



ODVOĐENJE KIŠNOG OTICAJA U GRADOVIMA I SIGURNOST SAOBRAĆAJA

RAINFALL RUNOFF DRAINAGE AND TRAFFIC SAFETY IN URBAN CONDITIONS

APSTRAKT

U radu se prikazuju mogućnosti procene efekata primene različitih krite-rijuma za projektovanje sistema za odvođenje površinskog oticaja od kišnih voda na pouzdanost tih sistema. Pouzdanost je iskazana preko koeficijenta sigurnosti za odvo-đenje površinskih voda, koji je u radu definisan kao proizvod hidrološkog koeficijenta sigurnosti (odnos verovatnoće pojave računске i stvarne kiše) i hidrauličkog koefi-cijenta sigurnosti (ovde definisanog kao efikasnost slivnika). Prikazan je primer kojim se ilustruje određivanje koeficijenta sigurnosti pri projektovanju odvođenja kišnih voda za hipotetički sliv koji se sastoji od kolovoza sa dve saobraćajne trake i pripadajućeg trotoara, i u kome se razmatraju kapacitet slivnika i rastojanje između slivnika.

Ključne reči: efikasnost slivnika; rastojanje između slivnika; koeficijent sigurnosti; odvođenje površinskih voda

ABSTRACT

The paper discusses the possibilities to evaluate the effects of applying different criteria for design of surface drainage systems on the reliability of these systems. The reliability is expressed using the safety faktor for surface drainage, which is defined in the paper as the product of the hydrologic safety faktor (reflects the relation between the design storm frequency and the actual storm frequency) and the hydraulic safety faktor (defined here as inlet efficiency). An example is given to demonstrate the evaluation of safety factors in surface drainage design for a hypothetical catchment that consists of a two-lane pavement with associated sidewalk, with considerations related to inlet capacity and spacing.

Keywords: Inlet efficiency; inlet spacing; safety factors; surface drainage.

1. UVOD

Analiza pouzdanosti građevinskih i ekoloških sistema tradicionalno se zasniva na koeficijentima sigurnosti koji se predstavljaju odnos između kapaciteta i opterećenja sistema. Ovakav pristup obično se koristi pri projektovanju konstrukcija da bi se prika-zalo kolika rezerva postoji u sistemu da izdrži neuobičajeno ili neočekivano opterećenje. Konvencionalan koefi-cijent sigurnosti obično se posmatra kao determi-nistička promenljiva, iako mnoge vrste opterećenja i kapaciteta u građevinarstvu mogu da se posmatraju kao slučajne promenljive.

Primena koncepta koeficijenta sigurnosti pri projek-tovanju hidrotehničkih obje-kata nije uobičajena, pa ni onih u gradskim sistemima za odvođenje kišnih voda. Uobičajeni postupak podrazumeva da se u po-jedinim fazama projektovanja ostavi određena „mar-

gina sigurnosti“, kao npr. kada se usvoji cev sa većim komercijalnim prečnikom ili kada se za računsku kišu ili protok usvoji događaj manje verovatnoće pojave (većeg povratnog perioda). Funkcionisanje sistema sa gledišta sigurnosti obično se opisuje samo pre-ko rizika od prekoračenja projektovanog kapaciteta objekta. Taj rizik se često izjednačava sa rizikom od prekoračenja intenziteta ili povratnog perioda račun-ske kiše, jer se elementi sistema za odvođenje kišnih voda po pravilu dimenzionišu na maksimalni oticaj usled merodavne računске kiše zdatog povratnog perioda. Pri tome, implicitno se smatra da je koefi-cijent sigurnosti sistema jednak 1 jer se maksim-alan računski oticaj ne množi sa faktorom da bi se dobio veći projektovani kapacitet sistema.

Međutim, postoji makar jedan razlog zbog čega op-šti koeficijent sigurnosti kon- vencionalno projekto- vanog sistema postaje manji od 1. Taj razlog leži u neodgovaraju-ćoj pretpostavci da slivnici mogu da

1 Prof. dr Jovan Despotović, dipl. inž., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

2 Doc. dr Jasna Plavšić, dipl. inž., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

3 Doc. dr Nenad Jaćimović, dipl. inž., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

4 Ljiljana Janković, dipl. inž., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

prihvate ukupan kišni oticaj sa ulica, odnosno da je kapacitet slivnika jednak 100% doticaja do slivnika (protoka u rigoli). U stvarnosti kapacitet slivnika je ograničen i njihova efikasnost (definisana kao odnos između količine prihvaćene vode i doticaja do slivnika) je skoro uvek manja od 100%. U literaturi se može naći veliki broj primera slabe efikasnosti slivnika (npr. Despotović, 1987; Salberg, 1995; Valentin i Russo, 2007).

Adekvatan gradski sistem za odvođenje kišnih voda treba da efikasno odvede oticaj od merodavne računске kiše u kanalizacioni sistem. Efikasnost celog sistema zavisice od sposobnosti slivnika da prihvati odgovarajuću količinu kišnog oticaja (Despotović i sar., 2005; Russo i sar., 2007). Pri jačim kišama površinski oticaj može da prevaziđe kapacitet slivnika, a voda koja se ne odvede u kanalizacioni sistem može da predstavlja opasnost ne samo za motorni saobraćaj, već i za pešake. Voda na kolo-vozu može zaustaviti saobraćaj, smanjiti otpor kočenja, povećati mogućnost pojave hidroplaninga, ograničiti vidljivost usled prskanja i prouzrokovati teškoće za upravljanje vozilom pri naletu prednjih točkova na lokve vode (FHA, 2001). Sigurnost pešaka takođe može biti ugrožena usled kombinovanog efekta dubine vode i brzine (Cox et al., 2004).

Projektovanje efikasnog odvođenja kišnih voda sa površine saobraćajnica zahteva razmatranje površinskog oticaja, protoka u rigoli i kapaciteta slivnika i njihovog razmaka. U konvencionalnom projektovanju ovi elementi zavise od verovatnoće računске kiše i dopuštenog rasprostiranja oticaja po površini kolovoza. U radu se istražuje uticaj ovih elemenata na koeficijent sigurnosti sistema za odvodnjavanje površinskih voda.

2. DEFINISANJE KOEFICIJENTA SIGURNOSTI ZA ODVODNJAVANJE SAOBRAĆAJNICA

Koeficijent sigurnosti se uobičajeno definiše kao odnos kapaciteta sistema i računskog opterećenja. Sistemi se projektuju tako da opšti koeficijent sigurnosti bude veći od 1. Isto treba da važi i za gradske sisteme za odvodnjavanje: faktor sigurnosti treba da bude veći od 1 u svim delovima sistema, počevši od prikupljanja kišne vode na površini u rigolama i slivnicima, preko odvođenja oticaja kroz kanalizacioni sistem, do ispuštanja u recipijente. Funkcionisanje sistema sa delovima koji imaju faktor sigurnosti manji od 1 može biti neadekvatno ili nezadovoljavajuće. Na primer, zapušena cev usloviće da uzvodni slivnici prestanu da primaju oticaj sa ulica, koji onda ostaje na površini i smanjuje bezbednost vozila i pešaka. U radu se razmatra mogućnost definisanja koeficijenta sigurnosti samo za odvođenje površinskog oticaja sa saobraćajnica, tj. za prikupljanje kišnog oticaja sa kolovoza (tečenje u kanalizacionom sistemu nije razmatrano). Pri tome se mogu razdvojiti dva aspekta

odvodnjavanja: hidrološki i hidraulički.

Hidrološki aspekt odnosi se na procenu količine oticaja na osnovu datih padavina. To obično podrazumeva proračun hidrograma površinskog oticaja u određenim tačkama (čvorovima) sistema. Ovi hidrogrami daju količine kišnog oticaja koje dolaze do slivnika. Protok u rigoli je protok koji teče prema slivnicima, odnosno doticaj do njih. Za projektovanje gradskih sistema za odvođenje kišnih voda računski hidrogrami oticaja određuju se na osnovu merodavnih računskih kiša određenog povratnog perioda. Iz tog razloga intenzitet merodavne računске kiše predstavlja kapacitet sistema za "površinsku fazu" procesa, dok intenzitet stvarne kiše u toku rada sistema predstavlja opterećenje sistema. Tada se hidrološki koeficijent sigurnosti za odvodnjavanje saobraćajnica može definisati kao:

$$KS_1 = \frac{i_{mer}(T)}{i} \quad (1)$$

gde je $i_{mer}(T)$ intenzitet računске kiše za odabrani povratni period T (obično 2 do 10 godina), dok je i intenzitet proizvoljne kiše kojoj je sistem izložen.

Hidraulički aspekt odnosi se na funkcionisanje slivnika pri odvođenju površinskog oticaja. Slivnike treba dimenzionisati i postavljati tako da se ograniči rasprostriranje toka u rigoli u odnosu na saobraćajne trake. Stoga, kapaciteti slivnika i njihov razmak utiču na efikasnost i pouzdanost celog sistema za odvodnjavanje. Hidraulički kapacitet slivnika određuje i količinu vode koja će biti uklonjena iz rigole i količinu vode koja će ući u kanalizacioni sistem. Kapacitet slivnika zavisi od poprečnog i podužnog nagiba ulice, od protoka u rigoli i od položaja i veličine ivičnjaka i rapavosti kolovoza, što je pokazano u nekoliko studija (Brune sa sar., 1975; Burgi i Gober, 1977; Despotović, 1987; Despotović sa sar., 1990). U stvarnosti, količina kišnog oticaja koju slivnik prima je manja od njegovog kapaciteta iz različitih razloga (premašen hidraulički kapacitet, neodgovarajuća lokacija slivnika na ulici, zapušenje rešetaka slivnika otpacima). Hidraulički koeficijent sigurnosti za odvodnjavanje saobraćajnica se tada može definisati kao odnos između računskog uzvodnog protoka u rigoli (doticaja) $Q_{d,mer}$ procenjenog na osnovu merodavne računске kiše povratnog perioda T , i protoka Q_s koji slivnik prima:

$$KS_2 = \frac{Q_{d,mer}(T)}{Q_s} \quad (2)$$

Koeficijent sigurnosti za odvodnjavanje saobraćajnica tada se dobija množenjem hidrološkog i hidrauličkog koeficijenta sigurnosti iz prethodne dve jednačine:

$$KS = KS_1 \cdot KS_2 \quad (3)$$

3. KAPACITET SLIVNIKA I NJIHOVO RASTOJANJE

3.1 Kapacitet slivnika i efikasnost

Termin kapacitet slivnika definiše najveći površinski oticaj odnosno protok u rigoli koji slivnik može da prihvati. Ova definicija pretpostavlja da na funkcionisanje slivnika ne utiču uslovi u šahtu, u cevi ili na nekom drugom nizvodnom objektu, tj. da nema uticaja uspora ili potapanja. Hidraulički kapacitet slivnika zavisi od njegove geometrije, kao i od karakteristika tečenja u rigoli (FHA, 2001) koje karakterišu podužni i poprečni pad ulice, položaj i veličina ivičnjaka i hrpavost kolovoza.

Odnos između protoka koji slivnik prihvata Q_s (tj. kapacitet slivnika) i protoka u rigoli koji dolazi do slivnika Q_d naziva se efikasnošću slivnika E :

$$E = \frac{Q_s}{Q_d} \quad (4)$$

Veoma je važno istaći da je kapacitet slivnika Q_s ograničen podužnim i poprečnim padom kolovoza. Na slici 1 su prikazani rezultati laboratorijskih merenja kapaciteta slivnika za različite podužne i poprečne nagibe i za različite vrednosti protoka (Despotović, 1987; Despotović sa saradnicima 1990). Dva dijagrama na levoj strani prikazuju zavisnost kapaciteta slivnika od poprečnog nagiba, dok dva dijagrama na desnoj strani prikazuju zavisnost kapaciteta slivnika od podužnog nagiba. Svaka linija odgovara određenom doticaju do slivnika (od 5 l/s do 60 l/s). Može se uočiti da je svaka linija pokazuje vrednosti kapaciteta slivnika koje su manje od doticaja do slivnika, kao i da postoji granična vrednost (maksimum) kapaciteta slivnika za svaku vrednost doticaja. Poređenjem tih graničnih vrednosti kapaciteta sa odgovarajućim vrednostima doticaja, može se primetiti da efikasnost

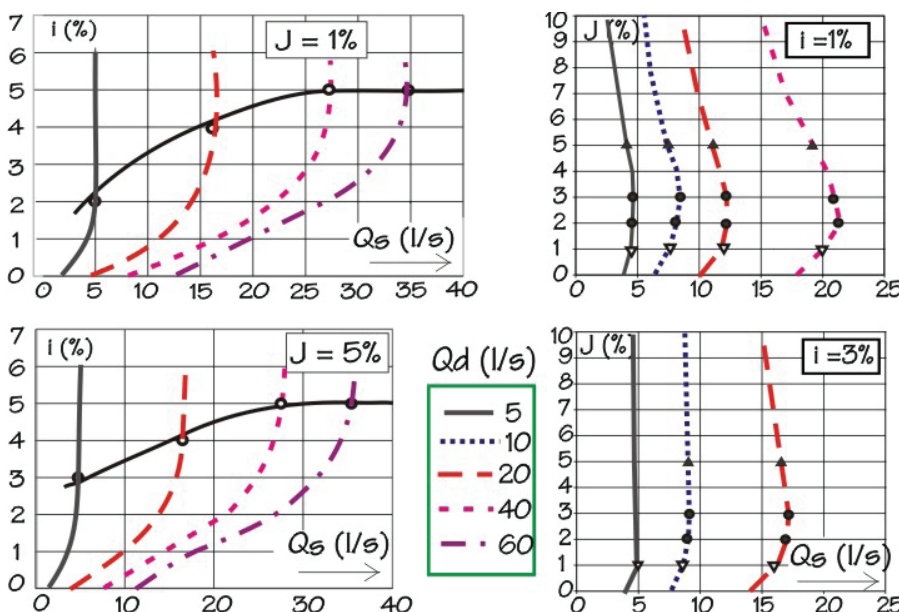
slivnika opada kako se doticaj povećava. Ova činjenica se u praksi često zanemaruje i dovodi do neadekvatnog dimenzionisanja slivnika jer se obično smatra da protok u rigoli raste sa porastom podužnog nagiba (kao što je Wong (1994) pokazao razmatrajući model kinematskog talasa), a pritom se ne uzima u obzir smanjenje efikasnosti.

Deo kišnog oticaja koji slivnik ne prihvati obično se naziva preostali ili preneti protok. Ova količina vode može biti značajna ukoliko je kapacitet slivnika mali i treba je uzeti u obzir pri proračunu rastojanja slivnika tako što će se za tu količinu povećati doticaj do sledećeg nizvodnog slivnika (ukupan doticaj do nizvodnog slivnika činiće preneti oticaj sa prethodnog slivnika i oticaj sa površine između dva slivnika.

3.2 Rastojanje između slivnika

Položaj slivnika duž ulica se obično definiše na osnovu usvojenog kriterijuma za dozvoljeno poprečno rasprostiranje tečenja po kolovozu. Tipičan kriterijum za puteve je da se dozvoli plavljenje polovine spoljne saobraćajne trake (FHA, 2001) tako da bezbednost vožnje nije ugrožena. Isti kriterijum takođe može da se usvoji za gradske uslove. Međutim, u gradskim uslovima bezbednost pešaka bi takođe trebala da se uzme u obzir pri određivanju dopuštenog rasprostiranja kišnog oticaja i posledično razmaka slivnika. Logično je da se usvoji kriterijum po kome se širenje oticaja ograničava na 20–30 cm na mestima pešačkih prelaza jer "tok" te širine može lako da se prekorači (Argue, 1987; Despotović, 2008). Ovaj kriterijum može takođe da se usvoji za raskrsnice ili za mesta gde se pešaci grupišu blizu ivičnjaka, kao što su autobuske stanice. Nekoliko projekata u kojima se takvi kriterijumi uzeti u obzir izvedeni su u Beogradu (Despotović sa sar., 2004; Despotović sa sar., 2005).

Slivnici na ulicama sa kontinuiranim nagibom obično se raspoređuju na jedna-kim rastojanjima. Sa ovakvim pristupom praktično se zanemaruje se povećanje protoka u rigoli za količinu prenetog protoka u nizvodnom smeru. To dalje znači da će se premašiti kapacitet nizvodnog slivnika i da je efikasnost smanjena, a time i hidraulički faktor sigurnosti.



Slika 1. Laboratorijski rezultati ispitivanja kapaciteta slivnika za različite podužne i poprečne nagibe (gde je Q_s kapacitet slivnika, Q_d protok u rigoli koji teče prema slivniku, J podužni nagib kolovoza i i poprečni nagib kolovoza).

3.3 Primer

Naredni primer ilustruje određivanje koeficijenta sigurnosti pri projektovanju odvod-njavanja saobraćajnica za hipotetički sliv koji se sastoji od kolovoza širokog 6 m (dve saobraćajne trake) i trotoara širokog 2 m. Poprečni nagib i kreće se između 1% i 3%, a podužni nagib J između 1% i 5%, pri čemu su ovde predstavljeni samo rezultati za $i = 2\%$ i $J = 1\%$.

Razmatrana su dva kriterijuma za dozvoljeno rasprostiranje protoka u rigoli:

1. Rasprostiranje je dozvoljeno do polovine saobraćajne trake (tj. do 1.5 m, jer je ukupna širina kolovoza sa dve saobraćajne trake 6 m) kako bi se osigurala bezbednost motornog saobraćaja.
2. Rasprostiranje nizvodno od slivnika je manje od 30 cm, kako bi se obezbedila bez-bednost pešaka.

Kao računski kiša za proračun oticaja uzeta je petogodišnja petominutna kiša za grad Beograd. Povratni period od 5 godina je odabran kao pogodan za gradske centre i važna gradska područja u skladu sa preporukama datim u standardu EN 752-2 (CEN, 1996).

Oticaj kišnih voda sa međuslivova (između susjednih slivnika) određen je racionalnom metodom. Oticaj se raspoređuje duž rigole proporcionalno rastojanju. Proračun širine toka u rigoli jednostavnog trougastog preseka (sa vertikalnim ivičnjakom) je rađen primenom Maningove jednačine koja je modifikovana tako da obuhvati veliku koncentraciju protoka blizu ivičnjaka i neravnomernu raspodelu brzina:

$$Q = \frac{0.375K_r d^{8/3} J^{1/2}}{n \cdot i} \quad (5)$$

gde je Q protok (m^3/s), d dubina vode uz ivičnjak (m), J podužni nagib ulice (m/m), i poprečni nagib ulice (m/m), n Maningov koeficijent hrapavosti ($m^{-1/3}s$) i K_r je eksperimentalni koeficijent koji je dao Clarke sa sar. (1981) sa vrednostima 0.8–0.9 za trougaoni presek sa vertikalnim ivičnjakom. Usvojena vrednost Maningovog koeficijenta je $0.015 m^{-1/3}s$.

Za svaki slivnik se poredi protok u rigoli do slivnika sa kapacitetom slivnika (korišćeni su laboratorijski rezultati za tipične slivnike koji se koriste u Srbiji, dati na slici 1). Ukoliko je protok koji teče prema slivniku veći

od kapaciteta slivnika, prene-seni protok se dodaje nizvodnom protoku. Takav proračun je urađen za najmanje 3 uzastopna slivnika. Ukoliko se radi proračun za manje od 3 slivnika može se doći do pogrešnih zaključaka o količini prenesenog protoka i stoga i o razmaku slivnika. Zbog toga je u ovom primeru uzet hidraulički koeficijent sigurnosti KS_2 koji predstavlja odnos između protoka u rigoli do trećeg slivnika u nizu i protoka koji se prihvata tim slivnikom.

3.3.1 Dimenzionisanje prema kriterijumu 1

Razmatrane su tri različite varijante za ispunjenje kriterijuma 1, tj. da se dozvoli tečenje u rigoli do širine od 1.5 m. Rezultati su prikazani u tabeli 1. Prva varijanta se odnosi na petogodišnju petominutnu računsku kišu za koju je usvojen razmak između slivnika od 30 m s kojim se ispunjava kriterijum 1. U ovom slučaju hidraulički koeficijent sigurnosti KS_1 je jednak 1 (po definiciji). Hidraulički koeficijent sigurnosti u ovom slučaju je bio $SF_2 = 0.83$. Ukupan faktor sigurnosti tada je jednak 0.83. Ova varijanta je prikazana na slici 2 (crna linija).

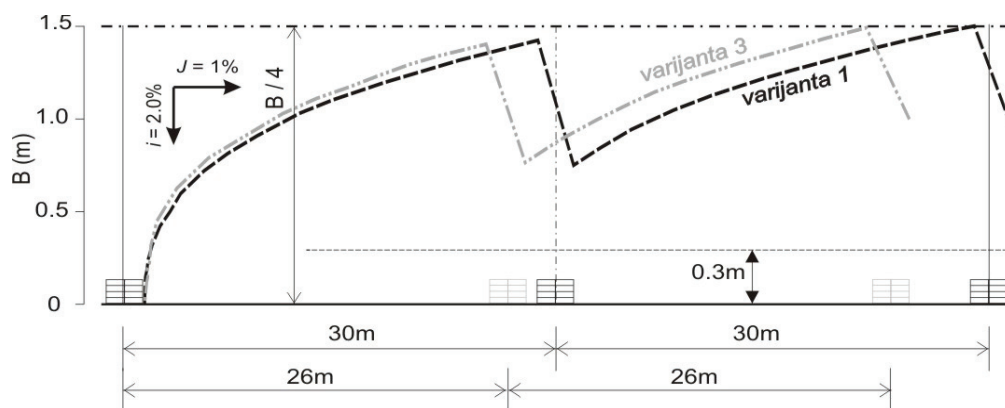
Drugi red u tabeli 1 predstavlja pokušaj da se povećava faktor sigurnosti uvođenjem veće računski kiše sa intenzitetom na gornjoj granici intervala poverenja od 95% za isti povratni period i uz isti razmak između slivnika od 30 m. Tada je hidrološki koeficijent sigurnosti KS_1 izračunat koristeći očekivanu petogodišnju kišu intenziteta i_5 i intenziteta na gornjoj granici 95% intervala poverenja $i_{5,G}$:

$$KS_1 = \frac{i_{5,G}}{i_5}$$

Očekivani intenzitet za petogodišnju petominutnu kišu iznosi 2.14 mm/min, dok je gornja granica intervala poverenja od 95% jednaka 2.46 mm/min. Sa ovim vrednostima hidrološki koeficijent sigurnosti za ovu varijantu iznosi $KS_1 = 1.15$, hidraulički koeficijent sigurnosti je $KS_2 = 0.81$ i opšti koeficijent sigurnosti iznosi $KS = 0.93$. Međutim, rasprostiranje toka iznosi 1.58 m, što prevazilazi dozvoljenu širinu od 1.5 mU trećem pokušaju da se ispune zadati kriterijumi (treći red u tabeli 1; siva linija na slici 2) razmak između slivnika je smanjen na 26 m, ali ukupan koeficijent sigurnosti je blago povećan ($KS_1 = 1.15$, $KS_2 = 0.83$ i $KS = 0.95$).

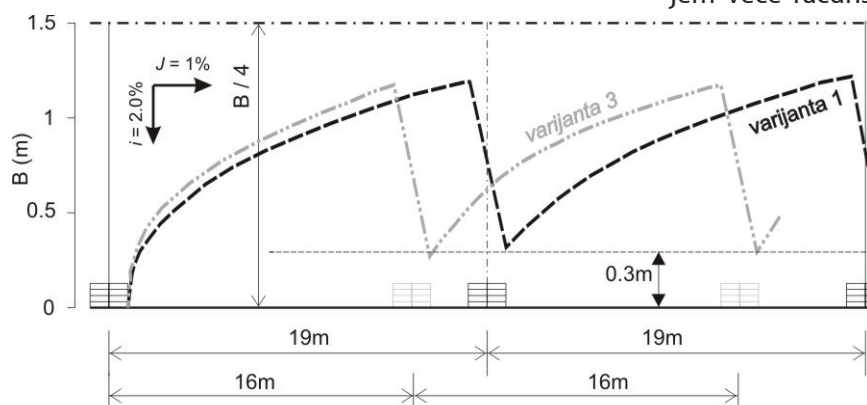
Tabela 1. Proračun koeficijenta sigurnosti na osnovu kriterijuma da se dozvoljava plavljenje polovine spoljne kolovozne trake (1.5 m).

VAR.	MERODAVNA KIŠA (5-GOD, 5-MIN)	RASTOJANJE SLIVNIKA (M)	ŠIRINA OTICAJA (M)		KOE. SIGURNOSTI		
			UZVODNO OD 3. SLIVNIKA	NIZVODNO OD 3. SLIVNIKA	KS_1	KS_2	KS
1	OČEKIVANA	30	1.48	0.77	1.00	0.83	0.83
2	GORNJA VREDNOST INT. POV. 95%	30	1.58	0.81	1.15	0.81	0.93
3	GORNJA VREDNOST INT. POV. 95%	26	1.48	0.77	1.15	0.83	0.95



Slika 2. Rastojanje slivnika i širenje površinskog toka za slučaj tri slivnika, uz uslov da se dozvoljava plavljenje do polovine spoljne kolovozne trake (1.5 m).

kiši, usvojen je razmak slivnika od 19 m koji ispunjava kriterijum 2. U tom slučaju hidrološki koeficijent sigurnosti KS_1 je jednak 1, a hidraulički koeficijent sigurnosti je $KS_2 = 0.96$, što daje opšti koeficijent sigurnosti od 0.96. Ova varijanta je predstavljena na slici 3 (crna linija).



Slika 3. Rastojanje slivnika i širenje površinskog toka za slučaj tri slivnika, uz uslov da se dozvoljava plavljenje do 30 cm kolovozne trake.

Pokušaj da se poveća koeficijent sigurnosti uvođenjem veće računske kiše sa intenzitetom na gornjoj granici intervala poverenja od 95% i sa istim razmakom slivnika od 19 m prikazan je u drugom redu Tabele 2. Sada je hidrološki koeficijent sigurnosti $KS_1 = 1.15$, hidraulički koeficijent sigurnosti $KS_2 = 0.90$ i opšti koeficijent je konačno veći od 1 ($KS = 1.04$). Međutim, rasprostiranje površinskog toka nizvodno od trećeg slivnika je 53 cm i kriterijum nije ispunjen.

U trećem redu u tabeli 2 (siva linija na slici 3), razmak slivnika je smanjen na 16 m i kriterijum je ispunjen (rasprostiranje je 29 cm). Ukupan

Tabela 2. Proračun koeficijenta sigurnosti na osnovu uslova da dozvoljeno plavljenje spoljne kolovozne trake iznosi 30 cm.

VAR.	MERODAVNA KIŠA (5-GOD, 5-MIN)	RASTOJANJE SLIVNIKA (M)	ŠIRINA POVR. TOKA (M)		KOEFIČIJENT SIGURNOSTI		
			UZVODNO OD 3. SLIVNIKA	NIZVODNO OD 3. SLIVNIKA	KS_1	KS_2	KS
1	OČEKIVANA	19	1.19	0.30	1.00	0.96	0.96
2	GORNJA VREDNOST INT. POV. 95%	19	1.28	0.53	1.15	0.90	1.04
3	GORNJA VREDNOST INT. POV. 95%	16	1.17	0.29	1.15	0.98	1.12

Slični rezultati su dobijeni za druge kombinacije podužnog i poprečnog nagiba koji su doveli do zaključka da usvajanje ograničenog rasprostiranja oticaja do polovine saobraćajne trake kao projektnog kriterijuma daje koeficijent sigurnosti odvodnjavanja saobraćajnica manji od 1.

3.3.2 Dimenzionisanje prema kriterijumu 2

Druga vrsta projektnih kriterijuma uzima u obzir bezbednost pešaka i dozvoljava rasprostiranje površinskog toka 30 cm posle trećeg slivnika u nizu. Kao i u prethodnom primeru, razmatrane su tri varijante i rezultati su prikazani u tabeli 2. Za prvu varijantu, zasnovanu na očekivanoj petogodišnjoj petominutnoj

koeficijent sigurnosti je veći od 1 ($KS_1 = 1.15$, $KS_2 = 0.98$ i $KS = 1.12$).

Rezultati drugih kombinacija podužnog i poprečnog nagiba su slični i dovode do istog zaključka da faktor sigurnosti odvođenja površinskih voda može da bude veći od 1 samo povećanjem hidrološkog faktora sigurnosti (tj. biranjem jačih kiša zahtevane frekvencije) i istovremenim smanjenjem razmaka slivnika i dozvoljenog rasprostiranja.

4. ZAKLJUČAK

U radu su razmotreni efekti primene različitih projek-

tnih kriterijuma na pouzdanost sistema za odvođenje kišnih voda. Pouzdanost je izražena korišćenjem koeficijenta sigurnosti, koji predstavlja proizvod hidrolškog (odnos računске i stvarne kiše) i hidra-uličkog koeficijenta sigurnosti (ovde definisanog kao efikasnost slivnika). S obzirom da je efikasnost slivnika uvek manja od 100%, hidraulički koeficijent sigurnosti je gotovo uvek manji od 1. Hidrološki koeficijent sigurnosti je veći od jedan samo za kiše čiji je povratni period kraći od projektnog. Imajući u vidu da su projektni povratni periodi tipično od 2 do 5 godina, postoji relativno velika verovatnoća da hidrološki koeficijent sigurnosti bude manji od jedan tokom rada sistema.

U cilju postizanja opšteg koeficijenta sigurnosti većeg od jedan, potrebno je povećati i hidrolški i hidraulički koeficijent. Hidraulički koeficijent sigurnosti ne može da bude veći od jedan, ali se može poboljšati smanjenjem rastojanja između slivnika, budući da se efikasnost slivnika približava maksimalnoj sa smanjenjem dolaznog protoka. Smanjenje rastojanja takođe ima za posledicu i smanjeno plavljenje kolovoza. Zbog toga, ukoliko se želi opšti koeficijent sigurnosti veći od 1, hidrološki koeficijent sigurnosti mora da bude veći od 1. Ovo se može ostvariti korišćenjem kiše na gornjoj granici intervala poverenja za dati povratni period.

Takođe, važno je primetiti da rastojanje slivnika treba proveravati na nizu slivnika (preporučuje se najmanje 3), jer se u suprotnom može doći do pogrešnih zaključaka u vezi sa protokom koji slivnik ne može sakupiti, a time i do pogrešnih zaključaka u vezi sa potrebnim rastojanjem između slivnika.

LITERATURA

- Argue, J. (1987) Storm drainage design in small urban catchments: A handbook for Australian practice, Spec. report No. 34, Australian Road Research Board.
- Brune A.W., Yee P.P., Appel E. and Graf W.H. (1975) Performance of Pennsylvania Highway Drainage Inlets. *J. Hydr. Div.*, **101**(12): 1519-1536.
- Burgi, P.H. and Gober P.E. (1977) Bicycle safe grate inlets study, Vol. 1, Dept. of Transportation, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- CEN, European Committee for Standardization (1996) Drain and sewer systems outside buildings. Performance requirements. EN 752-2:1996.
- Clarke, W.P., Strods, P.J. and Argue, J.R. (1981). Gutter pavement flow relationships for roadway channels of moderate or steep grade. *Proc. I. E. Aust. First Nat. Local Govt. Conf.*, Adelaide, 130-137.
- Cox, R.J., Yee, M. and Ball, J.E. (2004) Safety of people in flooded streets and floodway, 8th Nat. Conf. on Hydraulics in Water Eng., The Inst. of Engineers, Australia.
- Despotović, J, Tomanović, A. and Batinić, B. (1990) Hydraulic explanation and modelling of the capacity of urban storm drainage gutter pavement grate inlets. *Proc. 5th ICUSD*, Osaka, Japan, pp. 975-980.
- Despotović, J. (1987). Laboratory investigation of inlet capacity. *Proc. XXII IAHR Congress and 4th ICUSD*, Tech. Session D, Lausanne, Switzerland, pp. 94-99.
- Despotović, J. (2008) Storm Water Drainage (in Serbian), Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- Despotović, J., Jaćimović, N. and Plavšić J. (2004) Modern technologies for placing the SELECTA inlets in downtown Belgrade, *Proc. NOVATECH 2004*, pp. 507-512.
- Despotović, J., Stefanović, N., Pavlović, D. and Plavšić, J. (2005) Inefficiency of urban storm inlets as a source of urban floods, *Water Science and Technology*, **51**(2): 139 - 145.
- FHA (2001) Urban Drainage Design Manual, US Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Publ. No. FHWA-NHI-01-021.
- Russo, V., Martinez, P. and Villaneuva, A. (2007) MOBESCA, a new software to design inlet systems according to risk criteria related to surface runoff, *Proc. NOVATECH 2007*, pp. 1165-1172.
- Salberg, D.B. (1995). The results of full scale research dictate a new approach to the design storm water inlets for water flowing in the supercritical regime. *Proc. NOVATECH 1995*, pp. 207-213.
- Valentin, M.G. and Russo, V. (2007) Hydraulic efficiency of macro-inlets, *Proc. NOVATECH 2007*, 1157-1164.
- Wong, T. S.W. (1994) Kinematic wave method for determination of road drainage inlet spacing, *Adv. In Water Res.*, **17**: 329-336.

- Argue, J. (1987) Storm drainage design in small urban catchments: A handbook for Australian practice, Spec. report