

Efekti primene savremenih sistema za smanjenje kišnog oticaja na primeru naselja Vojlovica, Pančevo

Lazar Anđelić¹, Dušan Prodanović², Nenad Jaćimović³, Damjan Ivetić⁴

APSTRAKT: Ubrzani razvoj gradova i urbanizacija ruralnih područja predstavljaju realnost već nekoliko desetina godina u nazad, a taj trend će se neminovno nastaviti i u budućnosti. Urbanizacija utiče na povećanje onog dela urbanog oticaja koji potiče od padavina. Tradicionalni sistemi koji su ranije projektovani za odvođenje urbanog oticaja imali su za cilj da što brže taj oticaj odvedu do recipijenta. U poslednjih petnaest, dvadeset godina javila se potreba za razvojem sistema koji će se baviti kako kontrolom i smanjenjem količine urbanog oticaja, tako i poboljšanjem njegovog kvaliteta uz minimalno narušavanje životne sredine i ekosistema. Tema ovog rada je ispitivanje mogućnosti za implementaciju savremenih sistema za smanjenje kišnog oticaja na teritoriji naselja Vojlovica u Pančevu, korišćenjem modela oticaja u programu EPA SWMM. U radu je izvršeno poređenje rezultata modela oticaja u postojećim uslovima i modela sa korišćenjem savremenih sistema za smanjenje oticaja kao što su zemljani kanali, propusne staze, rezervoari.

Ključne reči: urbani slivovi, smanjenje oticaja, kontrola oticaja, SWMM

Effects of the application of modern systems for the reduction of rain runoff on the example of the settlement Vojlovica, Pančevo

ABSTRACT: The accelerated development of cities and the urbanization of rural areas present the reality for several decades now, and this trend will continue inevitably in the future. Urbanization influences the increase of that part of the urban runoff from the precipitation. Traditional systems that were previously designed for the removal of urban runoff were intended to take the runoff to the recipient as quickly as possible. In the last fifteen, twenty years there has been a need for the development of a system that will deal with controlling and reducing the amount of urban runoff, as well as improving its quality with minimal environmental and ecosystem degradation. The topic of this paper is to examine the possibilities for implementation of modern systems for reducing the runoff in the territory of Vojlovica settlement in Pančevo, using the model of runoff in the software EPA SWMM. In this paper, is made comparison of the results of the runoff model in the existing conditions and models with implementation of modern systems for the reduction of the runoff, such as channels, permeable pavements, reservoirs.

Keywords: urban runoff, storm runoff reduction, runoff control, SWMM

¹ Lazar Anđelić, dipl.građ.inž., Rudarski institut d.o.o., Beograd, lazar.andjelic84@gmail.com

² Prof. dr Dušan Prodanović, Građevinski fakultet - Univerzitet u Beogradu, dprodanovic@grf.bg.ac.rs

³ Prof. dr Nenad Jaćimović, Građevinski fakultet - Univerzitet u Beogradu, njacimovic@grf.bg.ac.rs

⁴ Damjan Ivetić, dipl. inž. građ., Građevinski fakultet - Univerzitet u Beogradu, divetic@grf.bg.ac.rs

1 Uvod

Ubrzani razvoj gradova i urbanizacija ruralnih područja predstavljaju realnost već nekoliko desetina godina u nazad, a taj trend će se neminovno nastaviti i u budućnosti. Prema nekim podacima u gradovima trenutno živi oko 50% svetskog stanovništva. Gradsko stanovništvo koristi oko 75% svih raspoloživih resursa dok gradska područja zauzimaju tek nešto iznad 2% kopnene površine planete. Smatra se da će do polovine 21.veka ubrzana urbanizacija dovesti do toga da u gradovima živi 75% svetske populacije. Ovakav razvoj, osim benefita, sa sobom donosi i određene probleme. Urbanizacija, jasno je, utiče na povećanje urbanog oticaja. S jedne strane, povećanjem broja stanovništva povećavaju se količine otpadnih voda, dok sa stanovišta hidrologije i hidroloških procesa, urbanizacija utiče na povećanje onog dela urbanog oticaja koji potiče od padavina. Tradicionalni sistemi koji su ranije projektovani za odvođenje urbanog oticaja imali su za cilj da što brže taj oticaj odvedu do recipijenta. Pri tom nisu se bavili komponentom poboljšanja kvaliteta tog oticaja pre njegovog ispuštanja u recipijent. U poslednjih petnaest, dvadeset godina javila se potreba za razvojem sistema koji će se baviti kako kontrolom i smanjenjem količine urbanog oticaja, tako i poboljšanjem njegovog kvaliteta uz minimalno narušavanje životne sredine i ekosistema. U literaturi se mogu naći različiti nazivi za ovakve sisteme. Dva najčešće korišćena su: Održivi sistemi za odvođenje urbanog oticaja (eng. Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS) i sistemi koji uz minimalno narušavanje prirodnog režima i stanja na slivu utiču na smanjenje količine i poboljšanje kvaliteta urbanog oticaja (eng. Low Impact Development Systems – LIDs).

Prema definiciji koju je dala Svetska komisija u svom izveštaju iz 1987 (World Commission on Environment and Development – WCED, 1987), održivi razvoj je „onaj koji zadovoljava potrebe i zahteve sadašnjeg stanovništva bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje zahteve“. Dakle, održivi razvoj ima dve komponente, jednu u sadašnjosti i drugu u budućnosti. (Maksimović n.d.) Sistemi i rešenja koja razvijamo u cilju poboljšanja svojih životnih uslova ne smeju biti razvijana na račun ugrožavanja resursa za naredne generacije.

Održivi sistemi za odvođenje urbanog oticaja (SUDS) za primarni cilj imaju, kao i tradicionalni sistemi, odvođenje oticaja ali i poboljšanje njegovog kvaliteta i unapređenje životne sredine. (Kellagher, i drugi 2007) Prema tome postoje tri komponente kojima ovakav sistem treba da se pozabavi: količina oticaja, kvalitet oticaja i unapređenje životne sredine. Idealan održivi sistem (SUDS) je onaj koji podjednako zadovolji sva tri zahteva, vodeći računa o tome da jedan zahtev dobije prednost u odnosu na drugi. Prednosti SuDS-a bi bile maksimizirane uz zajednički rad, odnosno saradnju između inženjera, urbanista, planera, arhitekti i lokalne uprave.

Kao velike pretnje čovečanstvu u budućnosti navode se prirodne i meteorološke katastrofe (poplave, ouje, klizišta, suše itd.). Ovi događaji pokazuju najveći porast u poređenju sa svim drugim katastrofama. Kako bi se smanjio njihov uticaj, danas se teži uvođenju rešenja, odnosno sistema zasnovanih na prirodi (NBS – *Nature-Based Solutions*), umesto tradicionalnih sistema za zaštitu od prirodnih i meteoroloških katastrofa. Prema *Olsen and Bishop (2009)* i *van der Nat et al. (2016)* takva rešenja su i isplativija i primenljivija od tradicionalnih inženjerskih rešenja. Takođe, još jedna bitna stvar je i uticaj ovakvih rešenja na društvene, ekonomske i kulturološke aspekte, pa je to još nešto o čemu treba voditi računa uz sami tehnički razvoj.

2 Tema

Pančevo je grad u Banatu, na obali reke Tamiš. Sam grad, sa prigradskim naseljem Starčevo, broji oko 85.000 stanovnika. Pančevo predstavlja urbani centar regiona i kao takav ima potencijal za širenje. Zahvaljujući svojoj arhitekturi, odnosno urbanizmu, grad Pančevo poseduje i veliki potencijal za implementaciju održivih sistema za odvođenje urbanog oticaja (SuDS).

Tema ovog rada je poređenje rezultata implementacije održivih sistema za odvođenje urbanog oticaja na teritoriji grada Pančeva, naselja Vojlovica, korišćenjem modela oticaja u programu EPA SWMM. Model u EPA SWMM-u je dinamički model padavine/oticaaj, koji se koristi kako za

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

pojedinačni slučaj tako i za dugoročnu simulaciju kvaliteta i kvantiteta oticaja, prvenstveno u urbanim sredinama.

SWMM obuhvata razne hidrološke procese koji generišu oticanje sa urbanih područja kao što su:

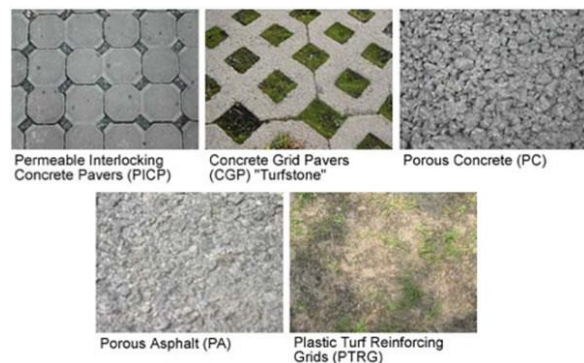
- vremenski promenljive padavine
- isparavanje sa površine stajaćih voda
- akumuliranje i topljenje snega
- prihvatanje i skladištenje padavina u depresijama
- infiltracija padavina u nezasićene slojeve podzemnih voda
- prelivanje između podzemnih voda i drenažnih sistema
- nelinearno snabdevanje rezervoara
- prihvatanje i zadržavanje padavina/oticaaja različitim sistemima koji minimalno narušavaju prirodni režim i stanje na slivu

U okviru ovog rada biće prikazani rezultati primene tri LID (eng. Low Impact Development) elementa, "rain garden", koji će u konkretnom slučaju predstavljati kanal određenih dimenzija iskopan u prirodnom materijalu u okviru odabranog subcatchment-a (Slika 1), "permeable pavement" odnosno propusni pločnik-staza, koji će u ovom modelu biti implementiran u subcatchment na kom se nalazi parking i predstavljace vodopropusne behaton ploče (Slika 2), kao i sistem postavljanja "rezervoara" između dva šahta, a ispod standardnog cevovoda, koji će biti modeliran primenom SWMM alata "orifice link" i "storage node" (Slika 3).



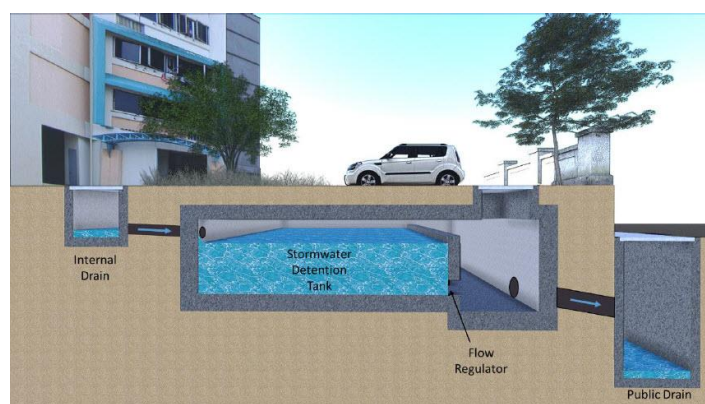
Slika 1. Primer izgleda jednog zatravnjenog kanala

Figure 1. An example of a grassy channel



Slika 2. Primeri nekoliko vodopropusnih pločnika

Figure 2. Examples of several permeable pavements



Slika 3. Primer korišćenja rezervoara između šahtova kišne kanalizacije

Figure 3. An example of using a reservoir between two manholes of rainwater drainage

3 Model

3.1 Uvod

U programskom paketu EPA SWMM, verzija 5.1 i novije, postoji mogućnost za korišćenje gotovih "alata" za modeliranje nekih karakterističnih SUDS, odnosno LID, elemenata. Takvi elementi se prvo definišu, sa svim svojim karakteristikama, a zatim se implementiraju u željenu slivnu površ (Subcatchment). Za svaki element je potrebno znati osnovne karakteristike, dimenzije, stepen pokrivenosti vegetacijom, kvalitet i karakteristike zemljišta, odnosno materijala itd. U uputstvu za korišćenje programa (User Manual), detaljno su opisani svi parametri koje treba uneti, u kojim se dimenzijama unose kao i šta konkretno predstavljaju.

Jedan od osnovnih podataka koje treba uneti za svaki LID element je procenat površine koji zauzima unutar date slivne površi (Subcatchment). Najveći problem korisnicima, sudeći prema stručnim, predmetnim internet forumima, predstavlja uticaj određenog LID elementa na samu slivnu površ, odnosno, način na koji se menjaju površina i procenat nepropusnih (samim tim i propusnih) površina unutar definisane slivne površi. Razjašnjenje ovog problema i toga kako program "posmatra" LID elemente, dato je u nastavku.

Pri definisanju LID elementa, odnosno pri njegovom implementiranju u subcatchment, potrebno je definisati površinu koju zauzima jedan LID element kao i koliko takvih elemenata ima na izabranom subcatchment-u. Program će tada sam sračunati koliki je procenat površine subcatchment-a koju će zauzimati LID element. Međutim, taj podatak neće imati uticaj na karakteristike samog subcatchment-a. Unutar prozora za unošenje podataka o subcatchment-u, potrebno je izmeniti podatke o procentu vodonepropusnih površina. Novi procenat vodonepropusnih površina predstavljaće odnos vodonepropusne površine na kojoj se ne nalazi LID i ukupne površine bez LID elementa.

Način na koji se to radi, može se prikazati na primeru jednog subcatchment-a ukupne površine 10ha. U koliko smo definisali da je bez LID elemenata procenat vodonepropusnih površina 30%, to znači da je ukupna vodonepropusna površina 3ha, dok je ukupna vodopropusna površina 7ha. Ako izabrani LID svojom površinom zauzima 20% ukupne površine, odnosno 2ha i celom svojom površinom se nalazi na vodopropusnom terenu, to znači da će ukupna površina subcatchment-a bez LID-a biti $10-2=8$ ha, dok će površine vodopropusnog i vodonepropusnog terena bez LID-a redom biti $7-2=5$ ha, odnosno $3-0=3$ ha. Novi procenat vodonepropusnih površina izabranog subcatchment-a će biti $3/8=37.5\%$. Istom analogijom, za slivnu površ površine 10ha, gde je po 50% vodopropusnih i vodonepropusnih površina, implementiranjem LID elementa koji zauzima 1ha vodopropusnih i 2ha vodonepropusnih površina dobijamo: površina bez LID-a je $10-3=7$ ha, površina vodopropusnog terena $5-1=4$ ha, a površina vodonepropusnog terena $5-2=3$ ha. Odavde sledi da je sada novi procenat vodonepropusnih površina $3/7=42.8\%$.

3.2 Podaci modela

Odabir mogućih, odnosno odgovarajućih, optimalnih LID sistema i njihova implementacija u model na teritoriji celog jednog naselja je veoma zahtevan i dugotrajan posao. U ovom radu su odabrane dve slivne površi, odnosno dva subcatchment-a, koja na adekvatan način mogu reprezentovati rezultate primene određenih LID sistema.

Subcatchment S40801 koji u prirodnim, odnosno trenutnim uslovima ima slivnu površ od oko 19.14 ha, sa prosečnim nagibom od oko 0.92% i oko 20.2% vodonepropusnih površina. Čvor, odnosno šaht koji prihvata oticaj sa ove slivne površi je čvor 6834. Kota dna ovog šahta je na 75.99 mm, sa maksimalnom dubinom 1.2 m od površine terena. Dalje, oticaj ide cevovodom 7666 u kome je maksimalna visina punjenja 0.4 m i dužine oko 471 m, do čvora 6838. Šaht u ovom čvoru je maksimalne dubine 1.47 m, a kota dna je na 74.76 mm. Na ovoj slivnoj površi, sa svim pratećim segmentima, ispitani su rezultati primene LID sistema „rain garden“, odnosno iskopa zemljanog, zatravnjenog kanala, i implementacije vodopropusnog rezervoara između čvorova 6834 i 6838.

Rezultati primene vodopropusnih pločnika (permeable pavement), prikazani su na subcatchment-u S40641 na čijoj se površini nalazi asfaltirani parking približne dimenzije 60x150m.

Ukupna površina ovog sliva je 59.74 ha, sa prosečnim padom oko 0.79%, dok je procenat vodonepropusnih površina 20.2%. Površinski oticaj sa ovog sliva odlazi u šaht u čvoru 6622, čija je maksimalna dubina 1.81 m i kota dna na 75.19 mm.

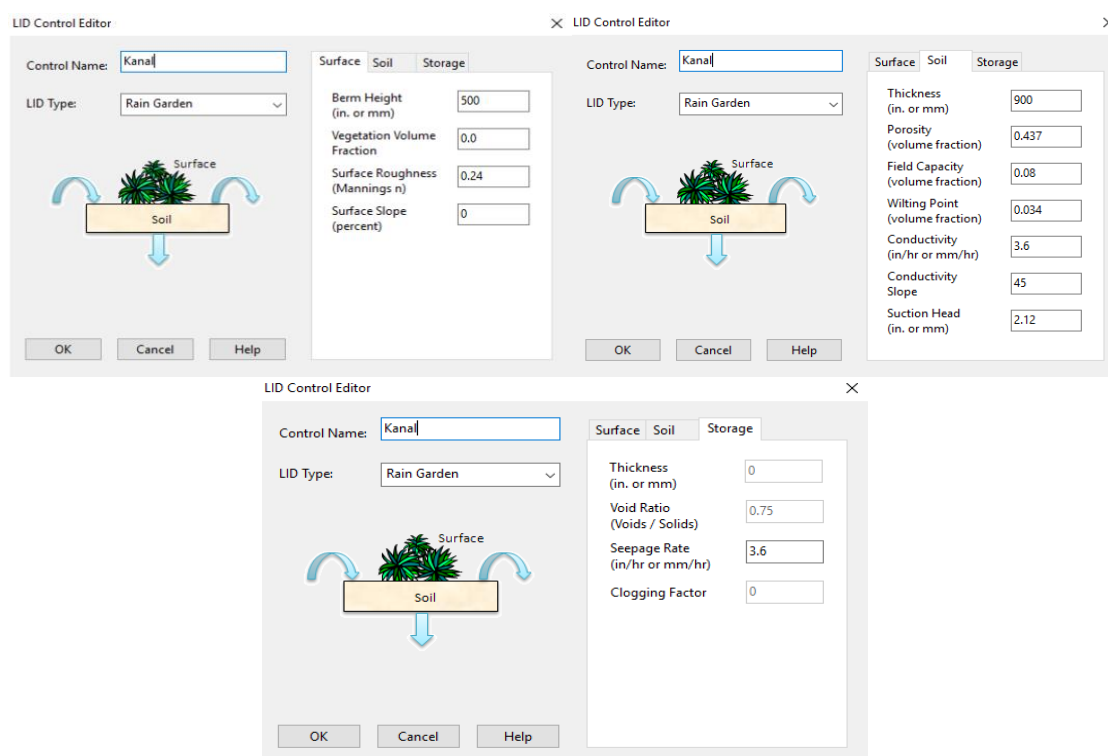
U šahtove na čvorovima 6838 i 6628 dolaze i cevovodi iz drugih šahtova sa određenim količinama vode koje i pre i posle implementacije LID sistema za potrebe ovog rada ostaju iste, pa će se efekti implementacije LID sistema ogledati u razlici ova dva rezultata.

Za potrebe ovog rada, kao ulazni podatak modela, odabrana je merodavna velika kiša (Raingage), 15-minutna kiša intenziteta 118 mm/h/ha. Rezultati svih ovih proračuna dati su u nastavku rada.

4 Rezultati

4.1 Rain garden – zemljani, zatravnjeni kanal

Implementacija otvorenog, zemljanog kanala u slivnu površ S40801, modelirana je na dva načina, primenom LID alata „rain garden“, i primenom standardnih SWMM alata, vodopropusnog rezervoara, odnosno „storage node“. U nastavku sa date karakteristike oba modela, odnosno korišćenih alata, a rezultati su prikazani na kraju, zbirno, radi lakšeg poređenja.



Slika 4. Karakteristike zadatog „rain garden“-a

Figure 4. Set characteristics of „rain garden“

4.1.1 Rain garden

Kao što je već napomenuto, LID element rain garden u ovom slučaju predstavlja zemljani kanal. Pretpostavljena dubina punjenja kanala je 0.5m, srednja širina 1.0m i dužina 470m. Karakteristike ovog kanala, odnosno zadatog rain garden-a su, prema SWMM LID editoru, date su na Slici 4. U modelu je moguće podesiti procenat oticaja sa vodonepropusnih površina koja dolazi do LID sistema. Ovde je usvojeno da 100% oticaja sa vodonepropusnih površina dolazi do kanala. Dalje, u zavisnosti od trenutne zapunjenosti kanala, voda se zadržava ili preliiva. Kanal je modeliran samo kao rezervoar

za vodu, sa ravnim dnom i bez sopstvenog izliva. Sva voda koja se u njemu zadrži, u nekom trenutku će infiltrirati u zemlju.

4.1.2 Storage node

Ovaj slučaj, odnosno model, urađen je praktično kao pokušaj modeliranja prethodnog LID sistema, rain garden-a, pomoću standardnih SWMM alata. Postavljen je „storage node“, rezervoar, približno iste zapremine kao kanal u prethodnom slučaju. Visina punjenja rezervoara je ograničena na 0.5m. Dno i stranice rezervoara su vodopropusne, sa istim koeficijentom vodopropusnosti, 3.6 mm/h. Površinski oticaj sa predmetnog sliva, subcatchment-a S40801, sada ide pravo u rezervoar. Kao dodatak ovom modelu, bilo je neophodno postaviti „idealnu“ pumpu (pumpu koja prepumpava kompletnu količinu vode, sa zadatim kotama uključivanja i isključivanja) koja svu vodu iznad kote 0.5 m u rezervoaru prepumpava u šaht u čvoru 6834. Na taj način je regulisan slučaj viška vode, odnosno vode koja prelije reko kanala, a koja svakako na kraju završi u šahtu. Za razliku od prethodnog slučaja, ovde se proračunom u dovoljno dugom vremenskom periodu, može dobiti trenutak kada će rezervoar, odnosno kanal ponovo ostati potpuno prazan u slučaju da nema novih padavina, odnosno dobija se visina zapunjenosti kanala u bilo kom trenutku proračuna.

4.1.3 Poređenje rezultata

Zbog preglednijeg prikaza rezultata, tabele su u ovom radu prikazane kao slike. Takođe, iz istog razloga, prikazani su rezultati proračuna do 10h od početka padavina. Svi tabelarni rezultati dati su kao prilozi. U Prilogu 1, prikazani su uporedni rezultati modela trenutnog stanja, sa primenom LID-a (rain garden) i sa primenom „storage node“-a. Na slici 5 je prikazano tabelarno poređenje ovih rezultata.

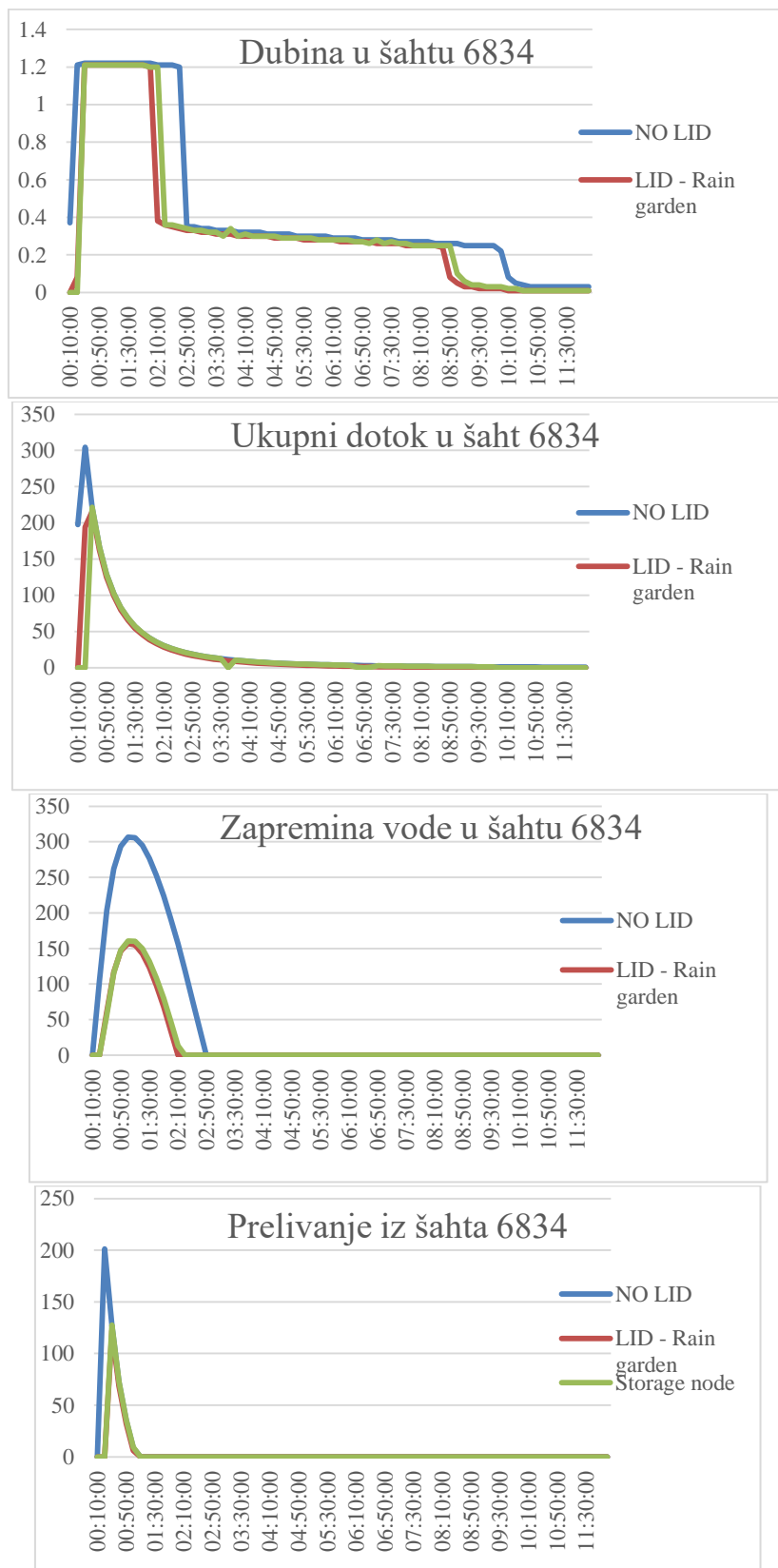
4.1.4 Komentar rezultata

U priloženim dijagramima, prikazani su rezultati modela u šahtu u čvoru 6834. Isti rezultati su prikazani i u tabeli u Prilogu 1. U tabeli su prikazani: Depth – dubina vode u šahtu; Head – apsolutna kota vode u šahtu; Volume – zapremina vode u šahtu; Total inflow – ukupni doticaj vode u šaht; Flooding – prelivanje, količina vode koja preliva iz šahta.

Kao što se može videti na priloženim dijagramima, rezultati dva modela, „rain garden“ i „storage node“ daju jako slične rezultate, što je i u redu jer zapravo predstavljaju isto rešenje. Razlike koje se javljaju u rezultatima mogu biti usled nekoliko faktora. Rezervoar je definisan samo svojom zapreminom i koeficijentom vodopropusnosti dok kod „rain garden“-a u LID Editoru postoji još nekoliko karakteristika zemljišta koje mogu uticati na rezultate. Dalje, pretpostavka je da implementacijom „rain garden“-a u slivnu površ, određena količina vode sa površi može doći i direktno u šaht (osim vode sa vodonepropusnog dela sliva, jer je na početku definisano da ovaj oticaj odlazi u kanal), dok u drugom slučaju ukupan oticaj sa sliva dolazi u rezervoar, odakle višak ide u šaht. Prednost drugog slučaja, odnosno rezervoara, je ta što dovoljno dugim proračunom možemo doći do trenutka kada rezervoar, odnosno kanal ostaje ponovo prazan (kada zemlja upije svu vodu). Takođe, na ovaj način je moguće i pratiti nivo vode u kanalu po vremenu, što u prvom slučaju nije moguće. Za prikazane uslove kanal će potpuno isušiti nakon oko 6 dana i 8h.

Ono što je u ovom modelu bilo najbitnije pokazati, odnosno što predstavlja temu ovog rada, jeste da implementacija LID sistema, u ovom slučaju daje uočljive rezultate. Postavljanjem (iskopavanjem) kanala predloženih dimenzija, što je na datom slivu u konkretnom slučaju na terenu potpuno izvodljivo, smanjilo bi količinu vode koja preliva preko šahta i odložilo pik, odnosno maksimum prelivanja. Iz priloženih tabela se može videti da bi u slučaju velikih kiša maksimum prelivanja bio smanjen za skoro 50%. Ako se u obzir uzme da je ovo samo jedna slivna površ i samo jedan šaht, jasno je da bi implementacija ovog tipa LID sistema na celom slivu (gde uslovi na terenu to dozvoljavaju) znatno poboljšala upravljanje oticajem u periodima velikih kiša. Na velikoj površini naselja Vojlovica, odnosno na velikom broju slivnih površi, postoji mogućnost primene ovog LID sistema, istih ili sličnih karakteristika.

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.



Slika 5. Uporedni rezultati modela u čvoru 6834 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Figure 5. Comparative results of the model in the node 6834 (rain 15min – 118mm/h/ha)

4.2 Podzemni, vodopropusni rezervoar između dva šahta

Ovaj primer LID sistema, odnosno sistema za smanjenje površinskog oticaja, modeliran je uz pomoć standardnih SWMM paketa, „orifice link“ i „storage node“, s tim što je u prvom slučaju korišćen vodopropusni rezervoar („storage node“), sa koeficijentom filtracije 3.6mm/h, a u drugom slučaju vodonepropusni, sa dodatkom pumpe čija je kriva zadata na osnovu dubine vode u rezervoaru, odnosno površine koja je pod vodom. Kapacitet pumpe odnosno protok je zadat kao proizvod koeficijenta filtracije i trenutne površine rezervoara koja je pod vodom (površina dna i stranica).

Rezervoar je postavljen između šahtova u čvorovima 6834 i 6838. Treba imati u vidu da čvor 6838 predstavlja i čvor u koji se uliva površinski oticaj sa susednog sliva, kao i još jedan cevovod. Podaci, odnosno količina vode koja dolazi iz ova dva „izvora“ do čvora 6838 su nepromenjeni u svim varijantama, pa su dati rezultati korisni za poređenje implementacije sistema na jednom slivu, odnosno jednom cevovodu.

U modelu u ovom radu, „orifice link“ je zadat kao kružni otvor, prečnika 0.2m i nalazi se pri dnu šahta. Rezervoar, odnosno „storage node“, je širine 1.0m i dužine 470m, što je približno rastojanje između dva šahta. Maksimalna dubina vode u rezervoaru je 1.0m. Cevovod koji direktno spaja dva šahta, pomeren je na veću visinu, odnosno, postavljen je tako da se vrh ove cevi poklapa sa vrhom rezervoara. U nastavku, na slikama 6 i 7, prikazani su uporedni rezultati modela trenutnog stanja i slučaja postavljanja podzemnog rezervoara između šahtova (obe varijante modela) u šahtovima 6834 i 6838. Isti rezultati prikazani tabelarno, dati su u Prilozima 2 i 3.

4.2.1 Komentar rezultata

Kao što se može videti u svim priloženim dijagramima i tabelama u Prilozima 2 i 3, rezultati modela ovog sistema postavljeni na dva različita načina, daju gotovo identične rezultate. To pokazuje način na koji funkcioniše koeficijent vodopropusnosti unutar „storage node“ editora, i daje mogućnost za primenu pumpe kao zamene za infiltraciju u modelu, naravno, sa unapred definisanim karakteristikama, odnosno tačno zadatom krivom.

Dalje, kao što je to bio slučaj i sa zemljanim kanalom, i ovaj sistem daje značajno poboljšanje u upravljanju površinskim oticajem. Maksimalno prelivanje vode u oba čvora je odloženo i znatno smanjeno. Mogućnost primene ovog sistema u naselju Vojlovica je takođe široka, ali treba napomenuti da bi izvođenje radova na implementaciji ovakvog sistema zahtevalo mnogo veće radove i ulaganja nego što je to slučaj npr. sa iskopom kanala.

4.3 Permeable pavement - vodopropusni pločnik

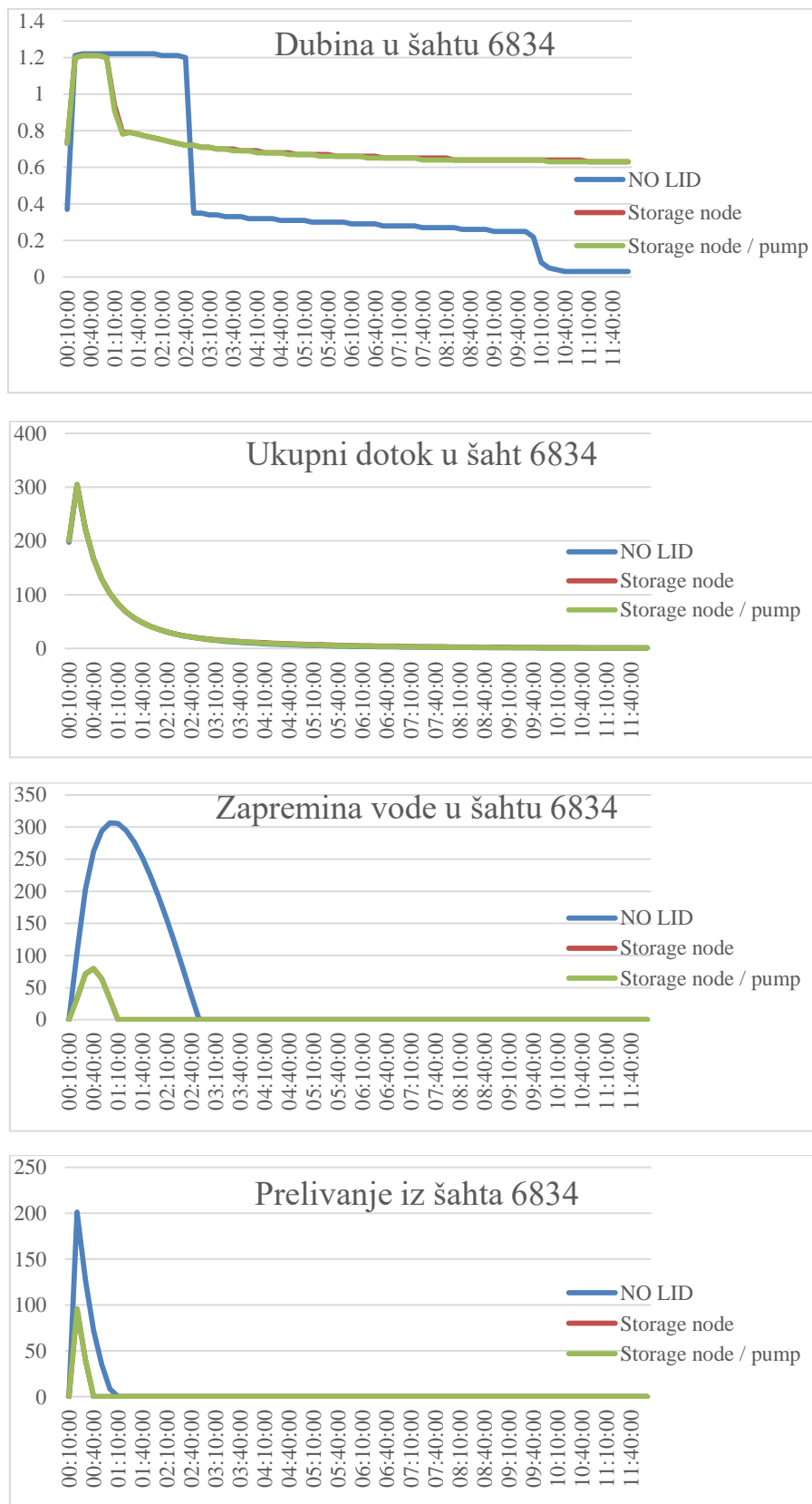
Vodopropusni pločnik, odnosno „permeable pavement“, predstavlja još jedan LID alat unutar programa SWMM čiji su rezultati primene ispitani u ovom radu. Kao što je ranije već rečeno, rezultati primene ovog LID sistema prikazani su na subcatchment-u S40641 na čijoj se površini nalazi vodonepropusni asfaltirani parking. Pretpostavka je da će LID sistem zauzimati 1.5% vodonepropusnih površina na ovom slivu. Karakteristike ovog LID sistema, date su na slici 8.

4.3.1 Poređenje rezultata

U ovom radu izvršeno je poređenje rezultata sa i bez primene LID sistema „permeable pavement“, odnosno uticaj istog na šaht koji prima direktni oticaj sa predmetnog sliva. Odabrani LID sistem u konkretnom slučaju predstavlja parking izveden od vodopropusnih behaton ploča, dimenzija 60x150 m, umesto postojeće asfaltne površine. Na slici 9 prikazani su uporedni rezultati u čvoru 6622, kao i količine površinskog oticaja sa sliva S40641. I ovde treba napomenuti da u predmetnom čvoru postoje i drugi doticaji, ali se oni ne menjaju pa je moguće izvršiti analizu uticaja jednog LID sistema na ovoj slivnoj površi.

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

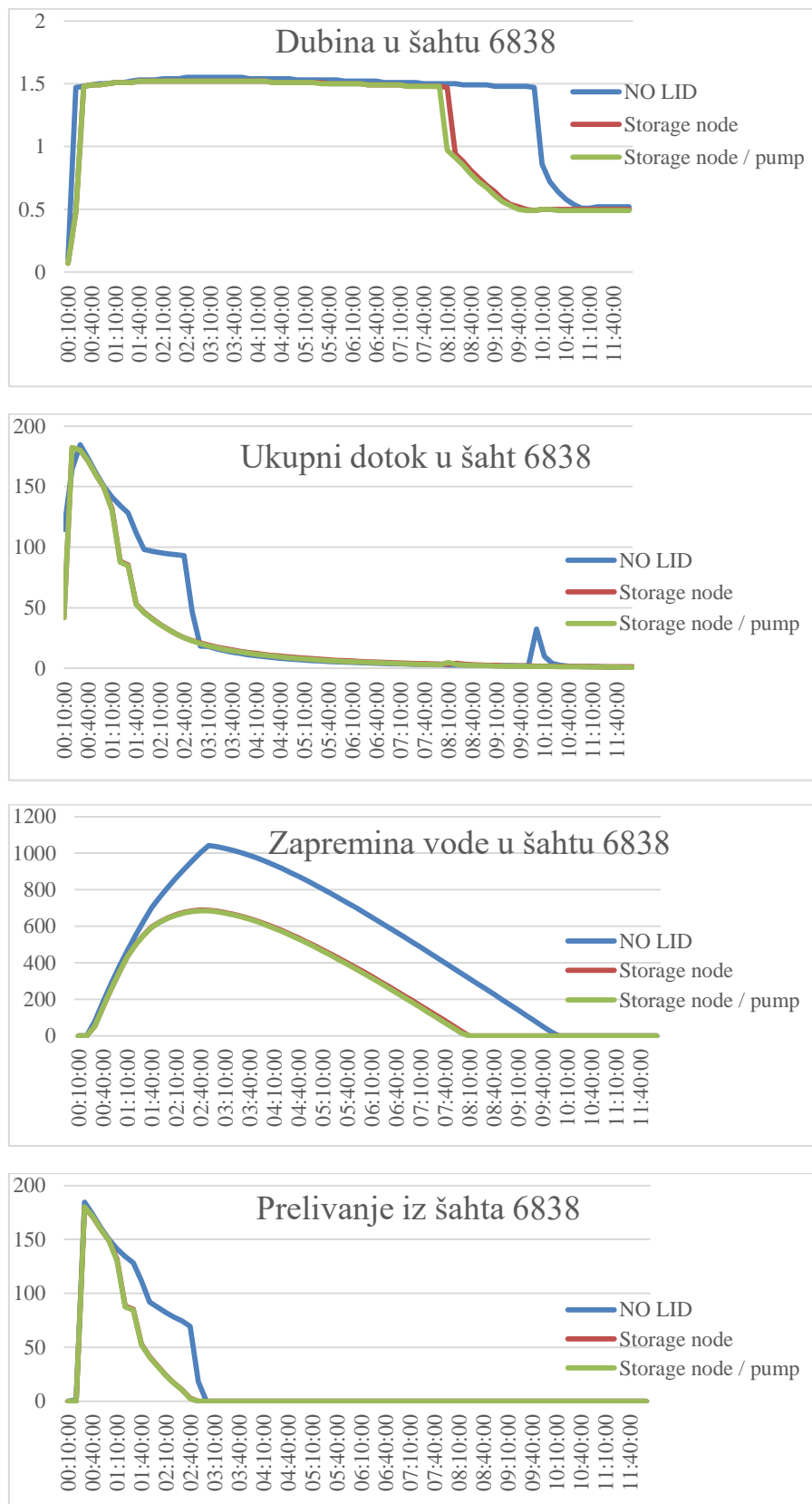


Slika 6. Usporedni rezultati modela u uzvodnom čvoru 6834 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Figure 6. Comparative results of the model in the upstream node 6834 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

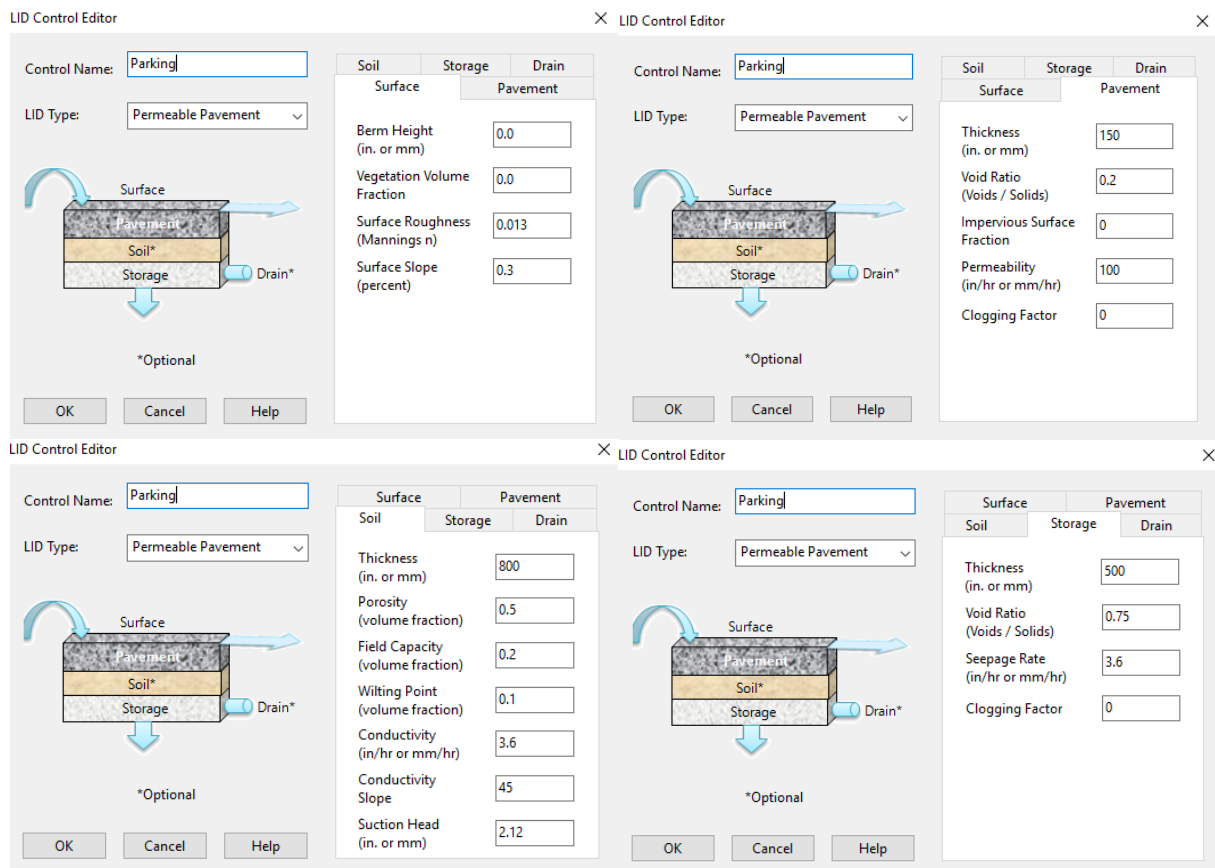


Slika 7. Usporedni rezultati modela u nizvodnom čvoru 6838 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Figure 7. Comparative results of the model in the downstream node 6838 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

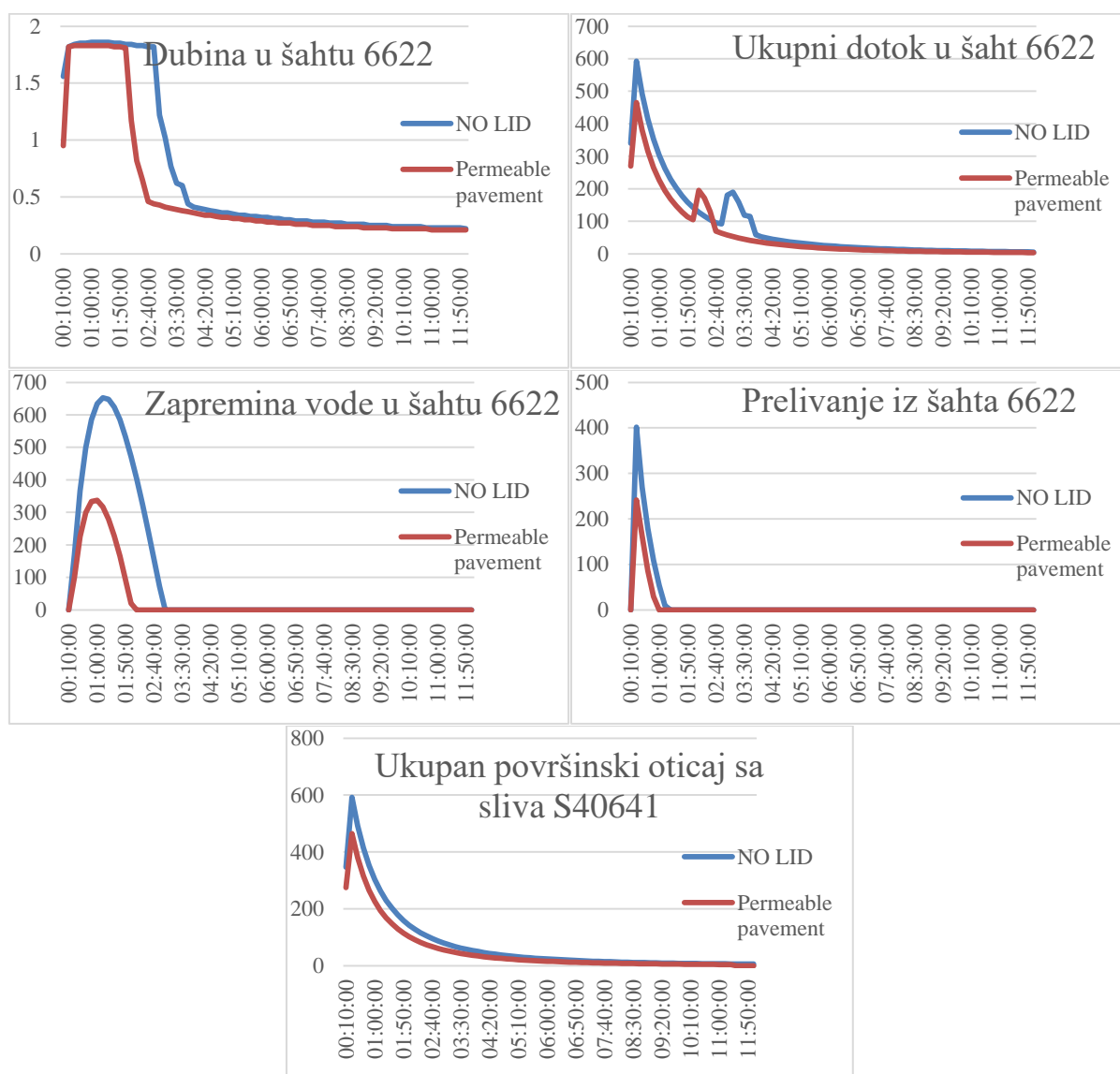


Slika 8. Karakteristike zadatog „permeable pavement“-a

Figure 8. Set characteristics of „permeable pavement“

4.3.2 Komentar rezultata

Kao što se može zaključiti prema priloženim dijagramima i tabeli u Prilogu 4, primena ovakvog LID sistema, zamena asfaltirane površine parkinga vodopropusnim pločama, daje veoma dobre rezultate po pitanju smanjenja površinskog oticaja. To se može videti i u rezultatima oticaja sa slivne površi i u rezultatima šahta u koji se taj oticaj izliva. Maksimum preliivanja u ovom šahtu je odložen i smanjen za skoro 50%. Pri tome, treba napomenuti da zadata površina parkinga od 9000m², na ovom slivu predstavlja svega oko 1.5% površine, odnosno, smanjuje procenat vodonepropusnih površina sa 20.2% na oko 18.7%. Iz svega ovoga se može zaključiti da bi zamena asfaltnih površina na parkinzima, vodopropusnim pločama dala i te kako dobre rezultate po pitanju smanjenja površinskog oticaja, bilo da je reč o manjim ili većim površinama. Da bi efekti bili veći, u zavisnosti od konkretnih uslova na terenu, bilo bi potrebno izvršiti i zamenu manjeg ili većeg sloja zemlje ispod samih ploča, kako bi koeficijent filtracije ovog zemljišta bio veći.



Slika 9. Uporedni rezultati modela u čvoru 6622 i subcatchmentu S40641 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Figure 9. Comparative results of the model in the node 6622 and subcatchment S40641 (rain 15min – 118mm/h/ha)

5 Zaključak

Tema ovog rada bila je poređenje rezultata implementacije održivih sistema za odvođenje urbanog oticaja na teritoriji grada Pančeva, naselja Vojlovica, korišćenjem modela oticaja u programu EPA SWMM. U radu su prikazani rezultati primene tri LID (eng. Low Impact Development) elementa, “rain garden”, koji u konkretnom slučaju predstavlja kanal iskopan u prirodnom materijalu u okviru odabranog subcatchment-a, “permeable pavement” odnosno propusni pločnik-staza, koji je u ovom modelu implementiran u subcatchment na kom se nalazi parking i predstavlja vodopropusne behaton ploče, kao i sistem postavljanja “rezervoara” između dva šahta, a ispod standardnog cevovoda, koji je modeliran primenom SWMM alata “orifice link” i “storage node”.

Pored toga što su za potrebe ovog rada prikazani rezultati primene LID sistema samo na po jednoj slivnoj površi, rezultati njihove primene su evidentni. U svim prikazanim tabelama, mogu se videti pozitivni efekti primene LID sistema. Odabir optimalnog sistema za smanjenje površinskog

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

oticaja je kompleksan posao i zavisi od mnogo faktora. Konfiguracija terena, izgrađenost naselja, tehničke mogućnosti za izvođenje radova, ekonomski faktor, samo su neki od njih, ali ono što se i iz ovog rada može zaključiti jeste da će svaki implementirani LID sistem, koji je adekvatno osmišljen i isprojektovan, dati dobre rezultate i smanjiti površinski oticaj. Rezultati prikazani u ovom radu samo potvrđuju potrebu za daljim ispitivanjima mogućnosti primene LID sistema u svim urbanim sredinama.

Literatura

1. Vasilić Ž. (2013): Održivi sistemi za kontrolu urbanog oticaja; dimenzionisanje i analiza funkcionisanja infiltracionog bazena na ekperimentalnom slivu, Seminarski rad, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu
2. Maksimović Č.: "General overview of urban drainage principles and practice"
3. Woods Ballard B., Wilson S., Udale-Clarke H., Illman S., Scott T., Ashley R., Kellagher R.: The SuDS Manual, CIRIA, London 2015.
4. Woods Ballard B., Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R., Shaffer P.: The SUDS Manual, CIRIA, London 2007.
5. Storm Water Management Model (SWMM) User's Manual Version 5.1

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Prilog 1. Uporedni rezultati modela u čvoru 6834 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Hours	NO LID					LID - Rain garden					Storage node				
	Node 6834					Node 6834					Node 6834				
	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)	Total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)	Total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)	Total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)
0:10:00	0.37	76.36	0	197.66	0	0	75.99	0	0	0	0	75.99	0	0	0
0:20:00	1.21	77.2	104.91	304.52	201.13	0.08	76.07	0	194.26	0	0	75.99	0	0	0
0:30:00	1.22	77.21	203.32	221.06	126.82	1.21	77.2	60.51	215.87	122.17	1.21	77.2	56.33	221.49	127.51
0:40:00	1.22	77.21	262.01	166.51	72.33	1.21	77.2	116.72	162.41	68.66	1.21	77.2	115.46	166.84	73.05
0:50:00	1.22	77.21	293.61	129.06	35.12	1.21	77.2	146.28	125.48	31.99	1.21	77.2	147.48	129.39	35.78
1:00:00	1.22	77.21	306.35	102.43	8.76	1.21	77.2	157.25	99.24	6.01	1.21	77.2	160.62	102.7	9.42
1:10:00	1.22	77.21	305.57	82.89	0	1.21	77.2	154.9	80	0	1.21	77.2	160.23	83.1	0
1:20:00	1.22	77.21	294.81	68.18	0	1.21	77.2	142.7	65.5	0	1.21	77.2	149.83	68.38	0
1:30:00	1.22	77.21	276.52	56.9	0	1.21	77.2	123.09	54.34	0	1.21	77.2	131.89	57.07	0
1:40:00	1.22	77.21	252.44	48.06	0	1.21	77.2	97.77	45.67	0	1.21	77.2	108.14	48.24	0
1:50:00	1.22	77.21	223.83	41.02	0	1.21	77.2	67.99	38.75	0	1.21	77.2	79.83	41.19	0
2:00:00	1.22	77.21	191.62	35.36	0	1.2	77.19	34.67	33.18	0	1.2	77.19	47.92	35.51	0
2:10:00	1.21	77.2	156.52	30.74	0	0.38	76.37	0	28.63	0	1.2	77.19	13.1	30.86	0
2:20:00	1.21	77.2	119.09	26.92	0	0.36	76.35	0	24.87	0	0.36	76.35	0	27.02	0
2:30:00	1.21	77.2	79.75	23.72	0	0.35	76.34	0	21.75	0	0.36	76.35	0	23.83	0
2:40:00	1.2	77.19	38.84	21.04	0	0.34	76.33	0	19.12	0	0.35	76.34	0	21.13	0
2:50:00	0.35	76.34	0	18.76	0	0.33	76.32	0	16.9	0	0.34	76.33	0	18.85	0
3:00:00	0.35	76.34	0	16.82	0	0.33	76.32	0	14.99	0	0.33	76.32	0	16.89	0
3:10:00	0.34	76.33	0	15.13	0	0.32	76.31	0	13.36	0	0.33	76.32	0	15.21	0
3:20:00	0.34	76.33	0	13.69	0	0.32	76.31	0	11.95	0	0.32	76.31	0	13.75	0
3:30:00	0.33	76.32	0	12.42	0	0.31	76.3	0	10.72	0	0.32	76.31	0	12.48	0
3:40:00	0.33	76.32	0	11.32	0	0.31	76.3	0	9.65	0	0.3	76.29	0	0	0
3:50:00	0.33	76.32	0	10.35	0	0.31	76.3	0	8.71	0	0.34	76.33	0	10.39	0
4:00:00	0.32	76.31	0	9.49	0	0.3	76.29	0	7.88	0	0.3	76.29	0	9.54	0
4:10:00	0.32	76.31	0	8.73	0	0.3	76.29	0	7.14	0	0.31	76.3	0	8.77	0
4:20:00	0.32	76.31	0	8.05	0	0.3	76.29	0	6.49	0	0.3	76.29	0	8.09	0
4:30:00	0.32	76.31	0	7.43	0	0.3	76.29	0	5.91	0	0.3	76.29	0	7.48	0
4:40:00	0.31	76.3	0	6.89	0	0.3	76.29	0	5.38	0	0.3	76.29	0	6.93	0
4:50:00	0.31	76.3	0	6.4	0	0.29	76.28	0	4.91	0	0.3	76.29	0	6.43	0
5:00:00	0.31	76.3	0	5.95	0	0.29	76.28	0	4.49	0	0.29	76.28	0	5.99	0
5:10:00	0.31	76.3	0	5.55	0	0.29	76.28	0	4.11	0	0.29	76.28	0	5.58	0
5:20:00	0.3	76.29	0	5.19	0	0.29	76.28	0	3.76	0	0.29	76.28	0	5.22	0
5:30:00	0.3	76.29	0	4.86	0	0.28	76.27	0	3.45	0	0.29	76.28	0	4.88	0
5:40:00	0.3	76.29	0	4.55	0	0.28	76.27	0	3.16	0	0.29	76.28	0	4.58	0
5:50:00	0.3	76.29	0	4.28	0	0.28	76.27	0	2.89	0	0.28	76.27	0	4.3	0
6:00:00	0.3	76.29	0	4.02	0	0.28	76.27	0	2.66	0	0.28	76.27	0	4.05	0
6:10:00	0.29	76.28	0	3.79	0	0.28	76.27	0	2.44	0	0.28	76.27	0	3.81	0
6:20:00	0.29	76.28	0	3.57	0	0.27	76.26	0	2.24	0	0.28	76.27	0	3.59	0
6:30:00	0.29	76.28	0	3.38	0	0.27	76.26	0	2.05	0	0.28	76.27	0	3.4	0
6:40:00	0.29	76.28	0	3.19	0	0.27	76.26	0	1.88	0	0.27	76.26	0	0.77	0
6:50:00	0.28	76.27	0	3.02	0	0.27	76.26	0	1.72	0	0.27	76.26	0	0	0
7:00:00	0.28	76.27	0	2.87	0	0.27	76.26	0	1.58	0	0.26	76.25	0	0.87	0
7:10:00	0.28	76.27	0	2.72	0	0.26	76.25	0	1.44	0	0.28	76.27	0	2.74	0
7:20:00	0.28	76.27	0	2.58	0	0.26	76.25	0	1.32	0	0.26	76.25	0	2.6	0
7:30:00	0.28	76.27	0	2.46	0	0.26	76.25	0	1.2	0	0.27	76.26	0	2.47	0
7:40:00	0.27	76.26	0	2.34	0	0.26	76.25	0	1.1	0	0.26	76.25	0	2.35	0
7:50:00	0.27	76.26	0	2.23	0	0.25	76.24	0	1	0	0.26	76.25	0	2.24	0
8:00:00	0.27	76.26	0	2.13	0	0.25	76.24	0	0.9	0	0.25	76.24	0	2.14	0
8:10:00	0.27	76.26	0	2.03	0	0.25	76.24	0	0.81	0	0.25	76.24	0	2.04	0
8:20:00	0.27	76.26	0	1.94	0	0.25	76.24	0	0.73	0	0.25	76.24	0	1.95	0
8:30:00	0.26	76.25	0	1.86	0	0.25	76.24	0	0.66	0	0.25	76.24	0	1.87	0
8:40:00	0.26	76.25	0	1.78	0	0.24	76.23	0	0.58	0	0.25	76.24	0	1.78	0
8:50:00	0.26	76.25	0	1.7	0	0.08	76.07	0	0.52	0	0.25	76.24	0	1.71	0
9:00:00	0.26	76.25	0	1.63	0	0.05	76.04	0	0.46	0	0.1	76.09	0	1.64	0
9:10:00	0.25	76.24	0	1.56	0	0.03	76.02	0	0.4	0	0.06	76.05	0	1.57	0
9:20:00	0.25	76.24	0	1.5	0	0.03	76.02	0	0.34	0	0.04	76.03	0	1.51	0
9:30:00	0.25	76.24	0	1.44	0	0.02	76.01	0	0.29	0	0.04	76.03	0	1.45	0
9:40:00	0.25	76.24	0	1.38	0	0.02	76.01	0	0.24	0	0.03	76.02	0	1.39	0
9:50:00	0.25	76.24	0	1.33	0	0.02	76.01	0	0.19	0	0.03	76.02	0	1.34	0
10:00:00	0.22	76.21	0	1.28	0	0.02	76.01	0	0.15	0	0.03	76.02	0	0	0

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Prilog 2. Uporedni rezultati modela u uzvodnom čvoru 6834 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Hours	NO LID					Orifice link + storage node					Orifice link + storage node + pump				
	Node 6834 - uzvodni šaht					Node 6834 - uzvodni šaht					Node 6834 - uzvodni šaht				
	Depth	Head	Volume	Total Inflow	Flooding	Depth	Head	Volume	Total Inflow	Flooding	Depth	Head	Volume	Total Inflow	Flooding
	(m)	(m)	(m3)	(l/s)	(l/s)	(m)	(m)	(m3)	(l/s)	(l/s)	(m)	(m)	(m3)	(l/s)	(l/s)
0:10:00	0.37	76.36	0	197.66	0	0.73	76.72	0	200.9	0	0.73	76.72	0	200.9	0
0:20:00	1.21	77.2	104.91	304.52	201.13	1.2	77.19	33.45	304.57	95.61	1.2	77.19	33.45	304.57	95.6
0:30:00	1.22	77.21	203.32	221.06	126.82	1.21	77.2	71.3	221.1	40.08	1.21	77.2	71.28	221.11	40.05
0:40:00	1.22	77.21	262.01	166.51	72.33	1.21	77.2	79.55	166.52	0	1.21	77.2	79.51	166.55	0
0:50:00	1.22	77.21	293.61	129.06	35.12	1.21	77.2	63.93	128.98	0	1.21	77.2	63.86	129.05	0
1:00:00	1.22	77.21	306.35	102.43	8.76	1.2	77.19	32.74	102.43	0	1.2	77.19	32.61	102.4	0
1:10:00	1.22	77.21	305.57	82.89	0	0.94	76.93	0	82.85	0	0.91	76.9	0	82.89	0
1:20:00	1.22	77.21	294.81	68.18	0	0.79	76.78	0	68.2	0	0.78	76.77	0	68.19	0
1:30:00	1.22	77.21	276.52	56.9	0	0.79	76.78	0	56.9	0	0.79	76.78	0	56.91	0
1:40:00	1.22	77.21	252.44	48.06	0	0.78	76.77	0	48.06	0	0.78	76.77	0	48.07	0
1:50:00	1.22	77.21	223.83	41.02	0	0.77	76.76	0	41.02	0	0.77	76.76	0	41.04	0
2:00:00	1.22	77.21	191.62	35.36	0	0.76	76.75	0	35.36	0	0.76	76.75	0	35.37	0
2:10:00	1.21	77.2	156.52	30.74	0	0.75	76.74	0	30.74	0	0.75	76.74	0	30.73	0
2:20:00	1.21	77.2	119.09	26.92	0	0.74	76.73	0	26.91	0	0.74	76.73	0	26.92	0
2:30:00	1.21	77.2	79.75	23.72	0	0.73	76.72	0	23.77	0	0.73	76.72	0	23.73	0
2:40:00	1.2	77.19	38.84	21.04	0	0.72	76.71	0	21.33	0	0.72	76.71	0	21.08	0
2:50:00	0.35	76.34	0	18.76	0	0.72	76.71	0	19.38	0	0.72	76.71	0	18.97	0
3:00:00	0.35	76.34	0	16.82	0	0.71	76.7	0	17.74	0	0.71	76.7	0	17.22	0
3:10:00	0.34	76.33	0	15.13	0	0.71	76.7	0	16.32	0	0.71	76.7	0	15.74	0
3:20:00	0.34	76.33	0	13.69	0	0.7	76.69	0	15.09	0	0.7	76.69	0	14.45	0
3:30:00	0.33	76.32	0	12.42	0	0.7	76.69	0	13.99	0	0.7	76.69	0	13.32	0
3:40:00	0.33	76.32	0	11.32	0	0.7	76.69	0	12.99	0	0.69	76.68	0	12.3	0
3:50:00	0.33	76.32	0	10.35	0	0.69	76.68	0	12.09	0	0.69	76.68	0	11.39	0
4:00:00	0.32	76.31	0	9.49	0	0.69	76.68	0	11.27	0	0.69	76.68	0	10.57	0
4:10:00	0.32	76.31	0	8.73	0	0.69	76.68	0	10.52	0	0.68	76.67	0	9.83	0
4:20:00	0.32	76.31	0	8.05	0	0.68	76.67	0	9.84	0	0.68	76.67	0	9.14	0
4:30:00	0.32	76.31	0	7.43	0	0.68	76.67	0	9.21	0	0.68	76.67	0	8.52	0
4:40:00	0.31	76.3	0	6.89	0	0.68	76.67	0	8.63	0	0.68	76.67	0	7.96	0
4:50:00	0.31	76.3	0	6.4	0	0.68	76.67	0	8.1	0	0.67	76.66	0	7.43	0
5:00:00	0.31	76.3	0	5.95	0	0.67	76.66	0	7.61	0	0.67	76.66	0	6.95	0
5:10:00	0.31	76.3	0	5.55	0	0.67	76.66	0	7.15	0	0.67	76.66	0	6.51	0
5:20:00	0.3	76.29	0	5.19	0	0.67	76.66	0	6.73	0	0.67	76.66	0	6.1	0
5:30:00	0.3	76.29	0	4.86	0	0.67	76.66	0	6.34	0	0.66	76.65	0	5.72	0
5:40:00	0.3	76.29	0	4.55	0	0.67	76.66	0	5.98	0	0.66	76.65	0	5.37	0
5:50:00	0.3	76.29	0	4.28	0	0.66	76.65	0	5.64	0	0.66	76.65	0	5.05	0
6:00:00	0.3	76.29	0	4.02	0	0.66	76.65	0	5.33	0	0.66	76.65	0	4.74	0
6:10:00	0.29	76.28	0	3.79	0	0.66	76.65	0	5.04	0	0.66	76.65	0	4.46	0
6:20:00	0.29	76.28	0	3.57	0	0.66	76.65	0	4.77	0	0.66	76.65	0	4.2	0
6:30:00	0.29	76.28	0	3.38	0	0.66	76.65	0	4.51	0	0.65	76.64	0	3.95	0
6:40:00	0.29	76.28	0	3.19	0	0.66	76.65	0	4.28	0	0.65	76.64	0	3.72	0
6:50:00	0.28	76.27	0	3.02	0	0.65	76.64	0	4.06	0	0.65	76.64	0	3.51	0
7:00:00	0.28	76.27	0	2.87	0	0.65	76.64	0	3.85	0	0.65	76.64	0	3.31	0
7:10:00	0.28	76.27	0	2.72	0	0.65	76.64	0	3.66	0	0.65	76.64	0	3.13	0
7:20:00	0.28	76.27	0	2.58	0	0.65	76.64	0	3.48	0	0.65	76.64	0	2.95	0
7:30:00	0.28	76.27	0	2.46	0	0.65	76.64	0	3.3	0	0.65	76.64	0	2.79	0
7:40:00	0.27	76.26	0	2.34	0	0.65	76.64	0	3.14	0	0.64	76.63	0	2.64	0
7:50:00	0.27	76.26	0	2.23	0	0.65	76.64	0	2.99	0	0.64	76.63	0	2.5	0
8:00:00	0.27	76.26	0	2.13	0	0.65	76.64	0	2.85	0	0.64	76.63	0	2.36	0
8:10:00	0.27	76.26	0	2.03	0	0.65	76.64	0	2.72	0	0.64	76.63	0	2.24	0
8:20:00	0.27	76.26	0	1.94	0	0.64	76.63	0	2.6	0	0.64	76.63	0	2.12	0
8:30:00	0.26	76.25	0	1.86	0	0.64	76.63	0	2.48	0	0.64	76.63	0	2.01	0
8:40:00	0.26	76.25	0	1.78	0	0.64	76.63	0	2.37	0	0.64	76.63	0	1.9	0
8:50:00	0.26	76.25	0	1.7	0	0.64	76.63	0	2.26	0	0.64	76.63	0	1.81	0
9:00:00	0.26	76.25	0	1.63	0	0.64	76.63	0	2.16	0	0.64	76.63	0	1.72	0
9:10:00	0.25	76.24	0	1.56	0	0.64	76.63	0	2.07	0	0.64	76.63	0	1.61	0
9:20:00	0.25	76.24	0	1.5	0	0.64	76.63	0	1.87	0	0.64	76.63	0	1.51	0
9:30:00	0.25	76.24	0	1.44	0	0.64	76.63	0	1.75	0	0.64	76.63	0	1.44	0
9:40:00	0.25	76.24	0	1.38	0	0.64	76.63	0	1.66	0	0.64	76.63	0	1.38	0
9:50:00	0.25	76.24	0	1.33	0	0.64	76.63	0	1.59	0	0.64	76.63	0	1.33	0
10:00:00	0.22	76.21	0	1.28	0	0.64	76.63	0	1.52	0	0.64	76.63	0	1.28	0

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018. Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Prilog 3. Uporedni rezultati modela u nizvodnom čvoru 6838 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Hours	NO LID					Orifice link + storage node					Orifice link + storage node + pump				
	Node 6838 - nizvodni šaht					Node 6838 - nizvodni šaht					Node 6838 - nizvodni šaht				
	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)	total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)	total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)	total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)
0:10:00	0.11	74.87	0	114.51	0	0.07	74.83	0	41.8	0	0.07	74.83	0	41.79	0
0:20:00	1.47	76.23	0.36	164.46	1.38	0.48	75.24	0	182.16	0	0.48	75.24	0	182.16	0
0:30:00	1.48	76.24	79.99	184.51	184.54	1.48	76.24	52.39	180.08	180.08	1.48	76.24	52.39	180.1	180.1
0:40:00	1.49	76.25	187.9	173.23	173.23	1.49	76.25	158.51	171.21	171.2	1.49	76.25	158.52	171.38	171.35
0:50:00	1.5	76.26	288.22	160.93	160.92	1.49	76.25	257.66	159.4	159.43	1.49	76.25	257.67	159.43	159.43
1:00:00	1.5	76.26	381.41	150.05	150.04	1.5	76.26	350.1	148.99	148.98	1.5	76.26	350.11	148.98	148.99
1:10:00	1.51	76.27	468.72	141.29	141.27	1.51	76.27	435.94	131.44	131.46	1.51	76.27	435.92	129.93	129.87
1:20:00	1.51	76.27	551.29	134.16	134.16	1.51	76.27	499.97	88.26	88.27	1.51	76.27	498.73	87.49	87.49
1:30:00	1.52	76.28	629.98	128.3	128.3	1.51	76.27	552.82	85.24	85.24	1.51	76.27	550.83	84.55	84.53
1:40:00	1.53	76.29	703.72	111.6	111.65	1.52	76.28	597.22	52.96	52.98	1.52	76.28	594.91	52.44	52.42
1:50:00	1.53	76.29	761.5	98.02	92.11	1.52	76.28	625.09	46.3	41.48	1.52	76.28	622.47	45.8	40.98
2:00:00	1.53	76.29	815.22	96.64	87.25	1.52	76.28	647.24	40.96	32.79	1.52	76.28	644.35	40.53	32.37
2:10:00	1.54	76.3	866.06	95.49	82.36	1.52	76.28	664.28	36.24	24.18	1.52	76.28	661.1	35.9	23.81
2:20:00	1.54	76.3	914.09	94.54	77.97	1.52	76.28	676.58	32.06	16.95	1.52	76.28	673.18	31.84	16.62
2:30:00	1.54	76.3	959.78	93.71	74.38	1.52	76.28	684.8	28.35	10.7	1.52	76.28	681.25	28.26	10.42
2:40:00	1.55	76.31	1003.16	92.98	69.28	1.52	76.28	689.19	25.3	2.84	1.52	76.28	685.45	25.12	2.42
2:50:00	1.55	76.31	1041.4	46.59	18.23	1.52	76.28	688.17	22.87	0	1.52	76.28	684.45	22.53	0
3:00:00	1.55	76.31	1035.5	18.34	0	1.52	76.28	683.23	20.85	0	1.52	76.28	680.06	20.38	0
3:10:00	1.55	76.31	1026.55	17.94	0	1.52	76.28	675.49	19.12	0	1.52	76.28	672.58	18.57	0
3:20:00	1.55	76.31	1015.21	16.06	0	1.52	76.28	665.77	17.62	0	1.52	76.28	663.03	17.01	0
3:30:00	1.55	76.31	1002.13	14.61	0	1.52	76.28	654.37	16.29	0	1.52	76.28	651.68	15.65	0
3:40:00	1.55	76.31	987.48	13.29	0	1.52	76.28	641.46	15.11	0	1.52	76.28	638.59	14.45	0
3:50:00	1.55	76.31	971.45	12.17	0	1.52	76.28	627.17	14.05	0	1.52	76.28	623.83	13.37	0
4:00:00	1.54	76.3	954.17	11.18	0	1.52	76.28	611.55	13.09	0	1.52	76.28	607.74	12.41	0
4:10:00	1.54	76.3	935.72	10.3	0	1.52	76.28	594.42	12.23	0	1.52	76.28	590.18	11.54	0
4:20:00	1.54	76.3	915.92	9.53	0	1.52	76.28	576.1	11.43	0	1.52	76.28	571.45	10.74	0
4:30:00	1.54	76.3	895.06	8.84	0	1.51	76.27	556.76	10.7	0	1.51	76.27	551.71	10.02	0
4:40:00	1.54	76.3	873.31	8.22	0	1.51	76.27	536.51	10.03	0	1.51	76.27	531.06	9.36	0
4:50:00	1.54	76.3	850.79	7.66	0	1.51	76.27	515.45	9.42	0	1.51	76.27	509.6	8.76	0
5:00:00	1.53	76.29	827.56	7.16	0	1.51	76.27	493.63	8.85	0	1.51	76.27	487.41	8.21	0
5:10:00	1.53	76.29	803.69	6.71	0	1.51	76.27	471.14	8.33	0	1.51	76.27	464.54	7.7	0
5:20:00	1.53	76.29	779.26	6.3	0	1.51	76.27	448.04	7.85	0	1.51	76.27	441.07	7.23	0
5:30:00	1.53	76.29	754.31	5.93	0	1.51	76.27	424.39	7.41	0	1.5	76.26	417.05	6.8	0
5:40:00	1.53	76.29	728.9	5.59	0	1.5	76.26	400.22	7	0	1.5	76.26	392.54	6.4	0
5:50:00	1.53	76.29	703.08	5.28	0	1.5	76.26	375.6	6.61	0	1.5	76.26	367.56	6.02	0
6:00:00	1.52	76.28	676.89	5	0	1.5	76.26	350.55	6.26	0	1.5	76.26	342.18	5.68	0
6:10:00	1.52	76.28	650.36	4.74	0	1.5	76.26	325.13	5.93	0	1.5	76.26	316.42	5.35	0
6:20:00	1.52	76.28	623.52	4.5	0	1.5	76.26	299.36	5.62	0	1.5	76.26	290.32	5.06	0
6:30:00	1.52	76.28	596.41	4.28	0	1.49	76.25	273.27	5.33	0	1.49	76.25	263.91	4.78	0
6:40:00	1.52	76.28	569.05	4.07	0	1.49	76.25	246.89	5.06	0	1.49	76.25	237.21	4.52	0
6:50:00	1.51	76.27	541.47	3.89	0	1.49	76.25	220.25	4.82	0	1.49	76.25	210.26	4.28	0
7:00:00	1.51	76.27	513.68	3.71	0	1.49	76.25	193.37	4.58	0	1.49	76.25	183.08	4.05	0
7:10:00	1.51	76.27	485.71	3.55	0	1.49	76.25	166.28	4.36	0	1.49	76.25	155.68	3.84	0
7:20:00	1.51	76.27	457.58	3.4	0	1.48	76.24	138.98	4.16	0	1.48	76.24	128.08	3.64	0
7:30:00	1.51	76.27	429.29	3.26	0	1.48	76.24	111.5	3.96	0	1.48	76.24	100.31	3.46	0
7:40:00	1.5	76.26	400.88	3.13	0	1.48	76.24	83.86	3.78	0	1.48	76.24	72.38	3.28	0
7:50:00	1.5	76.26	372.34	3.01	0	1.48	76.24	56.06	3.61	0	1.48	76.24	44.3	3.12	0
8:00:00	1.5	76.26	343.69	2.89	0	1.48	76.24	28.13	3.45	0	1.48	76.24	16.09	2.97	0
8:10:00	1.5	76.26	314.95	2.78	0	1.47	76.23	0.12	3.3	0	0.97	75.73	0	4.79	0
8:20:00	1.5	76.26	286.13	2.68	0	0.94	75.7	0	4.14	0	0.91	75.67	0	3.27	0
8:30:00	1.49	76.25	257.23	2.59	0	0.88	75.64	0	3.34	0	0.85	75.61	0	2.74	0
8:40:00	1.49	76.25	228.26	2.5	0	0.81	75.57	0	2.97	0	0.78	75.54	0	2.45	0
8:50:00	1.49	76.25	199.23	2.42	0	0.75	75.51	0	2.74	0	0.72	75.48	0	2.25	0
9:00:00	1.49	76.25	170.15	2.34	0	0.69	75.45	0	2.56	0	0.67	75.43	0	2.1	0
9:10:00	1.48	76.24	141.03	2.26	0	0.64	75.4	0	2.42	0	0.61	75.37	0	1.63	0
9:20:00	1.48	76.24	111.87	2.19	0	0.58	75.34	0	2.02	0	0.56	75.32	0	1.68	0
9:30:00	1.48	76.24	82.68	2.13	0	0.54	75.3	0	2.01	0	0.53	75.29	0	1.67	0
9:40:00	1.48	76.24	53.47	2.07	0	0.52	75.28	0	1.95	0	0.5	75.26	0	1.63	0
9:50:00	1.48	76.24	24.23	2.01	0	0.5	75.26	0	1.88	0	0.49	75.25	0	1.59	0
10:00:00	1.47	76.23	0.17	32.34	0	0.49	75.25	0	1.81	0	0.49	75.25	0	1.53	0

18. Savetovanje SDHI i SDH - Niš, Srbija 2018.

Conference SDHI & SDH - Niš, Serbia 2018.

Prilog 4. Uporedni rezultati modela u čvoru 6622 i subcatchmentu S40641 (kiša 15min – 118mm/h/ha)

Hours	NO LID					Permeable pavement					Subcatchment S4064	
	Table - Node 6622			Total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)	Table - Node 6622			Total Inflow (l/s)	Flooding (l/s)	Runoff (l/s)	
	Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)			Depth (m)	Head (m)	Volume (m3)			NO LID	LID
0:10:00	1.56	76.75	0	339.95	0	0.95	76.14	0	270.44	0	345.99	275.3
0:20:00	1.82	77.01	169.94	592.73	401.89	1.82	77.01	99.86	465	241.69	592.43	464.93
0:30:00	1.84	77.03	366.35	492.58	269.8	1.83	77.02	225.86	380.54	162.54	492.4	380.41
0:40:00	1.85	77.04	499.55	414.75	178.73	1.83	77.02	299.34	315.95	86.23	414.52	315.94
0:50:00	1.85	77.04	585.09	352.99	109.33	1.83	77.02	333.28	265.83	29.35	352.84	265.78
1:00:00	1.86	77.05	633.66	303.46	54.02	1.83	77.02	336.99	226.25	0	303.29	226.1
1:10:00	1.86	77.05	652.31	263.01	10.11	1.83	77.02	317.18	194.33	0	262.96	194.25
1:20:00	1.86	77.05	647.58	229.87	0	1.83	77.02	279.53	168.44	0	229.75	168.34
1:30:00	1.86	77.05	624.03	202.25	0	1.83	77.02	227.96	147.02	0	202.14	147.02
1:40:00	1.85	77.04	585.16	179.05	0	1.82	77.01	165.63	129.36	0	178.95	129.3
1:50:00	1.85	77.04	533.79	159.41	0	1.82	77.01	95.29	114.44	0	159.33	114.43
2:00:00	1.84	77.03	472.22	142.65	0	1.81	77	20.37	105.42	0	142.59	101.85
2:10:00	1.84	77.03	402.33	128.24	0	1.17	76.36	0	195.08	0	128.21	91.12
2:20:00	1.83	77.02	325.8	115.83	0	0.82	76.01	0	171.6	0	115.78	81.91
2:30:00	1.83	77.02	244.11	104.98	0	0.65	75.84	0	129.52	0	104.98	73.95
2:40:00	1.82	77.01	158.86	95.55	0	0.46	75.65	0	69.85	0	95.53	67.04
2:50:00	1.82	77.01	72.9	92.54	0	0.44	75.63	0	63.33	0	87.24	61
3:00:00	1.22	76.41	0	180.9	0	0.43	75.62	0	57.94	0	79.92	55.69
3:10:00	1.02	76.21	0	189.39	0	0.41	75.6	0	53.14	0	73.43	51.01
3:20:00	0.77	75.96	0	159.82	0	0.4	75.59	0	48.93	0	67.65	46.86
3:30:00	0.62	75.81	0	118.8	0	0.39	75.58	0	45.11	0	62.5	43.17
3:40:00	0.6	75.79	0	114.7	0	0.38	75.57	0	41.71	0	57.87	39.87
3:50:00	0.44	75.63	0	58.81	0	0.37	75.56	0	38.63	0	53.71	36.91
4:00:00	0.41	75.6	0	52.3	0	0.36	75.55	0	35.85	0	49.96	34.26
4:10:00	0.4	75.59	0	48.4	0	0.35	75.54	0	33.35	0	46.57	31.86
4:20:00	0.39	75.58	0	45.1	0	0.34	75.53	0	31.08	0	43.48	29.69
4:30:00	0.38	75.57	0	42.21	0	0.34	75.53	0	29.02	0	40.68	27.72
4:40:00	0.37	75.56	0	39.53	0	0.33	75.52	0	27.14	0	38.13	25.93
4:50:00	0.36	75.55	0	37.12	0	0.32	75.51	0	25.42	0	35.79	24.3
5:00:00	0.36	75.55	0	34.91	0	0.32	75.51	0	23.85	0	33.65	22.81
5:10:00	0.35	75.54	0	32.86	0	0.31	75.5	0	22.41	0	31.68	21.44
5:20:00	0.34	75.53	0	30.99	0	0.31	75.5	0	21.09	0	29.87	20.19
5:30:00	0.34	75.53	0	29.25	0	0.3	75.49	0	19.87	0	28.2	19.03
5:40:00	0.33	75.52	0	27.65	0	0.3	75.49	0	18.75	0	26.66	17.97
5:50:00	0.33	75.52	0	26.17	0	0.29	75.48	0	17.71	0	25.24	16.99
6:00:00	0.32	75.51	0	24.8	0	0.29	75.48	0	16.74	0	23.92	16.08
6:10:00	0.32	75.51	0	23.52	0	0.28	75.47	0	15.86	0	22.69	15.24
6:20:00	0.31	75.5	0	22.33	0	0.28	75.47	0	15	0	21.55	14.46
6:30:00	0.31	75.5	0	21.23	0	0.27	75.46	0	14.22	0	20.49	13.73
6:40:00	0.3	75.49	0	20.19	0	0.27	75.46	0	13.5	0	19.5	13.05
6:50:00	0.3	75.49	0	19.22	0	0.27	75.46	0	12.83	0	18.58	12.42
7:00:00	0.29	75.48	0	18.33	0	0.26	75.45	0	12.21	0	17.72	11.83
7:10:00	0.29	75.48	0	17.48	0	0.26	75.45	0	11.63	0	16.91	11.28
7:20:00	0.29	75.48	0	16.69	0	0.26	75.45	0	11.09	0	16.15	10.77
7:30:00	0.28	75.47	0	15.95	0	0.25	75.44	0	10.59	0	15.44	10.28
7:40:00	0.28	75.47	0	15.24	0	0.25	75.44	0	10.12	0	14.77	9.83
7:50:00	0.28	75.47	0	14.56	0	0.25	75.44	0	9.68	0	14.14	9.4
8:00:00	0.27	75.46	0	13.93	0	0.25	75.44	0	9.26	0	13.55	9
8:10:00	0.27	75.46	0	13.34	0	0.24	75.43	0	8.87	0	12.99	8.63
8:20:00	0.27	75.46	0	12.79	0	0.24	75.43	0	8.5	0	12.47	8.27
8:30:00	0.26	75.45	0	12.28	0	0.24	75.43	0	8.15	0	11.97	7.94
8:40:00	0.26	75.45	0	11.79	0	0.24	75.43	0	7.83	0	11.5	7.62
8:50:00	0.26	75.45	0	11.33	0	0.24	75.43	0	7.52	0	11.06	7.32
9:00:00	0.26	75.45	0	10.89	0	0.23	75.42	0	7.23	0	10.64	7.04
9:10:00	0.25	75.44	0	10.48	0	0.23	75.42	0	6.95	0	10.24	6.77
9:20:00	0.25	75.44	0	10.09	0	0.23	75.42	0	6.68	0	9.86	6.52
9:30:00	0.25	75.44	0	9.72	0	0.23	75.42	0	6.44	0	9.5	6.28
9:40:00	0.25	75.44	0	9.37	0	0.23	75.42	0	6.2	0	9.16	6.05
9:50:00	0.24	75.43	0	9.04	0	0.22	75.41	0	5.98	0	8.84	5.83
10:00:00	0.24	75.43	0	8.72	0	0.22	75.41	0	5.76	0	8.53	5.63