

Modeliranje dinamike punjenja i pražnjenja infiltracijskih površina

Greblo, Monika

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:157:148887>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Monika Greblo

Modeliranje dinamike punjenja i pražnjenja infiltracijskih površina

Diplomski rad

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij
Hidrotehnika
Računarska hidraulika**

**Monika Greblo
JMBAG: 0114030063**

Modeliranje dinamike punjenja i pražnjenja infiltracijskih površina

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2024.

IZJAVA

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom 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.

Monika Greblo

U Rijeci, 12. rujna 2024.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Vanji Travašu dipl. ing. građ. na pruženoj pomoći, podršci, znanju, savjetima i strpljenju pri pisanju ovoga diplomskog rada.

Također, zahvaljujem svim svojim prijateljima, uz koje će mi studiranje zauvijek ostati u najljepšem sjećanju.

Posebno zahvaljujem svojim roditeljima, sestri i obitelji kojima pripisujem najveći uspjeh jer ste me uvijek podržavali, hrabрили, i ono najvažnije – vjerovali u mene, i onda kada ja to sama nisam. Bez vas sve ovo ne bi bilo moguće, i na tome Vam neizmijerna hvala!

SAŽETAK

Za potrebe izrade diplomskoga rada izrađen je računalni model za simuliranje dinamike punjenja i pražnjenja detencija. U tu svrhu su u prvome redu opisane osnove i sama uloga detencija te je obrađeno nekoliko primjera izvedenih detencija. U nastavku, izvedena je jednadžba očuvanja mase koja uključuje sve relevantne komponente protoka: površinski dotok, oborinski dotok, protok infiltracije, protok prelijevanja na preljevu te protok istjecanja kroz ispust. Dobivena nelinearna diferencijalna jednadžba prvoga reda je linearizirana te je zatim diskretizirana metodom konačnih razlika. Pripadajući proračunski algoritam implementiran je u proračunski kod u programu Excel te je korišten kako bi se izradio ilustrativni primjer dimenzioniranja hipotetske detencije.

Ključne riječi:

Detencija, protok, jednadžba očuvanja mase, istjecanje, prelijevanje, infiltracija

ABSTRACT

For the purposes of this thesis, a computer model was created for simulating the dynamics of filling and emptying detention. With that goal, the basics and the role of detention itself are described first, and then several examples of detention carried out are discussed. In the following, a mass conservation equation is derived that includes all relevant flow components: surface inflow, precipitation inflow, infiltration flow, overflow flow at the spillway, and discharge flow through the outlet. The resulting first - order nonlinear differential equation is linearized and then discretized using the finite difference method. The corresponding calculation algorithm was implemented in the calculation code in Excel program and was used to create an illustrative example of hypothetical detention dimensioning.

Key words:

Detention, flow, mass conservation equation, overflow, infiltration, outflow

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 14 |
| 2. OPĆENITO O INFITRACIJSKIM POVRŠINAMA..... | 16 |
| 2.1. Vrste detencija i retencija..... | 20 |
| 2.2. Objekti za evakuaciju vode | 21 |
| 2.2.1. <i>Ispusti</i> | 21 |
| 2.2.2. <i>Preljevi</i> | 22 |
| 2.3. Primjeri izvedenih infiltracijskih površina..... | 23 |
| 2.3.1. <i>Retencija Burnjak</i> | 23 |
| 2.3.2. <i>Retencije Lonjskog polja</i> | 24 |
| 2.3.3. <i>Retencija Odransko polje</i> | 25 |
| 2.3.4. <i>Retencija Dragoslavec</i> | 25 |
| 3. MATEMATIČKI MODEL DETENCIJE..... | 26 |
| 3.1. Geometrijske karakteristike detencije | 26 |
| 3.2. Jednadžba očuvanja mase | 27 |
| 3.3. Modeliranje protoka površinskog dotoka Q_{pd} | 28 |
| 3.4. Modeliranje protoka oborinskog dotoka Q_{od} | 29 |
| 3.5. Modeliranje protoka istjecanja Q_{is} | 30 |
| 3.6. Modeliranje protoka prelijevanja Q_{pr} | 33 |
| 3.7. Modeliranje protoka infiltracije Q_{in} | 34 |
| 3.8. Proračunski algoritam | 37 |
| 4. NUMERIČKI PRIMJER DETENCIJE..... | 41 |
| 4.1. Geometrijske karakteristike odabrane detencije | 41 |
| 4.2. Osvrt na obuhvat detencije..... | 48 |
| 4.3. Svrha detencije..... | 49 |
| 4.4. Tehničko rješenje punjenja detencije | 50 |

| | |
|---|----|
| 4.5. Tehničko rješenje pražnjenja detencije | 53 |
| 4.6. Analiza za postojeće stanje detencije | 56 |
| 4.7. Analiza za adaptirano stanje detencije..... | 60 |
| 5. ZAKLJUČAK | 63 |
| 6. LITERATURA..... | 64 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Prikaz detencije u parku Trounce Pond u Kanadi [5]. | 15 |
| Slika 2. Primjer retencijske površine za prikupljanje i zadržavanje | 16 |
| Slika 3. Prikaz oznake opasnosti na znaku koji se nalaze u blizini detencijskog i retencijskog prostora [16]. | 18 |
| Slika 4. Na slici je prikazan natpis u području Sjeverne Amerike koji zabranjuje plivanje u detenciji [18]. | 18 |
| Slika 5. Prikaz onečišćenog ispusta u detenciji [19]. | 19 |
| Slika 6. Prikaz slike detencije s dva ispusta [23]. | 21 |
| Slika 7. Prikaz ispusta obloženog kamenim nabačajem na detenciji [25]. | 21 |
| Slika 8. Primjeri preljeva retencije [27,28]. | 22 |
| Slika 9. Retencija Burnjak [30]. | 23 |
| Slika 10. Prikaz dijela retencijskog područja Lonjsko polje [33,35]. | 24 |
| Slika 11. Prikaz poplavljenog Odranskog polja [36]. | 25 |
| Slika 12. Crvenokljuni labud [38]. | 25 |
| Slika 13. Prikaz sheme određivanja površine detencijskog prostora [43]. | 26 |
| Slika 14. Satelitska slika područja detencije Mašimova škuja [55]. | 41 |
| Slika 15. Podjela Istre na bijelu, crvenu i sivu Istru [56,57]. | 42 |
| Slika 16. Topografski prikaz detencije Mašimova škuja [62]. | 44 |
| Slika 17. Dijagram dubine vode u detenciji obzirom na površinu vodnog lica. | 47 |
| Slika 18. Dijagram dubine vode ovisno o volumenu vode u detenciji. | 47 |
| Slika 19. Prikaz otjecanja u vrijeme ekstremnih oborina na površinu Mašimove škuje [45]. | 48 |
| Slika 20. Prikaz područja projektiranog cjevovoda koji će dovesti | 49 |
| Slika 21. Dijagram vremenske promjene intenziteta oborine za slivno područje detencije Mašimova škuja | 51 |
| Slika 22. Dijagram prikaza protoka oborinskog dotoka. | 51 |
| Slika 23. Dijagram prikaza vremenske promjene površinskog dotoka na sliv. | 51 |
| Slika 24. Dijagram prikaza protoka ulaza u detenciju. | 52 |
| Slika 25. Prikaz predviđenog postavljanja rešetke za odvodnju oborinske | 53 |
| Slika 26. Prikaz sadašnjeg stanja pražnjenja infiltracijske površine [45]. | 55 |

| | |
|---|----|
| Slika 27. Dijagram kote ispusta i preljeva u odnosu na vremensku raspodjelu razine površine vode | 56 |
| Slika 28. Dijagram protoka istjecanja kroz ispust unutar vremenske domene. | 57 |
| Slika 29. Dijagram protoka prelijevanja preko krune preljeva unutar vremenske domene. | 57 |
| Slika 30. Dijagram protoka infiltracije kroz propusno dno detencije..... | 57 |
| Slika 31. Dijagram ulaznog i izlaznog protoka iz detencije..... | 58 |
| Slika 32. Dijagram kumulativnog volumena vode te volumena na ulazu i izlazu detencije. | 58 |
| Slika 33. Dijagram kumulativnog volumena vode..... | 59 |
| Slika 34. Dijagram vremenske promjene postotka ispunjenosti detencije..... | 59 |
| Slika 35. Dijagram prikaza postotka ispunjenosti detencije | 60 |
| Slika 36. Dijagram prikaza postignute vremenske promjene postotak ispunjenosti detencije..... | 60 |
| Slika 37. Dijagram prikaza prethodne vremenske promjene razine vode u detenciji..... | 61 |
| Slika 38. Dijagram prikaza postignute vremenske promjene razine vode u detenciji. | 61 |
| Slika 39. Dijagram prethodne transformacije vodnog vala ulaznog i izlaznog protoka iz detencije | 62 |
| Slika 40. Dijagram postignute transformacije vodnog vala ulaznog i izlaznog protoka iz detencije | 62 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| <i>Tablica 1. Tablica prikaza parametra detencije.</i> | 43 |
| <i>Tablica 2. HTP krivulja za grad Pazin [44].</i> | 43 |
| <i>Tablica 3. Prikaz parametra sliva detencije.</i> | 44 |
| <i>Tablica 4. Prikaz dubine vode ovisno o površini detencije.</i> | 45 |
| <i>Tablica 5. Modeliranje volumena detencije.</i> | 46 |
| <i>Tablica 6. Vremenska domena.</i> | 50 |
| <i>Tablica 7. Prikaz modeliranja dinamike oborina.</i> | 50 |
| <i>Tablica 8. Prikaz modeliranja dinamike dotoka.</i> | 52 |
| <i>Tablica 9. Tablica prikaza parametara ispusta.</i> | 54 |
| <i>Tablica 10. Tablica prikaza parametra preljeva.</i> | 54 |
| <i>Tablica 11. Prikaz modeliranja infiltracije.</i> | 54 |

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA

| OZNAKA | OPIS | MJERNA JEDINICA |
|------------|---|---------------------|
| A | - slivna površina detencije | [ha] |
| $A(h)$ | - funkcija površine vodnog lica površina A zavisna o dubini vode h | [m ²] |
| A_i | - površina poprečnog presjeka ispusta | [m ²] |
| B | - srednja duljina preljeva | [m] |
| c | - racionalni koeficijent | [/] |
| c_i | - koeficijent istjecanja | [/] |
| h | - dubina vode u detenciji | [m] |
| g | - gravitacijska konstanta | [m/s ²] |
| D | - promjer cijevi | [mm] |
| D_i | - promjer cijevi ispusta | [mm] |
| $h_i(t)$ | - visina kote ispusta | [m] |
| h_p | - visina vode iznad krune preljeva | [m] |
| i_{max} | - intenzitet oborine | [mm/min] |
| i_{baza} | - bazni ili temeljni intenzitet koji traje duž cijele vremenske domene | [mm/min] |
| $i(t)$ | - promjena intenziteta oborine | [mm/min] |
| m_0 | - koeficijent utjecaja površinske napetosti | [/] |
| $m_p(h_p)$ | - bezdimenzionalni koeficijent prelijevanja | [/] |
| n_i | - broj cijevi ispusta | [/] |
| N_{Re} | - Reynoldsov broj | [/] |
| P | - razlika u visini između kote krune prelijevanja i kote temeljnog ispusta | [m] |
| p_l | - bezdimenzionalni parametar s kojim se oblikuje funkcija $Q_{pd}(t)$ prije maksimalne vrijednosti $Q_{pd,max}$ | [/] |
| p_d | - bezdimenzionalni parametar s kojim se oblikuje funkcija $Q_{pd}(t)$ nakon maksimalne vrijednosti $Q_{pd,max}$ | [/] |
| q | - Darcyjeva brzina | [m/s] |

| | | | |
|------------------|---|--|----------------------|
| Q_{in} | - | protok infiltracije | [m ³ /s] |
| Q_{is} | - | protok istjecanja | [m ³ /s] |
| Q_{od} | - | oborinski dotok | [m ³ /s] |
| $Q_{pd}(t)$ | - | površinski dotok | [m ³ /s] |
| $Q_{pd,baza}$ | - | bazni površinski protok ili temeljni protok | [m ³ /s] |
| $Q_{pd,max}$ | - | maksimalni površinski protok ili vršni protok | [m ³ /s] |
| $Q_{pr}(h_p)$ | - | protok prelijevanja | [l/s] |
| α | - | Coriolisov koeficijent korekcije | [/] |
| $\sum Q_i$ | - | suma svih protoka koji ulaze i izlaze iz detencije | [m ³] |
| t | - | početno vrijeme | [s] |
| t_p | - | vrijeme koncentracije maksimalnog protoka $Q_{pd,max}$ | [s] |
| v_i | - | srednja brzina istjecanja iz cjevovoda | [m/s ²] |
| L_i | - | dužina cijevi | [mm] |
| z_d | - | kota dna detencije | [m n. m.] |
| z_i | - | kota ispusta detencije | [m n. m.] |
| z_0 | - | kota osi ispusta detencije | [m n. m.] |
| z_p | - | kota preljeva detencije ili kota krune prelijevanja | [m n. m.] |
| z_v | - | kota vodostaja vodnog lica | [m n. m.] |
| ΔE_{lin} | - | linijski gubitak energetske linije | [m] |
| ΔE_{lok} | - | lokalni gubitak energetske linije | [m] |
| $\Delta V(h)$ | - | inkrementalni volumen u detenciji | [m ³] |
| λ | - | Darcyjev koeficijent trenja | [/] |
| ξ_{ul} | - | koeficijent lokalnog gubitka na ulazu cijevi | [/] |
| ξ_{iz} | - | koeficijent lokalnog gubitka na izlazu cijevi | [/] |
| μ | - | dinamička viskoznost vode | [/] |
| ρ | - | gustoća vode | [kg/m ³] |

1. UVOD

U posljednjih dvije tisuće godina čovjek je drastično promijenio prirodni sustav u vjerovanju da će konačno moći obraniti svoja bogatstva i prostore od plavljenja. Međutim, to se nije ostvarilo, pa se u posljednje vrijeme sve više susrećemo s posljedicama ekstremnih vremenskih nepogoda koje su posljedica klimatskih promjena koje je prouzročio čovjek. Jedna od posljedica klimatskih promjena jesu poplave.

Poplave su prirodni događaji koje se mogu javiti u blizini jezera, potoka i rijeka, na aluvijalnim ravninama, u obalnim područjima i na područjima koja poplavljuju zbog neodgovarajućih sustava odvodnje oborina [1]. Poplave sve češće zahvaćaju urbanizirane prostore, i u posljednje vrijeme uzrokuju velike materijale i ekološke štete.

U Republici Hrvatskoj karakteristične su nagle poplave koje se javljaju kao posljedica intenzivnih oborina koje nastaju u kratkom vremenskom razdoblju. Događaju se bez upozorenja i često su povezane sa snažnim olujnim pljuskovima [2]. Tijekom naglih poplava postoji moćno međudjelovanje između brzog porasta podzemne vode, otjecanja po terenu, ali i izlivanja iz krškog izvora.

Razlozi naglih poplava mogu biti i neprekinuta i snažna interakcija između podzemne i površinske vode (što je naročito naglašeno u krškim predjelima). Poplave mogu nastati i zbog naglog topljenja snijega, dugotrajne kiše na slivu ili posebne prilike, kao što su rušenje pregrada, odronjavanje masiva u akumulacijski prostor i slično [2,3].

Ovaj prirodni proces pogoršava se brojnim antropogenim aktivnostima na slivu [4]. Neki od antropogenih utjecaja koji utječu na sliv i na slivno područje jesu urbanizacija gradova i napuštanje poljoprivrednih područja te sječa šuma.



Slika 1. Prikaz detencije u parku Trounce Pond u Kanadi [5].

U sklopu vodosposobarskih zahvata na promjenu vodnog režima djeluje se izgradnjom infiltriranih površina, kao što su retencije, detencije, akumulacije, izgradnjom oteretnih kanala, uređenjem sliva te uređenjem korita vodotoka [6]. Navedeni hidrotehnički objekti – od retencija, detencija, akumulacija do oteretnih kanala – mogu se tumačiti kao dio takozvane zelene infrastrukture koja zadržava oborinsku vodu na nekom lokaliziranom području koja može biti unutar ili izvan urbanizirane sredine [7].

U nastavku će se pažnja pretežito predati infiltracijskim površinama, to jest detencijama s kojima se može regulirati njihova dinamika punjenja i pražnjenja. Funkcionalnost prethodno navedenih objekata postiže se provjerom u vrijeme ekstremnih oborina – hoće li se ostvariti transformacija vodnog vala, odnosno potrebna razlika između ulaznog i izlaznog hidrograma koja se definira kao transformacija vodnog vala. Drugim riječima, potrebno je aproksimirati dinamiku izmjene volumena vode u infiltracijskim površinama [8].

Cilj ovoga rada je prikazati jednostavan proračunski algoritam koji se može koristiti u prethodno navedene svrhe proračuna infiltracijskih površina. Proračun će se koristiti za dimenzioniranje i dizajniranje infiltracijskih površina. On će se temeljiti na jednadžbi očuvanja mase koja će uvažiti relevantne protoke kojim se površine pune kao, što su oborinski i površinski dotok te nekoliko protoka kojima se površine prazne putem protoka istjecanja, prelijevanja i infiltracije. Za ilustrativni primjer infiltracijske površine, razmotrena je hipotetska detencija na području grada Buzeta koji se nalazi u Istarskoj županiji.



Slika 2. Primjer retencijske površine za prikupljanje i zadržavanje oborinske vode tijekom dugotrajnog intenziteta kiše [9].

2. OPĆENITO O INFITRACIJSKIM POVRŠINAMA

Da bi se smanjili negativni utjecaji urbanizacije sliva, razvijena su različita tehnička rješenja, tehnike i sustavi odvodnje oborinskih voda koji pokušavaju simulirati protok vode u slivovima koristeći prirodne resurse [10,11]. Drugim riječima, u te svrhe mogu se koristiti različite infiltracijske površine koje imaju za cilj privremeno zadržavanje vode i redukciju otjecanja na nizvodnim krajevima. Infiltracijske površine mogu biti detencije, retencije, kišni vrtovi, zelene lagune i tako dalje.

Od prethodno navedenih treba razlikovati nadzemne retencije, podzemne retencije, detencije (Slika 1) i kišne vrtove [11]. Treba napomenuti da retencije predstavljaju uređeno područje koje je predviđeno za kraće vremensko zadržavanje vode i to u svrhu zaštite od poplava (Slika 2). Retencije reguliraju vodni režim vodotoka te smanjuju maksimalni protok koji prolazi vodotokom na nizvodnom području [4,12].

Za razliku od retencija, iz detencije voda se ispušta kontroliranom dinamikom [4,12]. Detencije su infiltracijske površine za vodu koja se koriste u područjima s vrlo malim nagibom terena. Voda se kod njih skuplja u detencijskom području te zatim polako otječe kroz temeljni ispušni u vodotok rijeke ili mora [11]. Ukoliko infiltracijska površina ima ispusnu i preljevnju građevinu, misli se na detencije, a ukoliko infiltracijska površina ima samo preljevnju, smatra se da se radi o retenciji.

Voda zadržana u retenciji infiltrirat će se kroz tlo ili će ispariti s površine. Retencije vodu zadržavaju puno duže u retencijskom području u odnosu na detencije [13,14]. Voda ulazi u detencijski prostor i polako se ispušta kroz ispušni koji se nalazi pri dnu detencije.

S druge strane kišni vrtovi nalaze se unutar urbanih sredina te se u njima prikuplja oborinska voda s nogostupa i asfaltiranih prometnica. Pritom, treba primijetiti da voda prikupljena s nogostupa i prometnih površina je teško razgradiva te je neophodno ukloniti sve štetne tvari koje ona sadržava prije povratka u prirodni recipijent. Jedna od tehnika pročišćivanja jest metoda fitoremedijacije. Metoda fitoremedijacije biološkim procesom apsorbira i uklanja štetne tvari pomoću listova i korijenja biljaka [15].

Prilikom projektiranja i planiranja uklapanja retencije ili detencije u okoliš, neophodno je ispravno odabrati vrstu vegetacije. Detenciju ili retenciju potrebno je okružiti lokalnim vodenim biljem kako se ne bi dodatno narušila fauna i flora. Vodeno bilje zadržava i uklanja zagađene tvari puno brže nego ostali kemijski preparati zbog vršenja procesa fotosinteze, odnosno prije spomenute fitoremedijacije [14].

Za infiltracijske površine odabiru se visokopropusna tla koja omogućavaju relativno brzu infiltraciju u tlo [14] te im veličina zavisi o narednim parametrima. Isto tako, prethodno projektiranju i izgradnji retencije ili detencije, treba uzeti u obzir sve njihove prednosti, ali i nedostatke koji su taksativno navedeni u nastavku.



Slika 3. Prikaz oznake opasnosti na znaku koji se nalaze u blizini detencijskog i retencijskog prostora [16]



Slika 4. Na slici je prikazan natpis u području Sjeverne Amerike koji zabranjuje plivanje u detenciji [18].

Veličina površine koju zauzimaju infiltracijske površine ovisi o:

- hidrološkim prilikama,
- veličini raspoloživog prostora,
- topografiji terena [12,17],
- slivnoj površini i
- o odnosu između vode koja otječe i vode koja dotječe [17].

Prednosti infiltracijskih površina:

- jednostavne su za izgradnju,
- skupljaju i poboljšavaju kvalitetu vode,
- ne iziskuju potrebnu energiju za pokretanje detencije,
- pomoću njih može se kontrolirati oborinski dotok,
- omogućavaju korištenje prostora za sportski ribolov te
- mogu stvarati nova biljna i životinjska staništa – rezervati divljih životinja [11].

Nedostaci infiltracijskih površina:

- nemaju mogućnost smanjenja volumena otjecanja,
- zahtijevaju veliko područje za gradnju,
- nisu pogodne za strma mjesta,
- mogu postati leglo komaraca zbog anaerobnih uvjeta te
- mogu predstavljati opasnost od utapanja – nisu pogodni za plivanje, ronjenje [11].



Slika 5. Prikaz onečišćenog ispusta u detenciji [19].

Inicijalni troškovi izgradnje infiltracijskih površina su najčešće relativno visoki iako su ukupni troškovi izgradnje relativno mali. Budući da su to građevine s dugim razdobljem upotrebe, jednom kad se puste u funkciju, troškovi održavanja su neznatni. Minimalna potrebna površina za izgradnju detencijske površine najčešće iznosi oko pet hektara [14]. Zbog javne sigurnosti ne preporučuje se nikakva aktivnost u blizini detencija i retencija (Slika 3). U blizini retencija i detencija postavljaju se znakovi opasnosti sa simbolima koji ukazuju na pravila ponašanja u blizini samog područja (Slika 4) [4].

Infiltracijske površine moraju se održavati. One zahtijevaju uklanjanje smeća, to jest otpada, čišćenje ulaza i izlaza, te uklanjanje sedimenata koje dolazi s vodnim valom. Ukoliko se ne održavaju može doći do začepjenja ispusta pronosom nanosa vode. Zbog toga oko perforiranoga otvora ispusta nabacuje se krupni kameni agregat da bi se ispust manje začepio krhotinama agregata. Veliki dio nanosa koji se pronosi vodotokom, taloži se u slivu vodotoka.

Također, održavanje detencija zahtjeva kontrolu rasta vegetacije, obrezivanje bilja i košnju travnjaka zbog mogućnosti naseljavanja štetočina poput krtica, crva i slično. Redovito održavanje smanjuje mogućnost oštećenja strukture oko ispusta i stabilizacije nagiba prilikom punjenja detencije [20].

2.1. Vrste detencija i retencija

Maksimalni protok koji prolazi vodotokom na nekom nizvodnom području može se smanjiti pomoću učinka detencije ili retencije. Naime, postoje dvije vrste detencija: čelne detencije i bočne detencije.

U gornjim dijelovima sliva primjenjuje se čelna detencija. Čelna detencija upotrebljava se za pregrađivanje vodotoka. Njome se upravlja pomoću zatvarača koji regulira protok na ispustu. Bočna detencija se izvodi na način da se puni i prazni kontrolirano, a primjenjuje se u donjim dijelovima gornjeg toka i srednjim tokovima [21].

Retencijske površine mogu se podijeliti na nizinske i brdske retencije. Nizinske retencije zadržavaju vodu koja se izlijeva iz nizinskih korita, dok brdske zadržavaju slivne vode koje nailaze u vrijeme vodnih valova. Brdske retencije imaju manje površine i manji volumen za privremeno zadržavanje vode u odnosu na nizinske retencije. Najčešće se projektiraju za dubinu vode do jedanog metra visine (i manje) zbog sigurnosti kretanja za ljude i životinje [15].

Protok ispuštanja vode mora biti manji od protoka kojim se detencija puni kako bi se voda mogla zadržati. Ukoliko su omogućeni takvi uvjeti to jest dinamika punjenja, ostvaruje se transformacija vodnog vala. U tu svrhu zadržana voda se unutar detencije polako ispušta nakon prolaska vodnog vala [22].

Učinak detencije manifestira se smanjivanjem vršnog protoka na nizvodnom području koji prolazi vodotokom. U praksi takav učinak detencije obično se naziva transformacija poplavnog vala. Propagacija vodnog vala kroz detenciju jest proces prolaska vodnog vala iz detencije, dok se propagacija vodnog vala duž riječnog toka naziva proces prolaska vodnog vala kroz riječno korito [17].



Slika 6. Prikaz slike detencije s dva ispusta [23]



Slika 7. Prikaz ispusta obloženog kamenim nabačajem na detenciji [25].

2.2. Objekti za evakuaciju vode

Da bi se ostvarila mogućnost kontrolirane dinamike punjenja i pražnjenja detencija, izvode se evakuacijski organi. Evakuacijski organi ili objekti za evakuaciju vode jesu građevinski objekti koji omogućavaju kontroliranu evakuaciju velikih voda. Velike vode prikazuju visoke razine voda u vodotoku [24]. Voda u detenciji može se ispuštati primjenom ispusta odnosno pod tlakom ili pomoću preljeva odnosno gravitacijski. Ovakvim načinom pražnjenja detencije moguće se regulirati volumen vode u istoj [7].

2.2.1. Ispusti

Ispusti se koriste kako bi se detencija ispraznila. Postavljaju se pri dnu same detencije te se pomoću njih može ubrzati odnosno usporiti proces punjenja [7]. Oni služe za reguliranje pražnjenja detencije, za iskorištavanje vode iz detencije, a kroz njih se može i ispirati nataloženi sediment koji smanjuje njezin volumen (Slika 6). Na isti način ispusti se mogu upotrebljavati za zahvaćanje vode koja se odvodi na veće udaljenosti ukopanim cjevovodima koji mogu prolaziti ispod postojeće infrastrukture. Cjevovodima se voda odvodi do obližnjeg mora, kanala ili rijeka [7]. Ispust najčešće ima na ulaznoj građevini grube rešetke [26] kako bi spriječile ulaz granja i šiblja (Slika 5). Da bi detencija bila funkcionalna, ista bi se trebala postupno širiti od ulaza prema izlazu. Najuži bi trebao biti na početku, a najširi na izlazu, gdje je postavljen ispust. Preporuka omjera duljine ili širine je 2:1 ili više. Također, bočni nagibi ne bi trebali biti veći od 3:1 i ravniji od omjera 20:1. Ulaz u detenciju trebao bi biti zaštićen od erozije (Slika 7) [1].



Slika 8. Primjeri preljeva retencije [27,28].

2.2.2. Preljevi

Preljevi su pregrade preko kojih se prelijeva voda (Slika 8). Karakteristični parametri preljeva jesu širina krune preljeva i visina preljeva (visinska razlika krune preljeva i razine vode iza preljeva) [4]. Izvode se za slučaj kada je poplavni val veći od onog što detencija može prihvatiti to jest u svrhu reguliranja maksimalne kote površine vode u detenciji. Na taj način, preljevi su sigurnosni mehanizam da se detencija ne bi napunila preko projektirane razine površine vode. Najčešće se koriste na nizinskim retencijama.

Preljevi se mogu podijeliti u tri grupe:

- a) oštrobridni preljevi,
- b) pravilni preljevi praktičnoga profila,
- c) preljevi sa širokim pragom.

Oštrobridni preljevi jesu preljevi kod kojih debljina brida na kruni ne utječe na oblik mlaza preko kojeg se prelijeva. Najviše se upotrebljavaju za mjerenje protoka. Oblici mlaza vode mogu biti u obliku potopljenog mlaza, priljubljenog mlaza vode i slobodnog mlaza vode. Preljevi sa širokim pragom koriste se za evakuaciju relativno velikih količina vode održavajući relativno paralelne strujnice (u svrhu redukcije gubitaka energije) [29].



Slika 9. Retencija Burnjak [30].

2.3. Primjeri izvedenih infiltracijskih površina

U nastavku su navedeni neki primjeri infiltracijskih površina koje se nalaze u Republici Hrvatskoj. Neke od značajnih retencija jesu retencija Burnjak, retencija Lonjsko polje i retencija Odransko polje.

2.3.1. *Retencija Burnjak*

Retencija Burnjak nalazi se na području Gornje Stubice u Zagorju. Izgrađena je zbog obilnih kiša koje obitavaju na području Zagorja. Na Slika 9 je prikaz retencije Burnjak koja je projektirana u svrhu reguliranja vodnih valova koje uzrokuje potok Burnjak [31]. Investitor gradnje retencije bile su Hrvatske vode, a vrijednost investicije iznosila je oko deset milijuna kuna. Retencija je izrađena od 4 800 m³ gline, 2 800 m³ betona, 3,5 tone željezne galanterije, gotovo 132 tone željezne armature, 9 000 m² geotekstila i 40 050 m³ kamenog materijala koji jezgru retencije čini nepropusnom [31]. Puštena je u funkciju 2017. godine, a njezina površina iznosi 15 kilometara četvornih. Volumen zapremnog prostora u jednom poplavnom valu jednak je ukupnom volumenu retencije i iznosi 1 800 000 m³. Zbog visine od 20 metara i dužine krune od 80 metara, Burnjak spada u jednu od najvećih retencija u Republici Hrvatskoj [31]. Jedna od zanimljivosti ove retencije jest začepljenje glavnog ventila na retenciji. Razlog začepljenja je sječa stabala mještana na području Gornje Stubice koji nisu uklonili srušena stabala u njezinoj neposrednoj blizini. Na temelju ovog incidenta koji se dogodio načelnik općine uputio je apel mještanima da ubuduće uklone drvenu masu koja se javlja u blizini retencije prilikom sječe šuma [32].



Slika 10. Prikaz dijela retencijskog područja Lonjsko polje [33,35].

2.3.2. Retencije Lonjskog polja

Jedan od zaštićenih parkova prirode i područja očuvanja Ekološke mreže jest Lonjsko polje koje je prikazano na Slika 10. Lonjsko polje prikazuje jedno od najvećih zaštićenih poplavnih područja ravnice sliva Dunava u Europi te se sastoji od tri polja: Mokro, Lonjsko i Poganovo polje [34]. Lonjsko polje je osobito jer je u principu poplavljeno tijekom cijele godine. Ukupna površina retencijskog sustava iznosi 184 km². Retencija Mokro polje nalazi se u području Sisačko – Moslavačke županije nedaleko od sela Mlaka odnosno između gradova Siska i Stare Gradiške. Smještena je uz lijevu obalu rijeke Save te je sastavni dio Parka prirode Lonjsko polje [34]. Retencija kao vodogospodarski objekt štiti gradove i poljoprivredna zemljišta. Predmetnim područjem vlada umjereno – kontinentalna klima s toplim ljetima i umjerenom hladnom klimom. Oborine se uglavnom javljaju tijekom cijele godine te u prosjeku ima 25 dana sa snježnim pokrivačem. Zbog vijugavog, relativno plitkog korita i blagog pada, rijeka Sava u vrijeme većih oborina često se izlijeva. Visina nasipa kod maksimalnog dosegnutog vodostaja od 2,5 metara nije dovoljna te se na tom području izvode dodatne aktivne mjere zaštite od poplave. Izradom zečjih nasipa, nadvisuje se kota krune brane u iznosu od 30 do 50 centimetara.

Na području retencija nalazi se nekoliko staništa biljaka i životinja. Ovim područjem obitavaju dvije trećine ptica koje su naseljene u Republici Hrvatskoj. Neke od najpoznatijih ptica jesu patka njorka i stepski sokol. Ovo vlažno područje dom je šuma poljskog jasena i hrasta lužnjaka (Slika 10) te različitih pasmina goveda, kao što je hrvatski posavac i turopoljska svinja. Također, područje se ubraja među najugroženije močvarne sustave u svijetu te je pod zaštitom Ramsarske konvencije iz 1993. godine.



Slika 11. Prikaz poplavljenog Odranskog polja [36].



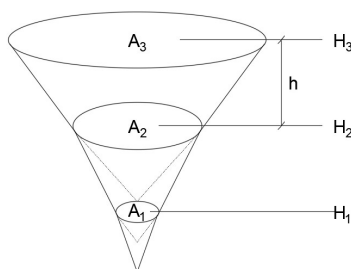
Slika 12. Crvenokljuni labud [38].

2.3.3. Retencija Odransko polje

Retencija Odransko polje je aluvijalna površina najbliže smještena gradovima koja se nalaze između Velike Gorice i Siska. Površina Odranskog polja (Slika 11) iznosi 200 km² te prikazuje retenciju desnog pritoka Save i rijeke Odre. Velika voda rijeke Save koja se pojavljuje u vrijeme velikih oborina prelijeva se u kanal Odra koji odvodi vodu do Odranskog polja. Potrebno je spomenuti da je Odransko polje u dolini rijeke Save jedno od najvećih neuređenih prirodnih poplavnih područja [22]. Posljedica plavljenja je rijeka Kupa koja se zbog velike količine vode prelijeva u Odransku retenciju zbog malenog ušća [37]. Krajolik se sastoji od šuma hrasta lužnjaka, livada, pašnjaka i malih vodotoka [22].

2.3.4. Retencija Dragoslavec

U šezdesetim godinama prošlog stoljeća oko Čakovca izgrađene su retencije za zadržavanje viška vode u vrijeme sezone plavljenja rijeka. Tada su nastale retencije Slakovec ili Jegersek, izgrađena 1982. godine, Šenkovec, Dragoslavec koja je poznatija kao Križopotje te retencija Selnica. Retencija Dragoslavec umjetno je izgrađena retencija koja se nalazi u blizini naselja Dragoslavec. Izgrađena je 1973. godine i u potpunosti je okružena šumom, zbog čega osigurava mnogobrojna staništa za raznolike životinjske i biljne vrste. Neke od poznatijih vrsta bilja jesu divlja ili žuta perunika, a od životinjskog svijeta najpoznatiji je crvenokljuni labud (Slika 12). Najveća opasnost koja prijete retenciji jest zapuštanje uređenja okoliša zbog manjeg broja stanovništva na tom području [39,40,41]. Ovim podnebljem vlada umjereno toplo kišna klima skoro bez suhog razdoblja. Temperature u ljetnim mjesecima dosežu temperaturu od 22° C, dok u zimskim mjesecima temperatura zraka iznosi – 3 ° C. [4,6,42]



Slika 13. Prikaz sheme određivanja površine detencijskog prostora [43].

3. MATEMATIČKI MODEL DETENCIJE

Matematičko modeliranje detencije će između ostalog zahtijevati i modeliranje geometrijskih karakteristika detencije, modeliranje protoka površinskog i oborinskog dotoka te modeliranje protoka istjecanja, prelijevanja i infiltracije. Navedeni protoci aktiviraju se samo ako je dosegnut uvjet da je dubina vode u detenciji pripadajućeg iznosa, odnosno da je voda iznad cijevi ispusta ili iznad krune preljeva. Drugim riječima, protok infiltracije uvijek će postojati dokle god ima vode. Infiltracijske površine pune se oborinskom vodom dvjema osnovnim komponentama dotoka. Prva je komponenta površinski dotok, a druga je komponenta oborinski dotok. Pretpostavka je da će se pražnjenje detencije provoditi putem protoka prelijevanja, protoka infiltracije i protoka istjecanja.

3.1. Geometrijske karakteristike detencije

Za modeliranje funkcije $V(h)$, kojom je opisana promjena volumena vode V obzirom na dubinu vode h u detenciji, mogući raspon dubine je podijeljen na šest ekvidistantnih inkremenata. Inkrement volumena vode $\Delta V(h_{i,j})$, gdje su h_i i h_j dvije susjedne dubine udaljene za inkrement $\Delta h_{i,j} = h_j - h_i$, definirat će se s

$$\Delta V(h_{i,j}) = \frac{h}{3} \cdot \left(A_i + A_j + \sqrt{A_i \cdot A_j} \right) \quad \text{Jed. 1}$$

gdje su A_i i A_j površine vodnog lica vode u detenciji na predmetnim dubinama. Treba prepoznati kako se posljednjim članom desne strane uvodi aproksimacija nepravilne geometrije stranica detencije (Slika 13).

Jednom kad su određeni inkrementalni volumeni između predmetnih dubina, ukupni volumen vode za neku dubinu h dobiva se tako da se zbroje svi inkrementalni volumeni koji su dobiveni do te dubine. Obzirom da su ovim dobivene diskretne vrijednosti volumena, kako bi se koristila funkcija s kontinuiranom varijablom dubine, proveda se interpolacija polinomom trećeg reda. Na taj način, iznos volumena vode u detenciji jest obzirom na dubinu vode u istoj opisan funkcijom

$$V(h) = a \cdot h^3 + b \cdot h^2 + c \cdot h + d \quad \text{Jed. 2}$$

gdje su a, b, c i d koeficijenti regresije.

3.2. Jednadžba očuvanja mase

Princip očuvanja mase se koristio kako bi se modelirala dinamika punjenja i pražnjenja detencije (bez uvažavanja principa očuvanja količine gibanja čime se pretpostavlja da se inercijalne sile mogu zanemariti to jest da je dinamika toka relativno blaga). Na taj način vrijedi

$$A(h) \frac{dh}{dt} = \sum_i Q_i \quad \text{Jed. 3}$$

gdje je $A(h)$ funkcija površine vodnog lica A koja zavisi o dubini vode h , mjerene od kote dna detencije z_d (najniže kote), a $\sum_i Q_i$, na desnoj strani jednadžbe, suma svih protoka kojima se detencija puni i prazni (što će biti određeno predznakom protoka) to jest vrijedi

$$A(h) \frac{dh}{dt} = Q_{ul}(t) - Q_{iz}(h) \quad \text{Jed. 4}$$

gdje $Q_{ul}(t)$ hidrogram sume svih protoka s kojima se detencija puni te $Q_{iz}(h)$ hidrogram protoka s kojima se detencija prazni. Modeliranje vremenske promjene dubine vode h u detenciji, to jest funkcije $h(t)$, temeljit će se na numeričkoj integraciji jednadžbe očuvanja mase. Na taj način, počevši od zadanog početnog uvjeta $h(t = 0)$, funkcija $h(t)$ će se aproksimirati numeričkim rješenjem obične diferencijalne jednadžbe prvog reda.

3.3. Modeliranje protoka površinskog dotoka Q_{pd}

Površinski dotok Q_{pd} odnosi se na vodu koja površinskim otjecanjem ulazi u detenciju pomoću namjenski izgrađenih kanala ili putem uzvodnih slivnih površina [15]. Površinsko otjecanje ovisi o vremenskoj raspodjeli i o količini oborina. Ukoliko je intenzitet oborine relativno veliki naprema infiltraciji, onda dolazi do površinskog otjecanja [46]. Oblik hidrograma, to jest dinamiku punjenja detencije površinskim dotokom, modelirat će se empirijskom funkcijom

$$Q_{pd}(t) = \left[Q_{pd,max} \cdot \left[\left(\max \left(\frac{t_p - t}{t_p}, 0 \right) - 1 \right)^{p_l} \right] \cdot \exp \left(\frac{\max(t - t_p, 0)}{p_d} \right) \right] + Q_{pd,baza} \quad \text{Jed. 5}$$

u kojoj je $Q_{pd,max}$ maksimalna vrijednost protoka, $Q_{pd,baza}$ bazna vrijednost protoka koja traje čitavom vremenskom domenom, t_p vrijeme u kojem se doseže vrijednost protoka $Q_{pd,max}$, te p_l i p_d bezdimenzionalni parametri koji opisuju oblik hidrograma prije i nakon ekstrema (oblik krivulje postaje strmiji kako p_l raste dok oblik krivulje nakon ekstrema naglo pada kako parametar p_d raste,). Kako bi se pojednostavio zapis funkcije, koristi se funkcija $\exp(x)$ koja zapravo predstavlja funkciju e^x i koristi se kako bi se izbjeglo pisanje razlomaka u eksponentu [17]. Osim navedenoga, treba primijetiti da Jed. 5 koristi funkciju \max koja vraća najveću vrijednost u skupu brojeva. Drugim riječima vrijedi $\max(a, b) = a$ ukoliko je $a > b$ i obrnuto [17,54]. Za izračun protoka $Q_{pd,max}$ koristila se racionalna metoda koja ima oblik

$$Q_{pd,max} = c \cdot i_{max} \cdot A \quad \text{Jed. 6}$$

gdje je:

| | | |
|--------------|---|-------------|
| $Q_{pd,max}$ | – maksimalni površinski protok ili vršni protok | [l/s], |
| c | – racionalni koeficijent | [/], |
| i_{max} | – intenzitet oborine | [mm/min] te |
| A | – slivna površina | [ha]. |

3.4. Modeliranje protoka oborinskog dotoka Q_{od}

Oborinski dotok predstavlja volumen oborinske vode koji u jedinici vremena padne direktno na površinu same detencije [15]. Oborinski dotok Q_{od} će se modelirati umnoškom intenziteta oborine $i(t)$ koja je izražena u mm/min i ukupne površine jezera A izražene u m² te tako vrijedi

$$Q_{od} = i(t) \cdot A \quad \text{Jed. 7}$$

Promjena intenziteta u vremenu modelirat će se funkcijom $i(t)$ zadanom u empirijskom obliku

$$i(t) = \left[i_{max} \cdot \left[\left(\left| \max \left(\frac{t_p - t}{t_p}, 0 \right) - 1 \right| \right)^{p_l} \right] \cdot \exp \left(\frac{\max(t - t_p, 0)}{p_d} \right) \right] + i_{baza} \quad \text{Jed. 8}$$

gdje je:

| | | |
|------------|---|-----------|
| $i(t)$ | – promjena intenziteta oborine | [mm/min], |
| i_{max} | – maksimalni intenzitet | [mm/min], |
| i_{baza} | – bazni ili temeljni intenzitet koji traje duž cijele vremenske domene | [mm/min], |
| p_l | – bezdimenzionalni parametar s kojim se oblikuje funkcija $i(t)$ prije maksimalne vrijednosti i_{max} | [/], |
| p_d | – bezdimenzionalni parametar s kojim se oblikuje funkcija $i(t)$ nakon maksimalne vrijednosti i_{max} | [/], |
| t_p | – vrijeme maksimalnog intenziteta i_{max} | [s] te |
| t | – početno vrijeme | [s]. |

Treba spomenuti kako se maksimalna vrijednost funkcije može odmaknuti malo ulijevo u odnosu na ekstrem funkcije $Q_{pd}(t)$ te će se time modelirati maksimalni iznos protoka $Q_{pd,max}$ malo nakon dostizanja maksimuma intenziteta oborine.

3.5. Modeliranje protoka istjecanja Q_{is}

Za modeliranje protoka istjecanja Q_{is} potrebno je uvažiti i linijske gubitke nastale uslijed trenja. Osim toga, treba primijetiti da protok istjecanja kroz ispušt postoji samo onda kada je razina vode iznad tjemena cijevi ispusta. Iz toga razloga je u prvom redu potrebno odrediti dubinu vode $h_i(t)$ iznad tjemena cijevi koja će biti jednaka

$$h_i(t) = \underbrace{z_d + h(t)}_{z_v} - z_i \quad \text{Jed. 9}$$

gdje je z_v kota površine vode u detenciji, određena zbrojem kote dna detencije z_d i dubine vode u detenciji $h(t)$, a z_i kota tjemena cijevi temeljnog ispusta. Ovom dubinom će biti određena i brzina toka kroz ispušt, a onda i protok istjecanja. Kako bi se odredila srednja brzina istjecanja \bar{v}_i , primijeniti će se Bernoullijeva jednadžba u obliku

$$z_v + h_v + \alpha \cdot \frac{\bar{v}_v^2}{2g} = z_i + h_i + \alpha \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} + \Delta E_{lin} + \Delta E_{lok} \quad \text{Jed. 10}$$

gdje su z_v i z_i geodetske kote površine vode i osi ispusta koje se mjere od referentne osi koja prolazi kroz os ispusta, h_v i h_i piezometarske visine u istim točkama, α Coriolisov koeficijent korekcije brzinske visine, \bar{v}_v srednja brzina kojom se mijenja površina vode u detenciji, \bar{v}_i srednja brzina istjecanja iz ispusta i ΔE_{lin} , ΔE_{lok} članovi energetske gubitaka nastalih uslijed savladavanja linijskog trenja i lokalnog trenja [15].

Za potrebe izrade diplomskog rada, ali i u realnim okolnostima ispusta, opravdano je pretpostaviti kako su točke lijeve i desne strane Bernoullijeve jednadžbe izložene istom tlaku (atmosferskom tlaku) te se stoga iste zanemaruju (važna je samo relativna razlika tlaka, a ne i apsolutna vrijednost tlaka).

Treći član iz lijeve strane Jed. 10 može se zanemariti jer je srednja brzina opadanja površine vode u detenciji \bar{v}_v relativno mala, što se može vidjeti ukoliko se usporedi volumen vode u detenciji i volumen vode u cijevi ispusta. Također, drugi član s lijeve strane i drugi član s desne strane iste jednadžbe može se pokratiti jer su oni jednaki [15].

Temeljem prethodno navedenoga, Jed. 10 se može se zapisati u obliku [15]

$$z_v = z_i + \alpha \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} + \Delta E_{lin} + \Delta E_{lok} \quad \text{Jed. 11}$$

Darcy – Weisbachova jednadžba će se koristiti za kvantifikaciju linijskih gubitaka to jest vrijedi [15]

$$\Delta E_{lin} = \lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} \quad \text{Jed. 12}$$

gdje je λ Darcyjev koeficijent trenja, L_i dužina ispusta te D_i promjer ispusta. S druge strane, lokalni gubici će se modelirati na uobičajen način odnosno vrijedi

$$\Delta E_{lok} = \xi_{ul} \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} + \xi_{iz} \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} \quad \text{Jed. 13}$$

gdje su ξ_{ul} i ξ_{iz} koeficijenti lokalnog gubitka na ulazu i izlazu cijevi iz ispusta. Jednadžba 11 se stoga može napisati u obliku

$$z_v = z_i + \alpha \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} + \lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} + \xi_{ul} \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} + \xi_{iz} \cdot \frac{\bar{v}_i^2}{2g} \quad \text{Jed. 14}$$

odnosno, nakon grupiranja članova u obliku

$$z_v = z_i + \frac{\bar{v}_i^2}{2g} \cdot \left(\alpha + \lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} + \xi_{ul} + \xi_{iz} \right) \cdot \alpha \quad \text{Jed. 15}$$

iz kojeg slijedi

$$\frac{(z_v - z_i)}{\left(\alpha + \lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} + \xi_{ul} + \xi_{iz} \right)} = \frac{\bar{v}_i^2}{2g} \cdot \alpha \quad \text{Jed. 16}$$

gdje je završna srednja brzina istjecanja

$$\bar{v}_i = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h_i}{\alpha + \lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} + \xi_{ul} + \xi_{iz}}} \quad \text{Jed. 17}$$

Treba primijetiti da se na desnoj strani prethodne jednadžbe nalazi Darcyjev koeficijent trenja λ koji zavisi o Reynoldsovom broju N_{Re} definiranom u obliku

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot |\bar{v}_i| \cdot D_i}{\mu} \quad \text{Jed. 18}$$

u kojem su ρ i μ dobro poznati mehanički parametri vode [15]. Na taj način, treba primijetiti da je broj N_{Re} zavisao o brzini toka koja je unaprijed nepoznat, pa će rješavanje ove jednadžbe zahtijevati iterativni postupak. Iterativni postupak se započinje tako da se pretpostavi neka brzina istjecanja kojom će se odrediti Reynoldsov broj N_{Re} . Ovom brzinom određuje se broj N_{Re} , a potom i Darcyjev koeficijent trenja λ . Da bi se ubrzao iterativni postupak, Darcyjev koeficijent trenja λ će se odrediti s jednom od eksplicitnih aproksimacija Colebrookove jednadžbe [15]. U tu svrhu će primijeniti Haalandova eksplicitna aproksimacija

$$\lambda = -1,8 \cdot \log \left(\left(\frac{\epsilon_i}{D_i} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{N_{Re}} \right)^{-2} \quad \text{Jed. 19}$$

koja vrijedi u domeni

$$4000 < N_{Re} < 10^8 \quad \text{Jed. 20}$$

i

$$0,000001 < \epsilon_i < 0,05 \quad \text{Jed. 21}$$

Nakon što je dobivena vrijednost λ , izračunom brzine \bar{v}_i završava prvi ciklus iteracijskog postupka i kreće drugi ciklus iteracijskog postupka u kojem se brzina \bar{v}_i koristi kao polazna pretpostavka novog ciklusa. Ovaj postupak se ponavlja sve dok razlika brzina \bar{v}_i u dvije susjedne iteracije ne postane manja od neke unaprijed zadane vrijednosti [15].

Ukoliko je razina površine vode u detenciji iznad kote tjemena cijevi, voda će istjecati kroz ispušt, a ukoliko nije, voda će se zadržati u detenciji. Protok istjecanja bit će određen umnoškom srednje brzine istjecanja (koja je prethodno određena), površinom poprečnog presjeka A_i , (Jed. 22)

$$A_i = \frac{D_i^2 \pi}{4} \quad \text{Jed. 22}$$

koeficijentom istjecanja c_i koji se uvodi kako bi se modelirala kontrakcija mlaza i brojem cijevi ispusta n_i [48,49]. Naime, treba primijetiti da se eventualno povećanje protočnog presjeka cijevi ispusta, a time i protoka istjecanja, najčešće provodi povećanjem broja cijevi ispusta jer bi se povećanjem promjera cijevi utjecalo na brzinu istjecanja koja bi u tom slučaju opadala radi toga što je razina površine vode od tjemena cijevi u tom slučaju manja [15,50]. Temeljem svega prethodno navedenog, za protok istjecanja vrijedit će

$$Q_{is}(h_i) = \begin{cases} 0 & \text{ako } h_i(t) \leq 0 \\ n_i \cdot \frac{D_i^2 \pi}{4} \cdot c_i \cdot \underbrace{\sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h_i}{\alpha + \lambda \cdot \frac{L_i}{D_i} + \xi_{ul} + \xi_{iz}}}}_{\bar{v}_i} & \text{ako } h_i(t) > 0 \end{cases} \quad \text{Jed. 23}$$

3.6. Modeliranje protoka prelijevanja Q_{pr}

Protok prelijevanja Q_{pr} postoji samo ako je kota površine vode z_v veća od kote krune preljeva z_p te je tako visina prelijevanja h_p određena s

$$h_p = \underbrace{z_d + h(t)}_{z_v} - z_p \quad \text{Jed. 24}$$

pa će protok prelijevanja biti

$$Q_{pr}(h_p) = m_p(h_p) \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_p^{\frac{3}{2}} \quad \text{Jed. 25}$$

gdje je B širina krune preljeva to jest preljevnog mlaza (može se razlikovati obzirom na tip preljeva) i m_p koeficijent prelijevanja koji zavisi o visini prelijevanja (ali i o vrsti preljeva).

Ukoliko se radi o takozvanom Bazainovom preljevu, što je i pretpostavljeno za potrebe izrade numeričkog primjera, funkcija koeficijenta prelijevanja $m_p(h_p)$ može se modelirati empirijskim modelom [51]

$$m_p(h_p) = m_0 \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{h_p}{h_p + P} \right)^2 \right] \quad \text{Jed. 26}$$

za koji će se pretpostaviti da vrijedi (uz prikladno oblikovanje rubova detencije)

$$P = z_p - z_d \quad \text{Jed. 27}$$

u kojem je m_0 određen s [4]

$$m_0 = 0,405 + \left(\frac{0,0027}{h_p} \right) \quad \text{Jed. 28}$$

3.7. Modeliranje protoka infiltracije Q_{in}

Infiltracija je proces prodiranja vode kroz poroznu površinu tla. Za potrebe izrade diplomskog rada, protok infiltracije modelirat će se pomoću Green – Ampetove jednadžbe [52]. U tu svrhu treba navesti kako će protok filtracijskog toka q biti određen Darcyjevom jednadžbom

$$q = -K \cdot \frac{\partial H}{\partial z} \approx -K \cdot \frac{\Delta H}{\Delta z} \quad \text{Jed. 29}$$

gdje je H piezometarska kota, z geodetska kota te K hidraulička provodljivost. Uz pretpostavku da je granica saturiranog i nesaturiranog područja porozne sredine jasno artikulirana (što je pretpostavka predmetnog modela), prikladnim izborom referentne osi, vrijedit će da je z_1 visina površine tla jednaka nuli te z_2 kota odmah ispod fronte vode u poroznoj sredini. S druge strane, u tom slučaju će vrijediti i [53]

$$H_1 = h \quad \text{Jed. 30}$$

i

$$H_2 = -|\psi| - L \quad \text{Jed. 31}$$

gdje je ψ usisna visina kojom se modeliraju kapilarni efekti te L geometrijska udaljenost između površine tla i fronte vode. Koristeći navedeno, prethodna jednadžba se može napisati u obliku

$$q = -K \cdot \left[\frac{H_2 - H_1}{z_2 - z_1} \right] = -K \cdot \left[\frac{(-|\psi| - L) - h}{-L - 0} \right] = -K \cdot \left[\frac{(|\psi| + L) + h}{L} \right] \quad \text{Jed. 32}$$

Ukoliko se protok normira na površinu, vrijedit će

$$f = K \cdot \left[\frac{(|\psi| + L) + h}{L} \right] \quad \text{Jed. 33}$$

S druge strane, kumulativna infiltracija će biti određena s

$$F(t) = L \cdot \Delta\theta \quad \text{Jed. 34}$$

gdje je $\Delta\theta$ razlika stupnja potpune saturacije i inicijalnog to jest početnog stupnja saturacije. Iz ove jednadžbe slijedi jednakost

$$L = \frac{F(t)}{\Delta\theta} \quad \text{Jed. 35}$$

pa će tako Jed. 33 poprimiti oblik

$$f(t) = K \cdot \left[\frac{|\psi| + \frac{F(t)}{\Delta\theta} + h}{\frac{F(t)}{\Delta\theta}} \right] \quad \text{Jed. 36}$$

odnosno vrijedit će Jed. 37

$$f(t) = K \cdot \left[\frac{\Delta\theta \cdot |\psi| \cdot + F(t) + \Delta\theta \cdot h}{F(t)} \right] \quad \text{Jed. 37}$$

koja se može napisati u obliku

$$f(t) = K \cdot \left[1 + \frac{\Delta\theta \cdot (|\psi| + h)}{F(t)} \right] \quad \text{Jed. 38}$$

Važno je naglasiti da se stopa infiltracije može odrediti kao

$$f(t) = \frac{dF}{dt} \quad \text{Jed. 39}$$

pa se tako prethodna jednačba može napisati u obliku

$$\frac{dF}{dt} = K \cdot \left[\frac{\Delta\theta \cdot |\psi| + F(t) + \Delta\theta \cdot h}{F(t)} \right] \quad \text{Jed. 40}$$

čime je dobivena obična diferencijalna jednačba prvog reda. Rješavanjem diferencijalne jednačbe prvog reda može se odrediti funkcija kumulativne infiltracije $F(t)$. Separacijom varijabli vrijedit će Jed. 41

$$K \cdot dt = dF \left[\frac{F(t)}{\Delta\theta \cdot |\psi| + F(t) + \Delta\theta \cdot h} \right] \quad \text{Jed. 41}$$

koja se može napisati u obliku

$$K \cdot dt = dF \left[\frac{\Delta\theta \cdot |\psi| + F(t) + \Delta\theta \cdot h}{\Delta\theta \cdot |\psi| + F(t) + \Delta\theta \cdot h} - \frac{|\psi| \cdot \Delta\theta + \Delta\theta \cdot h}{\Delta\theta \cdot |\psi| + F(t) + \Delta\theta \cdot h} \right] \quad \text{Jed. 42}$$

pa će integracijom iste slijediti

$$\int_0^{F(t)} \left[1 - \frac{|\psi| \cdot \Delta\theta + \Delta\theta \cdot h}{\Delta\theta \cdot |\psi| + F(t) + \Delta\theta \cdot h} \right] dF = \int_0^t K dt \quad \text{Jed. 43}$$

odnosno nakon uvrštavanja granica integracije

$$F(t) - \Delta\theta(|\psi| + h) \cdot \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\Delta\theta \cdot (|\psi| + h)} \right) = Kt \quad \text{Jed. 44}$$

Prethodnom jednačinom generirana je nelinearna algebarska jednačina čije će rješavanje zahtijevati primjenu iterativnog algoritma. U tu svrhu pretpostavit će se neka početna vrijednost kumulativne infiltracije $F(t)$ koja će se kroz iterativni postupak progresivno ažurirati. Jednom kada je određena vrijednost kumulativne infiltracije, iz Jed. 39 slijedi

$$f(t) = K_s \cdot \left(1 + \frac{\Delta\theta \cdot (\psi + h)}{F(t)} \right) \quad \text{Jed. 45}$$

gdje će protok infiltracije biti

$$Q_{in} = f(t) \cdot A \quad \text{Jed. 46}$$

u kojoj je A infiltracijska površina zavisna o dubini vode u detenciji.

3.8. Proračunski algoritam

U diplomskom radu koristi se proračunski algoritam koji je razvijen u svrhu modeliranja dubine vode u detenciji h . Na samom početku proračunski algoritam treba inicijalizirati, što podrazumijeva da treba zadati određene parametre detencije i parametre računalnog modela. Drugim riječima, u prvom redu je potrebno poznavati kako se mijenja površina vodnog lica A s promjenom dubine vode, odnosno potrebno je poznavati funkciju $A = f(h)$.

Također, ovakvom funkcijom potrebno je odrediti i funkciju $V = f(h)$ koja prikazuje kako se mijenja volumen vode s promjenom dubine vode u detenciji. Uz navedeno neophodno je zadati početnu dubinu vode u detenciji $h(0)$ to jest početni uvjet. Isto tako, potrebno je zadati sve one ostale parametre koji će se odnositi na proračun izlaznih protoka iz detencije kojih u predmetnom slučaju ima tri (protok istjecanja, protok prelijevanja i protok infiltracije).

Treba napomenuti kako će se prema konvenciji pretpostaviti da ulazni protoci imaju pozitivni, a izlazni protoci negativni predznak. Izlazni protoci za razliku od ulaznih protoka zavise o tome koliko ima vode u detenciji. Naime, protok izlaza iz detencije jest funkcija rješenja jednadžbe očuvanja mase. Kako su ove komponente protoka nelinearna funkcija dubine vode [54] (što je vidljivo iz prethodnih jednadžbi) problem modeliranja dinamike dubine vode u detenciji jest opisan nelinearnom diferencijalom jednadžbom Jed. 5. Kako bi se aproksimiralo njeno rješenje, može se provesti zamjena infinitezimalnih veličina s konačnim vrijednostima pa će tako vrijediti

$$dt \rightarrow \Delta t \quad \text{Jed. 47}$$

te na analogan način i

$$dh \rightarrow \Delta h \quad \text{Jed. 48}$$

pa će Jed. 5 poprimiti oblik

$$A(h) \frac{\Delta h}{\Delta t} = \bar{Q}_{ul} - \bar{Q}_{iz} \quad \text{Jed. 49}$$

gdje povlake iznad članova na desnoj strani jednadžbe označavaju da se radi o srednjim vrijednostima protoka određenih unutar vremenskog koraka Δt za koji vrijedi

$$\Delta t = t^{(n+1)} - t^{(n)} \quad \text{Jed. 50}$$

gdje su $t^{(n+1)}$ i $t^{(n)}$ dva susjedna vremena, a n redni broj vremenskog koraka.

Na analogan način vrijedit će i

$$\Delta h = h^{(n+1)} - h^{(n)} \quad \text{Jed. 51}$$

Temeljem navedenoga se Jed. 49 može napisati u obliku

$$A(h) \frac{h^{(n+1)} - h^{(n)}}{\Delta t} = \bar{Q}_{ul} - \bar{Q}_{iz} \quad \text{Jed. 52}$$

Budući da je dubina vode $h^{(n)}$ na početku svakog vremenskog koraka unaprijed poznata, iz početnih uvjeta ili prethodnog vremenskog koraka, u prethodnoj jednadžbi nepoznata je dubina vode $h^{(n+1)}$ koja se može izlučiti te tako vrijedi

$$h^{(n+1)} = h^{(n)} + \frac{\Delta t}{A(h)} \cdot (\bar{Q}_{ul} - \bar{Q}_{iz}) \quad \text{Jed. 53}$$

Potrebno je primijetiti da u predmetne svrhe treba poznavati protok ulaza u vremenu $n + 1$ i protok izlaza. Protok izlaza u tom vremenu nije poznat jer zavisi o dubini vode koja je nepoznanica. Upravo zbog prethodno navedenog razloga, Jed. 53 potrebno je linearizirati. U tu svrhu će se najprije izračunati nekakva fiktivna dubina vode $\hat{h}^{(n+1)}$ koja će se temeljiti samo na ulaznim protocima unutar vremenskog koraka to jest za istu vrijedi

$$\hat{h}^{(n+1)} = h^{(n)} + \frac{\Delta t}{A(h^{(n)})} \cdot \bar{Q}_{ul}^{(n+1)} \quad \text{Jed. 54}$$

Naime, u ovom koraku pretpostavlja se da detencija ima konstantan poprečni presjek koji je jednak površini trenutnoga vodnog lica pa se time izbjegava iterativni proračun te se uvodi greška koja je zavisna o izboru vremenskoga koraka. Prethodna jednadžba opisuje na koju kotu će se podignuti površina vode za protok $\bar{Q}_{ul}^{(n+1)}$ na ulazu u detenciju. Drugim riječima, $\hat{h}^{(n+1)}$ nije prava visina vode. Prava visina vode trebala bi biti kada bismo volumen vode rasporedili na stvarnu površinu detencije gdje bi u tom slučaju razina vode bila manja od fiktivne razine vode. Volumen detencije bio bi isti, ali razina vode bila bi manja. $\hat{h}^{(n+1)}$ je pretpostavka koja se temelji na tome da je na toj koti površina detencije konstantna.

Volumen vode u detenciji se s druge strane može odrediti u obliku

$$V^{(n+1)} = V^{(n)} + \Delta t \cdot (Q_{ul}^{(n+1)} - \hat{Q}_{iz}^{(n+1)}) \quad \text{Jed. 55}$$

gdje je izlazni protok $\hat{Q}_{iz}^{(n+1)}$ u tom slučaju određen u obliku

$$\hat{Q}_{iz}^{(n+1)} = Q_{is}(\hat{h}^{(n+1)}) + Q_{pr}(\hat{h}^{(n+1)}) + Q_{if}(\hat{h}^{(n+1)}) \quad \text{Jed. 56}$$

koristeći fiktivnu dubinu vode. Ovim će se odrediti aproksimacija volumena vode u detenciji koji se sada može koristiti kako bi se u zadnjem koraku aproksimirala stvarna dubina vode. U tu svrhu potrebno je odrediti inverznu funkciju funkcije $V(h)$ odnosno u tu svrhu će se koristiti

$$h^{(n+1)} = f(V^{(n+1)}) \quad \text{Jed. 57}$$

Obzirom da je funkcija $V(h)$ aproksimirana polinomom trećeg reda, za inverz iste postoji zatvoreno rješenje koje poprima oblik

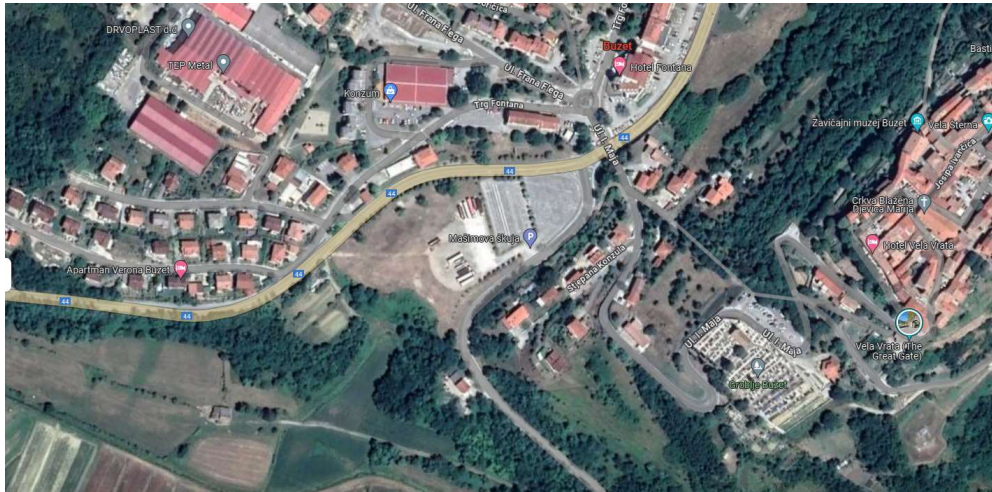
$$h^{(n+1)}(V^{(n+1)}) = \left(c_1 + c_2 + \frac{b \cdot c}{6 \cdot a^2} \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{b \cdot c}{3 \cdot a} - \frac{\frac{c}{3 \cdot a} - \frac{b^2}{9 \cdot a^2}}{\left(c_1 + c_2 + \frac{b \cdot c}{6 \cdot a^2} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Jed. 58}$$

gdje vrijedi

$$c_1 = \frac{V^{(n+1)}}{2 \cdot a} - \frac{d}{2 \cdot a} - \frac{b^3}{27 \cdot a^3} \quad \text{Jed. 59}$$

i

$$c_2 = \sqrt{\frac{V^{(n+1)2}}{4 \cdot a^2} + \frac{c^3}{27 \cdot a^3} + \frac{d^2}{4 \cdot a^2} + \frac{b^3 \cdot d}{27 \cdot a^4} - \frac{b^2 \cdot c^2}{108 \cdot a^4} - \frac{V^{(n+1)} \cdot d}{2 \cdot a^2} - \frac{V^{(n+1)} \cdot b^3}{27 \cdot a^4} + \frac{V^{(n+1)} \cdot b \cdot c}{6 \cdot a^3} - \frac{b \cdot c \cdot d}{6 \cdot a^3}} \quad \text{Jed. 60}$$



Slika 14. Satelitska slika područja detencije Mašimova škuja [55].

4. NUMERIČKI PRIMJER DETENCIJE

U nastavku će se prikazati primjena svega prethodnog navedenog. U tu će se svrhu odabrati realna infiltracijska površina koja će se namijeniti u detenciju. Pritom, primjer prikazan u nastavku temeljit će se na određenom broju pretpostavki koje će se uvesti zbog nepoznavanja određenih geometrijskih i hidrauličkih parametara toka. Na taj način primjer u nastavku ima ilustrativnu odnosno demonstracijsku svrhu, te se rezultati ne mogu koristiti u svrhu uspostavljanja zaključka od praktičnog značaja.

4.1. Geometrijske karakteristike odabrane detencije

Za izradu numeričkog primjera odabrana je infiltracijska površina na području grada Buzeta s nazivom Mašimova škuja. Predmetna površina prikazana je na Slika 14. Numeričkim modelom će se ispitati učinkovitost odabrane depresije u zadržavanju uzvodnih slivnih voda te sprječavanju poplavlivanja nizvodnog dijela obližnje prometnice i poljoprivrednih površina.



Slika 15. Podjela Istre na bijelu, crvenu i sivu Istru [56,57].

Površina predmetne depresije iznosi $A = 6700 \text{ m}^2$ te se nalazi pored rijeke Mirne uz državnu prometnicu D44 koja je od velikog značaja za Istarsku županiju. Obližnji segment prometnice udaljen je otprilike 20 kilometara od Općine Motovun i 65 kilometara od grada Rijeka. Da bi se ostvarila mogućnost kontroliranja dinamike punjenja i pražnjenja ove površine, ista će se opremiti ispustom i preljevom. U prošlosti ovo područje koristilo se za ispašu goveda te su na tom području ljudi uzgajali različito voće i povrće, odnosno bavili su se ratarstvom i povrtlarstvom te su sve domaće proizvode prodavali na obližnjoj tržnici [57].

Odabrana detencija nalazi se u zoni Sive Istre. Naime, Istarsku županiju možemo podijeliti po boji tla na tri dijela: crvena, siva i bijela Istra (Slika 15). Bijela Istra obuhvaća područje gorskog „hrbata“ Učke i vapnenačkog vijenca Ćićarije. Poznata je kao visoka zona Istre zbog golog krša i vapnenačkih stijena nastalih krčenjem šuma [57]. Središnja Istra s prevladavajućim sivim bojama naziva se sivom Istrom, i obuhvaća područje središnjeg dijela poluotoka [57].

Jedan od važnijih elementa sive Istre jest velika vodonepropusnost flišnih naslaga, zbog čega je ovo područje bogato razgranatom mrežom tekućica i smanjenom erozijom. Crvena Istra obuhvaća područje zapadne i jugozapadne obale poluotoka [57,59]. Zbog velike podložnosti kemijskom trošenju vapnenačke podloge na području crvene Istre nastaju brojne škarpe, uvale, spilje, ponori i jame [60,61].

Tablica 1. Tablica prikaza parametra detencije.

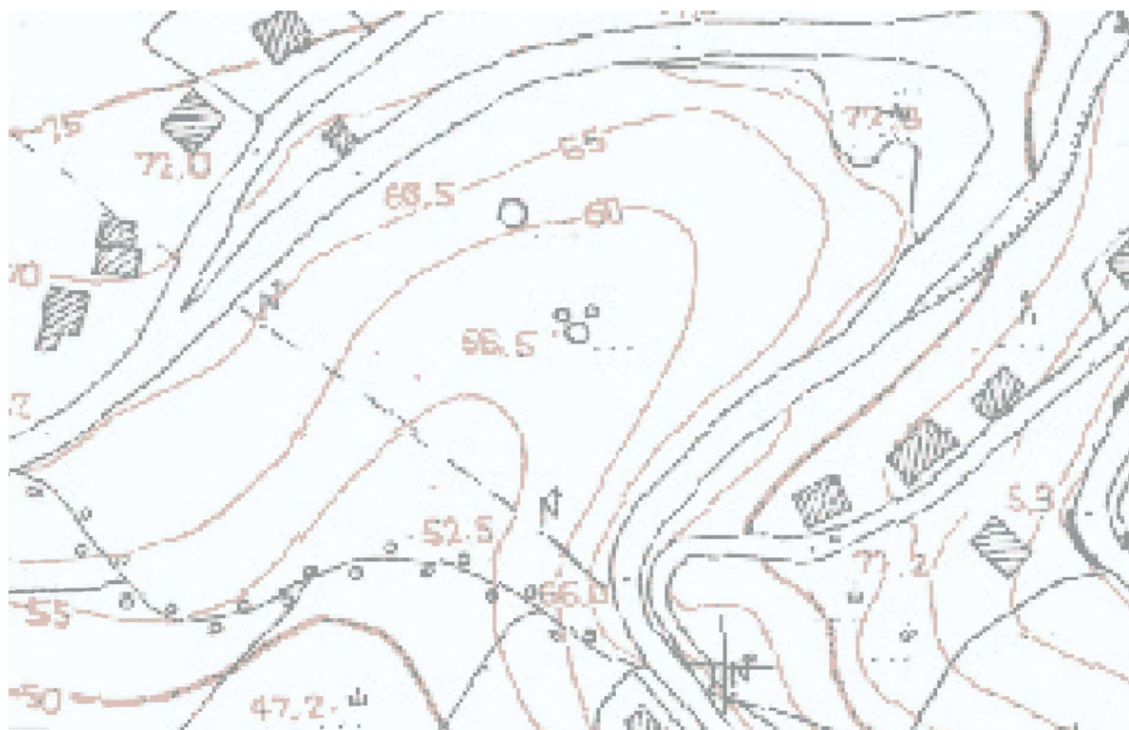
| PARAMETRI DETENCIJE | | | |
|---------------------------|--------|---------|-------------------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA |
| kota dna detencije | z_d | 0,50 | m n. m. |
| početna dubina vode | h | 0,15 | m |
| gustoća vode | ρ | 1000 | kg/m ³ |
| dinamička viskoznost vode | μ | 0,00089 | Pa s |

Tablica 2. HTP krivulja za grad Pazin [44].

| POVRATNI PERIOD | HTP krivulja | t_p | HTP krivulja |
|-----------------|---------------------------|--------|---------------------------|
| | (10 min < t < t_p) | (sati) | (10 min < t < t_p) |
| PAZIN | | | |
| 2 - god | $5,4269 \cdot t^{0,439}$ | 1,23 | $12,923 \cdot t^{0,2371}$ |
| 5 - god | $7,1692 \cdot t^{0,4395}$ | 1,24 | $17,922 \cdot t^{0,2268}$ |
| 10 - god | $8,2871 \cdot t^{0,4409}$ | 1,22 | $20,644 \cdot t^{0,2284}$ |
| 20 - god | $9,335 \cdot t^{0,4427}$ | 1,20 | $22,786 \cdot t^{0,234}$ |
| 50 - god | $10,658 \cdot t^{0,4453}$ | 1,16 | $24,898 \cdot t^{0,2453}$ |
| 100 - god | $11,628 \cdot t^{0,4473}$ | 1,12 | $26,026 \cdot t^{0,256}$ |

U Tablica 1 prikazani su parametri detencije, kao što je gustoća vode koja iznosi 1000 kg/m³, dinamička viskoznost vode u iznosu od 0,00089 Pa s, početna dubina vode h od 0,6 m i kota dna detencije s oznakom simbola z_d u vrijednosti 0,6 m n. m.

Otjecanje oborinske vode ovisi o vrsti slivne površine koje su uvažene u ovoj detenciji. Na Slika 16 prikazana je topografija terena detencije Mašimova škuja. Površina sliva detencije sastoji se od slivne površine krovova stambenih objekata $A_{s,krov}$, slivne površine asfalta $A_{s,asfalt}$ te slivne površine tla $A_{s,tlo}$ [15]. Vrijednosti slivnih površina i koeficijenta otjecanja s istih površina prikazane su u Tablica 3. Intenzitet oborine i_{max} iznosi 4 mm/min i zavisao je o povratnom periodu i trajanju oborine te se može opisati ITP krivuljom, čija kratica predstavlja intenzitet, trajanje i ponavljanje za neko određeno područje [15]. Za potrebe izrade diplomskog rada, korišten je povratni period od 100 godina za Grad Pazin kao najbliža mjerodavna meteorološka stanica za odabrano područje detencije (Tablica 2).



Slika 16. Topografski prikaz detencije Mašimova škuja [62].

Tablica 3. Prikaz parametra sliva detencije.

| PARAMETRI SLIVA | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|-------|----------------|---------|----------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | OZNAKA | JEDINICA |
| intenzitet oborine | i_{max} | 4 | mm/min | 0,00007 | m/s |
| površina krovova | $A_{s,krova}$ | 2000 | m ² | | |
| površina asfalta | $A_{s,asfalta}$ | 2000 | m ² | | |
| površina tla | $A_{s,tla}$ | 500 | m ² | | |
| koeficijent otjecanja s krovova | $Co,krova$ | 0,97 | / | | |
| koeficijent otjecanja s asfalta | $Co,asfalta$ | 0,95 | / | | |
| koeficijent otjecanja s tla | Co,tla | 0,53 | / | | |

Maksimalni vrši protok $Q_{pd,max}$ u detenciji dobiven je proračunom pomoću racionalne metode i iznosi 0,39 l/s. U Tablica 4 i u Tablica 5 usporedno su navedene vrijednosti površina vodnog lica A i volumena vode V . Površina detencije podijeljena je na unaprijed šest različitih dubina i površina [15]. Svaka dubina vode uvećana je od prethodne dubine za iznos Δh . Prva dubina vode i površine sliva iznosi 0 m², dok najveća dubina vode iznosi 0,9 m s površinom od 6 700 m².

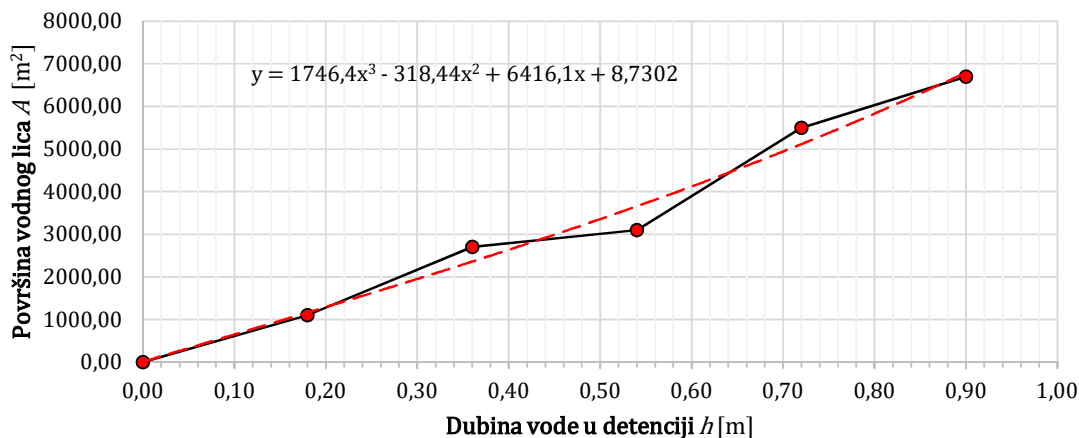
Tablica 4. Prikaz dubine vode ovisno o površini detencije.

| MODELIRANJE POVRŠINA | | | | |
|--|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | |
| površina vodnog lica za 0% h_{max} | $A_{0\%}$ | 0,00 | m ² | |
| površina vodnog lica za 20% h_{max} | $A_{20\%}$ | 1100,00 | m ² | |
| površina vodnog lica za 40% h_{max} | $A_{40\%}$ | 2700,00 | m ² | |
| površina vodnog lica za 60% h_{max} | $A_{60\%}$ | 3100,00 | m ² | |
| površina vodnog lica za 80% h_{max} | $A_{80\%}$ | 5500,00 | m ² | |
| površina vodnog lica za 100% h_{max} | $A_{100\%}$ | 6700,00 | m ² | |
| maksimalna dubina vode u detenciji | h_{max} | 0,90 | m | |
| visinska razdaljina slojnica | $\Delta h_{slojnica}$ | 0,18 | m | |
| dubina vode za 0% h_{max} | $0\% h_{max}$ | 0,00 | m | |
| dubina vode za 20% h_{max} | $20\% h_{max}$ | 0,18 | m | |
| dubina vode za 40% h_{max} | $40\% h_{max}$ | 0,36 | m | |
| dubina vode za 60% h_{max} | $60\% h_{max}$ | 0,54 | m | |
| dubina vode za 80% h_{max} | $80\% h_{max}$ | 0,72 | m | |
| dubina vode za 100% h_{max} | $100\% h_{max}$ | 0,90 | m | |
| koeficijenti regresije za $A(h)$ | a_A | b_A | c_A | d_A |
| | 1746,43 | -318,44 | 6416,08 | 8,73 |

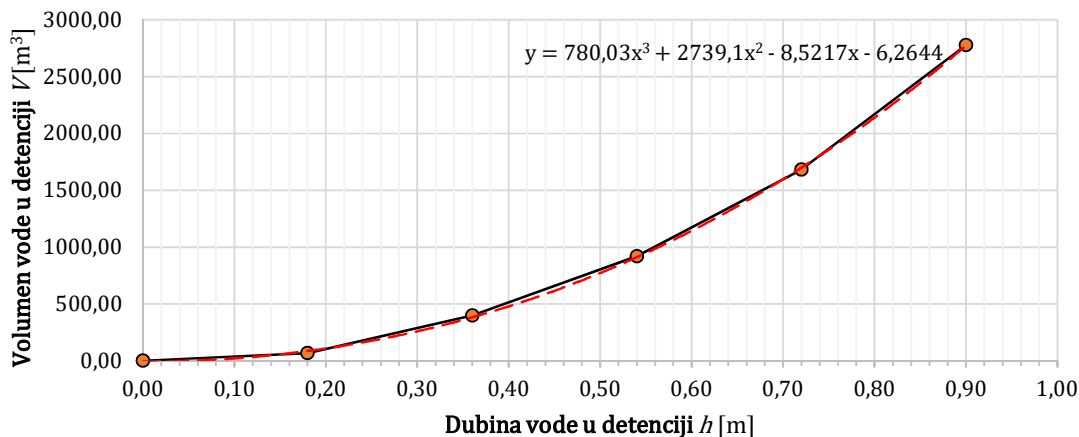
Visinska razlika između dvije susjedne slojnice iznosi 0,18 m te će površina slojnice biti jednaka na površini koju pokriva vodno lice na istoj visinskoj koti. Dubina vode može se iskazati kao „okrugli“ broj postotka maksimalne dubine h , čije su vrijednosti prikazane u Tablica 5 [15].

Tablica 5. Modeliranje volumena detencije.

| MODELIRANJE VOLUMENA | | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | |
| volumen vode između 0% h_{max} i 20% h_{max} | $\Delta V_{0,20}$ | 66,00 | m ³ | |
| volumen vode između 20% h_{max} i 40% h_{max} | $\Delta V_{20,40}$ | 331,40 | m ³ | |
| volumen vode između 40% h_{max} i 60% h_{max} | $\Delta V_{40,60}$ | 521,59 | m ³ | |
| volumen vode između 60% h_{max} i 80% h_{max} | $\Delta V_{60,80}$ | 763,75 | m ³ | |
| volumen vode između 80% h_{max} i 100% h_{max} | $\Delta V_{80,100}$ | 1096,23 | m ³ | |
| volumen vode za dubinu 0% h_{max} | $V(0\% h_{max})$ | 0,00 | m ³ | |
| volumen vode za dubinu 20% h_{max} | $V(20\% h_{max})$ | 66,00 | m ³ | |
| volumen vode za dubinu 40% h_{max} | $V(40\% h_{max})$ | 397,40 | m ³ | |
| volumen vode za dubinu 60% h_{max} | $V(60\% h_{max})$ | 918,99 | m ³ | |
| volumen vode za dubinu 80% h_{max} | $V(80\% h_{max})$ | 1682,74 | m ³ | |
| volumen vode za dubinu 100% h_{max} | $V(100\% h_{max})$ | 2778,96 | m ³ | |
| koeficijenti regresije za $V(h)$ | a_A | b_A | c_A | d_A |
| | 780,03 | 2739,13 | -8,52 | -6,26 |



Slika 17. Dijagram dubine vode u detenciji obzirom na površinu vodnog lica.



Slika 18. Dijagram dubine vode ovisno o volumenu vode u detenciji.

Koristeći vrijednosti iz Tablica 4 i Tablica 5 dobivaju se dijagrami funkcija $A(h)$ i $V(h)$. Na Slika 17 prikazana je aproksimacija funkcije $A(h)$ odnosno promjena površine vodnog lica obzirom na dubinu vode. Primjećuje se da je za dubinu vode 0,9 metara površina vodnog lica 6 700 m^2 . S druge strane, na Slika 18 prikazana je aproksimacija funkcije $V(h)$.



Slika 19. Prikaz otjecanja u vrijeme ekstremnih oborina na površinu Mašimove škuje [45].

4.2. Osvrt na obuhvat detencije

Unutar obuhvata detencije nalazi se nekoliko evidentiranih i zaštićenih elemenata kulturno – povijesne baštine. Neki od poznatijih arheoloških lokaliteta jesu kamena vrata na ulazu u akropolu Stari grad nazivom Vela vrata, Palača De Vertiis iz 1629. godine na kojoj je prikazan natpis i grb obitelji jednog istarskog plemića i Palača Bigatto koja je danas zgrada sjedišta Zavičajnoga muzeja grada Buzeta. Muzej sadrži razne etnološke zbirke, izložene kovačke alate, rijedak primjerak buzetske naušnice i slično. U starom dijelu grada Buzeta nalazi se i Mala šterna koja je obnovljena 1517. godine te ponovno sagrađena 1563. godine [63].



Slika 20. Prikaz područja projektiranog cjevovoda koji će dovesti oborinsku vodu u detenciju [45].

4.3. Svrha detencije

Odabrana detencijska površina na Slika 19 koristit će se kao hipotetski slučaj te će se potreba za istom opravdati pretpostavkom preopterećenosti lokalnog sustava odvodnje oborinske vode. U vrijeme projektiranja lokalnog oborinskog sustava odvodnje u gradu Buzetu teško su se mogle predvidjeti posljedice utjecaja klimatskih promjena na porast maksimalnih oborina. Na taj način više puta godišnje bliske poljoprivredne površine i država prometnica poplavljuju, što ukazuje na poddimenzioniran postojeći sustav odvodnje, odnosno na potpuno ispunjenje cjevovoda oborinske odvodnje (Slika 20) [15]. U tom smislu, za potrebe izrade diplomskoga rada, pretpostavit će se da detencija sudjeluje u rasterećenju odvodnje lokalne oborinske vode, na način da oborinsku vodu preusmjeri na zelenu površinu odnosno detenciju da bi se državna cesta i poljoprivredne površine zaštitile od plavljenja (Slika 25) [15].

Tablica 6. Vremenska domena.

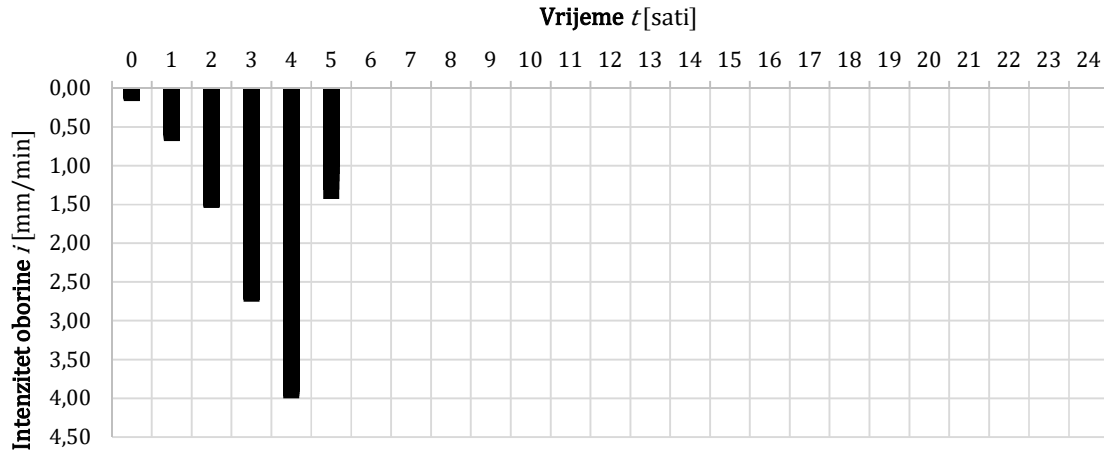
| VREMENSKA DOMENA | | | | | |
|---------------------------|------------|-------|----------|--------|----------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | OZNAKA | JEDINICA |
| vremenski korak | Δt | 1,00 | minute | 60 | s |
| veličina vremenske domene | t_d | 24,00 | sati | 86400 | s |
| početak vremenske domene | t_0 | 0,00 | sati | 0 | s |

Tablica 7. Prikaz modeliranja dinamike oborina.

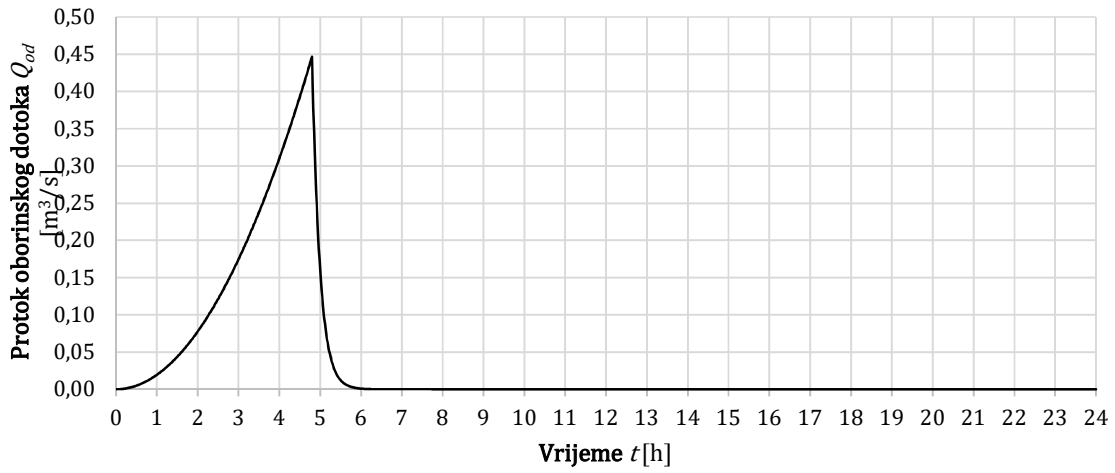
| MODELIRANJE DINAMIKE OBORINA | | | | | |
|--|------------|--------|------------|--------|----------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | OZNAKA | JEDINICA |
| početni i krajnji intenzitet | i_{baza} | 0,00 | mm/min | 0 | m/s |
| vrijeme maksimalnog intenziteta | t_p | 0,20 | % od t_d | 17280 | s |
| parametar oblika prije intenziteta i_{max} | p_l | 2,00 | / | | |
| parametar oblika nakon intenziteta i_{max} | p_d | 700,00 | / | | |

4.4. Tehničko rješenje punjenja detencije

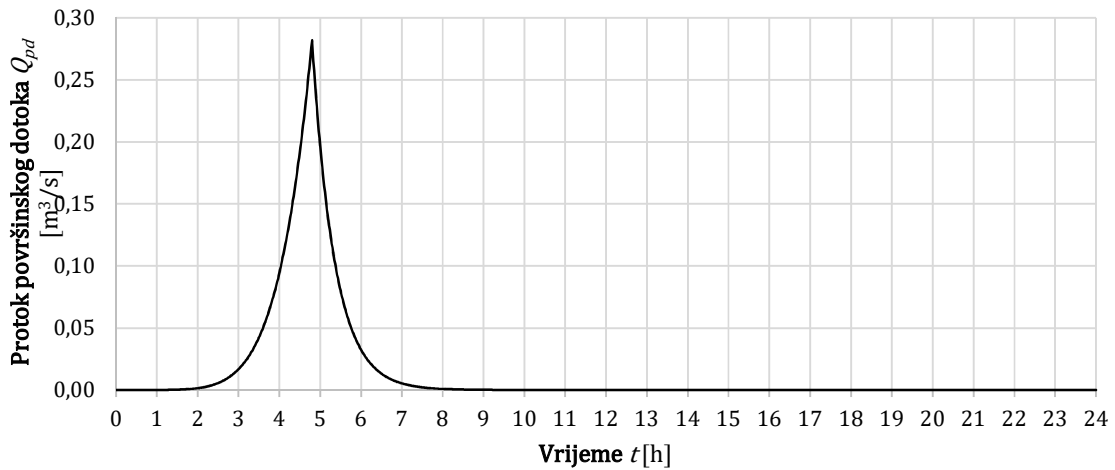
Dotok vode u detenciju dovodi se ukopanim cjevovodom koji se nalazi na jednoj strani prometnice koja prolazi ispod postojeće prometnice D44. Drugim riječima, cijev dotoka spojena je na cijev oborinske odvodnje koja prolazi ispod postojeće lokalne prometnice u urbaniziranoj sredini. U odabranoj detenciji će se nametnut kriteriji maksimalne dubine od 1 m. Također, zadan je vremenski period t_d , vremenski korak Δt i početak vremenske domene t_0 te su sve vrijednosti ovih varijabli upisane u Tablica 6. U Tablica 7 prikazane su vrijednosti varijabli modeliranja dinamike oborina. Modeliranje dinamike oborina sastoji se od početnog i krajnjeg intenziteta i_{baza} koji traje kroz cijelu vremensku domenu, vremena maksimalnog intenziteta i_p te varijable prije i nakon intenziteta p_l . Na Slika 21 prikazan je intenzitet oborine unutar vremenske domene od 24 sata. Maksimalna vrijednost intenziteta oborine iznosi 4 mm/min.



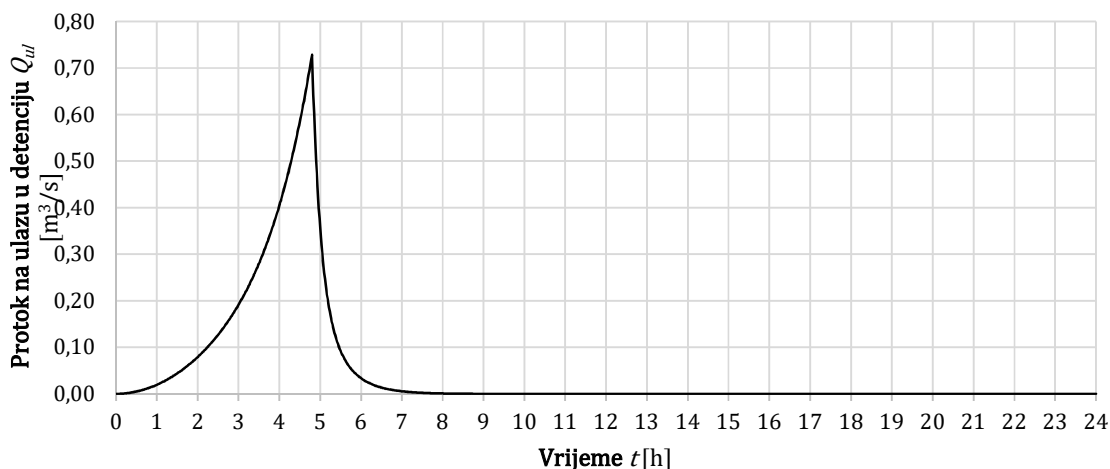
Slika 21. Dijagram vremenske promjene intenziteta oborine za slivno područje detencije Mašmova škuja.



Slika 22. Dijagram prikaza protoka oborinskog dotoka.



Slika 23. Dijagram prikaza vremenske promjene površinskog dotoka na sliv.



Slika 24. Dijagram prikaza protoka ulaza u detenciju.

Tablica 8. Prikaz modeliranja dinamike dotoka.

| MODELIRANJE DINAMIKE DOTOKA | | | | | |
|---|---------------|---------|------------|--------|----------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | OZNAKA | JEDINICA |
| bazni tj. temeljni protok | $Q_{pb,baza}$ | 0,00 | m^3/s | | |
| vrijeme maksimalnog protoka | t_p | 0,20 | % od t_d | 17280 | s |
| parametar oblika prije protoka $Q_{pd,max}$ | p_l | 6,00 | / | | |
| parametar oblika nakon protoka $Q_{pd,max}$ | p_d | 2000,00 | / | | |

Na Slika 22 prikazan je hidrogram otjecanja oborinskog dotoka unutar vremenske domene od 24 sata. Vrh dijagrama u iznosu od $0,45 m^3/s$ prikazuje protok oborinskog dotoka u vremenu od 4,7 sati. Na Slika 23 prikazan je hidrogram površinskog dotoka koji doseže maksimalnu vrijednost u 4,3 sati. Na Slika 24 prikazuje se hidrogram protoka ulaza u detenciju unutar vremenske domene od 24 sata. Parametri koji su se koristili za Jed. 6 su prikazani u Tablica 8.



Slika 25. Prikaz predviđenog postavljanja rešetke za odvodnju oborinske vode uz državnu prometnicu [45].

4.5. Tehničko rješenje pražnjenja detencije

Pražnjenje detencije odvijat će se preko ispusta, infiltracije i preljeva (Slika 26). Kota ispusta z_i iznosi 0,7 m n. m. i nalazi se iznad kote dna detencije kako bi se mogao uspostaviti gradijent tlaka i ispuštati mulj iz detencije. Propusna moć ispusta zavisna je o razini vode koja se nalazi iznad tjemena cijevi odnosno zavisi o dubini vode u detenciji. Smanjenjem tlaka na ulazu detencije, smanjuje se razina vode iznad tjemena cijevi te iz toga razloga nije praktično povećati promjer cijevi već se u tu svrhu povećava broj cijev ispusta n_i [15]. Za odabranu detenciju koristit će se 5 PVC cijevi, promjera DN 200 milimetara i dužine L_i 1300 metara od kojih je svaka obložena u plastičnu PVC oblogu takozvani „bužir“. Unutrašnja hrapavost PVC cijevi iznosi 0,1 mm čime se povećava propusna moć ispusta zbog posljedice velikih sila trenja. Kontrakcija mlaza koja se nalazi na izlazu iz ispusta reducira se koeficijentom istjecanja c_i koji iznosi 0,9. Tok vode u ispustu cijevi turbulentnog je režima i za kružni poprečni presjek cijevi zadan je Coriolisov koeficijent α koji iznosi 0,9. Koeficijent lokalnog gubitaka na početku cjevovoda iznosi 0,89 dok na kraju cjevovoda iznosi 0,92. Navedene varijable nalaze se u Tablica 9. S jugozapadne strane detencije predvidio se preljev s kotom krune z_p 1,2 m n. m. i širine krune b_p od 1 metar čije su varijable prikazane u Tablica 10.

Tablica 9. Tablica prikaza parametara ispusta.

| PARAMETRI ISPUSTA | | | | | |
|---|-----------------|---------|----------|------------|---|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | KONVERZIJA | |
| kota ispusta | z_i | 0,70 | m n. m. | | |
| broj cijevi ispusta | n_i | 3,00 | / | | |
| koeficijent istjecanja | c_i | 0,90 | / | | |
| duljina ispusta | L_i | 1300,00 | m | | |
| promjer ispusta | D_i | 0,20 | m | | |
| hrapavost ispusta | ε_i | 0,10 | mm | 0,0001 | m |
| Coriolisov koeficijent | α | 0,90 | / | | |
| koeficijent gubitaka na ulazu u ispust | ξ_{ul} | 0,89 | / | | |
| koeficijent gubitaka na izlazu iz ispusta | ξ_{iz} | 0,92 | / | | |

Tablica 10. Tablica prikaza parametra preljeva.

| PARAMETRI PRELJEVA | | | |
|-----------------------|--------|-------|----------|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA |
| kota krune preljeva | z_p | 1,2 | m n. m. |
| širina krune preljeva | b_p | 1 | m |

Tablica 11. Prikaz modeliranja infiltracije.

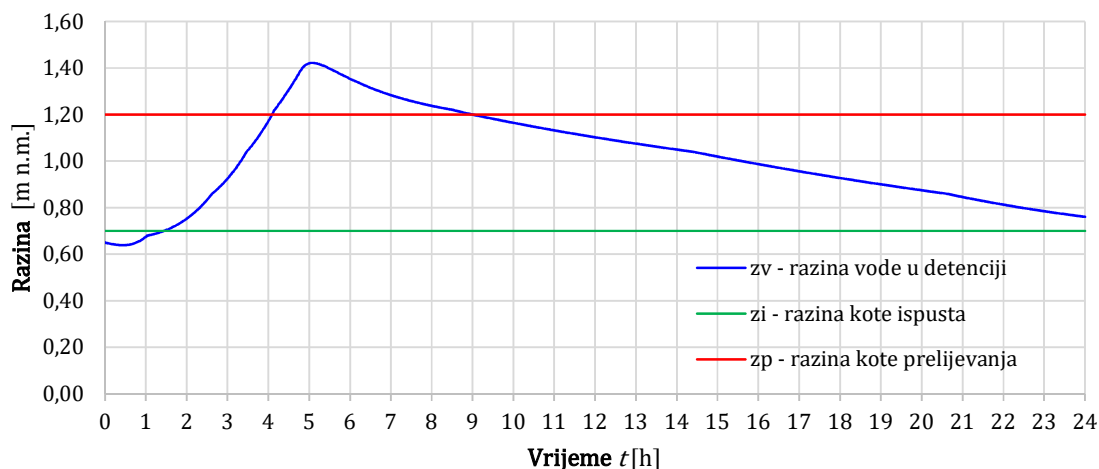
| MODELIRANJE INFITRACIJE | | | | | |
|-------------------------------|------------|-------|----------------------------------|------------|-----|
| OPIS | OZNAKA | IZNOS | JEDINICA | KONVERZIJA | |
| hidraulička provodljivost | K_s | 0,50 | cm/sat | 0,0000014 | m/s |
| usisni potencijal | ψ | 0,30 | m | | |
| stupanj potpune saturacije | θ_s | 0,44 | cm ³ /cm ³ | | |
| stupanj inicijalne saturacije | θ_i | 0,02 | cm ³ /cm ³ | | |

U Tablica 11 prikazani su parametri koji su se koristili za modeliranje infiltracije detencije. Naime, za modeliranje infiltracije potrebni su hidraulička provodljivost, usisni potencijal, stupanj potpune saturacije te stupanj inicijalne saturacije. Tijekom vrlo jakih oborina razina vode u detenciji raste. Da bi propusnost tla bila ispod bazena dovoljno dobra, potrebno je osigurati da se voda brzo infiltrira u tlo.



Slika 26. Prikaz sadašnjeg stanja pražnjenja infiltracijske površine [45].

Detencija Mašimova škuja nalazi se u poroznom tlu te će se za potrebe diplomskog rada sadržaj pora u tlu uzeti kao porozno tlo odnosno poroznost iznosi 47%. Također, za detenciju koristit će se parametar hidrauličke provodljivosti koji iznosi 0,5 cm/sat odnosno 0,0000014 m/s. Hidraulička provodljivost tla je količina vode koja protječe kroz poprečni presjek poroznog materijala koja ima jediničnu površinu i jedinični hidraulički gradijent i mjeri se u centimetrima na sat ili u metrima po sekundi. Hidraulički gradijent implicira pad potencijala za 1 metar na udaljenosti od 1 metra koji teče u smjeru podzemne vode. Mjera propusnosti tla jest parametar koji izražava jednostavnost kojom se voda giba kroz vodonosnik. Hidraulička provodljivost ovisi o značajkama fluida i o značajkama tla kroz koju se sam fluid giba [64]. Hidraulička provodljivost ovisno o tipu porozne sredine, kreće se u vrijednostima od 10^{-13} do 10^{-1} m/s. S druge strane, usisni potencijal jest sposobnost gibanja vode u tlu uslijed kapilarnih sila. Definira se kao energija potrebna za premještanje određene količine vode kroz nezasićeno tlo. Za potrebe predmetnog primjera, pretpostaviti će se u iznosu od 0,3 metara [63,64].

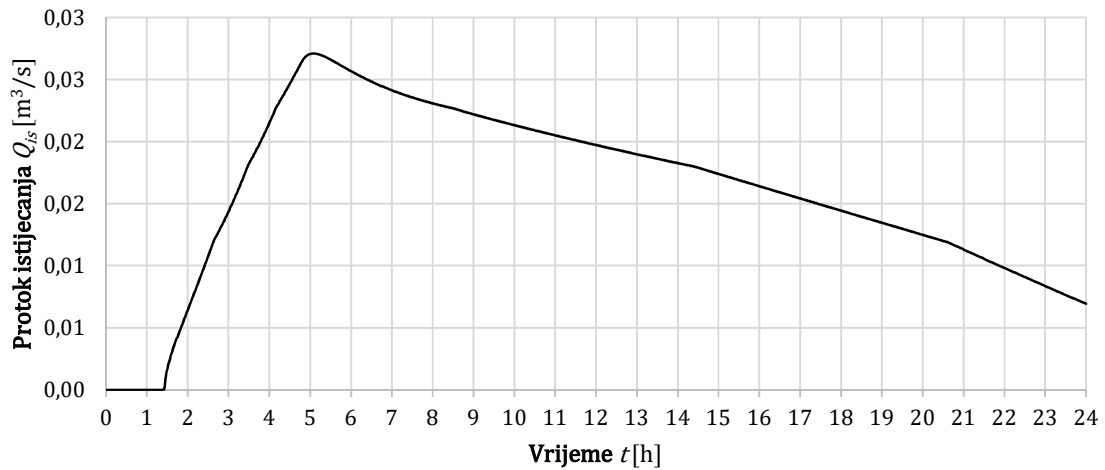


Slika 27. Dijagram kote ispusta i preljeva u odnosu na vremensku raspodjelu razine površine vode.

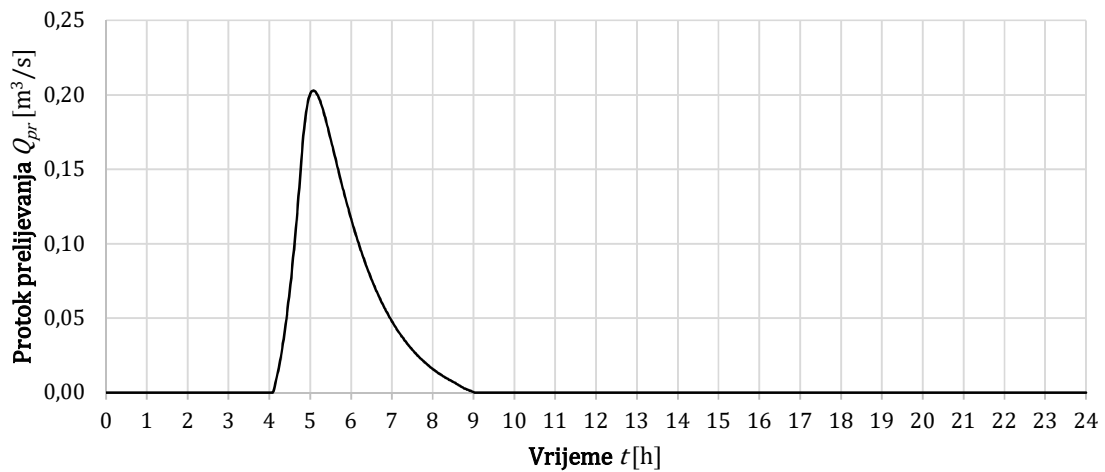
4.6. Analiza za postojeće stanje detencije

Slika 27 prikazuje dijagram vremenske promjene dubine vode u detenciji. Pritom, plava krivulja prikazuje razinu vode u detenciji, crvena krivulja označuje gdje se nalazi kota razine ispusta, dok zelena krivulja prikazuje razinu kote preljeva. Sve tri razine kote vode su iskazane u metrima nad morem. Iz dijagrama se zaključuje da je voda u detenciji prelijevala 5 sati, a detencija se napunila i ispraznila u nešto većem razmaku od 24 sata. Nakon 24 sata dio viška vode iz detencije ispušta se kroz ispust, a dio vode se infiltrira u tlo. Otjecanje to jest protok infiltracije traje sve dokle ima vode u detenciji. Volumen vode koji je ostao u detenciji je onaj volumen koji se nalazi iznad zelene linije odnosno ispod crvene linije.

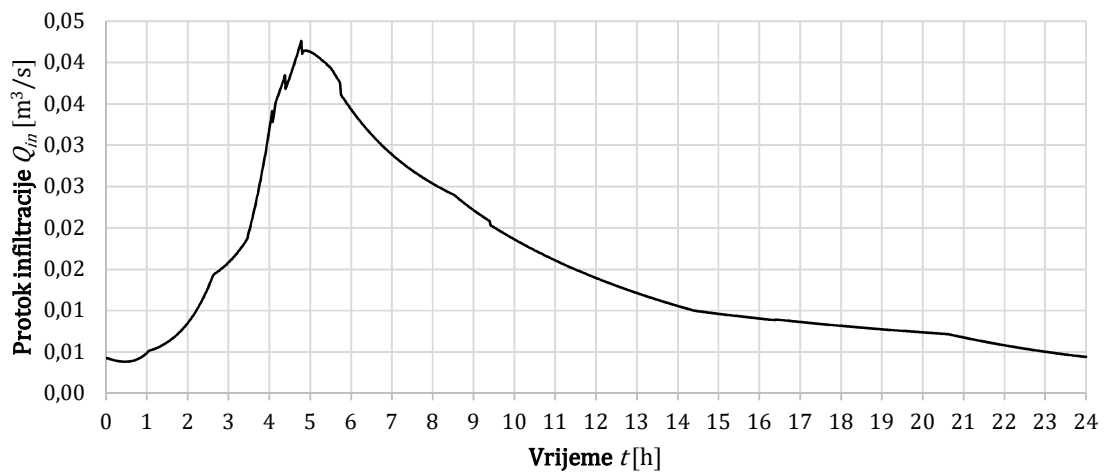
Potok istjecanja prikazan je na Slika 28. Maksimalni protok istjecanja iznosi $0,051 \text{ m}^3/\text{s}$ koji se dosegao u 5 sati. Također, moguće je uočiti pad krivulje istjecanja u vremenu od 16 sati zbog toga što se detencija ispraznila odnosno, sva je voda istekla kroz ispust i putem infiltracije. Krivulja prikazana na Slika 28 prikazuje vremensku promjenu protoka istjecanja.



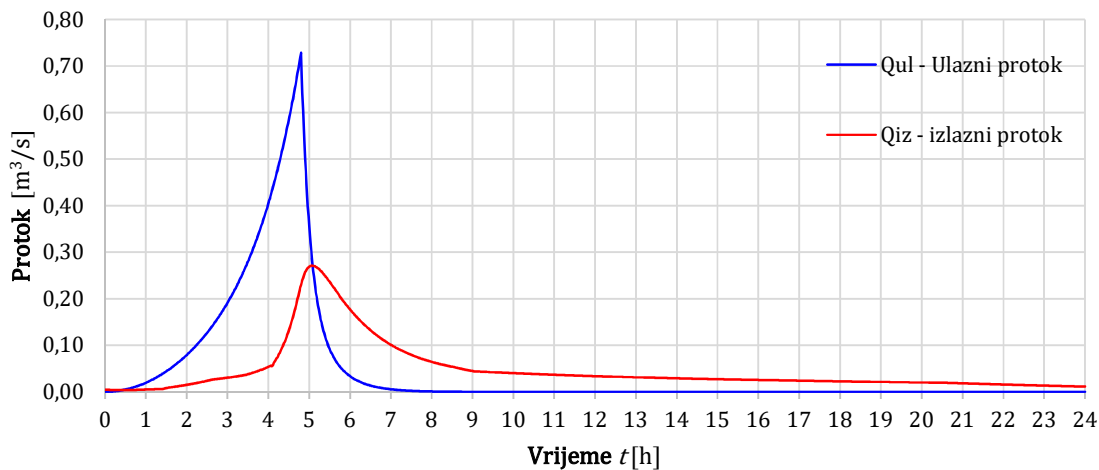
Slika 28. Dijagram protoka istjecanja kroz ispust unutar vremenske domene.



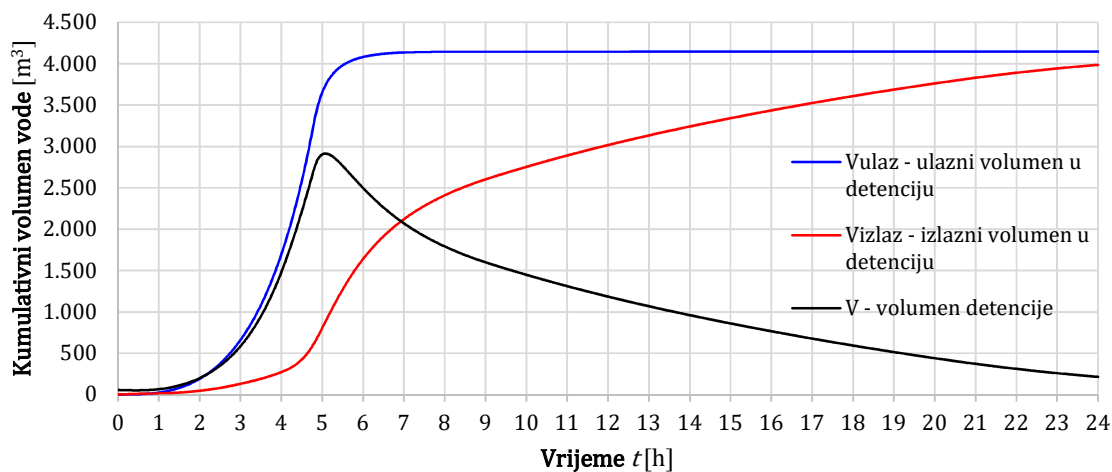
Slika 29. Dijagram protoka prelijevanja preko krune preljeva unutar vremenske domene.



Slika 30. Dijagram protoka infiltracije kroz propusno dno detencije.

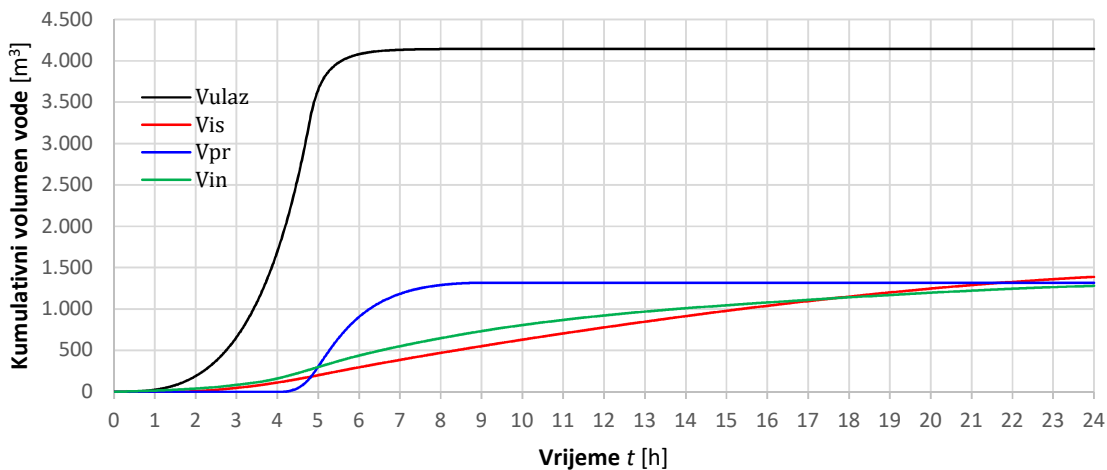


Slika 31. Dijagram ulaznog i izlaznog protoka iz detencije.

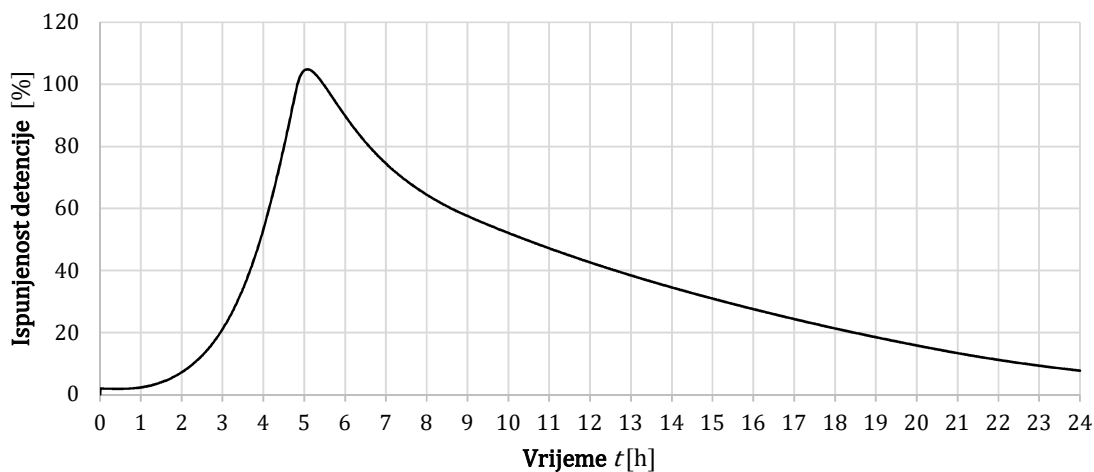


Slika 32. Dijagram kumulativnog volumena vode te volumena na ulazu i izlazu detencije.

Protok prelijevanja preko krune preljeva prikazan je na dijagramu koji se nalazi na Slika 29. Na njoj moguće je uočiti maksimalnu vrijednost od $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ u trenutku od 5,1 sati kada je detencija prelijevala preko preljeva. Protok se do 9 sata linearno smanjuje, ali se u 9 satu potpuno održava konstantnim. Protok infiltracije kroz propusno tlo detencije prikazano je na dijagramu koji se nalazi na Slika 30. Nakon 5 sati protok infiltracije se smanjuje gotovo linearno.

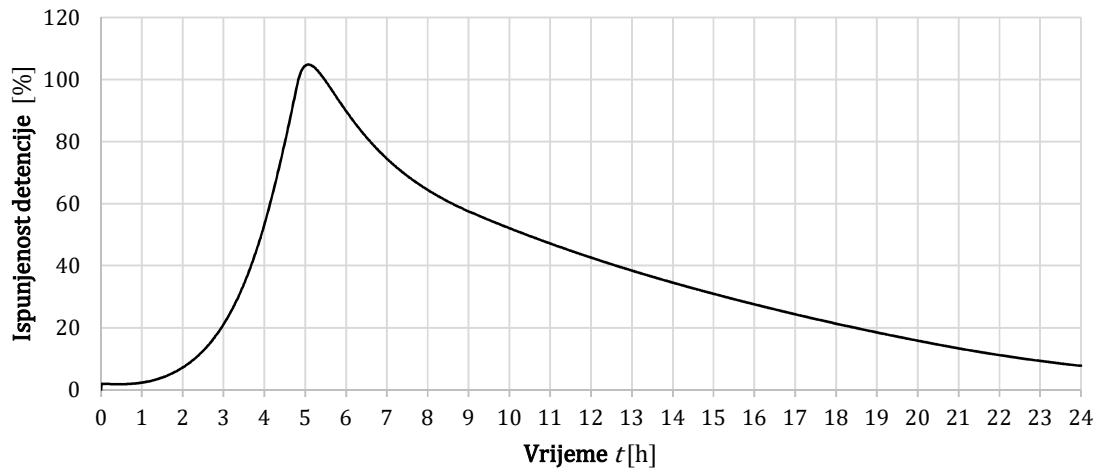


Slika 33. Dijagram kumulativnog volumena vode.

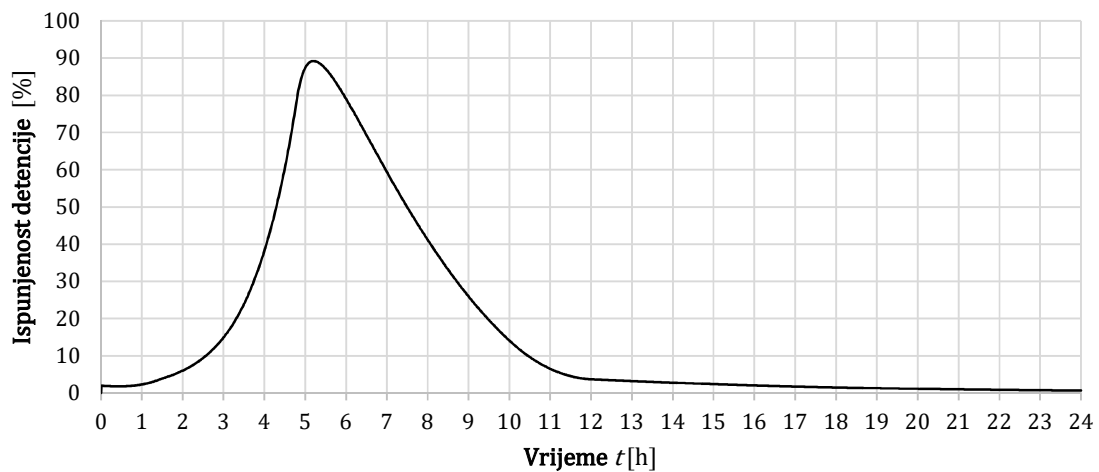


Slika 34. Dijagram vremenske promjene postotka ispunjenosti detencije.

Ulazno – izlazni protok iz detencije prikazan je na Slika 31 iz kojeg se vidi da je maksimalni ulazni protok $0,73 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je maksimalni izlazni protok dosegnuo vrijednost $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ u vremenu od 5,1 sati. Plava krivulja predstavlja ulazni protok, dok crvena krivulja predstavlja izlazni protok iz detencije. Kumulativni volumen vode trenutne razine vode i volumen ulaza i izlaza iz detencije prikazan je na Slika 32. Na Slika 33 prikazan je kumulativni volumen vode ispusta, preljeva, infiltracije i volumena ulaza. Proračunom je dokazano da je detencija preuzela jedan veći dio oborinske vode, a ostatak vode se prelijevao. Kako je ispunjenost detencije (Slika 34) premašila 100 % potrebno je provesti mjere dimenzioniranja iste.



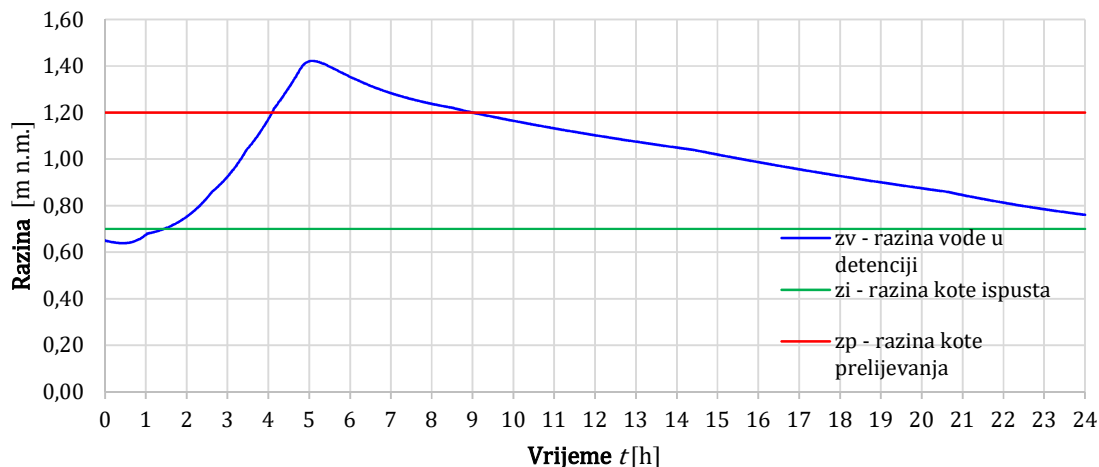
Slika 35. Dijagram prikaza postotka ispunjenosti detencije.



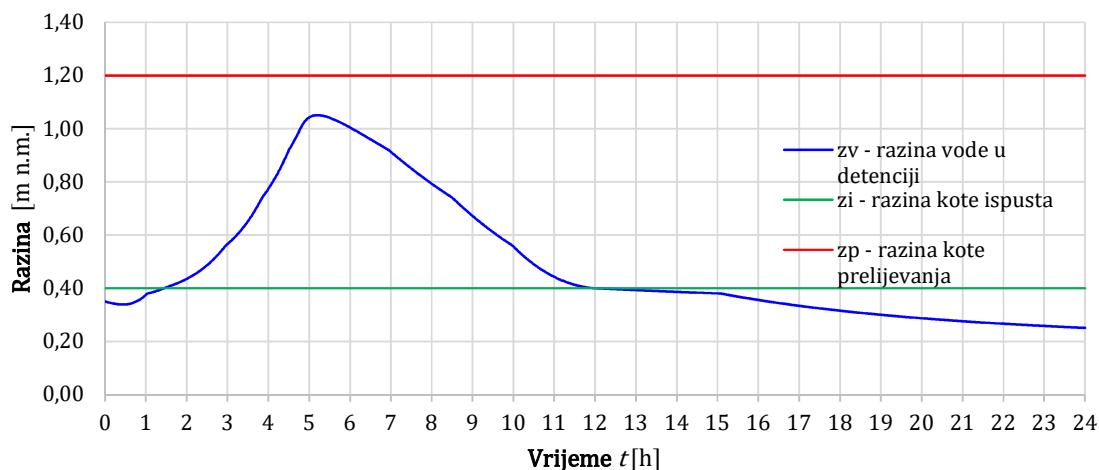
Slika 36. Dijagram prikaza postignute vremenske promjene postotak ispunjenosti detencije.

4.7. Analiza za adaptirano stanje detencije

Da bi detencija preuzela cjelokupnu oborinsku vodu potrebno je primijeniti nove parametre. Volumna iskoristivost detencije pospješit će se uvođenjem nekoliko novih karakteristika. Dno detencije će se produbiti te će se u tom slučaju promijeniti visinska razlika između dvije susjedne slojnice. Kota dna detencija reducirana je s 0,5 na 0,2 m čime je povećan volumen detencije. Također, kota dna ispusta se snizila te sada iznosi 0,4 metara. Usto, povećan je i profil cijevi ispusta s DN 200 mmm na DN 300 mm. Broj cijevi ispusta povećat će se s 3 na 5 komada što će omogućiti povećanje propusne moći ispusta.

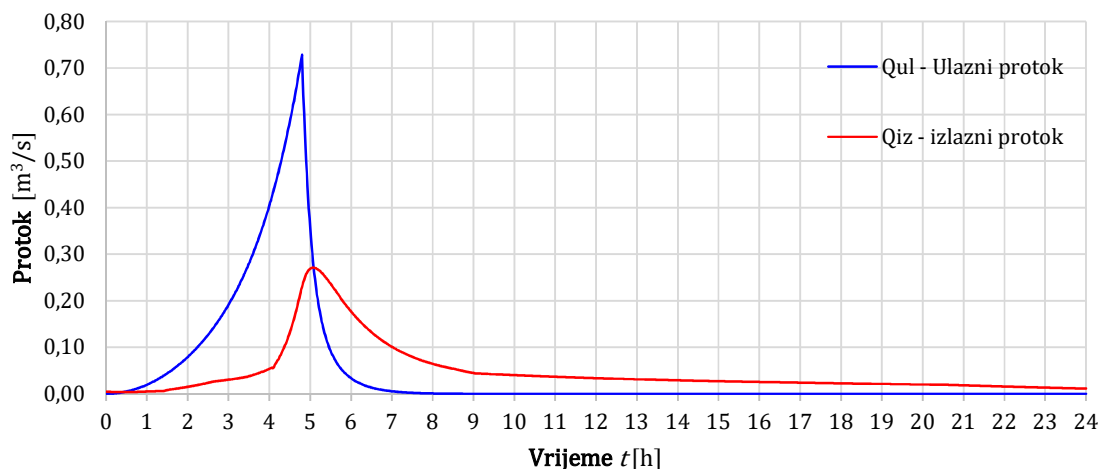


Slika 37. Dijagram prikaza prethodne vremenske promjene razine vode u detenciji.

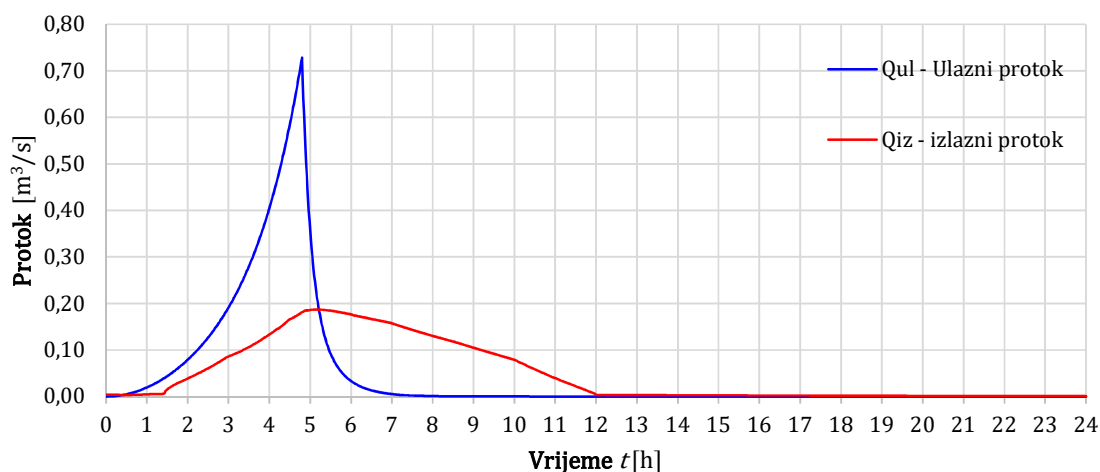


Slika 38. Dijagram prikaza postignute vremenske promjene razine vode u detenciji.

Na Slika 35 prikazana je prethodna vremenska promjena ispunjenosti detencije, a na Slika 36 prikazana je postignuta vremenska promjena ispunjenosti detencije. Drugim riječima, provedenom mjerom je spriječeno prelijevanje detencije (što se i namjeravalo postići). Slično navedenome, na Slika 37 prikazana je prethodna razina vode u detenciji ovisno o razini kote prelijevanja i kote ispusta. Postignuta vremenska promjena razine vode (Slika 38) u odnosu na kotu ispusta i preljeva značajno je poboljšana te je sada trenutna razina vode u detenciji 60 centimetara. Grafički se može odrediti trenutak prelijevanja kao sjecište linije prelijevanja koja je označena crvenom bojom.



Slika 39. Dijagram prethodne transformacije vodnog vala ulaznog i izlaznog protoka iz detencije.



Slika 40. Dijagram postignute transformacije vodnog vala ulaznog i izlaznog protoka iz detencije.

Na Slika 39 prikazana je prethodna transformacija vodnog vala. Postignuta transformacija vodnog vala prikazana je na Slika 40 ulaznog i izlaznog protoka iz detencije na kojoj se može uočiti da nema prelijevanja. Također, može se primijetiti da se razina vode u detenciji smanjila se s 90 centimetara na 70 centimetara visine odnosno da je to smanjenje od 20%. Maksimalna razina vode u detenciji kod 100 – godišnjeg povratnog perioda iznosi 90 centimetara dok kod temeljenog ispusta kota iznosi 20 centimetara. Temeljem proračuna evakuacijskih dijelova detencije uočava se da detencija prelijeva na koti 1,4 m n. m. U drugom slučaju temeljem istog povratnog perioda, ali smanjenjem kote dna detencije i ispusta te povećavanjem broja cijevi vidljivo je da je sada detencija zadovoljila sve prethodno navedene kriterije.

5. ZAKLJUČAK

U diplomskome radu prezentiran je proračunski postupak namijenjen za modeliranje dinamike punjenja i pražnjenja infiltracijskih površina. Proračunski postupak temelji se na numeričkoj integraciji jednadžbe očuvanja mase koja je u tu svrhu uključila sve relevantne komponente protoka: (i) površinski dotok, (ii) oborinski dotok, (iii) protok istjecanja kroz ispušt, (iv) protok prelijevanja preko krune preljeva te (v) protok infiltracije u tlo koji je modeliran primjenom Green – Ampt modela. Pritom, kako je ista dana u obliku nelinearne obične diferencijalne jednadžbe prvog reda, primijenjen je specifični postupak linearizacije koji se sveo na uvođenje fiktivne dubine vode koja je unutar vremenskog koraka zavisila samo u protocima s kojima se infiltracijska površina puni te je zatim dobiven volumen vode korišten za korekciju ove dubine. Pripadajući proračunski algoritam je implementiran u programu Excel kako bi se mogli provesti numerički primjeri. Kako bi se ilustrirao predmetni proračunski postupak, pripremljen je numerički primjer hipotetske detencije. U tu svrhu odabrana je infiltracijska površina to jest prirodna depresija Mašimova škuja koja se nalazi na području Grada Buzeta u Istri. Koristeći raspoložive podatke s mrežnog servisa Google Earth, za predmetnu infiltracijsku površinu aproksimirane su funkcije $A(h)$ i $V(h)$ te je za predmetno uzvodno područje primijenjena racionalna metoda kako bi se aproksimirao vrh vodnog vala s kojim se predmetna detencija puni. Naime, predmetno područje odabrano je iskustveno jer je utvrđeno da pri relativno velikim oborinama isto poplavi kao i susjedne poljoprivredne površine i nizvodna prometnica. Iz tog razloga, uređenjem ove površine to jest prenamjenom iste u detenciju nastojat će se spriječiti ovakvi scenariji. Analiza provedena za postojeće stanje infiltracijske površine pokazala je da u svojem izvornom obliku ne zadovoljava uvjet ispunjenosti to jest utvrđeno je da ista preljeva u stanovitom iznosu odnosno da joj ispunjenost prelazi za 10% maksimalnog kapaciteta. U tu svrhu provedeno je novo dimenzioniranje infiltracijske površine koje se svelo na produbljivanje iste kako bi joj se povećao volumen vodeći brigu o tome da ukupna dubina vode u istoj ne prelazi 1 m. Osim navedenoga, povećan je i broj i promjer cijevi ispusta kojima se sadržana voda odvodi na drugu udaljeniju lokaciju.

Prikazani proračunski postupak zbog svoje jednostavnosti vrlo je atraktivan za praktičnu primjenu.

6. LITERATURA

- [1] Larry W. Mays: Stormwater Collection Systems Design Handbook, Department of Civil and Environmental Engineering, Arizona State University Tempe, Arizona, 2001.
- [2] Rubinić, Josip: Nagle poplave u kršu – skripta predavanja, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 2021.
- [3] Tehnički leksikon: Velika voda ; <https://tehnicki.lzmk.hr/clanak/velika-voda> ; pristup: 7.3.2024.
- [4] Žugalj, Ranko: Hidrologija, Rudarsko – geološki – naftni fakultet Zagreb, str.57, Zagreb, 2015.
- [5] Saskatoon Pics; <https://www.saskatoonpics.com/Parks/Trounce-Pond/i-qBkImdK/A> , pristup: 13.3.2024.
- [6] Ožanić, Nevenka: Uvodno predavanje – skripta predavanja, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 2024.
- [7] Sušanj Čule, I. Rosanda E. Ožanić N.: Analiza promjene koeficijenta otjecanja tijekom godine na slivu Slani potok, Stručni rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, 2017.
- [8] Karabegović, A., Žic E. Biluš I. Škerlavaj A.: Eksperimentalno određivanje lokalnih i linijskih koeficijenata gubitaka u cijevnom sustavu pod tlakom, Stručni rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, 2018.
- [9] Cambridge SUDS & Adoption Guide, Retention and infiltration basins, 2018; <https://www.cambridge.gov.uk/media/5463/suds-design-and-adoption-guide-part-6.pdf> ; pristup: 13.3.2024.
- [10] Gregorović, Leo: Unapređenje održivosti urbanih područja kroz optimizaciju kišnih vrtova s primjenom GIFmod računalnog programa, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 2023.
- [11] Mannul builders: Retention pond vs. Dry detention pond; <https://www.manuelbuilders.com/blog/retention-pond-vs-detention-pond> ; pristup: 2.4.2024.

- [12] Retencije i analize rada retencije – predavanje, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb;
[https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Postupci zastite od voda Pr edavanje 02 2.pdf](https://www.grad.unizg.hr/download/repository/Postupci_zastite_od_voda_Pr edavanje_02_2.pdf); pristup: 25.3.2024.
- [13] Manheim, Township: Detention vs Retention Basin;
<https://www.manheimtownship.org/1173/Detention-vs-Retention-Basin>; pristup: 3.4.2024.
- [14] Djedović, Ivan: Dimenzioniranje retencija, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Osijek, 2018.
- [15] Travaš, Vanja: Upute za izradu seminarskog rada – skripta predavanja, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 2024.
- [16] Saskatoon Pics; <https://www.saskatoon.ca/community-culture-heritage/neighbourhoods-community-associations/recreational-use-stormwater-ponds>; pristup: 14.3.2024.
- [17] Đuroković, Judita: Potencijalne hidrotehničke građevinske mjere upravljanja rizicima od poplava na slivu Karašica- Vučica, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, Osijek, 2015.
- [18] Keith M., Barnett; <https://stock.adobe.com/hr/images/no-swimming/23724689>; pristup: 15.3.2024.
- [19] Homeowners BMP Guide: Dry Detention Basin;
<https://mountjoyborough.com/wp-content/uploads/Dry-Detention-Basin.pdf>; pristup: 15.3.2024.
- [20] American Paving: Retention Pond vs. Detention Pond: Which is the Best for Your Property; <https://www.americanpavingtx.com/retention-pond-vs-detention-pond-which-is-the-best-for-your-property/>; pristup: 4.4.2024.
- [21] Kuspilić, Neven: Postupci zaštite od voda – skripta predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb, 2009.
- [22] Lukinić, Matija: Uloga retencija u zaštićenim područjima toka rijeke Save, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, 2018.
- [23] Ideas for us, 2020;
<https://ideasforum.org/lets-re-think-retention-ponds/>; pristup: 18.3.2024.
- [24] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024.; <https://enciklopedija.hr/clanak/64162>; pristup: 19.5.2024

- [25] Stormwater partners ;
<https://www.stormwaterpartners.com/facilities-detention-pond> ;
pristup: 18.3.2024.
- [26] Vodoprivredno-projektni biro d.d.: Retencija Pengari, Elaborat zaštite okoliša, Zagreb, 2023.
- [27] McMinn, Will, 2009 ;
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traditional Flood Retention Basin %28Earth dam and spillway%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traditional_Flood_Retention_Basin_%28Earth_dam_and_spillway%29.jpg) ; pristup: 5.4.2024.
- [28] Preference Stock Photos and Images ;
<https://www.alamy.com/stock-photo/stormwater.html?sortBy=relevant> ;
pristup: 17.3.2024.
- [29] Vučković, Živko: Osnove hidrotehnike, prvi dio. Prva knjiga. Akvamarine Zagreb, 1994.
- [30] Og portal: Retencija Burnjak – jedna od najvećih retencija u Hrvatskoj 2017 ;
<https://ogportal.com/2017/09/24/retencija-burnjak-jedna-najvecih-retencija-hrvatskoj/> ; pristup: 6.3.2024.
- [31] Zagorje International: Retencija Burnjak spasila je Gornju Stubicu od poplava i opravdala svoju izgradnju, 2017; <https://www.zagorje-international.hr/2017/09/21/retencija-burnjak-spasila-je-gornju-stubicu-od-poplave-i-opravdala-svoju-izgradnju/> ; pristup: 6.3. 2024.
- [32] Zagorje.com: Hrvatske vode intervenirale kod začepjenja retencije Burnjak ;
<https://www.zagorje.com/clanak/vijesti/hrvatske-vode-intervenirale-kod-zacepljenja-retencije-burnjak> ; pristup: 11.4.2024.
- [33] Kronike Velike Gorice: Pod kontrolom je odranski sifon ustava prevlaka na centimetar od izvanrednog stanja, 2023 ;
<https://www.kronikevg.com/pod-kontrolom-je-odranski-sifon-ustava-prevlaka-na-centimetar-od-izvanrednog-stanja/> ; pristup: 19.3.2024.
- [34] Parkovi šume: Park prirode Lonjsko polje ;
<https://www.parkovihrvatske.hr/park-prirode-lonjsko-polje-v2> ; pristup: 19.3.2024.
- [35] Lukinić, Matija: Uloga retencija u zaštićenim područjima toka rijeke Save, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet , Zagreb, 2018.

- [36] Zaštita prirode: Odransko polje ; <http://www.zastita-prirodesmz.hr/galerije/odransko-polje-63.html> ; pristup: 19.3.2024.
- [37] Japarić, Edi: Poplavne ravnice i aluvij, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zagreb, 2020.
- [38] Priroda Hrvatske: Labud cygnus – olor ; <https://priodahrvatske.com/2018/12/03/labud-cygnus-olor/> ; pristup: 10.5.2024.
- [39] Srša, Martina: Analiza uvjeta i prijedlog uređenja rekreacijskih sadržaja na području općine Gornji Mihaljevec, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2021.
- [40] Mesarić, M. Cindrić M. Virč I.: Međimurske retencije ogledi o vodnom fenomenu, Međimurska priroda – Javna ustanova za zaštitu prirode, Međimurje, 2016.
- [41] Regionalni.com: Međimurske retencije oaze bioraznolikosti ; <https://regionalni.com/medimurske-retencije-oaze-bioraznolikosti/> ; pristup: 17.4.2024.
- [42] Bernarda, F. Gregorinčić S: Flora dviju međimurskih retencija- Križopotja i Jegerseka, OŠ Gornji Mihaljevec, Gornji Mihaljevec, 2014.
- [43] Twitter ; <https://twitter.com/hcfcd/status/1768381616286568683> ; pristup: 13.3.2024.
- [44] Voda.hr: Istraživanje dinamike protjecanja voda u slivu Pazinčice i s njime povezanim vodnim resursima krškog vodonosnika središnje Iste ; https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/prateca-dokumentacija/istrazivanje_dinamike_protjecanja_voda_u_slivu_pazincice_i_s_njime_povezanim_vodnim_resursima_krskog_vodonosnika_sredisnje_istre.pdf ; pristup: 20.4.2024.
- [45] Greblo, Monika: Osobna fotografija, 2024.
- [46] J Ambrović, Luka: Osobine i primjena parametarskih metoda određivanja otjecanja, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultete, Zagreb, 2020.
- [47] Microsoft support: Funkcija max ; <https://support.microsoft.com/hr-hr/office/funkcija-max-e0012414-9ac8-4b34-9a47-73e662c08098> ; pristup: 10.4.2024.

- [48] Postupno promjenjivo tečenje u otvorenom koritu – praktikum iz hidraulike, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb ;
https://www.grad.unizg.hr/download/repository/V01-Nejednoliko_tecenje%5B1%5D.pdf ; pristup: 25.3.2024.
- [49] Latin, Mario: Određivanje koeficijenta otjecanja sliva primjenom GIS-a, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2023., Zagreb
- [50] Jović, Vinko: Osnove hidrotehnike, Građevinsko – arhitektonski fakultet u Splitu, Zagreb, 2006.
- [51] Agroskin I. I. Dmitrijević G. T. Pikaović F. I.: Hidraulika, Tehnička knjiga, Zagreb
- [52] Objekti u podzemlju – skripta, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Sveučilište u Splitu ;
https://gradst.unist.hr/Portals/9/docs/katedre/Privredna%20hidrotehnika/DSG%20Hidrot%20grad/PREZENTACIJA_%203.DIO.pdf ; pristup: 11.4.2024.
- [53] Indian Institute of Technology Guwahati: Green – Ampet equation ;
<https://www.iitg.ac.in/> ; pristup: 11.4.2024.
- [54] Travaš, Vanja: Elementi numeričkih metoda – skripta predavanja, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 2023.
- [55] Google Earth Pro ;
<https://earth.google.com/web/@45.3507383,13.77054331,7.19891075a,6802.72479764d,35y,0.0764367h,0t,0r> ; pristup: 26.3.2024.
- [56] Geotech: Geološka građa Istre ;
<https://www.geotech.hr/geoloska-grada-istre/> ; pristup: 22.3.2024.
- [57] Greblo, Monika: Idejno rješenje luke Tarska vala u Istri, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka, 2022.
- [58] DLS d.o.o., Studija o utjecaju na okoliš za zahvat dogradnje luke otvorene za javni promet Karigador – Brtonigla, Rijeka, 2020.
- [59] Geotech: Geološka građa Istre ; <https://www.geotech.hr/geoloska-gradaistre/> ; pristup: 22.4.2024.
- [60] Općina Tar – Vabriga: Prostorni plan uređenja luke Tarska vala ; pristup: 29.5.2024.
- [61] Po istri.eu: Geomorfologija Istre bijela siva crvena ;
<https://www.poistri.eu/2023/11/geomorfologija-istre-bijela-siva-crvena.html> ; pristup: 17.6.2024.

- [62] Portal Istarskog vodovoda ; <https://www.ivb.hr/> ; pristup: 14.7.2024.
- [63] Turistička zajednica grada Buzeta: Zavičajni muzej ; <https://www.tz-buzet.hr/hr/kultura/znamenitosti/zavicajni-muzej> ; pristup: 16.5.2024.
- [64] Kukolja, Adriana: Određivanje hidrauličke vodljivosti metodom permeametra sa stalnom razinom na području Velike Gorice, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2018.