

Hidrološko-hidraulička analiza sustava odvodnje oborinskih voda dijela grada Biograd na Moru

Lokin, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:795861>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-20**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Ivan Lokin

**Hidrološko-hidraulička analiza sustava odvodnje oborinskih voda
dijela grada Biograd na Moru**

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij
Hidrotehnika
Urbani vodni sustavi**

**Ivan Lokin
JMBAG: 0114030250**

**Hidrološko-hidraulička analiza sustava odvodnje oborinskih voda
dijela grada Biograd na Moru**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2023.

IZJAVA

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

A handwritten signature in black ink on a light gray rectangular background. The signature reads "Ivan Lokin" in a cursive script.

Ivan Lokin

U Rijeci, 10. rujna 2023.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Ninu Krvavici dipl. ing. građ. na pomoći prilikom izrade ovog rada. Zahvaljujem i svojoj obitelji, svojim roditeljima i zaručnici na ukazanom povjerenju i podršci tijekom cjelokupnog studiranja.

Sažetak

Osnovni cilj ovog rada je analizirati postojeći sustav odvodnje oborinske vode u gradu Biograd na Moru, identificirati probleme postojećeg sustava te predložiti rješenja za problem plavljenja javnih površina pomoću implementacije zelene infrastrukture. Prvo je provedena analiza pokrova zemljišta, udjela nepropusnih površina te infiltracijskog kapaciteta prema SCS metodi te su definirane topografske karakteristike promatranog područja u QGIS-u. Nakon hidrološke obrade oborina u SWMM računalnom programu definirana su tri matematička modela sustava odvodnje. Jedan model za postojeće stanje, jedan sa implementacijom LID elemenata na 10% površine podslivova, te jedan sa implementacijom LID elemenata na 30% površine podslivova. Nakon provedenog hidrološko-hidrauličkog proračuna provedena je procjena učinkovitosti mjere smanjenja nepropusnih površina. Rezultati ovog istraživanja mogu pružiti važne smjernice za planiranje budućih infrastrukturnih intervencija i poboljšanja u gradu.

Ključne riječi: oborinske vode, QGIS, projektni pljusak, hidrološko-hidraulički proračun, SCS metoda, SWMM, LID elementi

Abstract

The primary objective of this study is to analyze the existing stormwater drainage system in the city of Biograd na Moru, identify the issues with the current system, and propose solutions to the problem of public area flooding through the implementation of green infrastructure. First, a land cover analysis and assessment of impervious surfaces and infiltration capacity were conducted using the SCS method, and the topographical characteristics of the observed area were defined using the QGIS software. Following the hydrological processing of rainfall data using the SWMM computer program, three mathematical models of the drainage system were defined. These included one model representing the existing conditions, another model with the implementation of LID elements covering 10% of the sub-basin areas, and a third model with LID elements covering 30% of the sub-basin areas. After the hydrological and hydraulic calculations were completed, an evaluation of the effectiveness of reducing impermeable surfaces was carried out. The results of this research can provide valuable guidance for planning future infrastructure interventions and improvements in the city.

Keywords: stormwater, QGIS, design storm, hydrological-hydraulic analysis, SCS method, SWMM, LID elements.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | UVOD | 1 |
| 2. | OPIS PODRUČJA..... | 3 |
| 3. | POSTOJEĆI PROBLEMI S POPLAVAMA..... | 5 |
| 4. | PODLOGE | 7 |
| 4.1. | Model terena..... | 7 |
| 4.2. | Infrastrukturne podloge | 8 |
| 4.3. | Meteorološke podloge..... | 8 |
| 5. | METODOLOGIJA PRORAČUNA..... | 11 |
| 5.1. | Analiza pokrova zemljišta | 11 |
| 5.2. | SWMM program..... | 17 |
| 5.3. | Uspostava modela..... | 18 |
| 6. | REZULTATI PRORAČUNA | 21 |
| 6.1. | Postojeće stanje - model 1..... | 21 |
| 6.1.1. | PP 2 godine - model 1..... | 21 |
| 6.1.2. | PP 25 godina – model 1 | 28 |
| 6.1.3. | PP 100 godina – model 1..... | 34 |
| 6.2. | Stanje sa ugrađenim LID elementima (10%) – model 2 | 40 |
| 6.2.1. | PP 2 godine – model 2 | 40 |
| 6.2.2. | PP 25 godina – model 2 | 47 |
| 6.2.3. | PP 100 godina – model 2..... | 54 |
| 6.3. | Stanje sa ugrađenim LID elementima (30%) – model 3 | 61 |
| 6.3.1. | PP 2 godine – model 3 | 61 |
| 6.3.2. | PP 25 godina – model 3 | 68 |
| 6.3.3. | PP 100 godina – model 3..... | 75 |
| 6.4. | Diskusija rezultata..... | 82 |
| 7. | ZELENA INFRASTRUKTURA..... | 84 |
| 7.1. | Program razvoja zelene infrastrukture | 85 |
| 8. | ZAKLJUČAK | 87 |
| 9. | LITERATURA..... | 88 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1: Karta RH s prikazom grada Biograd na Moru | 3 |
| Slika 2: Podslivovi promatranog područja | 4 |
| Slika 3: Mjesta gdje se događaju najveće i najčešće poplave..... | 5 |
| Slika 4: Poplava podvožnjaka [4]..... | 5 |
| Slika 5: Karta opasnosti od poplava na području centra grada Biograda na Moru | 6 |
| Slika 6: Oborinski kolektor prikazan na karti grada Biograd na Moru | 8 |
| Slika 7: Pluviogram za grad Zadar | 9 |
| Slika 8: HTP krivulja za grad Zadar | 10 |
| Slika 9: Površine podslivova..... | 12 |
| Slika 10: Srednji nagibi podslivova..... | 13 |
| Slika 11: Udio nepropusnih površina na svakom podslivu..... | 14 |
| Slika 12: Vrijednosti CN brojeva za svaki podsliv..... | 15 |
| Slika 13: Manningov koeficijent trenja za svaki podsliv | 16 |
| Slika 14: Shematski prikaz sistema ulične odvodnje oborinske vode pomoću slivnika i potpovršinskog kolektora | 19 |
| Slika 15: Shematski prikaz infiltracijskog jarka iz SWMM računalnog programa | 19 |
| Slika 16: Podaci o oborinama za grad Zadar..... | 20 |
| Slika 17: Ukupna količina efektivne oborine – model 1, PP 2 god..... | 21 |
| Slika 18: Vršni protok površinskog tečenja – model 1, PP 2 god | 22 |
| Slika 19: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 1, PP 2 god | 22 |
| Slika 20: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 1, PP 2 god..... | 23 |
| Slika 21: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 1, PP 2 god..... | 23 |
| Slika 22: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 1, PP 2 god..... | 24 |
| Slika 23: Približno područje od interesa | 24 |
| Slika 24: Maksimalni protok u kolektoru – model 1, PP 2 god..... | 25 |
| Slika 25: Maksimalne brzine u cijevima - model 1, PP 2 god | 25 |
| Slika 26: Maksimalna ispunjenost kanala - model 1, PP 2 god..... | 26 |
| Slika 27: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 2 god..... | 26 |
| Slika 28: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 2 god..... | 27 |
| Slika 29: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 1 za PP 2 god..... | 27 |
| Slika 30: Ukupna količina efektivne oborine – model 1, PP 25 god..... | 28 |
| Slika 31: Vršni protok površinskog tečenja – model 1, PP 25 god..... | 28 |
| Slika 32: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 1, PP 25 god..... | 29 |
| Slika 33: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 1, PP 25 god..... | 29 |
| Slika 34: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 1, PP 25 god..... | 30 |
| Slika 35: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 1, PP 25 god..... | 30 |
| Slika 36: Maksimalni protok u kolektoru – model 1, PP 25 god..... | 31 |
| Slika 37: Maksimalne brzine u cijevima - model 1, PP 25 god..... | 31 |
| Slika 38: Maksimalna ispunjenost kanala - model 1, PP 25 god..... | 32 |
| Slika 39: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 25 god | 32 |
| Slika 40: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 25 god | 33 |
| Slika 41: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 1 za PP 25 god | 33 |
| Slika 42: Ukupna količina efektivne oborine – model 1, PP 100 god | 34 |
| Slika 43: Vršni protok površinskog tečenja – model 1, PP 100 god..... | 34 |

| | |
|--|----|
| Slika 44: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 1, PP 100 god | 35 |
| Slika 45: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 1, PP 100 god. | 35 |
| Slika 46: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 1, PP 100 god..... | 36 |
| Slika 47: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 1, PP 100 god..... | 36 |
| Slika 48: Maksimalni protok u kolektoru – model 1, PP 100 god. | 37 |
| Slika 49: Maksimalne brzine u cijevima - model 1, PP 100 god..... | 37 |
| Slika 50: Maksimalna ispunjenost kanala - model 1, PP 100 god. | 38 |
| Slika 51: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 100 god..... | 38 |
| Slika 52: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 100 god..... | 39 |
| Slika 53: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 1 za PP 100 god | 39 |
| Slika 54: Ukupna količina efektivne oborine – model 2, PP 2 god..... | 40 |
| Slika 55: Vršni protok površinskog tečenja – model 2, PP 2 god. | 41 |
| Slika 56: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 2, PP 2 god. | 41 |
| Slika 57: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 2, PP 2 god | 42 |
| Slika 58: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 2, PP 2 god..... | 42 |
| Slika 59: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 2, PP 2 god. | 43 |
| Slika 60: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 2, PP 2 god..... | 43 |
| Slika 61: Maksimalni protok u kolektoru – model 2, PP 2 god..... | 44 |
| Slika 62: Maksimalne brzine u cijevima - model 2, PP 2 god. | 44 |
| Slika 63: Maksimalna ispunjenost kanala - model 2, PP 2 god..... | 45 |
| Slika 64: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 2 god..... | 45 |
| Slika 65: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 2 god..... | 46 |
| Slika 66: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 2 za PP 2 god..... | 46 |
| Slika 67: Ukupna količina efektivne oborine – model 2, PP 25 god. | 47 |
| Slika 68: Vršni protok površinskog tečenja – model 2, PP 25 god..... | 47 |
| Slika 69: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 2, PP 25 god..... | 48 |
| Slika 70: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 2, PP 25 god..... | 48 |
| Slika 71: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 2, PP 25 god..... | 49 |
| Slika 72: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 2, PP 25 god. | 49 |
| Slika 73: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 2, PP 25 god. | 50 |
| Slika 74: Maksimalni protok u kolektoru – model 2, PP 25 god..... | 50 |
| Slika 75: Maksimalne brzine u cijevima - model 2, PP 25 god..... | 51 |
| Slika 76: Maksimalna ispunjenost kanala - model 2, PP 25 god..... | 51 |
| Slika 77: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 25 god | 52 |
| Slika 78: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 25 god. | 52 |
| Slika 79: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 2 za PP 25 god | 53 |
| Slika 80: Ukupna količina efektivne oborine – model 2, PP 100 god..... | 54 |
| Slika 81: Vršni protok površinskog tečenja – model 2, PP 100 god..... | 54 |
| Slika 82: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 2, PP 100 god..... | 55 |
| Slika 83: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 2, PP 100 god | 55 |
| Slika 84: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 2, PP 100 god. | 56 |
| Slika 85: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 2, PP 100 god..... | 56 |
| Slika 86: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 2, PP 100 god. | 57 |
| Slika 87: Maksimalni protok u kolektoru – model 2, PP 100 god. | 57 |

| | |
|--|----|
| Slika 88: Maksimalne brzine u cijevima - model 2, PP 100 god..... | 58 |
| Slika 89: Maksimalna ispunjenost kanala - model 2, PP 100 god. | 58 |
| Slika 90: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 100 god..... | 59 |
| Slika 91: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 100 god..... | 59 |
| Slika 92: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 2 za PP 100 god. | 60 |
| Slika 93: Ukupna količina efektivne oborine – model 3, PP 2 god..... | 61 |
| Slika 94: Vršni protok površinskog tečenja – model 3, PP 2 god. | 62 |
| Slika 95: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 3, PP 2 god. | 62 |
| Slika 96: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 3, PP 2 god..... | 63 |
| Slika 97: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 3, PP 2 god..... | 63 |
| Slika 98: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 2 god. | 64 |
| Slika 99: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 3, PP 2 god..... | 64 |
| Slika 100: Maksimalni protok u kolektoru – model 3, PP 2 god..... | 65 |
| Slika 101: Maksimalne brzine u cijevima - model 3, PP 2 god..... | 65 |
| Slika 102: Maksimalna ispunjenost kanala - model 3, PP 2 god..... | 66 |
| Slika 103: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 2 god..... | 66 |
| Slika 104: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 2 god..... | 67 |
| Slika 105: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 3 za PP 2 god. | 67 |
| Slika 106: Ukupna količina efektivne oborine – model 3, PP 25 god. | 68 |
| Slika 107: Vršni protok površinskog tečenja – model 3, PP 25 god. | 68 |
| Slika 108: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 3, PP 25 god..... | 69 |
| Slika 109: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 3, PP 25 god..... | 69 |
| Slika 110: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 25 god..... | 70 |
| Slika 111: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 25 god..... | 70 |
| Slika 112: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 3, PP 25 god..... | 71 |
| Slika 113: Maksimalni protok u kolektoru – model 3, PP 25 god. | 71 |
| Slika 114: Maksimalne brzine u cijevima - model 3, PP 25 god..... | 72 |
| Slika 115: Maksimalna ispunjenost kanala - model 3, PP 25 god. | 72 |
| Slika 116: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 25 god. | 73 |
| Slika 117: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 25 god. | 73 |
| Slika 118: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 3 za PP 25 god. | 74 |
| Slika 119: Ukupna količina efektivne oborine - model 3, PP 100 god..... | 75 |
| Slika 120: Vršni protok površinskog tečenja – model 3, PP 100 god. | 75 |
| Slika 121: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 3, PP 100 god. | 76 |
| Slika 122: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 3, PP 100 god..... | 76 |
| Slika 123: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 3, PP 100 god..... | 77 |
| Slika 124: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 100 god. | 77 |
| Slika 125: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 3, PP 100 god..... | 78 |
| Slika 126: Maksimalni protok u kolektoru – model 3, PP 100 god..... | 78 |
| Slika 127: Maksimalne brzine u cijevima - model 3, PP 100 god. | 79 |
| Slika 128: Maksimalna ispunjenost kanala - model 3, PP 100 god..... | 79 |
| Slika 129: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 100 god..... | 80 |

| | |
|--|----|
| Slika 130: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 100 god..... | 80 |
| Slika 131: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 3 za PP 100 god..... | 81 |
| Slika 132: Maksimalni protoci sustava svih modela za sva projektna razdoblja..... | 83 |
| Slika 133: Urbani prostor sa implementiranom zelenom infrastrukturom | 84 |
| Slika 134: Prikaz međupovezanosti posebnih ciljeva | 86 |

1. UVOD

Biograd na Moru je stari mediteranski gradić smješten uz obalu Jadranskog mora. Ima dugu i bogatu povijest te se kroz vrijeme mijenjao, a kao rezultat vidimo stari način neplanske gradnje i gustu izgrađenost. Zbog jako puno vodonepropusnih površina, preizgrađenosti i oborinskog kolektora nedovoljnih kapaciteta u određenim dijelovima grada za vrijeme većih oborina dolazi do plavljenja. Te poplave uzrokuju otežani promet u gradu te je cilj ovog rada pronaći rješenje za poplave ili barem umanjiti njegove posljedice. Neadekvatan oborinski kolektor se u slučaju većih oborina ponaša nezadovoljavajuće na određenim dionicama. Prevelika ispunjenost kanala, tečenje vode pod tlakom, nezadovoljavajuće brzine toka vode u cijevima sve su posljedice lošeg projektiranja oborinskog kolektora i prevelikog udjela nepropusnih površina na promatranom području. Rješenje će biti potraženo unutar domene zelene infrastrukture, budući da se ona izdvaja kao preferirani pristup u odnosu na konvencionalnu sivu infrastrukturu.

Zelena infrastruktura predstavlja napredno i ekološki održivo rješenje koje donosi niz značajnih prednosti, a sve više urbaniziranih sredina prepoznaje njezinu ključnu ulogu u upravljanju oborinskom vodom. Dok se siva infrastruktura oslanja na konvencionalne sustave odvodnje i kanalizacije, zelena infrastruktura nudi mnogo više društvenih ekonomskih i ekoloških prednosti. Ona promiče očuvanje prirodnih i poluprirodnih elemenata poput vegetacije, vodenih površina i prirodnih ekosustava, te se oslanja na njih kako bi učinkovito upravljala oborinskom vodom. Zelena infrastruktura, koja se sve više percipira kao budući smjer urbanog planiranja, pruža efikasno rješenje za pitanja poplava i erozije, dok istovremeno promiče očuvanje biodiverziteta i poboljšava kvalitetu života u urbanim sredinama. Mnogi gradovi prepoznaju njezin potencijal i implementiraju različite zelene tehnike i projekte kako bi unaprijedili svoje sustave upravljanja oborinskom vodom. U tom smislu, zelena infrastruktura jasno predstavlja ključnu komponentu budućeg urbanog planiranja i održivog upravljanja vodama.

Cilj ovog rada je pronaći i definirati rješenje za povratno razdoblje od dvije godine te prikazati ponašanje sustava kod rjeđih i ekstremnijih oborina kao što su oborine za

povratni period od 25 i 100 godina. Koristeći podatke s najbližeg dostupnog ombrografa definiran je projektni pljusak za tri različita povratna razdoblja. Uz pomoć GIS baze podataka analiziran je pokrov zemljišta promatranog područja prema SCS metodi. Nakon što su definirane topografske karakteristike podslivova svi podatci prebačeni su u SWMM računalni program gdje je izvršena hidrološko-hidraulička analiza za tri različita modela. Prvi model je postojeće stanje, drugi model je stanje sa implementacijom infiltracijskih jaraka na 10% površine svakog podsliva i treći model stanje sa implementacijom infiltracijskih jaraka na 30% površine svakog podsliva. Cilj je definirati i prikazati svaki problem u postojećem stanju, odnosno u modelu 1 te prikazati kako implementirani LID elementi utječu na ponašanje sustava.

2. OPIS PODRUČJA

Biograd na Moru je mali gradić u Hrvatskoj, smješten na obali Jadranskog mora u sjevernom djelu Dalmacije između Zadra i Šibenika (Slika 1.). Poznat je po bogatoj povijesti, kulturnoj baštini i prirodnoj ljepoti. U povijesti je grad imao važnu ulogu kao politički i kulturni centar. Danas je to miran gradić sa puno povijesnih znamenitosti, modernih sadržaja, gastronomskih delikacija te prirodnih ljepota koje privlače turiste koje žele uživati u mediteranskom načinu života.



Slika 1: Karta RH s prikazom grada Biograd na Moru

Smješten je na malom poluotoku i kopnu. Prostire se na površini od 35,5 km². Ima 5601 stanovnika prema popisu iz 2021. godine. Prosječna temperatura zraka u siječnju je 7 °C a u srpnju 24.5 °C, s prosječnim godišnjim padalinama od 840 mm. Glavna geološka podloga ovog područja je sedimentna stijena poput vapnenca i dolomita. Biograd se nalazi na krškom području koje karakterizira brza infiltracija vode i podzemni tokovi, ali se zbog visokog stupnja izgradnje nepropusnih površina pojavljuje problem sa plavljenjem javnih površina u slučajevima većih oborina. Analizirano područje grada Biograda označeno na slici 2. kreće se od 0 do 23 metra nadmorske visine. Prostor je vrlo urbaniziran sa malo zelenih površina. Zbog starosti naselja vrlo je gusto i neplanski

građeno, a objekti su uglavnom stambene namjene. Oborinska voda odvodi se oborinskim kolektorom do lučice gdje se ispušta u more. Na mjestima gdje nema oborinskog kolektora koriste se ulice za dopremu vode u kolektor.



Slika 2: Podslivovi promatranog područja

3. POSTOJEĆI PROBLEMI S POPLAVAMA

Nakon jakih kiša stvaraju se velike lokve na pojedinim lokacijama (Slika 3.) po cijelom gradu, a u ekstremnijim situacijama dolazi i do plavljenja prometnica. Nerijetko dolazi do skupljanja vode ispod nadvožnjaka do te mjere da je onemogućen promet ispod istog (Slika 4.).



Slika 3: Mjesta gdje se događaju najveće i najčešće poplave



Slika 4: Poplava podvožnjaka [9]

Nedavno je u okviru projekta STREAM provedena analiza pluvijalnih poplava na šest pilot područja u Hrvatskoj, međuostalim i na širem području grada Biograd na Moru [1]. U okviru ovog projekta izrađene su karte opasnosti I rizika od pluvijalnih poplava. Na slici 5. dan je detalj karte opasnosti od poplava koji prikazuje dubine vode za malu vjerojatnost pojave s obuhvatom zabilježenih poplava na području centra grada Biograda na Moru.



Slika 5: Karta opasnosti od poplava na području centra grada Biograda na Moru [1]

4. PODLOGE

U izradi ovog rada korištene su dostupne geodetske i meteorološke podloge. Na osnovu ovih prikupljenih podataka, izvršena je hidrološko-hidraulička analiza pomoću računalnih alata. Za analizu su upotrijebljeni Microsoft Excel Worksheet, Storm Water Management Model (SWMM) i Quantum Geographic Information System (QGIS). U nastavku rada, detaljnije će biti objašnjene karakteristike dostupnih podataka koje su korištene u radu.

4.1. Model terena

Prvi korak u razvoju analize hidrološko-hidrauličkog sustava odvodnje oborinskih voda obuhvatio je prostorne analize u programu QGIS. Inicijalno, pristupili smo postavljanju dostupnih osnovnih podataka. Među tim resursima se isticala digitalna ortofoto snimka (DOF), stvorena na temelju digitalnih snimaka u centralnu projekciju koja je kasnije konvertirana u ortogonalnu projekciju. Korištenjem opcije "Add WMS/WMTS Layer" unutar padajućeg izbornika "Layer" u programu QGIS, DOF je uključena kao sloj podataka. Ova metoda omogućuje prijenos geografskih podataka s poslužitelja na klijentske uređaje, osiguravajući pristup slici bez potrebe za pohranom lokalnih kopija podataka. Dalje, koristili smo digitalni model reljefa (EU-DEM), dostupan putem Copernicus poslužitelja [2]. EU-DEM je rezultat spajanja tehnika digitalnih modela terena (DEM) i kombiniranja podataka iz različitih izvora kako bi se postigao dosljedan i homogen skup visinskih podataka. Ovaj model pruža konzistentne podatke o visinama zemljišta, bez građevinskih i vegetacijskih elemenata. EU-DEM ima rezoluciju od 25 metara i obuhvaća 33 države članice Europske agencije za okoliš, kao i 6 suradničkih država. Ovaj digitalni model terena omogućava razne primjene, uključujući generiranje drenažnih mreža, određivanje granica slivova te modeliranje i upravljanje rizicima poplava. U okviru ovog istraživanja, EU-DEM je omogućio dobivanje informacija o nagibu terena na analiziranom području.

4.2. Infrastrukturne podloge

Biograd na Moru ima razdjelni kanalizacijski sustav (Slika 6.). Oborinski kolektor prolazi samo kroz par glavnih ulica, a voda s ostalih površina dovodi se površinskim tečenjem vode po prometnicama. Oborinski ispust nalazi se u lučici. Kod oborina većeg intenziteta dolazi do plavljenja prometnih površina i drugih dijelova grada zbog velike izgrađenosti nepropusnih površina te kolektora koji nije dovoljan da preuzme sve te vode. Problem je to veći ako je istovremeno plima zbog povrata vode u kolektor. Sve podloge o oborinskom kolektoru zaprimljene su od grada Biograd na Moru u obliku dwg datoteka iz projekata oborinska odvodnja ulice dr. Franje Tuđmana [2] te Splitska ulica glavni projekt [3].



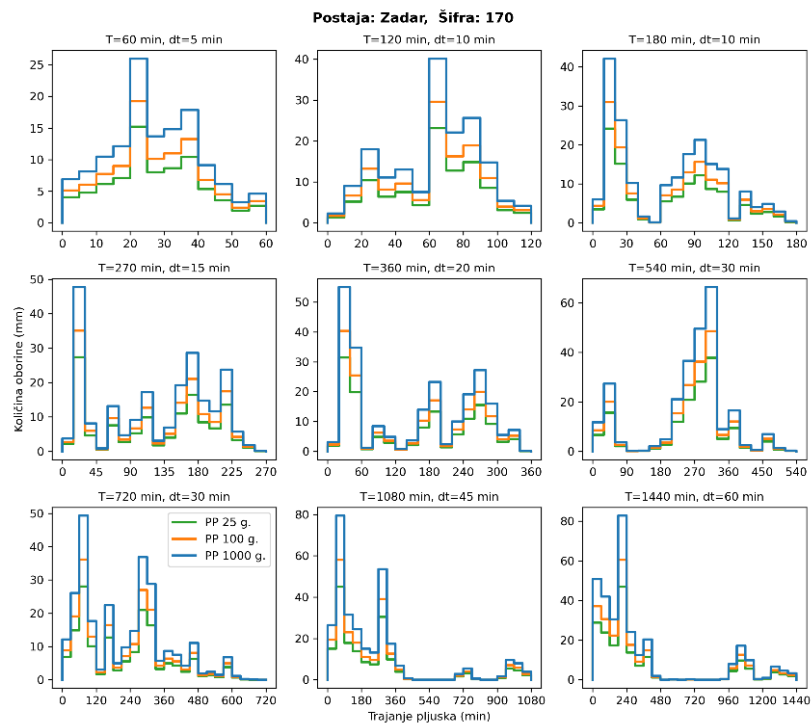
Slika 6: Oborinski kolektor prikazan na karti grada Biograd na Moru

4.3. Meteorološke podloge

Biograd ima sredozemnu klimu koja je tipična za veći dio obalnih područja. Ljeta su topla i suha s prosječnim maksimalnim temperaturama koje se kreću od 25°C do 30°C. Ponekad temperature mogu doseći i više od 30°C, posebno tijekom srpnja i kolovoza, koji su najtopliji mjeseci. Zime su blage i vlažne. Prosječne minimalne temperature rijetko padaju ispod 0°C, a prosječne maksimalne temperature se kreću između 10°C i 15°C. Snijeg je rijedak, ali moguć u rijetkim slučajevima. Najveći dio oborina pada tijekom jeseni i zime,

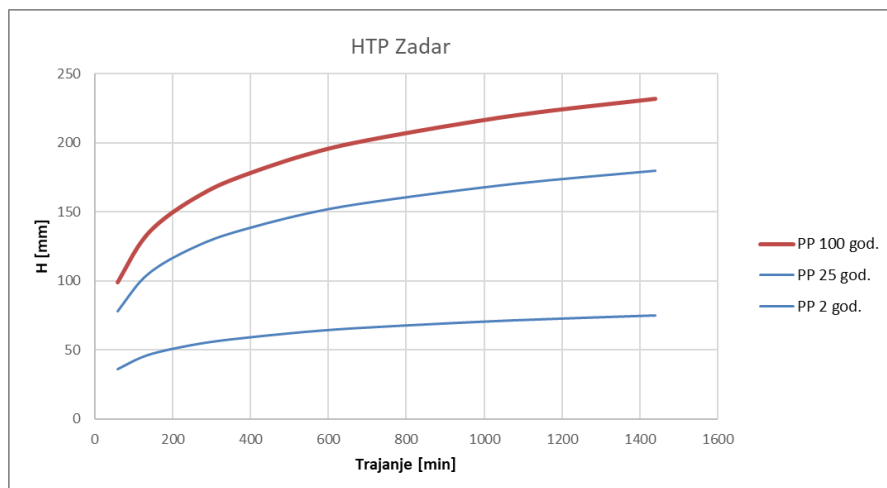
dok su ljeta relativno suha. Ukupna godišnja količina oborina je oko 800 do 1000 mm.

U urbanoj infrastrukturi Biograda na Moru nisu implementirane meteorološke postaje za mjerenje oborina. Stoga se za potrebe praćenja količine padalina koriste dostupni podaci iz meteorološke stanice u gradu Zadru, koji je geografski najbliže mjesto gdje se sustavno bilježi oborinska aktivnost (Slika 7.). Ovaj pristup omogućuje korisnicima relevantne informacije o količini oborina u Biogradu na Moru, budući da su meteorološke prilike u Zadru obično povezane s onima u Biogradu na Moru, uzimajući u obzir blizinu i geografsku sličnost ovih dvaju područja. U okviru ovoga rada preuzete su HTP krivulje (Slika 8.) i oblici projektnog pljuska za postaju Zadar iz STREAM projekta [1].



Slika 7: Pluviogram za grad Zadar [1]

Pomoću meteoroloških podloga za grad Zadar dobiven je projektni pljusak za sva tri modela i za sve povratne periode.



Slika 8: HTP krivulja za grad Zadar (prema [1])

5. METODOLOGIJA PRORAČUNA

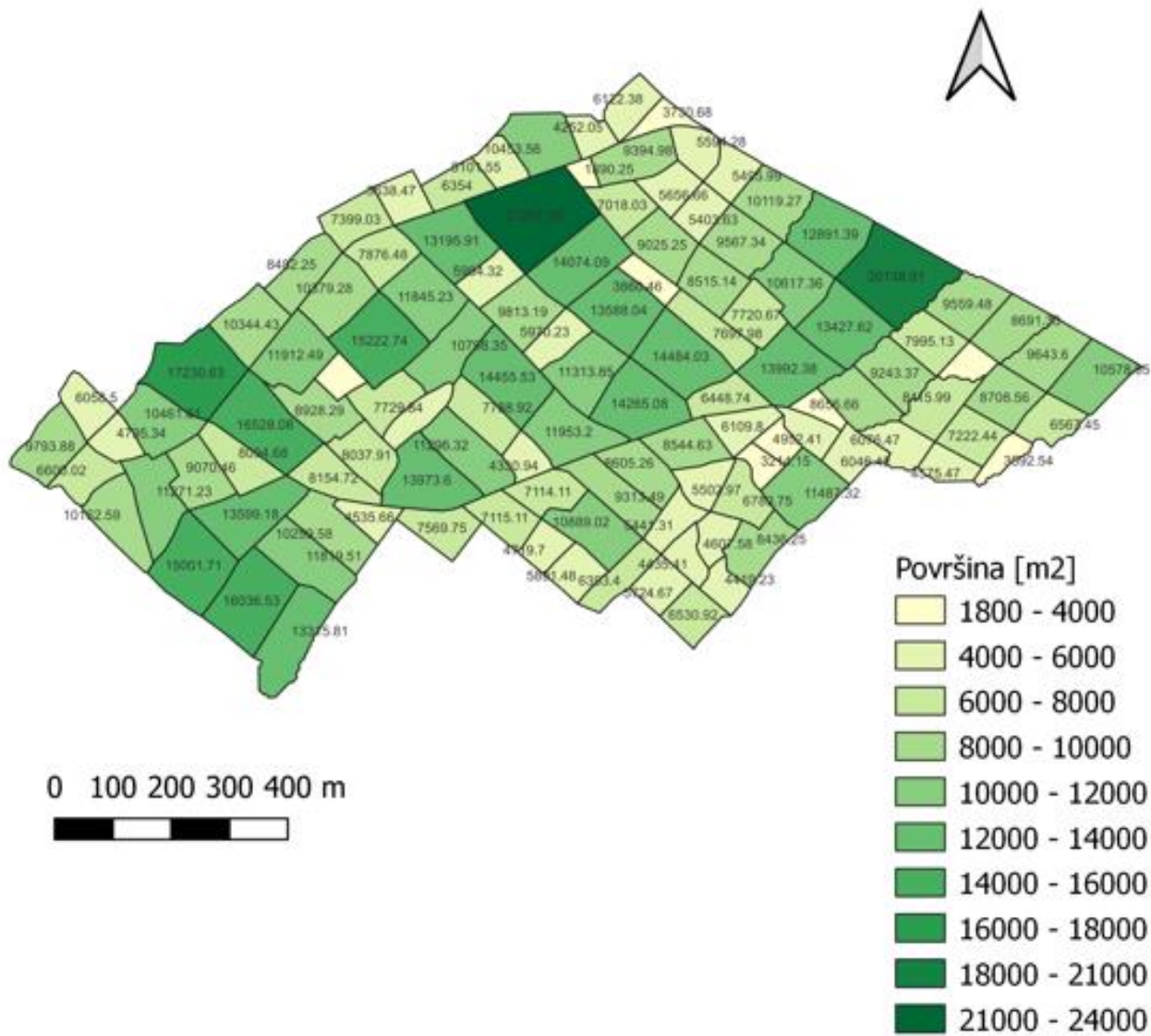
U daljnjem tekstu bit će objašnjena metoda za izvođenje hidrološko-hidrauličkih proračuna, kao i neki od ključnih aspekata računalnih alata koji su korišteni. Prvo su pružene informacije o topografskim karakteristikama istraživanog područja, zajedno s procjenom detaljnog pokrova zemljišta. Nakon toga slijedi detaljan opis procesa obrade oborina i hidrološko-hidrauličkog proračuna uz pomoć SWMM programa.

5.1. Analiza pokrova zemljišta

Geografski informacijski sustav (GIS) označava sofisticirani računalni sustav dizajniran s ciljem prikupljanja, pohrane, manipulacije, analize, upravljanja te vizualizacije raznovrsnih prostornih podataka. U okviru GIS-a, lako je dokumentirati, analizirati te ilustrirati prostorne informacije i međudnose između tih elemenata, uključujući i njihovu topologiju. Podaci se mogu pohranjivati u različitim formatima, obuhvaćajući ne samo geografske lokacije (prostorne podatke), već i opisne attribute pojedinih entiteta (atributne podatke). U okviru ovog istraživanja, inicijalna faza obuhvaćala je integraciju digitalne ortofoto snimke područja u QGIS računalnom programu.

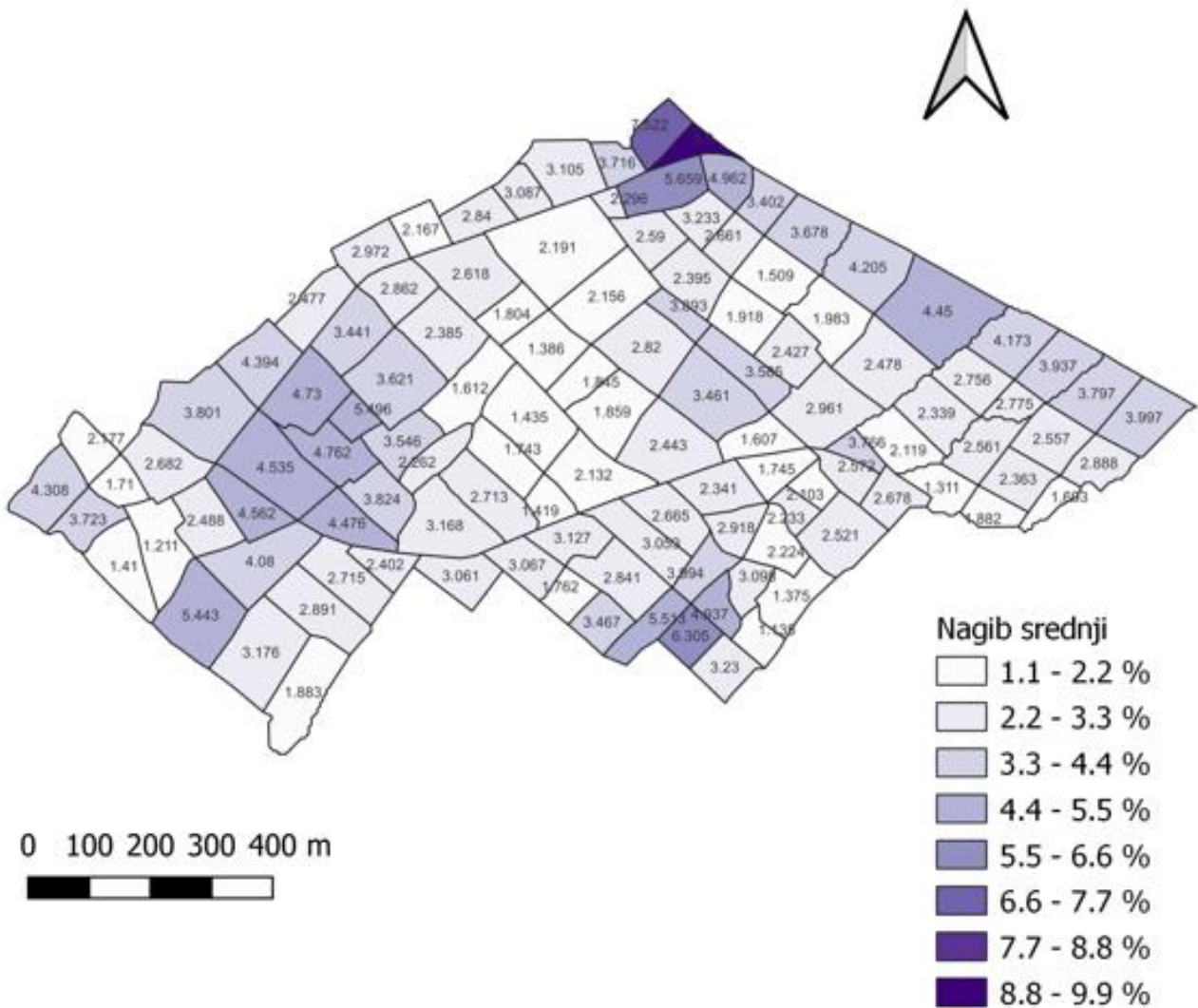
Prostorne podloge prikupljene su i pripremljene u okviru projekta STREAM [1]. Digitalni model terena dobiven je interpolacijom vektorskih podataka dobivenih iz fotogrametrijske restitucije od Državne geodetske uprave u rezoluciji 5 m. Model pokrova zemljišta dobiven je iz satelitskih snimaka, pri čemu je izdvojena 21 klasa zemljišnog pokrova, također u rezoluciji 5 m. Model nepropusnost preuzet je iz Copernicus Land Service baze podataka rezolucije 10 m [4]. Modeli infiltracijskog kapaciteta opisani CN brojevima te modeli hrapavosti podloge opisani Manningovim koeficijentom hrapavosti generirani su koristeći smjernice iz literature [1].

Na slici 9. prikazane su površine podslivova čije su vrijednosti u rasponu od 1890,25 m² do 23267,09 m².



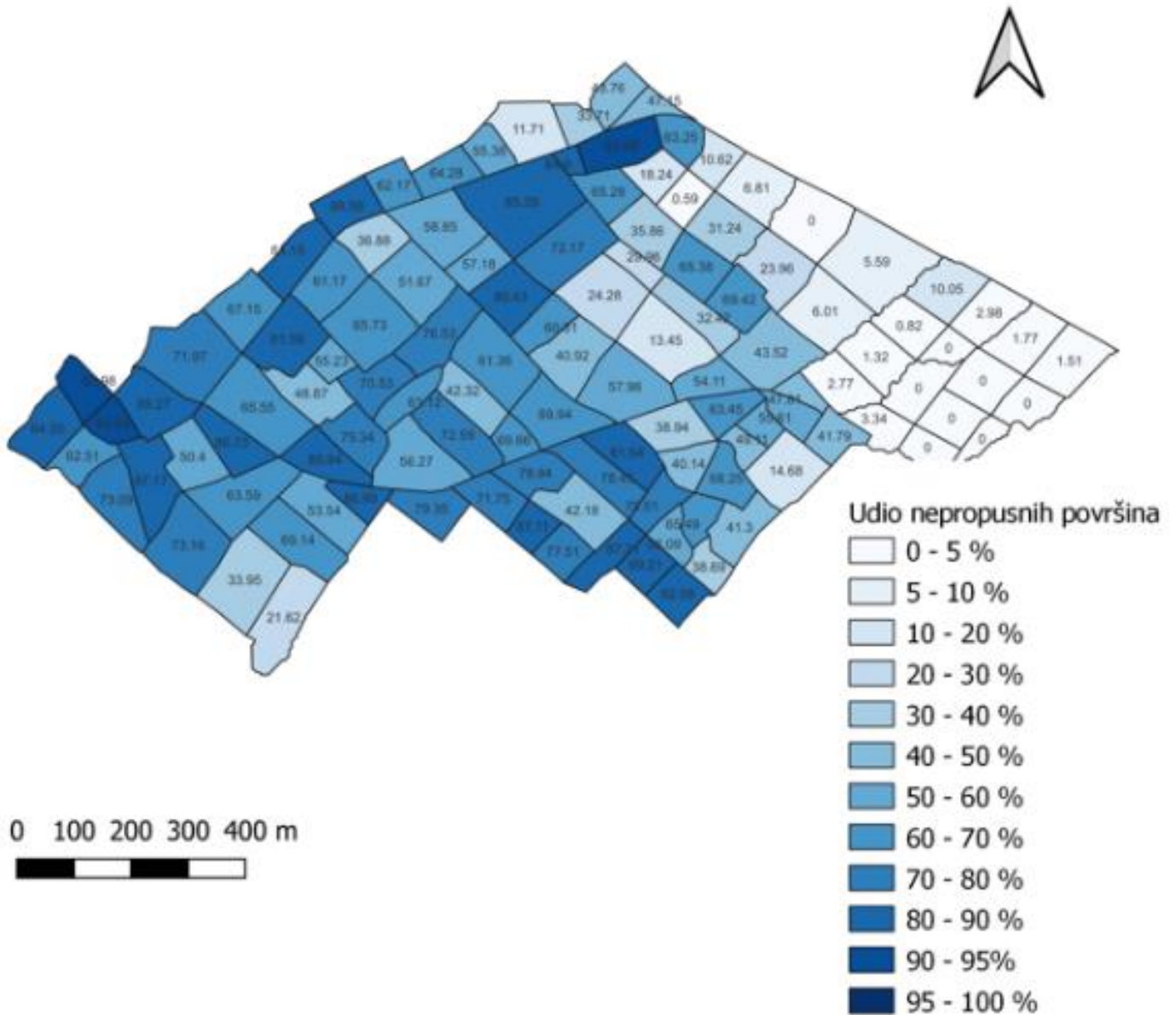
Slika 9: Površine podslivova

Na slici 10. prikazani su srednji nagibi podslivova čije su vrijednosti nagiba u rasponu od 1,13% do 9,9%.



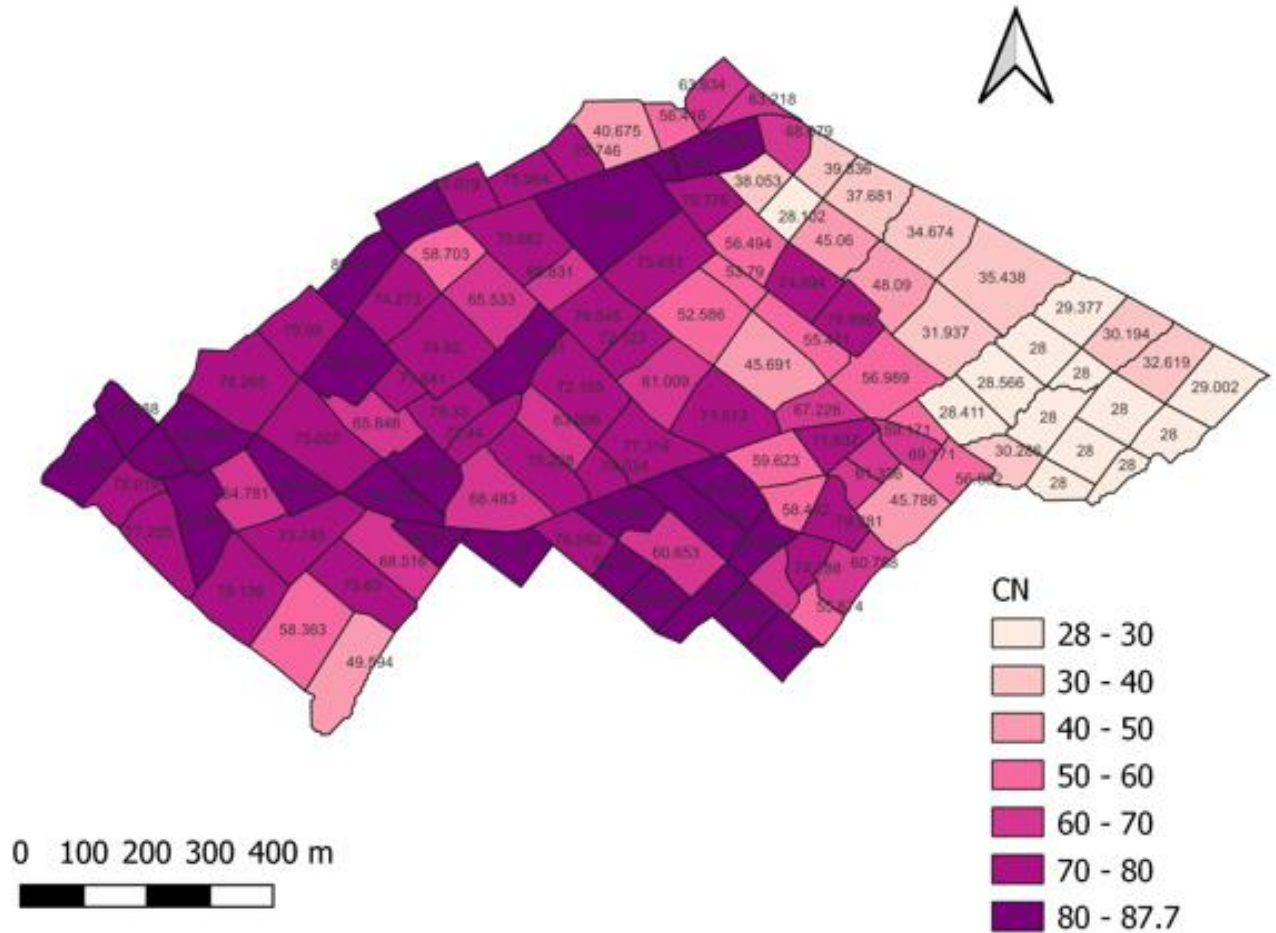
Slika 10: Srednji nagibi podslivova

Na slici 11. prikazan je udio nepropusnih površina za svaki podsliv u rasponu od 0% do 93,98%.



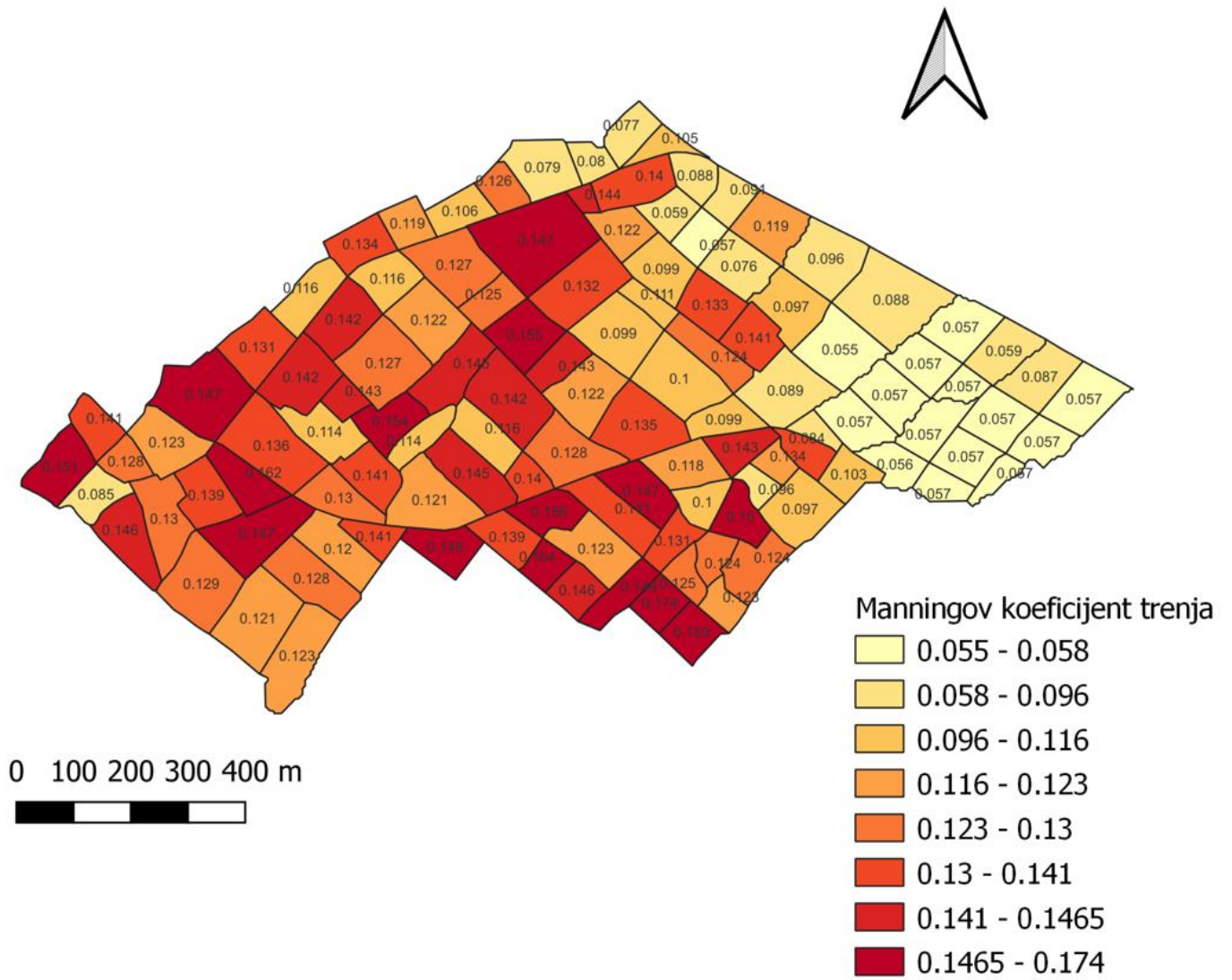
Slika 11: Udio nepropusnih površina na svakom podslivu

Na slici 12. prikazane su vrijednosti CN brojeva za svaki podsliv čije su vrijednosti u rasponu od 28 do 87,73.



Slika 12: Vrijednosti CN brojeva za svaki podsliv

Na slici 13. prikazane su vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti u rasponu od 0,055 do 0,174.



Slika 13: Manningov koeficijent trenja za svaki podsliv

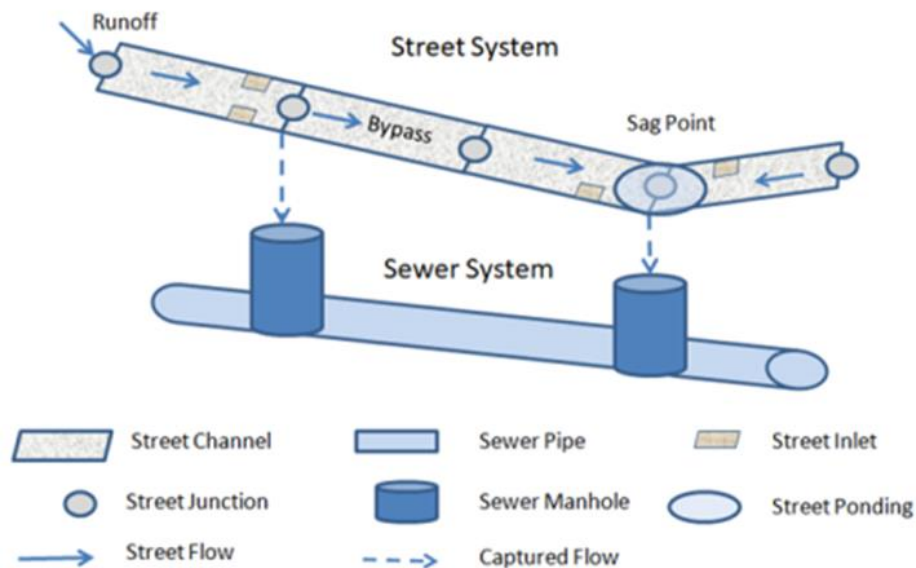
5.2. SWMM program

Za hidrološko-hidraulički proračun koristio se program SWMM 5.2 [5].

SWMM (Storm Water Management Model) je napredan računalni program dizajniran za simulaciju hidroloških procesa u urbanim područjima. Razvijen od strane američke Agencije za zaštitu okoliša (EPA), SWMM se koristi za analizu i modeliranje različitih aspekata upravljanja oborinskom vodom, uključujući odvodnju kišnice, poplave, i zagađenje voda. Ovaj model koristi se pri procjeni strategija za kontrolu oborinskih voda unutar sive infrastrukture, uključujući cijevi i odvode, te izuzetno koristan alat za razvoj inovativnih, troškovno učinkovitih hibridnih rješenja koja kombiniraju zelene i sive komponente za upravljanje oborinskom vodom. SWMM je koncipiran kako bi podržao lokalne, regionalne i nacionalne ciljeve upravljanja oborinskim vodama, usmjerene na smanjenje otjecanja putem infiltracije i zadržavanja, te na umanjivanje ispuštanja koja negativno utječu na vodna tijela i ekosustave. Ovaj model ima široku primjenu ne samo u urbanim područjima već i u ruralnim sredinama. SWMM se dinamički koristi za simulaciju količine i kvalitete otjecanja, a koristi se kako za pojedinačne događaje tako i za kontinuiranu simulaciju. On obuhvaća sve aspekte hidroloških procesa iz oborinskih područja, te komponente za transport oborinskih voda kroz sustav cijevi, kanala, uređaja za skladištenje i tretman, pumpe i regulatore. Ovaj model pažljivo prati količinu i kvalitetu otjecanja unutar svakog pojedinog oborinskog područja. Analizira brzinu i dubinu protoka, te kvalitetu vode u svakom dijelu cjevovoda ili kanala tijekom vremenskog perioda simulacije koji se sastoji od niza vremenskih koraka. Također, SWMM omogućava modeliranje performansi specifičnih metoda niskog utjecaja (LID) koje su usmjerene na očuvanje prirodnih procesa i smanjenje utjecaja na okoliš.

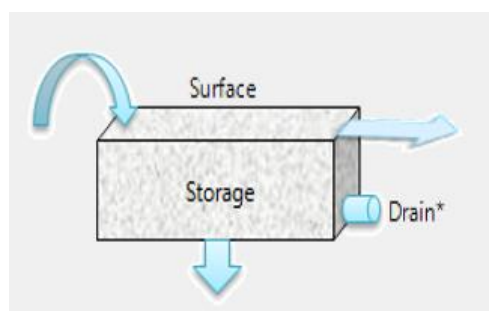
5.3. Uspostava modela

Izvedeno stanje dijela oborinske kanalizacije grada Biograd na Moru dobiveno je u dwg datotekama. Sva okna i cijevi su georeferencirani pa je tako oborinski kolektor prenesen iz dwg-a u računalni program QGIS. Nakon uspostavljanja digitalnog modela terena, izvršena je analiza koja je osigurala ključne podatke za daljnji proračun u računalnom programu SWMM. Ti podaci uključuju Manningov koeficijent trenja koji opisuje hrapavost površine, Curve Number (CN) brojeve koji ocjenjuju površinsko otjecanje, udio nepropusnih površina te srednji nagib terena. Oborinski kolektor i podslivovi sa dobivenim podacima preneseni su u SWMM 5.2 računalni program. U SWMM modelu nacrtane su prometnice sa slivnicima koji su povezani sa oborinskim kolektorom. Slivne rešetke oborinske kanalizacije su konstrukcije koje prenose otjecanje s površine cesta u podzemne oborinske kolektore. Vrsta slivnih otvora, dimenzioniranje i razmak obično se odabiru kako bi se ispunili ograničenja širenja i dubine vode preko cestovnih površina radi održavanja javne sigurnosti. Za analizu odvodnje cesta pomoću SWMM-a, područje se prikazuje kao dvostruki sustav odvodnje koji se sastoji od površinskih kanala i potpovršinskih kolektora (Slika 14.). Ulazna struktura će preusmjeriti dio protoka s ceste prema određenom čvoru kanalizacijskog sustava, dok će preostali dio protoka zaobići prema nizvodnim ulicama. Kada čvor kanalizacijskog sustava povezan s ulaznom strukturom dosegne svoju punu dubinu, višak protoka koji bi uzrokovao poplavu vraća se kroz ulaznu strukturu natrag na cestu. Svi podslivovi spajaju se sa prometnicom ili drugim podslivom, ovisi gdje većina vode otječe sa njih. Unesene su kote visine dna rova te dubina rova za svako okno u skladu sa uzdužnim presjekom iz dwg datoteke. Cijeli cjevovod je prikaz stvarnog stanja oborinske kanalizacije grada Biograd na Moru te se u rezultatima proračuna vidi da dolazi do nepoželjnih brzina tečenja vode u cijevima i ispunjenosti kanala cijevi u određenim situacijama.



Slika 14: Shematski prikaz sistema ulične odvodnje oborinske vode pomoću slivnika i potpovršinskog kolektora [5]

Za provođenje simulacija hidrološko-hidrauličkog proračuna korišteni su podaci o oborinama za grad Zadar. Oborine su dobivene u excel datoteci kao što je prikazano na slici 16. Za proračun korištene su oborine za povratni period od 2 godine, 25 godina i 100 godina za trajanje od 1, 3, 6, 12 i 24 sata. Pokretanjem simulacija za svaku od navedenih vremenskih serija uzimao se u obzir model sa najvećim dobivenim vrijednostima protoka, odnosno mjerodavan model. Nakon što su provedeni proračuni modela stvarnog stanja učinjene su kopije istog te se u njih implementirala zelena infrastruktura na način da su se u podslivove na kojima nije pregusta izgrađenost ugrađivali infiltracijski jarci u vidu LID elemenata dubine 1.5 metara (Slika 15.) te su se tako povećala infiltracijska svojstva podslivova.



Slika 15: Shematski prikaz infiltracijskog jarka iz SWMM računalnog programa [5]

U modelu 2 infiltracijski jarci zauzimali su otprilike 10 posto površine podsliva, dok su u modelu 3 zauzimali otprilike 30 posto. Uspoređujući ova tri modela u rezultatima se vide prednosti ugrađenih infiltracijskih jaraka kod rješavanja poplava od oborinskih voda.

| Postaja | Zadar, Šifra: 170 | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vjerojatnost pojave Pr (god) | 2 | | | | | | | | |
| Trajanje pljuska (min) | 60 | 120 | 180 | 270 | 360 | 540 | 720 | 1080 | 1440 |
| Inkrement (min) | 5 | 10 | 10 | 15 | 20 | 30 | 30 | 45 | 60 |
| P (mm) | 35.9 | 44.3 | 49.3 | 54.3 | 57.7 | 62.8 | 66.3 | 71.2 | 74.7 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1.04 | 1.21 | 3.62 | 0.52 | 0.91 | 2.82 | 5.14 | 5.7 | 5.46 |
| 2 | 1.37 | 4.52 | 9.9 | 7.72 | 8.11 | 6.59 | 6.15 | 18.75 | 4.86 |
| 3 | 1.87 | 9.83 | 6.27 | 2.76 | 4.03 | 0.87 | 9.39 | 12.65 | 9.32 |
| 4 | 2.51 | 3.47 | 4.74 | 0.9 | 0.17 | 0.04 | 3.49 | 6.16 | 18.85 |
| 5 | 5.01 | 3.86 | 5.29 | 0.71 | 1.1 | 0.07 | 0.45 | 4.29 | 6.84 |
| 6 | 3.85 | 2.3 | 2.58 | 1.45 | 1.27 | 0.49 | 2.56 | 3.13 | 4.29 |
| 7 | 8.06 | 6.67 | 4.1 | 4.38 | 0.3 | 1.16 | 0.74 | 7.09 | 11.47 |
| 8 | 3.32 | 2.04 | 2.36 | 11.93 | 0.74 | 5.08 | 1.03 | 3.7 | 1.9 |
| 9 | 4.23 | 2.78 | 2.06 | 5.3 | 2.61 | 8.81 | 1.64 | 0.43 | 0.02 |
| 10 | 2.29 | 5.4 | 2.88 | 6.27 | 4.73 | 11.92 | 11.96 | 0.18 | 0.1 |
| 11 | 1.53 | 1.63 | 1.62 | 2.15 | 2.13 | 15.98 | 6.8 | 0 | 0.02 |
| 12 | 0.8 | 0.59 | 1.23 | 3.68 | 5.76 | 2.17 | 2.04 | 0 | 0.15 |
| 13 | 0 | 0 | 0.1 | 0.35 | 6.39 | 3.98 | 2.78 | 0 | 0 |
| 14 | | | 0.76 | 0.21 | 13.22 | 0.62 | 4.12 | 0 | 0 |
| 15 | | | 0.04 | 1.16 | 3.46 | 0.13 | 1.38 | 0 | 0 |
| 16 | | | 1.03 | 1.72 | 0.65 | 1.68 | 2.29 | 1.94 | 0.07 |
| 17 | | | 0.28 | 3.11 | 1.73 | 0.32 | 1.23 | 2.34 | 0.58 |
| 18 | | | 0.44 | 0 | 0.39 | 0.07 | 0.57 | 0.73 | 2.68 |
| 19 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0.02 | 0.9 |
| 20 | | | | | | | 1.81 | 0 | 0.04 |
| 21 | | | | | | | 0.29 | 0.13 | 0.29 |
| 22 | | | | | | | 0.36 | 1.35 | 2.2 |
| 23 | | | | | | | 0.06 | 1.63 | 3.3 |
| 24 | | | | | | | 0 | 0.98 | 1.36 |
| 25 | | | | | | | 0 | 0 | 0 |

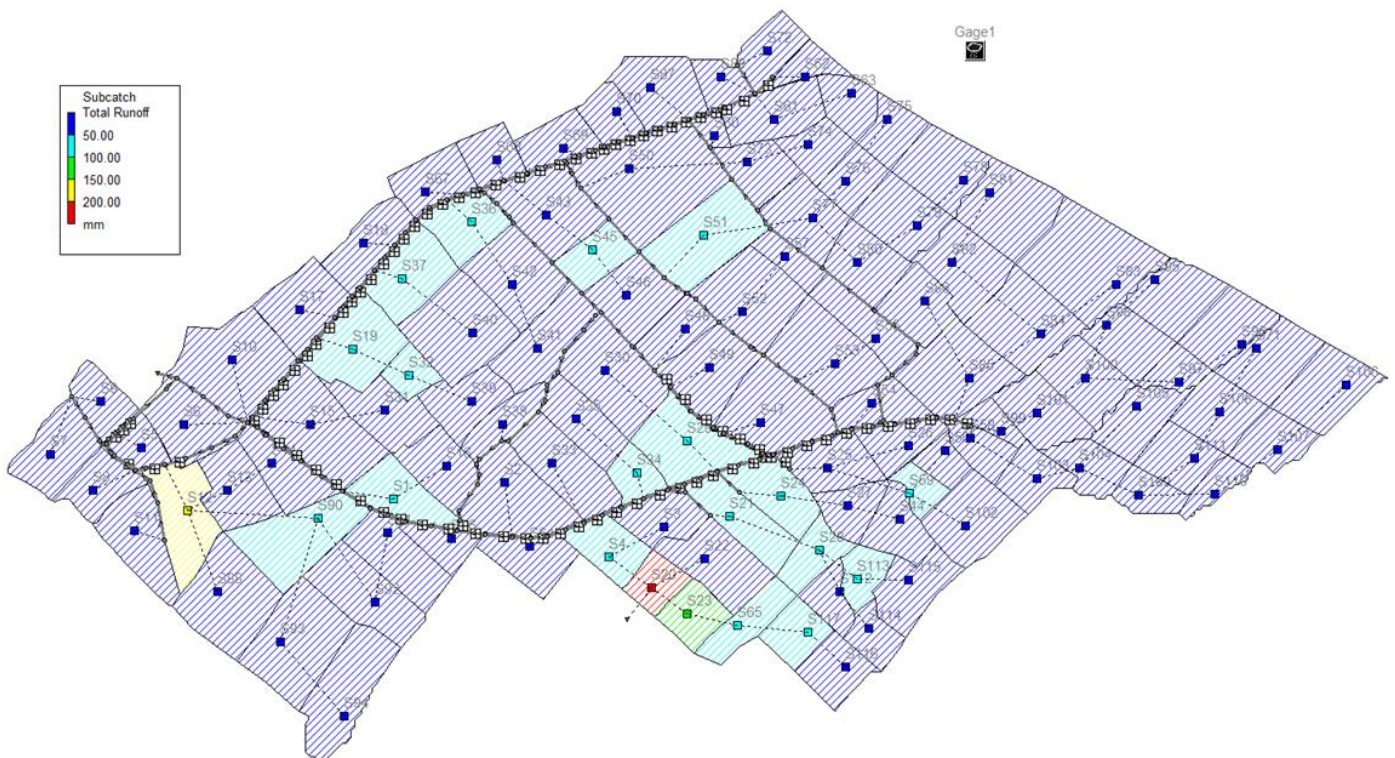
Slika 16: Podaci o oborinama za grad Zadar (prema [1])

6. REZULTATI PRORAČUNA

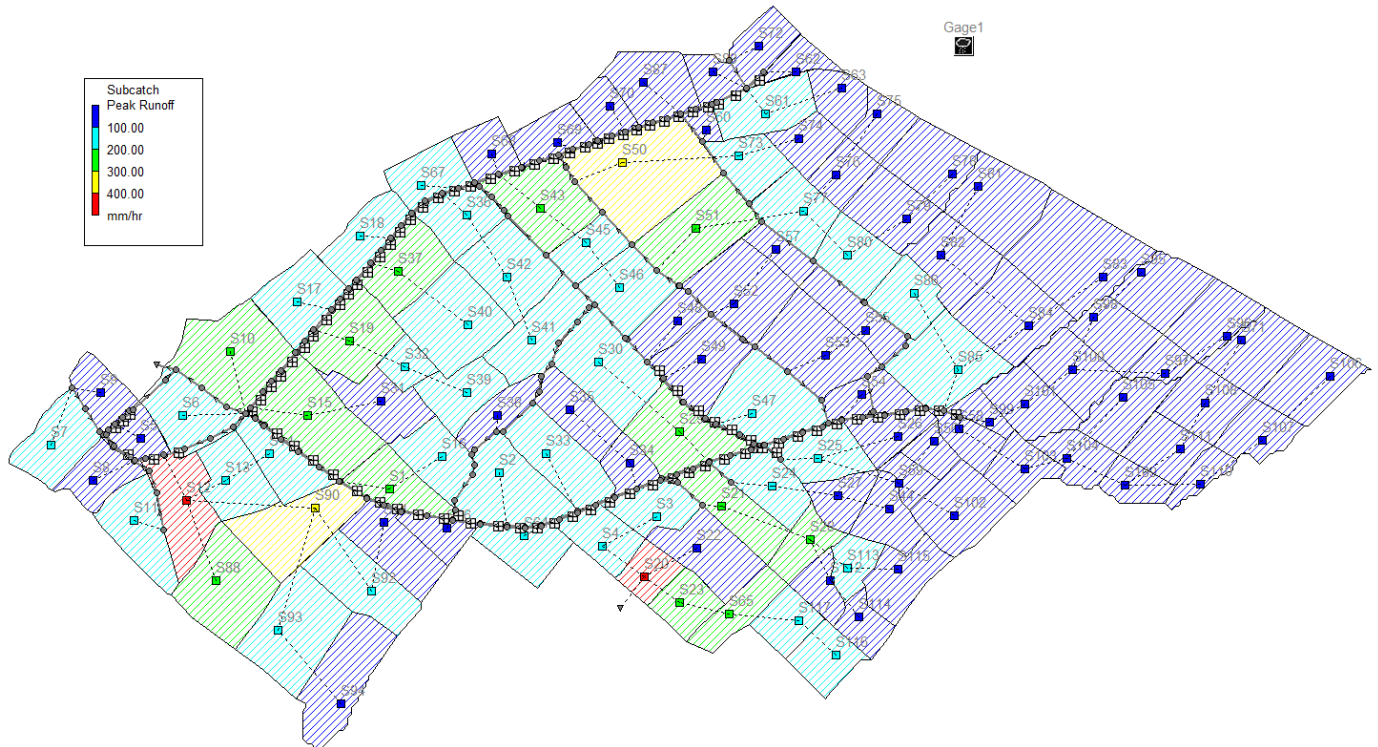
6.1. Postojeće stanje - model 1

U nastavku su prikazani rezultati hidrološko-hidrauličkog proračuna modela 1 odnosno postojećeg stanja prije implementacije LID elemenata. Prikazani su svi elementi proračuna za sva tri projektna razdoblja. Jasno se vidi funkcioniranje cijelog promatranog sustava za vrijeme zadane oborine.

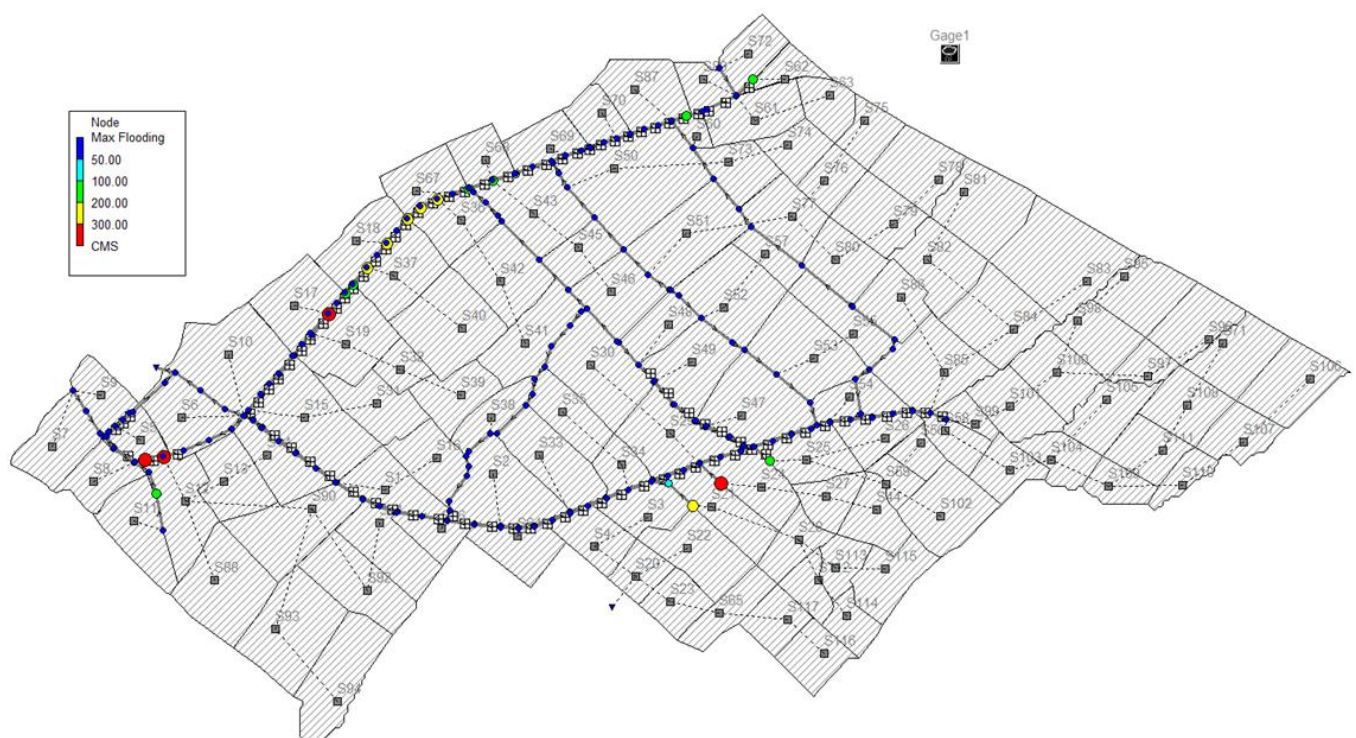
6.1.1. PP 2 godine - model 1



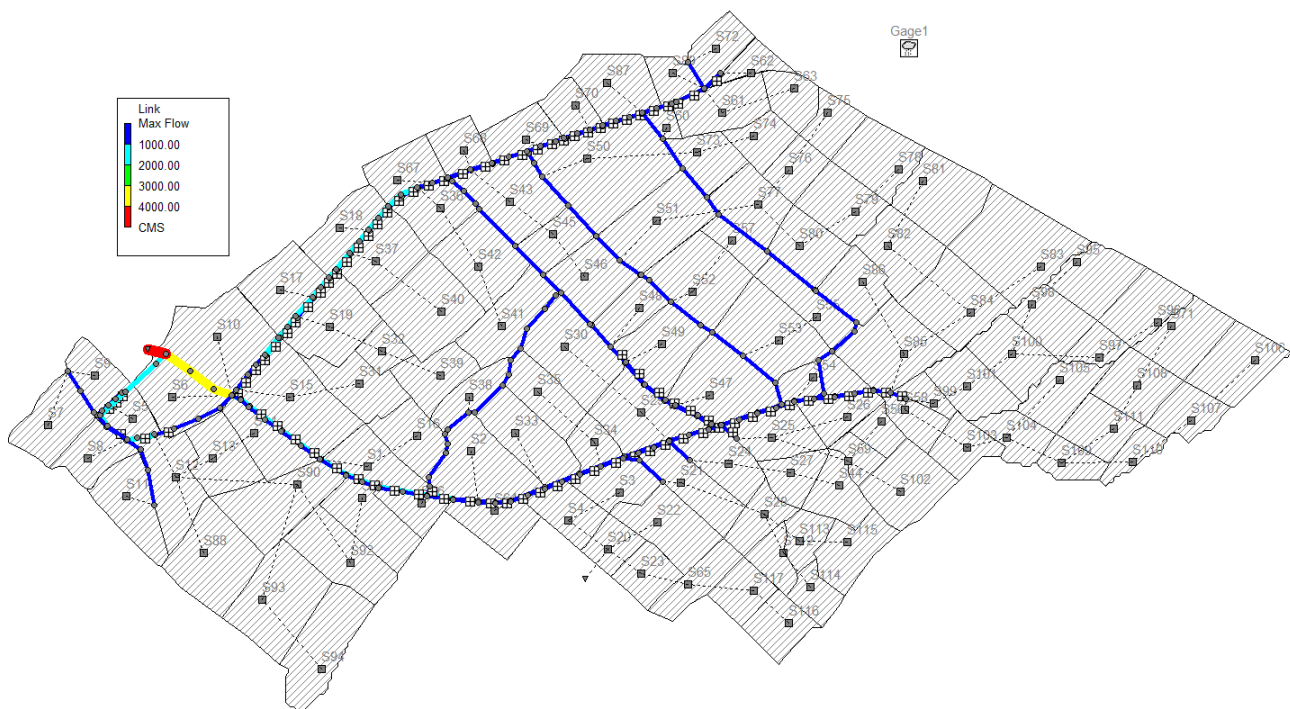
Slika 17: Ukupna količina efektivne oborine – model 1, PP 2 god.



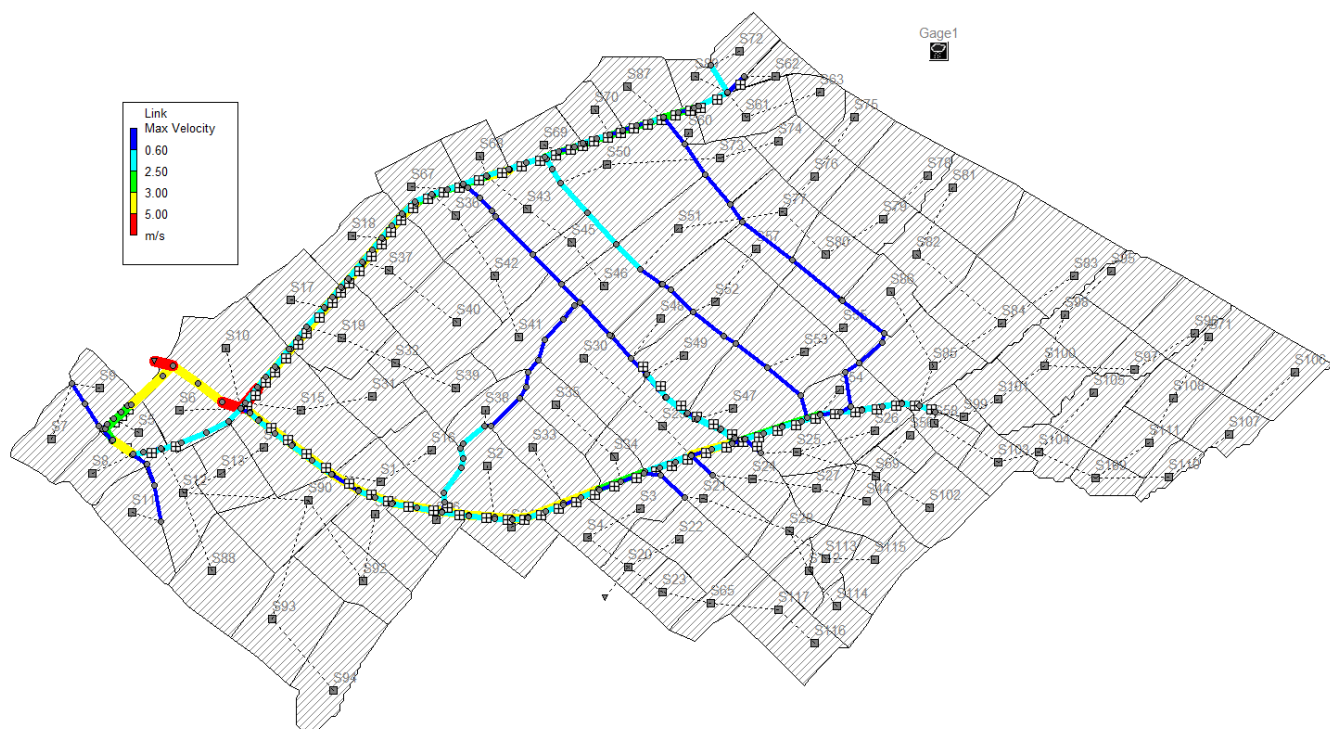
Slika 18: Vršni protok površinskog tečenja – model 1, PP 2 god.



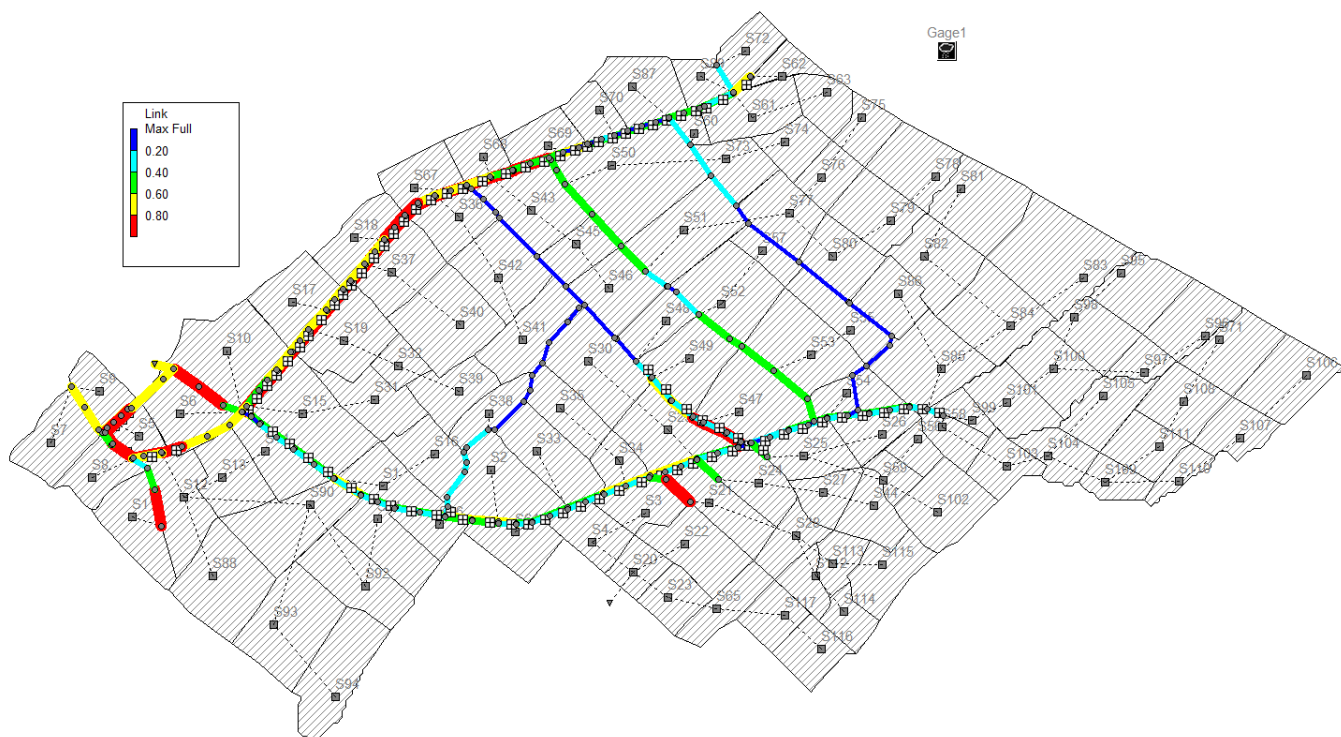
Slika 19: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 1, PP 2 god



Slika 20: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 1, PP 2 god.

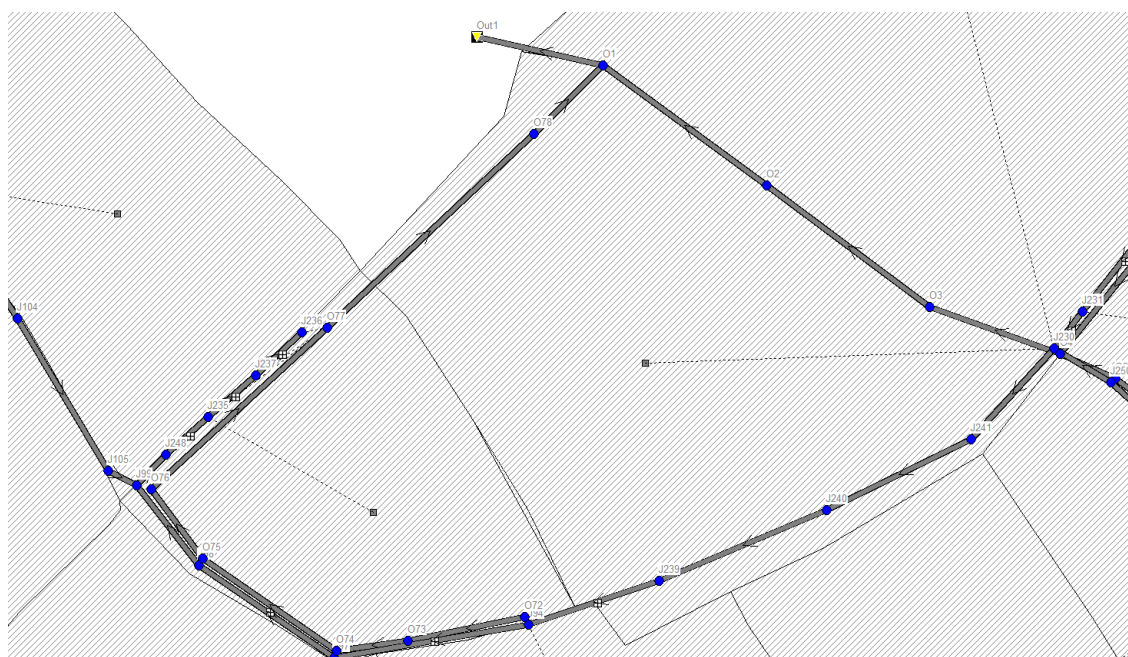


Slika 21: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 1, PP 2 god.

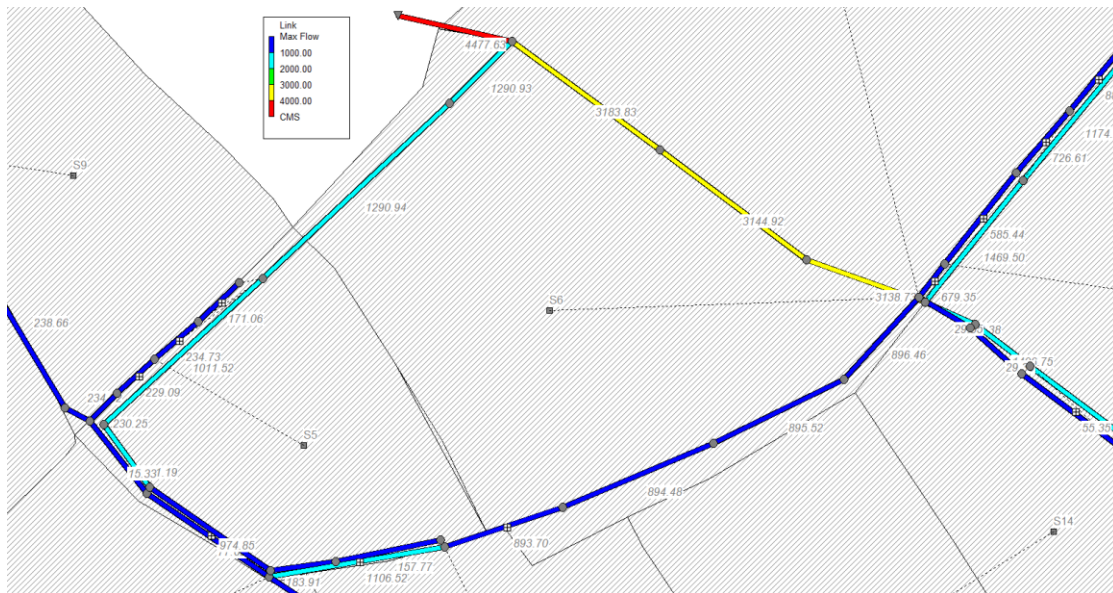


Slika 22: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 1, PP 2 god.

Na sljedećim slikama prikazano je približno područje od interesa. Mjesto gdje najviše dolazi do plavljenja te nezadovoljavajućih veličina u kolektoru.

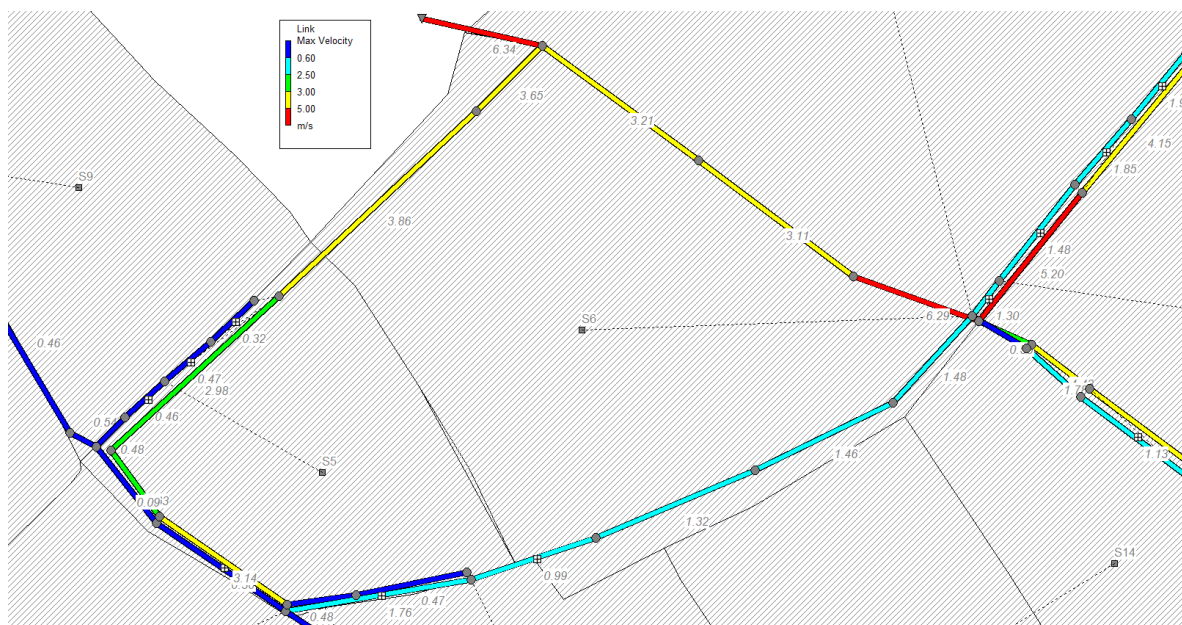


Slika 23: Približno područje od interesa



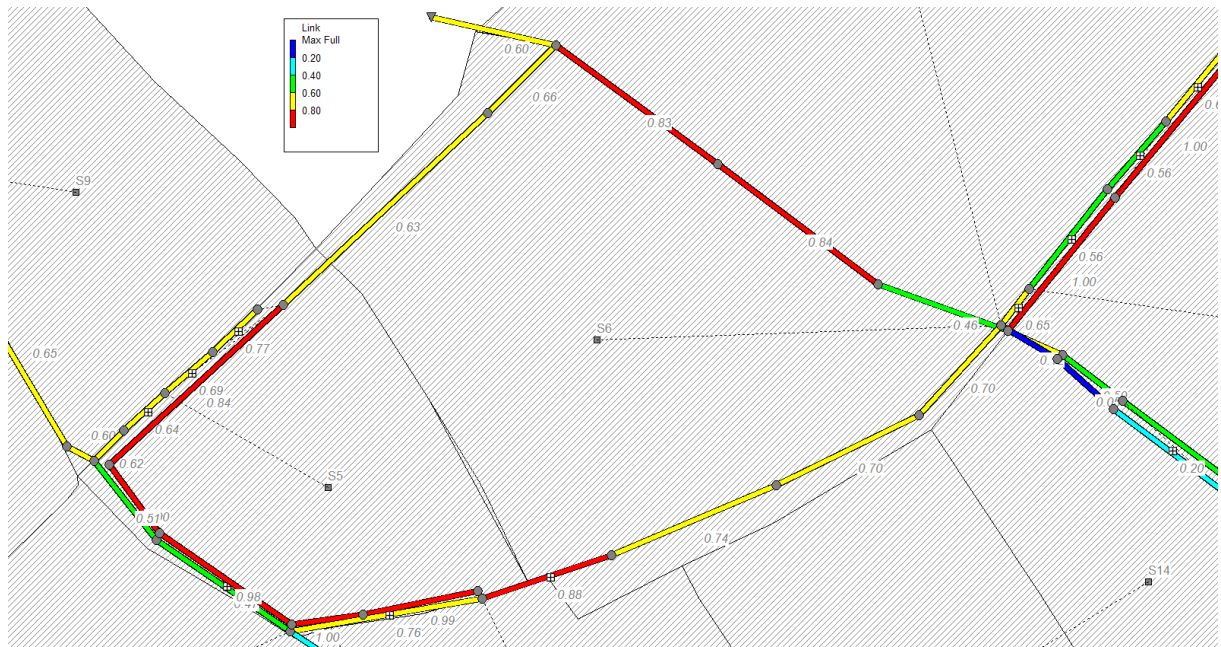
Slika 24: Maksimalni protok u kolektoru – model 1, PP 2 god.

Minimalna dopuštena brzina toka vode u oborinskom kolektoru je 0,6 m/s, a najveća dopuštena brzina za PVC cijevi je 5 m/s. Na slici vidimo da na nekim dionicama brzine tečenja vode premašuju maksimalne dopuštene.

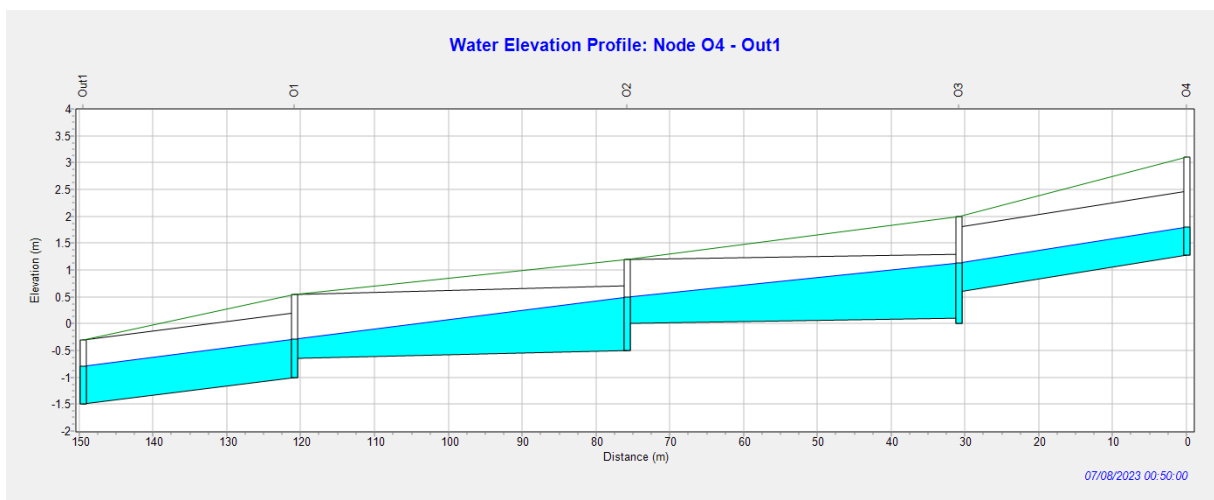


Slika 25: Maksimalne brzine u cijevima - model 1, PP 2 god.

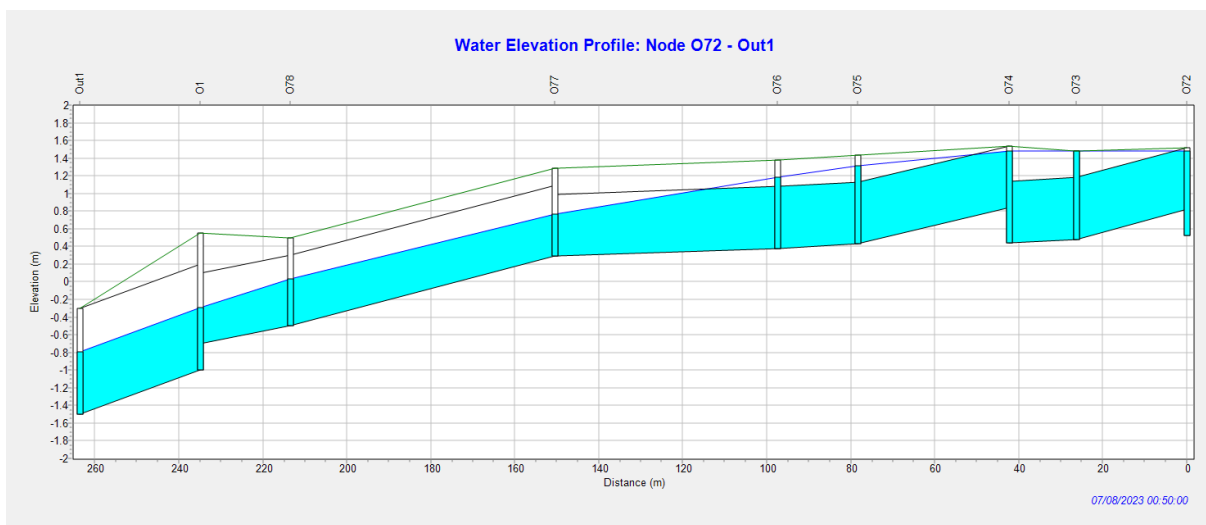
Za cijevi promjera od 500 do 900 mm najveće dopušteno punjenje kanala iznosi 75%, a za promjere veće od 900 mm 80%. Na slici se vidi da određene dionice imaju ispunjenost veću od dozvoljene.



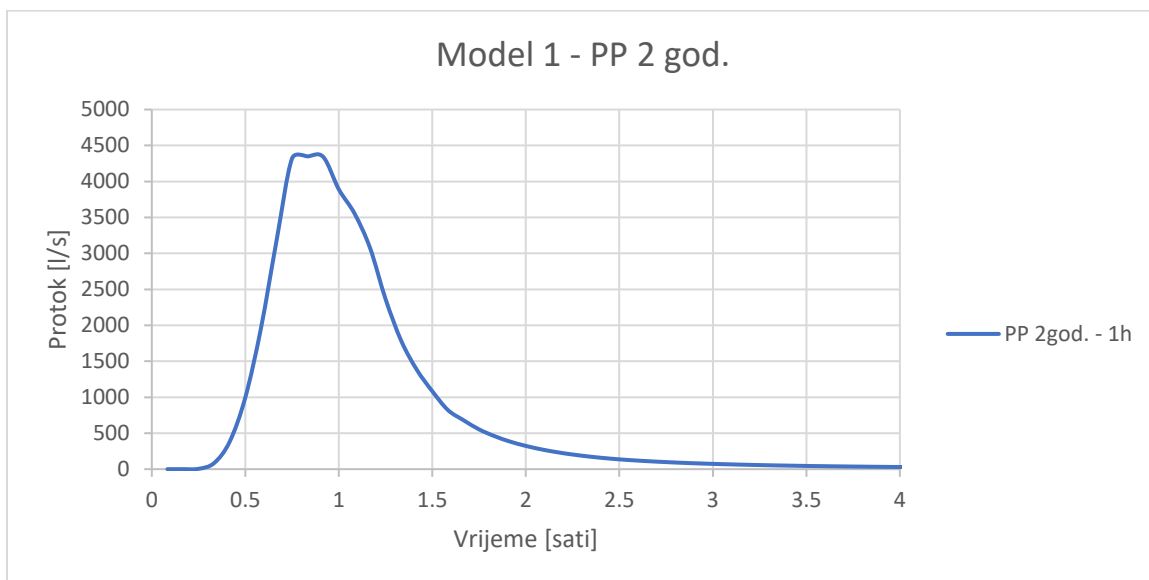
Slika 26: Maksimalna ispunjenost kanala - model 1, PP 2 god.



Slika 27: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 2 god.

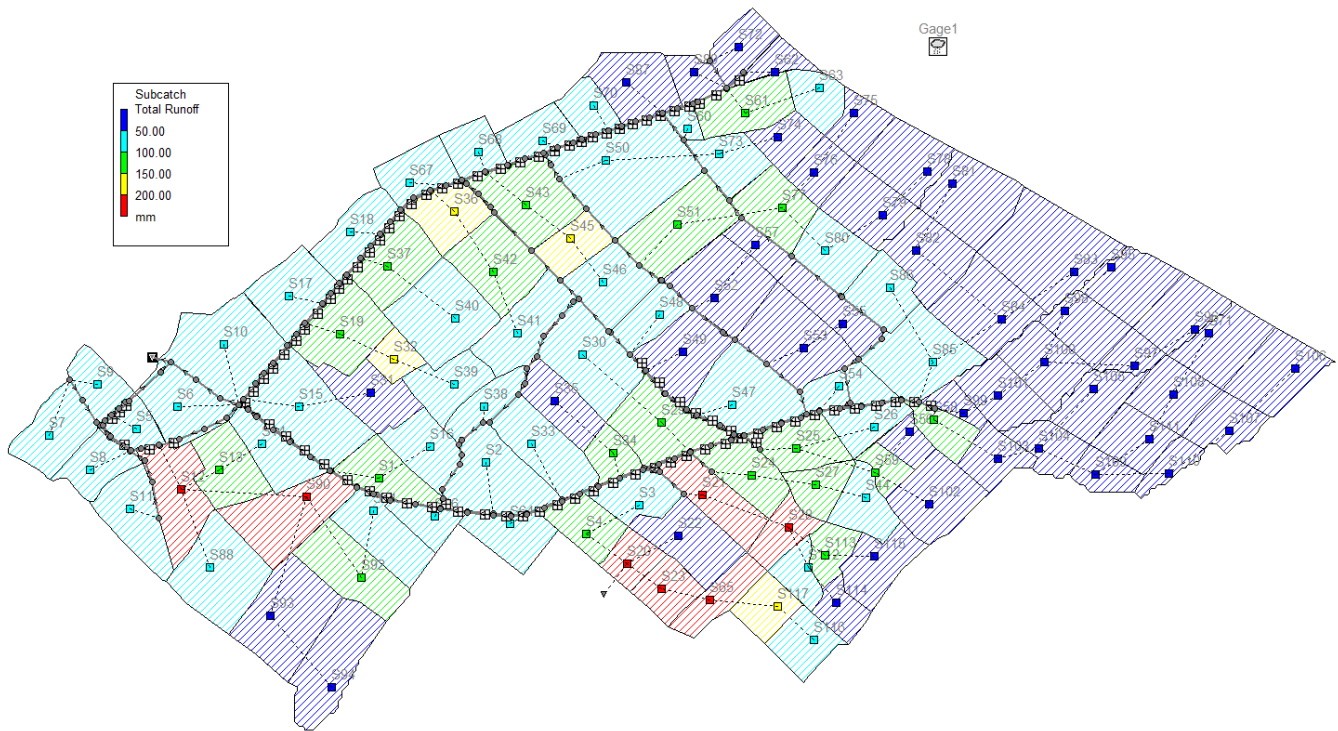


Slika 28: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 2 god.

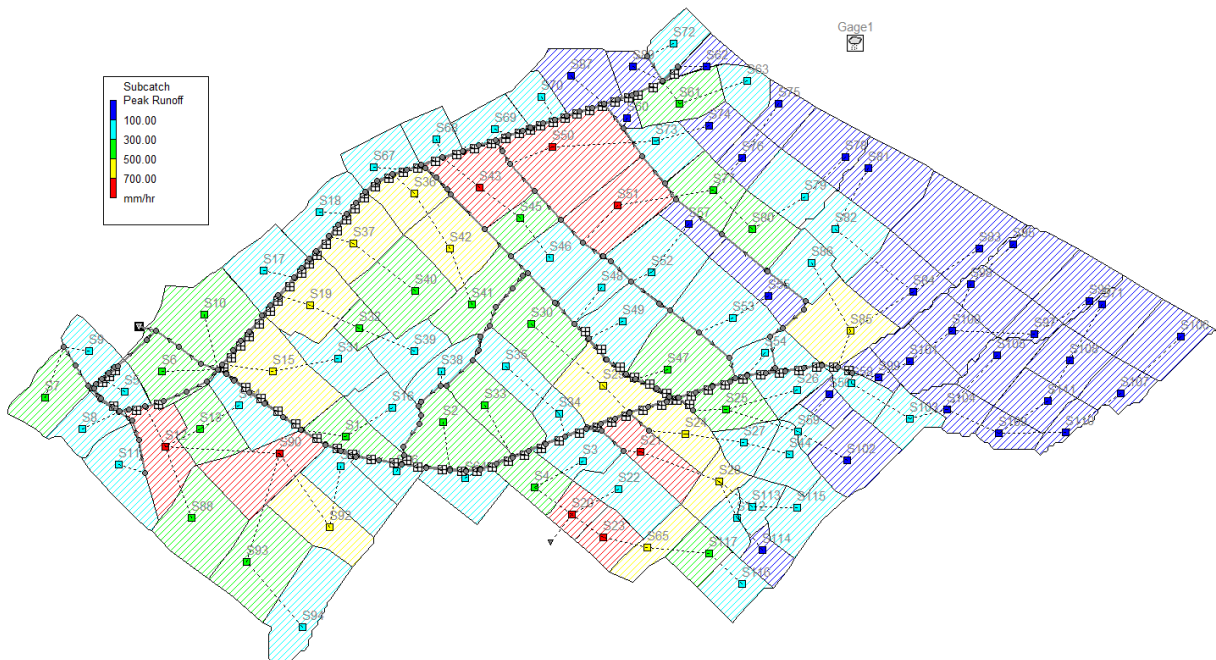


Slika 29: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 1 za PP 2 god.

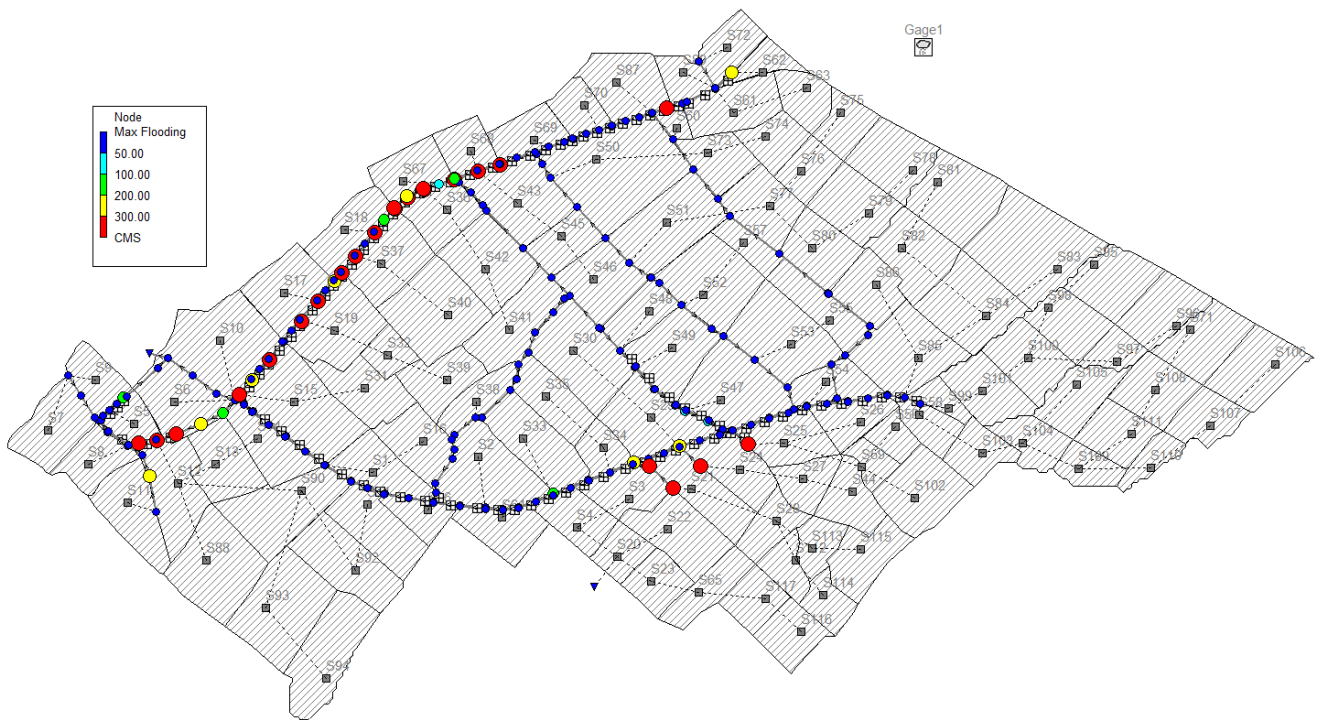
6.1.2. PP 25 godina – model 1



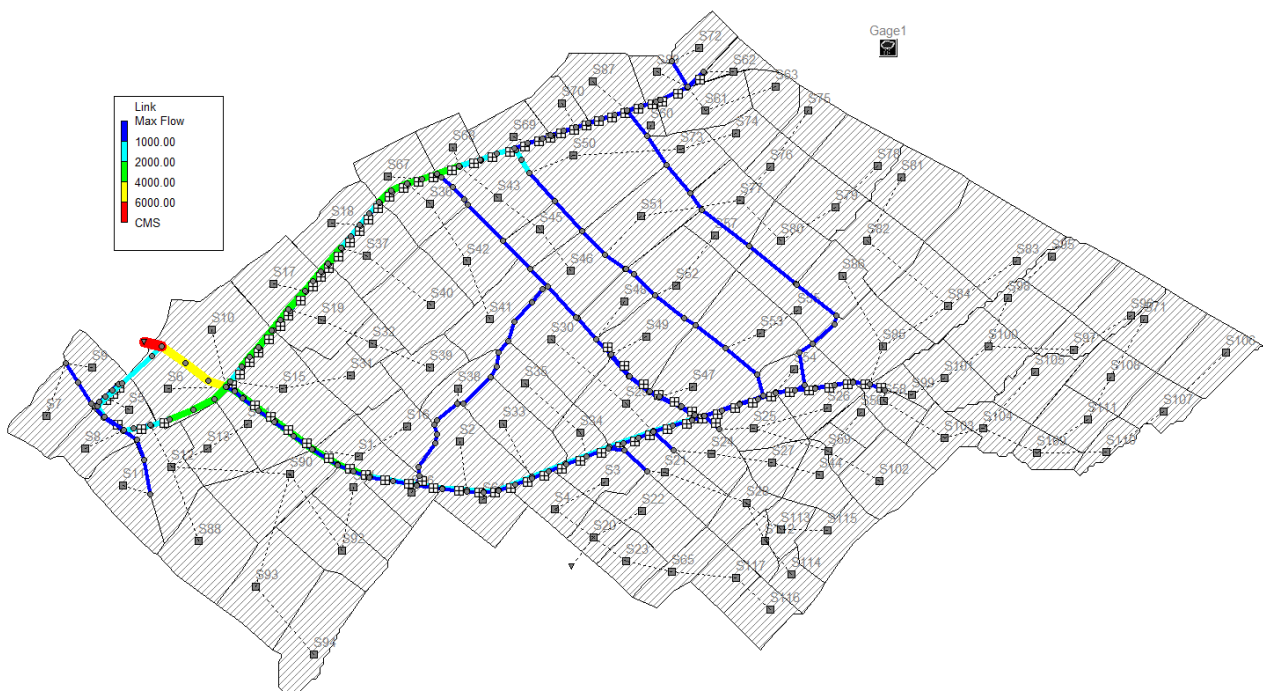
Slika 30: Ukupna količina efektivne oborine – model 1, PP 25 god.



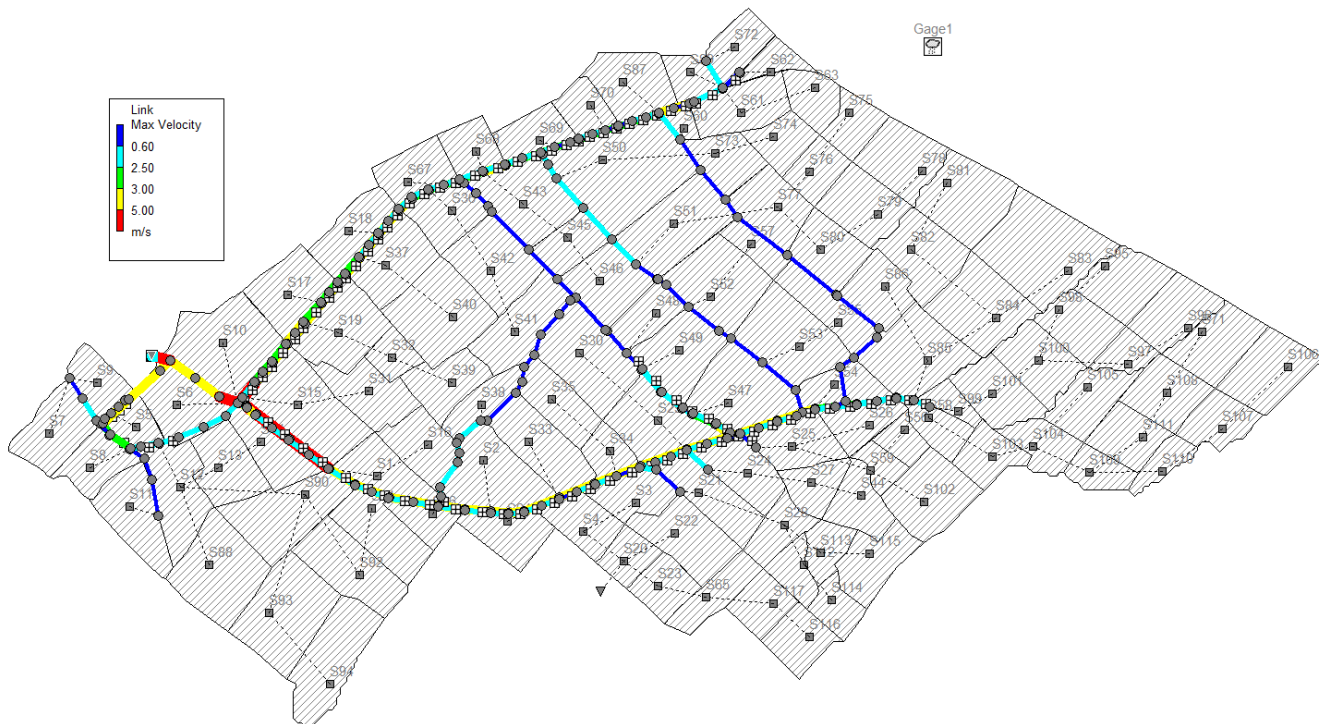
Slika 31: Vršni protok površinskog tečenja – model 1, PP 25 god.



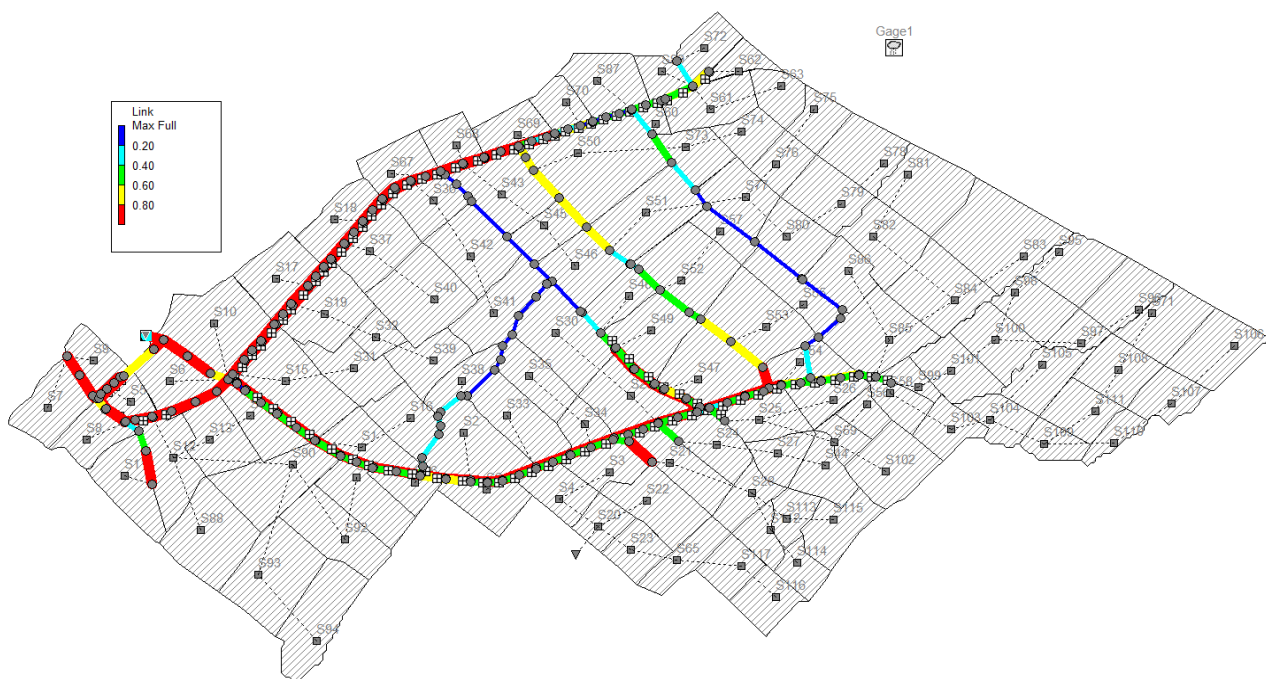
Slika 32: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 1, PP 25 god



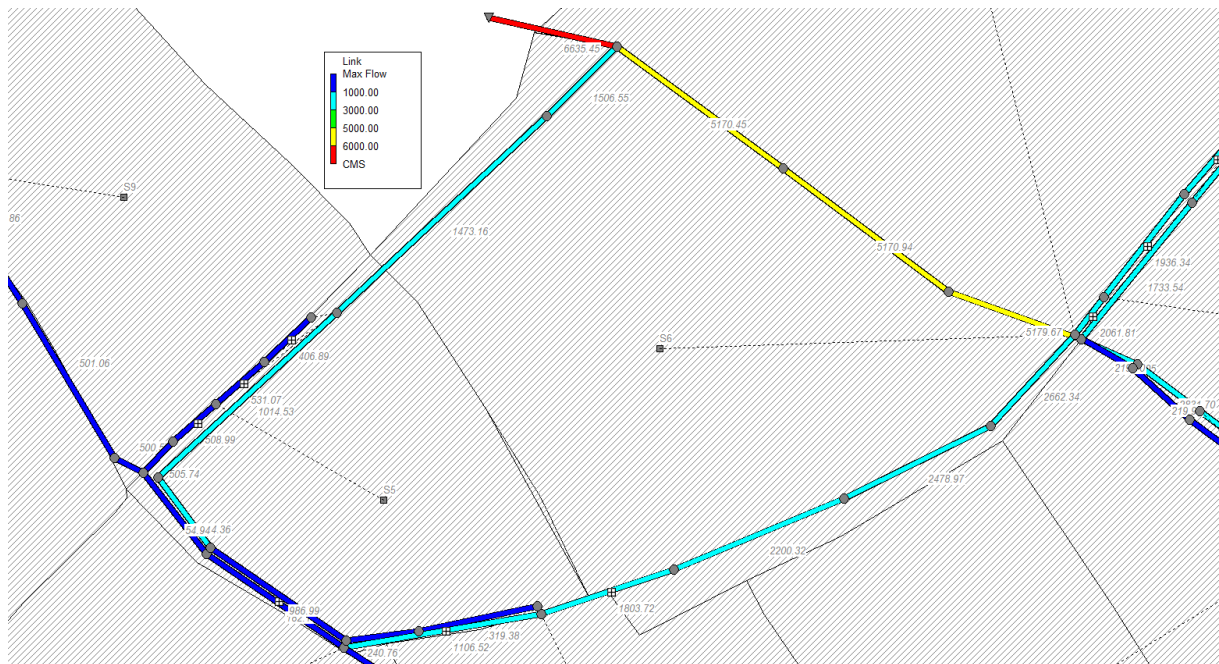
Slika 33: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 1, PP 25 god.



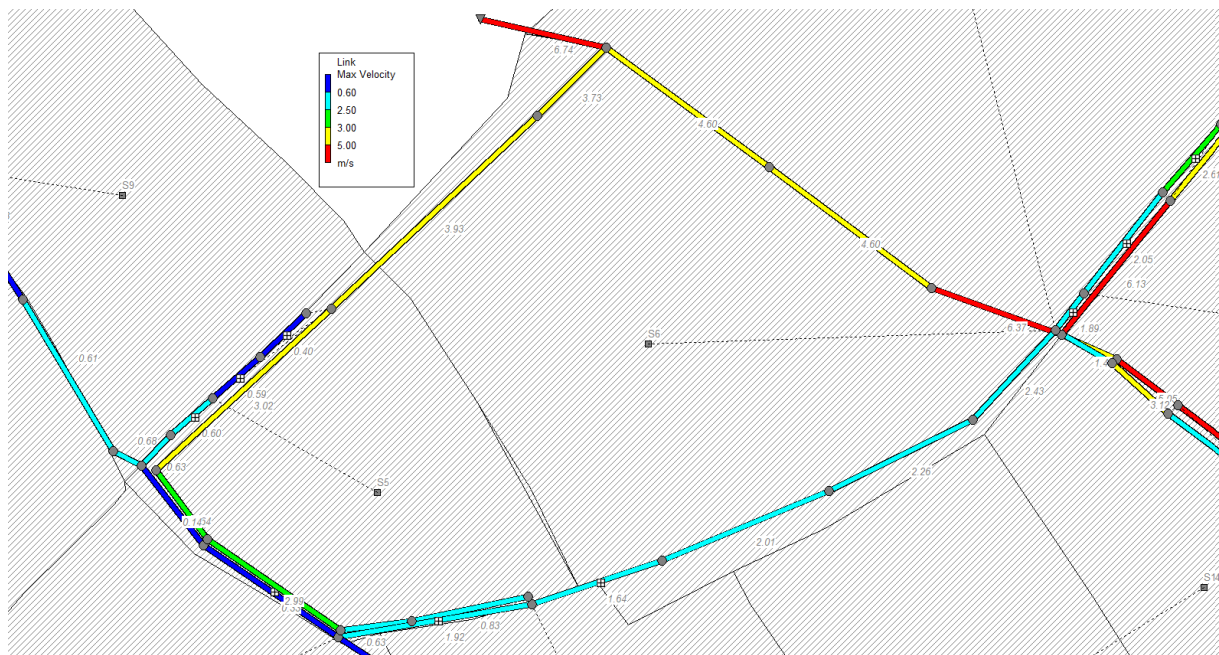
Slika 34: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 1, PP 25 god.



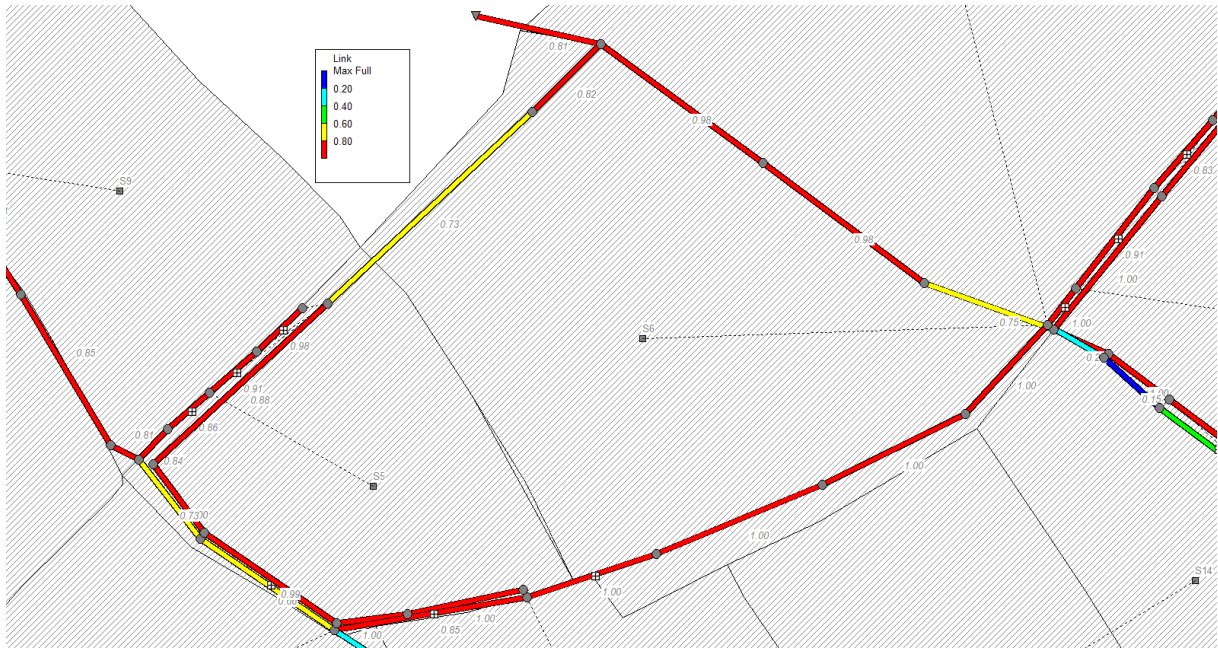
Slika 35: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 1, PP 25 god.



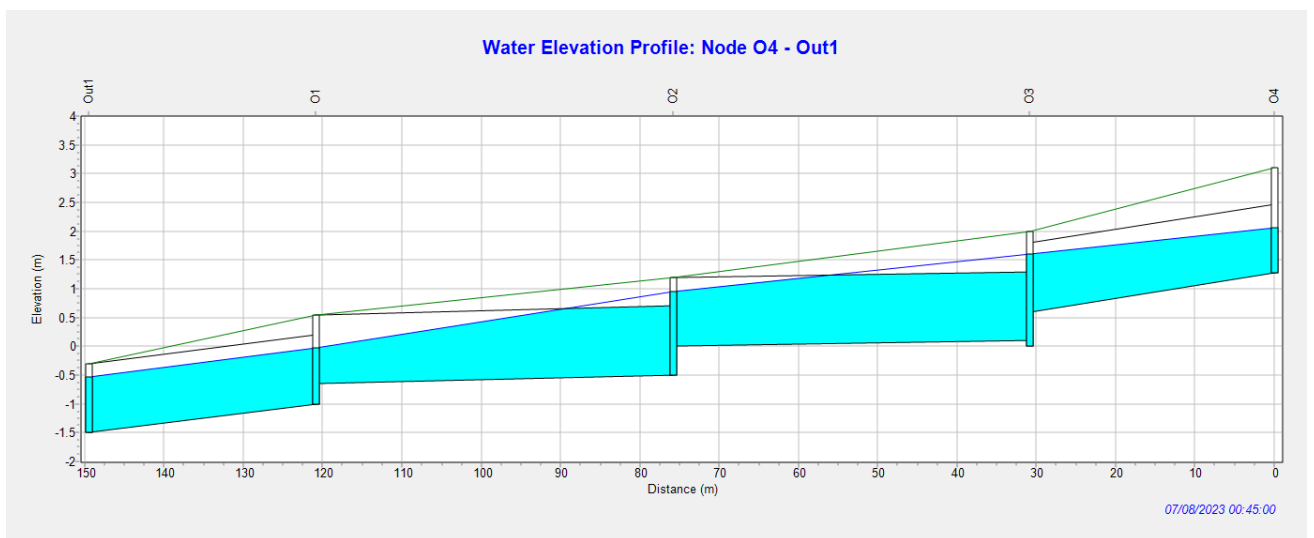
Slika 36: Maksimalni protok u kolektoru – model 1, PP 25 god.



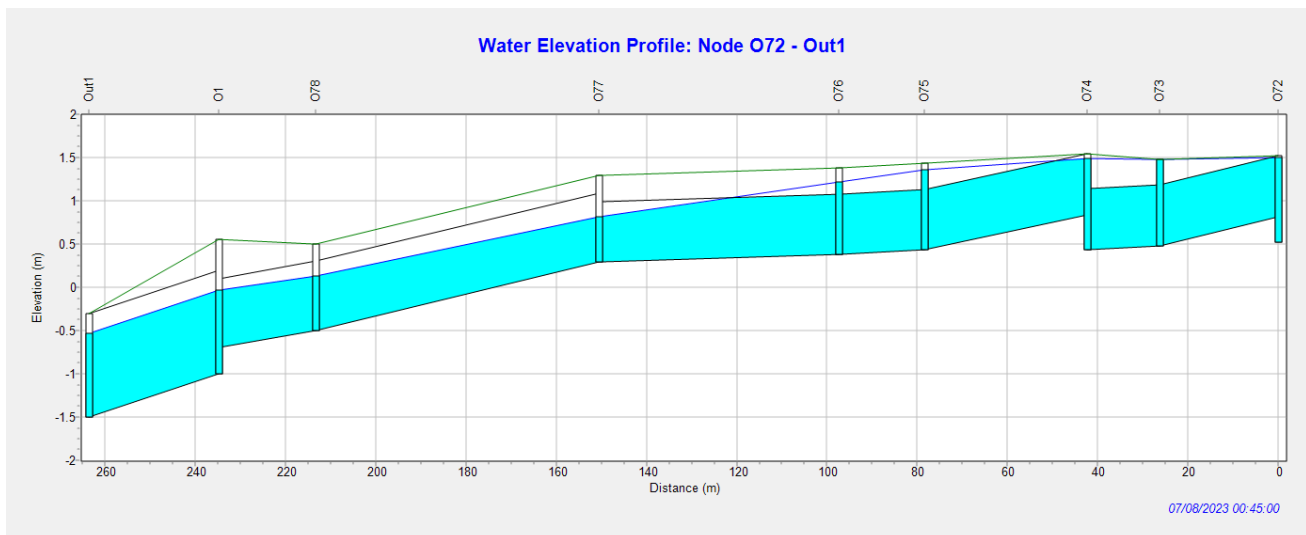
Slika 37: Maksimalne brzine u cijevima - model 1, PP 25 god.



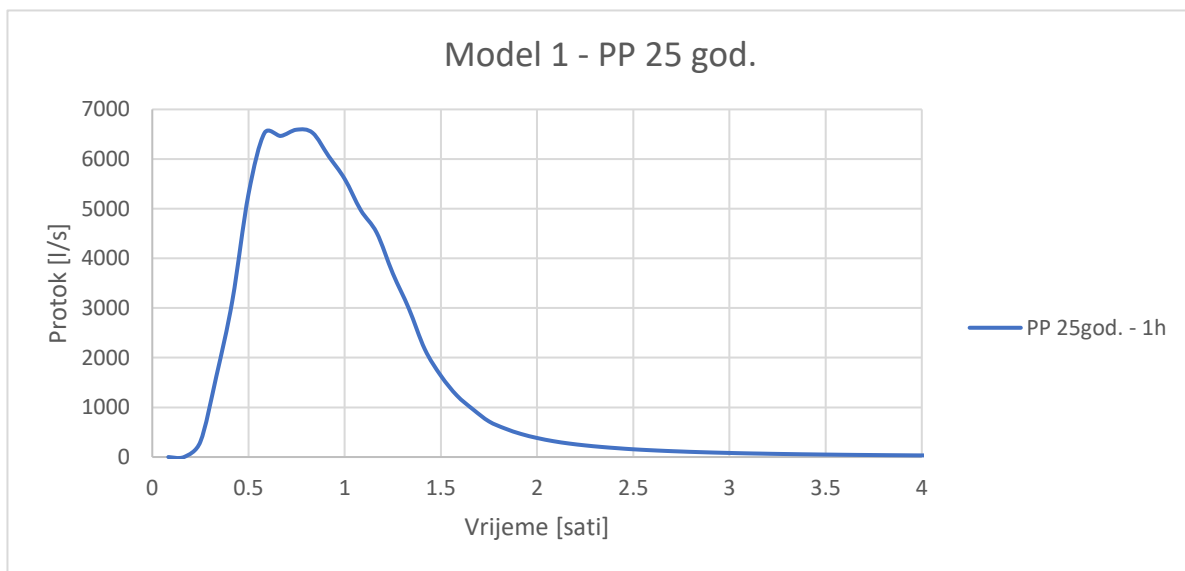
Slika 38: Maksimalna ispunjenost kanala - model 1, PP 25 god.



Slika 39: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 25 god.

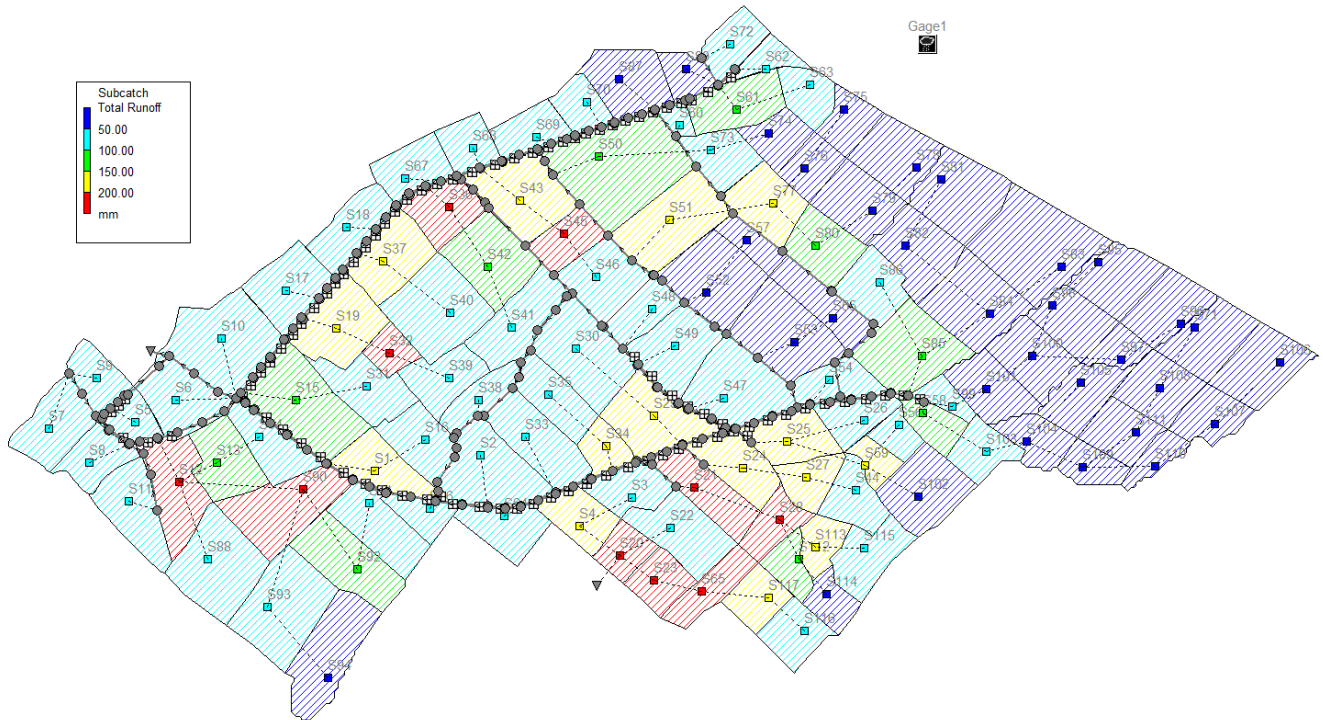


Slika 40: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 25 god.

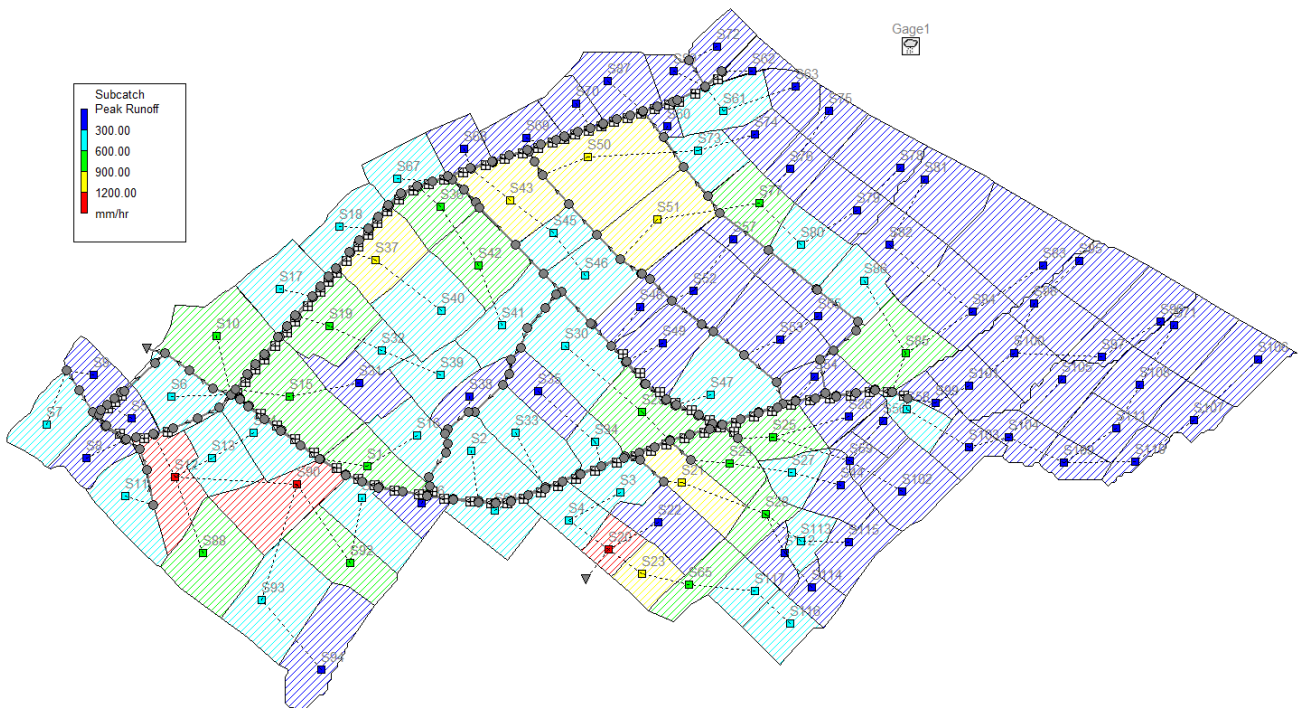


Slika 41: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 1 za PP 25 god.

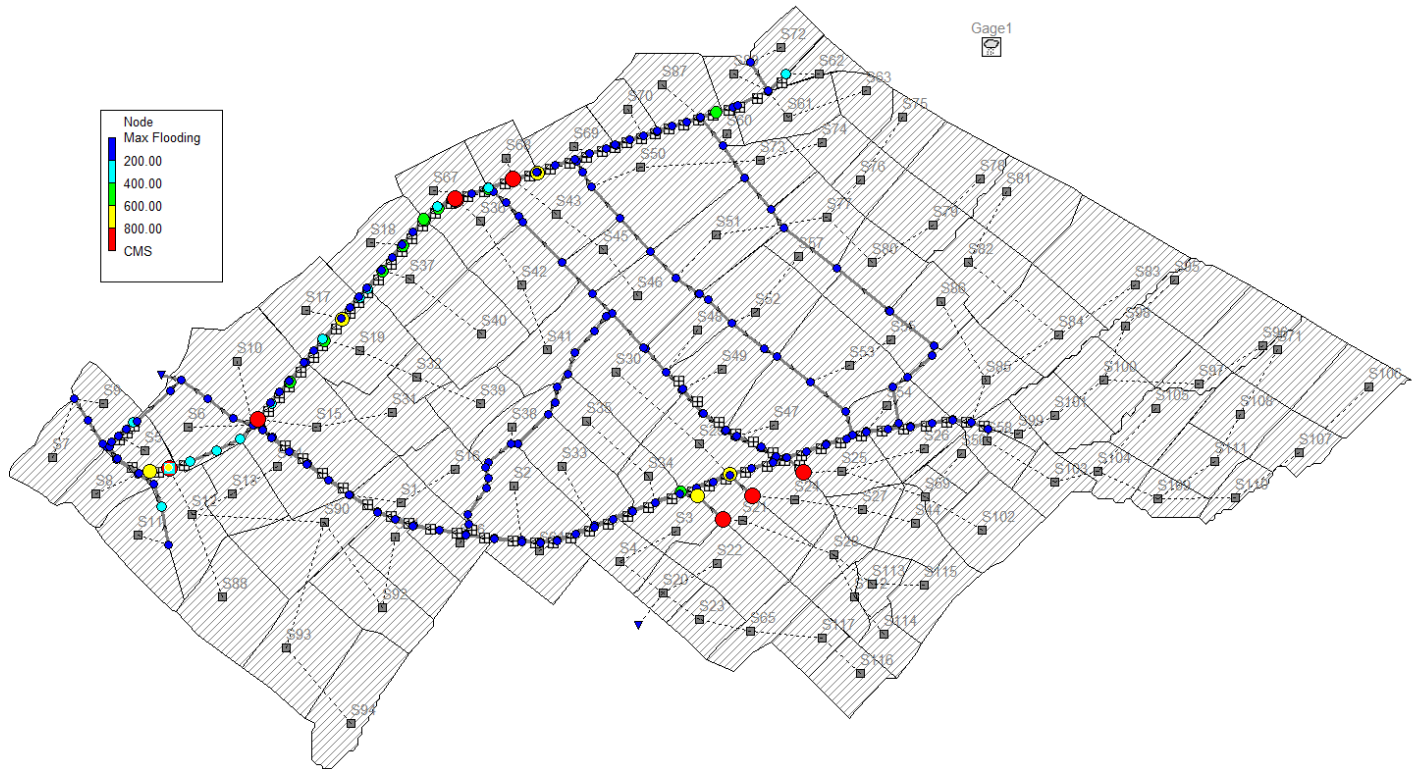
6.1.3. PP 100 godina – model 1



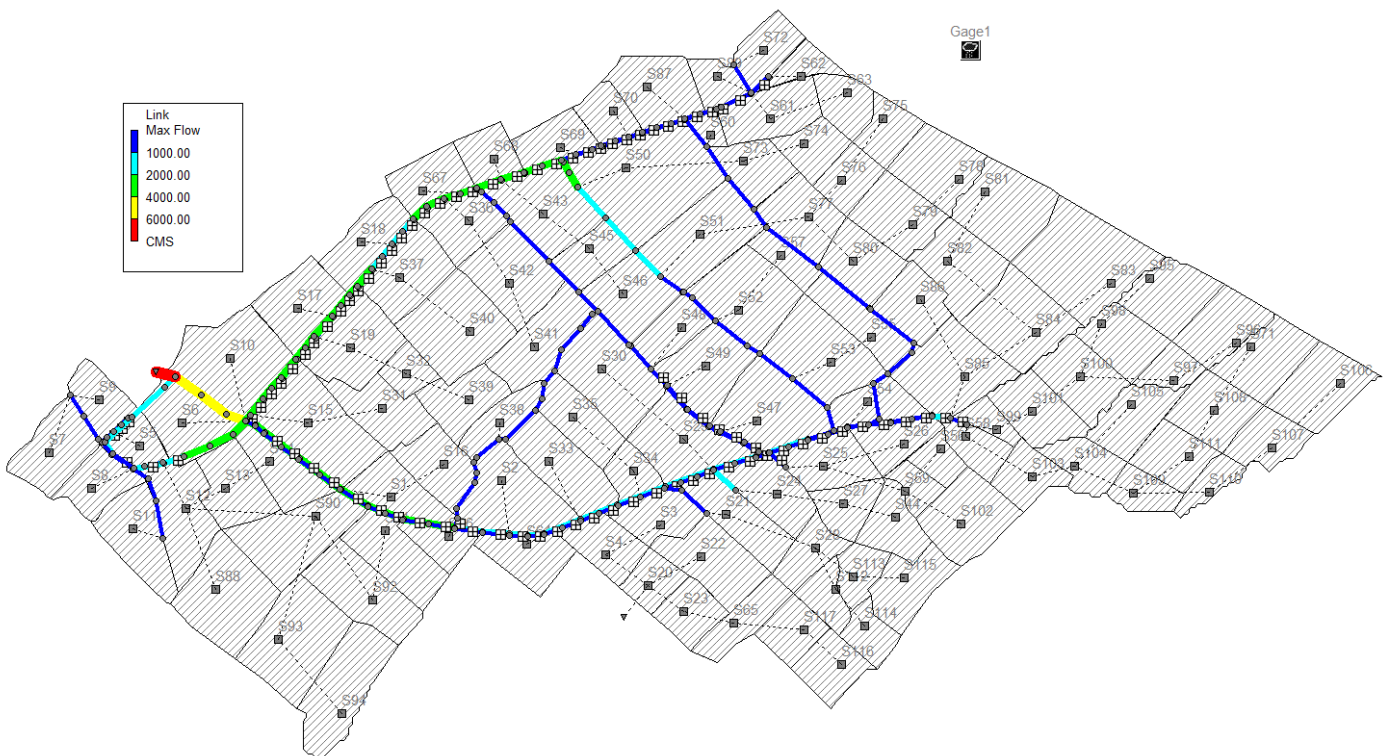
Slika 42: Ukupna količina efektivne oborine – model 1, PP 100 god



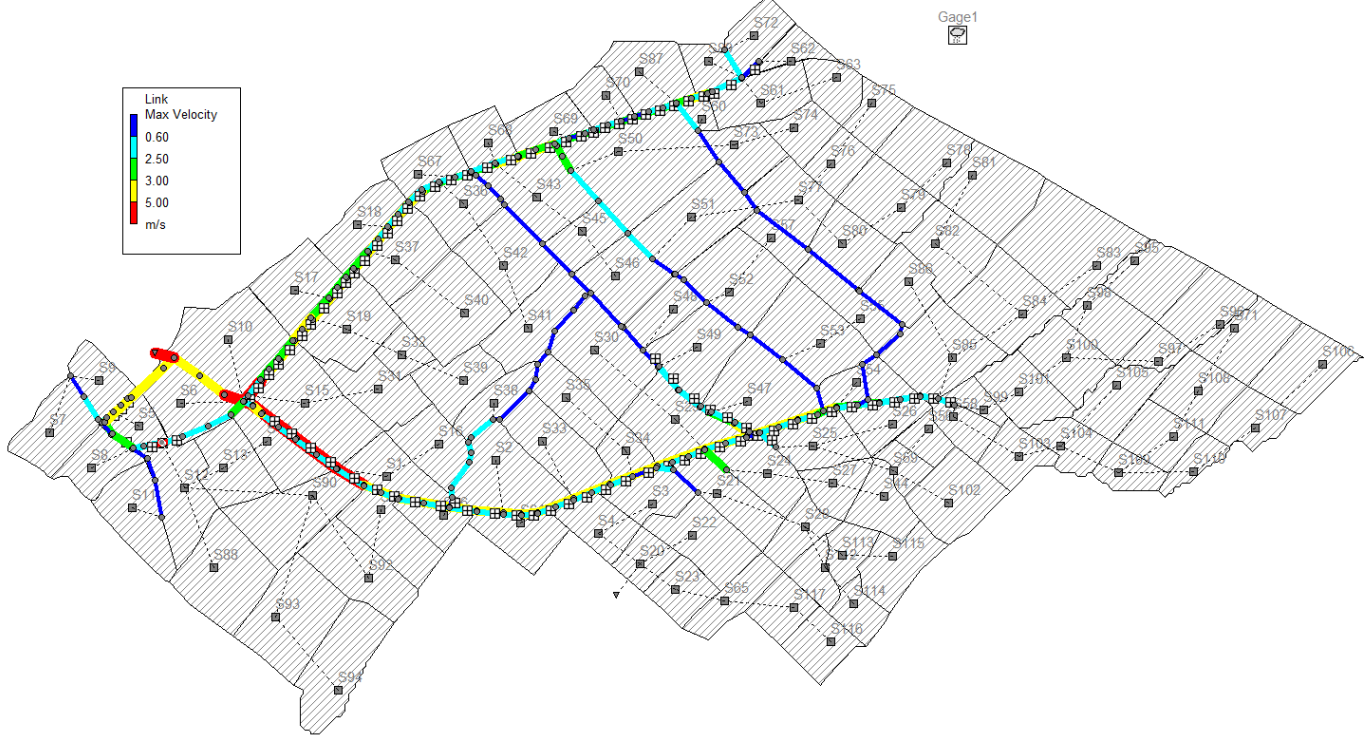
Slika 43: Vršni protok površinskog tečenja – model 1, PP 100 god.



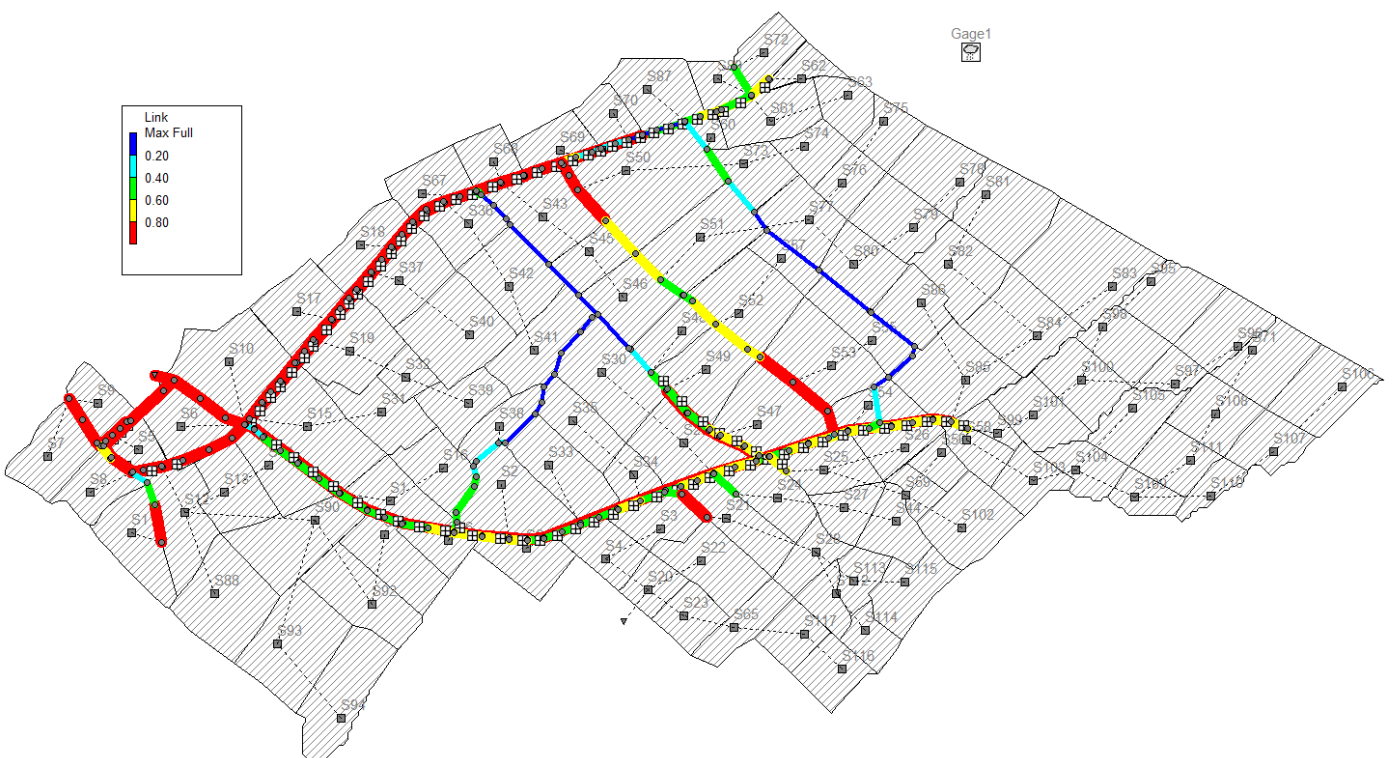
Slika 44: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 1, PP 100 god



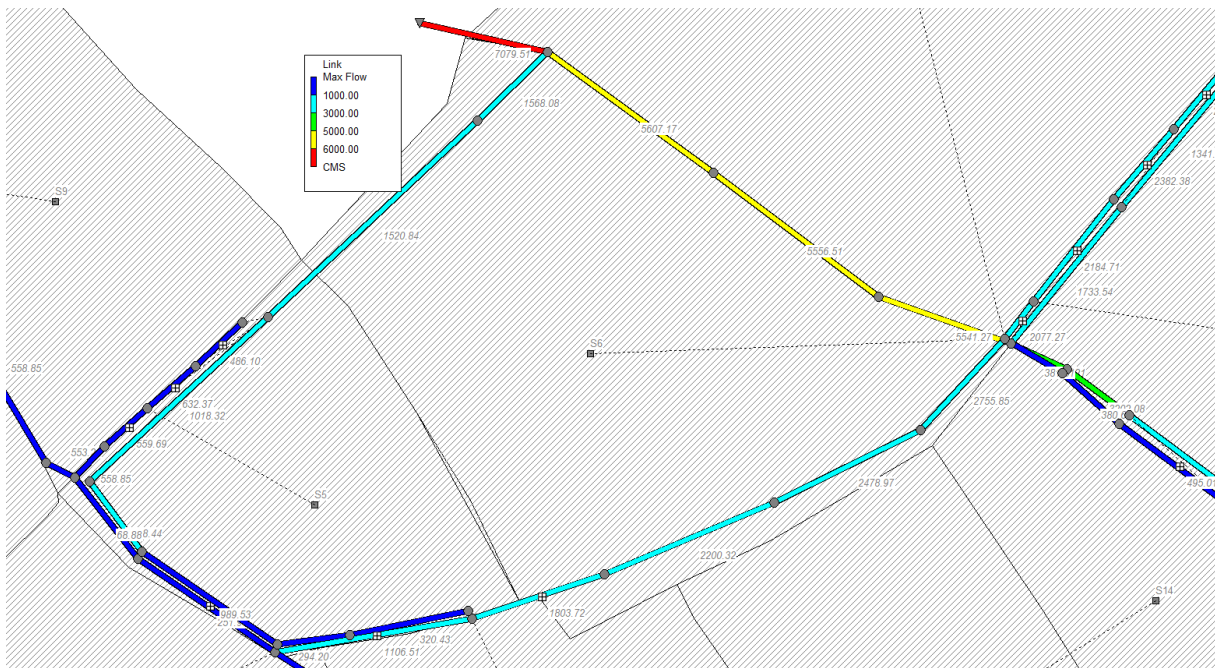
Slika 45: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 1, PP 100 god.



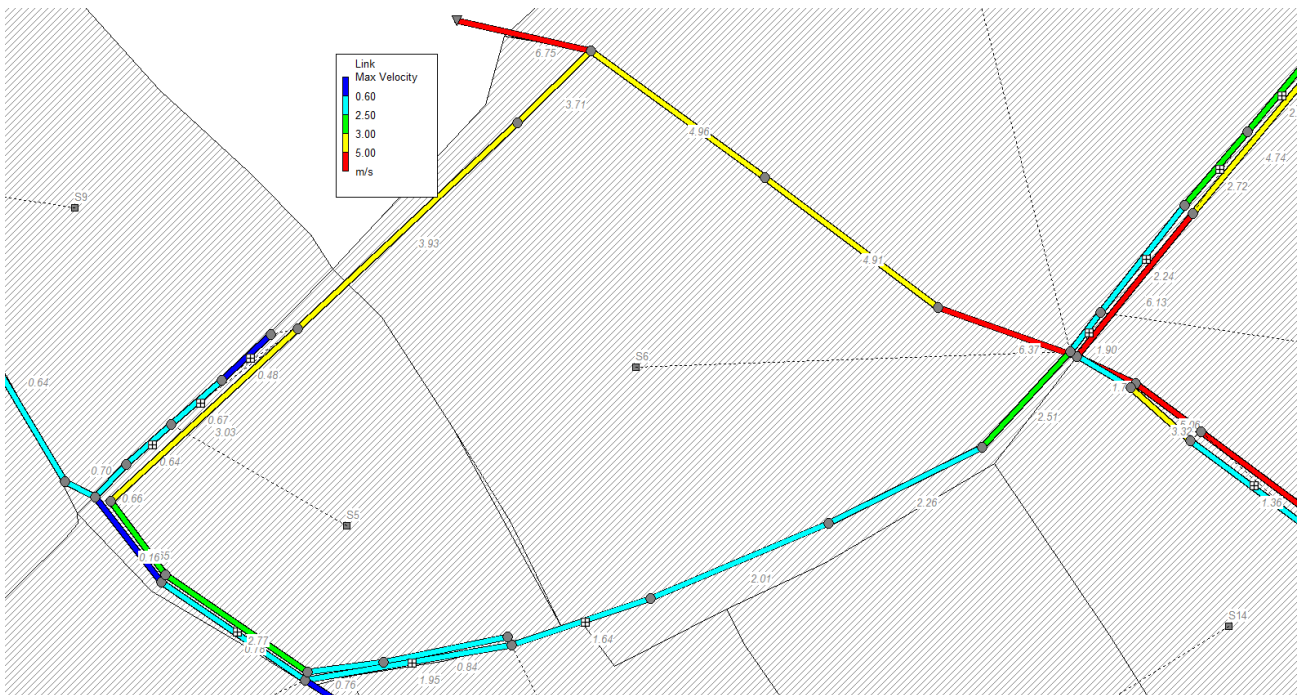
Slika 46: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 1, PP 100 god.



Slika 47: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 1, PP 100 god.



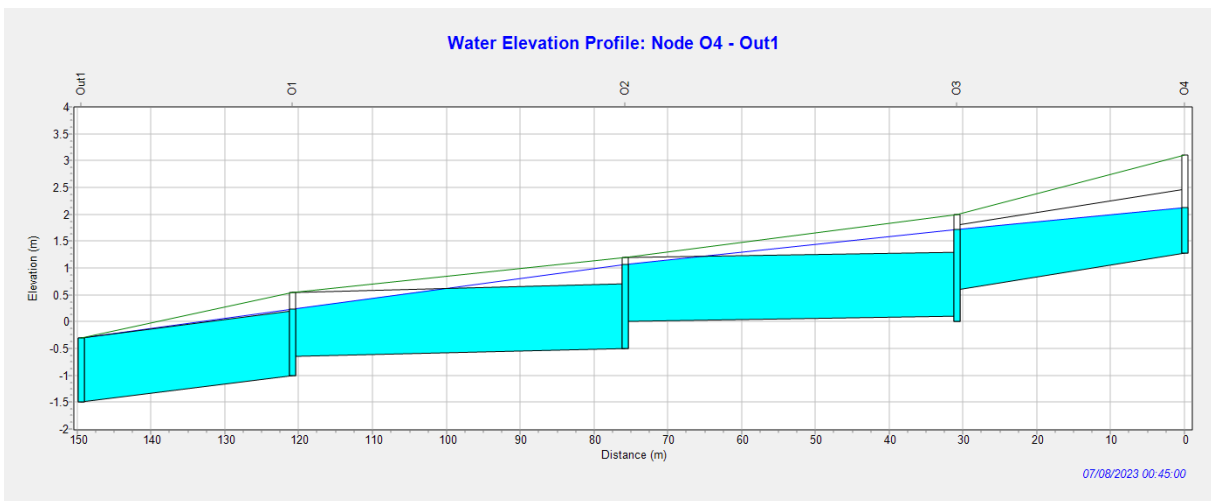
Slika 48: Maksimalni protok u kolektoru – model 1, PP 100 god.



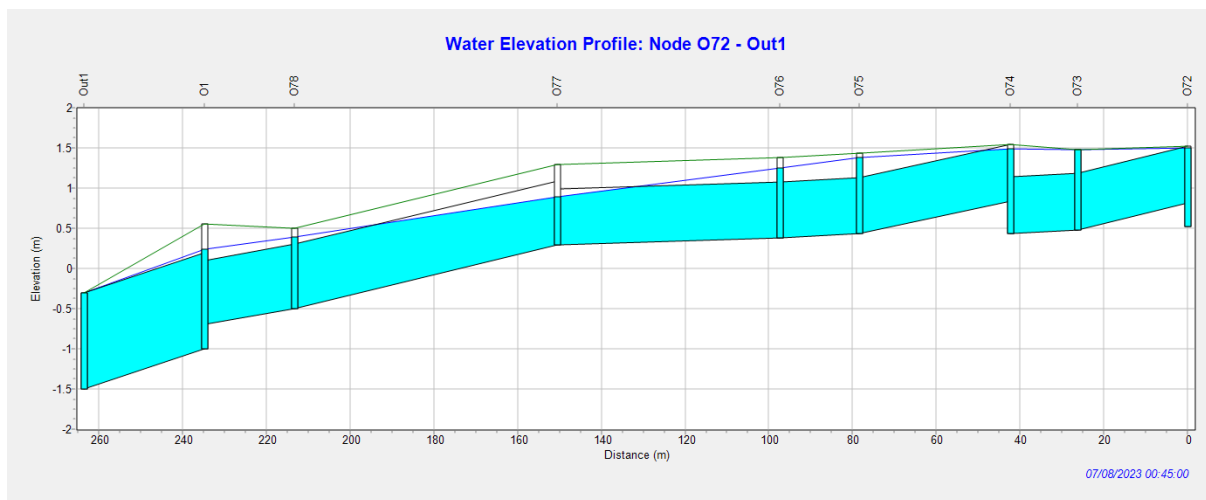
Slika 49: Maksimalne brzine u cijevima - model 1, PP 100 god.



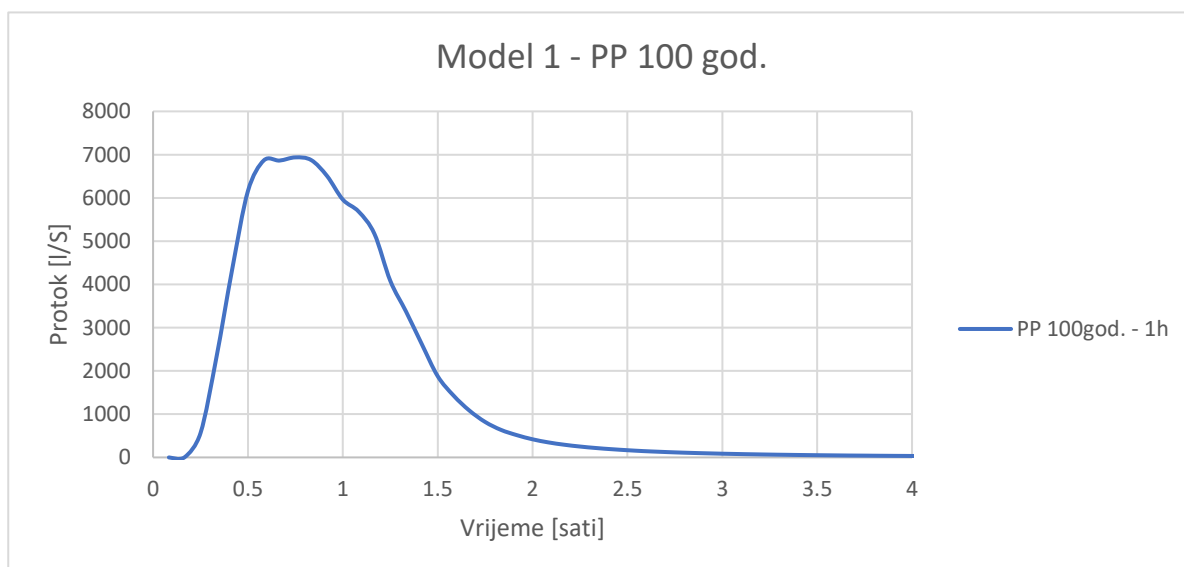
Slika 50: Maksimalna ispunjenost kanala - model 1, PP 100 god.



Slika 51: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 100 god.



Slika 52: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 1, PP 100 god.

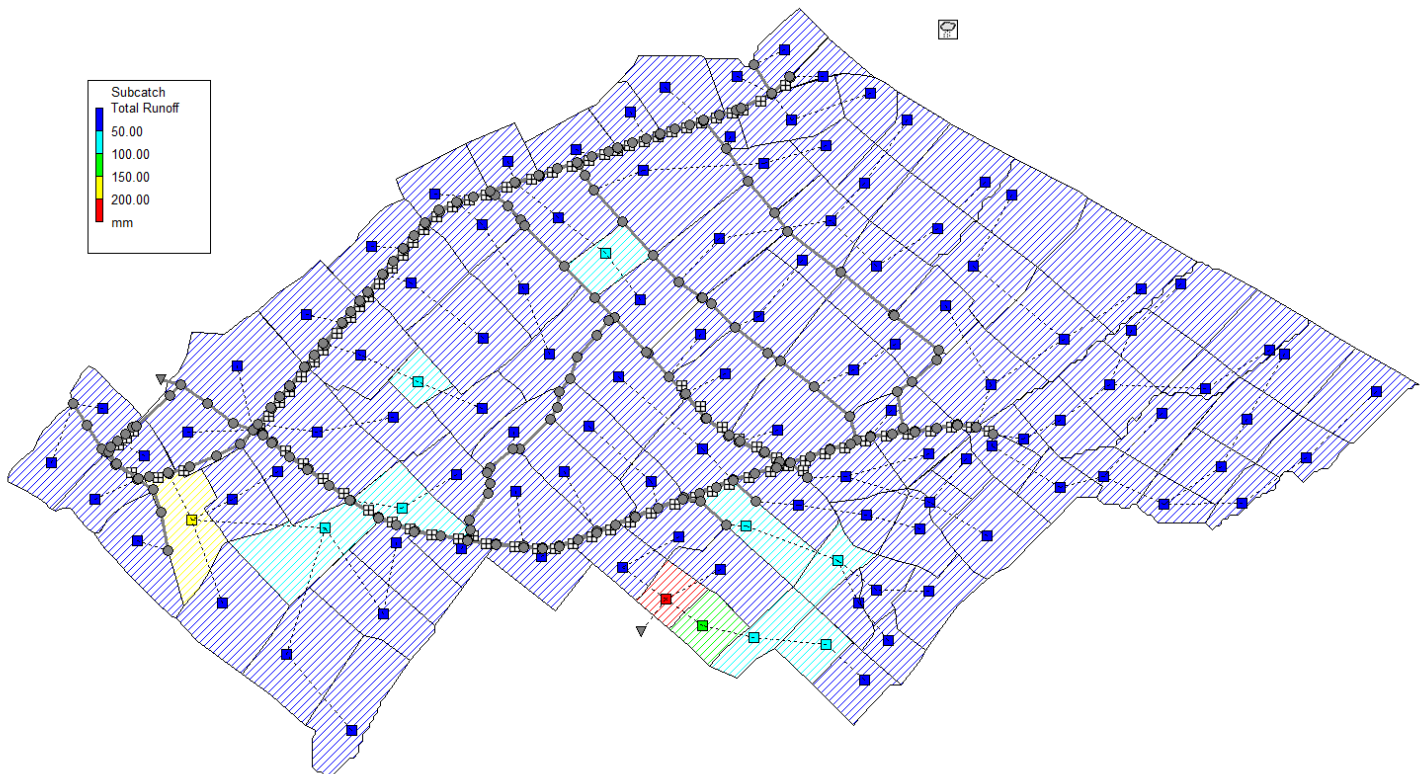


Slika 53: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 1 za PP 100 god

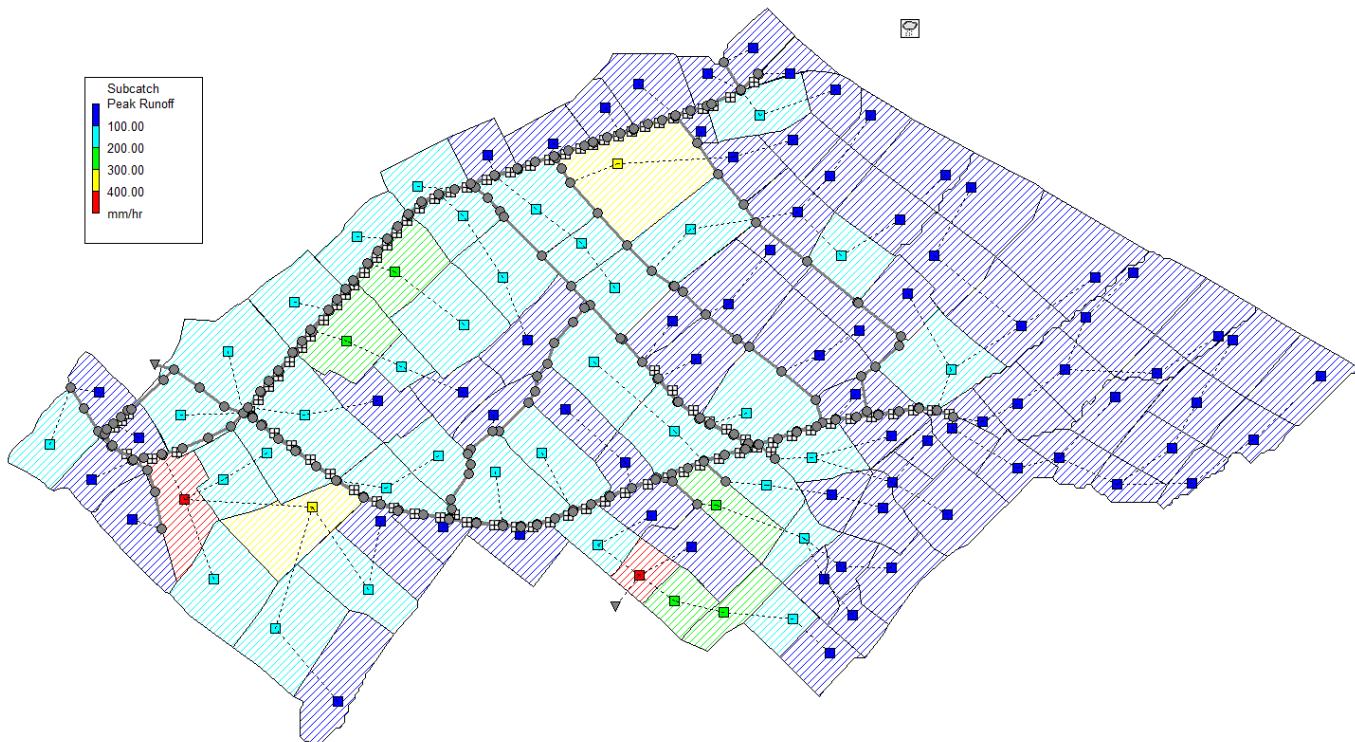
6.2. Stanje sa ugrađenim LID elementima (10%) – model 2

U modelu 2 ugrađeni su infiltracijski jarci dubine 1,5 m na 10% površine svakog podsliva.

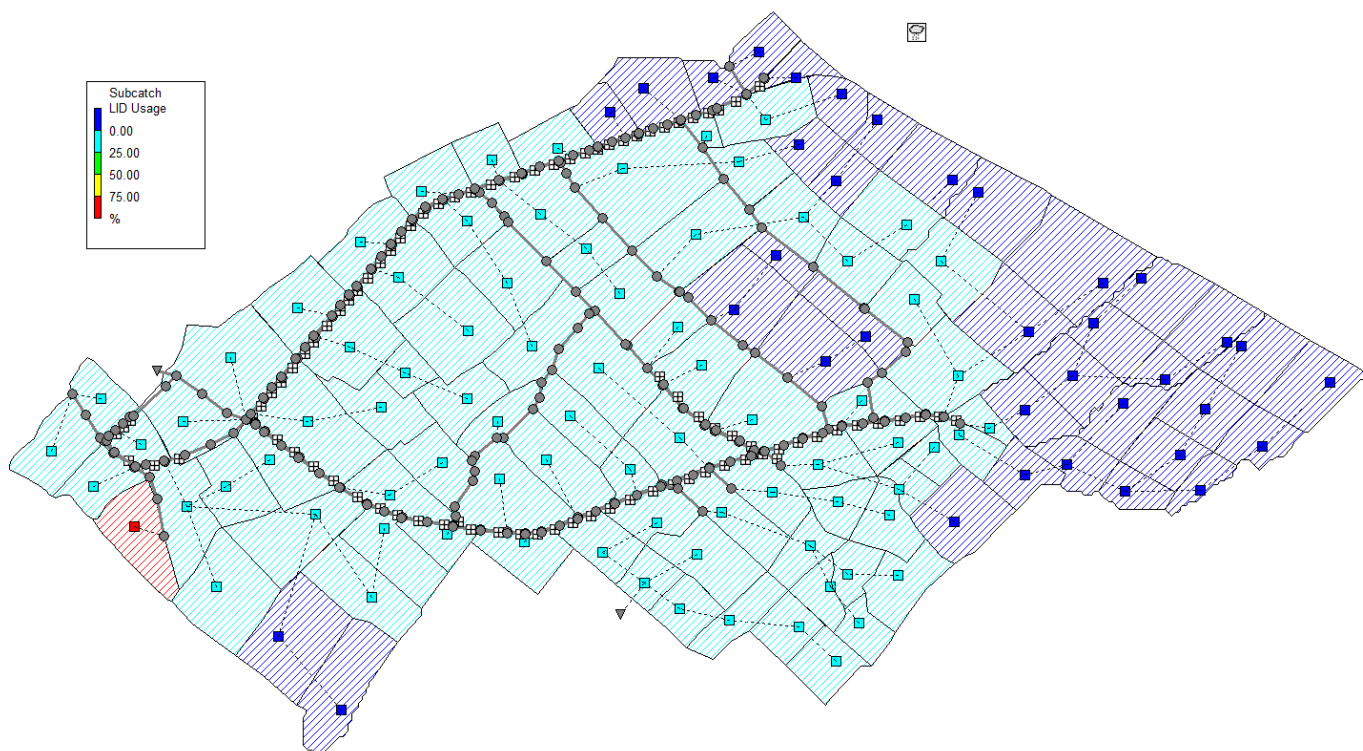
6.2.1. PP 2 godine – model 2



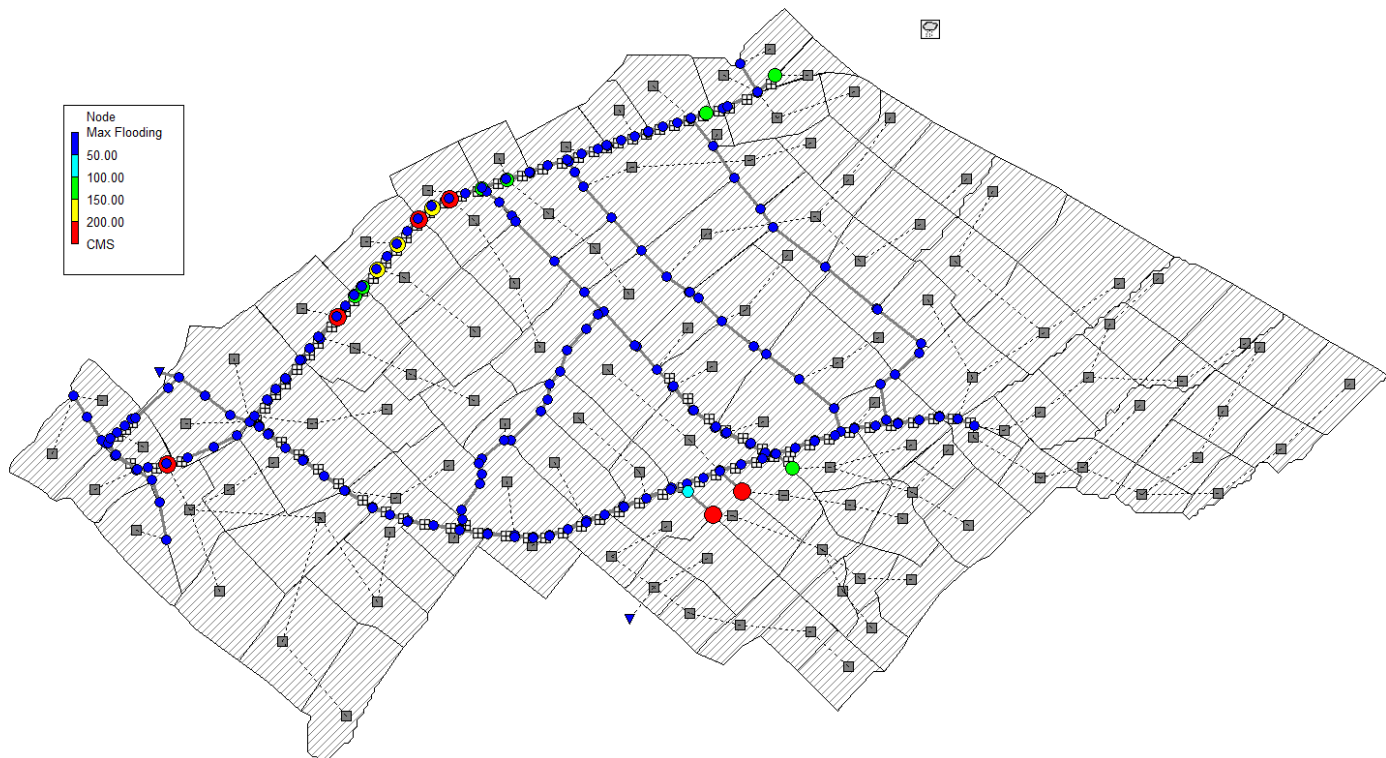
Slika 54: Ukupna količina efektivne oborine – model 2, PP 2 god.



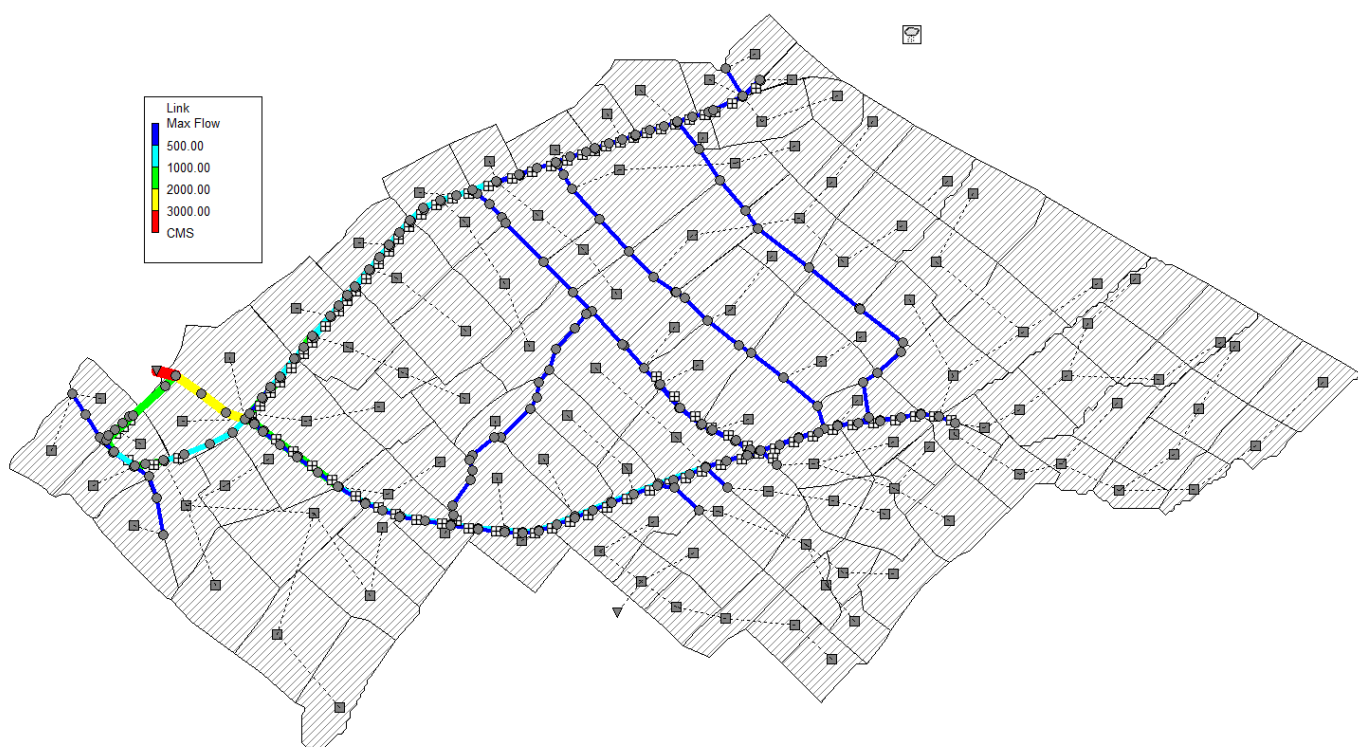
Slika 55: Vršni protok površinskog tečenja – model 2, PP 2 god.



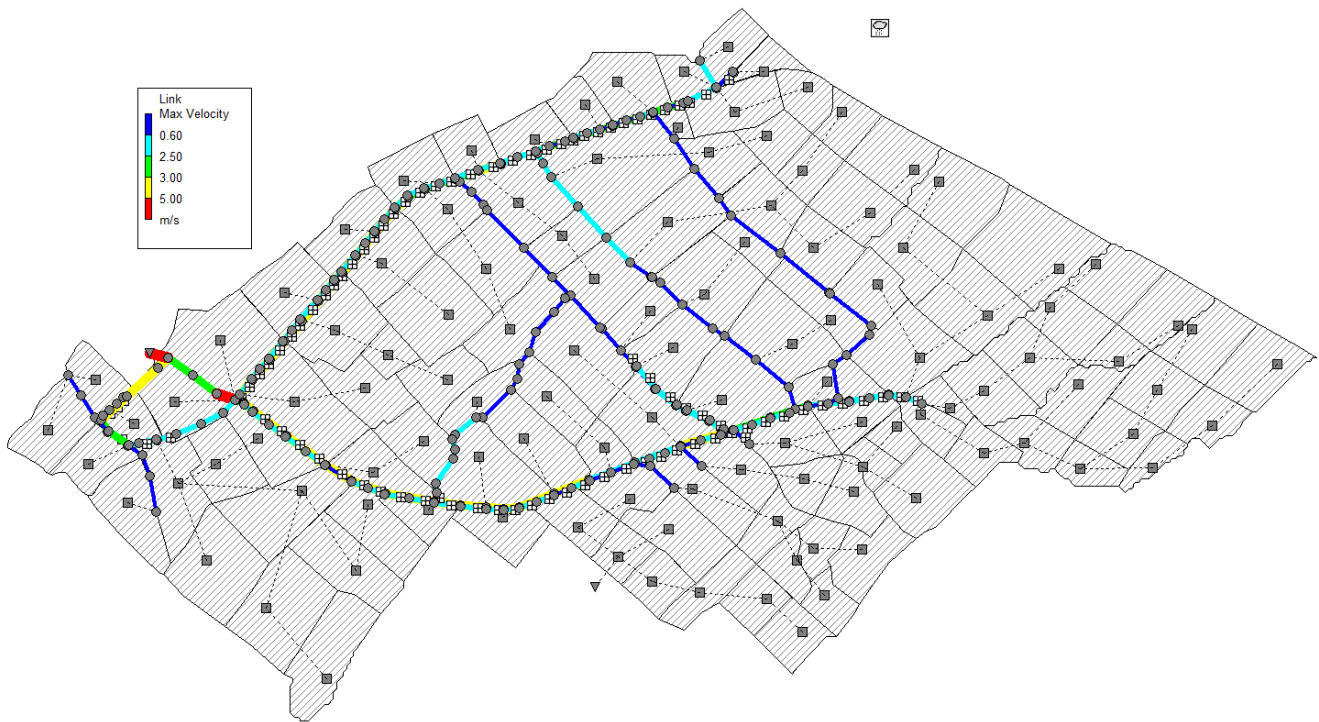
Slika 56: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 2, PP 2 god.



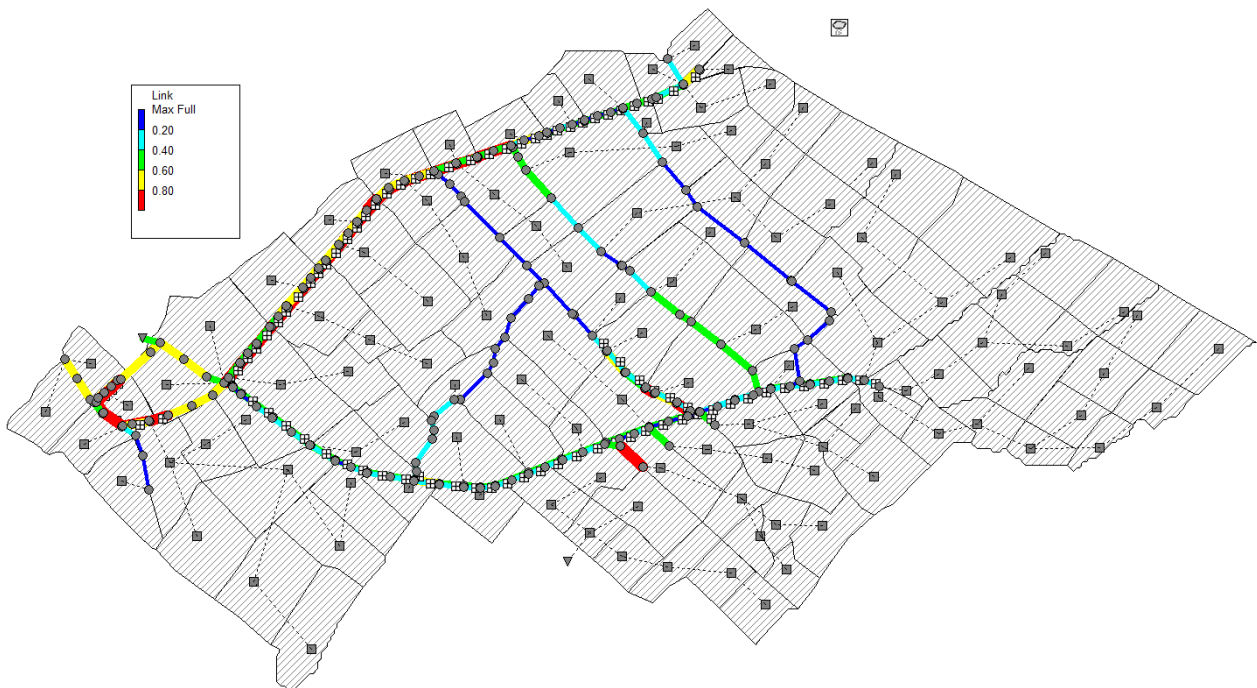
Slika 57: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 2, PP 2 god



Slika 58: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 2, PP 2 god.



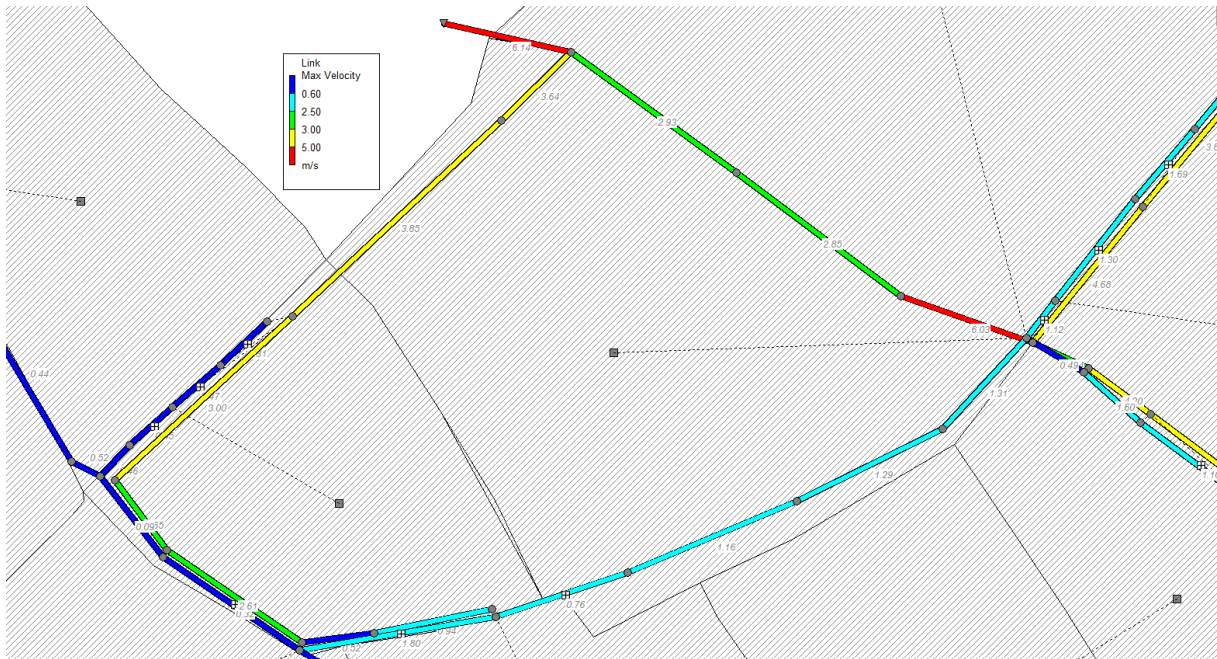
Slika 59: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 2, PP 2 god.



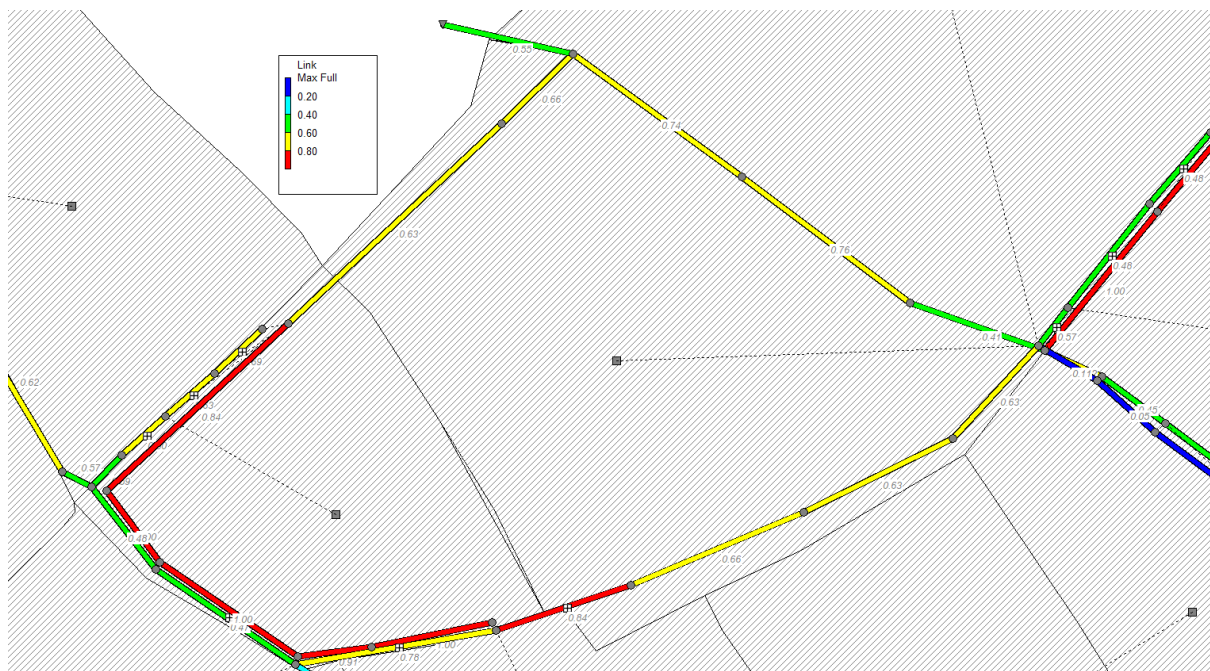
Slika 60: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 2, PP 2 god.



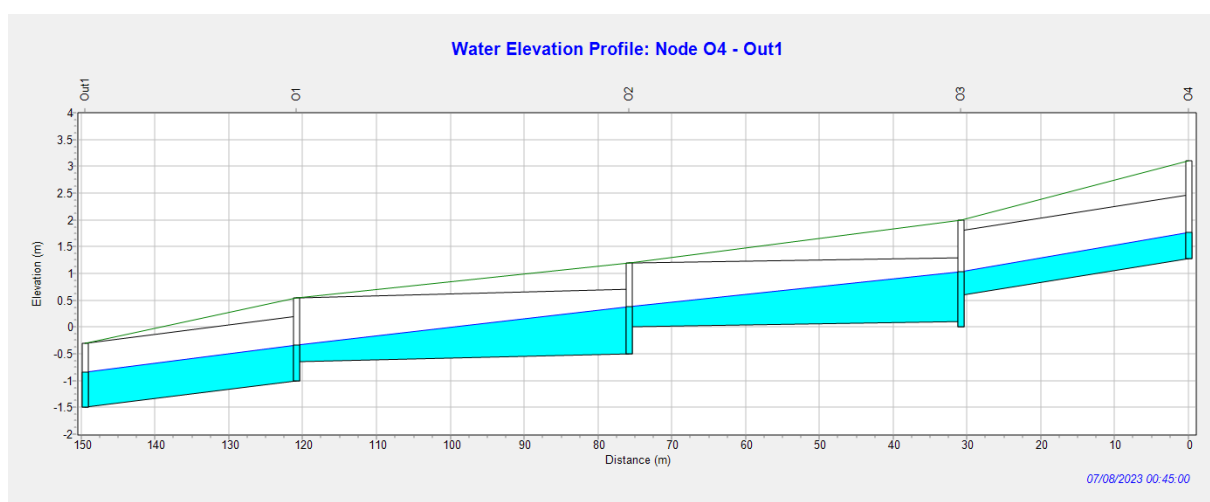
Slika 61: Maksimalni protok u kolektoru – model 2, PP 2 god.



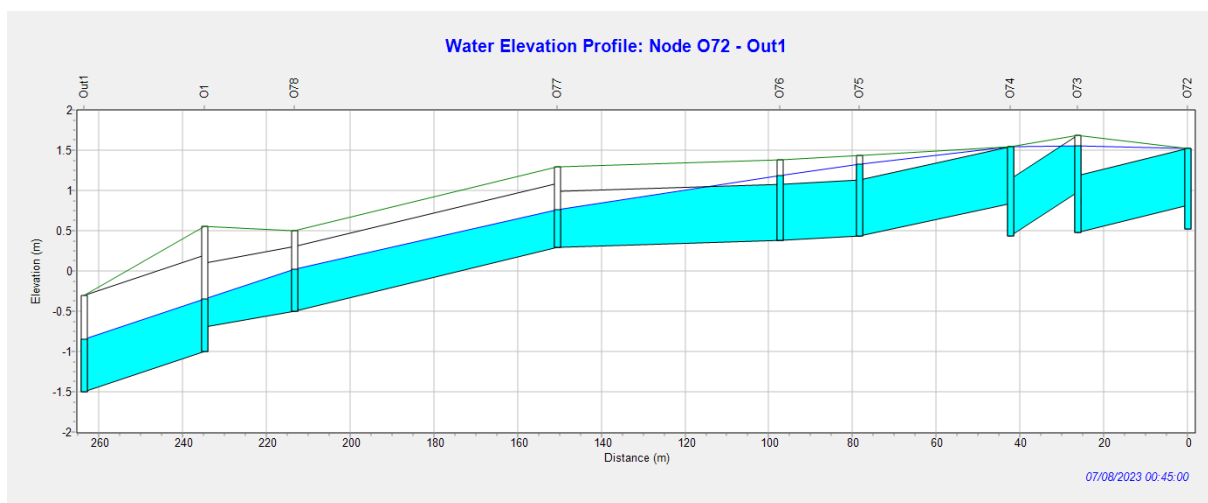
Slika 62: Maksimalne brzine u cijevima - model 2, PP 2 god.



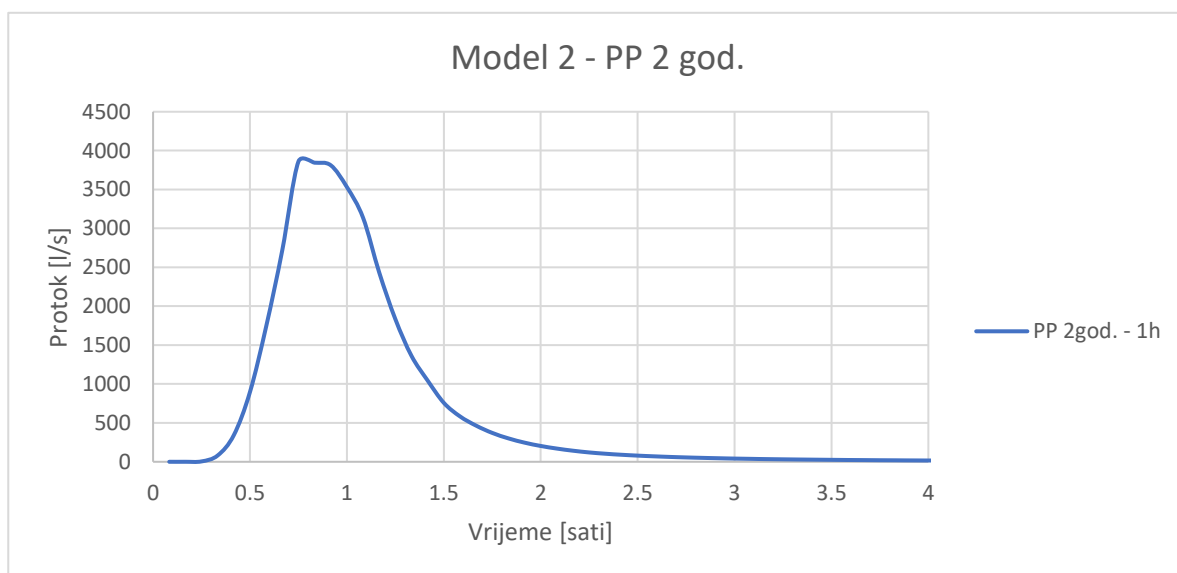
Slika 63: Maksimalna ispunjenost kanala - model 2, PP 2 god.



Slika 64: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 2 god

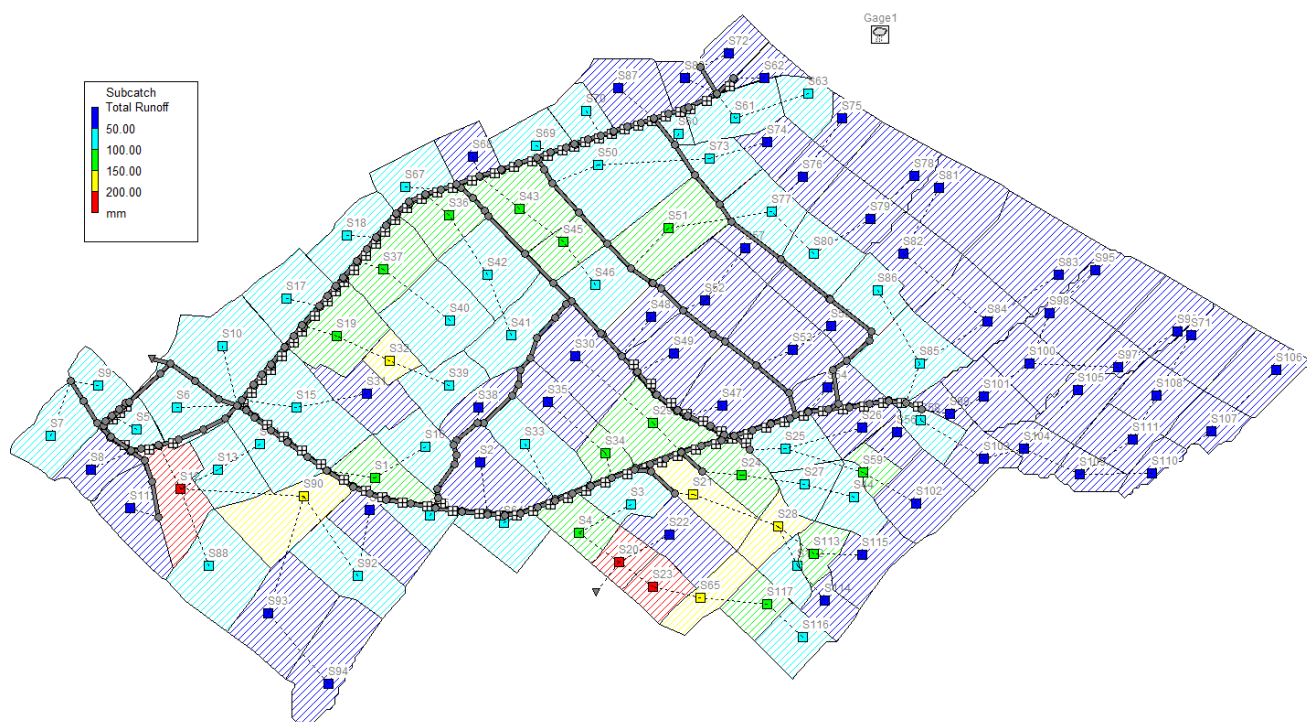


Slika 65: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 2 god.

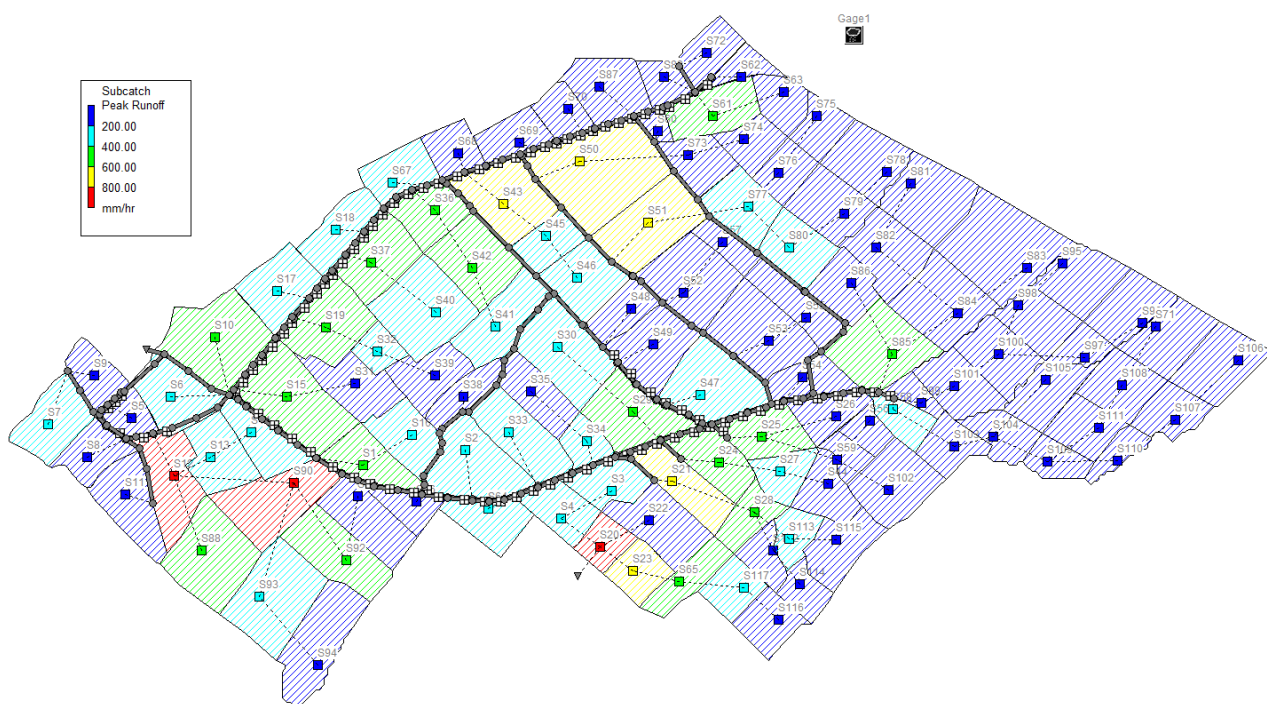


Slika 66: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 2 za PP 2 god.

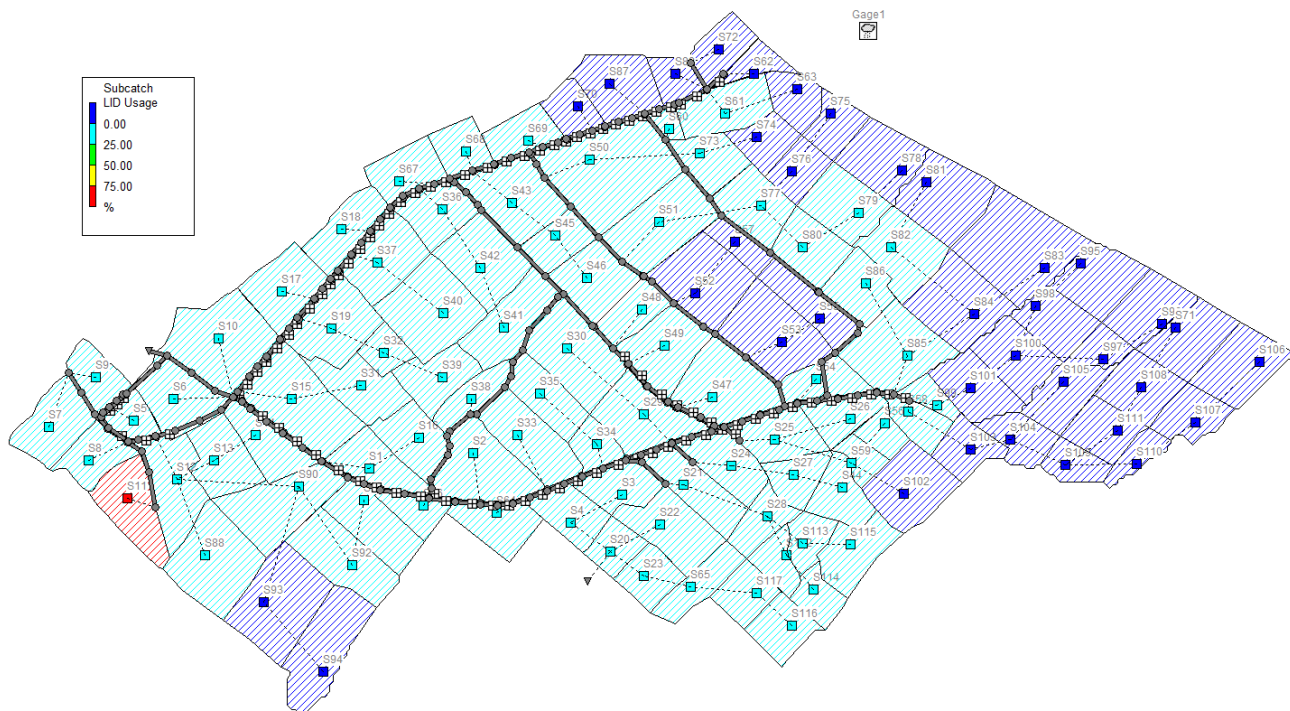
6.2.2. PP 25 godina – model 2



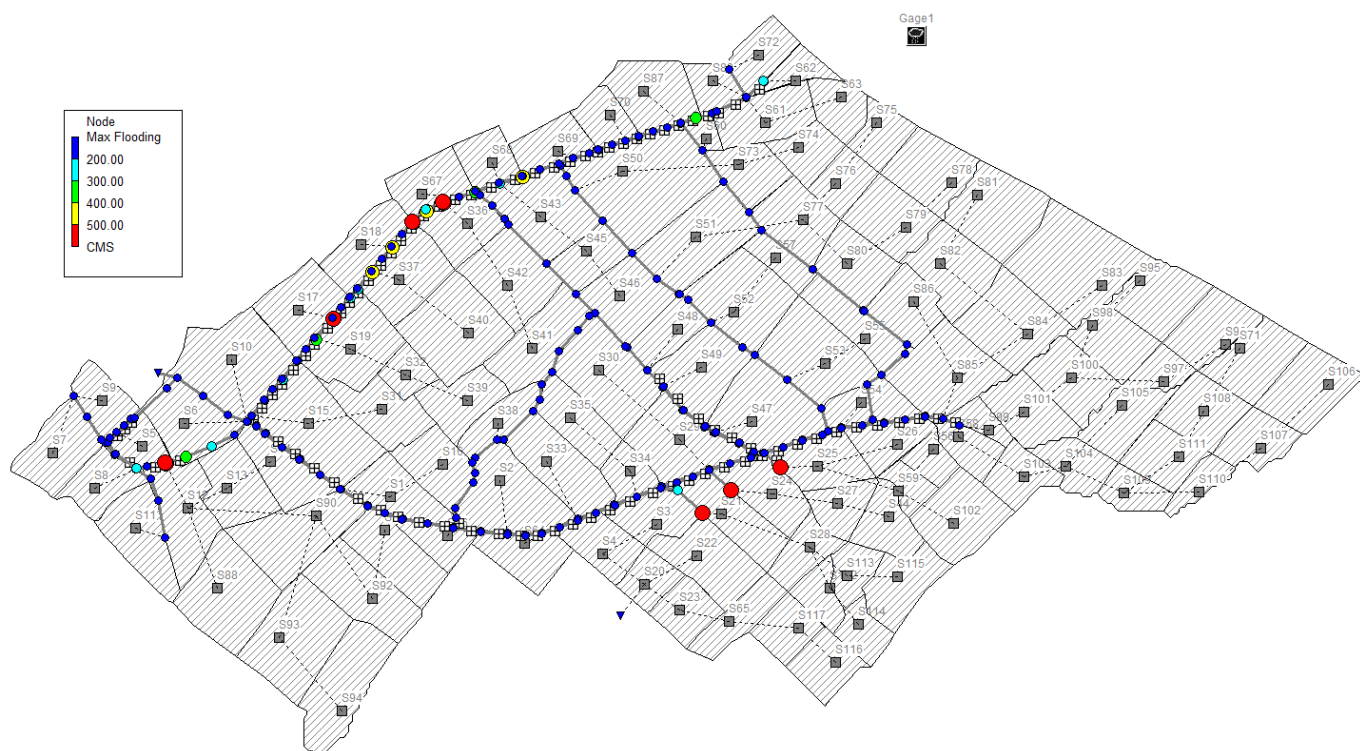
Slika 67: Ukupna količina efektivne oborine – model 2, PP 25 god.



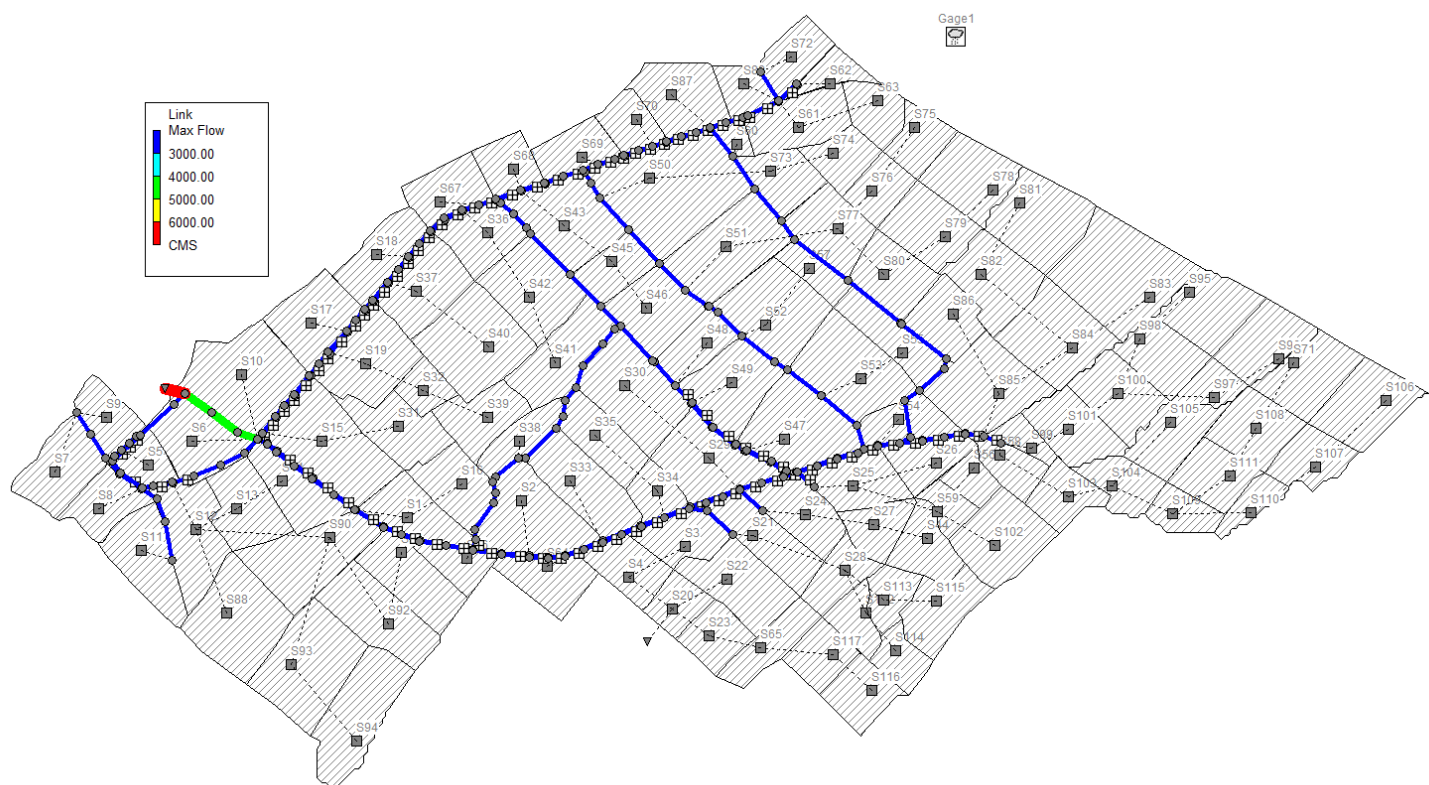
Slika 68: Vršni protok površinskog tečenja – model 2, PP 25 god.



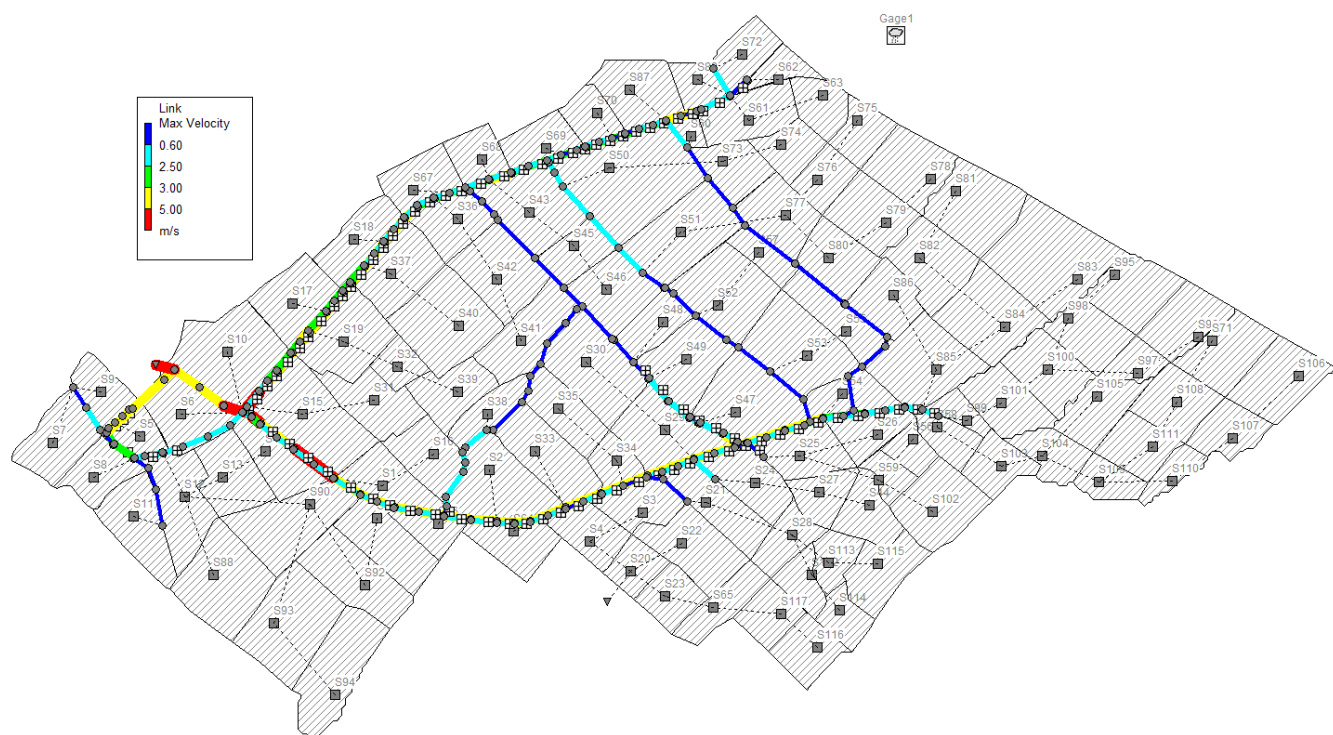
Slika 69: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 2, PP 25 god.



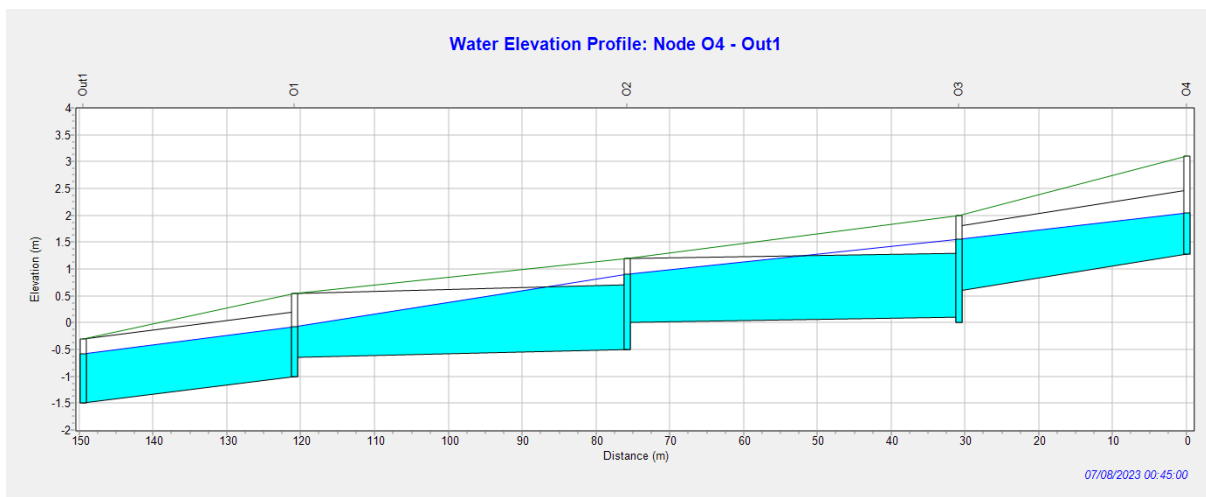
Slika 70: Maksimalno plavljenje okana obrinskog kolektora – model 2, PP 25 god



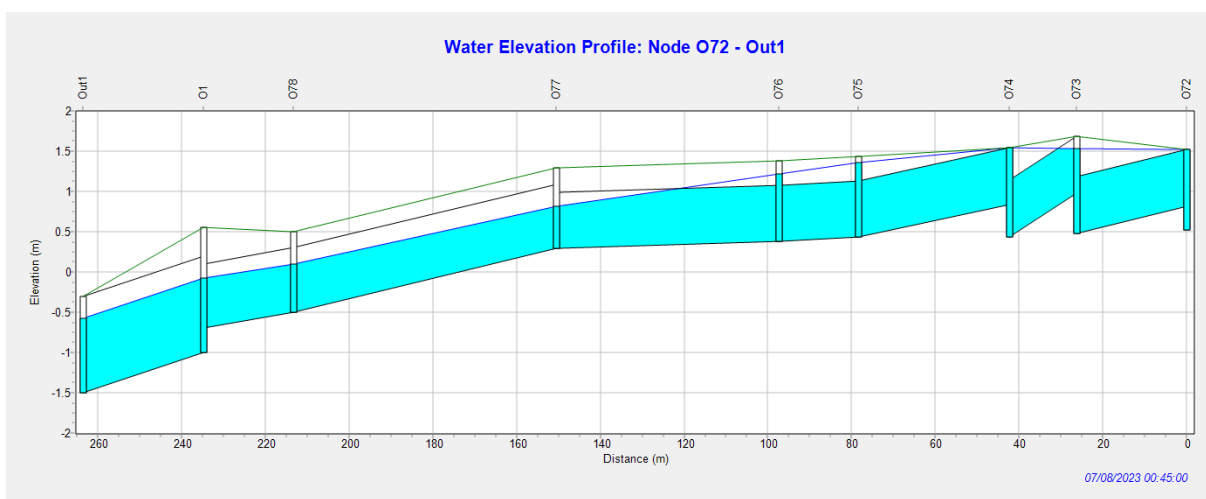
Slika 71: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 2, PP 25 god.



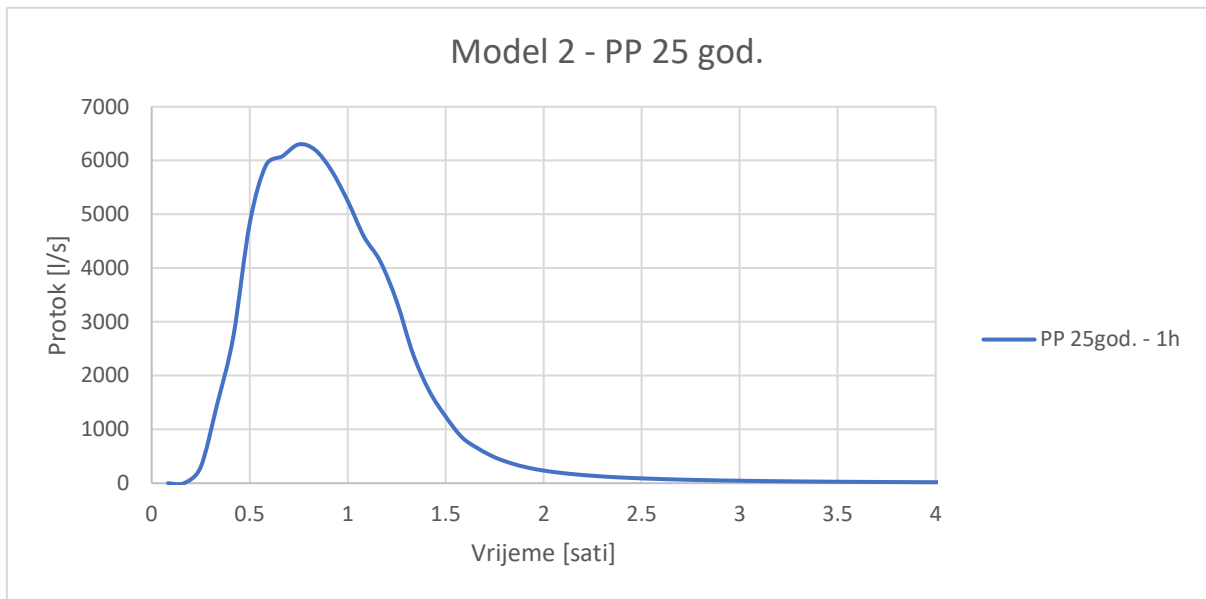
Slika 72: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 2, PP 25 god.



Slika 77: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 25 god

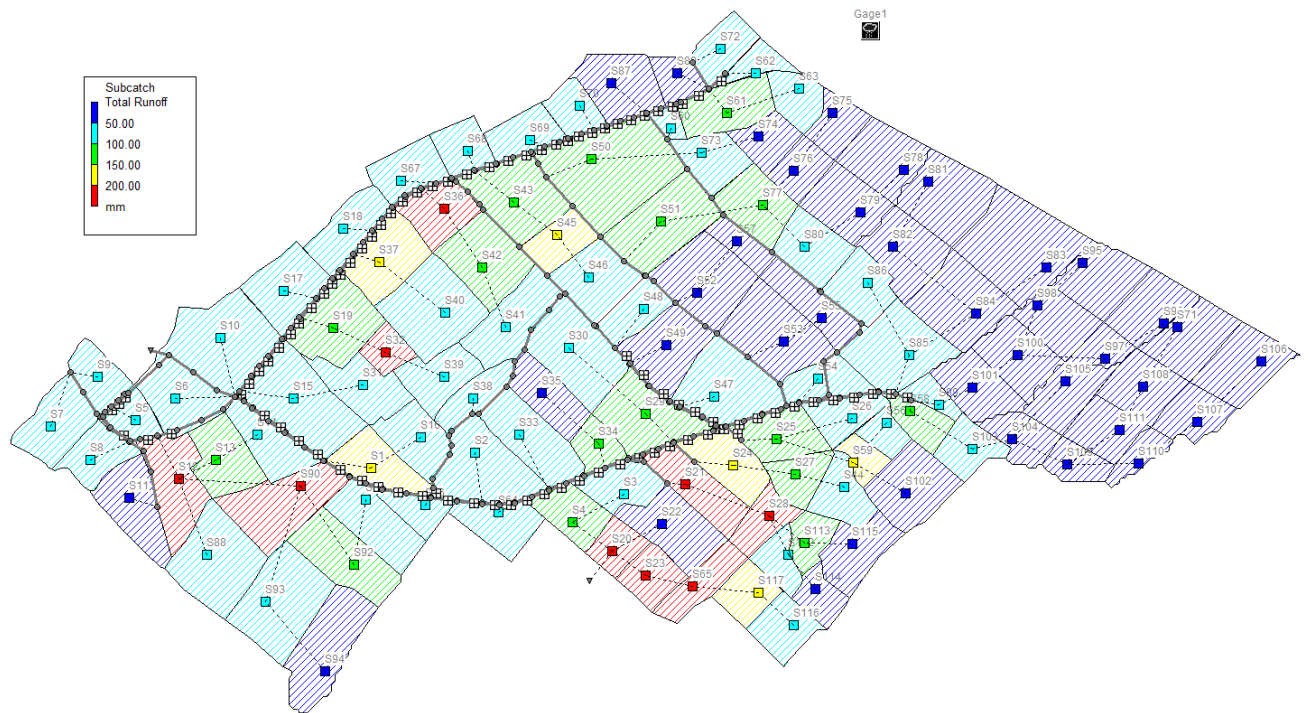


Slika 78: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 25 god.

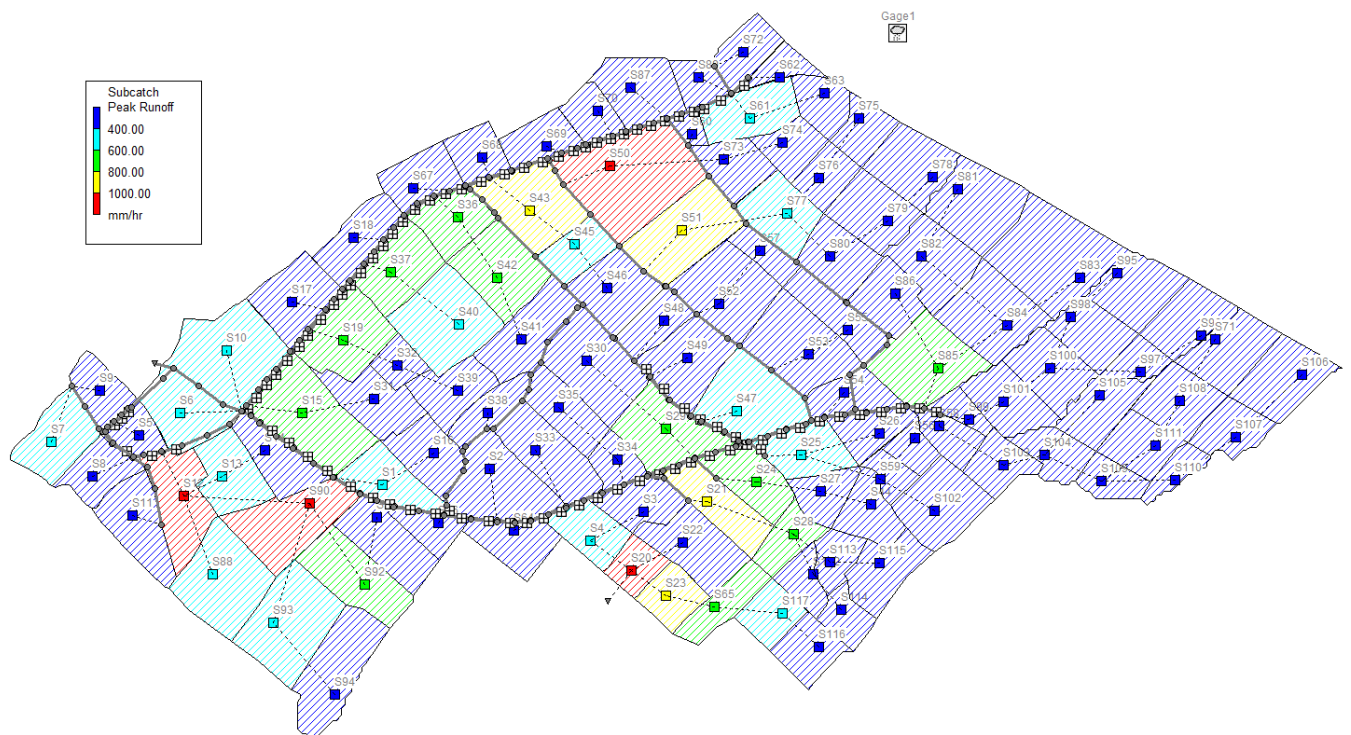


Slika 79: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 2 za PP 25 god.

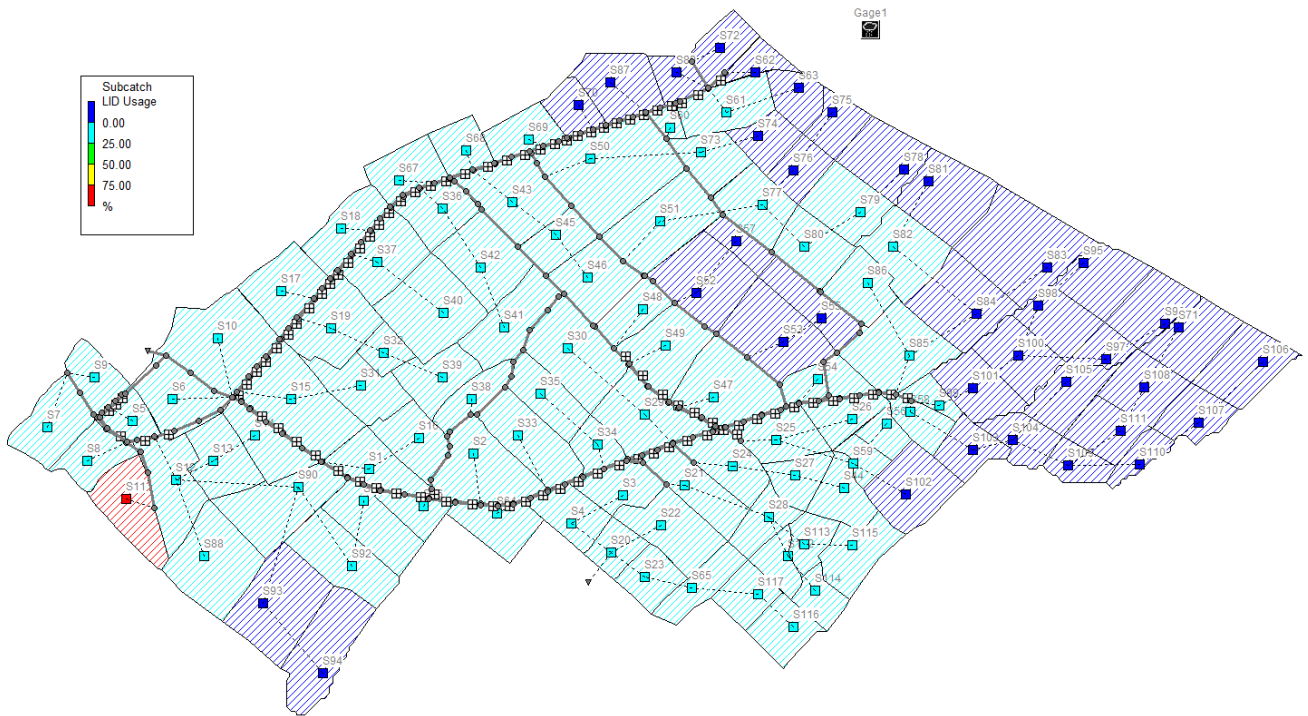
6.2.3. PP 100 godina – model 2



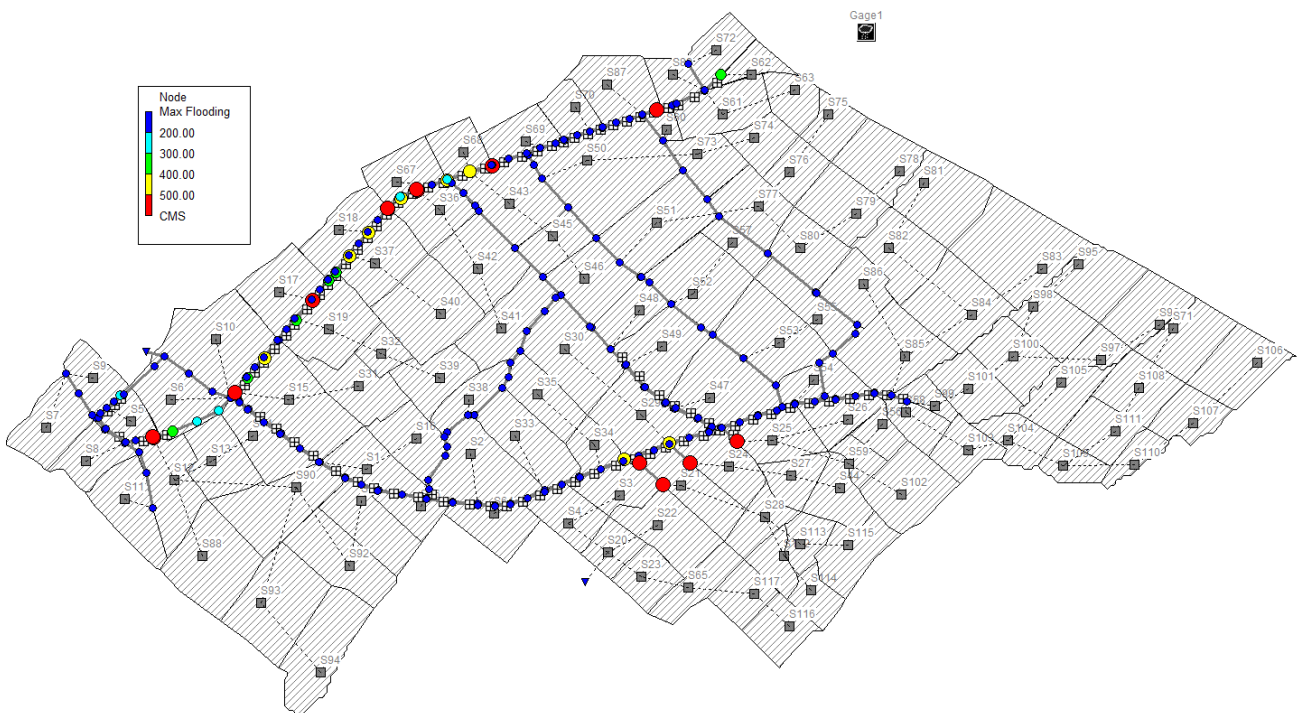
Slika 80: Ukupna količina efektivne oborine – model 2, PP 100 god.



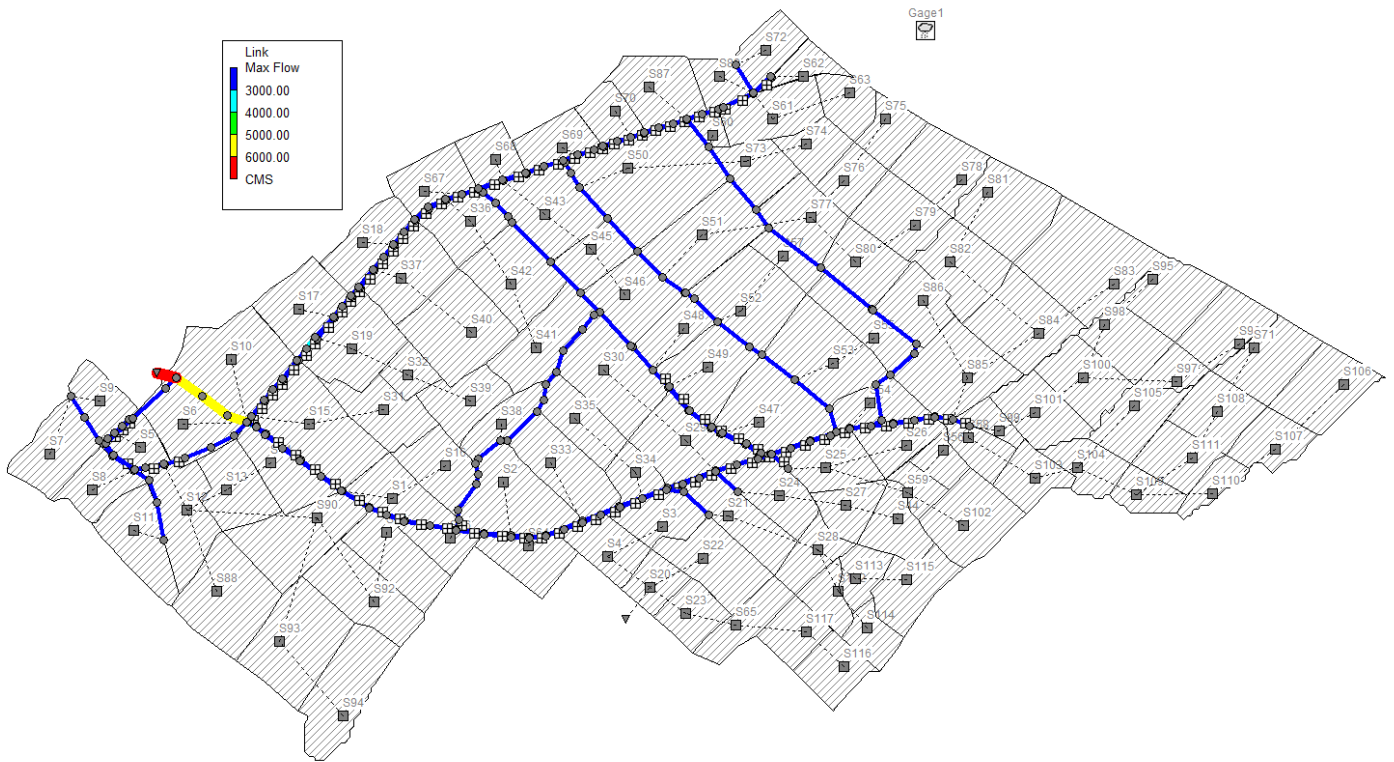
Slika 81: Vršni protok površinskog tečenja – model 2, PP 100 god.



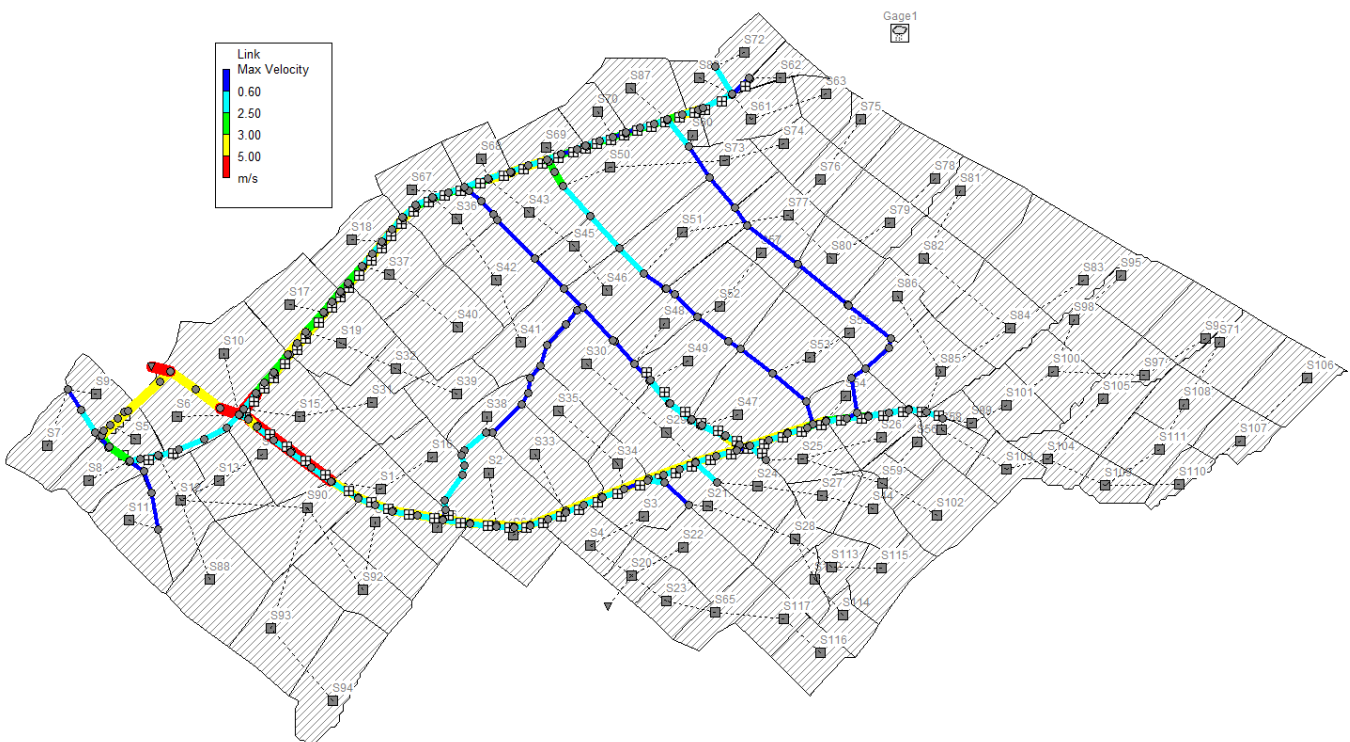
Slika 82: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 2, PP 100 god.



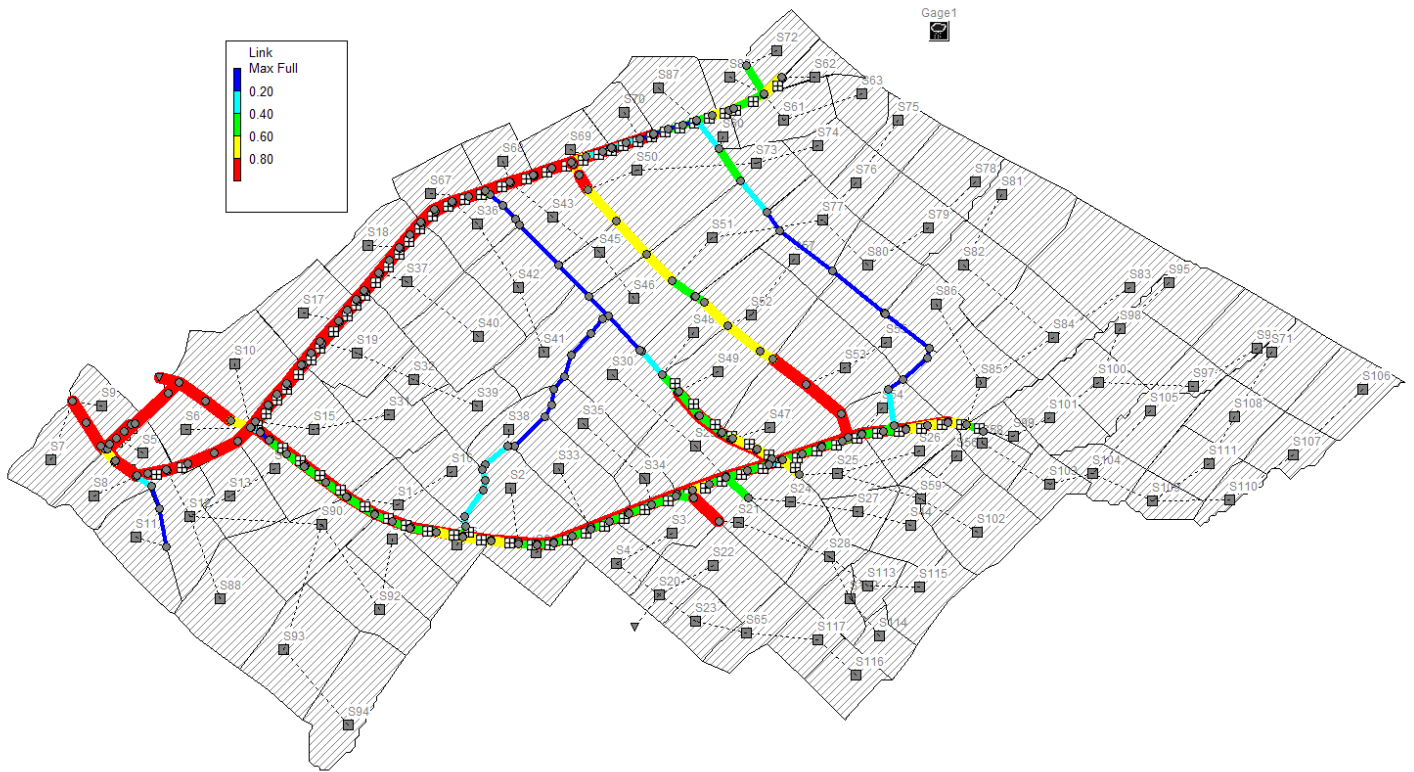
Slika 83: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 2, PP 100 god



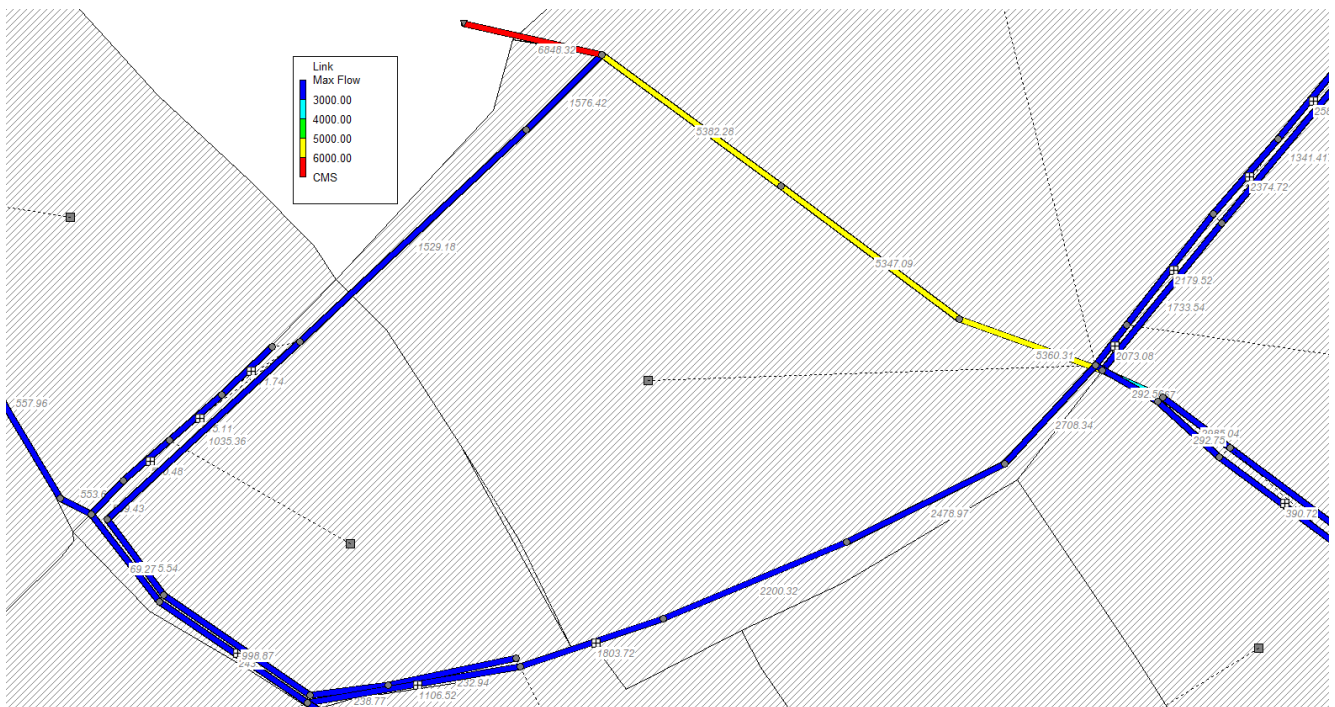
Slika 84: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 2, PP 100 god.



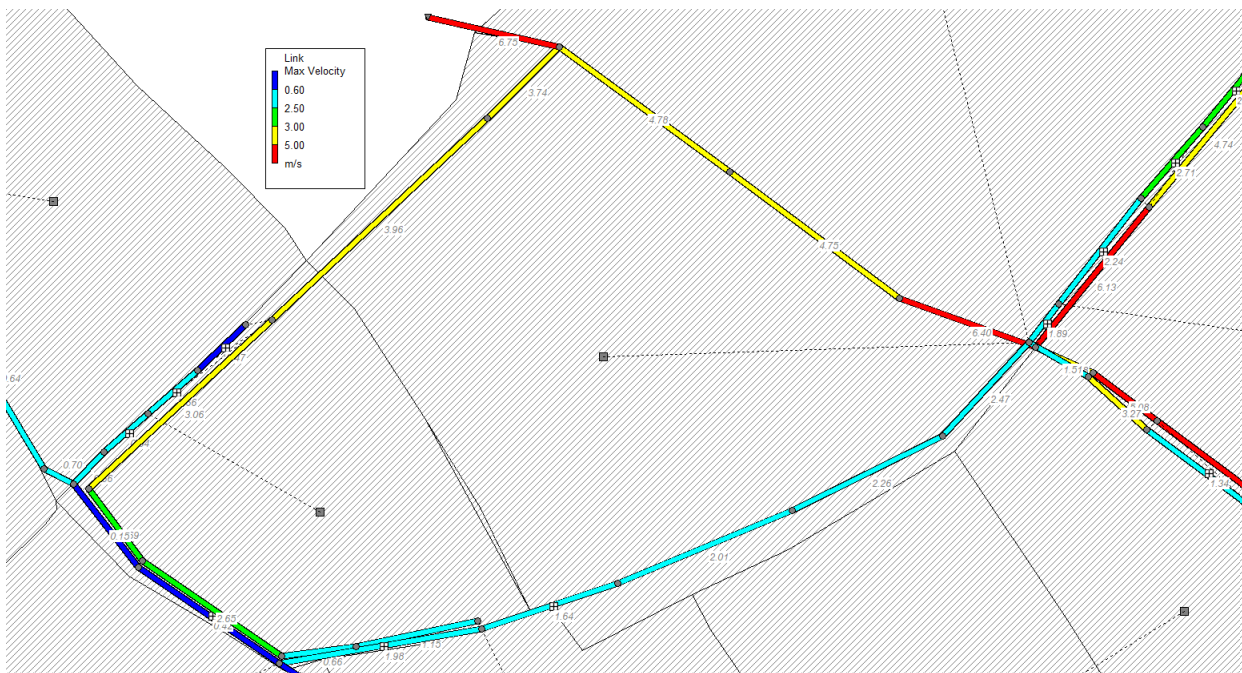
Slika 85: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 2, PP 100 god.



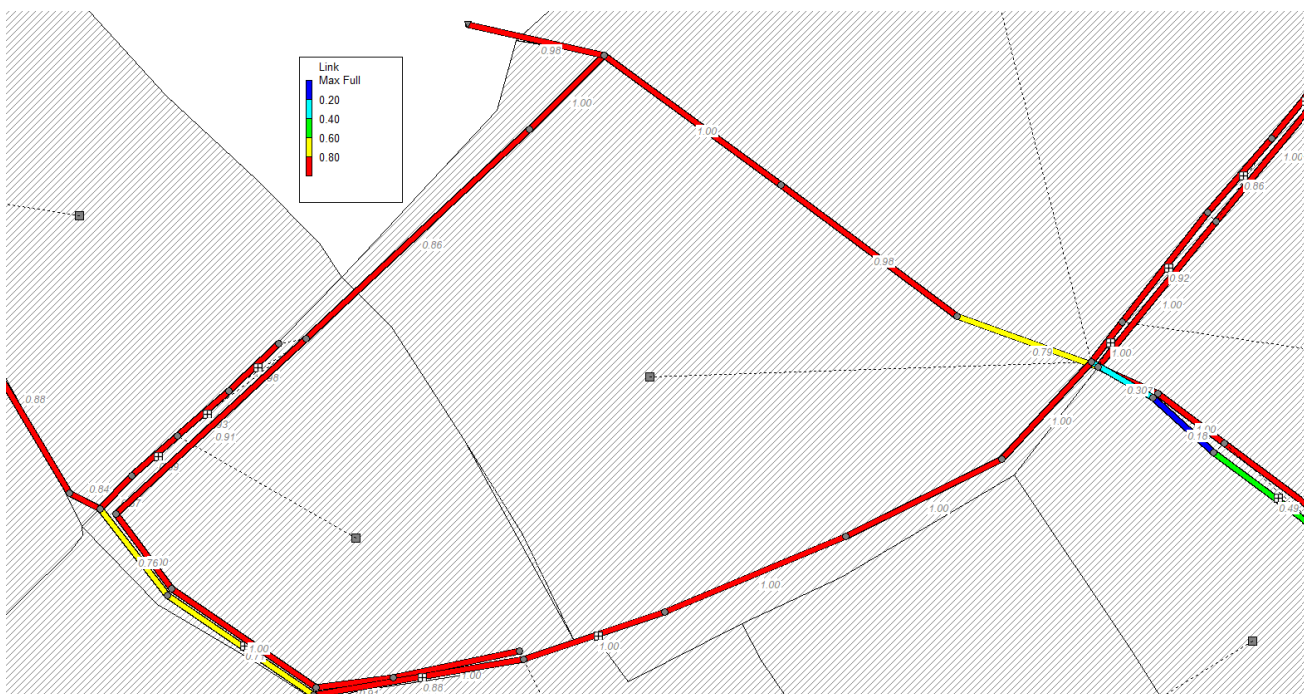
Slika 86: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 2, PP 100 god.



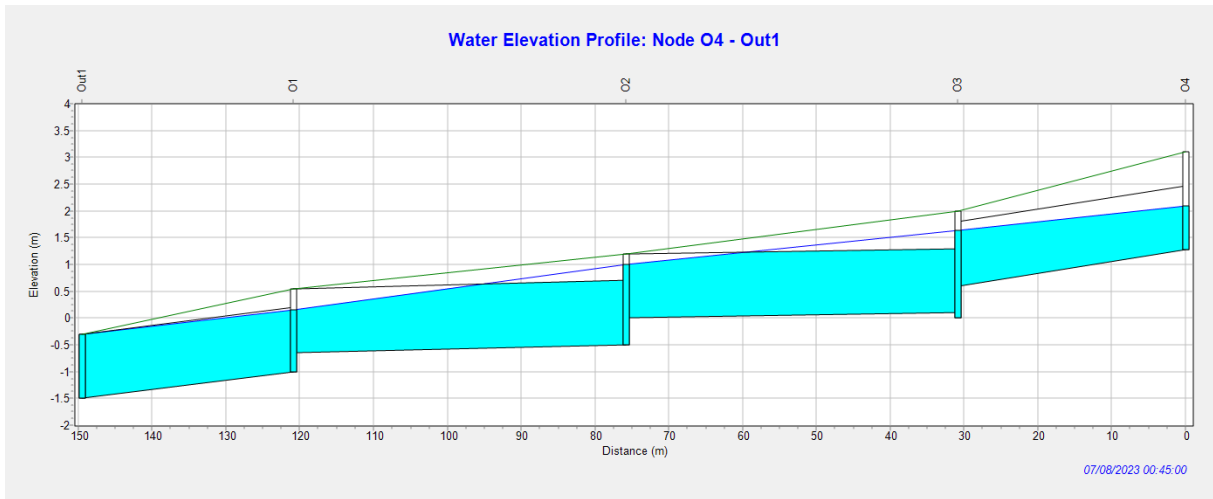
Slika 87: Maksimalni protok u kolektoru – model 2, PP 100 god.



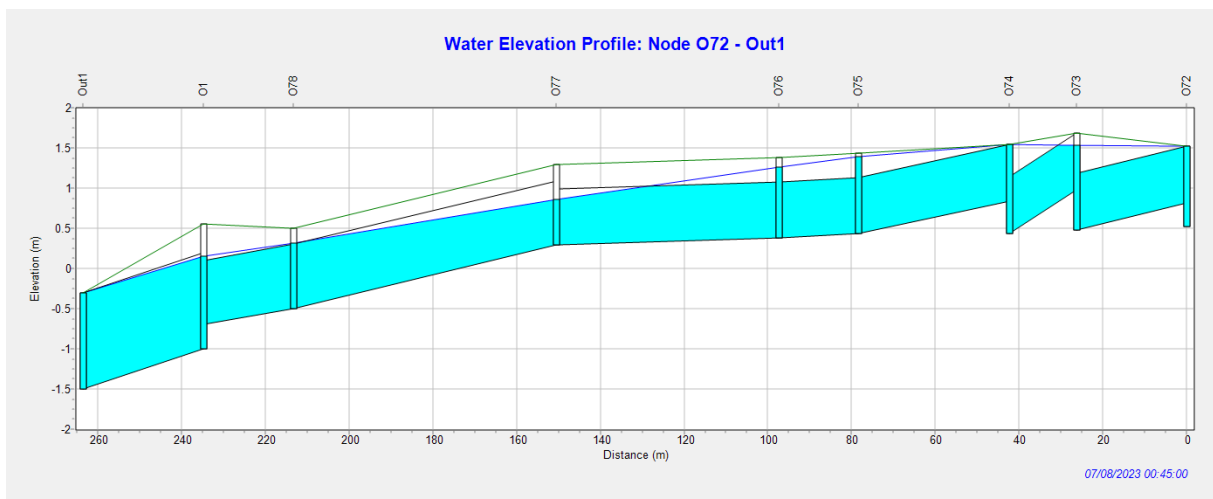
Slika 88: Maksimalne brzine u cijevima - model 2, PP 100 god.



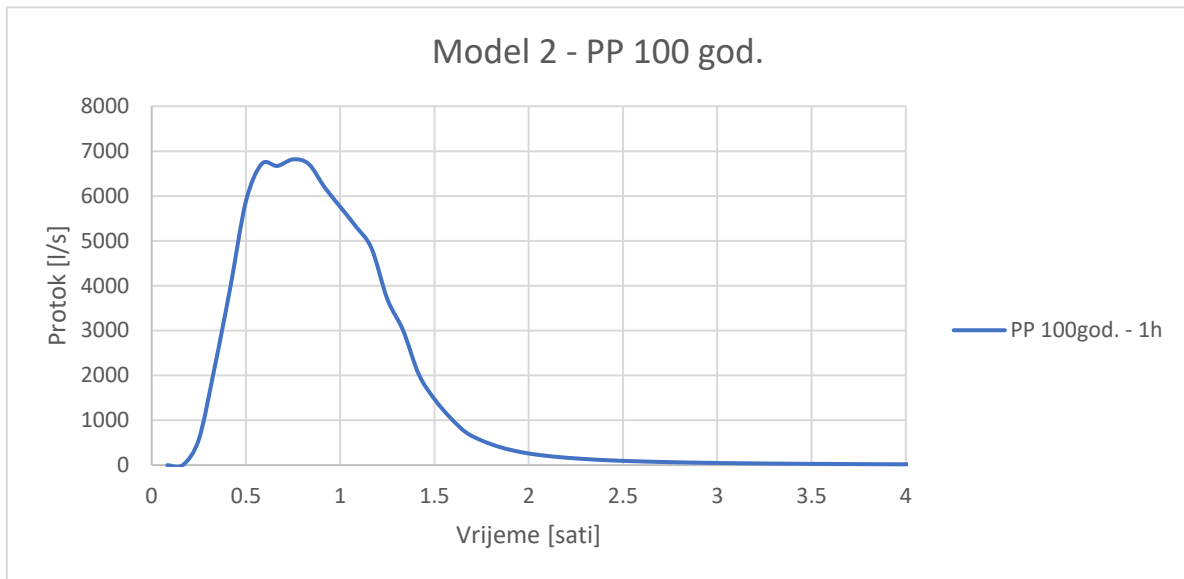
Slika 89: Maksimalna ispunjenost kanala - model 2, PP 100 god.



Slika 90: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 100 god.



Slika 91: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 2, PP 100 god.

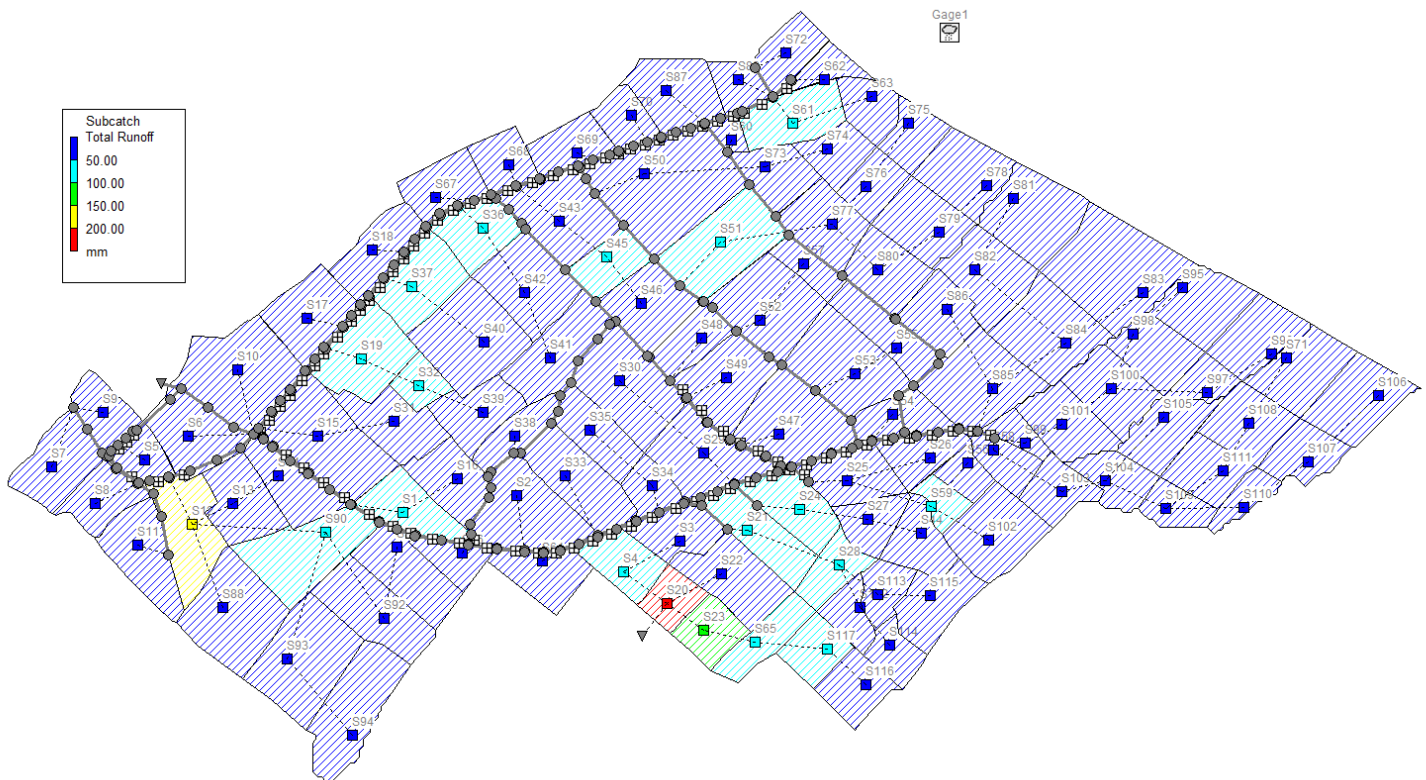


Slika 92: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 2 za PP 100 god.

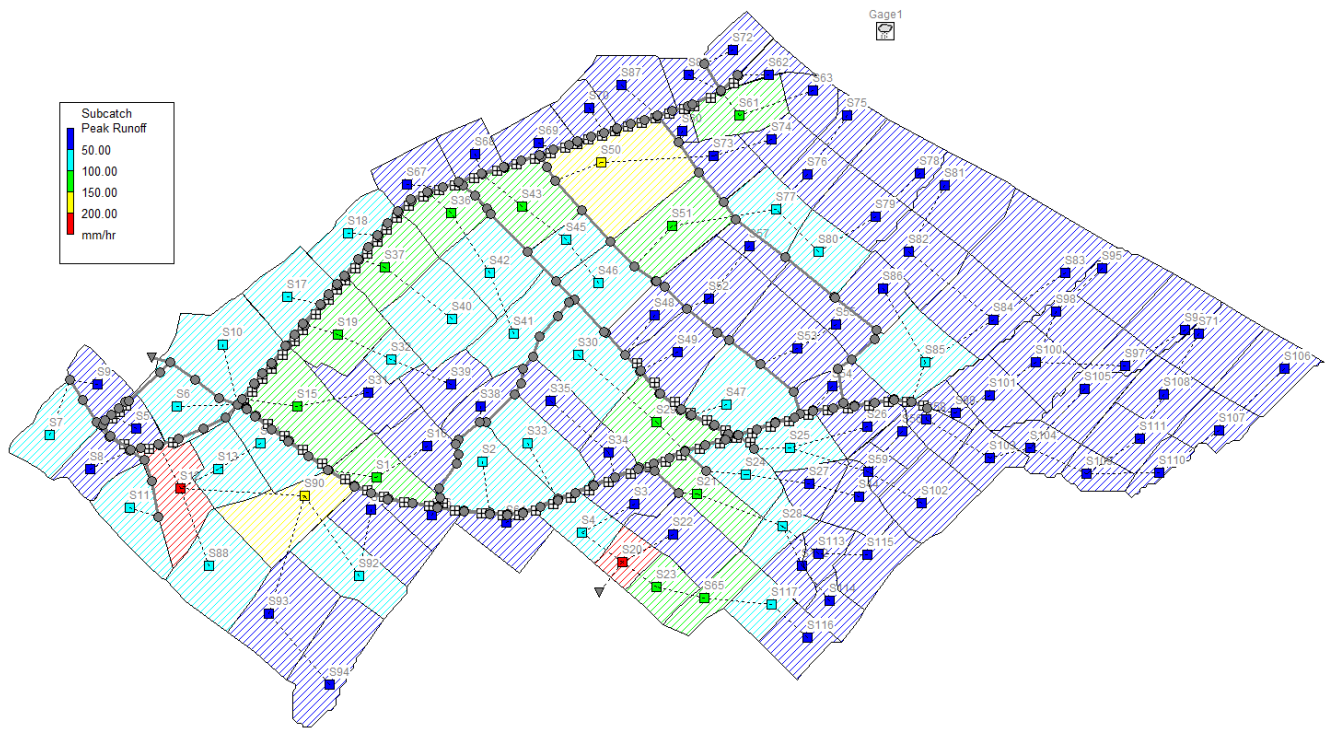
6.3. Stanje sa ugrađenim LID elementima (30%) – model 3

U modelu 3 ugrađeni su infiltracijski jarci dubine 1,5 m na 30% površine svakog podsliva.

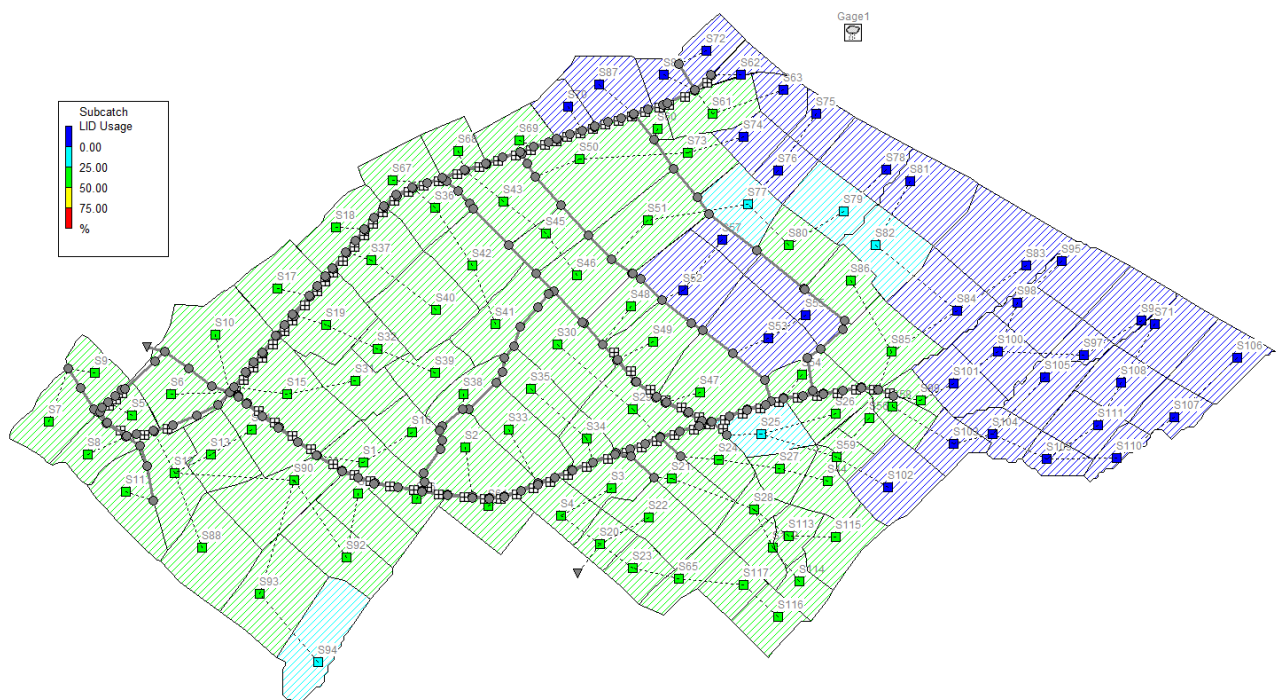
6.3.1. PP 2 godine – model 3



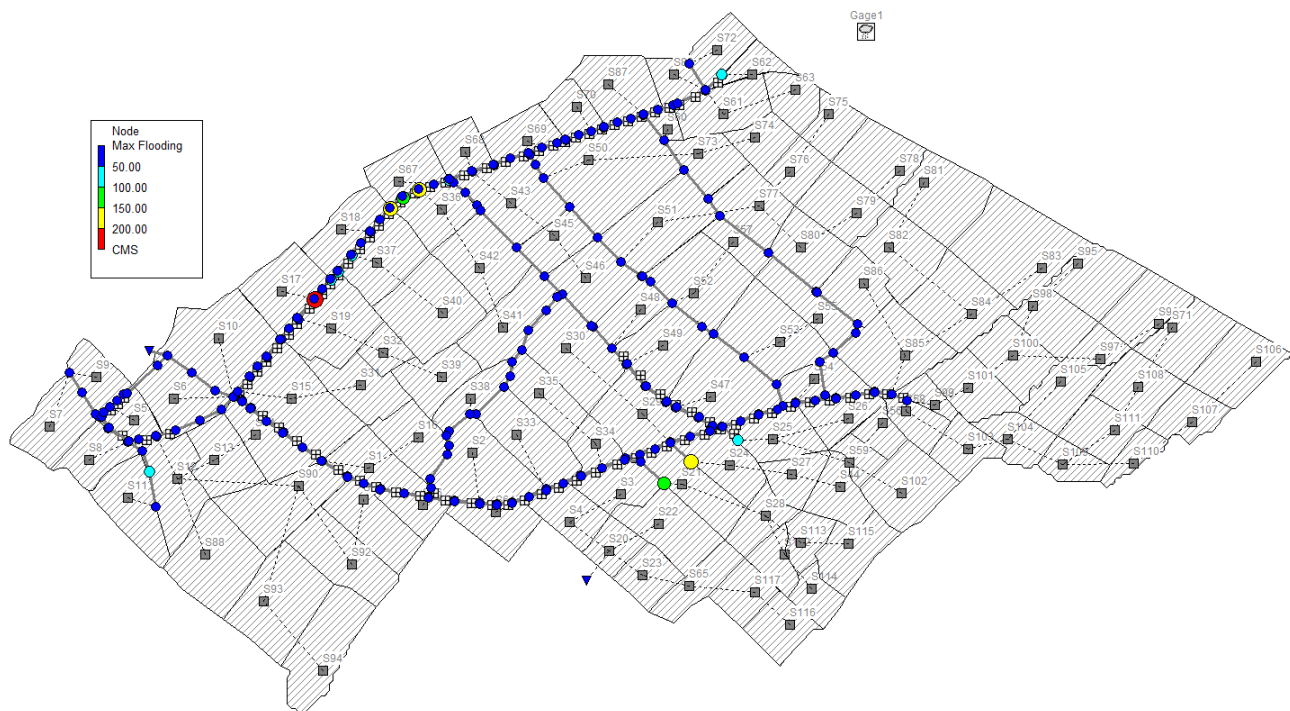
Slika 93: Ukupna količina efektivne oborine – model 3, PP 2 god.



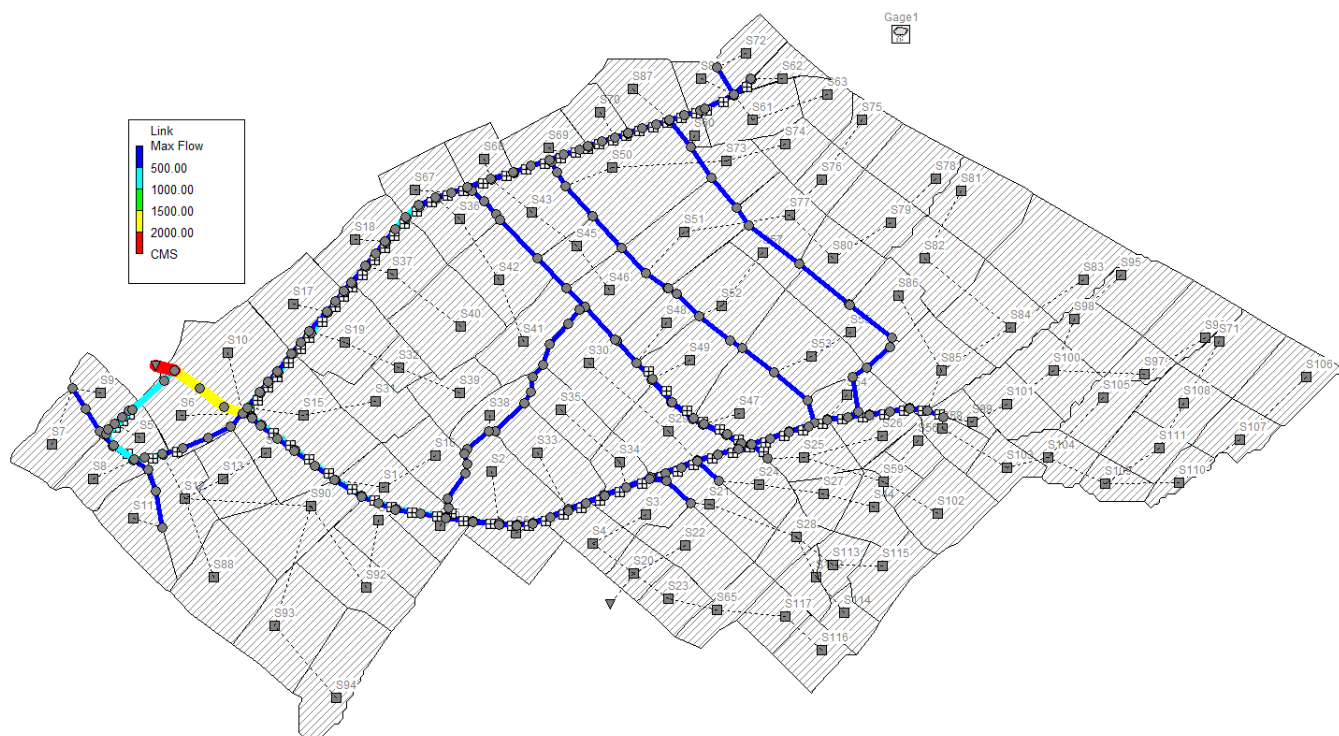
Slika 94: Vršni protok površinskog tečenja – model 3, PP 2 god.



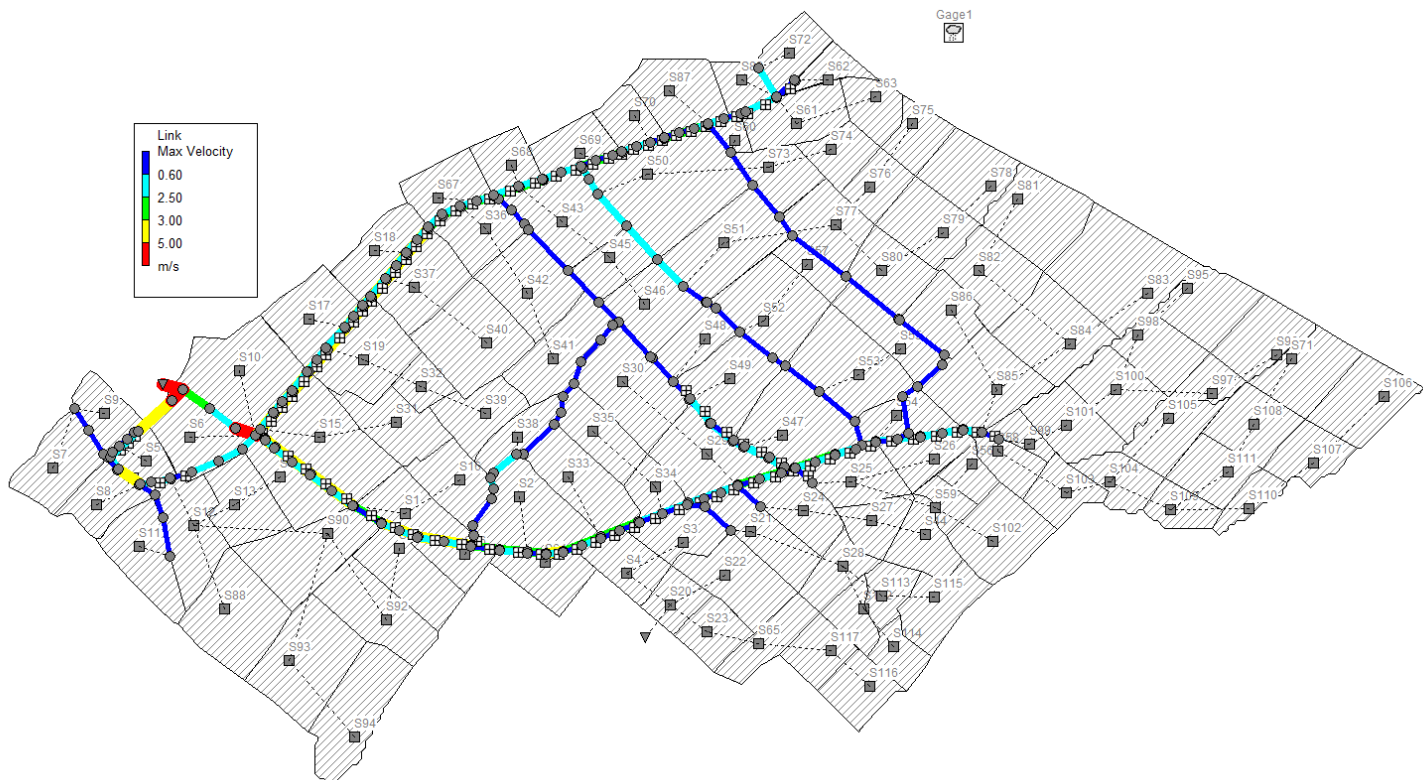
Slika 95: Iskoristivost LID elementa u podslivovima – model 3, PP 2 god.



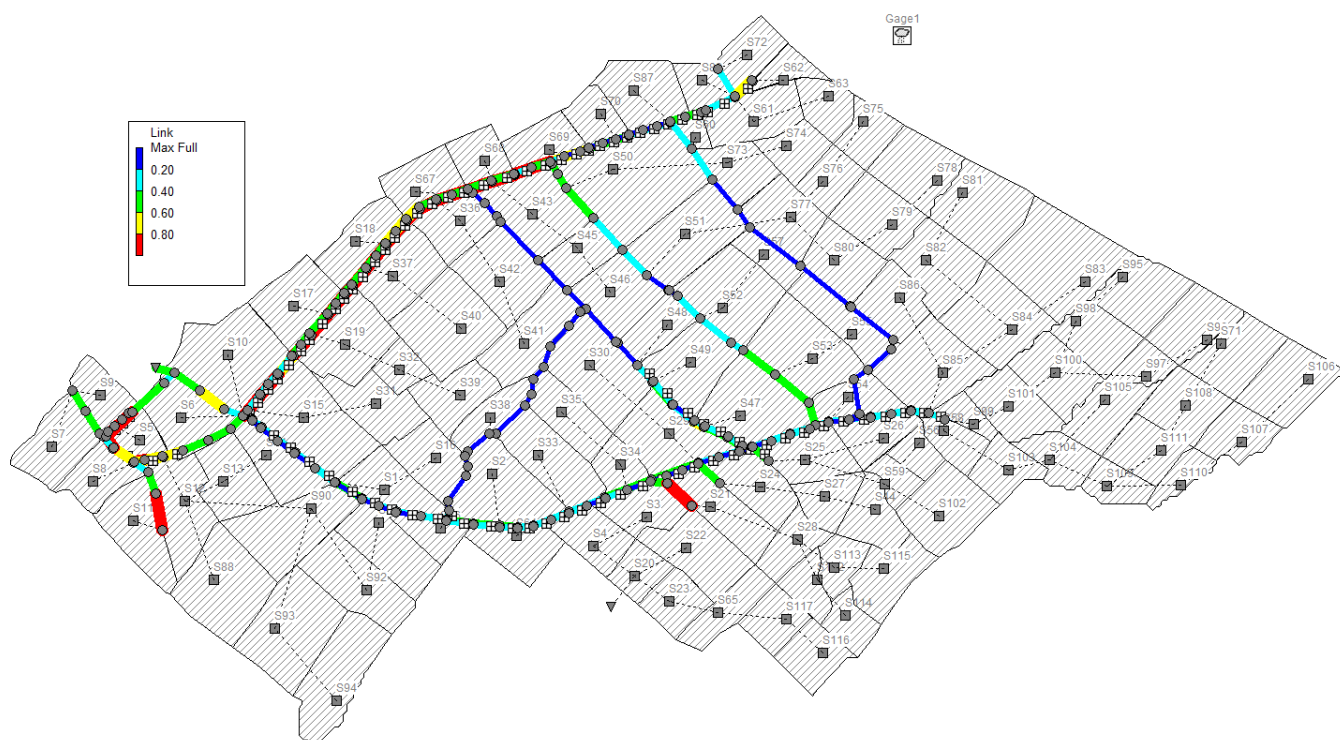
Slika 96: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 3, PP 2 god.



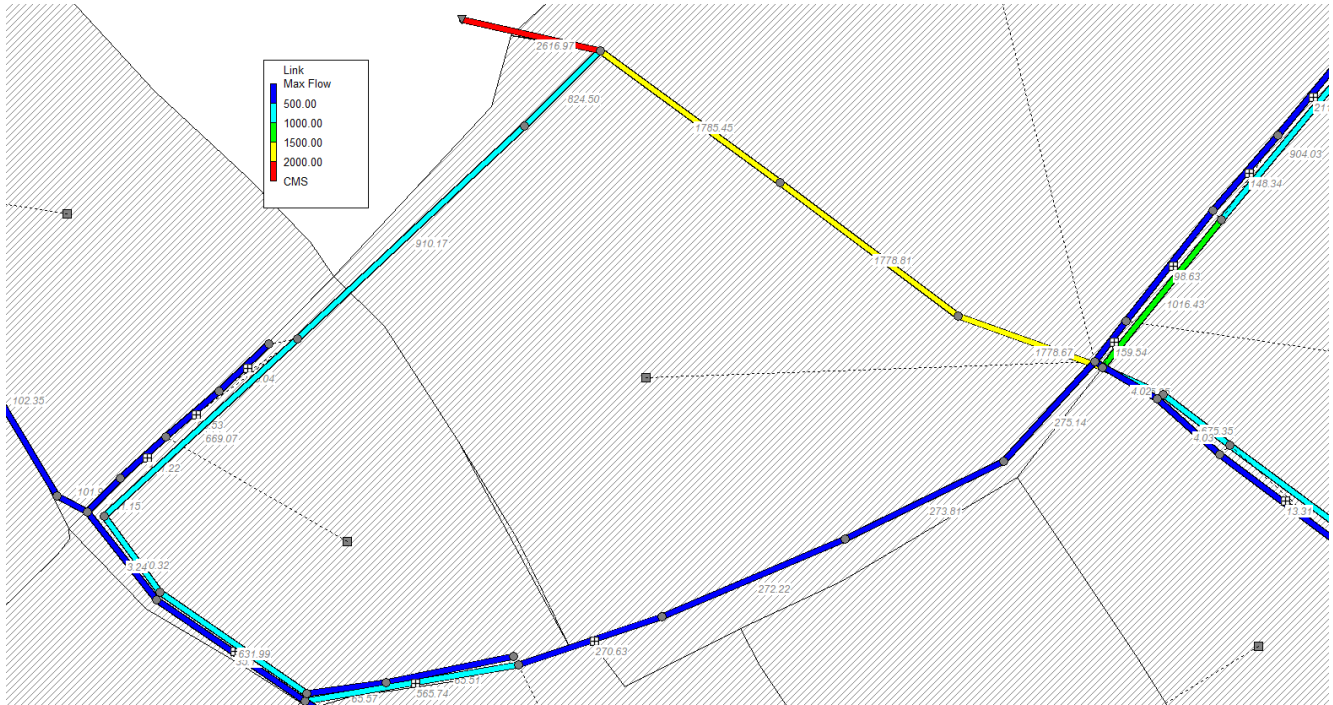
Slika 97: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 3, PP 2 god.



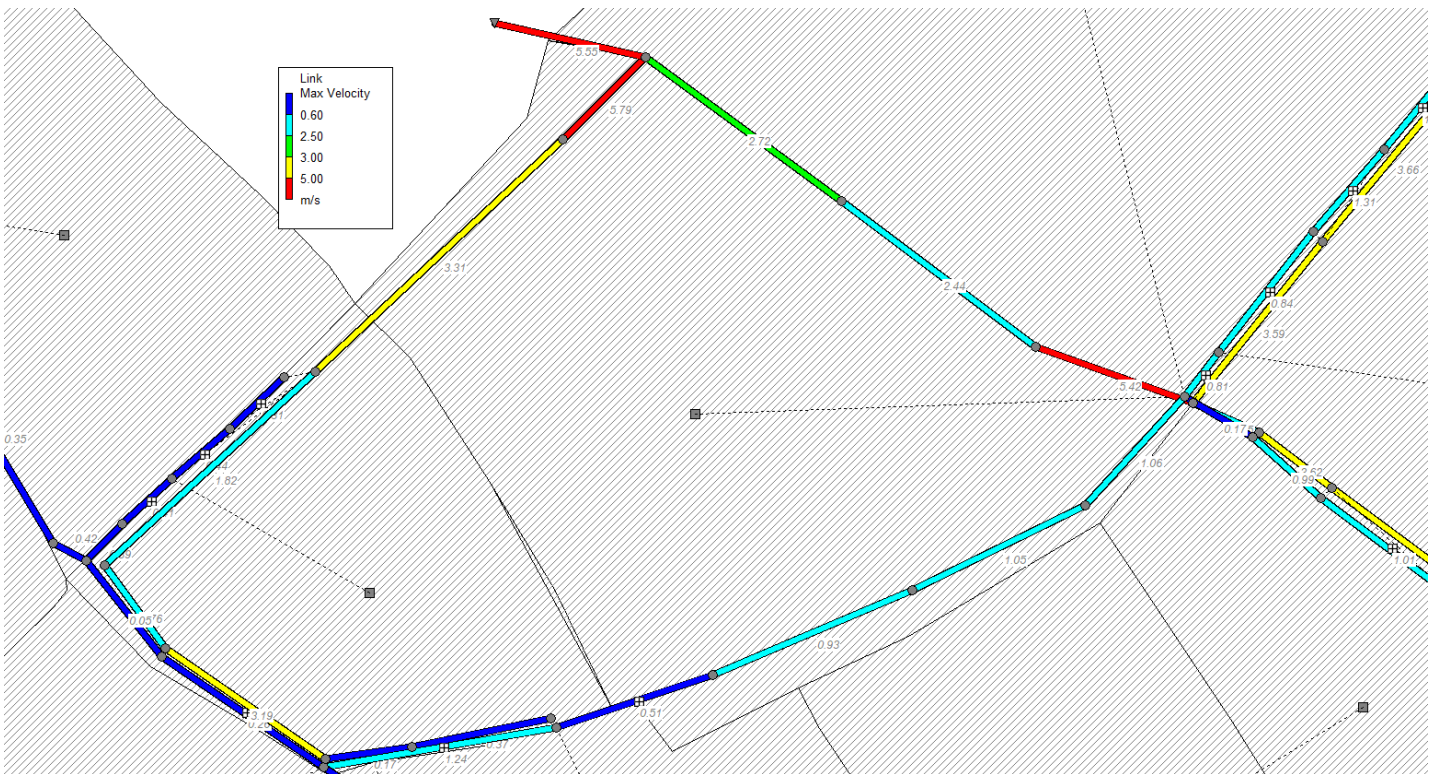
Slika 98: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 2 god.



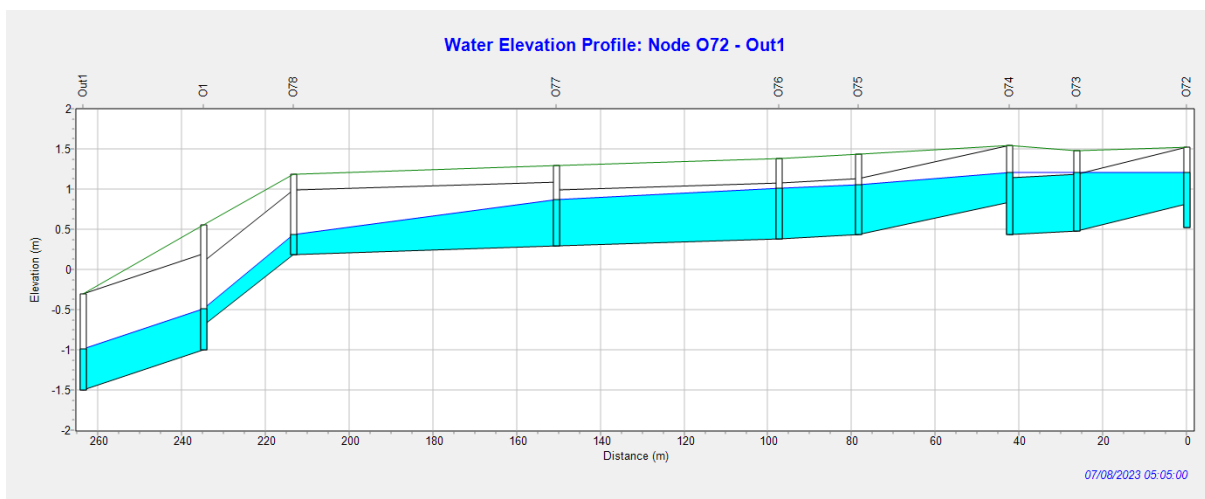
Slika 99: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 3, PP 2 god.



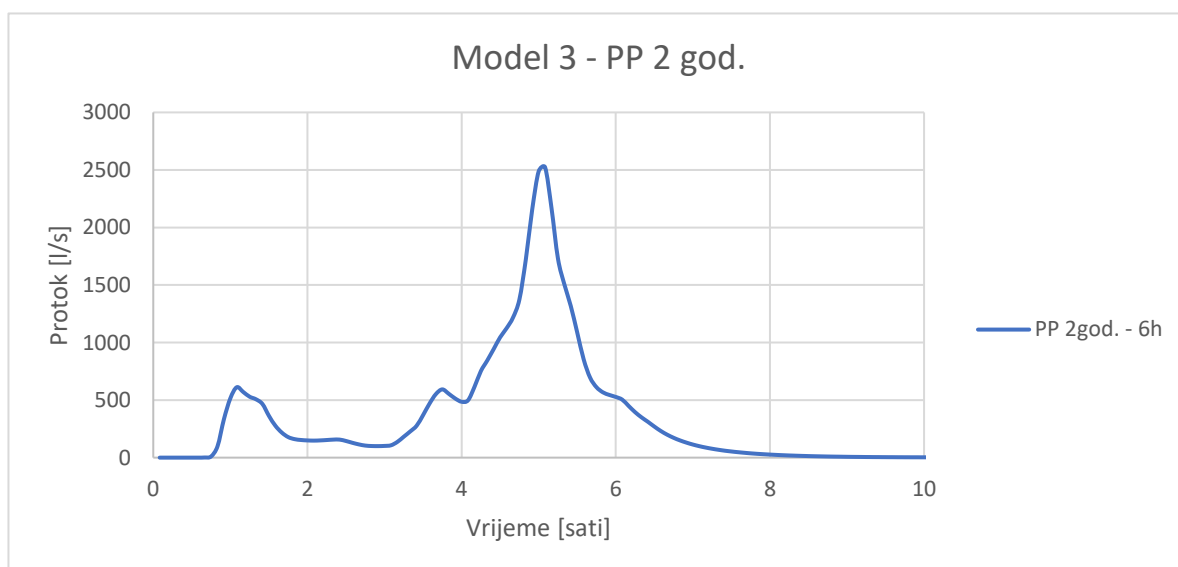
Slika 100: Maksimalni protok u kolektoru – model 3, PP 2 god.



Slika 101: Maksimalne brzine u cijevima - model 3, PP 2 god.

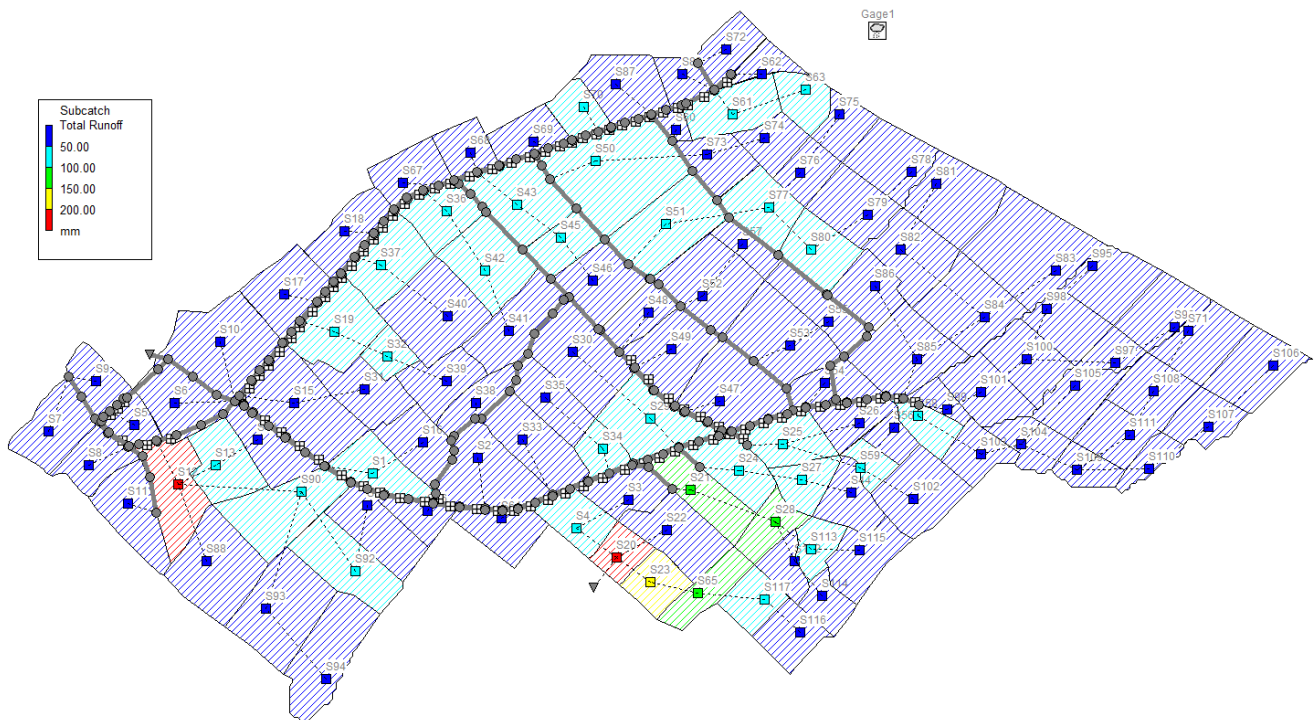


Slika 104: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 2 god.

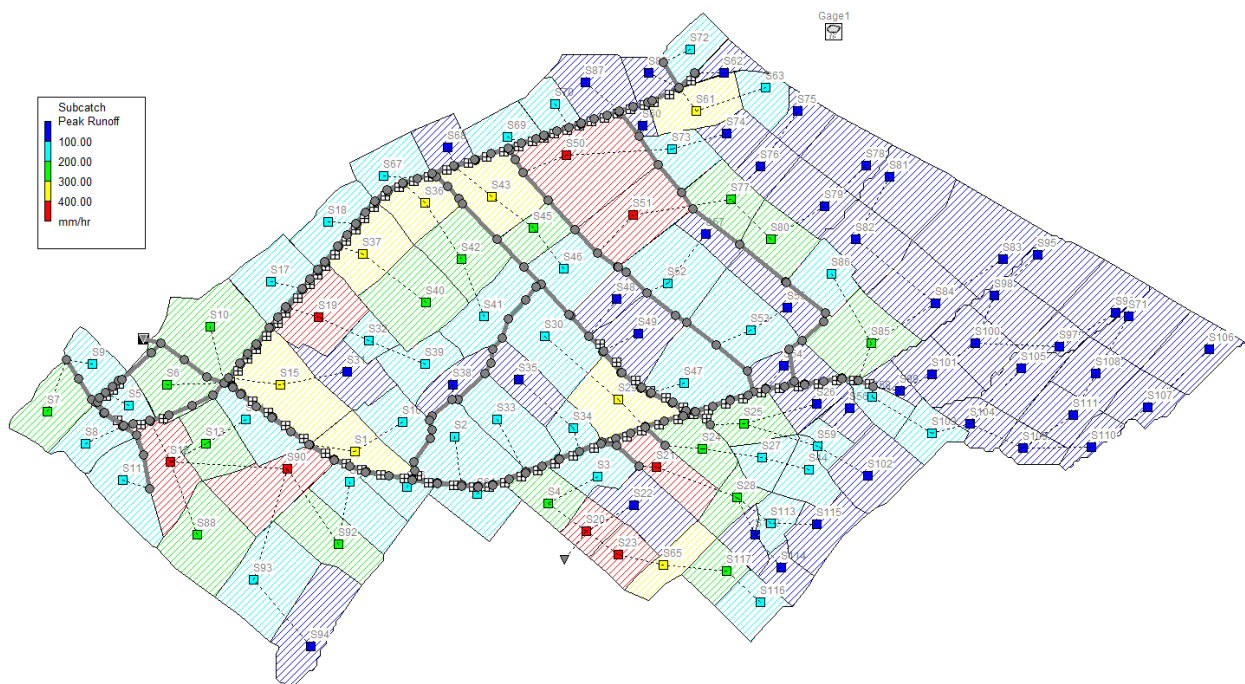


Slika 105: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 3 za PP 2 god.

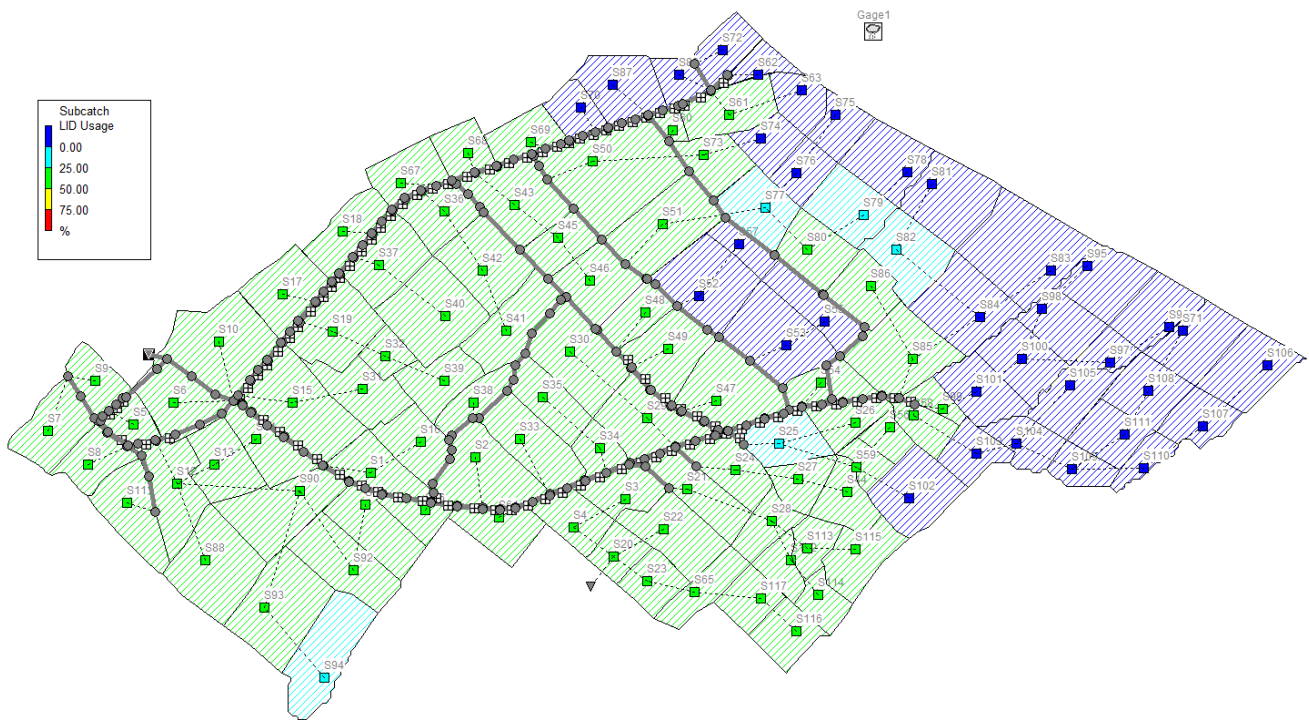
6.3.2. PP 25 godina – model 3



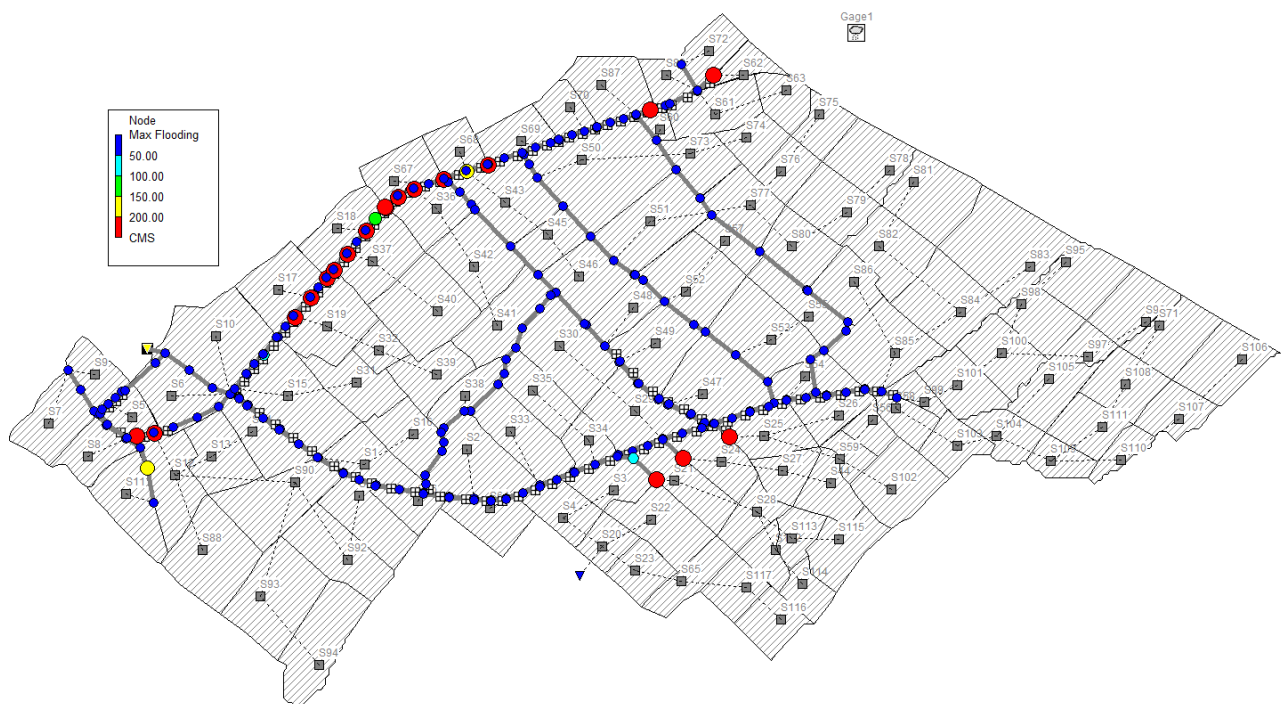
Slika 106: Ukupna količina efektivne oborine – model 3, PP 25 god.



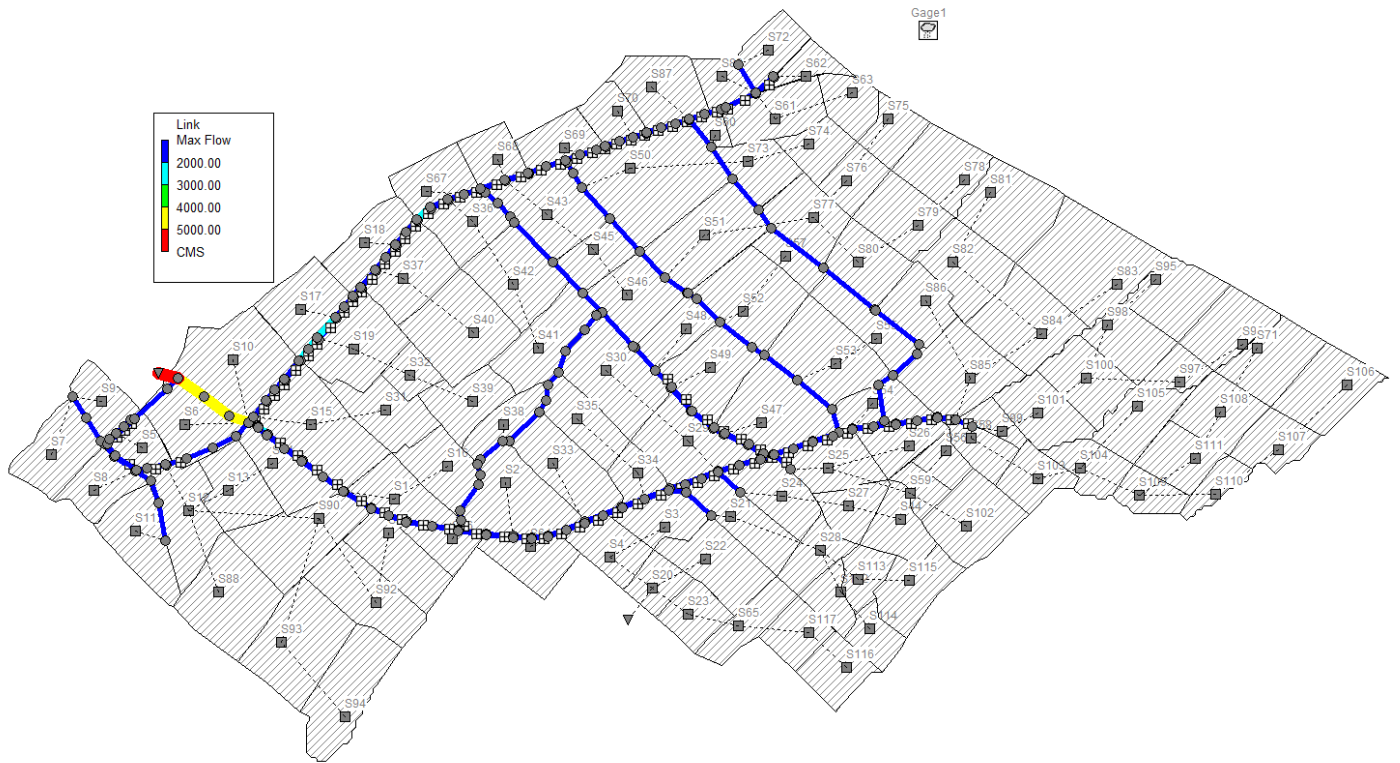
Slika 107: Vršni protok površinskog tečenja – model 3, PP 25 god.



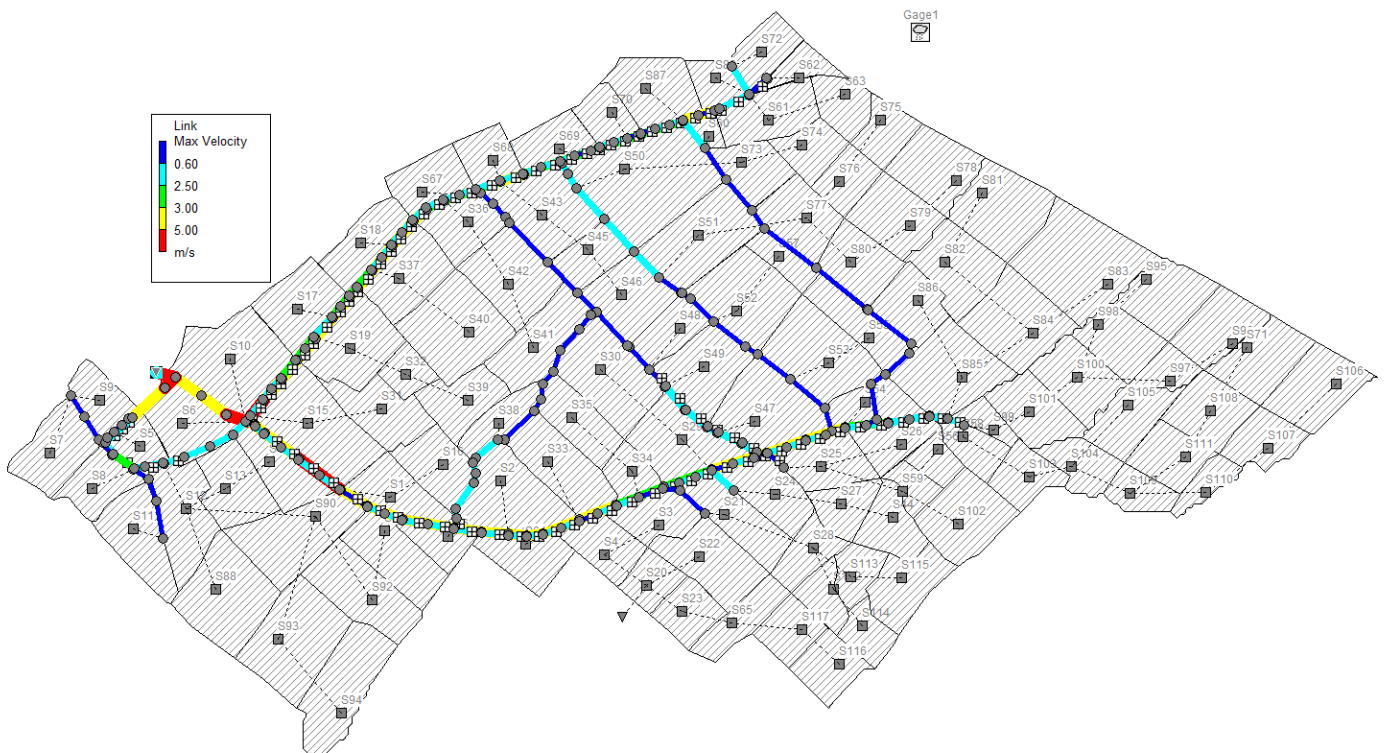
Slika 108: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 3, PP 25 god.



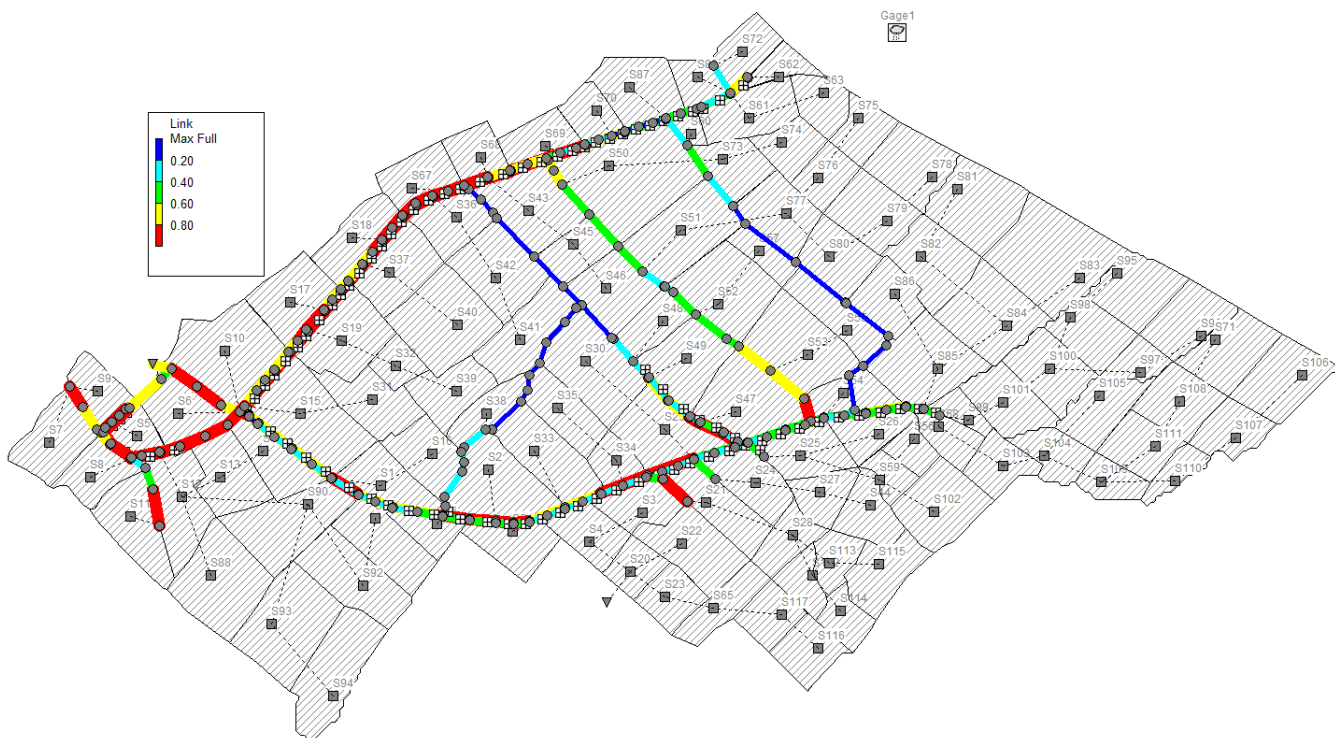
Slika 109: Maksimalno plavljenje okana oborinskog kolektora – model 3, PP 25 god



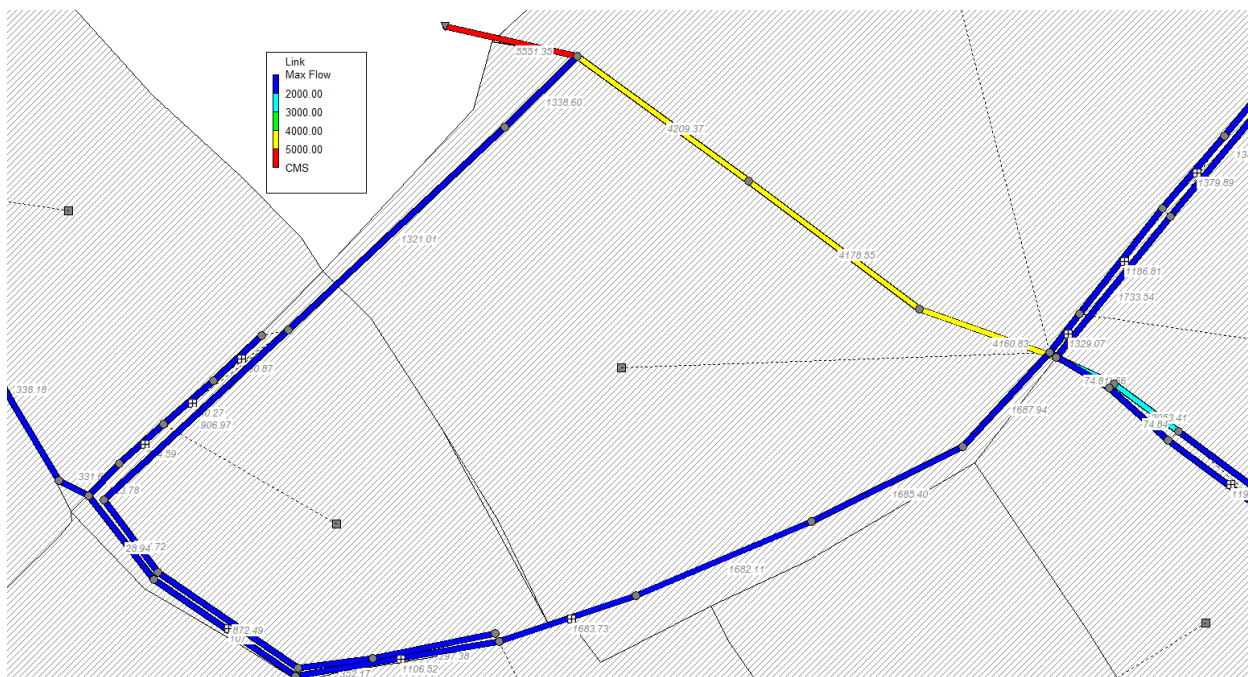
Slika 110: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 25 god.



Slika 111: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 25 god.



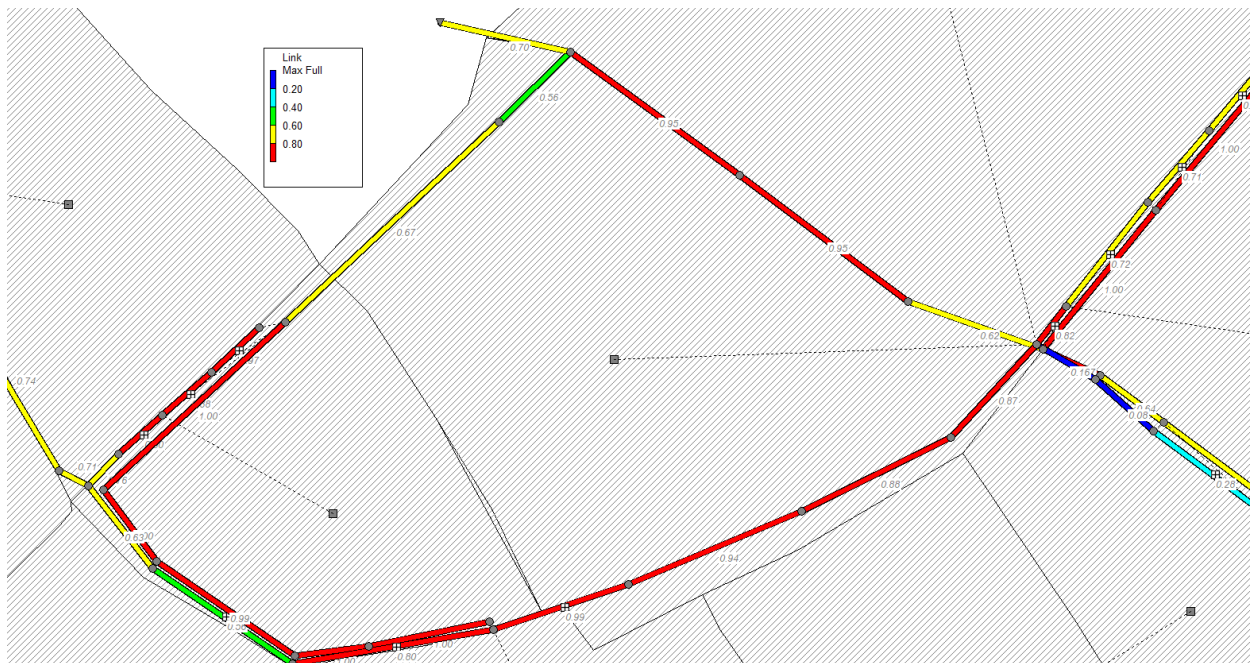
Slika 112: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 3, PP 25 god.



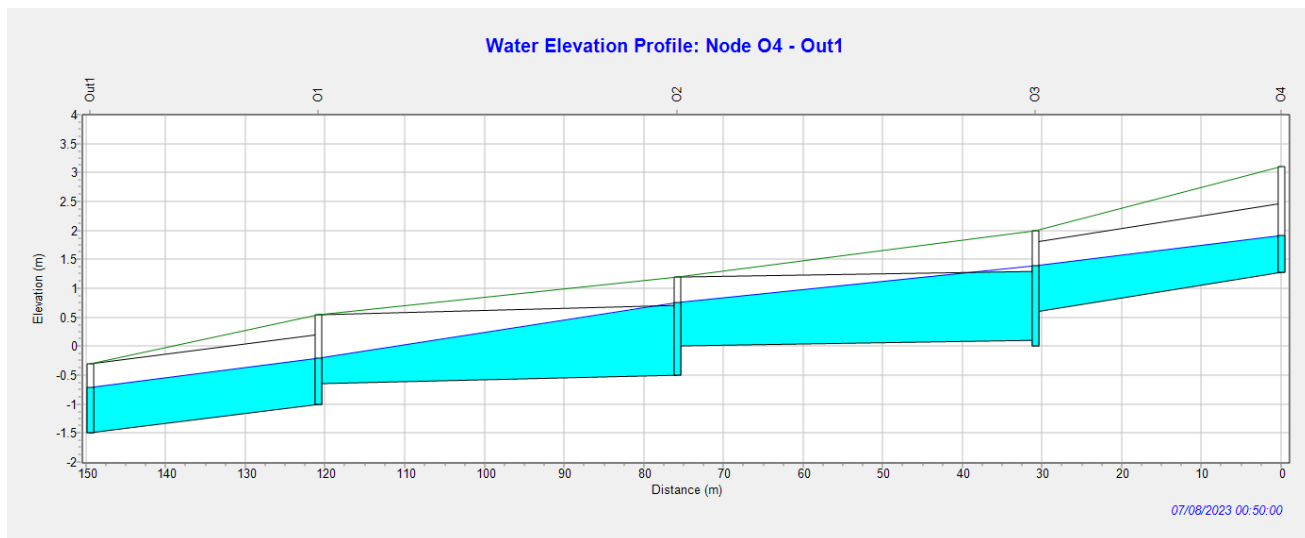
Slika 113: Maksimalni protok u kolektoru – model 3, PP 25 god.



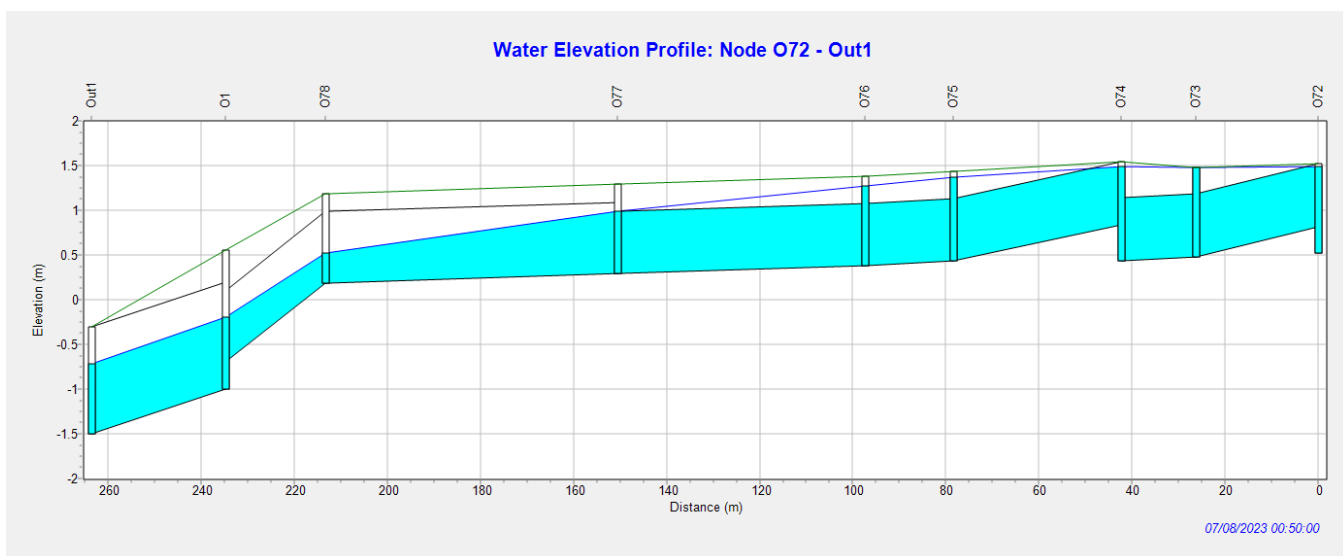
Slika 114: Maksimalne brzine u cijevima - model 3, PP 25 god.



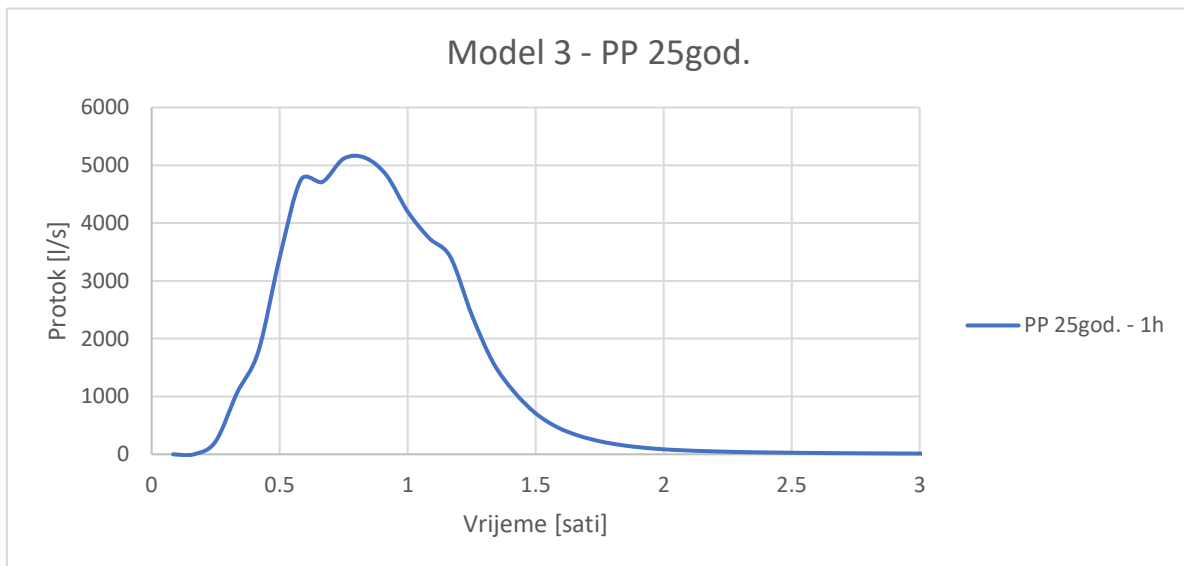
Slika 115: Maksimalna ispunjenost kanala - model 3, PP 25 god.



Slika 116: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 25 god.

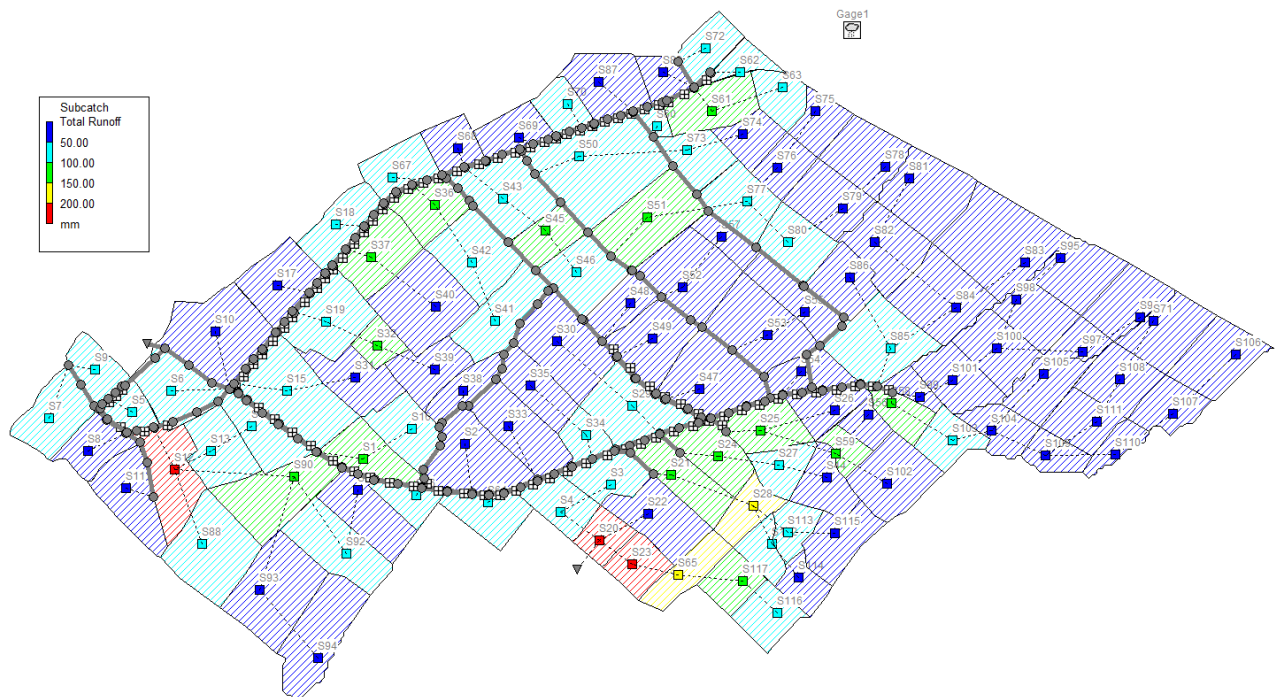


Slika 117: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 25 god.

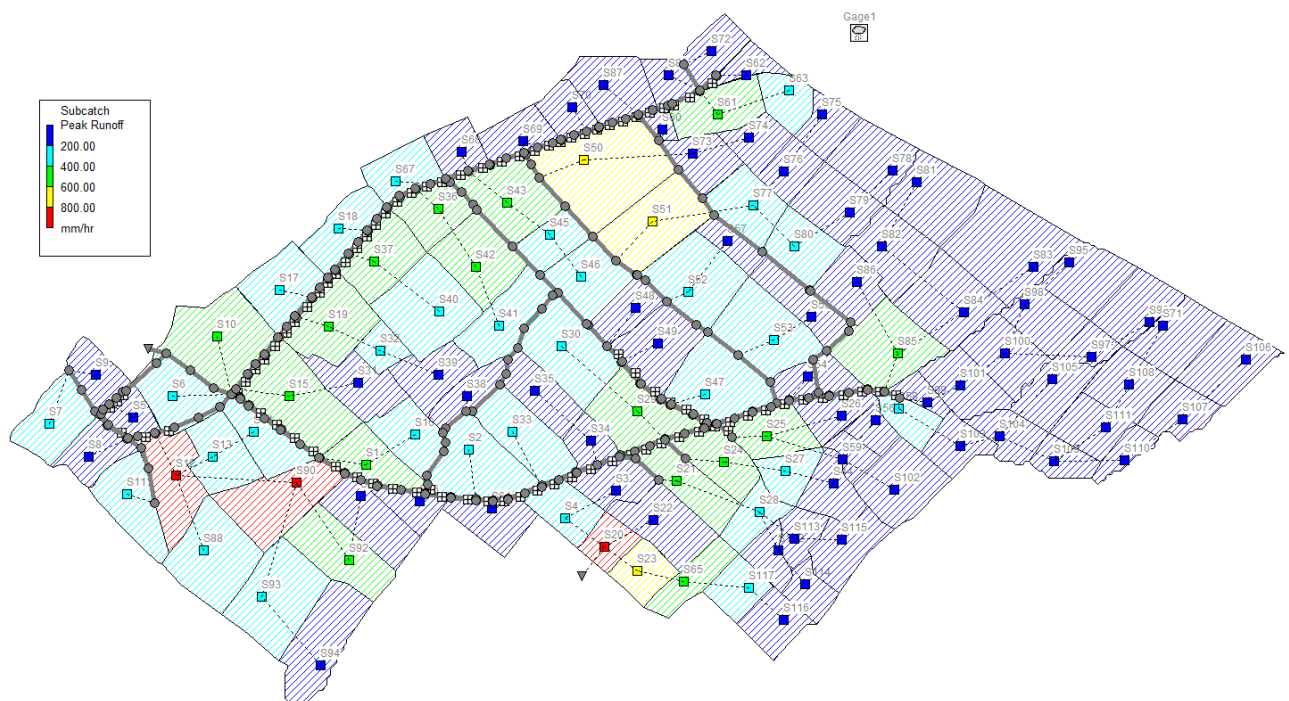


Slika 118: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 3 za PP 25 god.

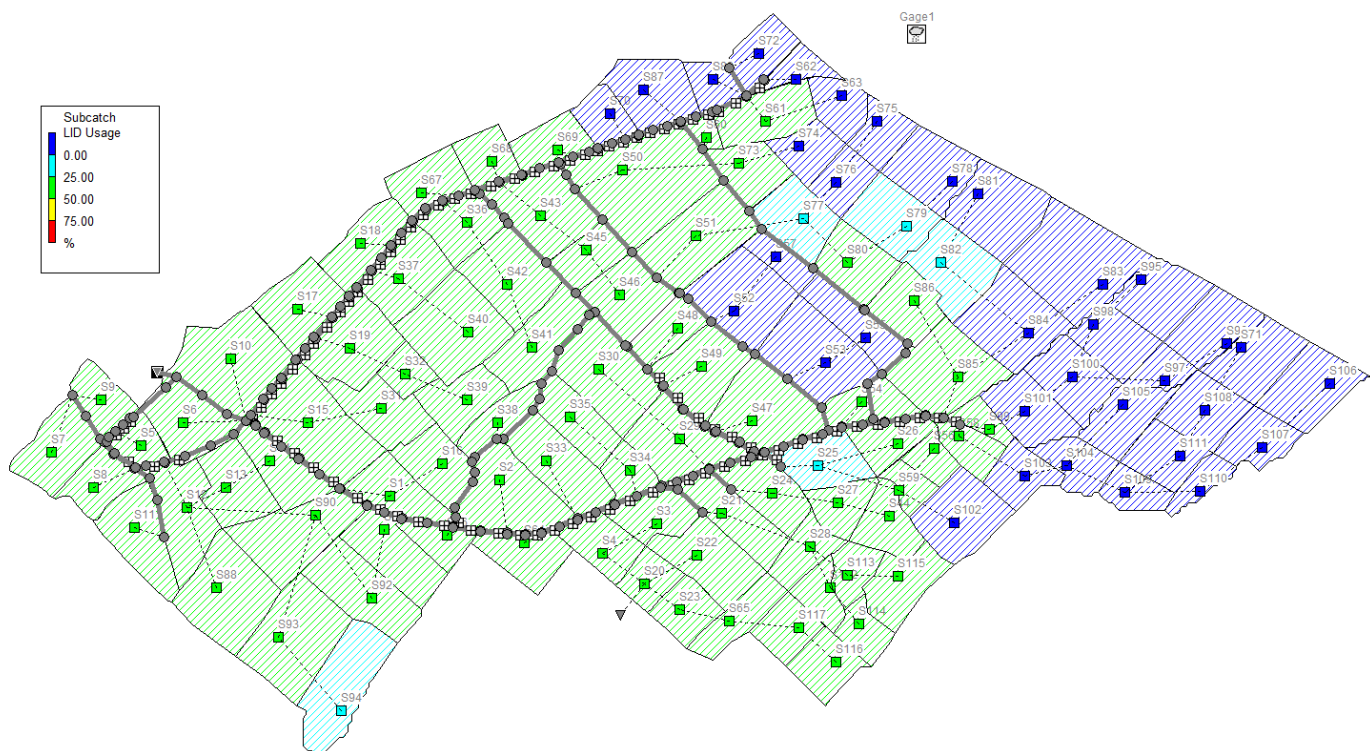
6.3.3. PP 100 godina - model 3



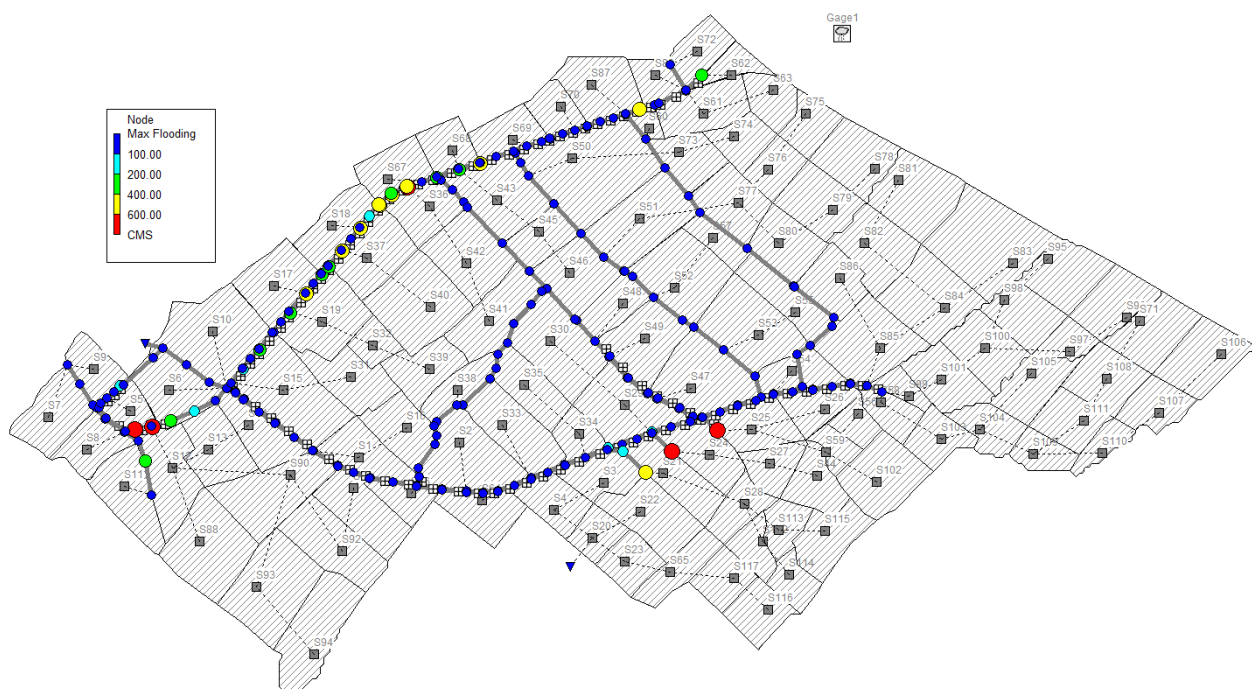
Slika 119: Ukupna količina efektivne oborine - model 3, PP 100 god.



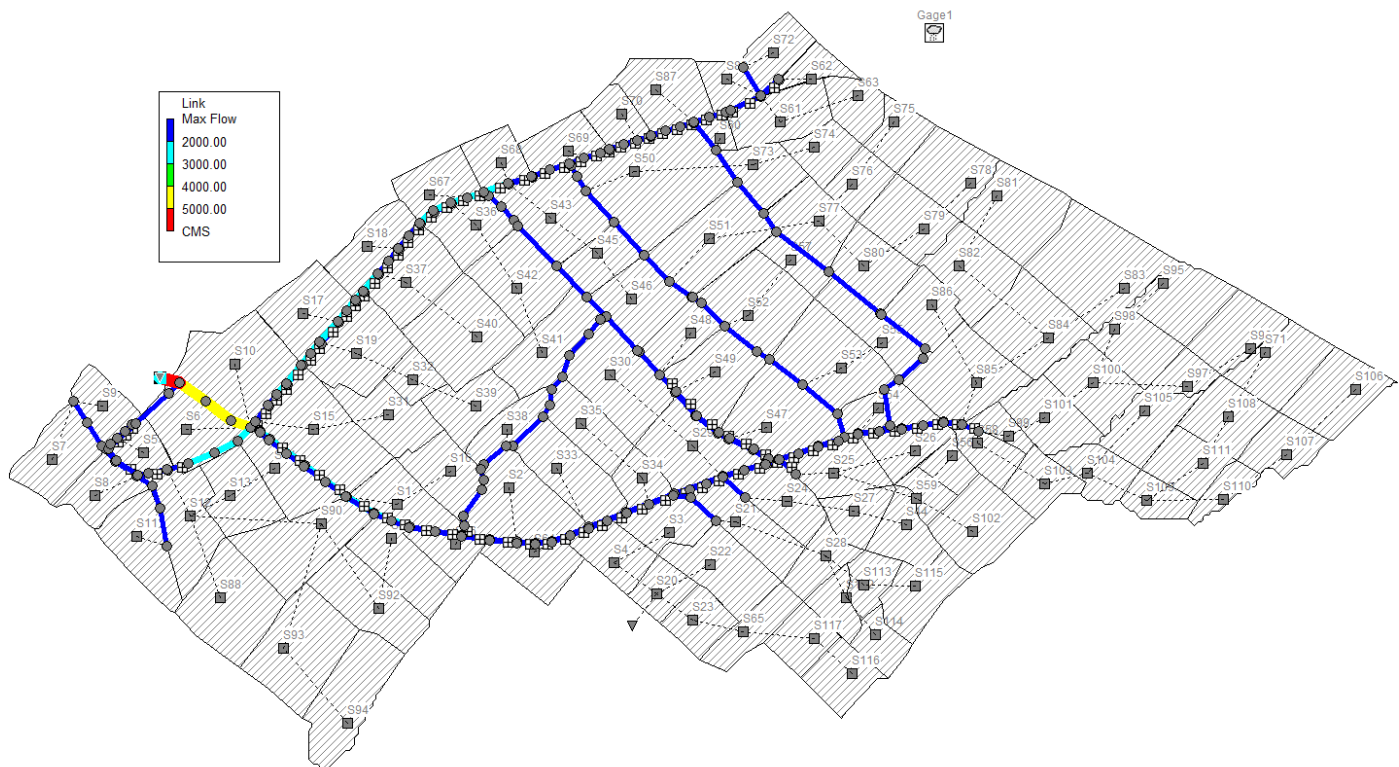
Slika 120: Vršni protok površinskog tečenja - model 3, PP 100 god.



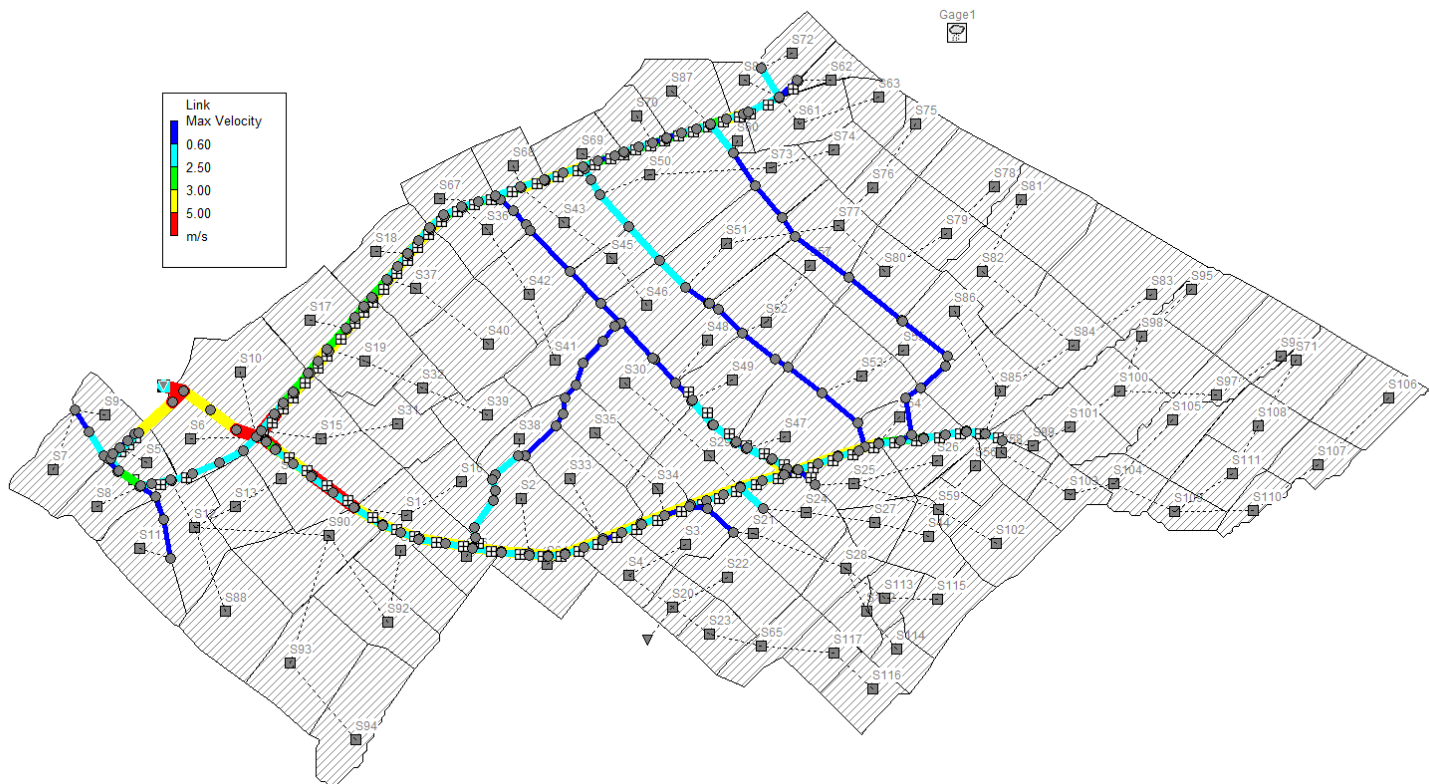
Slika 121: Iskoristivost LID elemenata u podslivovima – model 3, PP 100 god.



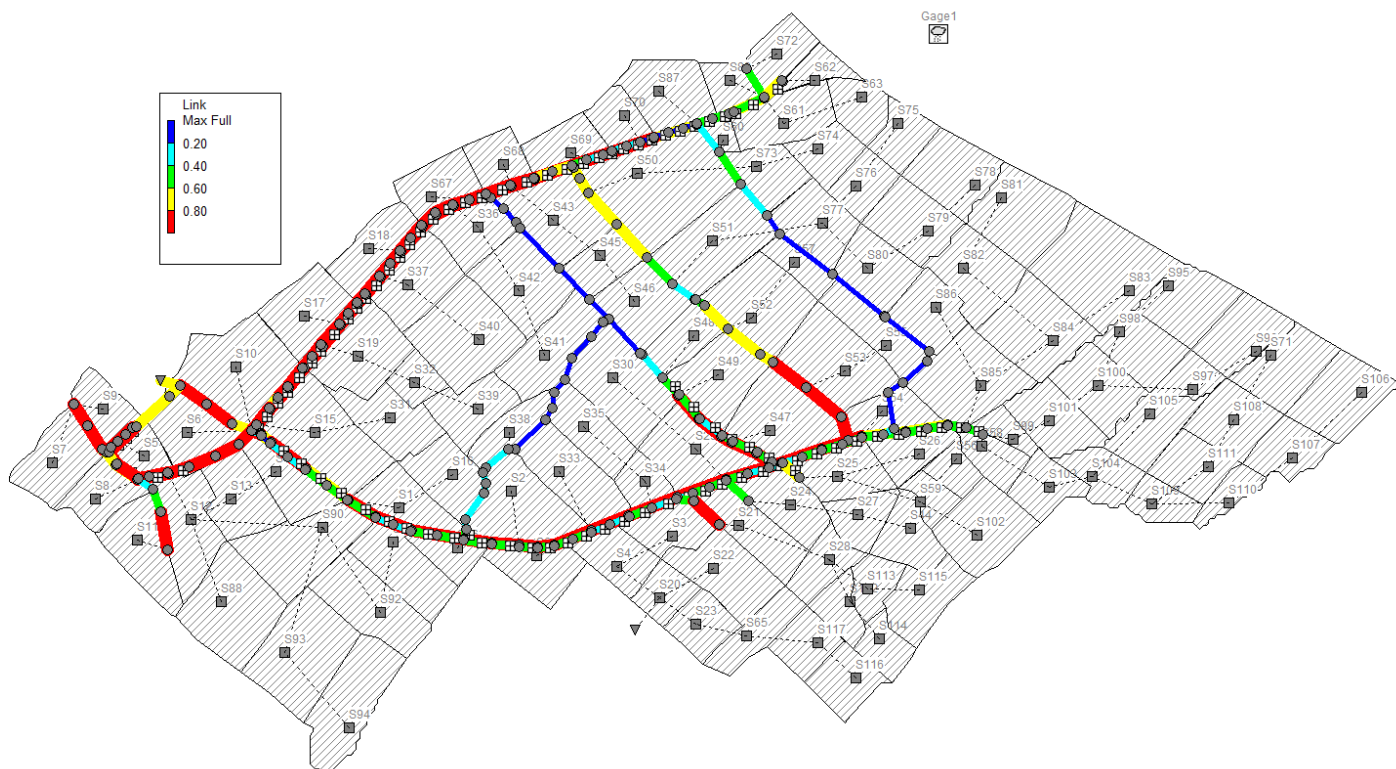
Slika 122: Maksimalno plavljenje okana obrinskog kolektora – model 3, PP 100 god.



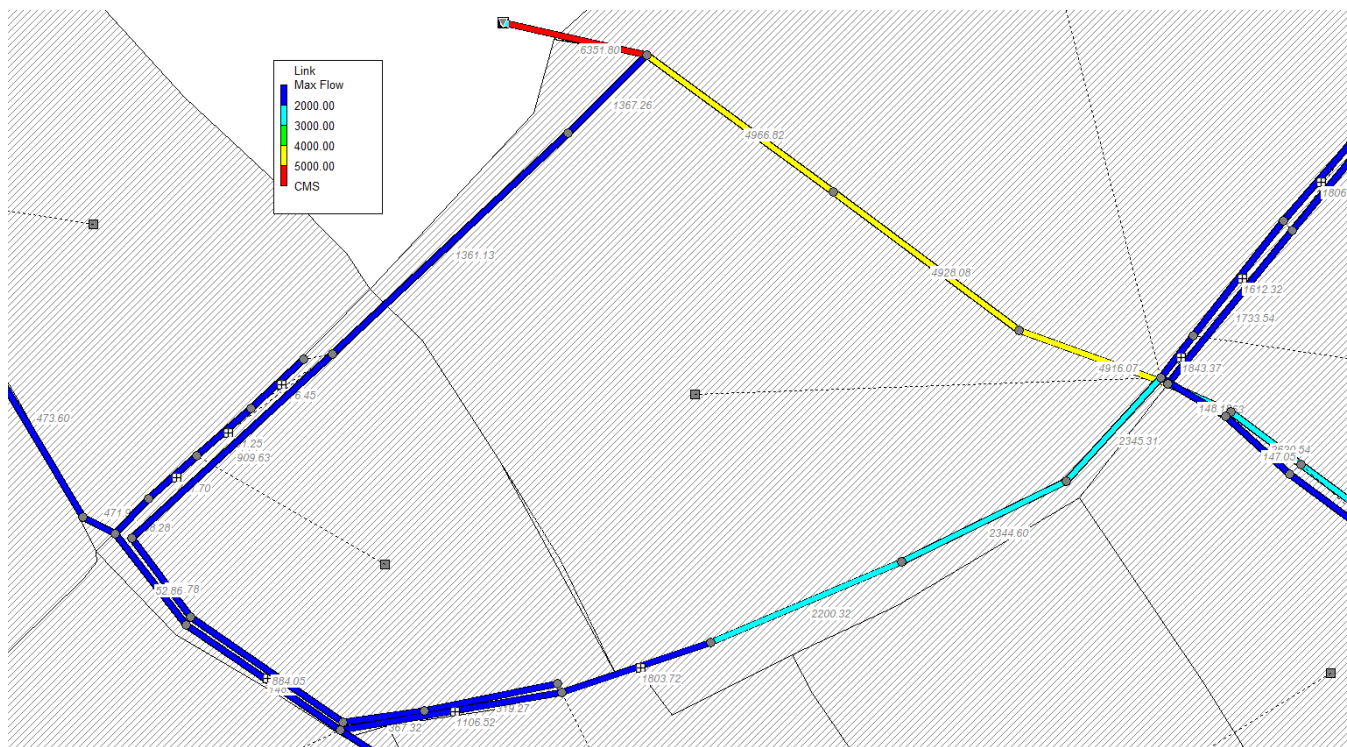
Slika 123: Maksimalni protok vode u kolektoru – model 3, PP 100 god.



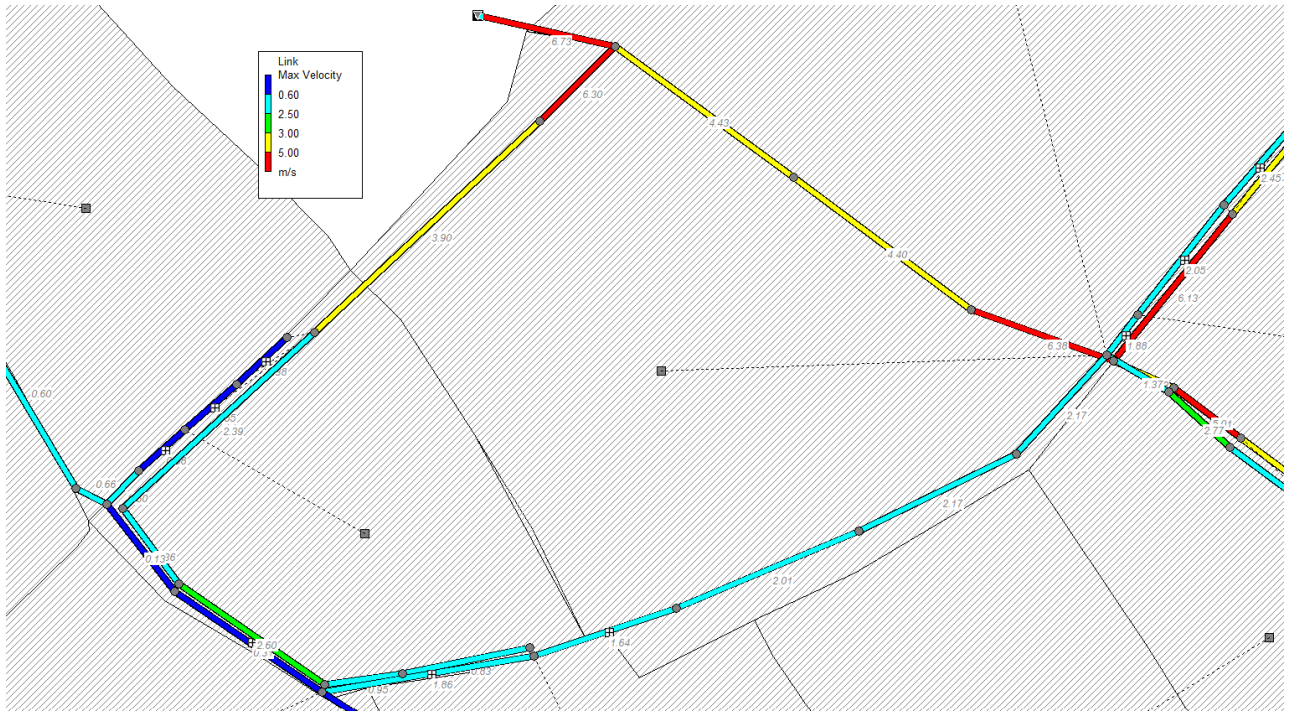
Slika 124: Maksimalne brzine toka vode u cijevima – model 3, PP 100 god.



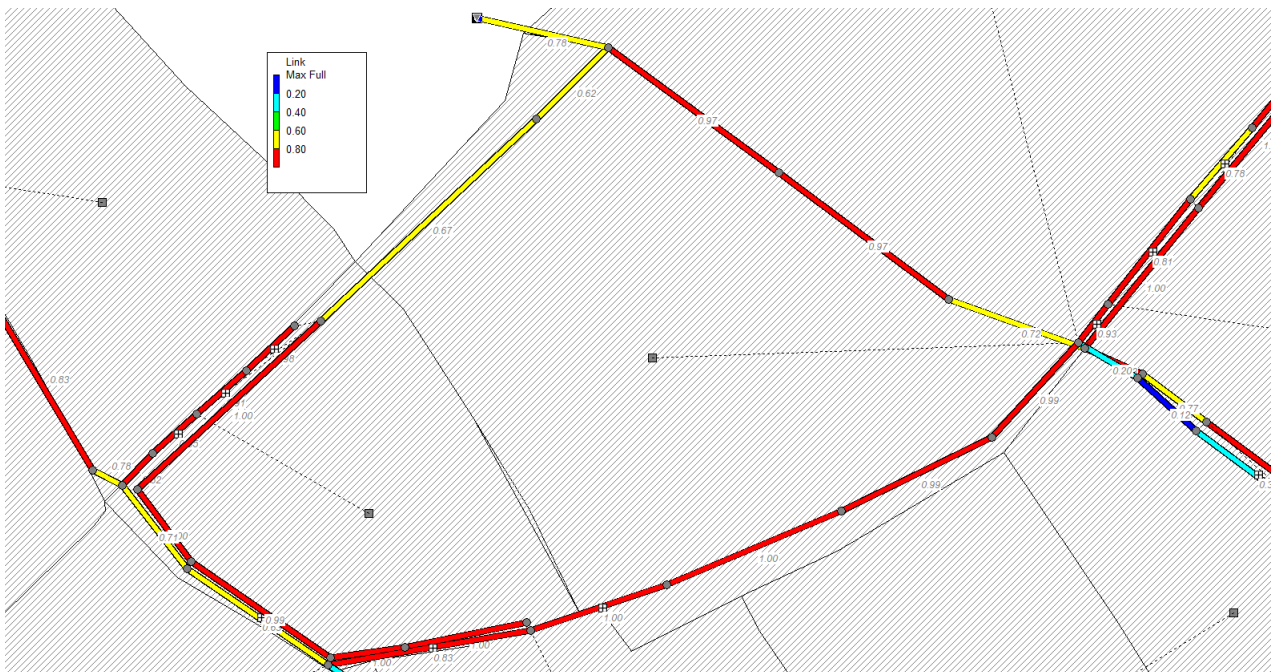
Slika 125: Maksimalna ispunjenost kanala u cijevima – model 3, PP 100 god.



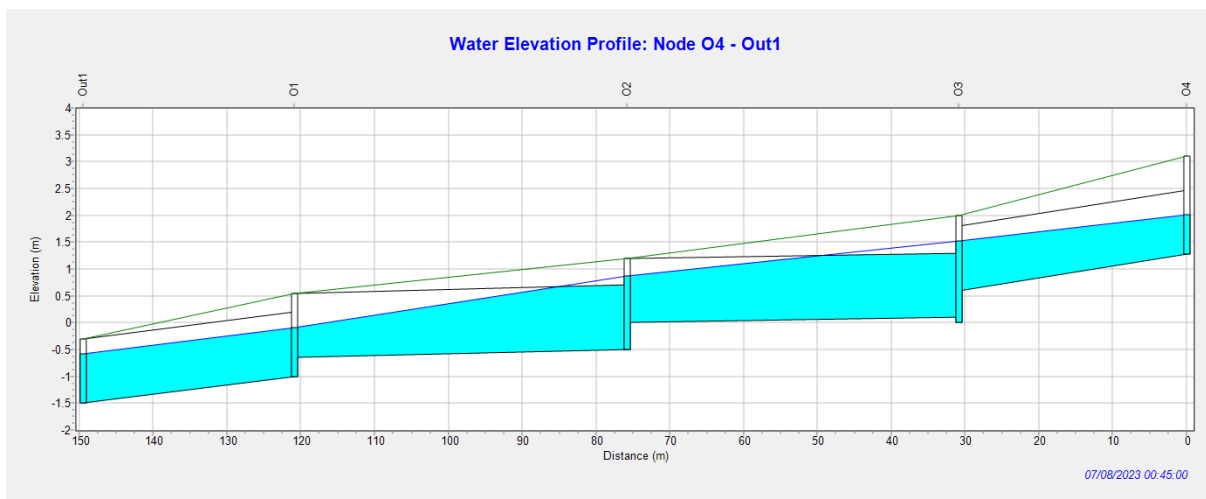
Slika 126: Maksimalni protok u kolektoru – model 3, PP 100 god.



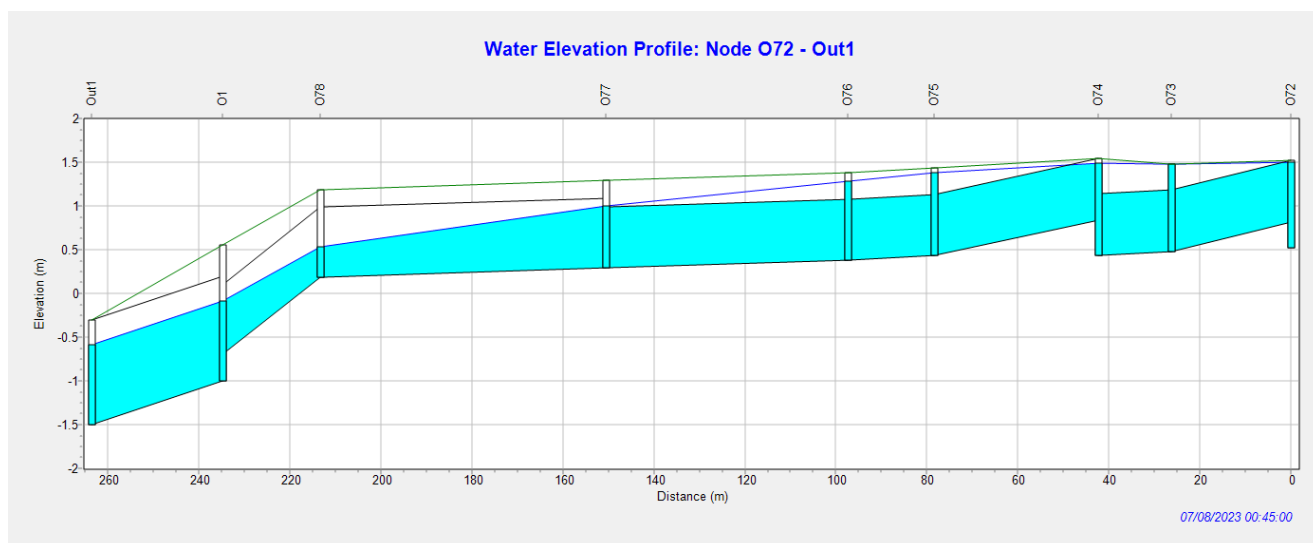
Slika 127: Maksimalne brzine u cijevima - model 3, PP 100 god.



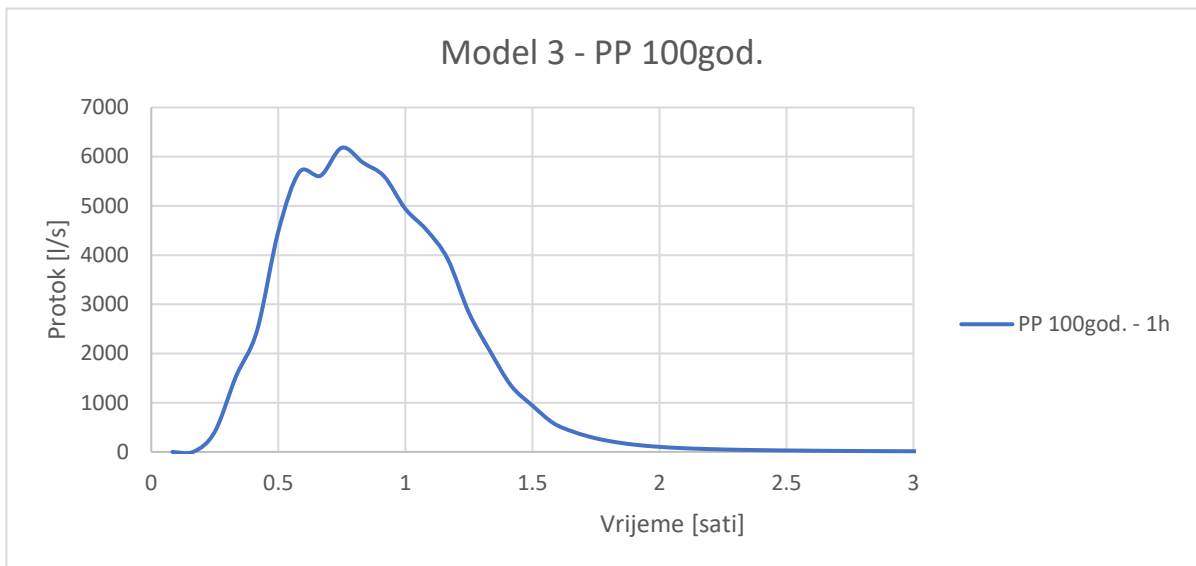
Slika 128: Maksimalna ispunjenost kanala - model 3, PP 100 god.



Slika 129: Uzdužni profil kolektora od okna O4 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 100 god.



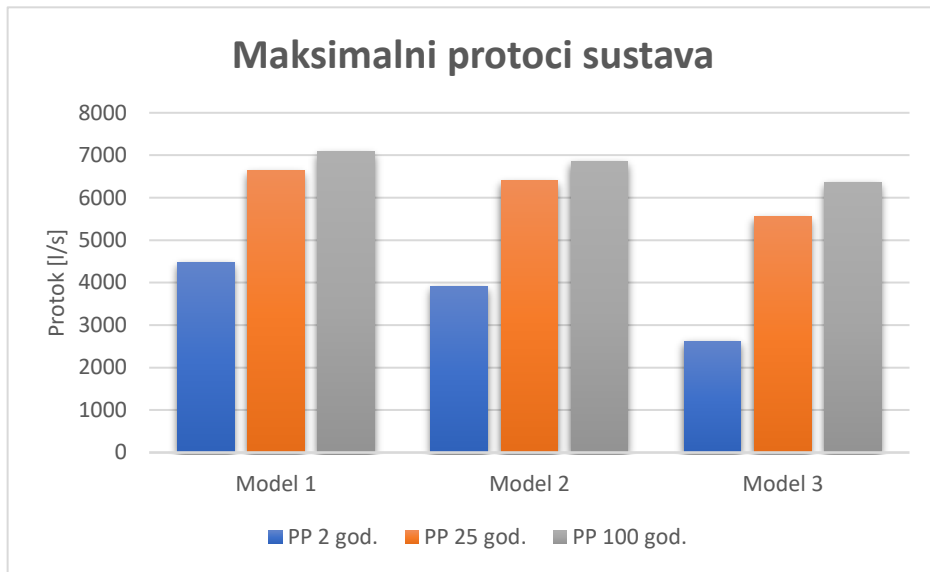
Slika 130: Uzdužni profil kolektora od okna O72 do ispusta u more pri maksimalnom protoku - model 3, PP 100 god.



Slika 131: Hidrogram na izlazu sustava (podmorskom ispustu)- model 3 za PP 100 god.

6.4. Diskusija rezultata

Model 1 prikazuje postojeće stanje. Sva oborinska voda se rješava sivom infrastrukturom, sustavom cjevovoda i slivnika. U modelu 2 i 3 uvođenjem LID elemenata utjecali smo na ponašanje cijelog sustava s ciljem da se smanji protok. Cijeli sustav se nalazi na površini od 1 016 270 m². Kod modela 2 LID elementi pokrivaju 10% površine podslivova i 30% u modelu 3, osim za podslivove gdje nema izgrađenih nepropusnih površina pa tako i potrebe za LID elementima. Tako u modelu 2 pokrivenost LID elementima iznosi 71 534 m², odnosno 7% od ukupne površine analiziranog područja, dok u modelu 3 pokrivenost zauzima 21,3% ukupne površine analiziranog područja te iznosi 216 365 m². Sva tri modela analizirani su za projektno razdoblje od 2, 25 i 100 godina. Za PP 2 godine vide se značajna smanjenja protoka kod modela 2 i 3 u usporedbi s modelom 1 što je i bio glavni cilj ovog rada. Za PP od 25 i 100 godina oborine su ekstremnije te su promjene manje značajne. Protok za PP od 2 godine za model 1 iznosi 4477,63 l/s, a u modelu 2 snižen je na 3908,43 l/s odnosno za 12,7%. Kod modela 3 protok sustava iznosi 2616,97 l/s što znači da je umanjen za 41,55% u odnosu na stvarnu situaciju. Za povratni period od 25 godina u modelu 1 protok iznosi 6635,45 l/s. U modelu 2 umanjen je za samo 3,5% te iznosi 6401,52 l/s, dok je u modelu 3 umanjen za 16,34%, a iznosi 5551,35 l/s. Kod povratnog perioda od 100 godina situacija je slična. Model 1 ima protok od 7079,51 l/s, a u modelu 2 je umanjen za 3,27% te iznosi 6848,32 l/s. U modelu 3 umanjen je za 10,28% i iznosi 6351,80 l/s. Model 3 je povoljno rješenje u vidu obrane javnih površina grada Biograda na Moru od plavljenja uzrokovanih oborinskom vodom. Za rijetke pojave ekstremnih oborina kao što su oborine projektirane za povratni period od 25 i 100 godina neće spriječiti plavljenje, ali će ga osjetno umanjiti.



Slika 132: Maksimalni protoci sustava svih modela za sva projektna razdoblja

7. ZELENA INFRASTRUKTURA

Prema definiciji zelena infrastruktura je strateški planirana mreža multifunkcionalnih otvorenih prostora nekog područja koja može obuhvaćati prirodne, poluprirodne i/ili urbane površine, od zaštićenih područja, prirodnih područja (šume, travnjaci, rijeke, jezera, močvare, itd.), ruralnih poljoprivrednih krajobrazza, zelenih površina unutar urbane matrice (parkova, vrtova, plaža, drvoreda, zelenih površina uz javne ustanove, višestambena naselja ali i uz gospodarske objekte) bilo u privatnom ili javnom vlasništvu, sa ili bez mogućnosti javnog pristupa. Ona obuhvaća sve prirodne, ali dijelom i kulturne resurse okoliša koji su kroz koncept zelene infrastrukture povezani u cjelinu s kojom se održivo upravlja. Koncept zelene infrastrukture u biti obuhvaća širu sliku krajobraznih struktura, funkcija i procesa. Zelena infrastruktura sastoji se od zelenih krovova, infiltracijskih jaraka, propusnih kolničkih površina te zelenih krovova. Prednosti implementacije zelene infrastrukture su raznolike: osigurava održivu drenažu, smanjenje otjecanja vode za vrijeme bujičnih tokova, skladištenje ugljika, hladi urbana područja za vrijeme toplinskih valova, privlači ulaganja, pospješuje fizičko i mentalno zdravlje ljudi itd.



Slika 133: Urbani prostor sa implementiranom zelenom infrastrukturom [6]

U modelu 2 i 3 implementirani su infiltracijski jarci dubine 1,5 metara s ciljem da se oborinska voda ne zadržava na površini već brže upije u tlo i tako smanji površinsko otjecanje i rastereti oborinski kolektor. Osim smanjenog rizika od poplava prednost je i dugoročna održivost.

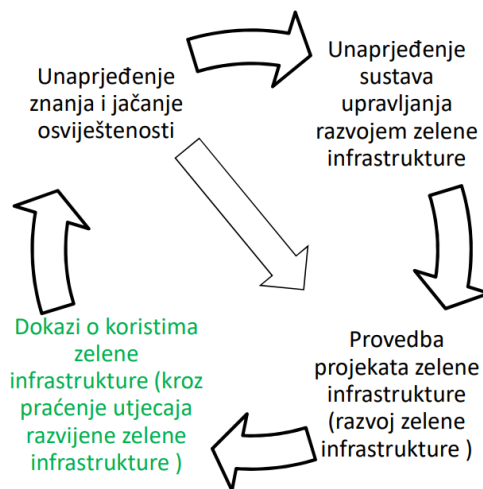
7.1. Program razvoja zelene infrastrukture

Cilj Programa razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje 2021. do 2023. godine je uspostaviti održive, otporne, sigurne i za život ugodne i uređene gradove i općine u Republici Hrvatskoj koji će omogućiti bolju kvalitetu života i zdravlja ljudi te uvelike doprinijeti održivom društvenom, gospodarskom i prostornom razvoju [8].

Gradovi, kao glavna urbana područja i pokretači ekonomskog rasta predstavljaju važnu komponentu održivog razvoja. S obzirom da sve više gradova ima poteškoća s neodrživom urbanizacijom, klimatskim promjenama i povećanjem rizika od prirodnih katastrofa upravo bi ključnu ulogu u rješavanju tih problema moglo igrati stvaranje, očuvanje i upravljanje zelenom infrastrukturom u urbanim područjima. Prilikom izrade nove generacije prostornih planova ili izmjene i dopune postojećih planova, primjenom novog Pravilnika o prostornim planovima omogućit će se prilagodba tih planova potrebama provedbe Programa razvoja Zelene infrastrukture. Ovaj pristup će omogućiti jasno definiranje načina na koji će se korištenjem različitih dijelova prostora evidentirati zelena infrastruktura te opisati njezine različite tipologije. Ovime će se osigurati konzistentan pristup razvoju zelene infrastrukture u cijeloj Republici Hrvatskoj.

Kako bismo potaknuli razvoj zelene infrastrukture u urbanim područjima Hrvatske, Program razvoja Zelene infrastrukture postavlja tri posebna cilja. Posebni cilj 1. je kvalitetno planiranje i upravljanje razvojem zelene infrastrukture u urbanim područjima. Za uspješnu provedbu projekata i aktivnosti usmjerenih na razvoj zelene infrastrukture na lokalnoj i regionalnoj razini potrebno je njezino planiranje u prostornim planovima te postojanje kvalitetnog sustava upravljanja njezinim razvojem. Posebni cilj 2. je

unaprijeđena, raširena, povezana i lako dostupna zelena infrastruktura u urbanim područjima. Proces snažne urbanizacije te veliki preljev stanovništva u gradove doveli su do prenapučenosti gradova. Posljedica toga je pretjerana izgrađenost te se sa navedenim posebnim ciljem nastoji razviti nova te unaprijediti postojeća zelena infrastruktura. Na taj način ublažit će se posljedice klimatskih promjena na kvalitetu života, ali i nepovoljni utjecaji gradova na klimatske promjene. Posebni cilj 3. je visoka razina znanja i društvene svijesti o održivom razvoju urbanih područja kroz razvoj zelene infrastrukture. Potrebno je educirati stručnjake, planere i lokalno stanovništvo s ciljem podizanja svijesti o pozitivnom i kvalitetnom utjecaju zelene infrastrukture i mogućnostima njezine izgradnje. Uvođenjem pojma zelene infrastrukture u obrazovni sustav te odgovornom postupanju s okolišem povećava se mogućnost održivog razvoja. Sva tri cilja djeluju sinergijski te realizacijom istih doprinijet će se poticanju kružnog procesa (Slika 134.) koji će rezultirati porastom interesa za razvojem zelene infrastrukture.



Slika 134: Prikaz međupovezanosti posebnih ciljeva [8]

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu detaljno je istražen i analiziran sustav odvodnje oborinskih voda u dijelu grada Biograd na Moru. Pomoću hidrološko-hidrauličke analize uspješno su identificirani svi ključni problemi vezani uz postojeći sustav odvodnje oborinskih voda u urbanom okolišu. Preizgrađenost, visok udio vodonepropusnih površina i nedostatak u kapacitetu oborinskog kolektora dovode do plavljenja javnih površina tijekom intenzivnih oborina. Kroz provedene simulacije i analize, procijenjena je učinkovitost različitih scenarija, uključujući implementaciju elemenata zelene infrastrukture, kao potencijalnog rješenja za smanjenje nepovoljnih posljedica oborina. Rezultati su pokazali da zelena infrastruktura predstavlja obećavajući pristup u upravljanju oborinskom vodom, osobito za oborine kraćeg projektnog razdoblja te da bi njezina primjena mogla značajno doprinijeti smanjenju problema plavljenja. Kod dužih projektnih razdoblja oborine su intenzivnije te je učinkovitost primijenjenih LID elemenata manja, ali ne i neznatna. Cilj rada je zadovoljen s obzirom da se primjenom LID elemenata na 30% površine podslivova za povratni period od 2 godine smanjen protok na izlazu iz sustava za 41,55%. Za duža projektna razdoblja kao što su 25 i 100 godina nije realno isplativo projektirati za isto. Rezultati rada sugeriraju da je isplativije ulagati u LID elemente i općenito zelenu infrastrukturu nego u obnovu i nadogradnju klasičnog sustava odvodnje oborinskih voda, odnosno u povećanje profila cjevovoda. Zaključno, ova studija naglašava važnost primjene naprednih tehnika hidrološko-hidrauličke analize u razvoju održivih rješenja za upravljanje oborinskom vodom u urbanim sredinama. Njezini zaključci i preporuke mogu pridonijeti budućem urbanom planiranju, infrastrukturnim intervencijama i povećanju otpornosti grada Biograd na Moru na izazove vezane uz oborine.

9. LITERATURA

- [1] Građevinski fakultet u Rijeci, Vodoprivredno-projektne biro d.d., Državni hidrometeorološki zavod. (2021) *Studija procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora: knjiga 2: procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima. Rijeka, Zagreb.*
- [2] *Odvodnja oborinskih voda ulice dr. Franje Tuđmana u Biogradu na Moru*, HIDROPROJEKT-ING projektiranje d.o.o., B.10.3.1., 3171/2004
- [3] *Rekonstrukcija i uređenje splitske ulice u Biogradu na Moru*, GIN Company, I.O.8609, T.D.86/09
- [4] <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018> 05.09.2023.
- [5] <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> 10.09.2023.
- [6] *Plavo-zelena infrastruktura: Ekološki pristup razvoju*, m-Kvadrat, 2022 <https://m-kvadrat.ba/plavo-zelena-infrastruktura-ekoloski-pristup-razvoju/> 12.09.2023
- [7] <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1> 10.09.2023.
- [8] [https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program razvoja zelene infrastrukture do 2030.pdf](https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program%20razvoja%20zelene%20infrastrukture%20do%202030.pdf) 12.09.2023.
- [9] <https://zadarski.slobodnadalmacija.hr/zadar/tribina/zasto-neprestano-poplavljuje-podvoznjak-u-biogradu-hrvatske-cestes-nista-ne-poduzimaju-a-uz-kolnik-groblje-tablica-597468> 12.09.2023.