

Hidrološka-hidraulička analiza zaštite naselja Kukci od velikih voda

Milevoj, Antonio

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:157:411294>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Antonio Milevoj

Hidrološko-hidraulička analiza zaštite naselja Kukci od velikih voda

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij
Urbano inženjerstvo
Urbani vodni sustavi**

**Antonio Milevoj
JMBAG: 0114030726**

Hidrološko-hidraulička analiza zaštite naselja Kukci od velikih voda

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2023.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio 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.

Antonio Milevoj

U Rijeci, 12.Rujna 2023.

SAŽETAK

U ovom radu provedena je hidrološko-hidraulička analiza otjecanja oborinskih voda na području naselja Kukci. Cilj ovoga rada je analizirati područja plavljenja naselja Kukci u Poreču-Parenzo te na temelju toga procijeniti utjecaj implementacije dva različita pristupa ublažavanju poplava. Jedno rješenje je izgradnja retencije, a drugo rješenje je implementacija LID elemenata u svrhu povratka hidrološkog režima na prirodno stanje slivnog područja. QGIS program poslužio je za izradu osnovnog modela, određivanje karakteristika za pojedini podsliv i georeferenciranje dijela UPU-a naselja Kukci. Zatim su se dobiveni podaci koristili za hidrološko-hidrauličku analizu provedenu u SWMM programu. U SWMM programu izrađeno je 5 različitih modela te je za svaki model provedena hidrološko-hidraulička analiza otjecanja oborinskih voda. Prvi model opisuje prirodno stanje (nulta izgrađenost), drugi model trenutno stanje naselja Kukci (s izvedenim klasičnim sustavom oborinske odvodnje), treći model buduće stanje (sa proširenim klasičnim sustavom oborinske odvodnje), četvrti model buduće stanje sa predviđenom retencijom i peti model buduće stanje sa implementacijom LID elemenata. Rezultati ukazuju na problematiku klasičnog sustava oborinske odvodnje za intenzivne oborine, a implementacijom retencije i LID elemenata dobivene su smanjene količine protoka na kritičnim lokacijama.

Ključne riječi: hidrološko-hidraulička analiza, pluvijalne poplave, zelena infrastruktura, LID elementi, retencija

ABSTRACT

This paper describes a hydrological-hydraulic analysis of stormwater runoff in the area of the Kukci. The aim of this paper is to analyze the areas of flooding in the area of Kukci in Poreč-Parenzo and, based on this, to assess the impact of the implementation of two different approaches to flood mitigation. One solution is the construction of retention, and the second solution is the implementation of LID elements for the purpose of returning the hydrological regime to the natural state of the catchment area. The QGIS program was used to create the basic model, determine the characteristics for each sub-basin and georeferencing part of the urban development plan of the Kukci area. The obtained data were then used for the hydrological-hydraulic analysis carried out in the SWMM program. In the SWMM program, 5 different models were created, and for each model a hydrological-hydraulic analysis of stormwater runoff was performed. The first model describes the natural state (zero built-up), the second model the current state of the Kukci area (with an implemented classic storm drainage system) and the third model describes the future state (with an extended classic storm drainage system). Furthermore, the fourth model refers to the future state with predicted retention and the fifth model to the the future state with the implementation of LID elements. The results points to the problem of the classic storm drainage system for intense rainfall. Additionally, the implementation of retention and LID elements resulted in reduced amounts of flow in critical locations.

Keywords: hydrological-hydraulic analysis, pluvial flooding, green infrastructure, LID elements, retention

Sadržaj

| | |
|---|-----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. POSTOJEĆE STANJE I PRIKAZ OBUHVAĆENOG PODRUČJA | 3 |
| 3. PREGLED PROSTORNO PLANSKE DOKUMENTACIJE | 4 |
| 3.1. UPU Kukci..... | 4 |
| 3.2. Kanalizacijska mreža | 5 |
| 3.3. Postojeći problem s poplavama od jakih oborina | 6 |
| 4. ZELENA INFRASTRUKTURA | 7 |
| 14.1. Program razvoja zelene infrastrukture | 11 |
| 5. METODOLOGIJA | 12 |
| 5.1. QGIS program..... | 12 |
| 5.2. Izrada modela..... | 13 |
| 5.3. Georeferenciranje dijela UPU-a naselja Kukci..... | 17 |
| 5.4. Karakteristike podslivova | 18 |
| 5.4.1. Maningov koeficijent | 20 |
| 5.4.2. CN-BROJ | 22 |
| 5.4.3. IMD-nepropusnost | 24 |
| 5.4.4. Nagib..... | 26 |
| 6. OBRADA OBORINA (meterološki podaci) | 28 |
| 7. IZRADA MATEMATIČKOG MODELA POVRŠINSKOG OTJECANJA..... | 29 |
| 7.1. SWMM računalni program | 29 |
| 7.1.1. Povijesno stanje | 30 |
| 7.1.2. Sadašnje (trenutno) stanje | 30 |
| 7.1.3. Buduće stanje | 31 |
| 7.2. Generiranje oborine u SWMM programu | 31 |
| 7.3. Modeliranje oborinske odvodnje | 32 |
| 8. REZULTATI..... | 36 |
| 8.1. Povjesno stanje..... | 36 |
| 8.2. Sadašnje stanje | 49 |
| 8.3. Buduće stanje | 82 |
| 8.4. Dimenzioniranje retencije | 118 |

| | |
|--|-----|
| 8.4.1.Prikaz rezultata nakon implementacije retencije..... | 121 |
| 8.5. Ugradnja LID elemenata..... | 126 |
| 8.5.1. Rezultati dobiveni ugradnjom LID elementa..... | 127 |
| 9. DISKUSIJA..... | 132 |
| 10.ZAKLJUČAK..... | 139 |
| 11.LITERATURA..... | 140 |

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1. Položaj grada Poreča-Parenzo na karti Hrvatske..... | 3 |
| Slika 2. Urbanistički plan naselja i prikaz karte namjene površina Kukci (ref)..... | 5 |
| Slika 3. Kanalizacijska mreža naselja Kukci (detalj iz UPU Kukci ili PPUG Poreč)..... | 6 |
| Slika 4. Detalji karte opasnosti od poplava dijela naselja Poreč-Parenzo (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.)..... | 7 |
| Slika 5.Usporedba tradicionalnog pristupa odvodnje i zelene infrastrukture (UACDC, 2010)..... | 8 |
| Slika 6. Primjeri zelene infrastrukture (LID elementi): a) bioretencija, b) kišni vrt, c) zeleni krov, d) infiltracijski jarak, e) propusni kolnik f) cisterna, g) krov s povezanim olucima i h) vegetativni kanali . | 10 |
| Slika 7. Digitalni model terena naselja Kukci..... | 14 |
| Slika 8. Jedinstvene oznake za svaki sliv i putanja otjecanja vode..... | 15 |
| Slika 9.Klase namjene zemljišta unutar analiziranog područja..... | 16 |
| Slika 10. Georeferenciranje dijela UPU-a naselja Kukci..... | 18 |
| Slika 11. Prikaz površina podslivova analiziranog područja naselja Kukci..... | 19 |
| Slika 12. Trenutno stanje Maningovih koeficijenata hrapavosti..... | 21 |
| Slika 13.Prikaz CN brojeva za trenutno stanje analizarnog područja..... | 23 |
| Slika 14. Vrijednost nepropunosti na analiziranom području (trenutno stanje)..... | 25 |
| Slika 15. Prikaz vrijednosti nagiba na pojedinom podslivu za analizirano područje..... | 26 |
| Slika 16. Smjerovi nagiba podslivova za analizirano područje..... | 27 |
| Slika 17. Pluviogrami projektnog pljuska na području grada Poreča-Parenzo (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.)..... | 28 |
| Slika 18. Shematski prikaz odvodnje oborinske vode pomoću slivnika (Rossman,2015)..... | 32 |
| Slika 19.Prikaz različitih oblika slivnika (Rossman,2015)..... | 33 |
| Slika 20. Shematski prikaz modela inlets sustava..... | 34 |
| Slika 21. Prikaz hidrološko-hidrauličkog modela u SWMM programu..... | 36 |
| Slika 22 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)..... | 37 |
| Slika 23. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)..... | 37 |
| Slika 24.Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)..... | 38 |
| Slika 25.Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,12h) (LPS)..... | 39 |
| Slika 26.Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,12h)..... | 40 |
| Slika 27 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)..... | 41 |
| Slika 28 Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)..... | 42 |
| Slika 29. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)..... | 42 |
| Slika 30. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h) (LPS)..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Slika 31. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h) | 44 |
| Slika 32. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 45 |
| Slika 33. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 45 |
| Slika 34. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 46 |
| Slika 35. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h) (LPS) | 47 |
| Slika 36. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h) | 48 |
| Slika 37. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.) | 49 |
| Slika 38. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.) | 50 |
| Slika 39. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.) | 50 |
| Slika 40. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,3h) (LPS) | 51 |
| Slika 41. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,3h) | 52 |
| Slika 42. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.) | 53 |
| Slika 43. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.) | 53 |
| Slika 44. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.) | 54 |
| Slika 45. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h) (LPS) | 55 |
| Slika 46. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h) | 56 |
| Slika 47. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 57 |
| Slika 48. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 58 |
| Slika 49. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 58 |
| Slika 50. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h) (LPS) | 59 |
| Slika 51. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h) | 60 |
| Slika 52. Grafički prikaz promjera cijevi na obuhvaćenom području za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) .. | 61 |
| Slika 53. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)..... | 61 |
| Slika 54. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)..... | 62 |
| Slika 55. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)..... | 62 |
| Slika 56. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)..... | 63 |
| Slika 57. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)..... | 63 |
| Slika 58. Prikaz brzina u postojećim kolektorima na analiziranom području..... | 64 |
| Slika 59. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 64 |
| Slika 60. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 65 |
| Slika 61. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 66 |
| Slika 62. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 66 |
| Slika 63. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 67 |
| Slika 64. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 67 |
| Slika 65. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h) | 68 |
| Slika 66. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)..... | 69 |

| | |
|--|----|
| Slika 67. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h) | 69 |
| Slika 68. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h) | 70 |
| Slika 69. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h) | 71 |
| Slika 70. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h) | 71 |
| Slika 71. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h) | 71 |
| Slika 72. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h) | 72 |
| Slika 73. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 1 (PP 25god, 3h).. | 72 |
| Slika 74. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 3 (PP 25god, 3h).. | 73 |
| Slika 75. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 4 (PP 25god, 3h). | 73 |
| Slika 76. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 6 (PP 25god, 3h). | 74 |
| Slika 77. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 7 (PP 25god, 3h). | 74 |
| Slika 78. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 75 |
| Slika 79. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 76 |
| Slika 80. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 76 |
| Slika 81. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 77 |
| Slika 82. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 77 |
| Slika 83. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 78 |
| Slika 84. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h) | 78 |
| Slika 85. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna obuhvaćenog područja za sadašnje stanje (PP 100god., 3h) | 79 |
| Slika 86. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 100god., 3h) | 79 |
| Slika 87. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 100god., 3h) | 80 |
| Slika 88. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 100god., 3h) | 80 |
| Slika 89. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 100god., 3h) | 81 |
| Slika 90. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.) | 82 |
| Slika 91. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.) | 83 |
| Slika 92. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.) | 83 |
| Slika 93. Grafički prikaz vršnog otjecanja po podslivovima za analizirano područje(PP2god.,3h) | 84 |

| | |
|--|-----|
| Slika 94. Grafički prikaz vrijednosti koeficijenta otjecanja (PP2god,3h)..... | 85 |
| Slika 95 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.) | 86 |
| Slika 96. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.) | 87 |
| Slika 97. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.) | 87 |
| Slika 98. Grafički prikaz vršnog otjecanja po podslivovima za analizirano područje (PP25god.,3h)..... | 88 |
| Slika 99. Grafički prikaz koeficijenta otjecanja (25god.,3h) | 89 |
| Slika 100. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 90 |
| Slika 101. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 90 |
| Slika 102. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.) | 91 |
| Slika 103. Grafički prikaz vršnog otjecanja na analiziranom području(100god.,3h)..... | 92 |
| Slika 104. Grafički prikaz vrijednosti koeficijenta otjecanja (100god.,3h) | 93 |
| Slika 105. Grafički prikaz modela budućeg stanja..... | 94 |
| Slika 106. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 95 |
| Slika 107. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 95 |
| Slika 108. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 96 |
| Slika 109. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 96 |
| Slika 110. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 97 |
| Slika 111. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 97 |
| Slika 112. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 98 |
| Slika 113. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 8 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 98 |
| Slika 114. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 9 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 99 |
| Slika 115. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 10 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 99 |
| Slika 116. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 11 za buduće stanje (PP 2 god., 3h) | 100 |
| Slika 117 Prikaz brzina u cijevima na analiziranom području (PP25,3h)..... | 100 |
| Slika 118. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za buduće stanje (PP 25 god., 3h) | 101 |
| Slika 119. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za buduće stanje (PP 25 god., 3h) | 101 |
| Slika 120. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za buduće stanje (PP 25 god., 3h) | 102 |
| Slika 121. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za buduće stanje (PP 25 god., 3h) | 102 |
| Slika 122. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za buduće stanje (PP 25 god., 3h) | 103 |

| | |
|---|-----|
| Slika 123. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)..... | 103 |
| Slika 124. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)..... | 104 |
| Slika 125. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 8 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)..... | 104 |
| Slika 126. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 9 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)..... | 105 |
| Slika 127. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 10 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)..... | 105 |
| Slika 128. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 11 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)..... | 106 |
| Slika 129. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje na obuhvaćenom području (PP 25god., 3h)..... | 106 |
| Slika 130. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 1 (PP 25god., 3h)..... | 107 |
| Slika 131. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 2 (PP 25god., 3h)..... | 107 |
| Slika 132. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 3 (PP 25god., 3h)..... | 108 |
| Slika 133. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 4 (PP 25god., 3h)..... | 108 |
| Slika 134. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 5 (PP 25god., 3h)..... | 109 |
| Slika 135. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 6 (PP 25god., 3h)..... | 109 |
| Slika 136. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 110 |
| Slika 137. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 110 |
| Slika 138. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 111 |
| Slika 139. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 111 |
| Slika 140. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 112 |
| Slika 141. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 112 |
| Slika 142. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 113 |
| Slika 143. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 8 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 113 |
| Slika 144. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 9 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)..... | 114 |

| | |
|---|-----|
| Slika 145. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 10 za buduće stanje (PP 100 god., 3h) | 114 |
| Slika 146. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje na obuhvaćenom području (PP 100god., 3h) | 115 |
| Slika 147. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 1 (PP 100god., 3h) | 115 |
| Slika 148. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 2 (PP 100god., 3h) | 116 |
| Slika 149. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 3 (PP 100god., 3h) | 116 |
| Slika 150. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 4 (PP 100god., 3h) | 117 |
| Slika 151. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 5 (PP 100god., 3h) | 117 |
| Slika 152. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 6 (PP 100god., 3h) | 118 |
| Slika 153. Prikaz lokacije implementacije retencije | 119 |
| Slika 154. Shematski prikaz lokacije retencije u SWMM programu | 120 |
| Slika 155. Visina vode u retenciji za PP25 god. i projektni pljusak 3h | 121 |
| Slika 156. Hidrogrami otjecanja na ulazu u retenciju i kanalu (PP25_3h) | 122 |
| Slika 157. Visina vode u retenciji za PP100_3h | 123 |
| Slika 158. Hidrogrami otjecanja za ulaz u retenciju, ispust, preljev i kanal (PP100_3h) | 124 |
| Slika 159. Protoci na izlazu OUT2 (PP25_3h) | 124 |
| Slika 160. Protoci na izlazu OUT2(PP100_3h) | 125 |
| Slika 161. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a (PP2god.) | 127 |
| Slika 162. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (2god) | 128 |
| Slika 163. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (25god) | 129 |
| Slika 164. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (25god) | 129 |
| Slika 165. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (100god) | 130 |
| Slika 166. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (100god) | 131 |

1. UVOD

Glavni trend modernog društva je intenzivna urbanizacija koja uključuje povećanje gustoće naseljenosti, razvoj infrastrukture kao i napuštanje ruralnih područja. Predviđa se da će do polovice 21. stoljeća oko 2/3 svjetskog stanovništva živjeti u gradu. Unatoč brojnim prednostima koje urbanizacija donosi, javlja se i niz negativnih učinaka, a problem poplava jedan je od najozbiljnijih. Poplave su prirodne katastrofe koje nastaju kada je prekoračen kapacitet tla za upijanje ili kada dolazi do prelijevanja riječnog korita. Najčešći uzroci poplava uključuju intenzivne oborine, topljenje snijega, puknuća brana ili nasipa, povećanje vodostaja te neadekvatno održavanje sustava odvodnje. Uz to, klimatske promjene imaju značajan utjecaj na čestu pojavu poplava. Promjene u globalnom klimatskom sustavu, uključujući promjene u temperaturi i režimu oborina utječu na učestalost i intenzitet poplava. Očekuje se kako će u budućnosti intenzitet oborina porasti u brojnim mjestima diljem svijeta. Uzimajući u obzir povećanje nepropusnih površina kao izravnu posljedicu urbanizacije, ne čudi što dolazi do većeg otjecanja oborinskih voda kao i do pojave toplinskog vala. Uz to, potrebno je naglasiti kako prekomjerno otjecanje ne dovodi samo do poplava, već i do zagađenja vodnih tijela (Alves i sur., 2018). Nadalje, povećano otjecanje može biti uzrokovano i krčenjem šuma, pretvaranjem otvorenih prostora u izgrađena područja, ograničenim kapacitetom rijeka kao i nedostatnom infrastrukturom poput sustava odvodnje. Uz to, intenzivna urbanizacija i brz razvoj doprinose postupnom smanjenju kvalitete zelenih površina. Mnoge karakteristike tla su izmijenjene tako da je i cijeli hidrološki ciklus značajno promijenjen, što posljedično dovodi do poplava i pogoršanja kvalitete vode (Pamungkas i Purwitansingsih, 2019). Odgovarajuće upravljanje rizikom od poplava, ključno je za ublažavanje efekta poplava u urbanim područjima. Ipak, donošenje odluka o odabiru odgovarajuće strategije težak je proces budući da uključuje složene interakcije između prirodnih, društvenih i izgrađenih dijelova okoline. Složenost urbanih sustava odvodnje, količina dostupnih mjera, značajna ulaganja potrebna za provedbu ovih strategija i neizvjesnost budućih uvjeta samo su neki od razloga koji povećavaju složenost donošenja odluka.

Jedno od rješenja za ove probleme je uvođenje tzv. zelene infrastrukture u postojeće sustave odvodnje. Postojeći (tradicionalni) sustavi odvodnje spadaju u tzv. sivu infrastrukturu koja se uglavnom sastoji od betona i čelika, a tipično uključuju upotrebu slivnika, rubnika, žlijebova i kanalizacijske mreže (Eckart i sur., 2017; Xu i sur., 2019). S obzirom na prethodno spomenute

izazove, postojeća infrastruktura nije uvijek u stanju nositi se s poplavama većeg intenziteta (Jha i sur., 2012.). Upravo zato je posljednjih godinama sve veći naglasak na uvođenju zelene infrastukture, koja za razliku od sive uključuje prakse koje se temelje na održivosti, poput uvođenja zelenih krovova, propusnih kolnika i kišnih vrtova koji mogu smanjiti količinu oborinske vode koja ulazi u sustav odvodnje (Dong i sur., 2017). Osnovni cilj zelene infrastukture je povratak slivova u hidrološke uvjete prije urbanog razvoja, odnosno oponašati prirodne hidrološke cikluse ili pak postići hidrološku neutralnost (Eckart i sur., 2017).

Zelena infrastruktura obuhvaća različite nomenklature i sustave, a u ovom radu je naglasak na LID sustavu (tzv. *Low Impact Development*). LID sustav je ekološki utemeljen pristup upravljanju oborinskim vodama čiji je cilj održati hidrološki sustav lokacije prije urbanizacije i to korištenjem tehnika infiltracije, filtracije, pohranjivanja i isparavanja oborinske vode koje otiču blizu njegova izvora. Suprotno tradicionalnom pristupu koji kanalizira otjecanje vode putem cijevi, bazena, rubnika i oluka, LID sustav uklanja onečišćenje vode kroz mrežu različitih implementiranih LID elemenata. Cilj ovog sustava nije samo minimizirati utjecaj, već razviti regenerativne i produktivne urbane krajolike koji kontinuirano obnavljaju funkcioniranje ekosustava (UACDC, 2010).

Cilj ovoga rada je analizirati područja plavljenja naselja Kukci u Poreču-Parenzo te na temelju toga procijeniti utjecaj implementacije dva različita pristupa ublažavanju poplava. Jedno rješenje je izgradnja retencije, a drugo rješenje je implementacija LID elemenata u svrhu povratka hidrološkog režima na prirodno stanje slivnog područja.

2. POSTOJEĆE STANJE I PRIKAZ OBUHVAĆENOG PODRUČJA

U okviru ovog rada izrađen je matematički model oborinske odvodnje za naselje Kukci koje je sastavni dio grada Poreča-Parenzo. Naselje Kukci je na zadnjem popisu stanovništva 2021.g. imalo 526 stanovnika. Ovo se naselje nalazi na sjevero-istočnom dijelu grada Poreča-Parenzo. Grad Poreč-Parenzo smješten je na sjevero-zapadnom dijelu poluotoka Istre točnije na 45.2258 stupnjeva sjeverne geografske širine i 13.593 stupnjeva istočne geografske dužine (Slika 1). Prema zemljopisno-povjesnoj lokaciji, grad Poreč-Parenzo se pruža od južnog dijela Vrsara i Funtane sve do rijeke Mirne na sjevernom dijelu, ukupno obuhvaćajući površinu od 142 km² te obalu dužine 37 km.



Slika 1. Položaj grada Poreča-Parenzo na karti Hrvatske

Područje Poreča-Parenzo uključujući naselje Kukci nalazi se na vapnenačkoj podlozi, te te na ovom području pretežito dolazi do nakupljanja zemlje crvenice. Nadmorska visina naselja Kukci kreće se od 32 m.n.m. do 88 m.n.m. Klima grada Poreča-Parenzo je mediteranska, vrlo je blaga te je pod utjecajem mora. Najtopliji mjesec u godini je kolovoz s prosječnom temperaturom od 30 stupnjeva. Glavna obilježja mediteranske klime su topla i pretežito sušna ljeta bez padalina, a sam grad Poreč-Parenzo broji više od 3850 sunčanih sati godišnje. Karakteristični vjetrovi ovoga kraja

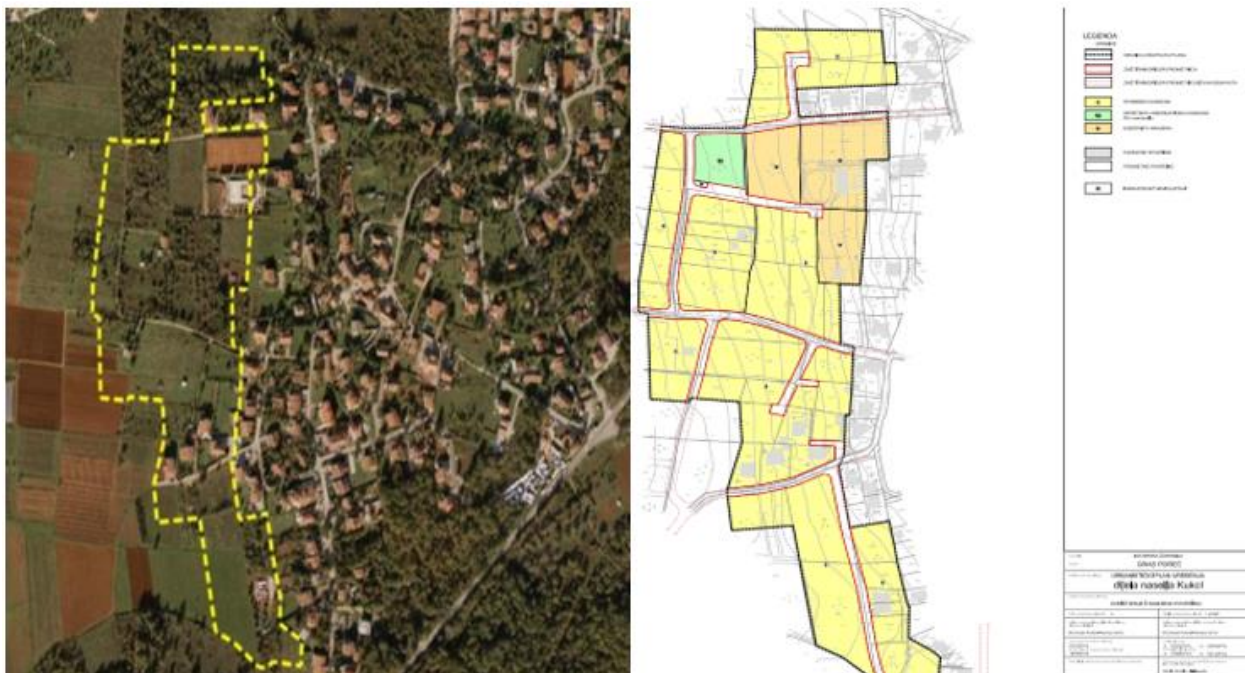
su bura, jugo i maestral. Sjeveroistočni vjetar bura hladan je vjetar i u većini slučajeva donosi sunčano vrijeme. Nadalje, ugodan ljetni vjetar maestral puše sa sjeverozapada. Uz to, u hladnijem dijelu godine češći vjetar je jugo koji puše sa jugoistoka te je najčešće popraćen oblacima i kišom. Temperatura mora u zimskom period kreće se oko 14 stupnjeva, a u ljetnom može doseći i 28 stupnjeva.

3. PREGLED PROSTORNO PLANSKE DOKUMENTACIJE

3.1. UPU Kukci

Urbanistički plan naselja Kukci (SGGPP 03/2015) izrađen je u skladu sa zahtjevima i ciljevima šireg područja odnosno prostornog plana uređenja Grada Poreča-Parenzo (SGGPP, 14/02, 08/06, 07/10, 8/10). Cilj urbanističkog planiranja je poboljšanje kvalitete života stanovnika stvaranjem strategija za upravljanje i poboljšanje urbanih infrastruktura. Planom se utvrđuje osnovna podjela prostora po namjeni uz uvjete njegovog uređivanja, infrastrukturni sustav građevina i koridora te mjere unapređivanja i zaštite okoliša. Urbanistički plan naselja Kukci podjeljen je na površine sljedećih namjena: na površine stambene namjene (S), mješovite namjene (M), sportsko rekreacijske namjene (R2), pješačke i prometne namjene. Površine stambene namjene zauzimaju 75% ukupnog prenamjenjenog djela urbanističkim planom. Namjenjene su rekonstrukciji i novogradnji građevina isključivo stambene namjene na vlastitim građevnim česticama. Zatim sljede površine mješovite namjene s udiom od 10% ukupnog prenamjenjenog djela. Građevine gospodarsko-poslovne, stambene, društvene i javne namjene mogu se naći na površinama mješovite namjene. Nadalje, površina sportsko rekreacijske namjene zauzima 5% površine obuhvaćene urbanističkim planom. Unutar sportsko rekreacijske zone mogu se uređivati i graditi otvorena sportska, dječja i rekreacijska igrališta. Naposljetku preostaju površine pješačke i prometne namjene koje čine 10% od ukupnog prenamjenjenog djela. UPU-a Kukci predviđa se proširenje površina stambene namjene kao što je prikazano na slici 2.

Dodati jednu rečenicu u smislu da je prema UPU Kukci, karti namjene površina, predviđeno proširenje stambene namjene, što je prikazano na slici 2. Može se dodati I slika karte namjene površina direktno iz UPU-a, pored slike 2.



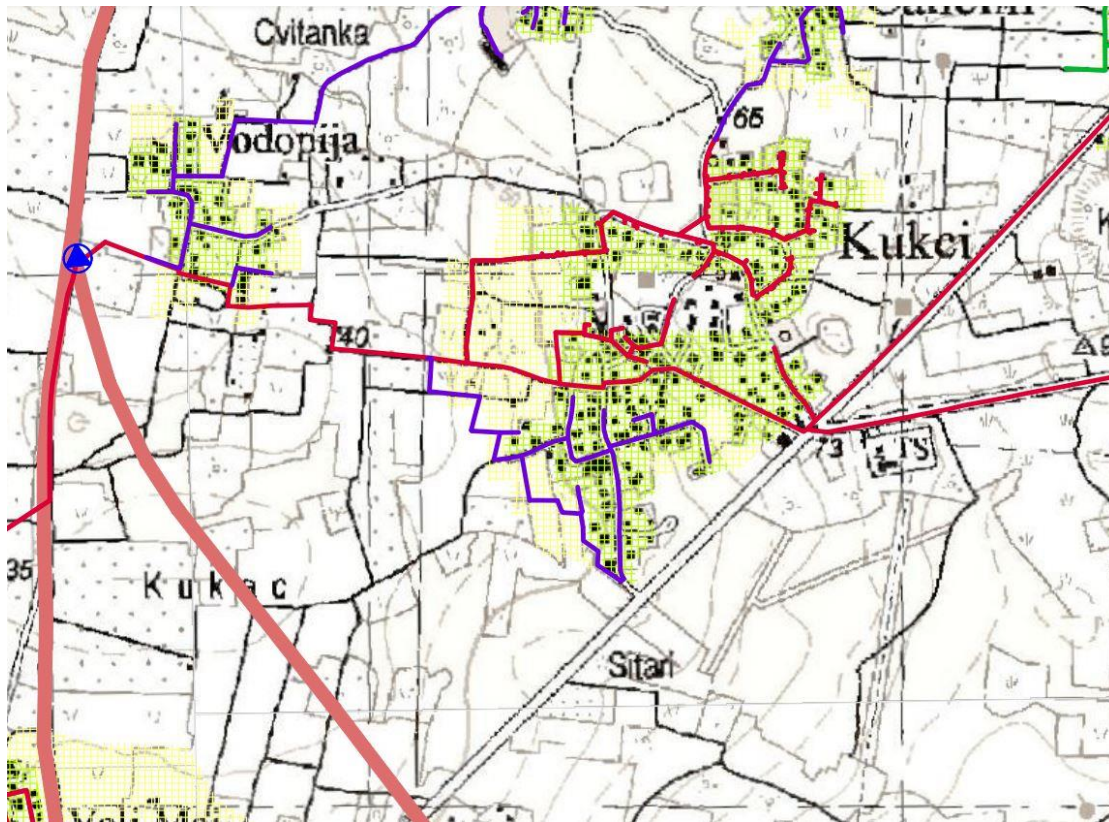
Slika 2. Obuhvat urbanističkog plana i prikaz karte namjene površina Kukci (SGGPP 03/2015)

3.2. Kanalizacijska mreža

Analizirano područje naselja Kukci omeđeno je sljedećim prometnicama: državnom cestom 75 (Savudrija-Pula), županijskom cestom 5042 (Špadići-Karojba) i županijskom cestom 5041 (Kukci-Vižinada).

Postojeća kanalizacijska mreža na ovom području uzeta je u obzir kao temeljni dio modela odvodnje oborinskih voda. Postojeća kanalizacijska mreža spada u mješoviti tip kanalizacijskog sustava. Mješoviti tip kanalizacije odnosi se na sustav u kojem se otpadne i oborinske vode odvođe zajedničkim kanalima i kolektorima. Ovaj tip kanalizacije spada u najjeftiniju izvedbu odvodnje zato što je potrebna samo jedna kolektorska mreža. Drugi osnovni tip kanalizacijskog sustava je razdjelni tip u kojem su kolektori oborinske vode i otpadne vode odvojeni. Iako je ovaj tip kanalizacijske mreže u ekonomskom smislu skuplji, u tehničkom pogledu je povoljniji jer su oba sustava za odvodnju maksimalno prilagođena karakteristikama pojedinih vrsta voda.

Iako postojeća kanalizacijska mreža pripada mješovitom tipu, u nastavku ovog rada pretpostavljeno je da se radi o razdjelnom tipu kanalizacijske mreže jer se cilj ovog istraživanja temelji na odvodnji oborinskih voda.



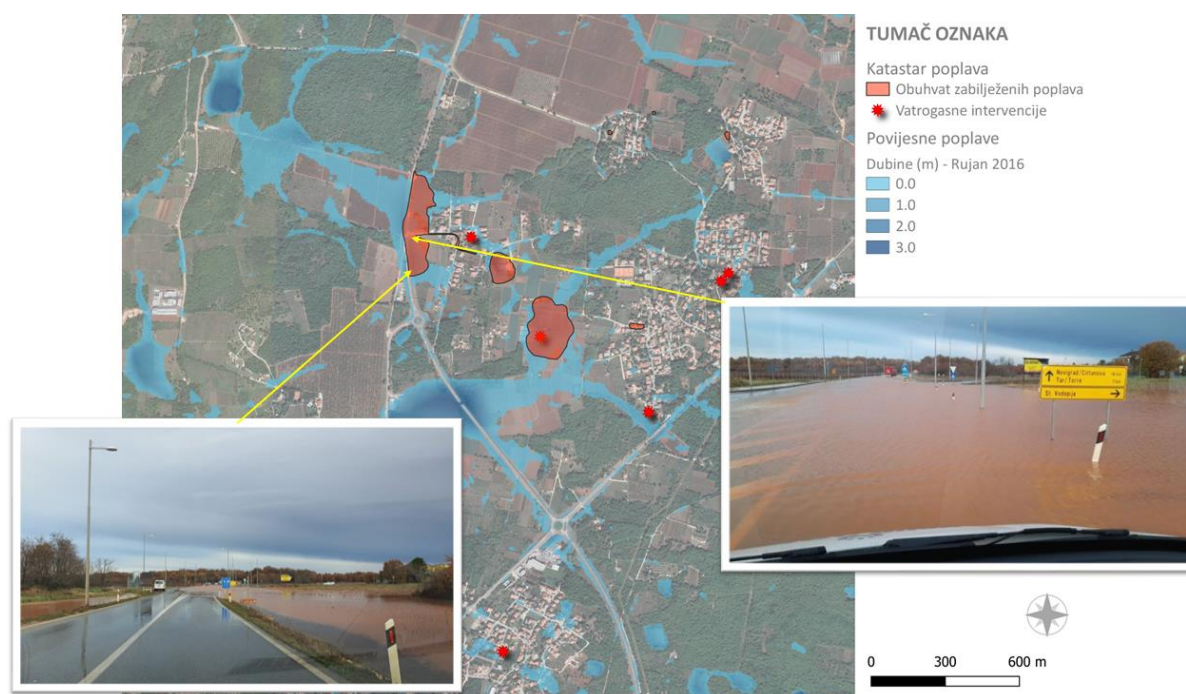
Slika 3. Kanalizacijska mreža naselja Kukci (detalj iz UPU Kukci ili PPUG Poreč)

Na Slici 3. prikazana je kanalizacijska mreža. Crvenom linijom označen je trenutni kanalizacijski sustav odvodnje (mješoviti sustav), a plavom linijom plan buduće izgradnje sanitarne i oborinske kanalizacijske mreže. Također je u nastavku rada predstavljen detaljan prikaz odvodnje otpadnih voda predviđenog urbanističkim planom uređenja naselja Kukci.

3.3. Postojeći problem s poplavama od jakih oborina

Nedavno je u okviru projekta STREAM provedena analiza pluvijalnih poplava na šest pilot područja u Hrvatskoj, međuostalim i na širem području Grada Poreča-Parenzo (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.). U okviru ovog projekta izrađene su karte opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava. Na Slici 4. dan je detalj karte opasnosti od poplava koji prikazuje dubine vode za malu vjerojatnost pojave s obuhvatom zabilježenih poplava na području naselja Kukci i Stancija Vodopija. Može se primijetiti značajno plavljenje na poljoprivrednim površinama jugozapadno od naselja Kukci prema Porečkoj obilaznici (D75), koja je nastala kao rezultat povećane izgradnje posljednjih nekoliko godina (kombinacije neadekvatne oborinske odvodnje i

intenzivne urbanizacije) te neodgovarajuće komunalne infrastrukture (dimenzije propusta ispod prometnice D75).

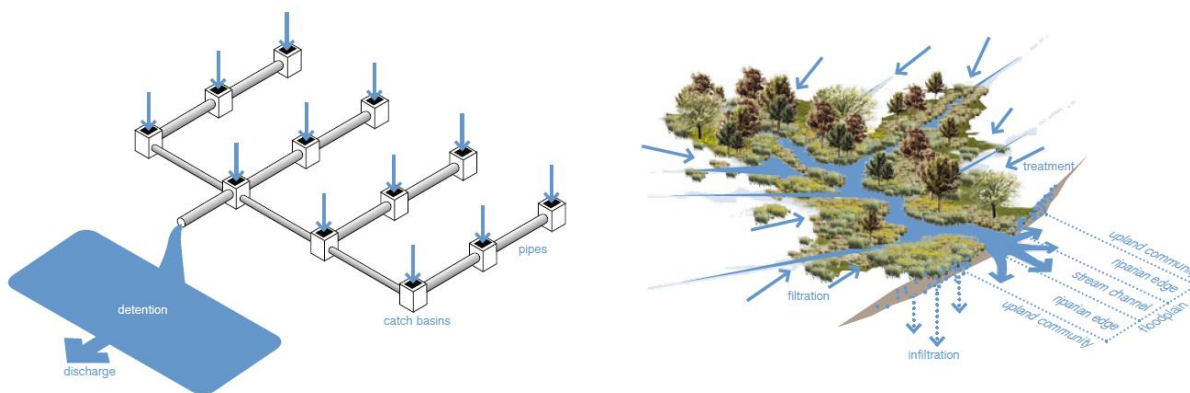


Slika 4. Detalji karte opasnosti od poplava dijela naselja Poreč-Parenzo (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.)

4. ZELENA INFRASTRUKTURA

Urbanizacija, klimatske promjene i ekološki problemi potiču razvoj novih strategija za upravljanje oborinskim vodama. Urbano upravljanje oborinskim vodama važan je dio svakog razvoja zbog svog značajnog ekološkog, ekonomskog i društvenog utjecaja. Visoka stopa urbanizacije diljem svijeta i sve očitiji učinci klimatskih promjena dva su glavna faktora koji doprinose prekomjernom otjecanju s kojim se konvencionalni sustavi upravljanja oborinskih voda ne mogu adekvatno nositi. Tradicionalan pristup upravljanju oborinskih voda uključuje korištenje slivnika, žljebova, cjevovoda, okna za prijenos oborinske vode kroz centralizirani sustav. Takav prijenos oborinskih voda u urbanim područjima zajedno s povećanjem nepropusnih površina rezultira povećanom vršnom protoku, smanjenom vremenu koncentracije, smanjenim stopama infiltracije i posljedičnim smanjenim protokom podzemne vode. Ovaj pristup sive infrastrukture u posljednjim

godinama nadograđuje se uvođenjem zelene infrastrukture koja značajno uravnotežuje hidrološke procese. Zelena infrastruktura definirana je kao strateški dizajnirana mreža prirodnih i poluprirodnih područja. Zelena infrastruktura predstavlja niz mjera koje koriste sustave biljaka i tla, sustave za skladištenje, infiltraciju ili isparavanje oborinske vode kako bi se smanjili dotoci vode u kanalizacijski sustav (Slika 5.). Uz to, ovim pristupom se pokušava uključiti što više zelenih površina u urbano planiranje kako bi se maksimizirala njihova korist.



Slika 5. Usporedba tradicionalnog pristupa odvodnje i zelene infrastrukture (UACDC, 2010)

Pojam zelene infrastrukture u literaturi obično se može pronaći pod nazivom LID sustav (tzv. *Low Impact Development*), BMP sustav (*Best Management Practices*), SUSUD (*Sustainable Urban Drainage Systems*), WSUD (*Water-Sensitive Urban Design*), LIUDD (*Low-Impact Urban Design And Development*).

U ovom radu glavni je naglasak na LID sustavima. Ugradnjom LID sustava prvenstveno se teži razvijena slivna područja vratiti u stanje prije urbanizacije i time oponašati prirodne hidrološke cikluse.

Unutar LID sustava postoje LID elementi koje se odnose na postupke dizajnirane za prihvatanje površinskog otjecanja i pružanja neke kombinacije zadržavanja, infiltracije i evapotranspiracije. LID elementi se smatraju svojstvima određenog podsliva te određenom podslivu daju nove karakteristike.

Tipični primjeri kontrole oborinskih voda koji se koriste u LID sustavima uključuju zelene krovove, kišne vrtove, bioretencije, kanale za natapanje, propusne kolnike, infiltracijski jarci, jezera, bačve za kišu/cisterne te odspajanje odvodnih cijevi. U nastavku će biti opisani osnovni

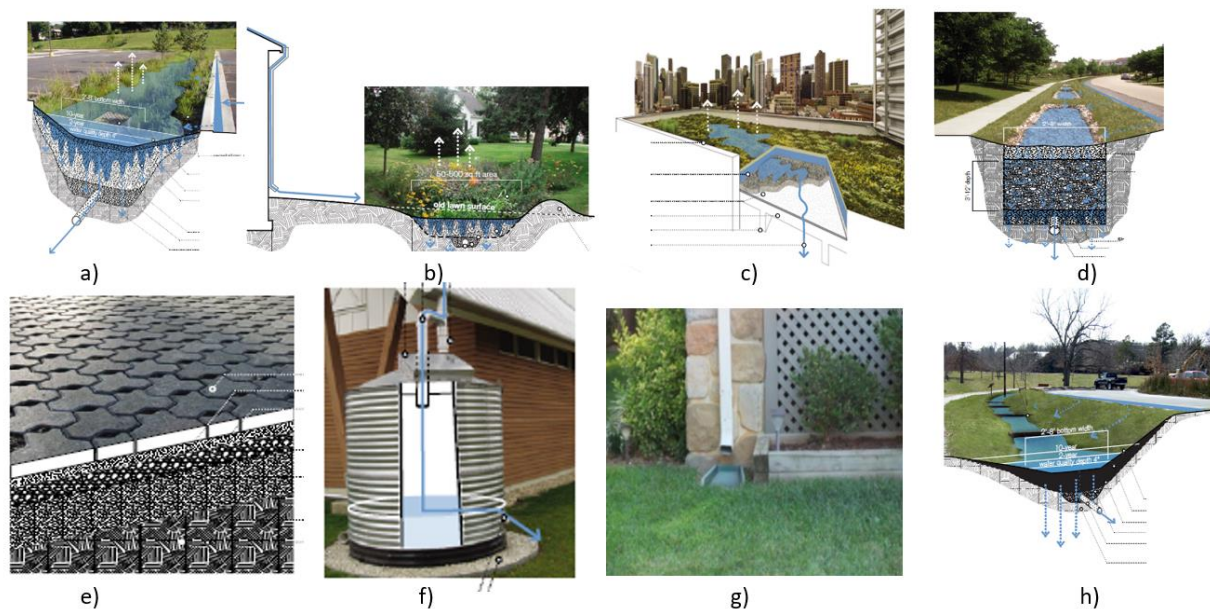
tipovi LID elemenata koje je moguće uključiti i modelirati u okviru računalnog programa SWMM koji je korišten u nastavku ovoga rada.

Jedan od tipičnih LID elemenata koji se mogu generirati jesu bioretencije, udubine koje sadrže vegetaciju uzgojenu u mješavini tla postavljenoj iznad šljunčanog drenažnog sloja. Ove bioretencije omogućuju skladištenje, infiltraciju i ispravljanje izravnih oborina kao i otjecanja prikupljena iz okolnih područja (Slika 6a).

Sljedeći LID element jesu kišni vrtovi koji su zapravo jedna vrsta bioretencije, no sastoji se samo od sloja tla bez šljunčanog sloja ispod njega (Slika 6b). Uz to, još jedna vrsta bioretencije su zeleni krovovi koji imaju sloj zemlje iznad posebnog materijala za drenažu koji odvodi višak kiše s krova (Slika 6c).

Osim toga, modelirati se mogu i infiltracijski jarci koji su ispunjeni šljunkom koji zaustavlja otjecanje s nepropusnih površina niz padinu. Oni osiguravaju volumen za skladištenje i omogućuju dodatno vrijeme da se otjecanje infiltrira u prirodno tlo ispod (Slika 6d).

Postoje i propusni kolnici koji se odnose na iskopana područja ispunjena šljunkom, a zatim popločena mješavinom poroznog betona ili asfalta (Slika 6e). Zatim postoje bačve ili cisterne za kišu koje se odnose na spremnike za sakupljanje vode s krovnih površina te se kišnica može ili ispustiti ili ponovno upotrijebiti tijekom sušnih razdoblja (Slika 6f). Uz to, modelirati se može i odljevna cijev, odnosno cijevi kod kojih se odvodnja obavlja u prethodno uređena područja ili travnjake umjesto izravno u sustav odvodnje. Također se može odmah modelirati i krov s povezanim olucima koji se prelijevanju na prethodna područja (Slika 6g). Naposljetku, mogu se modelirati i vegetativni kanali s nakošenim stranama prekrivenim travom i drugom vegetacijom. Na taj način se usporava prijenos otjecanja i preostaje više vremena da se voda infiltrira u prirodno tlo ispod sebe. (Slika 6h).



Slika 6. Primjeri zelene infrastrukture (LID elementi): a) bioretencija, b) kišni vrt, c) zeleni krov, d) infiltracijski jarak, e) propusni kolnik f) cisterna, g) krov s povezanim olucima i h) vegetativni kanali

Projektiranje LID elemenata zahtijeva razumijevanje hidrologije, znanosti o pojavi i kretanju vode na određenom području. Početna faza mora sadržavati prirodnu hidrologiju lokacije, nizvodnu i uzvodnu povezanost, lokaciju unutar silvnog područja i vodene tokove na licu mjesta. Osim toga, razumijevanje količine oborine koja se tipično odvija u određenom području je važno za planiranje lokacije i dizajna oborinskih voda (UACDC, 2010).

U ovom radu su kao LID elementi na analiziranom području korišteni infiltracijski jarci, no u primjeni se mogu koristiti i neki od drugih prethodno navedenih oblika LID elemenata.

Infiltracijski jarci su posebno korisni za područja koja imaju slabiju drenažu tla. Otjecanje postupno prodire kroz konstruirani rov s izmijenjenim tлом tijekom razdoblja od nekoliko dana. Čestice se filtriraju dok se otjecanje oborinske vode kreće kroz medij. Osim toga, potiče se i rast algi koje služe kao digestori onečišćujućih tvari (UACDC, 2010). Općenito, infiltracijski jarci su dugi, umjereno široki i plitki. Obično se koriste za kontrolu otjecanja sa stambenih parcela, komercijalnih područja, parkirališta i otvorenih prostora poput obilaznica. Također, mogu se koristiti ispod propusnih kolnika, šetnica, pješačkih ili biciklističkih staza (Chahar i sur., 2012).

Jedan od benefita infiltracijskih jaraka jest što zahtjevaju manje održavanja ako se koriste uzvodni uređaji za pred-obradu vode poput traka za filtriranje. Uz to, kako bi se osigurala što manja mogućnost začepljenja jarka, potrebno je voditi računa da se drveća ne sade u blizini rovova

(UACDC, 2010). Općenito, učinkovitost infiltracije kod zelene infrastrukture se povećava kada se ona dobro održava i kada voda ima duže vrijeme zadržavanja unutar sustava.

14.1. Program razvoja zelene infrastrukture

Kako bi se što bolje suočilo s brojnim izazovima poput klimatskih promjena i intenzivne urbanizacije, osmišljen je Program razvoja zelene infrastrukture (Program razvoja ZI) u urbaniziranim područjima u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2021.-2030. godine. Svim članicama Europske Unije uključujući i Hrvatsku, prioritet je implementirati zelenu infrastrukturu na urbaniziranim područjima s ciljem stvaranja sustava održivosti i klimatske neutralnosti. Program razvoja ZI Republike Hrvatske uključuje strategiju prostornog planiranja implementacije zelene infrastrukture. Svrha navedenog programa je upostavljanje održivih i otpornih gradova putem povećanja energetske učinkovitosti zgrada i građevinskih područja, razvoja ZI u zgradarstvu te urbane preobrazbe. Uz to, u okviru programa razvoja ZI definirana su tri cilja. Prvi cilj se odnosi na kvalitetno planiranje i upravljanje razvojem ZI. Drugi cilj se odnosi na unaprijeđenje i širenje ZI u urbanim područjima, dok se treći cilj odnosi na razvoj visoke razine znanja i svijesti o održivom razvoju urbanih područja putem razvoja ZI.

5. METODOLOGIJA

U okviru ovog rada korišten je Quantum GIS (QGIS) program pomoću kojeg se izradio model analiziranog područja naselja Kukci. Primjenom različitih tehnika i alata opisanih u nastavku rada odredile su se potrebne karakteristike podslivova. Nakon toga slijedi hidrološko-hidraulički proračun izrađen u SWMM programu. Provedeno je 5 različitih simulacija količine otjecanja vode.

5.1. QGIS program

Quantum GIS (QGIS) je geografski informacijski sustav koji korisnicima omogućuje prikupljanje, pohranu, upravljanje i analizu svih tipova prostornih podataka. Gary Sherman započinje razvoj QGIS-a početkom 2002. g., a prva 1.0 verzija objavljena je 2009. g. QGIS izrađen je u C++ programskom jeziku te opsežno koristi Qt biblioteke. Qt je višeplatformski softver koji omogućuje kreiranje grafičkih korisničkih sučelja kao i višeplatformskih aplikacija koje podržavaju različite operacijske sustave uključujući Mac OS-x, Unix, Linux, Android i Microsoft Windows.

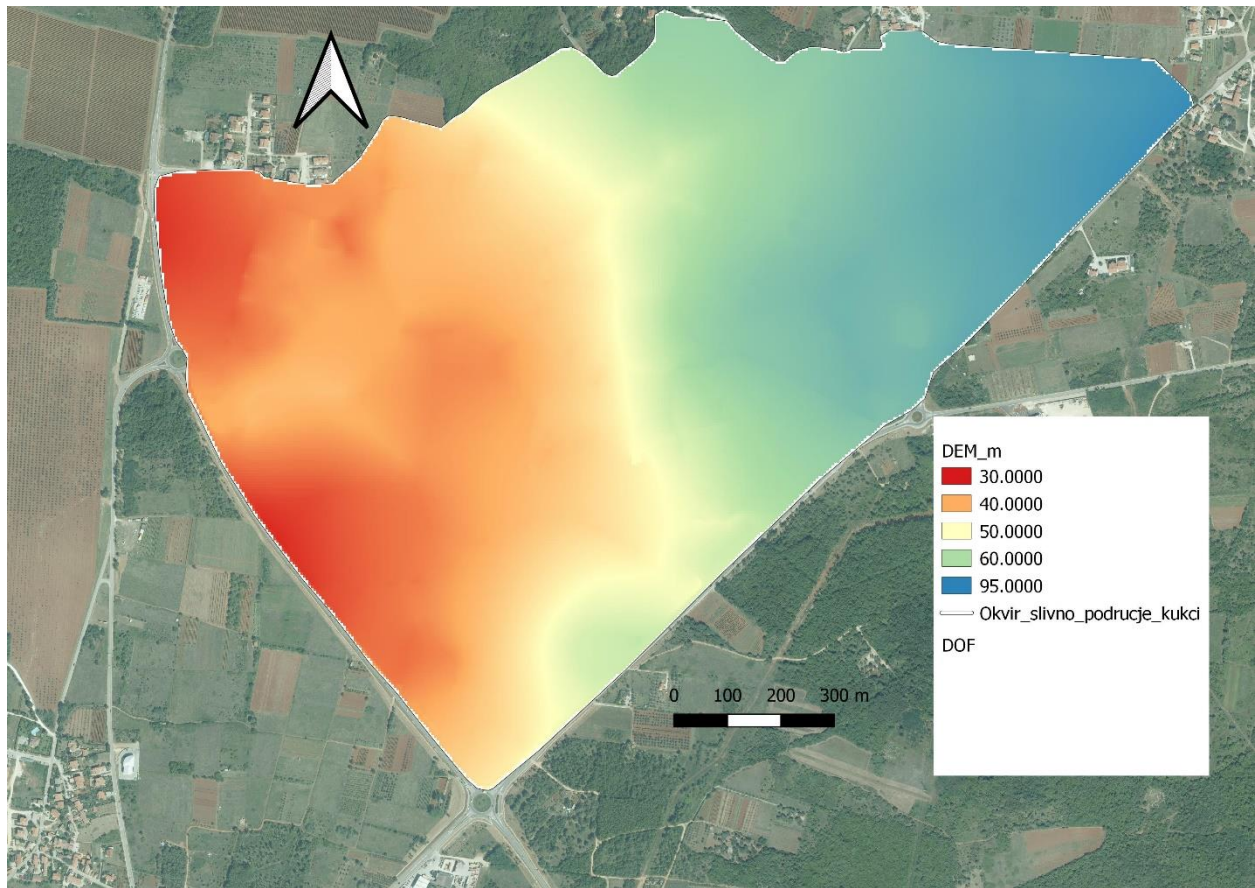
Vektorske i rasterske datoteke dvije su vrste digitalnih podataka koje se koriste u GIS-u. Vektorska datoteka sastoji se od individualnih točaka pohranjenih u obliku koordinatnih parova (x, y) u 2D ili tripleta (x, y, z) u 3D –točke mogu biti povezane određenim redoslijedom i tvoriti linije ili poligone. Svakoj značajki dodijeljen je skup atributa koji se mogu koristiti za analizu i mapiranje. Vektorske se datoteke najčešće koriste za prikaz diskretnih podataka, kao što su granice, točke interesa ili infrastrukturne mreže. Rasterske datoteke su digitalne slike ili karte koje se sastoje od mreže piksela, a svakom je pikselu pridružena vrijednost (atribut). Rasterske datoteke se obično koriste za prikaz kontinuiranih podataka, kao što su fotografije iz zraka, satelitske slike ili digitalni modeli nadmorske visine (DEM). Datoteke i vektorskog i rasterskog oblika imaju svoje slabosti i prednosti, a izbor vrste koja će se koristiti ovisi o specifičnim potrebama problemskog zadatka u GIS-u.

QGIS osmišljen je kao slobodan program pod GNU općoj javnoj licenci. GNU Opća javna licenca jedna je od najpopularnijih i najpoznatijih licenca koje se koriste za licenciranje slobodnog softvera. Održavan je od zajednice korisnika koja redovito ispravlja bugove i nadograđuje ga novim verzijama. QGIS koriste entuzijasti i profesionalci diljem svijeta u svrhe urbanog planiranja, zaštite okoliša, poljoprivrede i šumarstva.

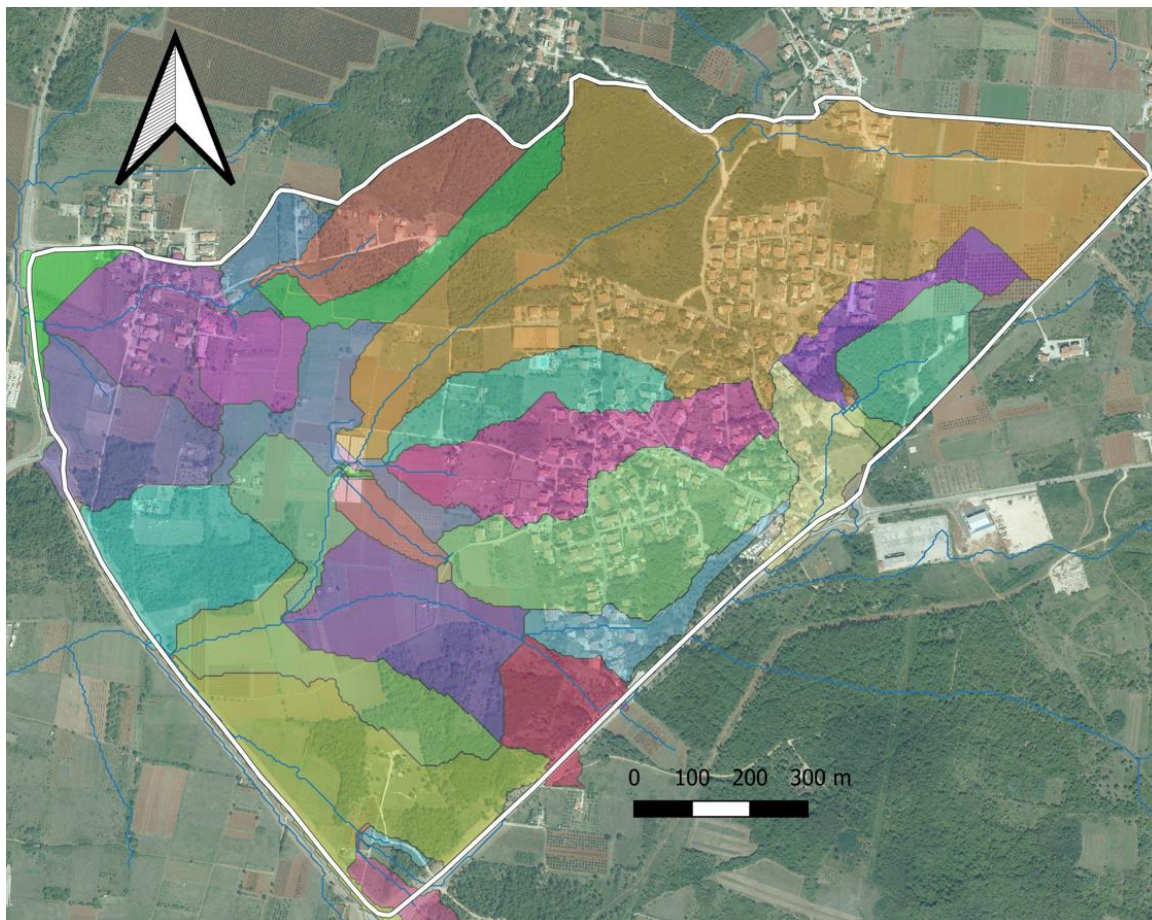
5.2. Izrada modela

Za potrebe izrade hidrološko-hidrauličkog modela oborinske odvodnje definirali su se podslivovi s pripadajućim karakteristikama tla uz pomoć QGIS programa. U izradi modela koristile su se sljedeće rasterske datoteke: digitalni model terena (*DMT*), namjena korištenja zemljišta, CN broj, Maningov koeficijent hrapavosti, IMD-nepropusnost podloge. U prvoj fazi pomoću *DOF* podloge i *DEM* podloge na obuhvaćenom području trebalo je odrediti slivna područja. *DOF* (engl. *Digital Orthophoto*) je računalno generirana geografska slika fotografije iz zraka.

DEM (*Digital Elevation model*) digitalni model terena podatkovni je sloj koji sadrži nadmorske visine zemljine površine te time omogućuje provođenje različitih analiza povezanih sa reljefom. Digitalni model terena rasterski je tip podatkovnog sloja, a u ovoj analizi korišten je *DEM* rezultacije 5m dobiven iz fotogrametrijske restitucije izrađen u okviru projekta STREAM (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.). Na slici 7. Prikaza je digitalni model terena naselja Kukci. Za delinaciju slivova i identifikaciju putanje otjecanja vode koristio se GRASS model i alat *r.watershed*. Ovaj alat se uobičajeno koristi za izračun hidroloških parametara kao i revidiranih univerzalnih jednadžba gubitka tla (*RUSLE* faktore). *R.Watershed* alat uobičajeno generira skup mapa koji pokazuju akumulaciju protoka, smjer odvodnje te lokaciju protoka i slivova. Slika 8. prikazuje analizirano područje naselja Kukci te dobivene površine podslivova sa pripadajućim smjerom otjecanja vode. Analizirano područje naselja Kukci sadrži 30 slivnih područja koja su prikazana različitim bojama, a plavim linijama su prikazani smjerovi (putanje) otjecanja vode sa podslivova.



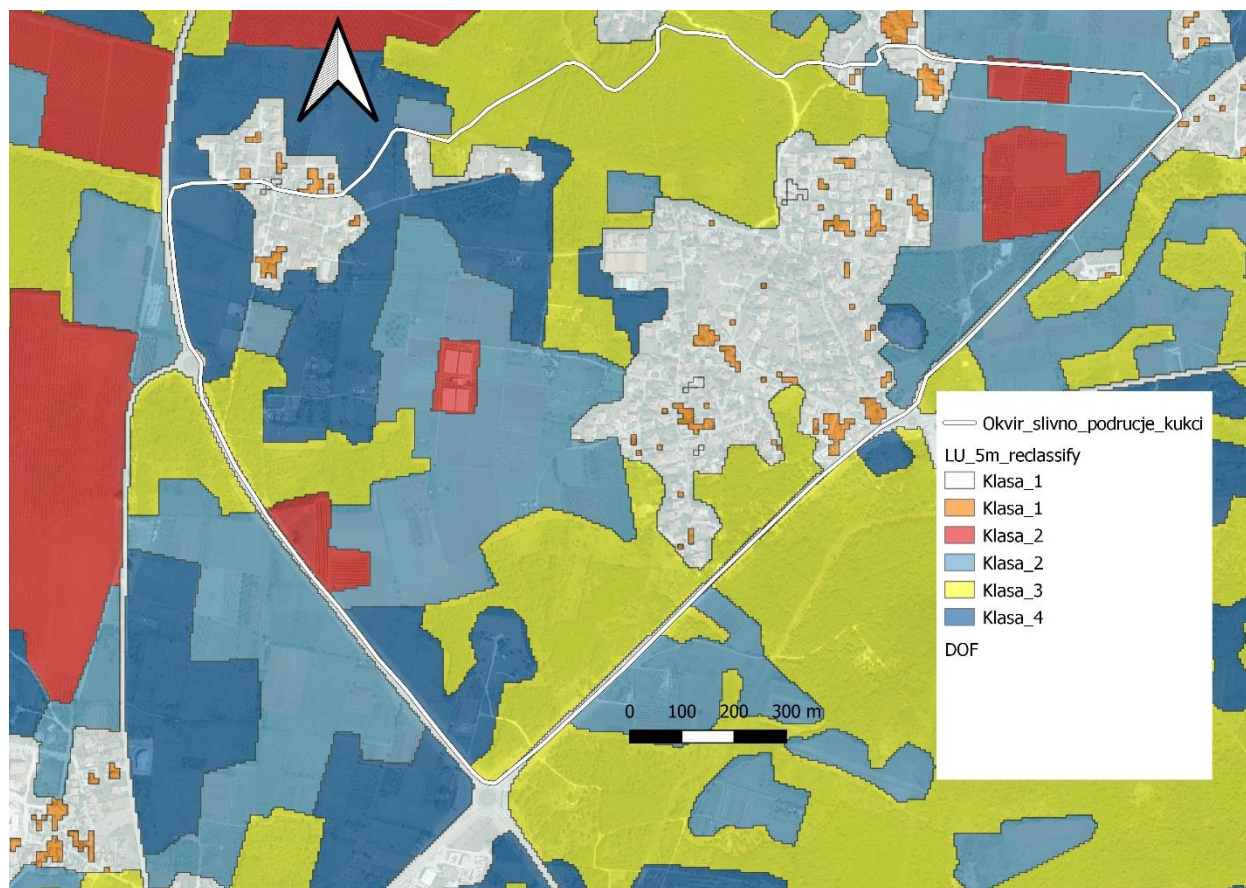
Slika 7. Digitalni model terena naselja Kukci



Slika 8. Jedinственe oznake za svaki sliv i putanja otjecanja vode

Sljedeći bitan korak je uvid u kartu namjene i korištenja zemljišta prilagođena procjeni rizika od poplava za grad Poreč-Parenzo, koja je također izrađena u okviru projekta STREAM (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.). Navedena podloga rasterskog je tipa rezolucije 5 m te je podjeljena u 8 klasa: 1. Izgrađene površine, 2. Poljoprivredne površine, 3. Šume i visoka drvenasta vegetacija, 4. Travnjaci, 5. Vrištine i šikare, 6. Kopnena gola ili oskudno obrasla područja, 7. Vlažna staništa, 8. Vodene površine. Svakoj su klasi dodjeljeni odgovarajući bodovi ovisno o procjeni rizika od poplava odnosno opasnosti poplave na određenoj namjeni zemljišta. U okviru analiziranog područja naselja Kukci evidentirale su se 4 različite klase. Klasa jedan, odnosno Izgrađene površine na Slici 9. su prikazane bijelom i narančastom bojom, s time da su narančastom bojom prikazane kontinuirane urbane površine s nepropusnošću većom od 80%. U klasu broj dva spadaju poljoprivredne površine te su prikazane svijetlo plavom i crvenom bojom. Uz to, crvenom

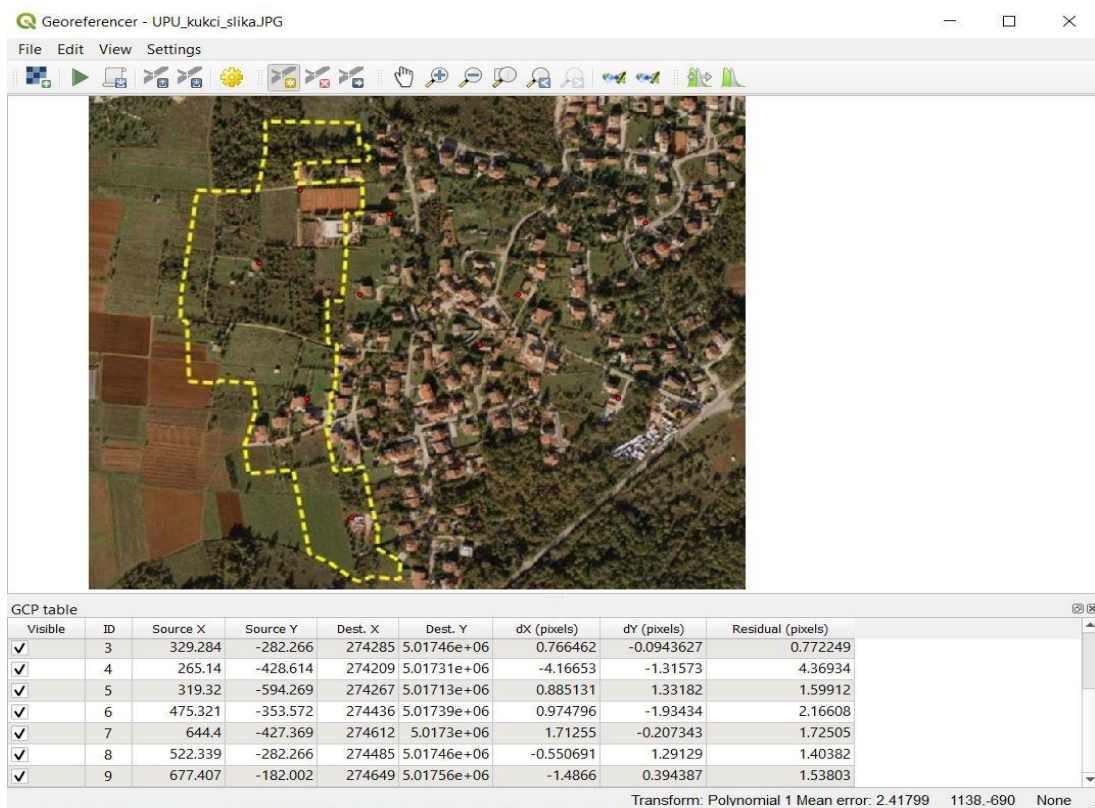
bojom prikazane su površine plastenika i stalnih nasada. Nadalje, žuta boja prikazuje 3. klasu, odnosno površine šuma i visoke drvenaste vegetacije. Posljednja, 4. klasa označena je modro plavo bojom te se odnosi na travnjake.



Slika 9. Klase namjene zemljišta unutar analiziranog područja

5.3. Georeferenciranje dijela UPU-a naselja Kukci

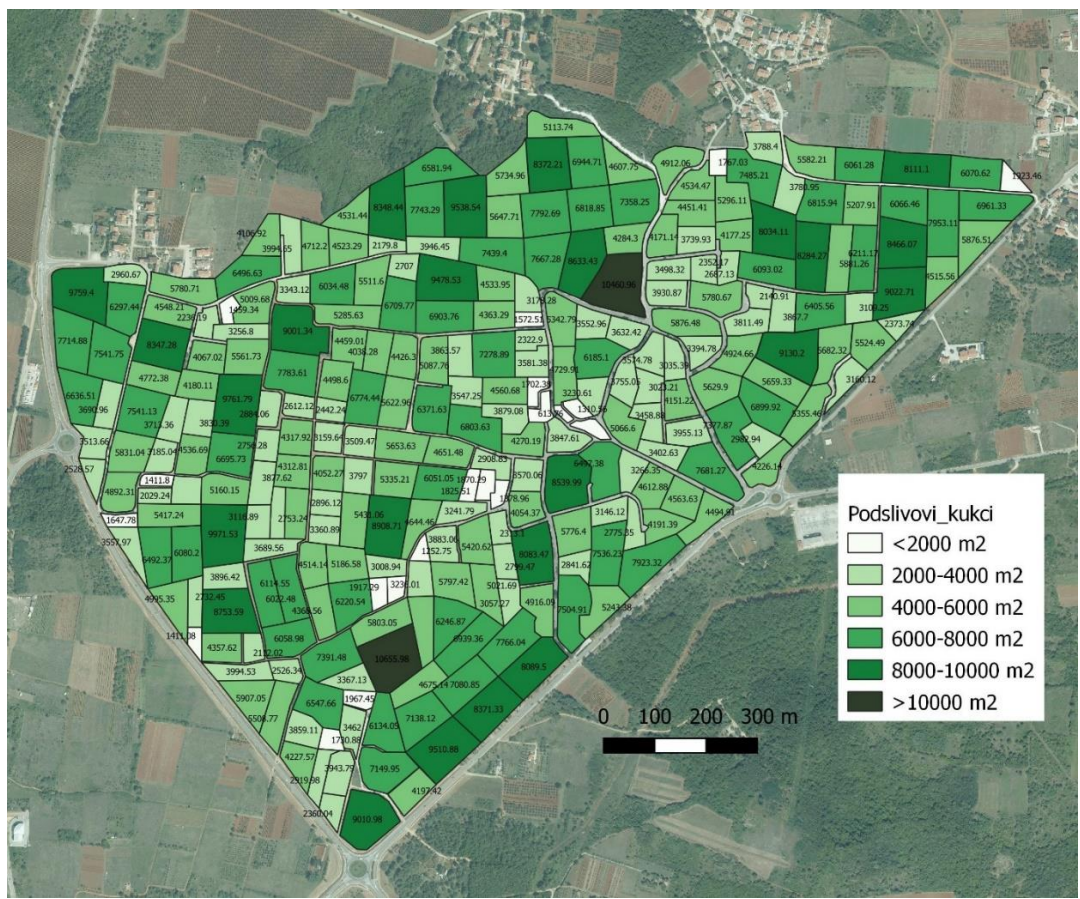
Postupak dodjeljivanja stvarnih geografskih koordinata raster slikama koje nemaju podatke o prostornim referencama naziva se georeferenciranje. Rasterska slika u ovome slučaju odnosi se na kartografski prikaz korištenja i namjene površina donesene urbanističkim planom uređenja dijela naselja Kukci. Kao referentni raster koristio se *DOF* dostupan putem *WMS* servera. *WMS* (web map service) je geoprostorna internet usluga koja korisnicima omogućuje pristup i pregled karata bez pohrane podataka na računalo. Opcijom *from Map Canvas* izvršilo se povezivanje kontrolnih točaka rasterske slike (ne-georeferenciranog rastera) iz Georeferencera direktno s koordinatama referentnog rastera (georeferenciranog) prikazanom u glavnom QGIS prozoru. Postupak je započeo odabirom 10 kontrolnih točaka koje su postavljene diljem rasterske slike kako bi se osiguralo što točnije poravnavanje. Sve su kontrolne točke postavljene na položaj koji se precizno može utvrditi (rubovi krovova kuća, križanje ulica itd.). Odabranim su se točkama dodjelile geografske koordinate iz referentnog *DOF* rastera. Slika 10. prikazuje prozor alata georeferencera te je žutom isprekidanom linijom označen dio koji će se urbanizirati, a crvenim točkama označene su kontrolne točke. Na tablici ispod učitane rasterske slike pohranjene su koordinate kontrolnih točaka, te su izračunate greške u X i Y smjeru svake odabrane točke. Također je vidljiva ukupna srednja greška pri izvedbi georeferenciranja slike (*mean error*).



Slika 10. Georeferenciranje dijela UPU-a naselja Kukci

5.4. Karakteristike podslivova

Podsliv je diskretno područje unutar većeg sliva ili drenažnog bazena koji dovodi vodu do određene točke, npr. kao odvod oborinske vode ili potok. Slivno područje naselja Kukci podjeljeno je na 288 podslivova. Pri crtanju podslivova uzimala se u obzir najveća duljina na podslivu koja ne smije prelaziti 150 metara. Podslivovi su se odredili na način da čine površine koje su omeđene granicama parcela i prometnicama, a pazilo se i na obuhvat istoimene klase zemljišta. Podslivovi naselja Kukci različitih su površina te su podjeljeni u 6 klasa koje će biti opisane u nastavku. Prvu klasu čine podslivovi površina manjih od 200 m². U drugu klasu spadaju podslivovi površina između 2.000 i 4.000 m². Nadalje, podslivovi kojiima površine iznose između 4.000 i 6.000 m² spadaju u treću klasu. Četvrtu klasu čine podslivovi površina od 6.000 do 8.000 m², a podslivovi pete klase su oni kojima je površina između 8000 i 10.000 m². Posljednju klasu čine slivovi površine veće od 10.000 m². Svakoj je klasi dodjeljena odgovarajuća boja, odnosno linearno se povećava intenzitet zelene boje s prelaskom u sljedeću veću klasu. Na slici 9. nalaze se navedeni podslivovi.

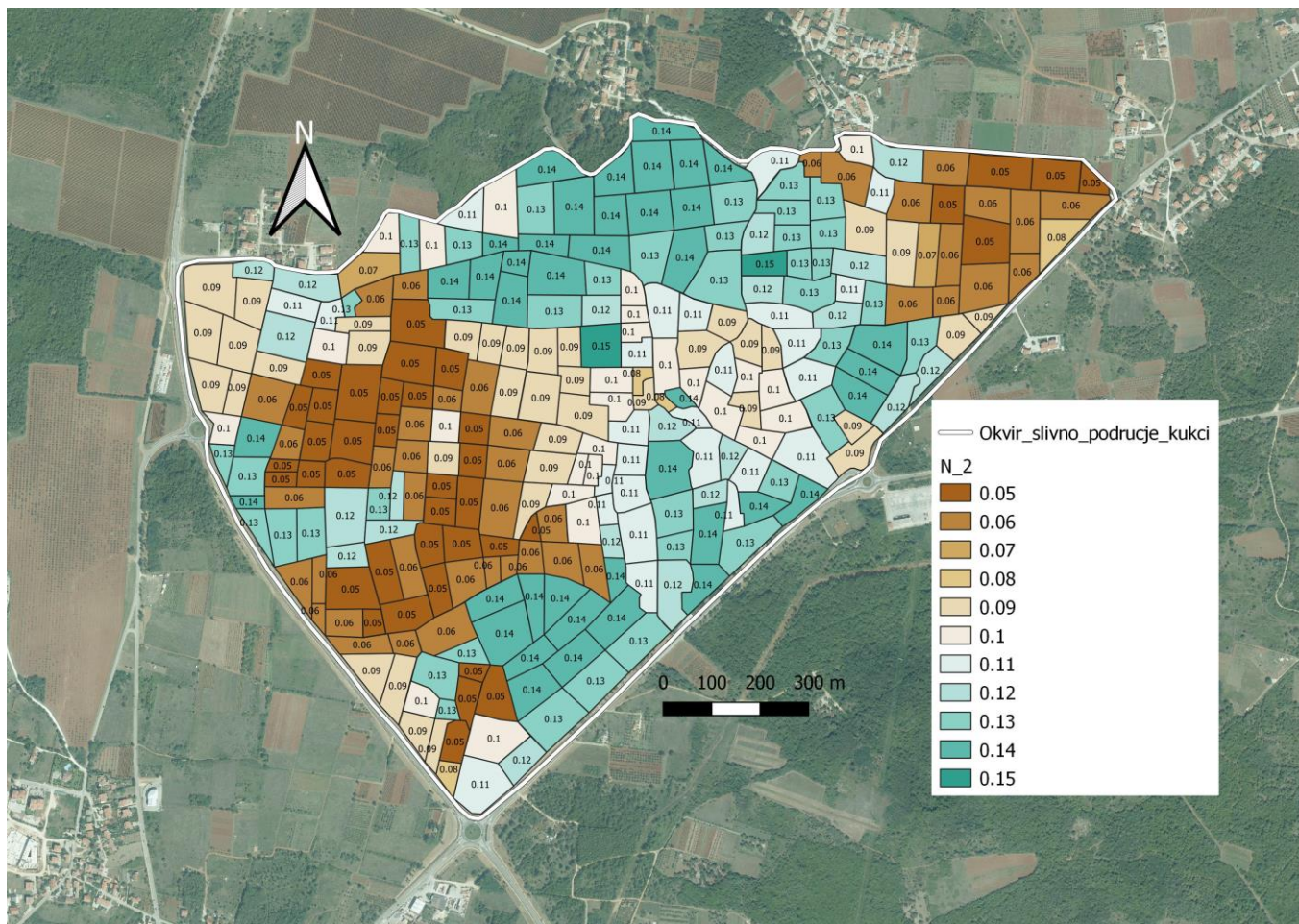


Slika 11. Prikaz površina podslivova analiziranog područja naselja Kukci

5.4.1. Manningov koeficijent

Manningov koeficijent hrapavosti n , parametar je koji se koristi u hidraulici otvorenog kanala za opisivane otpora kanala na protok vode ili druge tekućine. Naziv je dobio po irskom inženjeru Robertu Manningu koji ga je prvi put predstavio sredinom 19. st. Manningov koeficijent obično se određuje eksperimentalno ili procjenjuje na temelju empirijskih vrijednosti za različite vrste kanala ili cijevi.

U kontekstu podslivova, koji su manja područja unutar sliva ili drenažnog bazena, Manningov koeficijent se koristi za definiranje hrapavosti podloge ili vegetacijskog pokrova, kao i svih umjetnih obilježja poput cesta ili objekata koji mogu utjecati na protok vode preko podslivnog područja. To je važan parametar u hidrološkom modeliranju i upravljanju oborinskim vodama, budući da utječe na brzinu i smjer otjecanja vode, što zauzvrat utječe na predviđanje poplava, kontrolu erozije i dimenzioniranje odvodnje. Vrijednost Manningovog koeficijenta ovisiti će o karakteristikama površine, kao što su tip vegetacije, hrapavost površine i korištenje zemljišta. Važno je napomenuti da je Manningov koeficijent empirijski parametar i može varirati ovisno o lokalnim uvjetima i specifičnom podslivu koji se analizira. Stoga se preporučuje korištenje mjerenja ili kalibriranih vrijednosti za točne rezultate u hidrološkom i hidrauličkom modeliranju. Općenito, veći Manningov koeficijent predstavlja hrapaviji kanal ili cijev, što će rezultirati većim otporom protoku i manjim brzinama za isti nagib i protok. Nasuprot tome, niži Manningov koeficijent predstavlja glatkiji kanal ili cijev, što će rezultirati nižim otporom protoku i većim brzinama za isti nagib i protok.



Slika 12. Trenutno stanje Maningovih koeficijenta hrapavosti

Slika 10. Dobivena je pomoću rasterske podloge Maningovog koeficijenta hrapavosti na području grada Poreča-Parenzo. Alat korišten za prikaz Maningovog koeficijenta hrapavosti na pojedinom podslivu je Zonala Statistika (*Zonal Statistics*). Zonalna statistika omogućuje izračun različitih statističkih mjera vrijednosti prikazanih rasterom unutar pojedine zone kao što su srednja vrijednost, minimum, maksimum, standardna devijacija itd. U ovom slučaju zonu na kojoj se izračunava srednja vrijednost Maningovog koef. hrapavosti čine površine nacrtanih podslivova. Površine podslivova definiraju se kao poligoni te su pohranjeni u vektorskom obliku. Na slici 12. različite vrijednosti Maningovog koef. hrapavosti prikazane su različitim bojama. Vrijednosti se kreću od minimalne 0.05 prikazane smeđom bojom te do max. vrijednosti 0.15 prikazane zelenom bojom.

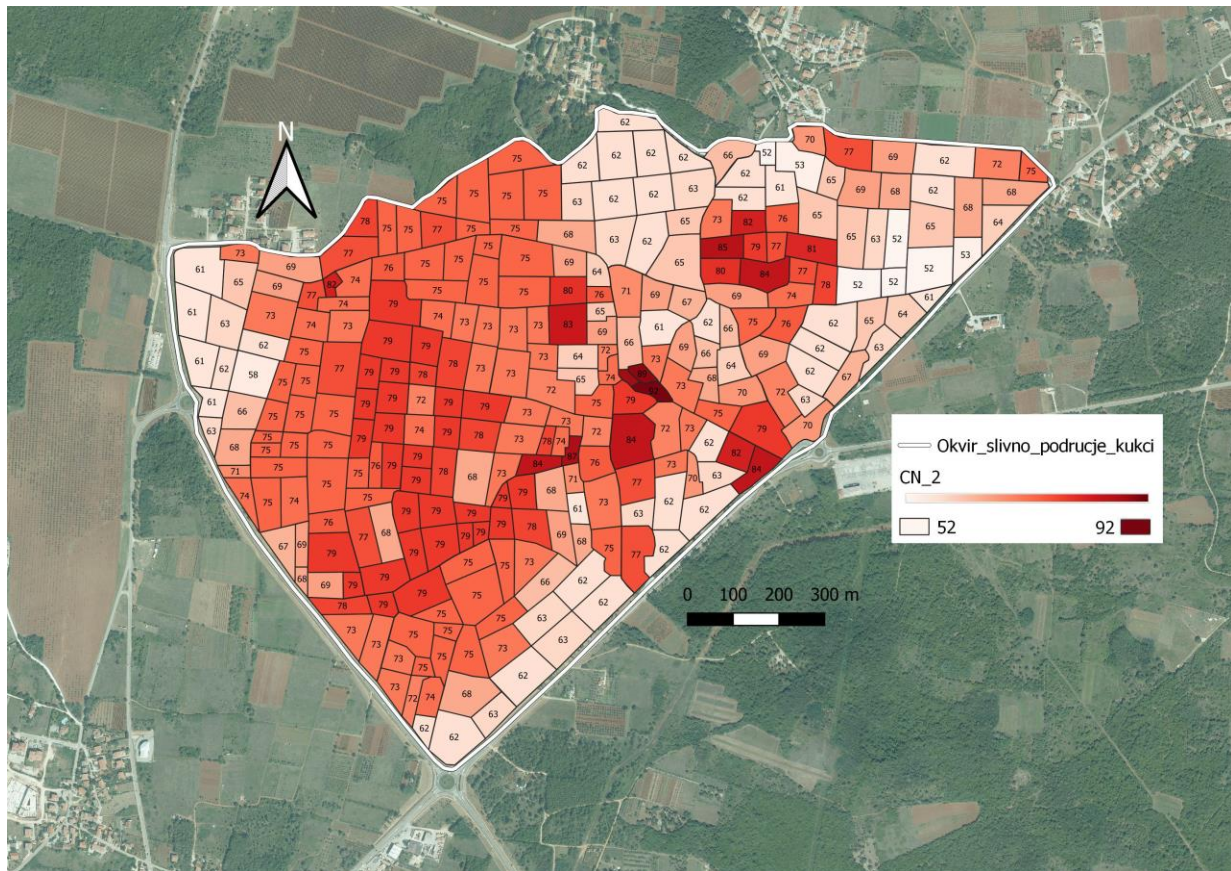
Teško je reći da određena vrijednost maningovog koeficijenta predstavlja određen tip podloge ali se na temelju namjene zemljišta i DOF podloge može reći da se vrijednosti oko 0.05 odnose na poljoprivredna zemljišta, vrijednosti oko 0.1 na urbanizirane dijelove, a vrijednosti od oko 0.15 na šume.

Na temelju tih podataka odredili su se maningovi koeficijenti hrapavosti za stanje podslivova prije izgradnje (povjesno stanje) i za buduće stanje nakon provedene urbanizacije donesene urbanističkim planom uređenja naselja Kukci. Za povjesno stanje usvojila se vrijednost maningovog koef. hrapavosti od 0.14 za cjelo analizirano područje odnosno za svaki podsliv. Prvi korak za odabir maningovih koeficijenta za buduće stanje bio je pronalaženje karakterističnih podslivova koji su najbliži namjenama zemljišta prema UPU. Zatim se parcelama različitih namjena pridodao odgovarajući maningov koeficijent. Krajnji korak bio je određivanje postotka površine koju parcela određene namjene zauzima na pojedinom podslivu, te time i konačni izračun maningovog koeficijenta hrapavosti na pojedinom podslivu.

5.4.2. CN-BROJ

U hidrologiji i upravljanju oborinskim vodama, CN broj, ili broj krivulje, je parametar koji se koristi za procjenu infiltracije, odnosno procesa otjecanja iz određenog podslivnog područja ili sliva. Broj krivulje obično se koristi u metodi Službe za očuvanje prirodnih resursa (National Resources Conservation Service, NRCS), također poznatoj kao metoda SCS/NRCS, koja je naširoko korišten hidrološki model za procjenu otjecanja uslijed padalina (Zeng i sur., 2017) CN odnosno broj krivulje je bezdimenzionalna vrijednost.

CN broj obično se određuje na temelju hidrološke grupe tla, upotrebe zemljišta i zemljišnog pokrova podsliva, a često se dobiva iz tablica pretraživanja ili jednadžbi koje daje SCS/NRCS metoda. Kreće se od 0 do 100, pri čemu niže vrijednosti ukazuju na manji potencijal otjecanja, a više vrijednosti ukazuju na veći potencijal otjecanja. Niži CN broj općenito predstavlja dobro drenirana tla, dok viši CN broj predstavlja slabo drenirana ili visoko urbanizirana područja. Procijenjeno otjecanje se zatim može koristiti u raznim hidrološkim izračunima, kao što je predviđanje poplava, upravljanje oborinskim vodama i planiranje vodnih resursa.



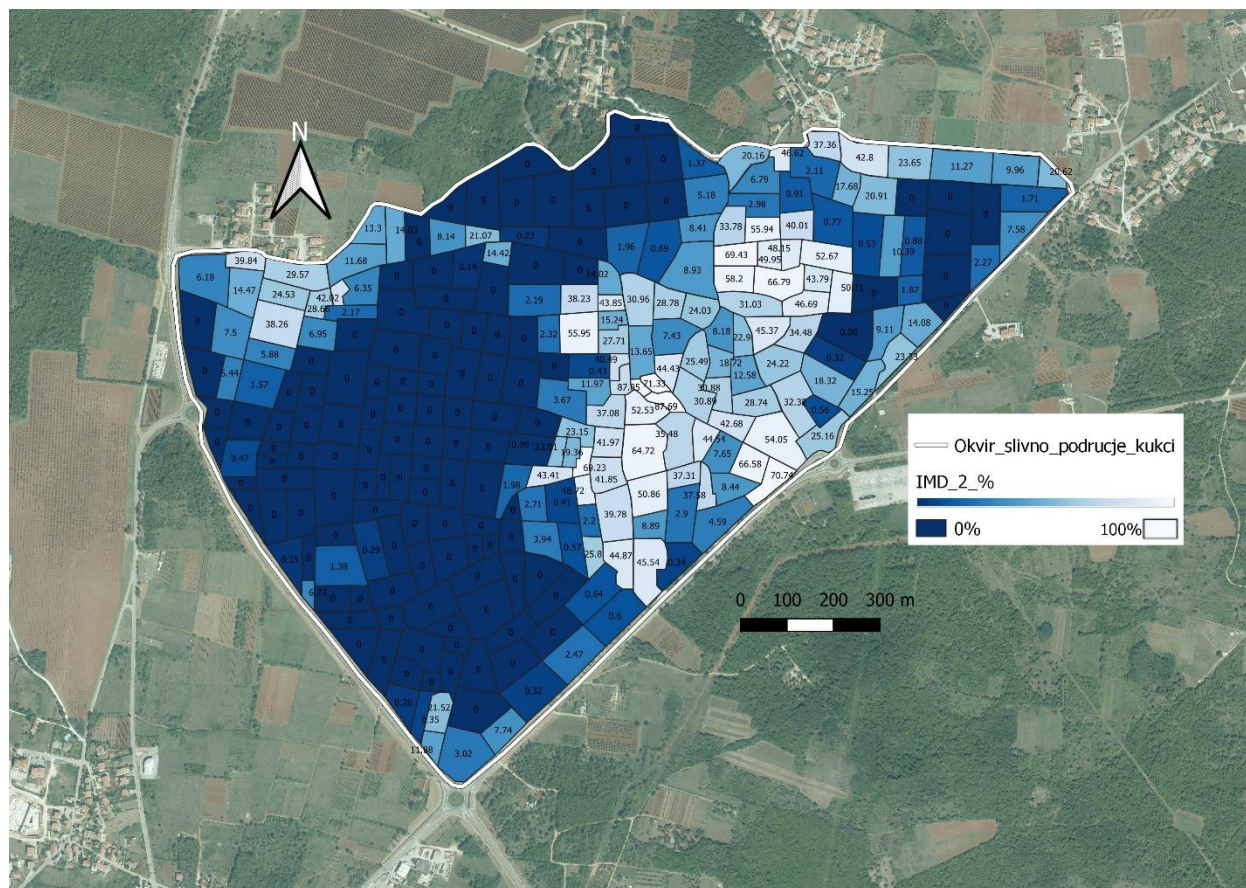
Slika 13. Prikaz CN brojeva za trenutno stanje analizarnog područja

Svakom od 288 podslivova dodjeljen je CN broj istim postupkom kao i predhodno opisanom postupku dodjeljivanja maningovog koef. Slika 13. prikazuje vrijednost CN-a za postojeće stanje izgrađenosti. Minimalna vrijednost CN broja iznosi 52 te je prikazana bijelom bojom, a odnosi se na dobro drenirane podslivove. Maksimalna vrijednost CN broja iznosi 92 te je prikazana tamno crvenom bojom, a odnosi se na visoko urbanizirane podslivove. Svakoj vrijednosti CN broja dodjeljena je odgovarajuća boja od minimalne vrijednosti bijele boje koja linearno prelazi u modro crvenu što prikazuje maksimalnu vrijednost.

Za povijesno stanje prije urbanizacije sliva usvojena je prosječna vrijednost CN broja 62. Kod budućeg stanja vrijednosti CN brojeva promjenile su se na predviđenom dijelu koji će se urbanizirati istim postupkom kao što je to prethodno učinjeno za vrijednosti maningovih koeficijenta.

5.4.3. IMD-nepropusnost

Važan parametar u upravljanju oborinskim vodama je nepropusnost podloge. Nepropusnost se odnosi na površinu u podslivu koja ne dopušta infiltraciju vode u tlo i time dolazi do otjecanja. Nepropusnost podsliva izražena je u postocima te prikazuje odnos između nepropusne površine podsliva i ukupne površine podsliva. U ovom radu korištena je karta gustoće nepropusnosti (engl. Imperviousness density, IMD) iz Copernicus baze podataka (Copernicus Land Monitoring Service, 2018). Opseg nepropusnosti u podslivu može imati značajan utjecaj na upravljanje oborinskih voda i urbanu hidrologiju. Povećana nepropusnost može dovesti do većih vršnih protoka tijekom jakih oborina, povećanog rizika od poplava i smanjenog obnavljanja podzemne vode. To također može rezultirati povećanim otjecanjem onečišćujućih tvari, budući da kišnica pokupi onečišćivače s ovih nepropusnih površina i odnosi ih u sustave oborinskih voda i vodna tijela. Najčešći primjeri nepropusnih površina su asfaltirane ceste, krovovi, betonirane površine, parkirališta, nogostupi i druge površine koje ne dopuštaju prodiranje vode u tlo.



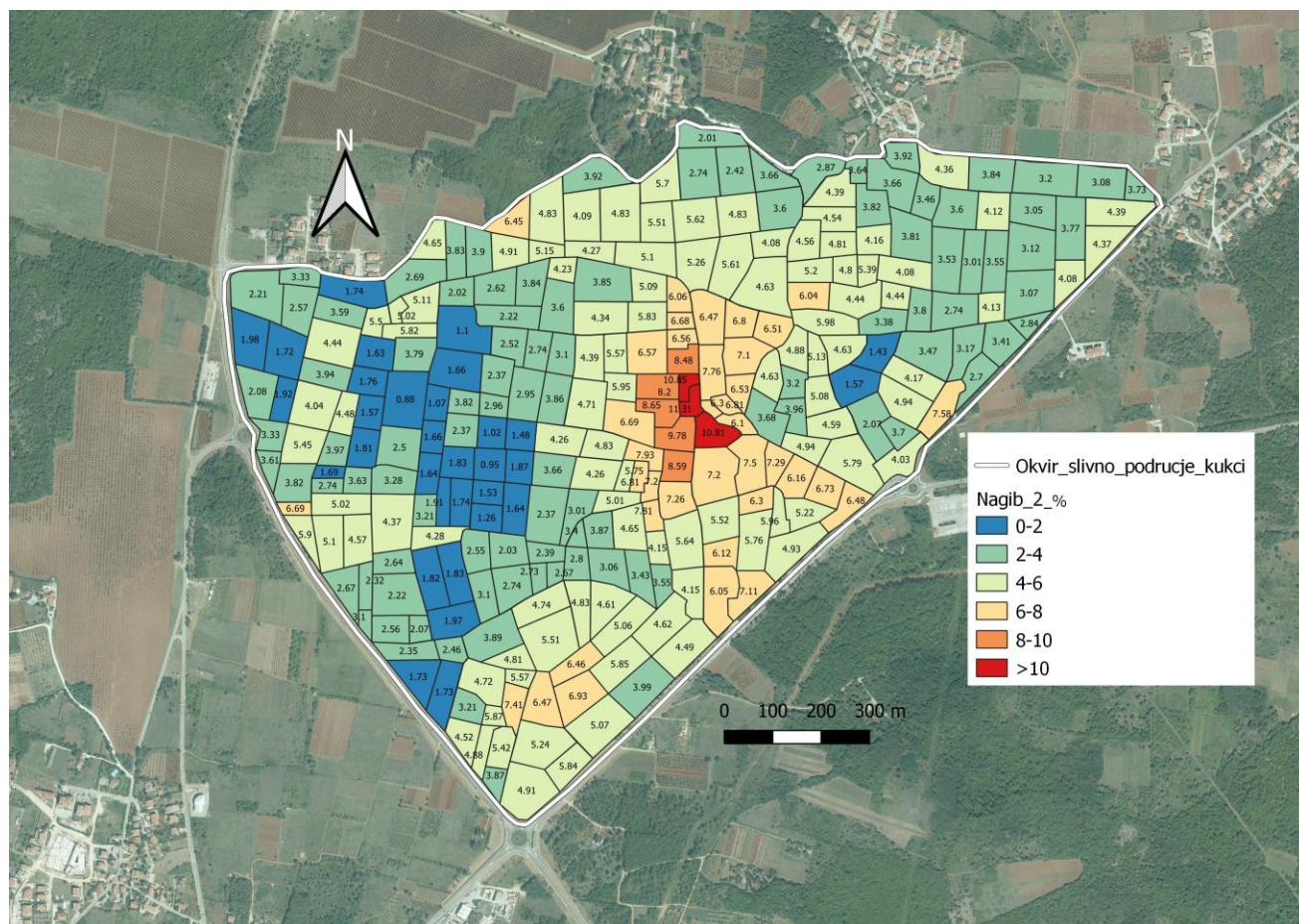
Slika 14. Vrijednost nepropusnosti na analiziranom području (trenutno stanje)

Slika 12. Prikazuje vrijednost nepropusnosti na analiziranom području za trenutno stanje. Svakom podslivu unutar analiziranog područja naselja Kukci dodjeljena je odgovarajuća nepropusnost podloge. Interval nepropusnosti u granicama je od 0 posto nepropusnosti pa sve do 100 posto nepropusnosti. Tom intervalu dodjeljene su i odgovarajuće boje 0 posto nepropusnosti predstavlja modro plava boja koja linearno prelazi u sve svjetliju ovisno o povećanju postotka nepropusnosti pa sve do potpuno bijele boje koja se odnosi na 100 posto nepropusne površine.

Podaci prikazani na Slici 14. dobiveni su jednakom metodom kao i za određivanje maningovog koef. hrapavosti i CN broja. Nepropusnost podloge za slučaj povjesno stanje iznosi 0 posto odnosno svi su podslivovi 100 posto propusni. Vrijednosti nepropusnosti za buduće stanje izmjenile su se na urbaniziranom dijelu istim postupkom kao što je to prethodno učinjeno za vrijednosti maningovih koeficijenta i CN broja.

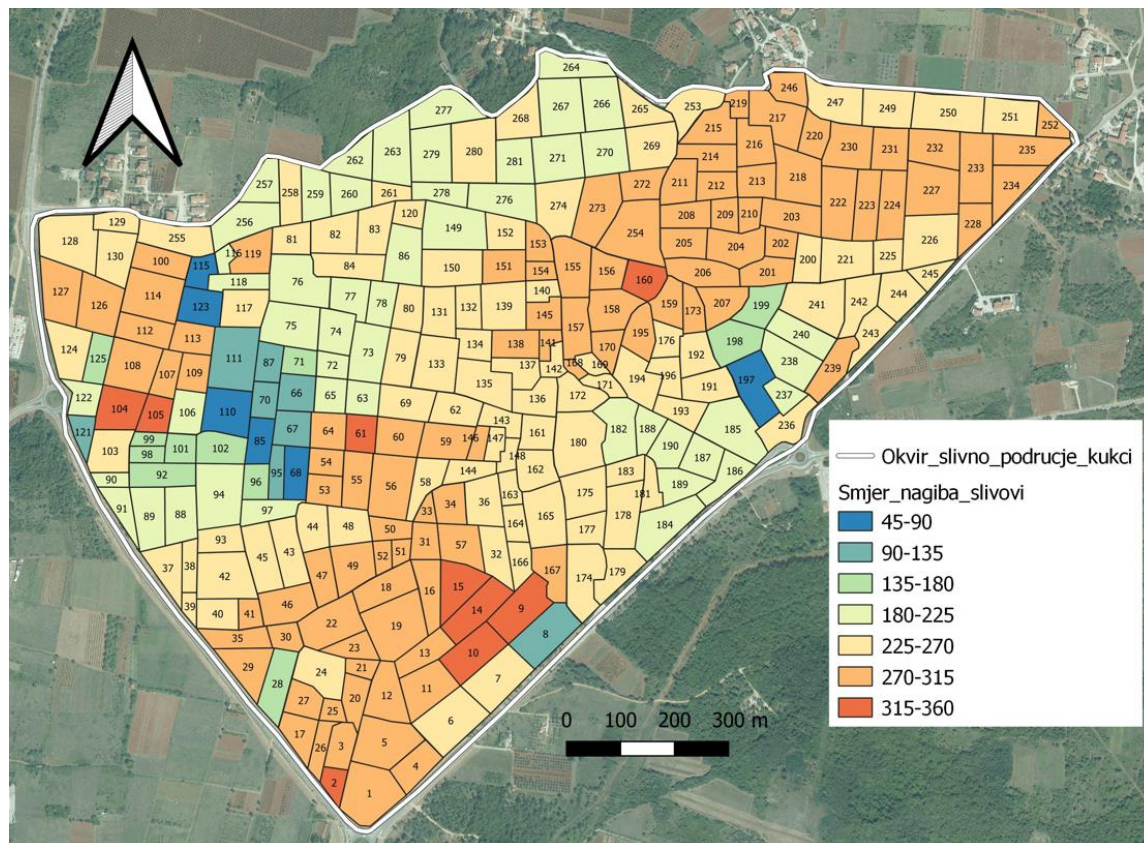
5.4.4. Nagib

Nagib je važan parametar u hidrološkom modeliranju jer određuje brzinu kojom voda teče preko slivne površine i utječe na različite hidrološke procese, kao što je generiranje otjecanja, erozija i pronos sedimenta. Za izračun nagiba podsliva, potrebno je znati nadmorsku visinu ili topografske podatke za podsliv. Pomoću rasterske podloge digitalnog modela terena (DMT) i alata *terrain analysis* izračunati su nagibi terena za svaki podsliv. Minimalna nadmorska visina na analiziranom području naselja Kukci iznosi 32 m.n.m., a maksimalna 88 m.n.m. Nagib podsliva definira se kao promjena nadmorske visine na određenoj horizontalnoj udaljenosti, a najčešće se prikazuje u stupnjevima ili postocima. Točna procjena nagiba je ključna, a obično se koristi u hidrološkim modelima za predviđanje poplava, planiranje vodnih resursa i procjene utjecaja na okoliš.



Slika 15. Prikaz vrijednosti nagiba na pojedinom podslivu za analizirano područje

Vrijednosti nagiba klasificirane su u 6 skupina (Slika 15.). Prvu skupinu čine podslivovi s nagibom između 0-2 % te su prikazani plavom bojom, a minimalni nagib iznosi 0.88%. U drugu skupinu spadaju nagibi između 2-4% te su označeni zelenom bojom. Nagibi između 4 i 6 % prikazani su svijetlo zelenom bojom te čine treću skupinu. Četvrtu skupinu čine nagibi od 6 do 8% prikazani su žutom bojom. U petu skupinu spadaju nagibi od 8 do 10% prikazani su narančastom bojom, a nagibi veći od 10% prikazani su crvenom bojom.

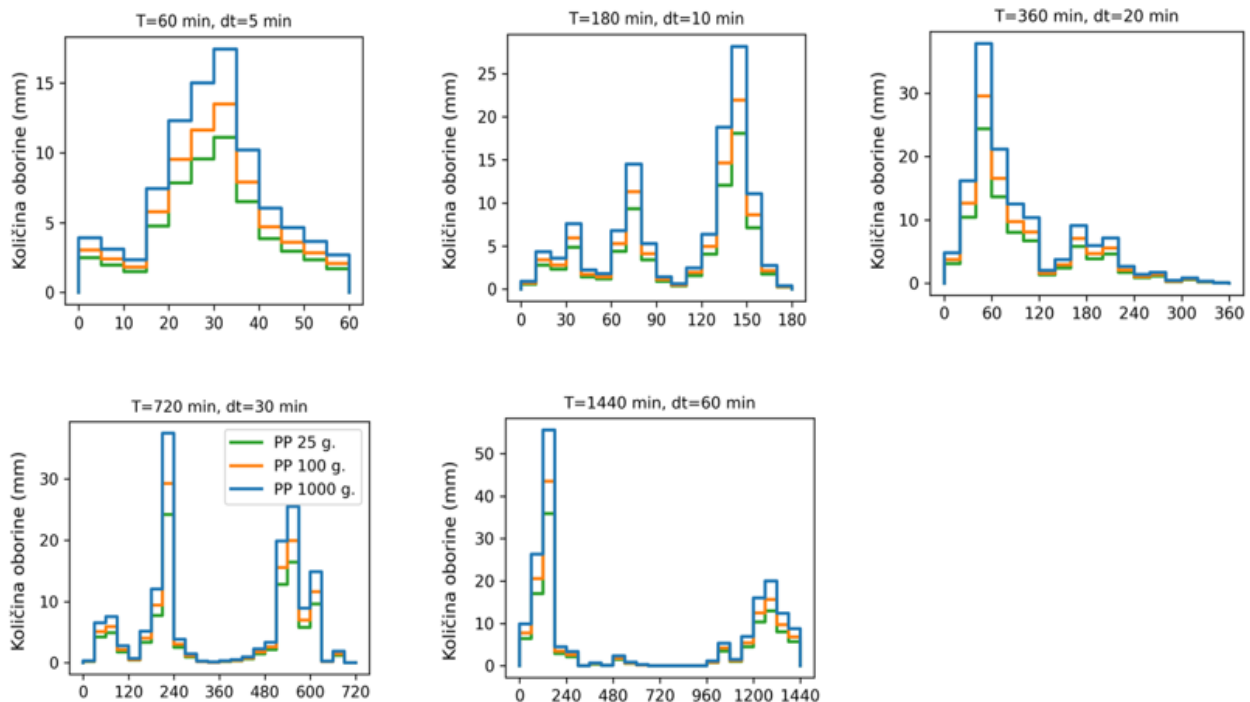


Slika 16. Smjerovi nagiba podslivova za analizirano područje

U QGIS programu također je izrađena karta koja prikazuje smjerove nagiba za pojedine podslivove. Karta je izrađena u svrhu što adekvatnijeg povezivanja podslivova za daljnje modeliranje u SWMM programu, odnosno za što realniji prikaz putanje otjecanja oborinske vode. Klasifikacija smjerova nagiba prikazana je na slici 16., raspon smjera nagiba dat je u stupnjevima, te je svaki raspon prikazan odgovarajućom bojom.

6. OBRADA OBORINA (meterološki podaci)

Jedan od najbitnijih podataka potrebnih za hidrološko-hidraulički model u SWMM programu predstavljaju oborine na području grada Poreča. U tu svrhu korišteni su podaci s ombrografske postaje Poreč (1984.-2020.), odnosno HTP krivulje i projektni pljusak definiran u okviru projekta STREAM (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.). U obzir uzete su različite vjerojatnosti pojave jakih oborina, odnosno povratni periodi od 2god., 25god. i 100god. Korišteni su projektni pljuskovi trajanja od 1h, 3h, 6h, 12h, 24h. Različitim projektnim pljuskovima dodjeljeni su pripadajući vremenski inkrementi mjernja količine oborine od 5min, 10min, 20 min, 30min, 60min. Slika 17. prikazuje pluviograme projektnog pljuska na području grada Poreča-Parenzo.



Slika 17. Pluviogrami projektnog pljuska na području grada Poreča-Parenzo (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB, DHMZ, 2021.)

7. IZRADA MATEMATIČKOG MODELA POVRŠINSKOG OTJECANJA

7.1. SWMM računalni program

Druga analiza provedena je u računalnom programu *Stormwater Management Model (SWMM)*. SWMM je simulacijski model koji se koristi za pojedinačnu ili dugoročnu simulaciju količine i kvalitete otjecanja vode u pretežito urbanim područjima. Ima široku primjenu u cijelom svijetu za planiranje velikih razmjera, analizu i dizajn povezan s oborinskim vodama, kombiniranu i sanitarnu kanalizaciju te ostale sustave odvodnje u urbanim područjima. Uz to, postoje i mnoge aplikacije za sustave odvodnje i za neurbana područja.

Ovaj je program 1971. godine razvila agencija za zaštitu okoliša SAD-a (EPA) kako bi podržala lokalne, državne i nacionalne ciljeve upravljanja oborinskim vodama u svrhu smanjenja otjecanja kroz infiltraciju i retenciju. Od tada je program doživio nekoliko velikih nadogradnji, a trenutno se koristi njegova 5. verzija. SWMM uključuje karte označene bojama drenažnog područja i transportnog sustava, zatim razne grafikone i tablice vremenskih perioda, dijagrame profila kao i analizu statističke frekvencije.

Komponenta otjecanja SWMM-a djeluje na skupu podslivnih područja koja primaju oborine te generiraju otjecanje i opterećenje onečišćenim tvarima. Dio za usmjeravanje SWMM-a prenosi ovo otjecanje kroz sustav cijevi, kanala, retencija, pumpe i regulatore. SWMM prati količinu i kvalitetu otjecanja koje se generira unutar svakog podsliva. Uz to, mjeri i brzinu i dubinu protoka, kao i kvalitetu vode u svakoj cijevi i kanalu tijekom razdoblja simulacije koje se može sastojati od više vremenskih okvira.

Neke od tipičnih primjena SWMM modela su dizajniranje i projektiranje komponenti sustava odvodnje, dimenzioniranje objekata za retencioniranje vode, kartiranje poplavnih područja sustava prirodnih kanala, dimenzioniranje objekata za smanjenje prelijevanja kombiniranog sustava kanalizacije, zatim procjena utjecaja dotoka i infiltracije na prelijevanje kanalizacije te kontroliranje otjecanje korištenjem zelene infrastrukture (Rossman, 2015).

U ovom radu SWMM se koristio za izradu hidrološko-hidrauličkih modela i njihovu analizu.

Prvi korak izrade matematičkog modela otjecanja u SWMM računalnom program je prijenos podataka o podslivovima iz QGIS okruženja. Nakon definiranja podslivova i dodjeljivanja svih potrebnih karakteristika pojedinom podslivu krenulo se u razradu modela u SWMM programu. Potrebni podaci za pojedini podsliv su sljedeći: površina, širina, srednji nagib podsliva, postotak nepropusnih površina (IMD), maningov koeficijent hrapavosti (n), broj krivulje (CN). Krenulo se u izradu 3 hidrološko-hidraulička modela za povjesno, trenutno, buduće stanje.

7.1.1. Povijesno stanje

Povjesno stanje predstavlja nultu izgrađenost na svim podslivovima odnosno prirodno stanje podsliva. U ovome hidrološko-hidrauličkom modelu svi podslivovi imaju jednake maningove koef., IMD, CN. Maningov koeficijent hrapavosti iznosi 0.14, postotak nepropusnih površina iznosi 0%, a broj krivulje 62. Podslivove potrebno je međusobno spojiti kako bi simulacija otjecanja bila što realnija, a to je izvedeno pomoću prethodno dobivenih karata (karta smjera nagiba podslivova i karta putanje otjecanja vode sa podslivova). Cilj modela povjesnog stanja je analizirati otjecanja koja su bila prije bilo kakve urbanizacije. U nastavku ovog rada dan je prikaz otjecanja na pojedinom podslivu, ali i ukupna otjecanja u izlaznim(krajnjim) točkama analiziranog područja. Izlazne točke postavljene su na krajnjim dijelovima analiziranog područja gdje prolaze putanje otjecanja oborinske vode koje su dobivene prethodnom analizom u qgis sustavu. Također to su dijelovi gdje dolazi do plavljenja područja i prekomjernog nakupljanja oborinske vode.

7.1.2. Sadašnje (trenutno) stanje

Drugi hidrološko-hidraulički model opisuje trenutno stanje analiziranog područja. Taj se model odnosi na sadašnje urbanizirano stanje analiziranog područja sa izvedbom klasičnog sustava oborinske odvodnje. Klasični sustav oborinske odvodnje sastoji se od kolektora (cjevovoda) i čvorova (okna ili priključaka). Nakon što su svi potrebni podaci za podslivove trenutnog stanja prebačeni u SWMM započelo se sa izradom kanalizacijskog sustava odvodnje oborinske vode. Crtanje sustava oborinske odvodnje izvedeno je po linijama postojeće kanalizacijske mreže otpadnih voda. Model sustava oborinske odvodnje se sastoji od ukupno 55 kolektora (cijevi) koje su povezane sa 44 čvora, čvorovi mogu predstavljati okna ili priključni element između dvije cijevi. Za prihvatanje oborinske odvodnje koristio se *Inlets* pristup koji je detaljno objašnjen u nastavku

rada. Princip spajanja podslivova jednak je kao i u povjesnom stanju, a oni podslivovi s kojih otjecanje ide u kanalizacijski sustav odvodnje oborinske vode spojeni su na odgovarajuću dionicu ulice. Cilj modela trenutnog stanja je dimenzioniranje kolektora oborinske odvodnje i analiziranje otjecanja koja su trenutno aktualna. Kolektori će se dimenzionirati za povratni period od 2 godine za projektni pljusak koji će prouzročiti najveće protoke. Za dimenzioniranje kolektora koristile su se vrijednosti maksimalnih brzina koje nisu smjele prelaziti 7 m/s, a ispunjenost cijevi bila je ograničena s obzirom na promjer cijevi (npr. Ispunjenost do 80% za promjere veće od 900mm).

7.1.3. Buduće stanje

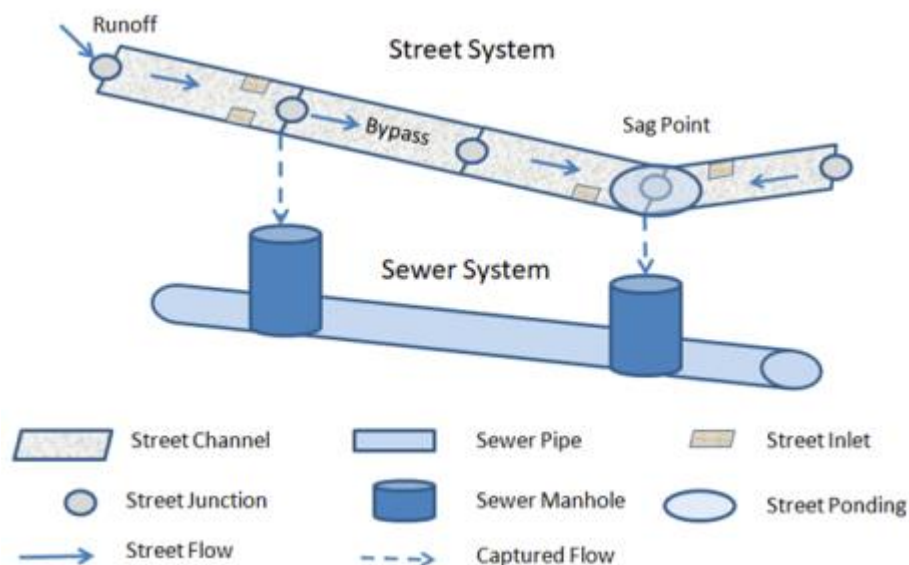
Buduće stanje analiziranog područja opisano je sa trećim hidrološko-hidrauličkim modelom. To je model koji obuhvaća sadašnje stanje uz dodatak koji se predviđa urbanizirati po urbanističkom planu uređenja naselja Kukci. Model budućeg stanja bazira se na modelu sadašnjeg stanja. Prvi korak u izradi modela odnosno nadogradnji bila je izmjena karakteristika određenih podslivova koji su zahvaćeni planiranom urbanizacijom. Nakon izmjene karakteristika podslivova sljedeći korak bio je crtanje novog dijela sustava oborinske odvodnje koji se nadgradio na postojeći. Tako da se model buduće stanje sastoji od ukupno 87 kolektora (cijevi kružnog poprečnog presjeka) i 53 čvora (okna ili priključaka). Cilj modela buduće stanje je predvidjeti koje se promjene mogu očekivati u otjecanju oborinske odvodnje nakon provedenog postupka urbanizacije.

7.2. Generiranje oborine u SWMM programu

Prije samog pokretanja simulacije hidrološko-hidrauličkog modela potrebno je zadati određene oborine. U ovom radu koristila se oborina različitih vremenskih trajanja. SWMM program daje mogućnost zadavanja različitih formata o podacima oborina (intenzitet, volumen, kumulativno). Podaci zadani za prikaz oborina u ovome radu su količine kiše u pripadajućim intervalima snimanja. Na cijelom području za sve podslivove definirala se jednaka količina oborina. Koristila su se različita trajanja projektnih pljuskova (1h, 3h, 6h, 12h, 24h) sa intervalima snimanja od 5min, 10min, 20min, 30min, 1h. Simulacija je provedena za povratna razdoblja od 2god., 25god. i 100god.

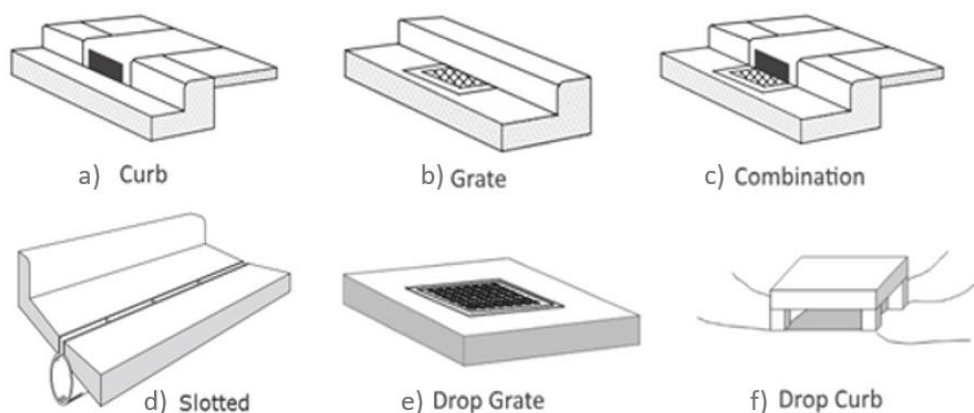
7.3. Modeliranje oborinske odvodnje

Ključnu ulogu u upravljanju sustava oborinskih voda u urbanim sredinama imaju slivnici za odvodnju oborinskih voda. Osnovna svrha uličnih slivnika je da odvede otjecanje s uličnih kolnika u podzemni oborinski kanalizacijski sustav. Uobičajeno se nalaze uz prometnice i ulice i imaju značajnu ulogu u prikupljanju i preusmjeravanju oborinske vode s ceste u sustav odvodnje oborinskih voda. Ulični slivnici sastoje se od rešetke ili otvora uz rub koji omogućuje ulazak vode, sprječavajući ulazak otpada, smeća i velikih predmeta u sustav odvodnje oborinskih voda. Uz to, ispod slivnika nalazi se komora ili okno koja prikuplja vodu i sprječava ulaz sedimenata i onečišćenja u sustav odvodnje.



Slika 18. Shematski prikaz odvodnje oborinske vode pomoću slivnika (Rossman,2015)

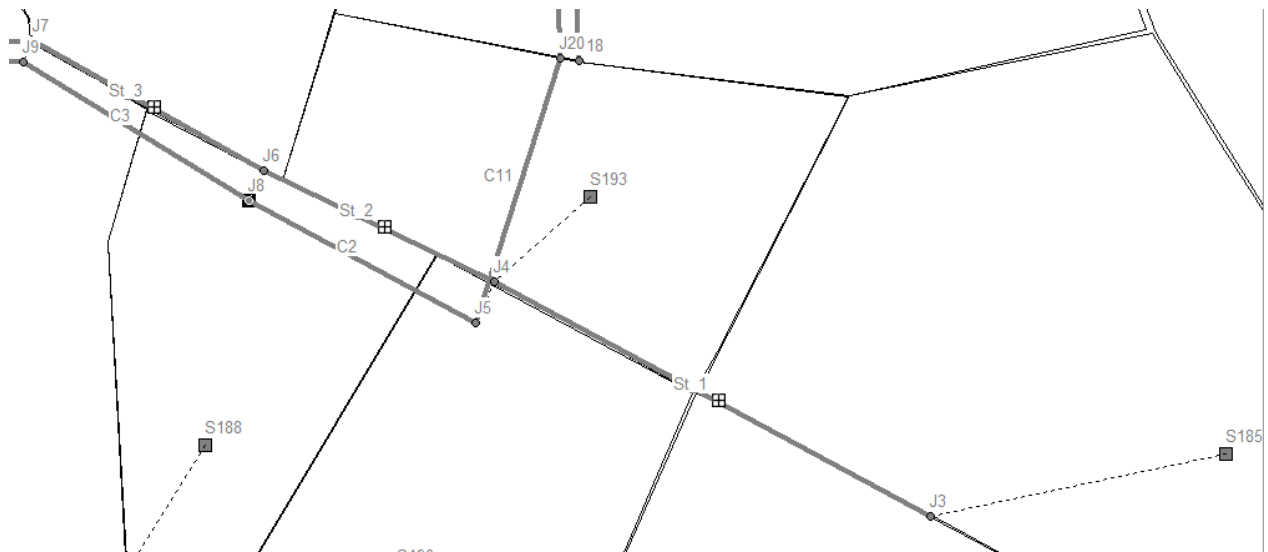
Na Slici 18. shematski je prikazana odvodnja oborinske vode pomoću slivnika. Analiza ulične odvodnje pomoću SWMM-a, shematski je prikazana kao dvostruki sustav odvodnje koji se sastoji od prometnica duž površine tla i kanalizacijskih kolektora ispod nje. Struktura slivnika preusmjerit će dio uličnog toka koji vodi u određeno čvorište kanalizacijskog sustava, a ostatak će se zaobići u nizvodni segment prometnice. Kada kanalizacijsko okno slivnika dosegne svoju punu dubinu, sav višak protoka koji bi uzrokovao poplavu šalje se natrag kroz slivnik i na prometnicu.



Slika 19. Prikaz različitih oblika slivnika (Rossman, 2015)

Pravokutni otvor koji se nalazi duž lica rubnika s kojim je ujedno i povezan naziva se rubni slivnik (Slika 19 a). Rubni slivnici imaju visoki kapacitet prikupljanja, najučinkovitiji su na nizbrdicama i kada se nalaze na nagibu manjem od 3%. Na Slici 19b prikazan je rešetkasti slivnik. Rešetkastim slivnikom ne postiže se previse učinkovito uklanjanje oborinske vode posebno kada se koristi na razini tla. Kombinirani slivnik prikazan je na Slici 19c te mogu uhvatiti do 18% više protoka od samostalnih rešetkastih slivnika, zbog njihove sposobnosti uklanjanja otpada s rešetke. Slivnik s padajućom rešetkom nalazi se na Slici 19d. Slivnik s padajućom rešetkom može biti smješten na mjestu ulegnuća ili na nagibu (Slika 19 e). Ovi oblici otvora se obično koriste na parkiralištima ili na otvorenim travnjacima kada su smješteni u točku ulegnuća. Posljednja Slika 19f prikazuje padajući rešetkasti slivnik koji se uglavnom koristi u točki ulegnuća kod otvorenih dvorišta. Najčešće su izvedeni tako da voda može ući kroz sve četiri strane pravokutnih otvora. Karakterizira ih to što su najučinkovitiji od svih slivnika.

Preusmjeravanjem oborinske vode izvan ulica i građevina, ulični slivnici pomažu u smanjenju rizika od oštećenja prometnica i zadržavanja vode tijekom obilnih kišnih oborina. Da bi se osiguralo učinkovito upravljanje oborinskom vodom, redovito održavanje uličnih slivnika je ključno. Čišćenje i uklanjanje nakupljenih otpada i sedimenta s uličnih slivnika pomaže održavati njihovu funkcionalnost i sprječava njihov ne smetani rad.



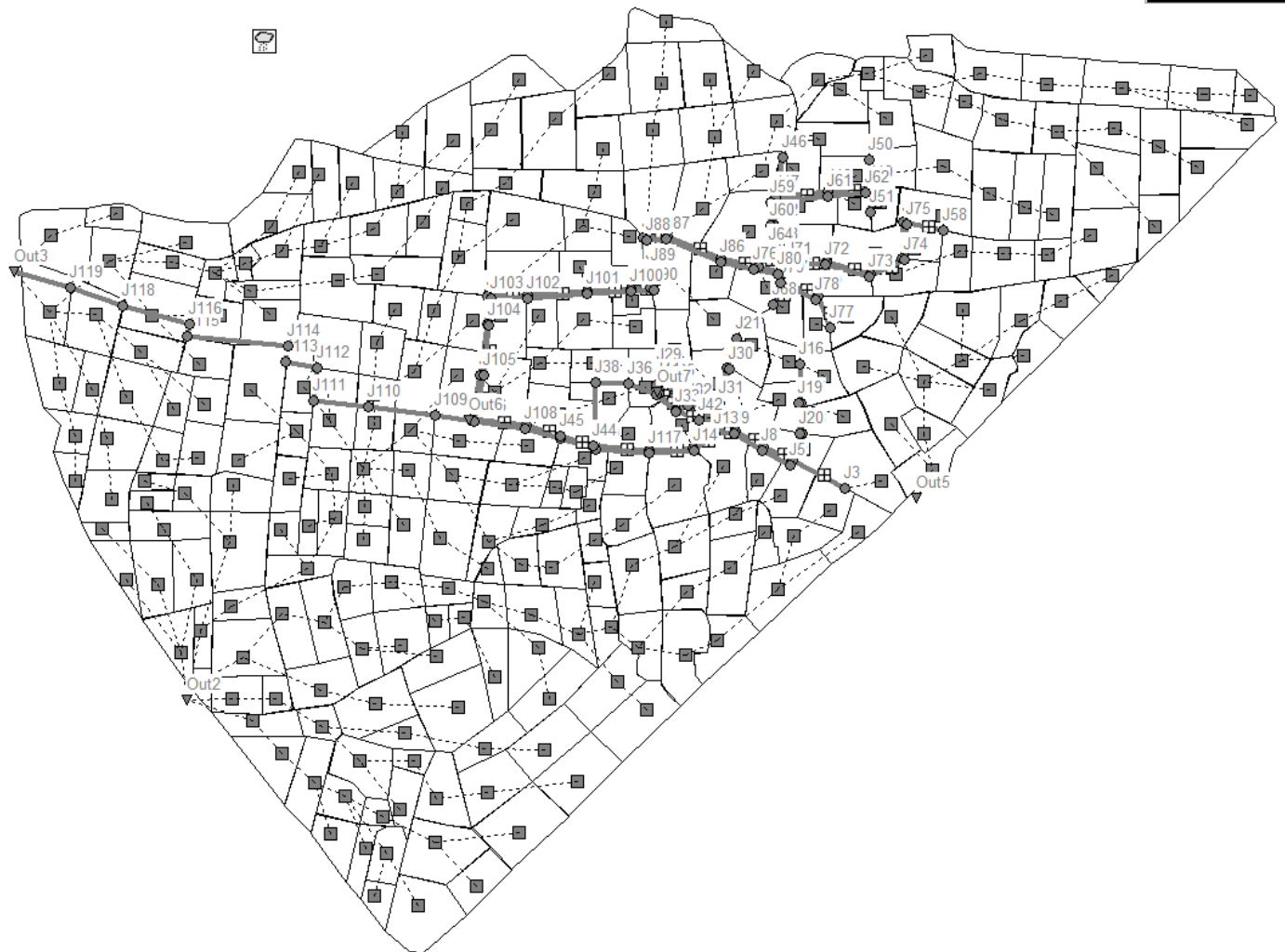
Slika 20. Shematski prikaz modela inlets sustava

Za sustav slivnika u hidrološko-hidrauličkom proračunu koristili smo sljedeće podatke. Na slici 20. je prikazana ilustracijska shema djela ulične i oborinske odvodnje koja se koristila kroz cjeli hidrološko-hidraulički proračun. U nastavku ćemo objasniti osnove dodavanja pojedinih elemenata. Izgled sheme prikazan je u nastavku s pripadajućim nazivima ID-ova čvora i veze. Shema se sastoji od tri ulična segmenta i dva cijevovoda oborinske odvodnje. Svaki ulični segment je jednostran sa širinom od 6m. Poprečni nagib ulice iznosi 2%, visina rubnika 15cm, a koeficijent hrapavosti 0,016. Ovi su podaci vrijede za svaku ulicu u cijelome hidrološko-hidrauličkom modelu. Svaka cijev oborinske odvodnje kružnog je oblika, koeficijenta hrapavosti 0,01. Promjer cijevi C1 i C2 jednak je i iznosi 0.4 m. Dimenzioniranje cijevovoda izvršilo se za povratni period od 2godine za 3h projektni pljusak, te će se na temelju toga promjeri cijevovoda u cjelom sustavu oborinske odvodnje razlikovati. Uzdužni nagib ulice i cijevovoda oborinske odvodnje skoro je u svim slučajevima jednak. Uzdužni nagibi ulice razlikuju se od dionice do dionice te će ovisiti o karakteristikama terena. U cijelom hidrološko-hidrauličkom modelu primjenjuje se kombinirani tip slivnika. Kombinirani tip slivnika sastoji se od rubnog slivnika i rešetkastog slivnika. P_BAR50 dimenzija 0.6x0.6 m koristio se za rešetkasti slivnik. Navedeni slivnik sastoji se od rešetaka s paralelnim šipkama s razmakom šipki 1-7/8-in od središta do središta). Duljina rubnog slivnika

iznosi 0.6 m, a visina 0.15 m. Kombinirani tipovi slivnika postavljeni su sa jedne strane ulice i to na razmaku od 20 metara. SWMM program daje mogućnost da se slivnici postave na mjestima nagiba ili progiba. Na nagibu znači da se slivnik nalazi na neprekidnom nagibu, a na progibu znači da se slivnik nalazi na točki ulegnuća ili korita gdje se svi susjedni vodovi nagnju prema slivniku ne ostavljajući mjesta za protok vode osim u slivnik. U ovom hidrauličkom modelu program SWMM automatski će odlučiti u koju točku će postaviti slivnik na temelju rasporeda ulice i topografije.

8. REZULTATI

05/12/2023 0

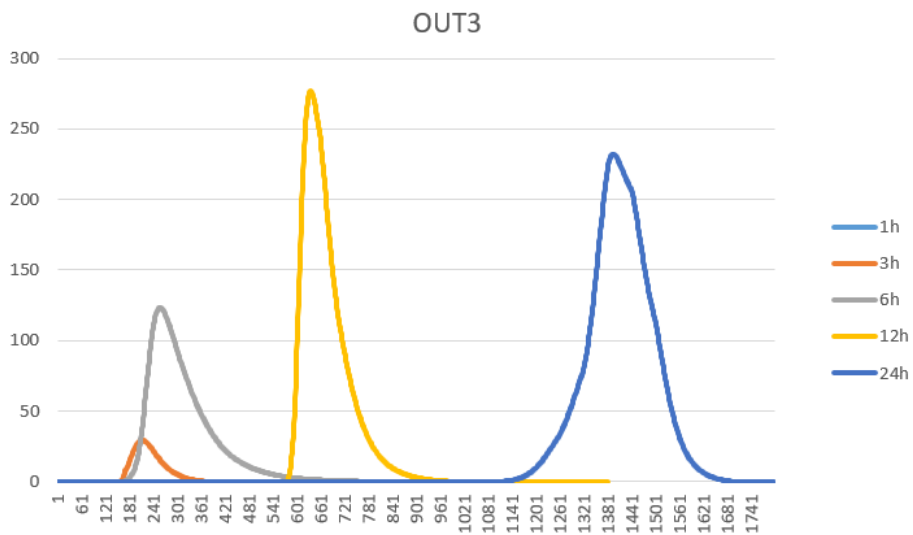


Slika 21. Prikaz hidrološko-hidrauličkog modela u SWMM programu

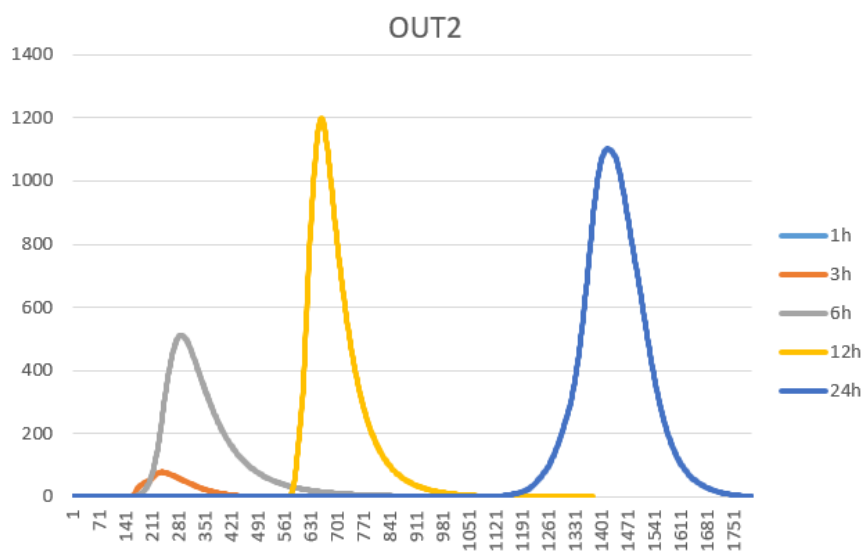
8.1. Povjesno stanje

U nastavku su prikazani hidrogrami za različite izlazne točke koje predstavljaju najnižu točku pojedinog dijela sliva. Hidrološko-hidraulički model sastoji se od tri izlazne točke (OUT3, OUT2, OUT5) te je za svaki izlaz napravljena analiza otjecanja. Analiza otjecanja provedena je za sljedeće povratne periode (2god., 25god, 100god.). Za svaki povratni period napravljena je simulacija za trajanje projektnog pljusk od 1h, 3h, 6h, 12h, 24h.

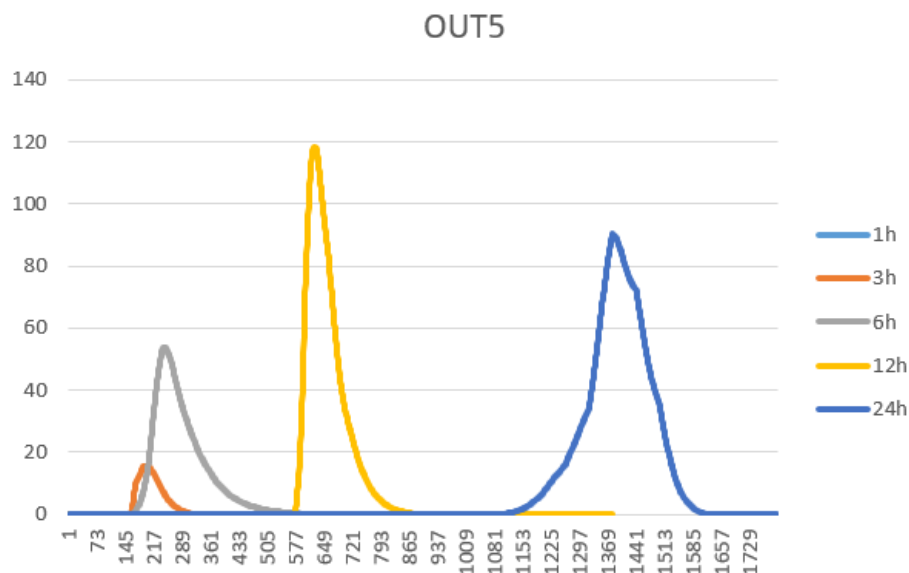
U nastavku su prikazani hidrogrami otjecanja za povratni period od 2 godine.



Slika 22 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)



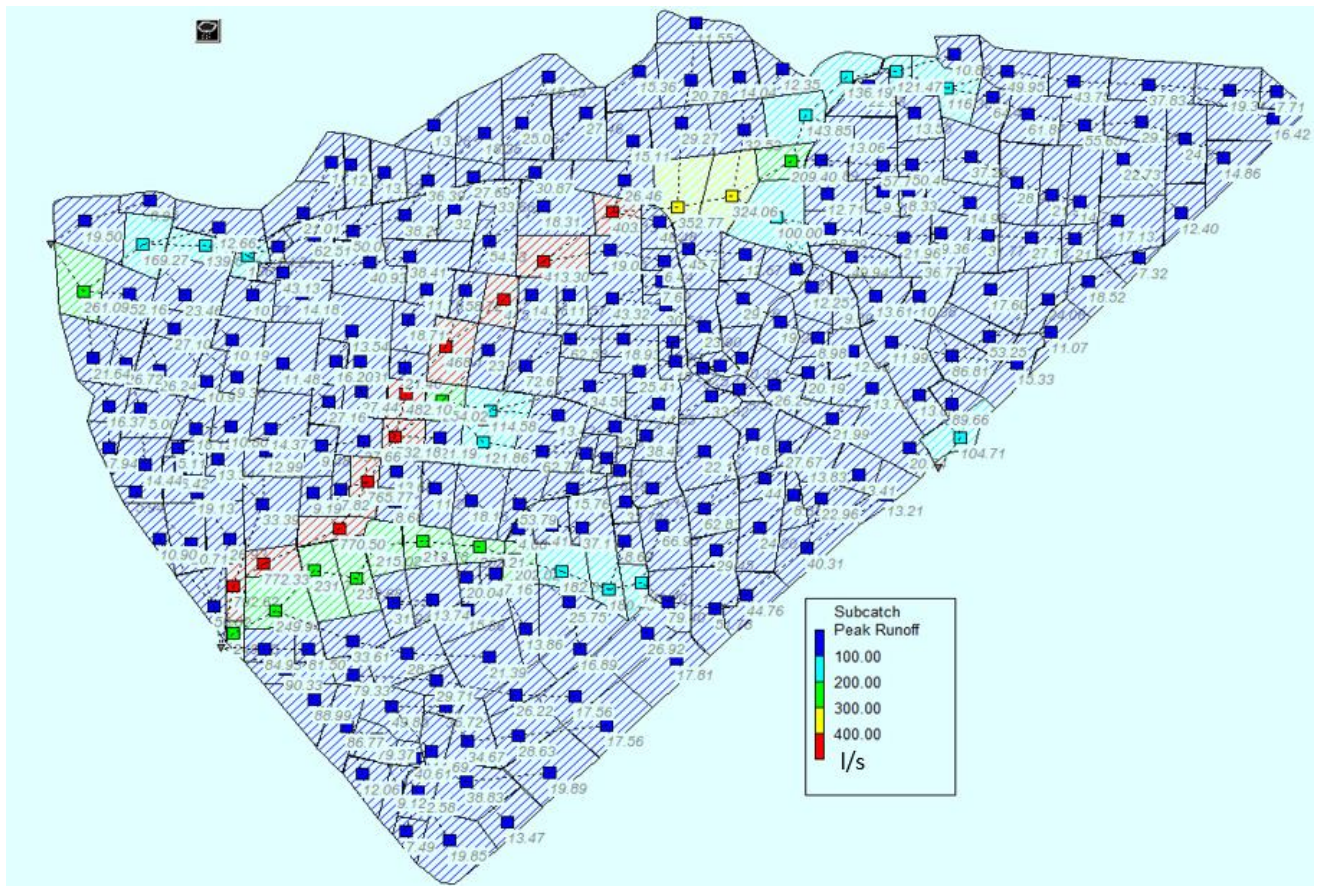
Slika 23. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)



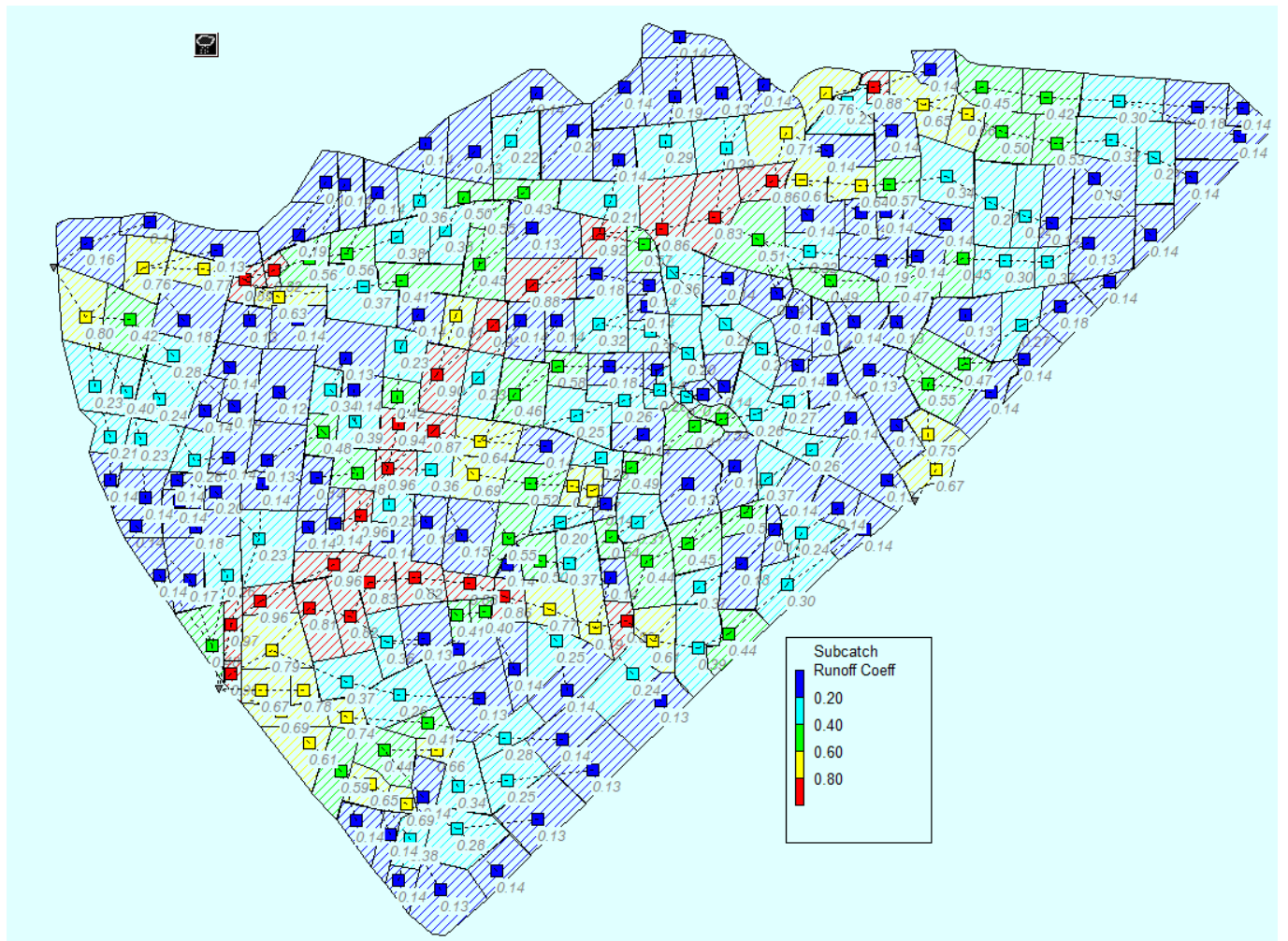
Slika 24. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)

Za povratni period od 2 godine i projektni pljusak od 1h ne dolazi do otjecanja te nema protoka na svim izlazima (OUT3, OUT2, OUT5). Maksimalan protok izmjeren na izlazu OUT3 iznosi 276.85 l/s za projektni pljusak od 12h. Najveći protok na izlazu OUT2 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 12h te iznosi 1201.74 l/s. Najveći protok na izlazu OUT5 iznosi 118.35 l/s, a pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 12h.

U nastavku slika 25. prikazuje shematski prikaz modela te vrijednosti površinskog vršnog otjecanja na pojedinom podslivu. Na slici 26. prikazane su vrijednosti koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu. Analiza otjecanja na slici 25. i 26. napravljena je za povratni period 2 godine i projektni pljusak od 12h.

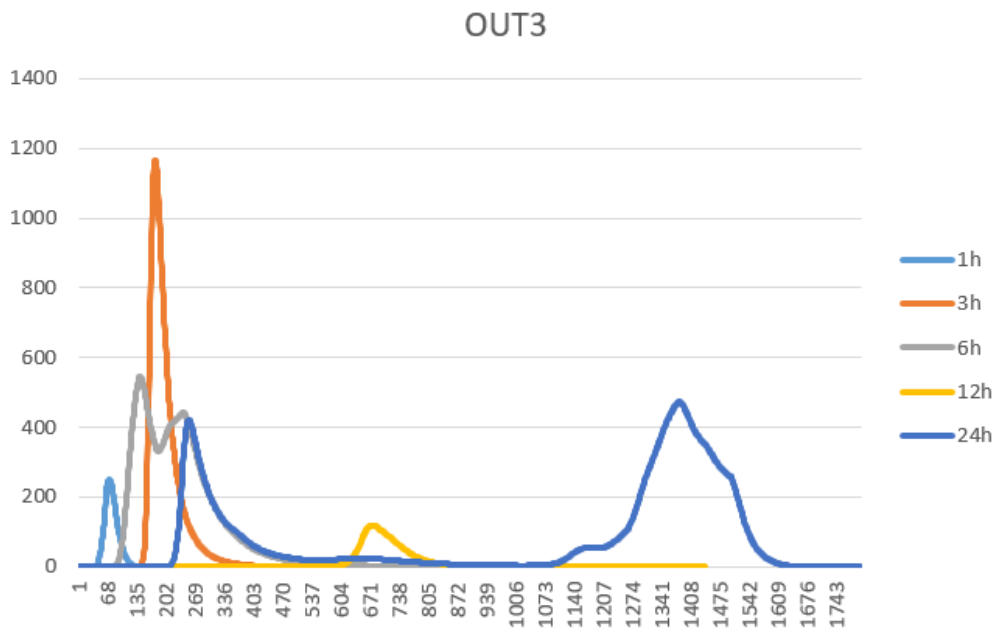


Slika 25. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,12h)

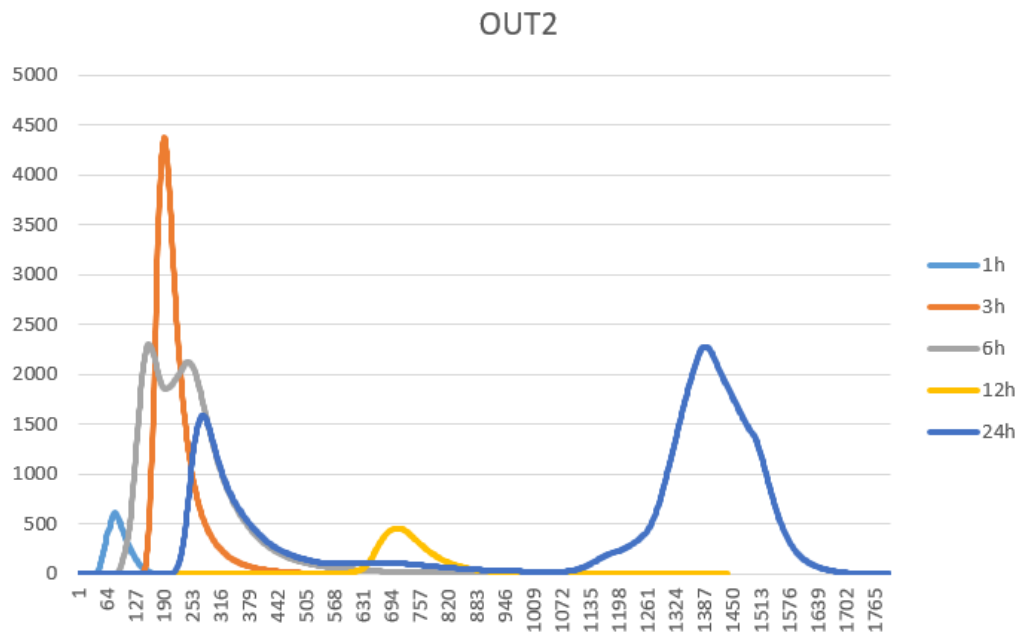


Slika 26. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP2, 12h)

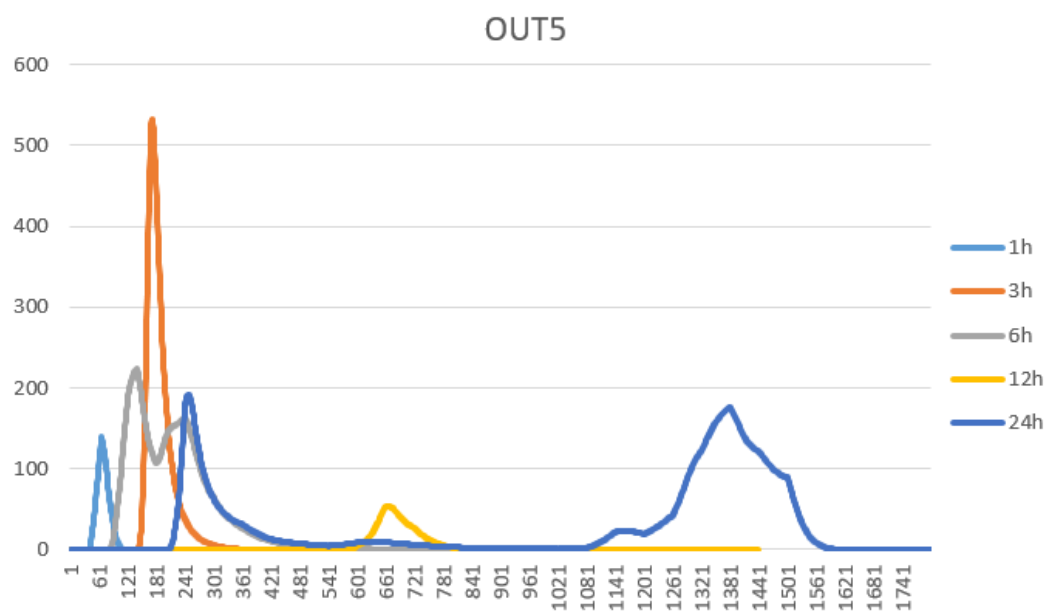
U nastavku su prikazani hidrogrami otjecanja za povratni period od 25 godina. Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektog pljuska od 3h i iznosi 1165.12 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 4370.91 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektog pljuska od 3h te iznosi 532.81 l/s.



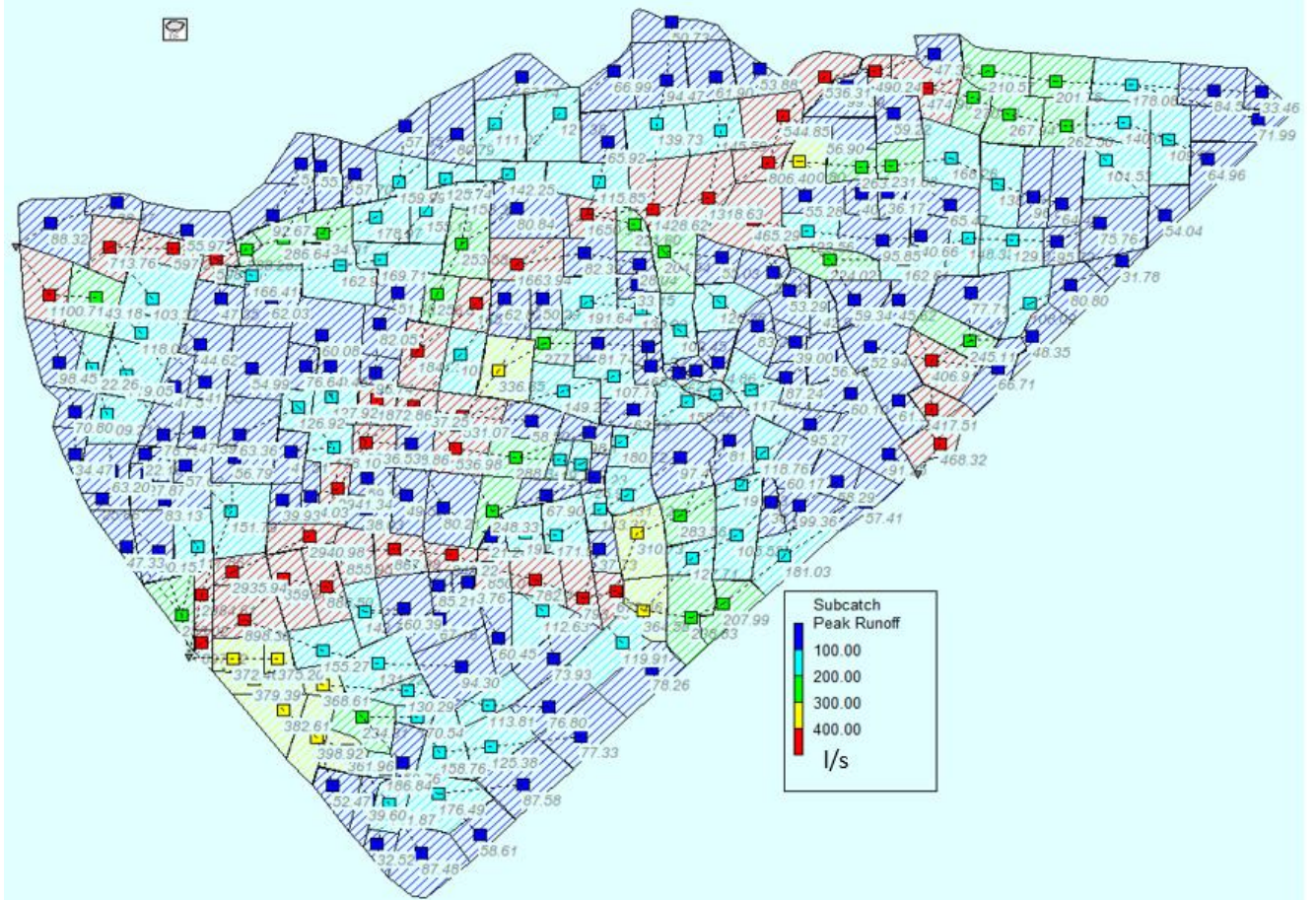
Slika 27 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektog pljuska (PP25god.)



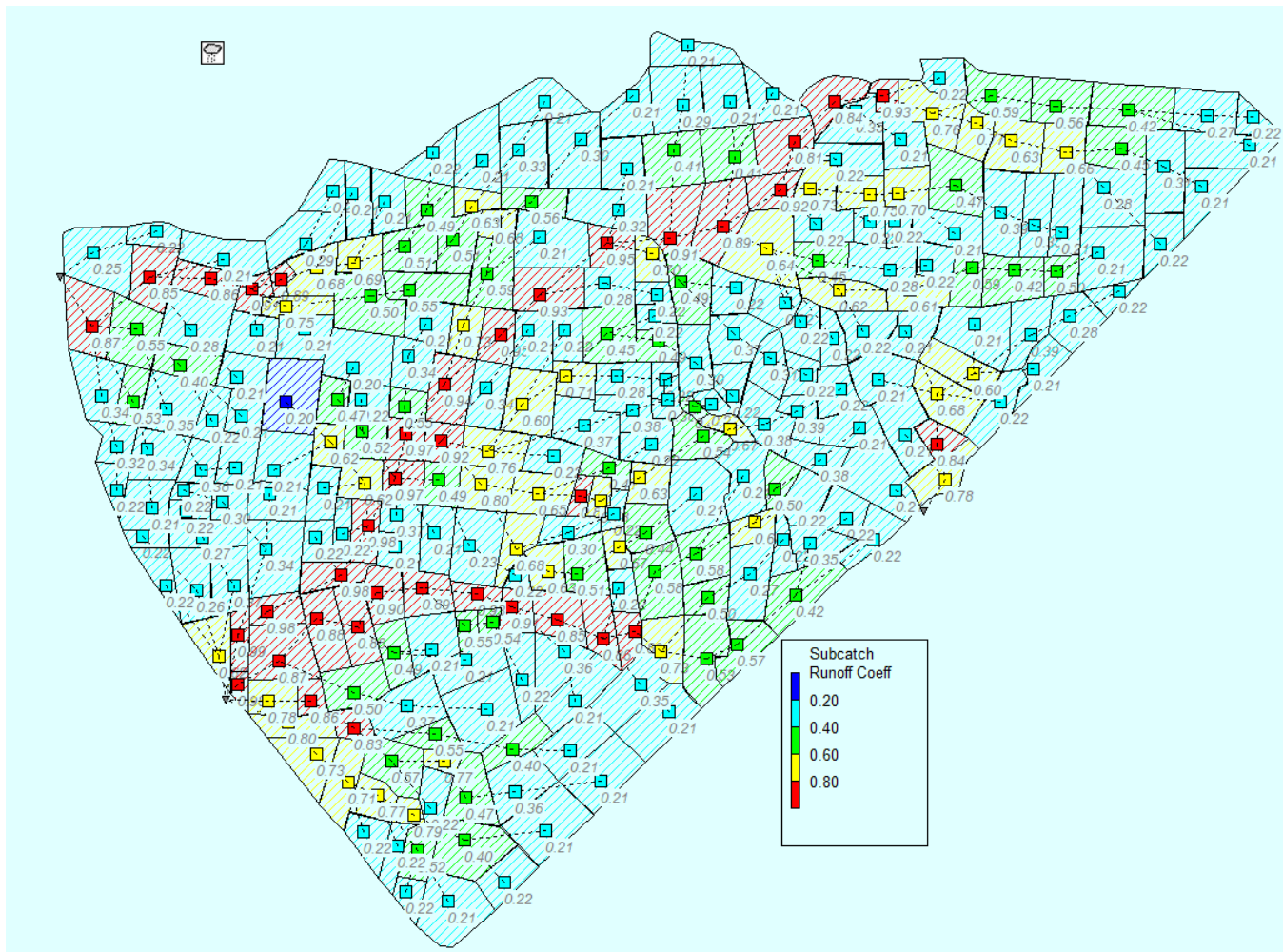
Slika 28 Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)



Slika 29. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)

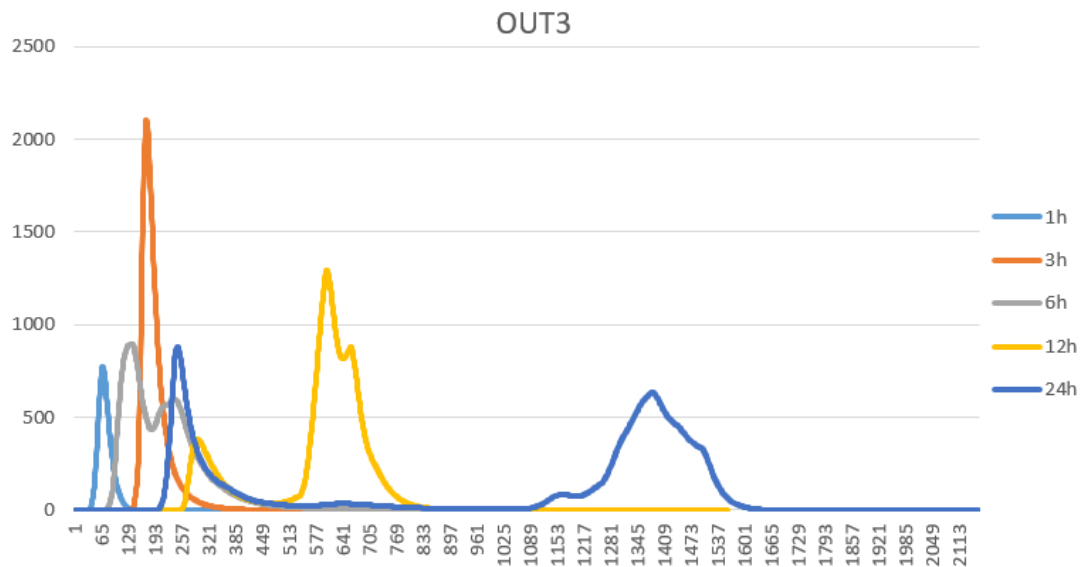


Slika 30. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h)

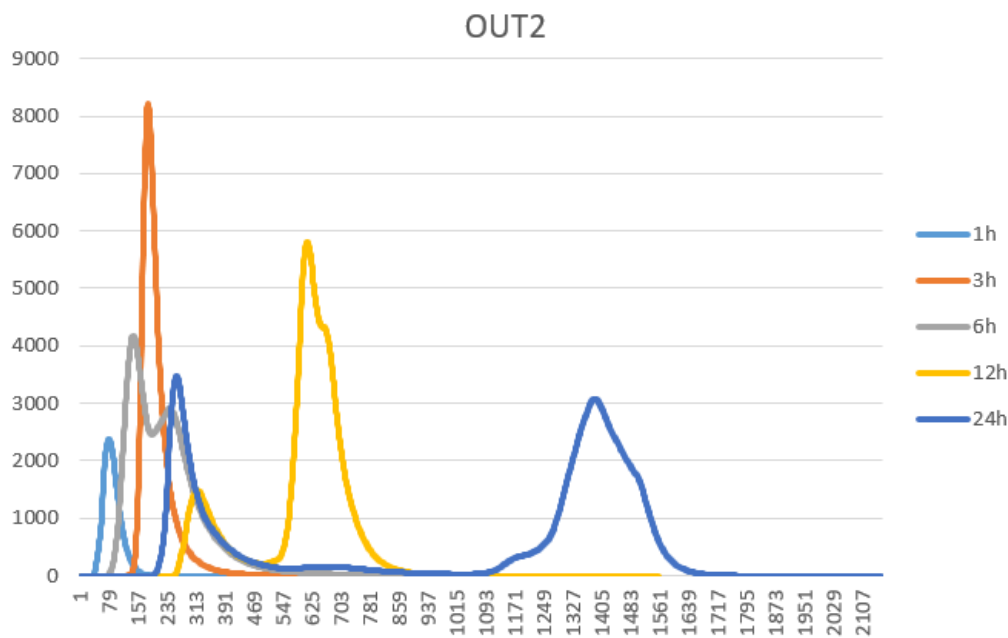


Slika 31. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h)

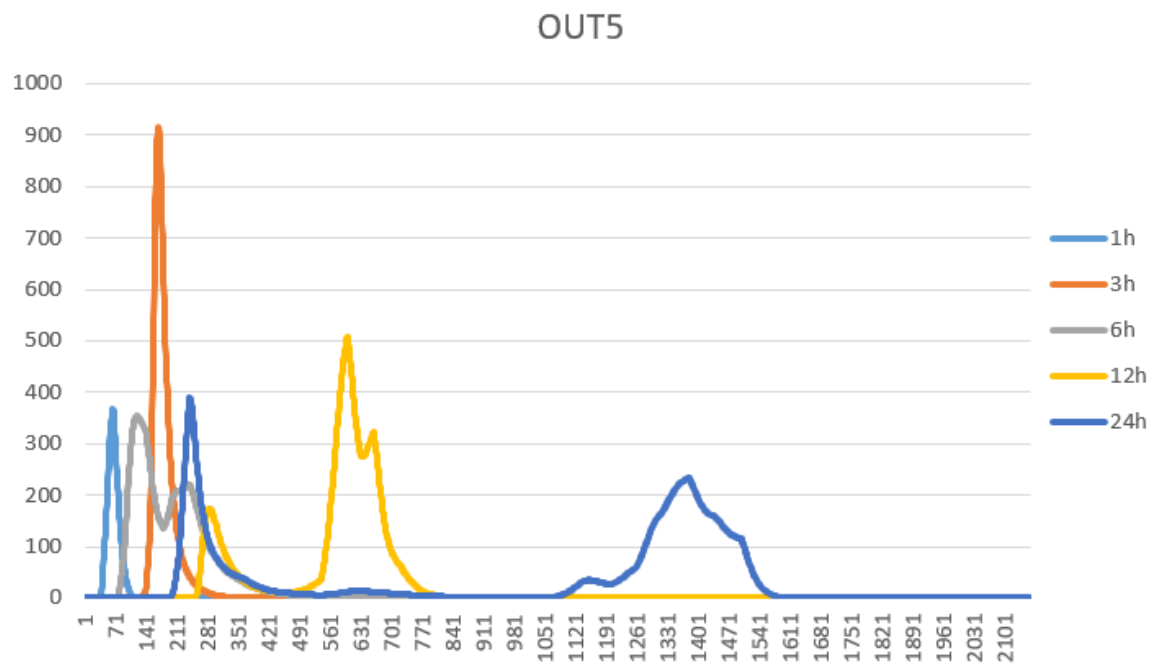
U nastavku su prikazani hidrogrami otjecanja za povratni period od 100 godina. Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 2102.39 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 8208.68l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 916.48 l/s.



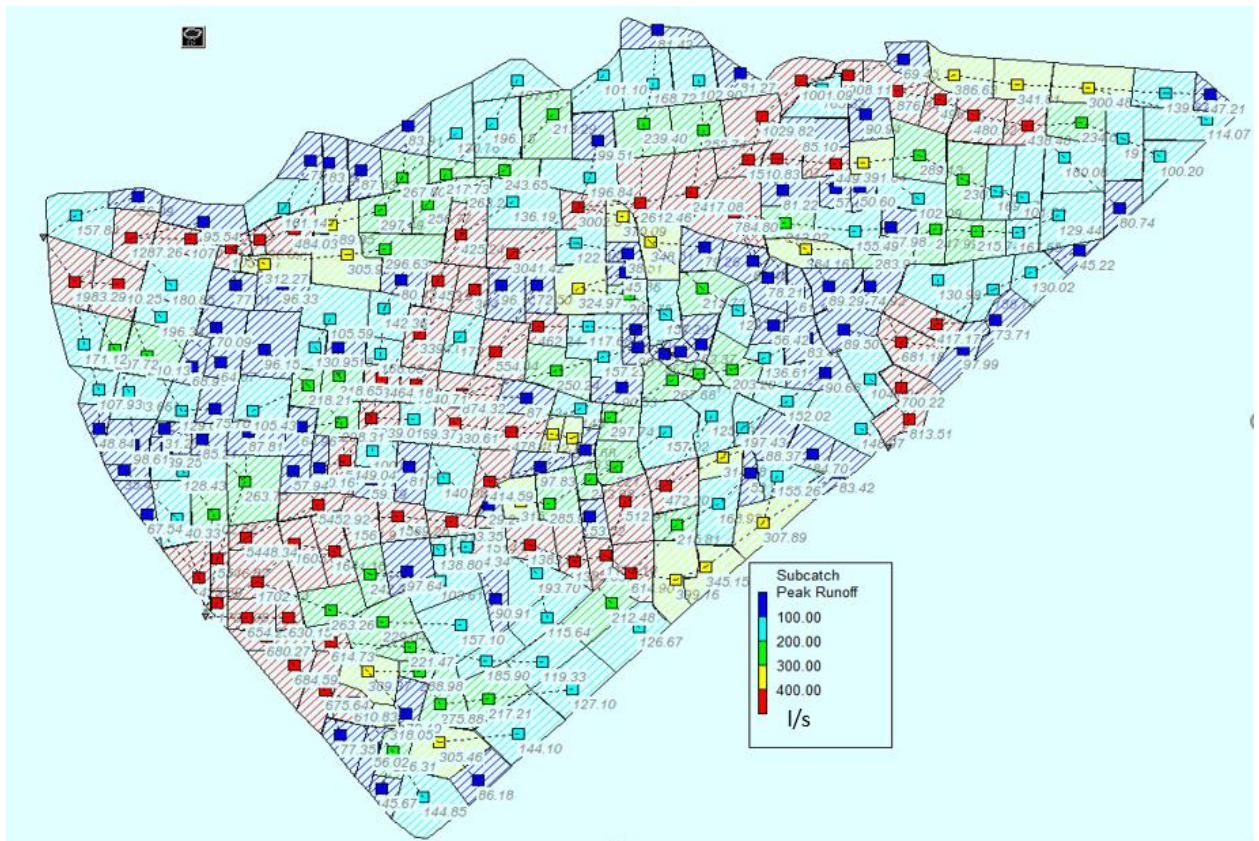
Slika 32. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)



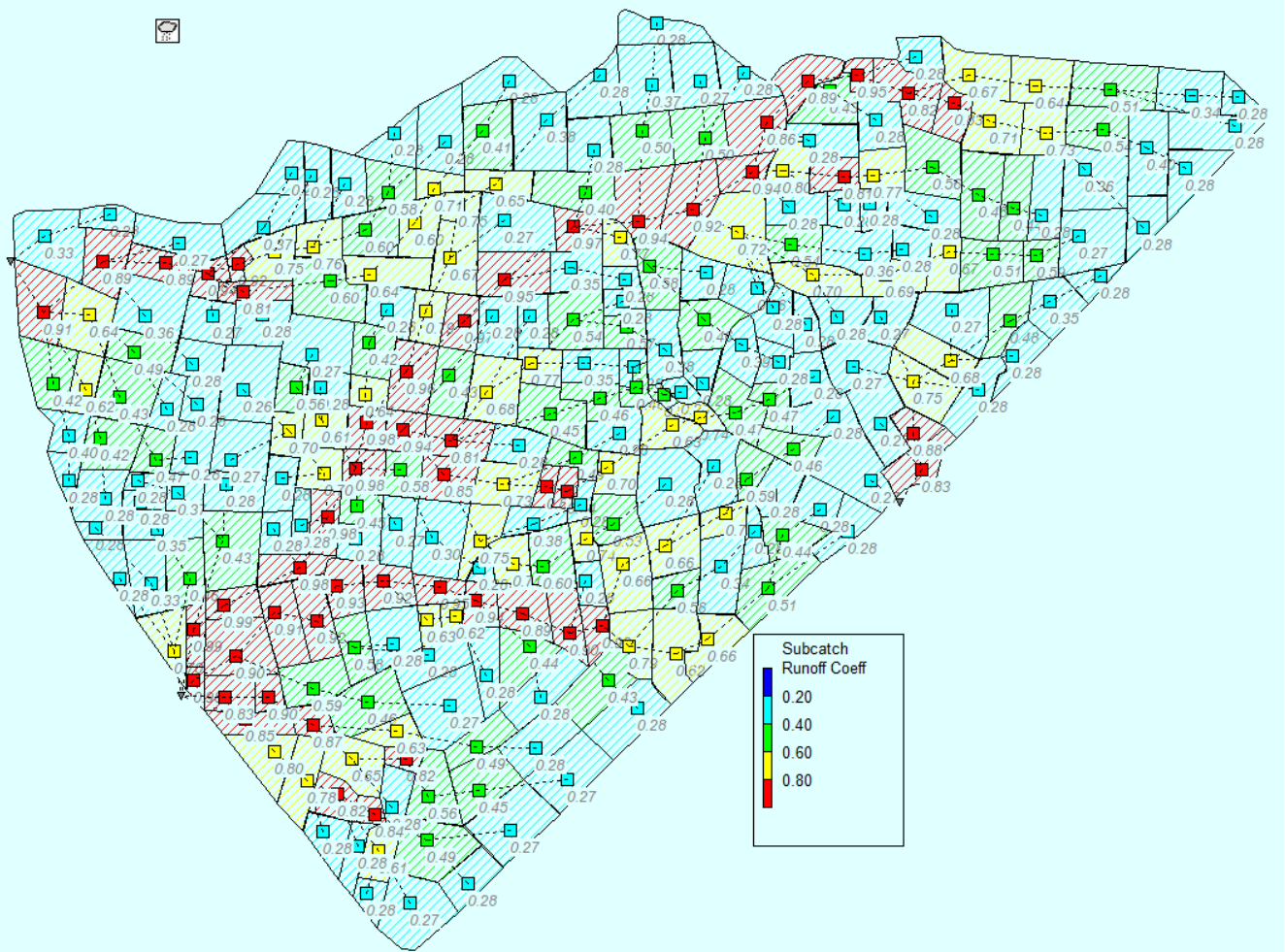
Slika 33. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)



Slika 34. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)



Slika 35. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h)

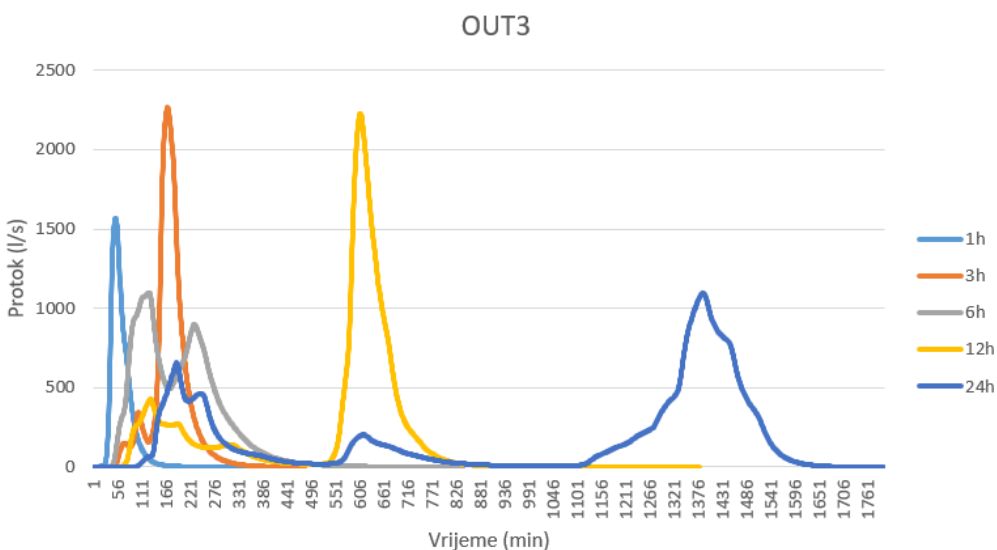


Slika 36 Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h)

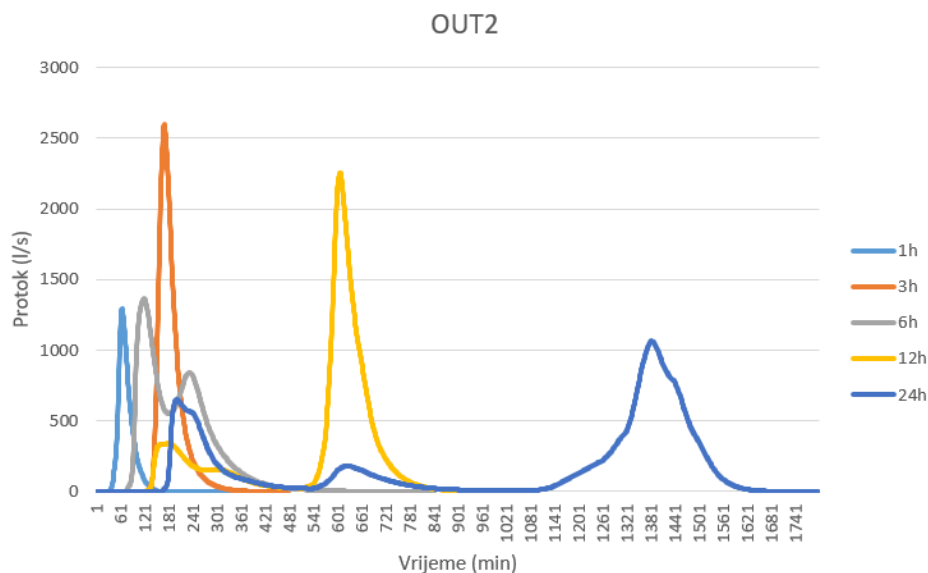
8.2. Sadašnje stanje

U nastavku su prikazani hidrogrami za različite izlazne točke. Hidrološko-hidraulički model sastoji se od tri izlazne točke (OUT3, OUT2, OUT5) te je za svaki izlaz napravljena analiza otjecanja. Analiza otjecanja napravljena je za sljedeće povratne periode (2god., 25god, 100god.). Za svaki povratni period napravljena je simulacija za trajanje projektnog pljuska od 1h, 3h, 6h, 12h, 24h. Na izlazu OUT3 spojena je kanalizacijska mreža odvodnje oborinskih voda.

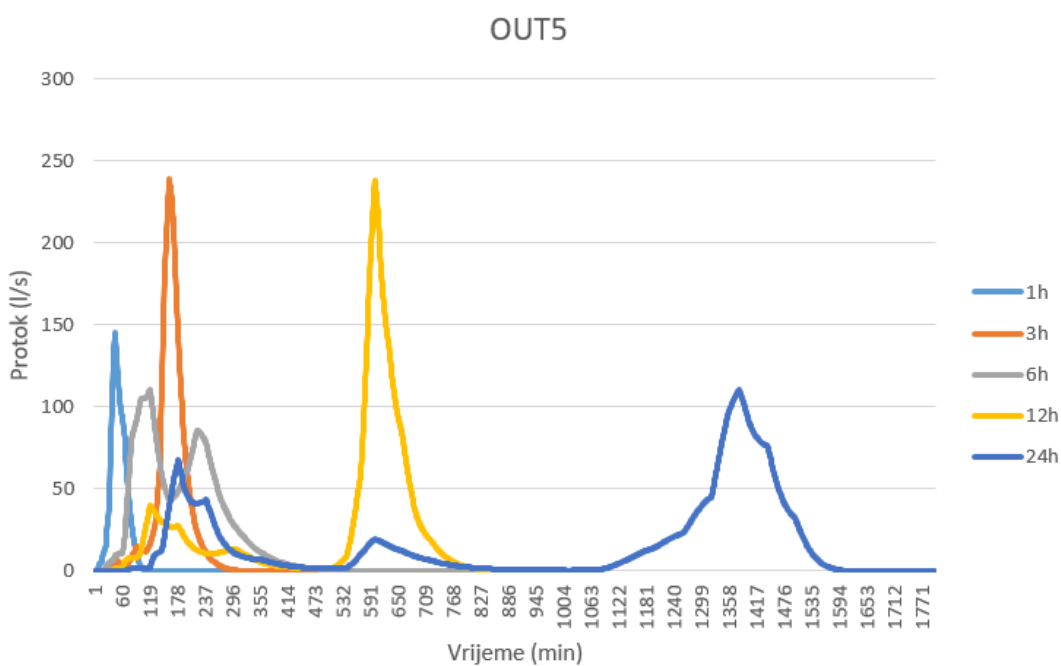
U nastavku su dati hidrogrami otjecanja za povratni period od 2 godine.



Slika 37. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)

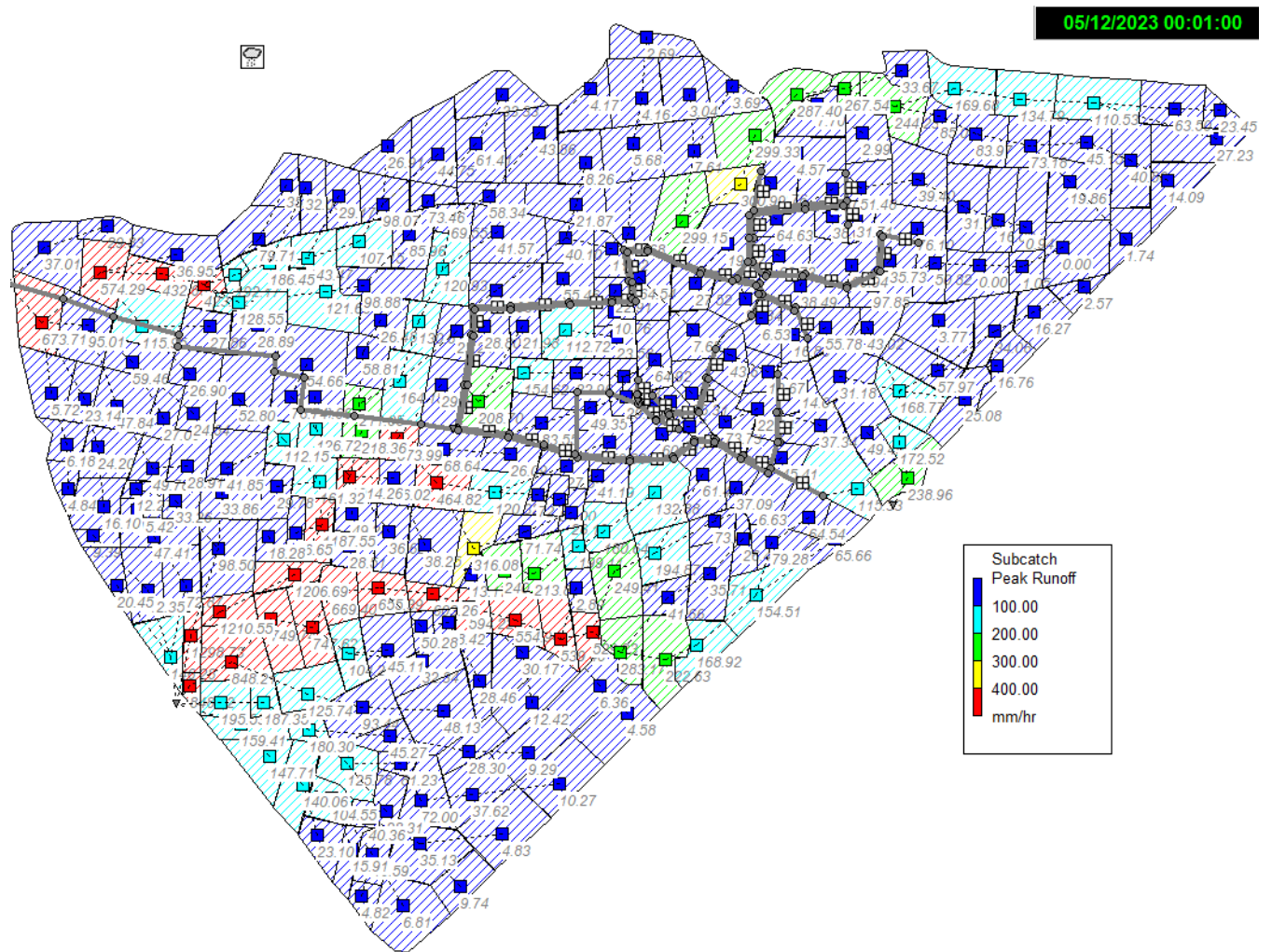


Slika 38. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)

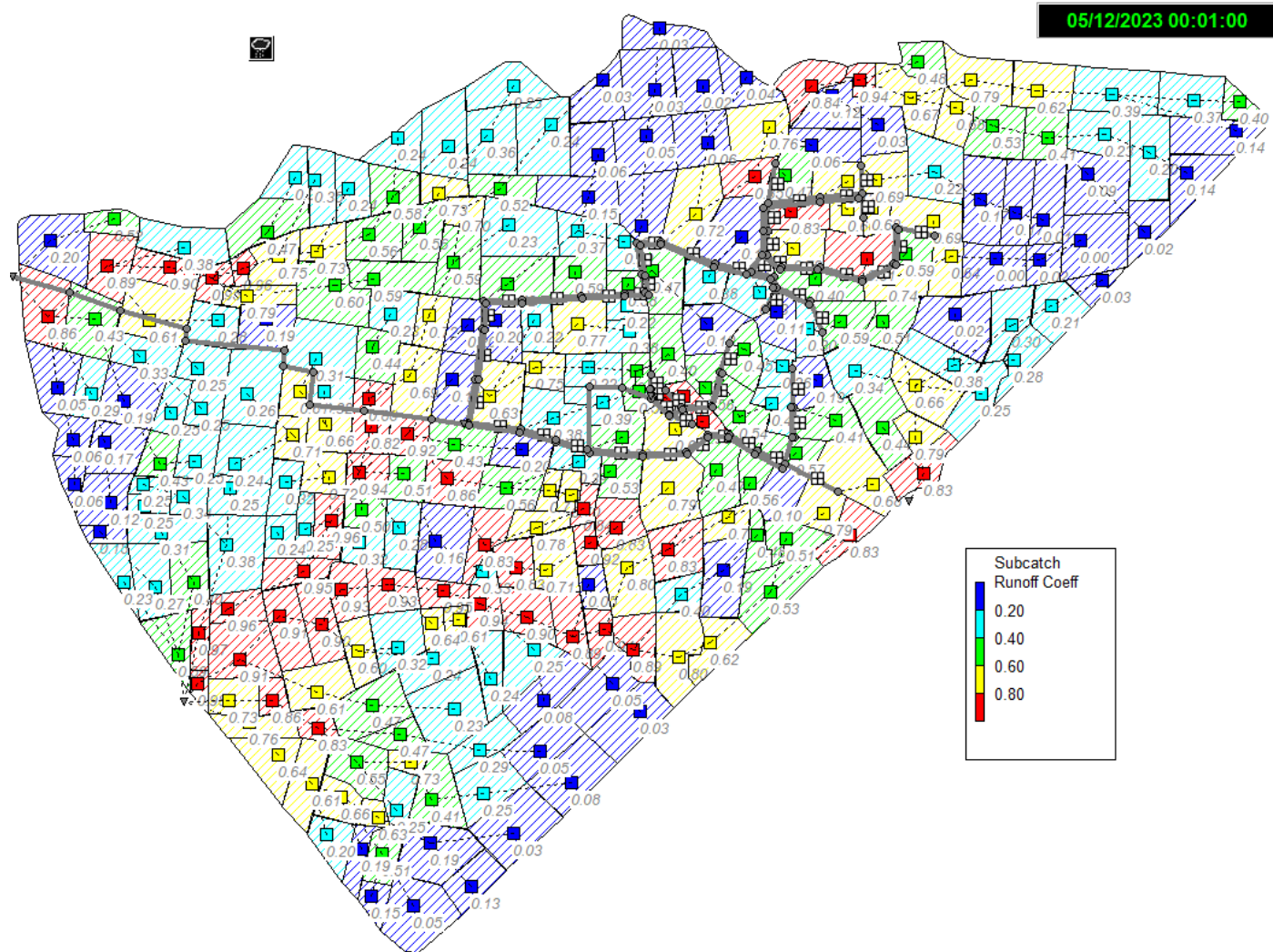


Slika 39 Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 2265.98l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 2595.72l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 238.89 l/s.

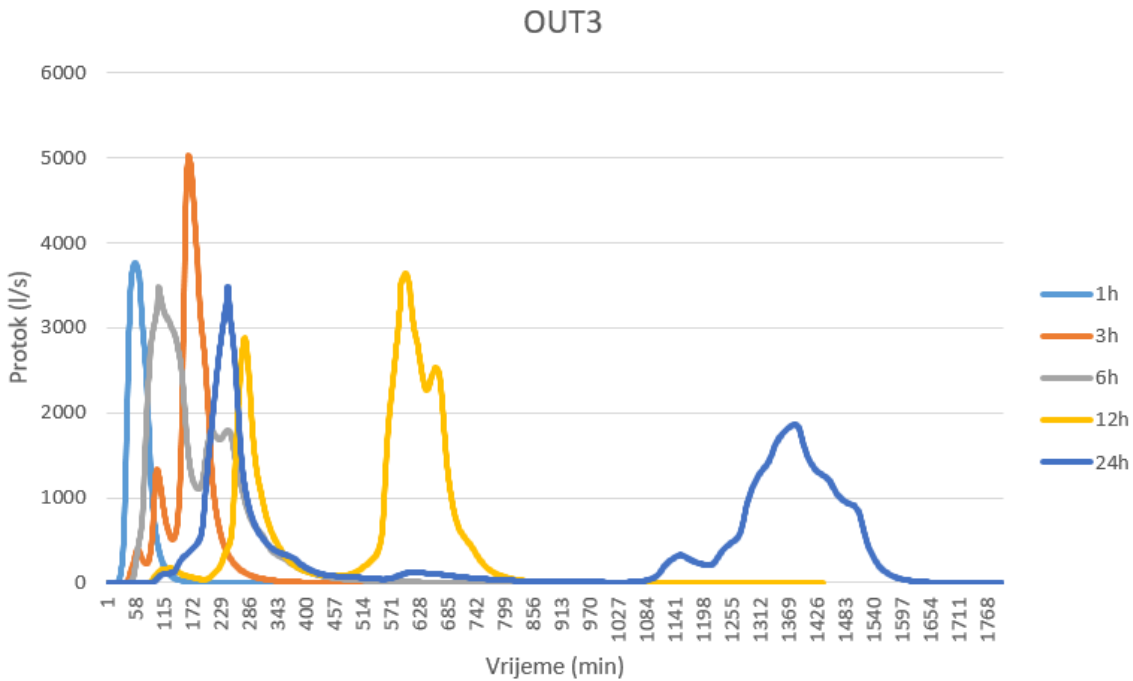


Slika 40. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,3h) (LPS)

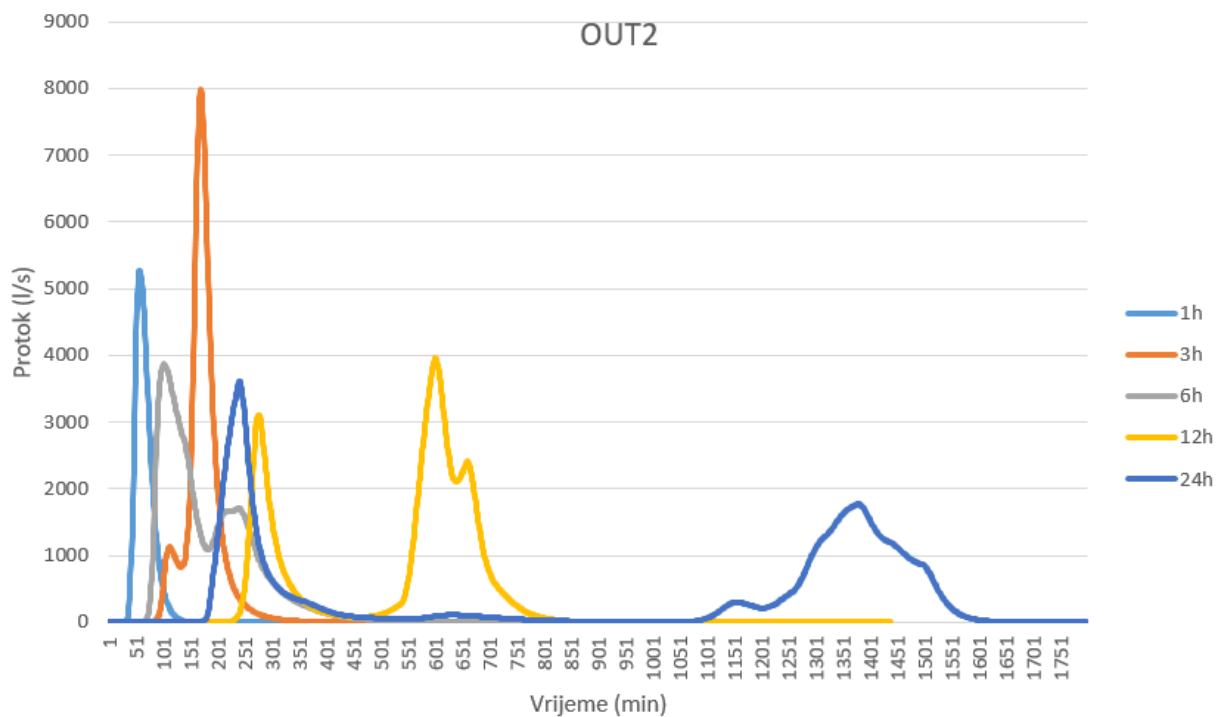


Slika 41. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP2,3h)

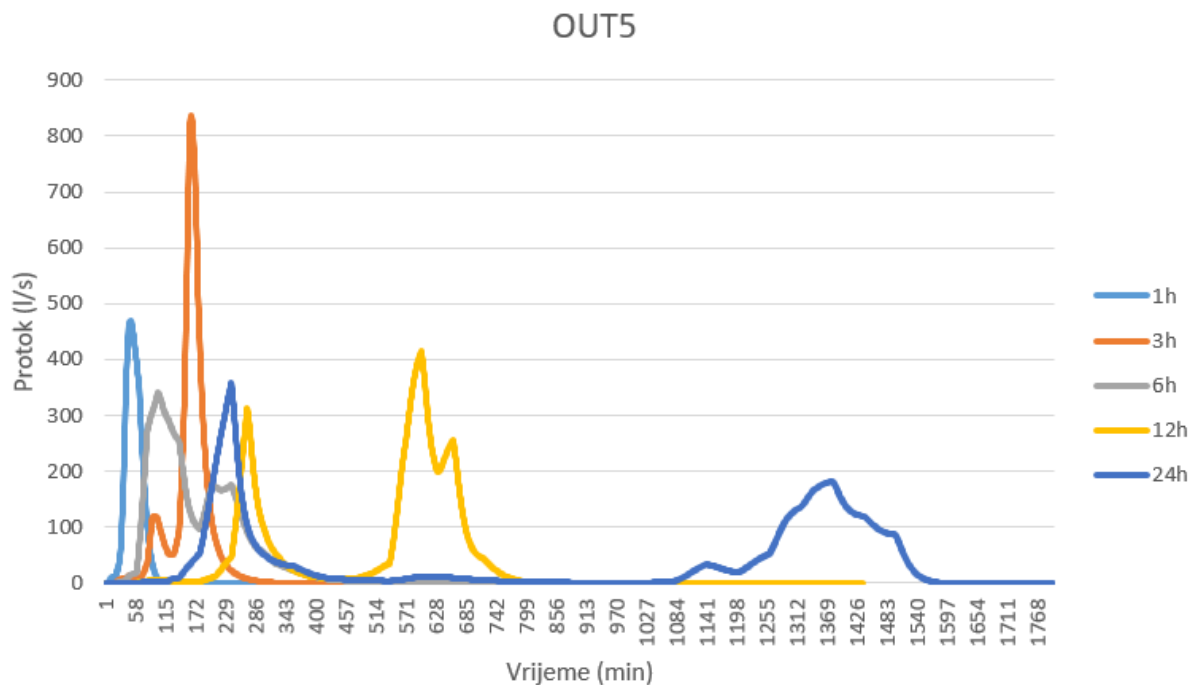
U nastavku je dan prikaz hidrograma otjecanja za povratni period 25 godina.



Slika 42 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)

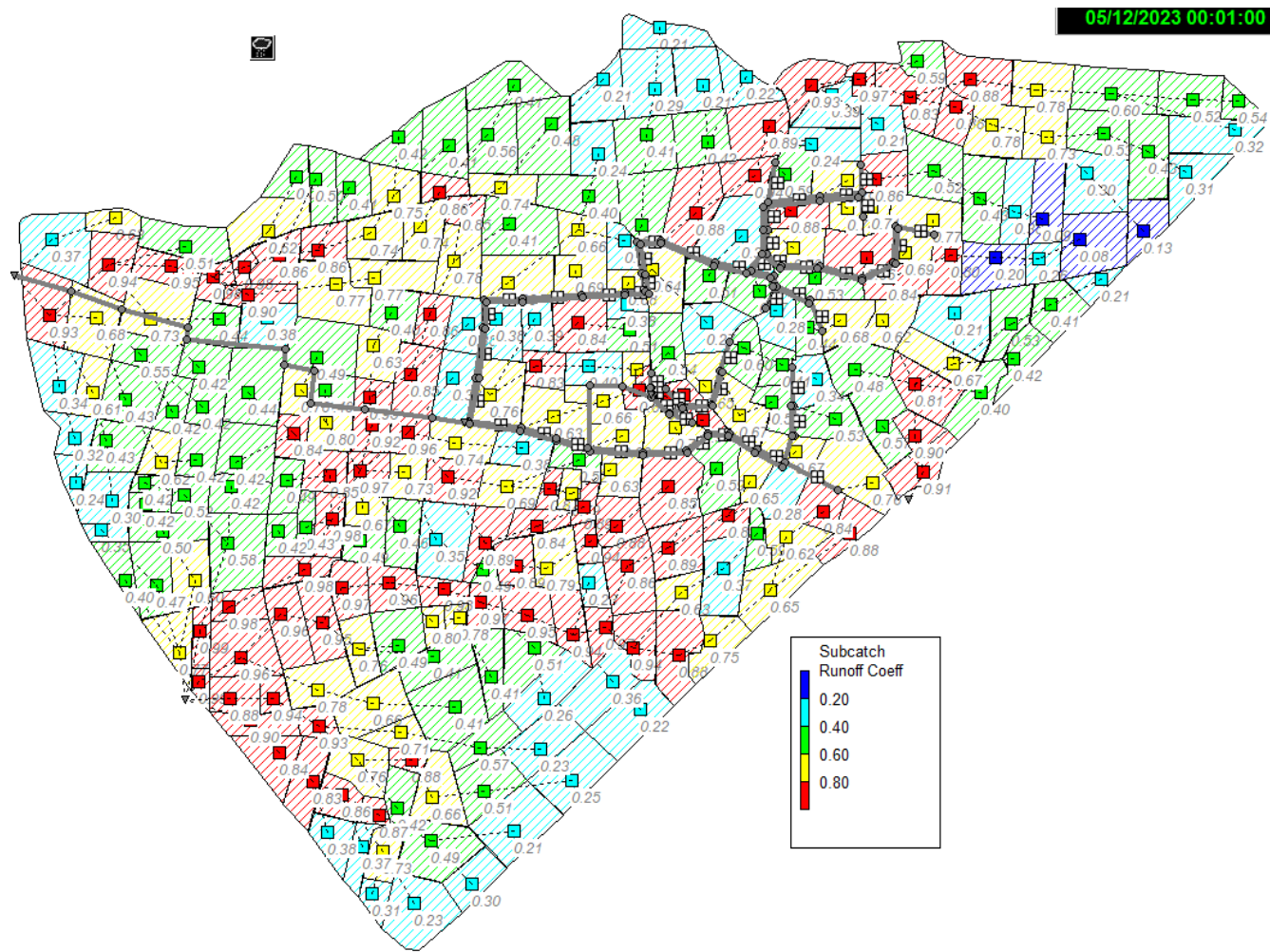


Slika 43. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)



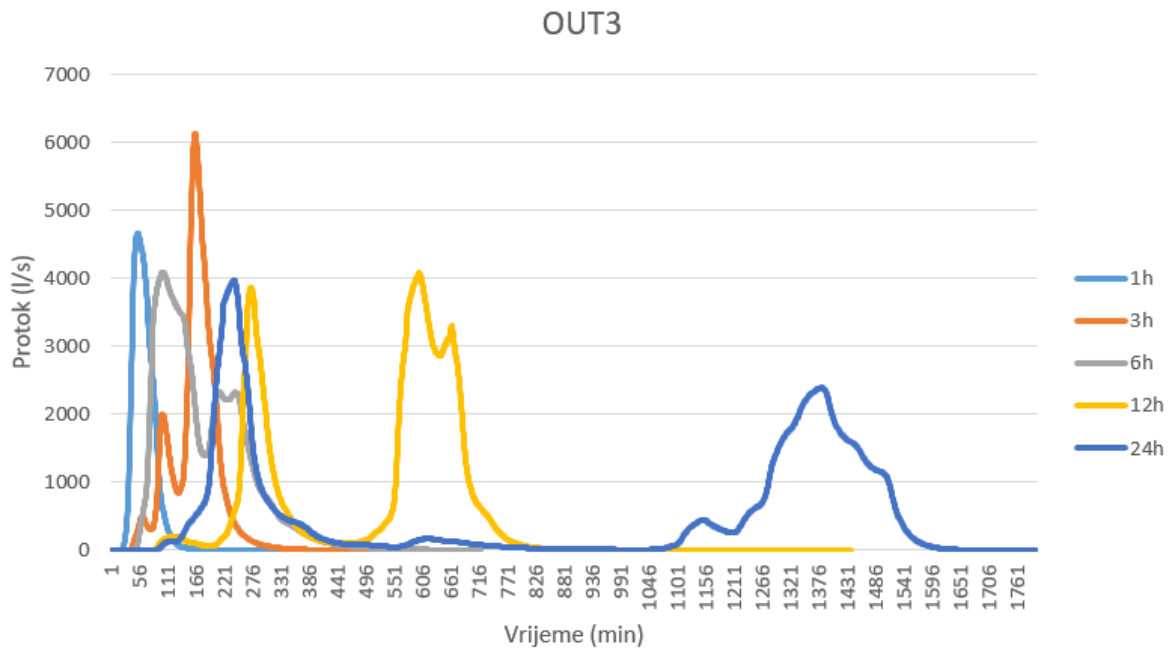
Slika 44. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 5020.96 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 7993.94 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 837.58 l/s.

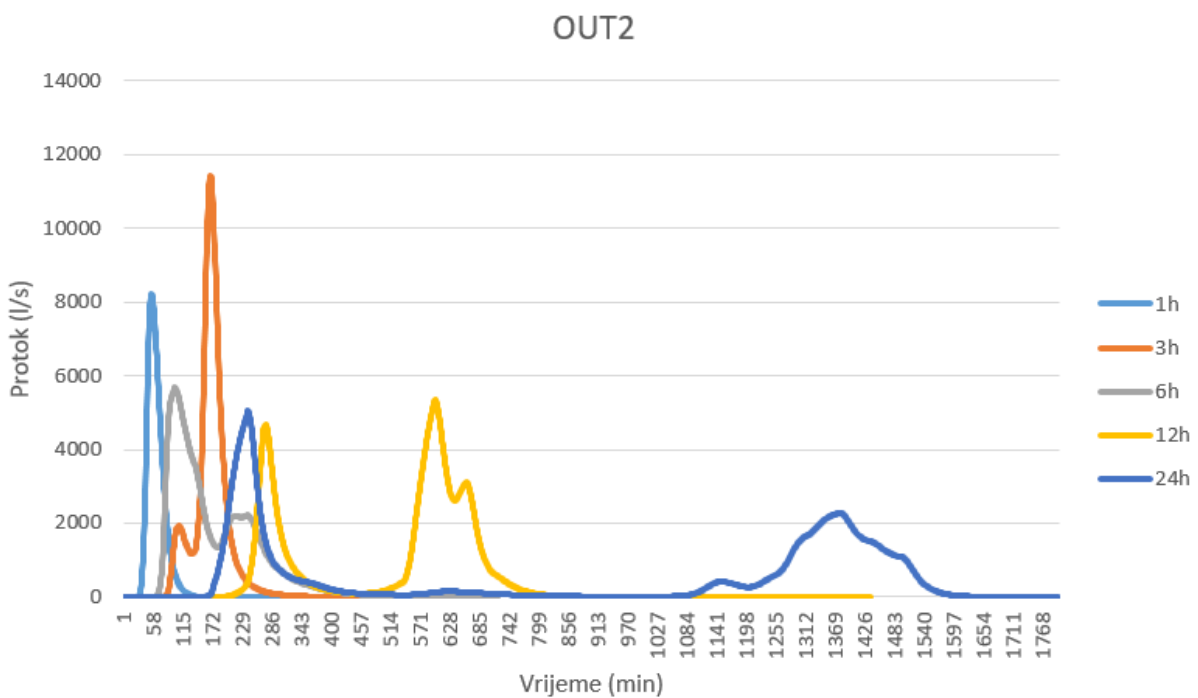


Slika 46. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP25,3h)

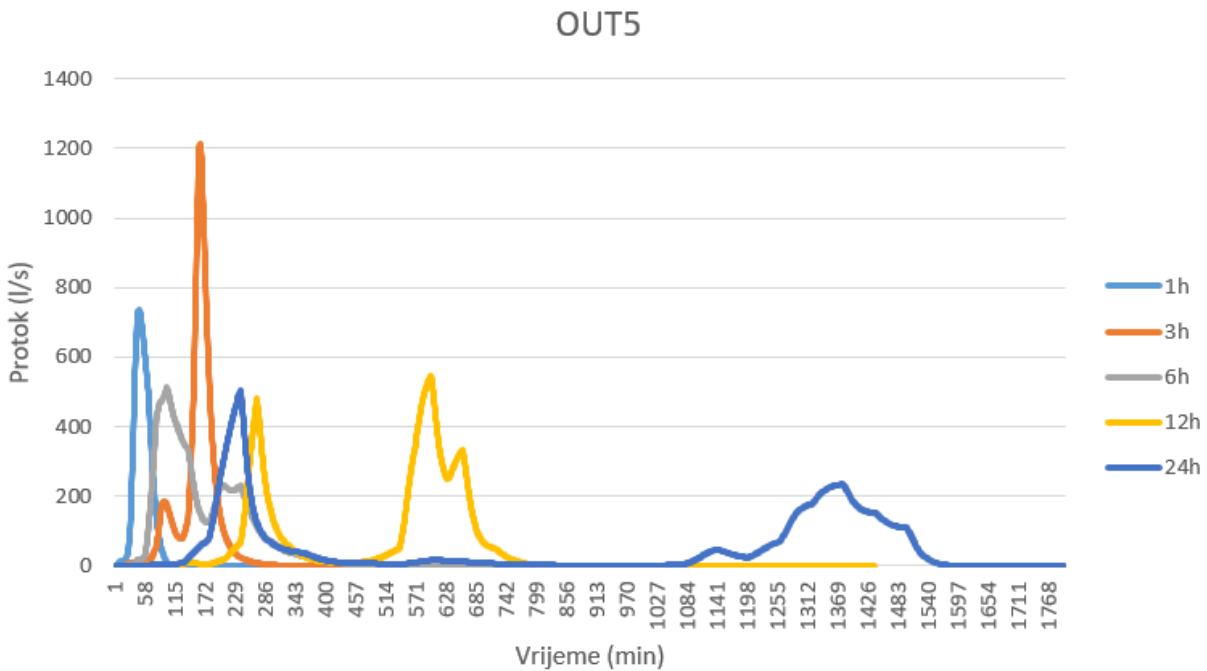
U nastavku je dan prikaz hidrograma otjecanja za povratni period 100 godina.



Slika 47. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PPI100god.)

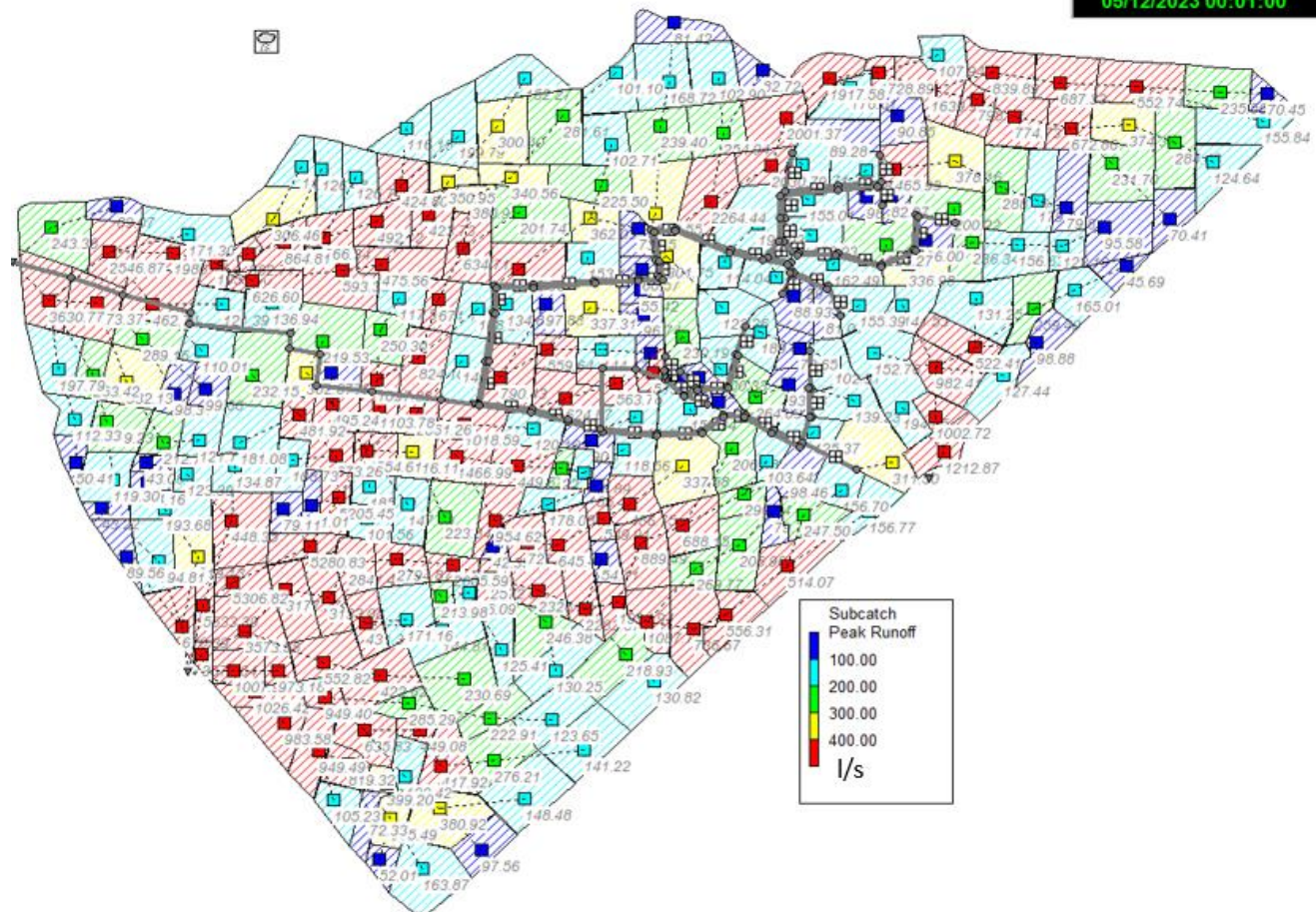


Slika 48. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)

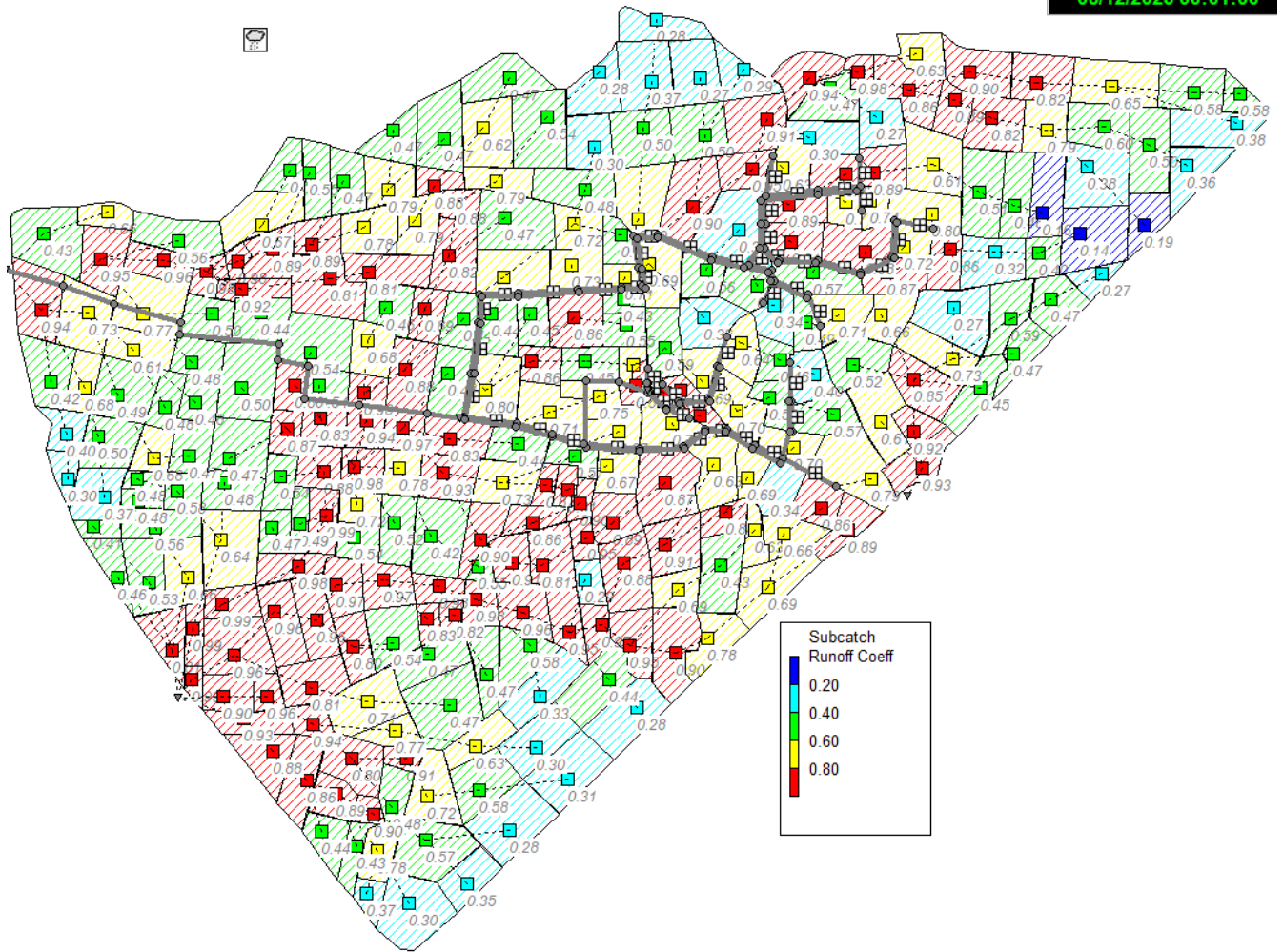


Slika 49. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 6127.6 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 11439.56 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 1212.79 l/s.

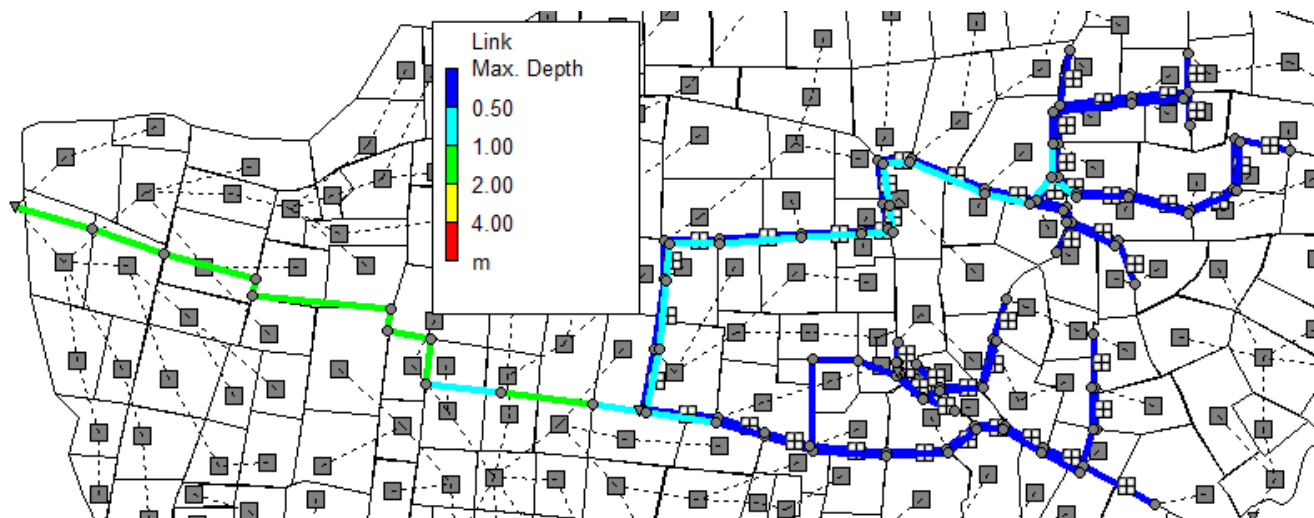


Slika 50. Shematski prikaz vršnog otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h)

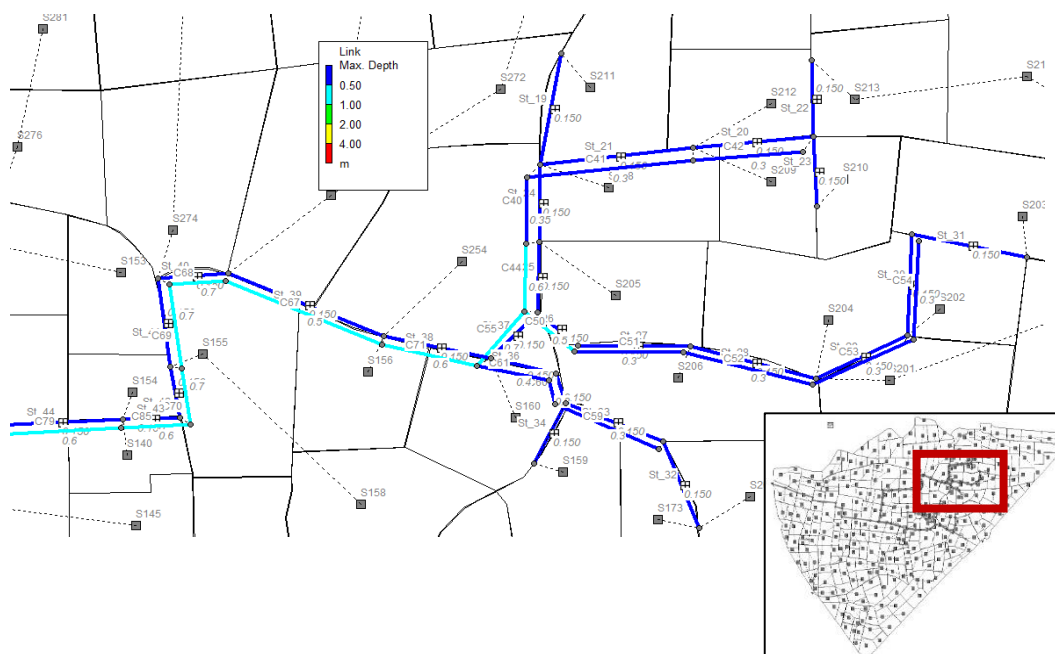


Slika 51. Shematski prikaz koeficijenta otjecanja na pojedinom podslivu (PP100,3h)

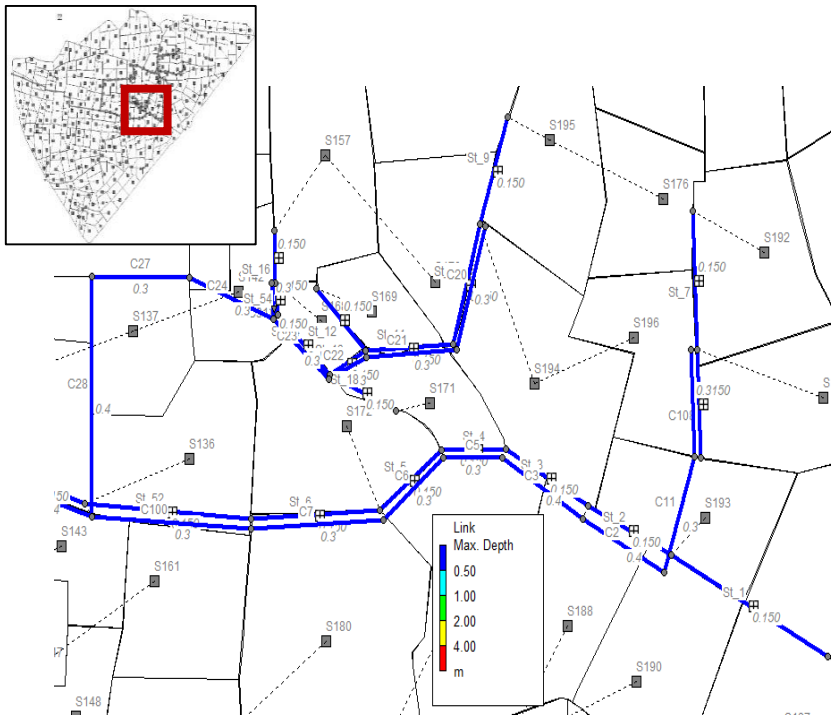
U nastavku se nalaze grafički prikazi (Slika 49. – 54.) koji sadrže vrijednosti promjera cijevi, dimenzioniranje promjera izvršilo se na modelu sadašnje stanje s povratnim periodom od 2 godine te trajanjem projektnog pljuska od 3 sata.



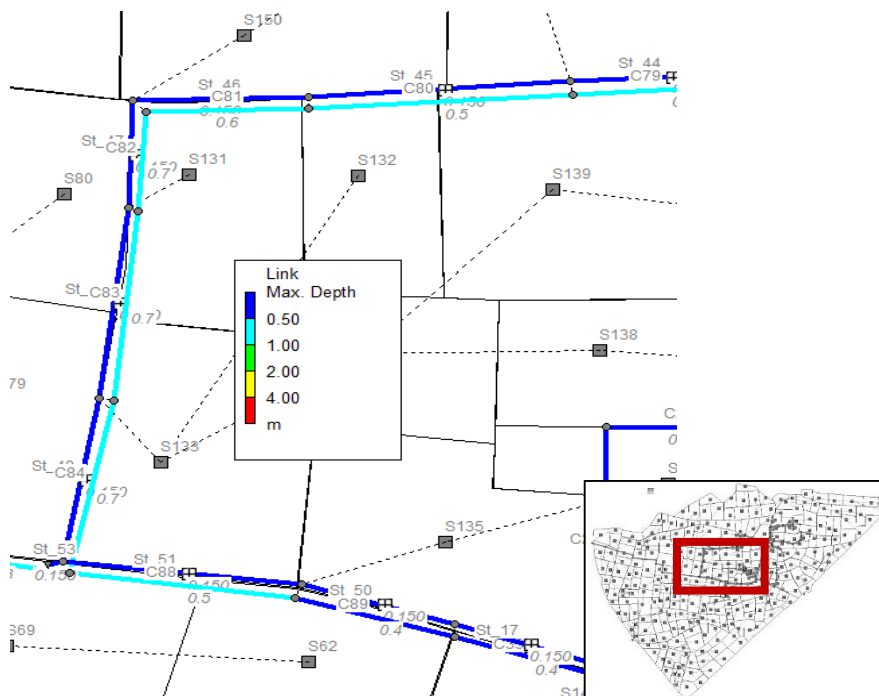
Slika 52. Grafički prikaz promjera cijevi na obuhvaćenom području za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



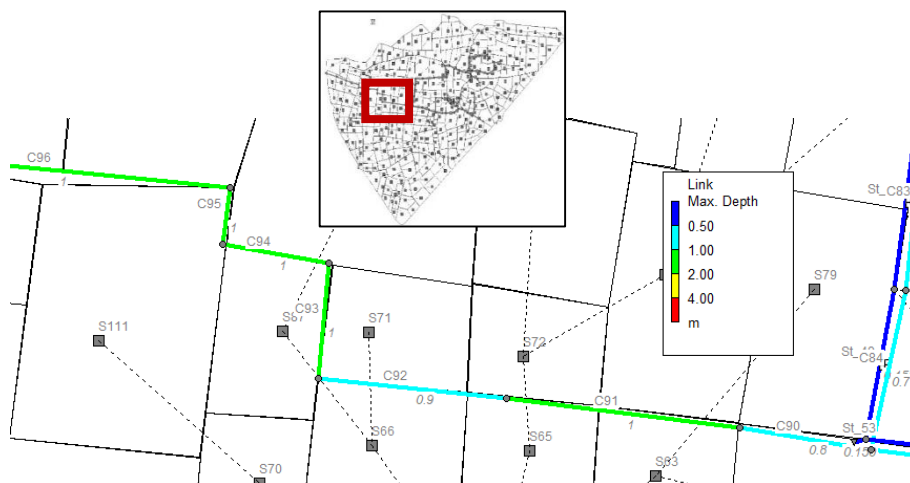
Slika 53. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



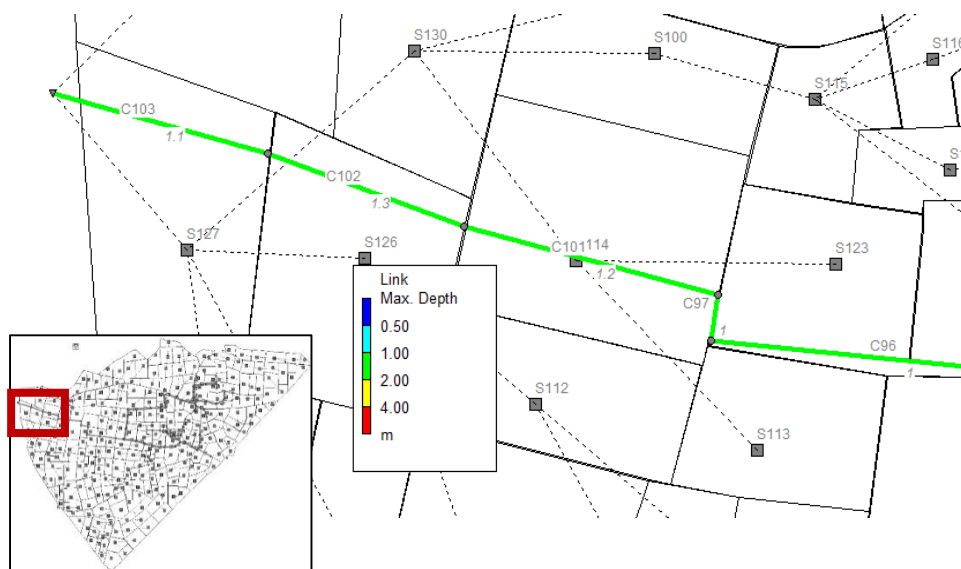
Slika 54. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



Slika 55. Grafički prikaz promjera cijevi u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)

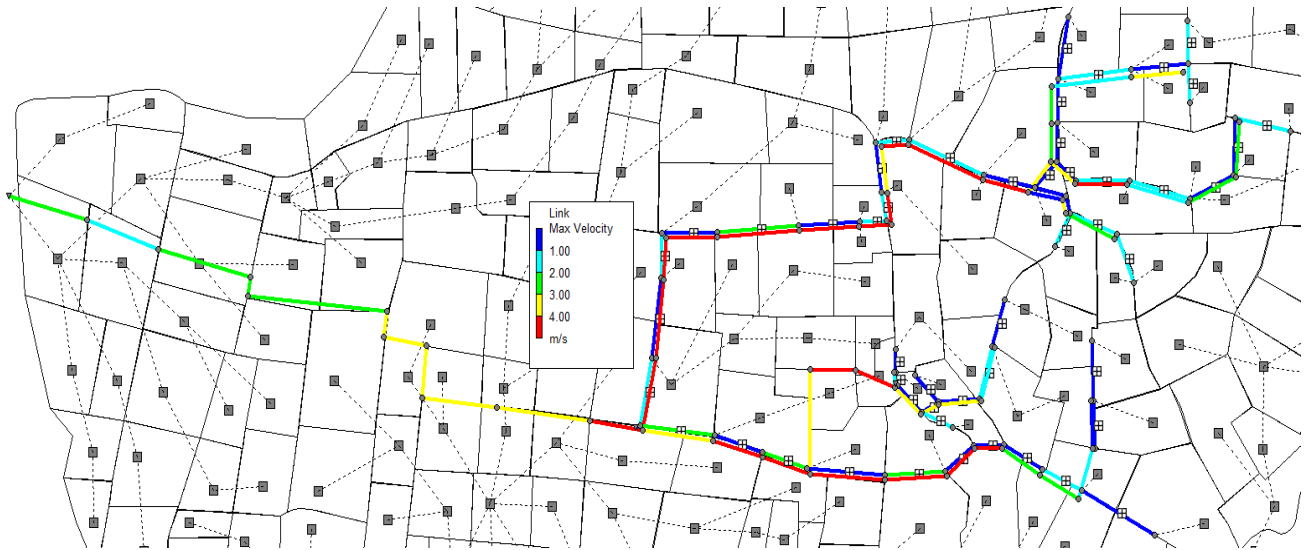


Slika 56. Grafički prikaz promjera cijevi u podstavu 4 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)

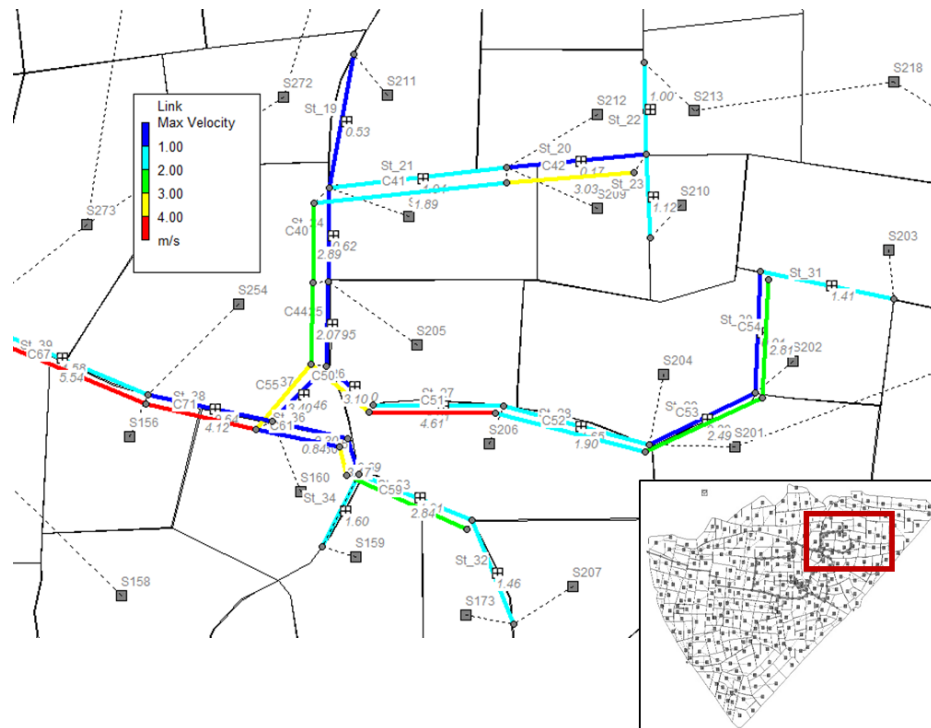


Slika 57. Grafički prikaz promjera cijevi u podstavu 5 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)

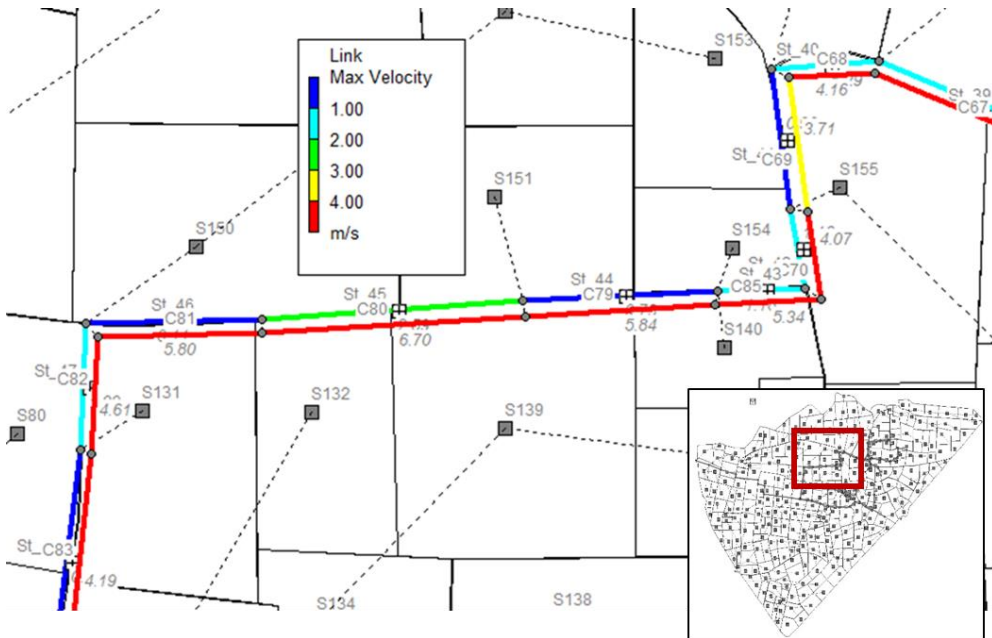
U nastavku se nalaze grafički prikazi (Slika 55. – 62.) koji sadrže vrijednosti brzina u postojećim kolektorima za sadašnje stanje s povratnim periodom od 2 godine te trajanjem od 3 sata.



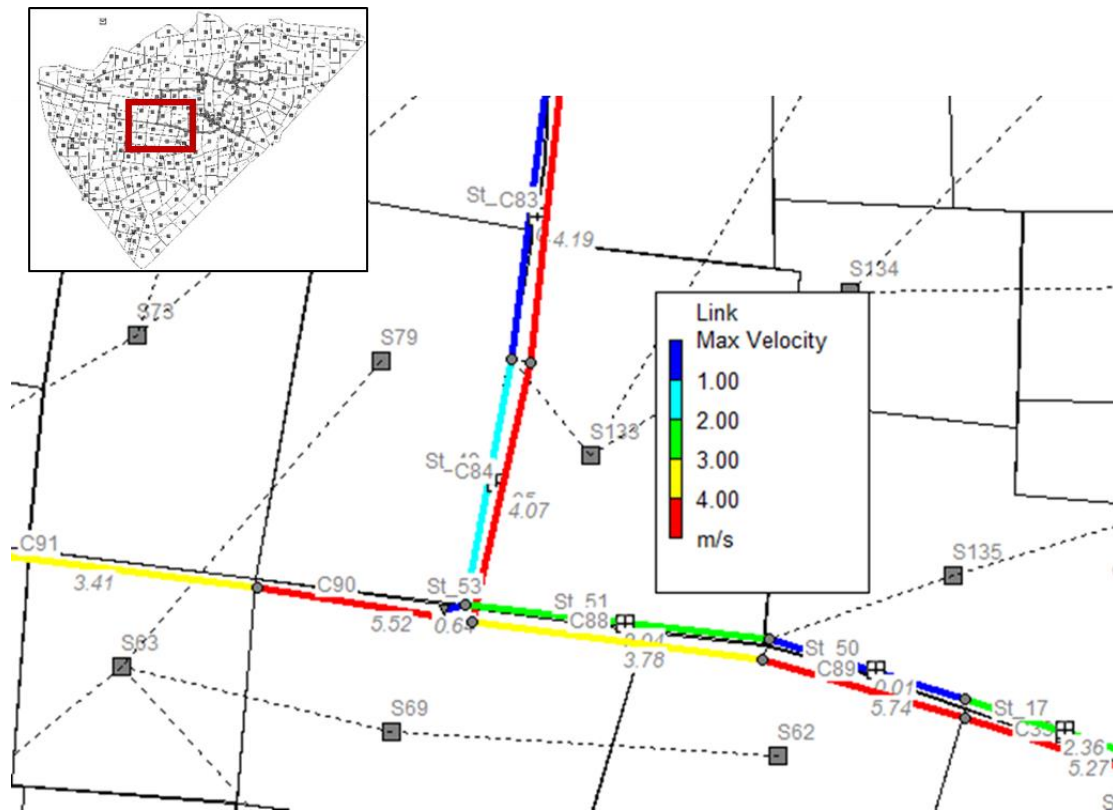
Slika 58. Prikaz brzina u postojećim kolektorima na analiziranom području



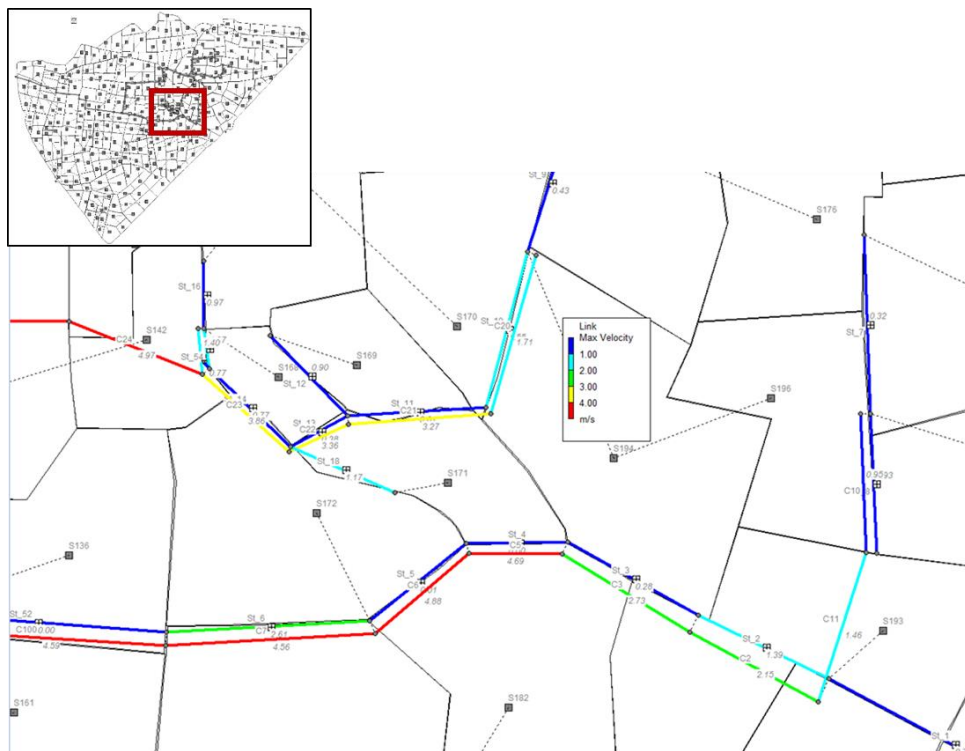
Slika 59. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



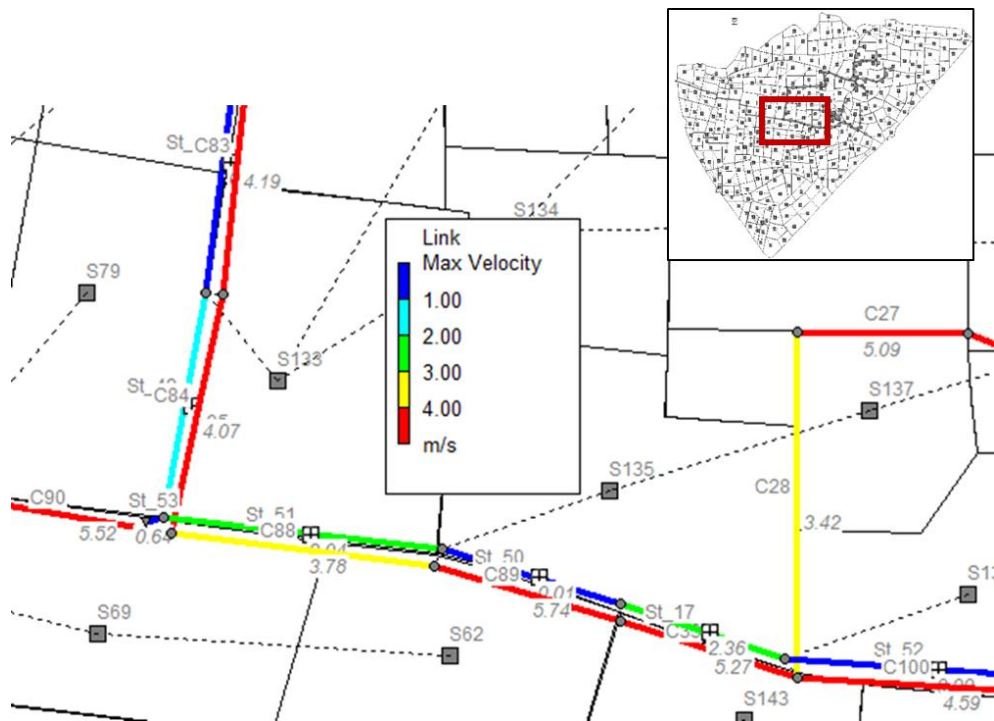
Slika 60. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



Slika 61. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



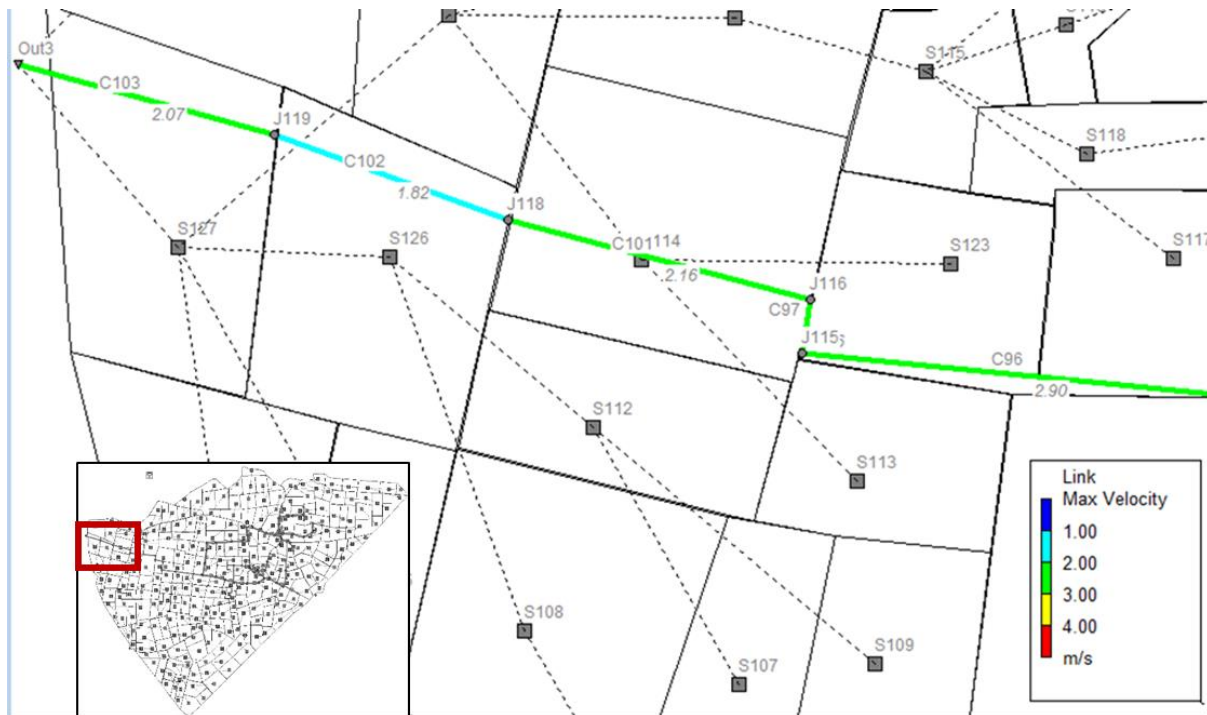
Slika 62. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)



Slika 63. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)

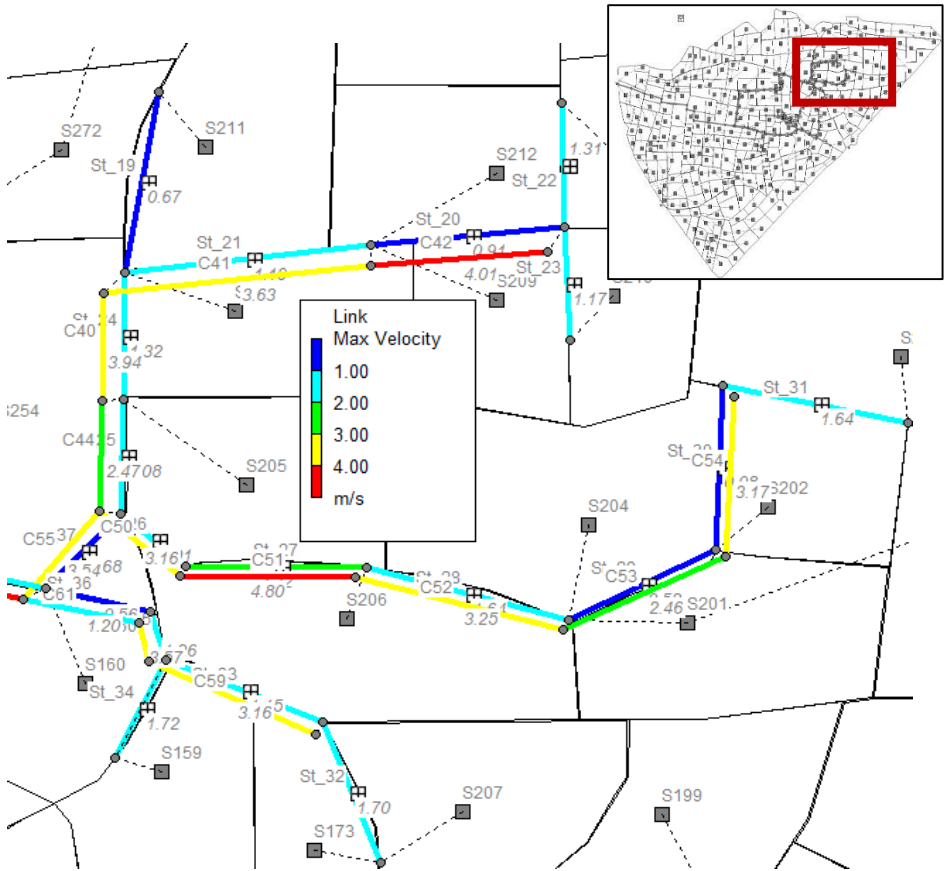


Slika 64. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)

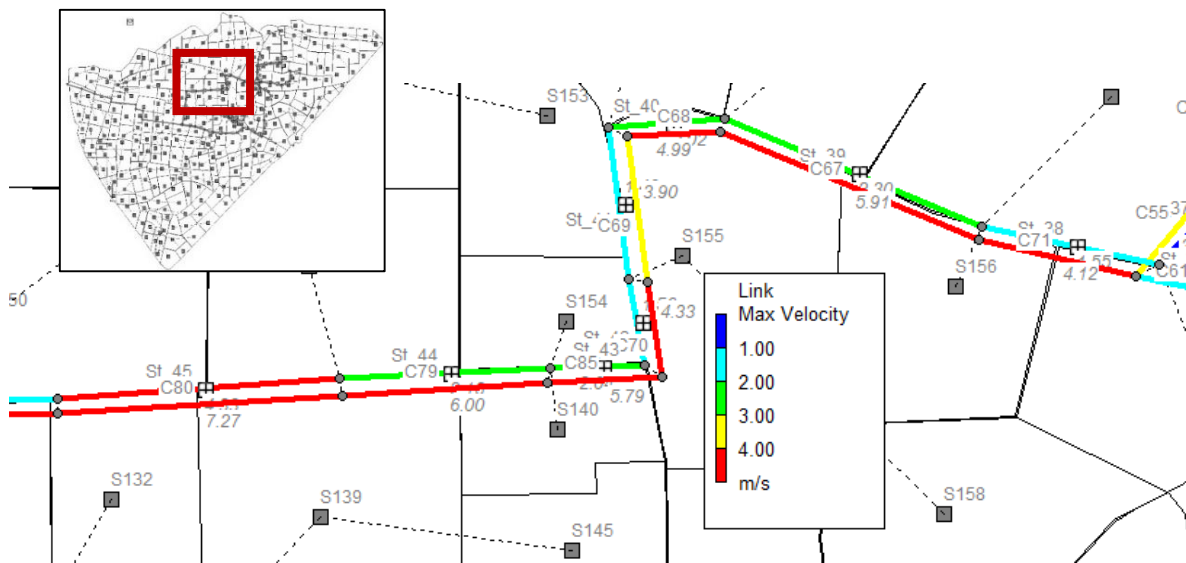


Slika 65. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 2.god., 3h)

U nastavku se nalaze grafički prikazi (Slika 63. – 69.) koje sadrže vrijednosti maksimalnih brzina u postojećim kolektorima za sadašnje stanje s povratnim periodom od 25 godina u trajanju od 3 sata.

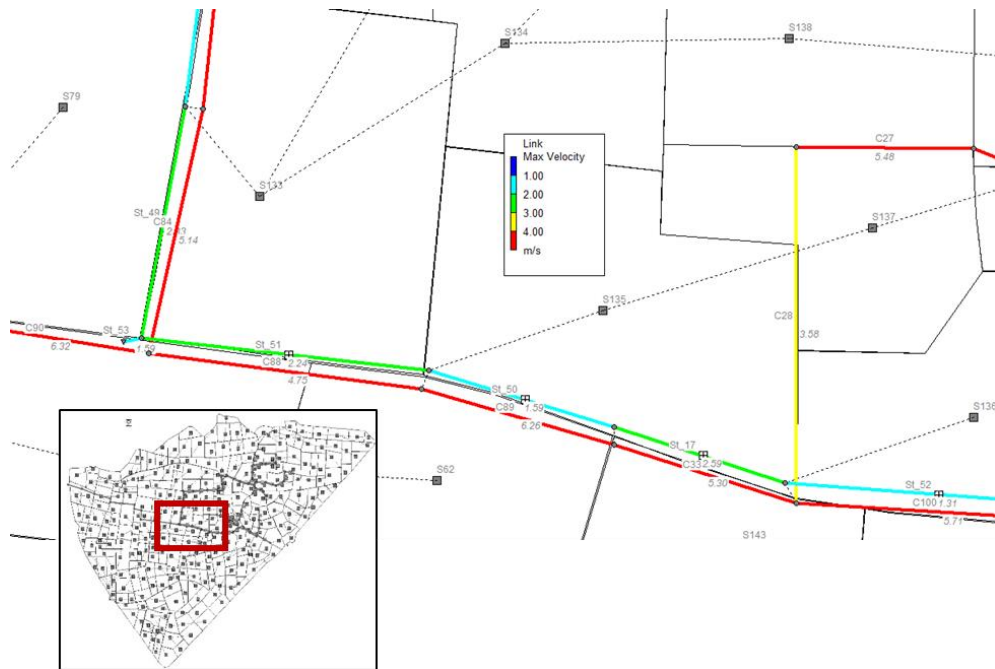


Slika 66. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)

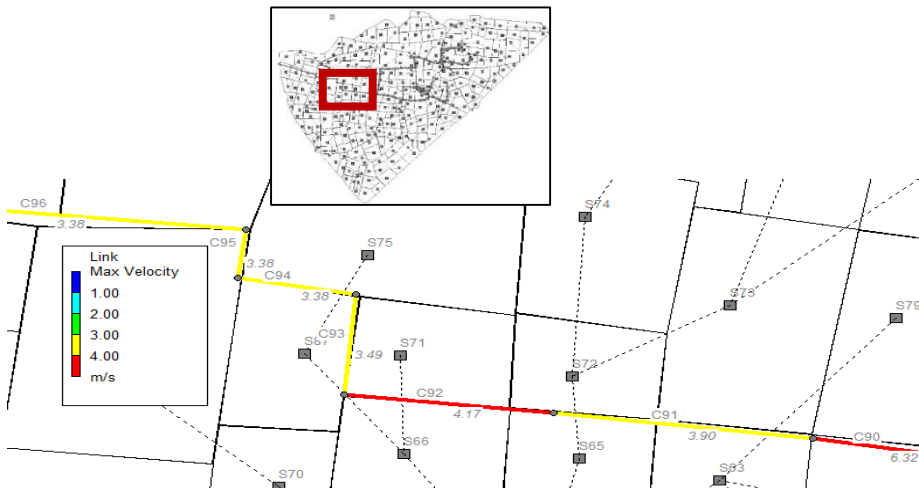


Slika 67. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)

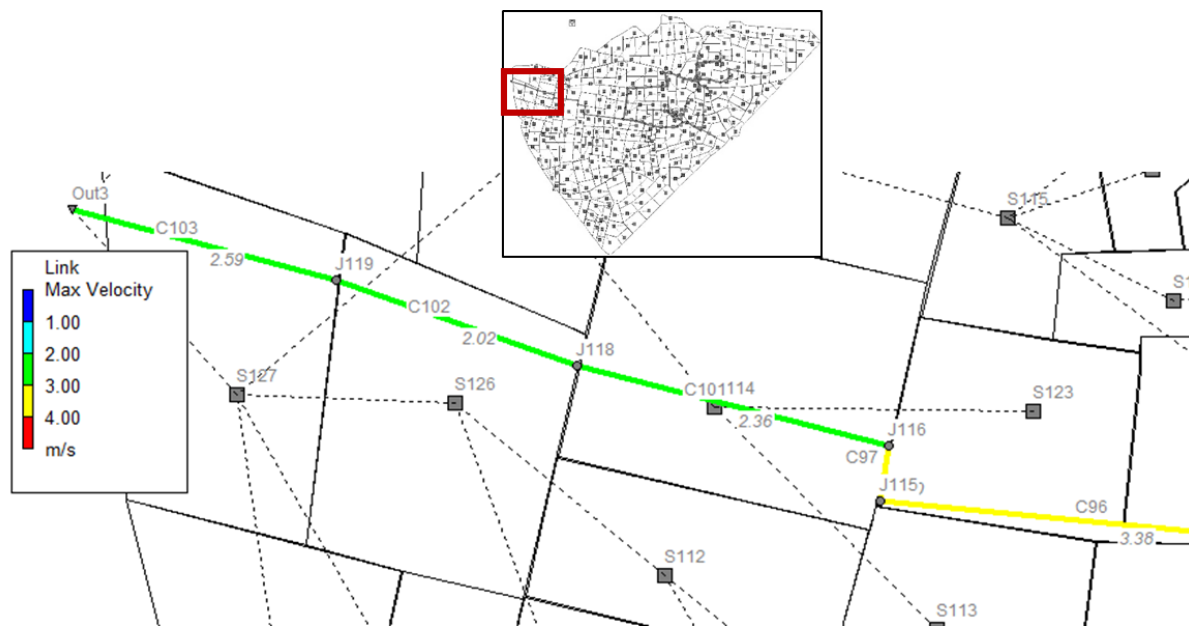
Slika 69. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)



Slika 70. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)

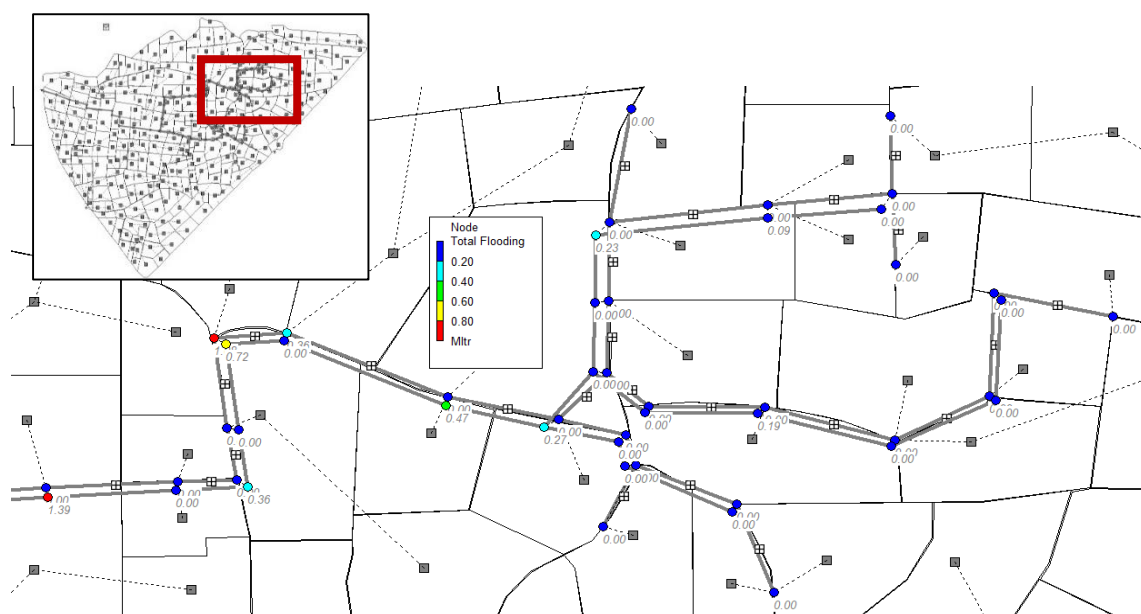


Slika 71. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)

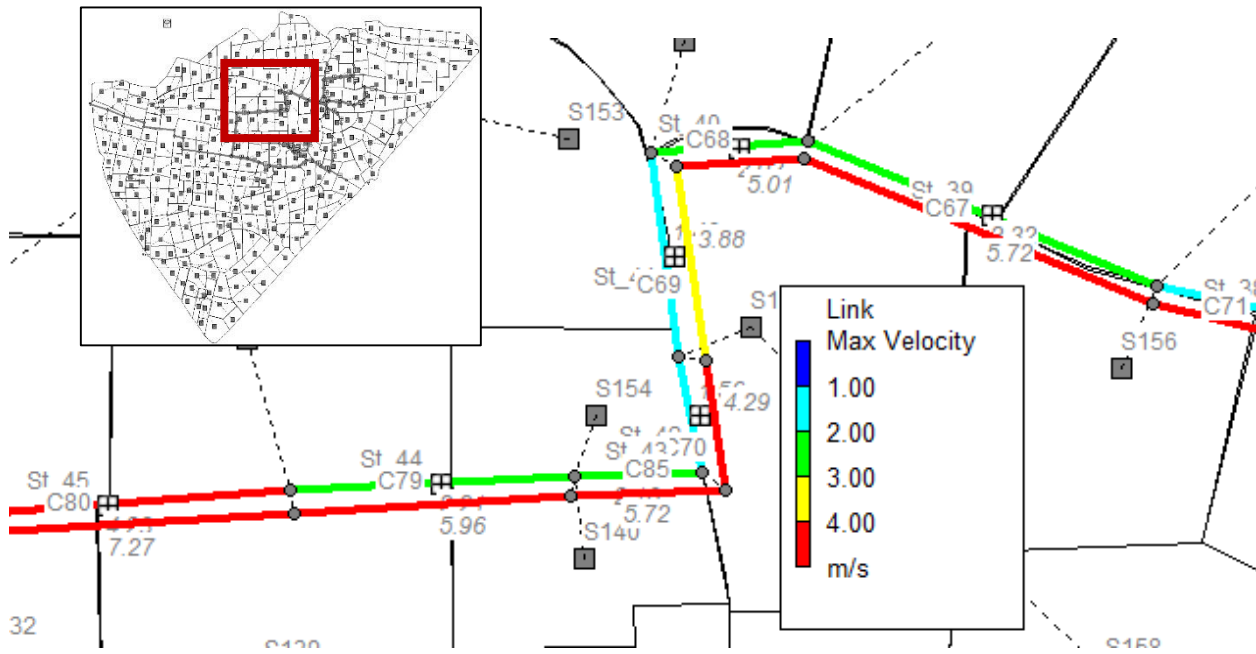


Slika 72. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 25.god., 3h)

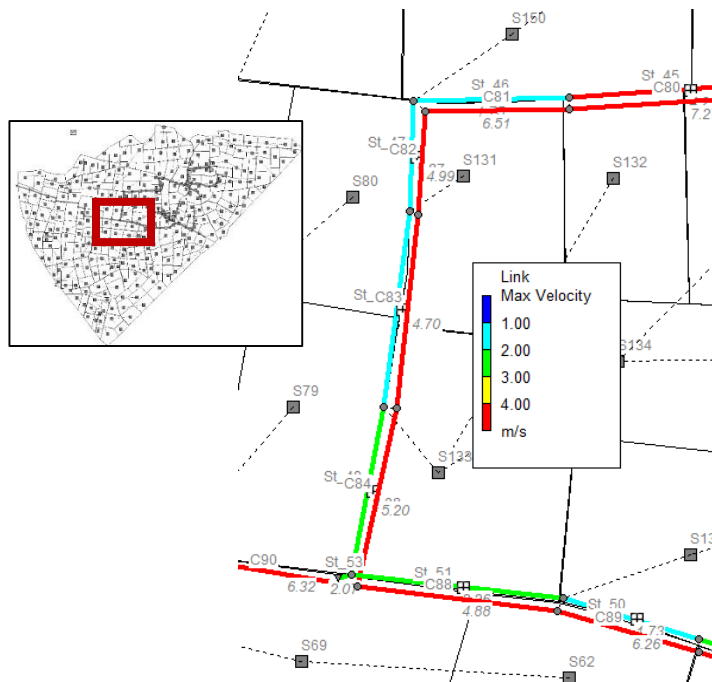
U nastavku slijede grafički prikazi (Slika 70. – 74.) koji sadrže vrijednosti ukupne poplavljenosti okna u postojećim kolektorima za sadašnje stanje s povratnim periodom od 25 god te trajanja projektnog pljuskua od 3h.



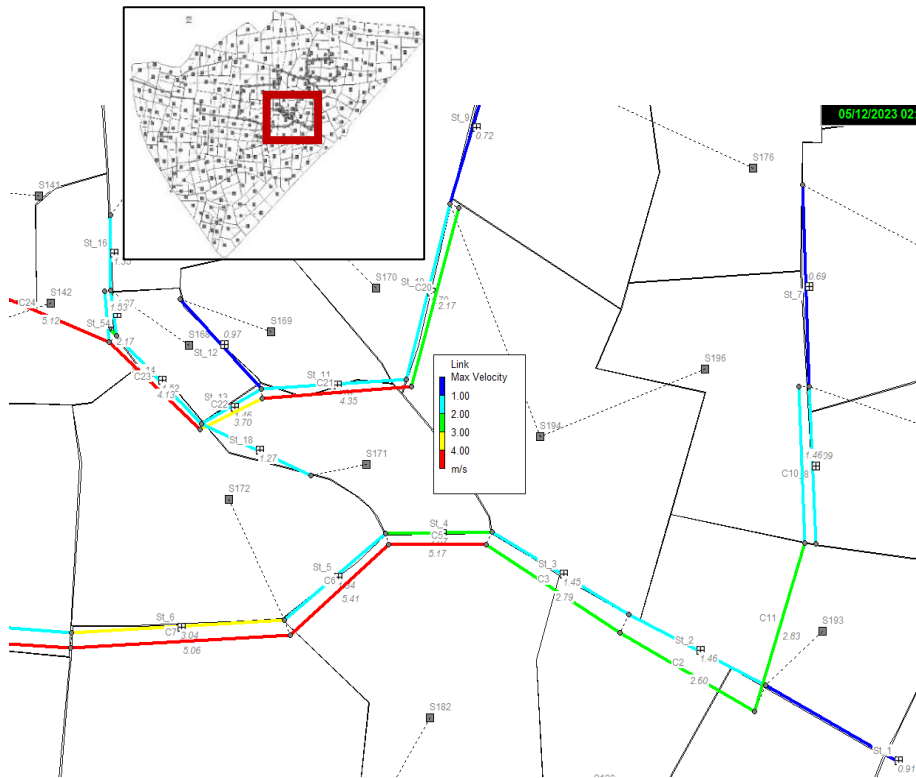
Slika 73. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 1 (PP 25god, 3h).



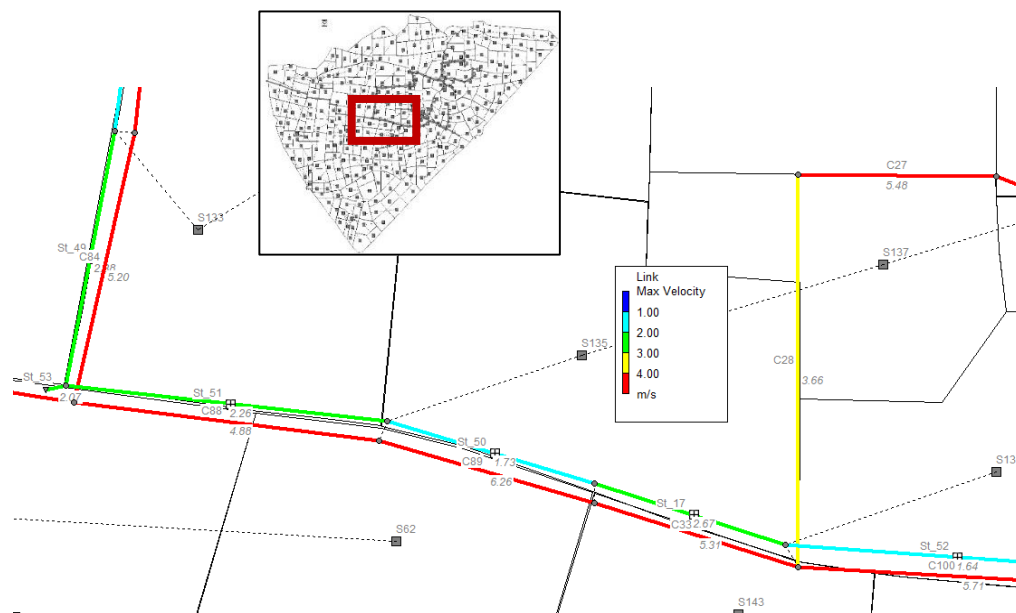
Slika 79. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h)



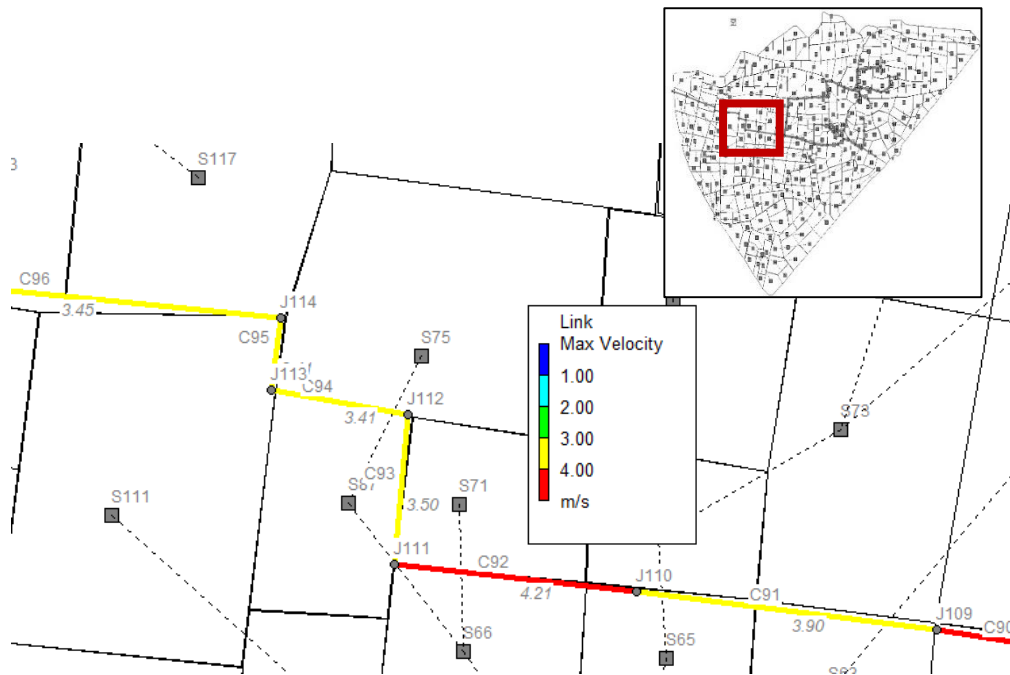
Slika 80. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h)



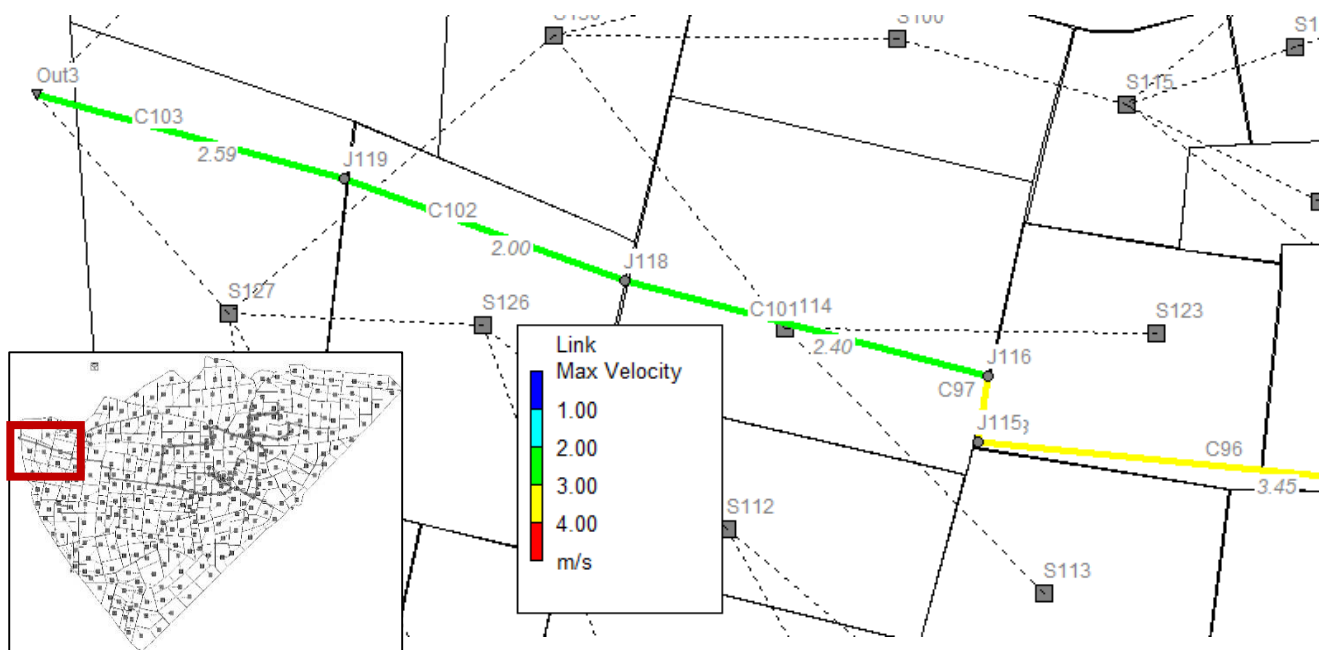
Slika 81. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h)



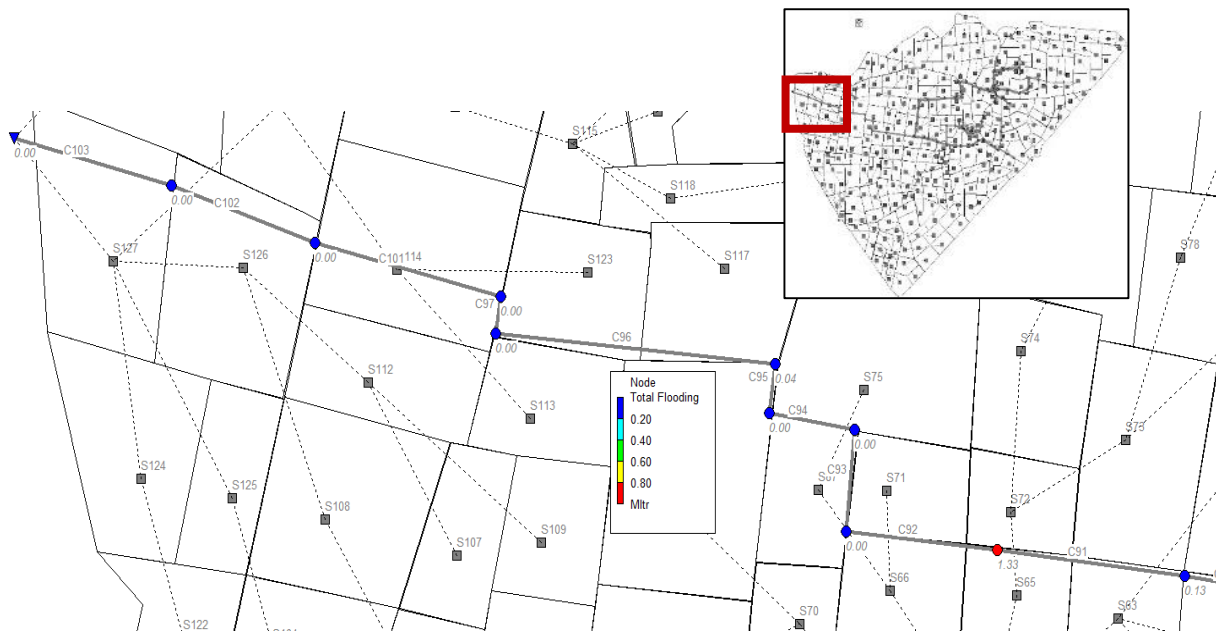
Slika 82. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h)



Slika 83. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h)



Slika 84. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 100.god., 3h)

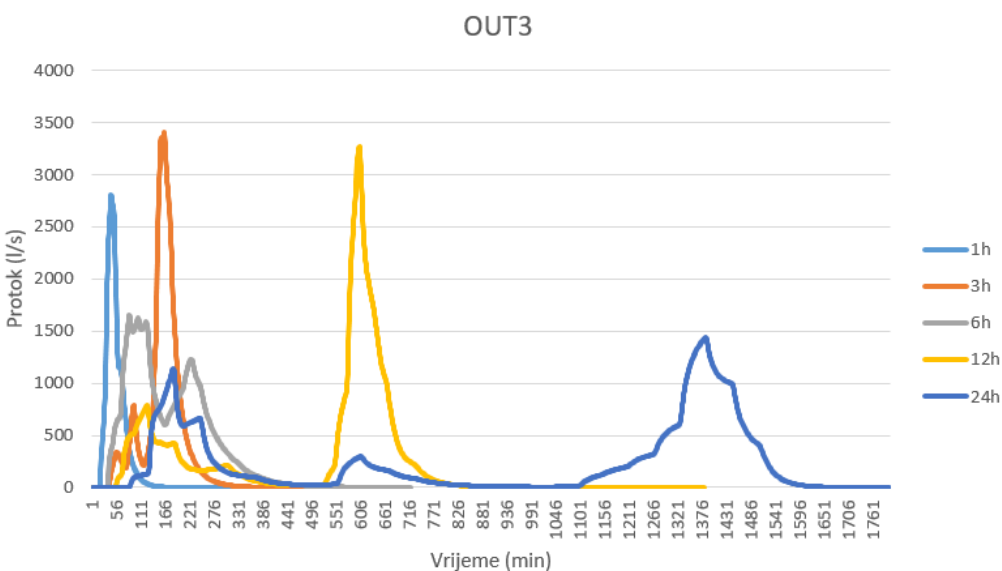


Slika 89. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za sadašnje stanje u podsustavu 7 za sadašnje stanje (PP 100god., 3h)

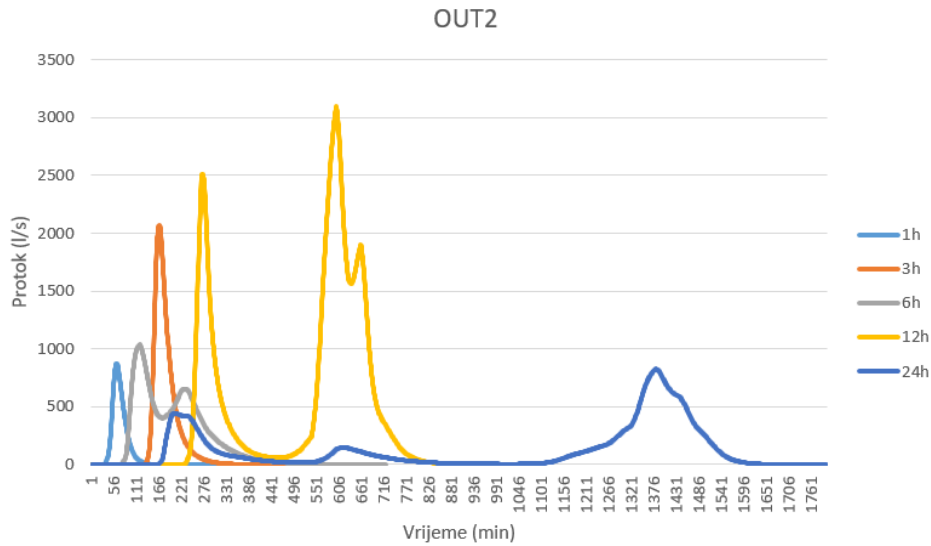
8.3. Buduće stanje

U nastavku su prikazani hidrogrami za različite izlazne točke. Hidrološko-hidraulički model sastoji se od tri izlazne točke (OUT3, OUT2, OUT5) te je za svaki izlaz napravljena analiza otjecanja. Analiza otjecanja napravljena je za sljedeće povratne periode (2god., 25god, 100god.). Za svaki povratni period napravljena je simulacija za trajanje projektog pljuska od 1h, 3h, 6h, 12h, 24h. Na izlazu OUT3 spojena je kanalizacijska mreža odvodnje oborinskih voda te je izveden novi dodatni dio kanalizacijske mreže za novo urbanizirano područje.

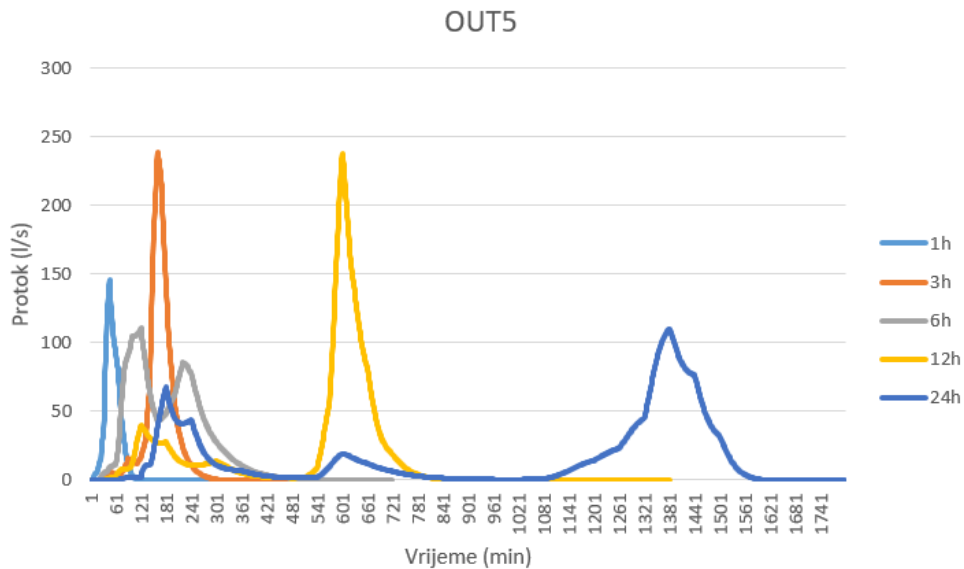
U nastavku su dati hidrogrami otjecanja za povratni period od 2 godine.



Slika 90. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektog pljuska (PP2god.)

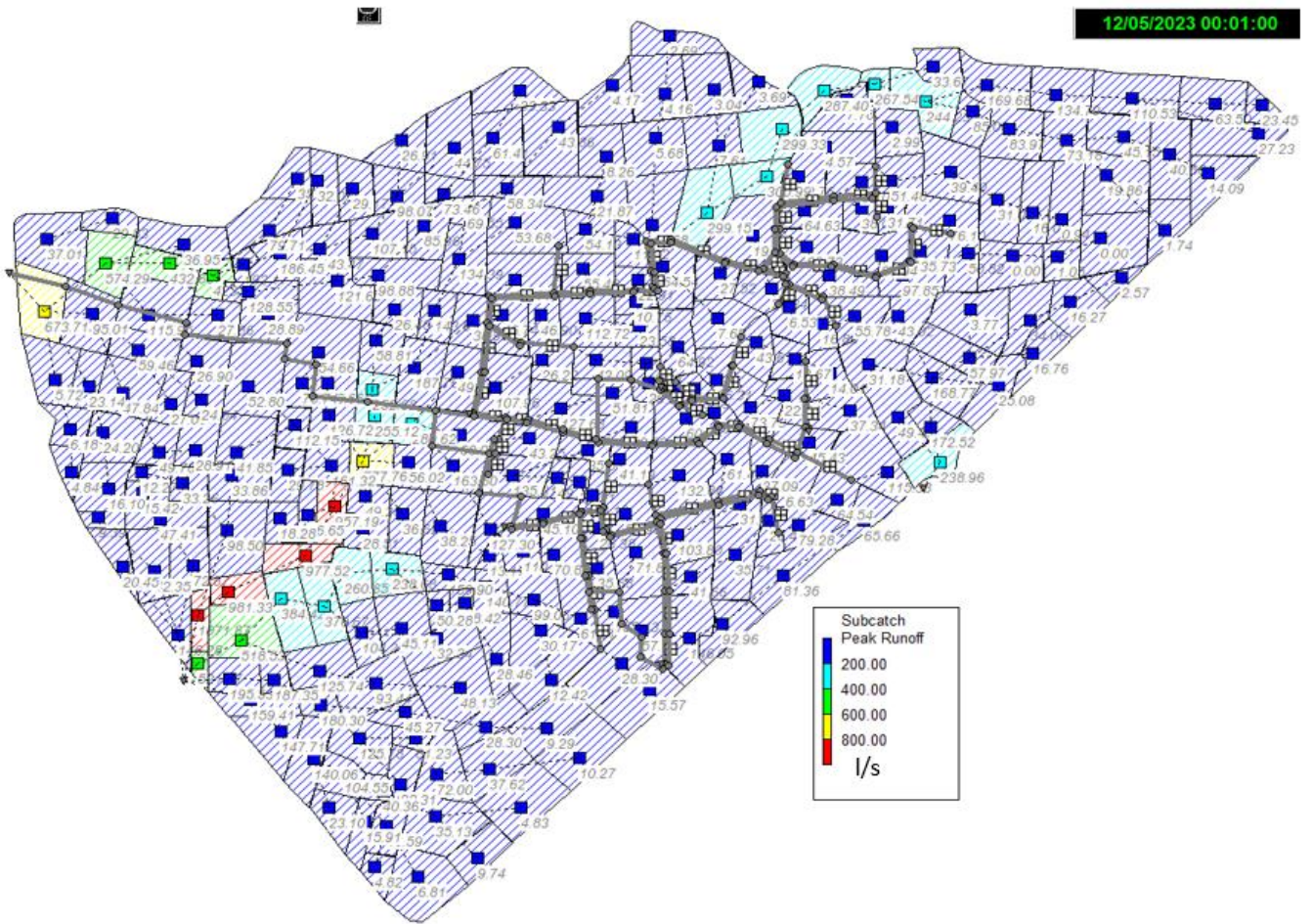


Slika 91. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)

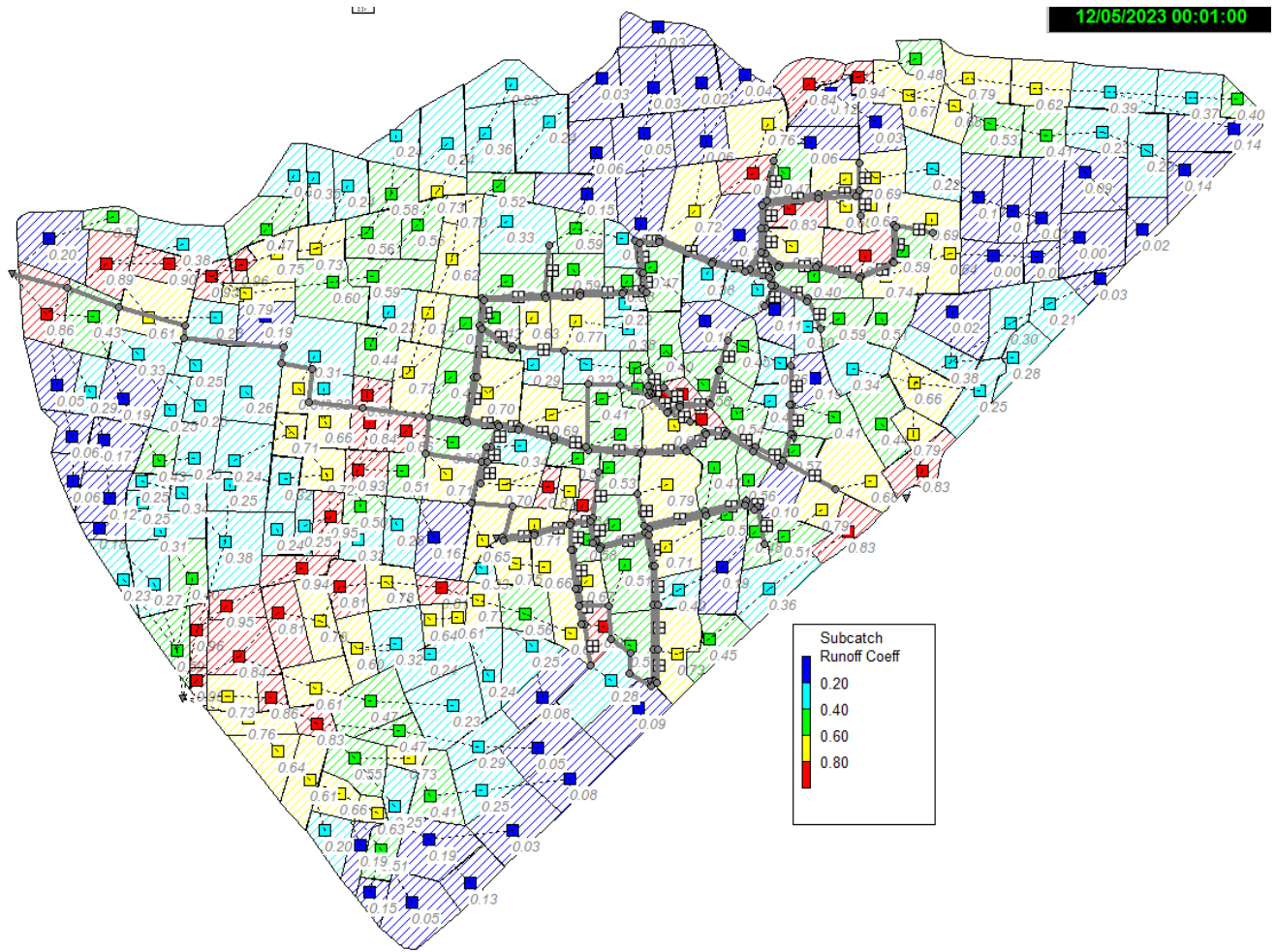


Slika 92. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP2god.)

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 3409.83 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 3093.86 l/s te se pojavljuje za trajanje 12h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 238.88 l/s.

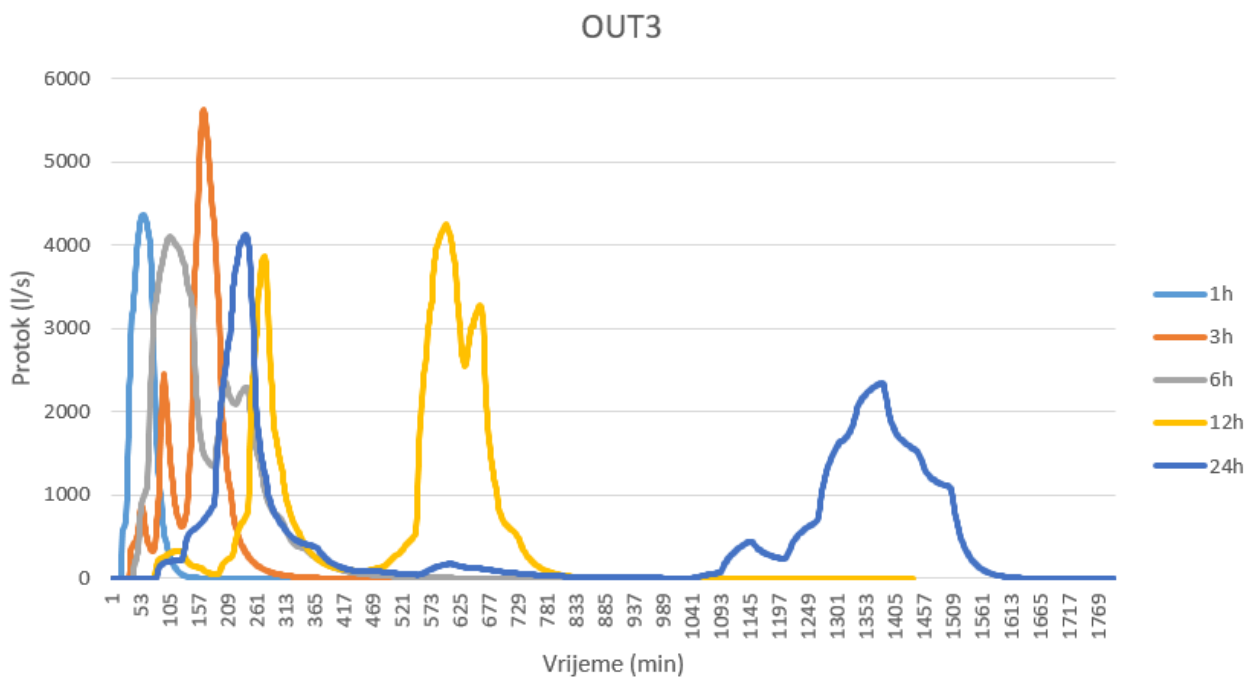


Slika 93. Grafički prikaz vršnog otjecanja po podslivovima za analizirano područje(PP2god.,3h)

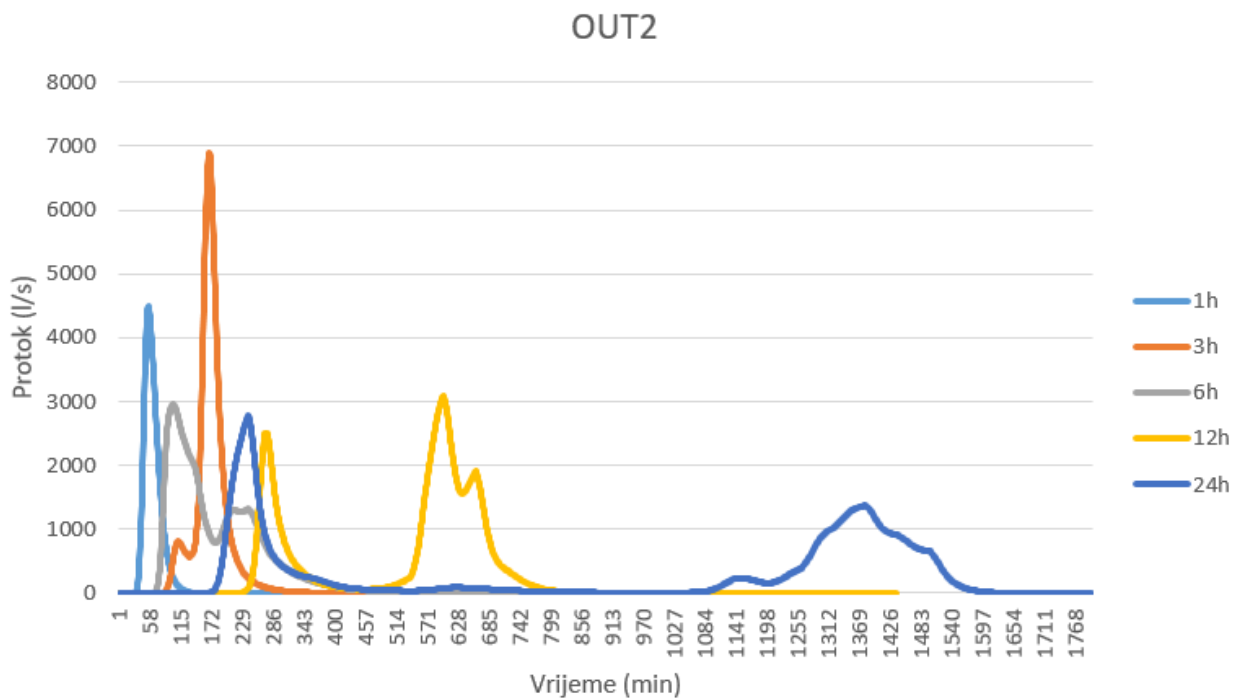


Slika 94. Grafički prikaz vrijednosti koeficijenta otjecanja (PP2god,3h)

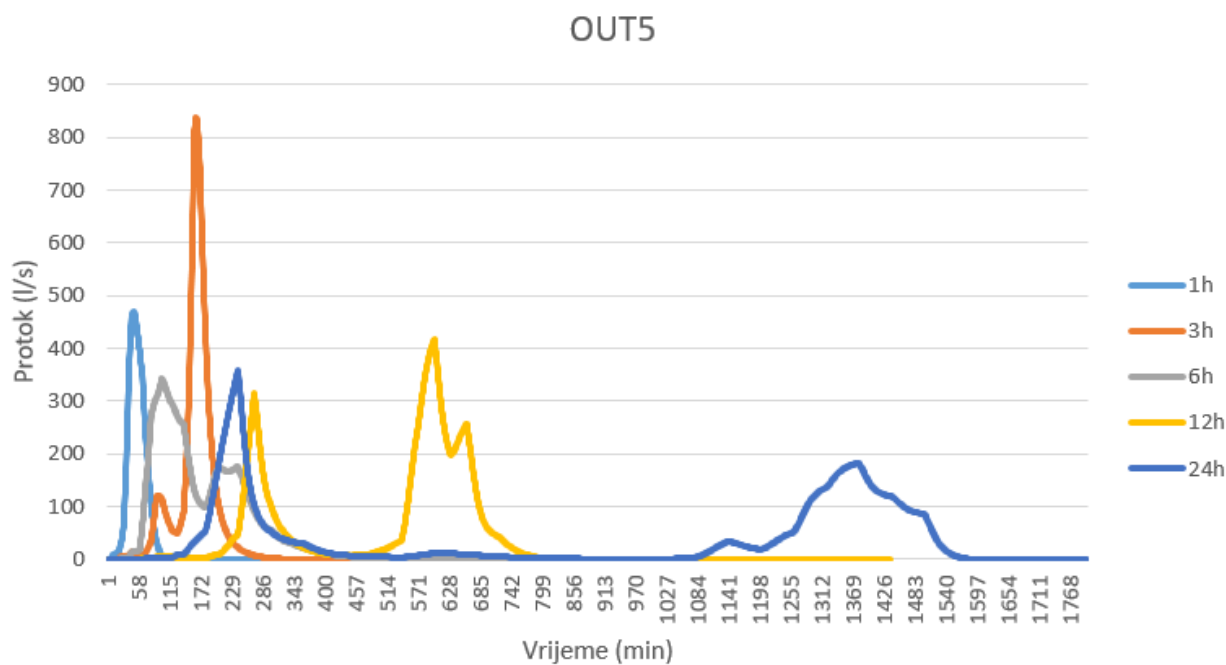
U nastavku su dati hidrogrami otjecanja za povratni period od 25 godine.



Slika 95 Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)

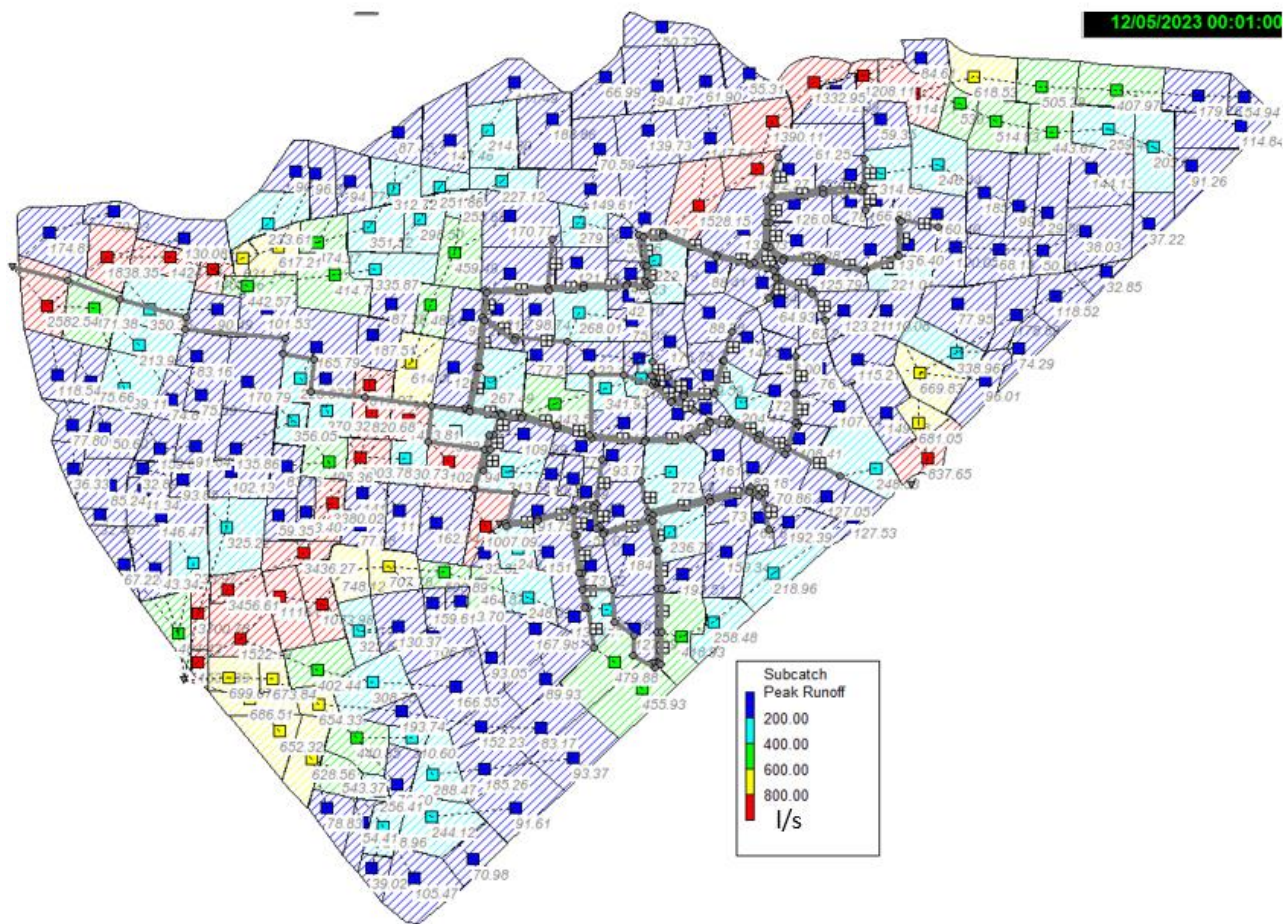


Slika 96. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)

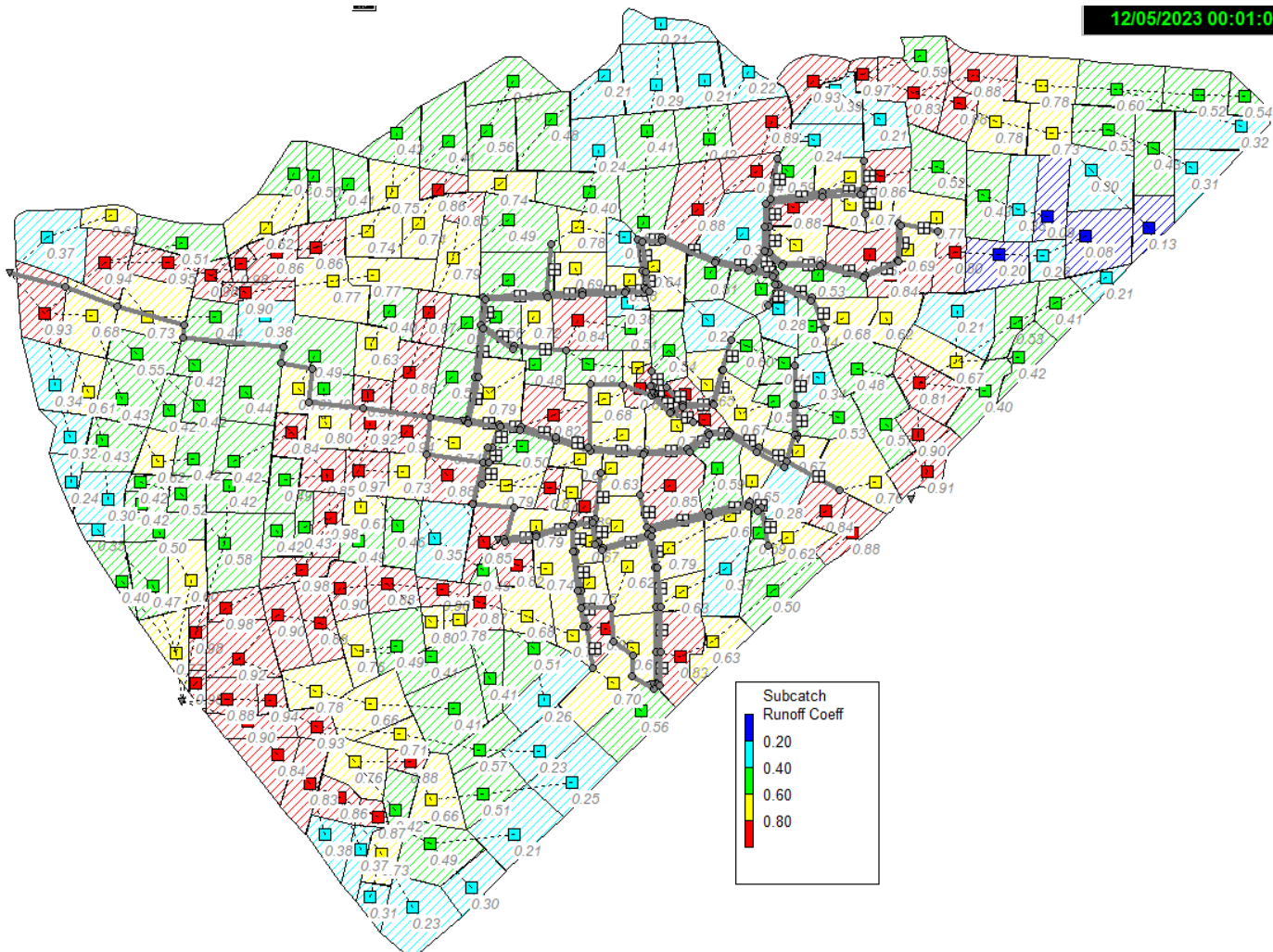


Slika 97. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP25god.)

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 5625.46 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 6886.03 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 837.59 l/s.

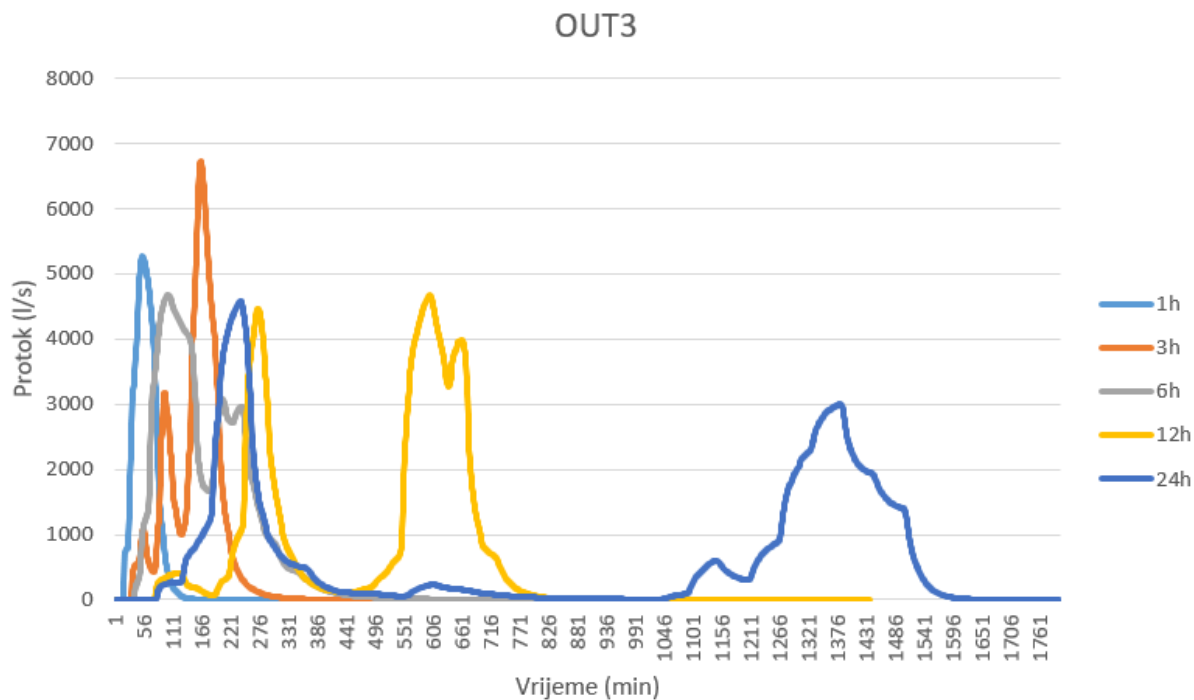


Slika 98. Grafički prikaz vršnog otjecanja po podslivovima za analizirano područje (PP25god.,3h)

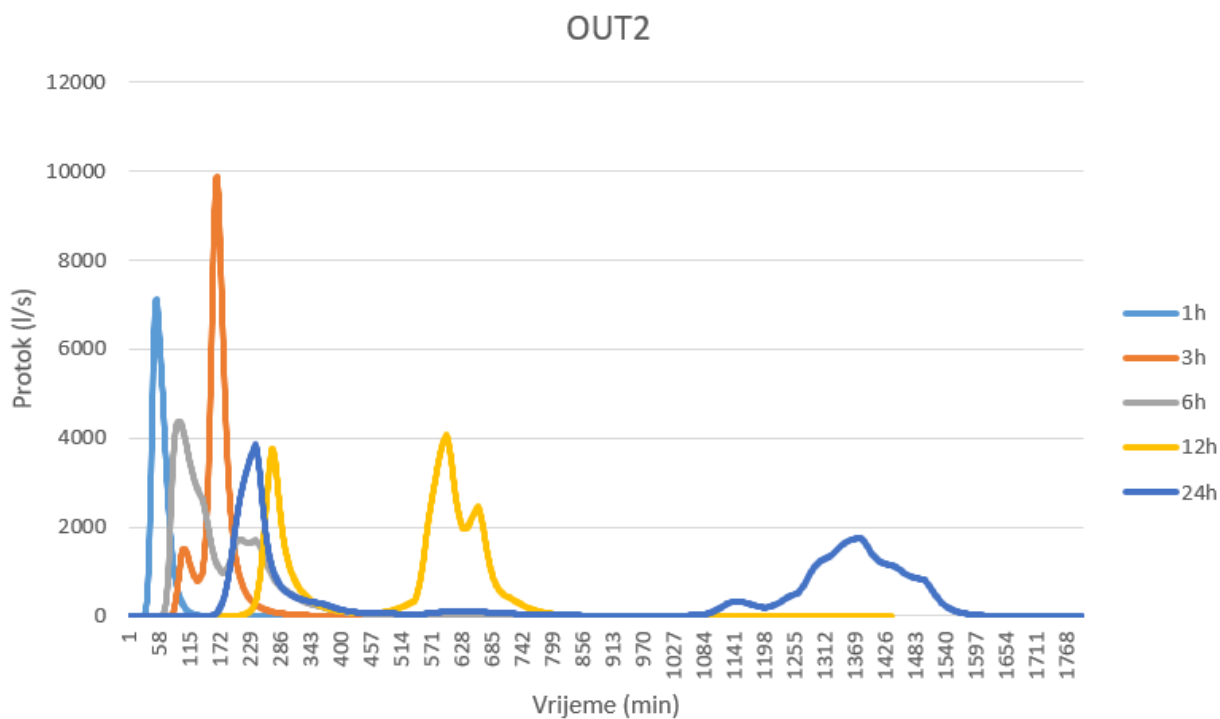


Slika 99. Grafički prikaz koeficijenta otjecanja (25god.,3h)

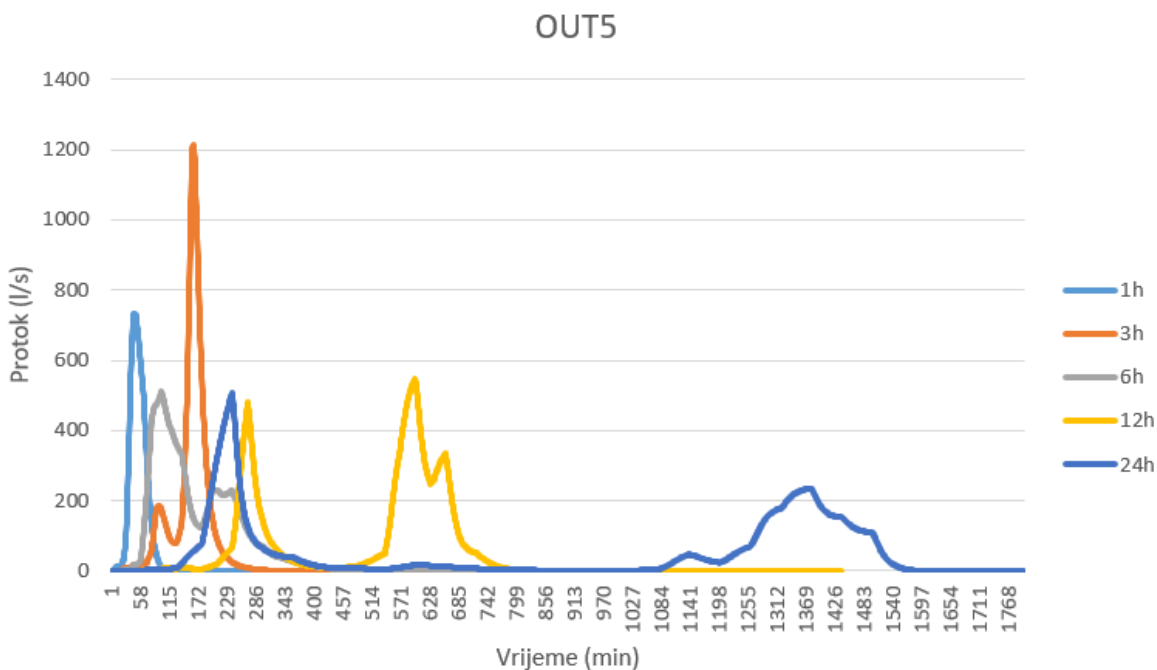
U nastavku su dati hidrogrami otjecanja za povratni period od 100 godine.



Slika 100. Hidrogrami otjecanja u OUT3 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)

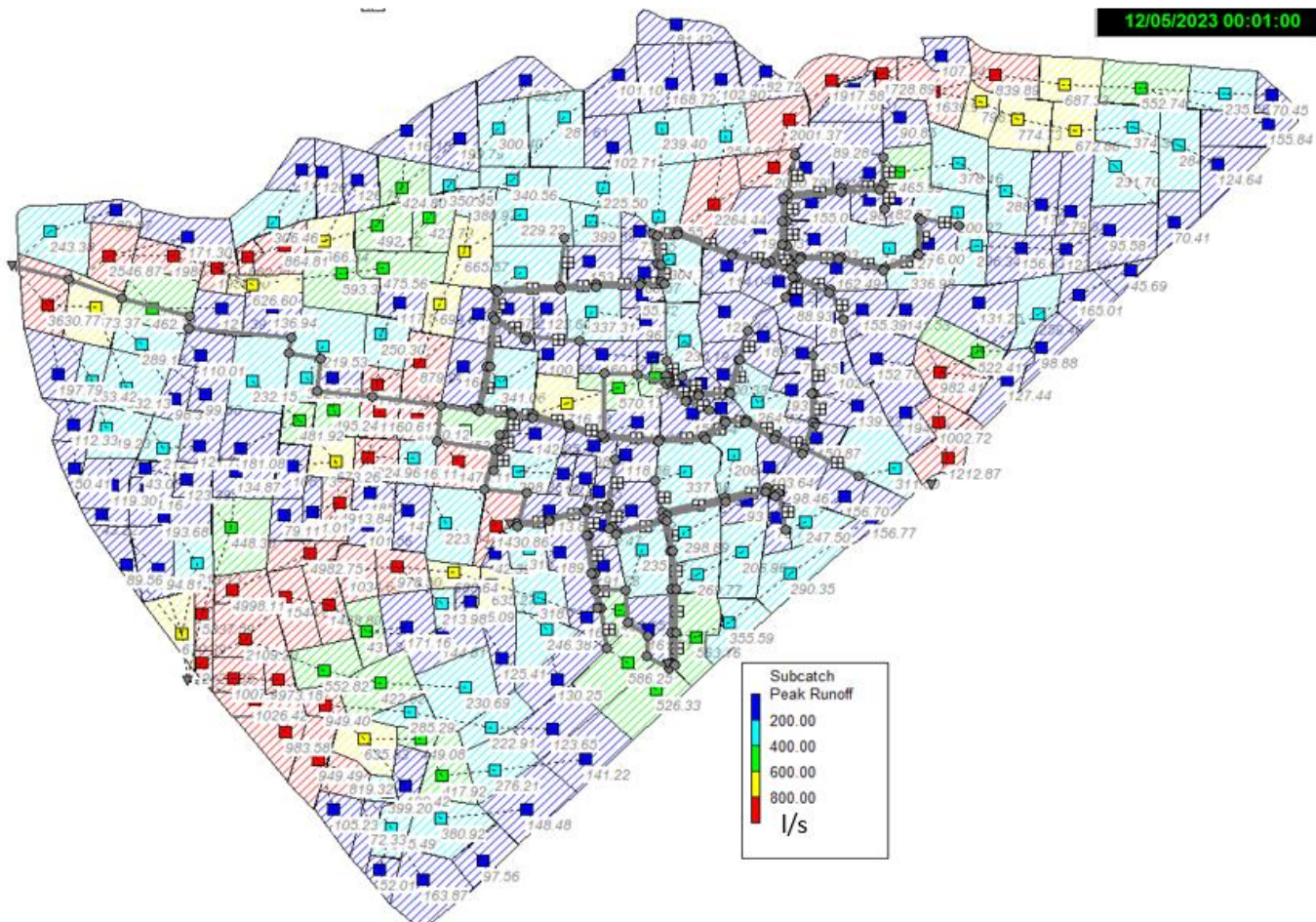


Slika 101. Hidrogrami otjecanja u OUT2 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)

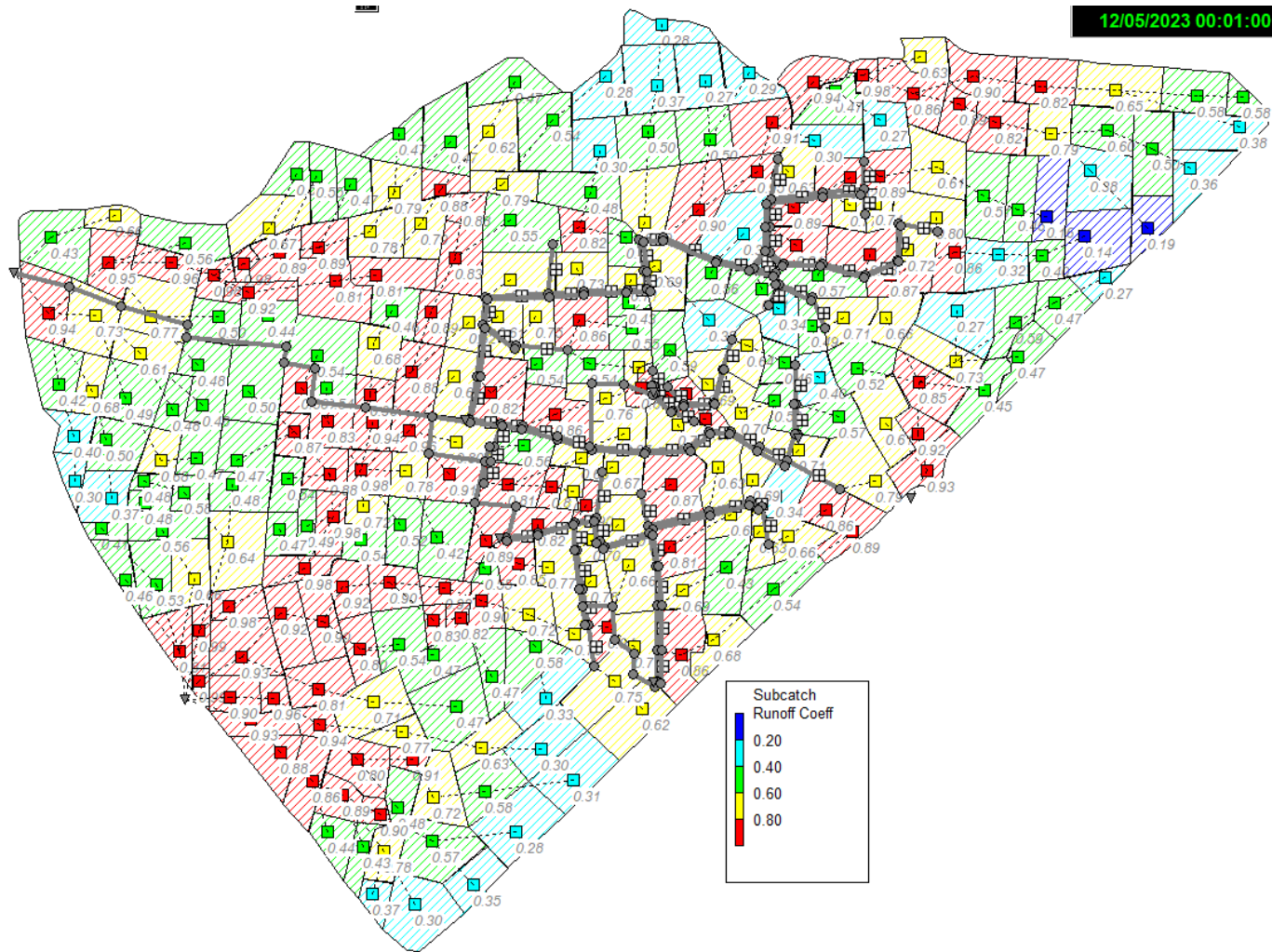


Slika 102. Hidrogrami otjecanja u OUT5 za različita trajanja projektnog pljuska (PP100god.)

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 6731.5 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 9889.92 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska. Najveći protok na izlazu OUT5 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h te iznosi 1212.84 l/s.



Slika 103. Grafički prikaz vršnog otjecanja na analiziranom području(100god.,3h)

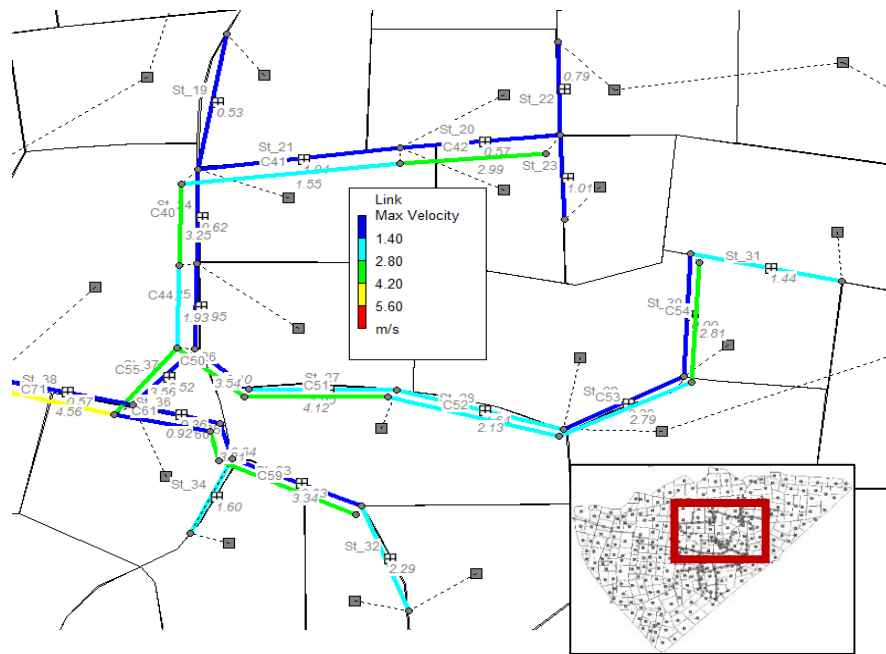


Slika 104. Grafički prikaz vrijednosti koeficijenta otjecanja (100god.,3h)

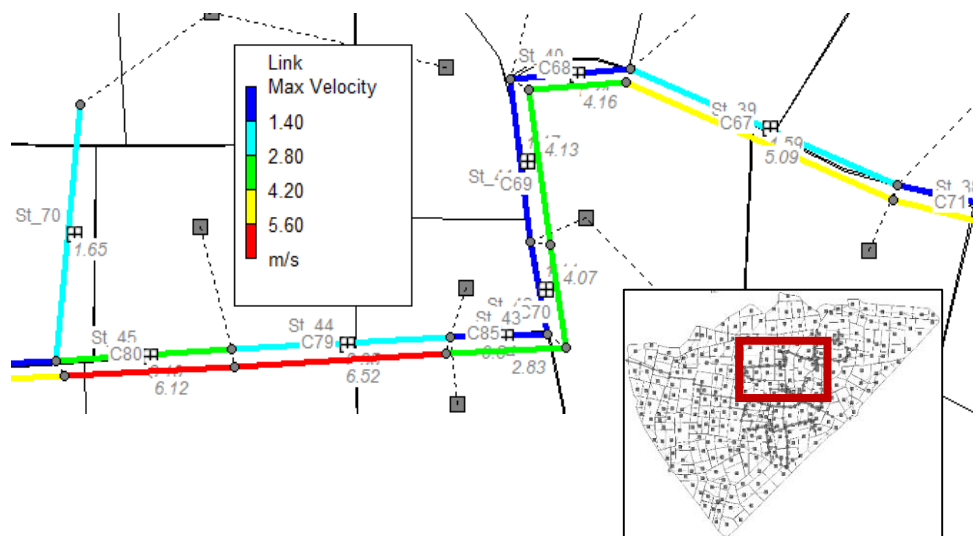


Slika 105. Grafički prikaz modela budućeg stanja

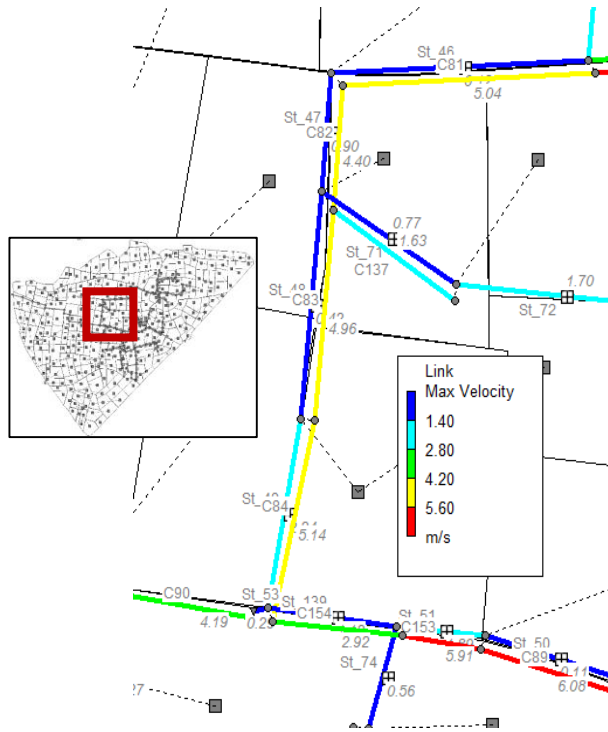
U nastavku slijede grafički prikazi (Slika 103. – 112.) koji sadrže vrijednosti maksimalne brzine u cijevima za buduće stanje s povratnim periodom od 2g u trajanju od 3 sata.



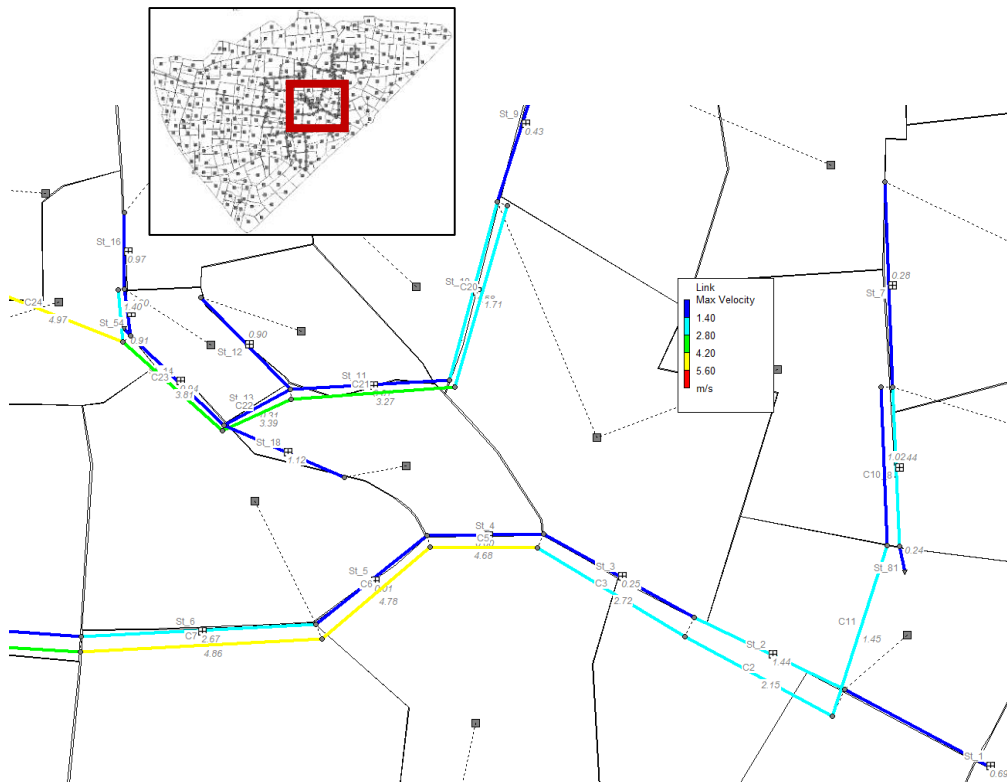
Slika 106. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavu 1 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



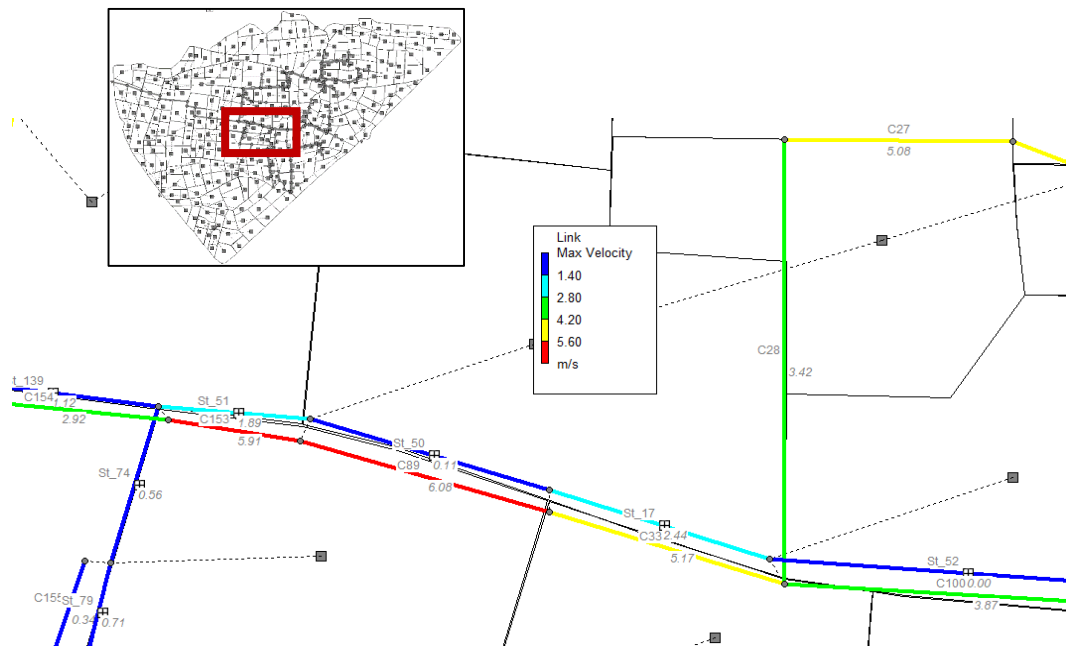
Slika 107. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavu 2 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



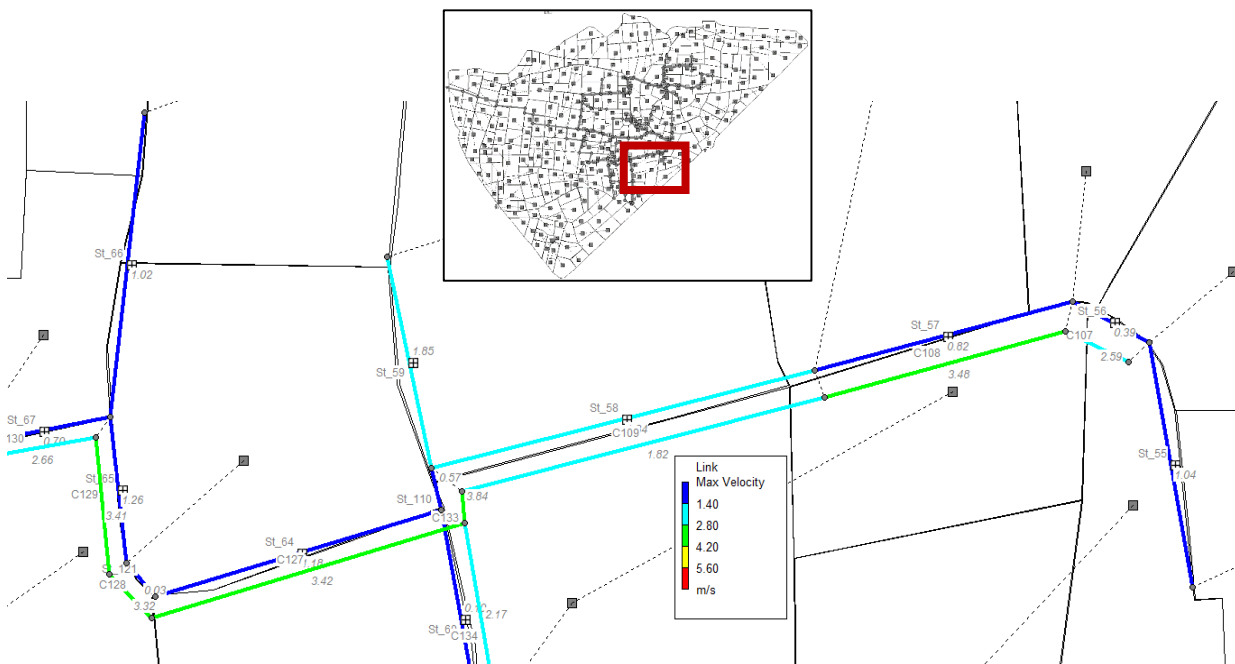
Slika 108. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



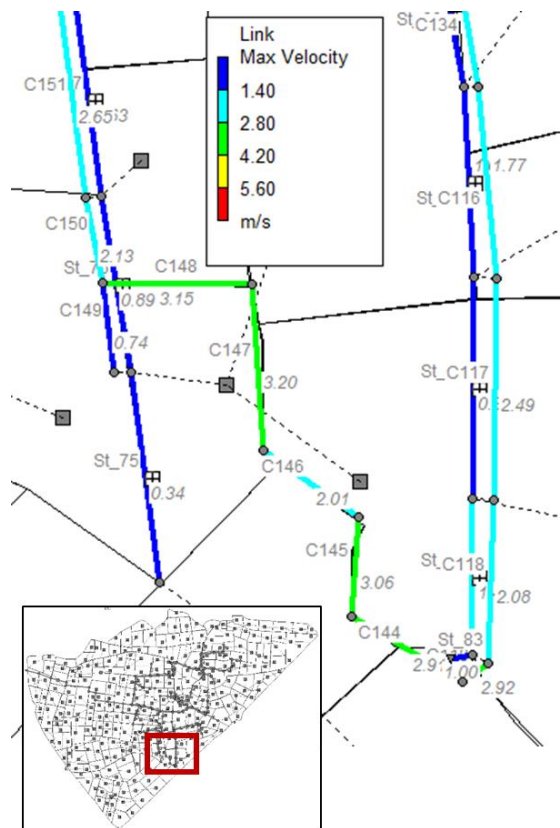
Slika 109. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



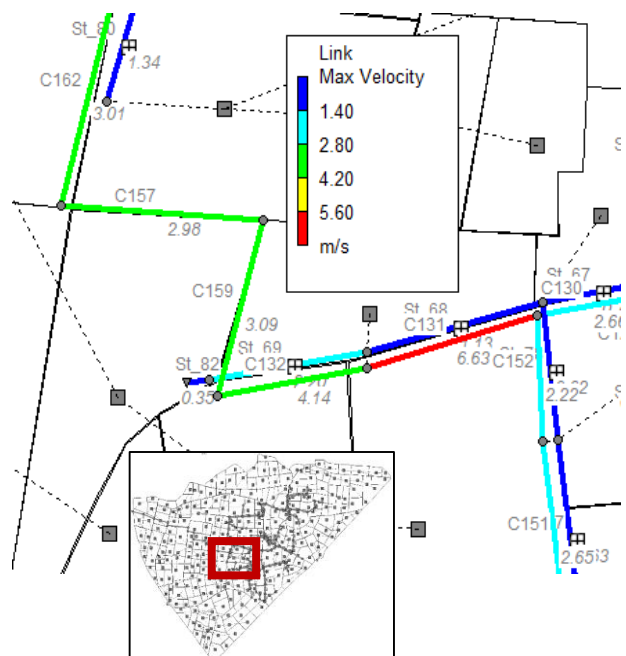
Slika 110. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavaku 5 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



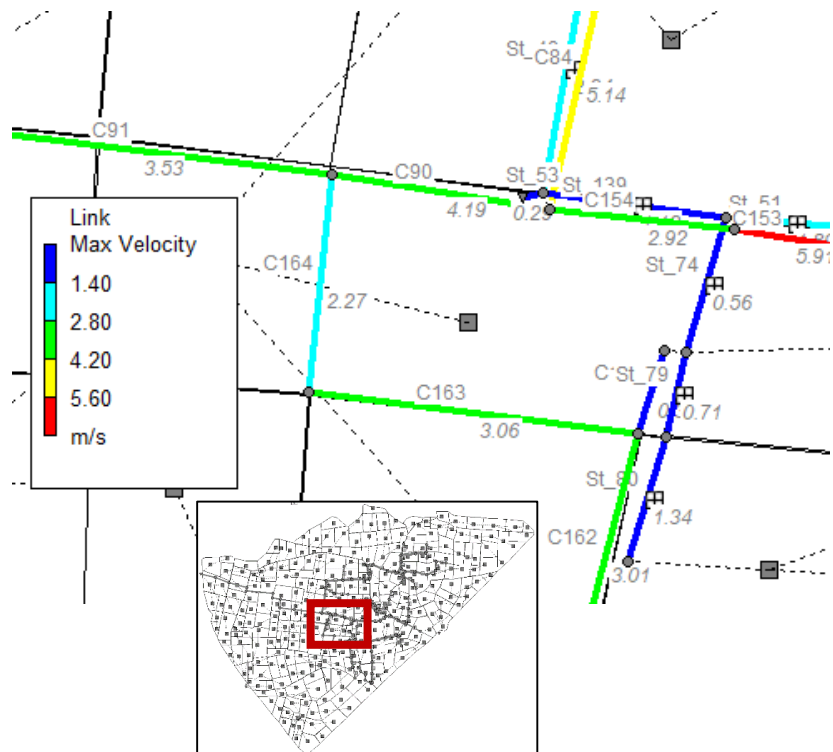
Slika 111. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavaku 6 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



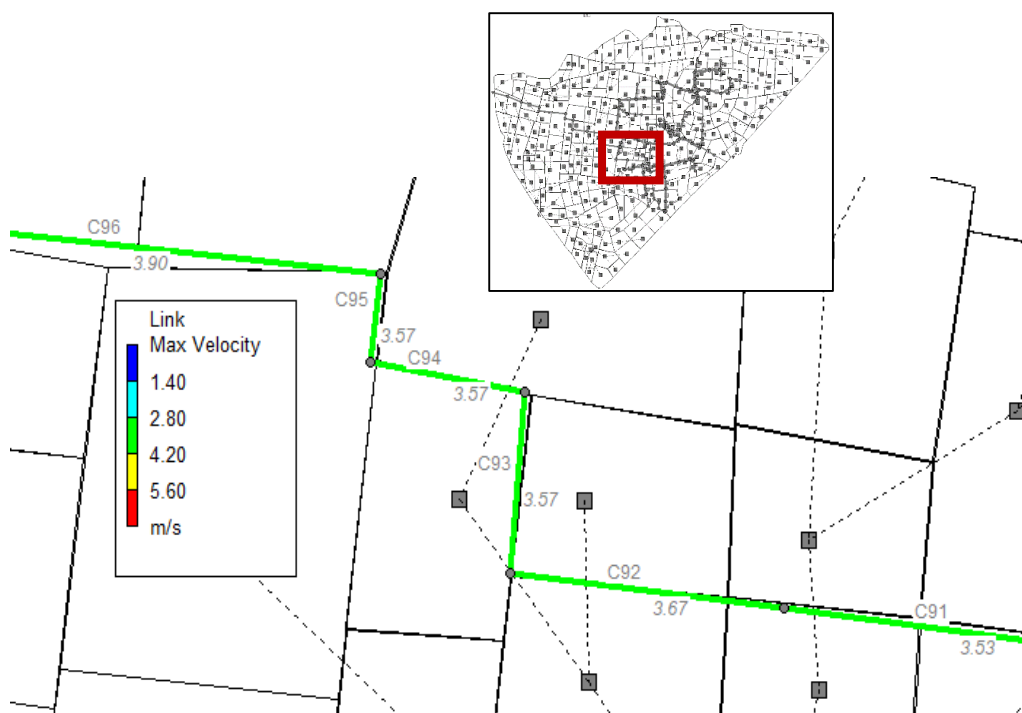
Slika 112. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



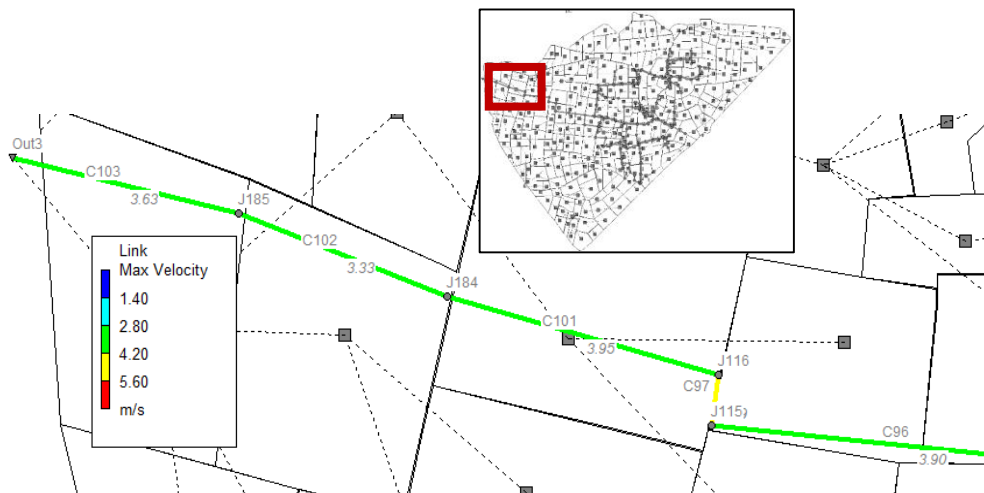
Slika 113. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 8 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)



Slika 114. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 9 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)

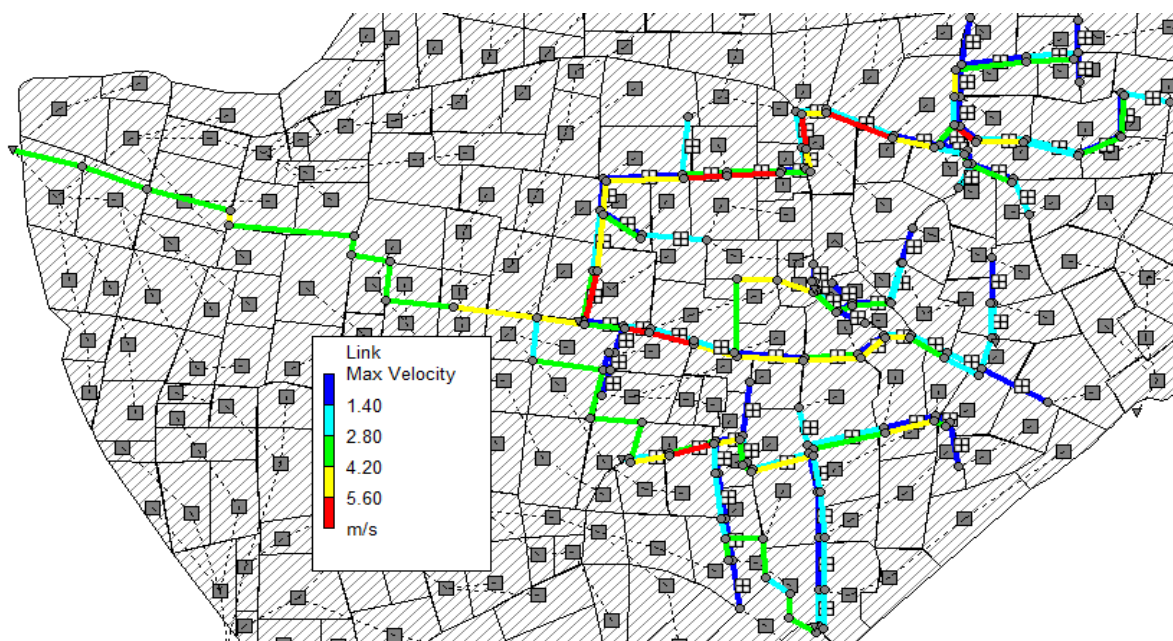


Slika 115. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 10 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)

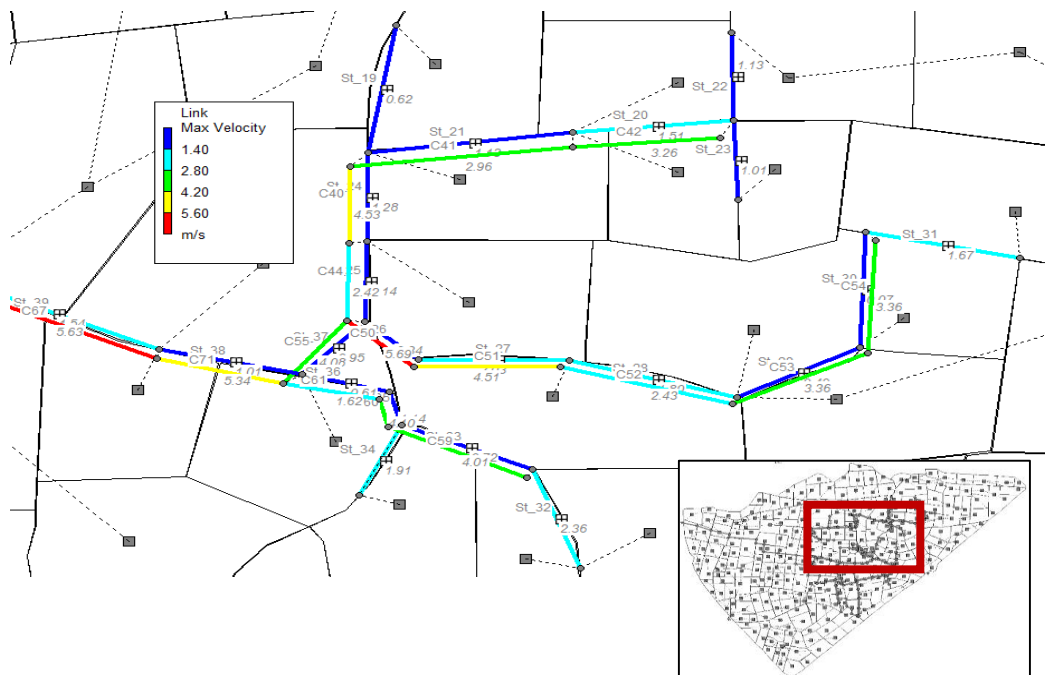


Slika 116. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 11 za buduće stanje (PP 2 god., 3h)

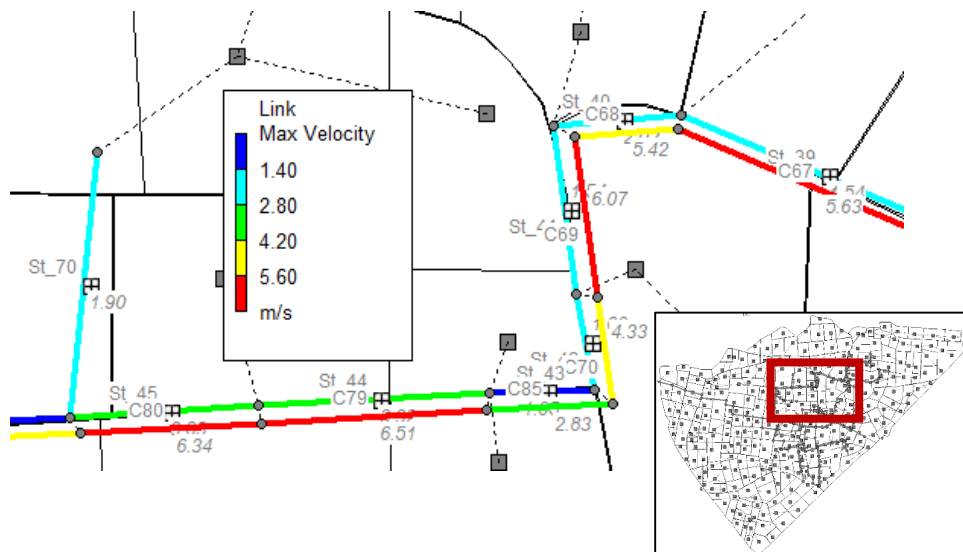
U nastavku slijede grafički prikazi (SLIKA 114. – 125.) koji sadrže vrijednosti maksimalne brzine u cijevima za buduće stanje s povratnim periodom od 25g u trajanju od 3 sata.



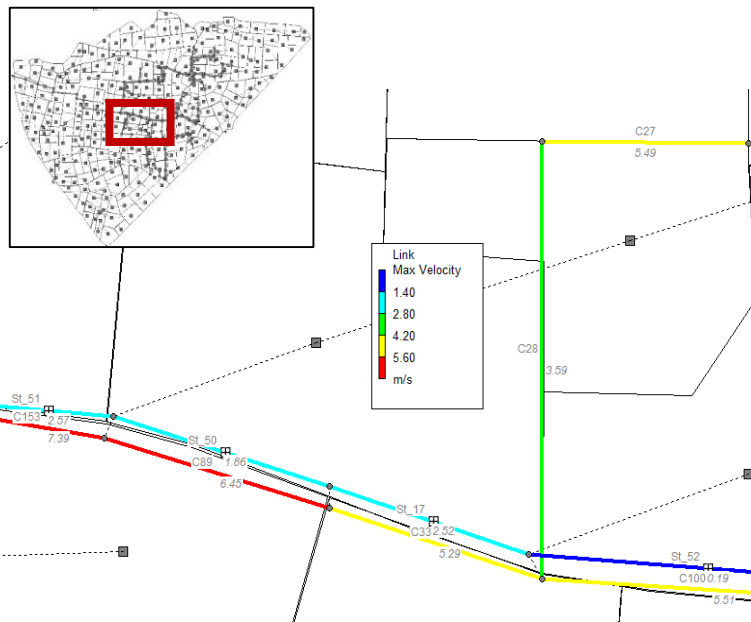
Slika 117 Prikaz brzina u cijevima na analiziranom području (PP25,3h)



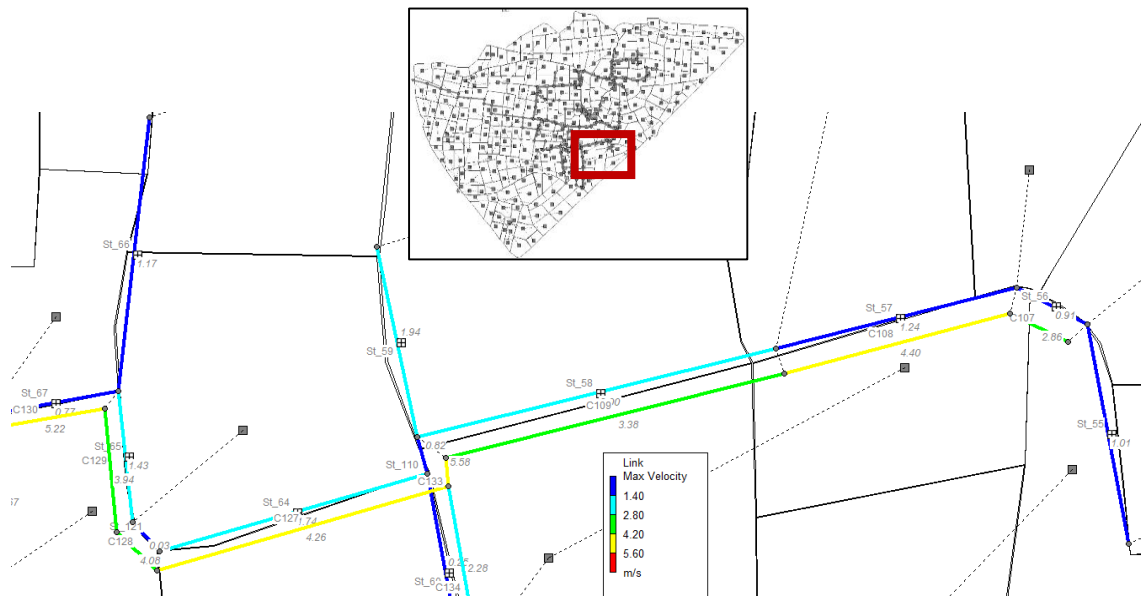
Slika 118. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)



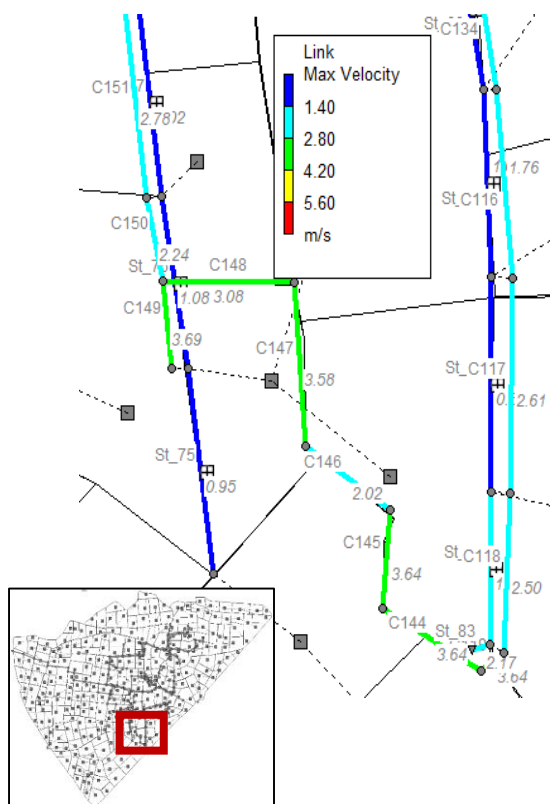
Slika 119. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)



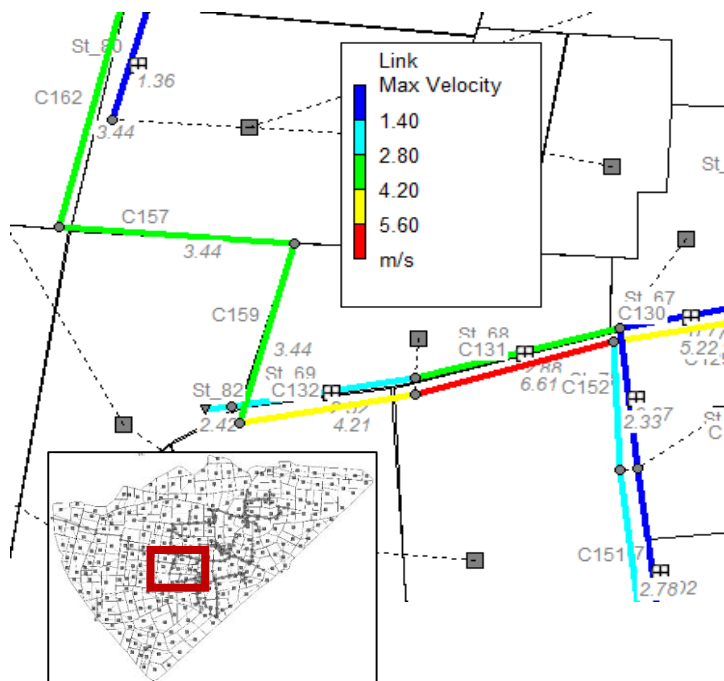
Slika 122. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavaku 5 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)



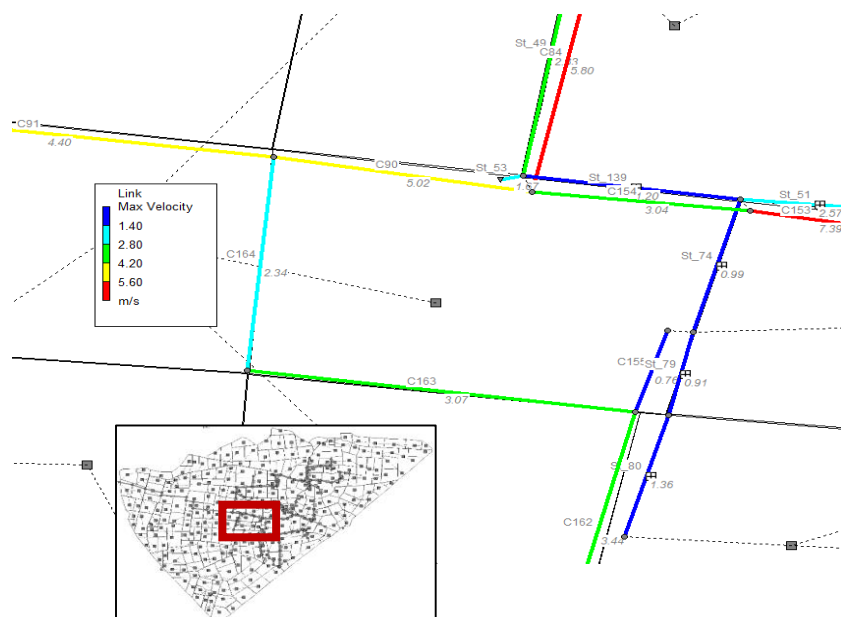
Slika 123. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavaku 6 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)



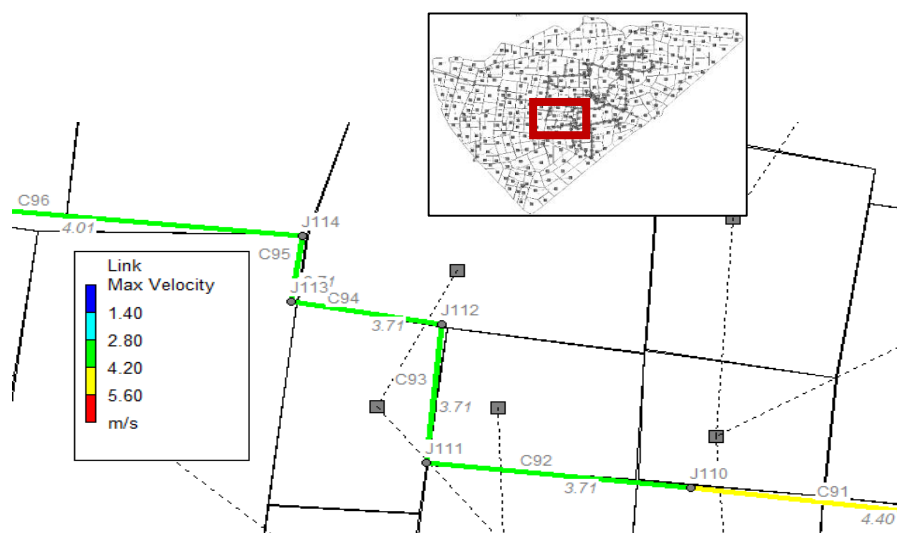
Slika 124. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)



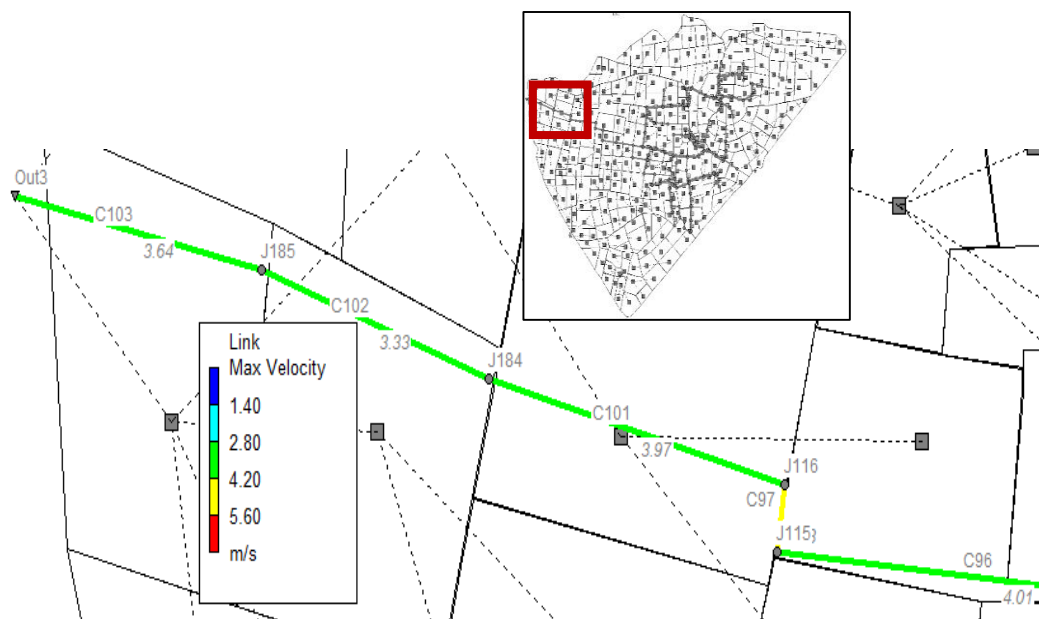
Slika 125. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 8 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)



Slika 126. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 9 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)

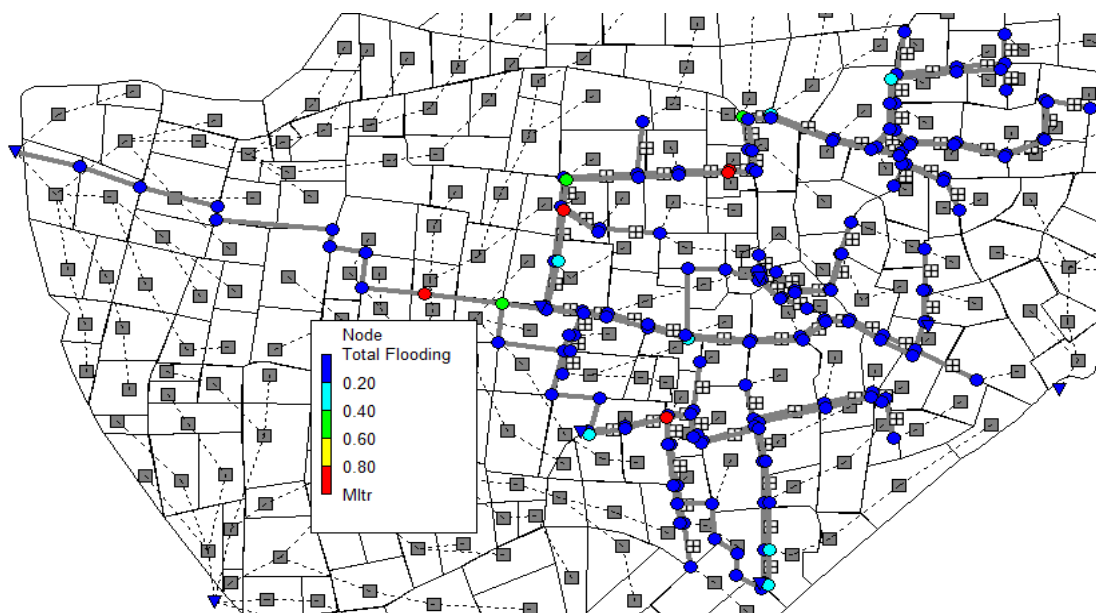


Slika 127. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 10 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)

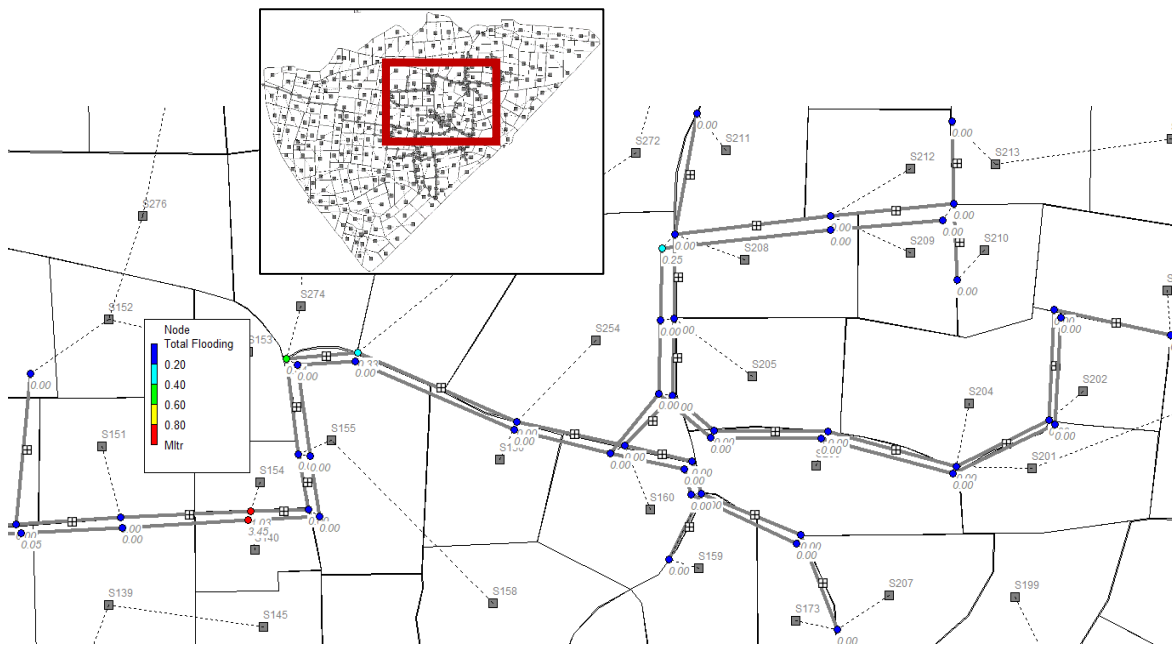


Slika 128. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 11 za buduće stanje (PP 25 god., 3h)

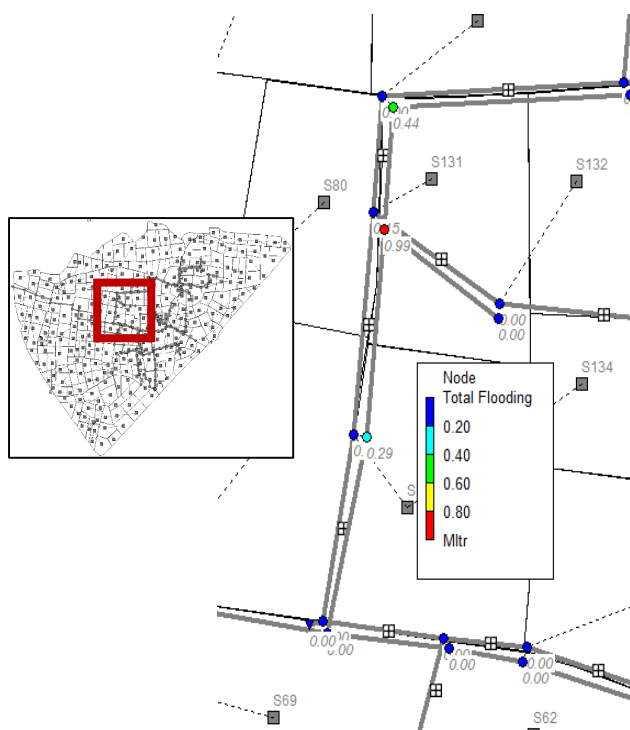
U nastavku slijede grafički prikazi (SLIKA 126. – 132.) koji sadrže vrijednosti ukupne poplavljenosti okna u postojećim kolektorima za buduće stanje s povratnim periodom od 25g te trajanju projektnog pljuska od 3 sata.



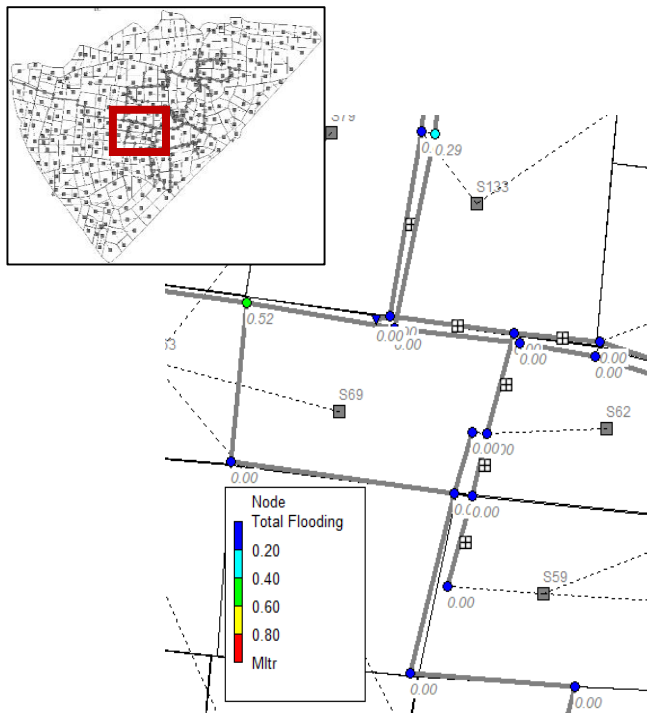
Slika 129. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje na obuhvaćenom području (PP 25god., 3h)



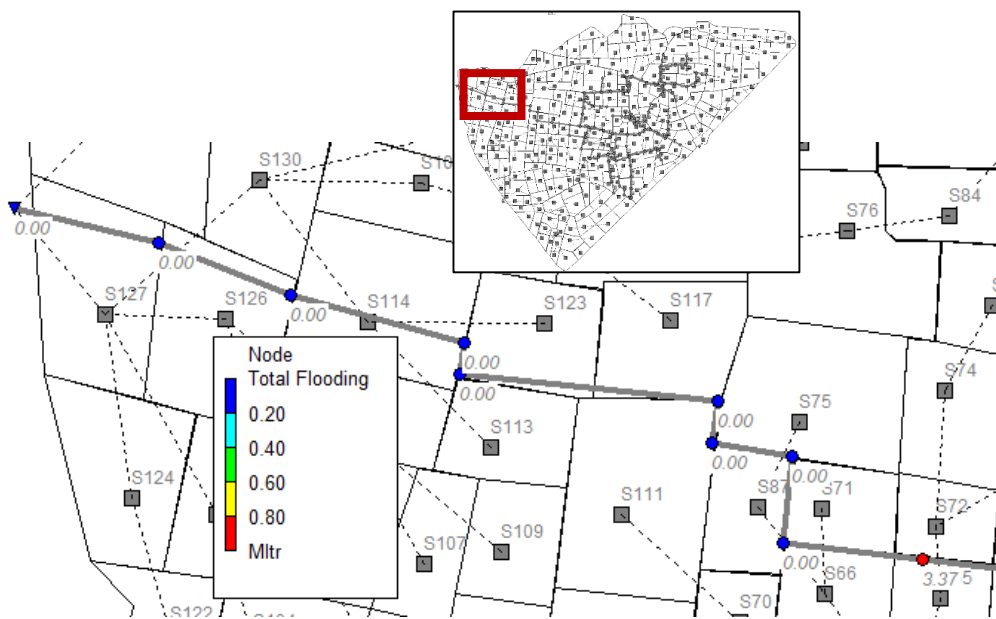
Slika 130. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 1 (PP 25god., 3h)



Slika 131. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 2 (PP 25god., 3h)

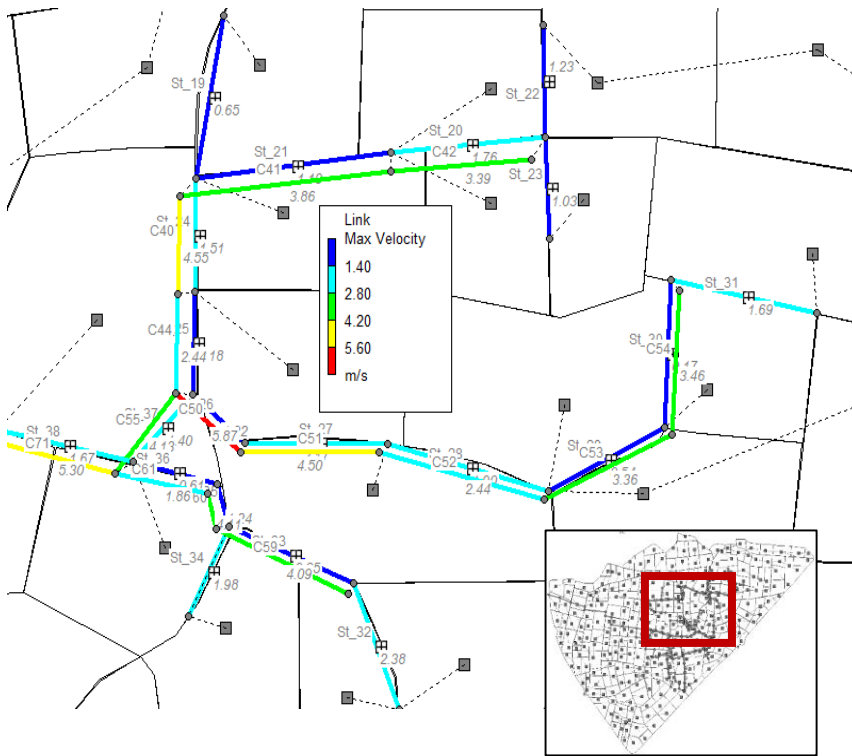


Slika 134. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 5 (PP 25god., 3h)

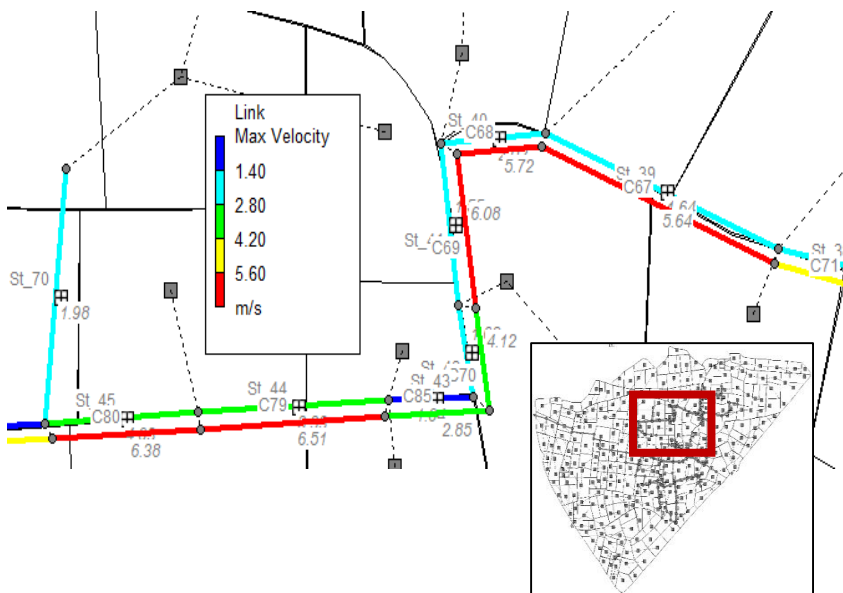


Slika 135. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 6 (PP 25god., 3h)

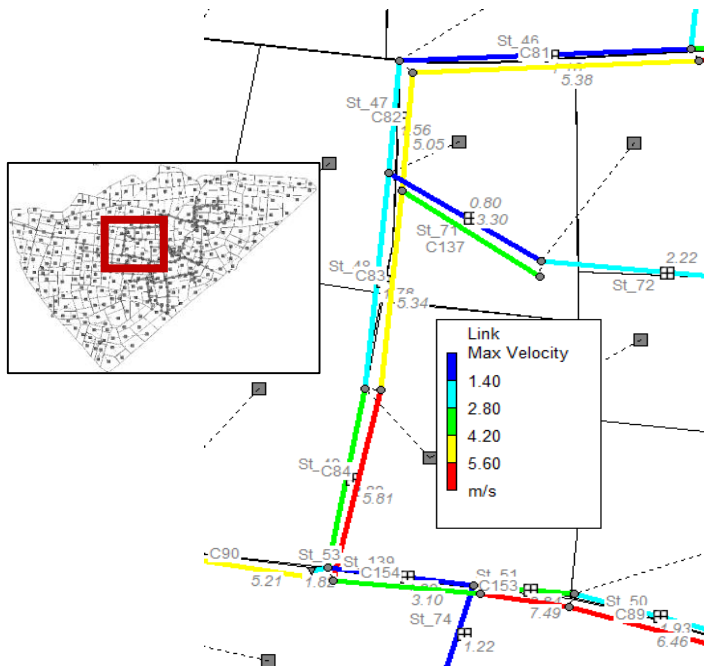
U nastavku slijede grafički prikazi (SLIKA 133. – 142.) koji sadrže vrijednosti maksimalne brzine u cijevima za buduće stanje s povratnim periodom od 100g u trajanju od 3 sata.



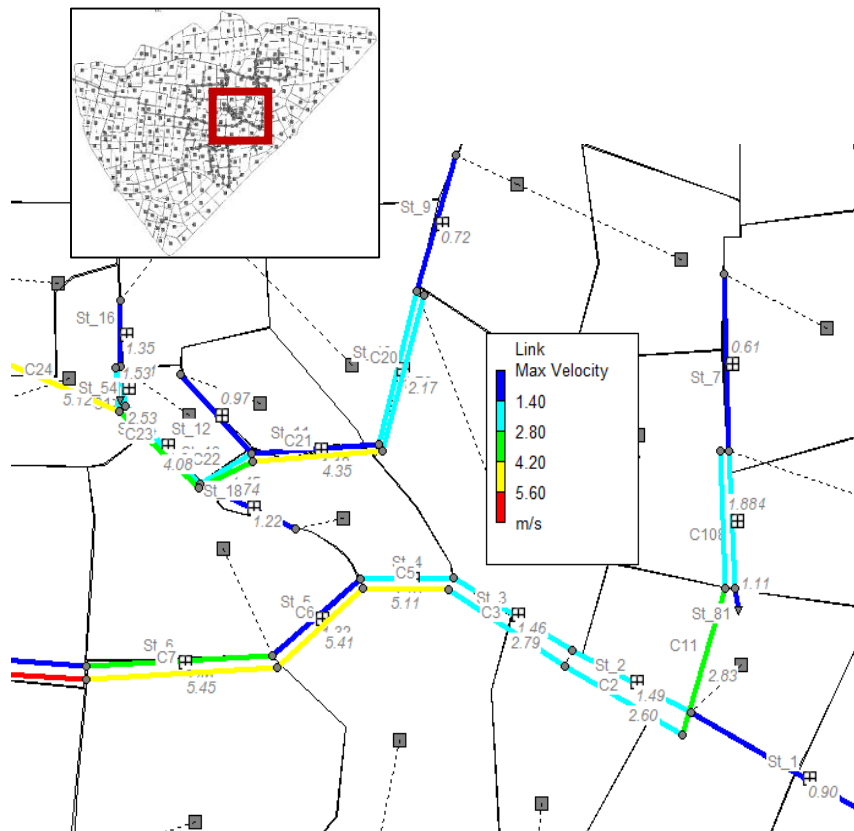
Slika 136. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 1 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



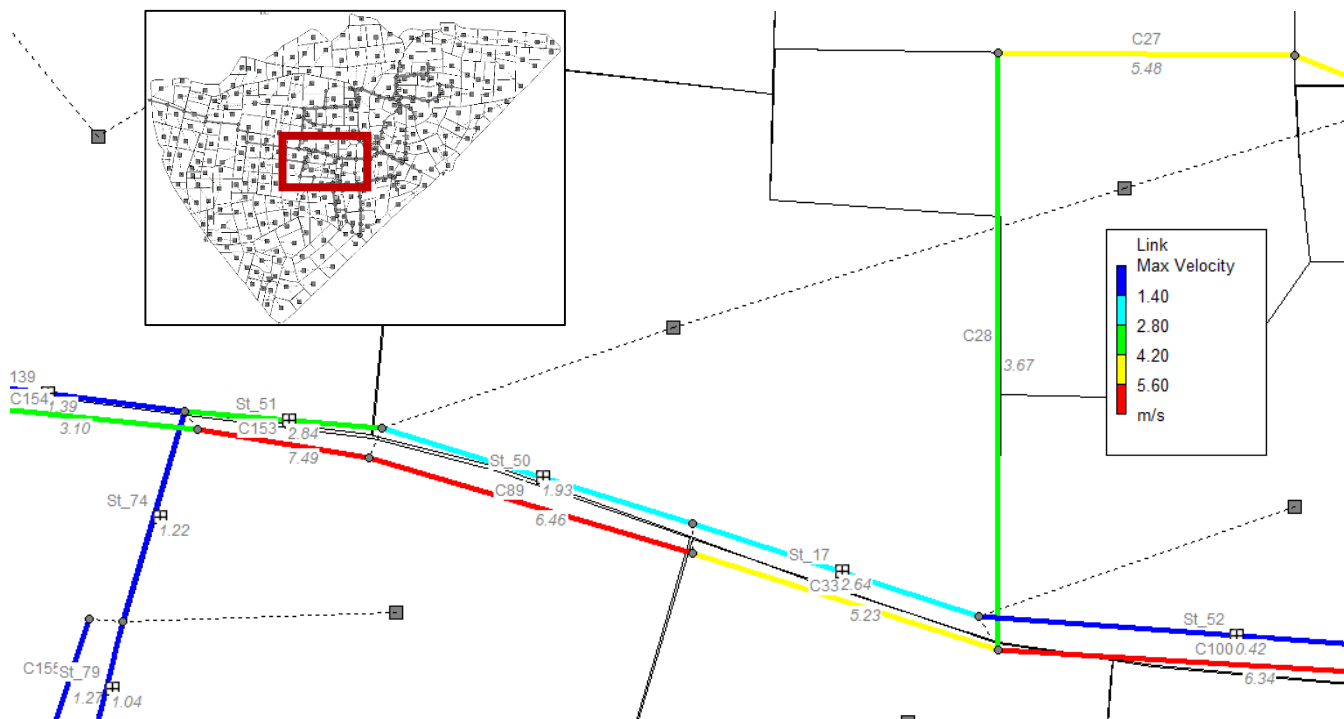
Slika 137. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 2 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



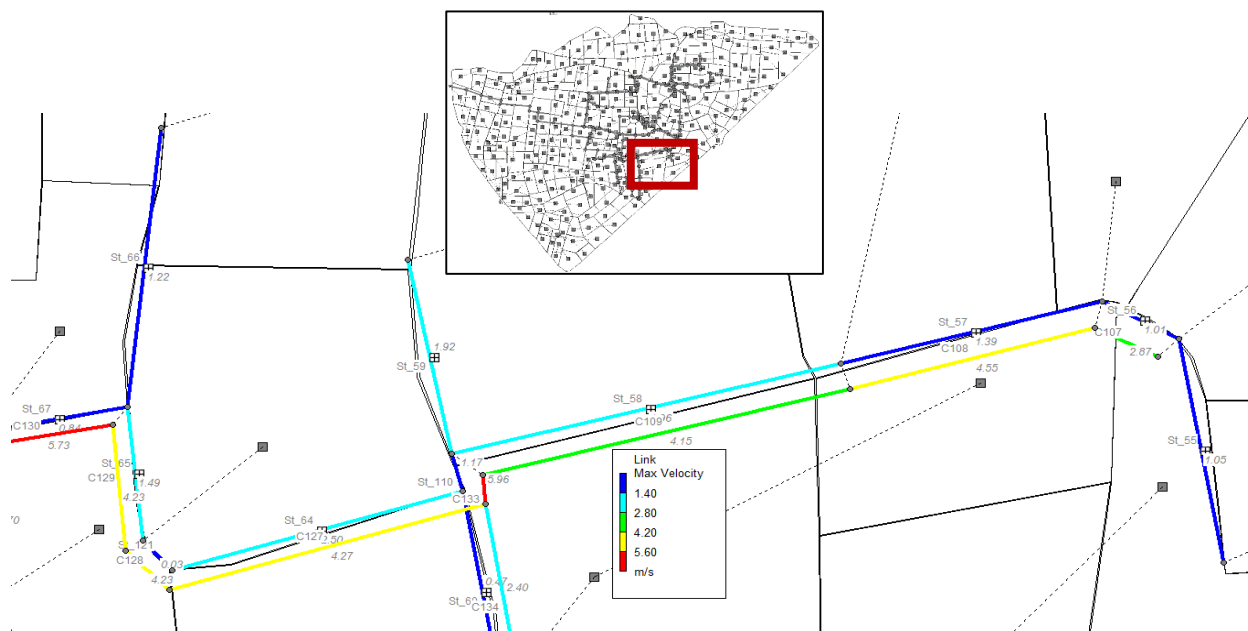
Slika 138. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 3 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



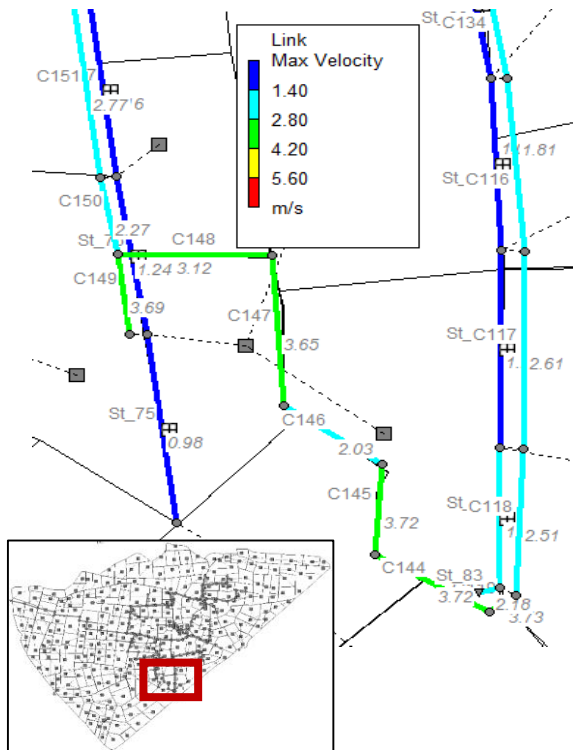
Slika 139. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 4 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



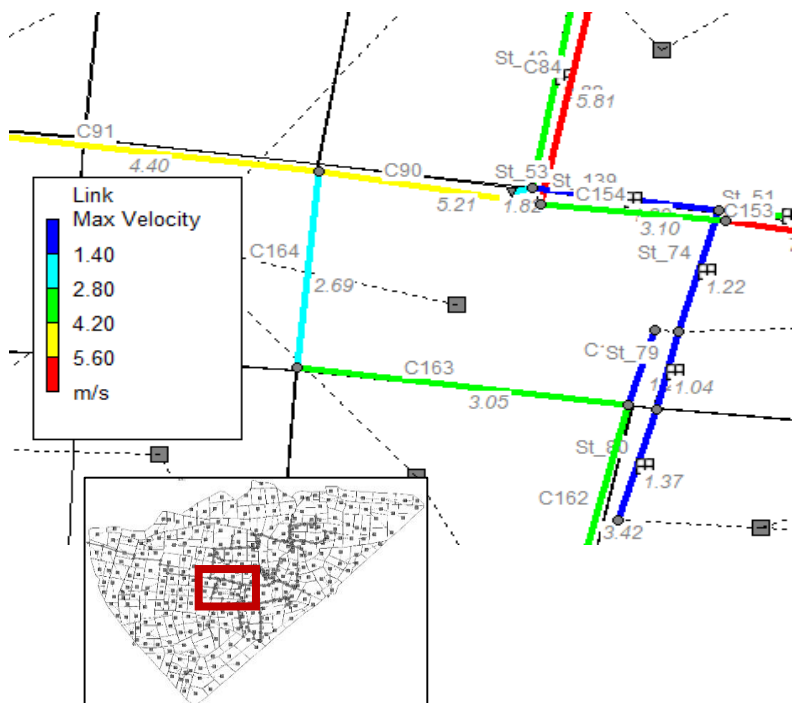
Slika 140. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 5 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



Slika 141. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 6 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



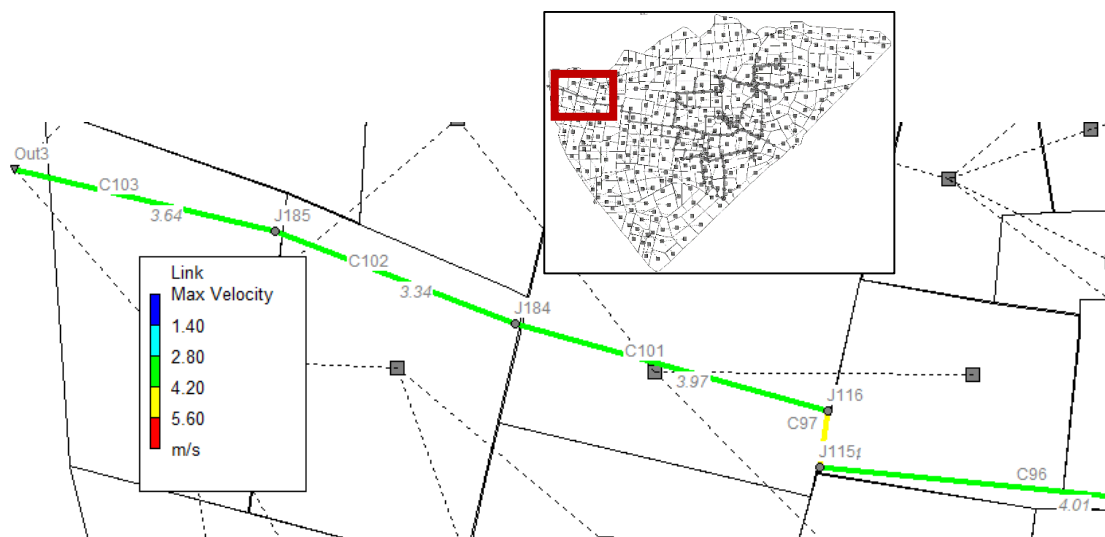
Slika 142. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 7 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



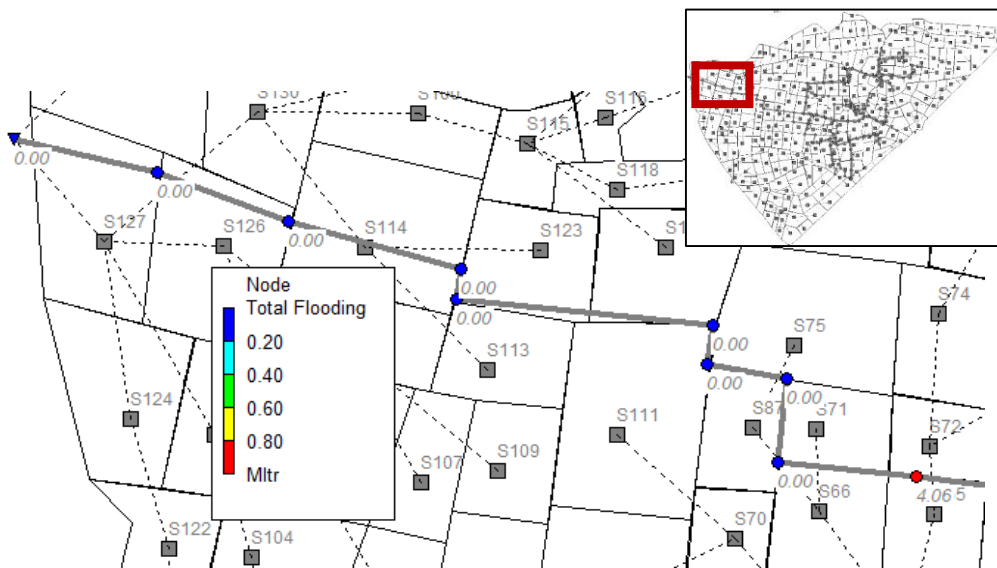
Slika 143. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podsustavu 8 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



Slika 144. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavu 9 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)



Slika 145. Grafički prikaz maksimalnih brzina u cijevima u podstavu 10 za buduće stanje (PP 100 god., 3h)

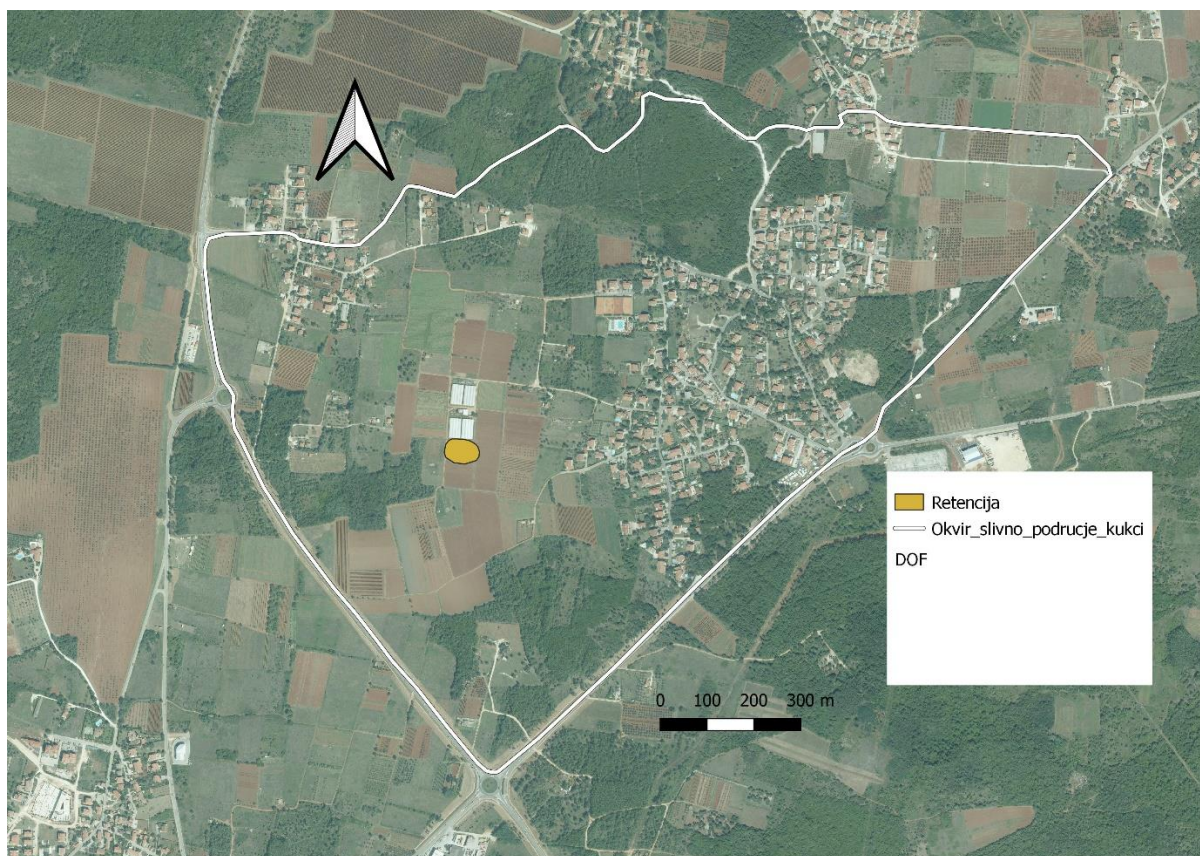


Slika 152. Grafički prikaz ukupne poplavljenosti okna za buduće stanje u podsustavu 6 (PP 100god., 3h)

8.4. Dimenzioniranje retencije

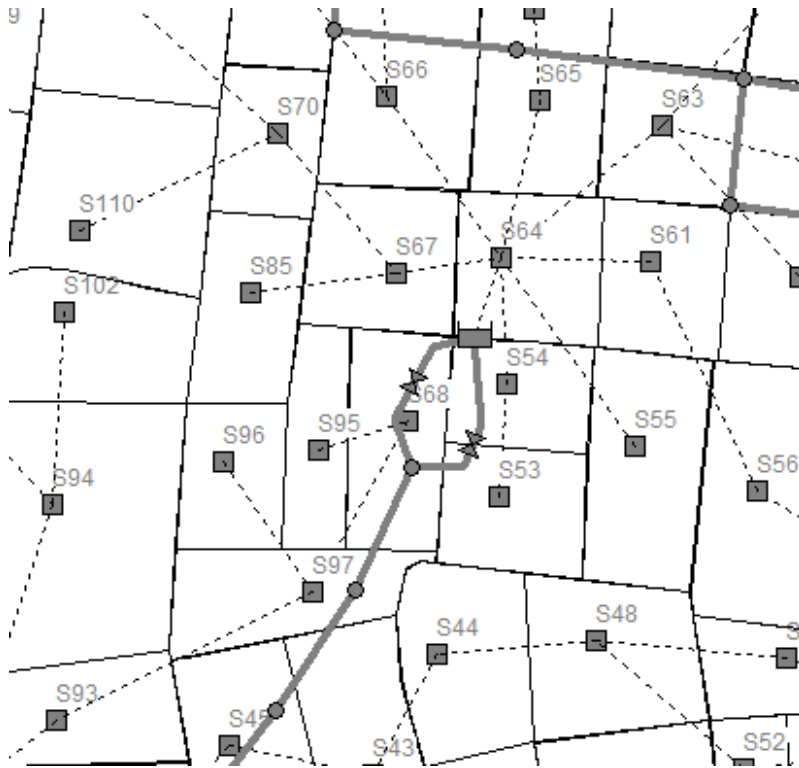
Prvi korak u dimenzioniranju retencije odabir je adekvatne lokacije za njezinu izgradnju. To se napravilo pomoću prijašnjih analiza o količini i smjeru tečenju površinskih voda. Naravno sagledao se i urbanistički plan uređenja naselja Kukci te su pregledane podloge DOF-a i DMT-a. Na temelju tih stavki odabrana je lokacija za implementaciju retencije te je u nastavku rada prikazana na slici 153. Lokacije retencije nalazi se u prirodnoj depresiji s okolnim nadmorskih visina od 35 m.n.m. do 40 m.n.m. što također pogoduje jednostavnijoj i ekonomičnijoj izvedbi retencije.

Planirana je retencija sa temeljnim ispustom i preljevom. Dimenzioniranje retencije i ispusta provelo se za povratno razdoblje od 25god. za 3h projektni pljusak. Cilj izgradnje retencije je smanjiti vršno otjecanje oborinske vode na razinu otjecanja s prirodnog sliva, odnosno na stanje prije urbanizacije. Također na ovaj način će se ublažiti plavljenje ugroženog područja. Izlazni protok rješava se trapeznim kanalom od retencije do cestovnog propusta, odnosno čvora Out2 u matematičkom modelu.



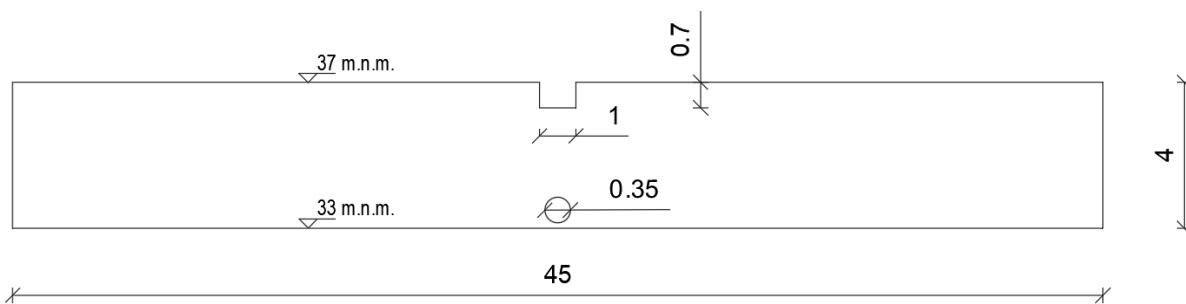
Slika 153. Prikaz lokacije implementacije retencije

Nakon odabira pogodne lokacije sljedeći korak je odabir tipa retencije i ispusta te njihovo dimenzioniranje. Odabran je pojednostavljeni cilindrični oblik retencije sa promjerom od 45 m i visinom od 4 m. Dno retencije nalazi se na koti od 33 m.n.m., a kota vrha retencije na 37 m.n.m. Površinu koju retencija zauzima iznosi 1590.4 m^2 , a volume zapremine iznosi 6361.7 m^3 . Ispust je kružnog oblika promjera 0.35 m te je postavljen pri samom dnu retencije. Oborinska voda iz temeljnog ispusta ne odlazi na sljedeći podsliv već je usmjerena u kanale. Kanali su trapezoidnog oblika sljedećih dimenzija: širina dna kanala iznosi 3 m, visina kanala 1 m, a nagibi stranica trapeza izvedeni su pod nagibom 1:1.



Slika 154. Shematski prikaz lokacije retencije u SWMM programu

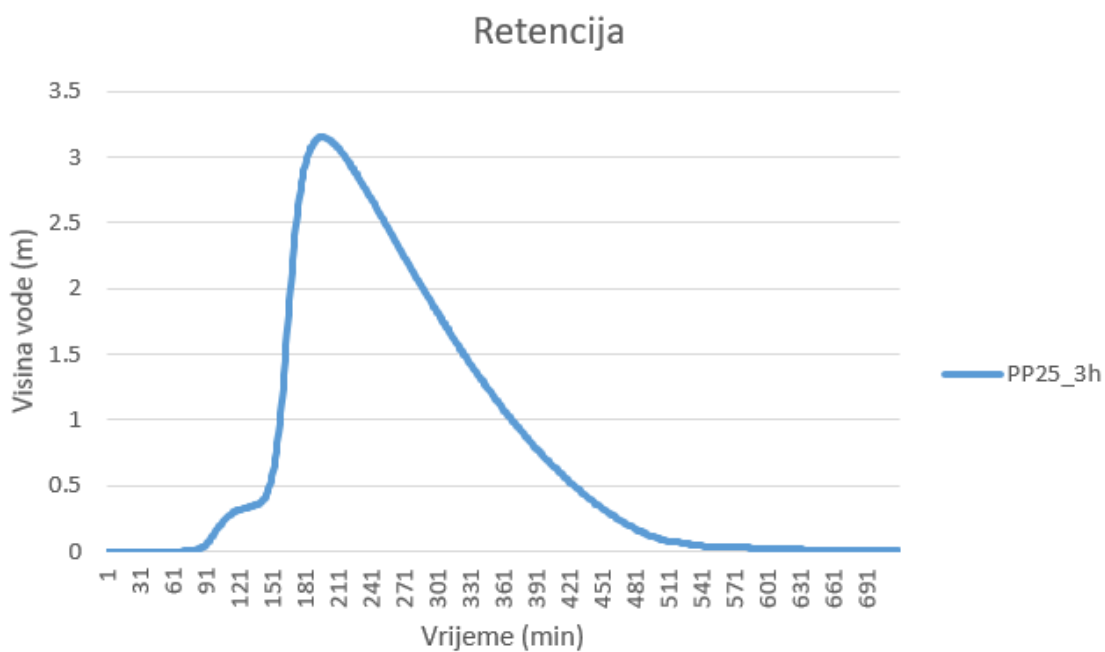
Nakon dimenzioniranja retencije, ispusta i kanala sljedeći korak je dimenzioniranje preljeva. Preljev se dimenzionira za povratni period od 100god. te za projektni pljusak od 3h. Usvojen je pravokutni preljev dužine 1m i visine 0.7 m. Kota krune preljeva nalazi se na 36.3 m.n.m. Na slici 155. skiciran je poprečni presjek retencije.



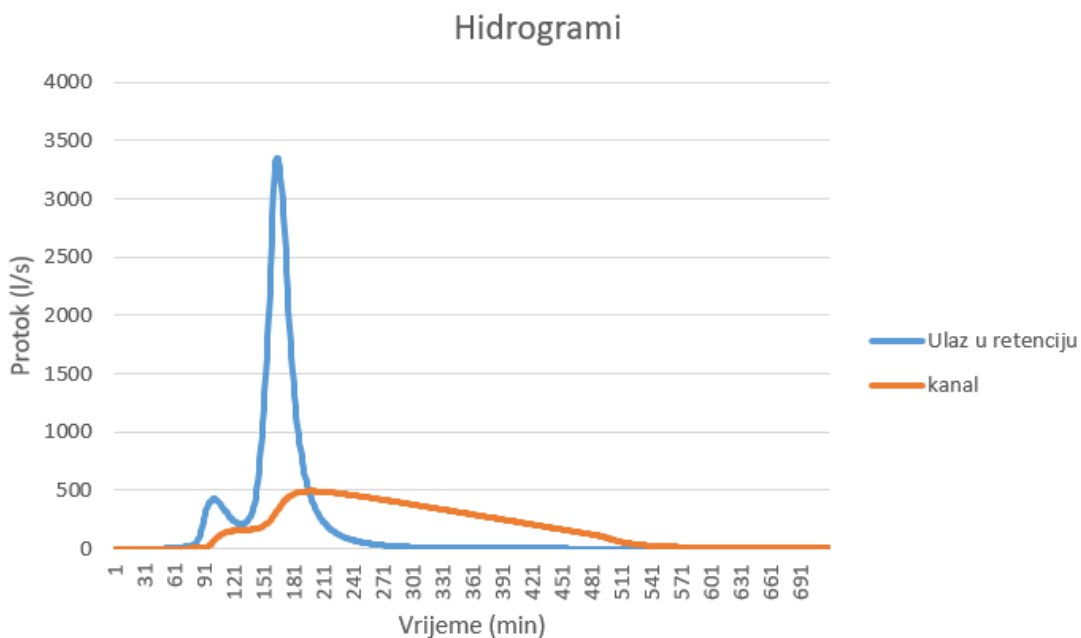
Slika 155. Shematski prikaz poprečnog presjeka retencije

8.4.1. Prikaz rezultata nakon implementacije retencije

U nastavku su prikazani rezultati nakon implementacije retencije. Slika 155. prikazuje dijagram visine vode u retenciji ovisno o vremenu za povratno razdoblje 25 god. i projektni pljusak 3h. Maksimalan doseg visine vode u retenciji iznosi 3.15 m. Slika 156. prikazuje ulazni i izlazni hidrogram, pri čemu maksimalni ulazni protoka iznosi 3355.3 l/s, a izlazni protok iznosi 491 l/s.

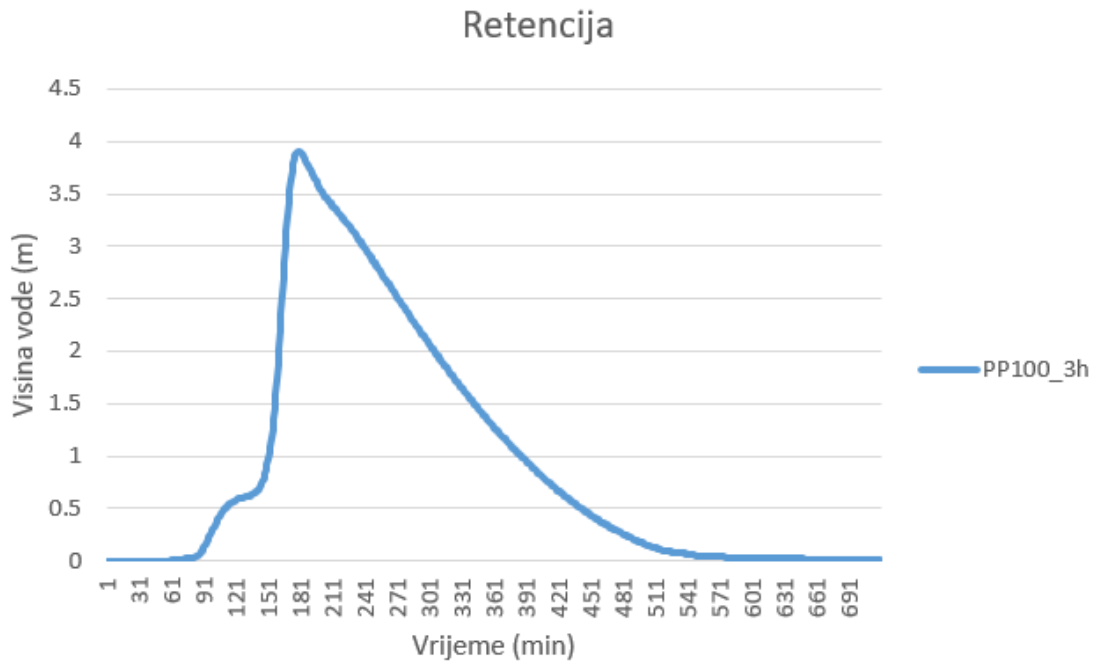


Slika 156. Visina vode u retenciji za PP25 god. i projektni pljusak 3h

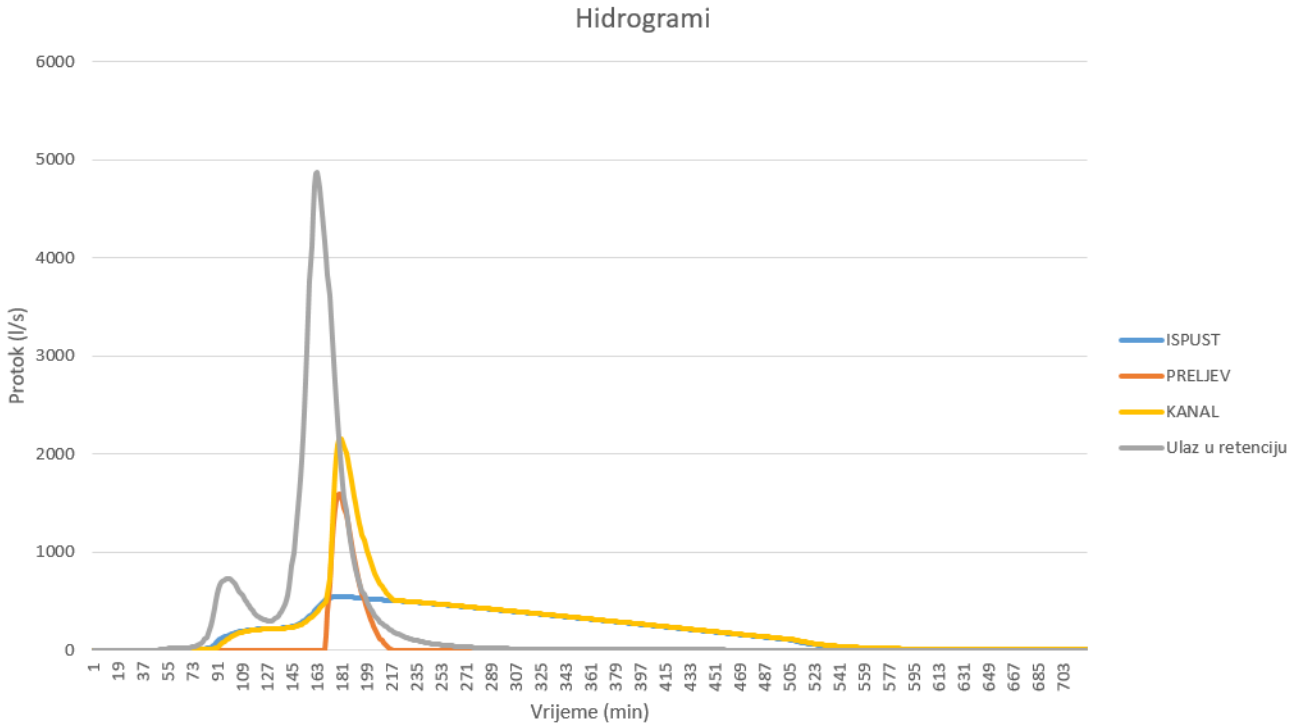


Slika 157. Hidrogrami otjecanja na ulazu u retenciju i kanalu (PP25_3h)

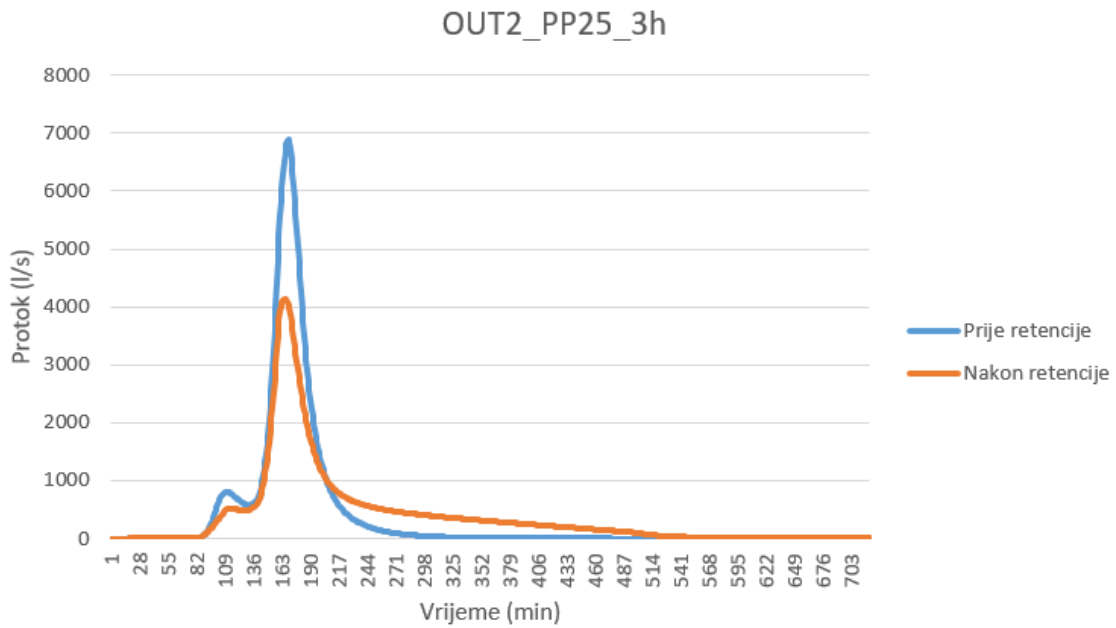
U nastavku na Slici 157. slijedi prikaz rezultata visine vode u retenciji ovisno o vremenu za povratno razdoblje 100 god. i projektni pljusak 3h. Maksimalan doseg visine vode u retenciji iznosi 3.91 m. Slika 158. prikazuje protok vode na ulazu u retenciju, u cijevnom ispustu, na preljevnoj građevini te u kanalu. Maksimalni protok vode na ulazu u retenciju iznosi 4873.39 l/s. Maksimalni protok vode na preljevu iznosi 1592.56 l/s, a u odvodnom kanalu 2157.36 l/s.



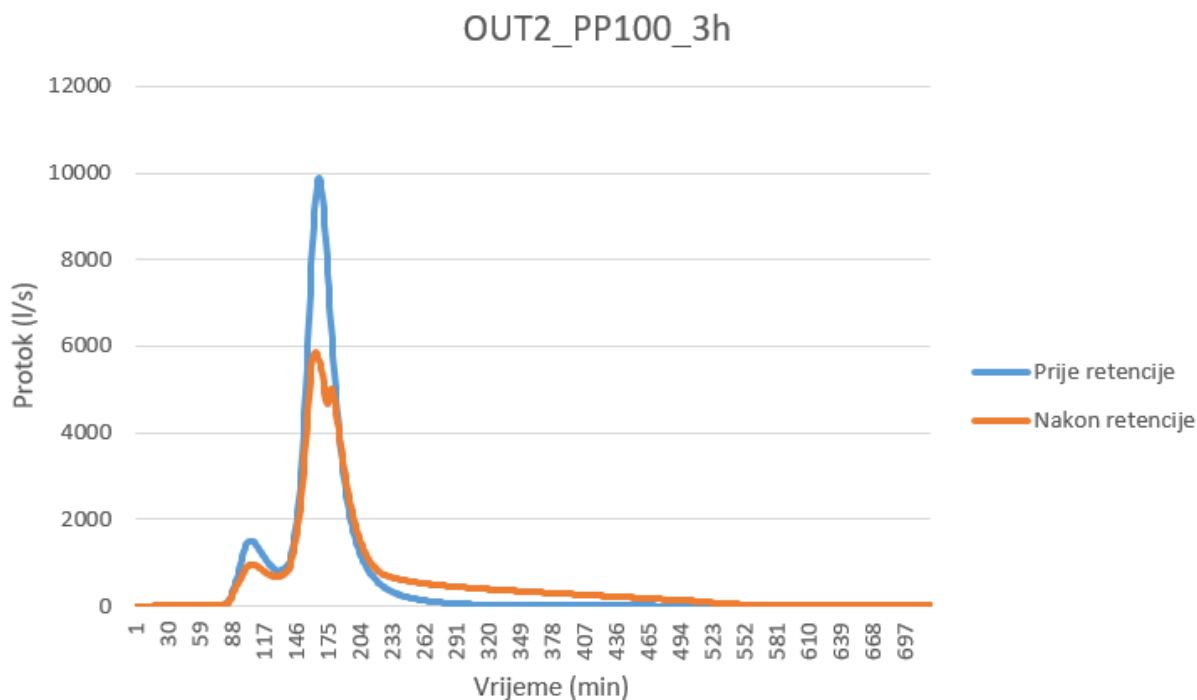
Slika 158. Visina vode u retenciji za PP100_3h



Slika 159. Hidrogrami otjecanja za ulaz u retenciju, ispušt, preljev i kanal (PP100_3h)



Slika 160. Protoci na izlazu OUT2 (PP25_3h)



Slika 161. Protoci na izlazu OUT2(PP100_3h)

Slika 159. prikazuje hidrograme na izlazu OUT2 prije i nakon izgradnje retencije za povratni period 25 god. i 3h projektni pljusak. Maksimalni protok prije izgradnje retencije iznosi 6886 l/s, a maksimalni protok nakon izgradnje retencije iznosi 4140 l/s. Na slici 160. prikazani su hidrogrami na izlazu OUT2 prije i nakon izgradnje retencije za povratni period 100 god. i projektni pljusak od 3h. Maksimalni protok prije izgradnje retencije iznosi 9889 l/s, a maksimalni protok nakon izgradnje retencije iznosi 5847 l/s.

8.5. Ugradnja LID elemenata

Drugi scenarij analizira utjecaj implementacije LID elemenata. Međutim, zbog veličine obuhvata, usvojen je pojednostavljeni pristup prema kojem je u biti analizirano samo smanjenje nepropusnih površina, a ne i potpuna funkcionalnost LID elemenata da prihvate višak oborine sa uzvodnog dijela sliva. U tu svrhu koristit će se infiltracijski jarci. Implementacijom infiltracijskih jaraka želimo smanjiti površinsko otjecanje sa slivova koji imaju visoku nepropusnost, odnosno ukupni postotak nepropusnih površina na podslivu želimo smanjiti za 30%.

U SWMM programu izrađen je novi model s ugrađenim infiltracijskim jarcima, čija ukupna površina iznosi 30% ukupne površine nepropusnih podloga. Prvi korak u izvedbi modela bio je odabir podslivova kojim je postotak nepropusnih površina (IMD) veći od 15%. Odabrano je ukupno 98 podslivova na kojima će se izvršiti implementacija infiltracijskog jarka.

Sljedeći korak bio je dimenzioniranje infiltracijskog jarka: debljina zapremine iznosi 2.5 m, visina berme 0.15 m te nagib površine infiltracijskog jarka iznosi 1%. Uvjeti dreniranja vode iz infiltracijskog jarka nisu se zadavali, već je usvojena pretpostavka o dobrim infiltracijskim karakteristikama tla.

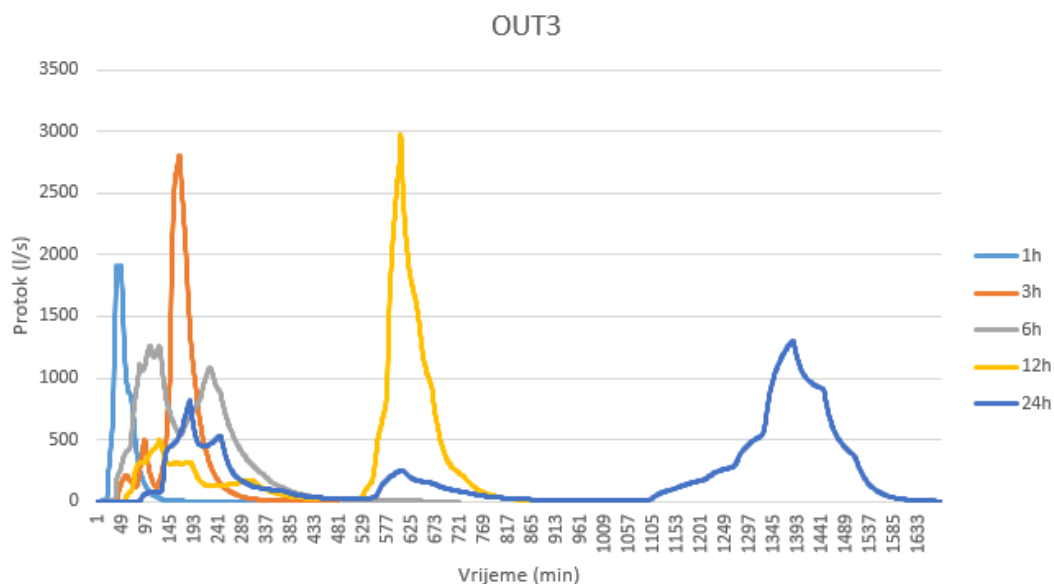
Ugradnja infiltracijskog jarka na podsliv izvršila se na sljedeći način. Prvi korak bio je određivanje površine podsliva nakon čega se očitao postotak nepropusnih površina na podslivu. Zatim se odredila ukupna površina na podslivu koju zauzimaju nepropusne površine. Sljedeći korak bio je smanjiti ukupni postotak nepropusnih površina za 30% (infiltracijski jarak). Površina svih podslivova na kojima se implementirao LID iznosi 45.67 ha. Ukupna površina nepropusnih površina iznosi 17.47 ha, a ukupna površina implementiranih LID elemenata 5.45 ha.

8.5.1. Rezultati dobiveni ugradnjom LID elementa

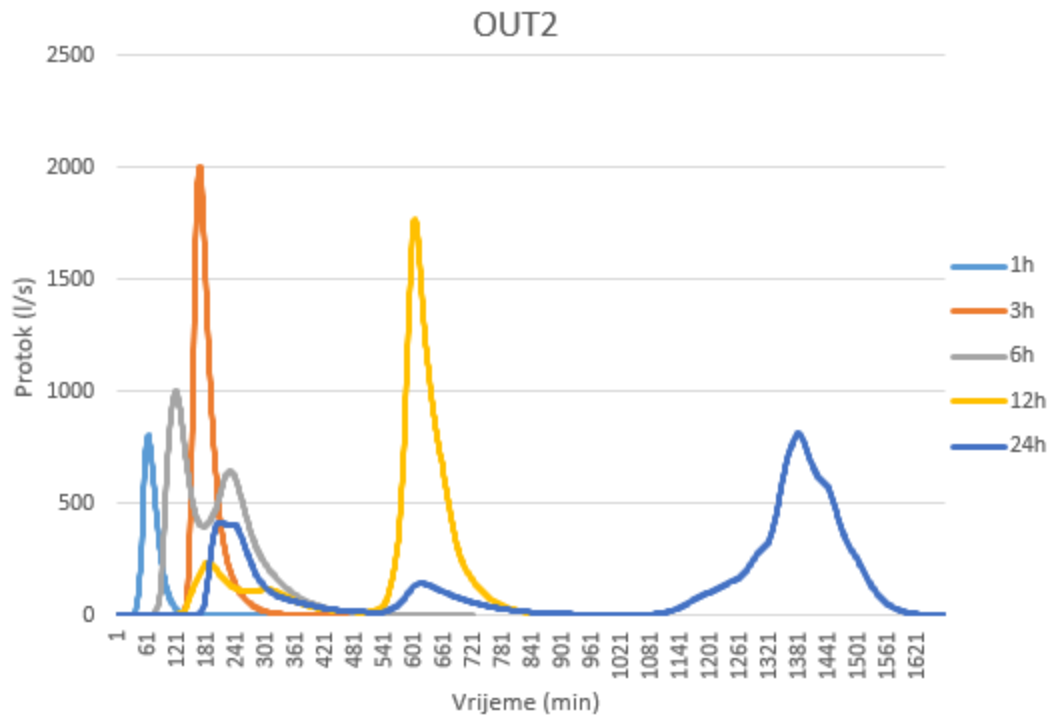
U nastavku su prikazani hidrogrami za različite izlazne točke. Ovaj hidrološko-hidraulički model odnosi se na buduće stanje sa implementiranim LID elementima. Hidrološko-hidraulički model sastoji se od tri izlazne točke (OUT3, OUT2, OUT5) te je za svaki izlaz napravljena analiza otjecanja. Analiza otjecanja napravljena je za sljedeće povratne periode (2god., 25god, 100god.). Za svaki povratni period napravljena je simulacija za trajanje projektnog pljuska od 1h, 3h, 6h, 12h, 24h

U nastavku sljedi prikaz rezultata za povratno razdoblje od 2god.

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 12h i iznosi 2974.38 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 2005.55 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska.



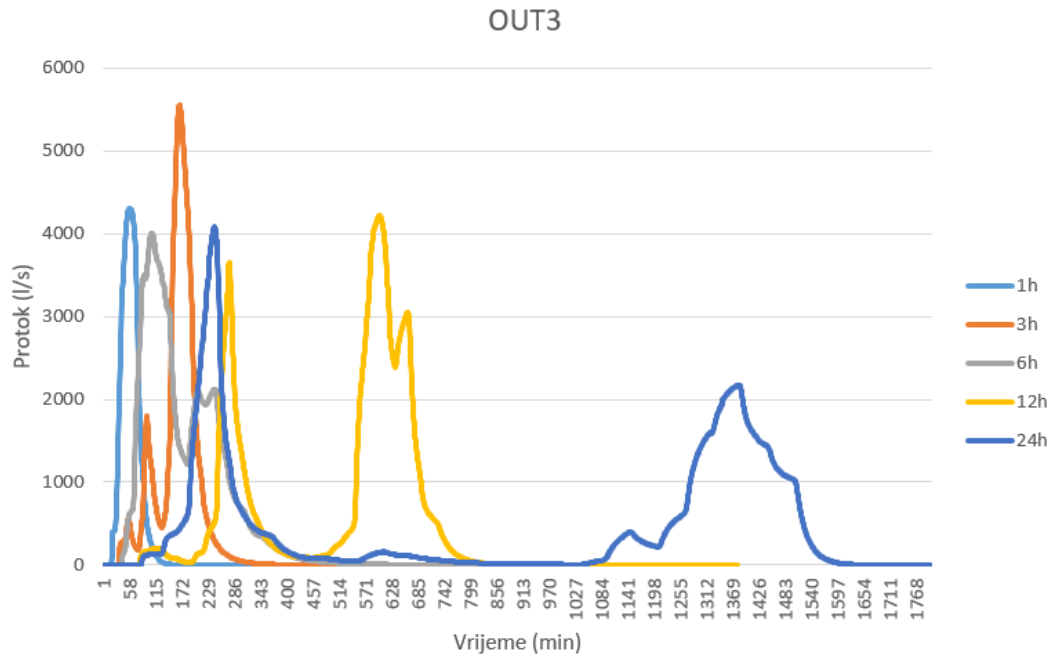
Slika 162. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a (PP2god.)



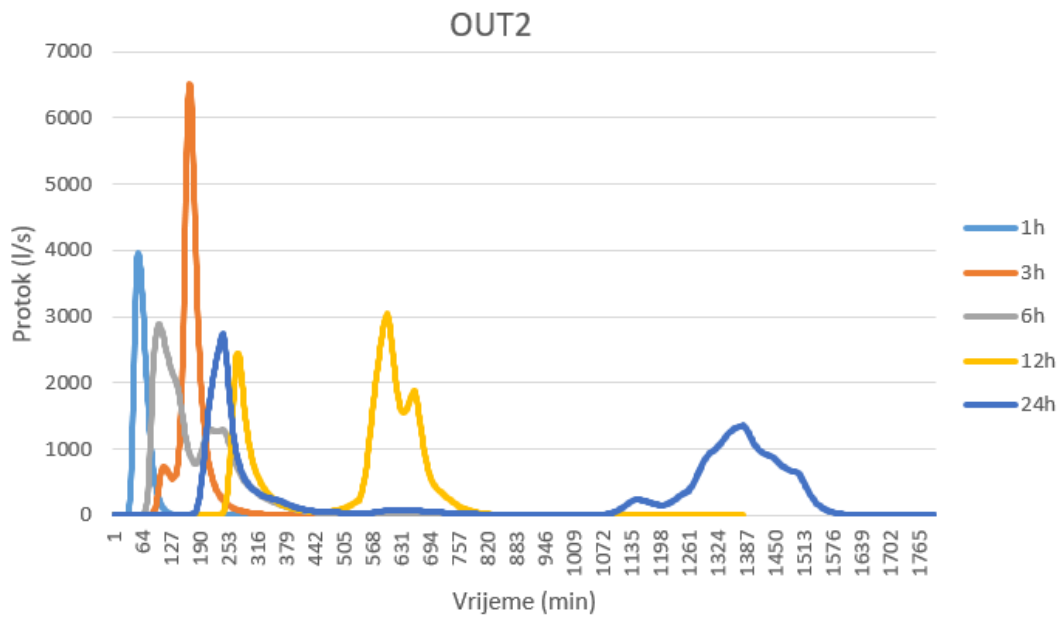
Slika 163. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (2god)

U nastavku sljedi prikaz rezultata za povratno razdoblje od 25god.

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 5548.09 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 6499.72 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska.



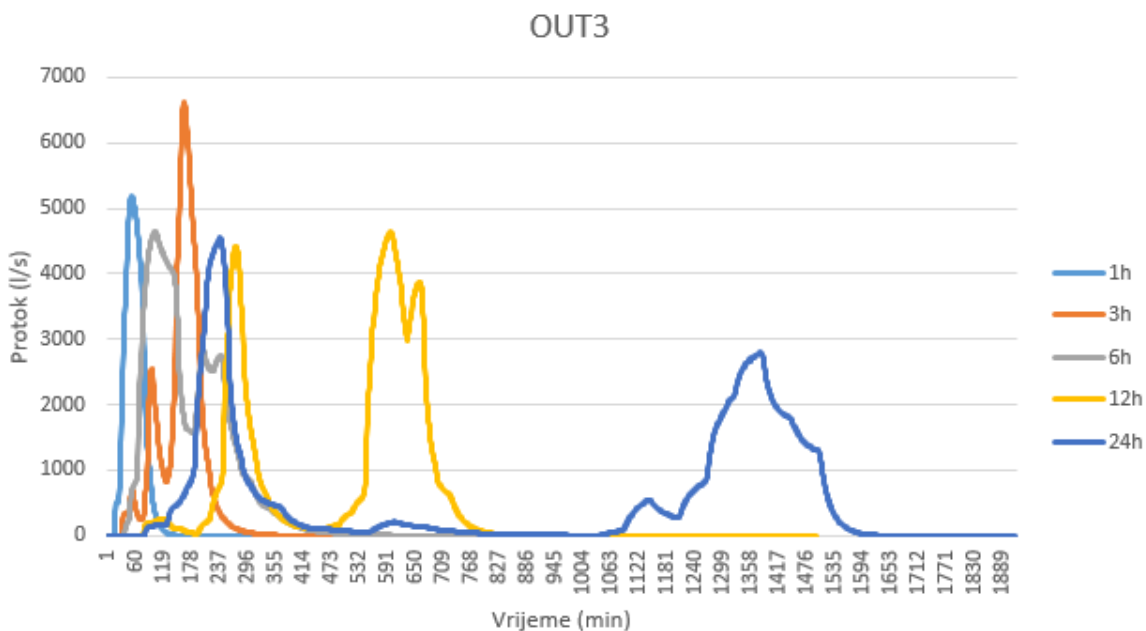
Slika 164. Hidrografi otjecanja s implementacijom LID-a PP (25god)



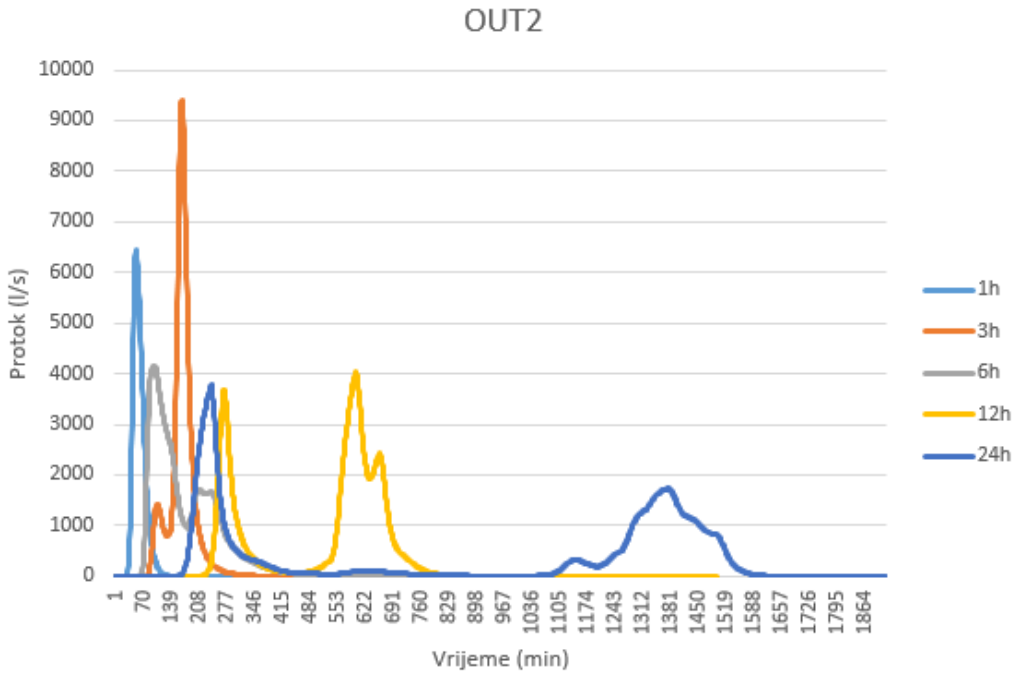
Slika 165. Hidrografi otjecanja s implementacijom LID-a PP (25god)

U nastavku sljedi prikaz rezultata za povratno razdoblje od 100god.

Najveći protok na izlazu OUT3 pojavljuje se za trajanje projektnog pljuska od 3h i iznosi 6627.94 l/s. Maksimalan protok na izlazu OUT2 iznosi 9889.92 l/s te se pojavljuje za trajanje 3h projektnog pljuska.



Slika 166. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (100god)



Slika 167. Hidrogrami otjecanja s implementacijom LID-a PP (100god)

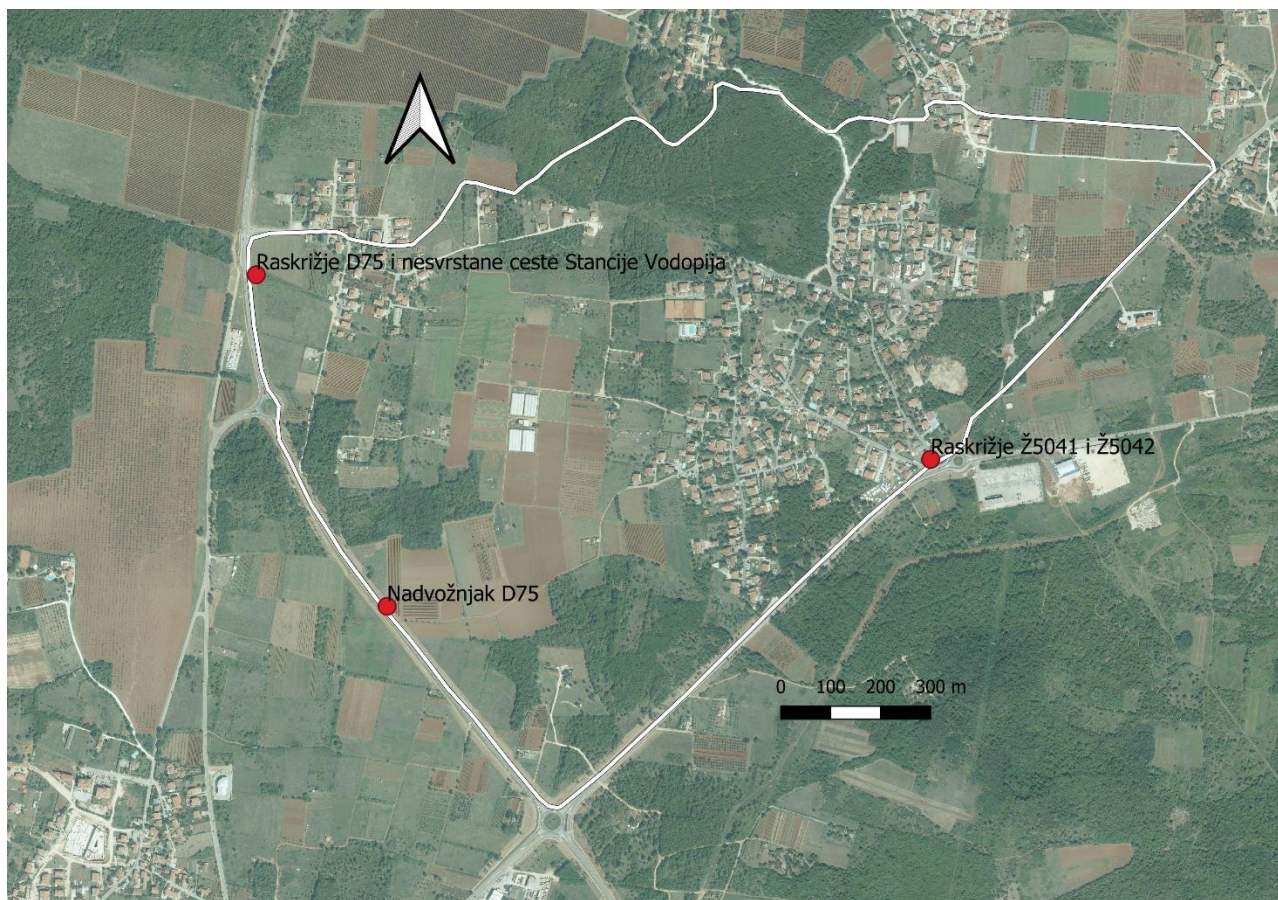
9. DISKUSIJA

U ovome radu napravljena je hidrološko-hidraulička analiza zaštite naselja Kukci od velikih voda koje uzrokuju oborine. Površina analiziranog područja naselja Kukci iznosi 144.2 ha. U SWMM programu izrađeno je pet modela na obuhvaćenom području na kojima je napravljena analiza oborinske odvodnje. Prvi model predstavlja povijesno (prirodno) stanje te se opisuje kao model nulte stope izgrađenosti. Cilj modela povjesnog stanja je analizirati otjecanja koja su bila prije bilo kakve urbanizacije. Za povratna razdoblja od 2, 25 i 100 god., maksimalni protoci javljaju nam se na lokaciji kod nadvožnjaka D75. Projektni pljusak od 3h uzrokuje maksimalne protoke za povrtani period od 25 i 100 god. Projektni pljusak od 12h uzrokuje maksimalne protoke za povratni period od 2god., što znači da je nakon 12h projektnog pljuska došlo do zasićenja tla.

Drugi model se odnosi na trenutno stanje naselja Kukci sa izgrađenim kanalizacijskim sustavom oborinske odvodnje. Za povratna razdoblja od 2, 25 i 100 god, maksimalni protoci javljaju se na lokaciji kod nadvožnjaka D75, za projektni pljusak od 3h. Usporedbom hidrograma i dobivenih rezultata o maksimalnim protocima za povijesno i trenutno stanje uočeno je sljedeće: za vrijednosti maksimalnih protoka na lokaciji križanja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija vidi se najveći porast, a navedeno se može prepisati izgradnji kolektora oborinske odvodnje koji prikupljaju vodu na izgrađenom djelu naselja Kukci te je prenose do raskrižja D75 i nerazvrstane ceste Stancije Vodopija.

Treći model predstavlja buduće stanje naselja Kukci, odnosno uključuje trenutno stanje uz predviđenu urbanizaciju i izgradnju kolektora oborinske odvodnje na području određenom UPU Kukci. Za povratna razdoblja 25 i 100 god. maksimalni protoci javljaju se na lokaciji kod nadvožnjaka D75 za projektni pljusak od 3h. Za povratno razdoblje od 2 godine maksimalni protok javlja se na lokaciji križanja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija za projektni pljusak od 3h. Razlog tome je novi dio postavljene kanalizacijske mreže koja je preusmjerila oborinsku odvodnju na lokaciju križanja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija, a time i smanjila površinska otjecanja koja dolaze do lokacije kod nadvožnjaka D75. Kanalizacijska mreža novog urbaniziranog dijela dimenzionirana je na PP od 2god. Zbog toga kanalizacijska mreža za povratna razdoblja od 25 i 100god. nema dovoljni kapacitet (dolazi do zasićenja) te maksimalni protoci na lokaciji kod nadvožnjaka D75 su opet veći od protoka na lokaciji raskrižja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija.

Uz to, usporedbom hidrograma i dobivenih rezultata za trenutno i buduće stanje uočavamo da su maksimalni protoci na lokaciji kod nadvožnjaka D75 za sadašnje stanje veći nego za buduće stanje, to prepisujemo izgradnji novog dijela sustava odvodnje koji oborinsku vodu preusmjeruje na lokaciju križanja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija izlaz.



Slika 168. Prikaz konkretnih lokacija gdje su postavljene izlazne točke u hidrološko-hidrauličkom modelu

Nadalje, četvrti model predstavlja implementaciju retencije u model budućeg stanja. Cilj implementacije retencije bio je postići otjecanja kakva su bila u prirodnom stanju. Također se time želi ukloniti plavljenje područja koje je ugroženo te su iz toga razloga dimenzionirani kanali koji oborinsku vodu iz ispusta prenose do lokacije kod nadvožnjaka D75. Usmjeravanjem vode u retenciju smanjila se mogućnost plavljenja područja poljoprivrednih površina ispod naselja Kukci. Posljednji, peti model predstavlja implementiranje LID elemenata u model budućeg stanja. Implementacijom infiltracijskih jaraka želi se postići manja površinska otjecanja po podslivovima odnosno ukupni postotak nepropusnih površina na podslivu smanjio se za 30%. Površina svih podslivova na kojima se implementirao LID iznosi 45.67 ha. Ukupna površina implementiranih

LID elemenata 5.45 ha., odnosno elementi zauzimaju 11.9% ukupne površine podslivova na kojima se LID i ugradio. Ugradnjom LID elemenata dobili smo sljedeće: ukupna prosječna otjecanja na pojedinom podslivu za cijelo analizirano područje su se smanjila za 8.9% za PP 2 god, zatim 6.6% za PP 25 god. te 5.8% za PP 100 god. Nadalje, ukupna prosječna otjecanja s nepropusnih površina na pojedinom podslivu za cijelo analizirano područje su se smanjila za 34.4% za PP 2 god, zatim 32.6% za PP 25 god. te 32.1% za PP 100 god. U Tablicama 1., 2. i 3. u nastavku se nalazi usporedba dobivenih rezultata prije i nakon implementacije LID elemenata za PP od 2, 25 i 100 god.

| Povratni period 2god. | | Ukupna infiltracija (mm) | Otjecanje s nepropusnih površina (mm) | Otjecanje s propusnih površina (mm) | Ukupno otjecanje (mm) | Ukupno otjecanje(10 ⁶ litr) | Vršni protok (LPS) | Koeficijent otjecanja |
|--------------------------|-----|--------------------------------|--|--|-----------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| LID | MAX | 47.76 | 124.14 | 987.37 | 987.37 | 2.70 | 1028.94 | 0.96 |
| | AVG | 31.05 | 6.76 | 45.31 | 52.07 | 0.22 | 85.71 | 0.41 |
| BEZ LID | MAX | 45.07 | 211.32 | 1034.35 | 1034.35 | 2.83 | 1071.87 | 0.96 |
| | AVG | 29.95 | 10.31 | 46.89 | 57.20 | 0.24 | 93.21 | 0.46 |

Tablica 1. Usporedba rezultata prije i nakon implementacije LID elemenata (PP 2god.)

| Povratni period 25god. | | Ukupna infiltracija (mm) | Otjecanje s nepropusnih površina (mm) | Otjecanje s propusnih površina (mm) | Ukupno otjecanje (mm) | Ukupno otjecanje(10 ⁶ litr) | Vršni protok (LPS) | Koeficijent otjecanja |
|---------------------------|-----|--------------------------------|--|--|-----------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| LID | MAX | 69.52 | 416.82 | 2933.28 | 2933.28 | 8.01 | 3323.73 | 0.98 |
| | AVG | 41.92 | 15.10 | 143.89 | 159.00 | 0.68 | 313.42 | 0.57 |
| BEZ LID | MAX | 65.21 | 652.27 | 3144.48 | 3144.48 | 8.59 | 3700.78 | 0.98 |
| | AVG | 40.14 | 22.43 | 147.89 | 170.31 | 0.73 | 336.82 | 0.62 |

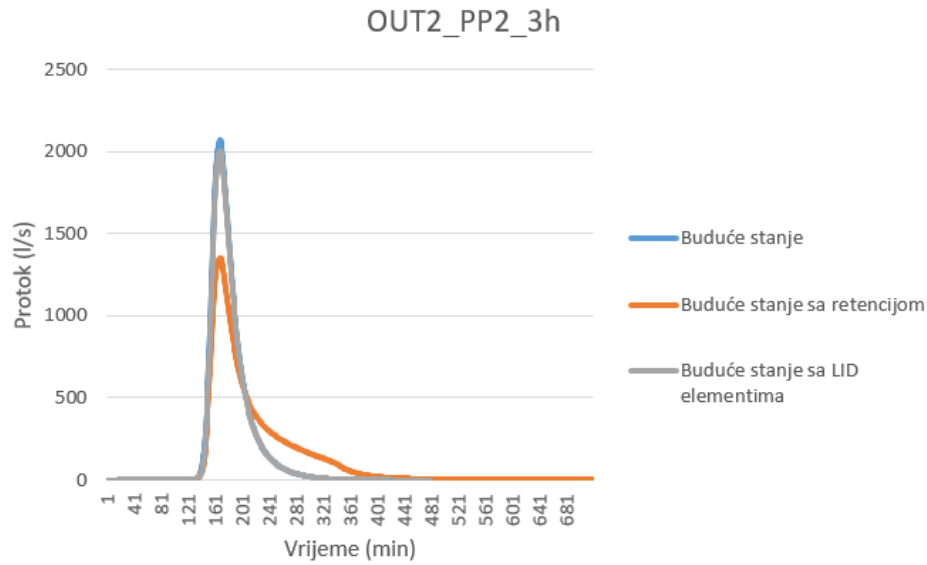
Tablica 2. Usporedba rezultata prije i nakon implementacije LID elemenata (PP 25god.)

| Povratni period 100god. | | Ukupna infiltracija (mm) | Otjecanje s nepropusnih površina (mm) | Otjecanje s propusnih površina (mm) | Ukupno otjecanje (mm) | Ukupno otjecanje(10 ⁶ litr) | Vršni protok (LPS) | Koeficijent otjecanja |
|----------------------------|-----|--------------------------------|--|--|-----------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| LID | MAX | 78.44 | 590.44 | 4170.63 | 4170.63 | 11.39 | 4912.66 | 0.99 |
| | AVG | 46.13 | 19.88 | 203.96 | 223.84 | 0.96 | 450.43 | 0.62 |
| BEZ LID | MAX | 74.92 | 911.72 | 4409.54 | 4409.54 | 12.05 | 5337.59 | 0.99 |
| | AVG | 44.44 | 29.28 | 207.89 | 237.18 | 1.02 | 476.21 | 0.66 |

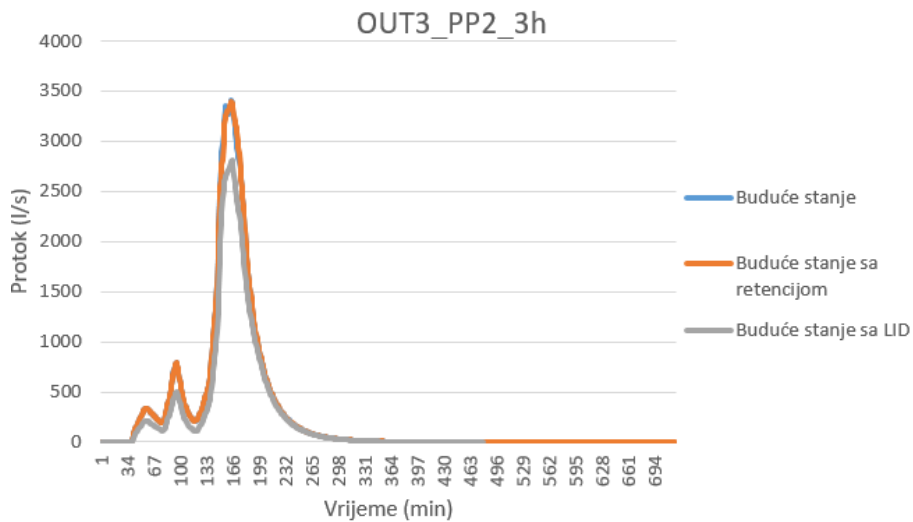
Tablica 3. Usporedba rezultata prije i nakon implementacije LID elemenata (PP 100god.)

Hidrološko-hidrauličke analize modela sadašnjeg i budućeg stanja naselja Kukci rezultirale su velikim vrijednostima ukupnih i vršnih površinskih otjecanja. Izgradnjom sustava oborinske odvodnje dio površinski otjecanja uspio se smanjiti za povratno razdoblje od 2god., no već za veća povratna razdoblja dolazi do plavljenja okna odnosno sustava oborinske odvodnje. U tu svrhu predviđena je izrada 2 različita modela, model s implementacijom retencije i model s implementacijom LID elemenata. Rezultat modela s retencijom predstavlja smanjenje količine protoka, a to se postiže tako da se voda iz okolnih podslivova zadržava u retenciji te je tako osigurano okolno područje poljoprivrednih površina ispod naselja Kukci. Cijevni ispust dimenzioniran je s ciljem ograničavanja vršnog protoka sličnog otjecanju s prirodnog sliva što iznosi 491 l/s. Rezultati dobiveni u ovome radu upućuju na učinkovitost implementacije LID elemenata. LID elementi ugradili su se na 98 podslivova kojima je postotak nepropusnih površina veći od 15%.

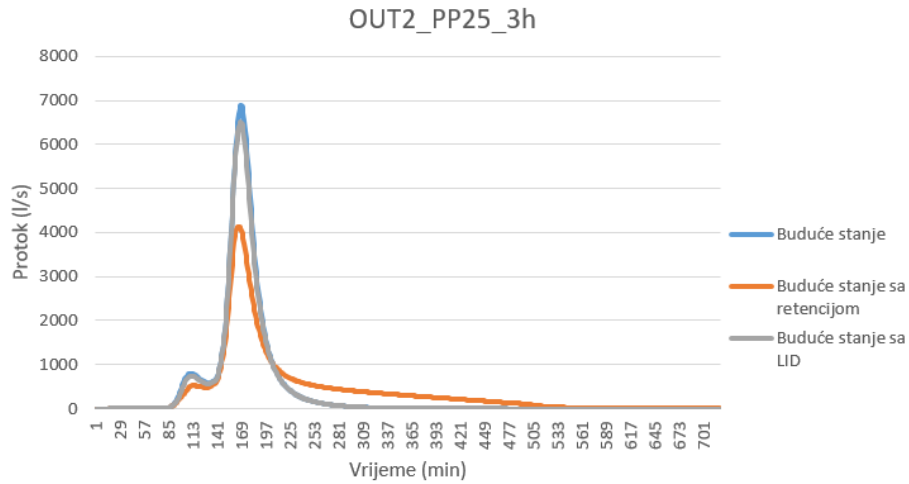
Izgradnja retencije na predviđenom području poljoprivrednih površina ispod izgrađenog dijela naselja Kukci pridonjela bi smanjenju protoka na lokaciji kod nadvožnjaka D75 za sva povratna razdoblja (2, 25 i 100 god.), te bi se također smanjilo plavljenje poljoprivrednih površina zbog prihvata vode koji otječe u retenciju. Predviđena retencija nema nikakav utjecaj na lokaciji raskrižja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija, te se tim zahvatom problemi plavljenja na spomenutoj lokaciji nebi riješili. Implementacija LID elemenata utječe na smanjenje protoka na lokaciji kod nadvožnjaka D75 i na lokaciji raskrižja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija, no za još veću učinkovitost potrebno je provesti detaljniju analizu implementacije LID elemenata kao i implementirati veći broj LID elemenata.



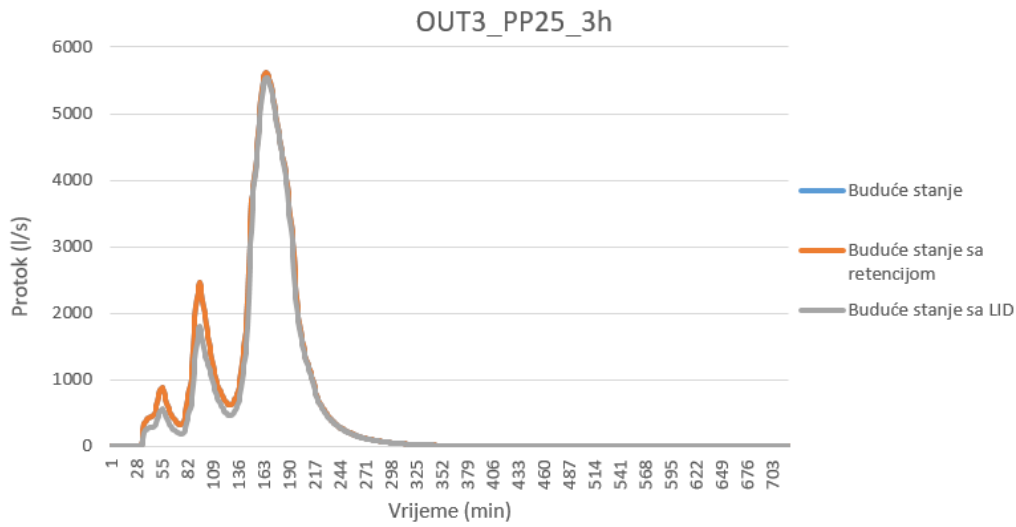
Slika 169. Prikaz hidrograma otjecanja na lokaciji kod nadvožnjaka D75(PP2)



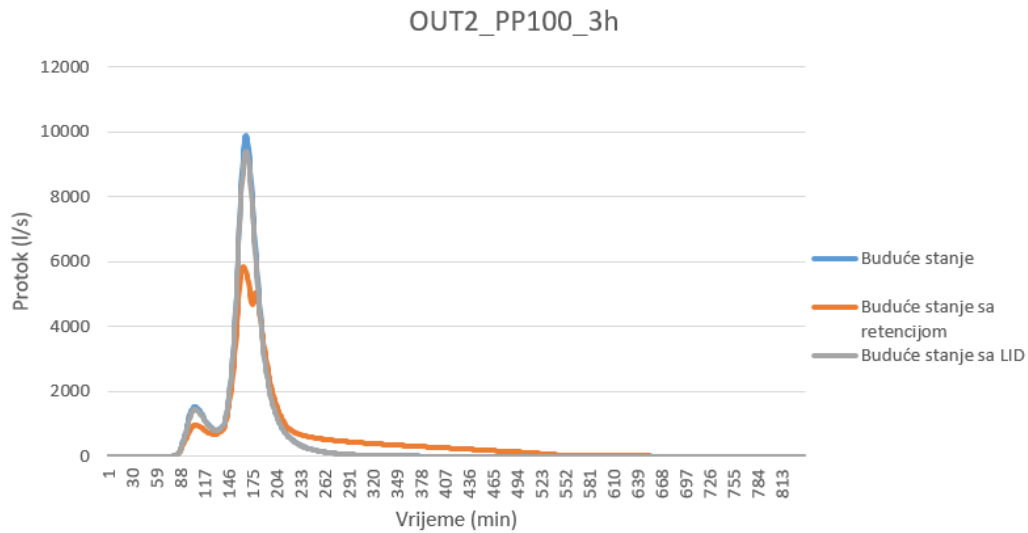
Slika 170. Prikaz hidrograma otjecanja na lokaciji raskrižja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija (PP2)



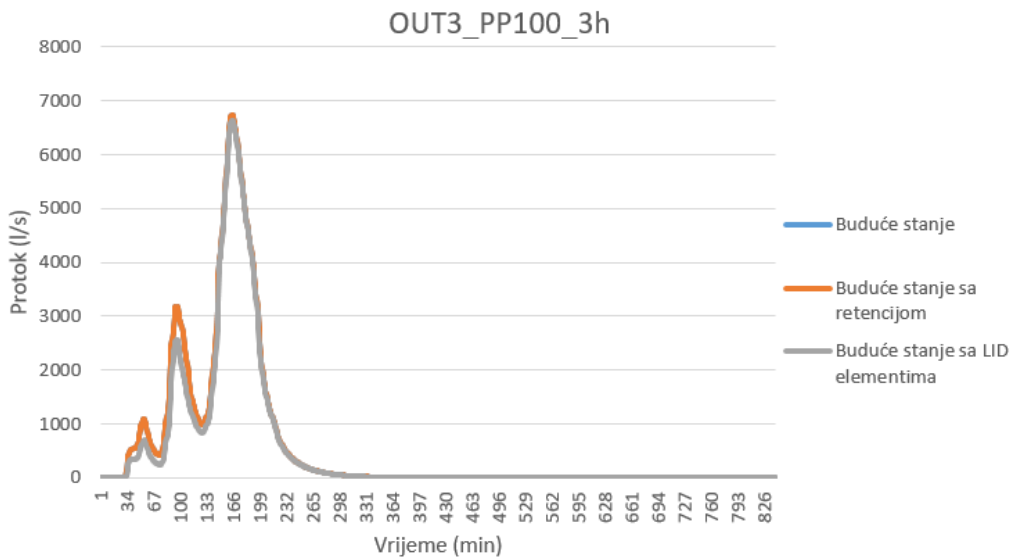
Slika 171. Prikaz hidrograma otjecanja na lokaciji kod nadvožnjaka D75 (PP25)



Slika 172. Prikaz hidrograma otjecanja na lokaciji raskrižja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija (PP25)



Slika 173. Prikaz hidrograma otjecanja na lokaciji kod nadvožnjaka D75 (PP100)



Slika 174. Prikaz hidrograma otjecanja na lokaciji raskrižja D75 i nesvrstane ceste Stancije Vodopija (PP100)

10.ZAKLJUČAK

Intenzivna urbanizacija i klimatske promjene utječu na čestu pojavu poplava. Odgovarajuće upravljanje rizikom od poplava ključno je za ublažavanje efekta poplava u urbanim područjima te je upravo zato za izradu ovog rada izabrana tema hidrološko-hidrauličke analize naselja Kukci na području grada Poreča.

Zaštita od velikih voda na obuhvaćenom području analizirana je pomoću hidrološko-hidrauličkih modela otjecanja površinskih voda uzrokovane oborinama. U provedenim analizama vidljivo je da se postojeća infrastruktura tradicionalnog sustava odvodnje oborinskih voda nije uvijek u stanju nositi s količinama i intenzitetom oborina, a time i posljedično poplavama. Upravo iz tog razloga, potrebno je uključiti nove pristupe izgradnje sustava oborinske odvodnje kao što je zelena infrastruktura.

Zelena infrastruktura predstavlja niz mjera koje koriste sustave biljaka i tla, sustave za skladištenje, infiltraciju ili isparavanje oborinske vode kako bi se smanjili dotoci vode u kanalizacijski sustav. Na ovaj način se hidrološki proces stavlja u ravnotežu jer se pokušava uključiti što više zelenih površina u urbano planiranje da se maksimizira njihova korist.

U ovom radu analizirana su područja plavljenja naselja Kukci te na temelju toga su se uspostavila područja za implementaciju retencije i LID elemenata u svrhu povratka površinskih otjecanja na prirodno stanje slivnog područja. Pokazalo se kako za velike vode malog povratnog perioda zelene infrastruktura ima zadovoljavajuću učinkovitost, međutim za velike vode velikog povratnog perioda, nužno je izgraditi retenciju kako bi se ublažile posljedice od poplava. Ovaj rad može služiti kao smjernica za uvođenje zelene infrastrukture u naselje Kukci, ali i u ostala naselja diljem Hrvatske.

11.LITERATURA

Alves, A., Gersonius, B., Sanchez, A., Vojinovic, Z. i Kapelan, Z. (2018). *Multi-criteria Approach for Selection of Green and Grey Infrastructure to Reduce Flood Risk and Increase CO-benefits. Water Resources Management*, 32(7), 2505–2522.

Dong, X., Guo, H. i Zeng, S. (2017). Enhancing future resilience in urban drainage system: Green versus grey infrastructure. *Water research*, 124, 280–289.

Eckart, K., McPhee, Z. i Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development - A review. *The Science of the total environment*, 607-608, 413–432.

Građevinski fakultet u Rijeci, Vodoprivredno-projektini 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.

Jha, A., Lamond, J., Proverbs, ...R.Barker (2012). *Cities and Flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st Century*.

Pamungkas, A. I Purwitaningsih, S. (2019). *Green and grey infrastructures approaches in flood reduction. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 10(5), 343–362.

Popis stanovništva 2021., Državni zavod za statistiku, <https://podaci.dzs.hr/hr/podaci/stanovnistvo/popis-stanovnistva/>

Rossman, L.A. (2015). *Stormwater Management Model User's Manual Version 5.1*.

Xu, C., Tang T., Jia H...Zhang, R.(2019). Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. *Resources, Conservation and Recycling*.

University of Arkansas Community Design Center (UACDC), *Low Impact Development (a design manual for urban areas)*, University of Arkansas Community Design Center, Fayetteville (Arkansas), 2010.

Urbanističko prostorno planiranje (UPU) Kukci. Službeni glasnik Grada Poreča (03/2015).

Parenzo:http://www.porec.hr/sadrzaj/glasnik/2015/Sluzbeni%20glasnik%20Grada%20Poreca%20-%20Parenzo%20broj%2003_15.pdf

Procjena rizika od poplava:https://voda.hr/sites/default/files/dokumenti/PUVP3%20-%20URP%20-%2000012_2.pdf

Prostorno plansko uređenje grada Poreča –Parenzo. Službeni glasnik Grada Poreča (SGGPP, 14/02, 08/06, 07/10, 8/10). <http://www.porec.hr/prva.aspx?stranica=2517&pid=5>

Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima (2021). Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine:

https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program_razvoja_zelene_infrastrukture_do_2030.pdf

EPA SWMM, <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

Zeng, Z., Tang, G., Hong, Y., Zeng, C. i Yang, Y. (2017). Development of an NRCS curve number global dataset using the latest geospatial remote sensing data for worldwide hydrologic applications. *Remote Sensing Letters*, 8(6), 528–536.