

primljen: 16.01.2023.  
korigovan: 05.02.2023.  
prihvaćen: 01.03.2023.

pregledni rad

UDK : 551.578.1:004.4

## PREGLED OBLASTI PRIMENE MODELA SWMM KOD IMPLEMENTACIJE LID TEHNOLOGIJA

Jelena Dimitrijević<sup>1</sup>, Dragan Milićević<sup>2</sup>, Zlatko Zafirovski<sup>3</sup>

**Rezime:** Potreba za elementima Zelene gradnje se javlja usled prekomerne urbanizacije i globalnog zagađenja. Elementi LID (Low Impact Development) tehnologija, kao jedno od rešenja ovih problema nastoje da upravljanjem atmosferskim vodama imitiraju prirodne hidrološke cikluse odgovarajućeg područja. Ova rešenja su dala izuzetne rezultate što se može potvrditi kroz mnogo radova studija slučaja. Kod ovakvih tehnologija predviđanje samih rešenja i simulacije rada istih je moguće samo putem odgovarajućeg softvera. Agencija za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Američkih Država je 1971. godine razvila javno dostupan softver SWMM (Storm Water Management Model), za potrebe simuliranja kvantiteta i kvaliteta oticaja u urbanim područjima. Od svog nastanka pa do danas, SWMM je doživeo nekoliko transformacija čija je verifikacija izvršena kroz konkretne studije slučaja. Rad prikazuje područja primene SWMM modela kroz implementaciju LID tehnologija. Pregled je izvršen ne samo prema oblastima primene, tipu LID tehnike već i kroz istorijski razvoj samog softvera i sve njegove modifikacije.

**Ključne reči :** SWMM, LID, upravljanje atmosferskim vodama

## OVERVIEW OF THE SWMM MODEL'S APPLICATION IN THE IMPLEMENTATION OF LID TECHNOLOGY

**Abstract:** The demand for Green Infrastructure elements is being driven by rapid urbanization and global pollution. The elements of LID (Low Impact Development) technologies, as one of the solutions to these problems, try to simulate the natural hydrological cycles of the corresponding area by managing storm water. These solutions have produced exceptional results, as evidenced by numerous case studies. With these technologies, the prediction of the solutions themselves and the simulation of their operation is possible only through appropriate software. For the purpose of simulating the quantity and quality of runoff in urban areas, the United States Environmental Protection Agency created the publically available software SWMM (Storm Water Management Model) in 1971. SWMM has undergone a number of changes since it was first developed, and particular case studies were used to verify these changes. This paper demonstrates the SWMM model's applications through the use of LID technologies. The review was conducted not only in accordance with the application areas and the LID technique type, but also with regard to the software's historical evolution and all of its alterations.

**Keywords:** SWMM, LID, Storm Water Management

<sup>1</sup> Saradnik u nastavi, dipl.inž.građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, [jelena.dimitrijevic@gaf.ni.ac.rs](mailto:jelena.dimitrijevic@gaf.ni.ac.rs)

<sup>2</sup> Vanredni profesor, dr, dipl.inž.građ., Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, [drgara@gaf.ni.ac.rs](mailto:drgara@gaf.ni.ac.rs)

<sup>3</sup> Vanredni profesor, dr, dipl.inž.građ., Građevinski fakultet u Skopju, [zafirovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:zafirovski@gf.ukim.edu.mk)

## **1 UVOD**

Sve je češća upotreba elemenata LID (Low Impact Development) tehnologija u cilju smanjenja posledica klimatskih promena i globalnog zagađenja [1-3]. LID tehnologije imaju za cilj upravljanje atmosferskim vodama u blizini izvora i njihovo odvodnjavanje na održiv način, što nije slučaj kod klasičnih sistema za odvodnjavanje [4]. Pažljivo isplanirani i upotrebljeni elementi zelene gradnje mogu pomoći uspostavljanju prirodnog hidrološkog režima u urbanim sredinama [5,6]. Optimalni dizajn LID tehnologija nije opšti model, već predstavlja skup pojedinačnih elemenata raspoređenih u skladu sa lokacijskim uslovima objekta, odnosno površine. To praktično znači da predlaganjem upotrebe određenih LID elemenata i proverom funkcionalnosti istih, u više varijacionih rešenja se može doći do optimalnog modela za konkretni slučaj tačno određene lokacije i vremenskih prilika karakterističnih za posmatrano područje [7,8]. Osnovni ciljevi optimizacije su smanjenje zapremine oticanja, vršni protok i kontrola zagađenja [9,10].

SWMM se primenjuje na slivovima za prihvatanje atmosferskih voda, kombinovanim kanalizacionim sistemima, sanitarnim kanalizacionim sistemima i drugim urbanim drenažnim mrežama [11]. SWMM model se, između ostalog, koristi za pronalaženje adekvatnog rešenja odvodnjavanja pomoću elemenata LID tehnologija. Na taj način nije obavezno najpre primeniti predlog na terenu a zatim posmatrati njegovu manifestaciju, već je moguće pomoću SWMM izvršiti predviđanja ponašanja predloženih rešenja, pa prema tome doneti konačnu odluku. Najčešće karakteristike za proveru su upravo gore navedeni ciljevi za optimizaciju kontrola zapremine oticaja, smanjenje vršnog oticaja i uklanjanje zagađivača [12-14], ali u novije vreme uzimaju se u obzir i uticaj na podzemne vode i opravdanost troškova [12,15-17].

Simulacija može da se radi i kod postojećeg sistema za proveru pomenutih karakteristika ne samo kod predviđanja, već i radi provere funkcionalnosti usled intenzivnog povećanja padavina zbog klimatskih promena [18]. Provera se vrši kod klasičnih sistema, kombinovanih sistema (klasični kanalizacioni sistemi sa elementima LID tehnologija) i pojedinačnih ili kombinovanih jedinica LID tehnologija. Najviše smisla ima kada se SWMM koristi za pojedinačnu evaluaciju elemenata zelene gradnje, kao i za ocenu funkcionalnosti kombinovanih kanalizacionih sistema kod planiranja i dizajna novih

predloženih rešenja [12]. Česta su upoređivanja hidroloških i hidauličkih osobina pre i posle upotrebe elemenata zelene gradnje. Na taj način se vrše upoređenja i predviđa učinkovitost predloženih rešenja kako bi se preduzele mere za planiranje i gradnju.

SWMM je model koji se može prilagoditi pojavama pojedinačnih padavina ili dugoročnim višeciklusnim padavinama. U svrhu posmatranja i anlike ukupnog oticaja, sagledavaju se svi podslivovi [19]. Kod modelovanja se za referentne padavine uzimaju u obzir padavine sa odgovarajućim povratnim periodom [20].

Uz pomoć SWMM se mogu modelirati bioretenzione jedinice, infiltracioni rovovi, porozne (propusne) površine (staze, trotoari, parking), kišna burad, zatravljeni kanali, zeleni krovovi, ulični zasadi i mnogi drugi LID elementi [21,22]. U radu je izvršen pregled najzastupljenijih jedinica LID tehnologija radi jasnijeg sagledavanja simuliranih karakteristika (zapremina oticaja, vršni oticaj, kvalitet oticaja, uticaj na podzemne vode i troškovi). Pregledom su obuhvaćeni radovi objavljeni u poslednje tri godine sa par izuzetaka. Prikaz obuhvata radove koji sadrže primenu pojedinačnih i kombinovanih LID elemenata i kombinovane kanalizacione sisteme. Pre svega prikazan je kratak istorijski pregled radi sagledavanja puta razvoja modela i početka njegove primene za potrebe modelovanja LID elemenata.

## **2 KRATAK PREGLED ISTORIJSKOG RAZVOJA MODELA SWMM**

Agencija za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Američkih Država (U.S. Environmental Protection Agency) je 1971. godine razvila javno dostupan softver SWMM za potrebe izvođenja simulacija kvantiteta i kvaliteta atmosferskih voda koje se slivaju sa površina urbanih jedinica [21]. Koristi se širom sveta za planiranje, analizu i dizajn svih objekata i postrojenja koji se tiču odvodnjavanja atmosferskih voda [19]. SWMM je desktop program zasnovan na Windows-u. To je javni softver otvorenog koda i besplatan je za upotrebu širom sveta [22].

Softver je od svog nastanka do danas prošao nekoliko faza razvoja [21]. Prva varijanta je bila napisana na FORTRAN-u i sastojala se od niza blokova: izvršni, oticaj, transport, skladištenje i prijem vode. Ovde je bilo nekoliko računskih ograničenja za SWMM i primena je bila namenjena slivovima sa površinom u rasponu od 4 do oko 2000 ha. Druga po

redu verzija SWMM-a se nadograđuje tako da je moguće obuhvatiti veću slivnu površinu i predviđanje erozije. Tada se po prvi put, zahvaljujući nadogradnji programa, javila mogućnost modeliranja materija okarakterisanih kao zagađivači. Ova verzija se javila kao nadogradnja prvobitne, 1975. godine. Sa trećom serijom poboljšanja, 1981. godine, model se mogao koristiti za planiranje i dizajn. Obraduje se mogućnost infiltracije površinskih voda, Dodate su procedure čišćenja i taloženja. Ograničenja se javljaju u pogledu broja elemenata za modelovanje. Četvrta verzija, SWMM 4 je objavljena 1988. godine. U odnosu na prethodne tri, napravljen je značajan pomak u pogledu dodavanja blokova za bliže definisanje parametara koji se tiču kiše, temperature, podzemnih voda, kanala nestandardnih dimenzija. Sa objavljivanjem verzije SWMM 5, 2005. godine model je formiran na C jeziku. Nema više ograničenja u pogledu broja elemenata koji su uključeni u model. Funkcije modeliranja LID tehnika su dodate u verziju SWMM 5 iz 2010 godine [22].

Nezavisno od varijante softvera, jedan od najvažnijih uslova uspešne simulacije je kalibracija modela i korišćenje procedura koje nastoje da minimiziraju razlike između zapažanja zabeleženih na terenu i odgovarajućih predviđanja izmerenih na osnovu modela. Ručna kalibracija metodom pokušaja i greške je uobičajena, ali subjektivna procedura koja se oslanja na iskustvo praktičara i prosuđivanje stručnjaka za odabir vrednosti parametara koji najviše odgovaraju za posmatrani problem [23]. Automatska kalibracija je objektivna i ponovljiva procedura za identifikaciju najboljih (optimalnih) vrednosti parametara modela [24]. Primera radi, SWMM integrisan sa OSTRICH (Optimization Software Tool for Research Involving Computational Heuristics) pruža dobar alat za automatsku kalibraciju radi smanjenja greške u simulaciji vršnog oticaja i kompletne zapremine oticaja [11]. Ovim radom i daljim tekstom nije detaljnije razmatrana kalibracija, već se samo napominje da je presudan faktor za adekvatnu primenu SWMM modela i verodostojnost rezultata.

Najbolja potvrda pouzdanosti rezultata koji se dobijaju modelovanjem u SWMM-u jesu uporedna laboratorijska ispitivanja kod kojih nema velikih odsupanja u rezultatima, odnosno odstupanja su prihvatljiva ili u granicama očekivanog [25]. Kod izučavanja problema u laboratorijskim uslovima radi upoređivanja sa simulacijama je presudno eksperiment što više približiti realnim uslovima na terenu, kako ne bi bilo značajnih odstupanja [26]. Pregled rezultata dobijenih modelom SWMM je

moguć u različitim formatima (označavanje bojom oblast drenaže i mape transportnog sistema, grafikoni, tabele, dijagrami, statističke analize učestalosti itd.) [22].

### 3 OBLASTI PRIMENE SWMM

Uopšteno gledano, oblast primene SWMM-a čine sistemi za odvodnjavanje atmosferskih padavina. Primena programa SWMM za potrebe predviđanja kod upotrebe LID tehnologija se može podeliti u dve grupe i to: primena kod kombinovanih kanalizacionih sistema i kod predviđanja efikasnosti samih LID tehnologija, prevashodno u svrhu kontrole zapremine oticaja, smanjenja vršnog oticaja i uklanjanja zagađivača [21]. Upotreba SWMM modela za predviđanje i proveru funkcionalnosti klasičnih kanalizacionih sistema se neće posebno razmatrati u ovom radu, iako se deo radova odnosi na proveru funkcionalnosti sistema za odvodnjavanje pre i nakon upotrebe LID elemenata [20].

#### 3.1 KOMBINOVANI KANALIZACIONI SISTEMI (COMBINED SEWER SYSTEM OVERFLOWS- CSO<sub>s</sub>)

Kombinovani kanalizacioni sistemi predstavljaju najrasprostranjeniju vrstu sistema za odvodnjavanje. Kada se u kombinovanim kanalizacionim sistemima pojavi višak oticaja, dolazi do preliivanja pa se mešaju sanitarna i atmosferska kanalizacija, te se tako ulivaju u najbliži recipijent. SWMM se u ovom slučaju koristi za modeliranje kombinovanih kanalizacionih sistema sa elementima LID tehnologije kao dela kombinovanih sistema [21]. U svom radu Macro et al. [27] prikazuje analizu kombinovanja kišnih buradi sa klasičnim kanalizacionim sistemom sa sagledavanjem troškova implementacije. Važno je napomenuti da model SWMM sam nije u mogućnosti da izvrši ovu vrstu analize ali u sprezi sa odgovarajućim softverom, u ovom slučaju softverom za optimizaciju OSTRICH, utvrđena je veza između kontrole zapremine oticaja i optimalnih troškova implementacije kišnih buradi. Primena SWMM-a na kombinovanim kanalizacionim sistemima nije tema rada, već su to LID elementi kao deo kombinovanih kanalizacionih sistema. O primeni na istim se detaljnije raspravlja u sledećem odeljku.

### 3.2 PRIMENA SWMM KOD PROVERE EFIKASNOSTI LID TEHNOLOGIJA

Provera efikasnosti se vrši za pojedinačne elemente LID tehnologija i njihove kombinacije. Pregledom dostupne literature gde su opisani postupci modelovanja u SWMM i rezultati simulacija, dolazi se do saznanja da je većina LID elemenata zastupljena (bioretenzione jedinice, propusne površine, kišne bašte, kišna burad, infiltracioni rovovi, zatravljeni kanali, zeleni krovovi).

Većina analiziranih radova bavi se **kontrolom zapremine oticaja** (*runoff volume*, [ $m^3$ ]). Zapremina oticaja je presudni faktor kod pojave poplava i preliivanja kobinovanih sistema. Primećuje se da su skoro svi LID elementi zastupljeni u pregledanim radovima. Analizirajući simulacije u svrhu kontrole zapremine oticaja, utvrđeno je da ima najviše radova vezanih za modelovanje bioretenzionih jedinica [8, 12, 16, 28-34], propusnih površina [12, 16, 25, 30-32, 34, 35] i zelenih krovova [12, 16, 25, 30, 31, 35-39]. Nešto ređa je upotreba SWMM za analizu kišnih buradi [16, 27, 32, 35, 39, 40], mada se njihova upotreba uočava često kod kombinovanih sistema. Manje su zastupljene kišne bašte [16, 31, 33], infiltracioni kanali [33] i zatravljeni kanali [12]. Svakako je zapremina oticaja karakteristika za koju ima najviše interesovanja. De-Ville je čak uradio proveru hidrauličkih mogućnosti bioretenzija sastavljenih od recikliranih materijala uz pomoć modela SWMM [41].

Kao jedna od veoma važnih pojava pri obilnim i iznenadnim padavinama je **vršni oticaj** (*pick flow*, [ $m^3/s$ ]) koji u mnogome određuje dalji tok manifestacije oticaja. U trenutku vršnog oticaja postoji najveća opasnost od preliivanja sistema za prihvatanje atmosferskih voda. Iako je tako, smanjenje vršnog oticaja ostaje u senci ukupne zapremine oticaja sa tek par radova koji obrađuju bioretenzione jedinice [12, 30, 31], propusne površine [12, 30, 31] i zelene krovove [12, 30, 31]. Osim nabrojanih tu su i kišne bašte [31], zatravljeni kanali [12] i kišna burad [13]. U cilju smanjenja vršnog oticaja, izvršena je pojedinačna provera bioretenzija i propusnih površina, kao i njihova kombinacija [34].

**Kvalitet voda** (*runoff quality*) je sve interesantnija tema kada su u pitanju atmosferske padavine i koje to zagađujuće materije mogu nositi sa sobom. SWMM pruža mogućnost procene proizvodnje zagađujućih materija povezanih sa oticanjem atmosferskih voda. Parametri od značaja za kvalitet oticaja, obrađeni u ovim radovima, su količina fosfora (TP-total phosphorous), azota (TN- total nitrogen), ukupnih

suspendovanih čvrstih materija (TSS- total suspended solids), amonijak ( $NH_3 - N$ ) i parametar koji definiše organsko zagađenje vode COD (Chemical Oxygen Demand). Radovima su obuhvaćene bioretenzije [12, 33], kišne bašte [17, 42], zeleni pojasevi [42], kišna burad [13, 42], zeleni krovovi [12, 42], propusne površine [12, 17], infiltracioni kanali [33] i zatravljeni kanali [12].

**Tabela 1 – Prikaz literature prema svrsi primenjivanja modela SWMM.**

LITERATURA	RV	PF	RQ	G	C
[29]	x			x	
[6]	x			x	
[30]	x	x			
[36]	x				
[18]	x				
[31]	x	x			
[32]	x				
[27]	x				
[15]	x		x		x
[42]			x		
[16]	x				x
[17]			x		x
[37]	x				
[38]	x		x		
[40]	x				
[41]	x				
[14]			x		
[34]	x	x			
[33]	x				
[39]	x				
[35]	x				
[43]	x	x	x		
[20]	x	x			
[44]				x	
[25]	x				
[12]	x	x	x		x
[13]	x	x	x		
[28]	x				

\* **RV** (*runoff volume*)- kontrola zapremine oticaja, **PF** (*pick flow*)- vršni oticaj, **RQ** (*runoff quality*)- kvalitet oticaja, **G** (*groundwater*)- podzemne vode, **C** (*cost effect*)- troškovi

U svom radu [15], Shojaizadeh čak analizira kombinovane LID sisteme u pogledu eliminacije zagađujućih materija paralelno sa smanjenjem zapremine oticaja i cenom koštanja. Još jedan rad [14] prikazuje rezultate analiza performansi pojedinačnih i kombinovanih elemenata bioretenzija, propusnih površina i infiltracionih rovova.

Postoje analize gde su uključeni svi indikatori (zapremina oticaja, vršni oticaj i kvaliteta oticaja) za nekoliko LID elemenata. Takav slučaj prikazuje

Zhang et al. [43] gde su simulacijama obuhvaćeni infiltracioni kanali, zatravljeni kanali, bioretenzije, propusne površine i kišne bašte. Slična je situacija sa Yang et al. [20] samo bez indikatora kvaliteta oticaja.

Osim kontrole zapremine oticaja, smanjenja vršnog oticaja i uklanjanja zagađivača, u par radova se uzima u obzir međusobni uticaj elemenata LID tehnologija i **podzemnih voda** i to kod: bioretenzionih jedinica [8, 29, 44] i propusnih površina [44].

Uticaj cene koštanja implementacije LID elemenata nije zanemarljiv, na šta ukazuje i smer razvoja studija, gde se osim zapremine i kvaliteta oticaja sve više cena koštanja javlja kao podjednako važan faktor [15, 16]. Odgovarajućim alatima i softverima (TOPSIS) udruženim sa modelom SWMM, moguće je ukazati na to kako težina troškova može imati značajan uticaj kod višekriterijumskog ocenjivanja, kada sagledavamo zapreminu oticaja, vršni oticaj, kvalitet i troškove [12]. Analiza troškova se može vršiti i prema tome koliko upotreba LID elemenata smanjuje troškove uklanjanja nutrijenata sa površina urbanih sredina [17]

**Tabela 2- Klasifikacija literature prema obrađenoj vrsti LID elementa**

LID element (LID facility)	PREGLED LITERATURE
Kišne bašte (Rain garden)	[15-17, 25, 31, 42, 43]
Propusne (porozne) površine (Permeable (porous) pavement)	[12, 14-17, 25, 30-32, 34, 35, 43]
Zeleni krovovi (Green roof)	[12, 16, 25, 30, 31, 35-39, 42]
Zatravljeni kanali (Grass (vegetated) swale)	[12, 15, 16, 43]
Bioretenzije (Bioretention)	[13-16, 18, 28-34, 41, 43]
Infiltracioni kanali (Infiltration trenches)	[14-16, 33, 43]
Kišna burad (Rainwater harvesting system, rainwater tank, rain barrel)	[13, 16, 27, 32, 35, 40, 42]
Močvarno zemljište (Wetland)	[15]

Osim analize i simulacije ponašanja postojećih sistema ili onih tek planiranih, postoji mogućnost predviđanja funkcionalnosti LID elemenata nakon određenog perioda eksploatacije [17]. Na taj način se može predvideti period zadovoljavajuće upotrebljivosti posmatranog dela sistema za odvodnjavanje kako bi se predvidele pravovremene

intervencije na ponovnom uspostavljanju zahtevanog kapaciteta elemenata sistema.

## 4 ZAKLJUČAK

Sa povećanjem upotrebe elemenata LID tehnologija usled sve većeg globalnog zagađenja i klimatskih promena, javlja se i potreba za novim pristupom u njihovom odabiru i dizajnu. SWMM model je za potrebe simulacije funkcionalnosti LID elemenata uz adekvatnu kalibraciju pokazao izuzetne performanse. Uspešno modelovanje se ogleda u kompatibilnosti rezultata dobijenih simulacijama i rezultata dobijenih na terenu ili u laboratorijskim uslovima.

U ovom radu je dat kratak pregled radova novijeg datuma, klasifikovanih najpre prema svrsi izrade simulacija i tu je podela napravljena u pogledu pet ciljeva: kontrola zapremine oticaja, kontrola vršnog oticaja, smanjenje zagađenja, uticaj podzemnih voda i troškovi. Osim toga dat je prikaz literature prema odgovarajućem LID elementu. Od LID elemenata se izdvajaju kišne bašte, propusne površine, kišna burad, bioretenzije, zatravljeni kanali, infiltracioni rovovi i zeleni krovovi. Svakako da nabrojani LID elementi nisu konačni kada govorimo o upotrebi SWMM za potrebe njihovog modelovanja, već su rezultat analize sadržaja proučene literature.

Rad pre svega ima za cilj da posluži kao smernica svima koji bi u svoja istraživanja želeli da uključe izradu simulacija pomoću SWMM modela radi lakšeg pronalaženja odgovarajućeg elementa i usmeravanje na terminologiju i potencijalnu literaturu, kao i na sisteme za kalibraciju.

## LITERATURA

- [1] Pour Sahar Hadi, Wahab Ahmad Khairi Abd, Shahid Shamsuddin, Asaduzzaman Md, Dewan Ashraf: **Low impact development techniques to mitigate the impacts of climate-change-induced urban floods: Current trends, issues and challenges**, *Sustainable Cities and Society*, Vol.62, 102373, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102373>
- [2] Milanović Danijela, Bogdanović Veliborka, Vasov Miomir, Đurić Mijović Danijela, Savić Jelena, **Pregled regulative i preporuke za primenu zelenih krovova**: *Nauka + Praksa*, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Vol.22,12-19, 2019.
- [3] Vasilevska Magdalena, Vasilevska Ljiljana: **Višestruke koristi primene savremenih pristupa**

- kanalisanja atmosferskih voda na primeru stambenog naselja Augustenborg, Malmo, *Nauka + Praksa*, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, Vol.20,13-19, 2017.
- [4] Trajković Slaviša, Milićević Dragan B., Milanović Mladen, Gocić Milan: **Application of Different LID Technologies for the Drainage of Urban Areas: A Case Study-Pek Settlement, Serbia**, *In book: New Prospects in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences*, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72543-3\\_111](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72543-3_111)
- [5] Milićević Dragan, Anđelković Ljiljana, Mitić Marjan: **Nužnost integralnog pristupa planiranju i upravljanju atmosferskim vodama na primeru grada Pirota**, *Tehnika*, Vol.70, br.6, 1065-1072, 2015. doi:10.5937/tehnika1506065M
- [6] Zhang Kun, Chui Ting Fong May: **Assessing the impact of spatial allocation of bioretention cells on shallow groundwater- An integrated surface-subsurface catchment-scale analysis with SWMM-MODFLOW**, *Journal of Hydrology*, Vol.586, 124910, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124910>
- [7] Milićević Dragan, Mitić Marjan, Bjeletić Antić Dragana: **Methodology of Sensitive Planning and Design of Stormwater Drainage System on Urban Watersheds**, *TEHNIKA*, Br.. 2, 303-308, 2017. doi:10.5937/tehnika1702303M
- [8] Trajković Slaviša., Milićević Dragan, Milanović Mladen: **Comparative study of different LID technologies for drainage and protection of atmospheric stormwater quality in urban areas**. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol.13(20) , 2020. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06093-0>
- [9] Eckart Kyle, McPhee Zach, Bolisetti Tirupati: **Performance and implementation of low impact development –A review**, *Science of the Total Environment*, Vol. 607-608,413-432, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>
- [10] Islam Arpita, Hassini Sonia, El-Dakhakhni Wael: **A systematic bibliometric review of optimization and resilience within low impact development stormwater management practices**, *Journal of Hydrology*, Vol.599, 126457, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126457>
- [11] Behrouz Mina Shahed, Zhu Zhenduo, Matott L.Shawn, Rabideau Alan J.: **A new tool for automatic calibration of the Storm Water Management Model (SWMM)**, *Journal of Hydrology*, Vol.581, 124436, 2020 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124436>
- [12] Luan Bo, Yin Ruixue, Xu Peng, Wang Xin, Yang Xiaomin, Zhang Lan, Tang Xiaoyan: **Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS**, *Journal of Cleaner Production*, Vol.223, 680-691, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.028>
- [13] van der Sterren Marlène, Rahman Ataur, Rayan Garry: **Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia**, *Journal of Environmental Management*, Vol.141, 177-189, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.013>
- [14] Taghizadeh Soudabeh, Khani Salar, Rajaei Taher: **Hybrid SWMM and particle swarm optimization model for urban runoff water quality control by using green infrastructures (LID-BMPs)**, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol.60, 127032, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127032>
- [15] Stojazadeh Ali, Geza Mengistu, Hogue Terri S.: **GIP-SWMM: A new Green Infrastructure Placement Tool coupled with SWMM**, *Journal of Environmental Management*, Vol.277, 111409, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111409>
- [16] Wang Zhaoli, Li Shanshan, Wu Xiaoqing, Lin Guangsi, Li Chengguang: **Impact of spatial discretization resolution on the hydrological performance of layout optimization of LID practices**, *Journal of Hydrology*, Vol.612, 128113, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128113>
- [17] Heidari Bardia, Schmidt Arthur R., Minsker Barbara: **Cost/benefit assessment of green infrastructure: Spatial scale effects on uncertainty and sensitivity**, *Journal of Environmental Management*, Vol.302, 114009, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114009>
- [18] Weathers Matthew, Hathaway Jon M., Tirpak R. Andrew, Khojandi Anahita: **Evaluating the impact of climate change on future bioretention performance across the contiguous United States**, *Journal of Hydrology*, Vol.616, 128771, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128771>
- [19] Rossman Lewis A.: **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1**, *United States Environmental Protection Agency*, 2015
- [20] Yang Yuanyuan, Li Jing, Huang Qiang, Xia Jun, Li Jiake, Liu Denfeng, Tan Qintao: **Performance assessment of sponge city infrastructure on stormwater outflows using isochrone and SWMM models**, *Journal of Hydrology*, Vol.597, 126151, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126151>
- [21] Niazi Mehran, Nietch Chris, Maghrebi Mahdi, Jackson Nicole, Bennett Brittany R., Tryby Michael, Massoudieh Arash: **Storm Water Management Model: Performance Review and Gap Analysis**, *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 2017. doi:10.1061/jswbay.0000817
- [22] *U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Low Impact Development (LID) A Literature review*, 2000

- [23] Shamzi Uzair, Koran Joe: **Continuous Calibration**, *Journal of Water Management Modeling*, 2017. <https://doi.org/10.14796/JWMM.C414>
- [24] Alamdari Nasrin: **Development of a Robust Automated Tool for Calibrating a SWMM Watershed Model**, *World Environmental and Water Resources Congress*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784479841.025>
- [25] Randall Mark, Sun Fubao, Zhang Yongyong, Bergen Jensen Marina: **Evaluating Sponge City volume capture ratio at the catchment scale using SWMM**, *Journal of Environmental Management*, Vol.246, 745-757, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.134>
- [26] Sañudo-Fontaneda Luis A., Jato-Espino Daniel, Lashford Craig, Coupe Stephen J.: **Simulation of the hydraulic performance of Highway Filter Drains through Laboratory Models and Stormwater Management Tools**, *Environmental Science and Pollution Research*, 2018. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-9170-7>
- [27] Macro Kristina, Matott L.Shawn, Rabideau Alan, Ghodsi Seyed Hamed, Zhu Zhenduo: **OSTRICH-SWMM: A new multi-objective optimization tool for green infrastructure planning with SWMM**, *Environmental Modelling & Software*, Vol.113, 42-47, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.12.004>
- [28] Lisenbee Whitney, Hathaway J.M., Winston Rayan J.: **Modeling bioretention hydrology: Quantifying the performance of DRAINMOD-Urban and the SWMM LID module**, *Journal of Hydrology*, Vol.612, 128179, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128179>
- [29] Kim Hwansuk, Mallari Kristine Joy B., Baek Jongrak, Pak Gijung, Choi Hayan II, Yoon Jaeyoung: **Considering the effect of groundwater on bioretention using the Storm Water Management Model**, *Journal of Environmental Management*, Vol.231, 1270-1276, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.032>
- [30] Yang Yuanyuan, Li Yabin, Huang Qiang, Xia Jun, Li Jiake: **Surrogate-based multiobjective optimization to rapidly size low impact development practices for outflow capture**, *Journal of Hydrology*, Vol.616, 128848, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128848>
- [31] Yu Yang, Zhou Yongchao, Guo Zhiyong, van Duin Bert, Zhang Wenming: **A new LID spatial allocation optimization system at neighborhood scale: Integrated SWMM with PICEA-g using MATLAB as the platform**, *Science of the Total Environment*, Vol.831, 154843, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154843>
- [32] Chuang Wen-Kai, Lin Zih-Ee, Lin Tzu-Chi, Lo Shang-Lien, Chang Chia-Lin, Chiueh Pei-Te: **Spatial allocation of LID practices with a water footprint approach**, *Science of the Total Environment*, Vol.859, 160201, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160201>
- [33] Baek SangSoo, Ligaray Mayzonee, Pyo Jongcheol, Park Jong-Pyo, Kank Joo-Hyon, Pachepsky Yakov, Chun Jong Ahn, Cho Kyung Hwa: **A novel water quality module of the SWMM model for assessing low impact development (LID) in urban watersheds**, *Journal of Hydrology*, Vol.586, 124886, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124886>
- [34] Bibi Takele Sambeto: **Modeling urban stormwater management in the town of Dodola based on landuse and climate change using SWMM 5.1**, *Journal of Hidrology: Regional Studies*, Vol.44, 101267, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101267>
- [35] Li Shanshan, Wang Zhaoli, Wu Xushu, Zeng Zhaoyang, Shen Ping, Lai Chengguang: **A novel spatial optimization approach for the cost-effectiveness improvement of LID practices based on SWMM-FTC**, *Journal of Environmental Management*, Vol.307, 114574, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114574>
- [36] Mantilla Ivan, Flanagan Kelsey, Muthanna Tone Merete, Blecken Godecke-Tobias, Viklander Maria: **Variability of green infrastructures performance due to climatic regimes across Sweden**, *Journal of Environmental Management*, Vol.326, 116354, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116354>
- [37] Cipolla Sara Simona, Maglionico Marco, Stojkov Irena: **A long-term hydrological modeling of an extensive green roof by means of SWMM**, *Ecological Engineering*, Vol.95, 876-887, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.009>
- [38] Baek SangSoo, Ligaray Mayzonee, Pachepsky Yakov, Chun Jong Ahn, Yoon Kwang-Sik, Park Yongeun, Cho Kyung Hwa: **Assessment of a green roof practice using the coupled SWMM and Hydrus models**, *Journal of Environmental Management*, Vol.261, 109920, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109920>
- [39] Hamouz Vladimír, Muthanna Tone Merete: **Hydrological modeling of green and grey roofs in cold climate with the SWMM model**, *Journal of Environmental Management*, Vol.249, 109350, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109350>
- [40] Akter Ayasha, Tanim Ahad Hasan, Islam Md.Kumrul: **Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale rainwater harvesting**, *Water Science and Engineering*, Vol.13(2), 95-105, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.06.001>
- [41] De-Ville Simon, Green Daniel, Edmondson Jill, Stirling Ross, Dawson Richard, Stovin Virginia:

**Evaluating the Potential Hydrological Performance of a Bioretention Media with 100% Recycled Waste Components**, *Water*, 2021.  
<https://doi.org/10.3390/w13152014>

- [42] Tang Sijie, Jiang Jiping, Zheng Yi, Hong Yi, Chung Eun-Sung, Shamseldin Asaad Y., Wei Yan, Wang Xiuheng, **Robustness analysis of storm water quality modeling with LID infrastructures from natural event-based field monitoring**, *Science of the Total Environment*, Vol.753, 142007, 2021,  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142007>
- [43] Zhang Zhiming, Hu Wenhan, Wang Wenliang, Zhou Jincheng, Liu Di, Qi Xiaotian, Zhao Xin: **The hydrological effect and uncertainty assessment by runoff indicators based on SWMM for various LID facilities**, *Journal of Hydrology*, Vol.613, 128418, 2022.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128418>
- [44] Zhang Kun, Chui Ting Fong May, Yang Yang: **Simulating the hydrological performance of low impact development in shallow groundwater via a modified SWMM**, *Journal of Hydrology*, Vol.566, 313-331, 2018.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.006>