

Analiza koristi rekonstrukcije dijela sustava oborinske odvodnje u Gradu Labinu

Kujundžić-Lujan, Daniel

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:452718>

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

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

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Daniel Kujundžić-Lujan

**Analiza koristi rekonstrukcije dijela sustava
oborinske odvodnje u Gradu Labinu**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Daniel Kujundžić-Lujan

**Analiza koristi rekonstrukcije dijela sustava
oborinske odvodnje u Gradu Labinu**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Damir Bekić

Zagreb, 2024



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Daniel Kujundžić-Lujan

**The benefit analysis of a surface drainage
system reconstruction of the Town of Labin**

MASTER THESIS

Supervisor: izv. prof. dr. sc. Damir Bekić

Zagreb, 2024

ZAHVALE

Zahvaljujem se ponajprije obitelji, prijateljima i djevojci na podršci tijekom studiranja i mentoru Damiru Bekiću na izvrsnom mentorstvu i suradnji prilikom izrade ovog diplomskog rada.

SAŽETAK

Analiza rekonstrukcije sustava odvodnje provedena je za postojeći sustav odvodnje grada Labina zbog nedostataka i oštećenja mješovite odvodnje. Analizirane su dvije varijante u simulacijskom programu SWMM, varijanta A kao razdjelni sustav s podzemnim spremnikom i varijanta B kroz implementaciju mjera zelene infrastrukture. Korištene su podloge i podaci iz Studije izvedivosti za područje aglomeracije Labin-Raša te je na osnovu istih izrađen model za pojedinu varijantu. Rezultati su prikazani u grafičkom i tabličnom obliku pomoću kojih se uz kriterij odabira rješenja valoriziraju ekonomske, tehničko-tehnološke, socijalne i ekološke stavke te se odabire povoljnija varijanta za predmetno područje. Cilj analize koristi rekonstrukcija je pružanje adekvatne obrane i zbrinjavanja mjerodavnih oborina, zaštita podzemnih vodonosnika te pružanje odgovarajuće kvalitete života stanovništva uz revitaliziranje ekosustava i hidroloških uvjeta na stanje prije urbanizacije. Za navedeno područje analizirano SWMM modelom utvrđeno je da je varijanta B s mjerama implementacije zelene infrastrukture dugoročno povoljnija opcija pružajući adekvatno zbrinjavanje oborinskih dotoka rasterećivanjem sustava objektima zelene infrastrukture uz revitalizaciju ekosustava.

Ključne riječi: oborina, razdjelni sustav odvodnje, zelena infrastruktura, SWMM , povratni period

SUMMARY

The analysis of the reconstruction of the drainage system was carried out for the existing drainage system of the city of Labin due to the deficiencies and damage of the mixed drainage system. Two variants were analyzed in the simulation program SWMM, variant A as a separate system with an underground tank and variant B through the implementation of green infrastructure measures. Bases and data from the Feasibility Study for the Labin-Raša agglomeration area were used, and based on them, a model was created for a particular variant. The results are presented in graphic and tabular form, by means of which economic, technical-technological, social and ecological items are valorized in addition to the solution selection criteria, and a more favourable variant for the area in question is selected. The objective of the analysis of the benefits of the reconstruction is to provide adequate defence and disposal of relevant rainfall, protection of underground aquifers and provision of an adequate quality of life for the population while revitalizing the ecosystem and hydrological conditions to the state before urbanization. For the mentioned area analyzed by the SWMM model, it was determined that option B with green infrastructure implementation measures is a more favourable option in the long term, providing adequate disposal of precipitation inflows by relieving the system of green infrastructure facilities while revitalizing the ecosystem.

Key words: precipitation, separate drainage system, green infrastructure, SWMM, return period

SADRŽAJ

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | UVOD | 1 |
| 2 | METODOLOGIJA | 2 |
| 2.1 | Storm Water Management Model | 2 |
| 2.2 | Low Impact Development i zelena infrastruktura | 5 |
| 2.3 | Kriterij odabira rješenja | 7 |
| 3 | PREGLED PODLOGA I ODABIR PILOT PODRUČJA | 8 |
| 3.1 | Općenito o Labinštini | 8 |
| 3.2 | Analiza pilot područja | 10 |
| 3.3 | Uočeni problemi u odvodnom sustavu..... | 14 |
| 3.4 | Analiza nedostataka postojećeg sustava iz modela | 17 |
| 4 | DEFINIRANJE I TEHNIČKA ANALIZA VARIJANTNIH RJEŠENJA | 19 |
| 4.1 | Definiranje i opis varijantnih rješenja | 19 |
| 4.2 | Rezultati modela za rekonstrukciju s podzemnim spremnikom (varijanta A) | 37 |
| 4.3 | Rezultati modela rekonstrukcije s mjerama zelene infrastrukture (varijanta B) | 43 |
| 4.4 | Usporedba hidrauličkih parametara rješenja | 50 |
| 5 | USPOREDBA | 51 |
| 5.1 | Ekonomska valorizacija | 51 |
| 5.2 | Koristi i poboljšanja varijanti | 54 |
| 5.3 | Odabrana varijanta rješenja | 57 |
| 6 | ZAKLJUČAK | 58 |
| 7 | POPIS LITERATURE | 59 |
| 8 | POPIS SLIKA | 61 |
| 9 | POPIS TABLICA | 63 |

1 UVOD

Rekonstrukcija postojećih sustava odvodnje bitan je faktor u razvijanju gradova i naselja. Njegovim optimiziranjem i unapređenjem utječe se ne samo na odvodnju oborinskih i sanitarnih voda već i na život stanovništva područja te na zaštitu podzemnih vodonosnika. Potreba za rekonstrukcijom javlja se radi razvoja grada Labina te poboljšanja trenutnog stanja mješovitog sustava koji prilikom mjerodavnih oborina neadekvatno zbrinjava dotoke prilikom čega se pojavljuju isplivavanja u gradu i nekontrolirana ispuštanja na kišnom ispustu. Kako bi se stanovništvu pružio adekvatan život na području grada Labina te unaprijedio sustav odvodnje provedena je analiza koristi rekonstrukcija. Varijanta A rekonstrukcije sustava u razdjelni sustav s podzemnim spremnikom i varijanta B rekonstrukcije s implementacijom metoda zelene infrastrukture analizirane su u simulacijskom programu SWMM. Podaci za analizu u programu SWMM preuzeti su iz Studije izvedivosti grada Labina, kartografskih prikaza i ITP krivulja meteorološke postaje Pazin (mjerodavna za područje Istočne istre).

Izbor navedenih rekonstrukcija određen je prema pravilima struke kako bi se adekvatno riješio problem odvodnje te revitalizirao ekosustav u svrhu pružanja odgovarajuće kvalitete života stanovništva grada Labina. Uz pružanje odgovarajuće kvalitete života stanovnika cilj rekonstrukcija je i zaštita podzemnih vodonosnika iz kojih se za predmetno područje crpi pitka voda. Nedostatci i oštećenja trenutnog mješovitog sustava uzrokuju zagađenje podzemnih tokova i okolnog zelenog pojasa nekontroliranim ispuštanjem otpadnih voda tijekom mjerodavnih oborina čime proizlazi potreba za navedenim rekonstrukcijama.

Analiza rekonstrukcija u simulacijskom matematičko-hidrauličkom programu SWMM pruža detaljan pogled u pojedine elemente varijantnih rješenja grafičkim i tabličnim prikazom rezultata. Obije varijante imaju svoje prednosti i mane koje su razrađene u vidu ovog diplomskog rada te je odabrana varijanta prema kriteriju za odabir rješenja koji sadrži stavke ekonomske valorizacije, tehničko-tehnološke parametre te socijalne i ekološke parametre kojima su pridružene numeričke vrijednosti radi odabira povoljnijeg rješenja rekonstrukcije sustava odvodnje grada Labina.

2 METODOLOGIJA

Prilikom izrade ovog diplomskog rada provedeno je istraživanje utjecaja i načina iskorištavanja oborinskih dotoka poput razdjeljivanja sanitarne i oborinske odvodnje te implementacije zelene infrastrukture, sve u svrhu sakupljanja i odvodnje, te obrane od oborinskih dotoka. U današnje doba najzastupljeniji pristup odvodnje je tradicionalni pristup odnosno mješovita odvodnja sanitarnih i oborinskih voda. Kako bi se optimizirao i unaprijedio sami sustav odvodnje, a time i poboljšala te osigurala adekvatna kvaliteta života stanovnika Labina u ovom radu razmotrit će se kao prva varijanta implementacija razdjelnog sustava odvodnje sa podzemnim spremnikom te također druga varijanta „zelenog“ rješenja, odnosno održivi sustav odvodnje oborinskih dotoka (*Sustainable Urban Drainage System- SuDS*). Uz istraživanja literature i internetskih izvora, u sklopu ovog diplomskog rada tema oborinske odvodnje obradit će se kroz simulacijski matematičko-hidraulički model u programu Storm Water Management Model 5.1 (SWMM). Provest će se usporedba varijanta razdjelnog sustava i zelene infrastrukture na temelju rezultata matematičkog modela, te kroz kriterij odabira rješenja izabrat će se ekonomski najpovoljnija i najučinkovitija varijanta za dani problem.

2.1 Storm Water Management Model

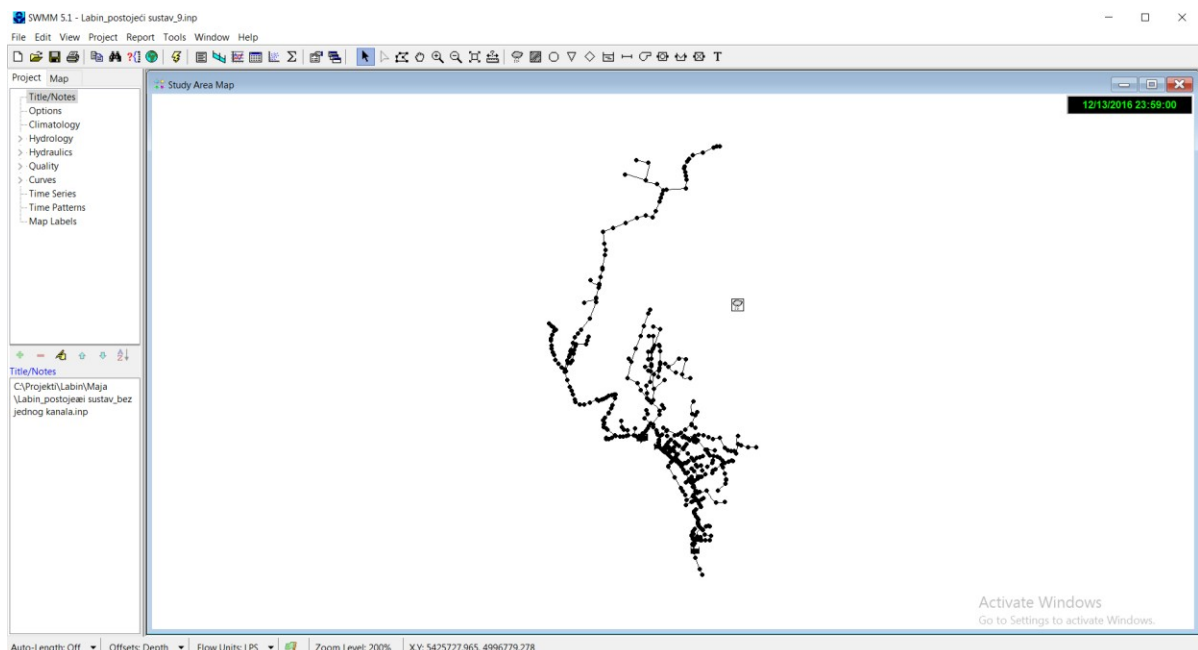
EPA Storm Water Management Model ili skraćeno SWMM je program napravljen sa namjerom upravljanja sanitarnim i oborinskim voda urbanih slivnih područja. Ovakav matematički model koristi se kod simulacije oborinskih otjecanja te kod analize simulacije količina i kvalitete otjecanja iz urbanih sredina. [1] Otjecanje u programu SWMM djeluje na skupu podslivova izabranog područja koja generiraju i primaju oborine. Modelirana oborina usmjerava se kroz odvodni sustav pomoću sustava cijevi, kanala, retencijskih uređaja, regulatora protoka, pumpi, preljeva itd. prema izlazu iz sustava odnosno u praksi prema UPOV-u.

„SWMM tracks the quantity and quality of runoff generated within each subcatchment, and the flow rate, flow depth, and quality of water in each pipe and channel during a simulation period comprised of multiple time steps.” [1, str 12.] U SWMM-u simulacijskim modelom dobivaju se rezultati pomoću kojih se provode daljnja istraživanja i poboljšanja sustava za dani problem odvodnje. SWMM program pruža alat za pregledavanje rezultata, odnosno mogućnost grafičkog prikaza simuliranih vrijednosti, stanja u cjevovodima te statističku obradu ulaznih i izlaznih parametara kako bi se osigurala najučinkovitija odvodnja prilikom modeliranja.

Za potrebe rada na već postojećem matematičkom modelu koje obuhvaća područje sustava mješovite odvodnje grada Labina odabrano je pilot područje za koje će se vršiti ispitivanja glede implementacije dvaju varijanata rješenja odvodnje. Prva varijanta razdjelnog sustava oborinske odvodnje provest će se uz već postojeći mješoviti sustav odvodnje čija će primarna

svrha ostati sanitarne vode, dok će se novim cjevovodima zbrinjavati oborinska voda sa podzemnim spremnikom na najnižvodnijoj točki sustava kako bi se prikupila i iskoristila voda kao resurs. Model postojećeg stanja grada Labina definiran je linijskim elementima koje predstavljaju kolektori i cijevi, točkastim elementima (čvorovi) koji predstavljaju okna, ali i mogućnost predstavljanja različitih hidrauličkih građevina poput retencija i preljeva, te površinskim elementima (slivovi) unutar kojih se generira otjecanje oborine. Kanalska mreža grada Labina sastoji se od glavnih i sekundarnih gravitacijskih kanala, koji se razlikuju po obliku cijevi i veličini uzdužnih i poprečnih profila. Ulazna opterećenja po čvorovima od stanovnika i tuđih voda odvodnog sustava grada Labina definirana su studijom izvedivosti pomoću linearnog uprosječivanja duž kanalske mreže. Sva okolna naselja kao i industrija i privreda koja su također bili područje obuhvata studije izvedivosti u sustav Labinske odvodnje dodana su kao točkasta opterećenja na krajevima sustava odnosno gdje se i u stvarnosti nalaze. [2] Prema Studiji izvedivosti sustava odvodnje otpadne vode aglomeracije Labin-Raša [2] model postojećeg stanja mješovite odvodnje grada Labina definiran je sljedećim elementima:

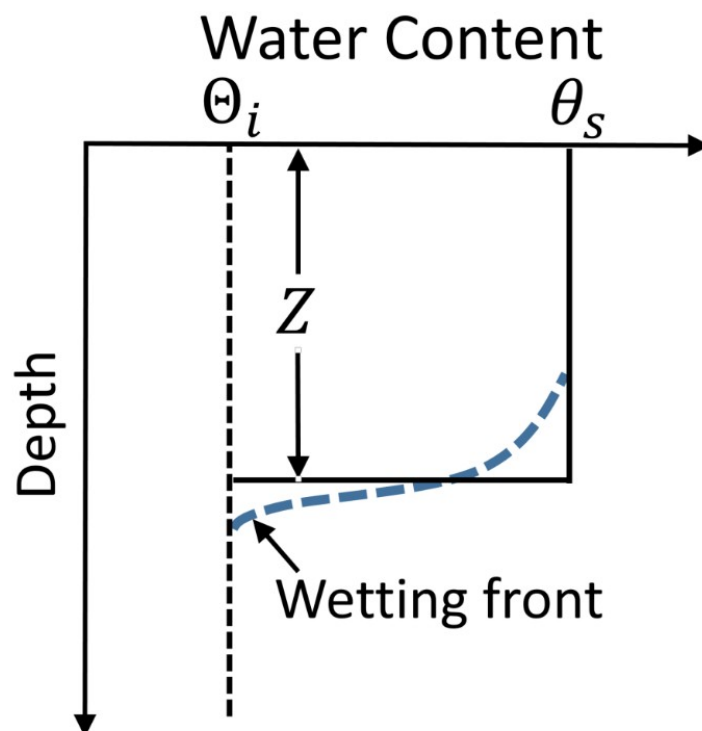
- 446 čvorova
- 449 cjevovoda
- 1 crpna stanica
- 2 preljeva
- 3 ispusta
- 5 sabirnih bazena
- 57 slivnih površina
- 1 kišomjerna stanica



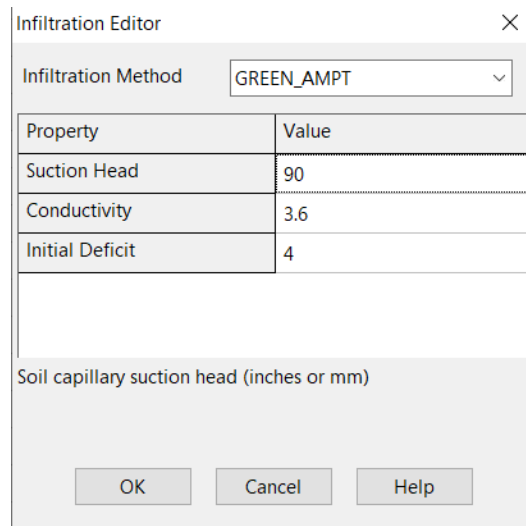
Slika 1. Prikaz sučelja SWMM 5.1 programa i modela postojećeg stanja

Oborinska odvodnja razdjelnog sustava prve varijante rješenja dimenzionirat će se u skladu sa meteorološkim podacima najbliže postaje područja Pazin, pomoću ITP krivulja za određivanje intenziteta oborina. U SWMM modelu kao definirano oborinsko opterećenje korištena je mjerodavna oborina povratnog perioda od 5 godina. Provedene su i analize za oborine povratnih perioda od 10 i 20 godina. Prema studiji izvedivosti [2], uz korištenje kartografskih prikaza i ortofoto snimki za potrebe izrade veličine slivnih područja koja su određena opsegom kanalske mreže grada Labina definirane su i vrijednosti pojedinih parametara koji opisuju karakteristike slivova .

Jedan od najznačajnijih parametara za potrebu razrade problematike oborinske odvodnje uz dimenzije sustava, profile cjevovoda, nagibe i veličine podslivova, te količine oborine jesu zapravo i karakteristike infiltracije tla (Slika 3.) grada Labina. U SWMM modelu, kako je riječ o oborinskoj odvodnji, koristi se Green-Ampt-ova metoda infiltracije (Slika 2.) koja se temelji na pretpostavci da se tijekom infiltracije formira vlažan zasićen front koji se kreće prema dolje kroz nezasićeno tlo kako se tlo iznad zasićuje vodom. [3]



Slika 2. Green-Ampt-ova metoda infiltracije [3]



Slika 3. Parametri Green-Ampt-ove metode infiltracije za model u SWMM 5.1 za grad Labin

2.2 Low Impact Development i zelena infrastruktura

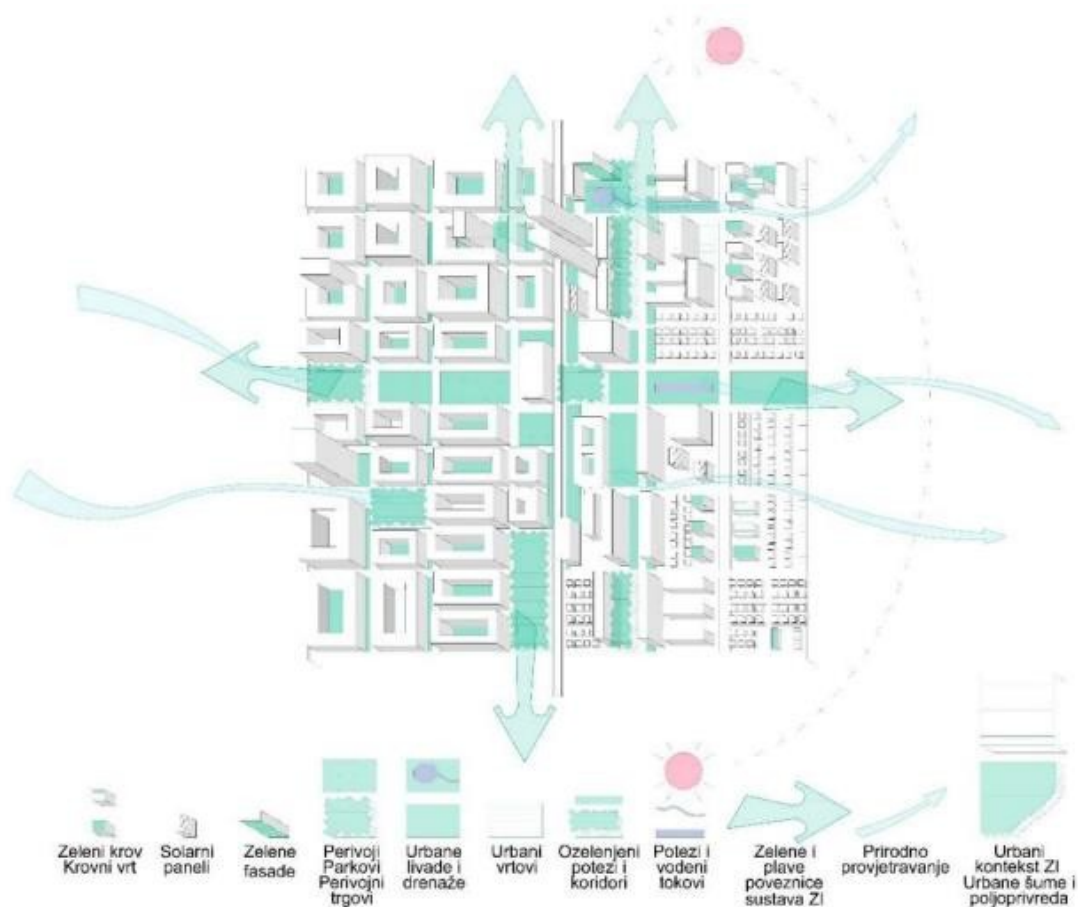
Sustavi odvodnje niskog utjecaja (*Low Impact Development*- LID) implementacije su koje su se u 21. stoljeću počele uzimati u obzir iz strateških razloga što je njen cilj omogućiti održivi sustav za zbrinjavanje oborinskih voda, kroz zahvaćanje i retenciranje te pročišćavanje pa sve do elemenata kroz koje se oborina infiltrira u tlo. Održivi sustavi svojim svojstvima i elementima uklapaju razne vegetacije koje omogućuju revitaliziranje hidroloških uvjeta na stanje kakvo je bilo prije urbanizacije područja te time ostvaruju i ugodnije uvjete života stanovništva područja. Korištenjem prirodnih materijala i vegetacijom kroz elemente zelene infrastrukture utječe se na poboljšanje učinkovitosti zaštite površinskih i podzemnih voda, zaštite od poplave te na očuvanje integriteta ekosustava odabranog područja.

Tradicionalni mješoviti pristup odvodnji oborinskih voda temelji se na što bržoj odvodnji oborinskih dotoka prema UPOV-u odnosno prema recipijentu. Jedan od značajnijih problema su pluvijalne poplave koje se događaju zbog nedovoljnog kapaciteta sustava i negativno utječu na održivost sustava odvodnje pa tako i ostalih građevina, a samim time i na život ljudi. Povećanje problema kod tradicionalnih odvodnja i težnja prema adekvatnim standardima života uz prisustvo prirode i smanjenje klimatskih promjena u urbanim naseljima temelj su za implementiranje zelene infrastrukture. Glavno načelo zelene infrastrukture je usklađivanje skupa strateških elemenata i objekata da prilikom pluvijalnih poplava oponaša prirodu kroz procese zadržavanja i infiltracije oborina te se naglašava održivost korištenjem oborinske vode kao prirodni resurs. [4]

Matematički model tradicionalnog mješovitog sustava odvodnje grada Labina u ovom radu kroz drugu varijantu rješenja transformiran je u sustav „zelene“ oborinske odvodnje koji je u SWMM programu poznat pod nazivom Nisko utjecajna odvodnja (*Low Impact Development*-LID).

Prilikom dimenzioniranja i usklađivanja postojećeg (sivog) sustava sa zelenom infrastrukturom (Slika 4.) u SWMM programu koristili su se LID elementi kojima je uz zbrinjavanje vode cilj povezivanje nepovezanih objekata zelene infrastrukture u povezanu cijelu skupa sa postojećom sivom infrastrukturom i okolnim vodnim područjima. [5] LID elementi korišteni prilikom izrade modela su:

- Bioretencije
- Bačve za kišnicu/cisterne
- Zeleni krovovi
- Infiltracijski jarci
- Porozni asfaltni zastori



Slika 4. Usklađivanje zelene infrastrukture sa sivom i plavom infrastrukturom u naselju [5]

Na svakom podslivu unutar novog „zelenog“ modela, pojedinačno se definiraju LID elementi te se postavljaju unutar podslivova određivanjem njihovih karakteristika: Vizualnim istraživanjem DOF karti područja grada Labina utvrđuju se područja njihove implementacije unutar podslivova. Rezultati se generiraju provedbom simulacije modela za zadane oborine, te se analiziraju i uspoređuju sa prvom varijantom razdjelnog sustava.

2.3 Kriterij odabira rješenja

Odabir rješenja (Slika 5.) sustava oborinske odvodnje grada Labina tijekom usporedbe varijanti provest će se kroz četiri kategorije kriterija [6] poredane po važnosti:

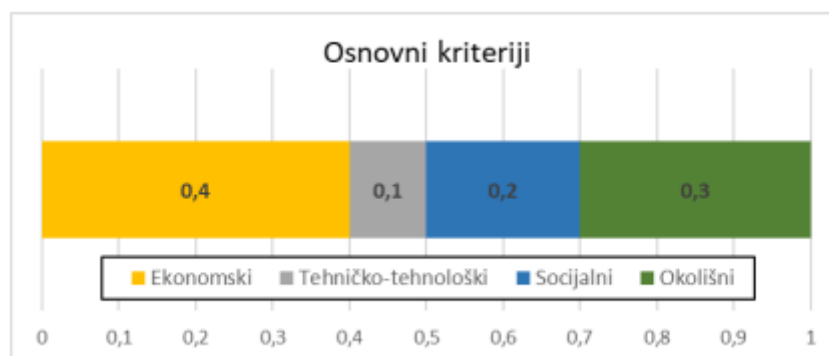
- Ekonomski kriterij (Procjena troškova i održavanja)
- Tehničko-tehnološki kriterij (Jednostavnost izgradnje i upravljanja)
- Socijalni kriterij
- Ekološki kriterij (Zaštita površinskih i podzemnih voda)

Ekonomskom valorizacijom procijenjeni su troškovi investicije, upravljanja i održavanja.[6] Kod opisa varijanti dani su troškovnici pomoću kojih uspoređujemo varijante. Udio ekonomskog kriterija u konačnoj odluci iznosi 40%.

Tehničko-tehnološki kriterijima vrednuje se jednostavnost izgradnje oborinskog sustava odvodnje odnosno usporedba razdjelnog sustava sa podzemnim spremnikom i novim cjevovodima sa zelenom infrastrukturom povezanom na postojeći mješoviti sustav. Udio tehničko-tehnološkog kriterija iznosi 10%. [6]

Socijalni kriterij sadržava zaštitu ljudi od štetnog djelovanja otpadnih voda, te poboljšanje kvalitete života ljudi i turista tijekom sezonskih razdoblja. Radi poboljšanja postojećeg sustava rješenjima smanjuje se dosadašnji negativan utjecaj otpadnih voda na suživot ljudi i ekosustava. Udio socijalnog kriterija u donošenju odluke iznosi 20% zbog težnje za adekvatnim uvjetima života i gospodarskom napretku. [6]

Ekološki kriterij fokusira se na zaštitu vodonosnika i ekosustava s ciljem hidrološke regeneracije područja na stanje kakvo je bilo prije urbanizacije. Apsorpcija otpadnih voda uslijed oborinskih dotoka u podzemno tlo uvelike narušava kvalitetu pitke vode te sustav čini osjetljivim. Smanjenjem odnosno zadržavanjem i zbrinjavanjem oborinske vode pozitivno se utječe na revitalizaciju područja. Udio okolišnog kriterija iznosi 30%.[6]



Slika 5. Prikaz podjele važnosti kriterija [6]

3 PREGLED PODLOGA I ODABIR PILOT PODRUČJA

3.1 Općenito o Labinštini

Istarska županija nalazi se na najzapadnijem dijelu Republike Hrvatske (Slika 6.), veličine površine od 2.813 km². Istra je sa tri strane okružena morem i jedna je od najznačajnijih turističkih destinacija u Hrvatskoj. Lokacija obuhvata diplomskog rada je Grad Labin koji se nalazi u unutrašnjosti uz istočnu obalu Istre. [6]



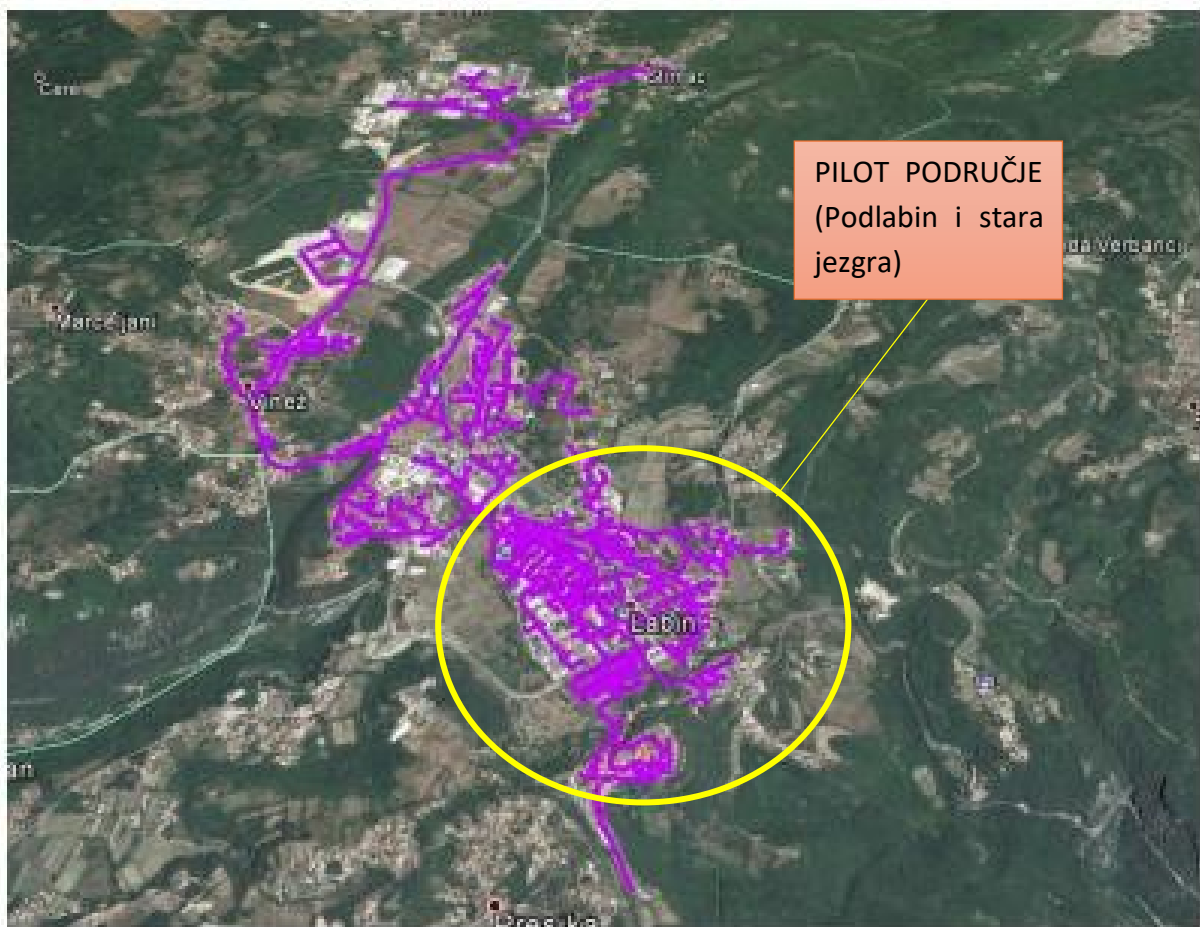
Slika 6. Prikaz položaja Istarske županije i Grada Labina [7]

Smještaj grada Labina je na dominantnoj uzvisini uz istočnu obalu na 320 m nadmorske visine (45°6'N; 14°7'E), udaljen oko 2 km od morske obale. Sastoji se od stare jezgre koja je izdignuta na uzvisini ispod koje se nalazi Podlabin, noviji dio grada nastalog razvojem industrije i turizma. Grad Labin sadržava sedamnaest naselja: Bartići, Breg, Duga Luka, Gondolići, Gora Glušići, Kapelica, Kranjci, Labin, Marceljani, Presika, Rabac, Ripenda Kosi, Ripenda Kras, Ripenda

Verbanci, Rogočana, Salakovci i Vinež. [6] Predmet analize modela diplomskog rada bit će Podlabin i stara jezgra zbog neposredne povezanosti.

Važno je napomenuti da Grad Labin spada u područje zvano “Crvena Istra” te graniči sa “Sivom Istrom” koje karakteriziraju vapnenačke stijene sa tipičnim pokrovom ravnjaka za to područje, crvenicom. Također prisutne su i naslage fliša u području Crvene Istre. Za razliku od “Bijele i Sive Istre” ovo područje karakterizira prisustvo krša gdje se voda spušta u podzemlje i otječe pukotinama prema moru i recipijentu za to područje dolini rijeke Raše, nizvodno od Labina. [6] Za potrebe modeliranja među važnijim karakteristikama su hidrografska obilježja područja. Prosječna godišnja količina padalina za područje Istre je 1.110 mm, sa prosječnim koeficijentom infiltracije oborinskih voda od 0.6 za krško područje, te prosječnim koeficijentom otjecanja od 0.4 za flišno područje. Klima u Labinštini je pretežito mediteranska sa prosječnom ljetnom od oko 24°C te zimskom temperaturom od 6°C.[6]

Postojeće stanje mješovitog sustava odvodnje na području grada Labina očituje se sa Slike 7. te se može vidjeti odabrano pilot područje za modeliranje oborinske odvodnje. Za potrebe rada dakle korištene su DOF karte područja, meteorološki podaci (ITP krivulje), popis stanovništva, geodetski podaci u vidu dubine elemenata postojeće mreže te podaci o otpadnim vodama.



Slika 7. Prikaz PILOT područja za modeliranje [6]

3.2 Analiza pilot područja

Kroz pilot područje odnosno Podlabin i staru jezgru proteže se kanalska mreža duljine oko 9.2 km, većinom izgrađena od betonskih i azbest cementnih cijevi te noviji dijelovi koji su građeni od PVC cijevi, obuhvaća okolna prigradska naselja kao točkasta opterećenja na krajevima mreže u SWMM modelu te je u pogonskom smislu sustav odvodnje izveden kao gravitacijski sustav.

Prema podacima iz Popisa stanovništva 2021.godine [8] u tablici 1. dan je prikaz broja stanovnika područja obuhvaćen postojećim mješovitim sustavom sa prognoziranim povećanjem stanovnika prema trendu dosadašnjih popisa.

Tablica 1. Prikaz podataka iz popisa stanovništva [8]

| Naselje | Broj stanovnika (2021.) | Broj stanovnika (2024.) | Broj stanovnika (2054.) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Labin | 5,911 | 5,947 | 6,625 |
| Vinež | 1.190 | 1.192 | 1.230 |
| Viškovići | 130 | 130 | 134 |
| Štrmac | 397 | 398 | 410 |

Postojeći mješoviti sustav odvodnje grada Labina sadrži elemente i objekte uključene u analizu koji su sažeto prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Prikaz infrastrukturnih elemenata na postojećem modelu

| Broj crpnih stanica | Broj preljeva | Broj ispusta | Ukupna duljina kanalske mreže [m] | Min DN [mm] | Max DN [mm] |
|---------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 9.153 | 150 | 1200/850 |

Osim samih cjevovoda, ispusta i crpne stanice kroz SWMM model postojećeg stanja definirane su i slivne površine grada Labina koje variraju od 1,26 ha pa do svega 0,10 ha veličine sa prosječnim nagibom od 0,5%. Prilikom modeliranja na matematičkom modelu u SWMM-u [2] prilikom definiranja slivnih površina uračunata je i infiltracija metodom Green-Ampt te su njene vrijednosti unesene u model.

Tablica 3. Prikaz karakteristika slivnih područja

| Broj slivnih površina na modelu | Ukupna površina slivnih područja | Max. površina slivne površine | Min. površina slivne površine | Srednja učvršćenost slivnih površina |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| | [ha] | [ha] | [ha] | [%] |
| 46 | 28,46 | 1,26 | 0,10 | 15,28 |

Kod mješovitih sustava odvodnje najvažniji parametri za optimizaciji su:

- broj i vrsta korisnika sustava odvodnje,
- specifični dotok otpadnih voda po korisniku sustava,
- godišnja, dnevna i satna neravnomjernost dotoka otpadnih voda,
- mjerodavni intenzitet oborine (u spektru vremena koncentracije i perioda ponavljanja oborine)

Prilikom određivanja mjerodavnih opterećenja na postojeći sustav otpadna voda je razdijeljena na četiri osnovne grupe poredane po važnosti za ovaj rad:

- Oborinske vode
- Sanitarne otpadne vode
- Industrijske i privredne otpadne vode

Kod proračunavanja količina oborinskih dotoka za pilot područje definiran je mjerodavni intenzitet kao i količina oborine za matematički model u SWMM-u, metodom ITP krivulja. Naime, zbog nedostatnih povijesnih meteoroloških podataka za ovo područje, kao mjerodavno prilikom analize oborinskih dotoka korišteni su ITP odnosi za područje unutarne Istre (Tablica 4.), odnosno s meteorološke postaje Pazin koja je s obzirom na blizinu pilot područja ocijenjena kao najmjerodavnija. Na temelju ispitivanja [2] definirane su vrijednosti vremena koncentracije prema kojima je iz pripadnih ITP odnosa proračunat intenzitet oborina za dimenzioniranje oborinske odvodnje. Za središnji dio sustava odvodnje grada Labina za vrijeme koncentracije uzeta je mjerodavna vrijednost od $t=15\text{min}$.

Tablica 4. ITP krivulje ocijenjene kao mjerodavne (meteorološka postaja Pazin) [2]

| | Krivulja | r |
|--------|---|--------|
| 3 god | $i' = -0.49304 \ln t + 2.63527$ | 0.9996 |
| 5 god | $i' = -0.56849 \ln t + 3.03356$ | 0.9995 |
| 10 god | $i' = 0.000332t^2 - 0.04576t + 2.37578$ | 0.9990 |
| 20 god | $i' = 0.000345t^2 - 0.04976t + 2.67303$ | 0.9996 |

Tablica 5. Izračunate vrijednosti intenziteta odabranih mjerodavnih oborina [2]

| Intenzitet oborine [mm/min] | | |
|--------------------------------|---------------------------|-------|
| Povratni period [god] | Trajanje oborine [min] | |
| | 15 | 45 |
| 3 | 1,300 | 0,758 |
| 5 | 1,494 | 0,870 |
| 10 | 1,764 | 0,989 |
| 20 | 2,004 | 1,132 |

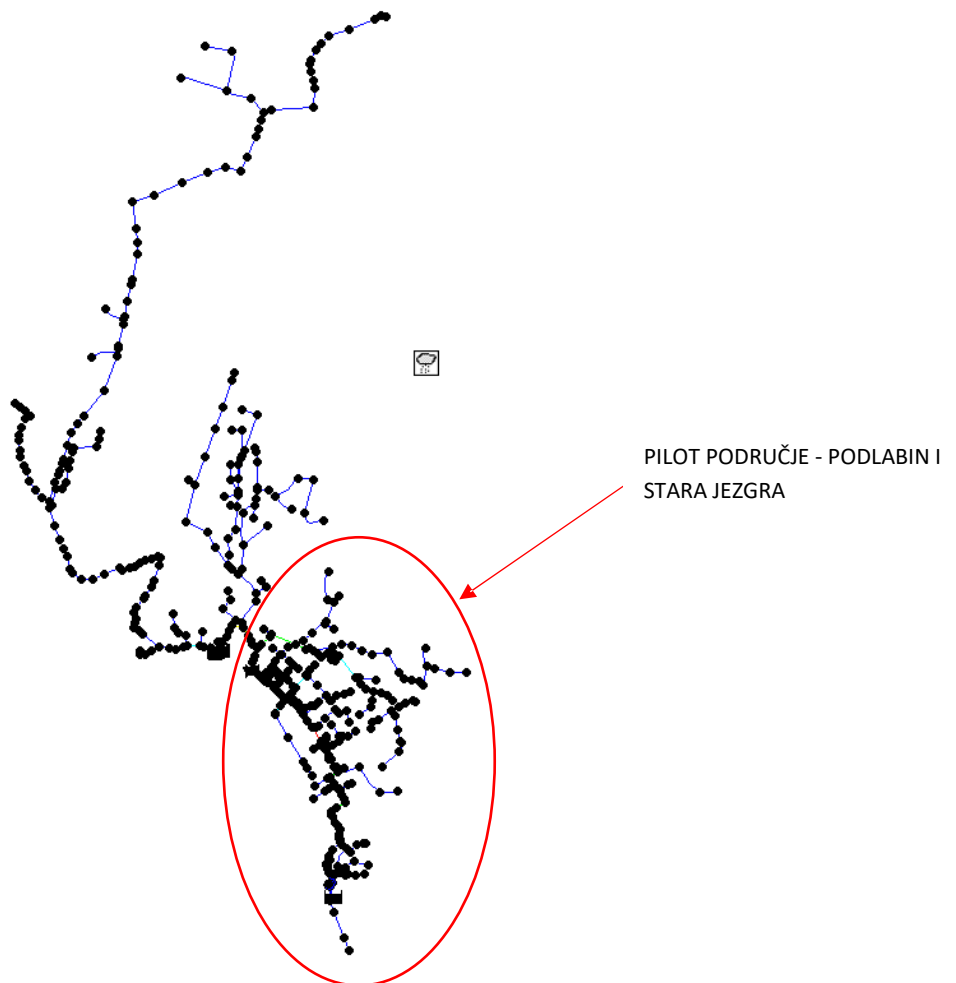
Iz Tablice 5. vide se proračunati mjerodavni intenziteti za oborine povratnog perioda 5, 10 i 20 godina pomoću metode ITP krivulja. S obzirom da je za potrebe pilot područja mjerodavno vrijeme koncentracije iznosi 15 min, te je mjerodavna oborina uzeta petogodišnjeg povratnog perioda čiji se raspon intenziteta može kretati u pretpostavljenim vrijednostima od 0,870-1,494 mm/min , tj. 145-250 l/s/ha.

Razvojem grada Labina u industrijskom pogledu uslijedilo je i povećanjem broja stanovnika područja. Povećanje priključaka na sustav u povijesti rezultiralo je brojnim ilegalnim priključcima, te procjeđivanjima podzemnih voda u kanalsku mrežu. Količine tuđih voda koje će se u modelu prikazati su sa konstantnim režimom odnosno konstantnim količinama rasprostranjeni ravnomjerno duž sustava. Kada se govori o otpadnim vodama stanovništva i industrije, njihova potrošnja nije ravnomjerna već varira kroz dan, te su prema tome određene vrijednosti dnevnih i satnih koeficijenata neravnomjernosti.

Tablica 6. Srednji dnevni dotoci po kategorijama i koeficijenti dnevne i satne neravnomjernosti [2]

| Kategorija otpadne vode | Srednji dnevni dotok $Q_{sr,dn}$ | K_d | K_h |
|-------------------------|-------------------------------------|-------|-------|
| | [l/s] | [-] | [-] |
| Tuđe vode | 2,55 | 1 | 1 |
| Stanovništvo | 9,20 | 1,4 | 1,82 |
| Industrija | 2,04 | 1,4 | 1,50 |

Dnevne i satne neravnomjernosti uzete su prema vrijednostima iz tablice 6. [2] te su unesene u SWMM model kod pripadnih kategorija otpadne vode kako bi se provela analiza nedostataka kanalizacijskog sustava postojećeg mješovitog stanja. Slika 8. prikazuje geometriju kanalske mreže u SWMM modelu na kojem će se provoditi analiza postojećeg sustava te će se na temelju istoga modelirati i analizirati dvije varijante rješenja (razdjelni sustav sa podzemnim spremnikom i zelena infrastruktura)



Slika 8. Prikaz SWMM modela postojećeg mješovitog sustava odvodnje Grada Labina

3.3 Uočeni problemi u odvodnom sustavu

Uz provedenu SWMM analizu u nastavku, u sklopu studije izvedivosti [9] priložene su slike stanja područja, vidljive u nastavku u ovom poglavlju, tijekom mjerodavnih oborina gdje se s ciljem sprječavanja isplivavanja oborinski dotok skupa sa sanitarnim nekontrolirano ispušta u recipijent putem sigurnosnih kišnih ispusta što je iz ekološkog i socijalnog aspekta neprihvatljivo.



Slika 9. Stanje potoka Krapanj nizvodno od sigurnosnog kišnog preljeva pri pojavi oborine PP 5 g. [9]

Iz slike 9. uočljivo je zagađenje nizvodno od kišnog ispusta uslijed pojavljivanja oborina velikih povratnih perioda za koje sami sistem trenutnih cjevovoda nije projektiran te se događaju znatna nekontrolirana ispuštanja oborinske vode kao i sanitarnih voda. Osim samog ispuštanja kod kišnog ispusta, uslijed velike količine oborinske vode u kratkom vremenu dolazi do isplivavanja prikazana na slikama 10. i 11. To je područje u najnižvodnijem dijelu Podlabina analizirano u SWMM-u u sljedećem poglavlju gdje je u modelu prikazano kao čvor 429.



Slika 10. Nekontrolirano ispuštanje pri pojavi oborine PP 5 g. [9]

Iz navedenih slika vide se direktne posljedice starosti i nedostatnosti trenutnog sustava, koje u slučajevima jačih oborina dolaze do izražaja.



Slika 11. Isplivavanje u centru Labina pri pojavi oborine PP 5 g. [9]

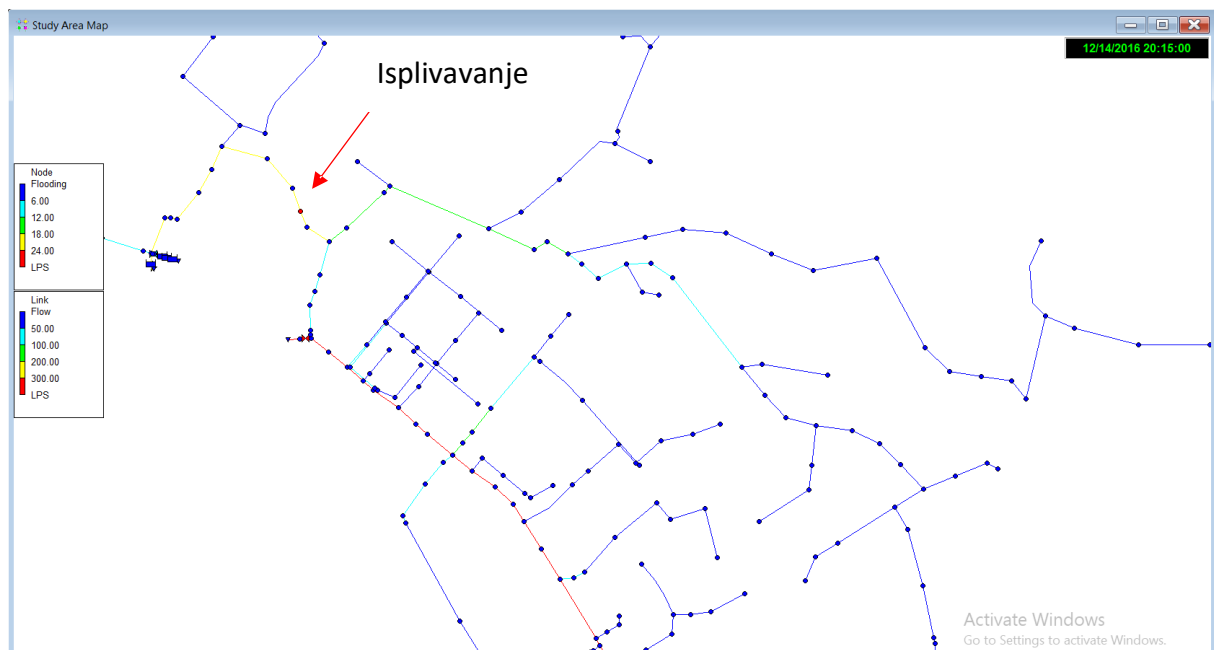


Slika 12. Posljedice ispuštanja otpadne vode radi obrane od plavljenja pri pojavi oborine PP 5 g. [9]

Uz direktne posljedice tijekom jačih oborina, CCTV snimaka [9] utvrđena je potreba rekonstrukcije postojećeg mješovitog sustava odvodnje otpadnih voda. Kod starih betonskih i azbest cementnih cijevi CCTV kontrolom sustava otkrivene su mjestimične pojave ispucanosti i kontra padova nivelete cjevovoda, što uzrokuje infiltraciju tuđih voda u cjevovod i ispuštanje otpadnih voda prilikom koje se događa zagađivanje prirodnih podzemnih tokova vode. Prema Studiji izvedivosti [9] pilot područje se nalazi uzvodno od vodocrpilišnog područja Raške doline, što povećava utjecaj za potrebnom rekonstrukcijom sustava ne samo sa građevinskog stajališta već i sa ekološkog stajališta uz istovremeni cilj revitalizacije ekosustava i osiguravanja adekvatnog života stanovništva Labinštine.

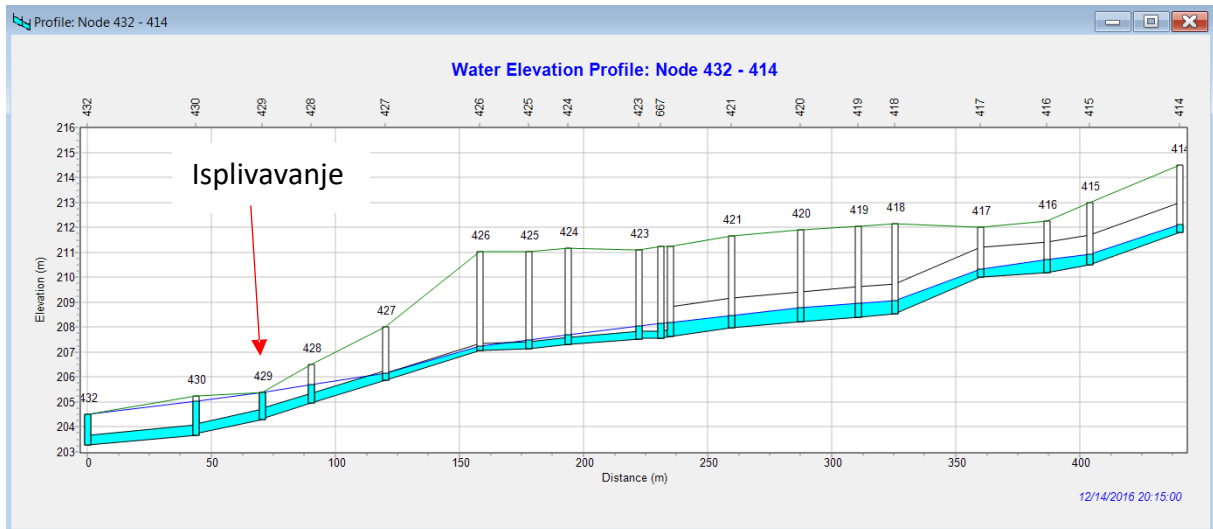
3.4 Analiza nedostataka postojećeg sustava iz modela

Provedena je SWMM analiza na postojećem mješovitom sustavu Labina u koju su uvršteni svi podaci o mreži dani u poglavljima ranije. Dakle, od geometrije samog sustava cjevovoda, dimenzija podslivova, infiltracijske sposobnosti tla, karakterističnih vrijednosti otpadnih voda te za ovaj rad najbitniju vrijednost, intenzitet mjerodavne oborine PP 5 godina. Iz SWMM modela (Slika 13.) uočljivo je isplivavanje na nekoliko lokacija u gradu, te pojava prevelikih brzina tečenja u glavnom kolektoru u Rudarskoj ulici pri oborini PP 5 godina, a isto i kod mjerodavnih oborina PP 10 i PP 20.



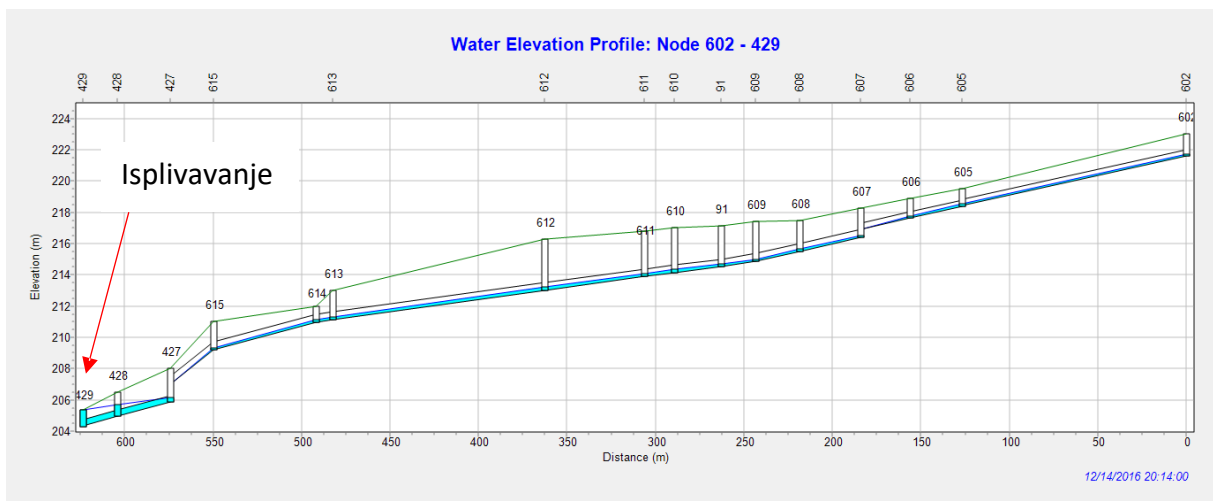
Slika 13. Shematski prikaz dijela sustava s označenim brzinam i isplivavanjem za oborinu PP 5 g.

Na sljedećoj slici 14. prikazan je uzdužni profil cjevovoda prema UPOV-u kroz Rudarsku ulicu gdje je smješten glavni jajoliki betonski kolektor dimenzija 1200/850 . Osim isplivavanja u čvoru 429 vidljivo je i tlačno tečenje unutar podkapacitiranih cijevi mreže što nepovoljno utječe na održivost i dugotrajnost te analogno k tome nisu osigurani dostatni hidraulički uvjeti tečenja odvodnog sustava. Ovakvo stanje uzrokovano je povećanjem priključaka i stanovništva na području uz starenje odvodnog sustava kroz dugi niz godina prilikom pojave mjerodavnih oborinskih intenziteta, neprihvatljivo je iz aspekta sanacije otpadnih voda za urbano područje.



Slika 14. Uzdužni prikaz dijela sustava za oborinu PP 5 g.

Slika 15. prikazuje uzdužni profil cjevovoda kroz ulicu Zelenice koja se nalazi i prolazi kroz sjeverni dio Podlabina te kao takva služi kao jedan od glavnih kolektora uz jajoliki kolektor u Rudarskoj ulici na jugu Podlabina, u koji se spajaju manji cjevovodi pojedinih kuća, ulica i industrija. Cjevovod kroz ulicu Zelenice kao što je prikazano opterećen je znatno manje nego glavni kolektor u Rudarskoj ulici te se ne pojavljuju tlačna tečenja prilikom mjerodavne oborine.



Slika 15. Uzdužni prikaz dijela sustava za oborinu PP 5 g.

4 DEFINIRANJE I TEHNIČKA ANALIZA VARIJANTNIH RJEŠENJA

4.1 Definiranje i opis varijantnih rješenja

Cilj sagledavanja varijantnih rješenja je predočenje mogućih koristi/nedostataka pojedine varijante. U ovom poglavlju definirat će se i opisati oba rješenja: Rekonstrukcija sustava s podzemnim spremnikom i Rekonstrukcija sustava odvodnje s mjerama zelene infrastrukture. U tablici 7. dan je sažeti prikaz definiranih varijanti rješenja sa njihovim sastavnim elementima/objektima.

Tablica 7. Definirana varijantna rješenja

| Oznaka | Naziv | Sadržaj | Lokacija | Veličina (m' / m ² / m ³) | |
|-------------|---|-------------------------------|--|--|--------|
| Varijanta A | Razdjelni sustav s podzemnim spremnikom | Oborinski cjevovod | Podlabin/Stari Labin | DN150 | 189,4 |
| | | | | DN200 | 2327,8 |
| | | | | DN250 | 452,9 |
| | | | | DN300 | 2590,8 |
| | | | | DN350 | 640,0 |
| | | | | DN400 | 1271,7 |
| | | | | DN500 | 1198,6 |
| | | | | DN600 | 239,4 |
| | | | | DN700 | 180,5 |
| | | DN800 | 24,8 | | |
| | | Glavni podzemni spremnik | Najnižvodnija točka prije trenutne lokacije UPOV-a | 1831,5 m ³ | |
| | | Sigurnosni podzemni spremnik | Najnižvodnija točka u Rudarskoj ulici | 1000 m ³ | |
| Varijanta B | Sustav odvodnje s mjerama zelene infrastrukture | Zeleni krovovi | Podlabin/Stari Labin | 5053,5 m ² | |
| | | Bačve za kišnicu | Podlabin/Stari Labin | 307 (komada) | |
| | | Bioretencije | Podlabin | 2986.9 m ² | |
| | | Polupropusni asfaltni zastori | Podlabin/Stari Labin | 10 937,5 m ² | |

| | | | | |
|--|--|----------------------|----------|-----------------------|
| | | Infiltracijski jarci | Podlabin | 7334.3 m ² |
|--|--|----------------------|----------|-----------------------|

U nastavku poglavlja dani su opisi varijantnih rješenja.

Rekonstrukcija s podzemnim spremnikom

Sagledavanjem svih čimbenika i elemenata na SWMM modelu postojećeg mješovitog sustava odvodnje otpadnih voda, proizlazi zaključak za rekonstrukcijom sustava. Rekonstrukcija sustava razdvajanjem oborinske vode u nove cijevi od sanitarnih otpadnih voda iz postojećih te izgradnja podzemnog spremnika za prihvata i korištenje oborinske vode kao resursa bit će opisana u ovom poglavlju i u usporedbi bit će prikazana kao varijanta A. Potreba za razdjelnim sustavom očituje se iz znatne razlike između suhog dotoka i oborinskog dotoka iz SWMM modela postojećeg stanja, na temelju čega je za svrhe ovog rada odlučeno implementirati razdjelni sustav paralelno uz postojeći za potrebe odvodnje oborinskih dotoka sa podzemnom retencijom na najnižvodnijoj točki sustava (Slika 16.) dok postojeći sustav preuzima ulogu sanitarne odvodnje. Rezultati iz SWMM iznose se u grafičkom i tabličnom obliku u sljedećem poglavlju.

Za svrhe oborinske odvodnje model sadrži cjevovode dimenzija prikazane u tablici 8. ukupne duljine 9115,9 metara. Grafički prikaz dimenzija cjevovoda dan je na Slici 16.

Tablica 8. Dimenzije, količine cijevi i duljine iz SWMM modela varijante A

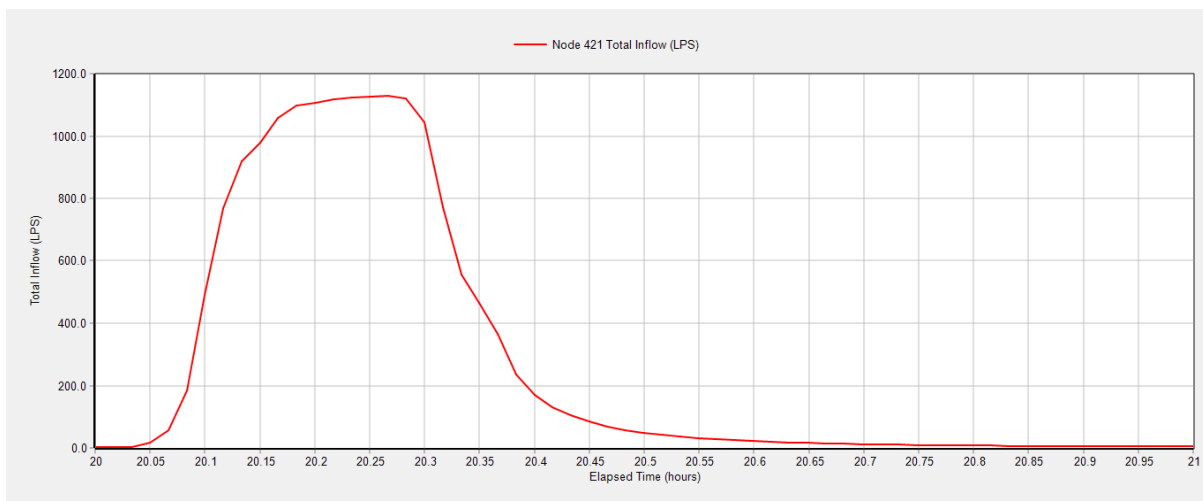
| Promjer | DN800 | DN700 | DN600 | DN500 | DN400 | DN350 | DN300 | DN250 | DN200 | DN150 |
|-----------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Količina cijevi | 1 | 7 | 9 | 15 | 31 | 11 | 82 | 12 | 58 | 3 |
| Duljina (m) | 24.803 | 180.5045 | 239.4298 | 1198.602 | 1271.685 | 640.0109 | 2590.812 | 452.8719 | 2327.767 | 189.4283 |



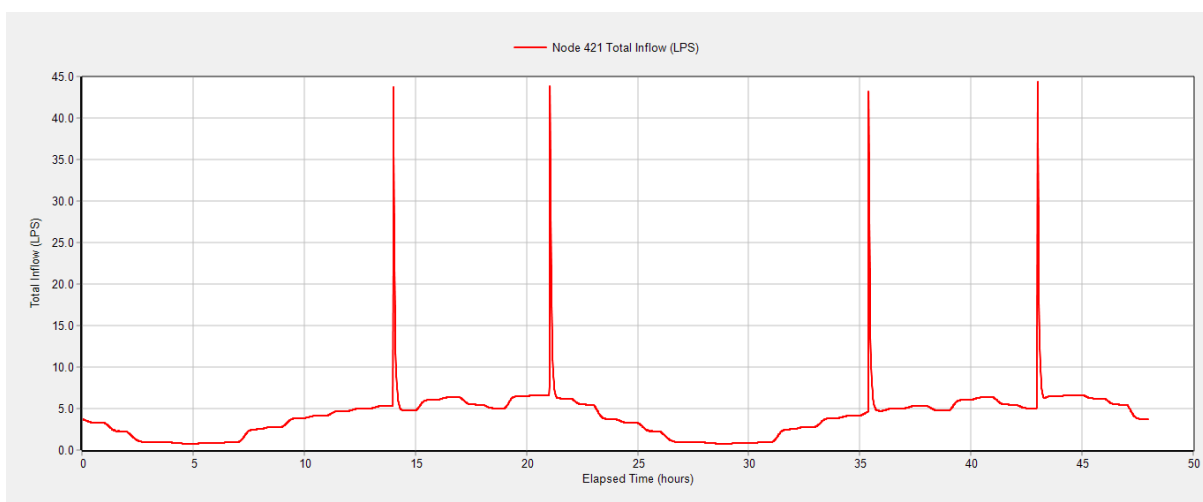
Slika 16. SWMM model varijante A sa podzemnom retencijom

Rekonstrukcija već postojećeg sustava nikad nije lagan zadatak jer pri izvedbi i planiranju treba paziti i obratiti pažnju da se trenutni sustav ne našteti. Prilikom projektiranja potrebno je oborinsku odvodnju smjestiti iznad odvodnje sanitarnih voda iz razloga da se izbjegne infiltracija otpadnih voda u razdjelni sustav čime se ugrožava učinkovitost i održivost sustava.

Dimenzioniranje oborinskog cjevovoda provodi se sagledavanjem utjecaja i količina oborinskih dotoka iz postojećeg stanja u najnižvodnijoj točki za Pilot područje odnosno Podlabin i staru jezgru. Na slikama 17. i 18. predočeni su vršni protoci te količine suhog dotoka i oborinskog dotoka za postojeći mješoviti sustav, kao referentni čvor uzet je čvor 421 na dnu Rudarske ulice.



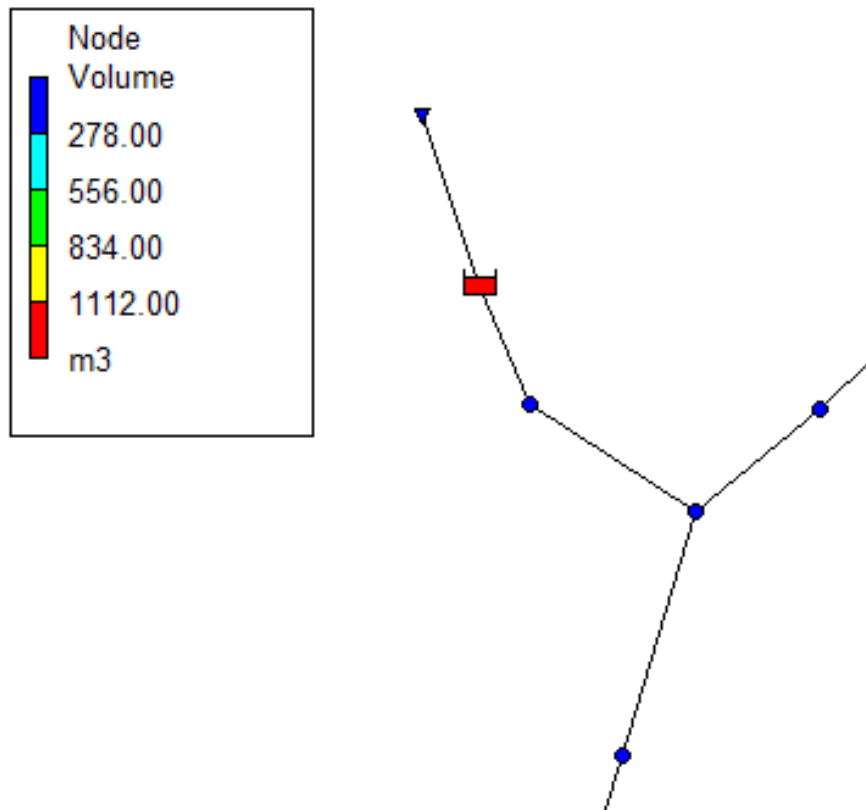
Slika 17. Ukupni dotok oborina i sanitarnih voda u čvor 421



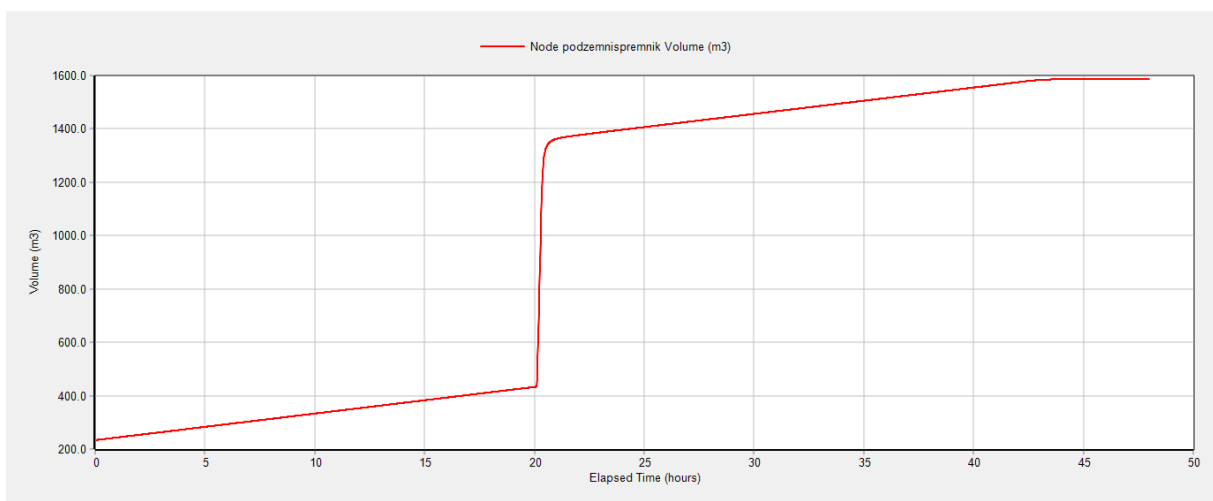
Slika 18. Ukupni suhi dotok sanitarnih voda u čvor 421

Iz navedenih grafičkih prikaza može se zaključiti kako je količina oborinskog dotoka znatno veća od suhog sanitarnog dotoka, te da je vrijednost količine dotoka oborina jednaka razlici dotoka sa Slike 17. i Slike 18. iznosom od oko 1120 l/s.

Osim značajne implementacije novog cjevovoda oborinske odvodnje planira se i izvedba podzemnog spremnika na najnižvodnijoj točki sustava (Slika 19.) koji je dimenzioniran da prihvati oko 1.586 kubika oborinske vode koja se može iskorištavati za raznorazne potrebe (Slika 20.). Dotoci prije i poslije oborine sa Slike 19. ukazuju na prisutnost tuđih voda koje služe kao svojevrsni faktor sigurnosti radi njenog pretpostavljenog većeg iznosa od vjerojatnog s obzirom da se radi o novom sustavu cjevovoda. Prema količinama iz analiza podzemni spremnik dimenzioniran je tlocrtne površine od 450 m² dubine 4 metra. Volumen potpuno ispunjenog podzemnog spremnika iznosi 1831,5 m³, a ispust u recipijent iz podzemnog spremnika izdignut je 3.5 metara iznad dna spremnika kako bi se u nepovoljnim situacijama višak vode ispuštao u prijamni potok Krapanj.



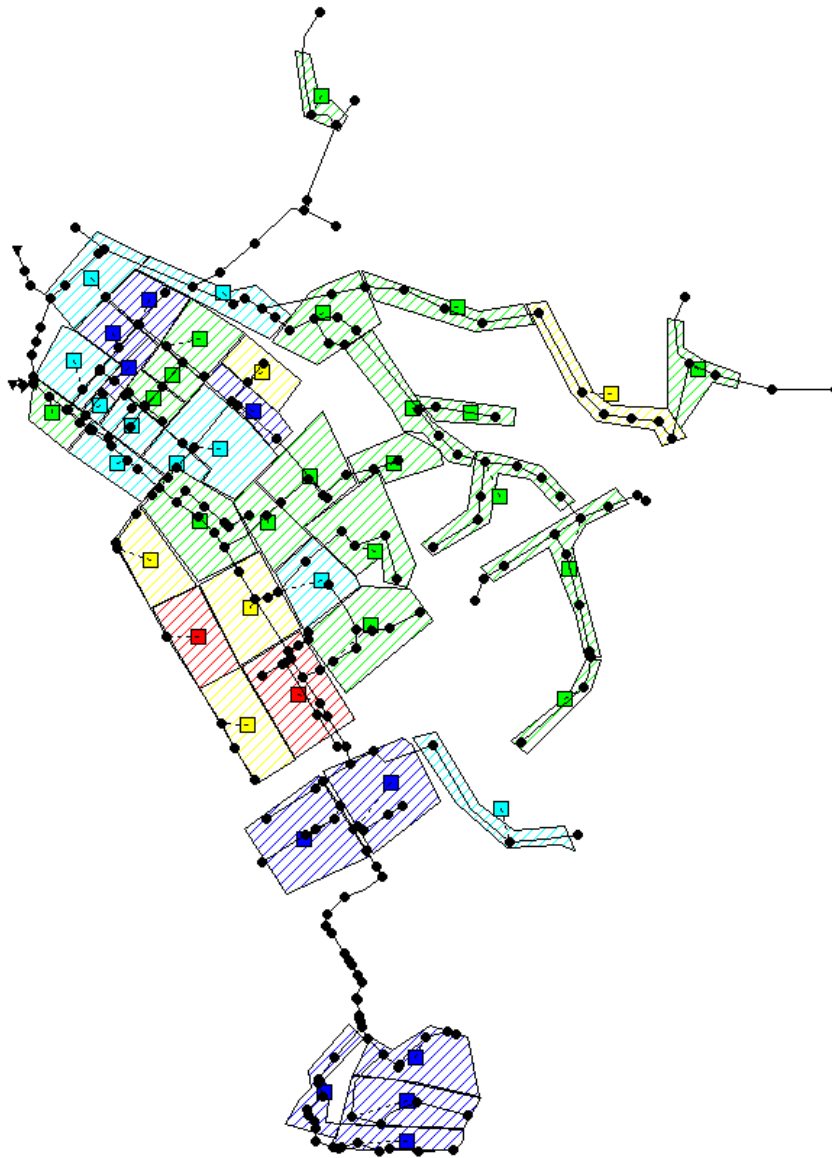
Slika 19. Prikaz podzemnog spremnika u SWMM modelu



Slika 20. Ukupni volumen dotoka u podzemni spremnik

Rekonstrukcija s mjerama zelene infrastrukture

Kako bi se razmotrilo više mogućnosti za dani problem, definira se implementacija Varijante B primjenom metoda zelene infrastrukture u SWMM modelu (Slika 21.). U ovoj varijanti definirat će se LID elementi u SWMM modelu koji će predstavljati implementirane objekte zelene infrastrukture u svakom pojedinom podslivu. Uz LID elemente, postojeći sustav za Podlabin i staru jezgru biti će integriran u odvodnju preostalih oborinskih voda mjerodavnih oborina. Takav sustav može se zvati i integralni sustav odvodnje zbog integriranja svih odvojenih elemenata u jednu cjelinu s ciljem upravljanja količina mjerodavnih oborina uz obranu od isplivavanja i poplave, uz poboljšanje standarda života revitalizacijom ekosustava na pilot području.



Slika 21. Shematski prikaz Varijante B u SWMM model

Implementacija zelene infrastrukture u već postojeći sustav kompleksan je zadatak te i nešto skuplji od regularnih tradicionalnih rješenja. Naime, kako bi se postojeći model prenamijenio u model zelene infrastrukture prvotno su očitane svojstvene karakteristike podslivova (Tablica 9.)

Tablica 9. Tablični prikaz karakteristika podslivova

| SUBCATCHMENTS | | | | | | |
|---------------|-----------|--------|------|---------|-------|--------|
| Name | Rain Gage | Outlet | Area | %Imperv | Width | %Slope |
| 11 | KS_Labin | 445 | 0.47 | 20 | 100 | 0.5 |
| 17 | KS_Labin | 242 | 0.83 | 20 | 200 | 0.5 |
| 25 | KS_Labin | 454 | 0.45 | 14 | 150 | 0.5 |
| 26 | KS_Labin | 370 | 0.83 | 13 | 250 | 0.5 |
| 33 | KS_Labin | 466 | 1.2 | 8 | 400 | 0.5 |
| 35 | KS_Labin | 461 | 1.16 | 8 | 400 | 0.5 |
| 37 | KS_Labin | 528 | 0.54 | 38 | 400 | 0.5 |
| 39 | KS_Labin | 529 | 0.6 | 18 | 400 | 0.5 |
| 40 | KS_Labin | 531 | 0.63 | 18 | 400 | 0.5 |
| 42 | KS_Labin | 403 | 1.26 | 48 | 400 | 0.5 |
| 43 | KS_Labin | 408 | 1.06 | 22 | 400 | 0.5 |
| 51 | KS_Labin | 412 | 1.14 | 45 | 400 | 0.5 |
| 53 | KS_Labin | 416 | 0.52 | 30 | 400 | 0.5 |
| 57 | KS_Labin | 421 | 0.35 | 20 | 400 | 0.5 |
| 87 | KS_Labin | 220 | 0.27 | 4 | 100 | 0.5 |
| 93 | KS_Labin | 591 | 0.6 | 24 | 400 | 0.5 |
| 95 | KS_Labin | 611 | 0.62 | 12 | 400 | 0.5 |
| 109 | KS_Labin | 231 | 0.57 | 5 | 100 | 0.5 |
| 115 | KS_Labin | 595 | 0.77 | 10 | 200 | 0.5 |
| 121 | KS_Labin | 599 | 0.67 | 8 | 150 | 0.5 |
| 136 | KS_Labin | 607 | 0.85 | 8 | 400 | 0.5 |
| 139 | KS_Labin | 663 | 0.55 | 10 | 150 | 0.5 |
| 150 | KS_Labin | 658 | 0.67 | 10 | 400 | 0.5 |
| 151 | KS_Labin | 653 | 0.51 | 8 | 150 | 0.5 |
| 153 | KS_Labin | 639 | 0.29 | 8 | 200 | 0.5 |
| 167 | KS_Labin | 602 | 0.63 | 8 | 200 | 0.5 |
| 234 | KS_Labin | 624 | 0.31 | 10 | 100 | 0.5 |
| 245 | KS_Labin | 546 | 0.32 | 30 | 400 | 0.5 |
| 246 | KS_Labin | 562 | 0.51 | 24 | 400 | 0.5 |
| 247 | KS_Labin | 589 | 0.38 | 28 | 400 | 0.5 |
| 248 | KS_Labin | 580 | 0.18 | 30 | 400 | 0.5 |
| 249 | KS_Labin | 560 | 0.1 | 30 | 400 | 0.5 |
| 250 | KS_Labin | 574 | 0.56 | 20 | 400 | 0.5 |
| 252 | KS_Labin | 536 | 0.44 | 20 | 400 | 0.5 |
| 253 | KS_Labin | 571 | 0.41 | 20 | 400 | 0.5 |

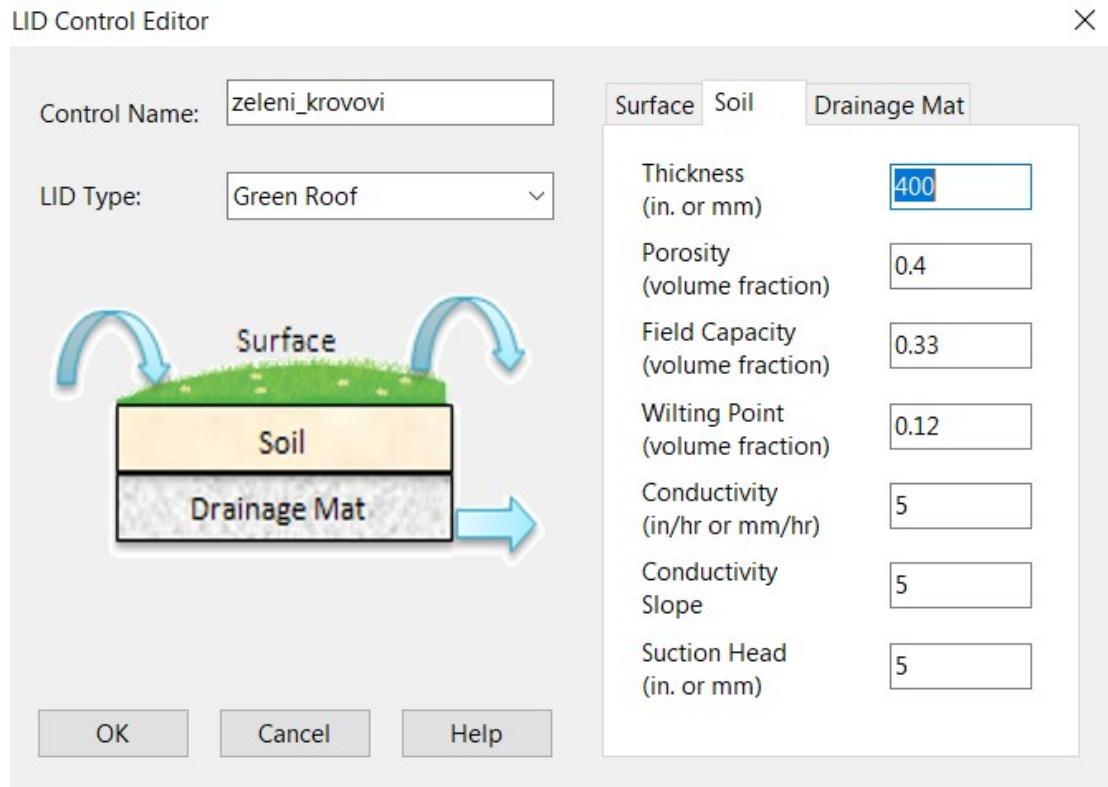
| | | | | | | |
|-----|----------|-----|------|----|-----|-----|
| 254 | KS_Labin | 541 | 0.26 | 25 | 400 | 0.5 |
| 255 | KS_Labin | 539 | 1 | 20 | 400 | 0.5 |
| 256 | KS_Labin | 566 | 0.92 | 20 | 400 | 0.5 |
| 257 | KS_Labin | 515 | 0.5 | 20 | 400 | 0.5 |
| 258 | KS_Labin | 501 | 1.01 | 15 | 400 | 0.5 |
| 259 | KS_Labin | 510 | 0.46 | 8 | 400 | 0.5 |
| 260 | KS_Labin | 506 | 0.65 | 16 | 400 | 0.5 |
| 261 | KS_Labin | 478 | 1.16 | 15 | 400 | 0.5 |
| 265 | KS_Labin | 543 | 0.26 | 30 | 400 | 0.5 |
| 266 | KS_Labin | 578 | 0.26 | 30 | 400 | 0.5 |
| 268 | KS_Labin | 587 | 0.73 | 18 | 400 | 0.5 |

Uz karakteristike podslivova i geometriju postojećeg sustava, određeni su LID elementi koji se implementiraju u svaki posebni podsliv zbog upravljanja oborinskim vodama tj, radi zbrinjavanja oborinskog dotoka na mjestu nastanka kako bi se rasteretio već postojeći sustav odvodnje. U nastavku na danim slikama prikazane su karakteristike svakog pojedinog LID elementa prije provođenja simulacije.

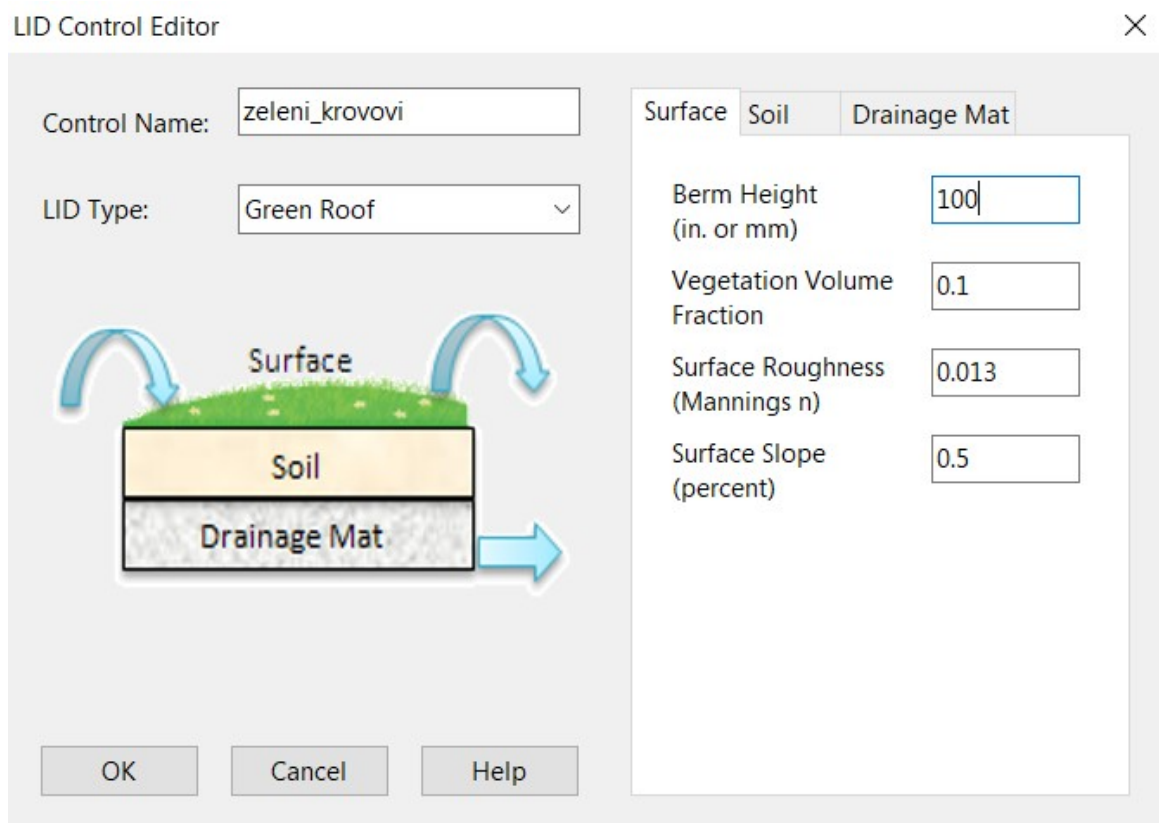
Korišteni LID elementi su:

- Zeleni krovovi
- Bačve za kišnicu
- Bioretencije
- Polupropusni asfaltni zastori
- Infiltracijski jarci

Zeleni krovovi dio su rješenja zelene infrastrukture koji kombiniraju ekonomske, ekološke i estetske koristi. Značajno doprinose poboljšanju životnog standarda te očuvanju ekosustava i okoliša unatoč izazovima izgradnje i početnim troškovima. Uvelike poboljšavaju upravljanje oborinskim vodama svojim infiltracijskim i retencijskim sposobnostima i istovremeno pružaju smanjenje energetske troškova radi izolacijskih karakteristika te doprinose regeneraciji klime koja je izložena urbanizaciji i globalnom zatopljenju. U nastavku su prikazane karakteristike korištenih zelenih krovova na Pilot području



Slika 22. Karakteristike površine zelenih krovova

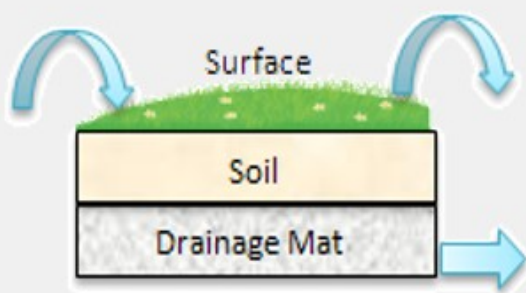


Slika 23. Karakteristike retencijskog dijela zelenih krovova

LID Control Editor ✕

Control Name:

LID Type:

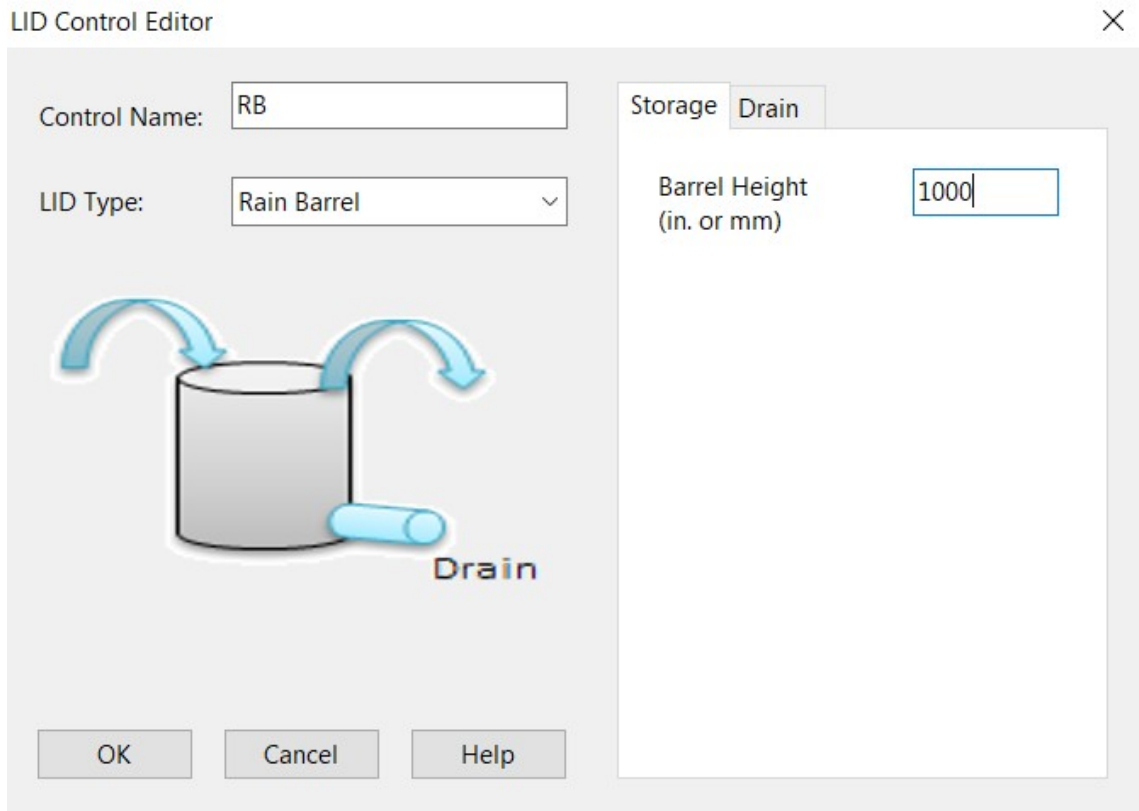


| Surface | Soil | Drainage Mat |
|------------------------|------|-----------------------------------|
| Thickness (in. or mm) | | <input type="text" value="30"/> |
| Void Fraction | | <input type="text" value="0.5"/> |
| Roughness (Mannings n) | | <input type="text" value="0.02"/> |

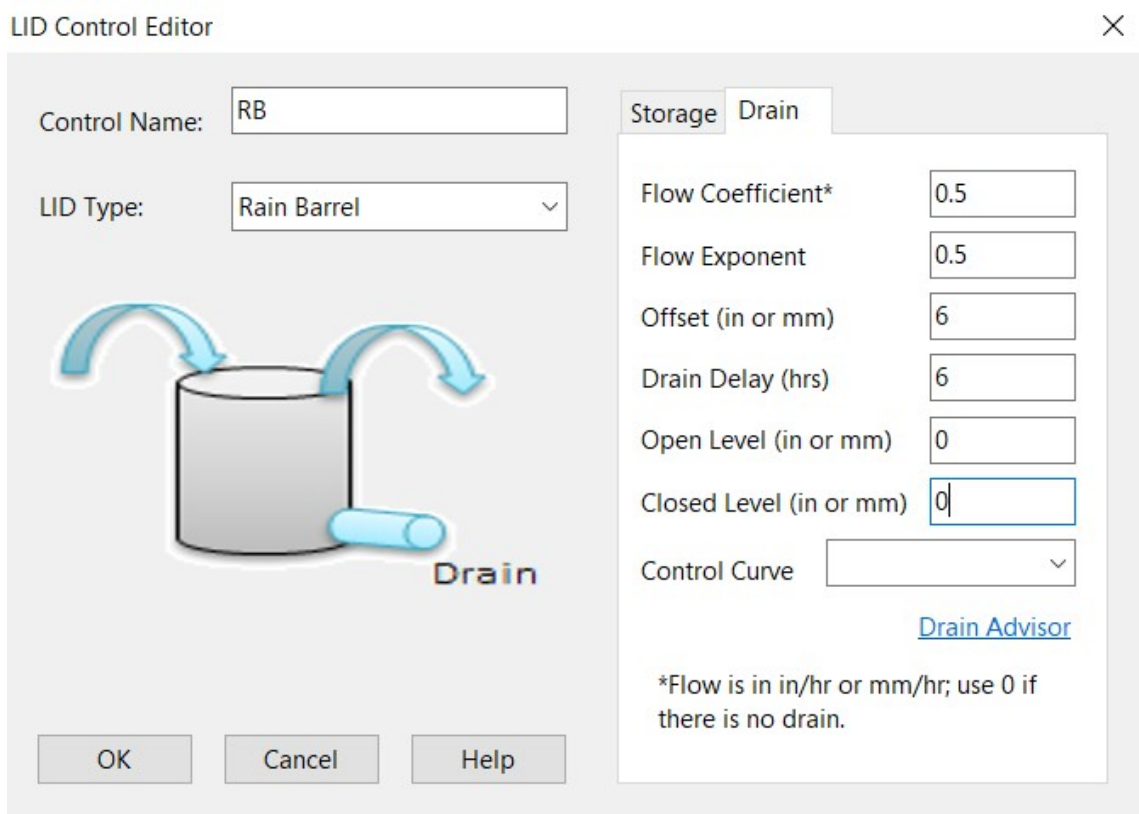
Slika 24. Karakteristike odvoda zelenih krovova

Bačve za kišnicu služe kao sistemi za sakupljanje oborina sa zgrada i kuća gdje implementacija zelenih krovova nije moguća radi krovnih nagiba. S obzirom da se tradicionalnim pristupom prema oborinskim dotocima na stupa isključivo sa svrhom odvodnje, prilikom implementacije zelene infrastrukture cilja se na iskorištavanje vode uz njeno zbrinjavanje. Izvedene bačve za kišnicu u modelu korištene u gotovo svim podslivovima pogotovo u Staroj jezgri Labina radi skučenosti naselja na povišenom području te radi jednostavnije izvedbe zbrinjavanja oborina.

Kišnica koja se prikupi može biti iskorištena za razne svrhe poput zalijevanja vrta, pranja automobila, pranja cesta, za vatrogasne svrhe te indirektno utječu na smanjenje opterećenja na odvodni sustav. U nastavku su prikazane karakteristike korištenih bačvi za kišnicu na Pilot području.

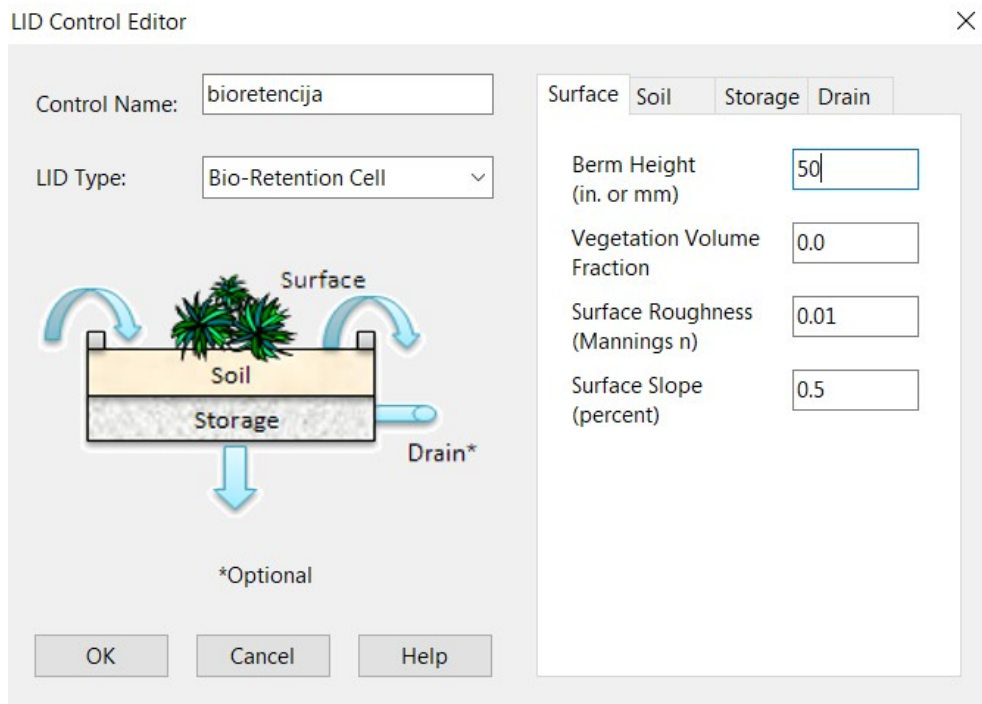


Slika 25. Karakteristike spremnika bačve za kišnicu

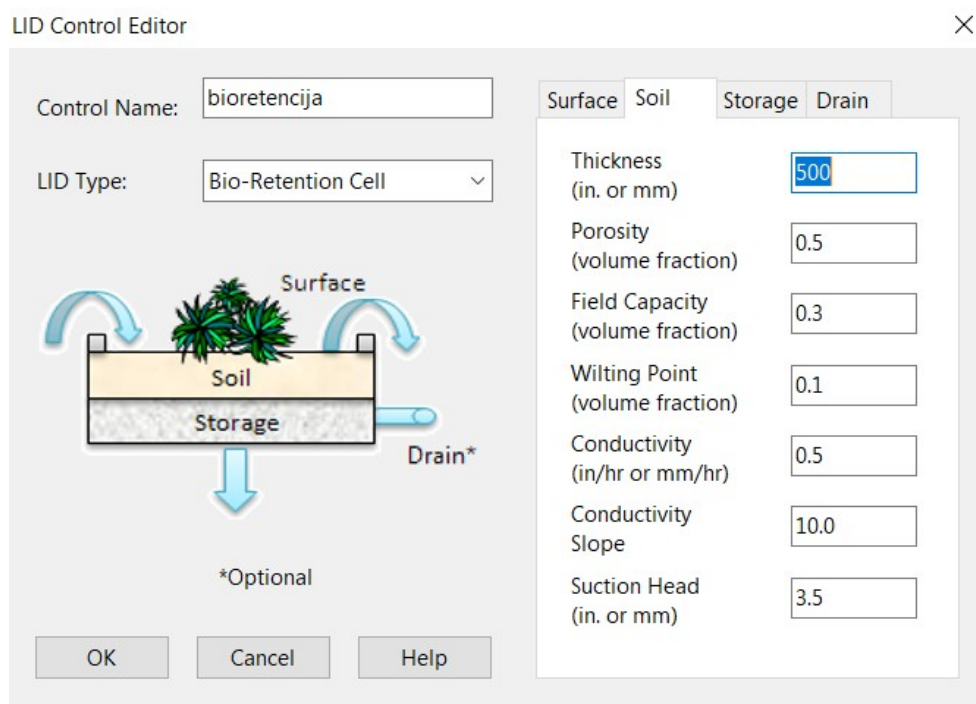


Slika 26. Karakteristike odvoda bačve za kišnicu

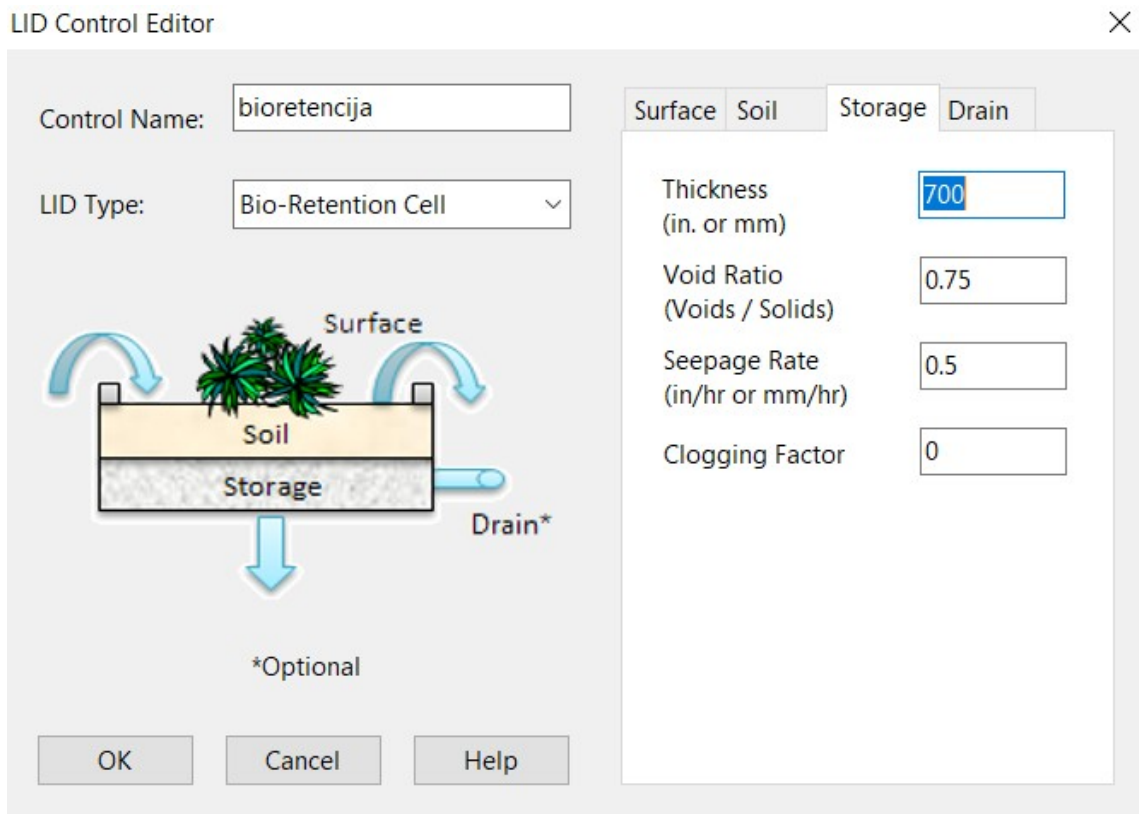
Bioretencije su izvedene ozelenjene depresije koje sa svojim projektiranim slojevima zemlje služe za zadržavanje pa potom i infiltraciju oborinskih dotoka uz istovremeno uklanjanje nečistoća iz zahvaćenih oborina. U nastavku su prikazane karakteristike bioretencija korištenih na Pilot području.



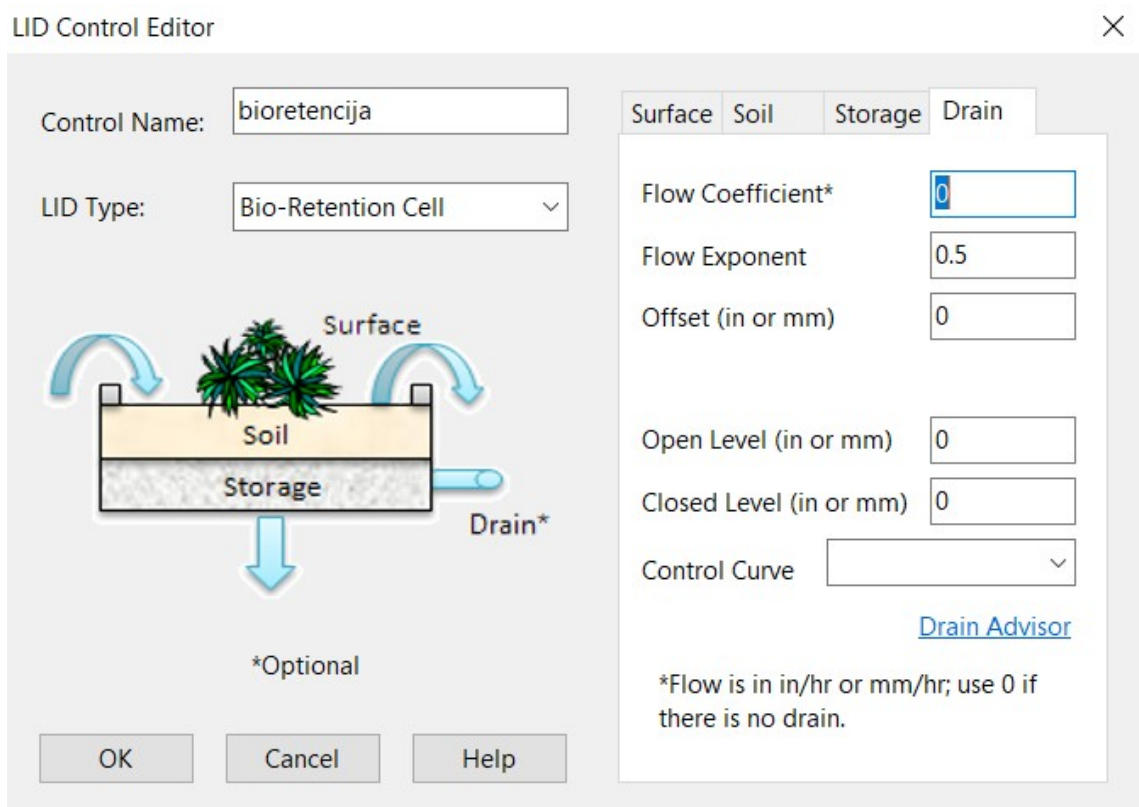
Slika 27. Karakteristike površine bioretencije



Slika 28. Karakteristike sloja tla bioretencije



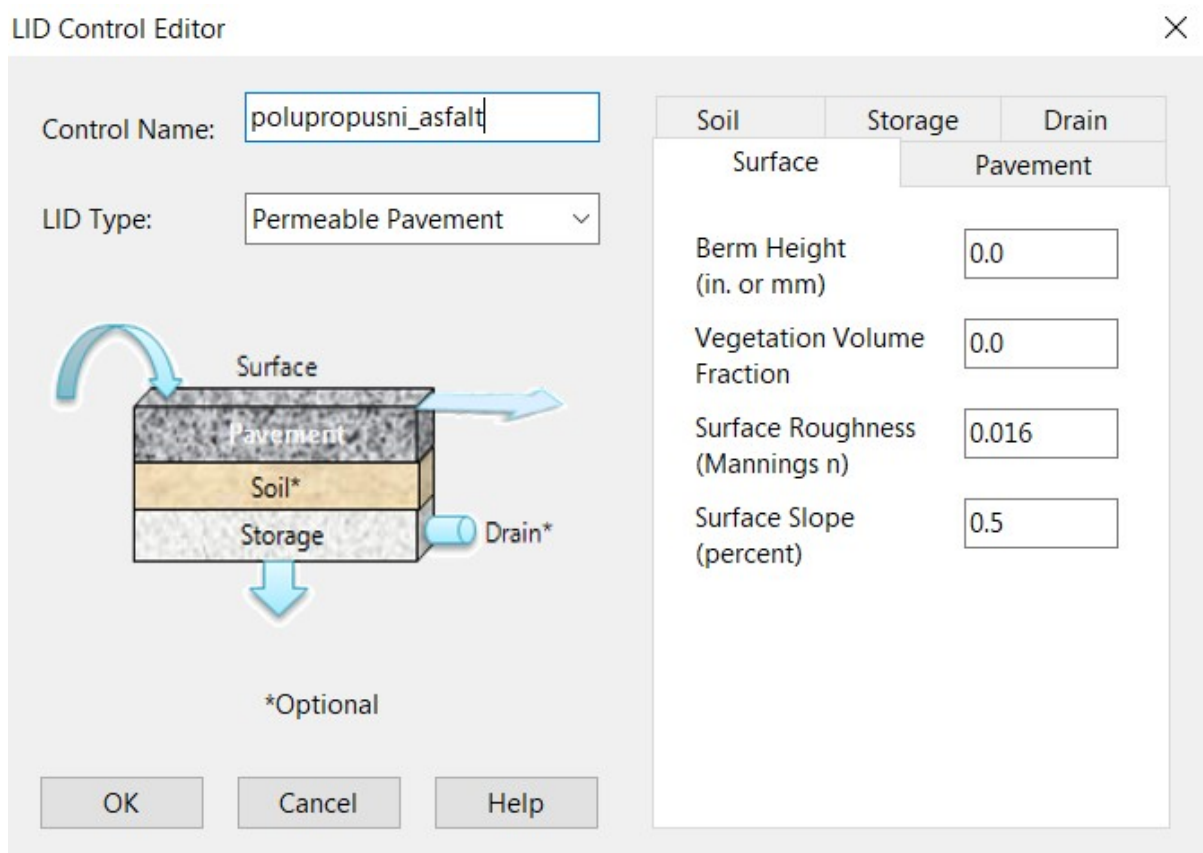
Slika 29. Karakteristike retencijskog dijela bioretencije



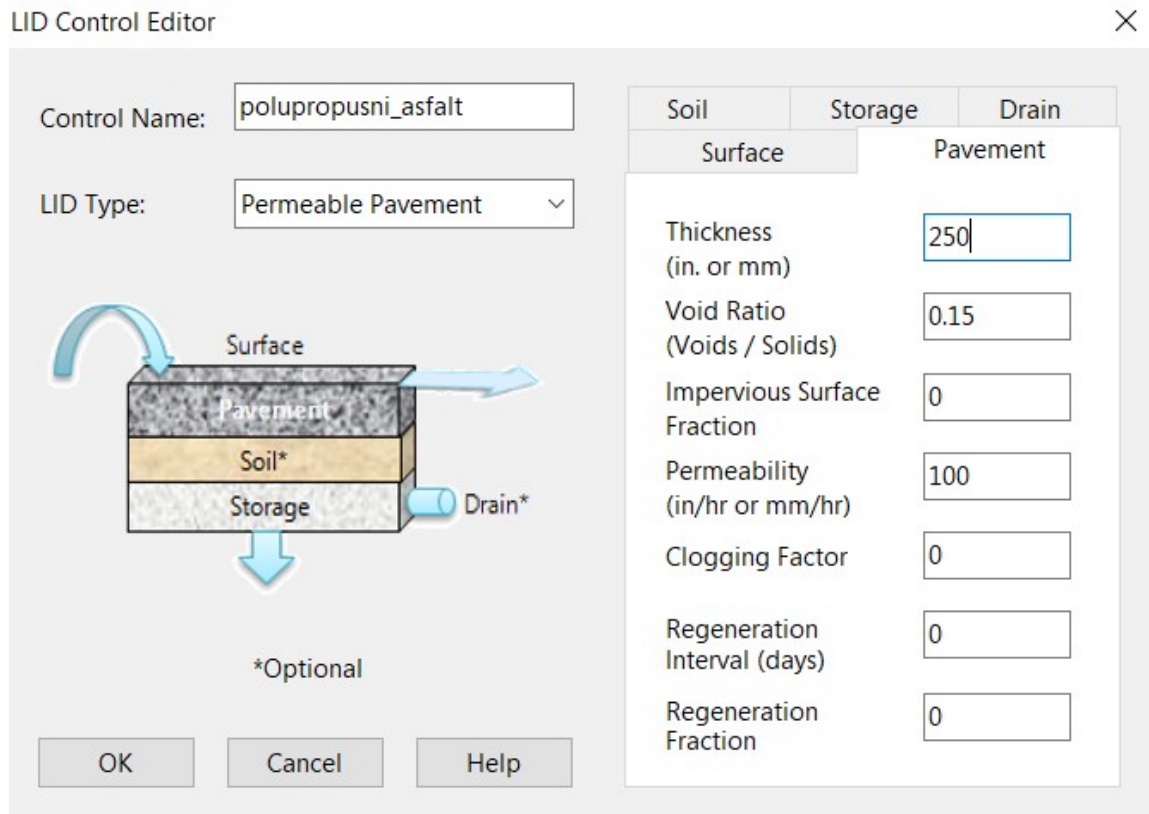
Slika 30. Karakteristike odvoda bioretencije

Polupropusni asfaltni zastori su nove asfaltno površine od posebnog poroznog asfaltnog sloja sa svrhom brze infiltracije oborinske vode u porozni sloj koji služi kao podzemni spremnik. Zadržava se oborina sve dok se ne infiltrira u tlo ili dok ne oteče do obližnjeg odvodnog sustava ili pak do obližnje bioretencije ili nekog drugog elementa zelene infrastrukture.

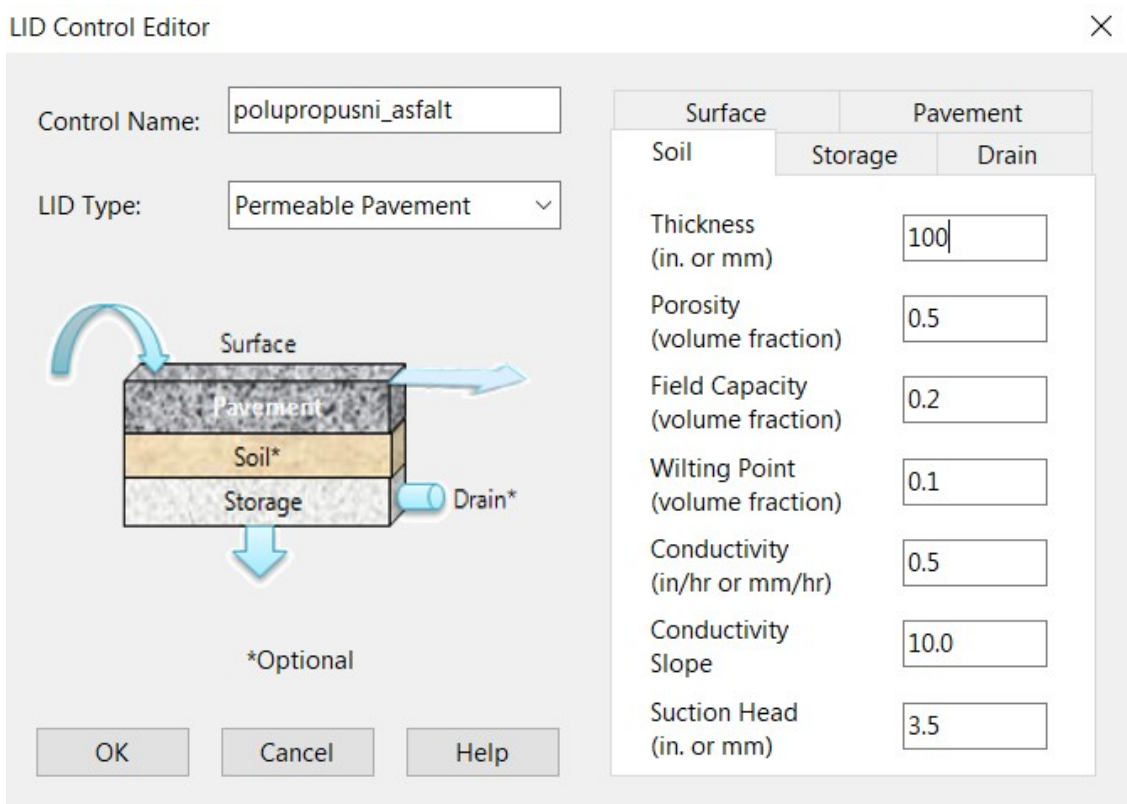
Povezivanjem svih elemenata i objekata zelene infrastrukture dobiva se integralno rješenje odvodnje koje osim pružanja sposobnosti zbrinjavanja i upravljanja količinama oborina mjerodavnima za to područje, poboljšavaju i učinak pročišćavanja oborinskih dotoka. U nastavku su prikazane karakteristike polupropusnih asfaltnih zastora korištenih za obnavljanje javnih cestovnih površina i parkirališta u svrhu upravljanja oborinama.



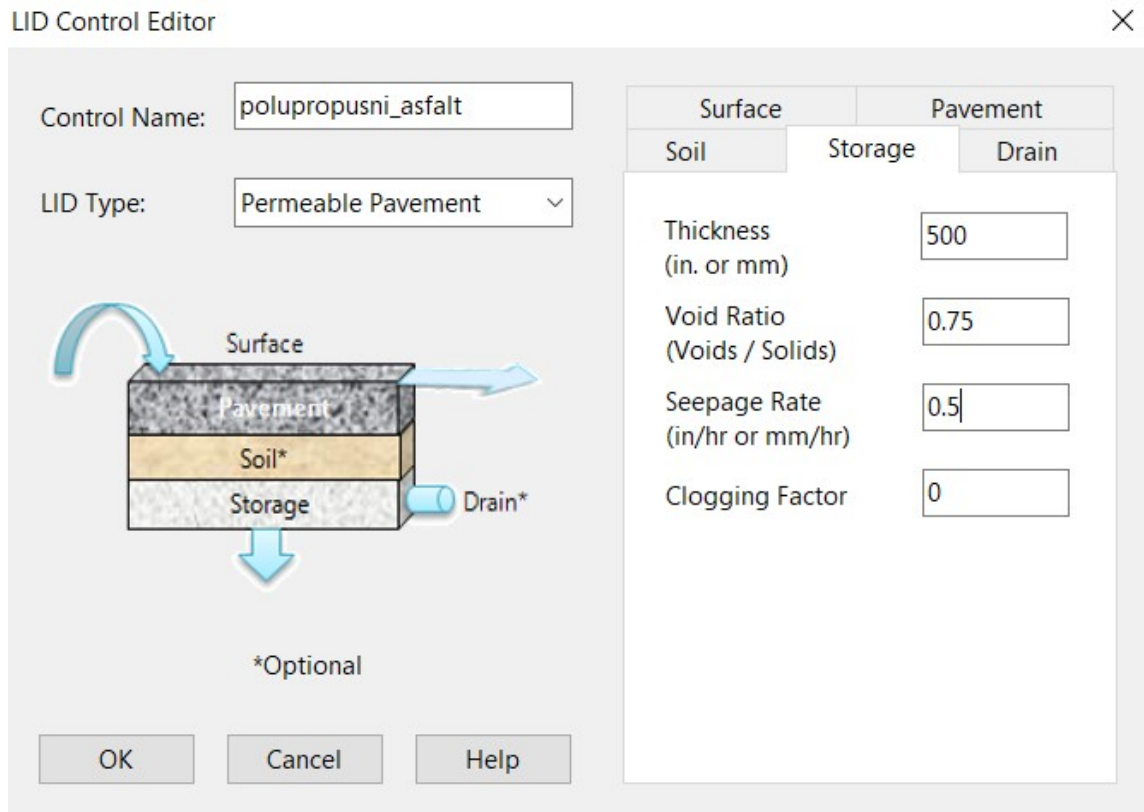
Slika 31. Karakteristike površine propusnog asfaltnog zastora



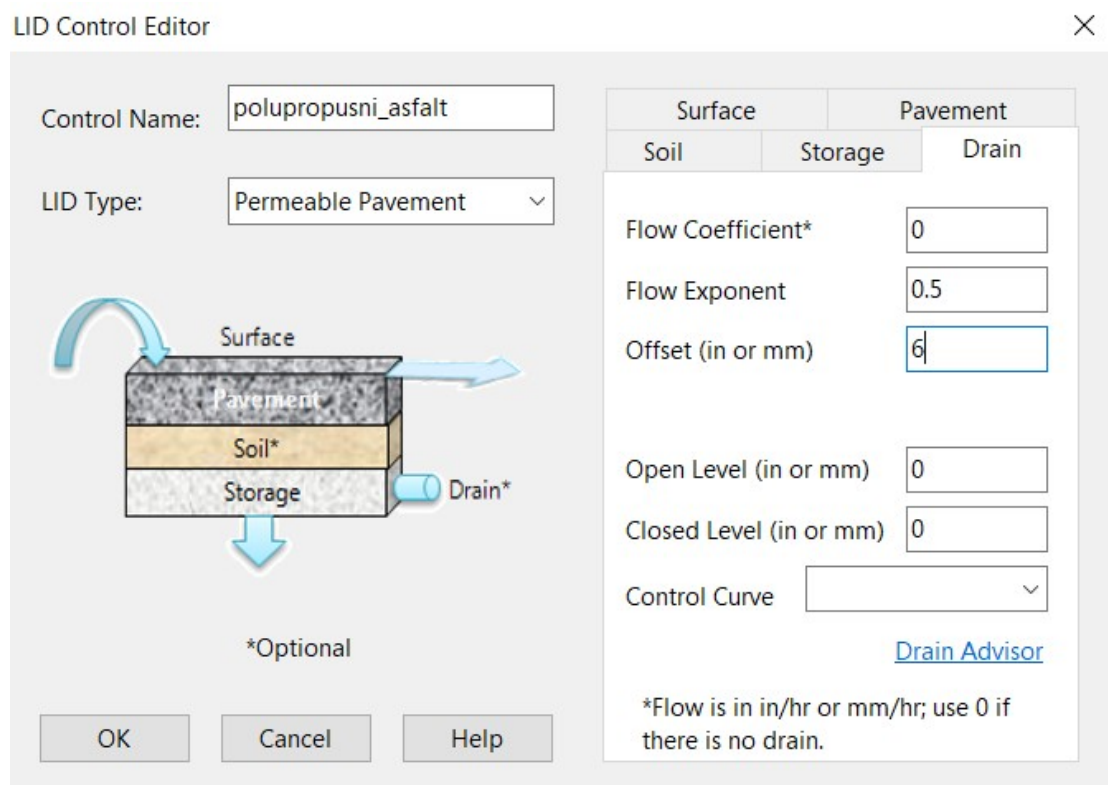
Slika 32. Karakteristike asfalta propusnog asfaltnog zastora



Slika 33. Karakteristike tla propusnog asfaltnog zastora

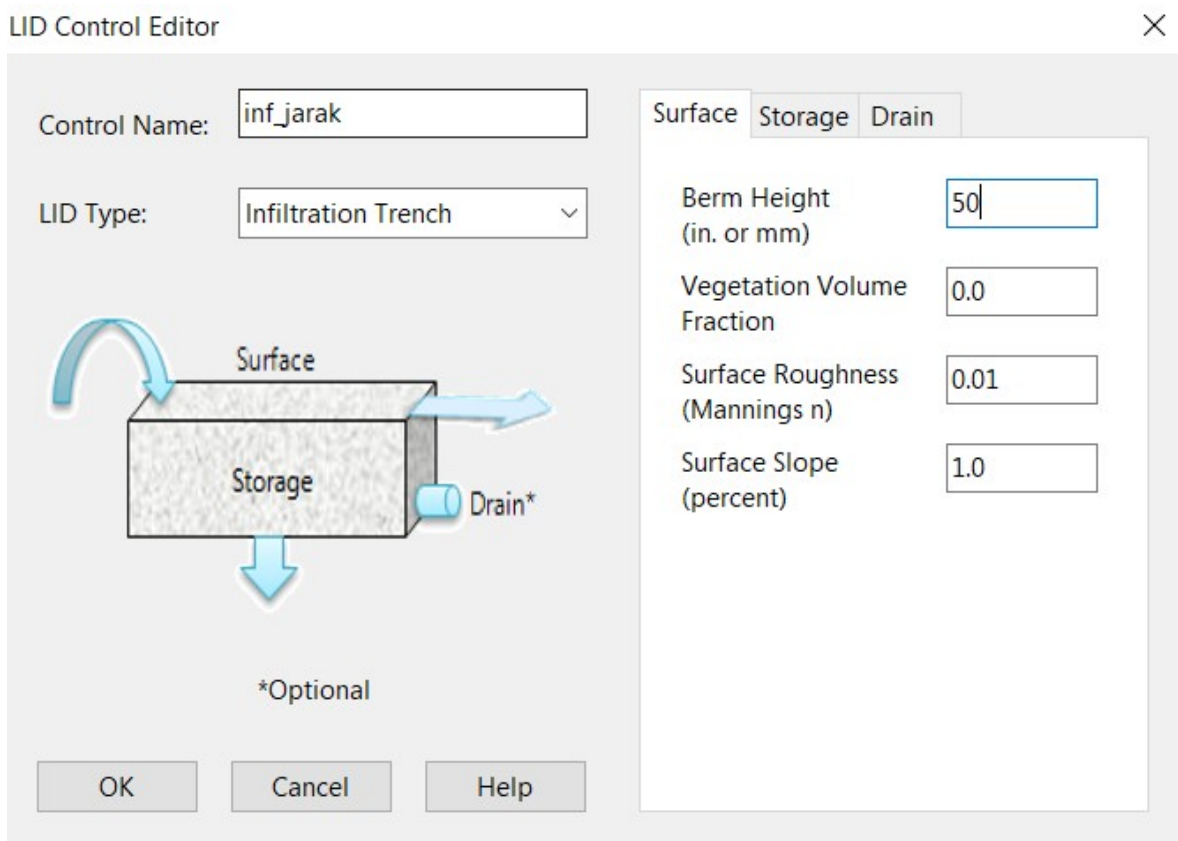


Slika 34. Karakteristike retencijskog sloja propusnog asfaltnog zastora

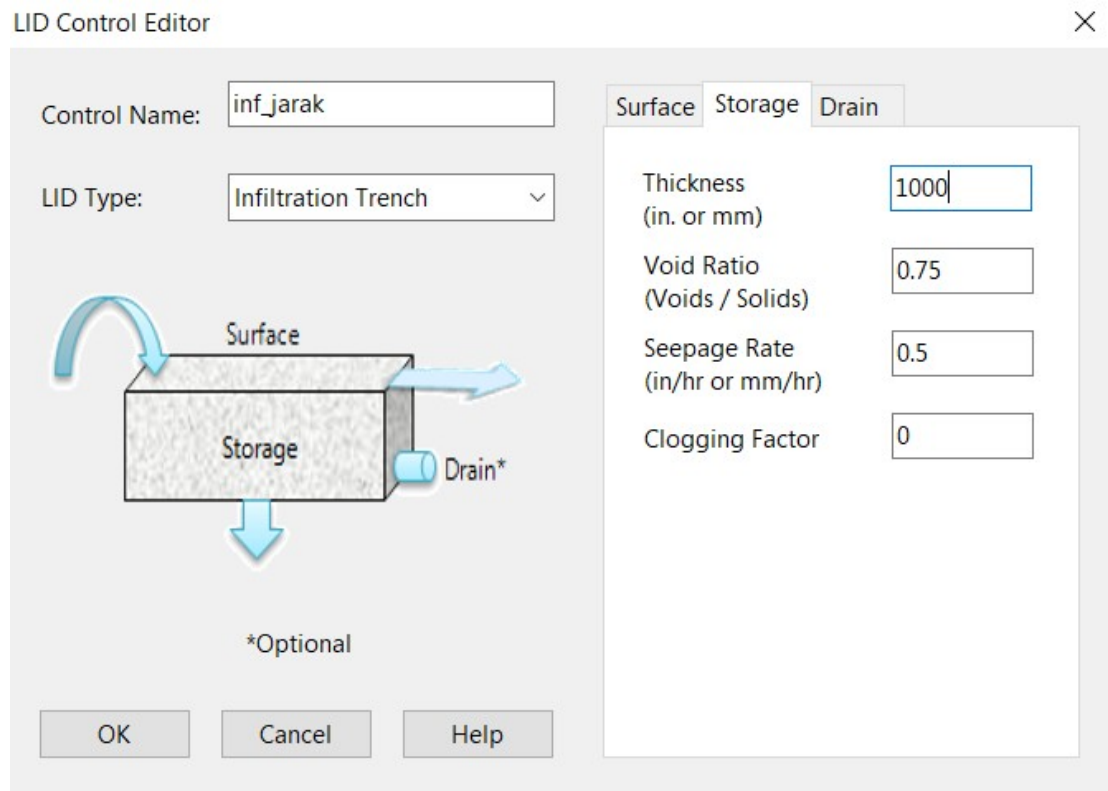


Slika 35. Karakteristike odvoda propusnog asfaltnog zastora

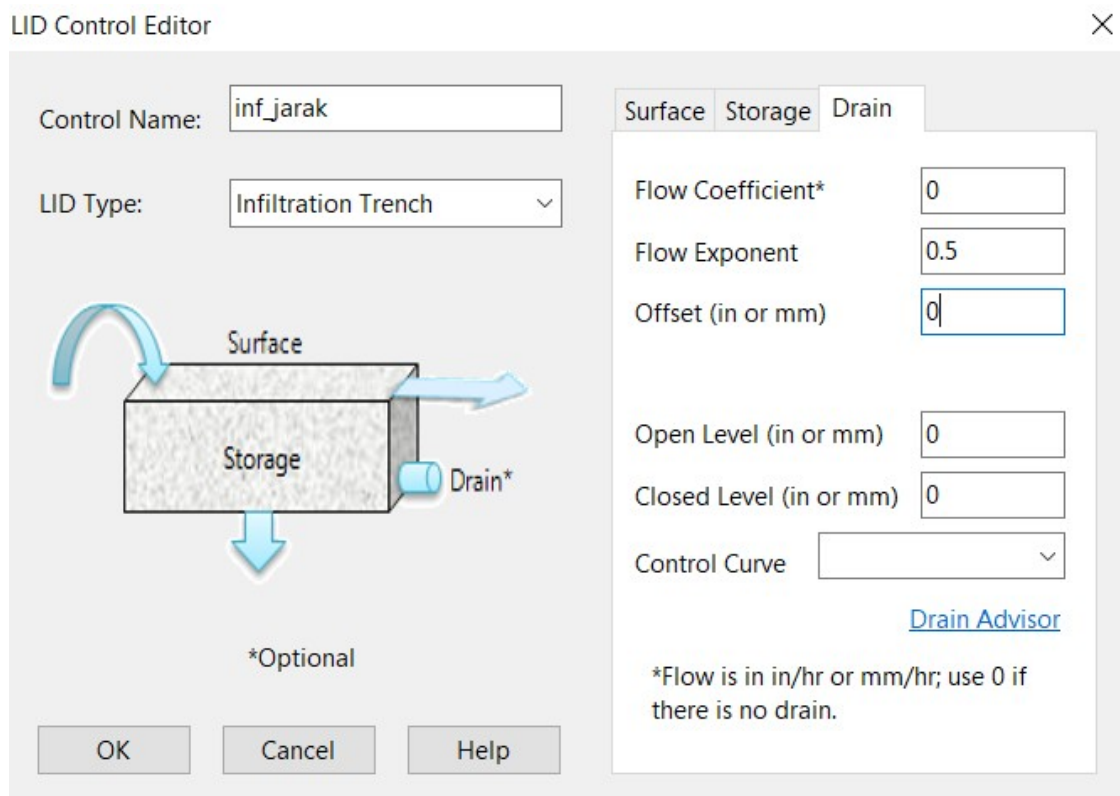
Infiltracijski jarci su iskopani rovovi obloženi geotekstilom i ispunjeni kamenom koji služe kao podzemni spremnici sa mogućnošću pročišćavanja, regulacije, zadržavanja i infiltracije oborinskih dotoka. Izvode se blizu parkirališta, cesta, uz nasipe i parkove te se često zatravljaju da bi se uklonili nepoželjni sedimenti. Uobičajeno se implementiraju na slivovima do 4 ha te u tlima sa infiltracijskom sposobnošću većom od 7 mm/h. Mora se izvesti najmanje 1.2 metra od nepropusne podloge te 1.2 metra iznad razine podzemne vode. Računa se da se ukupni volumen mora procijediti u roku 72h te prvi oborinski dotok u 48h. U nastavku su prikazane karakteristike korištenih infiltracijskih jaraka u sklopu Varijante B.



Slika 36. Karakteristike površine infiltracijskog jarka



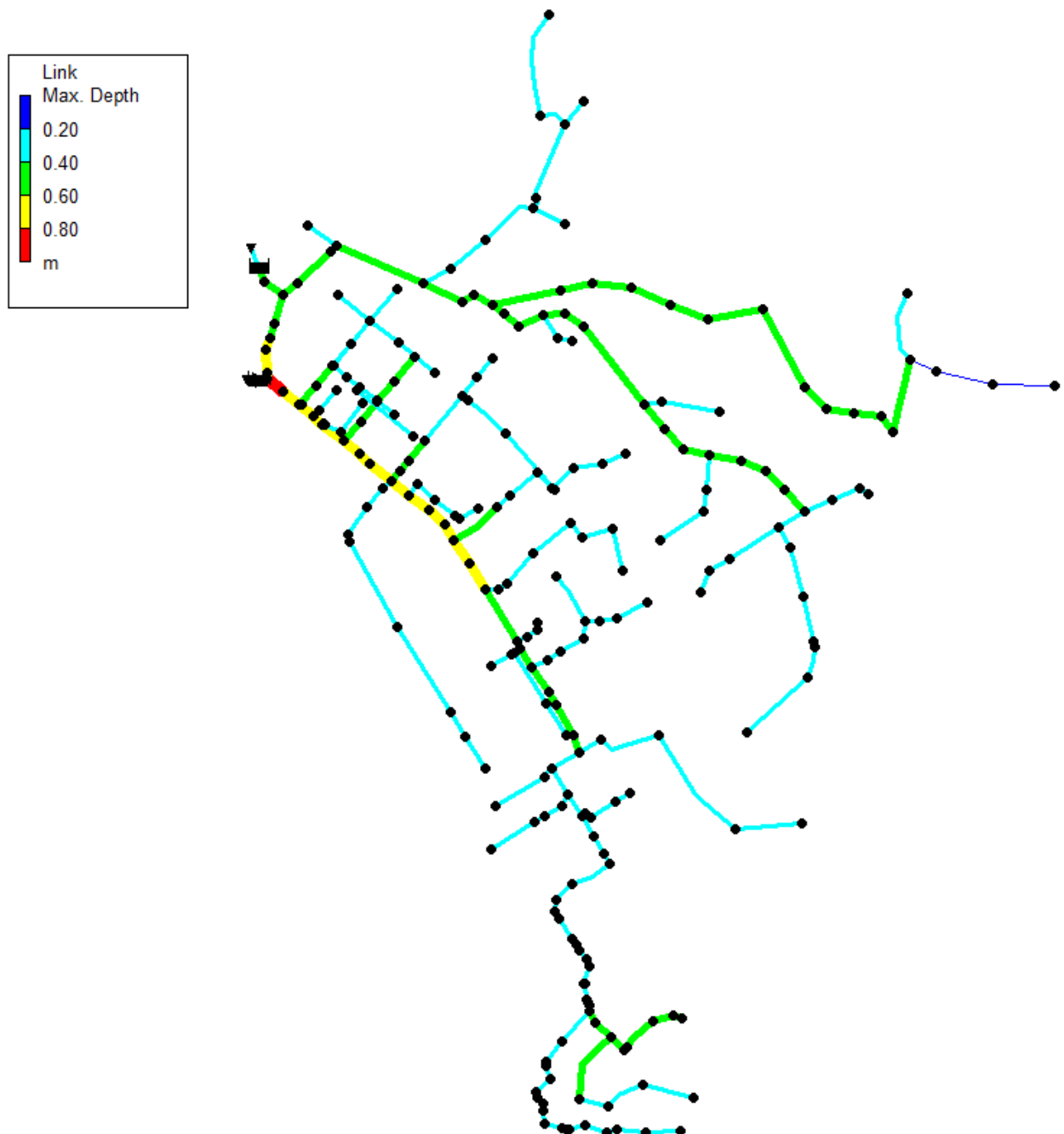
Slika 37. Karakteristike retencijskog sloja infiltracijskog jarka



Slika 38. Karakteristike odvoda infiltracijskog jarka

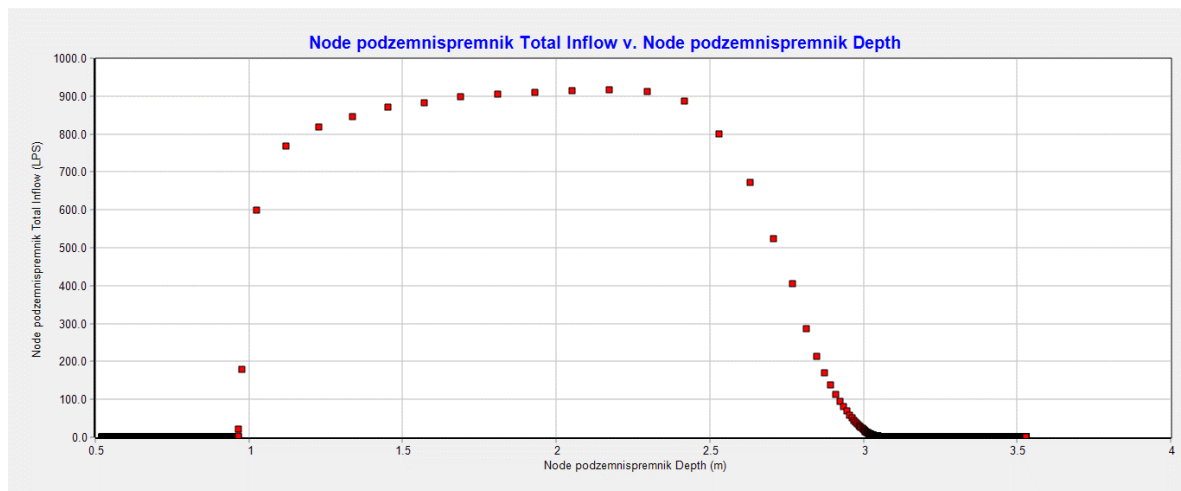
4.2 Rezultati modela za rekonstrukciju s podzemnim spremnikom (varijanta A)

U ovom poglavlju analizirat će se rezultati simulacije SWMM modela Varijante A. Slika 39. grafički prikazuje dimenzije novih oborinskih cjevovoda u SWMM modelu na kojem je provedena analiza.



Slika 39. Grafički prikaz dimenzija novih cjevovoda u SWMM modelu varijante A

Uz implementaciju novog oborinskog odvodnog sustava, izvest će se 2 podzemna spremnika, kako bi se sačuvala oborinska voda za potrebe poboljšanja kvalitete ljudskih života na tom području korištenjem iste za pranje ulica, vatrogasne svrhe i slično.



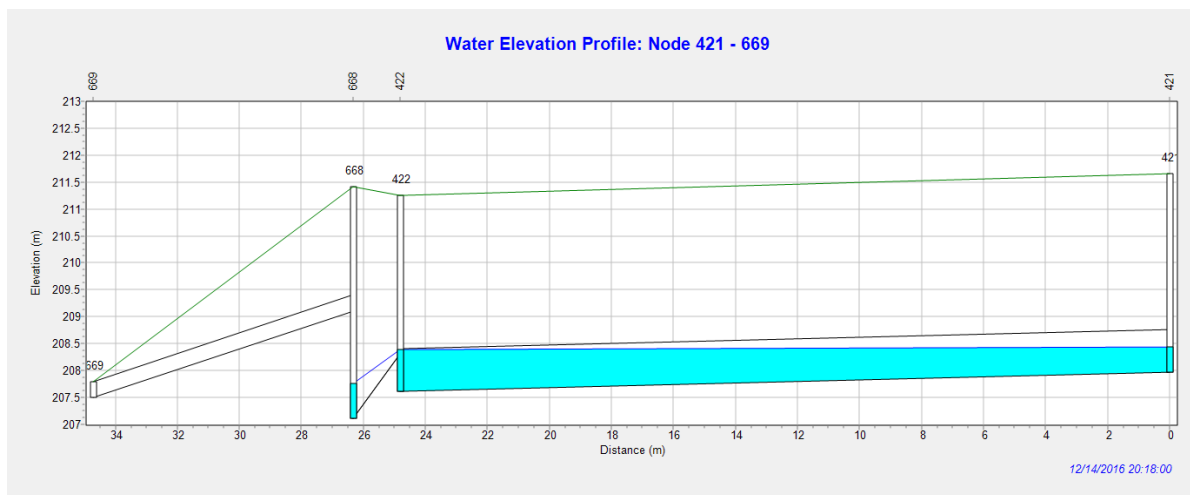
Slika 40. Omjer dubine spremnika i ukupnih dotoka

Slika 40. grafički prikazuje omjer ukupnih dotoka i dubine vode u podzemnom spremniku. Prije i poslije oborine podzemni spremnik se puni zbog pretpostavljenih tuđih voda koje su u SWMM-u definirane konstantnom vrijednošću. Kako bi se izbjegle sve moguće poplave i nepovoljne situacije na pilot području zamišljen je i sigurnosni spremnik na dnu Rudarske ulice kapaciteta 1000 m³ (Tablica 10.) kako bi se u slučaju pojave oborina većih povratnih perioda rasteretio glavni podzemni spremnik na najnižoj točki sustava.

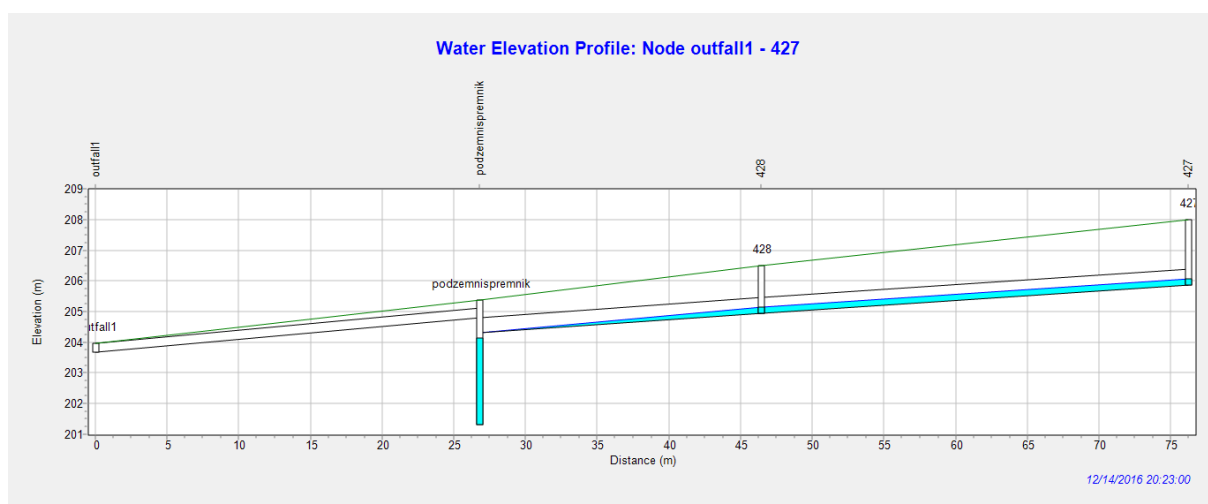
Tablica 10. Tablični rezultati podzemnih spremnika u SWMM modelu varijante A

| Storage Unit | Average Volume 1000 m3 | Average Percent Full | Evap Percent Loss | Exfil Percent Loss | Maximum Volume 1000 m3 | Maximum Percent Full | Day of Maximum Volume | Hour of Maximum Volume | Maximum Outflow LPS |
|------------------|------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| 668 | 0.114 | 9 | 0 | 0 | 0.197 | 15 | 1 | 20:18 | 0.00 |
| podzemnispremnik | 1.004 | 55 | 0 | 0 | 1.587 | 87 | 2 | 23:51 | 2.77 |

Stanje maksimalne ispunjenosti spremnika označenog kao čvor 668 (sigurnosni spremnik) u SWMM modelu grafički se očituje sa Slike 41, kao i maksimalna ispunjenost glavnog podzemnog spremnika sa Slike 42.

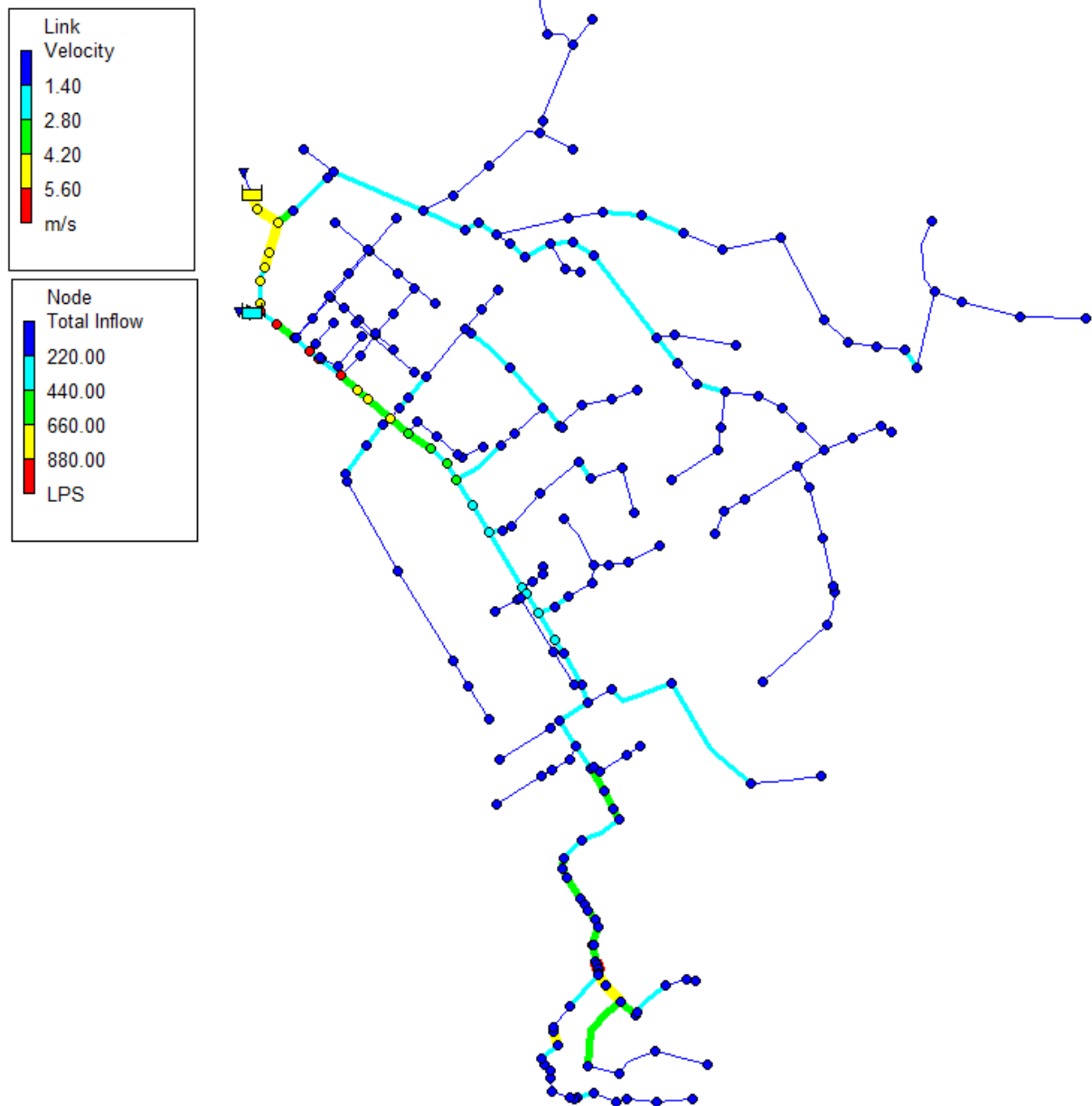


Slika 41. Uzdužni profil prilikom dotoka PP5 u sigurnosni podzemni spremnik



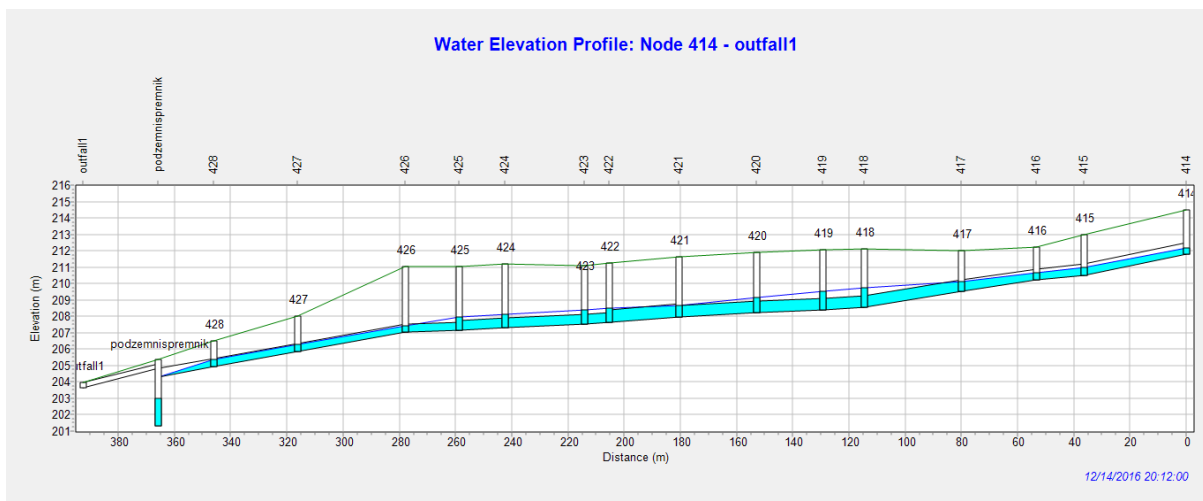
Slika 42. Uzdužni profil prilikom dotoka PP5 u podzemni spremnik

Glavni kolektor na navedenom prikazu prikazan je žutom bojom (Rudarska ulica) koji vodi sve do podzemnog spremnika na dnu sustava. Stanje razdjelnog sustava pri mjerodavnoj oborini PP5 nakon simulacije očituje se sa Slike 43. u nastavku.



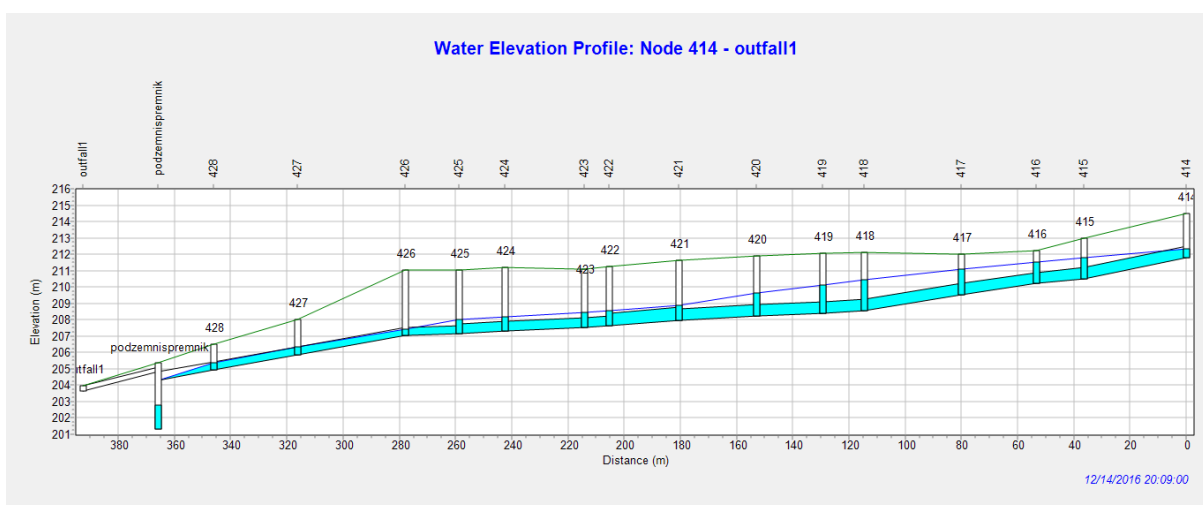
Slika 43. Prikaz modela pri oborini PP5 u SWMM modelu

Tijekom oborinske odvodnje prilikom pojave mjerodavne oborine mjestimice se pojavljuje tlačno tečenje koje je u slučaju isključivo oborinske odvodnje dopušteno u iznimno kratkom trajanju, što ovdje i je slučaj. Tlačno tečenje jedino se javlja u trajanju od svega 14 minuta u periodu od 20:07 do 20:21 gdje je početak oborine određen u 20:00h u trajanju od 15 minuta. Na Slici 44. u nastavku prikazan je najkritičniji slučaj pojave tlačnog tečenja u 20:12h po lokalnom vremenu u Rudarskoj ulici.



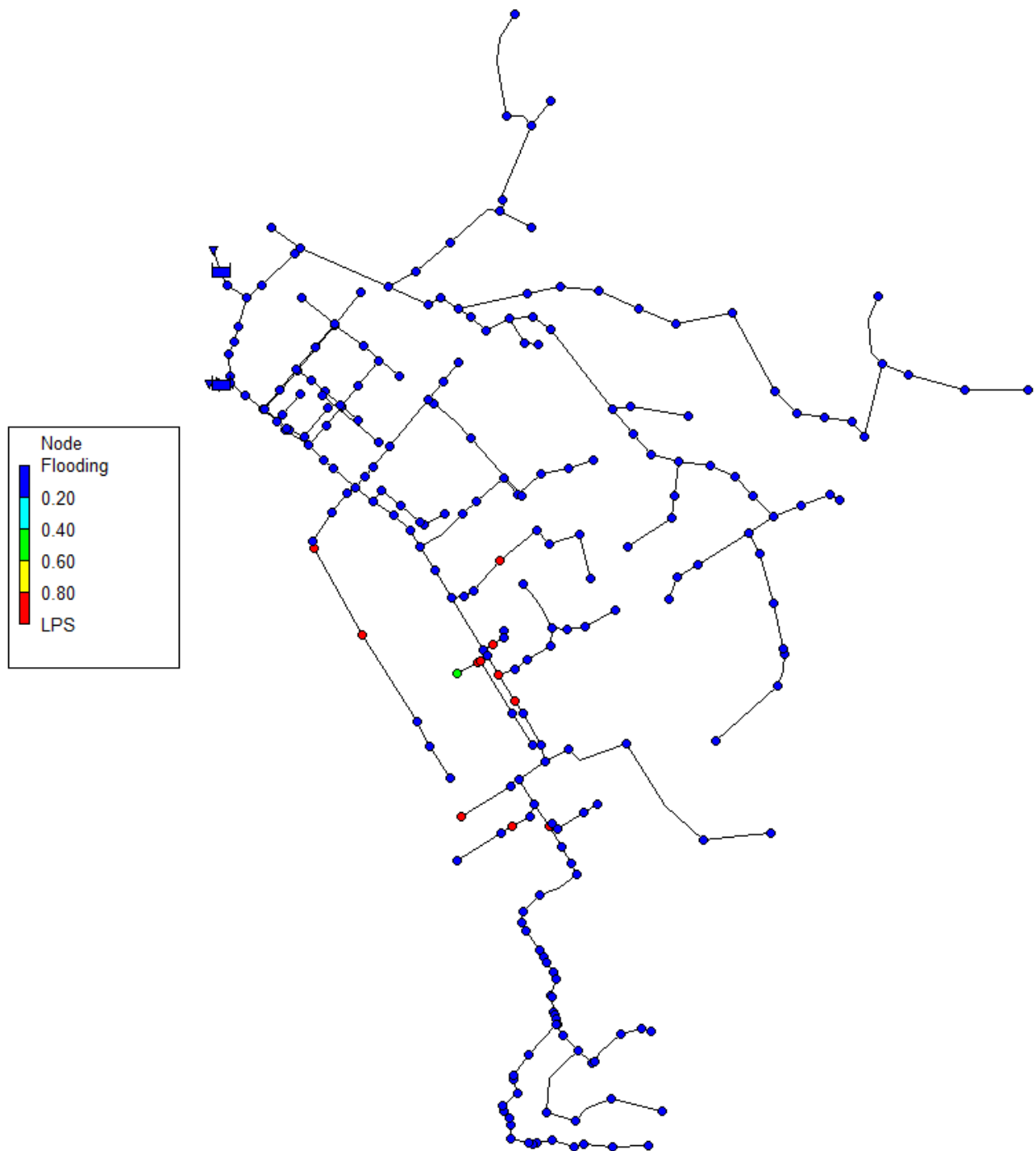
Slika 44. Uzdužni prikaz tlačnog tečenja u Rudarskoj ulici pri oborini PP5

Provedbom analize utjecaja mjerodavne oborine PP5 na novi oborinski sustav odvodnje primjećuje se uspješno svladavanje mjerodavne oborine povratnog perioda 5 godina, čime se može zaključiti da razdjelni sustav zadovoljava potrebe Podlabina i stare jezgre. U sklopu analize utjecaja oborina provedena je i simulacija za PP20 kako bi se razmotrio njen utjecaj na stanje cjevovoda (Slika 45.).



Slika 45. Uzdužni prikaz tlačnog tečenja u Rudarskoj ulici pri oborini PP20

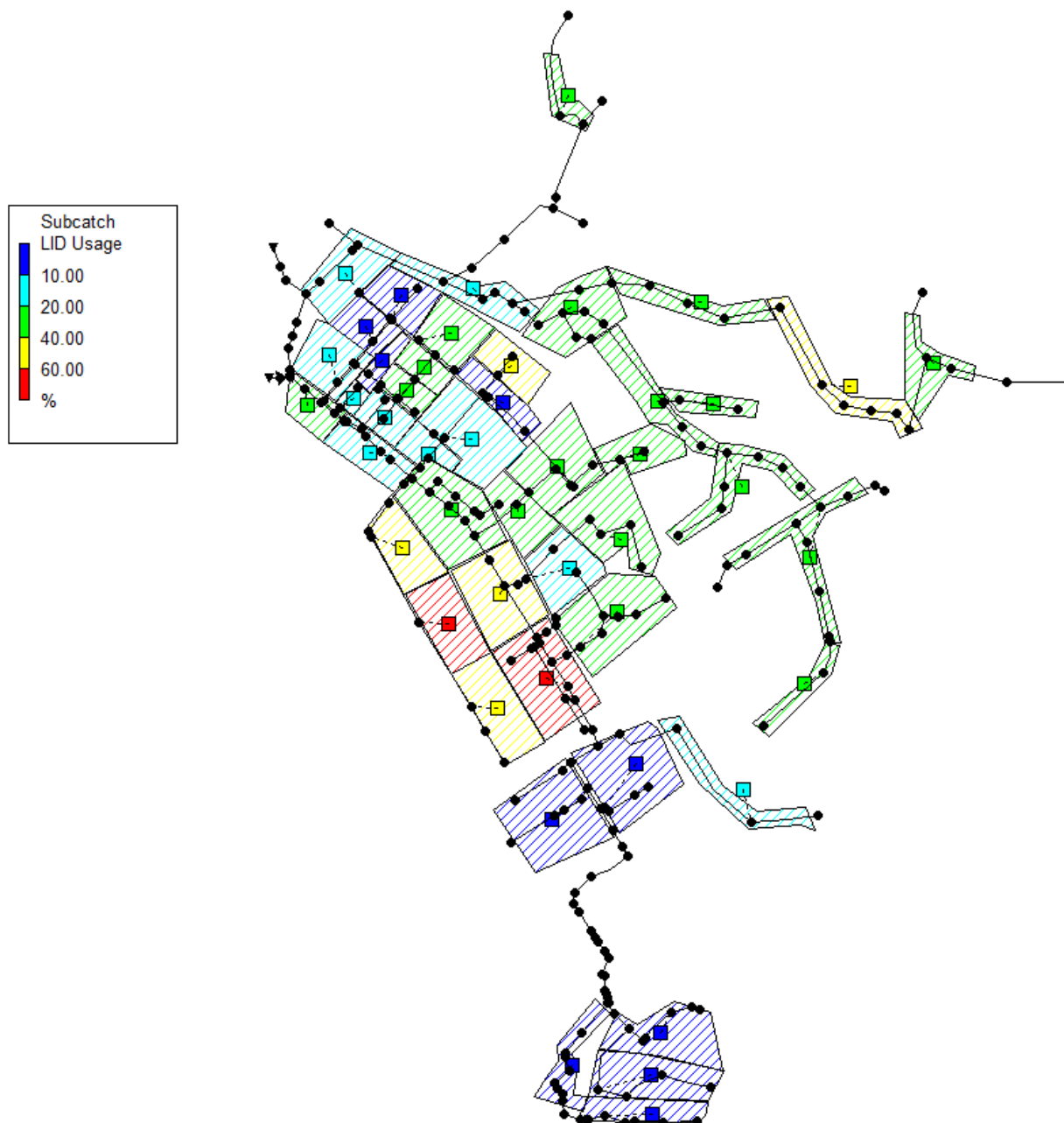
Sa Slike 45. vidljivo je kako isplivavanja na glavnom kolektorskom dijelu mreže nema pri pojavi oborine PP20 iako je tlačno tečenje postojano i na samoj granici kapaciteta sustava. Na rubnim dijelovima sustava prisutno je isplivavanje (Slika 46.) ali u neznatnim količinama i kratkog trajanja, a kako se radi samo o oborinskoj vodi zbog razdjelnog sustava, opcija je ocijenjena prihvatljivom radi rijetkosti pojave takve oborine.



Slika 46. Shematski prikaz mjestimičnog isplivanja pri oborini PP20

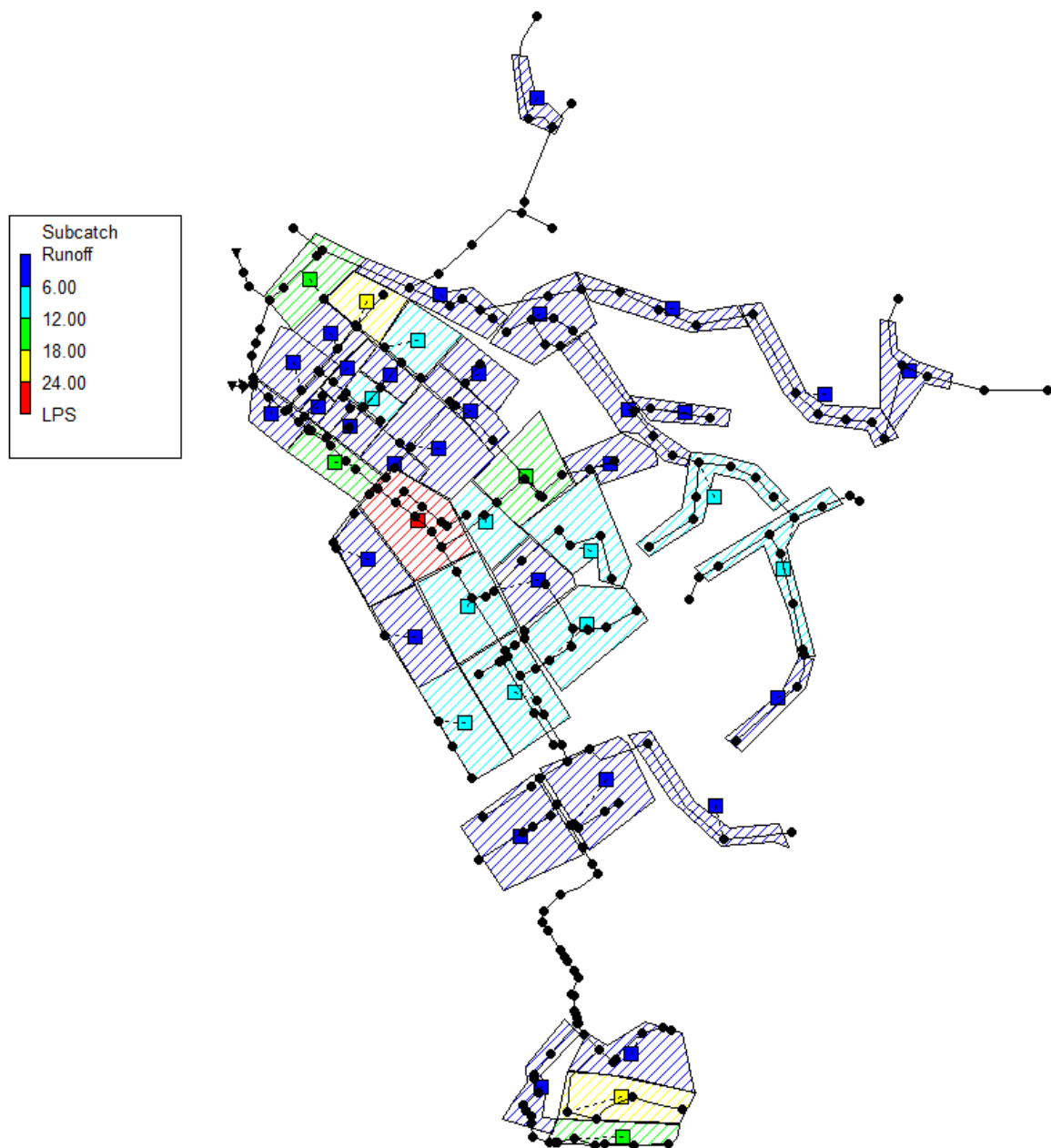
4.3 Rezultati modela rekonstrukcije s mjerama zelene infrastrukture (varijanta B)

Korištenjem opisanih LID elemenata unutar SWMM modela utječe se na zbrinjavanje i sakupljanje površinskog otjecanja sa nepropusnih površina. Slika 47. u nastavku prikazuje korištenost LID elemenata po podslivovima u obliku postotaka. Unutar modela Varijante B korišteno je 89 LID elemenata kroz 46 podslivova prikazanih na slici u nastavku.



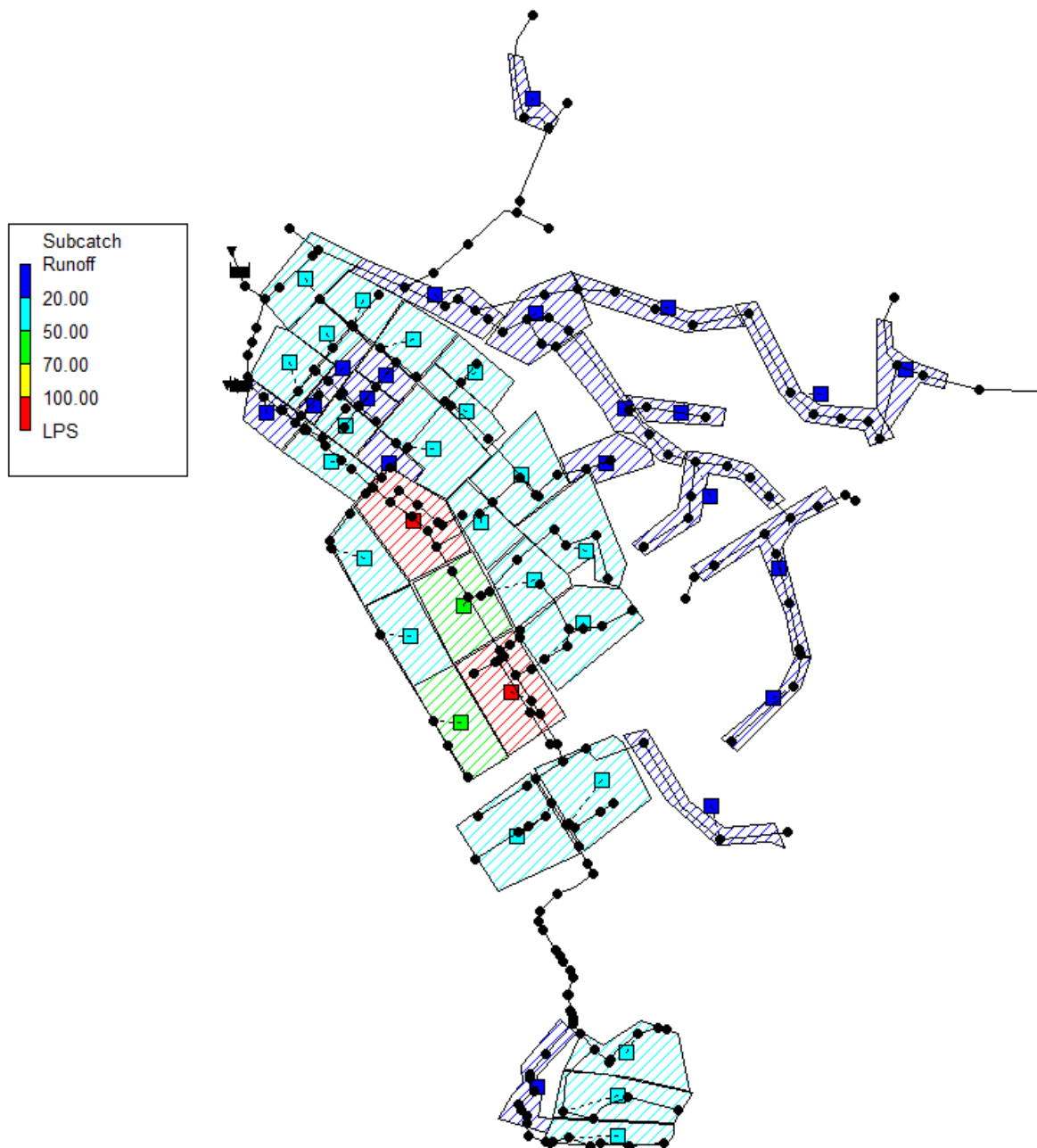
Slika 47. Shematski prikaz pokrivenosti podslivova LID elementima

Nakon implementacije zelene infrastrukture u podslivove kao što je prikazano na prethodnoj slici, simulira se oborina PP 5 godina za Varijantu B te se dobivaju rezultati simulacije koji se navode u nastavku. Među glavnim ciljevima zelene infrastrukture jest smanjiti površinsko otjecanje odnosno na mjestu nastanka ga zadržati tj infiltrirati u tlo ako je moguće. Slika 48. u nastavku prikazuje drastično smanjenje površinskog otjecanja.



Slika 48. Shematski prikaz površinskog otjecanja podslivova Varijante B pri oborini PP5

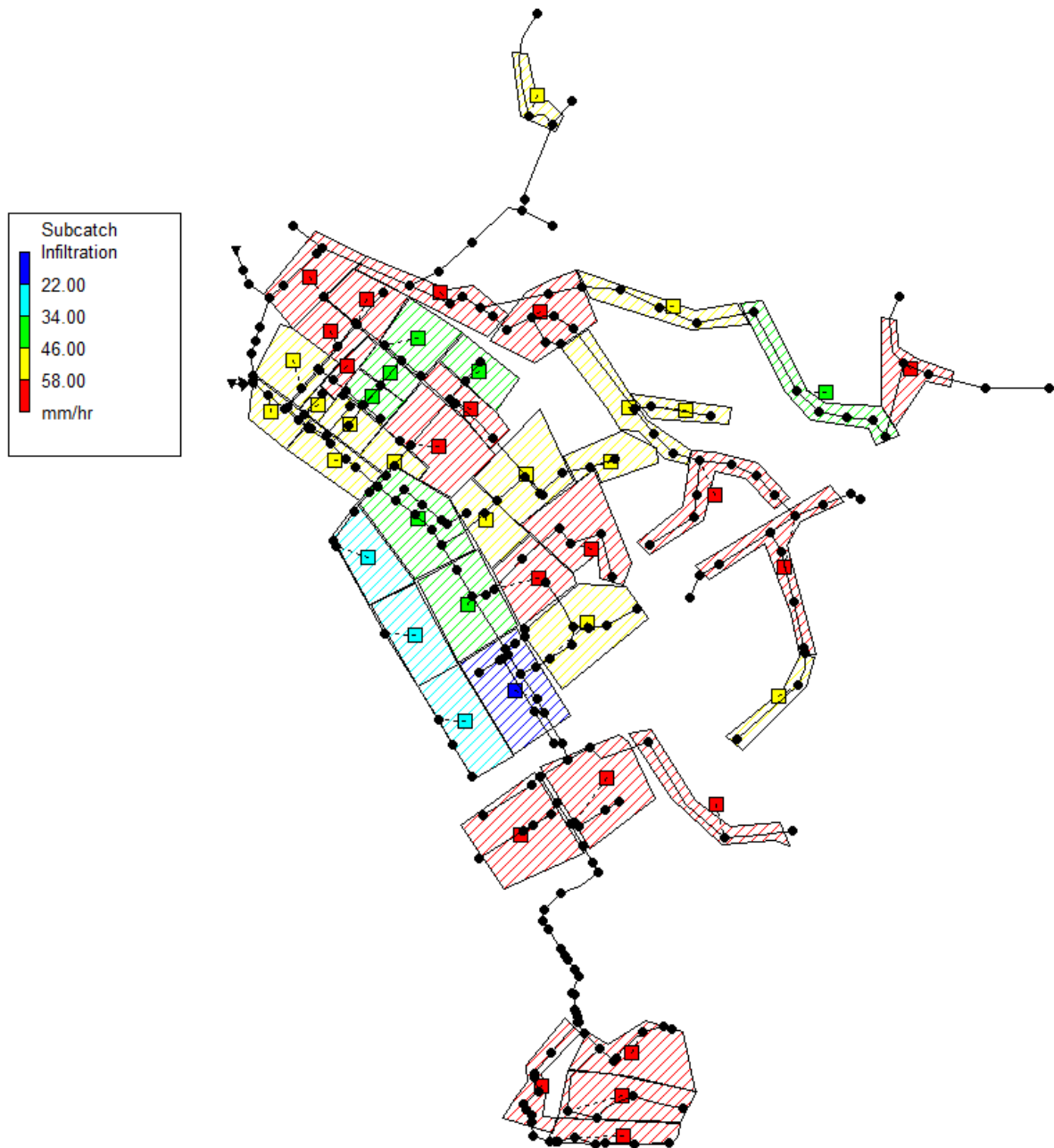
U usporedbi sa postojećim mješovitim sustavom (Slika 49.) vidi se izuzetna razlika te poboljšanje kod inovativne Varijante B.



Slika 49. Shematski prikaz površinskog otjecanja podslivova mješovitog (postojećeg) sustav pri oborini PP5

Kao što se može predočiti usporedbom slika, na postojećem modelu površinska otjecanja su znatno veća čime se opterećuju odvodne cijevi kanalske mreže. Implementacijom LID elemenata smanjuje se površinsko otjecanje na svega 17% iz postojećeg stanja čime se uvelike

rasterećuje odvodni sustav te dokazuje da LID elementi služe svojoj svrsi koja uz direktnu svrhu odvodnje vode ima i indirektnu komponentu utjecanja na revitalizaciju ekosustava i hidrološkog ciklusa unutar urbanog područja. Dodatno poboljšanje sustava je u količini infiltracije prikazanoj na slici 50. gdje se zeleni LID elementi pozitivno utječu na količinu infiltracije te zadržavanja oborine unutar njenih retencijskih slojeva.



Slika 50. Shematski prikaz infiltracijske sposobnosti podslivova Varijante B pri oborini PP5

Kako bismo pobliže usporedili količine oborina i otjecanja prilikom simulacije u SWMM modelu odabire se prikaz STATUSa koje će u nastavku biti prikazane za postojeće stanje i Varijantu B. (Slike 51. i 52.)

| ***** | Volume | Depth |
|----------------------------|-----------|--------|
| Runoff Quantity Continuity | hectare-m | mm |
| ***** | ----- | ----- |
| Total Precipitation | 0.638 | 22.410 |
| Evaporation Loss | 0.000 | 0.000 |
| Infiltration Loss | 0.518 | 18.205 |
| Surface Runoff | 0.112 | 3.918 |
| Final Storage | 0.009 | 0.327 |

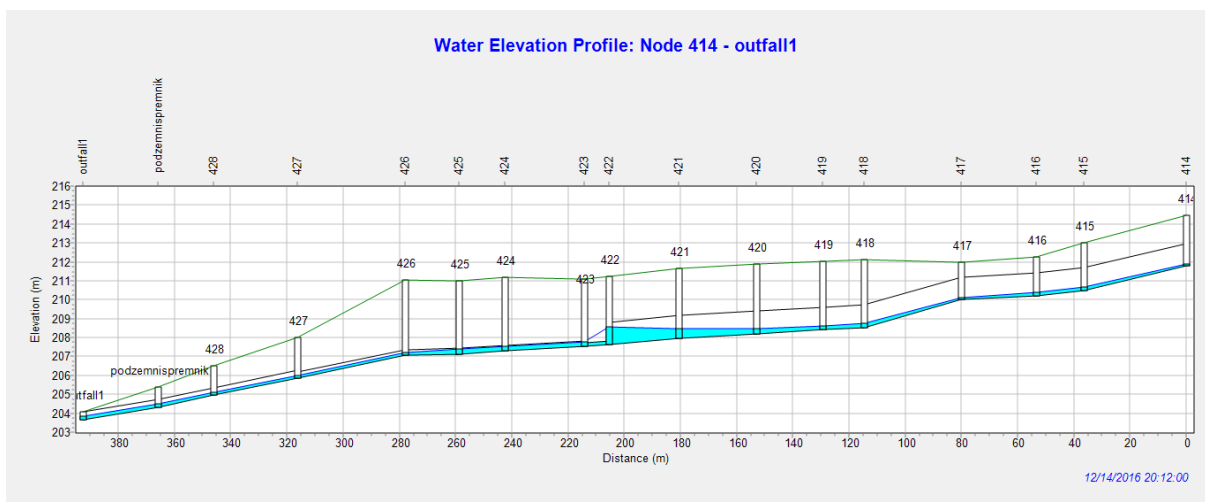
Slika 51. Prikaz statusa modela postojećeg sustava pri oborini PP5

| ***** | Volume | Depth |
|----------------------------|-----------|--------|
| Runoff Quantity Continuity | hectare-m | mm |
| ***** | ----- | ----- |
| Initial LID Storage | 0.247 | 8.684 |
| Total Precipitation | 0.638 | 22.410 |
| Evaporation Loss | 0.000 | 0.000 |
| Infiltration Loss | 0.405 | 14.229 |
| Surface Runoff | 0.020 | 0.692 |
| Final Storage | 0.461 | 16.206 |

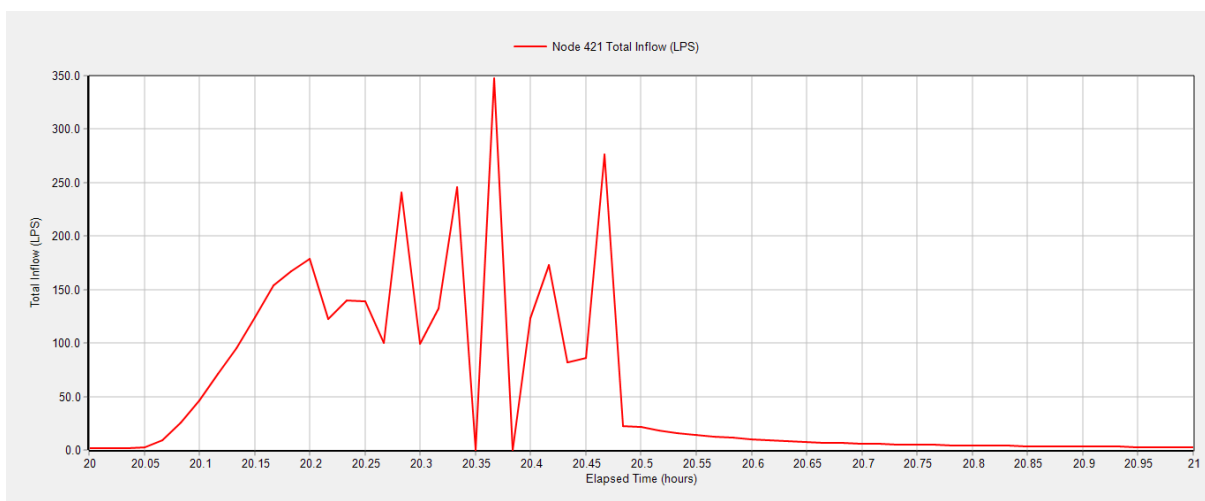
Slika 52. Prikaz statusa modela Varijante B pri oborini PP5

Na danim prikazima može se uočiti kako je smanjena količina površinskog otjecanja na svega 17%, uz samo smanjenje otjecanja može se uočiti postojanost LID retencijskog prostora koji služi za pohranjivanje oborina do trenutka njene infiltracije u tlo.

Uzdužnim prikazom također se može uočiti smanjenje količine oborinske vode u odvodnoj mreži radi učinkovitosti LID elemenata odnosno zelene infrastrukture. Slika 53. prikazuje uzdužni prikaz glavnog kolektora u Rudarskoj ulici koji je opterećen 70% manje nego u varijanti mješovite odvodnje postojećeg sustava gdje oborinski dotok iznosi oko 1150 l/s dok u Varijanti B iznosi svega 350 l/s u najkritičnijem trenutku.



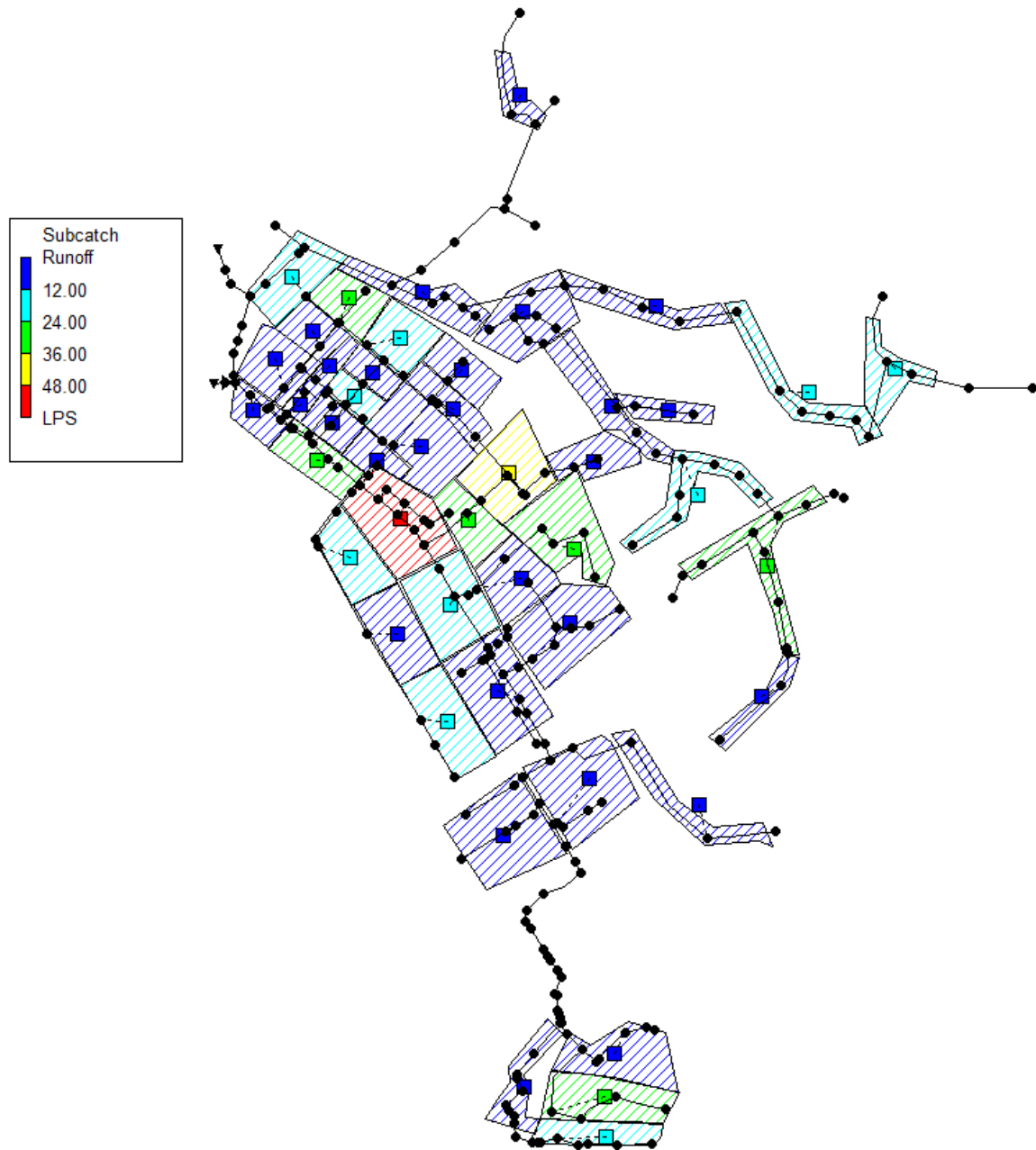
Slika 53. Uzdužni prikaz glavnog kolektora u Rudarskoj ulici pri oborini PP5



Slika 54. Ukupni dotok u čvor 421 pri oborini PP5

Na slici 54. prikazan je ukupni dotok u čvor 421 u kojemu je dotok smanjen na 30% od dotoka u postojećem stanju čime se uvelike rasteće odvodi sustav i dokazuje svrha LID elemenata zelene infrastrukture.

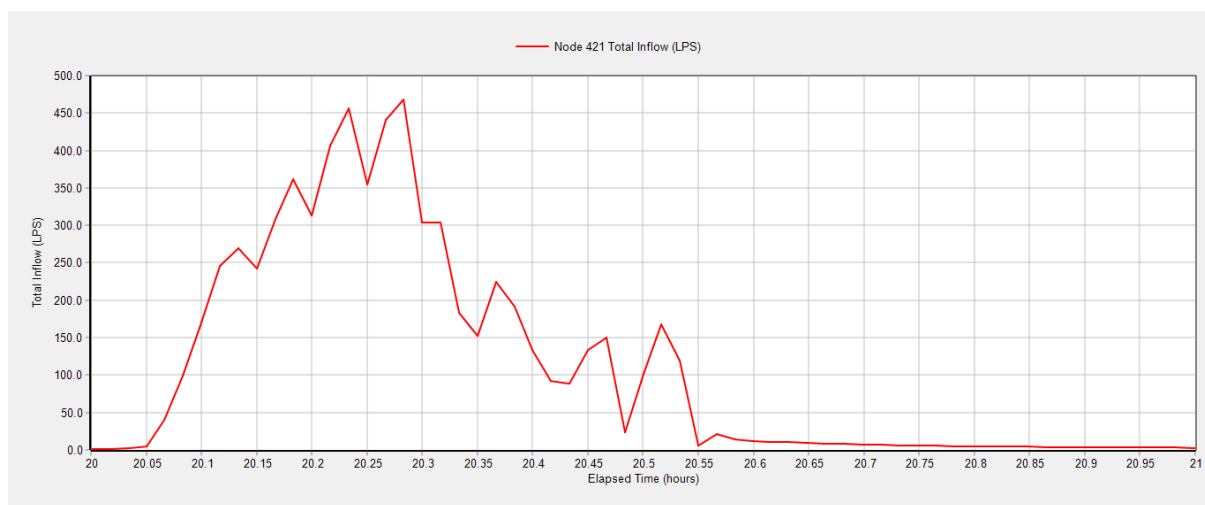
Uz analizu oborine PP5 provedena je i analiza za PP20 kako bi se moglo utvrditi funkcioniranje LID elemenata. Slika 55. prikazuje stanje pri oborini od PP20 prilikom koje se također utvrđuje uspješno svladavanje i upravljanje oborinama na pilot području pomoću zelene infrastrukture.



Slika 55. Shematski prikaz površinskog otjecanja pri oborini PP20

Uz zadovoljavajuće rezultate smanjenog površinskog otjecanja odnosno povećanja infiltracije pri oborini PP20 godina, promatranjem dotoka u čvor 421 (Slika 56.) može se zaključiti da je i prilikom oborine PP20 sustav odvodnje rasterećen djelovanjem LID elemenata te da ukupni

iznos dotoka kod PP20 iznosi svega 40% dotoka u čvoru 421 iz postojećeg stanja čime je uvelike rasterećen sustav Varijante B.



Slika 56. Ukupni dotok u čvor 421 pri oborini PP20

4.4 Usporedba hidrauličkih parametara rješenja

Analizom varijantnih rješenja korištenjem SWMM modela proizlaze vrijednosti pojedinih parametara. Sagledavanjem vrijednosti uspoređenih parametara analizira se hidraulička korist pojedine varijante rješenja koja ima velik utjecaj prilikom odabira i analize koristi određene implementacije sustava odvodnje. Usporedba parametara iz modela prikazana je u tablici 11.

Tablica 11. Usporedba hidrauličkih parametara

| Varijanta | Cijeli sustav odvodnje | | | Kritična točka na slivu (čvor 421) | |
|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| | Otjecanje (mm) | Retencija vode (mm) | Infiltracija (mm) | Vršni protok Q (m ³ /s) | Vodostaj (m n.m.) |
| <i>Varijanta A</i> | 3,918 | 0,327 | 18,205 | 1130,40 | 208,66 |
| <i>Varijanta B</i> | 0,692 | 16,206 | 14,229 | 347,21 | 208,9 |

5 USPOREDBA

5.1 Ekonomska valorizacija

Na temelju SWMM modela varijanti, izrađeni su prikazi analize troškova varijante A i varijante B dane u tablicama 12. i 13. Kod ovakvih projekta, najmjerodavniji kriterij za odabir rješenja upravo je ekonomski kriterij radi ograničenih sredstava. Iz tablica u nastavku vide se razlike u varijantama sa ekonomskog stajališta.

Tablica 12. Analiza troškova Varijante A

| ANALIZA TROŠKOVA VARIJANTE A | | | | |
|---|----------------|----------|-----------------------|---------------|
| INVESTICIJSKI TROŠKOVI | Jedinica mjere | Količina | Jedinična cijena (€)* | Ukupna cijena |
| Građevniski i zemljani radovi - OBORINSKA ODVODNJA | | | | |
| Iskop rova za polaganje mreže, nasipavanje dna rova pijeskom, zatrpavanje preostalog rova kamenim nabačajem, doprema cijevi uz rov te montaža rebrastih kanalizacijskih cijevi od PE-HD-a. Cijevi su dužine 6 m, prema statičkom proračunu ATV-127A. Spajanje cijevi izvodi se pomoću spojnice i brtve. | | | | |
| Ugradnja i ispitivanje cijevi vrši se prema HRN EN 1610. Cijevi moraju zadovoljavati tjemenu nosivost za prometno opterećenje SN 8, s prosječnom dubinom ugradnje prema uzdužnom profilu. | | | | |
| Kod spajanja cijevi je potrebno osigurati prostor za rad. Polaganje cijevi se vrši na profiliranu i zbijenu posteljicu debljine min. 15 cm. | | | | |
| cijev DN 150 | m' | 189,4 | 330 | 62 502€ |
| cijev DN 200 | m' | 2327,8 | 350 | 814 730€ |
| cijev DN 250 | m' | 452,9 | 355 | 160 779€ |
| cijev DN 300 | m' | 2590,8 | 360 | 932 688€ |
| cijev DN 350 | m' | 640,0 | 365 | 233 600€ |
| cijev DN 400 | m' | 1271,7 | 370 | 470 529€ |
| cijev DN 500 | m' | 1198,6 | 380 | 455 240€ |
| cijev DN 600 | m' | 239,4 | 390 | 93 366€ |
| cijev DN 700 | m' | 180,5 | 400 | 72 200€ |
| cijev DN 800 | m' | 24,8 | 410 | 10 168€ |
| UKUPNO | | | | 3 305 802 € |
| Građevniski radovi - PODZEMNI SPREMNICI | | | | |

| | | | | |
|--|----------------|------|-----|--------------------|
| Betoniranje temeljne AB ploče podzemnog spremnika debljine 40 cm. Ploča je armirana čelikom B500B sa zaštitnim slojem betona od 40mm. U cijenu je uključena: dobava, izrada, postavljanje, skidanje i čišćenje glatke oplata; svi potrebni radovi: nabave, dobave, ugradnje, demontiranja i čišćenja, materijal, dodatak za vodonepropusnost, prijenosi i prijevozi. Obračun po m ³ ugrađenog betona. | | | | |
| Betoniranje AB zidova podzemnog spremnika debljine 40 cm. Ploča je armirana čelikom B500B sa zaštitnim slojem betona od 40mm. U cijenu je uključena: dobava, izrada, postavljanje, skidanje i čišćenje glatke oplata; svi potrebni radovi: nabave, dobave, ugradnje, demontiranja i čišćenja, materijal, dodatak za vodonepropusnost, prijenosi i prijevozi. Obračun po m ³ ugrađenog betona. | | | | |
| Betoniranje stropne AB ploče podzemnog spremnika debljine 40 cm. Ploča je armirana čelikom B500B sa zaštitnim slojem betona od 40mm. U cijenu je uključena: dobava, izrada, postavljanje, skidanje i čišćenje glatke oplata; svi potrebni radovi: nabave, dobave, ugradnje, demontiranja i čišćenja, materijal, dodatak za vodonepropusnost, prijenosi i prijevozi. Obračun po m ³ ugrađenog betona. | | | | |
| Temeljna ploča | m ³ | 180 | 120 | 21 600 € |
| Zidovi | m ³ | 34.4 | 120 | 4 128 € |
| Stropna ploča | m ³ | 180 | 120 | 21 600 € |
| UKUPNO | | | | 47 328 € |
| SVEUKUPNO | | | | 3 053 130 € |

* Procijenjeno od strane autora iz nekoliko literaturnih izvora

Iz tabličnog prikaza troškova vidljivo je da je za Varijantu A potrebno oko 3 milijuna eura investicijskih troškova, te na godišnjoj razini održavanja od 5€ po metru dužnom cjevovoda što iznosi oko 45 597,5€ za cjevovod Varijante A dužine 9115,9 metara . Održavanje retencijskih podzemnih spremnika iznosi 1000€ godišnje. Ukupan iznos održavanja na godišnjoj razini Varijante A iznosi 46 597,5€.

* Procijenjeno od strane autora iz nekoliko literaturnih izvora

Tablica 13. Analiza troškova Varijante B

| ANALIZA TROŠKOVA VARIJANTE B | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|
| INVESTICIJSKI TROŠKOVI | Jedinica mjere | Količina | Jedinična cijena (€)* | Ukupna cijena |
| Građevniski i zemljani radovi - ZELENA INFRASTRUKTURA | | | | |
| Iskop rova za bioretencije, nasipavanje dna rova pijeskom, izrada potrebnih retencijskih slojeva, zatrpavanje preostalog rova kamenim nabačajem, oblaganje geotekstilom ,zatravljanje i postavljanje vegetacije te izvođenje drenažnih cijevi | | | | |
| Iskop rova za infiltracijske jarke, nasipavanje dna rova pijeskom, izrada potrebnih retencijskih slojeva, zatrpavanje preostalog rova kamenim nabačajem, oblaganje geotekstilom , zatravljanje i izvođenje drenaže | | | | |
| Postavljanje bačvi za kišnicu, montaža bačvi za kišnicu, spajanje na oluk, izvođenje drenažnih cijevi za ispušt. | | | | |
| Rekonstrukcija postojećih ravnih krovova u zelene krovove, izvedba hidroizolacije, postavljanje drenažnih cijevi, nasipavanje retencijskog sloja, zasađivanje biljki i zatravljanje | | | | |
| Iskopavanje i demoliranje postojećih cesta i parkirališta, uređivanje terena za izgradnju.Rekonstrukcija postojećih prometnih površina cesta, raskrižja i parkirališta. Implementacija polupropusnog asfaltnog zastora, sa retencijskim slojem, izrada drenažnih cijevi, filtarskog sloja | | | | |
| Bioretencije | m ² | 2986.9 | 160 | 477 904€ |
| Infiltracijski jarci | m ² | 7334.3 | 130 | 953 459€ |
| Bačve za kišnicu | komad | 307 | 400 | 122 800€ |
| Zeleni krovovi | m ² | 5053,5 | 230 | 1 162 305€ |
| Polupropusni asfaltni zastori | m ² | 10 937,5 | 110 | 1 203 125€ |
| UKUPNO | | | | 3 919 593€ |

* Procijenjeno od strane autora iz nekoliko literaturnih izvora

Tabličnim prikazom utvrđeno je da Varijanta B za Pilot područje košta nešto ispod 4 milijuna €, čime je Varijanta B skuplje rješenje za 870 000€. Održavanje kod Varijante B na godišnjoj razini za bioretencije iznosi 14 930€, za infiltracijske jarke iznosi 14 672€, za zelene krovove iznosi 75 802€ te za polupropusne asfaltno zastore 21 874€. Ukupan iznos održavanja na godišnjoj razini Varijante B iznosi 127 278€.

* Procijenjeno od strane autora iz nekoliko literaturnih izvora

5.2 Koristi i poboljšanja varijanti

Provođenjem analize o koristima i poboljšanjima varijanti A i B, na temelju rezultata iz SWMM modela iz razrade varijanti uočljivo je kako i jedna i druga varijanta prilikom pojave mjerodavne oborine upravljaju vodama učinkovitije od postojećeg mješovitog sustava odvodnje.

Direktne posljedice implementacije razdjelnog sustava odnosno Varijante A vidljive su kroz rasterećenje postojećeg mješovitog sustava koji preuzima svrhu odvodnje sanitarnih otpadnih voda sa razdjelnim sustavom koji preuzima ukupni oborinski dotok te ga odvodi putem novih cjevovoda do podzemne retencije (spremnika) na najnižvodnijoj točki sustava uz izvedbu sigurnosnog spremnika koji prilikom nepredviđenih oborina većeg povratnog perioda također retencira dio oborinskog dotoka. Dotoci koji se zadržavaju u podzemnom spremniku predviđeni su za korištenje prilikom pranja ulica, vatrogasnih potreba, navodnjavanja područja u sušnim periodima itd. Kod Varijante B implementacijom zelene infrastrukture ne djeluje se direktno na odvodni sustav već se izvedbom LID elemenata i objekata cijela mreža spaja u integralni sustav koji djeluje istovremeno i povezuje se u cjelinu. Simulacijom mjerodavne oborine na SWMM modelu zelene infrastrukture uočljivo je učinkovito djelovanje LID elemenata koji svojim retencijskim i infiltracijskim sposobnostima uvelike pripomažu upravljanju oborinskim dotocima. Prilikom intenzivnijih oborina većih povratnih perioda sustav zelene infrastrukture učinkovitije djeluje nego razdjelni sustav zbog izgradnje LID objekata koji uz odvodni sustav zahvaćaju, odvode, pročišćavaju i infiltriraju oborinsku vodu čime se mreža cjevovoda uvelike rasterećuje.

Dakle, kad je riječ o sagledavanju tehnoloških varijanti rješenja, prilikom razdjeljivanja sustava poteškoće u tehnološkoj izvedbi donose instalacije, vodoopskrbne cijevi te postojeći sanitarni sustav odvodnje, dok prilikom implementacije zelene infrastrukture na navedene stvari nije potrebno obraćati pažnju iz razloga što LID elementi nisu izvedeni u slojevima ispod prometnica već na samoj zelenoj površini te parkiralištima. Prilikom izvedbe LID elemenata potrebne su izvedbe rekonstrukcija površina poput parkirališta, krovova, parkova, cesta i križanja koje su svakako potrebne zbog starosti infrastrukture grada Labina.

Kako bi odredili vrijednosti kriterija valorizirale su se pojedine stavke svake varijante ocjenom od 0 do 1.

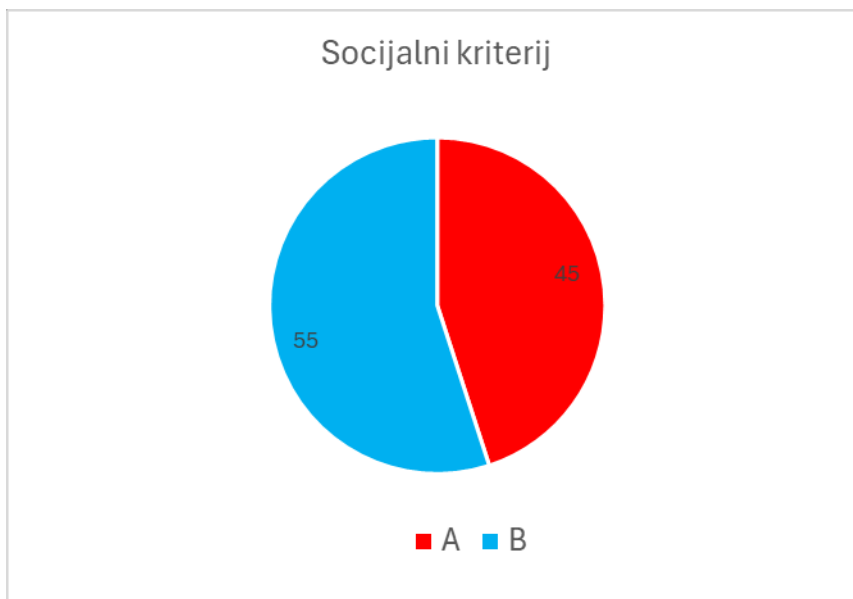
U varijanti A izgradnja novih cjevovoda dobiva ocjenu 0,60, te izgradnja podzemnih spremnika (glavnog i sigurnosnog) dobiva 0,70. Ukupan iznos ocjene za Varijantu A kod tehničko-tehnološkog kriterija iznosi 0,65. U varijanti B izgradnja zelenih krovova dobiva ocjenu 0,20 radi kompleksnosti rekonstrukcije postojećih krovova, izgradnja polupropusnih asfaltnih zastora dobiva ocjenu 0,15 radi složenosti izvedbe i mogućih organizacijskih poteškoća izazivanjem potencijalnih prometnih zastoja i gužvi tijekom izvedbe. Bioretencije i infiltracijski jarci dobivaju ocjenu 0,55 radi jednostavnosti izvođenja na zelenim površinama, te bačve za kišnicu sa ocjenom 0,50 koji rezultiraju ukupnom ocjenom od 0,35 za varijantu B za tehničko-tehnološki kriterij.

Na slici 57. grafički je prikazana podjela 10% iznosa ukupnog kriterija odabira rješenja gdje Varijanta B prikazana plavom bojom dobiva 0,35 odnosno 35%, te Varijanta A 0.65, odnosno 65%.



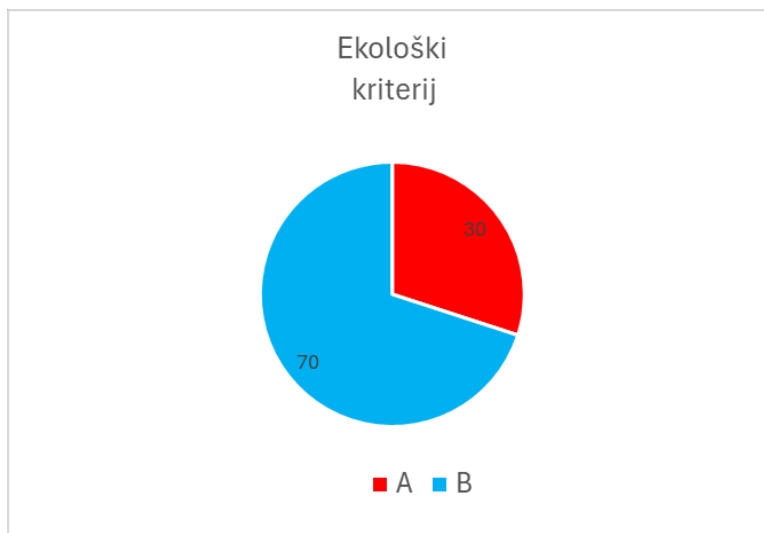
Slika 57. Prikaz odabranog rješenja pomoću tehničko-tehnološkog kriterija

Sagledavanjem socijalne koriste koja iznosi 20% kriterija odabira rješenja uočavaju se poboljšanja kod implementacije varijanata A i B. Varijantom A utječe se na dosadašnji negativni utjecaj otpadnih voda prilikom jačih oborina koje su se ispuštale nekontrolirano u recipijent što se ocjenjuje sa 0,55. Izvedbom razdjelnog sustava nekontrolirana ispuštanja i mjestimična isplivavanja dovode se pod kontrolu, te se sva oborinska voda retenira u podzemnom spremniku koji ima pozitivne koristi za stanovništvo iskorištavanjem iste kao resurs za vatrogasne svrhe, pranje ulica te za navodnjavanje u sušnim periodima. Za varijantu A retenciranje u podzemnom spremniku i ponovno iskorištavanje vode kao resursa dobiva ocjenu 0,40. Smanjenje troškova je neposredna posljedica implementacije Varijante A. Kod Varijante A, a i kod Varijante B jedno od značajnih koristi jest i smanjenje potrošnje električne energije smanjenjem vršnog dotoka na UPOV ocijenjeno kod obje varijante sa 0,50. Kod Varijante B osim smanjenja troškova električne energija na UPOV-u zbog smanjenog vršnog protoka, iznimna socijalna korist je revitaliziranje ekosustava u urbanom području izvedbom LID elemenata poput zelenih krovova, bioretencija i zatravljenih infiltracijskih jaraka koji svojom vegetacijom utječu na poboljšanje kvalitete života, povećanje evapotranspiracije te na pogodan učinak na klimatske promjene, samim time ostvaruje ocjenu 0,60. Na slici 58. uočava se raspodjela 20% kriterija odabira rješenja, gdje Varijanta B dobiva 0.55 (55%) naspram 0.45 (45%) za Varijantu A.



Slika 58. Prikaz odabranog rješenja pomoću socijalnog kriterija

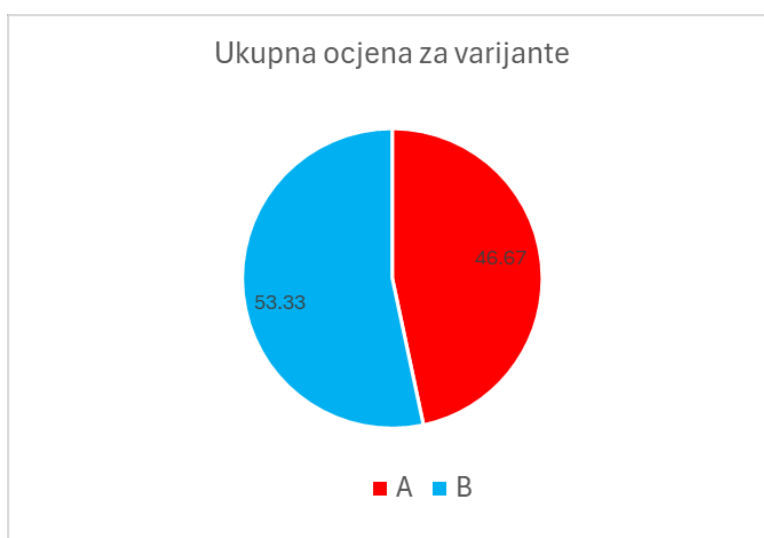
Najbitniji kriterij pored ekonomskog kriterija razrađenog u poglavlju prije, je upravo ekološki kriterij koji je djelomice pribrojan i kod socijalnog kriterija radi pozitivnih učinaka na životni standard. No, ono najbitnije kod ekološkog kriterija je zaštita okoliša i vodnih područja i životinjskih i biljnih staništa. Obije varijante uvelike pridonose pozitivnom učinku na ekosustav, Varijanta A sakupljanjem i ne ispuštanjem oborinskog dotoka koji se prije miješao sa sanitarnim i ispuštao u recipijent, gdje sada kod jačih oborina i ako se dogodi ispuštanje, bit će kontrolirano i bez zagađenja miješanjem sa sanitarnim vodama radi odvojenosti sustava. Kod Varijante B, rasterećenjem sustava uklanjaju se negativni učinci na ekosustav, te se revitaliziranjem područja prilikom implementacije LID objekata i elemenata dodatno pročišćava oborina koja se zadržava u retencijskim slojevima istih te se infiltrira u tlo s vremenom. Sadržajem vegetacije osim uklanjanja negativnih učinaka dosadašnjeg sustava uvelike se poboljšava zaštita okoliša i voda njenim ponovnim obogaćivanjem što uzrokuje povratak prirodnih vrsta životinja i biljaka u područje. Također se infiltracijom voda koja su pročišćene djelovanjem vegetacije i filtarskih slojeva, utječe na obogaćenje prirodnog podzemnog vodonosnika. Na slici 59. prikazana je raspodjela 30% ekološkog kriterija varijantama te su im dodijeljene vrijednosti sukladno njihovim pretpostavljenim učincima u vidu ekološkog kriterija, Varijanta A sa 0.30 te Varijanta B sa 0.70.



Slika 59. Prikaz odabranog rješenja pomoću ekološkog kriterija

5.3 Odabrana varijanta rješenja

Nakon iskazanih kriterija iako je Varijanta A podosta jeftinije rješenje iz pogleda investicijskih troškova i održavanja na godišnjoj razini. Svi ostali kriteriji tehničko-tehnološki, socijalni i ekološki uz SWMM model ukazuju na veću učinkovitost implementacije zelene infrastrukture koja je u ovom radu pod varijantom B. Povećani investicijski troškovi i održavanje za investitora ne zvuče primamljivo, no zbog težnje prema revitaliziranom ekosustavu u urbanoj sredini odabire se varijanta B iz razloga dugoročne održivosti koja u varijanti A nije postojana u tolikom pogledu radi mogućih komplikacija pri budućim izvedbama i nadogradnjama sustava, dok je kod integralnog sustava nadogradnja odnosno proširenje lakše izvedivo zbog mogućnosti biranja metode upravljanja vodama u sklopu zelene infrastrukture. Ocjenjivanjem varijanti proizlaze konačne vrijednosti prema kojima varijanta A ima 46,67% te varijanta B sa 53,33%.



Slika 60. Prikaz odabranog rješenja

6 ZAKLJUČAK

Potreba za rekonstrukcijom sustava odvodnje učestala je pojava prilikom razvijanja gradova, povećavanja broja stanovnika, industrijskih djelatnosti te turizma u primorskim gradovima. Grad Labin sa svojim trenutnim mješovitim sustavom odvodnje ne zadovoljava trenutne uvjete koji su potrebni za adekvatni život stanovnika područja. U ovom radu razrađena je analiza koristi rekonstrukcije postojećeg odvodnog sustava u obliku dvije varijante. Svaka varijanta sa svojim prednostima i manama je analizirana pomoću simulacijskog programa SWMM., korišteni su podaci iz Studija izvedivosti, kartografski prikazi, popis stanovništva i podaci o oborinskim dotocima za projektno područje. S obzirom da Grad Labin nema meteorološku stanicu, podaci o mjerodavnim oborinama odnosno ITP krivulje pomoću kojih su određene mjerodavne oborine odnosno intenziteti uzete su iz meteorološke postaje grada Pazina koja je mjerodavna za to područje. S obzirom da se radi o manjem gradu provedbom analize koristi rekonstrukcija utvrđeno je kako varijanta B odnosno rekonstrukcija sa zelenom infrastrukturuom naspram rekonstrukcije u razdjelni sustav (varijanta A) ima veći značaj za grad Labin i za adekvatan život stanovništva pružajući obranu od mjerodavnih oborina izvedbom zelenih krovova, bačva za kišnicu, bioretencija, polupropusnih asfaltnih zastora i infiltracijskih jaraka, čime se rasterećuje odvodni sustav, a samim time istovremeno revitalizira ekosustav i hidrološke uvjete čime pozitivno utječe na način života u gradu Labinu i zaštitu podzemnih vodonosnika.

7 POPIS LITERATURE

- [1] Rossman A. L. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1* Cincinnati: U.S. Environmental Protection agency; 2015.
- [2] Jozić J. , Nakić D. , Gverić A. *Studija Izvedivosti 2018. verzija 1. , Vodovod-Labin*
Dostupno:<https://vodovod-labin.hr/category/razvojni-projekti/razvojni-projekti-odvodnja/>
[Pristupljeno: 27.5.2024]
- [3] USACE Hydrologic Engineering Center *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual , HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*
Dostupno:<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest>
[Pristupljen: 27.05.2024]
- [4] Vita Projekt *Smjernice za tehničko projektiranje i procjenu socioekonomske izvedivosti mjera zelene infrastrukture , Vita Projekt*
Dostupno:<https://vitaprojekt.hr/hr/novosti/vepar---izra%C4%91ene-smjernice-za-tehni%C4%8Dko-projektiranje-i-procjenju-socioekonomske,46.html>
[Pristupljen: 27.05.2024]
- [5] Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine *PROGRAM RAZVOJA ZELENE INFRASTRUKTURE U URBANIM PODRUČJIMA ZA RAZDOBLJE 2021. DO 2030. GODINE*
Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine
Dostupno: <https://mpqi.gov.hr/UserDocImages/14157>
[Pristupljen: 27.05.2024]
- [6] Jozić J. , Nakić D. , Gverić A. *Studija Izvedivosti 2020. verzija 12. , Vodovod-Labin*
Dostupno:<https://vodovod-labin.hr/category/razvojni-projekti/razvojni-projekti-odvodnja/>
[Pristupljeno 27.5.2024]
- [7] Halo Istra *Istra.hr*
Dostupno: <https://www.istra.hr/hr>
[Pristupljeno 27.5.2024]
- [8] Državni zavod za statistiku *Popis Stanovništva 2021. , Popis 2021.*
Dostupno: <https://dzs.gov.hr/u-fokusu/popis-2021/88>
[Pristupljeno 27.5.2024]

[9] Jozić J. , Nakić D. , Gverić A. *Studija Izvedivosti 2023. verzija 16. , Vodovod-Labin*

Dostupno:<https://vodovod-labin.hr/category/razvojni-projekti/razvojni-projekti-odvodnja/>

[Pristupljeno: 27.5.2024]

8 POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Prikaz sučelja SWMM 5.1 programa i modela postojećeg stanja | 3 |
| Slika 2. Green-Ampt-ova metoda infiltracije [3] | 4 |
| Slika 3. Parametri Green-Ampt-ove metode infiltracije za model u SWMM 5.1 za grad Labin | 5 |
| Slika 4. Usklađivanje zelene infrastrukture sa sivom i plavom infrastrukturom u naselju [5] | 6 |
| Slika 5. Prikaz podjele važnosti kriterija [6] | 7 |
| Slika 6. Prikaz položaja Istarske županije i Grada Labina [7] | 8 |
| Slika 7. Prikaz PILOT područja za modeliranje [6] | 9 |
| Slika 8. Prikaz SWMM modela postojećeg mješovitog sustava odvodnje Grada Labina | 13 |
| Slika 9. Stanje potoka Krapanj nizvodno od sigurnosnog kišnog preljeva pri pojavi oborine PP 5 g. [9] | 14 |
| Slika 10. Nekontrolirano ispuštanje pri pojavi oborine PP 5 g. [9] | 15 |
| Slika 11. Isplivavanje u centru Labina pri pojavi oborine PP 5 g. [9] | 15 |
| Slika 12. Posljedice ispuštanja otpadne vode radi obrane od plavljenja pri pojavi oborine PP 5 g. [9]..... | 16 |
| Slika 13. Shematski prikaz dijela sustava s označenim brzinam i isplivavanjem za oborinu PP 5 g. | 17 |
| Slika 14. Uzdužni prikaz dijela sustava za oborinu PP 5 g. | 18 |
| Slika 15. Uzdužni prikaz dijela sustava za oborinu PP 5 g. | 18 |
| Slika 16. SWMM model varijante A sa podzemnom retencijom | 21 |
| Slika 17. Ukupni dotok oborina i sanitarnih voda u čvor 421 | 22 |
| Slika 18. Ukupni suhi dotok sanitarnih voda u čvor 421 | 22 |
| Slika 19. Prikaz podzemnog spremnika u SWMM modelu | 23 |
| Slika 20. Ukupni volumen dotoka u podzemni spremnik | 23 |
| Slika 21. Shematski prikaz Varijante B u SWMM model | 24 |
| Slika 22. Karakteristike površine zelenih krovova | 27 |
| Slika 23. Karakteristike retencijskog dijela zelenih krovova | 27 |
| Slika 24. Karakteristike odvoda zelenih krovova | 28 |
| Slika 25. Karakteristike spremnika bačve za kišnicu | 29 |
| Slika 26. Karakteristike odvoda bačve za kišnicu..... | 29 |
| Slika 27. Karakteristike površine bioretencije | 30 |
| Slika 28. Karakteristike sloja tla bioretencije | 30 |
| Slika 29. Karakteristike retencijskog dijela bioretencije | 31 |
| Slika 30. Karakteristike odvoda bioretencije | 31 |
| Slika 31. Karakteristike površine propusnog asfaltnog zastora | 32 |
| Slika 32. Karakteristike asfalta propusnog asfaltnog zastora | 33 |
| Slika 33. Karakteristike tla propusnog asfaltnog zastora | 33 |
| Slika 34. Karakteristike retencijskog sloja propusnog asfaltnog zastora | 34 |
| Slika 35. Karakteristike odvoda propusnog asfaltnog zastora | 34 |
| Slika 36. Karakteristike površine infiltracijskog jarka | 35 |
| Slika 37. Karakteristike retencijskog sloja infiltracijskog jarka | 36 |
| Slika 38. Karakteristike odvoda infiltracijskog jarka | 36 |
| Slika 39. Grafički prikaz dimenzija novih cjevovoda u SWMM modelu varijante A..... | 37 |
| Slika 40. Omjer dubine spremnika i ukupnih dotoka | 38 |
| Slika 41. Uzdužni profil prilikom dotoka PP5 u sigurnosni podzemni spremnik | 39 |
| Slika 42. Uzdužni profil prilikom dotoka PP5 u podzemni spremnik | 39 |
| Slika 43. Prikaz modela pri oborini PP5 u SWMM modelu | 40 |
| Slika 44. Uzdužni prikaz tlačnog tečenja u Rudarskoj ulici pri oborini PP5 | 41 |
| Slika 45. Uzdužni prikaz tlačnog tečenja u Rudarskoj ulici pri oborini PP20 | 41 |
| Slika 46. Shematski prikaz mjestimičnog isplivavanja pri oborini PP20 | 42 |
| Slika 47. Shematski prikaz pokrivenosti podslivova LID elementima | 43 |
| Slika 48. Shematski prikaz površinskog otjecanja podslivova Varijante B pri oborini PP5 | 44 |
| Slika 49. Shematski prikaz površinskog otjecanja podslivova mješovitog (postojećeg) sustav pri oborini PP5 | 45 |
| Slika 50. Shematski prikaz infiltracijske sposobnosti podslivova Varijante B pri oborini PP5 | 46 |

| | |
|--|----|
| Slika 51. Prikaz statusa modela postojećeg sustava pri oborini PP5 | 47 |
| Slika 52. Prikaz statusa modela Varijante B pri oborini PP5 | 47 |
| Slika 53. Uzdužni prikaz glavnog kolektora u Rudarskoj ulici pri oborini PP5 | 48 |
| Slika 54. Ukupni dotok u čvor 421 pri oborini PP5 | 48 |
| Slika 55. Shematski prikaz površinskog otjecanja pri oborini PP20..... | 49 |
| Slika 56. Ukupni dotok u čvor 421 pri oborini PP20 | 50 |
| Slika 57. Prikaz odabranog rješenja pomoću tehničko-tehnološkog kriterija | 55 |
| Slika 58. Prikaz odabranog rješenja pomoću socijalnog kriterija | 56 |
| Slika 59. Prikaz odabranog rješenja pomoću ekološkog kriterija | 57 |
| Slika 60. Prikaz odabranog rješenja | 57 |

9 POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Prikaz podataka iz popisa stanovništva [8] | 10 |
| Tablica 2. Prikaz infrastrukturnih elemenata na postojećem modelu | 10 |
| Tablica 3. Prikaz karakteristika slivnih područja | 11 |
| Tablica 4. ITP krivulje ocijenjene kao mjerodavne (meteorološka postaja Pazin) [2] | 12 |
| Tablica 5. Izračunate vrijednosti intenziteta odabranih mjerodavnih oborina [2] | 12 |
| Tablica 6. Srednji dnevni dotoci po kategorijama i koeficijenti dnevne i satne neravnomjernosti [2] | 13 |
| Tablica 7. Definirana varijantna rješenja | 19 |
| Tablica 8. Dimenzije, količine cijevi i duljine iz SWMM modela varijante A | 20 |
| Tablica 9. Tablični prikaz karakteristika podslivova | 25 |
| Tablica 10. Tablični rezultati podzemnih spremnika u SWMM modelu varijante A | 38 |
| Tablica 11. Usporedba hidrauličkih parametara | 50 |
| Tablica 12. Analiza troškova Varijante A | 51 |
| Tablica 13. Analiza troškova Varijante B..... | 53 |