



## UPRAVLJANJE VODAMA KIŠNOG OTICAJA STORM WATER QUALITY MANAGEMENT

### REZIME

Infrastrukturni objekti koji prate urbanizaciju i razvijena društva projektovana su tako da se svi nanosi sakupljaju i odvođe kanalizacionim sistemima do površinskih voda. Zagađivači se sakupljaju na različitim površinama i spiraju se kišnim oticajem i utiču na površinske i podzemne vode. Teški metali, olovo (Pb), zink (Zn), bakar (Cu), kadmijum (Cd), poliaromatični ciklični ugljovodonici (*eng.* polycyclic aromatic hydrocarbons – PAH), ugljovodonici iz mineralnih ulja (*eng.* mineral oil hydrocarbons – MOH) i joni različitih soli u kišnom oticaju doprinose degradaciji kvaliteta vode. U radu je dat prikaz raspodele i koncentracije zagađivača sa različitih površina u kišnom oticaju. Pored pregleda zagađivača, urađena je analiza zagađivača na slivu na parking prostoru u krugu Građevinskog fakulteta u Beogradu. Deo koji se odnosi na pregled zagađivača obrađen je i preuzet iz evropskih istraživanja i urađeno je poređenje sa analizama koje su urađene na Građevinskom fakultetu u Beogradu.

**Ključne reči:** kvalitet vode kišnog oticaja, organski zagađivači, teški metali.

### ABSTRACT

The infrastructure added during the land development and urbanisation process is designed to collect precipitation and convey it out of the watershed, such as streams and rivers. The quality of surface water, seepage water and ground water is influenced by pollutants that collect on impervious surfaces and that are carried by urban storm water runoff. Heavy metals, e.g. lead (Pb), zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), mineral oil hydrocarbons (MOH) and readily soluble salts in runoff, contribute to the degradation of water. A literature search on the distribution and concentration of the surface-dependent runoff water has been compiled. Concentration variations of several pollutants derived from different surfaces have been averaged. The analysis that were performed at Faculty of Civil Engineering in Belgrade are presented and connected with previous review of surfaces and contaminants.

**Keywords:** storm water quality, organic contaminants, heavy metals.

### 1. UVOD

Infrastrukturni objekti (putevi, trotoari), komercijalni i stambeni objekti koji su rezultat urbanizacije i razvoja društva projektovani su tako da se svi nanosi koje sa površine terena spira kišni oticaj sakupljaju i odvođe kanalizacionim sistemima do recipijenata. Površinske i podzemne vode izložene su uticaju ovih zagađivača koji dolaze sa vodom i nanosom koji se spira sa različitih površina. Zagađivači se koncentrišu na nepropusnim površinama i njih spira kišni oticaj. Raspodela (distribucija) i/ili koncentracija zagađivača koji dospevaju spiranjem zavisi od brojnih faktora. Ključni faktori su: karakteristike površina sa koje voda otiče i stepen vlažnosti atmosferskog nanosa. Zagađivanje koje dospeva u votokove na početku kišne epizode naziva se prvo spiranje (*engl.* first flush) [1-3].

Karakteristike površina razlikuju se prema: konstruk-

cionim materijalima, stepenu i vrsti korišćenja, vremenskim uslovima, godini proizvodnje, nagibu površine, izloženosti i prostornoj konfiguraciji. Prema propusnosti površine se mogu podeliti na: delimično propusne površine (obraslo zemljište u dvorištima, gradske zelene površine i porozne asfaltirane površine), nepropusne krovne površine i nepropusne saobraćajne površine. Površine posebnih namena: skladišta, tržni centri u industrijskim i privrednim zonama, poljoprivredne površine i aerodromi, takođe doprinose kvalitetu vode oticaja u zagađujućim materijama (nutrijenti sa poljoprivrednih površina ili sredstva za sprečavanje pojave leda na pistama). Površine posebnih namena analiziraju se odvojeno i opterećenje ovih površina zagađujućim supstancama određuje se u specifičnim slučajevima.

Kišni oticaj sa urbanih površina sadrži veliki broj supstanci sa različitim štetnim potencijalom. Pored makro-zagađivača kao što su neorganski joni prisutni u

<sup>1</sup> Vladana RAJAKOVIĆ-OGNJANOVIĆ<sup>1</sup>, Aleksandar ĐUKIĆ<sup>1</sup>, Branislava LEKIĆ<sup>1</sup>, Dejan LJUBISAVLJEVIĆ<sup>1</sup>  
Institut za hidrotehniku i vodno-ekološko inženjerstvo, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Kralja Aleksandra 73,  
11000 Beograd, E-mail: vladana@grf.bg.ac.rs



visokim koncentracijama, elementi u tragovima mogu biti značajni zagađivači. Elementi u tragovima su mikrozagađivači i imaju izuzetan negativan potencijal sa aspekta uticaja na životnu sredinu. Teški metali, olovo (Pb), zink (Zn), bakar (Cu), kadmijum (Cd), poliaromatični ciklični ugljovodonici (*eng.* polycyclic aromatic hydrocarbons – PAH), ugljovodonici mineralnih ulja (*eng.* mineral oil hydrocarbons – MOH) i lako rastvorljive soli u kišnom oticaju utiču na kvalitet vode. Suvi atmosferski nanos predstavlja prašinu, aerosole i gasove iz atmosfere koji padaju na tlo i na površinu biljaka. Čestice veće gustine padaju na tlo, a čestice manje gustine ostaju suspendovane ili odlete u više slojeve atmosfere. Suvi atmosferski nanos spiranjem odlazi u vodotokove kao koncentrat zagađenja. Vlažni atmosferski nanos sadrži supstance koje se izdvajaju nakon padavina (posle kiše, magle, rose ili mraza). Supstance u nanosu potiču iz prirodnih izvora ili su proizvod antropogenih aktivnosti, a koncentracije supstanci variraju u zavisnosti od doba godine, meteoroloških faktora, karakteristika površine, prostornog rasporeda izvora zagađenja (saobraćajnice, industrija, i dr.) [4–6]

## 2. KARAKTERISTIKE KIŠA

Kiša sadrži jone kao što su: sulfat– ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), amonijum– ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrat– ( $\text{NO}_3^-$ ) i fosfat– ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) jon u merljivim koncentracijama. Koncentracije azota (N) i fosfora (P), odnosno njihovih jedinjenja, zanemarljive su sa ekološkog aspekta. Oksidi sumpora ( $\text{SO}_x$ ), azota ( $\text{NO}_x$ ) i hlorid–jon koji nastaju kao produkti sagorevanja u postrojenjima uzrokuju kiselost kiše. Električna provodljivost, (*eng.* electrical conductivity, EC), koja predstavlja ukupnu količinu rastvorenih jona ispoljava isti trend kao pH vrednost i zavisi od intenziteta kiše – prvo raste pa opada sa intenzitetom kiše. Teški metali, koji su najčešće vezani za čestice prašine, potiču iz: termoelektrana, postrojenja u kojima se vrši sagorevanje, industrije gvožđa i čelika, metalne industrije, postrojenja za spaljivanje otpada, cementne industrije, industrije stakla i saobraćaja (motora sa unutrašnjim sagorevanjem). Zbog niske pH vrednosti kišnice teški metali (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni i Cr) su prisutni su u obliku rastvorenih jedinjenja. Osim neorganskog zagađenja, kišni oticaj sadrži i zagađivače organskog porekla. Lišće, zemlja (glina, humus), ptičiji izmet, cveće i polen su organski makrozagađivači. Čestice prašine koje nastaju sagorevanjem fosilnih goriva su organski mikrozagađivači u kišnoj vodi. Koncentracija policikličnih organskih ugljovodonika (*eng.* PAH), (naftalen, fluoren, fenantren, fluoranten i benzopiren) raste sa intenzitetom kiše [4].

## 3. KIŠNI OTICAJ SA KROVNIH POVRŠINA

Nepropusne krovne površine razlikuju se po konstrukcionom materijalu, godini proizvodnje, nagibu, izloženosti i položaju u prostoru (lokaciji). Zagađivači

koji se zadržavaju na površini krovova spiranjem doppevaju u kišni oticaj. Raspodela zagađivača koji nastaju spiranjem sa krovova, slična je raspodeli zagađivača sa susednih nepropusnih površina (trotoari, saobraćajnice, i dr.), pri čemu je kod oticaja sa krovova sadržaj (koncentracija) zagađivača nešto niži, a nanos se sastoji od finijih frakcija prašine. Sadržaj suvog atmosferskog depozita na krovovima zavisi od vremenskih uslova, nagiba krova, izloženosti i lokacije krova.

Pored zagađenja koja se talože iz atmosfere, materijal koji čini krovnu oblogu takođe može uticati na kvalitet oticaja tako što se materije iz obloge izlučuju u kišni oticaj. Različiti krovni materijali emituju različite teške metale; tekstura različitih krovnih materijala diktira različito vreme zadržavanja, različite koeficijente oticaja, vremensko zavisne procese (hemijsko okruženje, temperatura, hrapavost površine, izdvajanje mikroorganizama). Većina krovova u Evropi sastoji se od ploča od opeke, betonskih, cementnih krovova, ali i od krovnih materijala kao što su staklo, plastika, itd. Metalni krovovi od bakra i cinka sa olovom, kao i metalni oluci i krovne cevi takođe se mogu naći u urbanim sredinama. Zeleni krovovi (sa više ili sa samo jednom biljnom kulturom) imaju izuzetan značaj zbog zadržavanja kišne vode, korišćenja i prečišćavanja vode kroz slojeve zemljišta na krovovima. Za krovne površine, oluke i krovne cevi koriste se limovi od bakra (Cu) i od čelika prekrivenih slojem cinka (Zn), a nešto ređe materijali od aluminijuma (Al), olova (Pb) i drugi. Krovni materijali emituju teške metale koji nastaju u korozionim procesima. Korozioni procesi ubrzani su usled niske pH vrednosti koju imaju kišne vode. U srednjoevropskoj klimatskoj zoni bakarni krovovi emituju bakar brzinom od 1,1 g/m<sup>2</sup> na godišnjem nivou, a krovovi od pocinkovanog lima emituju 3,0 g/m<sup>2</sup> cinka na godišnjem nivou [1]. Deo metala nalazi se „zarobljen“ u patini (oksidovani sloj materijala). Kod krovova od pocinkovanog lima čak 30 do 40 % korozionih proizvoda ostaje u patiniziranom sloju, a kod bakarnih krovova čak 75 do 80 % korozionih proizvoda ostaje u patini bakarnog sloja. Količina i razvoj patine zavisi od više faktora. Jedan od ključnih je koncentracija  $\text{SO}_4^{2-}$  –  $\rho\text{Ox}$  u atmosferi. Pored sulfatnog jona važna je pH vrednost kiše, izloženost i nagib krovne konstrukcije i kondenzacija (u toku vlažnih vremenskih perioda). Kako koncentracija sulfat–jona opada, pH vrednost raste, emisija teških metala opada.

Pojava organskih zagađivača u oticaju sa krovova zavisi od lokacije i godišnjeg doba, pa je teško uspostaviti opšte zavisnosti i predvideti njihovu koncentraciju. Biohemijaska potrošnja kiseonika za pet dana (BPK<sub>5</sub>) i hemijaska potrošnja kiseonika (HPK) rastu sa površinom krova koju prekrivaju lišajevi i mahovina. Trećinu ukupnih suspendovanih materija (*eng.* Total Suspended Solids–TSS) predstavljaju organska jedinjenja. Koncentracija PAH–ova veća je u vodi koja nastaje spiranjem sa krovova nego u kišnoj vodi zbog akumulisanja atmosferskog nanosa tokom vremena [5,6].

#### 4. KARAKTERISTIKE OTICAJA SA NEPROPUSNIH SAOBRAČAJNIH POVRŠINA

Koncentracija i sastav zagađivača u kišnom oticaju sa nepropusnih saobraćajnih površina i parking-prostora zavisi od gustine saobraćaja, pravca vetrova, trajanja i intenziteta kišnih epizoda, sušnih perioda i stanja saobraćajne infrastrukture kao i održavanja. Zagađivači u kišnom oticaju sa saobraćajnica zavise od atmosferskog depozita (u suvom i vlažnom peri-

odinjenja olova i čađ. Natrijum hlorid (NaCl) osnovni je sastojak soli za odmrzavanje koje sprečavaju pojavu leda na putu, a u periodu od oktobra do aprila može se naći na putevima. Soli sadrže do 10 % kalcijum hlorida ( $\text{CaCl}_2$ ), kalcijum sulfata ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), magnezijum hlorida ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) i magnezijum sulfata ( $\text{MgSO}_4$ ). Količina soli koja se u Nemačkoj koristi je između 10 i 40  $\text{g/m}^2$  [1].

Neorganske supstance koje su prisutne u oticaju spiranjem sa saobraćajnica su: kalijum ( $\text{K}^+$ ), kalcijum ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnezijum ( $\text{Mg}^{2+}$ ), aluminijum ( $\text{Al}^{3+}$ ), silicijum

**Tabela 1. Tipovi površina i procena za analizu zagađivača u oticaju**  
**Table 1. Types of drained surfaces and assumptions for the pollution analysis**

Tip	Površina oticaja	Osnovne pretpostavke za analizu zagađivača
1	Kišnica	Analiza vlažnog depozita
2	Oticaj sa krovova od betona, crepa, staklenih delova, bez oluka od cinka	Analiza: suvi i vlažni depozit
3	Oticaj sa krovova od betona, crepa, staklenih delova, sa olukom od cinka	Analiza: suvi i vlažni depozit
4	Zeleni krovovi	Analiza nutrijenata iz supstrata
5	Bakarni krovovi	Analiza: suvi i vlažni depozit, sadržaj bakra
6	Krovovi od aluminijuma	Analiza: suvi i vlažni depozit, sadržaj aluminijuma
7	Krovovi od cinka	Analiza: suvi i vlažni depozit, sadržaj cinka
8	Pešačka staza, dvorište	Analiza: suvi i vlažni depozit, tečnosti od curenja i kapanja
9	Auto parkiralište	Analiza: suvi i vlažni depozit, korozioni proizvodi, tečnosti od curenja i kapanja, abrazija
10	Servisna stanica	Analiza: suvi i vlažni depozit, korozioni proizvodi, tečnosti od curenja i kapanja, abrazija
11	Saobraćajnica (magistralni put)	Analiza: suvi i vlažni depozit, korozioni proizvodi, tečnosti od curenja i kapanja, abrazija
12	Auto-put	Analiza: suvi i vlažni depozit, korozioni proizvodi, tečnosti od curenja i kapanja, abrazija

odu), od gustine saobraćaja i kvaliteta puta. Samo 5 do 20 % zagađivača koji su emitovani iz saobraćaja dospeva u oteklu vodu. Preostala količina zagađenja se strujanjem vetra raspršuje u atmosferi i zagađuje vazduh u neposrednom okruženju puteva.

Izvori zagađenja sa puteva i iz saobraćaja uključuju emisiju zagađivača koji nastaju abrazijom površine puta, abrazijom guma na vozilima, habanjem kočnica i isticanjem raznih tečnosti iz vozila (gorivo, motorno ulje, maziva, kočione tečnosti, antifriz, itd). Abrazija površine puta zavisi od stanja i teksture površine puta. Dvosmerna asfaltirana ulica abrazijom oslobađa oko 10 kg materijala po kilometru godišnje. Abrazijom guma nastaju zagađivači kao što su ostaci od guma, čađ, teški metali i oksidi teških metala (Zn, Pb, Cr, Cu i Ni), a abrazijom kočnica nastaju teški metali poput Ni, Cr, Cu i Pb. Gvožđe (Fe) se takođe može naći u kišnom oticaju usled trošenja i habanja materijala od kočnica. Abrazijom guma oslobađa se 0,12 kg materijala po kilometru na hiljadu vozila godišnje. Procena je da se abrazijom kočnica oslobađa 15 kg materijala na milion vozila po kilometru. Gasovi i aerosoli koji nastaju emisijom gasova iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem zavise od tipa motora i pogonskog goriva, i sadrže različite zagađivače uključujući i je-

( $\text{Si}^{4+}$ ), gvožđe ( $\text{Fe}^{2+}$ ), mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ), hlor ( $\text{Cl}^-$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )— $\rho\text{ov}$ , fosforna i azotna jedinjenja. Tragovi supstanci i jedinjenja koji mogu biti prisutni su jedinjenja arsena, olova, bora, kadmijuma, hroma, bakra, nikla i titana i vanadijuma. U poslednje vreme u tragovima mogu biti prisutna i jedinjenja platine, paladijuma i rodijuma koja potiču od katalitičkih konvertora. U tabeli 1 prikazane su različite površine i procena šta je potrebno analizirati u oticaja sa tih površina. Prikazane su: kišnica, oticaj sa krova bez oluka, oticaj sa krova od cinka i oluka, oticaj sa zelenog krova, oticaj sa bakarnog krova, oticaj sa aluminijumskog krova, oticaj sa krova od cinka, oticaj sa pešačke staze, oticaj iz dvorišta, oticaj sa parkinga i iz stambene ulice, oticaj sa magistralnog puta i oticaj sa autoputa [3-6].

Za određene tipove oticaja: za kišu, za vode koje nastaju spiranjem sa krovova i vodu koja nastaje oticanjem u krugu urbane zone sa visokom i niskom gustinom saobraćaja utvrđeni su uobičajeni opsezi vrednosti parametara koji su prikazani u tabeli 2.

Parametri značajni za analizu su: fizičko-hemijski (električna provodljivost i pH-vrednost), sumarni (TSS (*eng.* Total Suspended Solids), ukupne suspen-



**Tabela 2.** Opseg koncentracija zagađivača u kišnici, oticaju sa krovova, oticaju sa saobraćajnica (velike i male gustine saobraćaja)

**Table 2** Representative average concentration of pollutants in different types of surface runoff

Parametar	Jedinica	Kišnica		Krovovi		Saobraćajnice niske gustine saobraćaja		Saobraćajnice niske gustine saobraćaja		
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
<b>Fizičko-hemijski parametri</b>										
1	k	μS/cm	28	223	25	269	-*	-	108	2436
2	pH	-	3,9	7,5	4,7	6,8	6,4	7,9	6,4	7,9
<b>Sumarni parametri</b>										
3	TSS	mg/L	0,2	52	13	120	74	74	66	937
4	BPK <sub>5</sub>	mg/L	1,0	2,0	4,0	16,1	-	-	2,0	36,0
5	HPK	mg/L	5,0	55	-	-	-	-	63,0	146,0
<b>Nutrijenti</b>										
6	Ptot	mg/L	0,01	0,19	0,06	0,50	-	-	0,23	0,34
7	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/L	0,1	2,0	0,1	6,2	-	-	0,5	2,3
8	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,0	7,4	0,1	4,7	-	-	0,0	16,0
<b>Teški metali</b>										
9	Cd <sup>2+</sup>	μg/L	0,1	3,9	0,2	1,0	0,2	0,5	0,3	13,0
10	Zn <sup>2+</sup>	μg/L	5,0	235	24	4880	15	1420	120	2000
11	Cu <sup>2+</sup>	μg/L	1	355	6	3416	21	140	97	104
12	Pb <sup>2+</sup>	μg/L	2	76	2	493	98	170	11	525
13	Ni <sup>2+</sup>	μg/L	1	14	2	7	-	-	4	70
14	Cr <sup>3+,6+</sup>	μg/L	2	8	2	6	-	-	6	50
<b>Neorganski joni</b>										
15	Na <sup>+</sup>	mg/L	0,22	20,00	-	-	-	-	5,0	474,0
16	Mg <sup>2+</sup>	mg/L	0,03	0,33	-	-	-	-	1,0	1,4
17	Ca <sup>2+</sup>	mg/L	1,10	67,13	1,00	1900	-	-	13,7	57,0
18	K <sup>+</sup>	mg/L	0,46	0,65	-	-	-	-	1,7	3,8
19	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0,56	14,40	-	-	-	-	5,1	139,0
20	Cl <sup>-</sup>	mg/L	0,20	5,20	-	-	-	-	3,9	669,0
<b>Organski parametri</b>										
21	PAH	μg/L	0,04	0,76	0,35	0,60	-	-	0,24	17,10
22	MOH	μg/L	0,29	0,41	0,108	3,14	-	-	0,51	6,50

\*- nema podataka

dovane materije, BPK<sub>5</sub>, HPK), nutrijenti (ukupan fosfor (Ptot), amonijak i nitratni-jon), joni teških metala, neorganski joni i organski parametri.

Električna provodljivost predstavlja parametar koji daje značajne informacije o kvalitetu oticaja. Smatra se parametrom od ključnog značaja za procenu kvaliteta vode. Izmerene vrednosti za analizirane površine bile su između 28 i 223 μS/cm u kišnici; od 25 do 269 μS/cm za vodu u krugu krovova; od 108 do 2436 μS/cm za urbana područja sa saobraćajem velike gustine.

pH vrednosti pojedinačnih uzoraka varirala je u zavisnosti od ispitivanog materijala površine. pH vrednost kišnice bila je između 3,9 i 7,5; kod saobraćajnica pH vrednost bila je u rasponu od 6,4 do 7,9.

Za TSS izmereni opseg varirao je od 0,2 do 52 mg/dm<sup>3</sup> u kišnici; od 66 do 937 mg/dm<sup>3</sup> za urbane oblasti. Ova-ko visoke vrednosti TSS posledica su habanja guma na saobraćajnicama kod kojih je prisutno ukrštanje puteva.

BPK<sub>5</sub> vrednost izmerena je u koncentraciji od 2,0 mg/dm<sup>3</sup> u kišnici do 36 mg/dm<sup>3</sup> za urbane oblasti. Sličan trend uočen je za HPK. Organska jedinjenja pokazuju porast koncentracije od kišnice do kruga oko krova. Za ukupan fosfor i amonijak koncentracije se smanjuju u urbanim sredinama. Visoke koncentracije azotovih i fosfornih jedinjenja izmerene su zbog prisustva mahovina i lišajeva na krovovima, kao i zbog ptičijeg izmeta. Koncentracija nitratnog jona pokazuje obrnuti trend od amonijaka. Kod analize izmerenih koncentracija teških metala povećava se koncentracija teških metala od kišnice do uzorka iz urbanih saobraćajnih sredina. Uočljiva su dva izuzetka, to su krovovi sa olucima od cinka i metalni krovovi napravljeni od bakra i cinka. Za ove površine koncentracija teških metala su veće za uzorke iz kruga oko krovova, nego za uzorke iz urbanih, saobraćajnih zona. Kod analize sadržaja jona, analiza je korisna samo za kišnice. Natrijum i hlorid jon analizirani su u urbanim, saobraćajnim zonama zbog upotrebe soli. Analiza ugljovodonika (PAH i MOH) pokazuje da su prisutni u svim vodama [1].



## 5. ANALIZA ZAGAĐIVAČA NA SLIVU PARKING PROSTORA GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

U dvorištu Građevinskog fakulteta u Beogradu projektovan je i napravljen eksperimentalni sliv na kome je predviđena mogućnost za smanjenje količine oticaja sa urbanih površina kao i poboljšanje kvaliteta oticaja pre ispusta u kanalizacioni sistem. Sliv se sastoji od dve vrste nepropusnih površina – parkinga ispred zgrade površine do 2400 m<sup>2</sup> i manjeg dela krovne površine (metalni korv površine 100 m<sup>2</sup>) i manjim delom od travnate površine [6]. Kontrola oticaja sa stanovišta količine se može izvršiti na nekoliko različitih načina. Na ovom eksperimentalnom slivu izabran je metod infiltracije. Infiltracija je metod koji treba primeniti kada god je to moguće jer najbolje oponaša prirodne hidrološke procese u slivu. Oticaaj koji prihranjuje podzemnu vodu se prirodnim putem prečišćava procesom filtracije kroz zemljište. Za kontrolu kvaliteta oticaja pre infiltracije izabran je separator (tip *ACO Oleopass NP6*) koji se postavlja neposredno uzvodno od objekta za infiltraciju. Separator je potreban zbog metode infiltracije koja je osetljiva na taloženje suspendovanih materija koje mogu smanjiti infiltracioni kapacitet objekta [6].

Na slici 1 shematski je prikazan sistem za kontrolu oticaja usvojen na eksperimentalnom slivu Građevinskog fakulteta u Beogradu, zajedno sa predviđenim mestima za merenja i zahvatanje uzoraka oticaja za analizu kvaliteta [6].

Izvršena su inicijalna istraživanja vrste i količina materijala akumulisanog na pojedinim površinama eksperimentalnog sliva, gde je testirana oprema i metodologija za uzorkovanje materijala sa nepropusnih površina. Usvojen je metod mokrog usisavanja, koji omogućava veoma efikasno zahvatanje suspendovanog i praškastog materijala sa površine, a zahvata se i deo rastvorljivih materija, čime se dobro simulira prirodno spiranje materija sa površine tokom padavi-

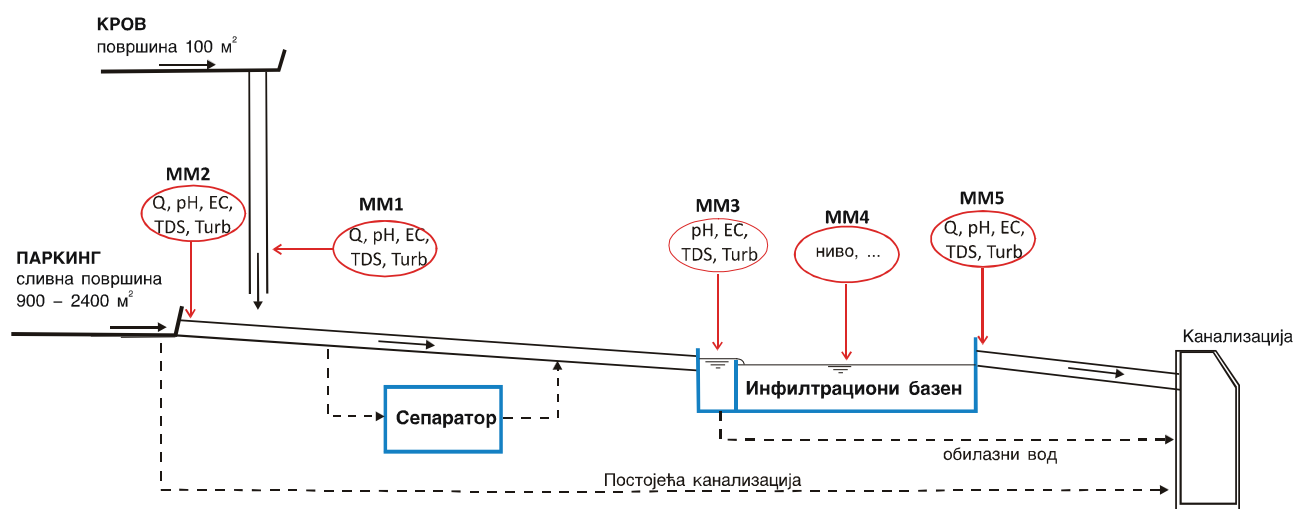
na. Napravljen je okvir površine 0,5 m<sup>2</sup> iz koga se zahvataju uzorci i definisana je procedura za pripremu i zahvatanje uzoraka, koja obuhvata pripremu vode za uzorkovanje, pripremu i čišćenje aparata za uzorkovanje, samu proceduru uzorkovanja, čuvanje i transport uzoraka.

Na slici 2 prikazana je procedura uzorkovanja sa asfaltnih površina u dvorištu Građevinskog fakulteta u Beogradu.



**Slika 2** Uzorkovanje sa nepropusne površine – metoda mokrog usisavanja

**Fig.2** Sampling procedure from impervious surface – wet vacuum procedure



**Slika 1** Shematski prikaz ekperimetalnog sliva sa planiranim objektima za kontrolu oticaja i mernim uređajima

**Fig.1** The scheme for the experimental run-off with measuring points and equipment

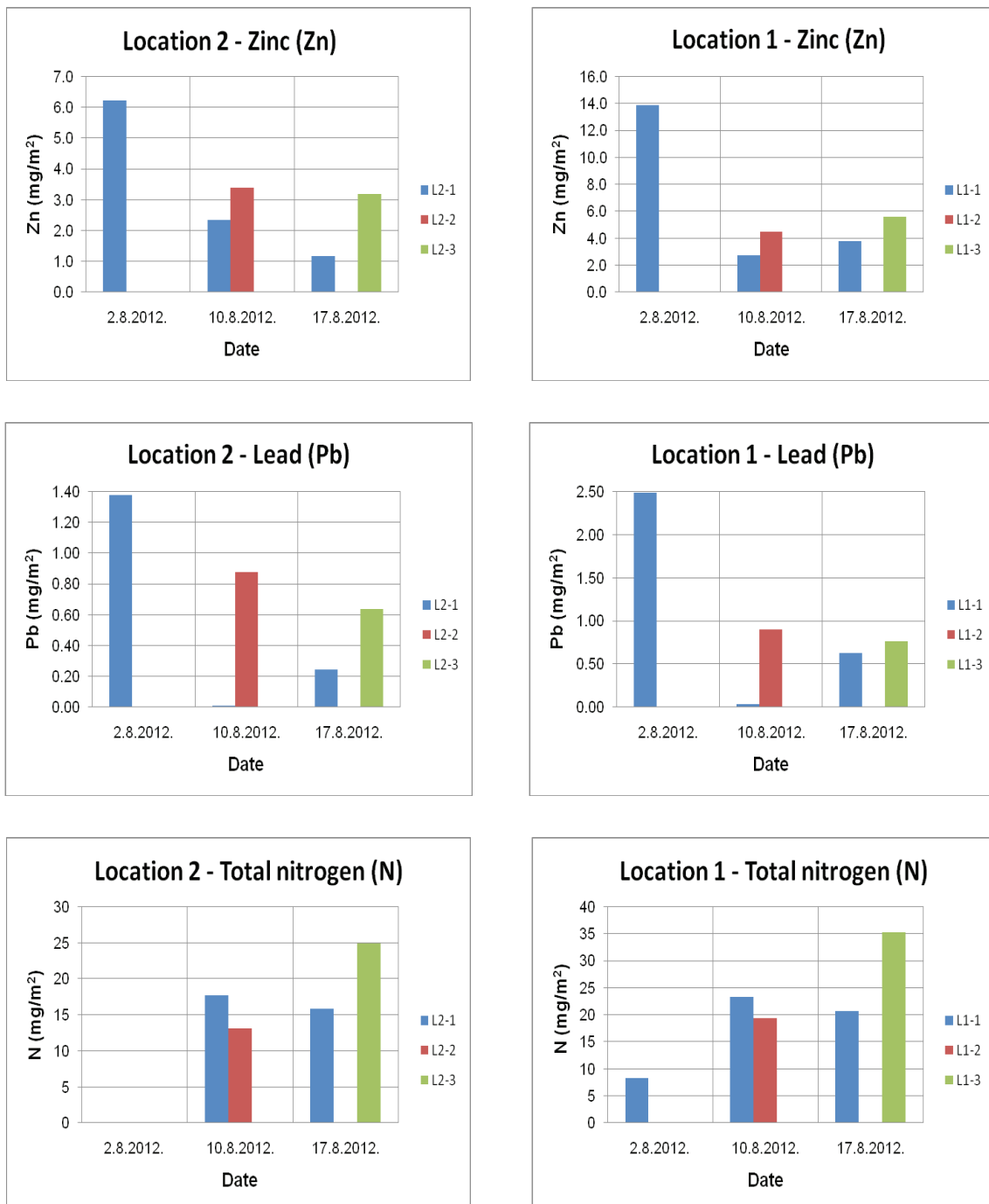


Inicijalna ispitivanja obuhvatila su tri serije zahvatanja uzoraka sa dve lokacije na parking u dvorištu Građevinskog fakulteta u Beogradu. Uzorci su pakovani u odgovarajuće kontejnere i analiziran je: sadržaj teških metala,  $BPK_5$ , HPK, suspendovane materije, taložljive materije, azotna jedinjenja, fosfor, hloridi, pH, sadržaj ulja i masti, sadržaj ugljovodonika i fenola. Analize su izvedene u akreditovanoj laboratoriji Gradskog zavoda za javno zdravlje Beograd. Rezultati (deo rezultata koji se odnosi na teške metale prikazan je na slici 3) ukazuju na značajne količine zagađenja koje mogu biti prisutne na nepropusnim površinama i koje spiranjem utiču na kvalitet vodoprijemnika. Rezultati

dosadašnjih istraživanja, iskazani u količini materije po jedinici nepropusne površine su prikazani na dijagramima na slici 3.

## 6. ZAKLJUČAK

Uticaj zagađenja koje se spira kišnim oticajem sa urbanih slivova uočen je na nizu resursa površinskih i podzemnih voda. Izučavanje procesa koji dovode do akumulisanja zagađenja na površini, njegovog pokretanja i spiranja sa površine tokom padavina je veoma



**Slika 3** Rezultati merenja zagađivača u uzorcima sa asfaltnih površina u dvorištu Građevinskog fakulteta  
**Fig.3** The results of pollutant concentration from asphalt surface in the yard of Faculty of Civil Engineering

aktuelan istraživački zadatak. Izučavanje kretanja zagađivača, mehanizmi kretanja i predviđanje u domenu kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih slivova doprinosi razvoju i primeni adekvatnih sistema za zaštitu vodnih resursa od zagađivanja. Inicijalna istraživanja akumulisanja materija na nepropusnim površinama na eksperimentalnom slivu u Beogradu ukazuju na značajan potencijal akumulisanja zagađenja na urbanim površinama, što ukazuje na potrebu detaljnih istraživanja tipa, vrste i karakteristika akumulisanih materija i dinamike njihovog pokretanja i transporta u cilju pravilnog definisanja optimalnih mera zaštite voda od zagađenja.

## ZAHVALNICA

Istraživanja su finansirana od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije (Projekti: #III43009; #TR37009; #TR37010)

## LITERATURA

1. P. Göbel, C. Dierkes, W.G. Coldewey, Storm water runoff concentration matrix for urban areas, *Journal of Contaminant Hydrology* 91 (2007) 26–42
2. N. S. Miguntanna, P. Egodawatta, S. Kokot, A. Goonetilleke, Determination of a set of surrogate parameters to assess urban stormwater quality, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 6251–6259
3. C. Westerlund, M. Viklander, Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall, *Science of the Total Environment* 362 (2006) 143–156
4. J-L. Bertrand-Krajewski, Stormwater pollutant loads modelling: epistemological aspects and case studies on the influence of field data sets on calibration and verification, *Water Science and Technology* 55 (2007) 1-17
5. D. T. McCarthy, A. Deletic, V.G. Mitchell, T.D. Fletcher, C. Diaper, Uncertainties in stormwater E. coli levels, *Water Research* 42 (2008) 1812–24
6. B. Krunić, Z. Nanunović, A. Ranđelović, D. Kostić, V.N. Rajković-Ognjanović, B. Jovanović, A. Đukić, D. Pavlović, D. Prodanović, "Water quality monitoring and treatment in an experimental catchment", 9th International Conference on Urban Drainage Modelling, Belgrade, Serbia, Book of Extended Abstracts 67-68, (2012). ISBN 978-86-7518-155-2

**Insa**

Trščanska 21  
11080 Beograd - Zemur  
Srbija

59 godina poverenja

APARTMANSKI VODOMERI

KUĆNI VODOMERI

INDUSTRIJSKI VODOMERI

Od sada vodomere očitavajte na ovaj način

Od sada ste vodomere očitavali na ovaj način

Xponder 868

DALJINSKO OČITAVANJE VODOMERA ADO-RF24

ADORFModem

Standardi

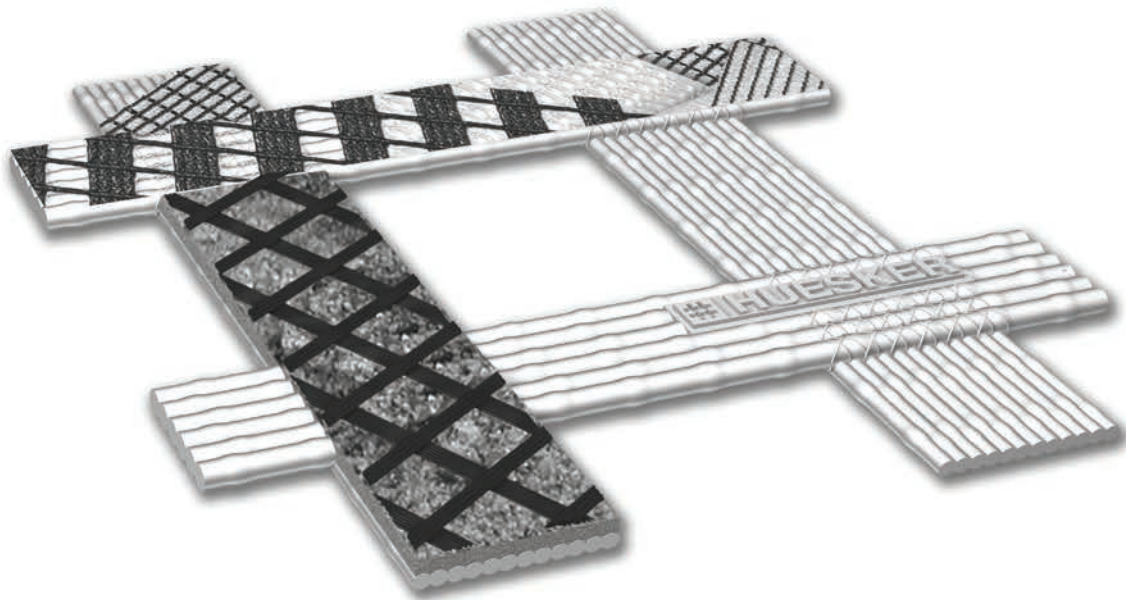
ISO 9001 SGS

Centrala +381 11 2612 422, Telefaks +381 11 614 330 Generalni Direktor +381 11 2618 722  
Prodaja +381 11 2614 236, Nabavka +381 11 2610 572, e-mail: office@insa.rs, web: www.insa.rs



# Ideen. Ingenieure. Innovationen.

HUESKER - Engineering with Geosynthetics



## HUESKER Geosynthetics

Geogrids, wovens, composites, geosynthetic-clay liners, non-wovens, as well as marine and dewatering tubes and erosion protection mats for your application in...

Earthworks and Foundations

Roads and Pavements

Hydraulic Engineering

Environmental Engineering

HUESKER engineers support you with the realisation of your construction projects. Rely on the products and solutions of HUESKER.

### HUESKER Synthetic GmbH

48712 Gescher · Germany

Tel.: + 49 (0) 25 42 / 701 - 0

info@HUESKER.de

[www.HUESKER.com](http://www.HUESKER.com)

ZASTUPNIK ZA SRBIJU

GEOESTETIKA

Cetinjska 24, 11000 Beograd

Tel: +381 11 322 95 14

Mob: +381 64 17 00 345

Mail: mbakrac@bvcom.net



ivg.



# HUESKER

Ideen. Ingenieure. Innovationen.