

# MERITVE KAKOVOSTNIH PARAMETROV ZA MODELIRANJA PRVEGA VALA ONESNAŽENIH VODA S CESTNIH POVRŠIN

## MEASUREMENTS OF QUALITY PARAMETERS FOR THE MODELING OF THE FIRST FLUSH OF POLLUTED WATER FROM ROADS

**asist. dr. Mario Krzyk, univ. dipl. inž. grad.**

mario.krzyk@fgg.uni-lj.si

UL FGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Ljubljana

**prof. dr. Davor Malus, univ. dipl. inž. grad.**

malus@grad.hr

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb, Hrvatska

**izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.**

joze.panjan@fgg.uni-lj.si

UL FGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Ljubljana

**Znanstveni članek**

UDK 628.33:656.1

**Povzetek** | Konične koncentracije onesnažil v padavinski odpadni vodi se pojavijo v začetni fazi padavin, znani kot prvi val onesnaženja. Da čistilne naprave in odvodniki niso preobremenjeni, gradimo na mešanih kanalizacijskih sistemih zadrževalne bazene deževnih voda. Po ATV-predpisih je pri dimenzioniranju zadrževalnih bazenov za zadrževanje dela prvega vala onesnaženja treba upoštevati ca. 30 parametrov. Eden od najpomembnejših kazalnikov onesnaženja je KPK – kemijska poraba kisika, ki smo jo podrobneje analizirali. V prispevku so podane lastne večletne meritve kakovosti onesnaženih padavinskih voda s cest, ki so primerjane s kanalskimi odpadnimi vodami.

**Ključne besede:** ceste, prvi val, kakovost, zadrževalni bazeni, KPK – kemijska poraba kisika, suspendirane snovi, kovine

**Summary** | Peak concentrations of pollutants in stormwater effluent occur in the early stages of precipitation known as the "first flush". To avoid overloading of waste water treatment plants and sewage channels, retaining pools of rain water should be built on joint sewage systems. After the ATV regulations in dimensioning of retaining pools for the retention of the first flush it is necessary to consider approx. 30 parameters. One of the most important indicator of polluted water is COD - chemical oxygen demand, which was analysed in detail. In the paper the results of own multi-year measurements of contaminated rainwater from the roads are presented and compared with sewage channel wastewater.

**Keywords:** road, first flush, quality, retention basins, COD, chemical oxygen demand, suspended solids, metals

## 1 • UVOD

Za projektantske namene pri odtoku vode s cestišč in za varstvo hidrosfere moramo poznati naliv(e) oziroma kritični naliv, čase odtoka in čase zadrževanja. Pomembno je definirati potrebni volumen prvega vala onesnaženja oziroma njegov specifični volumen  $V_s$  ( $m^3/ha$ ). Ta nam pove, koliko  $m^3$  zelo onesnažene padavinske vode na hektar reducirane prispevne površine moramo zadržati pred izpustom v vodotok. Z občutljivostno analizo lahko ugotovimo, kateri parametri so pomembni in močno vplivajo na volumen in kateri parametri imajo manjši vpliv. Rezultati take analize nam dajo kriterije, ki nam povedo, pri določanju katerih parametrov moramo biti posebno previdni.

Kopičenje in izpiranje onesnažil s prispevne površine je določeno s kategorijami rabe območja. Z rabo ovrednotimo razvojno aktivnost prispevnega območja. Primeri rabe prispevne površine so urbana, komercialna, industrijska in nepozidana območja. Na pris-

pevnem območju definiramo površinske karakteristike posameznih delov. Sem prištevamo strešine, asfalt, travnike, neutrjeno ozemlje ... Raba območja je v programu SWMM (Storm Water Management Model) uporabljena le kot spremenljivka pri izračunu kopičenja onesnažil in vrednosti izpiranja znotraj prispevnih površin ((Bertrand-Krajewski, 1998), (Deletic, 1998)).

Za vsako rabo območja lahko določimo procese, kot so kopičenje onesnažil na površju, izpiranje onesnažil s površja in izpiranje z vozniških površin. Količina nakopičenih onesnažil je funkcija števila zaporednih dni brez padavin. Pri tem je treba upoštevati mehansko oziroma strojno čiščenje in izpiranje cestnih površin (čiščenje cestišč), kar zmanjša količino določenih nakopičenih onesnažil med padavinskim obdobjem. Izpiranje onesnažil nastopi po procesu padanja padavin ((Mangani, 2005), (Rep, 2007)). Pomembno je tudi dejstvo, da je lahko v povprečju do 70 %

KPK vezanega na usedljive ali suspendirane delce. Ti delci privlačijo polutante zaradi svoje specifične površine. Če jih odstranimo, odstranimo tudi večji del KPK, predvsem pa tudi težke kovine in policiklične aromatske ogljikovodike idr. Za oceno stopnje odstranjevanja teh delcev v sedimentacijskih razmerah so najpomembnejše značilnosti čas usedanja oziroma zadrževalni čas zadrževalnika in površinska obremenitev, kar pomeni hitrost usedanja delcev, ki res prispejo na dno zadrževalnika (Stenstrom, 2005).

Za vrednotenje prvega vala onesnaženih voda nas predvsem zanima masna bilanca snovi dogodka najpomembnejših onesnažil prvega vala onesnaženja in celotnega padavinskega vala. Po navedeni literaturi in naših meritvah onesnaženost oziroma koncentracija nekaterih najpomembnejših onesnažil padavinske vode v primerjavi z mešanim kanalizacijskim sistemom (KS) precej niha in znaša za: SS (suspendirane snovi) 100 do 11.200 mg/l, pri mešanem kanalizacijskem sistemu 35 do 2000, KPK od 30 do 1500 mg/l, v mešanem kanalskem sistemu od 80 do 1760 (povprečje 600) itd.

## 2 • VPLIVNI PARAMETRI

Zaradi ekonomskih in tehničnih razlogov se del odtokov z zadrževalno-razbremenilnimi objekti ob nalivih odvaja v odvodnik, najbolj onesnaženi del ali prvi val pa morata na čistilno napravo. Na dovoljeno količino prelite vode in koncentracijo onesnažil v tej vodi imajo znaten vpliv lastnosti prispevnega območja na kanalizacijskem sistemu – KS, kot so količina padavin, dotočni čas, padec kanalov, zadrževalna sposobnost kanalov, prisotnost večjega onesnaženja in priključeni ločeni sistemi za odvajanje sušnega odtoka. Pri analizi najpomembnejših parametrov (Krzyk, 2012) smo upoštevali predvsem nemške standarde ATV-A 128E (1992), ki obravnavajo projektiranje razbremenilnikov, deževnih, zadrževalnih, prelivnih in kombiniranih bazenov ter kanale z zadrževalno prostornino in prelivom na mešanih kanalizacijskih sistemih in kakovostni del programa SWMM (Storm Water Management Model) ((Mlakar, 2007), (Rutar, 2008)).

Tehnične zahteve za običajne primere so določene na podlagi emisijskih mejnih vrednosti, ne upoštevajo pa kakovosti rek ali jezer. Standard privzema, da te zahteve zadoščajo,

razen v primeru posebnih pogojev varovanja reke oziroma jezera. Kakovost prelite vode mora biti večja oziroma koncentracije prelitih onesnažil morajo biti manjše od koncentracij v manj občutljivih odvodnikih. Obremenitve vodotoka so odvisne od vrst, količin in koncentracij onesnaževal ter od trajanja in pogostosti razbremenjevanja. Standard kot glavni indikator onesnaženja uporablja KPK (kemijsko porabo kisika). Kriterij za določanje zadrževalnega volumna po standardu je teoretična obremenitev s KPK, ki pri povprečnih razmerah dosega reke oziroma jezera v prelihi vodi. Standard pri določanju volumnov za osnovo uporablja naslednje privzete vrednosti, ki so značilne za povprečne razmere v Nemčiji:

- povprečna letna višina padavin ... 800 mm,
- vrednost KPK deževnega odtoka  $C_r$  ... 107 mg/l,
- vrednost KPK sušnega odtoka  $C_{ow}$  ... 600 mg/l,
- vrednost KPK izpusta iz ČN v odvodnik  $C_{ip}$  ... 70 mg/l.

Predvideno povprečno razmerje KPK je torej:  $C_{ow} : C_r : C_{ip} = 600 : 107 : 70$ ,

kjer je:

- $C_{dw}$  – KPK sušnega odtoka (mg/l),
- $C_r$  – KPK deževnega odtoka (mg/l),
- $C_{ip}$  – KPK na izpustu iz ČN (mg/l).

Vrednost KPK deževnega odtoka je izračunana iz letne obremenitve s KPK 600 kg/ha neprepustne prispevne površine, ki je izprana s povprečno letno višino padavin 800 mm, reducirano s koeficientom odtoka 0,70. Efektivna letna višina padavin je tako 560 mm (padavine, ki dosežejo mešani KS).

Odstopanja od teh vrednosti v dejanski situaciji se upoštevajo z dejanskimi količinami in zahtevami, na primer večje padavine, vodotok z majhnim odtokom ali občutljiv odvodnik, jezera ali akumulacije.

Na podlagi privzetih vrednosti in z upoštevanjem dejanskih razmer se s postopkom dimenzioniranja določi zadrževalni volumen v KS. S tem volumnom je zagotovljeno učinkovito varovanje rek in jezer pred onesnaženjem s cestnih površin, še posebno avtocest (Malus, 2000). V primeru preseganja območja uporabe postopka dimenzioniranja podaja standard še dodaten strožji kontrolni postopek. To hkrati pomeni, da morajo biti volumni zadrževalnih bazenov onesnaženih voda večji.

Standard priporoča tudi, da se razišče, ali je mogoče količine mešane odpadne vode

zmanjšati in s tem zmanjšati emisije v razbremenilnih sistemih in na izpustih iz ČN ter investicijske in obratovalne stroške. Velikost deževnega odtoka je najbolj odvisna od velikosti neprepustnih prispevnih površin KS. Ukrepi za zmanjšanje deževnega odtoka v KS so: izločanje neonesnaženih padavinskih voda, izogibanje odtokom z nevtrjenih površin, zadrževanje padavinske vode pred izpustom v kanalizacijo, uporaba neonesnažene padavinske vode za druge namene (denimo za zalivanje vrtov).

V standardu so definirani poleg že omenjenih parametrov še naslednji parametri: reducirana prispevna površina  $A_{red}$ , dotočni čas  $t_{fi}$

povprečni koeficient nagnjenosti terena  $SG_{rv}$ , odtok mešane odpadne vode na ČN  $Q_{civ}$ , povprečni dnevni sušni odtok  $Q_{dww24}$ , maksimalni urni sušni odtok  $Q_{dww}$ , odtok tujih voda z območij z ločenim sistemom  $Q_{rs24}$ , deževni odtok skozi dušilko  $Q_{r24}$ , kritični deževni odtok  $Q_{krit}$ , kritični odtok mešane odpadne vode  $Q_{krit}$ , povprečni deževni odtok med prelivanjem  $Q_{rov}$ , razmerje sušnega odtoka  $q_{dww24}$ , razmerje deževnega odtoka  $q_r$ , povprečno mešalno razmerje  $m$ , KPK sušnega odtoka  $C_{dww}$ , faktor vpliva večjega onesnaženja  $a_p$ , faktor vpliva letnih padavin  $a_{lv}$ , faktor vpliva kanalizacijskih usedlin  $a_{dr}$ , računaska vrednost KPK sušnega odtoka  $C_{dr}$ , teoretična vrednost KPK prelivov

$C_{cc}$  in dovoljena letna mera prelivanja  $e_o$ . Med najpomembnejša parametra spadata KPK prelite vode  $C_{cc}$  v vodotok in dovoljena letna mera prelivanja  $e_o$ .

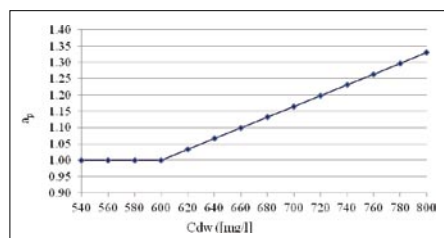
Na terenu smo opravili odvzem vzorcev vode med letoma 2004 in 2008, in sicer na cesti, v kanalizacijskem sistemu in v odvodniku – reki. Poleg meritev na terenu smo opravili laboratorijske meritve vseh ključnih kakovostnih parametrov, kot so suspendirane snovi – TSS, kemijska poraba kisika – KPK, celotni dušik – TKN, in celotni fosfor – TP, ter nekatere kovine, kot so Cu, Cr, Cd, Ni, Zn in Pb, ter sulfate in kloride.

### 3 • REZULTATI IN DISKUSIJA

Cilj učinkovitega odvajanja in čiščenja odpadnih voda je doseči primeren kakovostni razred odvodnika (da kakovost vode in njego-va uporabnost ni ogrožena) ter enakomerno hidravlično in optimalno biološko obremenitev ČN. To lahko dosežemo z zagotavljanjem zadostne zadrževalne kapacitete na kanalizacijskem omrežju, s primerno razporeditvijo objektov za razbremenjevanje in zadrževanje, s pravilnim dimenzioniranjem in pravilnim obratovanjem notranje opreme. Treba je tudi čim bolj zmanjšati vtok čiste padavinske vode in zagotoviti nizko stopnjo infiltracije tuje vode in sistem.

#### 3.1 Analiza vpliva KPK sušnega in deževnega odtoka po standardu DWA (ATV-A) 128E

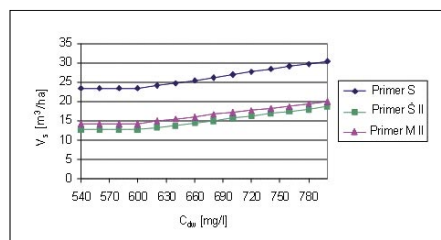
Naraščanje koncentracij v prelihi mešani odpadni vodi je predvsem odvisno od vrednosti KPK sušnega odtoka  $C_{dww}$ , KPK deževnega odtoka  $C_r$ , mešalnega razmerja med obema odtokoma v času prelivanja in sedimentov v



Slika 1 • Odvisnost med koeficientom vpliva večjega onesnaženja  $a_p$  in koncentracijo KPK sušnega odtoka  $C_{dww}$

kanalizaciji. Bolj ko je mešana odpadna voda onesnažena, manj se je sme prelihi, večji je zadosten volumen zadrževalnega bazena. V standardu ATV-A 128E je privzeta vrednost KPK sušnega odtoka 600 mg/l. Odstopanja v dejanskem primeru se upoštevajo s faktorjem vpliva večjega onesnaženja  $a_p$ . Slika 1 prikazuje odvisnost med koeficientom vpliva večjega onesnaženja  $a_p$  in vrednostjo KPK sušnega odtoka  $C_{dww}$ .

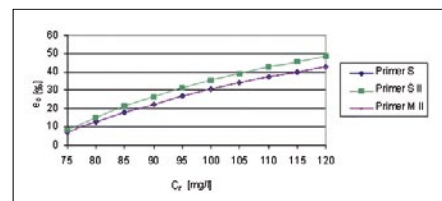
Vrednost KPK sušnega odtoka smo spreminjali v intervalu od 540 do 800 mg/l. Do vrednosti KPK sušnega odtoka 600 mg/l je koeficient vpliva večjega onesnaženja 1, pri večjih dejanskih vrednostih pa z večanjem onesnaženja linearno narašča. Zato se povečuje tudi računaska vrednost KPK sušnega odtoka in teoretična KPK prelite vode. Dovoljena letna mera prelivanja se v intervalu 600 do 800 mg/l zmanjša povprečno za 5,2 % po DWA (ATV-A) 128E. Diagram na sliki 2 prikazuje odvisnost med dejansko vrednostjo KPK sušnega odtoka in specifičnim volumnom za tri različne primere kanalizacijskega omrežja S, Š II, M II. Pri koncentracijah, manjših od



Slika 2 • Diagram vpliva KPK sušnega odtoka  $C_{dww}$  na specifični volumen  $V_s$

600 mg/l, je specifični volumen vedno enak, pri koncentracijah v intervalu 600 do 800 mg/l pa se poveča v povprečju za 6,2 m³/ha.

Vrednost KPK deževnega odtoka smo spreminjali v intervalu od 75 do 120 mg/l. Sprememba dovoljene letne mere prelivanja v tem intervalu v povprečju znaša 36,9 %. Pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 75 mg/l se letno lahko prelije približno 6,9 % vsote deževnega odtoka v enem letu, pri 120 mg/l pa 45,6 % (slika 3).

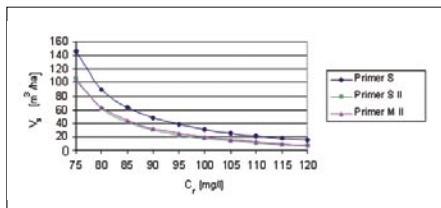


Slika 3 • Diagram odvisnosti med koncentracijo KPK deževnega odtoka  $C_r$  in dovoljeno letno mero prelivanja  $e_o$

Iz diagrama na sliki 3 je razvidno, da se specifični volumen z večanjem KPK deževnega odtoka ob nespremenjenih drugih vhodnih podatkih manjša. Sprememba specifičnega volumna v intervalu 75 do 120 mg/l povprečno znaša 108,3 m³/ha (slika 4). Zmanjšanje specifičnega volumna je posledica zahteve, iz katere izhajajo avtorji standarda, da lahko mešani sistem z emisijami iz kanalizacijskega sistema in čistilne naprave obremenjuje odvodnik največ v tolikšni meri kot del ločenega kanalizacijskega sistema za odvajanje padavinske vode brez čiščenja. Skupno letno kopičenje onesnažil iz KS ne sme biti večje od letnega onesnaženja zaradi deževnega odtoka. Če predpostavimo, da je onesnaženje KPK deževnega odtoka večje,

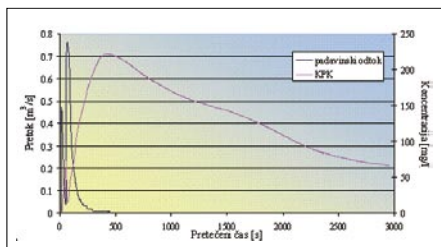


je to milejši kriterij za dovoljene emisije iz mešanega KS v odvodnik.

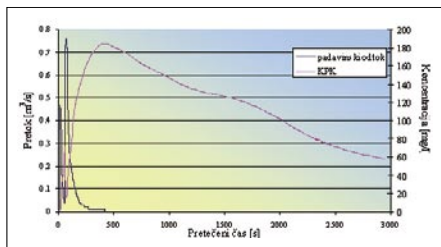


Slika 4 • Vpliv koncentracije KPK deževnega odtoka  $C_p$  na specifični volumen  $V_s$

Sliki 5 in 6 prikazujeta dejanski odtok in koncentracijo KPK, izračunano z modelom SWMM, med padavinskim dogodkom na razbremenilniku RVV M II v primeru, ko je na mreži KS prisoten ZBDV Š II oziroma ko na mreži ta ni prisoten.



Slika 5 • Padavinski odtok in koncentracija KPK, izračunana z modelom SWMM, pri petminutnem nalivu na RVV M II



Slika 6 • Padavinski odtok in koncentracija KPK, izračunana z modelom SWMM, pri petminutnem nalivu na RVV M II in prisotnem ZBDV Š II

### 3.2 Rezultati terenskega vzorčenja in laboratorijskih analiz

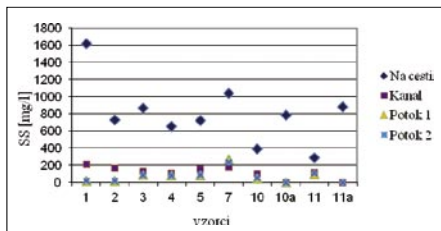
Na Viču v Ljubljani smo opravili serijo terenskih vzorčenj in laboratorijskih analiz kakovosti vode. Vzorce smo zajeli na cestišču in na iztoku iz razbremenilnega bazena kanalizacijskega sistema v potok Gradaščica. Mesti zajema vzorcev sta prikazani na slikah 7 in 8. Na sliki 9 so prikazane meritve suspendiranih snovi na cestišču v Ljubljani na Viču (Kolezija), v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.



Slika 7 • Cestišče po padavinah

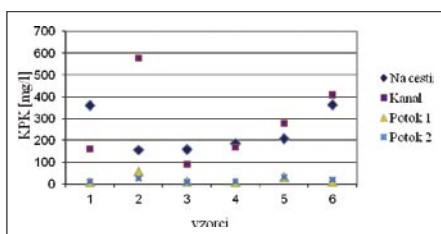


Slika 8 • Izpust iz razbremenilnika v odvodnik



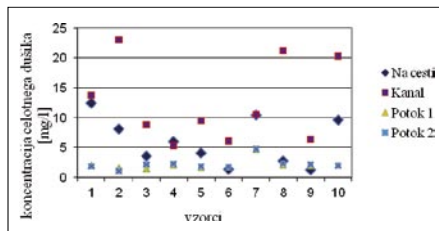
Slika 9 • Prikaz izmerjenih vrednosti SS na cestišču, v kanalu in odvodniku

Na sliki 10 so prikazane meritve KPK na cestišču, v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.

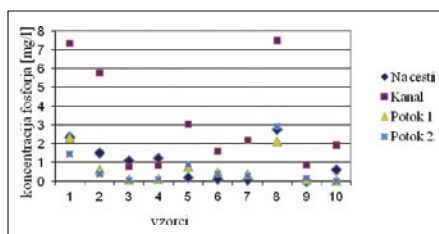


Slika 10 • Prikaz izmerjenih vrednosti KPK na cestišču, v kanalu in odvodniku

Na sliki 11 so prikazane meritve celotnega dušika na cestišču, v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.

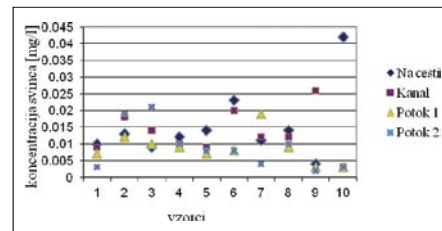

 Slika 11 • Prikaz izmerjenih vrednosti  $N_{cel}$  pri meritvah na cestišču, v kanalu in odvodniku

Na sliki 12 so prikazane meritve koncentracije fosforja na cestišču, v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.



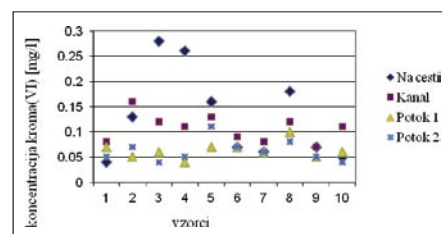
Slika 12 • Prikaz meritev fosforja na cestišču, v kanalu in odvodniku

Na sliki 13 so prikazane meritve koncentracije svinca na cestišču, v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.



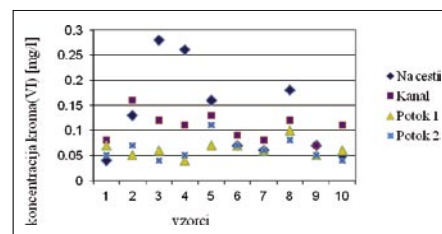
Slika 13 • Prikaz meritev svinca na cestišču, v kanalu in odvodniku

Na sliki 14 so prikazane meritve koncentracije šestvalentnega kroma na cestišču, v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.



Slika 14 • Prikaz meritev šestvalentnega kroma na cestišču, v kanalu in odvodniku

Na sliki 15 so prikazane meritve koncentracije kadmija na cestišču, v kanalu in odvodniku nad in pod izpustom prelite vode iz kanalizacijskega sistema pri različnih datumih odvzema vzorcev.



Slika 15 • Prikaz meritev kadmija na cestišču, v kanalu in odvodniku

## 4 • SKLEP

Cilj učinkovitega odvajanja in čiščenja odpadnih voda je doseči primeren kakovostni razred odvodnika (da njegova kakovost, ki se ohranja s samočistilno sposobnostjo, ni ogrožena) ter enakomerno hidravlično in optimalno biološko obremenitev ČN. Zato je treba s pravilnim dimenzioniranjem na kanalizacijskem omrežju

zagotoviti zadostno prostorninsko zadrževalno kapaciteto, primerno razporeditev objektov in pri delovanju kanalizacijskega sistema pravilno obratovanje notranje opreme. Pomembno je tudi čim bolj zmanjšati vtok čiste padavinske vode in zagotoviti nizko stopnjo infiltracije tuje vode v mešanem kanalizacijskem sistemu.

Za posodobitev mešanega kanalizacijskega sistema je treba opraviti količinsko in kakovostno analizo sistema in določitev volumnov zadrževalnih bazenov, ki zagotavljajo kakovost odvodnika v vseh primerih, ko se pojavlja prelivajoča se voda na razbremenilnikih. Zato smo ugotavljali občutljivost posameznih parametrov za različne primere kakovosti in njihov vpliv na odvodnik. Kakovost prelivajoče se vode padavinskega odtoka smo modelirali z računalniškim modelom SWMM, ki omogoča



kratkoročne in dolgoročne kvantitativne in kvalitativne simulacije le-tega. Ovrednotili smo fenomen prvega vala onesnaženja, ki se nanaša na začetno stanje padavinskega dogodka, ki vsebuje veliko količino onesnažil glede na relativno nizek volumen padavinskega odtočnega vala.

Na podlagi nemških tehničnih standardov ATV-A 128E, ki se uporabljajo za načrtovanje in dimenzioniranje zadrževalno-razbremenilnih objektov v mešanih KS, smo podrobneje obravnavali vse ključne parametre. Z njim lahko na podlagi preračuna emisij – teoretične obremenitve s KPK v prelitih vodi – določimo dopustne količine razbremenjevanja odpadnih voda in potrebne zadrževalne volumne. Standard upošteva vrsto krajevno specifičnih

vhodnih parametrov. Analizirali smo njihov vpliv na kakovost prelite vode in specifične volumne.

Parametri, ki imajo velik vpliv na specifični volumen, so koncentracija KPK deževnega odtoka, koeficient maksimalne urne porabe – torej razporeditev odtoka v dnevu, norma porabe vode, velikost reducirane prispevne površine, število prebivalcev, koeficient velikosti odtoka skozi dušilko in delež gospodinjstev, priključenih na ločen sistem. Od obeh spremenljivk, ki neposredno vplivata na specifični volumen – razmerja deževnega odtoka in dovoljene letne mere prelijanja –, ima večji vpliv razmerje deževnega odtoka. Dovoljena letna mera se najbolj spremeni pri spremembah KPK deževnega odtoka in povprečne letne višine padavin.

Z meritvami kakovostnih parametrov na cestišču, v kanalu in odvodniku smo ugotovili, da je onesnaženost padavinskih voda na cesti glede na nekatere parametre večja kot odpadna voda v kanalizaciji (suspendirane snovi, kovine in klorid). Zastavimo si vprašanje, ali si lahko privoščimo tako onesnažene vode izpuščati neposredno v vodotoke, na primer pri ločenih kanalizacijskih sistemih, v občutljive odvodnike ali odvodnike v varstvenih pasovih vodnih virov.

Velja naj pravilo, da lahko prelijemo v odvodnik le malo onesnaženo dotekajočo vodo (pod 106 mg/l KPK). Kakovost prelite vode v odvodnik naj bo v dopustnih mejah samočistilne sposobnosti odvodnika ali pa zelo blizu kakovosti izpustom iz komunalnih čistilnih naprav.

## 5 • LITERATURA

- ATV-A 128E, Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Overflows in Combined Wastewater Sewers, 1992.
- Bertrand-Krajewski, J.-L., Ghassan, C., Saget, A., Distribution of Pollutant Mass vs. Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon, *Water Research*, Volume 32, Issue 8, August, str. 2341–2356, 1998.
- Deletic, A., The first flush load of urban surface runoff, *Water Research*, 32(8), 2462–2470 (Rank 1/57, Water Resources Category), 1998.
- Krzyk, M., Panjan, J., Občutljivostna analiza parametrov modeliranja prvega vala onesnaženih voda s cestnih površin, *Gradbeni vestnik*, letnik 61, december 2012, str. 275–283, 2012.
- Malus, D., Petraš, J., Highway Runoff Treatment in Croatia, *Water Supply and Water Quality*, IV International Conference, Krakow, Poland, September 11–13, 2000, Conference Proceedings, Sozanski Marek, M. (ur.), Krakow, Poland, Polskie Zrzeszenie Inzynierow, Technikow Sanitarnych, 311–321, poster, 2000.
- Mangani, G., Berloni, A., Bellucci, F., Tatano, F., Maione, M., Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters, *University of Urbino, Centro di Studio per la Chimica dell' Ambiente e le Technologie Strumentali Avanzate*, 6, Piazza Rinascimento, Urbino, Italy, *Water, Air and Soil Pollution* 160, str. 213–228, 2005.
- Mrak, J., Modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda v kanalizacijskih sistemih, *diplomska naloga*, UL, FGG, Vodarstvo in komunalno inženirstvo, 2007.
- Rep, D., Uporaba programa SWMM in smernic ATV-A 128 za dimenzioniranje kanalizacijskih sistemov in zadrževalnih bazenov, *diplomska naloga*, UL, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer, 2007.
- Rutar, A., Analiza vpliva parametrov po standardu ATV-A 128E. *Diplomska naloga*, UL, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Komunalna smer, 2008.
- Stenstrom, M. K., Kayhanian, M., First Flush Phenomenon Characterization, *Kalifornian Department of Transportation, Division of Environmental Analysis*, Sacramento, 2005.