

## ANALIZA UTICAJA NEPOZNAVANJA NAMENE POVRŠINA NA REZULTATE SIMULACIJE MODELA KIŠNOG OTICAJA NA PRIMERU MILJAKOVAC

### REZIME

*Eksperimentalni sliv Miljakovac je korišćen za ispitivanje procesa padavine – oticaj tokom 1980-tih godina. Detaljna podela namene površina je najbolji način pripreme podataka, u analizi simulacionog modela tečenja u sistemima kišne kanalizacije, ali zahteva dosta vremena. U standardnoj projektantskoj praksi se najčešće pristupa izradi »grubog« modela namene površina, gde se površina sliva deli u zone sa sličnim nivoom urbanizacije, ali obično ne postoje podaci o izmerenim oticajima, tako da nije moguće kalibrirati takav grubi model. U radu je pokazano da se kalibracijom procenata pripadajućih površina za svaku zonu, kada postoje podaci o izmerenim oticajima, dobija zadovoljavajuće slaganje maksimalnog simuliranog i izmerenog oticaja. Takođe se analizira greška koja se javlja u pretpostavljenom stanju novoizgrađenih objekata, njen uticaj, i uticaj detaljnosti konfiguracije terena, na oticaj na izlazu iz sliva i u izdvojenim cevima.*

**Ključne reči:** sistem kišne kanalizacije, procenti pripadajućih površina, novoizgrađeni objekti

### THE EFFECT OF LAND USE SCHEMATIZATION ON RESULT OF SURFACE RUNOFF MODELING WITH THE EXAMPLE OF MILJAKOVAC CATCHMENT

### ABSTRACT

*Experimental catchment Miljakovac has been used in 1980-es for field studies of rainfall-runoff proce-*

*ses. The most accurate analysis of flow in storm sewer systems can be achieved when there is a land use map defined in details, with every single building, but that requires a lot of time for preparation of data. Standard designing procedure uses maps with zones of similar levels of urbanization. Usually, there are no data of measured rainfall and outflow events available, so the created model can be calibrated. Paper presents, that if data of measured flows are available, with calibration of percentages of different surface types (roofs, other impervious and pervious areas) in each zone, difference between simulated and measured flow can be brought to minimum. There are two groups of data about urbanization growth, assumed and exact state. This paper analyses error that is made in assumed state, and influence of more and less detailed terrain model on flow from whole catchment, also on flow in single pipes.*

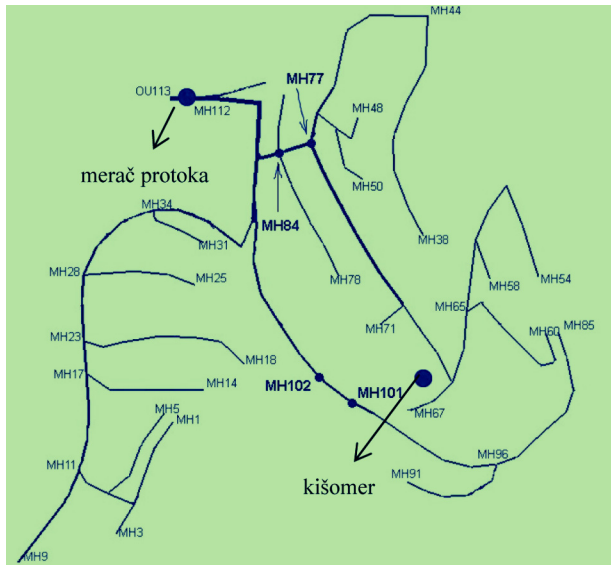
**Key words:** storm sewer systems, percentages of different surface types, urbanization growth

### OPIS SLIVA I KANALIZACIONE MREŽE

Eksperimentalni sliv Miljakovac se nalazi u Beogradu, u jugoistočnom delu grada. Tokom 1980-tih godina korišćen je za terenska ispitivanja procesa padavine – oticaj. Površina sliva je čeonog tipa, što znači da uzvodno od njega ne postoje drugi podslivovi sa kojih bi voda doticala na njega. Ukupna površina sliva koja doprinosi oticanju je 25.5 ha.

Naselje je stambeno područje, sa zgradama izgrađenim tokom 1960-tih godina. Površina sliva se može klasifikovati na tri vrste površina: krovne površine, ostale nepropusne površine (ulice, trotoari, betonske površine) i propusne površine. Nagibi ulica i površina su relativno strmi (do 12%).

Raspoloživi podaci o izmerenim padavinama i proticajima su iz 1984. i 1985. godine [Š3.]. Meteorološka stanica za merenje padavina se nalazi u samom centru sliva. Merni objekat za merenje protoka je na izlazu iz celog sliva (slika 1.).



Slika 1. Mreža kišne kanalizacije sliva Miljakovac  
Picture 1. Storm sewer network on Miljakovac catchment

Kanalizaciona mreža sliva Miljakovac je separacionog tipa. Računski model mreže kišne kanalizacije na slivu se sastoji od 112 šahtova i 110 cevi. Sve cevi su kružnog oblika, minimalni prečnik je 300mm, a maksimalni 600mm.

## DVA NIVOVA DETALJNOSTI PODATAKA O NAMENI POVRŠINA

U proračunima oticaja kišnih voda korišćen je programski paket 3DNet-SewNet koji predstavlja grafičko okruženje za rad matematičkih modela za analizu kanalizacionih sistema. U ovom radu korišćen je matematički model BEMUS. U okviru ovog programa, a slično je i kod većine drugih fizički zasnovanih modela, u delu simulacije koji računa transformaciju neto kiše u površinski oticaj, mogu se definisati različiti tipovi površina pomoću tri podatka za jedan podsliv:

procenat krovnih površina, procenat ostalih nepropusnih površina i procenat propusnih površina. Na primer, jedan tip površine mogu da budu krovovi kuća, ulice, parkovi, ali i veći kvartovi sa sličnim procentima zastupljenosti. Zbir procenata zastupljenih površina mora biti 100.

Ako se za jedan tip površine usvoji veći kvart, što je uobičajeno u praksi, povećava se mogućnost pravljenja grešaka u veličini simuliranog oticaja. Kad postoje merenja oticaja sa sliva moguće je tu grešku i odrediti, i proveriti dobijene rezultate.

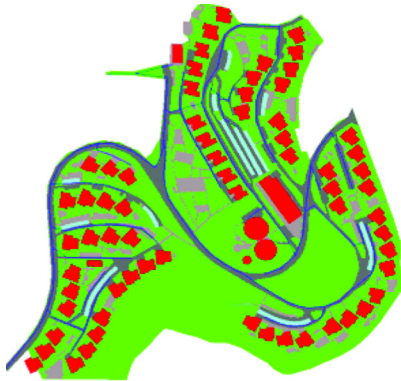
Površina sliva se deli na određene tipove površina na osnovu dva principa, u zavisnosti od nivoa detaljnosti podataka. Prvi princip podele površina je detaljna podela, pri čemu je na modelu terena definisan svaki pojedinačni objekat sa svojim karakteristikama. U ovom radu, u okviru ove podele definisano je pet tipova površina, i za svaki se usvajaju procenti pripadajuće zastupljenosti površina. Svaki tip površine se definiše pomoću samo jednog podatka. Ovakav način pripreme podataka za analizu je najbolji, ali se nažalost u praksi ne koristi često jer se ne raspoložuje potrebnim resursima (kvalitetni podaci, značajno vreme za unos razmatrane površine - oko 1sat/ha).

Drugi princip podele je, takozvana, gruba podela, gde tipovi površina predstavljaju zone sa sličnim nivoom urbanizacije (zone stanovanja) ili zone homogenih karakteristika (zelene površine). Ovaj način se češće primenjuje u projektantskoj praksi, jer omogućava brzu pripremu podataka. Na žalost, projektant mora prema ličnom iskustvu da odredi procenat zastupljenosti pojedinih tipova.

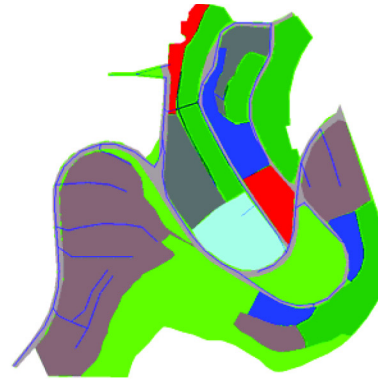
Na slikama 2. i 3. je prikazano poređenje različitih načina podele tipova površina.

## KALIBRACIJA PROCENATA PRIPADAJUĆIH POVRŠINA KOD GRUBE PODELE

Prva varijanta određivanja procenata pripadajućih površina, kod grube podele, je urađena na način kako se standardno radi u projektantskoj praksi. U najvećem broju slučajeva projektanti ne raspoložuju rezultatima izmerenih oticaja, ta-



Slika 2. Detaljna podela  
Picture 2. Land use map defined in details



Slika 3. Gruba podela  
Picture 3. Land use map defined in zones

ko da nije moguće kalibrisati takav »grubi« model pa samim tim ni proveriti dobijene rezultate.

Kada postoje podaci o izmerenim oticajima, kao što je ovde slučaj, moguće je obaviti kalibraciju procenata pripadajućih površina. Promenom parametara zastupljenosti propusnih i nepropusnih površina, moguće je postići zadovoljavajuće slaganje izmerenih i izračunatih protoka.

Na osnovu raspoloživih podataka o izmerenim kišnim događajima Š3.] urađena je analiza uticaja nepoznavanja namene površina na rezultate oticaja. Jedan kišni događaj je simuliran na modelu terena sa prvobitnom podelom procenata površina na grubom modelu i na modelu sa kalibrisanim procentima i analiziran je izmereni i simulirani proticaj na izlazu iz sliva. Na dijagramu 1. je prikazana promena vrednosti proticaja u zavisnosti od odnosa procenata pripadajućih površina.



Dijagram 1.

Veličina koja se analizira je vrednost maksimalnog protoka na izlazu iz sliva. Sa dijagrama 1. se vidi da postoji izvesno odstupanje maksimalnog simuliranog proticaja u odnosu na izmereni pri prvobitno određenim procentima pripadaju-

ćih površina. Njihovom kalibracijom za svaku zonu, osim za zelene površine i ulicu, relativno odstupanje maksimalnog simuliranog i izmerenog proticaja je smanjeno sa 15.8%, za prvobitno usvojene procenata površina, na 0.27%, pri simulaciji sa kalibrisanim procentima.

## EFEKTI URBANIZACIJE NA OTICAJ SA SLIVA

Prethodne analize su rađene sa podlogama iz 1984. godine. Međutim, u prethodnih 20 godina došlo je do porasta nivoa urbanizacije izgradnjom novih objekata koji su uglavnom podignuti na prvobitnoj zelenoj površini. Povećanjem urbanizacije sigurno je da se povećava koeficijent oticaja. Korišćenjem paketa 3DNet-SewNet moguće je predvideti efekte urbanizacije.

Za potrebne analize na raspolaganju su bile dve grupe podataka o novoizgrađenim objektima. Prva grupa podataka je dobijena obilaskom sliva i grubim ucrtavanjem objekata u postojeću kartu iz 1984. godine. To stanje se definiše kao pretpostavljeno. Druga grupa, definisana kao tačna, je dobijena na osnovu zvaničnog rektifikovanog aero-foto snimka iz 2003. godine, sa detaljno prikazanim novoizgrađenim objektima. Aero-foto snimak je transformisan, rotacijom i skaliranjem x i y koordinata cele karte. Na taj način je uklopljen u podlogu sa postojećim objektima. Tačna podloga ima dve varijante: sa manje detaljno prikazanim terenom (od 1400 tačaka) i terenom koji je definisan vrlo detaljno (sa 11000 tačaka).

U radu se analizira uticaj greške u pretpostavljenim i tačnim podacima o novim objektima na

vrednost protoka na izlazu iz sliva. Kao rezultat se dobija veličina greške u pretpostavljenom no-voizgrađenom stanju u odnosu na tačno. Analiziran je i uticaj detaljnosti podataka o terenu i manjih promena konfiguracije na vrednost izlaznog protoka.

Rezultati simulacije su oticaji na izlaznoj cevi iz sliva na pretpostavljenom i tačnom modelu terena u obe varijante. Na dijagramu 2. je prikazano relativno odstupanje vrednosti proticaja na prvobitnoj pretpostavljenoj karti i na obe varijante tačne podloge, sa 1400 i 11000 tačaka koje definišu teren. Relativna odstupanja se računaju po formulama:

$$\varepsilon_{1Q} = \frac{Q_{i,pp} - Q_{i,tac,11000}}{Q_{max,tac}} * 100 (\%),$$

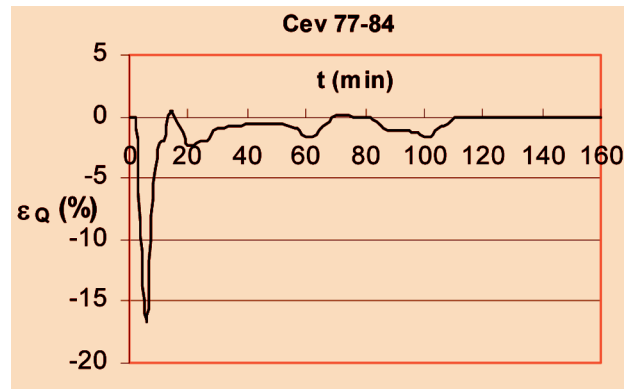
$$\varepsilon_{2Q} = \frac{Q_{i,pp} - Q_{i,tac,1400}}{Q_{max,tac}} * 100 (\%)$$



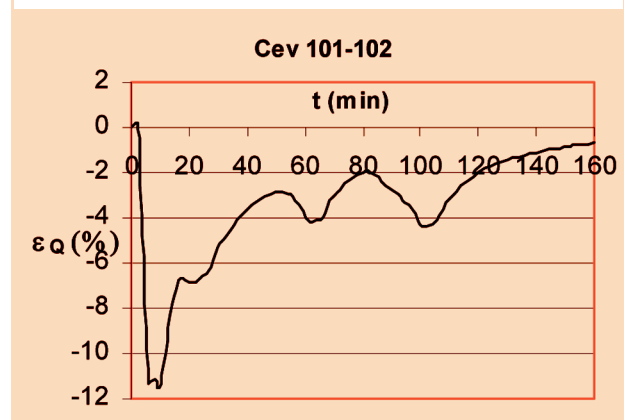
Dijagram 2.

Ova odstupanja predstavljaju osrednjene vrednosti jer su rađena za proticaje na izlazu iz sliva. Maksimalna vrednost relativnog odstupanja iznosi nešto više od 3%, što znači da nije napravljena velika greška pri kreiranju prvobitne pretpostavljene karte. Iz toga se zaključuje da detaljnost konfiguracije terena ne utiče mnogo na vrednost izlaznog protoka.

Analiza relativnih odstupanja proticaja za pojedinačne cevi u slivu pokazala je nešto drugačije rezultate. Izdvojene su cevi sa većim nagibima, i one su pokazale značajnije razlike nagiba u pretpostavljenoj u odnosu na tačnu podlogu. Na dijagramima 3. i 4. su prikazani rezultati simulacije na dve cevi sa relativno velikim nagibom. Nagib cevi 77-84 iznosi 244.8‰, a cevi 101-102 je 178.5‰.



Dijagram 3.



Dijagram 4.

Na dijagramima se vidi da maksimalno relativno odstupanje protoka, po apsolutnoj vrednosti na izdvojenim cevima iznosi oko 17% za cev 77-84, i oko 12% za cev 101-102, dok je ta vrednost za ceo sliv iznosila oko 3%. To znači da je greška proticaja na izlazu iz sliva osrednjena u odnosu na pojedinačne cevi i da protok na izlazu iz sliva ne zavisi mnogo od parametara kao što su: detaljno unošenje svih objekata na slivu i promena konfiguracije unošenjem tačnijeg digitalnog modela terena.

Nasuprot tome, proticaji u izdvojenim cevima pokazuju veću osetljivost na ove parametre, naročito ako su cevi pod relativno velikim nagibom. To znači da se uticaj promene konfiguracije terena na vrednost proticaja više oseća na izolovanoj cevi nego na čitavom slivu. Iste analize su urađene na cevima sa manjim nagibima i rezultati nisu pokazali značajnije varijacije vrednosti proticaja.



## ZAKLJUČAK

Priprema podloga za analizu modela tečenja u sistemima kišne kanalizacije može se vršiti na dva principa. Prvi je detaljna podela namene površina, koji je vremenski zahtevan. Drugi princip je gruba podela namene površina, koji je manje zahtevan pa se i češće koristi u procesu projektovanja. Za potrebe ovih analiza koristili su se podaci o izmerenim oticajima na slivu prikupljeni tokom 1984. i 1985. godine. Kada postoje takvi podaci, mogu se kalibracijom procenata pripadajućih površina za svaku zonu kod grube podele, odstupanja izmerenih i simuliranih proticaja svesti na minimum. Relativno odstupanje maksimalnog simuliranog i izmerenog proticaja je iznosila skoro 16% u prvobitnom iznosu procenata pripadajućih površina u gruboj podeli. Promenom odnosa tih procenata to odstupanje je svedeno na 0.27%.

U okviru ovog rada su analizirani i efekti povećane urbanizacije na slivu u proteklom periodu na proces pretvaranja padavina u oticaj. Prva podloga kojom se raspolagalo bila je karta iz 1984. godine sa ručno ucrtanim novoizgrađenim objektima. Kasnije, na raspolaganju je bio i aero-foto snimak sa detaljno prikazanim

objektima. Ta podloga je morala da se transformiše da bi se objekti prikazani na njoj uklopili u prvobitnu. Pokazano je da relativna greška simuliranih proticaja na izlazu iz sliva na prvobitnoj, pretpostavljenoj i konačnoj, transformisanoj karti sa tačno ucrtanim objektima iznosi oko 3%. Iz toga se zaključuje da proticaj na izlazu iz sliva nije osetljiv na manje promene u konfiguraciji terena i na tačnost detaljnog ucrtavanja objekata. Isti proračuni su sprovedeni na nekoliko izdvojenih cevi i pokazano je da je vrednost relativne greške nešto veća (oko 17% i 12%). Vrednost relativne greške proticaja je osrednjen na za ceo sliv. Proticaji u izdvojenim cevima su pokazali veću osetljivost na promenu ovih parametara.

## LITERATURA:

- [1] Đorđević S., Prodanović D., Stanić M., 2003. *Urban Hydrology and Drainage, Part 2: Introduction to 3DNet, Lecture Notes*; 34th International post-graduate course on Hydrology, Budapest, 2003.
- [2] Đorđević S. *Matematički model oticanja sa urbanih slivova interaktivnim tečenjem po površini i kroz mrežu podzemnih kolektora*; doktorska disertacija, 2002.
- [3] Maksimović Č., Radojković M. *Urban Drainage Catchments*, 1986
- [4] Novković A. *Analiza uticaja neodređenosti ulaznih podataka na rezultate simulacije modela kišnog oticaja na primeru Miljakovac*, diplomski rad, 2004.