



## EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE TRANSFORMACIJE MIKROPOLUTANATA U BIOFILTERIMA (RAINGARDENS) EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRANSFORMATION OF MICROPOLLUTANTS IN BIOFILTERS (RAINGARDENS)

### REZIME

Biofiltri (bioretenzije ili kišne bašte) se sve češće koriste kao sistemi za tretiranje atmosferskih voda u urbanim sredinama, jer uspevaju da ublaže pikove kišnih poplava i pokazali su da efikasno umanjuju i količine sedimenata i nutrijenata. Međutim, do sada je vrlo malo (ili nimalo) urađeno ispitivanja njihovog ponašanja prema mikropolutantima. S druge strane, lista mikropolutanata u okviru Prioritetnih zagađivača u Direktivi o Vodama Evropske Unije se svake godine proširuje i zahteva integralni pristup rešavanja, pa tako i razmatranje atmosferskih voda kao mogućeg prenosnika zagađenja. Ova studija je ispitivala ponašanje dve vrste konstrukcija bio-filterskih sistema – sa i bez zasićene zone, na opterećenje kišom u kojoj su prisutni ključni mikropolutanti (trihalometani, policiklični aromatični ugljovodonici, totalni naftni ugljovodonici, ftalati, halogenizirani fenoli, i pesticidi – glyphosate, triazini).

**Ključne reči:** biofiltri, mikropolutanti, prirodni sistemi za tretman.

### SUMMARY

Biofilters (bio-retention ponds or rain gardens) are increasingly being used as a system for the storm water treatment in urban areas, because they manage to mitigate the peaks of storm rains and floods, and have shown effective reduction of sediments and nutrients. However, until now very little (or no) number of studies were conducted on the treatment of micropollutants. On the other hand, the list of micropollutants within the list of Priority pollutants in the EU Water Directive every year expands and requires an integrated approach to solving them, including the consideration of storm water pollution as a possible carrier. This study investigated the behavior of two types of bio-filter system construction - with and without the saturated zone, on the rain load with crucial micropollutants (trihalomethanes, polycyclic aromatic hydrocarbons, total petroleum hydrocarbons, phthalates, halogenated phenols, and pesticides - glyphosate, triazines).

**Key words:** biofilters, micropollutants, natural treatment systems.

### 1. UVOD

Pod mikropolutantima se ubrajaju razne vrste najviše industrijskih supstanci, kako organskog tako i neorganskog porekla, čija je zajednička osobina da se u prirodi nalaze u malim količinama ( $\mu\text{g/L}$ ,  $\text{ng/L}$ ) – policiklični aromatični ugljovodonici, ftalati, fenoli, deterdženti, farmaceutski preparati, hormoni, teški metali itd. Međutim, uprkos relativno malim količinama, ove supstance odlikuje štetno dejstvo na akvatični svet, životinje, biljke, čoveka, jer su one, ili njihovi metaboli aktivni u metaboličkom procesu životinja i ljudi, npr. izazivajući kancer. Ujedno, konvencionalne tehnologije tretmana vode ne uspevaju u svim slučajevima da se izbore sa ovim supstancama, pa se dešava njihova stalna akumulacija u svim sferama prirode. Treba imati u vidu da su mikropolutanti produkti savremenog života i im je kao takvima potreban integralni pristup rešavanja.

Dok se ne reši pitanje njihovog nastanka na izvoru,

- ako je to pitanje rešivo, treba razmotriti mogućnosti smanjivanja njihove količine koje pristižu putem kišnica u razne delove prirodne sredine.
- Posebno konstruisani prirodni sistemi kao tehnologije prečišćavanja atmosferski voda, projektovane po filozofiji Vodo-osetljivog urbanog planiranja (Water Sensitive Urban Design, WSUD), su prepoznati kao efikasni u tretiranju atmosferski voda u pogledju nutrijenata, suspendovanih materija i nekih teških metala (Bratieres et al, 2008, Hatt et al, 2009). U ovoj studiji je ispitano ponašanje mikropolutanata u bio-filterima sa ciljem razvijanja modela sa kojim bi mogao da se simulira kvalitet tretirane vode u pogledu mikropolutanata. Ujedno se ispitivala i mogućnost smanjenja izabranih mikropolutanata do maksimalnih granica propisanih za vodu za piće u Australiji (NHMRC-NRMMC, 2011) kako bi se ispitao potencijal ove tehnologije za korišćenje kao decentralizovanog sistema za prečišćavanje vode za piće.

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Institut za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Monash University, Wellington Rd, Clayton, Victoria, 3800, Australia

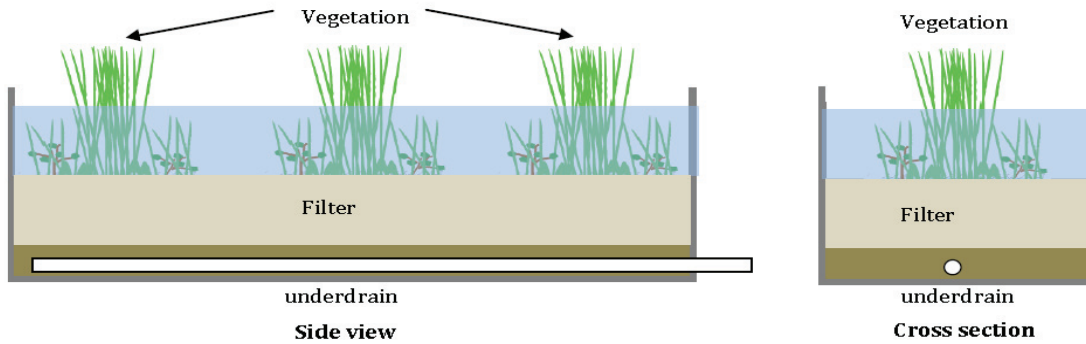


Figure 1.3.1: Illustration of a biofilter

Slika 1. Karakterističan presek biofilterskog sistema

## 2. EKSPERIMENTALNI SLIV

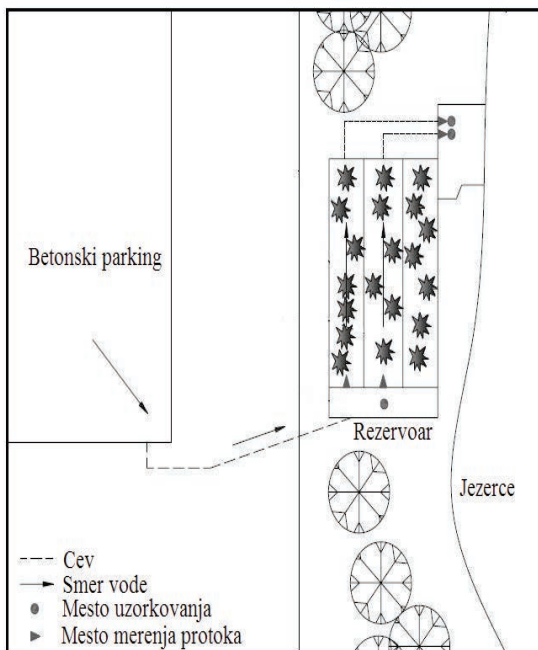
Biofilterski system korišćen u ovoj studiji tretira kišnicu koja se skuplja sa višespratnog parkinga, koja se čuva u bari i koristi za navodnjavanje okolnih terena (Slika 2). Voda se iz slivnika sa parkinga transportuje cevima kroz predsedimentacione bazene u sabirni bazen biofilterskih ćelija, odakle se preliva u filtre i gravitaciono uliva u baru. Biofilterski sistem se sastoji iz ukupno tri ćelije sa različitim konfiguracijama filterskih slojeva i biljnim pokrivačem, od kojih su u ovoj studiji korišćene samo dve, sa karakteristikama prikazanim na tabeli 1. Ćelija 1 ima veću količinu prašinastog peska, sa relativno visokim procentom nutrijenata i ukupne organske materije (dosta iznad prepisanih vrednosti prema Australijskim preporukama za projektovanje biofiltera (FAWB, 2009)), dok ćelija dva ima dominantno peščani sloj (granulometrijskog sastava prema preporukama FAWBa) i zonu sa stalnim

sadržajem vode / potopljenu zonu. Biljni pokrivač u ćeliji 1 su dominantno patuljasti žbunovi iz porodice *Carex*, dok ćelija 2 ima pre svega drvenasto rastinje iz familije *Melaleuca*, npr. drvo čajevca – obe familije biljaka su pokazale da uspešno pomažu u uklanjanju nutrijenata iz kišnice koju tretiraju (Read et al., 2008).

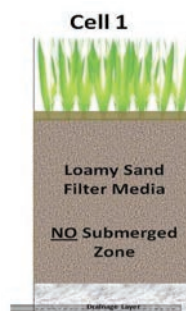
## 3. METODE

### 3.1. Uslovi testova

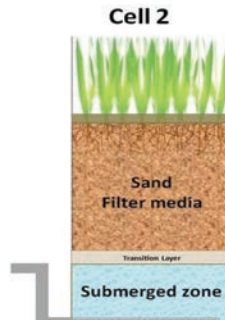
Proces validacije biofiltera za uklanjanje mikropolutanta zahteva da se odrede izazovni operativni uslovi – uključuju i ekstremne nivoe koncentracija mikropolutanata kao i izazovne hidrauličke uslove – količina vode i dinamika.



### Ćelija 1



### Ćelija 2



Mikropolutanti izabrani za ispitivanje su trihalometani (THMs), policiklični aromatični ugljovodonici (PAHs), totalni naftni ugljovodonici (TPHs), ftalati (phthalate), halogenizirani fenoli (phenol), i pesticidi – glyphosate i triazini (simazine, atrazine, prometryn), jer upoređivanjem raznih studija o mikropolutantima u atmosferskim vodama (Cole et al., 1984, Makepeace et al., 1995, Duncan, 1999, Göbel et al., 2007, Zgheib et al., 2012) su upravo oni identifikovani kao ključni. Njihove prijavljene koncentracije su sakupljene i napravljena je statistička analiza kojom je utvrđena njihova 95-o percentilna koncentracija, koja je ujedno uzeta kao test koncentracija, što je u skladu sa praksom institucija zdravlja koje za validaciju tretmana otpadnih voda uzimaju baš ovu vrednost (DHV, 2013).

Slika 2. Betonirani parking Monash Univerziteta sa sistemom zahvatanja kišnice i konfiguracijom dve biofilterske ćelije izabrane za eksperiment

Tabela 1. Opis sastava biofilterskih ćelija

	Ćelija 1	Ćelija 2	Karakteristike zemljišta	Ćelija 1	Ćelija 2
Vegetacija	<i>Carex appressa, Carex tereticaulis, Lomandra longifolia, Isolepis nodosa</i>	<i>Carex apressa, Melaleuca ericifolia</i>	pH	7.1	7.4
Sastav filter-skog dela	Pesak – 84.2% Prašina – 3.0% Glina – 12.8%	Pesak – 96.0% Prašina – 0.8% Glina – 3.2%	Vlažnost [%]	15.7	5.7
Zaštitni prelazni sloj		Fini pesak - 100mm	Ukupna organska materija, TOM [%]	4.6	0.4
Drenažni sloj	Pesak/ šljunak – 200mm	Potopljena zona - Pesak i izvor ugljenika (piljevina i sušene loze graška) – 200mm	Ukupni fosfor, TP [mg/kg]	320	50
Cev	Perforirana, PVC, 100mm	Perforirana, PVC, 100mm	Filtrirani reaktivni fosfor, FRP [mg/kg]	<1	<1
Potopljena zona	Ne	Da (200mm)	Ukupni azot, TN[mg/kg]	1600	140

sušnih perioda je određena analizom protoka koji ulaze u biofilter, sa postavljenim uslovom da je minimalna dužina sušnog perioda 1 dan. Obradom ovog niza podataka je određena „izazovna“ dužina sušnog perioda od 21 dan (što je 95-0

**Tabela 1.** Kratak pregled nekih fizičko-hemijskih karakteristika mikropolutanata (S – rastvorljivost, K<sub>oc</sub> – koeficijent particije između vodene i zemljišne faze za organske supstance normalizovan u odnosu na sadržaj organskog ugljenika), 95th percentilna koncentracija, merena ulazna koncentracija, maksimalne dozvoljene koncentracije prema Australijskom pravilniku za vodu za piće (ADWG), i primenjene metode analize i njihove granice detekcije.

POLUTANTI	Fizičko hemijske karakteristike <sup>1)</sup>		95-o percentilna koncentracija <sup>2)</sup> [µg/L]	Merena srednja koncentracija na ulazu ± StDev (n=9~12) [µg/L]	ADWG [µg/L]	Metod analize	Granica detekcije [µg/L]	
	S [mg/L]	K <sub>oc</sub>						
TPHs	Sum of TRH	-	29.4 ml/L dizel goriva	5800±392	- <sup>3)</sup>	GC FID	100	
	>C10-C40							
PAHs	Pyrene	GCMS	4.81	100	9.7±3.6	150	GCMS	1
	Naphthalene	32.2	2.74	250	16.2±6.9	70		
Herbicides	Glyphosate	12000	3.90	2000	1600±205	1000	HPLC	30
	Atrazine	29.8	2.09	60	49.5±9.4	20		
	Simazine	5.7	2.13	60	43.3±6.2	30	GCMS	2
	Prometryn	48.0	2.38	60	47.2±4.9	20		
Phthalates	DBP	9.9	2.20	60	41.3±4.4	35	GCMS	5
	DEHP	0.029	4.50	60	17.0±8.6	10		
THMs	Chloroform	8452	1.75	250	55.1±11.3	200	GCMS	1
Phenols	PCP	18.9	3.50	60	27.1±6.1	10	GCMS	1
	Phenol	83119	1.34	200	203.3±40.8	- <sup>3)</sup>		

<sup>1)</sup> Srednje vrednosti prema Mackay et al (2006); <sup>2)</sup> Odgovara željenim koncentracijama na testu ; <sup>3)</sup> nema ADWG vrednost.

Uzimajući u obzir dosadašnje znanje o ponašanju polutanata u biofiltrima, sledeći operacioni parametri tj. okolnosti su razmatrani da budu ispitani u okviru studije (1) trajanje perioda između dva kišna događaja, odn. dužina sušnih perioda i (2) ukupna količina vode koja se tretira u određenom periodu. Ovi operacioni parametri su ustanovljeni za regiju u kojoj se nalaze biofiltri, pravljenjem modela u softveru MUSIC V5.1 (eWater, 2012) i simuliranjem perioda od 30 godina. Model se sastoji od 100% nepropusnog sliva (apstrakcija parkinga) sa kog se atmosfere vode gravitaciono odvođe u biofilter, čija je površina oko 2% površine sliva (što je slučaj i sa parkingom Monash Univerziteta). Meteorološki podaci su uzeti u 6-minutnoj rezoluciji za stanicu Melbourne Regional Office. Dužina

percentilna dužina, gde je opet uzeta praksa institucija zdravlja za validaciju sistema za prečišćavanje). Ukupne količina vode koja se tretira tokom jedne kišne epizode je određena obradom niza podataka izlaznih protoka iz biofiltra (ne uključujući onu količinu vode koja se pri intenzivnijim kišama preivala preko sigurnosnog preliava, jer ta količina vode nije imala adekvatnu preradu). Dva operativna uslova su dobijena iz te analize i oni su ispitani u okviru ove studije (1) količina vode pri jednoj kišnoj epizodi i (2) količina vode dva uzastopna događaja sa sušnim periodom od manje od 12h. Uslov (2) predstavlja veliki događaj praćen kratkim sušnim periodom u kom biofilter nije stigao u potpunosti da se oporavi, praćen još jednim velikim događajem. Količine vode ovim slučajevima



su: (1) četiri zapremine pora (ukupna zapremina tretirane vode normalizovana u odnosu na ukupnu zapreminu pora biofiltra) i (2) tri zapremine pora, 10 h sušnog perioda, tri zapremine pora.

Da bi bilo moguće sprovesti zahtevane uslove testa, nije bilo moguće osloniti se na prirodne kišne epizode, već je primenjeno impulsno opterećenje biofiltra vodom od kišnice prethodno prikupljene u jezeretu pored biofiltra. Ova kišnica je potom bila veštački obogaćena mikropolutantima u koncentracijama koje su utvrđene kao izazovne za biofilter (prikazane u tabeli 1). Da bi se uspostavili strogo kontrolisani uslovi, biofilter je izolovan od priliva atmosferskih voda sa sliva (parkinga) i celokupno opterećenje vodom je bilo iz distributivnog rezervoara u kome je i pravljena ova semi-sintetička mešavina.

U tabeli 2 su prikazani detalji testova – prva dva testa su simulirala dve kišne epizode sa svega 10h mogućeg dreniranja, potom je usledio dug sušni period od 21 dan, i još jedan intenzivan test opterećenja sa čak četiri zapremine pora. Može da se primeti da je bilo problema sa ispunjenjem postavljenih uslova testa u

malom (ili nikakvom) koncentracijom – i mogućnost proučavanja fenomena desorpcije odn. „curenja“ mikropolutanata iz sistema.

### 3.2. Metode merenja i uzorkovanja

Protok je meren na ulazu u sistem na prelivima iz sabirnog/distributivnog rezervoara (Slika 2) i na izlazu iz sistema u specijalno za to napravljenim kutijama sa Tomsonovim prelivima. Nivo vode i protok su mereni pomoću ultrazvučnih merača Siemens Milltronics OCM III.

Uzorci vode za analizu kvaliteta su zahvatani ručno iz distributivnog rezervoara, za uzorke ulazne vode, i peristaltičkim pumpama iz odvodnih cevi biofilterskih sistema. Od uzoraka uzvodne vode su pravljene kompozitni uzorci, dok je na izlazu za svaki test prikupljano po 10 diskretnih uzoraka po ćeliji, kako bi mogao da se napravi polutogram. U slučajevima kada su bile prirodne kišne epizode, uzorci su zahvatani autosamplerima (Sigma 900).

**Tabela 2.** Detalji testova – ukupna količina vode na ulazu u sistem, prethodni sušni period i vazduha

	Datum	Ukupna zapremina na ulazu [m <sup>3</sup> ] /percentil <sup>1)</sup>	Prethodni sušni period [h] /percentil <sup>1)</sup>	Dnevna temperatura vazduha °C (min-max)
<b>Test 1 (CT2.1)</b>	19-11-2012	10.5 (3PVs) /95 <sup>th</sup>	66/30 <sup>th</sup>	6.8 – 23.6
<b>Test 2 (CT2.2)</b>	20-11-2012	6.3 (1.8 PVs) – Ćelija 1/80 <sup>th</sup> 10.5 (3PVs) – Ćelija 2/95 <sup>th</sup>	10/<1 <sup>st 2)</sup>	8.6 – 27.4
<b>Test 3 (CT2.3)</b>	11-12-2012	14 (4PVs) /95 <sup>th</sup>	496/95 <sup>th</sup>	9.0 – 27.3
<b>Prirodna kišna epizoda 1 (NE1)</b>	15-12-2012	2.1 (0.6PV)	89	18.6 – 23.1
<b>Prirodna kišna epizoda 2 (NE2)</b>	19-12-2012	2.2 (0.63 PV)	84	16.2 – 30.8

<sup>1)</sup> Vrednost percentila u okviru 30-o godišnjeg niza podataka ulaznih i izlaznih količina vode u modelu u MUSICu

<sup>2)</sup> <1<sup>st</sup> percentila sušnih perioda

Uzorci su po zahvatanju čuvani na ledu i po završetku testa analizirani u akreditovanoj laboratoriji. U tabeli 1 se nalaze metode koje su korišćene pri analizi pojedinih mikropolutanta. Po-

**Tabela 3.** Parametri kvaliteta semi-sintetičke kišnice tokom cele serije testova

Parametri	T [°C]	pH	EC [µs/cm]	TSS [mg/L]	TP[mg/L]
Srednja vrednost ± St.dev (n=9)	19.2±1.2	7.4±0.1	419.9±6.1	52.7±11.0	0.88±0.02
Parametri	TN [mg/L]	NH <sub>3</sub> [mg/L]	NO <sub>x</sub> [mg/L]	DOC [mg/L]	UVA
Srednja vrednost ± St.dev (n=9)	2.7±0.1	0.29±0.09	0.12±0.03	19.7±1.1	0.551±0.09

slučaju ćelije 1, koja nije bila u mogućnosti da tretira željenu količinu vode (umesto tri zapremine pora u drugom testu, ćelija je uspela da tretira samo 1.8 zapremina – vodilo se računa o tome da se voda ni u kom trenutku ne prelije preko sigurnosnog preliava).

Po završetku tri testa, biofilter je spojen sa svojim slivom i nastavljena su merenja. Ove prirodne kišne epizode su bile interesantne za analizu sa stanovišta ponašanja biofiltra – izloženost relativno visokim koncentracijama mikropolutanata, praćena vrlo

red analize mikropolutanata, određivani su i ukupne suspendovane materije (TSS), ukupni fosfor (TP), ukupni azot (TN), amonijak (NH<sub>3</sub>), oksidi azota (NO<sub>x</sub>), rastvoreni organski ugljenik (DOC) i ultraljubičasta apsorpcija (UVA) na 254nm talasne dužine (Tabela 3), kao potencijalni surogati za pojedine mikropolutante i parametri potrebni za određivanje prirode pojedinih procesa koji se dešavaju u biofiltrima.

Kako je cilj ove studije razvoj modela ponašanja mikropolutanata, uzimani su i uzorci zemljišta i analizirani na sve gore navedene parametre, ali njihovi

rezultati i tumačenje izlaze iz obima ovog rada.

Sa dobijenim rezultatima, od 10 diskretnih uzoraka, računata je izlazna srednja koncentracija događaja (Event mean concentration EMC), kao sveobuhvatni parameter opisa uspešnosti biofiltra u tretiranju vode:

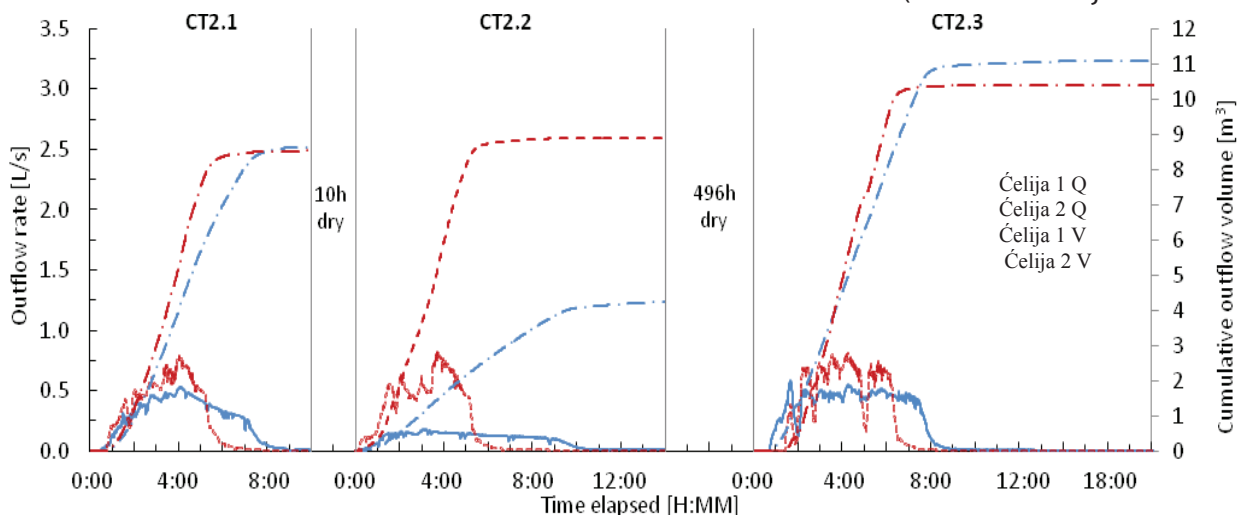
$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \cdot \frac{c_i + c_{i+1}}{2} \Delta t}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \Delta t}$$

Gde je  $Q_i$  – protok na izlazu u trenutku  $i$ ,  $c_i$  – koncentracija na izlazu u trenutku  $i$ ,  $\Delta t$  – vremenski interval,  $t_{i+1} - t_i$ . U slučajevima kada je merena koncentracija bila manja od granice detekcije, korišćena je koncentracija jednaka polovini od koncentracije na granici detekcije.

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1. Hidrauličke performanse sistema

Dijagram 1 prikazuje protoke merene na izlazu iz obe ćelije biofiltra. Ćelija 2 je pokazala relativno ujednačen rad pri različitim operativnim uslovima i po pitanju količine vode je uspešla da zadovolji uslove testa. Ćelija 1 je pokazala problematično ponašanje tokom testa 2, sa veoma izraženim smanjenjem izlaznog protoka i nemogućnošću tretiranja celokupne planirane zapremine (svega 1.8 zapremine pora u odnosu na željene tri zapremine). Pretpostavlja se da produženo izlaganje velikoj količini vode (svega 10h pauze između testova CT2.1 i CT2.3) je kod filterskog medijuma ćelije, sa povećanim sadržajem sitnijih čestica i *Carexa*, uzrokovalo promenu distribucije pora (zbog bubrenja gline ili korena *Carexa* bogatog sitnim vlaknima, najverovatnije oba) i smanjilo brzinu infiltracije.



**Dijagram 1.** Izlazni protoci i kumulativne zapremine tretirane vodom tokom tri testa, Q – protok, V - zapremina

### 4.2. Performanse sistema u pogledu promene kvaliteta/tretmana vode

Tokom testova je zabeležena promena u izlaznim koncentracijama mikropolutanata i polutogrami dva izabrana mikropolutanta su prikazani na dijagramu 2. Može da se uoči i određena razlika u ponašanju ćelija prema polutantima, koja se pored razlike u vremenu zadržavanja (veće vreme zadržavanja zbog manjeg koeficijenta filtracije je u ćeliji 1) verovatno može pripisati i različitom sadržaju organskih materija u filter-skim medijima (tabela 1) – ćelija 1 ima manje izlazne koncentracije od ćelije 2. Naime, organske supstance mogu da budu adsorbovane na česticama zemljišta (pre svega zemljišnom organskom materijom) jer u većini molekula dominiraju apolarne grupe npr. alifatične i/ili aromatične ugljenične grupe (René and Schwarzenbach, 1993, Oliveira et al., 2001). Može da se primeti i da u pojedinim slučajevima kod ćelije 2 (npr. Simazine, CT2.1, CT2.2) se na izlazu javlja koncentracija koja je veća od ulazne koncentracije, što se tumači: (1) nemogućnošću postizanja idealno homogene mešavine semi-sintetičke kišnice u distributivnom rezervoaru, (2) različitim putanjama vode, tzv. privilegovanih putanja u kojima voda nije u dovoljnom kontaktu sa zemljištem, odn. uslovima tretmana (vreme zadržavanja), i (3) desorpcije prethodno adsorbovanih mikropolutanata povećanjem količine vode koja prolazi kroz sistem (samim tim i brzine). Kod ćelije 2, koja u okviru drenažne zone ima i zonu sa stalnim sadržajem vode, smatra se da prve količine vode koja izlazi iz biofiltra upravo potiču iz nje: na početku testa CT2.2 javljaju relativno visoke koncentracije mikropolutanata – koje potiču zapravo od testa CT2.1 (voda zadržana u potopljenoj zoni). Između testova CT2.2 i CT2.3 se može primetiti i značajno smanjenje u koncentraciji (poslednja iz CT2.2 i prva iz CT2.3), koja se može pripisati biodegradaciji koja se dešava tokom sušnog perioda (21 dan), što se ne može primetiti između CT2.1 i CT2.2 (vreme nedovoljno za biodegra-

daciju). Isto tako, zbog različitih specifičnih svojstava mikropolutanata (rastvorljivost u vodi, koeficijent adsorpcije), a opet sličnih zahteva za uklanjanje (npr. sadržaj organske materije u zemljištu), među njima do-

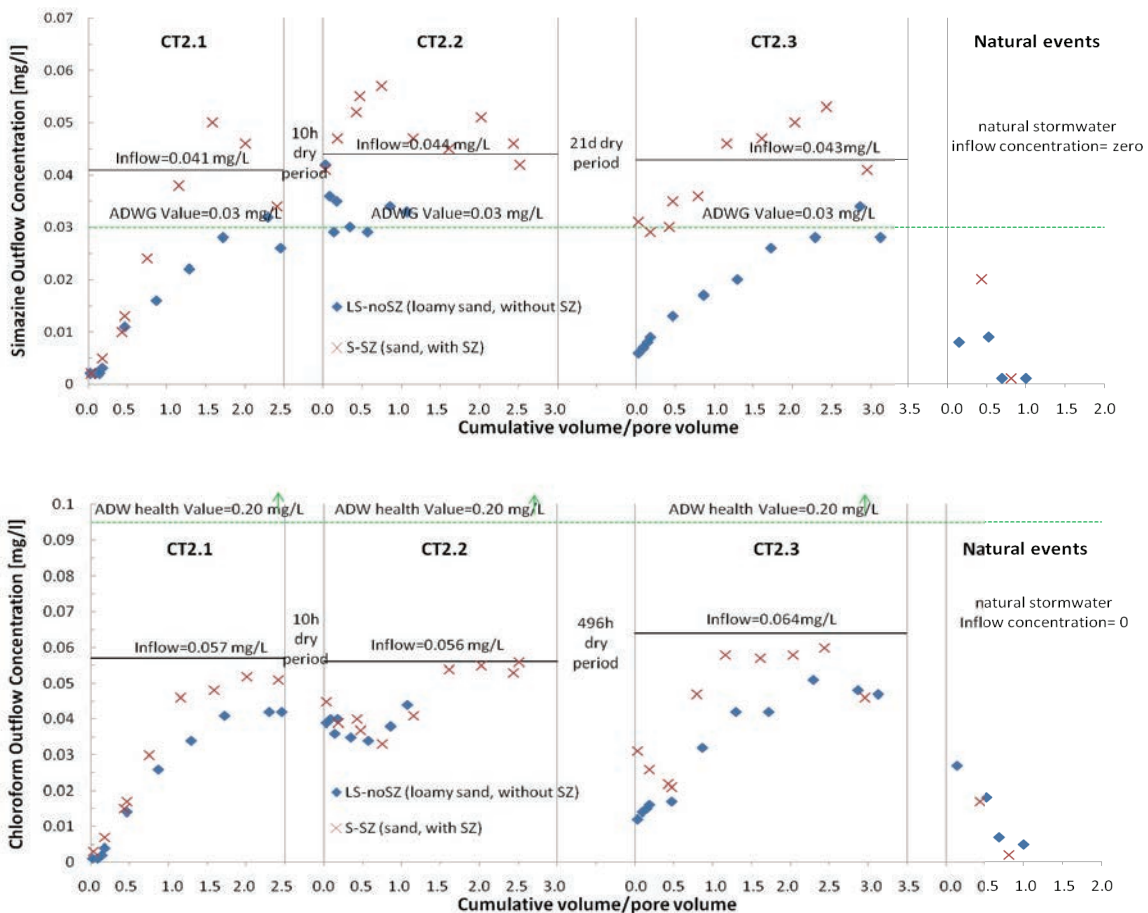


lazi do takmičenja za slobodna sorptivna mesta – što se može videti poređenjem svojstava (S, Koc) pojedinih mikropolutanata (Tabela 2) i procenata uklanjanja (Tabela 6). Tako su biofilteri u mogućnosti da dobro otklone mikropolutante koji se lako adsorbuju na čestice zemljišta, kao TPH, pyrene, DEHP, čije su vrednosti koeficijenta Koc relativno visoke.

U tabeli 5 je prikazana vrednost EMC za sve ispitane mikropolutante. One su poređene sa maksimalnim dozvoljenim koncentracijama u vodi za piće (ADWG), samo iz razloga razmatranja mogućnosti korišćenja biofiltera kao decentralizovanog sistema prerade vode za piće.

## Zahvalnost

Ova studija je rađena u saradnji sa Monash Univerzitetom i deo je projekta tehnološkog razvoja TR37010 – Sistemi za odvođenje kišnih voda kao deo urbane i saobraćajne infrastrukture finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Autori se srdačno zahvaljuju Ministarstvu i svim kolegama na Monash Univerzitetu koji su pomogli u ostvarivanju ove studije.



**Dijagram 2.** Polutogrami Hloroforma i Simazina za ćelije 1 i 2 tokom tri testa i pri prirodnim kišnim epizodama, LS-noSZ – Ćelija 1, S-SZ – Ćelija 2

## 5. BUDUĆI RAD

Rezultati dobijeni ovom studijom će biti iskorišćeni za razvoj, kalibraciju i verifikaciju modela kvaliteta biofilterskih sistema. Rezultati će biti prošireni i određenim brojem studija na biofilterskim kolonama, kako bi se u kontrolisanim uslovima ispitalo ponašanje pojedinačnih mikropolutanata i parametara sredine koji utiču na njih.

## REFERENCE

- BRATIERES, K., FLETCHER, T. D., DELETIC, A. & ZINGER, Y. 2008. Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study. *Water Research*, 42, 3930-3940.
- COLE, R. H., FREDERICK, R. E., HEALY, R. P. & ROLAN, R. G. 1984. Preliminary Findings of the Priority Pollutant Monitoring Project of the Nationwide Urban Runoff Program. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 56, 898-908.
- DHV 2013a. Guidelines for validating treatment processes for pathogen reduction - Supporting Class A water recycling schemes in Victoria. In: DEPARTMENT OF HEALTH, VICTORIA (ed.).
- DHV 2013b. Review of the public health regulatory frame-

**Tabela 5.** Izlazna srednja koncentracija događaja (Event mean concentration EMC) [ $\mu\text{g/L}$ ]

Oznaka testa	Izlazna srednja koncentracija događaja (Event mean concentration EMC) [ $\mu\text{g/L}$ ]					
	Ćelija 1			Ćelija 2		
	CT2.1	CT2.2	CT2.3	CT2.1	CT2.2	CT2.3
TPHs				<100		
Pyrene				<1		
Naphthalene	2	2	2	3	1	3
Glyphosate	99	116	187	29	106	70
Atrazine	<b>25<sup>2)</sup></b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>49</b>
Simazine	22	<b>32</b>	24	<b>33</b>	<b>49</b>	<b>43</b>
Prometryn	11	14	15	20	<b>29</b>	<b>32</b>
DBP				<3		
DEHP				<5		
Chloroform	32	38	40	40	47	49
PCP	1	6	4	2	<b>19</b>	<b>11</b>
Phenol	2	1	18	1	3	106

<sup>1)</sup> Masnim slovima su obeležene koncentracije veće od dozvoljenih ADWG-om

**Tabela 6.** Bilans mase za sva tri testa

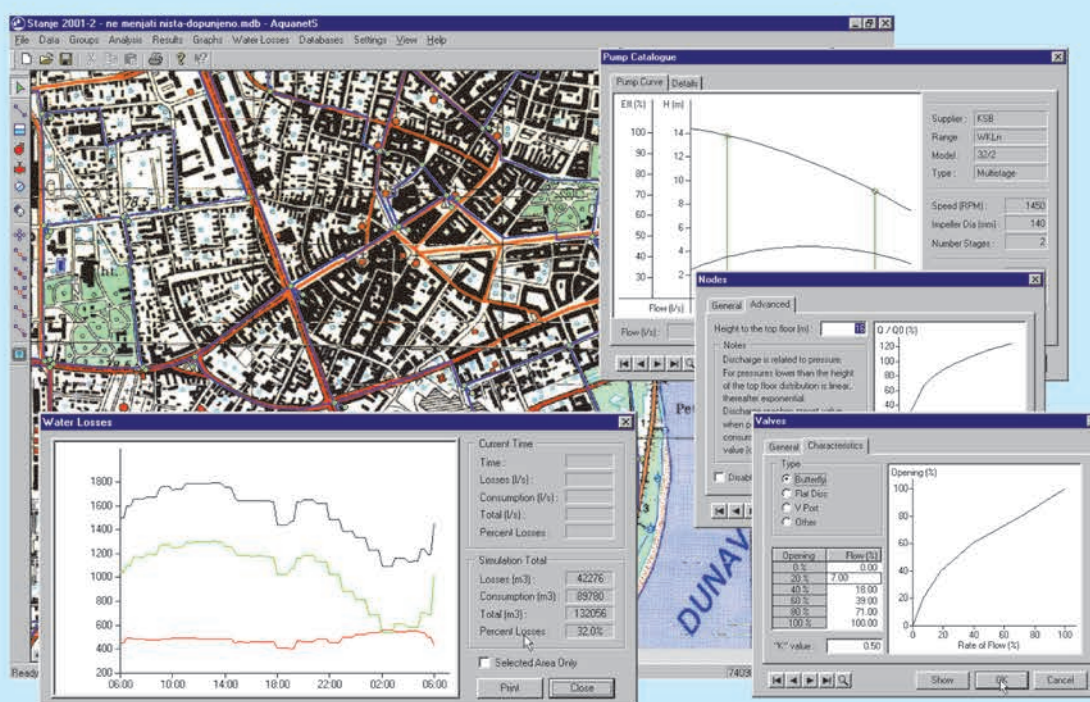
Ukupno za sva tri testa	Masa [g]							
	Ćelija 1				Ćelija 2			
	Ulaz	Izlaz	Razlika: Uklonjeno	Uklonjeno [%]	Ulaz	Izlaz	Razlika: Uklonjeno	Uklonjeno [%]
TPHs	148.1	0	148.1	100.0	160.6	0	160.6	100.0
Pyrene	0.3	0	0.3	100.0	0.33	0	0.33	100.0
Naphthalene	0.56	0.05	0.51	91.1	0.62	0.07	0.55	88.7
Glyphosate	47.5	3.5	44	92.6	54.2	2	52.2	96.3
Atrazine	1.45	0.68	0.76	52.4	1.66	1.24	0.43	25.9
Simazine	1.3	0.63	0.67	51.5	1.48	1.21	0.28	18.9
Prometryn	1.39	0.35	1.03	74.1	1.59	0.8	0.79	49.7
DBP	1.28	0	1.28	100.0	1.47	0	1.47	100.0
DEHP	0.58	0	0.58	100.0	0.63	0	0.63	100.0
Chloroform	1.85	0.95	0.89	48.1	2.08	1.31	0.77	37.0
PCP	0.79	0.09	0.71	89.9	0.93	0.31	0.62	66.7
Phenol	6.1	0.56	5.54	90.8	7.02	1.16	5.86	83.5

work for alternative water supplies in Victoria. Melbourne: Department of Health, Victoria.

- DIBLASI, C. J., LI, H., DAVIS, A. P. & GHOSH, U. 2008. Removal and Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Pollutants in an Urban Stormwater Bioretention Facility. *Environmental Science & Technology*, 43, 494-502.
- DUNCAN, H. 1999. *Urban stormwater quality : a statistical overview / Hugh P. Duncan*, Clayton, Vic. :, CRC for Catchment Hydrology.
- EWATER 2012. Model for urban stormwater improvement conceptualisation (MUSIC) User Manul. *eWater Cooperative Research Centre*, Canberra.
- FAWB 2009. *Adoption guidelines for Stormwater Biofilter systems*, Facility for Advancing Water Biofiltration, Monash University.
- GÖBEL, P., DIERKES, C. & COLDEWEY, W. G. 2007. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91, 26-42.
- HATT, B. E., FLETCHER, T. D. & DELETIC, A. 2009. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology*, 365, 310-321.
- MACKAY, D., SHIU, W. Y., MA, K.-C. & LEE, S. C. 2006. *Handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals*, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- MAKEPEACE, D. K., SMITH, D. W. & STANLEY, S. J. 1995. Urban stormwater quality: Summary of contaminant data. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 25, 93-139.
- NHMRC-NRMMC 2011. Australian Drinking Water Guidelines. Canberra: National Health and Medical Research Council and Natural Resource Management Ministerial Council.
- OLIVEIRA, R. S., KOSKINEN, W. C. & FERREIRA, F. A. 2001. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. *Weed Research*, 41, 97-110.
- READ, J., WEVILL, T., FLETCHER, T. & DELETIC, A. 2008. Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems. *Water Research*, 42, 893-902.
- RENÉ, P. S. & SCHWARZENBACH, R. P. 1993. *Environmental organic chemistry*, New York, John Wiley & Sons, INC.
- ZGHEIB, S., MOILLERON, R. & CHEBBO, G. 2012. Priority pollutants in urban stormwater: Part 1 – Case of separate storm sewers. *Water Research*, 46, 6683-6692.

**BEOINŽENJERING 2000** d.o.o. za projektovanje, inženjering i konsalting je osnovano 1989. godine. Bavimo se izradom tehničke dokumentacije i izvođenjem specifičnih radova iz oblasti hidrotehnike.

Više od dvadeset godina uspešno radimo u Srbiji, Crnoj Gori i Republici Srpskoj, za klijente kao što su: komunalna preduzeća, gradske i republičke direkcije, Svetska Banka, EAR, EIB, strani donatori...



Posebnu pažnju posvećujemo oblasti revitalizacije vodovodnih sistema i smanjenju gubitaka vode. U tu svrhu koristimo programske pakete *Aquanet*, namenjen modeliranju vodovodnih sistema i *TKNet*, program za analizu hidrauličkog udara u vodovodnoj mreži.



Zastupamo firme SEBA Hydrometrie (hidrološki instrumenti) i SEBA KMT (oprema za pronalaženje kvarova na vodovodnim sistemima).

11000 Beograd, Čučuk Stanina 2, tel/fax: 011 3086-623, 2454-001,  
e-mail: info@beoinzenjering.rs