



# PRIRODOM INSPIRISANA REŠENJA INFRASTRUKTURE URBANOG ODVODNJAVANJA – MOGUĆNOSTI PRIMENE I OGRANIČENJA

## NATURE BASED SOLUTIONS FOR URBAN DRAINAGE INFRASTRUCTURE - POSSIBILITIES AND LIMITATIONS

### IZVOD

U radu je dat osvrt na aktuelne probleme urbanog odvodnjavanja sa aspekta pogoršanja hidrološkog režima usled urbanizacije. Istaknuta je potreba za smanjenjem negativnih uticaja urbanizacije na količine i kvalitet urbanog oticaja. Prikazane su inovativne metode urbanog odvodnjavanja i opšte preporuke za njihovu primenu, kao i zahtevi iz predloga nove direktive EU o gradskim otpadnim vodama koje se odnose na integrisano upravljanje otpadnim i kišnim vodama u gradovima.

**Ključne reči:** urbani oticaj, kišne vode, zagađenje, kvalitet vode, integrisano upravljanje

### ABSTRACT

The paper presents challenges that urban drainage has to solve under altering hydrological regime due to urbanization. The need for reducing the negative impacts of urbanization on the quantity and quality of urban runoff is emphasized. Innovative methods of urban drainage have been presented, together with general recommendations for their application. The requirements from the proposal of the new EU Directive on urban wastewater related to the integrated management of urban wastewater, including rain-water, are presented in more detail.

**Keywords:** urban runoff, rain water, pollution, water quality, integrated management

### 1. UVOD

Tradicionalni način urbanizacije menja hidrološke karakteristike sliva tako što povećava udeo nepropusnih površina, što znatno povećava koeficijent oticaja sliva, odnosno povećava zapreminu i protok kišnog oticaja, a smanjuje infiltraciju u zemljište i evapotranspiraciju. Shematski prikaz glavnih uticaja urbanizacije na oticaj je dat na slici 1 (Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998). U isto vreme površinski oticaj se ubrzava tako da se maksimalni protoci površinskog oticaja javljaju ranije u odnosu na oticanje sa površina pre urbanizacije (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010).

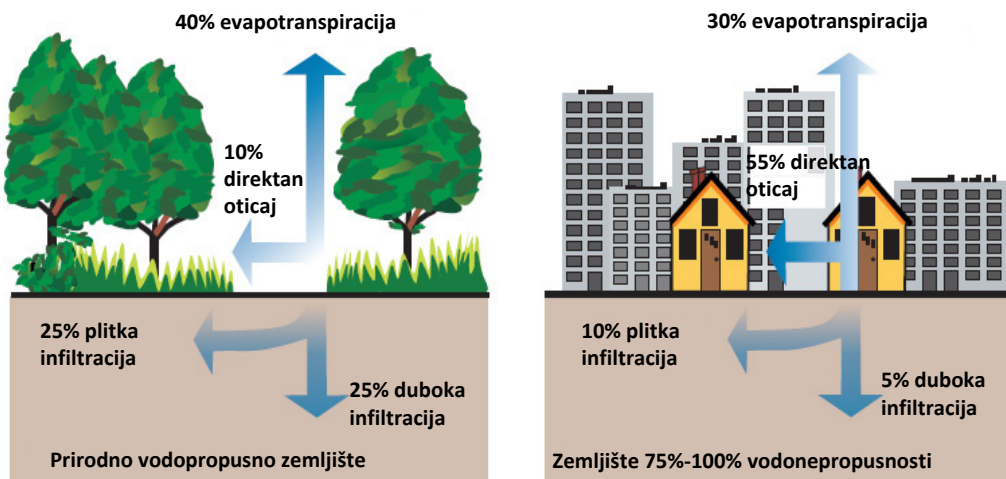
Na urbanim površinama se talože i akumuliraju materije iz atmosfere, materije donete sa okolnih površina, materije koje potiču od korišćenja motornih vozila i iz drugih izvora (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010). Deo materija se zadržava na površini, deo biva odnešen

• vetrom ili saobraćajem na drugo mesto, a deo pretrpi transformaciju ili degradaciju. Usled zagađivanja atmosfere izduvnim gasovima iz vozila, emisijom iz kotlova i industrije, materije koje se akumuliraju na urbanim površinama sadrže i produkte sagorevanja, materije nastale habanjem delova vozila, produkte industrijskog zagađenja i drugo. Tokom kiše ove materije bivaju odvojene od podloge i transportovane površinskim oticajem, pri čemu one mogu prolaziti kroz niz transformacija. Ove materije mogu znatno narušiti kvalitet oticaja i ugroziti prirodne vode u koje se izlivaju (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010).

• Kod urbanih slivova, dominantan udeo oticaja i zagađenja potiče sa nepropusnih površina, kao što su saobraćajnice, trotoari, parkinzi ili krovovi (Revitt i sar., 2014). Za kišni oticaj koji potiče sa urbanih nepropusnih površina karakteristično je da je kvalitet vode koja otiče gori na početku nego na kraju kišne epizode. Ova pojava se naziva prvo spiranje i može

Aleksandar Đukić\*, Branislava Lekić, Branislav Babić, Ognjen Govedarica, Vladana Rajaković Ognjanović  
Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Bul. Kralja Aleksandra 73, Beograd

\* autor za korespondenciju: djukic@grf.bg.ac.rs



Slika 1. Uticaji urbanizacije na hidrološki ciklus u gradovima

Figure 1. Impacts of urbanization on hydrological cycle

se opaziti na manjim urbanim slivovima, pretežno uniformnih karakteristika, dok kod većih kompleksnih urbanih slivova pojava prvog spiranja ne mora biti izražena (Taebi i Droste, 2004; Flint i Davis, 2007; Lee i sar., 2002; Deletic, 1998; Barco i sar., 2008; Obermann i sar., 2009; Luo i sar., 2009; Bach i sar., 2010; Ma i sar., 2010).

## 2. AKUMULISANJE I SPIRANJE ZAGAĐENJA SA URBANIH POVRŠINA

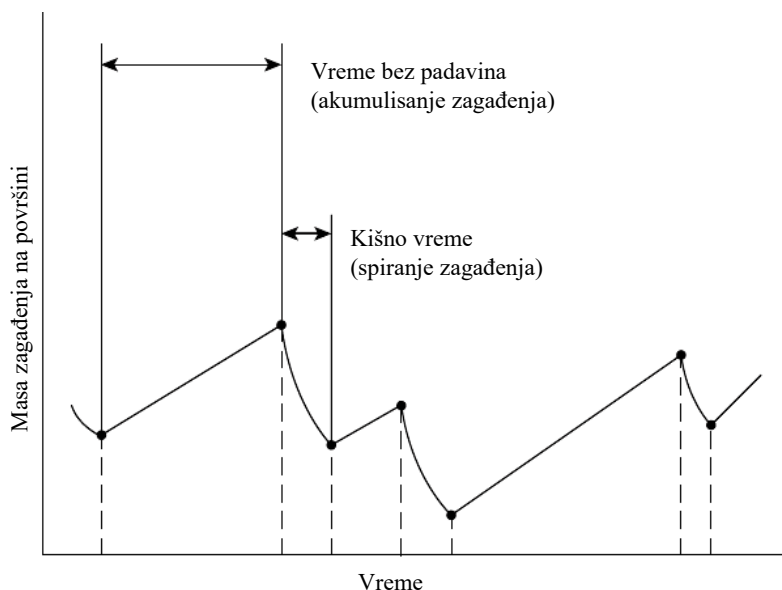
Akumulacija zagađenja na nepropusnim površinama odvija se u periodima bez padavina, kada se materije prirodnog i antropogenog porekla sakupljaju na površinama. Akumulacija materija usporava se, tokom vremena, tako da se masa zagađenja po jedinici površine asimptotski približava maksimumu, koji zavisi od niza lokalnih faktora kao što su atmosfersko zagađenje, položaj površine u odnosu na izvore zagađenja, karakteristike površine, način korišćenja površine, intenzitet saobraćaja i drugo (James i sar., 2010).

Pokretanje zagađenja sa površine je složen proces koji zavisi od niza faktora, uključujući i tip i osobine zagađujućih materija. Zbirno delovanje svih ovih uticajnih faktora dovodi do pojave spiranja zagađenja koje se odvija različitim intenzitetima tokom jedne kišne epizode. Količina zagađenja na urbanim površinama stalno se menja kroz vreme u zavisnosti od smene sušnih i kišnih peioda, kako je to shematski predstavljeno na slici 2 (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010). Akumulisanje i spiranje zagađenja može se opisati različitim empirijskim relacijama (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010).

U proteklih nekoliko decenija, na lokacijama širom sveta, sprovedena su raznovrsna istraživanja

usmerena ka utvrđivanju dinamike spiranja i ispuštanja zagađujućih materija sa nepropusnih urbanih površina (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010, James i sar., 2010). Istraživanja ukazuju da oticaj sa urbanih površina može sadržati niz zagađujućih materija antropogenog porekla (Hvitved-Jacobsen, 2010):

- porast sadržaja organskih materija, iskazan kroz hemijsku potrošnju kiseonika (HPK), ukupni organski ugljenik (TOC) ili biohemijsku potrošnju kiseonika za 5 dana ( $BPK_5$ ), su blago ili umereno izraženi, i uglavnom vode poreklo sa zemljišta i zelenih površina;
- suspendovane materije najviše su izraženo zagađenje u kišnom oticaju sa urbanih površina jer su prisutne u značajnim koncentracijama i imaju tendenciju udruživanja sa najsitnijim frakcijama čestica, drugih zagađujućih materija kao što su teški metali, poliaromatični ugljovodonici (*eng.* PAH) itd.;
- teški metali, kao što su bakar, olovo, kadmijum, nikel, hrom i cink su prisutni pretežno u nerastvornom obliku (Đukić i sar., 2016b) i mogu biti prisutni u kišnom oticaju u širokom opsegu koncentracija, prvenstveno u zavisnosti od načina korišćenja zemljišta na slivu, intenziteta saobraćaja i industrijskog zagađenja;
- ulja, masti i naftni ugljovodonici su povremeno prisutni u kišnom oticaju i njihovo prisustvo ukazuje na akcidentna zagađenja (curenje ulja i goriva iz motornih vozila, spiranje ulja sa površina u industrijskim postrojenjima na kojima je došlo do nekontrolisanog izlivanja ulja i dr.);
- jedinjenja azota i fosfora su prisutna u oticaju ukoliko postoji veće spiranje sa zelenih površina, ili specifična aeroxagađenja koja sadrže ove materije;



**Slika 2.** Shematski prikaz pomene ukupne količine zagađenja na nepropusnim površinama kroz vreme usled smene perioda sa i bez padavina

**Figure 2.** Total amount of pollution on impervious surfaces over time during dry and wet periods

- druge specifične zagađujuće materije, kao što su PAH i volatilne materije, kao i neke druge specifične materije mogu se javiti u površinskom oticaju u zavisnosti od načina korišćenja površina, kvaliteta vazduha i drugih faktora.

Istraživanja ukazuju na veliku varijabilnost po prostoru i vremenu parametara zagađenja (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010; James i sar., 2010). Lokalne specifičnosti su izražene, tako da je neophodno sprovesti ispitivanja u svakom konkretnom slučaju. Na primer, istraživanja u južnim i istočnim primorskim područjima SAD ukazuju da namena zemljišta ima značajnu ulogu: zelene površine i industrija generišu veće količine sedimenata (suspendovanih materija), zelene i površine niske gustine stanovanja generišu veće

količine fosfora, a saobraćajne i industrijske površine generišu veće količine azota od proseka (Yazdi i sar., 2021) Na osnovu obimnih istraživanja sprovedenih u SAD, u tabeli 1 su date tipične vrednosti godišnjih opterećenja zagađenjem od oticaja sa različitih tipova površina (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010).

Poseban izazov predstavljaće klimatske promene. Najnovija istraživanja ukazuju da će se projektanti sistema za sakupljanje i tretman kišnih suočavati sa sve većim neizvesnostima u pogledu prostorne i vremenske dinamike kišnih i sušnih perioda u budućnosti. Rezultati pokazuju da globalno zagrevanje od 1,5 C i 2°C može uticati na povećanje opterećenja teškim metalima u urbanom kišnom oticaju za skoro 50% (Wijesiri i sar., 2020).

**Tabela 1.** Tipična godišnja opterećenja zagađenjem oticaja sa različitih površina, kg/ha.god

**Table 1.** Typical annual runoff pollution loads from various surfaces, expressed in kg /ha.year

Parametar	Tip površine - način korišćenja zemljišta						
	Komercijalna	Stanovanje (velika gustina)	Stanovanje (srednja gustina)	Stanovanje (niska gustina)	Industrija	Putevi	Parkirališta
TSS	1100	450	270	10	550	1000	450
TP	1,7	1,1	0,4	0,05	1,5	1,0	0,8
TKN	7,5	4,7	2,8	0,3	3,7	8,9	5,7
BPK <sub>5</sub>	70	30	15	1	-	-	53
HPK	470	190	60	10	230	-	300
Pb	3,0	0,9	0,06	0,01	0,2	5,0	0,9
Zn	2,3	0,8	0,1	0,05	0,4	2,3	0,9
Cu	0,4	0,03	0,03	0,01	0,1	0,4	0,07



### 3. INOVATIVNE METODE KONTROLE KOLIČINE I KVALITETA URBANOG OTICAJA

Svetska iskustva ukazuju da su problemi nastali usled urbanizacije i prekomerne izgradnje nepropusnih površina doveli do učestalih poplava unutrašnjim vodama urbanih područja. Ovo dovodi do uvećanih šteta od poplava, ugrožavanja imovine i života, pri čemu se znatno uvećavaju potrebne investicije za sisteme kišne kanalizacije koji treba da prihvate sve veće količine kišnog oticaja kako bi održali zadati nivo zaštite od poplava unutrašnjim vodama. Ovo je postepeno dovelo do promena u načinu koncipiranja, izgradnje i rada sistema urbanog odvodnjavanja (kišne kanalizacije) i uvođenja inovativnih metoda u razvijenim zemljama. Inovativni sistemi odvođenja kišnih voda iz urbanih sredina teže ka odvođenju kišnih voda imitirajući prirodne procese. Za razliku od konvencionalnih sistema, gde se kišna voda sprovodi sistemom vodopropusnih kanala i cevovoda najbržim putem do recipijenta, ovde se teži (Woods-Ballard i sar., 2007):

- Smanjenju količina otekle vode sa urbanih površina,
- Povećanju infiltracije - prihranjivanja podzemnih voda (ako je to moguće i prihvatljivo na konkretnoj lokaciji),
- Povećanju evapotranspiracije,
- Poboljšanju kvaliteta kišnog oticaja smanjenjem koncentracije prisutnih zagađujućih materija,
- Ublažavanju uticaja na životnu sredinu i recipijent pri akcidentnim izlivanjima zagađujućih materija,
- Opštem poboljšanju kvaliteta životne sredine i unapređenju estetske i materijalne vrednosti urbanog područja i
- Formiranju prirodnih staništa za divlji svet u urbanim sredinama.

Da bi se uspešno oponašali prirodni procesi pri oticanju i upijanju vode, obično se primenjuju metode zasnovane na nizu podistema, čime se se dobijaju efikasnija rešenja, jer se koristi niz objekata koji zajedno utiču na smanjenje zapremine otekle vode, vršnog proticaja i koncentracije zagađujućih materija (Woods-Ballard i sar., 2007).

Na primer, dobri rezultati u kontroli količina i kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih površina se mogu postići simultanom primenom niza metoda (npr. zeleni krovovi, vodopropusne površine kolovoza i trotoara, propusni otvoreni kanali, retenzije, biofilteri, infiltracioni rovovi i dr.). Sve ove metode treba inkorporirati pri uređenju i građenju naselja i urbane infrastrukture tako da smanjuju plavljenje kišnim vodama, smanjuju površinski oticaj i uklanjanju deo zagađujućih materija iz kišnog oticaja blizu mesta nastanka čime se unapređuje kvalitet života i životna sredina u naseljima. Primena ovih sistema podrazumeva velike promene u koncipiranju

urbanističkog razvoja naselja i infrastrukture, a osnovni cilj je smanjenje ili eliminisanje promena režima voda nastalih usled urbanizacije (kako promena hidrološkog ciklusa voda tako i promena kvaliteta voda). Ovi inovativni koncepti urbanog odvodnjavanja se različito nazivaju u različitim delovima sveta: „razvoj sa malim uticajima“ u SAD (*eng. Low Impact Development – LID*), „održivi urbani drenažni sistemi“ u Ujedinjenom Kraljevstvu (*eng. Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*), „prirodom inspirisana rešenja“ u EU (*eng. Nature Based Solutions - NBS*), „gradovi osetljivi na vodu“ u Australiji (*eng. Water Sensitive Cities*) i „gradovi sunderi“ u Kini (*eng. Sponge Cities*). Svaki od njih ima svoje specifičnosti, ali zajednički im je integrisani pristup upravljanju urbanim vodama, inkorporiranje ciljeva upravljanja kišnim oticajem u pravila uređenja i građenja naselja i zahtev za unapređenjem životne sredine (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010).

Prirodom inspirisana rešenja koriste usluge ekosistema da doprinesu rezultatima upravljanja vodama u gradovima. Prirodom inspirisana rešenja mogu uključiti očuvanje ili rehabilitaciju prirodnih ekosistema i/ili unapređenje ili uspostavljanje prirodnih procesa u modifikovanim ili veštačkim ekosistemima.

Zahtevani kvalitet vode koja se ispušta sa urbanih površina zavisi od lokalnih uslova i vodoprijemnika. Količina, odnosno zapremina, početnog površinskog oticaja koga treba prečistiti u praksi varira, preporuke se razlikuju od zemlje do zemlje i najčešće su u opsegu od prvih 10 ili 13 mm (pola inča) do najviše prvih 25 mm kiše koje padnu na nepropusne površine tokom jedne kišne epizode (U.S. Department of Transportation, 2001).

U skladu sa navedenim, novija istraživanja pokazuju da zahvatanje i prečišćavanje manjih kiša koje se češće javljaju može dati dobre ukupne efekte zaštite voda i zemljišta od zagađenja, uz niže investicije, npr. kiše koje se javljaju nekoliko puta godišnje (Hvitved-Jacobsen i sar., 2010).

Pojedine metode za kontrolu količina i kvaliteta oticaja su detaljnije opisane u naredim poglavljima. S obzirom da rezultati istraživanja ukazuju da emisija zagađenja prvenstveno zavisi od visine kiše (Đukić, 2016a), mere i tehnička rešenja moraju biti usmerena ka smanjenju (kontroli) oticaja i kontroli kvaliteta oticaja od kiše određene ukupne visine padavina, određene prema specifičnostima konkretnog sliva i karakteristikama vodoprijemnika. Od tehničkih rešenja, koja bi doprinela ostvarenju ovakvih ciljeva, nameću se sistemi za simultanu kontrolu količina i kvaliteta oticaja, jer se upravo na taj način smanjuju izmene prirodnog hidrološkog režima usled urbanizacije.



### 3.1 Kontrola količina otekle vode

Postoji niz procesa koji se mogu upotrebiti za kontrolu oticaja. Svaka od opcija upravljanja oteklih količina voda ima svoje prednosti, mane i ograničenja. U zavisnosti od traženih kriterijuma, može se postići kontrola otekle vode, umanjeno rizika od poplava, zadržavanje vode i/ili prihranjivanje podzemnih voda (Woods-Ballard i sar., 2007) kroz:

- a) Infiltraciju - ocedivanje vode kroz zemlju, čime voda dospeva u niže slojeve tla, čime dolazi do smanjenja količina otekle vode po površini terena. U slučaju da nema rizika od zagađivanja podzemnih voda, ili ograničenja za količinu infiltrirane vode, ovo je idealno rešenje, jer dolazi do prihranjivanja podzemnih voda, čime se pospešuju prirodni hidrološki procesi. Efikasnost ovog rešenja zavisi od vrste zemljišta kroz koje se voda cedi, od prethodne vlažnosti zemljišta i vremena trajanja kiša. U slučaju da postoji rizik od zagađenja podzemnih voda, treba pribеći drugim rešenjima.
- b) Zadržavanje vode - prihvatanje ili usporavanje toka vode. Zadržavanje vode se najčešće postiže pomoću povremeno plavnih površina, laguna ili podzemnih rezervoara, dok se usporavanje postiže ograničenjem ispuštanja u kombinaciji sa zadržavanjem vode. Ovom metodom se postiže smanjenje poplavnog talasa, ali se ne smanjuju količine otekle vode.
- c) Prenos količina vode, predstavlja prenos količina vode sa jednog na drugo mesto, i to je neophodna karika u lancu povezivanja različitih komponenti sistema. Ovo se može izvesti površinskim kanalima, cevima ili rovovima. U cilju smanjenja količina otekle vode kanali za odvod vode mogu se predvideti sa propusnim dnom (npr zatravneni kanali).
- d) Korišćenje kišnih voda - kada je to moguće i opravdano kišne vode se mogu koristiti za navodnjavanje, pranje ulica ili u druge svrhe, u zavisnosti od lokalnih uslova. Neophodno je dimenzionisati prostor za zadržavanje ove vode sa malom verovatnoćom da će doći do preliivanja.

Planiranje i primena navedenih metoda je kompleksan zadatak, ali ipak se mogu navesti nekoliko jednostavnih osnovnih pravila koje treba primenjivati za odvodnjavanje gradova:

- Minimizirati gradnju nepropusnih površina (pločnici, asfalt);
- Oticaj usmeravati na travnjake i propusne površine, gde je moguće;
- Ako plavljenje nije moguće izbeći, identifikovati površine koje će se kontrolisano plaviti pri jakim kišama, propisno ih označiti i održavati;
- Применiti zelene krovove gde je to opravdano.

### 3.2. Kontrola kvaliteta otekle vode

Postoji niz metoda koje se koriste za prečišćavanje kišne vode. Metode se mogu i kombinovati na različite načine, a najčešće korišćene metode su (Woods-Ballard i sar., 2007):

- e) Taloženje - jedan od primarnih načina prečišćavanja kišnih voda. Najveći deo zagađujućih materija prisutan u kišnom oticaju vezan je za suspendovane čestice i njihovim taloženjem značajno se može smanjiti količina zagađujućih materija u kišnom oticaju (Hvitved-Jacobsen i sar. 2010, Djukic i sar., 2016, Woods-Ballard i sar., 2007). Taloženje se postiže smanjenjem brzine toka vode u odgovarajućim bazenima – taložnicama gde se suspendovane čestice izdavaju na dnu u obliku taloga. Neophodno je obezbediti uslove da ne dođe do ponovnog vraćanja – resuspenzije materijala koji se već istaložio u vodi pri sledećoj kišnoj epizodi.
- f) Filtracija i biofiltracija – zagađujuće materije prisutne u oticaju mogu se prečistiti filtriranjem. Filter može biti sama zemlja ili sloj agregata, biljke ili projektovani geotekstilni slojevi. U filterskom materijalu mogu se odigravati i biohemijski procesi koji uklanjaju različite zagađujuće materije iz vode.
- g) Adsorpcija predstavlja vezivanje zagađujućih materija za površinski sloj čestica tla ili agregata. Na kraju, materijal na koji se zagađujuće materije vezuju postaje zasićen i time prestaje funkcija adsorpcije.
- h) Biodegradacija predstavlja biološki tretman, gde se mikrobiološke zajednice formiraju u okviru zemljišne sredine i razlažu ulja, masti i druge organske materije uz pomoć kiseonika i nutrijenata iz vode koja se infiltrira.
- i) Isparavanjem usled povećanja temperature ili smanjenja pritiska, izdvaja se voda iz mešavine i formira se suvi ostatak. Ova metoda se koristi pri prečišćavanju voda od pesticida i specifičnih zagađujućih jedinjenja.
- j) Precipitacija je tretman u prečišćavanju vode gde se ubacuju soli metala koje reaguju sa rastvorenim metalima u vodi stvarajući nerastvorena jedinjenja metala koja se talože.
- k) Upijanje biljkama - biljke u jezerima i barama koriste određena jedinjenja iz vode u procesu fotosinteze. Ovim putem se izdvajaju iz vode jedinjenja fosfora i azota, a moguće je i prirodno skladištenje sulfata u korenoj zoni biljaka.
- l) Nitrifikacija - Amonijak i amonijum joni mogu biohemijском oksidacijom uz prisustvo određenih bakterija formirati nitrata, jedinjenja koje biljke koriste u ishrani.



m) Fotoliza - usled prisustva i dejstva ultraljubičastih zraka dolazi do razgradnje organskih materija uz smanjenje sadržaja zagađujućih materija.

Primena pojedinih metoda prečišćavanja je uslovljena nizom faktora, kao što su efikasnost i ekonomičnost. Za unapređenje kvaliteta kišnog oticaja u gradovima neophodno je je primeniti i sledeće mere prevencije nastajanja zagađenja:

- Identifikovati moguće izvore zagađenja i sprečiti izlivanje zagađenja na mestu njegovog potencijanog nastanka;
- Čišćenje ulica potrebno je izvoditi mehaničkim putem (usisavanje/sakupljanje materija), a ne ispiranjem vodom, čime se izbegava povećano i ubrzano odnošenje zagađujućih materija u vodoprijemnike;
- Sprovoditi aktivnosti usmerene ka smanjenju erozije zelenih površina;
- Unapređivati kvalitet vazduha (dugoročni cilj).

### 3.3. Prednosti i nedostaci inovativnih metoda kontrole oticaja

Karakteristike inovativnih rešenja za upravljanje kišnim oticajem u naseljima zavise od niza faktora i lokanih specifičnosti. Iskustva u primeni ovih sistema u našim gradovima još uvek ne postoje, a na osnovu iskustava u gradovima Evrope, Severne Amerike i dalekog istoka, mogu se sažeti prednosti primene ovih metoda:

- Efikasna zaštita od plavljenja unutrašnjim vodama;
- Smanjenje investicija i operativnih troškova nizvodnih sistema za kanalizaciju kišnih voda;
- Kontrola kvaliteta kišnog oticaja;
- Smanjenje efekata „toplotnih ostrva“ u gradovima;
- Pобољшanje stepena zaštite okoline i recipijenta u slučaju redovnih i akcidentnih izlivanja zagađenja;
- Prihranjivanje podzemnih akvifera (gde god je moguće i poželjno);
- Pобољшanje ekoloških uslova povećanjem udela zelenih površina, otvorenih vodenih površina i formiranjem staništa za biljni i životinjski svet;
- Uvećanje cene okolnog zemljišta i nekretnina.

Savremena istraživanja ukazuju da nove metode za kontrolu oticaja, kada su dobro projektovane, izvedene i održavane, pored efekata na smanjenje oticaja imaju i pozitivne efekte na kvalitet vode. Iako su ove metode prvenstveno fokusirane na uklanjanje suspendovanih materija iz oticaja, odvija se i niz hemijskih i bioloških reakcija koje poboljšavaju kvalitet vode. Potrebna su dalja istraživanja za puno razumevanje ovih dodatnih mehanizama prečišćavanja i kvantifikaciju njihovih efekata (Gavić i sar., 2019).

Međutim, primena inovativnih sistema ima i svoje nedostatke, koji se prvenstveno ogledaju u višim investicionim ulaganjima u poređenju sa konvencionalnim sistemima kišne kanalizacije,

složenije aktivnosti na održavanju i više cene održavanja sistema, prostorni zahtevi (koji mogu biti u konfliktu sa drugim korisnicima prostora ili željama investitora za profitom), a otvorene vodene površine kod retenzija i laguna za kišnicu nose sa sobom rizik od utapanja.

Korisna upotreba kišnog oticaja sa urbanih površina kao tehničke vode je uspešno demonstrirana u nizu država u svetu, ali u pogledu upotrebe vode za piće postoji nedostatak regulatornog okvira i neizvesnosti u pogledu kvaliteta kišnih voda, posebno u pogledu patogena i specifičnih polutanata od značaja za snabdevanje vodom za piće (Luthy i sar., 2019). U aridnim područjima biće potrebno obezbediti sinergiju zahvatanja i korišćenja atmosferskih voda sa drugim alternativnim izvorima vodosnabdevanja, na primer ponovnim korišćenjem prečišćene otpadne vode, gde se postavlja imperativ optimalnog i višenamenskog korišćenja skupih infrastrukturnih objekata (Luthy i sar., 2019)

## 4. PRAVCI BUDUĆEG RAZVOJA U OVOJ OBLASTI U EVROPSKOJ UNIJI

Direktiva o tretmanu gradskih otpadnih voda EU 91/271/EEC usvojena je 1991. godine, u daljem tekstu „Stara Direktiva“ (Council Directive, 1991). Cilj Stare Direktive je „zaštita životne sredine od štetnih efekata ispuštanja otpadnih voda iz urbanih izvora i specifičnih industrija“. Od država članica se zahteva da obezbede da se otpadne vode iz svih aglomeracija većih od 2000 stanovnika sakupljaju i tretiraju u skladu sa minimalnim standardima i rokovima za primenu definisanim u ovoj Direktivi (Council Directive, 1991).

Nakon više od dve decenije od početka primene Stare Direktive skoro svi zadaci postavljeni ovom Direktivom su ispunjeni, ali su se pojavili novi izazovi, kao što su: nove vrste zagađenja, klimatske promene, pandemije, usklađivanje sa drugim direktivama i strategijama (npr. Evropski zeleni plan – eng. *European Green Deal* iz 2018. godine) vezanim za životnu sredinu, rukovanje muljevima i proširena odgovornost proizvođača. Proteklih godina su pokrenuta istraživanja i tribine o dometima i rezultatima primene Stare Direktive, preostalim zagađenjima koji se ispuštaju, identifikacija novih vrsta zagađujućih materija od interesa, inkorporiranje principa cirkularne ekonomije i Evropskog zelenog plana u oblast gradskih otpadnih voda, uticaji urbanizacije na režim gradskih otpadnih voda i drugo.

Evaluacija rezultata primene Stare Direktive o otpadnim vodama je urađena kroz Program Evropske komisije za regulatornu sposobnost i učinak (*European Commission's regulatory fitness and performance programme*) – REFIT. Pozitivni efekti Stare Direktive na kvalitet jezera, reka i mora u EU su jasno

vidljivi i merljivi: danas se 98% gradskih otpadnih voda u EU adekvatno sakuplja i 92% se adekvatno tretira (European Commission, 2022a). Evaluacija je identifikovala nekoliko preostalih izazova vezanih za emisije zagađenja iz naselja u vode. U tom smislu posebno su izdvojena preostala zagađenja iz urbanih područja usled kiša (prelivanja viška kišnice iz opštih sistema kanalizacije i oticaj sa urbanih površina) koji predstavljaju značajan preostali izvor opterećenja životne sredine na koje odlazi između 7,2% (N) i 29,8% (E. Coli) izlivenog zagađenja u zemljama EU (European Commission, 2022a).

Sve ove aktivnosti su rezultirale definisanjem Predloga nove Direktive o gradskim otpadnim vodama koju je usvojila Evropska komisija 26. oktobra 2022. godine (European Commission, 2022b). Osnovni principi koji su ugrađeni u novi predlog su da štetnim supstancama treba sprečiti da uđu u kanalizaciju kroz striktnu primenu principa kontrole na izvoru, zagađivači treba da plate pune troškove uklanjanja zagađenja, omogućavanje cirkularne ekonomije i iskorišćenja materija i energije iz kanalizacionih muljeva kontrolom njegovog kvaliteta, a sličan pristup bi se mogao primeniti i na urbano odvodnjavanje da bi se ograničio i kontrolisao višak kišnih voda koji ulazi u kanalizaciju tokom kišnog vremena (European Commission, 2022b).

U Predlogu direktive o gradskim otpadnim vodama pojavljuju se odredbe koje eksplicitno definišu obaveze praćenja, upravljanja i smanjenja emisije zagađenja od kišnog oticaja iz urbanih celina. Novi član 5 u predlogu Direktive definiše obavezu donošenja lokalnih planova integralnog upravljanja gradskim otpadnim vodama u cilju smanjenja zagađenja od kišnih voda (površinski oticaj sa urbanih površina i prelivanje viška kišnice). Okvirni sadržaj planova, kao i njihovi okvirni ciljevi koji treba da se prilagode lokalnim okolnostima, zasnovani su na najboljoj praksi i detaljno su navedeni u Aneksu V predloga Direktive (European Commission, 2022c). Izrada planova će biti obavezna za sve aglomeracije sa brojem ekvivalentnih stanovnika (ES) 100 000 ili više, kao i za sve aglomeracije sa između 10 000 i 100 000 ES gde urbani površinski oticaj ili prelivanje viška kišnice predstavlja rizik po životnu sredinu ili zdravlje ljudi. Aneksom V predloga nove direktive o otpadnim vodama definisan je minimalni sadržaj plana integrisanog upravljanja gradskim otpadnim vodama, koji treba da obuhvati (European Commission, 2022c):

1. Analizu početnog stanja slivnog područja postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda aglomeracije, uključujući najmanje sledeće:

(a) detaljan opis mreže sabirnih sistema, kapaciteta za zadržavanje gradskih otpadnih voda i gradskog oticaja te mreže i postojećih kapaciteta za prečišćavanje gradskih otpadnih voda u slučaju padavina;

(b) dinamičku analizu tečenja površinskog oticaja sa urbanih površina i gradskih otpadnih voda za vreme padavina korišćenjem hidroloških i hidrauličkih modela i modela kvaliteta vode koji uzimaju u obzir najsavremenije klimatske projekcije uključujući procenu opterećenja zagađenjem koja se izlivaju u vodoprijemnik u slučaju padavina;

2. Ciljeve za smanjenje zagađenja od izlivanja atmosferskih i otpadnih voda iz urbanih područja, uključujući:

(a) indikativni cilj da prelivanje atmosferskih voda ne predstavlja više od 1% godišnjeg sakupljenog opterećenja gradskih otpadnih voda izračunatog u uslovima suvog vremena; Rokovi za primenu su:

- 31. decembar 2035. za sve aglomeracije jednake ili veće od 100 000 ES;
- 31. decembar 2040. za aglomeracije jednake i veće od 10 000 ES i gore identifikovane u skladu sa stavom 2 člana 5;

(b) progresivno eliminisanje ispuštanja neprečišćenog površinskog oticaja iz urbanih područja kroz separacione sisteme kanalizacije, osim ako se može dokazati da ta ispuštanja ne utiču na kvalitet vode vodoprijemnika;

3. Mere koje treba preduzeti za postizanje ciljeva navedenih u tački 2, uz jasnu identifikaciju aktera koji su uključeni i njihove odgovornosti u implementaciji integrisanog plana.

4. Prilikom procene koje mere treba preduzeti prema tački 3, države članice će obezbediti da njihovi nadležni organi uzmu u obzir najmanje sledeće:

(a) Prvo, preventivne mere koje imaju za cilj da se spreči ulazak nezagađenih kišnih voda u kanizacione sisteme za upotrebljene vode, uključujući mere koje promovišu prirodno zadržavanje vode ili sakupljanje i zadržavanje kišnice, i mere za povećanje udela zelenih površina ili ograničavanje nepropusnih površina u aglomeracijama;

(b) Drugo, mere za bolje upravljanje i optimizaciju korišćenja postojeće infrastrukture uključujući sisteme za prikupljanje i zadržavanje kišnice, postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda sa ciljem da se osigura da se zagađene kišne vode sakupljaju i prečišćavaju, a da se ispuštanje neprečišćenih otpadnih voda u vodoprijemnike svede na minimum;

(c) konačno, kada je to neophodno za postizanje ciljeva iz tačke 2, primeniti dodatne mere, uključujući prilagođavanje infrastrukture za sakupljanje, zadržavanje i prečišćavanje gradskih otpadnih voda ili stvaranje





nove infrastrukture, prvenstveno zelene infrastrukture kao što su npr. kanali obloženi vegetacijom, lagune za tretman i jezera za zadržavanje kišnice projektovani tako da unaprede biodiverzitet. Tamo gde je to bitno, razmotriti ponovno upotrebu kišnice u kontekstu razvoja integrisanih planova upravljanja gradskim otpadnim vodama.

## 5. ZAKLJUČAK

Velika prostorna i vremenska promenljivost svih parametara površinskog oticaja, kao i činjenica da zagađenje koje se spira oticajem potiče iz rasutih izvora zagađenja, predstavlja teškoću u uspostavljanju pravila i zahteva u pogledu kontrole i smanjenja zagađenja od urbanog oticaja. Stoga, uvođenje graničnih vrednosti emisije, odnosno maksimalnih dozvoljenih koncentracija parametara u kišnom oticaju koji se ispušta u vodoprijemnike, ne deluje kao opravdano i praktično primenjivo u praksi. Sa druge strane, pristup ovoj problematici u zakonodavstvu EU, a delom i u Srbiji, je da sva ispuštanja u vode budu takva da ne naruše dobar status vodnih tela. Ovo ukazuje da je krajnji cilj smanjenje negativnih uticaja od ljudskih aktivnosti, što podrazumeva da se u prvom koraku moraju odrediti hidrološki i ekološki uslovi na slivu bez urbanizacije, a zatim primenom odgovarajućih mera se negativni uticaji urbanizacije i drugih ljudskih aktivnosti kontrolišu da ne pređu neku vrednost koja ne ugrožava opstanak i razvoj ljudske zajednice, ali ni ciljani status vodnog tela. Ovakav pristup veoma zavisi od lokalnih specifičnosti i zahteva dodatne napore za istraživanja, analize i testiranja projektna rešenja.

Rezultati niza sprovedenih istraživanja u svetu i kod nas ukazuju da emisija zagađenja oticajem sa urbanih slivova prvenstveno zavisi od visine kiše, tako da mere i tehnička rešenja moraju biti usmerene ka smanjenju (kontroli) oticaja i kontroli kvaliteta oticaja od kiše određene ukupne visine padavina, određene prema specifičnostima konkretnog sliva i karakteristikama vodoprijemnika. Od tehničkih rešenja, koja bi doprinela ostvarenju ovakvih ciljeva, nameću se sistemi za simultanu kontrolu količina i kvaliteta oticaja, jer se upravo na taj način smanjuju izmene prirodnog hidrološkog režima usled urbanizacije.

Efekti od zagađenja u oticaju mogu biti akutni i hronični. Protiv akutnih efekata treba se boriti prevencijom i akcionim planovima pri akcidentima. Dugoročni (hronični) efekti zagađenja potencijalno nose veliki rizik od nedostizanja propisanog statusa vodnog tela u koje se urbani oticaj izliva. Za analizu dugoročnih efekata je potrebno uspostavljanje odgovarajućeg monitoringa i uvođenja analiza biodostupnosti zagađenja, analiza specifičnih formi zagađujućih materija i toksikoloških ispitivanja. Rezultati ovih analize će voditi ka tome da se kao mere

za kontrolu zagađenja propisuju mere ograničavanja ukupne zapremine oticaja i ukupne količine (mase) zagađenja koje se sa sliva mogu oticajem uneti u recipijent. U EU je već pripremljena nova regulativa koja uvodi buduću obavezu pripreme i primene planova integrisanog upravljanja otpadnim vodama, uključujući i atmosferske otpadne vode, u svim naseljima većim od 10 000 stanovnika.

Primene inovativnih sistema za upravljanjem kišnim oticajem već ulazi u regulativu EU i postaće ubrzo obaveza komunalnih preduzeća, ali i takođe urbanističkog planiranja i uređenja prostora. Primena ovih mera u našim uslovima zahtevaće radikalne promene koncepta upravljanja kišnim vodama u naseljima. Ovo će zahtevati ne samo izgradnju kišne kanalizacije već i primenu zelene infrastrukture, intenzivan monitoring kanalizacije i prirodnih voda i primenu inovativnih metoda za upravljanje oticajem u urbanim sredinama. Takođe, biće neophodne i velike promene u urbanističkom planiranju i uređenju prostora u naseljima zbog izraženih prostornih zahteva inovativnih sistema i potrebe da oni budu pravilno inkorporirani u infrastrukturu naselja. Sve ovo će zahtevati usvajanje novih znanja i veština svih učesnika u procesu urbanističkog planiranja i projektovanja urbane hidrotehničke infrastrukture.

Novi i veoma kompleksni zadaci će se postavljati pred komunalna preduzeća vodovoda i kanalizacije, i biće neophodna dugoročna sistemski rešenja za kontinuirano finansijsko, organizaciono, kadrovsko i tehničko jačanje kapaciteta ovih preduzeća.

### Zahvalnica

Istraživanja prikazana u ovom radu su finansirana od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ugovor br 451-03-68/2022-14 od 17.01.2022)



## LITERATURA

1. Bach P.M., McCarthy D.T., Deletic A. (2010) Redefining the stormwater first flush phenomenon. *Water Research* 44 (2010) 2487–2498
2. Barco J., Papiri S., Stenstrom M.K. (2008) First flush in a combined sewer system. *Chemosphere* 71 (2008) 827–833
3. Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC)
4. Deletic A. (1998) The First Flush Load of Urban Surface Runoff. *Water Research* 32, 2462-2470
5. Đukić A. (2016a) Modeliranje emisije zagađenja sa urbanih slivova, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd
6. Đukić A., Lekić B., Rajaković-Ognjanović V., Veljović Đ, Vulić T., Đolić M., Naunović Z., Despotović J., Prodanović D., (2016b), Further Insight into the Mechanism of Heavy Metals Partitioning in Stormwater Runoff, *Journal of Environmental Management*, 168, 104-110
7. European Commission (2022a), Brussels, 26.10.2022, SWD(2022) 541 final, Commission Staff Working Document, Impact Assessment Accompanying the Document: Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Concerning Urban Wastewater Treatment
8. European Commission (2022b), Brussels, 26.10.2022, COM(2022) 541 final 2022/0345 (COD), Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Concerning Urban Wastewater Treatment
9. European Commission (2022c), Brussels, 26.10.2022, COM(2022) 541 final, ANNEXES to the Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Concerning Urban Wastewater Treatment
10. Flint K.R., Davis A.P. (2007) Pollutant Mass Flushing Characterization of Highway Stormwater Runoff from an Ultra-Urban Area. *Journal of Environmental Engineering* 133, 616-626
11. Gavrić S., Leonhardt G., Marsalek J., Viklander M. (2019) Processes improving urban stormwater quality in grass swales and filter strips: A review of research findings. *Science of the Total Environment* 669 (2019) 431–447. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.072
12. Hvitved-Jacobsen T., Vollertsen J., Nielsen A. (2010) *Urban and Highway Stormwater Pollution-concepts and Engineering*. CRC Press. Taylor&Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
13. James W., Rossman L.A., James W.R.C. (2010) *User's guide to SWMM 5*, 13th Edition, Published by CHI, Guelph, Ontario, Canada. ISBN 978-0-9808853-5-4
14. Lee J.H., Bang K.W., Ketchum L.H., Choe J.S., Yu M.J. (2002) First flush analysis of urban storm runoff. *The Science of the Total Environment* 293 (2002) 163–175
15. Luo H., Luo L. Huang G., Liu P., Li J., Hu S., Wang F., Xu R., Huang X. (2009) Total pollution effect of urban surface runoff. *Journal of Environmental Sciences* 21 (2009), 1186–1193
16. Luthy R.G., Sharvelle S., Dillon P. (2019) Urban Stormwater to Enhance Water Supply. *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53, 5534–5542, DOI: 10.1021/acs.est.8b05913
17. Ma Z., Ni H., Zeng H., Wei J. (2010) Function formula for first flush analysis in mixed watersheds: A comparison of power and polynomial methods. *Journal of Hydrology* 402 (2011) 333–339
18. Obermann M., Rosenwinkel K., Tournoud M. (2009) Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment. *Journal of Hydrology* 373 (2009) 405–415
19. Revitt D.M., Lundy L., Coulon F., Fairley M. (2014) The sources, impact and management of car park runoff pollution: a review. *J. Environ. Manag.* 146, 552e567.
20. *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998
21. Taebi A., Droste R.L. (2004) First flush pollution load of urban stormwater runoff. *J. Environ. Eng. Sci.* 3: 301-309
22. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (2001) *Hydraulic Engineering Circular No. 22, Second Edition, Urban Drainage Design Manual*
23. Wijesiri B., Liu A., Goonetilleke A. (2020) Impact of global warming on urban stormwater quality: From the perspective of an alternative water resource. *Journal of Cleaner Production* 262 (2020) 121330. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121330
24. Woods-Ballard, B, Kellagher, R, Martin, P, Jefferies, C, Bray, R, Shaffer, P (2007) *The SUDS manual*, CIRIA C697
25. Yazdi M.N., Sample D.J., Scott D., Wang X., Ketabchy M. (2021) The effects of land use characteristics on urban stormwater quality and watershed pollutant loads. *Science of the Total Environment* 773 (2021) 145358. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145358