



Željka Ostojić¹, Strahinja Nikolić²
Sanja Marčeta³, Nemanja Rak⁴

Stručni rad
DOI: 10.5937/VIK25247O

STUDIJA ŽIVOTNOG CIKLUSA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE KIŠNIM OTICAJEM

Rezime: Osnovni cilj primene LCA studija u upravljanju kišnim oticajem je izbor između rešenja koja nude klasični sistemi kišne kanalizacije sa pretežno transportnom funkcijom i korišćenjem podzemnih kolektora i rešenja koja podrazumevaju primenu elemenata SUDS, kojima se osim transporta postiže i regulacija proticaja i smanjenje ukupne zapremine površinskog oticaja. Poteškoću za primenu LCA studija predstavlja izbor jedinstvene funkcionalne jedinice za poređenje varijantnih rešenja upravljanja kišnim oticajem. Naime, uporedive varijante i jedinstvena funkcionalna jedinica podrazumevaju da je za sve varijante koje poredimo zadovoljen primarni cilj sistema za upravljanje kišnim oticajem, a to je sprečavanje plavljenja u slivu za usvojeni nivo bezbednosti. U radu je dat pregled tipičnih ulaznih podataka potrebnih za primenu različitih LCA studija u upravljanju kišnim oticajem. Naime, LCA metodologije vrednovanja varijantnih projektnih rešenja imaju sve veću primenu u savremenoj projektantskoj i upravljačkoj praksi.

Ključne reči: studija životnog ciklusa, upravljanje kišnim oticajem

LCA STUDY OF STORM WATER MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract: The main goal of applying LCA studies in storm water management is to make choice between solutions offered by classic rainwater drainage systems with predominantly transport function and underground collectors usage and solutions with SUDS elements application, achieving flow regulation and the total volume of surface runoff reduction, in addition to transport function. The difficulties in the LCA studies is how to make the proper choice of a unique functional unit for the comparison of variant solutions in runoff management. Namely, the comparable variants and the unique functional unit means that for all of them the the primary goal of the rainwater management system, namely prevention of flooding in the catchment limits for the adopted safety level the is satisfied. The paper provides an overview of typical input data required for the application of various LCA studies in stormwater runoff management. Namely, LCA methodologies for evaluating variants of design solutions are in common use in modern design and management practice.

Key Words: LCA study, storm water management

1. Upravljanje kišnim oticajem kao integralni deo upravljanja rizikom od poplava u urbanim sredinama

U urbanim sredinama je upravljanje kišnim oticajem povezano sa procenom rizika od poplava. Razmatranje 3PA Three Points Approach scenarija za padavine različitog povratnog

¹ Hidroprojekat saobraćaj, Beograd, zeljka.ostojic61@gmail.com, ORCID:0009-0000-5492-8179

² Hidroprojekat saobraćaj, Beograd, strahinja.nikolic@hps.rs, ORCID:0009-0003-3906-1601

³ Hidroprojekat saobraćaj, Beograd, sanja.marceta@hps.rs, ORCID:0009-00007-7129-1238

⁴ Hidroprojekat saobraćaj, Beograd, nemanja.rak@hps.rs, ORCID:0009-0008-4196-8890

perioda, trajanja i intenziteta (svakodnevni D-D nivo, projektni D nivo, ekstremni E nivo), uz primenu projektnih rešenja koja integrišu konvencionalne metode i elemente plavo-zelene infrastrukture je trenutno najperspektivniji pristup za davanje jasnih smernica za projektantsku praksu, što porazumeva saradnju i razmenu znanja između inženjera, urbanista, članova lokalnih zajednica i dr. Zeleni krovovi, zasadi pored puteva, kišne bašte, propusno popločanje, vertikalne bašte i sakupljanje kišnice pretvaraju kišnicu od izvora zagađenja u resurs za stvaranje urbanih oaza, uz istovremeno poboljšanje kvaliteta voda, ozelenjavanje urbanog pejzaža, hlađenje i čišćenje vazduha, smanjenje troškova grejanja i hlađenja i dr.



Slika 1. Bioretenzije kao produžetak ivičnjaka

Figure 1. Bioretention in form of curb extension

<https://nacto.org>, <https://wiki.sustainabletechnologies.ca>, <https://www.cityofpaloalto.org>

Za rešavanje lokalnih problema oticaja od pljuskova povratnog perioda 2 - 10 godina (D - D scenario) korišćenje vegetacije i zemljišta kao prirodnih sundera koji hvataju i zadržavaju oticaj je od najvećeg značaja, jer se na ovaj način sprečava plavljenje saobraćajnica i omogućava pravilan rad sistema kišne kanalizacije i drenažnih, uz korišćenje procesa koji podražavaju prirodne procese retenziranja, filtracije, infiltracije i eksfiltracije. Problemi zaštite kritične infrastrukture uz sprečavanje velikih poremećaja u životu urbane sredine (D scenario – pljuskovi povratnog perioda 10 - 20 godina), kao i minimiziranje štete i žrtava tokom ekstremnih događaja (E scenario – pljuskovi povratnog perioda 50 - 100 godina) podrazumevaju korišćenje mera odbrane od poplava - nasipi, mobilne barijere i zidovi, sistemi ranog upozoravanja, planovi za reagovanje u vanrednim situacijama.

Functional unit

Primary function		Spatial scope	
Rain domain	Flood safety level	Catchment area	100 ha
Everyday	No water on surface	Temporal scope	
Design	No uncontrolled water on surface		
Extreme	Max. 10cm water on surface	Planning period	25 years

Slika 2. Predložena definicija funkcionalne jedinice za LCA SWM sistem, koja se sastoji od primarne funkcije i vremenskog i prostornog opsega. Uobičajne vrednosti su date kurzivom [1]

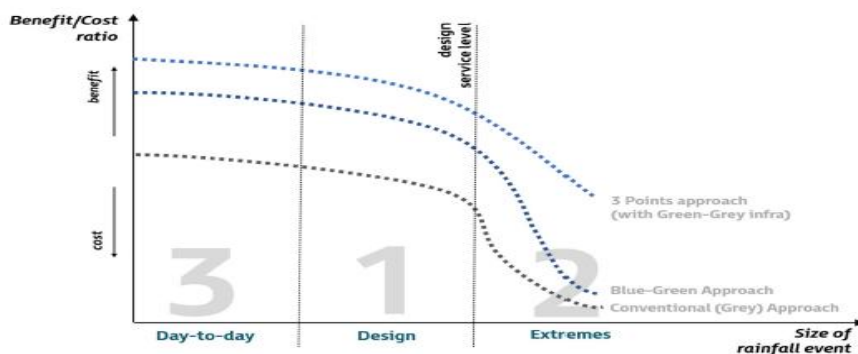
Figure 2. Proposed definition of the functional unit for LCA of SWM systems, consisting of the primary function and the temporal and spatial scope. Exemplary values are given *in italic*.

Za urbana područja je karakterističan zahtev da ne bude površinskog plavljenja u slučaju realizacije scenarija D-D, da postoje područja u kojima je dozvoljeno neznatno, kontrolisano površinsko plavljenje bez područja sa nekontrolisanim plavljenjem u slučaju realizacije scenarija D, odnosno sa maksimalno dozvoljenih 10 cm vode na površini u slučaju da se realizuje ekstremni E scenario. Prilikom definisanja funkcionalne jedinice za sprovođenje LCA analize su potrebni i podaci o površini sliva i planiranom projektnom periodu sistema (slika 2).

Svako od razmatranih rešenja sistema za upravljanje kišnim oticajem predstavlja izvor uticaja na životnu sredinu, koji se kvantifikuju na jedan od sledećih načina:

- Razmatranje uticaja tokom životnog veka infrastrukture čiji su sastavni deo.
- Razmatranje uticaja kroz emisiju zagađenih kišnih voda u periodu rada sistema.

Odnos koristi i troškova govori u prilog primene rešenja zelene infrastrukture za kišne epizode domena DD i D. Za ekstremne padavine odnos koristi i troškova se drastično smanjuje, a uticaj primenjenog koncepta odvodnjavanja ima sve manje uticaja na ovaj odnos (slika 3).



Slika 3. Konceptualna slika troškova i koristi za slučajevne primene konvencionalnog sivog pristupa upravljanju rizikom od poplava, plavo-zelenog pristupa i pristupa tri tačke uz korišćenje koristeći zeleno-sivu infrastrukturu sa razvojem u tri domena [5]

Figure 3. Conceptual image of costs and benefits of the conventional grey approach to flood risk management, the blue-green approach and the 3 points approach using green-grey infrastructure as they develop over the three domains of rainfall sizes [5]

Osim definicije funkcionalne jedinice (slika 2), prilikom izrade uporednih LCA analiza sistema za upravljanje kišnim oticajem je potrebno analizirati i sekundarne funkcije primenjenih sistema upravljanja. Ovo se odnosi na uključivanje informacija o efikasnosti prečišćavanja, koristi od uključivanja rekreativne funkcije, uticaju na kvalitet vode i životnu sredinu, smanjenje preliivanja i nekontrolisanog oticaja za nizvodne slivove. Kada postoje standardi za dimenzionisanje kanalizacionih sistema, kao što je slučaj u Danskoj, treba primenjivati njihove odredbe, time se najlakše obezbeđuje uporedivost varijantnih rešenja LCA analize. U slučaju kada nema standarda uporedivost varijantnih rešenja sistema odbrane od poplava, kao i upravljanja kišnim oticajem kao njegovog integralnog dela je obezbeđena



ako su za sva 3 scenarija isti nivoi bezbednosti od poplava i to za različite varijante razvoja sistema upravljanja kišnim oticajem, sa ili bez primene zelene i sive infrastrukture. Tek se tada za sprovođenje LCA analize može definisati funkcionalna jedinica koja predstavlja „kamen temeljac“ LCA studije.

3. LCA studije sistema za upravljanje kišnim oticajem

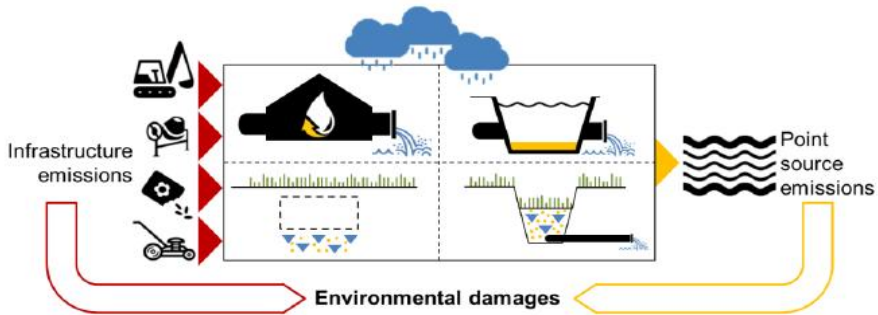
Za izradu LCA studija ne postoji univerzalna metodologija, što je razumljivo s obzirom na raznolikost tema i načine dostizanja osnovnog cilja ovakvih studija - obezbeđivanje nepristrasnog poređenja varijantnih rešenja. Metodologija izrade LCA je često osporavana od strane kritičara „Previše je komplikovano...“, „Možete dobiti bilo koji rezultat koji želite...“ [6], [7], ali interesovanje za primenu LCA raste kao i potreba za obezbeđivanjem sveobuhvatne i pouzdane procene svih aspekata životne sredine, uz primenu ISO 14040 standarda. Osnovni tipovi LCA studija su:

- Cradle-to-grave uticaji na životnu sredinu se prate počevši od ekstrakcije sirovog materijala „kolevka“ do faze odlaganja posle upotrebe „grob“.
- Cradle-to-gate razmatra deo životnog ciklusa proizvoda od ekstrakcije sirovog materijala „kolevka“ do „kapije“ - proizvodnog pogona.
- Cradle-to-cradle razmatra uticaje na životnu sredinu svih proizvoda koji se na kraju svog životnog veka istinski recikliraju (upcikliraju) to je sistem zatvorene petlje koju otpad nikad ne napušta, već se pretvara u biološke ili tehničke hranljive materije za nove proizvode.
- Gate to-gate se koristi za LCA jednog proizvodnog koraka ili procesa.

U najvećem broju LCA studija sistema za upravljanje kišnim oticajem se razmatra ciklus cradle-to-grave, od implementacije (proizvodnja materijala, transport i izgradnja), preko rada i održavanja, do kraja životnog veka (dekomisija, odlaganje ili reciklaža), u skladu sa odredbama ISO, 2006a, 2006b [3], [4]. Osnovni koraci za izradu LCA studije za upravljanje kišnim oticajem su:

- Definisanje funkcionalne jedinice (osnovna jedinica mere usluge u odnosu na zadatu funkciju koju sistem ispunjava) i granica sistema u skladu sa ISO 14041, tako da obim i detaljnost studije budu dovoljni za postizanje utvrđenog cilja, a svi procesi usklađeni u okviru LCA studije (slika 2, 4).
- Formiranje inventara životnog ciklusa proizvoda u skladu sa ISO 14041 kojim se definišu ulazni podaci i emisije za svaki proces, što podrazumeva prikupljanje podataka o količinama upotrebljenih sirovina, transportnim razdaljinama, potrošnji energije, emisijama u vazduh, vodu i zemljište, opasnom i biološkom otpadu. Ecoinvent baza uključuje podatke o potrošnji energije, emisijama i otpadu od proizvođača ili dobavljača, kao i podatke o materijalu, sirovinama i transportnim razdaljinama. Programi koji se najviše koriste među istraživačima za obradu podataka dobijenih iz baze podataka su Simapro, Gabi i OpenLCA, a za kompleksne sisteme EASETECH.
- Procena uticaja životnog ciklusa u skladu sa odredbama ISO 14042 uz povezivanje inventara sa uticajima na životnu sredinu uz klasifikaciju podataka iz inventara LCA i

tipizaciju u okviru kategorija uticaja, uz poređenje dobijenih vrednosti sa jediničnim uticajima na životnu sredinu, radi sagledavanja njihovog značaja i uticaja pojedinih kategorija. Koriste se različite metode verifikovane od strane Evropske komisije. Rezultati LCIA su u okviru usvojenih mehanizama zaštite životne sredine i indikatora (Evropska komisija, 2010c) (slika 5) i to za različite nivoe uticaja. U ReCiPe metodi je definisano 18 kategorija srednjih uticaja i 3 kategorije konačnih uticaja (slika 6).



Slika 4. Uticaj SWM sistema na životnu sredinu – emisije zagađenja tačkasti izvori i infrastruktura [7]

Figure 4. Environmental impact of SWM systems – pollution emissions from point sources and infrastructure emissions [7]

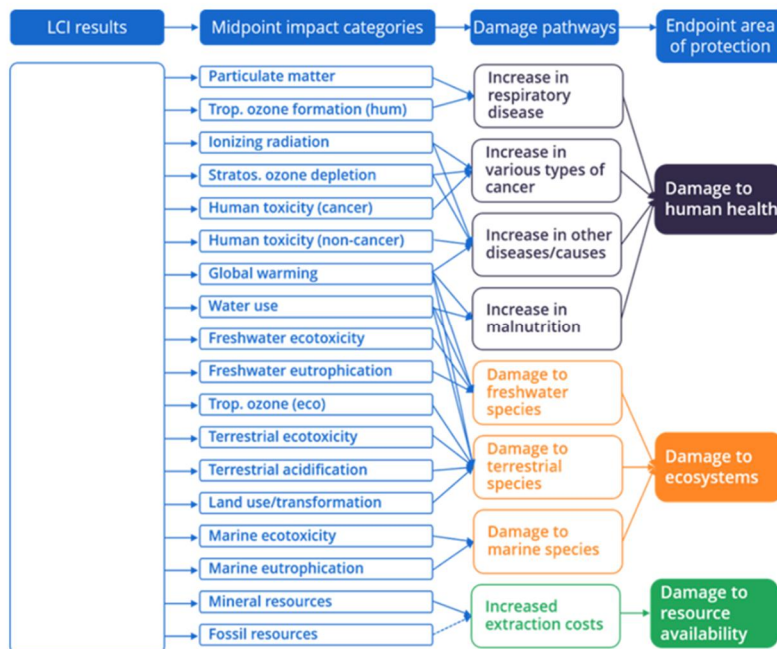
	Material generation	Transport	Con-struction	Operation	Decommis-sioning
Infra-structure	- Concrete - Gravel	- Truck	- Excavation - Landfilling	- Inspection	- Filling
Point sources				- Stormwater discharges	

Slika 5. Procesi povezani sa životnim ciklusom betonske cevi [7]

Figure 5. Processes associated with the life cycle of a concrete pipe [7]

Srednje kategorije uticaja su pojedinačni ekološki problemi kao što su globalno zagrevanje, oštećenje ozonskog omotača ili eutrofikacija. Putevima oštećenja, ovi ekološki problemi utiču na konačne kategorije uticaja - ljudsko zdravlje, ekosisteme i dostupnost resursa (slika 6). Konačne kategorije je lakše tumačiti, ali je važno napomenuti da to uvodi veću neizvesnost u dobijene rezultate, pa kompromis treba uzeti u obzir pri određivanju

ciljeva LCA studije. Tumačenja rezultata se može olakšati ponderisanjem pojedinih kategorija ili metodama interne/eksterne normalizacije.



Slika 6. Okvir ReCiPe metode: Odnos između rezultata LCI, kategorije uticaja srednje tačke i kategorije uticaja krajnje tačke [13]

Figure 6. Framework of the ReCiPe method: Relationship between LCI results, midpoint impact category and endpoint impact category [13]

Interpretacija rezultata studija je objedinjavanje rezultata u jedinstvenu ocenu, najčešće radi upoređivanja varijanti u formi zaključaka ili preporuka usklađenih sa predmetom istraživanja, uobičajno je poštovanje odredbi standarda ISO 14043.

Uticaji infrastrukture i emisija iz tačkastih izvora mogu se tumačiti odvojeno ili u kombinaciji, pri čemu zajedničko tumačenje ima prednost jer omogućava zaključke o ukupnoj održivosti sistema. Odvojeno tumačenje izvora emisija povezanih sa infrastrukturom i sa emisijama iz tačkastih izvora omogućava prepoznavanje kompromisa u procesu donošenja odluka.

3. Primer LCA studija koja prati tipologiju elemenata separacionog sistema

Primena separacionog sistema kanalisanja u urbanim područjima, uz upravljanje atmosferskim vodama je poželjan kocept zasnovan na principima održivog razvoja Smanjivanje opterećenja recipijenta i postrojenja za prečišćavanje nosi sa sobom i brojne ekološke i socio-ekonomske koristi.



Osnovni kriterijumi dimenzionisanja i modeliranja elemenata ovih sistema se vezuju za tip objekta i njegovu hidrološko-hidrauličku funkciju u sistemu za prikupljanje, odvođenje i prečišćavanje kišnog oticaja, što odgovara određivanju funkcionalne jedinice u LCA studiji. U okviru ovog rada prikazani su rezultati LCA studije kojom se određuje udeo pojedinih faza životnog ciklusa sistema za upravljanje kišnim oticajem u ukupnom uticaju. [10].

Studija procene uticaja i troškova pojedinih faza životnog ciklusa [10] urađena je za 4 glavne faze životnog ciklusa različitih sistema za odvodnjavanje saobraćajnica. Prva faza životnog ciklusa je ekstrakcija agregata i drugih neobrađenih sirovina za proizvodnju građevinskog materijala i gorivo, druga faza je transport materijala i opreme, treća faza je izgradnja drenažnog sistema/građevinski radovi, a četvrtoj fazi životnog ciklusa pripadaju eksploatacija, održavanje i kraj životnog veka drenažnog sistema. Analizom je obuhvaćeno 10 različitih drenažnih sistema i 7 kategorija uticaja životnog ciklusa ovih sistema. Da bi rezultati primene različitih sistema odvodnjavanja bili uporedivi pretpostavljeno je da je svih 10 sistema odvodnjavanja konstruisano za odvođenje atmosferskih voda vezanih za isti deo kolovoza od 1 km i da su sistemi nezavisni od voda sa drugih delova kolovoza ili gradskih otpadnih voda. Neki od razmatranih sistema su projektovani za odvođenje atmosferskih voda (ivičnjaci i slivnici), a drugi kao sistemi za skladištenje atmosferskih voda (retenzija). Da bi se eliminisala ova razlika u sistemima odvodnjavanja, LCIA i LCC analize su urađene korišćenjem normalizovanih jediničnih uticaja i troškova na osnovu: 1. dužine i 2. zapremine sistema odvodnjavanja. Razmatrani tipovi drenažnih sistema sa usvojenim mernim jedinicama za procenu uticaja su dati u nastavku, a razmatrane kategorije uticaja su date u tabeli 1.

Tabela 1. Kategorije uticaja i jedinice mere [10]
Tabele 1. Impact categories and measurement units [10]

Broj	Kategorija uticaja	Jedinica mere
1	Climate change potential Potencijal za klimatske promene (GWP)	kg CO ₂ / m ¹ ili kg CO ₂ /m ²
2	Ozone depletion potential Potencijal oštećenja ozonskog omotača (ODP)	kg CFC ₁₁ / m ¹ ili kg CFC ₁₁ /m ²
3	Acidification potential of soil and water Potencijal zakiseljavanja zemljišta i vode/acidifikacija/potencijal generisanja H ⁺	kg SO ₂ /m ¹ ili kg SO ₂ /m ²
4	Eutrophication potential Potencijal eutrofikacije/ograničenja za obogaćivanje zemljišta nutrijentima azota i fosfora	kg PO ₄ /m ¹ ili kg PO ₄ /m ²
5	Photochemical oxidant formation Fotohemijsko formiranje oksidansa	kg C ₂ H ₂ /m ¹ ili kg C ₂ H ₂ /m ²
6	Depletion of abiotic resources-elements Iscrpljivanje obnovljivih abiotskih resursa-elemenata	kg Sb/m ¹ ili kg Sb/m ²
7	Depletion of abiotic resources-fossil fuels Iscrpljivanje neobnovljivih abiotskih resursa - fosilna goriva	MJ/m ¹ ili MJ/m ²



1. Rovovi ispunjeni šljunkom sa perforiranom cevi za odvod (filtracioni rovovi) filter drains uskladištena zapremina (m^3).

2. Infiltracioni rovovi u poroznim sredinama infiltration trenches, sa uskladištenom zapreminom (m^3).

3. Eksfiltracioni rovovi u sredinama sa smanjenom poroznošću soakaways, sa uskladištenom zapreminom (m^3).

4. Porozni kolovozi permeable pavement, sa površinom poroznog kolovoza (m^2).

5. Infiltracioni bazeni infiltration basin, sa zadržanom zapreminom (m^3).

6. Močvare wetland, sa prečišćenom zapreminom (m^3).

7. Retenzije retention ponds, sa prečišćenom zapreminom (m^3).

8. Plitki kanali za infiltraciju swales, sa površinom kanala (m^2).

9. Trake sa stalnom vegetacijom za smanjivanje kontaminacije voda filter strip, sa površinom trake (m^2).

10. Ivičnjaci i slivnici kerb and gully sa dužinom (m^1).

Rezultati sprovedenih LCA analiza pokazali su da je svođenje uticaja i troškova na jedinicu mere dužine ili površine drenažnih sistema prikladnije za drenažne sisteme kod kojih je primarna funkcija transport oticaja (npr. ivičnjaci i slivnici).

Kod drenažnih sistema sa malim kapacitetom protoka koji su projektovani za infiltraciju i/ili retenziranje oticaja, potrebno je svođenje uticaja na životnu sredinu i troškova na kapacitet skladištenja koji se izražava jedinicama zapremine.

Kod gradskih drenažnih sistema važi da su uticaji drenažnih sistema sa većim građevinskim radovima i transportom materijala i većim količinama neobrađenog agregata (filtrerski rovovi) značajno veći od uticaja sistema koji koriste ograničene količine građevinskog materijala (plitki kanali za infiltraciju) na okolinu. Propusni kolovoz je u ovoj studiji jedini sistem koji, osim za drenažu i za oticanje vode služi i kao površina kolovoza.

Najmanji uticaji na životnu sredinu i trošak životnog ciklusa imaju plitki kanali za infiltraciju, močvare i retenziono jezera. Sistemi za odvodnjavanje sa značajnijom upotrebom materijala i izvođenjem građevinskih radova na širem području imaju negativniji uticaj na ljudsko zdravlje, ekosisteme i resurse.

4. Zaključak

Sadašnji način upravljanja vodom kao resursom nije dugoročno rešenje za budući rast populacije i urbanizaciju. Iako je primarni cilj upravljanja atmosferskim vodama trenutno zaštita ljudi i imovine od poplava i zagađenja, uz unapređivanje lokalnih ekonomija, aktuelna je promena prioriteta u ovoj oblasti.

Najvažniji pokretači promena su povećana urbanizacija i razvoj, promene u učestalosti ekstremnih padavina kao rezultat klimatskih promena, promene javnog mnjenja vezane za uticaj atmosferskih voda na životnu sredinu i društvo, promene u dostupnim tehnologijama koje omogućavaju primenu ekološki ispravnijih i održivijih rešenja.



Promena prioriteta u upravljanju kišnim vodama podrazumeva prelazak sa isključivog fokusiranja na odvodnjavanje na holistički pristup koji uzima u obzir ekološke, društvene i ekonomske koristi (smanjenje zapremine oticaja uz poboljšanje kvaliteta oticaja, primena decentralizovanih rešenja, veštačkih močvara za kompenzaciju kišnice, praćenje efikasnosti primenjenih rešenja).

To znači davanje prioriteta održivim rešenjima poput infrastrukture zasnovane na prirodi (NatureBasedSolution). Promena prioriteta u upravljanju zahteva i primenu novih metodologija za procenu varijantnih rešenja, kao što su metode LCA i LCIA, čija je mogućnost primene prikazana u ovom radu.

5. Literatura

- [1] Brudler S, Arnbjerg-Nielsen K, Hauschild M. Z, Rygaard M, Life cycle assessment of stormwater management in the context of climate change adaptation. *Water Research*, 106, p. 394-404, 2016.
- [2] IDA Spildevandskomiteen, Funktionspraksis for afløbssystemer under regn. Skrift, 2005.
- [3] ISO, 2006a. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines - ISO 14044, ISO 14040:2006. Brussels, Belgium, 2006.
- [4] ISO, 2006b. Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and framework - ISO 14044, ISO 14044:2006. Brussels, Belgium, 2006.
- [5] Frans H. M. van de Ven, Chris Zevenbergen, Mila Avellar Montezuma, Zihang Ding, William Veerbeek, Shiyang Chen, The Three-Points Sponge Policy approach towards an enhanced multi-level resilience strategy, *Frontiers in Water*, 2024.
- [6] Sarah Brudler, Karsten Arnbjerg-Nielsen, Michael Zwicky Hauschild, Christian Ammitsoe, Justine Hénonin, Martin Rygaard, Life cycle assessment of point source emissions and infrastructure impacts of four types of urban stormwater systems a,b, *Water Research*, 2019.
- [7] Sarah Brudler, *Life Cycle Assessment of Stormwater Management Systems Quantification of environmental impacts for decision support*, PhD Thesis, January 2019, DTU Environment, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, 2019.
- [8] Laurent A, Hauschild M. Z, Normalisation, in: Hauschild M. Z, Huijbregts M. A. J. (Eds.), *LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment*. Springer Press, pp. 271–300, doi:10.1007/978-94-017-9744-3_14, 2015.
- [9] Itsubo N, Weighting, in: Hauschild, M. Z, Huijbregts, M. (Eds.), *LCA Compendium - The Complete World of Life Cycle Assessment*. pp. 301–330, 2015.
- [10] Alireza Fathollahi, Stephen J, Life Cycle Assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) of road drainage systems for sustainability evaluation: Quantifying the contribution of different life cycle phases, *Science of The Total Environment*, 2021.
- [11] <http://www.watersecuritynetwork.org/> Managing run off from urban roads:an analysis of two competing methodologies using Life Cycle Assessment



- [12] Gouda H, Urban Water Security: LCA and sanitary waste management, *Environmental Scientist - Water Security*, 23 (3). pp. 18-23, 2014.
- [13] *4th Life Cycle Innovation Conference* 2024. July 3 -5 in Berlin, Germany, 2024.