

Procjena količina oborinskih i fekalnih voda za istočnu Makarsku

Jelavić-Šako, Paula

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:180675>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-25**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Paula Jelavić-Šako

Split, 2024.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Paula Jelavić-Šako

**Procjena količina oborinskih i fekalnih voda za
istočnu Makarsku**

Split, 2024.



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJSVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO

KANDIDAT: Paula Jelavić-Šako

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083222738

KATEDRA: Katedra za privrednu hidrotehniku

PREDMET: Integralno upravljanje vodnim resursima

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Procjena količina oborinskih i fekalnih voda za istočnu Makarsku

Opis zadatka: Cilj ovog diplomskog rada je analiza oborinskog i fekalnog opterećenja na sustav odvodnje za istočni dio grada Makarske. Analiza uključuje pregled postojećeg stanja sustava odvodnje, dok se procjena količina za istočnu Makarsku razmatra isključivo za najgori scenarij oborinskog i fekalnog opterećenja, bez utjecaja rada postojećih crpnih stanica. Naglasak rada je na detaljnoj analizi podataka o oborinama za meteorološku postaju Makarska, izradi hidrološke analize slivova bujica u svrhu procjene velikih voda, te procjeni fekalnog opterećenja na osnovu podataka o demografiji, industriji i turizmu.

U skladu s navedenim, diplomski rad uključuje:

- Prikupljanje svih relevantnih podataka za područje istočne Makarske
- Opis postojećeg stanja sustava odvodnje
- Analizu vremenskih serija oborina
- Izradu ITP (Intenzitet oborine – Trajanje – Ponavljanje) krivulja
- Procjenu maksimalnog protoka identificiranih bujica primjenom SCS (Soil Conservation Service) metode
- Procjenu fekalnog opterećenja

Zaključno, diplomski rad temeljen na pretpostavljenim slivovima bujica izrađuje analizu maksimalnih opterećenja na sustav odvodnje u hipotetskom najnepovoljnijem scenariju za područje istočne Makarske.

U Splitu, 15.03. 2024.

Voditelj diplomskog rada:
doc. dr. sc. Morena Galešić Divić

Predsjednik Povjerenstva za završne i
diplomske ispite studija Građevinarstvo:
izv. prof. dr. sc. Ivan Balić

Komentor:

doc. dr. sc. Ana Kadić

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Kojom ja, Paula Jelavić-Šako, JMBAG: 0083222738, studentica Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, kao autorica ovog diplomskog rada izjavljujem da sam ga izradila samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Morene Galešić Divić i komentorstvom doc. dr. sc. Ane Kadić.

U radu sam primijenila metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju rada. Tuđe spoznaje, zaključke, teorije, formulacije i grafičke prikaze koje sam izravno ili parafrazirajući navela u radu citirala sam i povezala s korištenim bibliografskim jedinicama.

(vlastoručni potpis studentice)

PROCJENA KOLIČINA OBORINSKIH I FEKALNIH VODA ZA ISTOČNU MAKARSKU

Sažetak:

Ovaj diplomski rad bavi se procjenom oborinskog i fekalnog opterećenja na sustav odvodnje za istočni dio grada Makarske kroz analizu hipotetskog najnepovoljnijeg scenarija. Cilj rada je analizirati postojeće stanje sustava odvodnje i procijeniti opterećenje u ekstremnim uvjetima, bez uzimanja u obzir rada postojećih crpnih stanica. Grad Makarska, kao turistička destinacija, suočava se s povećanim opterećenjem infrastrukturnih kapaciteta, posebno tijekom ljetnih mjeseci, što dodatno naglašava važnost ove analize. Posebna pažnja posvećena je analizi meteoroloških podataka za Makarsku, izradi hidrološke analize slivova bujice i procjeni maksimalnih količina oborinskih voda metodom SCS. Također, procijenjeno je fekalno opterećenje na temelju demografskih podataka, industrijskih aktivnosti i turizma. Rezultati pružaju podršku za buduće planiranje i upravljanje vodnim resursima u istočnoj Makarskoj, uzimajući u obzir potencijalne rizike za sustav odvodnje u ekstremnim uvjetima.

Ključne riječi:

sliv, hidrološke karakteristike, upravljanje otpadnim i slivnim vodama

ASSESSMENT OF RAINWATER AND WASTEWATER QUANTITIES FOR EASTERN MAKARSKA

Abstract:

This thesis focuses on estimating stormwater and wastewater loads on the drainage system for the eastern part of the city of Makarska by analyzing a hypothetical worst-case scenario. The objective is to assess the current state of the drainage system and evaluate the loads under extreme conditions, excluding the impact of existing pumping stations. As a popular tourist destination, Makarska faces increased pressure on its infrastructure, particularly during the summer months, which highlights the importance of this analysis. The study emphasizes the analysis of meteorological data for Makarska, the hydrological assessment of flash flood catchments, and the estimation of maximum stormwater runoff using the SCS method. Additionally, wastewater loads are evaluated based on demographic data, industrial activities, and tourism. The findings provide a support for future planning and water resource management in eastern Makarska, considering potential risks to the drainage system under extreme conditions.

Keywords:

watershed, hydrological characteristics, wastewater and drainage water management

Sadržaj

| | |
|--|-----------|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1 Opis postojećeg stanja | 2 |
| 1.2 Struktura diplomskog rada | 5 |
| 2. METODOLOGIJA..... | 6 |
| 2.1. Karakteristike interesne lokacije..... | 6 |
| 2.2. Ulazni podatci | 7 |
| 2.3. Analiza vremenskih serija oborina..... | 10 |
| 2.3.1. Konstrukcija ITP krivulja za Makarsku | 12 |
| 2.3.2. Box Plot mjesečnih kumulativnih oborina | 16 |
| 2.4. SCS metoda | 18 |
| 2.4.1. Analiza geometrije sliva | 18 |
| 2.4.2. Opis SCS metode | 19 |
| 2.5. Procjene fekalnog opterećenja | 30 |
| 2.5.1. Opis metode | 30 |
| 2.5.2. Postojeći podatci o stanovništvu na promatranom području | 32 |
| 2.5.3. Procjene kretanja stanovništva na promatranom području..... | 34 |
| 3. REZULTATI | 35 |
| 3.1. Hidrološka analiza..... | 35 |
| 3.1.1. Izračunate ITP krivulje i prikaz raspodjele padalina po mjesecima za promatrano razdoblje..... | 46 |
| 3.2. Rezultati SCS metode..... | 49 |
| 3.2.1. Geometrija sliva | 49 |
| 3.2.2. Izračunati CN brojevi | 52 |
| 3.2.3. Izračunati hidrogrami | 55 |
| 3.3. Mjerodavne količine otpadnih voda..... | 58 |
| 4. ZAKLJUČAK..... | 62 |
| 5. LITERATURA | 63 |

PRILOZI

Popis slika

| | |
|--|-----------|
| <i>Slika 1. Lokacija zahvata Makarska [1].....</i> | <i>1</i> |
| <i>Slika 2 Postojeći sustav odvodnje aglomeracije Makarska [4].....</i> | <i>2</i> |
| <i>Slika 3 Maksimalni satni dotok i planirani Ekvivalent stanovnici po mjesecima za UPOV Makarska [5].....</i> | <i>4</i> |
| <i>Slika 4 Glavna meteorološka postaja Makarska.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Slika 5. Primjer pluviometra postavljenog na otvorenom prostoru [11].....</i> | <i>9</i> |
| <i>Slika 6 GEV PDF za trajanje od 3 sata i različite povratne periode.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Slika 7 GEV CDF za trajanje od 3 sata i različite povratne periode.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Slika 8 GEV PDF za različita trajanja.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Slika 9 GEV CDF za različita trajanja.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Slika 10 Prikaz podjele područja na tri sliva.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Slika 11 Grafički prikaz Mockusova bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma uz triangularnu aproksimaciju i sumarnu krivulju [29].....</i> | <i>24</i> |
| <i>Slika 12. Shema proračunskog postupka.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Slika 13 Oscilacije satnih potrošnji u funkciji naselja [32].....</i> | <i>31</i> |
| <i>Slika 14. Hijetogram oborina za 2003. godinu.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Slika 15. Hijetogram oborina za 2004. godinu.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Slika 16. Hijetogram oborina za 2005. godinu.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Slika 17. Hijetogram oborina za 2006. godinu.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Slika 18. Hijetogram oborina za 2007. godinu.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Slika 19. Hijetogram oborina za 2013. godinu.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Slika 20. Hijetogram oborina za 2014. godinu.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Slika 21. Hijetogram oborina za 2015. godinu.....</i> | <i>39</i> |

| | |
|---|-----------|
| <i>Slika 22. Hijetogram oborina za 2016. godinu.....</i> | <i>39</i> |
| <i>Slika 23. Hijetogram oborina za 2018. godinu.....</i> | <i>40</i> |
| <i>Slika 24. Hijetogram oborina za 2019. godinu.....</i> | <i>40</i> |
| <i>Slika 25. Hijetogram oborina za 2020. godinu.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Slika 26. Hijetogram oborina za 2021. godinu.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Slika 27. Hijetogram oborina za 2022. godinu.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Slika 28. Hijetogram oborina za 2023. godinu.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Slika 29. Hijetogram oborina za analizirano razdoblje.....</i> | <i>43</i> |
| <i>Slika 30. Hod godišnjih kumulativnih oborina</i> | <i>44</i> |
| <i>Slika 31. Krivulje raspodjele.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Slika 32 ITP krivulje za postaju Makarska.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Slika 33 Box plot kumulativnih mjesečnih oborina za promatrani niz godina.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Slika 34 Kumulativne mjesečne oborine za promatrani niz godina.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Slika 35. Hipsometrijska krivulja (sliv 1)</i> | <i>49</i> |
| <i>Slika 36. Hipsometrijska krivulja (sliv 2)</i> | <i>50</i> |
| <i>Slika 37 Hipsometrijska krivulja (sliv 3)</i> | <i>51</i> |
| <i>Slika 38. Prikaz podjele područja za određivanje CN broja (sliv 1)</i> | <i>52</i> |
| <i>Slika 39. Prikaz podjele područja za određivanje CN broja (sliv 2)</i> | <i>53</i> |
| <i>Slika 40. Prikaz podjele područja za određivanje CN broja (sliv 3)</i> | <i>54</i> |
| <i>Slika 41. Hidrogram velikih voda Makarske za cjelokupni sliv 1 s povratnim razdobljima</i> | <i>55</i> |
| <i>Slika 42. Hidrogram velikih voda Makarske za cjelokupni sliv 2 s povratnim razdobljima</i> | <i>56</i> |
| <i>Slika 43. Hidrogram velikih voda Makarske za cjelokupni sliv 3 s povratnim razdobljima</i> | <i>56</i> |
| <i>Slika 44. Rezultati proračuna odvodnje otpadnih voda</i> | <i>61</i> |

Popis tablica

| | |
|---|-----------|
| <i>Tablica 1. CN broj za određenu vrstu terena [13].....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tablica 2. Koordinate Mockusova bezdimenzionalnog dijagrama [15].....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tablica 3. Koeficijenti maksimalne dnevne i satne neravnomjernosti [16].....</i> | <i>32</i> |
| <i>Tablica 4. Vrijednosti statističkih karakteristika niza godišnjih oborina</i> | <i>45</i> |
| <i>Tablica 5. Geometrijske karakteristike za sliv 1</i> | <i>49</i> |
| <i>Tablica 6. Geometrijske karakteristike za sliv 2</i> | <i>50</i> |
| <i>Tablica 7. Geometrijske karakteristike za sliv 3</i> | <i>51</i> |
| <i>Tablica 8. Prikaz podjele područja i površine za određivanje CN broja za sliv 1</i> | <i>52</i> |
| <i>Tablica 9. Prikaz podjele područja i površine za određivanje CN broja za sliv 2</i> | <i>53</i> |
| <i>Tablica 10. Prikaz podjele područja i površine za određivanje CN broja za sliv 3</i> | <i>54</i> |
| <i>Tablica 11. Maksimalna dnevna potrošnja vode</i> | <i>59</i> |
| <i>Tablica 12. Maksimalna satna potrošnja vode</i> | <i>59</i> |
| <i>Tablica 13. Proračun odvodnje otpadnih voda za stanovništvo, hotele, privatni smještaj i industriju.....</i> | <i>60</i> |

1. UVOD

Sustav odvodnje čini vitalnu infrastrukturu svakog urbanog područja, igrajući ključnu ulogu u održavanju javnog zdravlja i sigurnosti. Istočni dio grada Makarske (Slika 1), kao značajna urbana zona, suočava se s izazovima vezanim uz oborinske i fekalne vode, posebice tijekom ekstremnih vremenskih uvjeta. Razumijevanje i procjena količina ovih voda je bitna prilikom donošenja odluka o načinima organizacije i upravljanja sustavima odvodnje.

Motivacija za odabir ove teme leži u potrebi za analizom trenutnog stanja i potencijalnih opterećenja sustava odvodnje kako bi se razmotrila situacija najnepovoljnijih scenarija. Ova analiza je posebno značajna s obzirom na klimatske promjene koje donose sve učestalije i intenzivnije oborine. Osim toga, demografske karakteristike i razvoj turizma dodatno opterećuju sustav odvodnje, što zahtijeva analizu i odgovarajuće planiranje.



Slika 1. Lokacija zahvata Makarska [1]

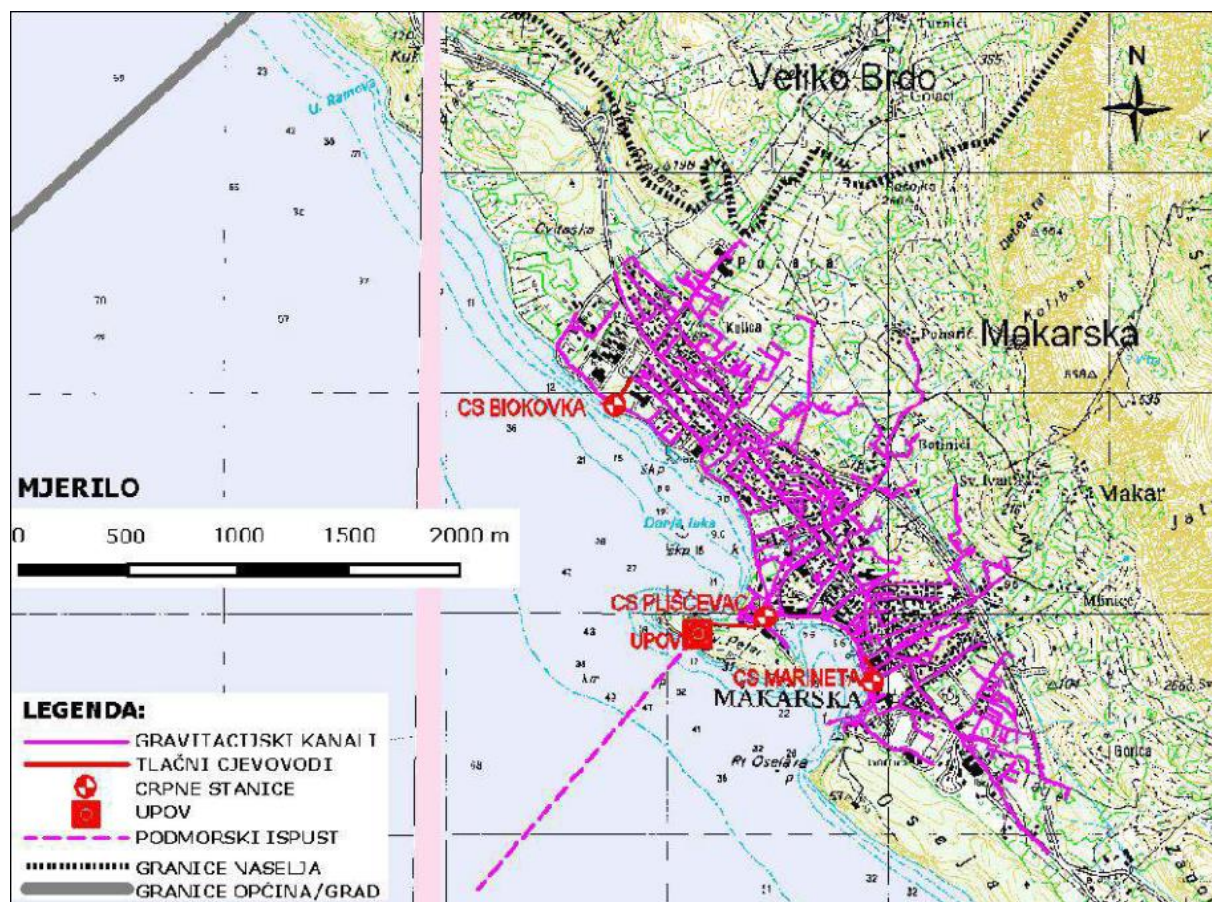
Cilj diplomskog rada je istražiti količine oborina i fekalija koje se generiraju na području istočne Makarske kako bi se utvrdilo opterećenje koje treba preuzeti sustav odvodnje. Grad Makarska, kao značajna turistička destinacija na hrvatskoj obali, suočava se s povećanim opterećenjem na svoje

infrastrukturne kapacitete, posebno tijekom ljetnih mjeseci. To je dodatno naglašeno uslijed utjecaja klimatskih promjena na varijabilnost oborina, kojih, iako karakteristično za mediteransku klimu, ima relativno malo u ljetnim mjesecima, njihova frekvencija, ali još važnije intenzitet, zadnjih godina je značajno uvećan. Time se povećava rizik od urbanih poplava [2], a u ovakvim gradovima može i koincidirati s obalnom poplavom [3].

1.1 Opis postojećeg stanja

Sustav odvodnje za cijelo područje grada Makarske, odnosno aglomeracije Makarska, temelji se na kombinaciji gravitacijskih kanala i tlačnih cjevovoda, koji omogućavaju prikupljanje i transport otpadnih voda prema Uređaju za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) smještenom na poluotoku Sv. Petar (Slika 2).

Sustav javne odvodnje je razdjelnog tipa, što znači da su fekalne i oborinske vode odvojeno riješene, čime se smanjuje opterećenje sustava u uvjetima normalnog rada.



Slika 2 Postojeći sustav odvodnje aglomeracije Makarska [4]

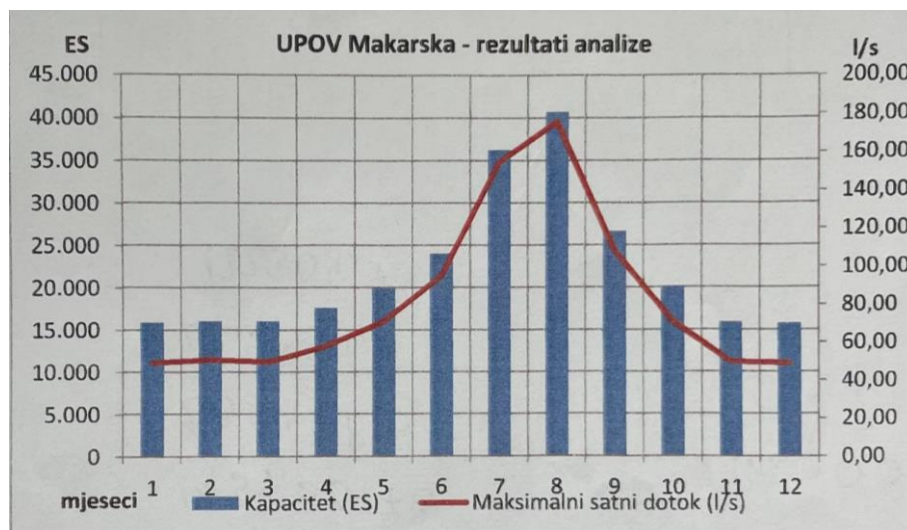
U starom dijelu grada Makarske postoji značajan problem ilegalnih priključaka oborinskih voda na javni sustav odvodnje. Ovi priključci uzrokuju preopterećenje sustava tijekom obilnih oborina, što dovodi do incidentnih situacija i poremećaja u radu sustava odvodnje [4].

Crpne stanice unutar sustava uključuju CS Marineta, CS Biokovka i CS Pliševac. CS Biokovka, smještena u zapadnom dijelu grada, opremljena je s dvije pumpe kapaciteta 27 l/s, koje rade u režimu 1+1 (jedna pumpa radna, druga rezervna). Ova crpna stanica prebacuje otpadne vode zapadnog dijela grada, uključujući područje između Hotela Dalmacija i teniskih terena, prema CS Pliševac. Nedavno pušteni u rad turistički kompleks "Romana" također gravitira prema slivnom području ove crpne stanice [4].

CS Marineta, smještena na istočnom dijelu grada, opremljena je s dvije pumpe kapaciteta 57 l/s, koje također rade u režimu 1+1. Ova crpna stanica prikuplja otpadne vode istočnog dijela grada, uključujući područja oko samostana, Sportskog centra, trgovačkog centra i Marinete, te ih prebacuje prema CS Pliševac.

Sve fekalne otpadne vode iz ovih crpnih stanica prikupljaju se gravitacijski i tlačno u crpni bazen glavne crpne stanice - CS Pliševac. Ova stanica, opremljena s tri pumpe različitih kapaciteta (dvije pumpe s nominalnim protokom od 200 l/s i jedna s protokom od 150 l/s), pumpa otpadne vode tlačnim cjevovodom promjera 450 mm i dužine 318 m do UPOV-a na poluotoku. Nakon pročišćavanja, efluent se gravitacijski, kroz dozažni bazen, ispušta u more preko podmorskog ispusta promjera 500 mm, do dubine od oko 70 metara [4].

Vidljiva je sezonalnost opterećenja na uređaj Makarske (Slika 3). Vršno opterećenje je definirano u mjesecu kolovozu – 40.700 ES i maksimalni satni dotok od 176,01 l/s [5].



Slika 3 Maksimalni satni dotok i planirani Ekvivalent stanovnici po mjesecima za UPOV Makarska [5]

U sklopu daljnjeg razvoja, planira se modernizacija i proširenje kapaciteta postojećih crpnih stanica, kako bi se zadovoljili rastući zahtjevi urbanizacije i turizma u istočnom dijelu Makarske.

1.2 Struktura diplomskog rada

Diplomski rad je strukturiran tako da prati slijed zadatka. Uz opis postojećeg stanja sustava odvodnje (potpoglavljje 1.1), uvodno poglavljje 1. objašnjava cilj i motivaciju izrade rada. Cilj diplomskog rada je istražiti količine oborina i fekalija koje se generiraju na području istočne Makarske kako bi se utvrdilo opterećenje koje treba preuzeti sustav odvodnje, što se postiže kroz primjenu hidroloških metoda analize oborina (potpoglavljje 3.1.), procjenu geometrijskih karakteristika sliva za primjenu SCS (Soil Conservation Service) metode i izračun velikih voda (potpoglavljje 3.2). Završno, izrađuje se procjena fekalnog opterećenja na osnovi demografskih i industrijskih podataka, s naglaskom na utjecaj turizma (potpoglavljje 3.3.).

Kroz poglavljje 2. metodologije objašnjavaju se koraci od prikupljanja relevantnih podataka, detaljan opis primijenjenih analiza vremenskih serija oborina u potpoglavljju 2.3., izrada ITP (Intenzitet oborine – Trajanje – Ponavljanje) krivulja (2.3.1.), te proračun bujičnih protoka primjenom SCS metode (potpoglavljje 2.4.). Fekalno opterećenje se izračunava u skladu s metodom ekvivalenta stanovnika i pripadajućih jediničnih količina otpadne vode, temeljem podataka o demografiji, industriji i turizmu (potpoglavljje 2.5.).

Zaključno, u ovom diplomskom radu analizirani su podaci o oborinama te hidrološke karakteristike slivova bujica u svrhu procjene maksimalnih protoka oborinskih voda. Zajedno s procjenom fekalnog opterećenja temeljenog na demografskim i industrijskim podacima, provedena analiza pruža sveobuhvatan uvid u izazove s kojima se suočava kanalizacijski sustav istočne Makarske.

2. METODOLOGIJA

2.1. Karakteristike interesne lokacije

Područje Makarske karakterizira krški reljef, koji je tipičan za Dinaride i obalu Jadranskog mora. Krški reljef obuhvaća raznolike geomorfološke oblike nastale procesima erozije vode u vapnenačkom tlu. Kada je riječ o karakteristikama krškog reljefa u Makarskoj treba navesti sljedeće [6]:

- Kamenita litica i stjenoviti vrhovi: krški reljef u Makarskoj obiluje stjenovitim liticama i strmim vrhovima. Ti stjenoviti oblici često se pojavljuju duž obale i na padinama planine Biokovo.
- Škrape: škrape su tipičan oblik krškog reljefa, koji se sastoji od plitkih ili dubokih udubljenja u vapnenačkoj podlozi. Ti oblici mogu biti rezultat erozije ili otapanja kamenja vodom.
- Doline: doline su depresije u krškom reljefu koje su nastale otapanjem vapnenca i erozijom. Mogu biti različitih veličina i oblika te su često naseljena ili korištena za poljoprivredne svrhe.
- Špilje i jame: krški reljef u Makarskoj poznat je po svojim brojnim špiljama i jamama koje su rezultat dugotrajne erozije vode u vapnenačkim stijenama. Neke od tih špilja su turističke atrakcije, a druge su nepristupačne i istražene samo od strane speleologa.
- Ponor: ponor je karakterističan oblik krškog reljefa u kojem se površinske vode urušavaju u podzemne kanale. Ovi ponori često igraju ključnu ulogu u hidrološkom sustavu krša, preusmjeravajući vodu u podzemne tokove.

Krški teren karakterizira mnoštvo pukotina te raspucanost zbog koje dolazi do brzog gubitka vode u podzemlju. Upravo zbog toga krš je siromašan površinskim, a bogat podzemnim vodama. Krški vodonosnik sadrži općenito duboke podzemne vode, čije se prihranjivanje vrši uglavnom oborinama. Tok vode uglavnom je turbulentan. Često je sifonsko tečenje. Izvori su jako promjenjive izdašnosti. Brzina toka podzemne vode je velika, pa je mala mogućnost samopročišćavanja vodonosnika, dok je širenje onečišćenja veliko. S obzirom na stalnost pojave krških izvora postoje tri grupe izvora:

- povremeni izvori – karakterizira ih nepostojanost stalne izdašnosti tijekom cijele godine
- stalni izvori - vezani su za sustave kanala i pukotina u kršu ispod razine vode
- podmorski izvori – vezani su za podzemne krške kanale ispod mora.

Primjeri krških izvora su vrela, estavele i vrulje. Vrela, koje karakterizira izbijanje podzemne vode na površinu, služe kao najbolja ilustracija stalnog izvora vode. Mogu biti silazna ili uzlazna. Nasuprot tome, estavele imaju dvostruku svrhu u krškim krajolicima. Tijekom sušnog razdoblja funkcioniraju kao ponornice, dok se u kišnom razdoblju, kada razina vode poraste, pretvaraju u izvore. Obično se nalaze na periferiji kraških polja. Estavele su primjer povremenog izvora vode. Vrulje su izvori ispod razine mora. Njihova je prisutnost vizualno vidljiva kroz prepoznatljive kružne formacije koje su u oštrom kontrastu s okolnim terenom. One predstavljaju fenomen podvodnog izvora te se razlikuju od boćatih izvora [8].

Osnovne klimatske karakteristike (Temperatura zraka i oborine)

Klimatske karakteristike nekog područja uvjetovane su prvenstveno geografskim položajem i orografijom okoline, a zasnivaju se na dugogodišnjim motrenjima i mjerenjima meteoroloških elemenata na postojećim meteorološkim postajama.

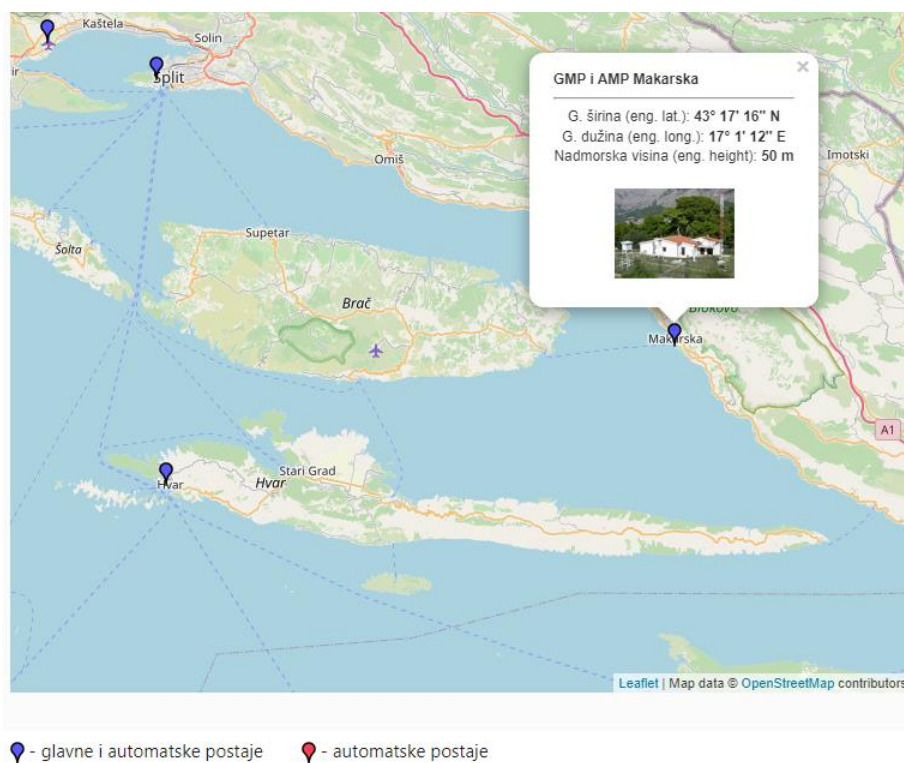
Srednje mjesečne temperature pozitivne su tijekom cijele godine. Mjesečni maksimum temperature zabilježen je u srpnju i iznosi 40 C, a mjesečni minimum zabilježen je u siječnju te iznosi -5 C [4].

Kako je snijeg vrlo rijetka pojava na području Makarske, najveću količinu oborina čini kiša. Oborine su nejednoliko raspoređene tijekom godine. Najviše oborina zabilježeno u mjesecu studenom (192,5 mm), dok je najsuši mjesec srpanj (22,4 mm). Srednja godišnja količina oborine iznosi 845 (mm), a najveća dnevna količina oborine od 143 (mm), izmjerena u listopadu, veća je od pojedinačnih srednjih mjesečnih vrijednosti oborine. Iz navedenih podataka može se zaključiti da u istraživanom području prevladava mediteranska klima suhih i vrućih ljeta te blagih zima [4].

2.2. Ulazni podatci

Ulazni podatci odnose se na oborine, bujice, visine terena, te vrstu zastupljenih djelatnosti u istočnom dijelu grada Makarske. Na temelju zahtjeva upućenog Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ) dobiveni su „sirovi“ podatci o satnim količinama oborina u milimetrima po kvadratnom metru za područje Makarske za razdoblje od 2003. do 2023. godine. Treba napomenuti da nedostaju podatci o oborinama za razdoblje od 2007. do 2012. i za 2017. godinu. Analiza podataka o oborinama u istaknutom promatranom razdoblju uključuje konstruiranje

hijetograma i analiziranje intenziteta kiše. Glavna meteorološka postaja u Makarskoj, prikazana na slici 4, služi kao izvor podataka o izmjerenim količinama oborina za ovo područje [9].



Slika 4 Glavna meteorološka postaja Makarska

Za mjerenje količine oborina koristi se pluviometar (kišomjer ili ombrometar). Taj se uređaj sastoji od tri glavne komponente: vanjskog cilindričnog spremnika, lijevka i unutarnjeg spremnika, također poznatog kao kolektor. Gornja strana vanjskog spremnika opremljena je točno definiranim otvorom, tipične veličine 200 cm². Kišnica skupljena u unutarnjoj posudi zatim se ulijeva u čašu koja ima milimetarske podjele za mjerenje visine oborine [10]. Pluviometri su ključni instrumenti u meteorologiji, hidrologiji i klimatologiji. Omogućavaju sljedeće:

- praćenje vremenskih obrazaca i kišnih sezona
- analizu klimatskih promjena
- upravljanje vodnim resursima
- prognoziranje poplava i drugih hidroloških događaja.



Slika 5. Primjer pluviometra postavljenog na otvorenom prostoru [11]

Pravilno postavljanje i održavanje pluviometra su ključni za točna mjerenja. Pluviometar treba biti postavljen na otvorenom prostoru, daleko od prepreka poput zgrada i drveća.

Što se tiče bujica, za tri relevantne bujice i pripadajuće slivove na srednjem i istočnom dijelu Makarske korišteni su podatci iz geoportala Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, odnosno portala koji omogućuje pristup prostornim informacijama [12]. Za određivanje visine terena također su korišteni podatci iz istog geoportala.

Bujica je prirodni vodotok koji se nalazi u planinskim područjima koji ima povremen tok i ima strmu padinu, što uzrokuje kretanje i nakupljanje sedimenta. Ti se vodotoci obično formiraju na izloženim padinama koje su sklone eroziji. Tijekom obilnih oborina bujica se brzo spušta niz padine noseći sa sobom zemlju i kamenje. Dok napreduje kroz svoj srednji tok, erodira okolna brda. Kada bujica dođe do doline, njezino se korito širi, a nagib se smanjuje, što rezultira taloženjem sedimenta u obliku naplavina. Razorna sila bujične erozije može oštetiti planinske krajolike, kao i negativno utjecati na ljudska naselja, prometnu infrastrukturu i poljoprivredna područja zbog bujičnih poplava. Kako bi se ublažili ti štetni učinci, provode se građevinski projekti unutar korita bujice i provode se naponi za pošumljavanje [13].

Pod slivom se, pak, podrazumijeva područje u kojem se sve vode skupljaju i teku prema određenom vodnom tijelu, poput mora, oceana ili jezera. Sliv se sastoji od više manjih porječja [14].

Ulazni podatci obuhvaćaju i stanovništvo Makarske, a za to su korišteni podatci Državnog zavoda za statistiku (DZS), i to podatci o broju stanovništva na temelju provedenih popisa

stanovništva 2001. i 2011. godine [15]. Postupak izračuna opterećenja otpadnih voda temelji se na prikupljanju podataka o broju stanovnika i turista. Izračunata je količina otpadnih voda na temelju demografskih podataka u posljednjih 25 godina te analize trenda porasta broja turista.

Makarska, kao turističko orijentiran grad, ima relativno malo industrijskih djelatnosti u usporedbi s većim urbanim centrima. Industrijske djelatnosti koje se nalaze u Makarskoj su građevinska industrija (Makarska ima nekoliko građevinskih firmi i tvrtki koje se bave proizvodnjom građevinskog materijala, izgradnjom i renoviranjem.) i prehrambena industrija (u Makarskoj postoji nekoliko manjih pogona za preradu hrane, pekara, te proizvodnju i distribuciju lokalnih prehrambenih proizvoda) [16].

2.3. Analiza vremenskih serija oborina

Na temelju podataka o oborinama na području Makarske u promatranom razdoblju izrađen je godišnji hijetogram oborina. Promatrano razdoblje je od 2003. do 2023. godine, s naglaskom da nedostaju podatci o oborinama za razdoblje od 2007. do 2012. i za 2017. godinu. Meteorološke karakteristike Makarske, smještene na jadranskoj obali, značajno su oblikovane njezinim mediteranskim klimatskim uvjetima. Područje Makarske karakteriziraju topla i suha ljeta te blage i vlažne zime. Analizom satnih podataka o oborinama i izradom godišnjih hijetograma može se uočiti značajna varijabilnost u količinama oborina od godine do godine. Ta varijabilnost može biti uzrokovana različitim meteorološkim i klimatskim čimbenicima, uključujući promjene u atmosferskim cirkulacijama, prisutnost ciklona i anticiklona te lokalne geografske osobitosti.

Prema prikupljenim i analiziranim podacima može se zaključiti da su pojedine godine obilovale oborinama, dok su druge bile sušnije. Takvi podatci su od važnosti za razumijevanje klimatskih obrazaca i njihova utjecaja na okoliš, poljoprivredu i gospodarstvo makarskog područja. Primjerice, razdoblja s povećanom količinom oborina mogu dovesti do poplava i erozije tla, dok sušna razdoblja mogu izazvati suše koje negativno utječu na poljoprivrednu proizvodnju i opskrbu vodom.

Korištenje hijetograma kao vizualnog alata omogućava jednostavniji pregled i interpretaciju podataka, što olakšava identificiranje dugoročnih trendova i ekstremnih događaja. Hijetogrami su konstruirani kroz višefazni proces analize podataka o oborinama. U prvom koraku, satni podatci o količinama kiše prikupljeni tijekom promatranog razdoblja su sakupljeni na mjesečnoj razini. Ovaj korak uključuje sumiranje svih zabilježenih satnih količina oborina za svaki pojedini mjesec, čime

se dobivaju kumulativni mjesečni iznosi. Time su prikazani hijetogrami koji odražavaju ukupne količine oborina za svaku godinu unutar analiziranog skupa podataka. Usporedba s višegodišnjim prosjekom može pružiti dodatne uvide u dugoročne klimatske trendove i varijabilnost oborina. Tako su na temelju analiziranih podataka o oborinama za promatrano razdoblje na području Makarske konstruirani hijetogrami te su utvrđeni trendovi promjena i intenziteti oborina.

Teorijske distribucije služe za detaljno opisivanje varijacija u nizovima podataka, identifikaciju izuzetaka (outliera), te omogućuju preciznu procjenu rizika i predviđanje ekstremnih događaja. U sklopu ovog rada, analizirane su distribucije oborina na makarskom području tijekom dostupnog razdoblja mjerenih podataka kako bi se odabrala najprikladnija distribucija za opisivanje ovih pojava [17].

Gumbelova raspodjela, ili raspodjela ekstremnih vrijednosti tipa 1 (EV1), korištena je za modeliranje ekstremnih oborina i analizu rijetkih, ali značajnih meteoroloških događaja. Ova raspodjela posebno je pogodna za predviđanje maksimalnih godišnjih oborina, jer omogućuje procjenu vjerojatnosti pojave ekstremnih vrijednosti temeljenih na povijesnim podacima. Gumbelova raspodjela koristi dva glavna parametra: srednju vrijednost i standardnu devijaciju ekstremnih vrijednosti. Srednja vrijednost označava centralnu tendenciju ekstremnih oborina, dok standardna devijacija mjeri raspon ili varijaciju tih vrijednosti. Korištenjem Gumbelove raspodjele može se izračunati vjerojatnost da će oborine u određenoj godini nadmašiti određenu prag vrijednost, što je ključno za procjenu rizika od ekstremnih meteoroloških događaja i za planiranje infrastrukture otpornije na velike oborine [18].

Normalna raspodjela, također poznata kao Gaussova raspodjela, koristi se za analizu podataka koji su simetrično raspoređeni oko srednje vrijednosti. Za maksimalne oborine, srednja vrijednost i standardna devijacija izračunate su kako bi se prikazala klasična Gaussova krivulja. Ova raspodjela pomaže u procjeni vjerojatnosti da će oborine u određenoj godini biti iznad ili ispod određene vrijednosti, premda možda nije najprikladnija za ekstremne vrijednosti [19].

Log-normalna raspodjela koristi log-transformirane podatke kako bi obradila podatke s pozitivnim pomakom i nelinearnim distribucijama. Ovo je korisno kada ekstremne oborine pokazuju pozitivnu asimetriju, što znači da su velike vrijednosti rjeđe, ali prisutne. Ova raspodjela omogućuje procjenu vjerojatnosti za oborine koje nadmašuju određene logaritamski transformirane vrijednosti [19].

Empirijska raspodjela temelji se izravno na prikupljenim podacima i predstavlja stvarnu distribuciju oborina bez pretpostavki o obliku raspodjele. Ova metoda vizualizira stvarnu raspodjelu oborina i omogućuje procjenu vjerojatnosti za različite raspone oborina temeljem stvarnih opažanja [19].

Analizom ovih raspodjela, posebno Gumbelove raspodjele, može se detaljno razumjeti kako se ekstremne oborine distribuiraju i procijeniti vjerojatnost nastanka oborina iznad određenih pragova [19]. Različite distribucije vjerojatnosti nude različite pristupe u modeliranju učestalosti i intenziteta oborina, a njihov odabir ovisi o specifičnostima promatranog fenomena. U ovom istraživanju, korištene su četiri distribucije: empirijska, normalna, Gumbelova i log-normalna raspodjela, što je prikazano na slici 31. Normalna raspodjela, često korištena kao standard za usporedbu s drugim raspodjelama, ima široku primjenu u hidrologiji. Gausova (normalna) funkcija gustoće vjerojatnosti najčešće se koristi za prilagodbu simetričnih empirijskih raspodjela hidroloških varijabli, analizu slučajnih pogrešaka, usporedbu s drugim raspodjelama, te za razne vrste statističkih zaključivanja. Također, normalna distribucija služi za generiranje uzoraka kroz simulaciju normalno raspodijeljenih slučajnih brojeva. Log-normalna raspodjela koristi se za analizu ekstremnih vrijednosti varijabli poput maksimalnih dnevnih oborina, dok se Gumbelova raspodjela primjenjuje za modeliranje raspodjele maksimuma (ili minimuma) unutar određenog skupa podataka, što je ključno za predviđanje vjerojatnosti ekstremnih događaja poput poplava ili drugih prirodnih katastrofa [17].

2.3.1. Konstrukcija ITP krivulja za Makarsku

Za analizu ekstremnih oborina na području Makarske korištena je Generalizirana distribucija ekstremnih vrijednosti (GEV - Generalized Extreme Value Distribution), koja uključuje tri osnovna tipa distribucija: Gumbelovu (Tip 1), Frechetovu (Tip 2) i Weibullovu (Tip 3). GEV distribucija primjenjuje se u meteorološkoj i hidrološkoj praksi za modeliranje godišnjih maksimuma intenziteta oborina, pod uvjetom da su dostupni podatci dovoljno dugi i da se pojedini događaji unutar godine mogu smatrati međusobno nezavisnima [21].

U kontekstu predmetne hidrološke analize sliva, oborine su mjerene na meteorološkoj stanici u Makarskoj, a odgovarajuće ITP krivulje izrađena je u sklopu diplomskog rada. Za određivanje intenziteta oborina korišteni su satni podatci prikupljeni putem automatske meteorološke stanice. Serija podataka prikupljena tijekom 15-godišnjeg razdoblja korištena je za procjenu kratkotrajnih

intenziteta oborina za različite povratne periode, uz primjenu EV1 distribucije. GEV distribucija i njezini specifični oblici (Gumbelova, Fréchetova i Weibullova) pokazali su se kao izuzetno učinkoviti alati za modeliranje ekstremnih oborina. Od navedenih specifičnih oblika za analizu primijenjena je Gumbelova razdioba (EV1) kako bi se, na temelju dostupnih mjerenih podataka oborina, uspostavila odgovarajuća distribucija te odredile vrijednosti kumulativne funkcije distribucije. To je omogućilo procjenu vjerojatnosti i intenziteta oborina za različita trajanja kišnih događaja. Vjerojatnost pojave (p) ekstremnih događaja povezana je s povratnim periodom (PP), koji se računa kao inverzna vrijednost vjerojatnosti ($1/p = PP$), što omogućuje konstrukciju ITP krivulje (Intenzitet-Trajanje-Ponavljjanje) [21].

PDF (Probability Density Function) daje uvid **kolika je vjerojatnost** da nasumična varijabla poprimi određenu vrijednost, a CDF (Cumulative Distribution Function) daje uvid **kolika je vjerojatnost** da varijabla ne prijeđe određenu vrijednost [22].

Gumbelova funkcija distribucije ima sljedeći oblik:

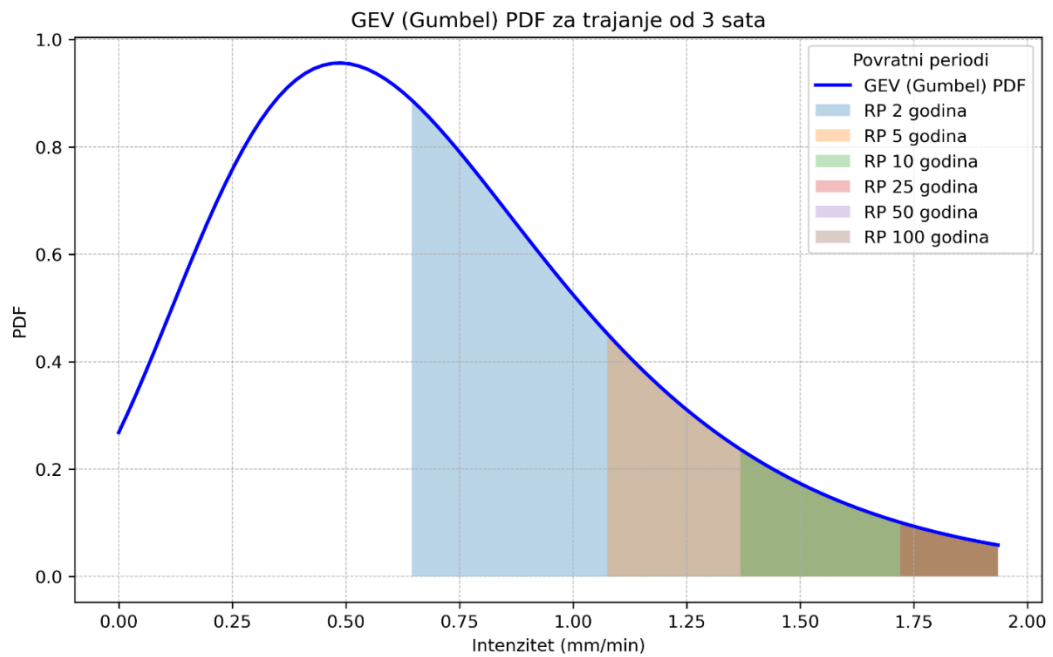
- PDF:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma} - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (1)$$

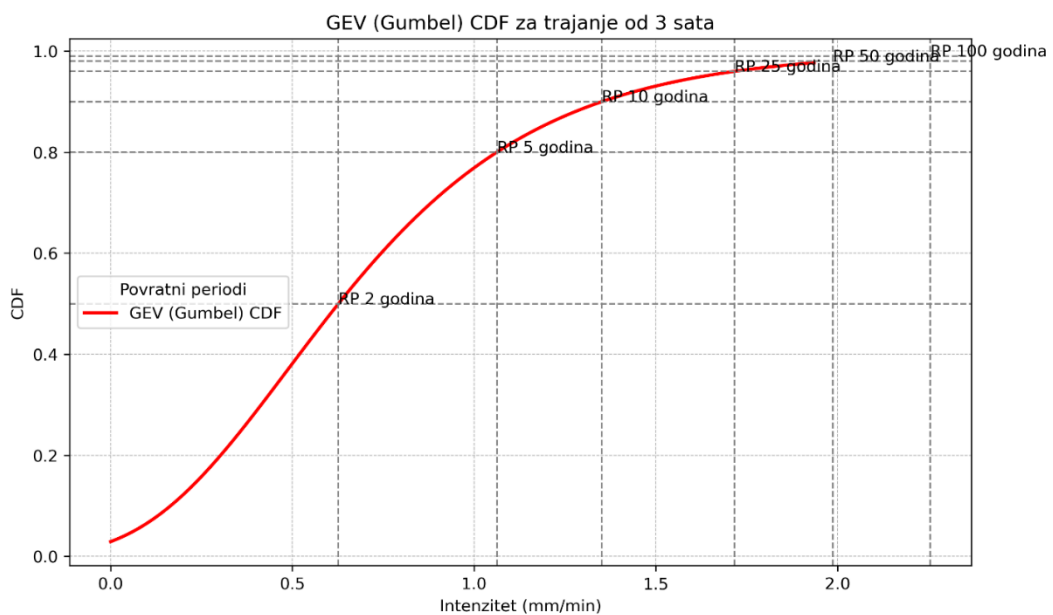
- CDF:

$$F(x; \mu, \sigma) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (2)$$

Gumbelova distribucija primjenjuje se na godišnje maksimume intenziteta oborina za različita trajanja kišnih događaja. U ovom radu, analizirani su intervali trajanja oborina od [1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24] sati, koristeći podatke Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) za područje Makarske [22].



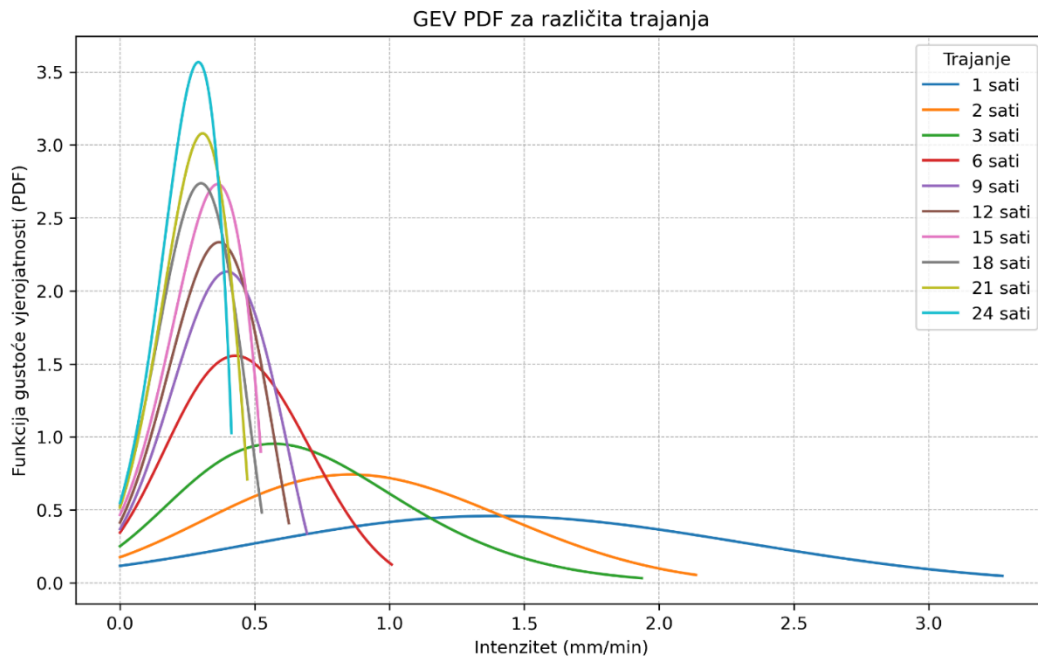
Slika 6 GEV PDF za trajanje od 3 sata i različite povratne periode



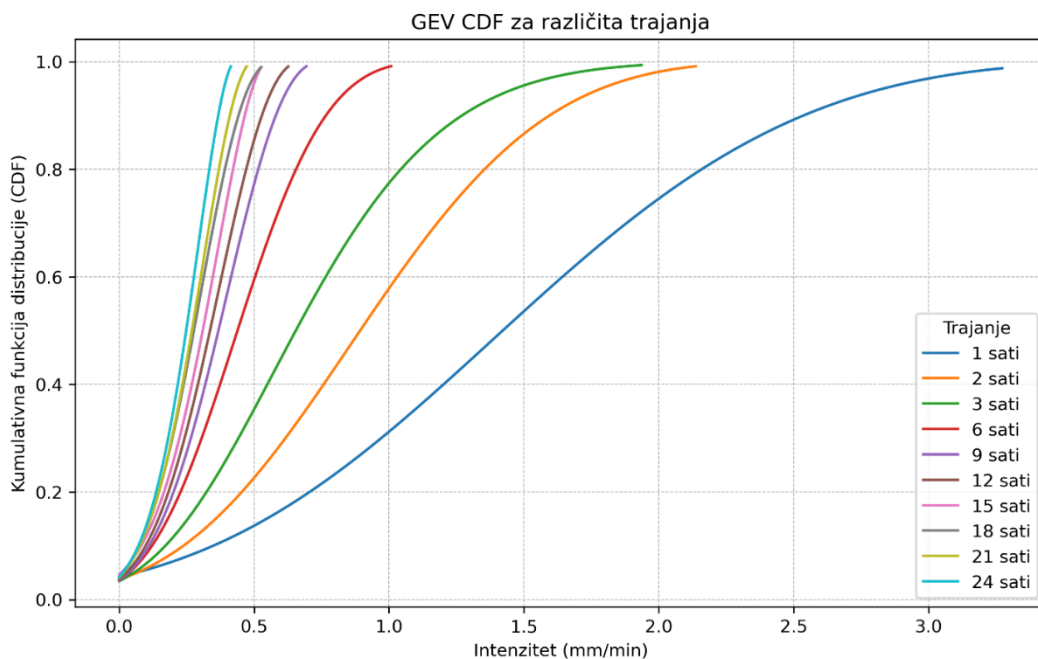
Slika 7 GEV CDF za trajanje od 3 sata i različite povratne periode

Za svaki promatrani interval trajanja tijekom dostupnog razdoblja, određeni su maksimalni intenziteti oborina. Na primjer, za interval od 3 sata, analiza je provedena identificiranjem troosatnog perioda s najvećom ukupnom količinom oborina za svaku godinu, koji se potom podijelio s 180 minuta kako bi se dobio maksimalni intenzitet izražen u mm/min. Ovaj postupak ponovljen je za svaki od analiziranih intervala trajanja i za svaku godinu unutar dostupnog skupa

podataka, čime je dobiven niz maksimalnih intenziteta oborina za svaki vremenski interval. U ukupnom skupu podataka koji obuhvaća razdoblje od 15 godina, dobiven je niz od 15 podataka za svaki od analiziranih intervala trajanja, poput 1 sata, 2 sata, i tako dalje. Na temelju tih 15 podataka za svaki interval trajanja, primijenjena je Gumbelova distribucija (GEV Tip 1) i to je prikazano na slici 8 i 9.



Slika 8 GEV PDF za različita trajanja



Slika 9 GEV CDF za različita trajanja

Nakon prilagodbe Gumbelove distribucije, generirane su krivulje gustoće vjerojatnosti (PDF) i kumulativne distribucije (CDF) za svaki od intervala trajanja. Kumulativna distribucija vjerojatnosti posebno je korisna jer omogućuje očitavanje intenziteta oborina za određene povratne periode. Slike 8 i 9 prikazuju primjer PDF-a i CDF-a, gdje je očitavanje intenziteta na temelju CDF-a značajno lakše i točnije zbog njegove funkcionalnosti u prikazu površina pod krivuljom. Povratni period definira se kao prosječni vremenski interval između događaja iste ili veće magnitude. Na primjer, za povratni period od 5 godina, vjerojatnost pojave kiše u bilo kojoj godini koja je veća od one s povratnim periodom od 5 godina iznosi $1/5 = 0.2$, dok je vjerojatnost pojave kiše manje od te vrijednosti 0.8. Očitavanjem iz CDF krivulje može se dobiti intenzitet oborina za odabrani povratni period i interval trajanja.

2.3.2. Box Plot mjesečnih kumulativnih oborina

Box plot ili "whisker plot" pruža sažet prikaz distribucije kumulativnih oborina za svaki mjesec tijekom promatranog razdoblja. Ovaj dijagram koristi pet ključnih statističkih parametara: minimum, prvi kvartil (Q1), medijan (Q2), treći kvartil (Q3) i maksimum [22].

Pravokutnik (Box): Predstavlja interkvartilni raspon (IQR), koji obuhvaća srednjih 50% podataka između Q1 i Q3. Ovaj raspon pokazuje gdje se nalazi najveći dio podataka i pruža uvid u varijacije unutar mjeseca. Medijan: Horizontalna linija unutar pravokutnika označava medijan, koji dijeli podatke na dva jednaka dijela i predstavlja srednju vrijednost kumulativnih oborina. Whiskers: Linije koje izlaze izvan pravokutnika pokazuju raspon podataka unutar 1.5 puta visine IQR od Q1 (donja linija) i Q3 (gornja linija). Ove linije označavaju granice unutar kojih se nalaze većina podataka. Outlieri: Točke izvan linija, označene plavom bojom, predstavljaju ekstremne vrijednosti ili outlieri. Ove točke ukazuju na izuzetno visoke ili niske kumulativne oborine koje su izvan uobičajenog raspona [24].

Interkvartilni raspon (IQR) je mjera raspršenosti podataka u skupu koji se koristi za opisivanje širine distribucije podataka. Definira se kao razlika između gornjeg kvartila (Q3) i donjeg kvartila (Q1). Kvartili su vrijednosti koje dijele uređeni niz podataka na četiri jednaka dijela, a njihov smisao je pružiti pregled raspodjele podataka [23].

Kvartili su specifične vrijednosti u skupu podataka koje dijele raspon podataka u četiri jednaka dijela: Donji kvartil (Q1): Donji kvartil dijeli prvi kvartil (25% podataka) od ostatka niza. To je vrijednost ispod koje se nalazi najmanje 25% podataka. Drugim riječima, barem 25% podataka je manji ili jednak donjem kvartilu, dok barem 75% podataka nadmašuje ovu vrijednost.

Gornji kvartil (Q3): Gornji kvartil dijeli prva tri kvartila (75% podataka) od posljednje četvrtine niza. To je vrijednost ispod koje se nalazi najmanje 75% podataka. Drugim riječima, barem 75% podataka je manji ili jednak gornjem kvartilu, dok barem 25% podataka nadmašuje ovu vrijednost. Interkvartilni Raspon (IQR): Izračunava se kao razlika između gornjeg i donjeg kvartila ($IQR = Q3 - Q1$). Ova mjera pokazuje raspon srednjih 50% podataka, isključujući ekstremne vrijednosti (outliere). IQR je koristan za razumijevanje varijabilnosti podataka i za identifikaciju ekstremnih vrijednosti koje se nalaze izvan uobičajenog raspona [25].

Primjena IQR-a uključuje prepoznavanje i analiza distribucije podataka, što omogućava istraživačima da bolje razumiju raspršenost podataka i uoče potencijalne ekstremne vrijednosti koje mogu utjecati na rezultate analize.

Box plot omogućava uvid u distribuciju oborina i uočavanje sezonskih i godišnjih odstupanja. Na primjer, ako se u određenom mjesecu identificira outlier, može se analizirati koja godina odgovara toj ekstremnoj vrijednosti, što pomaže u razumijevanju izvanrednih klimatskih događaja. Box plot pomaže u razumijevanju raspodjele oborina, naglašavajući kako su ekstremne vrijednosti rijetke i kako se većina podataka nalazi unutar očekivanih raspona [25].

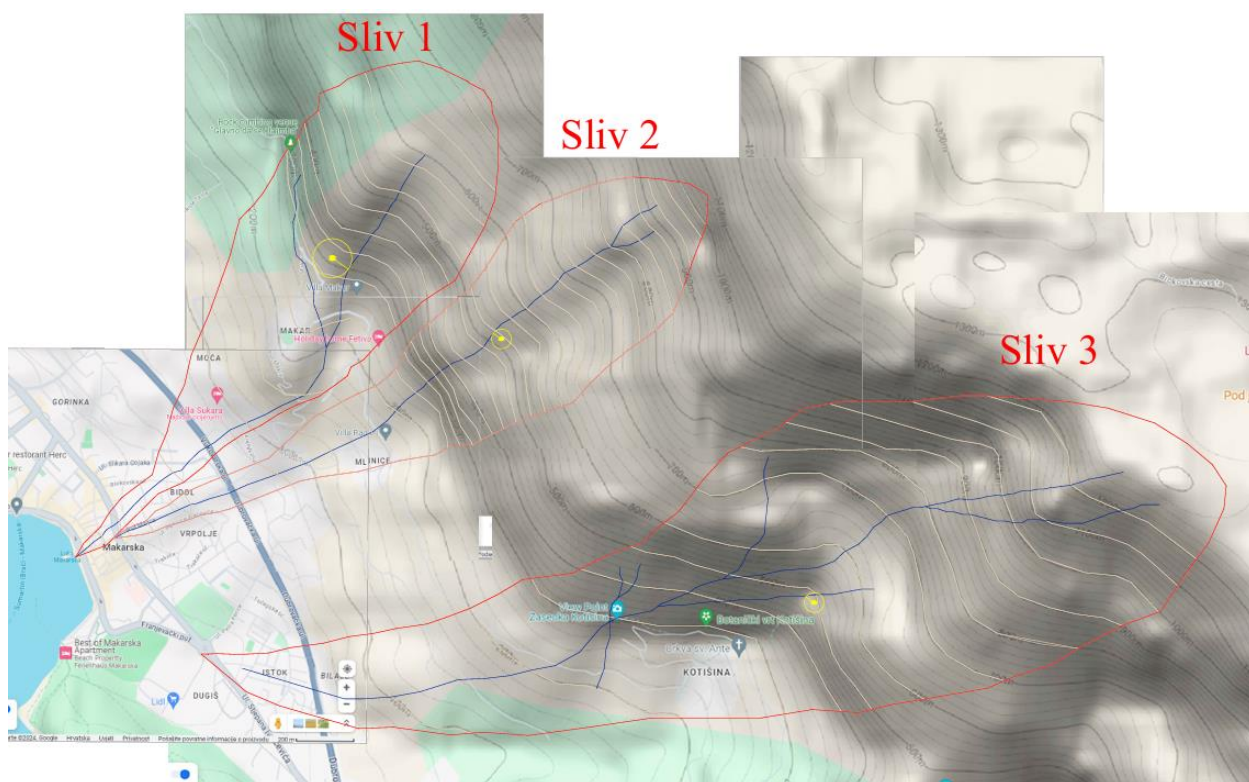
Na slici 33 su prikazane kumulativne mjesečne oborine za promatrani niz godina. Ova slika pruža detaljan uvid u varijacije količine oborina tijekom godina, s posebnim naglaskom na sezonske promjene i ekstremne događaje.

2.4. SCS metoda

2.4.1. Analiza geometrije sliva

Na temelju topografske karte prikazane na slici 1. koja je uključivala prikaz bujica i reljefnih obilježja područja Makarske određena je površina sliva.

SCS metoda omogućuje postupak modeliranja sliva, definira sve potrebne parametre, a zatim koristi sintetički jedinični hidrogram za formiranje hidrograma direktnog otjecanja, a time i mjerodavnih protoka na promatranom profilu $H_{\min}=1,5$ m n.m. za sliv 1 i sliv 2, te $H_{\min}=2,5$ m n.m. za sliv 3. Lokacija podjele sliva u srednjem i istočnom dijelu Makarske prikazana je na slici 10.



Slika 10 Prikaz podjele područja na tri sliva

Prema topografskoj karti mjerila 1:5 000 površina pripadnog orografskog slivnog područja Makarske do odabranog izlaznog profila na visini $H_{\min}=1,5$ m n.m, iznosi $A=19$ km².

Dakle, korištenjem AutoCAD-a izmjerena je površina sliva te podijeljena na tri zasebna sliva, što je omogućilo detaljniju analizu i uvažavanje specifične geomorfologije makarskog područja. Na temelju prikupljenih podataka i provedenih proračuna konstruirane su hipsometrijske krivulje za sliv 1 (slika 22), sliv 2 (slika 23) i sliv 3 (slika 24) u poglavlju 4.2.1.

Za izračunavanje srednjih visina slivova, korištene su sljedeće oznake i formule:

OZNAKE ZA FIZIKALNE VELIČINE

Površina sliva: $A[km^2]$

Opseg sliva: $O[km]$

Srednja visina sliva: $H_{sr}[m]$

Kota izlaznog profila: $H[m]$

Udaljenost od težišta do izlaznog profila: $U [km]$

FORMULE ZA IZRAČUNAVANJE

Koeficijent koncentriranosti sliva:
$$K = \frac{2A}{OU} \quad (3)$$

Odnos fiktivne duljine i fiktivne širine:
$$A(\text{transf.}) = \frac{L}{L_w} \quad (4)$$

Fiktivna duljina:
$$L = \sqrt{\frac{A(2 - K)}{K}} \quad (5)$$

Fiktivna širina:
$$L_w = \sqrt{\frac{AK}{2 - K}} \quad (6)$$

Prosječni pad sliva:
$$J = \frac{2(H_{sr} - H)}{L} \quad (7)$$

Koristeći prikazane formule koje omogućuju precizno određivanje srednjih visina na temelju relevantnih visinskih parametara, izračunate su na temelju maksimalnih i minimalnih visinskih razlika unutar svakog sliva. Izračunate srednje visine slivova prikazane u tablicama 4., 5. i 6. u poglavlju 4.2.1. je 375 m n.m. za sliv 1, 556 m n.m. za sliv 2, i 670 m n.m. za sliv 3.

2.4.2. Opis SCS metode

U slučajevima kada je potrebno odrediti vršne protoke za pojave velikih voda na slivovima, za koje ne postoje dostupni mjereni podatci, javlja se značajan problem. Ova situacija nije neuobičajena jer je prikupljanje potrebnih podataka često preskupo ili tehnički neizvedivo. Osim

toga, hidrološka mreža mjerenja u određenim područjima može biti vrlo nerazvijena, što otežava prikupljanje podataka. U takvim slučajevima, formiranje modela za analizu temelji se na geološko-fizičkim karakteristikama sliva. Budući da ne postoji posredno mjerenje koje može poslužiti za razvoj modela koji se može kalibrirati na osnovi empirijskih podataka, SCS metoda (engl. *Soil Conservation Service – SCS*) postaje ključan alat.

Kao funkcija kumulativnih oborina i raspoloživog kapaciteta podzemne retencije sliva, SCS metoda pruža pouzdan pristup procjeni hidrološke aktivnosti promatranih bujica. Navedene karakteristike povezane su s empirijskim funkcijama specifičnim za određeno područje, što omogućuje procjenu i formiranje hidrograma direktnog otjecanja, koji se koristi u različite svrhe, ponajviše za procjenu potrebne zaštite od velikih voda [26].

Kako je istaknuto, SCS metoda omogućuje upravo opisani postupak modeliranja sliva. Ona određuje potrebne parametre i koristi sintetički jedinični hidrogram za formiranje hidrograma direktnog otjecanja, čime se određuju mjerodavni protoci na promatranom profilu.

Prema iskustvenim spoznajama i dugogodišnjem praćenju ponašanja velikih voda na malim slivovima vrlo pogodnom se pokazala SCS metoda. Hidrolozi Službe za očuvanje tla Američkog odjela (US SCS) za poljoprivredu razvili su prije četiri desetljeća metodu izravnoga (efektivnog) otjecanja kao funkciju kumulativnih oborina i raspoloživoga kapaciteta podzemne retencije sliva [26]. SCS metoda temelji se na određivanju broja krivulje CN (engl. *Curve Number*) ovisno o čimbenicima kao što su vrsta pokrova tla, razina izgrađenosti površine i sadržaj vlage u tlu. Broj krivulje, označen kao CN, služi kao sveobuhvatni koeficijent koji obuhvaća procese infiltracije oborine, akumulacije i otjecanja. Taj je broj zapravo koeficijent otjecanja koji uključuje efekte infiltracije, akumulacije te trajanja oborina. SCS metoda empirijski je pristup koji pruža sveobuhvatnu i pouzdanu analizu hidroloških svojstava unutar proučavanog sliva. Do danas je metoda doživjela značajna poboljšanja kako bi zadovoljila posebne hidrološke primjene [27].

SCS metoda polazi od poznate činjenice da na malome slivu za vrijeme dugotrajne kiše kumulativno otjecanje s porastom vremena postaje jednako kumulativnoj oborini. Razlika između kumulativne oborine P i otjecanja P_e u nekoj točki predstavlja višak oborine koji odlazi u podzemnu retenciju sliva ograničenoga kapaciteta (8). Maksimalni kapacitet podzemne retencije se prikazuje oznakom S . Ako se pretpostavi da ne postoji početni gubitak I_a (gubitak prije početka površinskog otjecanja), tada u svakom trenutku vremena vrijedi sljedeća relacija [27]:

$$\frac{P-P_e}{S} = \frac{P_e}{P} \quad (8)$$

gdje je:

- $P - P_e$ – trenutno ispunjen kapacitet retencije
- S – maksimalni kapacitet retencije
- P_e – trenutna kumulativna efektivna oborina
- P – trenutna kumulativna oborina, tj. maksimalno potencijalno tečenje.

Obično se prema preporuci SCS metode početni gubitak I_a ne zanemaruje (9), pa se koristi izraz:

$$\frac{P - I_a - P_e}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (9)$$

prema kojemu je efektivna oborina:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a - S} \quad (10)$$

Hidrolozi US SCS smatraju da su parametri I_a i S međusobno zavisni i povezani relacijom $I_a = 0,2S$ u kojoj je potrebno poznavati maksimalni kapacitet retencije S (3). Ovaj parametar nije stalan, već ovisi o prethodnim povijesnim kišama (uvjetima vlažnosti tla). Praktički ne postoji kontinuirana relacija između parametra S i prethodnih uvjeta vlažnosti tla koji se mogu klasificirati u tri razine: niska (I), srednja (II) i visoka (III).

U izrazu za efektivnu oborinu P_e pogodnije je koristiti izraz CN, tj. broj krivulje otjecanja ili hidrološki kompleks pokrova terena nego parametar S .

Međusobni odnos parametara CN i S se može prikazati sljedećom relacijom (11) i (12):

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \quad (11)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (12)$$

Dakle, konačan oblik izraza za efektivnu oborinu glasi (13):

(13)

$$P_e = 25.4 \frac{\left(0.03937 \cdot P - \frac{200}{CN} + 2\right)^2}{0.03937 \cdot P - \frac{800}{CN} - 8}$$

gdje je:

- P – kumulativna oborima u mm
- CN – broj krivulje otjecanja koji se određuje iz tablica koje se mogu naći u hidrološkim priručnicima, a odgovara prosječnim uvjetima vlažnosti (nivo II).

SCS metoda koristi se za određivanje hidrograma proučavanog sliva za različite povratne periode, koji definiraju količinu bruto oborina. Hidrogram prikazuje protok Q (m³/s) vodotoka u odnosu na vrijeme, a njegov oblik ovisi o topografskim i fizičkim karakteristikama slivnog područja, kao što su kapacitet infiltracije, geološki i pedološki sastav, oblik, veličina i nagib sliva, te trajanje, intenzitet i raspodjela oborina na slivu.

Hidrogrami se dijele na prirodne, dobivene izravnim mjerenjima na terenu, i sintetičke, koji su rezultat hidroloških modela. Sintetički hidrogram može uključivati jedinični hidrogram, koji prikazuje direktno otjecanje uzrokovano jediničnom kišom. Jedinični hidrogram temelji se na pretpostavci da se sliv ponaša kao linearan i stacionaran sustav, pri čemu vrijede principi proporcionalnosti i superpozicije. Prema teoriji jediničnog hidrograma, pljusкови iste duljine trajanja na istom slivu rezultiraju hidrogramima koji imaju približno jednake vremenske baze, ordinatama proporcionalnim zapremini efektivne kiše (P_e) te vremenskom razdiobom otjecanja koja je neovisna o prethodnim i budućim kišama [28].

Vrijednost broja krivulje CN se određuje na temelju tri faktora: vegetacijskoga pokrova, načina površinske obrade zemljišta i tipa tla [27]. Prema SCS metodi za hidrološku praksu koriste se sljedeće četiri grupe tla [28]:

- Tip A: najslabiji uvjeti otjecanja (vrlo visok stupanj infiltracije) – dobro propusne naslage, predstavlja duboke, dobro do izrazito dobro dreniranih pijesaka i šljunaka
- Tip B: nešto bolji uvjeti otjecanja nego kod tipa A (visok stupanj infiltracije) – djelomično nepropusne naslage, predstavlja umjereno duboka do duboka, umjereno dobro do dobro drenirana tla s umjerenom finom do umjereno grubom granulacijom
- Tip C: dobri uvjeti otjecanja (srednji stupanj infiltracije) – djelomično propusne naslage, pretežno se sastoji od vrsti tla koja usporavaju infiltraciju
- Tip D: najbolji uvjeti otjecanja (nizak stupanj infiltracije) – nepropusne naslage, čine glinovita tla s velikim potencijalom bubrenja, tla s trajnom visokom razinom podzemne

vode, tla s slojevima gline blizu same površine te plitka tla iznad gotovo nepropusne podloge.

Tablica 1. CN broj za određenu vrstu terena [28]

| Vegetacijski pokriv | Površinska obrada tla | Tip tla | | | |
|----------------------------------|------------------------------|---------|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| Ugar | Ravni redovi | 77 | 86 | 91 | 94 |
| Okopavine | Ravni redovi | 70 | 80 | 87 | 90 |
| (kulture rijetka sklopa) | Obrada po izohipsama | 67 | 77 | 83 | 87 |
| Žitarice | O. po izohipsama + terase | 64 | 73 | 79 | 82 |
| (niske trave) | Ravni redovi | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Leguminoze | Obrada po izohipsama | 62 | 74 | 82 | 85 |
| ili livade u plodoredu | O. po izohipsama + terase | 60 | 71 | 79 | 82 |
| Pašnjaci | Ravni redovi | 62 | 75 | 83 | 87 |
| | Obrada po izohipsama | 60 | 72 | 81 | 84 |
| | O. po izohipsama + terase | 57 | 70 | 78 | 82 |
| | Slabi | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | Normalni | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | Dobri | 39 | 61 | 74 | 80 |
| | O. po izohipsama, slabi | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | O. po izohipsama, normalni | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | O. po izohipsama, dobri | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Livade | Normalne | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Uzgajane šume, lugovi | Niske transpirac. sposob. | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | Normalne transpirac. sposob. | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | Visoka transpiracija | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Salaši | Normalni | 59 | 74 | 82 | 86 |
| Putovi | Meka površina – blatujavi | 72 | 82 | 87 | 89 |
| | Tvrda površina | 74 | 84 | 90 | 92 |
| Šume koje nisu uzgajane–prirodne | Vrlo niska transpiracija | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | Niska transpiracija | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | Normalna transpiracija | 36 | 60 | 70 | 76 |
| | Visoka transpiracija | 26 | 52 | 62 | 69 |
| | Vrlo visoka transpiracija | 15 | 44 | 54 | 61 |
| Nepropusna površina | | 100 | 100 | 100 | 100 |

Za konačnu konstrukciju hidrograma direktnog otjecanja treba odabrati odgovarajući jedinični hidrogram. SCS metoda koristi krivolinijski bezdimenzionalni jedinični hidrogram koji je izveo Victor Mockus 1957. godine (14) i (15). Koordinate toga hidrograma jesu sljedeće:

$$\text{ordinata (protoka):} \quad Y = \frac{q}{q_p} \quad (14)$$

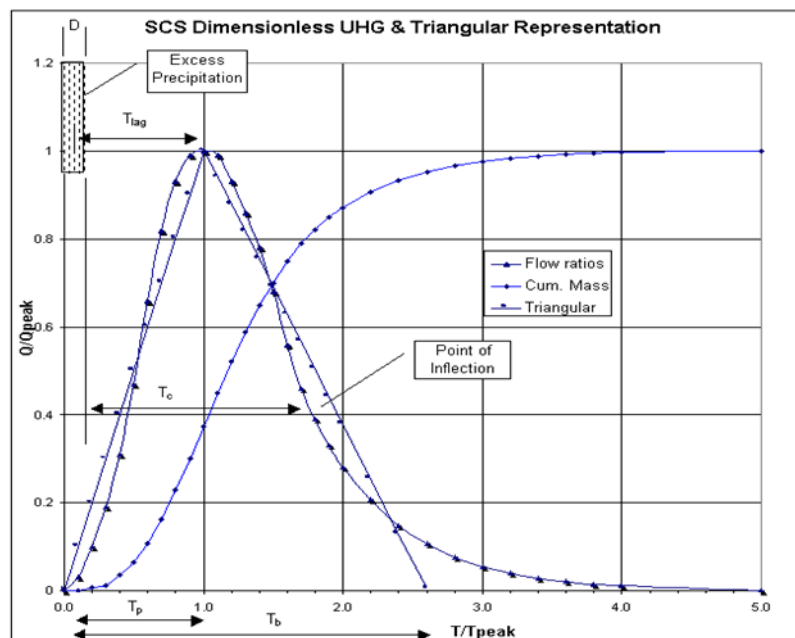
$$\text{apscisa (vrijeme):} \quad X = \frac{t}{t_p} \quad (15)$$

To su bezdimenzionalne veličine koje se mogu naći u mnogim priručnicima US Soil Conservation Servicea kao tablične veličine. U navedenim formulama q_p i t_p predstavljaju vršni protok, odnosno vrijeme vršnog protoka za jedinični hidrogram karakterističan slivu prikazane u tablicama 3., 4. i 5. za koji su izračunate te veličine preko fizičkih i geografskih karakteristika

sliva. Veličine Mockusova bezdimenzionalnog hidrograma prikazane su u tablici 2. i grafički prikazane na slici 11 [29].

Tablica 2. Koordinate Mockusova bezdimenzionalnog dijagrama [29]

| X | Y | X | Y |
|-----|-------|-----|-------|
| 0,0 | 0,000 | 1,4 | 0,750 |
| 0,1 | 0,015 | 1,5 | 0,650 |
| 0,2 | 0,075 | 1,6 | 0,570 |
| 0,3 | 0,160 | 1,8 | 0,430 |
| 0,4 | 0,280 | 2,0 | 0,320 |
| 0,5 | 0,430 | 2,2 | 0,240 |
| 0,6 | 0,600 | 2,4 | 0,180 |
| 0,7 | 0,770 | 2,6 | 0,130 |
| 0,8 | 0,890 | 2,8 | 0,098 |
| 0,9 | 0,970 | 3,0 | 0,075 |
| 1,0 | 1,000 | 3,5 | 0,036 |
| 1,1 | 0,980 | 4,0 | 0,018 |
| 1,2 | 0,920 | 4,5 | 0,009 |
| 1,3 | 0,840 | 5,0 | 0,004 |



Slika 11 Grafički prikaz Mockusova bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma uz triangularnu aproksimaciju i sumarnu krivulju [29]

Teoriju jediničnoga hidrograma je postavio L. K. Sherman još 1932. godine polazeći od pretpostavke da se sliv ponaša kao linearan i stacionaran sustav kod kojeg vrijede principi proporcionalnosti i superpozicije [13].

Krivolinijski bezdimenzionalni jedinični hidrogram SCS metode može se aproksimirati ekvivalentnim trokutnim hidrogramom koji ima iste jedinice za vrijeme i protoke, a time i isti postotak od 37,5 % volumena unutar vremena podizanja vala T_p (16). Koristeći pritom geometriju trokuta dolazi se do sljedećih relacija za:

- bazno vrijeme trokutnoga hidrograma (16):

$$T_B = \frac{1}{0,375} \quad (16)$$

vrijeme opadanja (recesije) hidrograma:

- ukupni volumen trokutnog hidrograma (17):

$$V = \frac{q_P}{2} (T_P + T_R) \quad (17)$$

- maksimum trokutnog hidrograma (18):

$$q_P = \frac{2V}{T_P \left(1 + \frac{T_R}{T_P}\right)} \quad (18)$$

Ukupni volumen trokutnog jediničnog hidrograma se može prikazati i relacijom (19):

$$V = 10^3 A P_e \quad (19)$$

u kojoj je:

- V – volumen hidrograma (m^3)
- A – površina sliva (km^2)
- P_e - efektivna oborina (mm), (za jedinični hidrogram $P_e = 1$ mm).

Korištenjem navedenih relacija dolazi se do konačnoga izraza za proračun maksimalne ordinate jediničnoga trokutnog hidrograma (20):

$$q_P = \frac{2(10^3 A)}{3600(1,67T_P)} = 0,208 \frac{A}{T_P} \quad (20)$$

u kojemu je T_p izraženo u satima.

Vrijeme podizanja jediničnoga trokutnog hidrograma se može odrediti pomoću izraza (21):

$$T_P = \frac{dD}{2} + T_L \quad (21)$$

u kojem je:

- dD – jedinično trajanje efektivne (eksczesne) oborine (sati)
- T_L - vrijeme zakašnjenja sliva, tj. vrijeme od centra mase efektivne oborine dD do formiranja maksimuma (sati).

$$T_L = 0,001362 \cdot L^{0,8} \cdot (S + 1)^{0,7} \cdot J^{-0,5} \quad (22)$$

gdje je:

- L – hidraulička dužina toka (m)
- J – srednji pad terena (%)
- S – kapacitet retencije tla.

Najčešća relacija između vremena T_L i vremena koncentracije t_c glasi (23):

$$T_L = 0,6t_c \quad (23)$$

Vrijeme koncentracije t_c se može definirati kao:

- vrijeme koje je potrebno da voda koja površinski otječe stigne iz najudaljenije točke sliva do izlaznoga profila sliva.
- vrijeme od kraja eksczesne oborine do točke infleksije jediničnoga hidrograma, a iznosi 1,7 jedinice vremena ili 1,7 T_P , odnosno:

$$t_c = 1,7T_P - dD \quad (24)$$

Iz prikazanih izraza se dolazi do relacije:

$$dD = 0,2T_P \quad (25)$$

Također se pomoću sljedeće dvije jednadžbe

$$t_c + dD = 1,7T_P \quad (26)$$

$$\frac{dD}{2} + 0,6t_c = T_P \quad (27)$$

(26) i (27) može uspostaviti veza između veličina dD i t_c :

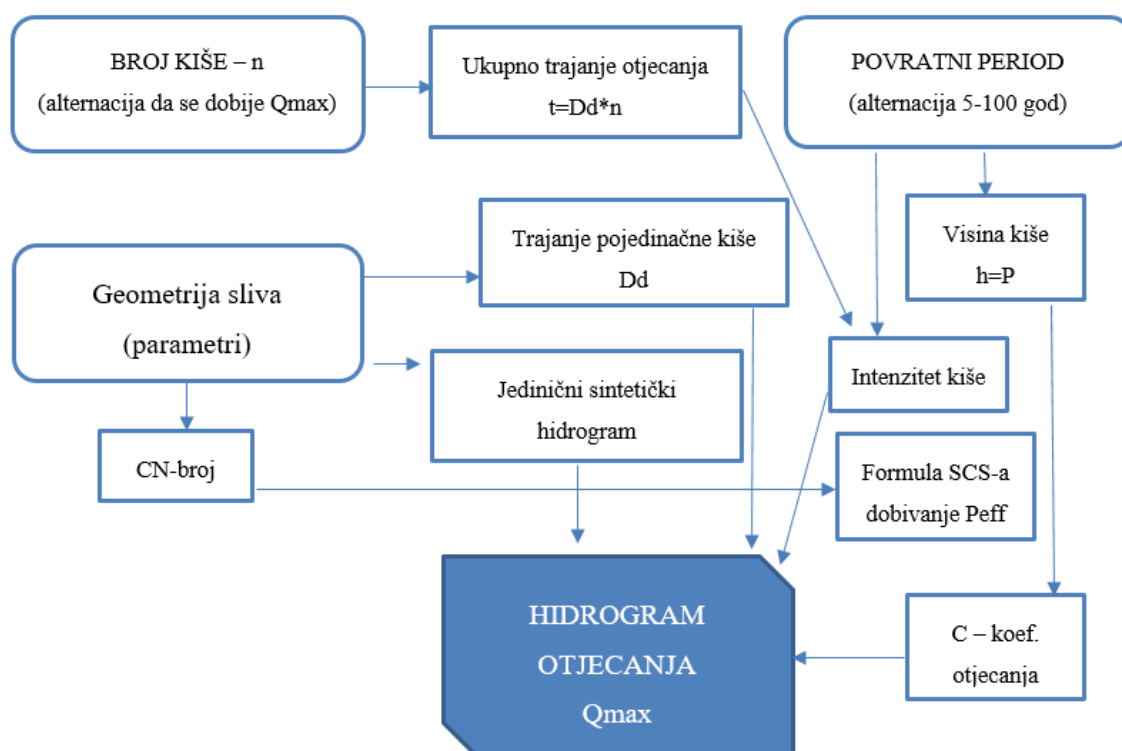
$$dD = 0,133t_c \quad (28)$$

Jedinično trajanje kiše dD treba iznositi oko $1/5$ vremena T_P ili oko $1/7,5$ vremena t_c kako bi se pouzdano mogao definirati oblik jediničnog hidrograma. Male varijacije su dozvoljene, ali prema Mitchellu (1956. godine) dD ne smije biti veći od $0,25 T_P$. Konkretni postupak proračuna se sastoji od sljedećih koraka:

- Izračunate su ordinate bezdimenzionalnog jediničnog hidrograma u intervalima vremena dD unutar ukupnog baznog vremena T_B kojeg formiraju vektor $I = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ gdje je:
 - i_1 – ordinata u vremenu dD
 - i_2 – ordinata u vremenu $2dD$
 - i_n – ordinata u vremenu ndD ($n = T_B/dD$)
- Izračunate su kumulativne (ukupne) visine oborina P u pojedinim sukcesivnim točkama vremena ukupnog trajanja kiše T , na konstantnom razmaku dD .
- Na osnovi bruto oborine P određene u prethodnome koraku i usvojene vrijednosti parametra CN proračunata je kumulativna efektivna oborina P_e koja se formira u istim točkama vremena kao i oborina P .
- Izračunata su otjecanja (efektivne oborine) u intervalima vremena dD koje formiraju vektor $O = (o_1, o_2, \dots, o_n)$ gdje je:
 - o_1 – ordinata u vremenu dD
 - o_2 – ordinata u vremenu $2dD$
 - o_n – ordinata u vremenu ndD ($n = T/dD$).

Pomoću diskretnih vrijednosti vektora I i O izračunate su koordinate hidrograma velikih voda pomoću međusobna sumiranja umnožaka komponenata vektora I i O prema sljedećoj shemi [29].

U analizi smo definirali bruto oborinu (P) na temelju zadanog povratnog perioda i trajanja kiše. Za izračun smo koristili intenzitete oborina iz ITP krivulje, prilagođene za svaki pojedini povratni period.



Slika 12. Shema proračunskog postupka

Podatci o vrijednostima CN krivulja dobiveni su mjerenjem otjecanja s različitih vrsta površina i na različitim lokacijama. Vrijednosti vezane za određenu klasifikaciju zemljišta dane su za prosječne uvjete otjecanja sa slivnih površina i početne gubitke koji su jednaki 20%-tnom zadržavanju padavina od potencijalnog maksimalnog ($I = 0,2d$). Ta se grupa zemljišta naziva AMC – II. Osim ove grupe postoje još dvije grupe zemljišta: AMC – I i AMC – III. Vrijednost CN krivulje za prelazak iz jedne u drugu grupu zemljišta izračunava se preko konverzijskog faktora [30].

Mali slivovi tijekom intenzivnih oborina imaju tendenciju da kumulativna količina oborine postupno postane cjelokupna količina generiranog površinskog otjecanja [30]. To se događa uslijed zasićenja tla i potpune ispunjenosti podzemnih akumulacijskih kapaciteta, čime se znatno smanjuje infiltracijski kapacitet tla. U takvim uvjetima, SCS metoda se pokazuje izuzetno korisnom za procjenu površinskog otjecanja, jer omogućuje precizno modeliranje ovih procesa, uzimajući u obzir specifične geološke i hidrometeorološke karakteristike sliva. Ovaj pristup pruža vrijedne informacije za planiranje mjera zaštite od poplava i upravljanje vodnim resursima.

2.5. Procjene fekalnog opterećenja

Iako su sustavi odvodnje postojali već u antičko doba, moderna kanalizacija razvijena je tek krajem 19. stoljeća u velikim gradovima. S porastom broja stanovnika, pojavili su se problemi s kvalitetom vode zbog nedostatka dostupnih vodnih resursa. Korištenjem sanitarno ispravne vode u domaćinstvu i različitim tehnološkim procesima, voda se zagađuje fizičkim, kemijskim i biološkim primjesama, čineći je nepodobnom za daljnju upotrebu.

Zagađena voda prikuplja se kanalizacijskim sustavom i upućuje na pročišćavanje kako bi se spriječilo kontaminiranje pitkih voda. Pristup čistoj vodi predstavlja osnovno ljudsko pravo i ključan je za očuvanje zdravlja. Stoga, učinkoviti sustavi za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda od presudne su važnosti za zaštitu ljudskog zdravlja i očuvanje okoliša za buduće generacije [31].

2.5.1. Opis metode

Kućanske otpadne vode jesu vode upotrjebljene u kućanstvu, javnim i uslužnim ustanovama (zdravstvene stanice, bolnice, policijske postaje, škole i dr.) i ostalim neproizvodnim djelatnostima. Daljnja podjela kućanskih otpadnih voda bi bila na [32]:

- fekalne vode (iz sanitarnih uređaja)
- potrošne vode (od pranja, kuhanja, osobna higijena itd.).

U postupku određivanja mjerodavnih količina kućanskih otpadnih voda treba poznavati:

- broj stanovnika za predviđeno projektno razdoblje N
- specifični dotok otpadne vode q_{sp} (l/st/d).

Broj stanovnika N ovisi o lokalnim i općim socijalno-ekonomskim čimbenicima te vremenski nije stalan. Definira se na temelju donesenog prostornog plana za usvojeno projektno razdoblje (20 do 50 godina). Ako takav plan ne postoji, broj stanovnika se procjenjuje na bazi predvidive stope prirasta uz korištenje sljedeće jednadžbe (29):

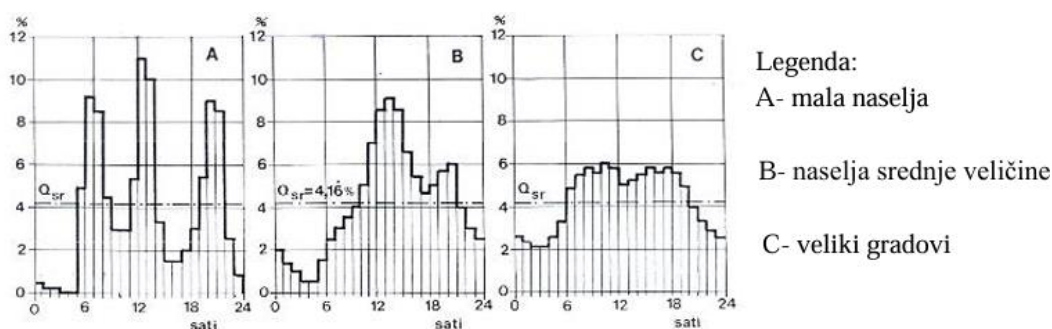
$$N_P = N_S \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{PR} \quad (29)$$

gdje je:

- N_p – prognozirani broj stanovnika
- N_s – sadašnji broj stanovnika
- p – godišnji postotak prirasta
- PR – projektno razdoblje.

Specifični dotok otpadne vode q_{sp} (l/st/d) definira se kao srednji dnevni dotok po jednom stanovniku. Ovisi o nizu čimbenika kao što su standard življenja, cijena i kvaliteta vode, klimatske prilike, sanitarno-tehnička opremljenost stanova i izgrađenost sustava odvodnje. Također se odabire u skladu s predviđenim razvojem naselja na kraju planskog razdoblja. Prognoza potrošnje u planskom razdoblju u većini slučajeva unaprijed je određena odgovarajućim uredbama i proračun nije potrebno provoditi. Norme ATV - A118 koriste se za hidrauličko projektiranje i verificiranje sistema za odvođenje otpadnih voda. Njima su dane vrijednosti specifičnih protoka u ovisnosti o veličini naselja [31].

Prilikom odabira kapaciteta sustava odvodnje, potrebno je pažljivo razmotriti vrijednosti koje se biraju. Previsoki kapaciteti mogu dovesti do izgradnje objekata koji se neće u potpunosti koristiti, dok preniski kapaciteti mogu negativno utjecati na urbanistički razvoj i kvalitetu života u naselju. Također, prilikom izračuna količine otpadnih voda na temelju potrošnje vode, važno je uzeti u obzir da sva pitka voda ne završava u kanalizacijskom sustavu. Određeni postotak vode se gubi tijekom upotrebe i ne ulazi u kanalizaciju. Uobičajena procjena je da 85% do 90% potrošene vode odlazi u kanalizaciju, iako se ovaj omjer može razlikovati ovisno o karakteristikama naselja i stanju vodoopskrbnih objekata [32].



Slika 13 Oscilacije satnih potrošnji u funkciji naselja [32]

2.5.2. Postojeći podatci o stanovništvu na promatranom području

Prema popisu stanovništva iz 2001. godine na širem području Makarske živjelo je 13 716 stanovnika. Taj se broj povećao na 13 834 stanovnika prema popisu iz 2011. godine, što označava blagi porast populacije. U 2021. godini stanovništvo je iznosilo 13 301, pri čemu je 96 % stanovništva u gradu Makarskoj, dok je preostalih 4 % stanovništva na okolnom području općine Makarska. Dakle, primijećen je pad stanovništva od 1 % u tom razdoblju od deset godina [15].

Što se tiče podataka o prirodnom prirastu, ti podatci također potvrđuju da je unazad nekoliko godina, promatrajući ukupno područje, odnos između rođenih i umrlih negativan. U jednom trenutku neko naselje ima prirodni prirast, a već druge godine ponovo negativni trend. Takvi pozitivni trendovi koji se dogode jednog trenutka, ne utječu bitno na dugoročni trend kretanja broja stanovnika. Iz navedenoga se može zaključiti da je prirodni priraštaj na području obuhvata projekta generalno negativan.

U skladu s kretanjem stanovništva na promatranom području određuju se koeficijenti maksimalne dnevne i satne neravnomjernosti koji su prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Koeficijenti maksimalne dnevne i satne neravnomjernosti [31]

| Kategorija potrošača | $k_{\max, \text{dn}}$ | $k_{\min, \text{dn}}$ | $k_{\max, \text{sat}}$ | $k_{\min, \text{sat}}$ |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Naselja seoskog tipa | 2,00 | 0,10 | 3,00 | 0,20 |
| Naselja mješovitog tipa | 1,70 | 0,50 | 2,40 | 0,10 |
| Naselja gradskog tipa | | | | |
| do 10 000 stanovnika | 1,50 | 0,60 | 1,80 | 0,25 |
| 10 do 50 000 stanovnika | 1,40 | 0,65 | 1,60 | 0,30 |
| 50 do 100 000 stanovnika | 1,30 | 0,70 | 1,50 | 0,30 |
| preko 100 000 stanovnika | 1,25 | 0,70 | 1,40 | 0,35 |
| Turistički objekti | | | | |
| A kategorija | 1,40 | 0,60 | 2,50 | 0,25 |
| Ostale kategorije | 1,60 | 0,60 | 2,20 | 0,25 |
| Privatni smještaj | 1,80 | 0,50 | 2,20 | 0,25 |
| Kampovi | 2,00 | 0,40 | 2,30 | 0,00 |
| Bolnice | 1,50 | 0,60 | 2,20 | 0,00 |
| Stoka | 1,50 | 0,60 | 3,00 | 0,10 |

Za koeficijente maksimalne dnevne neravnomjernosti koriste se sljedeće formule:

$$Q_{\max,\text{dan}} = k_{\max,\text{dan}} * Q_{\text{sr.dan}} \quad (30)$$

$$Q_{\max,\text{dan,stan}} = k_{\max,\text{dan,stan}} * Q_{\text{sr.dan,stan}}$$

$$Q_{\max,\text{dan,hotel}} = k_{\max,\text{dan,hotel}} * Q_{\text{sr.dan,hotel}}$$

$$Q_{\max,\text{dan,p.s}} = k_{\max,\text{dan,p.s}} * Q_{\text{sr.dan,p.s}}$$

$$Q_{\text{uk.max,dan}} = Q_{\max,\text{dan,stan}} + Q_{\max,\text{dan,hotel}} + Q_{\max,\text{dan,p.s.}}$$

Koeficijenti maksimalne satne neravnomjernosti, pak, računaju se na sljedeći način:

$$Q_{\max,\text{sat}} = (k_{\max,\text{sat}} * Q_{\max,\text{dan}})/24 \quad (31)$$

$$Q_{\max,\text{sat,stan.}} = (k_{\max,\text{sat,stan.}} * Q_{\max,\text{dan,stan.}})/24$$

$$Q_{\max,\text{sat,hotel}} = (k_{\max,\text{sat,hotel}} * Q_{\max,\text{dan,hotel}})/24$$

$$Q_{\max,\text{sat,p.s}} = (k_{\max,\text{sat,kamp}} * Q_{\max,\text{dan,kamp}})/24$$

$$Q_{\text{uk.max,sat}} = Q_{\max,\text{sat,stan}} + Q_{\max,\text{sat,hotel}} + Q_{\max,\text{sat,p.s}}$$

U potpoglavlju 3. prikazani su koeficijent umanjenja normi potrošnji za proračun otpadnih voda.

Formule koje se koriste za odvodnju otpadnih voda, i to za stanovništvo prikazane su u nastavku:

$$Q_{\text{sr.stan.odv.}} = Q_{\text{sr.dan,stan.}} * K_{\text{umanjenja}} \quad (32)$$

$$Q_{\max,\text{dan,stan.odv.}} = Q_{\max,\text{dan,stan.}} * K_{\text{umanjenja}}$$

$$Q_{\max,\text{sat,stan.odv.}} = Q_{\max,\text{sat,stan.}} * K_{\text{umanjenja}}$$

Za izračun odvodnje otpadnih voda hotela koriste se sljedeće formule:

$$Q_{\text{sr.hotel.odv.}} = Q_{\text{sr.dan,hotel}} * K_{\text{umanjenja}} \quad (33)$$

$$Q_{\max,\text{dan,hotel.odv.}} = Q_{\max,\text{dan,hotel}} * K_{\text{umanjenja}}$$

$$Q_{\max,\text{sat,hotel.odv.}} = Q_{\max,\text{sat,hotel}} * K_{\text{umanjenja}}$$

Kada je riječ o privatnom smještaju izračun odvodnje računa se na sljedeći način:

$$Q_{\text{sr.priv.smješt.odv.}} = Q_{\text{sr.dan,priv.smješt.}} * K_{\text{umanjenja}} \quad (34)$$

$$Q_{\max,\text{dan,priv.smješt.odv.}} = Q_{\max,\text{dan,priv.smješt.}} * K_{\text{umanjenja}}$$

$$Q_{\max,\text{sat,priv.smješt.odv.}} = Q_{\max,\text{sat,priv.smješt.}} * K_{\text{umanjenja}}$$

2.5.3. Procjene kretanja stanovništva na promatranom području

Kanalizacijski sustav treba biti projektiran s kapacitetom koji će zadovoljiti kako trenutne tako i buduće potrebe zajednice. Za postizanje ovog cilja ključno je predvidjeti broj stanovnika u neposrednoj budućnosti. Podatci o broju stanovnika mogu se pribaviti od nadležnih općinskih službi. Budući da broj stanovnika nije konstantan i može varirati zbog lokalnih i socio-ekonomskih faktora, definira se na kraju planiranog razdoblja, temeljem usvojenog prostornog plana [32].

Usporedba između dva popisa stanovništva pokazuje blagi negativan trend prirodnog prirasta, dok se broj kućanstava povećava iz godine u godinu. Za potrebe ovog dugoročnog projekta, uzimajući u obzir očekivani razvoj područja potaknut razvojem turizma, usvojen je trend demografskog blagog povećanja broja stanovnika na cijelom području Makarske.

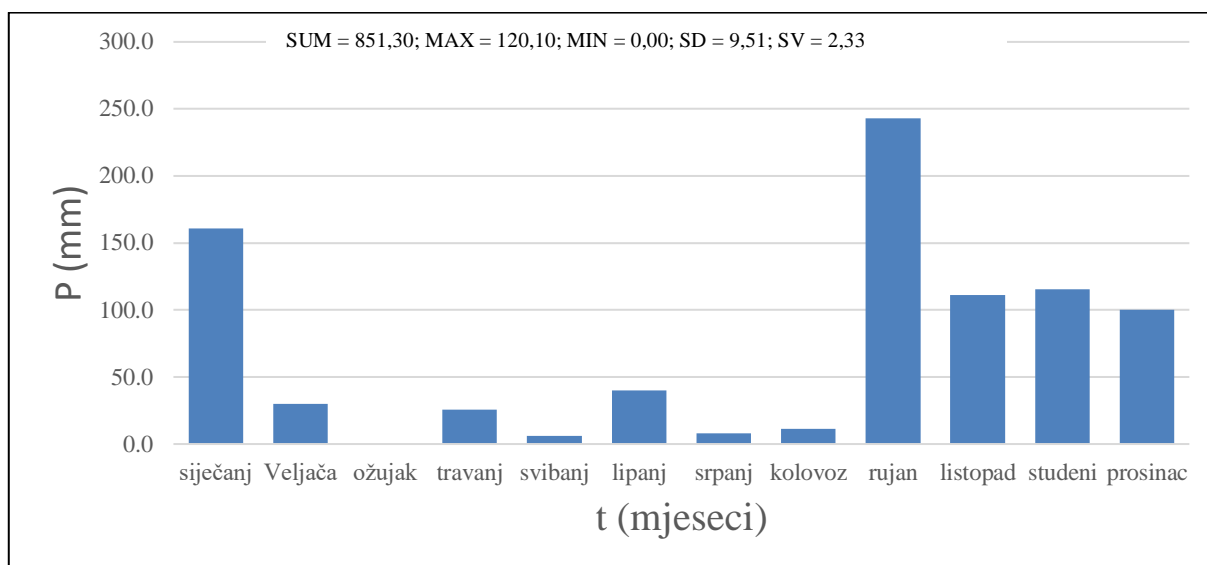
Za projektno razdoblje od 25 godina procijenjeno je kretanje stanovnika za 1 % prema padu, što znači da će biti 10 345 stanovnika. Vidljivo je da se na cijelom području Makarske predviđa blagi pad stanovnika, no očekuje se porast turizma [15].

3. REZULTATI

3.1. Hidrološka analiza

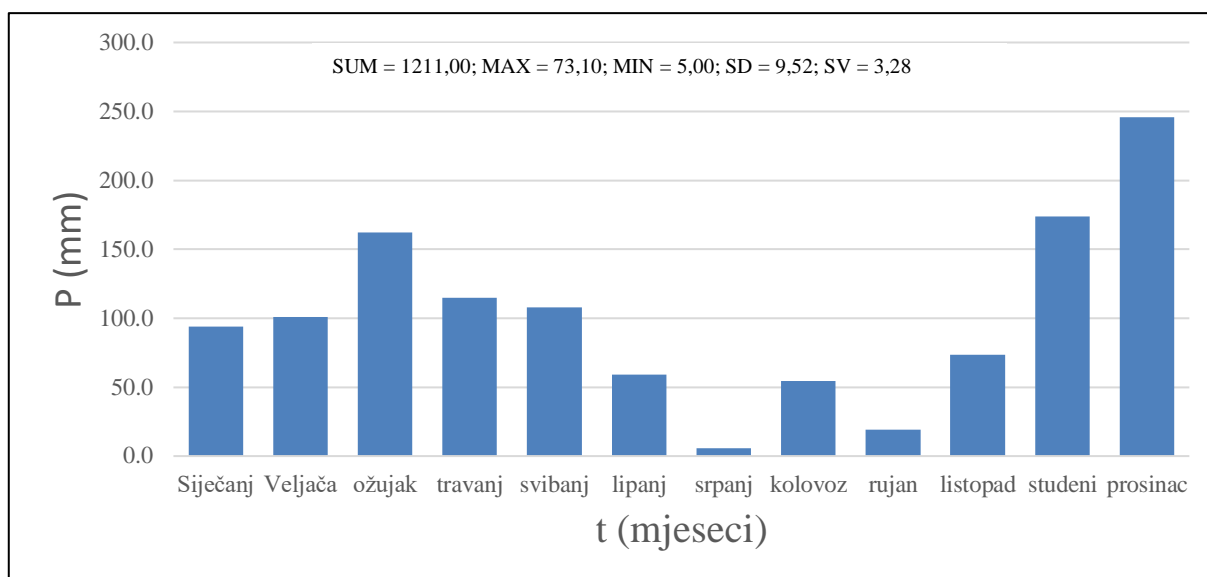
U nastavku su prikazani rezultati hijetograma koji ilustriraju različite aspekte oborina i njihove statističke karakteristike. Za jasnoću prikazanih podataka, pojmovi korišteni u hijetogramima su:

- SUM: Ukupna količina oborine zbrojena za cijelo razmatrano razdoblje.
- MAX: Najveća količina oborine zabilježena u pojedinoj godini.
- MIN: Najmanja količina oborine zabilježena u pojedinoj godini.
- SD: Standardna devijacija, koja mjeri disperziju ili varijabilnost oborinskih vrijednosti.
- SV: Srednja vrijednost, koja predstavlja prosječnu količinu oborine za analizirano razdoblje.
-



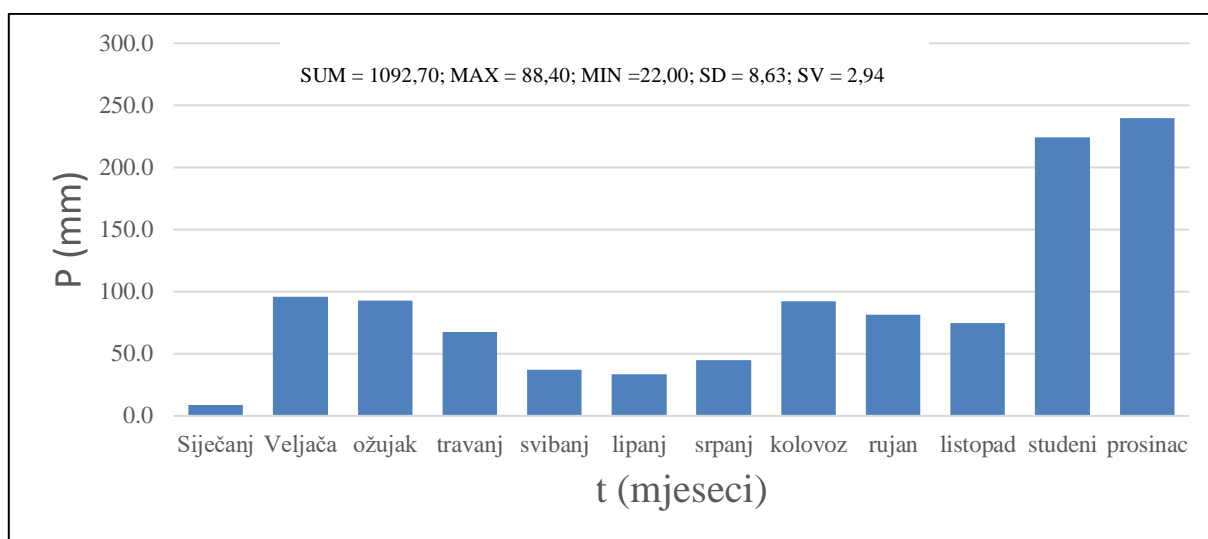
Slika 14. Hijetogram oborina za 2003. godinu

Analizom mjesečnih podataka uočena je velika sezonska varijabilnost oborina s ukupnom količinom oborina za 2003. godinu koja iznosi 851,30 mm, s najviše oborina u rujnu (242,8 mm), dok u ožujku uopće nije bilo oborina. Vidljivo je da oborine imaju tendenciju rasta početkom rujna, koja traje do kraja siječnja.



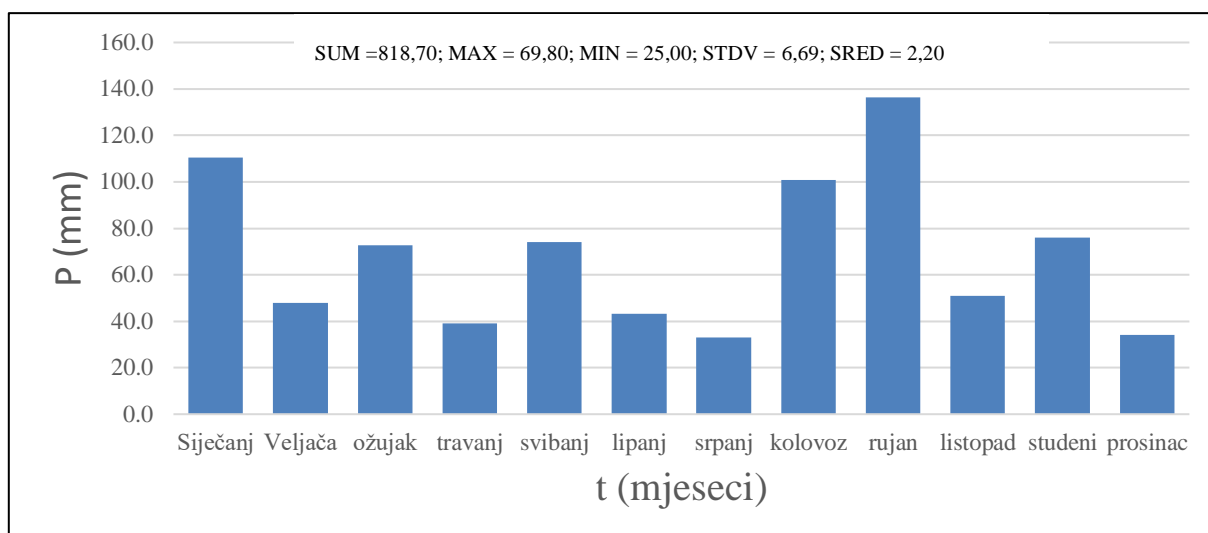
Slika 15. Hijetogram oborina za 2004. godinu

Na temelju analize oborina tijekom 2004. godine uočeno je da je godina bila poprilično vlažna. Posebno se ističu prosinac kao mjesec s izuzetno visokim oborinama od 246 mm i srpanj sa sušnim razdobljem. Takve ekstremne razlike mogu značajno utjecati na ekosisteme, poljoprivredu i upravljanje vodnim resursima.



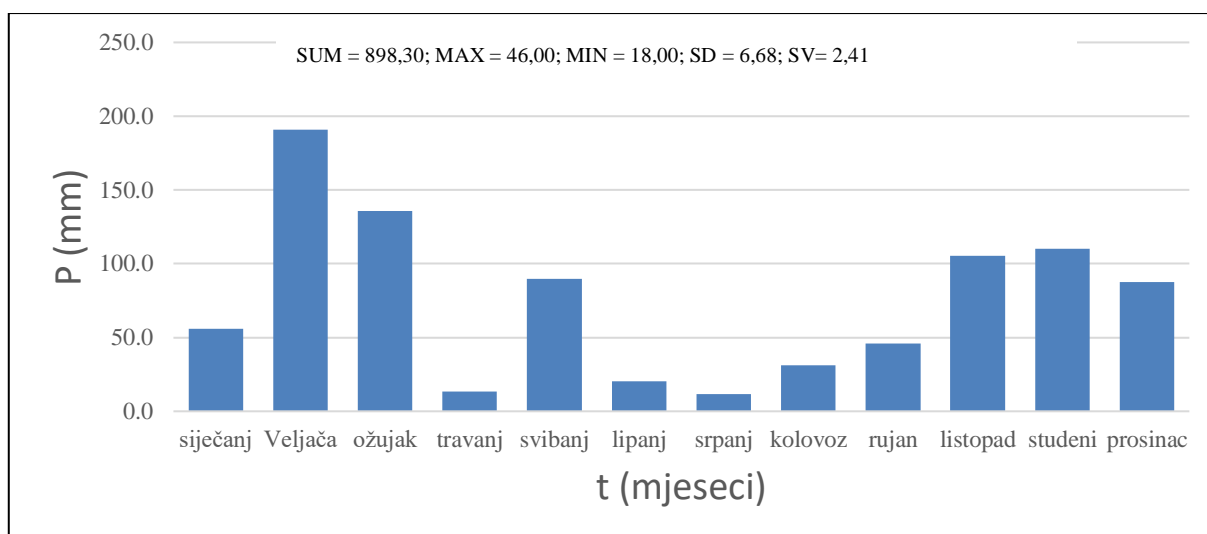
Slika 16. Hijetogram oborina za 2005. godinu

Analizom mjesečnih podataka uočava se da ukupna količina oborina za 2005. godinu iznosi 1092,70 mm, s izrazito vlažnim krajem godine. Najviše je oborina u prosincu (239,6 mm), dok početak godine je zabilježen s izuzetno malo oborina, što je neuobičajeno za to razdoblje.



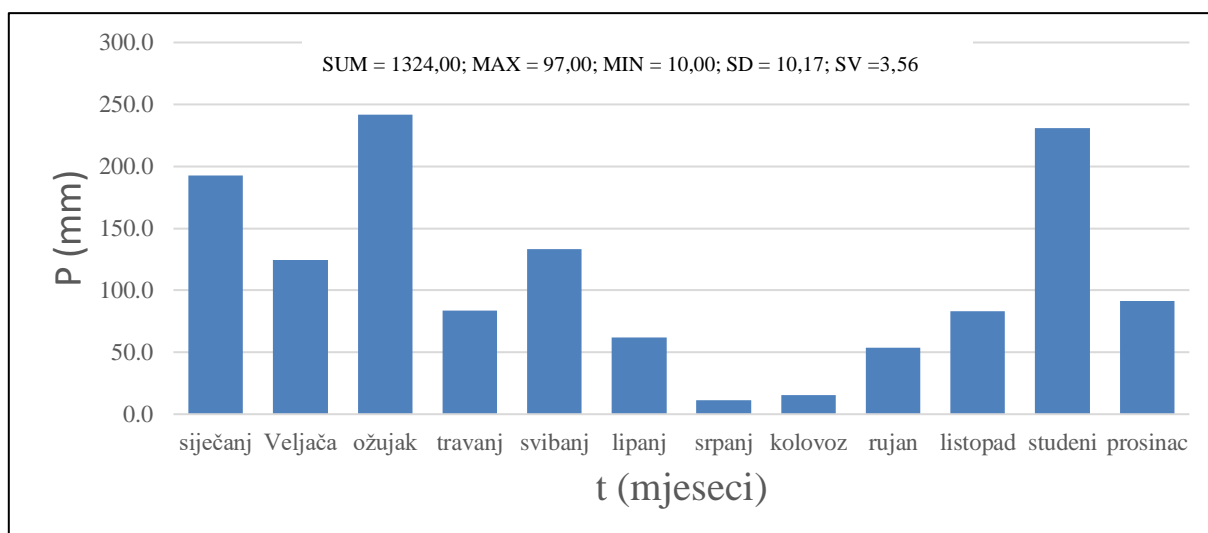
Slika 17. Hijetogram oborina za 2006. godinu

Na temelju prikazane analize mjesečnih podataka oborina uočeno je da ukupna količina oborina za 2006. godinu iznosi 818,70 mm, s najviše oborina u rujnu (136,3 mm). Iako su zimski mjeseci obično najkišovitiji, 2006. godina je bila neuobičajena jer su oborine varirale (s pojačanim oborinama u jednom mjesecu, a smanjenim u sljedećem). Zanimljivo je i da je ljeto bilo izrazito kišno, što nije tipično za to razdoblje godine.



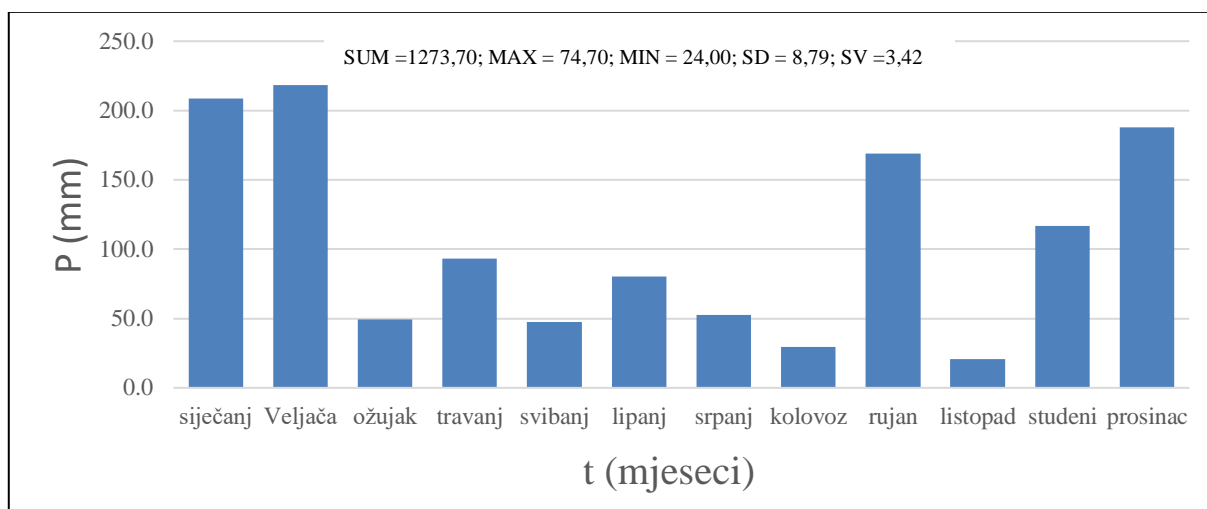
Slika 18. Hijetogram oborina za 2007. godinu

Na temelju analize mjesečnih podataka oborina vidljivo je da je ukupna količina oborina za 2007. godinu iznosila 898,30 mm, s najviše oborina u veljači (190,8 mm). Oborine su pokazale tendenciju smanjenja od travnja do listopada, što ukazuje na sušnije razdoblje tijekom proljeća i ljeta.



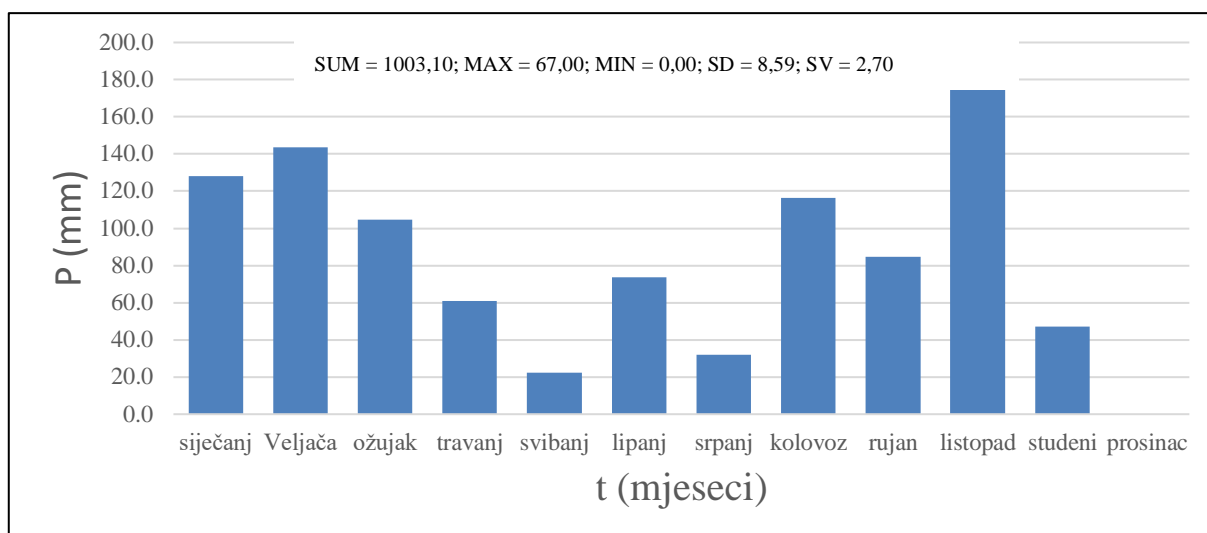
Slika 19. Hijetogram oborina za 2013. godinu

Vidljiva je velika mjesečna i sezonska varijabilnost oborina tijekom 2013. godine. Ukupno je tijekom godine palo 1324 mm oborina. Posebno se ističe studeni kao mjesec s izuzetno visokim oborinama od 231 mm te ljeto sa sušnim razdobljem, što je i uobičajeno za to doba godine.



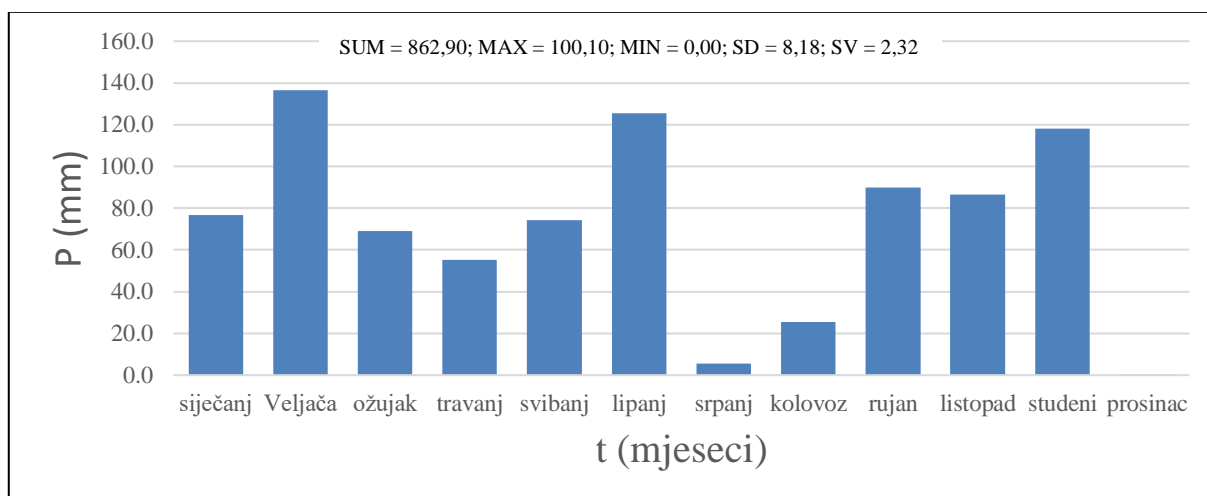
Slika 20. Hijetogram oborina za 2014. godinu

U 2014. godini ukupno je palo 1273 mm kiše. Najviše oborina bilo je u veljači (218,4 mm), a izrazito kišni mjeseci bili su i siječanj, rujana, studeni i prosinac. Ostatak godine nije zaostajao u količini oborina, uključujući ljetne mjesec.



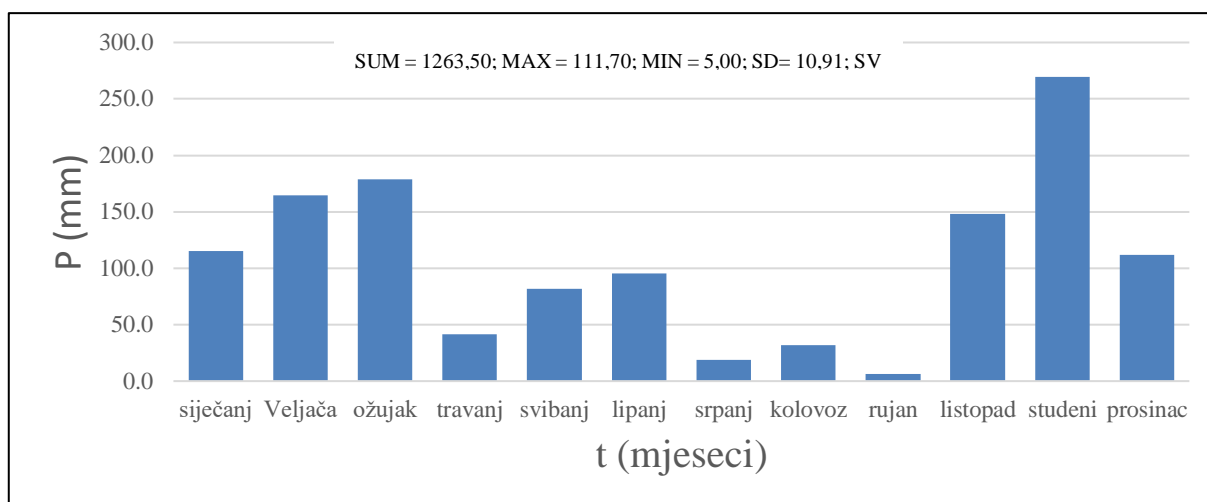
Slika 21. Hijetogram oborina za 2015. godinu

Pokazalo se da ukupna količina oborina za 2015. godinu iznosi 1003,10 mm, s najviše oborina u veljači (143,7 mm), dok u prosincu uopće nije bilo oborina. Dakle, riječ je o izrazito kišnoj godini s izuzetkom sušnog prosinca, što je neuobičajeno za to razdoblje.



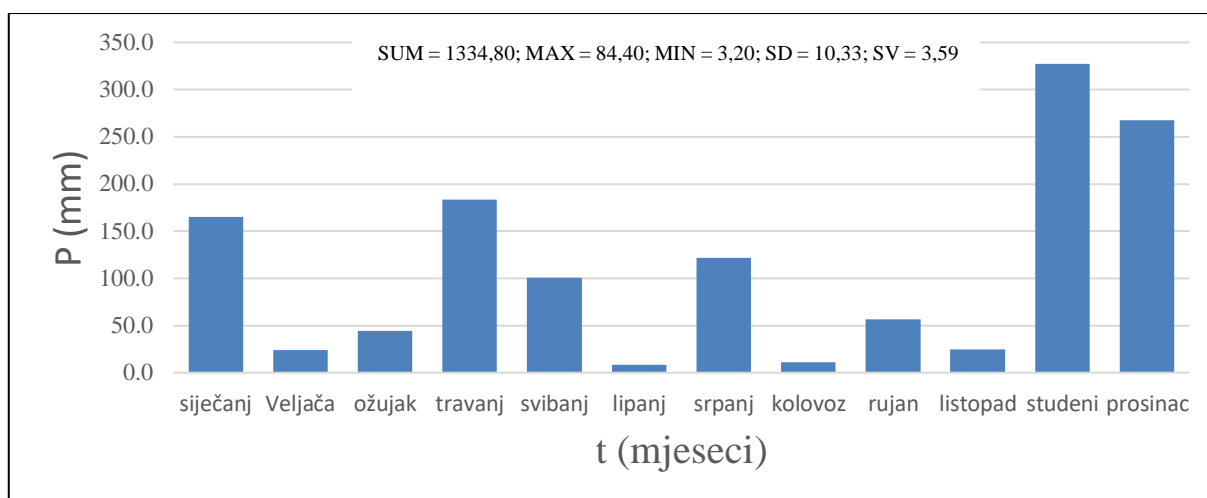
Slika 22. Hijetogram oborina za 2016. godinu

Ukupna količina oborina za 2016. godinu iznosila je 862,90 mm, s najviše oborina u veljači (136,5 mm). S druge strane, srpanj je obilježen sušnim razdobljem s vrlo malo oborina, dok u prosincu po drugi put zaredom nije zabilježena nijedna oborina. Ta varijabilnost ukazuje na izražene sezonske razlike, s vlažnijim zimskim mjesecima i sušnim ljetnim razdobljem, što može značajno utjecati na vodne resurse i poljoprivredne aktivnosti.



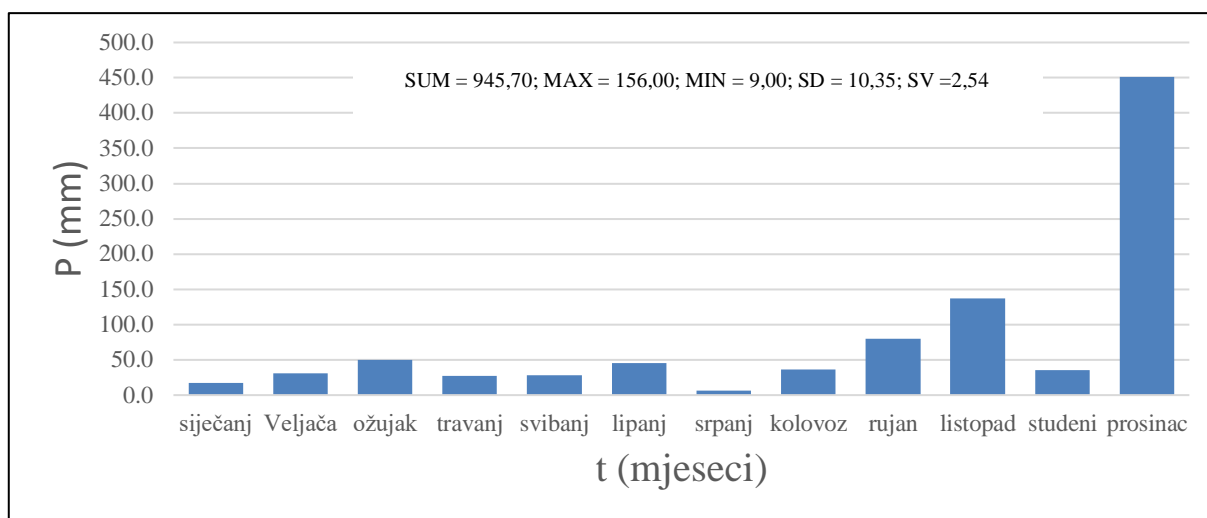
Slika 23. Hijetogram oborina za 2018. godinu

Uočeno je da je u 2018. godini najveća količina oborina zabilježena u studenom (269,5 mm). Oborine su pokazale tendenciju smanjenja od travnja do rujna, s niskim količinama oborina tijekom tih mjeseci. Ukupna godišnja količina oborina iznosila je 1263,50 mm, pri čemu su obilne oborine u zimskom razdoblju kompenzirale sušno ljeto.



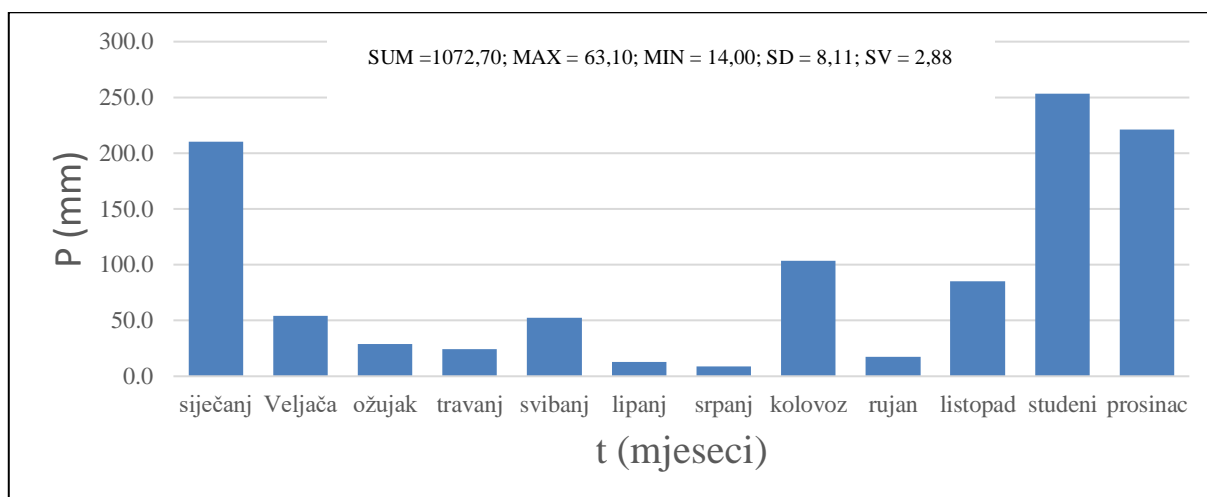
Slika 24. Hijetogram oborina za 2019. godinu

Godina 2019. započela je s kišnim razdobljem, dok su veljača i ožujak bili iznimno sušni. Nakon toga, travanj i svibanj su obilježeni obilnim oborinama, dok je lipanj bilježio zanemarivu količinu kiše. Srpanj je bio izrazito kišan mjesec, nakon čega je ponovno uslijedila tendencija smanjenja oborina sve do studenoga, kada je zabilježeno 327 mm kiše, što je najviše u toj godini.



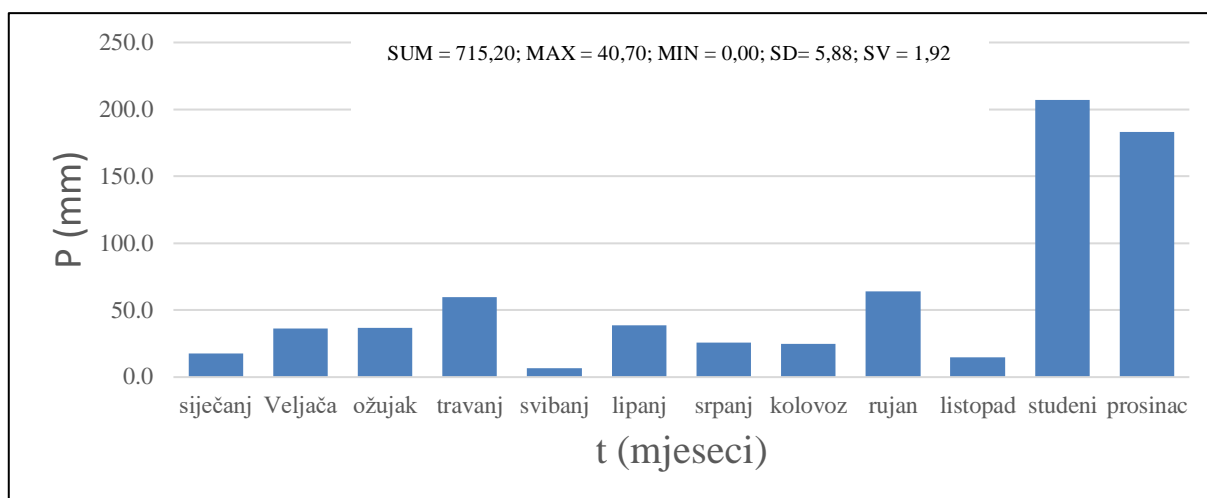
Slika 25. Hijetogram oborina za 2020. godinu

Vidljivo je da je ukupna količina oborina za 2020. godinu iznosila 945,70 mm, s najviše oborina zabilježenih u prosincu (451,0 mm), što čini 47 % ukupne godišnje količine oborina. Godina je bila izrazito sušna, s razdobljem od siječnja do rujna obilježenim jako dugom tendencijom smanjenja oborina. Rujan i listopad su bili prosječno kišni, dok je studeni zabilježio vrlo malo oborina.



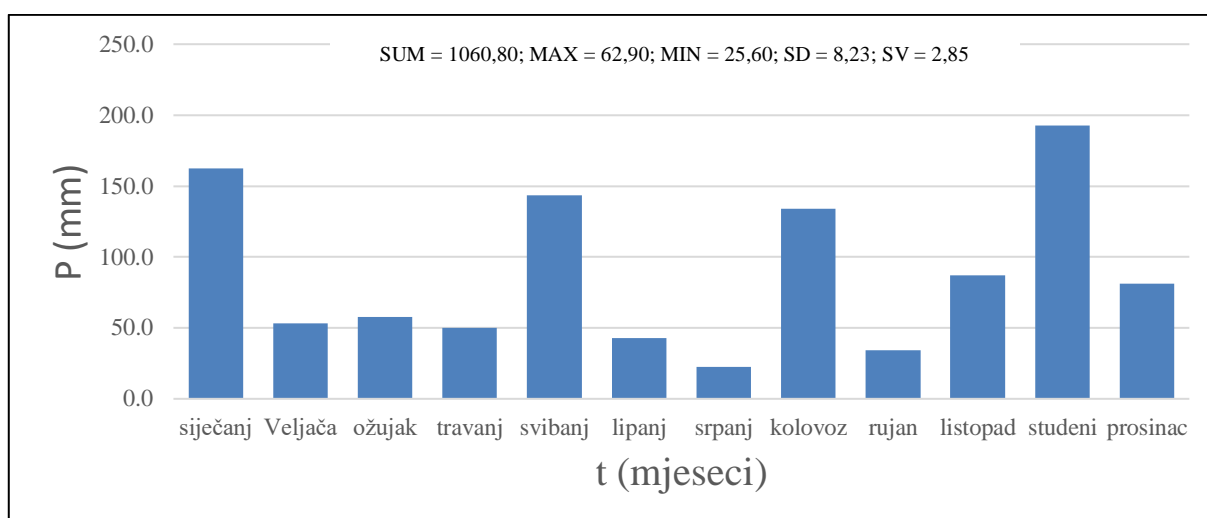
Slika 26. Hijetogram oborina za 2021. godinu

Analizom mjesečnih podataka uočeno je da je zima bila izrazito kišovita, dok je ostatak godine prevladavala suša. Ukupna količina oborina za 2021. godinu iznosila je 1072,70 mm, s najviše oborina u studenom (253,1 mm). Tendencija smanjenja kiše od veljače je potrajala do srpnja te je u kolovozu palo više kiše, no rujna je imao vrlo malo oborina, što je značajno utjecalo na vodne resurse i poljoprivredne aktivnosti.



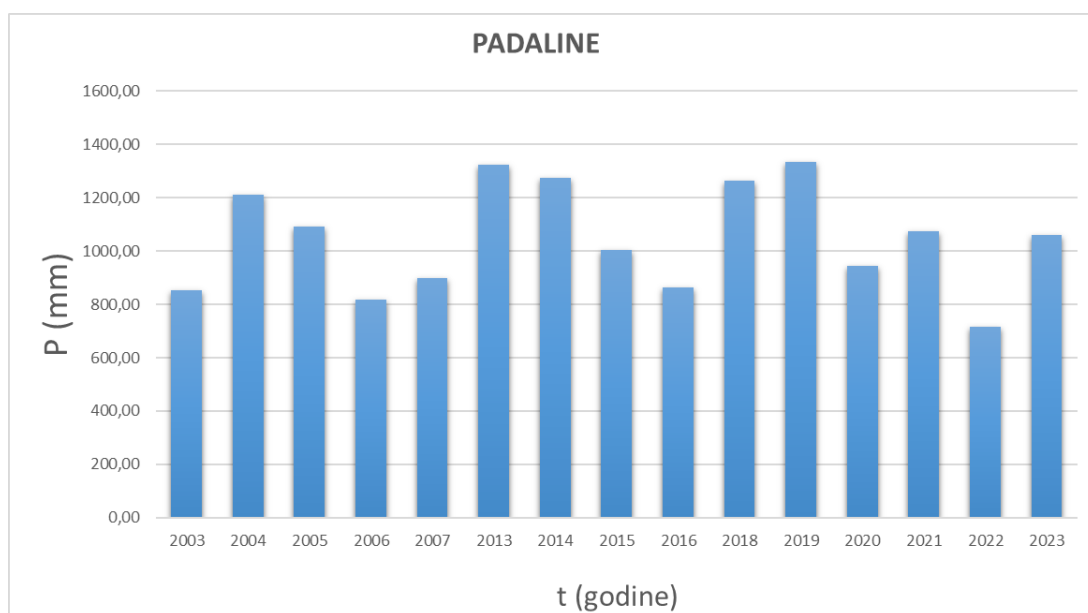
Slika 27. Hijetogram oborina za 2022. godinu

Analizom mjesečnih podataka uočeno je da je cijela godina bila sušna, osim kraja godine kada su zabilježene velike mjesečne oborine. Ukupna količina oborina za 2022. godinu iznosila je 715,20 mm, s najviše oborina u studenom (206,9 mm).



Slika 28. Hijetogram oborina za 2023. godinu

Analizom mjesečnih podataka za 2023. godinu utvrđeno je da je ukupna godišnja količina oborina iznosila 1060,80 mm, s najvećom količinom oborina zabilježenom u studenom (192,5 mm). Zapažena je tendencija smanjenja oborina od veljače do travnja, te ponovno od lipnja do srpnja, dok je rujana bio karakteriziran niskom razinom oborina.

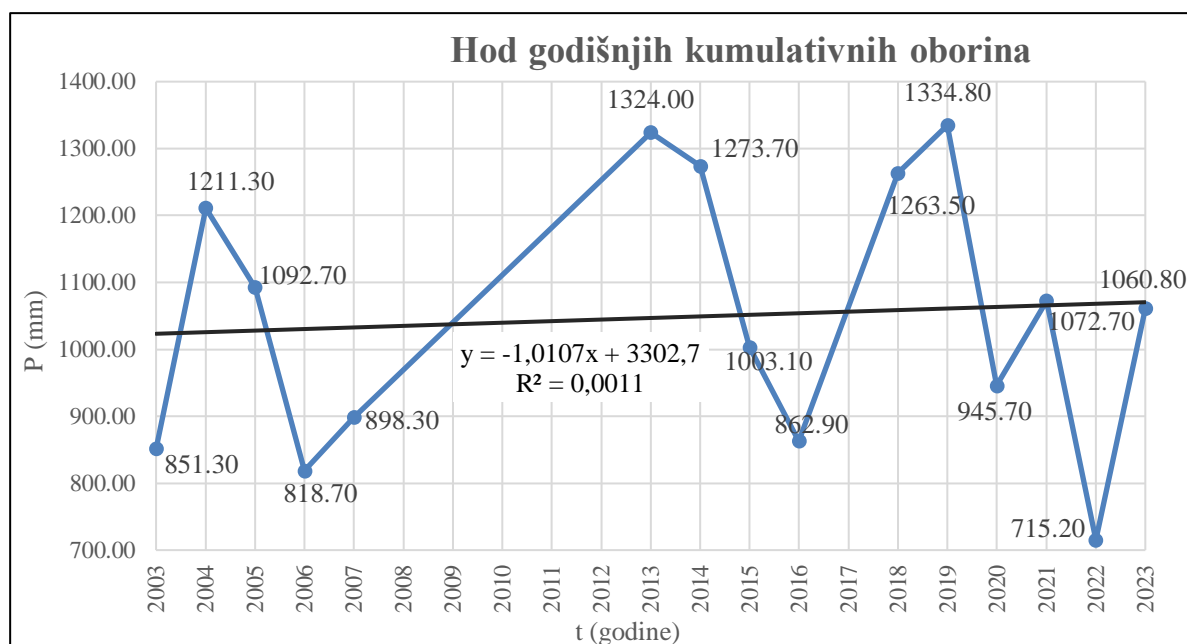


Slika 29. Hijetogram oborina za analizirano razdoblje

Na prethodnoj slici prikazana je količina oborina za dostupno razdoblje mjerenih podataka. Prosječna godišnja količina oborina iznosi 1050 mm. Iz priloženih analiza može se zaključiti da su 2013., 2014. i 2019. godine imale najviše oborina, dok su 2003., 2006. i 2022. godine bile izrazito sušne. Analizom dostupnih podataka vidljivo je da područje Makarske pokazuje značajne sezonske varijacije u oborinama. Zime su obično obilježene većim količinama oborina, dok su ljeta sklona sušnijim razdobljima.

Podatci za makarsko područje također pokazuju važnost klimatskih čimbenika kao što su utjecaj Jadranskog mora i planinskih sustava na raspodjelu oborina. Tijekom proteklih godina makarsko područje je često imalo izrazito kišne zime, što je ključno za vodne resurse i poljoprivredu u regiji. Ti podatci pružaju temelj za razumijevanje dugoročnih klimatskih trendova i potrebe za prilagodbom u upravljanju vodnim resursima i poljoprivredi.

Na slici 30 prikazan je hod godišnjih kumulativnih oborina za Makarsku. Graf prikazuje ukupne godišnje količine oborina kroz različite godine, izražene u milimetrima (mm). Na x-osi su prikazane godine, dok y-osi prikazuje kumulativne količine oborina. Ovaj grafikon pruža uvid u varijabilnost ukupnih godišnjih padalina tijekom promatranog razdoblja, ističući najniže i najviše zabilježene vrijednosti.



Slika 30. Hod godišnjih kumulativnih oborina

Iz prikazanog grafičkog prikaza može se uočiti:

Ekstremne godine, analizom grafičkog prikaza mogu se identificirati 2019. godina sa izrazito visokim količinama oborina od 1334,80 mm i 2022 godina s niskim količinama oborina od 715,20 mm što može biti korisno za procjenu rizika od poplava i/ili suša. Treba naglasiti skok koji je vidljiv na grafu, zbog nedostatka podataka od 2007. godine do 2013. godine, te 2017. godinu. Svaka točka na grafu predstavlja maksimalnu količinu oborina za određenu godinu, omogućujući identifikaciju godina s izuzetno visokim oborinama. Periodi s izraženim vršnim vrijednostima mogu ukazivati na specifične meteorološke uvjete ili klimatske promjene koje su uzrokovale neuobičajeno visoke oborine. Blagi trend vidljiv na grafu sugerira dugoročne promjene u klimatskim uvjetima na području Makarske postupnog povećanja godišnjih oborina. Ovaj graf hoda godišnjih oborina služi kao alat za analizu hidroloških trendova i procjenu promjena u količinama oborina, što može utjecati na upravljanje vodnim resursima i planiranje infrastrukturnih projekata.

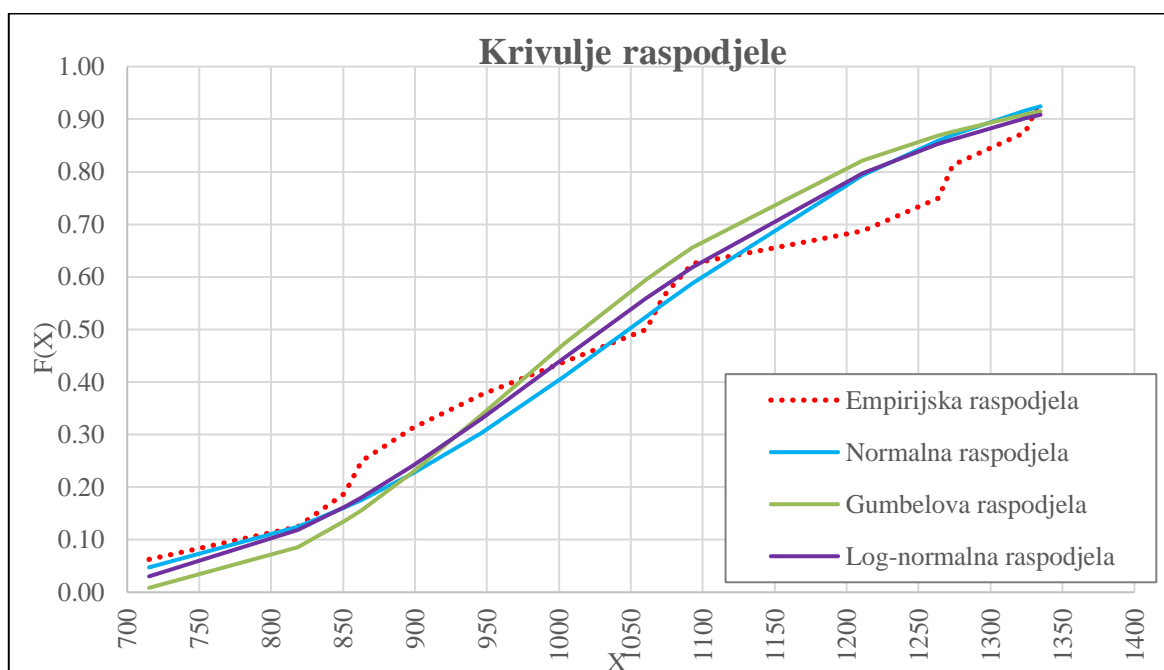
U tablici 4. prikazane su vrijednosti statističkih karakteristika niza vezanog za hod godišnjih oborina.

Tablica 4. Vrijednosti statističkih karakteristika niza godišnjih oborina

| MAKARSKA | | |
|--|------------------------------------|-------------|
| VRIJEDNOSTI STATISTIČKIH KARAKTERISTIKA NIZA GODIŠNJIH OBORINA | | |
| REDNI BROJ | NAZIV I OZNAKA | IZNOS |
| 1 | BROJ ČLANOVA UZORAKA (N) | 15 |
| 2 | SREDNJA VRIJEDNOST (SV) | 1048,58 |
| 3 | MEDIJAN (M_e) | 1060,80 |
| 4 | STANDARDNA DEVIJACIJA (σ) | 192,6003572 |
| 5 | MAXIMUM (P_{max}) | 1334,80 |
| 6 | MINIMUM (P_{min}) | 715,20 |
| 7 | RANG ($\Delta=P_{max}-P_{min}$) | 619,60 |
| 8 | DONJI KVARTIL (Q_1) | 880,6 |
| 9 | GORNJI KVARTIL (Q_2) | 1237,4 |
| 10 | KOEFICIJENT ASIMETRIJE (C_s) | 0,023186847 |

Tablica prikazuje statističke parametre, uključujući srednju vrijednost, medijan, standardnu devijaciju, minimalne i maksimalne vrijednosti, rang, kvartil i koeficijent asimetrije, pružajući sveobuhvatan uvid u raspodjelu i varijabilnost količine oborina tijekom analiziranih razdoblja.

Uz to su na slici 31. prikazane krivulje raspodjele, pri čemu se analiziraju empirijska, normalna, Gumbelova i log-normalna raspodjela.

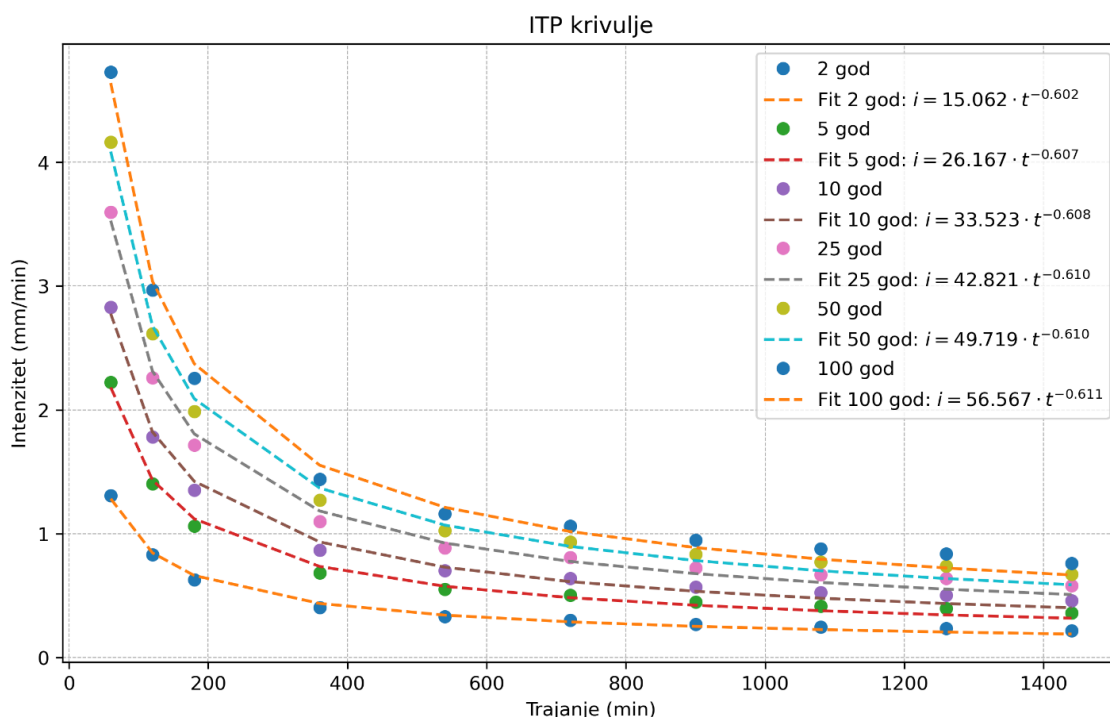


Slika 31. Krivulje raspodjele

Na slici 31 prikazane su kumulativne funkcije raspodjele ukupnih godišnjih oborina za područje Makarske, koja prikazuje kako se frekvencija pojavljivanja različitih količina oborina raspoređuje u odnosu na njihove vrijednosti. Ova krivulja temelji se na podacima o ukupnim godišnjim oborinama prikazanim u rastućem nizu, gdje su najmanje oborine iznosile 715,2 mm, a najveće 1334,8 mm.

3.1.1. Izračunate ITP krivulje i prikaz raspodjele padalina po mjesecima za promatrano razdoblje

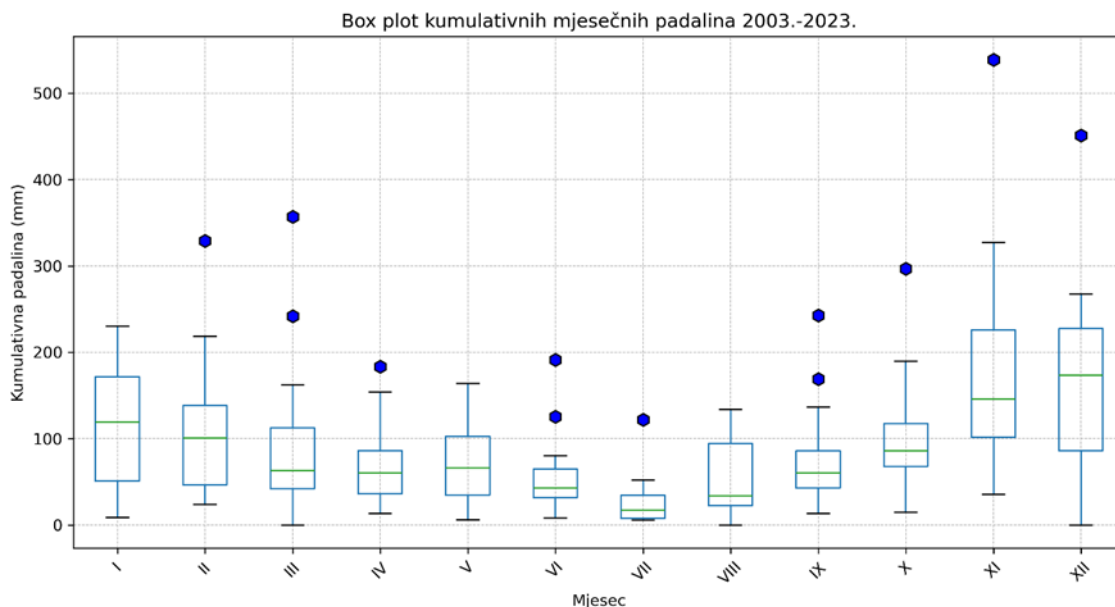
Na temelju očitanih intenziteta za različite povratne periode i intervale trajanja iz slika 6, 7, 8 i 9, konstruirane su ITP krivulje (Intenzitet-Trajanje-Ponavljjanje). Ove krivulje predstavljaju ključni alat u hidrologiji i inženjerskoj praksi, omogućujući procjenu rizika od ekstremnih oborina i planiranje odgovarajuće infrastrukture za odvodnju.



Slika 32 ITP krivulje za postaju Makarska

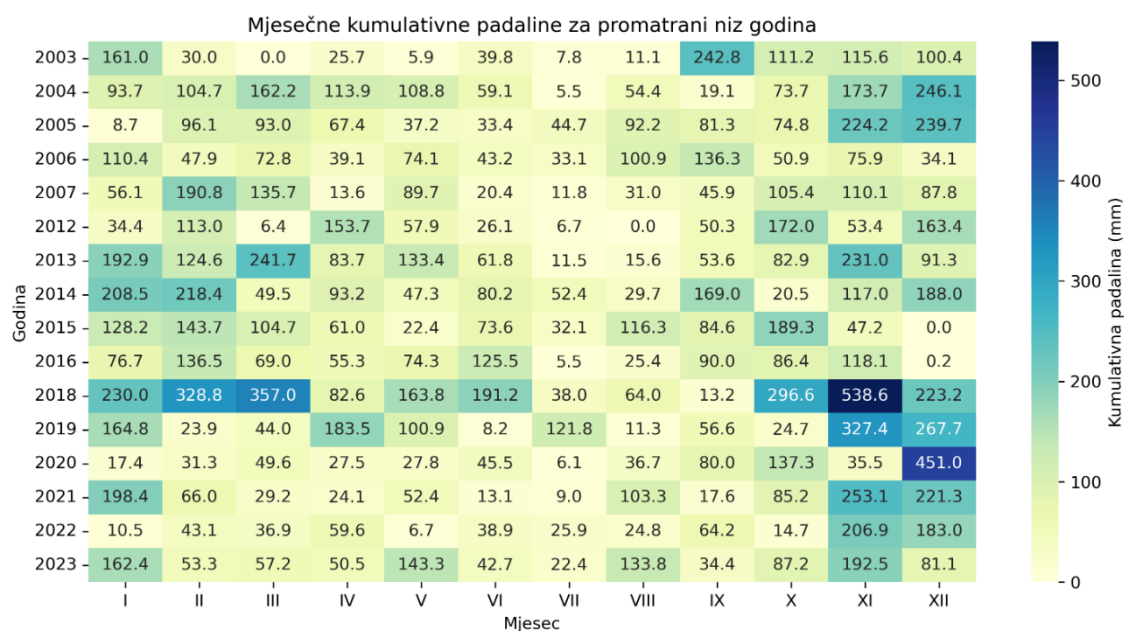
Za analizu ekstremnih oborina na području Makarske, konstruirane su ITP krivulje za povratne periode od 2, 5, 10, 25, 50 i 100 godina. Ove krivulje omogućuju procjenu intenziteta oborina koji se mogu očekivati u svakom od navedenih povratnih perioda, pružajući ključne informacije za planiranje i dizajn infrastrukture. Na temelju prilagođene Gumbelove distribucije

za različite intervale trajanja oborina, očitane su vrijednosti intenziteta za svaki od navedenih povratnih perioda. Rezultati su korišteni za generiranje ITP krivulja koje ilustriraju odnos između trajanja oborina i njihovog intenziteta za dugoročne povratne periode. Ove krivulje su važan alat za daljnju analizu SCS metode, te procjenu rizika od ekstremnih meteoroloških događaja i za donošenje informiranih odluka u inženjerskim projektima i upravljanju vodnim resursima.



Slika 33 Box plot kumulativnih mjesečnih oborina za promatrani niz godina

Kroz analizu prikazanih podataka, vidljivo je na slici 34. kako se kumulativne oborine razlikuju ovisno o mjesecu i godini. Od početka svibnja do kraja rujna, prikazani podatci pokazuju da su oborine bile umjerene, s manjim odstupanjima od srednje vrijednosti. Boje na slici tijekom ovog razdoblja su svjetlije, što ukazuje na to da su količine oborina bile unutar normalnog raspona. Nasuprot tome, od listopada do kraja travnja, boje na slici postaju tamnije, s prevladavajućim nijansama plave. Ovo označava povećanje količine oborina i veće varijacije od srednje vrijednosti. Ova sezonska karakteristika odražava poznati obrazac u kojem hladniji mjeseci i zimski periodi često imaju veće količine oborina. U mjesecu studenom 2018. godine zabilježena je izuzetno velika količina oborina, koja je iznosila 538,6 mm. Ova količina oborina uzrokovala je značajne poplave koje su široko izvještavane u svim relevantnim člancima [3]. Ovaj ekstremni događaj jasno je prikazan na slici i ističe se kao neobično visoka vrijednost u odnosu na ostatak podataka.



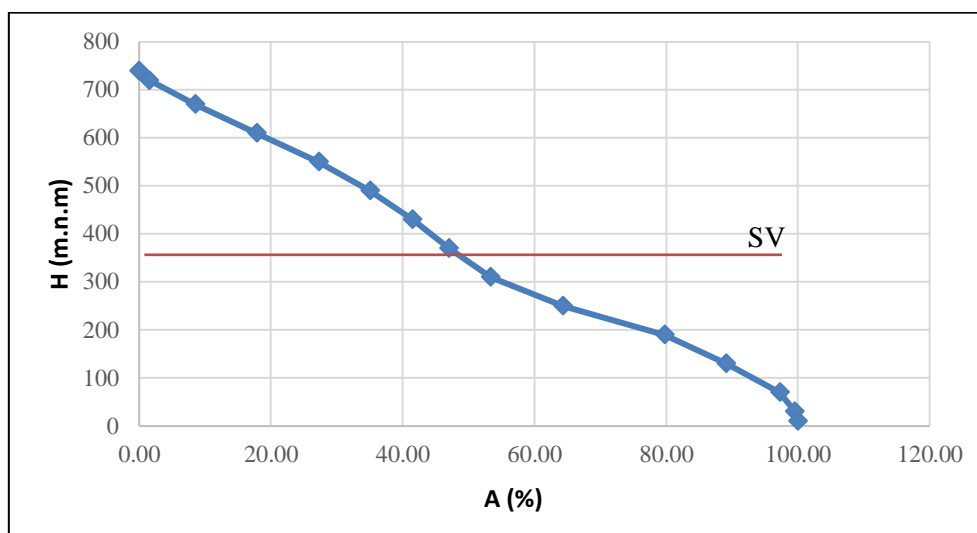
Slika 34 Kumulativne mjesečne oborine za promatrani niz godina

Ova detaljna analiza kumulativnih mjesečnih oborina pruža uvid u sezonske obrasce i ekstremne događaje, omogućujući bolje razumijevanje raspodjele oborina tijekom godine [25].

3.2. Rezultati SCS metode

3.2.1. Geometrija sliva

Na sljedećim su slikama prikazane hipsometrijske krivulje za sliv 1, sliv 2 te sliv 3 (Slika 10).

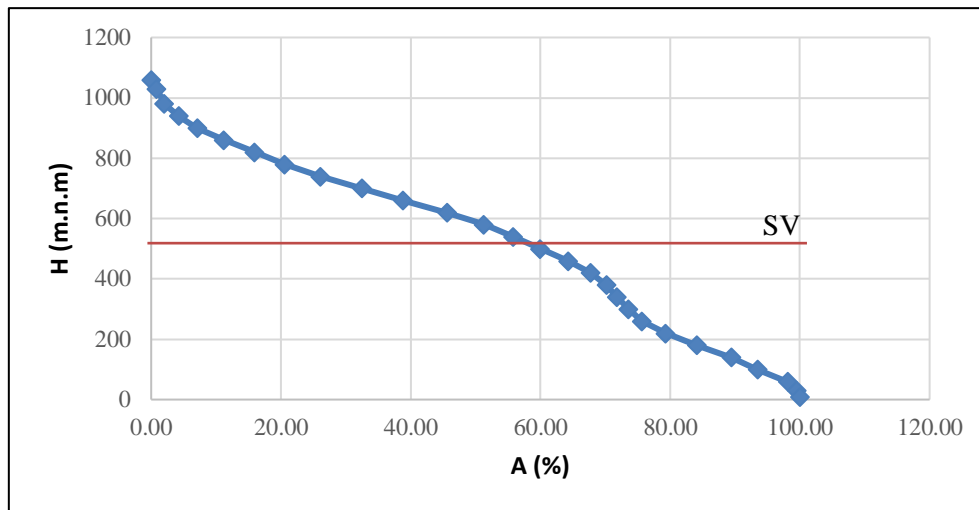


Slika 35. Hipsometrijska krivulja (sliv 1)

Određena je (crvenom linijom) srednja visina cijelog sliva preko jednakosti površina $H_{sr} = 375$ m n.m. Geometrijske karakteristike za tri sliva prikazane su u tablicama 5, 6 i 7.

Tablica 5. Geometrijske karakteristike za sliv 1

| | |
|--------------------------|-------|
| A (km ²) | 0,91 |
| O (km) | 4,8 |
| U (km) | 1,46 |
| k | 0,26 |
| L (km) | 4,85 |
| L _w (km) | 0,37 |
| A (transf.) (km) | 1,79 |
| H _{sr} (m n.m.) | 0,375 |
| J (%) | 0,15 |

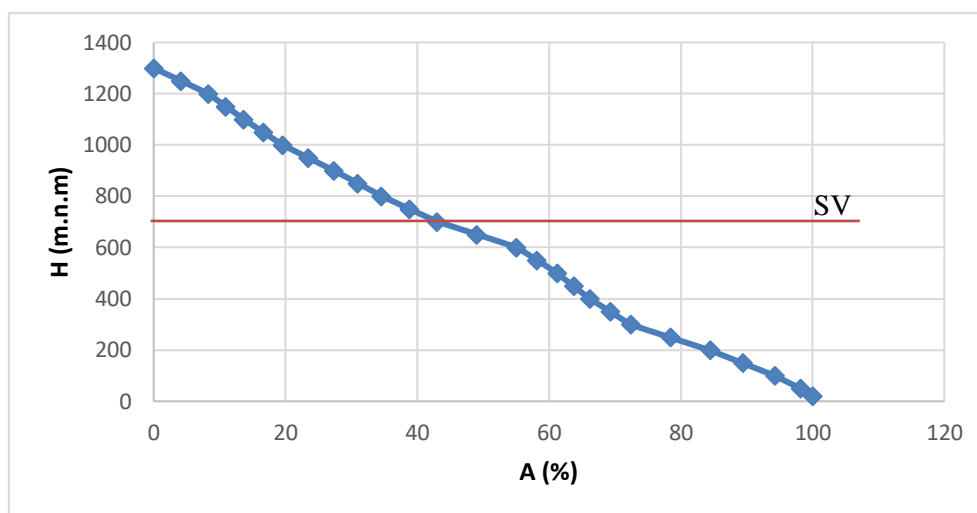


Slika 36. Hipsometrijska krivulja (sliv 2)

Određena je (crvenom linijom) srednja visina cijelog sliva preko jednakosti površina $H_{sr} = 556$ m n.m.

Tablica 6. Geometrijske karakteristike za sliv 2

| | |
|--------------------------------|-------|
| A (km ²) | 0,75 |
| O (km) | 5,1 |
| U (km) | 1,53 |
| k | 0,19 |
| L (km) | 6,06 |
| L_w (km) | 0,28 |
| A (transf.) (km ²) | 1,71 |
| H_{sr} (m n.m.) | 0,556 |
| J (%) | 0,18 |



Slika 37 Hipsometrijska krivulja (sliv 3)

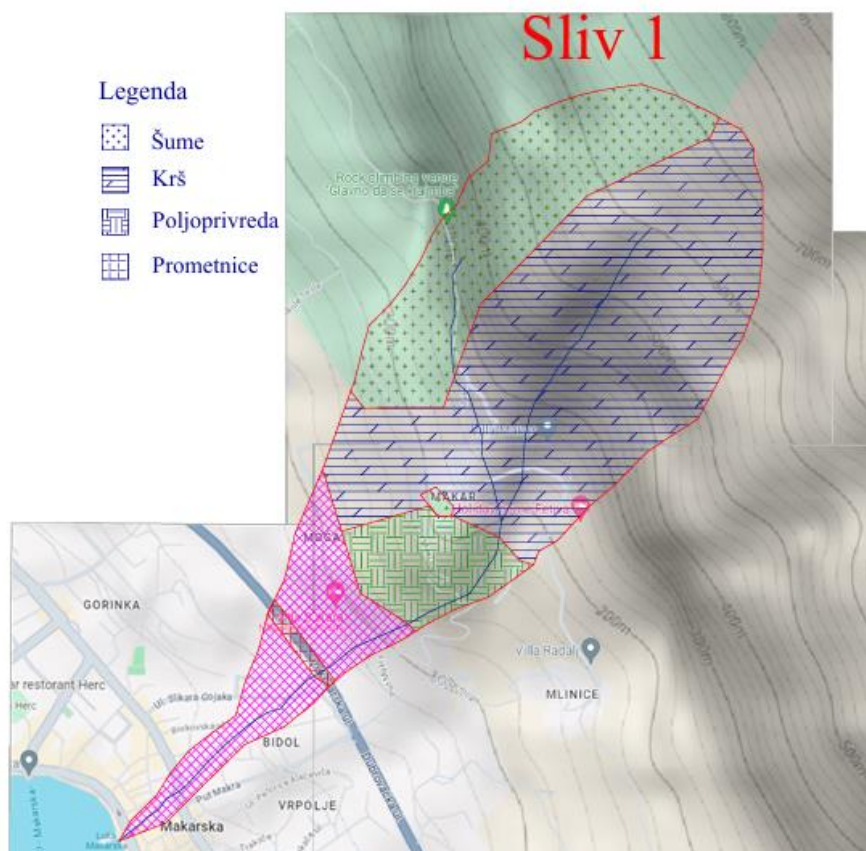
Određena je (crvenom linijom) srednja visina cijelog sliva preko jednakosti površina $H_{sr} = 670$ m n.m.

Tablica 7. Geometrijske karakteristike za sliv 3

| | |
|--------------------------------|------|
| A (km ²) | 2,32 |
| O (km) | 7,9 |
| U (km) | 2,06 |
| k | 0,29 |
| L (km) | 7,00 |
| L (km) | 0,62 |
| A (transf.) (km ²) | 4,34 |
| Hsr (m n.m.) | 0,64 |
| J (%) | 0,18 |

3.2.2. Izračunati CN brojevi

U ovom se potpoglavlju određuju CN brojevi za svaki pojedini sliv (sliv 1, sliv 2 i sliv 3) na temelju podjele područja i njegove površine.

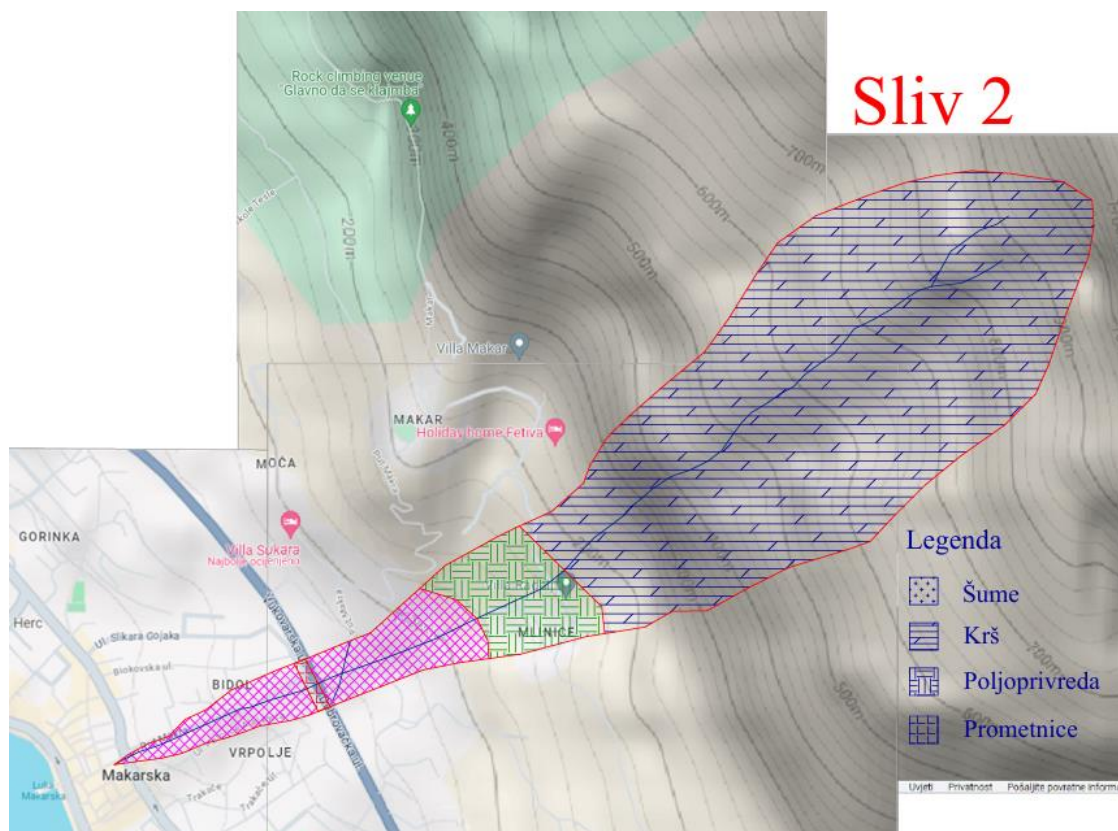


Slika 38. Prikaz podjele područja za određivanje CN broja (sliv 1)

Tablica 8. Prikaz podjele područja i površine za određivanje CN broja za sliv 1

| ODREĐIVANJE UKUPNOG CN | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------|------------------|-----------|
| područje | površina [km ²] | % površine | CN | %*CN |
| krš | ostalo | 41,73 | 70 | 29,211 |
| šume | 0,2103 | 23,11 | 60 | 13,866 |
| | 0,2416 | 26,55 | 70 | 18,585 |
| urbanizirane površine | | | | |
| obrađive površine | 0,07319 | 8,04 | 60 | 4,824 |
| prometnice | 0,0052 | 0,57 | 98 | 0,5586 |
| | | | CN ukupni | 67 |

Na osnovi tablica CN brojeva (Tablica 1) određene su vrijednosti za pripadajući sliv, nakon što su definirane površine različitog karaktera (Slika 37). Ponderiranjem je dobivena je ukupna vrijednost CN broja za cijeli sliv 1 (Tablica 8).

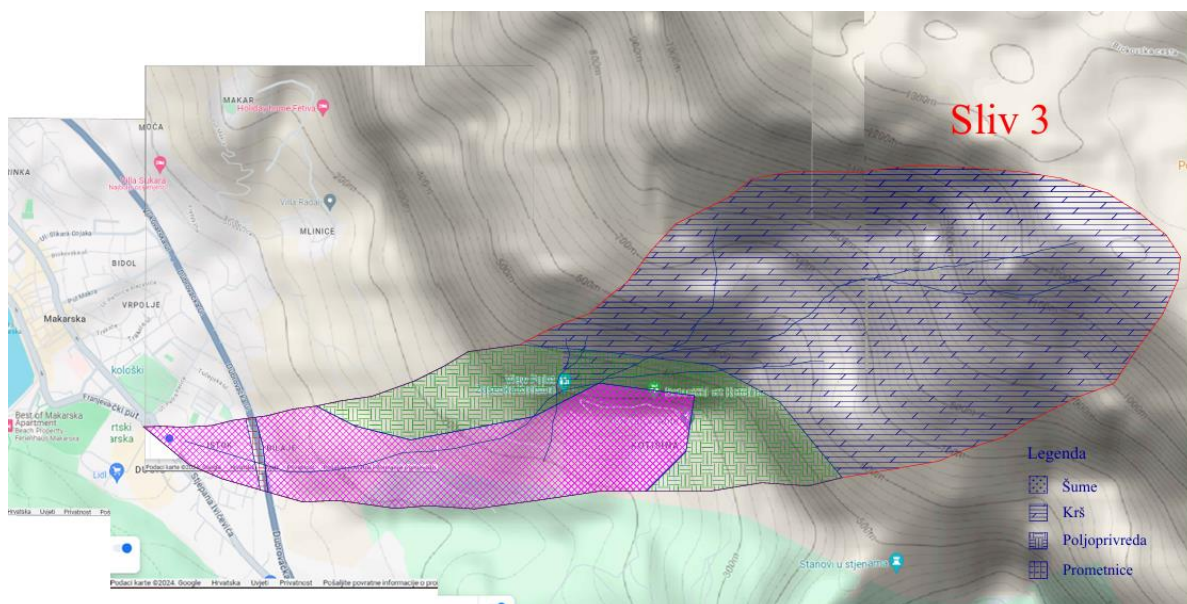


Slika 39. Prikaz podjele područja za određivanje CN broja (sliv 2)

Tablica 9. Prikaz podjele područja i površine za određivanje CN broja za sliv 2

| ODREĐIVANJE UKUPNOG CN | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------|------------------|-----------|
| područje | površina [km ²] | % površine | CN | %*CN |
| krš | ostalo | 81,46 | 70 | 57,022 |
| šume | 0 | 0 | 60 | 0 |
| | 0,077286 | 10,3 | 70 | 7,21 |
| urbanizirane površine | 0,058781 | 7,84 | 60 | 4,704 |
| prometnice | 0,003 | 0,4 | 98 | 0,392 |
| | | | CN ukupni | 69 |

Na osnovi tablica brojeva CN (Tablica 1) određene su vrijednosti za pripadajući sliv, nakon što su definirane površine različitog karaktera (Slika 38). Ponderiranjem je dobivena ukupna vrijednost CN broja za cijeli sliv 2 (Tablica 9).



Slika 40. Prikaz podjele područja za određivanje CN broja (sliv 3)

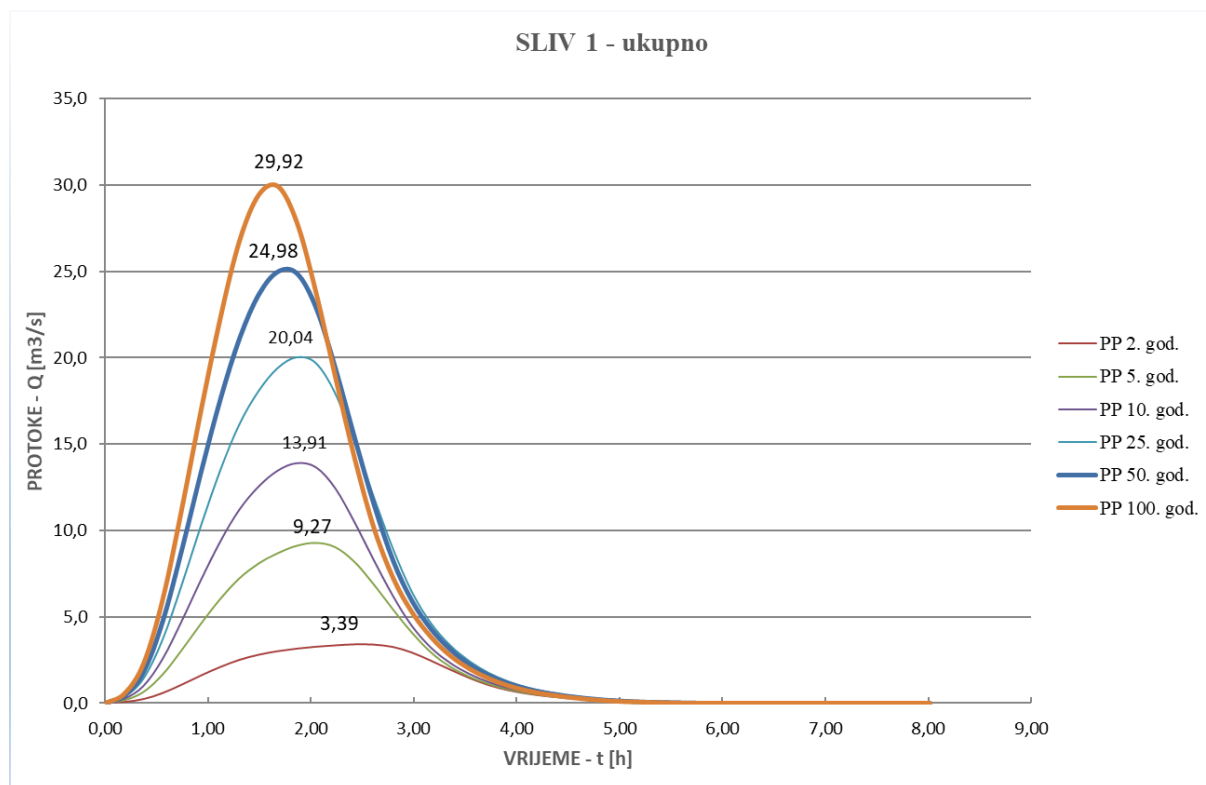
Tablica 10. Prikaz podjele područja i površine za određivanje CN broja za sliv 3

| ODREĐIVANJE UKUPNOG CN | | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------|------------------|-----------|
| područje | površina [km ²] | % površine | CN | %*CN |
| krš | ostalo | 22,59 | 70 | 15,813 |
| šume | 0 | 0 | 60 | 0 |
| | 0,428281 | 41,58 | 70 | 29,106 |
| urbanizirane površine | 0,368201 | 35,75 | 60 | 21,45 |
| obradive površine | 0,368201 | 35,75 | 60 | 21,45 |
| prometnice | 0,0008437 | 0,08 | 98 | 0,0784 |
| | | | CN ukupni | 66 |

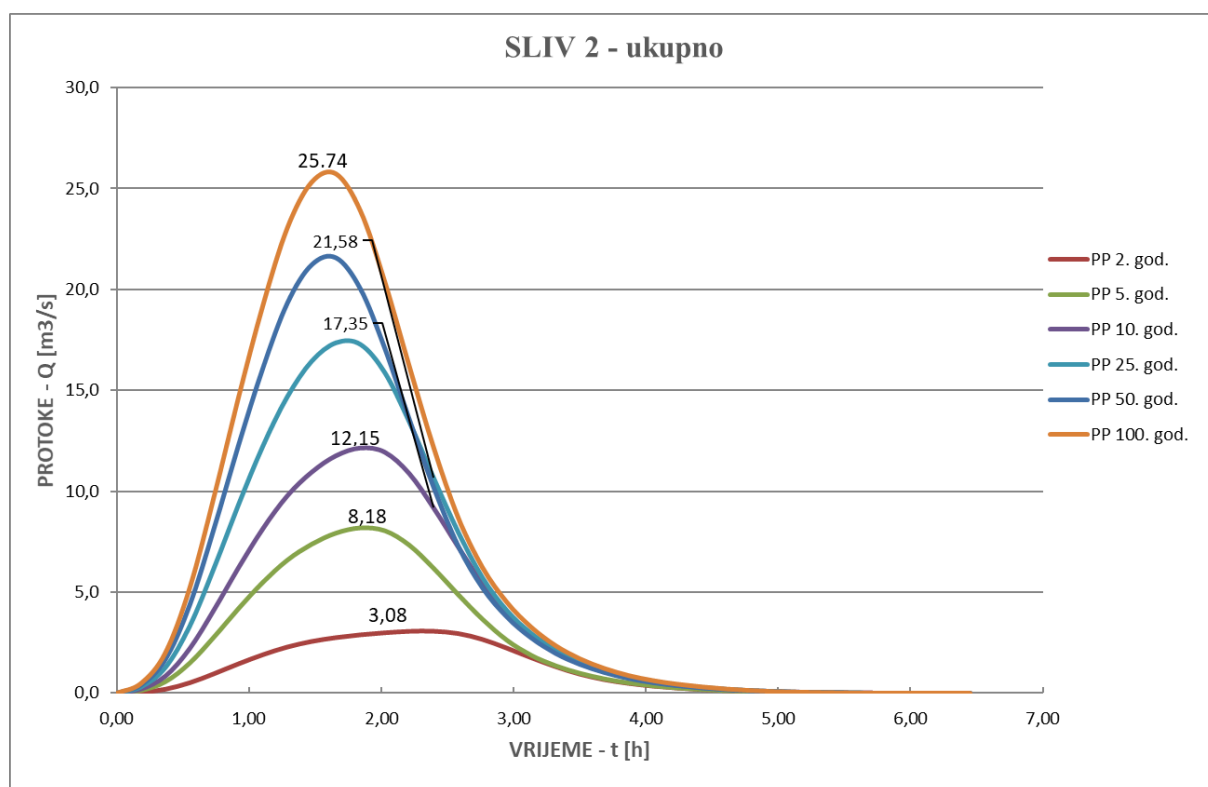
Na osnovi tablica brojeva CN (Tablica 1) određene su vrijednosti za pripadajući sliv, nakon što su definirane površine različitog karaktera (Slika 39). Ponderiranjem je dobivena ukupna vrijednost CN broja za cijeli sliv 3 (Tablica 10).

3.2.3. Izračunati hidrogrami

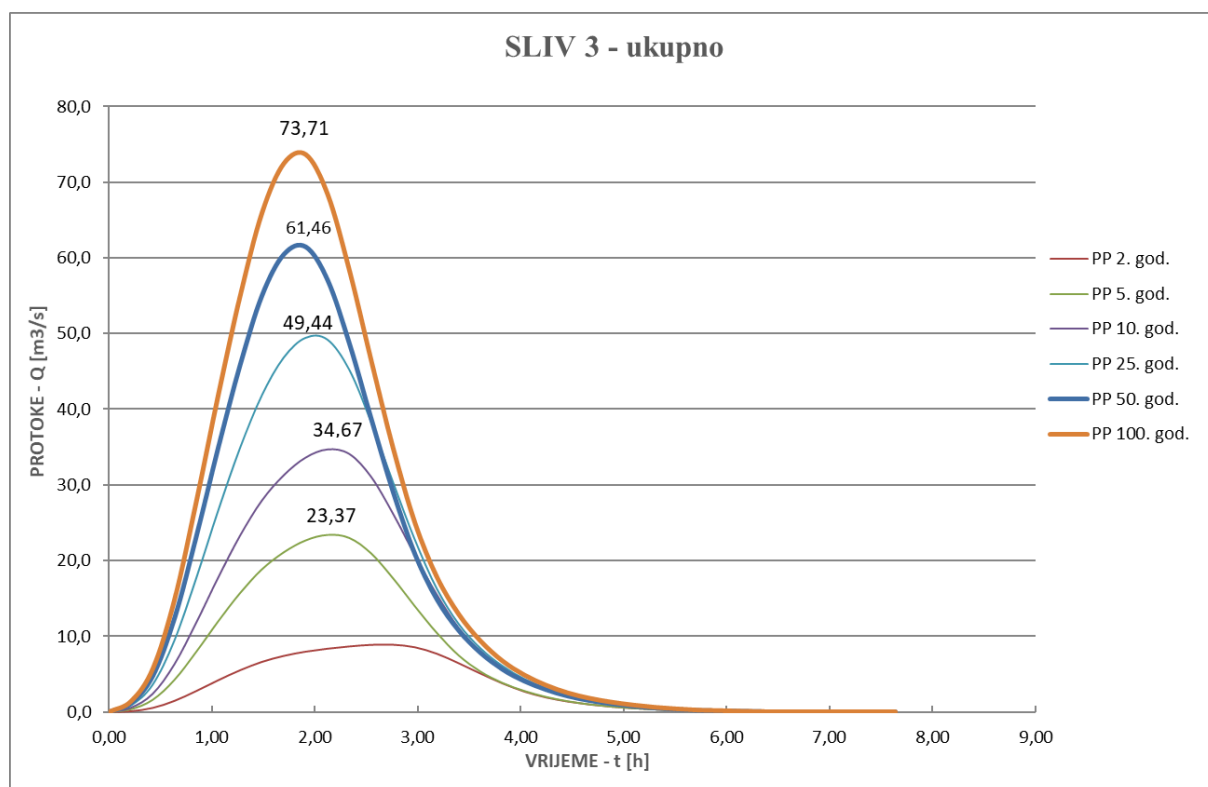
Na osnovu postupka opisanog u potpoglavlju 2.4.2. izračunati hidrogrami za sliv 1, sliv 2 i sliv 3 prikazani su na slikama 30., 31. i 32. Riječ je o hidrogramima otjecanja koji su dali maksimalne vršne protoke za pojedina povratna razdoblja.



Slika 41. Hidrogram velikih voda Makarske za cjelokupni sliv 1 s povratnim razdobljima



Slika 42. Hidrogram velikih voda Makarske za cjelokupni sliv 2 s povratnim razdobljima



Slika 43. Hidrogram velikih voda Makarske za cjelokupni sliv 3 s povratnim razdobljima

Izvršena je hidrološka analiza na području vodotoka Makarska primjenom SCS metode.

Hidrološka analiza je izvršena za tri sliva te podjelom slivnog područja iscrtavanjem slojnica i očitavanjem površine između njih definirana hipsometrijska krivulja za svaki sliv pojedinačno. Iz hipsometrijske krivulje dobivena je srednja visina sliva H_{sr} .

Minimalna visina sliva 1 i sliva 2 je na koti 1,5 m n.m., dok je na slivu 3 minimalna visina 4 m.n.m. Na slivu se nalaze poljoprivredna zemljišta, naselja, prometnice, krš i šume. Za svako područje određena je površina i pripadajući CN broj, na temelju čega je ponderiranjem dobivena srednja vrijednost CN broja.

Karakteristike sliva: površina sliva, opseg sliva, srednja visina sliva, visina izlaznog profila, udaljenost težišta od izlaznog profila i koeficijent otjecanja, zajedno uz zadanu klimatsko-oborinsku funkciju, ulazni su podatci za određivanje hidrograma otjecanja.

Za povratna razdoblja od 2, 5, 10, 25, 50 i 100 godina su dobiveni maksimalni protoci koji su prikazani u tablicama za svaki sliv pojedinačno.

Zbrajanjem protoka za povratno razdoblje od **100 godina** dobiven je **ukupni protok** od:
 $29,92 + 25,74 + 75,71 = 131,37$ l/s

Taj ukupni protok predstavlja najrelevantniji podatak jer povratno razdoblje za analizirani period reflektira najviše vrijednosti protoka koje su ključne za dimenzioniranje sustava za kontrolu poplava, kanalizacijskih sustava i drugih hidroloških infrastruktura.

SCS metoda pruža procjene protoka vode za različita povratna razdoblja na temelju karakteristika slivnih područja. Dobiveni rezultati pokazuju da je ukupni protok za povratno razdoblje od 100 godina 131,37 l/s, što je ključna informacija za daljnje hidrološke analize i planiranje infrastrukturnih projekata u dotičnim slivnim područjima.

3.3. Mjerodavne količine otpadnih voda

Zadani su sljedeći podatci:

| | |
|--|-------------------|
| Današnji broj stanovnika: | $N_0 = 6650$ |
| Prosječno godišnje pad stanovnika: | $p = 1,0 \%$ |
| Projektno razdoblje: | $R_p = 25$ godina |
| Konačni broj turista: | $N_t = 3000$ |
| Količina ispuštane industrijske vode dnevno: | 5 l/s |

- Konačni broj stanovnika

$$N_k = N_0 * (1 + p/100)^{R_p} \quad (35)$$

$$N_k = 6650 * (1 + 1,0/100)^{25}$$

$$N_k = 8528,17 \approx 8529 \text{ stanovnika}$$

- Specifična potrošnja vode

Specifična potrošnja vode stanovnika (8529 stanovnika): $q_{sp.stan.} = 180$ l/stan/dan

Specifična potrošnja vode hotela (ostale kategorije – 3. i 4. kat., 2000 turista):

$$q_{sp.hoteli} = 300 \text{ l/turistu/dan}$$

Specifična potrošnja vode privatnog smještaja (1000 turista): $q_{sp.p.s.} = 250$ l/turistu/dan

Mjerodavne količine otpadnih voda su one koje služe za dimenzioniranje pojedinih objekata kanalizacijskog sustava. Na temelju poznatih podataka o broju stanovnika naselja i specifičnoj potrošnji vode u kućanstvu određuje se srednji dnevni protok otpadnih voda $Q_{sr,dn}$ (l/s):

- Srednja dnevna potrošnja vode

$$Q_{sr,dan} = q_{sp} * M_K \quad (36)$$

$$Q_{sr,dan,stan.} = 180 * 8529 = 1535220 \text{ l/dan} = 1535,22 \text{ m}^3/\text{dan} = 17,76 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr,dan,hotel} = 300 * 2000 = 600000 \text{ l/dan} = 600 \text{ m}^3/\text{dan} = 6,94 \text{ l/s}$$

$$Q_{sr,dan,p.s.} = 250 * 1000 = 250000 \text{ l/dan} = 250 \text{ m}^3/\text{dan} = 2,89 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.sr,dan} = Q_{sr,dn,stan.} + Q_{sr,dn,hotel} + Q_{sr,dn,p.s.}$$

$$Q_{uk.sr.dan} = 1535220 + 600000 + 250000$$

$$Q_{uk.sr.dan} = 2385220 \text{ l/dan} = 2385,22 \text{ m}^3/\text{dan} = 27,61 \text{ l/s}$$

- Maksimalna dnevna i maksimalna satna potrošnja

Maksimalna dnevna potrošnja prikazana je u tablici 11.

Tablica 11. Maksimalna dnevna potrošnja vode

| | | | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------------|-----------|
| Q _{max,dan,stan} | 1,4 * 1535220 | 2149308 l/dan | 2149,31 m ³ /dan | 24,88 l/s |
| Q _{max,dan,hotel} | 1,6 * 600000 | 960000 l/dan | 960 m ³ /dan | 11,11 l/s |
| Q _{max,dan,p.s} | 1,8 * 250000 | 450000 l/dan | 450 m ³ /dan | 5,21 l/s |
| Q _{uk.max,dan} | 2149308+960000 + 450000 | 3559308 l/dan | 3559,31 m ³ /dan | 41,19 l/s |

Maksimalna satna potrošnja prikazana je u tablici 12.

Tablica 12. Maksimalna satna potrošnja vode

| | | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------|
| Q _{max,sat,stan} | (1,6*2149308)/24 | 143287,2 l/sat | 39,8 l/s |
| Q _{max,sat,hotel} | (2,2 * 960000)/24 | 88000 l/sat | 24,44 l/s |
| Q _{max,sat,p.s} | (2,2 * 450000)/24 | 41250 l/sat | 11,45 l/s |
| Q _{uk.max,sat} | 143287,21+88000 + 41250 | 272537,21 l/sat | 75,7 l/s |

Odvodnja:

Koeficijent umanjenja normi potrošnji za proračun otpadnih voda:

Koeficijent umanjenja za stanovništvo: $K = 0,80$ – područje naselja s individualnim tipom stanovanja i relativno malom okućnicom i vanjskom potrošnjom vode

Koeficijent umanjenja za privatni smještaj i hotele: $K = 0,90$

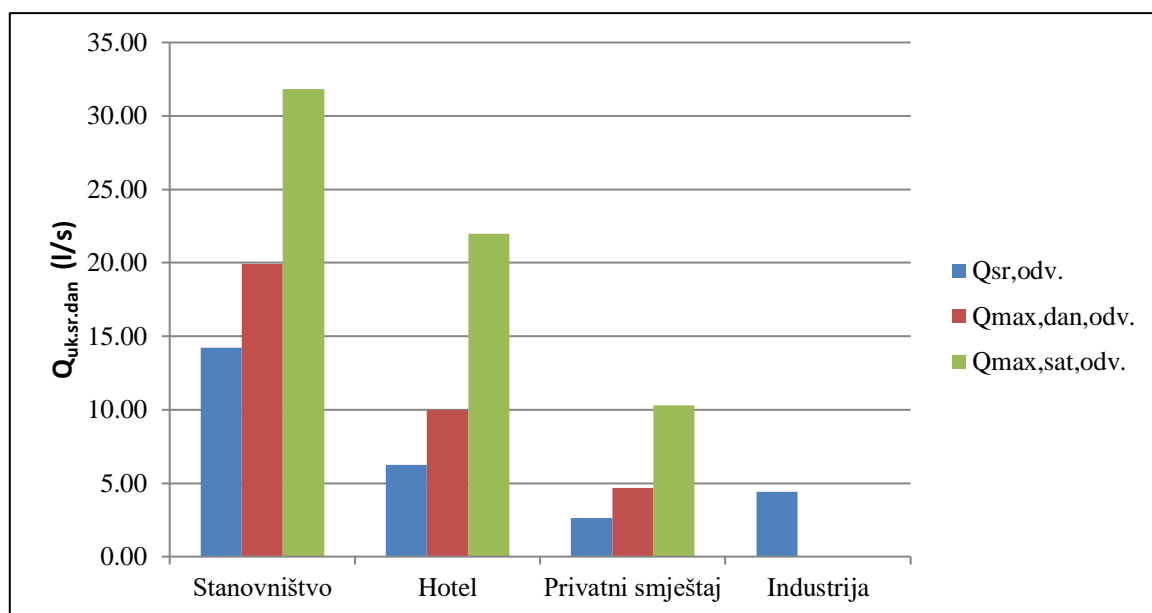
Koeficijent umanjenja za industriju: $K = 0,90$

Proračun odvodnje otpadnih voda za stanovništvo, hotele, privatni smještaj i industriju prikazan je u tablici 13.

Tablica 13. Proračun odvodnje otpadnih voda za stanovništvo, hotele, privatni smještaj i industriju

| Stanovništvo | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Qsr.stan.odv | 1535220 * 0,80 | 1228176 l/dan | 14,22 l/s |
| Qmax,dan,stan.odv. | 2149308 * 0,80 | 1719446,4 l/dan | 19,91 l/s |
| Qmax,sat,stan.odv. | 143287,2 * 0,80 | 114629,76 l/sat | 31,84 l/s |
| Hotel | | | |
| Qsr.hotel.odv. | 600000 * 0,90 | 540000 l/dan | 6,25 l/s |
| Qmax,dan,hotel.odv. | 960000 * 0,90 | 864000 l/dan | 10 l/s |
| Qmax,sat,hotel.odv. | 88000 * 0,90 | 79200 l/sat | 22 l/s |
| Privatni smještaj | | | |
| Qsr.priv.smješt.odv. | 250000 * 0,90 | 225000 l/dan | 2,61 l/s |
| Qmax,dan,priv.smješt.odv. | 450000 * 0,90 | 405000 l/dan | 4,69 l/s |
| Qmax,sat,priv.smješt.odv. | 41250 * 0,90 | 37125 l/sat | 10,31 l/s |

Stanovništvo istočne Makarske generira najveću količinu otpadnih voda, dok hoteli i privatni smještaji pridonose značajnim, ali manjim udjelom. Industrijska proizvodnja, koja je minimalno zastupljena u gradu, ima zanemariv utjecaj na ukupnu količinu otpadnih voda. Graf prikazuje da je ukupni maksimalni satni protok otpadnih voda najviši, slijedi ga maksimalni dnevni protok, dok je srednji dnevni protok najniži. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 43.



Slika 44. Rezultati proračuna odvodnje otpadnih voda

- Ukupni protok

$$Q_{uk.sr.dan} = 1993176 \text{ l/dan} = 23,07 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.max.dan} = 2988446,4 \text{ l/dan} = 34,58 \text{ l/s}$$

$$Q_{uk.max,sat} = 230954,76 \text{ l/sat} = 64,15 \text{ l/s}$$

U analizi je u obzir uzet prosječni godišnji pad broja stanovnika od 1 %, kao i koeficijent maksimalne dnevne i satne neravnomjernosti (Tablica 3.), ali je zabilježen kontinuirani porast broja turista iz godine u godinu. Izračunata je srednja dnevna potrošnja, maksimalna dnevna potrošnja te maksimalna satna potrošnja za stanovništvo, hotele, privatni smještaj i industriju.

Satni maksimalni **protok od 64,15 l/s** predstavlja ključni parametar za daljnje proračune i dimenzioniranje kanalizacijskih sustava. Taj je protok mjerodavan, jer reflektira najintenzivnije opterećenje koje sustav može doživjeti u najkraćem vremenskom intervalu, što je od presudne važnosti za osiguranje pouzdanosti i funkcionalnosti sustava u ekstremnim uvjetima.

4. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom izvršena je analiza oborinskog i fekalnog opterećenja na sustavu odvodnje za istočni dio grada Makarske. Prikupljeni su podaci o oborinama Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ), koji su poslužili kao osnova za izradu ITP (Intenzitet oborine – Trajanje – Ponavljanje) krivulja. Ove krivulje omogućuju procjenu intenziteta oborina tijekom različitih vremenskih razdoblja, što je ključno za hidrološke analize.

Kombiniranjem ovih podataka s metodom Soil Conservation Service (SCS), koja se koristi za modeliranje otjecanja na slivovima, definirani su svi potrebni parametri za formiranje sintetičkog jediničnog hidrograma. Na taj način, konstruirana su tri sliva za promatrano područje za povratni period od 100 godina, pri čemu je ukupni mjerodavni protok procijenjen na 131,37 l/s. Ova procjena omogućuje razumijevanje potencijalnog opterećenja sustava odvodnje u hipotetskom scenariju ekstremnih oborina.

Osim oborinskog opterećenja, analizirano je i fekalno opterećenje za istočni dio Makarske. Na temelju podataka o demografskim kretanjima, industriji i turizmu, izračunat je najveći satni protok fekalnih voda, koji iznosi 64,15 l/s. Ova procjena naglašava potrebu za adekvatnim dimenzioniranjem sustava odvodnje, osobito s obzirom na sezonski rast broja stanovnika tijekom turističke sezone, kada dolazi do najvećeg opterećenja.

Cjelokupna analiza provedena u ovom radu predstavlja hipotetski scenarij, čija je svrha bila utvrditi koliko bi sustav odvodnje bio opterećen u slučaju kombiniranog djelovanja velikih oborina i povećanog fekalnog opterećenja. Dobiveni rezultati pružaju okvirne informacije za planiranje i optimizaciju vodne infrastrukture u istočnoj Makarskoj, s ciljem osiguranja pouzdanosti i učinkovitosti sustava u maksimalnim uvjetima opterećenja. Za preciznije rezultate trebalo bi izraditi studiju s većim nizom podataka o padalinama, detaljniji pregled terena (npr. korištenje satelitskih snimki), te stvarno stanje raspodjele prikupljanja oborinskih i fekalnih voda. Jedna od mogućih smjernica budućih analiza bi uključivala varijantna rješenja za raspodjelu prikupljanja u kanalizacijskom sustavu uzimajući u obzir različita povećanja kapaciteta postojećih ili izgradnje novih objekata (npr. crpne stanice, kolektori, preljevi i dr.).

Analiza u ovom radu provedena je kako bi se dao uvid u okvirnu izloženost ekstremnim uvjetima opterećenja od oborinskih i fekalnih voda pružajući time određenu podršku u donošenju odluka za planiranje sustava odvodnje za hipotetski najnepovoljniji scenarij. Ovakve analize doprinose sveobuhvatnijoj pripremi za suočavanje s izazovima koji donose klimatske promjene i rast turizma, s ciljem postizanja dugoročne održivosti urbanog razvoja Makarske.

5. LITERATURA

- [1] Google Earth, Makarska [Internet]. Dostupno na:
<https://earth.google.com/web/search/makarska/@43.3074729,17.03397335,639.4812345a,13533.17084984d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCSU74O-HjDRAESM74O-HjDTAGe-3X7blJEIAlc5AGtXQ90nAOgMKATA>
- [2] <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/ovako-izgleda-makarska-svaki-put-kad-padne-malovise-kise-foto-20180207/slika-ac109c28bc7f2003c4547a229968576b>, pristupljeno 23. srpnja, 2024.
- [3] [Makarsku zahvatilo nevrijeme, obilna kiša potopila neke objekte - tportal](#), pristupljeno 29. srpnja, 2024.
- [4] Vodovod d.o.o. Makarska; Elaborat zaštite okoliša za postupak ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš za izgradnju vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska [Internet].; Siječanj, 2017. Dostupno na:
https://mzozt.gov.hr/UserDocsImages//ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20OPUO/2017/elaborat_zastite_okolisa_7.pdf
- [5] Vodovod d.o.o. Makarska; Studijska i projektna dokumentacija za prijavu izgradnje vodno-komunalne infrastrukture aglomeracija: Brela, Baška Voda, Promajna – Krvavica, Makarska, Tučepi, Podgora za sufinanciranje iz fondova EU
- [6] Javna ustanova „Park prirode Biokovo“, Geološka-paleontološka baština [Internet]. Makarska: Play Digital d.o.o.; 2024. Dostupno na: <https://pp-biokovo.hr/hr/biokovo/geoloska-paleontoloska-bastina>.
- [7] GEOGRAFIJA hr., Makarska [Internet]. Dostupno na: <https://geografija.hr/rasirenost-krsa-u-hrvatskoj/>
- [8] MICRO projekt d.o.o.; Program ukupnog razvoja [Internet]. Split: MICRO projekt d.o.o.; 2010. Dostupno na: <https://mara-makarska.hr/wp-content/uploads/2017/04/447.pdf>.
- [9] Državni hidrometeorološki zavod [Internet]. Dostupno na:
<https://meteo.hr/>

- [10] Hrvatska enciklopedija; Kišomjer [Internet]. Dostupno na:
<https://www.enciklopedija.hr/clanak/kisomjer>.
- [11] Deposit photos, Pluviometer [Internet]. Dostupno na:
<https://depositphotos.com/photos/pluviometer.html>
- [12] Državna geodetska uprava Republike Hrvatske, Geoportal Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, Makarska [Internet]. Dostupno na:
<https://geoportal.dgu.hr/>
- [13] Hrvatska enciklopedija, Bujica [Internet]. Dostupno na:
<https://www.enciklopedija.hr/clanak/bujica>
- [14] Hrvatski jezični portal, Sliv [Internet]. Dostupno na:
https://hjp.znanje.hr/index.php?show=search_by_id&id=d11mWRk%3D
- [15] Državni zavod za statistiku, Makarska [Internet]. Dostupno na:
<https://dzs.gov.hr/>
- [16] Makarska-info, turistička zajednica Makarska [Internet]. Dostupno na:
<https://makarska-info.hr/category/objave/>
- [17] Distribucije, Normalna distribucija [Internet]. Dostupno na:
<https://stedy.hr/distribucije/normalna-distribucija>
- [18] Stedinger, JR, & Cohn, TA (1986). *Korištenje Gumbelove distribucije za analizu ekstremnih vrijednosti hidroloških podataka* . Časopis za hidrologiju
- [19] Chow VT, Maidment DR, Mays LW. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill; 1988.
- [20] Miller AJ, Miller ML. *Extreme Value Theory and Its Applications*. Springer; 2004.
- [21] Coles S. *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. London: Springer; 2001.
- [22] Kotz S, Nadarajah S. *Extreme Value Distributions: Theory and Applications*. Singapore: World Scientific; 2000.
- [23] Gumbel, EJ (1958). *Statistička teorija ekstremnih vrijednosti i neke praktične primjene* . Nacionalni ured za standarde.
- [24] McCuen, RH (1989). *Hidrološka analiza i projektiranje* . Prentice Hall.

- [25] [Kvartili i interkvartilni raspon - Opisivanje podataka - Stedy](#) pristupljeno 1. kolovoza, 2024.
- [26] SCS. 1956, 1964, 1971, 1985. Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10. Soil Conservation Service, USDA: Washington, DC.
- [27] Denić-Jukić, V.; *Inženjerska hidrologija, jedinični hidrogram*, Split: GRADST.
- [28] Andrews R. G.; The use of Relative Infiltration Indices in Computing Runoff. Unpublished, Soil Conservation Service: Fort Worth, TX; 1954; 6 pp.
- [29] Denić-Jukić, V.; *Inženjerska hidrologija, sintetički jedinični hidrogram*, Split: GRADST
- [30] Ivana Sušanjan Čule I., Kuhar E., Ožanić N.; *Primjena SCS metode pri konstruiranju hidrograma oteklih oborina*, Zbornik radova (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci), 25(1), 2022, pp. 107-122.
- [31] Prezentacije sa službene stranice Građevinskog fakulteta u Splitu:
R. Andričević; Procjene opterećenja od zagađenja; P.d. 6; Split: GRADST (pristupljeno 14.4.2024.)
R. Andričević; Oničešćenje površinskih voda; P.d. 5; Split: GRADST (pristupljeno 14.4.2024.)
- [32] <https://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/vjezbe/Projektiranje%20sustava%20odvodnje%20-%20za%20web.pdf> pristupljeno 22.4.2024.