.05 |
| 6.33 | 0.05 | 0.10 | 0.6 | 0.7 | 0.05 |
| 6.40 | 0.05 | 0.09 | 0.6 | 0.7 | 0.04 |
| 6.46 | 0.04 | 0.09 | 0.6 | 0.7 | 0.04 |
| 6.53 | 0.04 | 0.08 | 0.6 | 0.7 | 0.04 |
| 6.60 | 0.04 | 0.04 | 0.6 | 0.7 | 0.00 |



Slika 35: Izlazno ulazni hidrogram.

Iz izračuna je vidljivo da trenutačna prirodno formirana retencija nema apsolutno nikakvog utjecaja na tečenje, odnosno nema funkciju zadržavanja vode čak niti pri korištenju ulaznog hidrograma za samo dvije godine povratnog perioda.

Daljnje provedena analiza ukazala je da bi veličina izgrađene retencije koja bi imala funkciju retencioniranja trebala biti toliko velika da fizički na tom prostoru ne može biti izvedena te upravo zbog toga i nije daljnje prikazana u radu.

4.5.3. Hidraulički izračun kanala

U ovom djelu biti će izračunati potrebni presjek kanala prema izračunatoj protoci. Mjerodavni protok za izračun je uzet $Q_{20max}=19,56 \text{ m}^3/\text{s}$ prema SCS metodi. Izračun je proveden pomoću excel paketa, na slici 36 je dan prikaz dobivenih rezultata.

DIMENZIONIRANJE KANALA - VODOTOKA

VODOTOK : Proračun

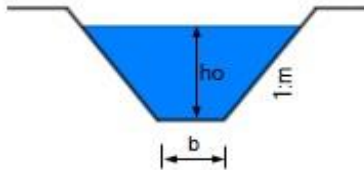
$$V_s = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{I}$$

$$Q = V_s \cdot F$$

$$R = F / O$$

$$I = I_0$$

$$E = h + V^2 / 2g$$



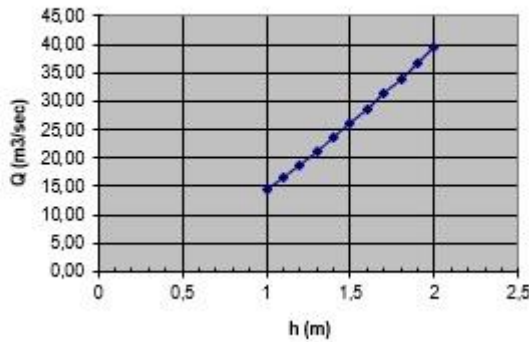
| Početni uvjeti: | |
|-----------------|---------------------------|
| Q = | 19,56 m ³ /sek |
| n = | 0,033 |
| b = | 5,00 m |
| I = | 0,013 |
| m = | 0,1 |
| Početn | 1 m |
| Korak | 0,1 m |

- V_s srednja profilna brzina
- n maningov koeficijent
- R hidraulički radius
- I₀ pad dna
- I pad linije
- F površina
- O omočeni obod

| h _i | F _i | O _i | R _i | V _i | Q _i | Q ² /g | V _i =A*H _i ^b | Q _i =A*H _i ^b |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------|---|---|
| m | m ² | m | m | m/sek | m ³ /sek | m | ##### | A= 2,81 |
| | | | | | | | b= 1,47 | b= 0,44 |
| | | | | | | | m/sek | m3/sek |
| 1,00 | 5,10 | 7,01 | 0,73 | 2,79 | 14,25 | 20,71 | 2,81 | 14,31 |
| 1,10 | 5,62 | 7,21 | 0,78 | 2,93 | 16,45 | 27,58 | 2,93 | 16,47 |
| 1,20 | 6,14 | 7,41 | 0,83 | 3,05 | 18,73 | 35,77 | 3,05 | 18,71 |
| 1,30 | 6,67 | 7,61 | 0,88 | 3,16 | 21,10 | 45,36 | 3,15 | 21,05 |
| 1,40 | 7,20 | 7,81 | 0,92 | 3,27 | 23,53 | 56,46 | 3,26 | 23,47 |
| 1,50 | 7,73 | 8,01 | 0,96 | 3,37 | 26,04 | 69,14 | 3,36 | 25,98 |
| 1,60 | 8,26 | 8,22 | 1,00 | 3,47 | 28,62 | 83,48 | 3,46 | 28,56 |
| 1,70 | 8,79 | 8,42 | 1,04 | 3,56 | 31,26 | 99,58 | 3,55 | 31,23 |
| 1,80 | 9,32 | 8,62 | 1,08 | 3,64 | 33,95 | 117,50 | 3,64 | 33,96 |
| 1,90 | 9,86 | 8,82 | 1,12 | 3,72 | 36,70 | 137,33 | 3,73 | 36,77 |
| 2,00 | 10,40 | 9,02 | 1,15 | 3,80 | 39,51 | 159,13 | 3,82 | 39,65 |

Q h krivulja

H = 1,24 m
v = 3,09 m/sek
H_{kp} = 1,16 m
H_k = 1,15 m



Slika 36: Prikaz dobivenih rezultata postavljanjem početnih uvjeta kanala. (Izradio autor)

Postojeći kanal je trapeznog oblika širine dna kanala 1,05 m i visine 1,30 m. Prema postojećem proračunu za dimenzioniranje kanala vidljivo je kako je dobivena maksimalna protočnost kanala od $Q=15,43 \text{ m}^3/\text{s}$, jasno je da s obzirom na proračunati maksimalni protok sa sliva od $15 \text{ m}^3/\text{s}$ kanal dimenzioniran na puni profil. Iz toga proizlazi turbulentan tok tečenja što govori i činjenica da je u koritu i na ušću za vrijeme oborina većeg intenziteta velika brzina tečenja što za rezultat ima ispiranje pijeska na samom ušću. Uočeno je i prelijevanje postojećeg kanala što ide u prilog novom dobivenom izračunu za 20-godišnji povratni period od $Q=19,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Na temelju dobivenog rezultata od $Q=19,56 \text{ m}^3/\text{s}$ prijedlog je proširenje kanala da se zadovolji uvjet protočnosti i da visina vode bude manja od kritične visine vode što je uvjet za miran režim tečenja.

5. Zaključak

Cilj ovog rada bio je upoznavanje i sagledavanje problematike bujičnog vodotoka sa šireg aspekta, te naći optimalno rješenje uz što manja zadiranja u postojeće stanje bujičnog kanala. Sagledavanjem kroz presjek povijesti bujice i zahvatima koji su odrađeni, definirani su problemi koji za posljedicu imaju štetno djelovanje vode na ušću bujice, odnosno na utoku u more.

S ciljem utvrđivanja zadovoljavanja postojećeg kanala bujice Jamina izrađena je analiza pokrova sliva i otjecanja. Za izračun maksimalnih protoka korištene su dvije metode. Za prvu metodu korištena je Racionalna metoda kojom su dobiveni maksimalni protoci za 2, 10 i 100 godišnji povratni period. Druga metoda korištena u izračunu je SCS metoda sa jediničnim hidrogamom kojom su napravljeni dodatno maksimalni protoci za 5, 20 i 50 godina.




S obzirom da se hidrološkom analizom utvrdile određene izmjene u otjecanju sa slivu u vidu povećanja protoka, te je utvrđen problem ispunjenja profila kanala kao i izlivanje iz istoga prilikom pojave intenzivnijih oborina, pokušalo se utvrditi moguće uređenje prirodno formirane retencije na završnom objektu. Pod pretpostavkom umanjenja protoka retencijom ne bi bilo potrebno intervenirati na već izgrađenom nizvodnom kanalu. Utvrđeno je da prirodno formirana retencija nema značajnijeg utjecaja na smanjenje protoka te da bi njezin utjecaj bio moguć, volumen same retencije treba biti značajnije veći što na samoj lokaciji nije izvedivo. Drugi načini sanacije trenutnog problema su prema tome mogući jedino povećavanjem protočnosti kanala, odnosno izgradnjom kanala koji će svojom protočnom površinom biti veći. Isto tako, potrebno je provesti sanaciju bujičnih pregrada i njihovih slapišta kako bi već izvedeni objekti ponovno imali svoju funkciju.

Ovim radom nije obuhvaćeno rješavanje problema utoka u more koji je također jedan od većih problema same bujice, već je cilj bio pripremiti adekvatne hidrološke podloge kako bi bilo moguće izvršiti daljnje hidrauličke izračune mogućih rješenja.

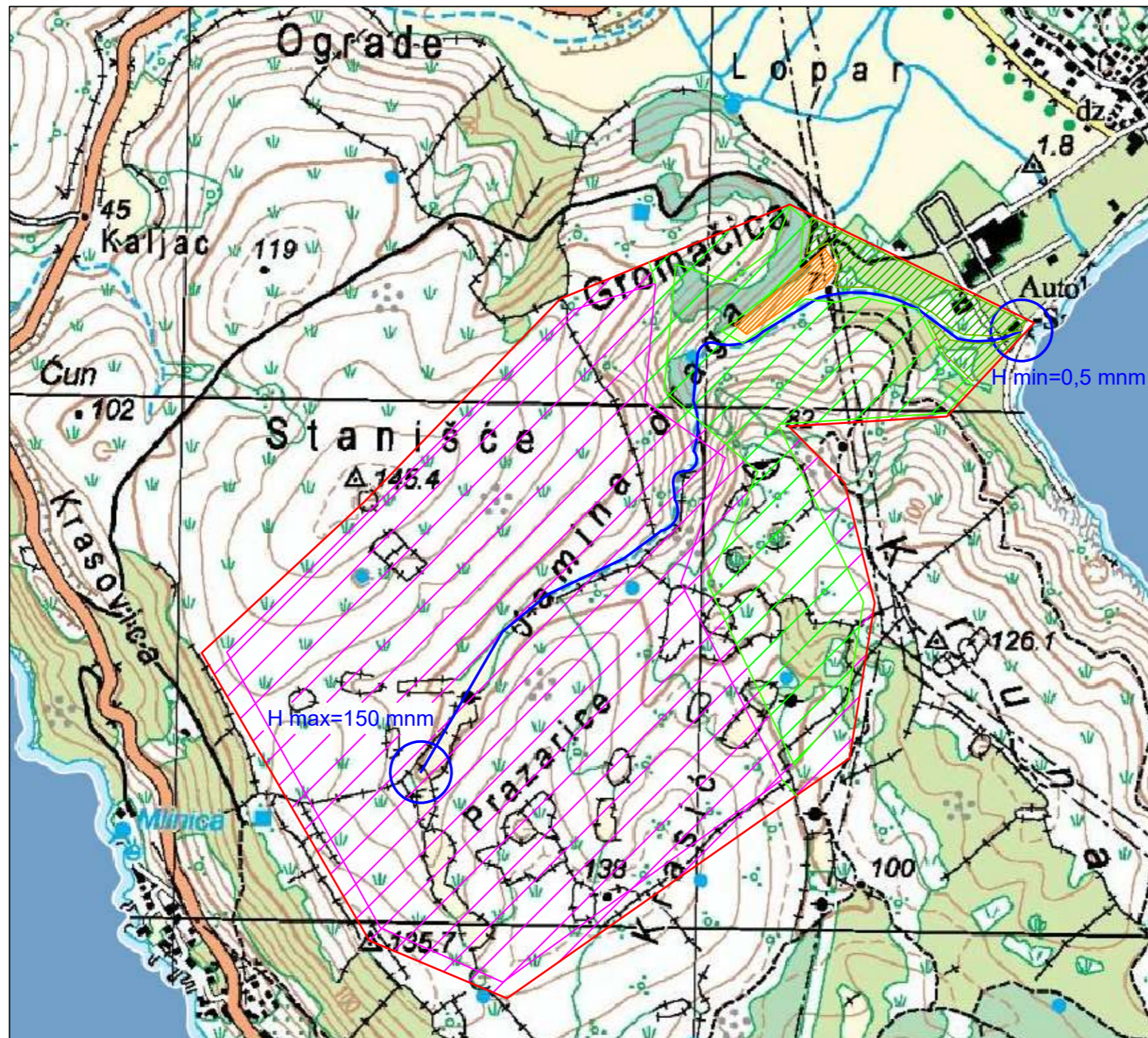
6. NACRTI



LEGENDA:

| | | |
|--|-----------------|-------------------------|
| — | Granica sliva | P= 1,30 km ² |
|  | Šuma | P= 0,37 km ² |
|  | Kamen | P= 0,88 km ² |
|  | Obradivo tlo | P= 0,01 km ² |
|  | Zelena površina | P= 0,04 km ² |

| | | | |
|--|-----------------------|---|------------|
| GF GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA | | | |
| Diplomski rad: HIDROLOŠKA ANALIZA BUJICE JAMINA NA OTOKU RABU | | Sadržaj nacrta: SITUACIJA POVRŠINE SLIVA | |
| Student: Tomislav Paparić | | Kolegij: REVITALIZACIJA VODOTOKA | |
| Mentor: prof.dr.sc. Nevenka Ožanić dr.sc. Ivana Sušanj Čule | Datum: rujan/2023. | Mjerilo: 1:5000 | List: 1 |



LEGENDA:

- Granica sliva P= 1,30 km²
- Šuma P= 0,37 km²
- Kamen P= 0,88 km²
- Obradivo tlo P= 0,01 km²
- Zelena površina P= 0,04 km²
- Vodotok L= 1750 m

| | | | |
|--|-----------------------|---------------------------------------|------------|
| GF GRAĐEVINSKI FAKULTET RIJEKA | | | |
| Diplomski rad: HIDROLOŠKA ANALIZA BUJICE JAMINA NA OTOKU RABU | | Sadržaj nacrta: SITACIJA SLIVA | |
| Student: Tomislav Paparić | | Kolegij: REVITALIZACIJA VODOTOKA | |
| Mentor: prof.dr.sc. Nevenka Ožanić dr.sc. Ivana Sušanji Čule | Datum: rujan/2023. | Mjerilo: 1:5000 | List: 1 |

8. LITERATURA

DHMZ SEKTOR ZA METEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA I RAZVOJ

služba za klimatologiju

<http://meteo.hr> (15.09.2023)

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, kolegij Vodogradnje

<https://geoportal.dgu.hr> (30.10.2023)

<https://www2.pgz.hr> (31.10.2023)

<https://voda.hr> (18.09.2023)

Rapski zbornik II, UDK:551.44:556.36>(497.5)(210.7 Rab)

<https://www.academia.edu/> (20.07.2023.)

Ivana Sušanj Čule, Eni Kuhar, Nevenka Ožanić. Primjena SCS metode pri konstruiranju
Hidrograma oteklih oborina

<https://doi.org/10.32762/zr.25.1.7> (03.10.2023)

ID_PPUO_Lopar_3A_uvjeti.korist.-priroda-i-kultura_PP3.pdf.

<https://www.opcina-lopar.hr> (31.10.2023)

https://ju-priroda.hr/zasticena_podrucja-pgz/lopar/ (31.10.2023)

Kuhar Eni, 2022, Primjena SCS metode na malom bujičnom slivu Slani potok, Diplomski rad,
Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. 2023.

Nenad Buzjak, Vedran Jalžić, Branko Jalžić, Petra Kovač-Konrad, Rapski zbornik II,
UDK:551.44:556.36>(497.5)(210.7 Rab)

<https://www.academia.edu/> (20.07.2023.)

Opća vodna zajednica Rijeka, ISTARŽNO-PROJEKTNI ODSJEK, Uređenje bujice Jamina,
Glavni projekt, br. projekta: R-15a, 1965.

SCS metoda proračuna.doc

<http://grad.hr> (04.10.2023.)

Uređenje bujičnih tokova

<https://www.cetina.hr> (24.09.2023.)

Žugaj R., Hidrologija; Rudarsko-geološki-naftni fakultet Zagreb, Zagreb, 2000.

Žugaj R., Velike vode malih slivova, Rudarsko-geološki-naftni fakultet Zagreb,
Zagreb, 2010.