

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**43. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA**

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD I KANALIZACIJA '22

Zrenjanin

11 - 14. oktobar 2022.



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČAR A SRBIJE

43. Međunarodna konferencija
VODOVOD I KANALIZACIJA '22

Zbornik radova

Zrenjanin, 11 – 14. oktobar 2022.

Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

Programski odbor:

prof. dr Milovan Živković, (predsednik), prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr. Aleksandar Đukić, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Ranđelović, prof. dr Goran Orašanić, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklešić, prof. dr Dragica Chamovska, prof. dr Filip Kokalj

Organizacioni odbor:

mr Bogdan Vlahović (predsednik), Simo Salapura, Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Predrag Bodić, Goran Marinković, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šošarić, dr Dušan Milojković, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Dorđević, Marijana Mihajlović, Olivera Čosović, MSc i Olja Jovičić

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Milovan Živković, dipl. inž.

Lektura i korektura:

Olivera Čosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Štampa:

Akadska izdanja, Zemun

Naslovna strana:

Taranto, Pulja, Italija

ISBN: 978-86-80067-53-7

Godina izdavanja: 2022.

Tiraž: 200 primeraka

Organizator:
Savez inženjera i tehničara Srbije

Suorganizatori:

**ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih
mineralnih sirovina, Beograd**

**Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad**

**Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neogransku
hemijsku tehnologiju, Beograd**

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

Inženjerska akademija Srbije, Beograd

**IPIN Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering,
Bijeljina**

JKP „Vodovod i kanalizacija“, Zrenjanin

Društvo inženjera Zrenjanin

Uz podršku:

Inženjerske komore Srbije, Beograd

Pod pokroviteljstvom:

**Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja
Republike Srbije i**

Grada Zrenjanina

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/3(082)

МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и канализација
(43 ; 2022 ; Зрењанин)

Zbornik radova / 43. Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '22, Zrenjanin, 11-14. oktobar 2022. ; [organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ; [suorganizatori ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd ... [et al.]] ; [glavni i odgovorni urednik Milovan Živković]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2022 (Zemun : Akademska izdanja). - 364 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp., hrv. i bos. jeziku. - Tekst lat. i ćir. - Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN

978-86-80067-53-7

а) Водовод -- Зборници б) Канализација -- Зборници в)
Отпадне воде -- Зборници г) Водозахвати -- Зборници



СИТС - САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ ИСТОРИЈАТ И САДРЖАЈ РАДА

ИСТОРИЈАТ

Корени српске техничке цивилизације почињу још у доба Немањића. Зачеци инжењерства су у рударско-металуршким подухватима (Ново брдо) и грађењу величанствених сакралних објеката средњовековне српске државе.

Од Првог (1804), а посебно Другог српског устанка (1815), оживљава српско градитељство које је нарочито од тридесетих година било везано за изградњу саобраћајница, подизање јавних објеката, уређење вароши, и др.

У то време (1834/35. године) из аустријског царства долазе и први државни службеници – “правителствени инџинири” (Франц Јанке и барон Франц Кордон), а у том веку Србијом је прошло око 600 инжењера.

Започињање наставе на Техничком факултету Велике школе 1863. године значило је прекретницу у школовању српских инжењера. Поред школовања у земљи један број инжењера се школовао и у иностранству.

Истовремено са школовањем првих техничких кадрова јавља се и иницијатива за оснивањем стручне, еснафске организације. ТАКО ВЕЋ 3. ФЕБРУАРА 1868. ГОДИНЕ, САМО ГОДИНУ ДАНА ПОСЛЕ ПРЕДАЈЕ КЉУЧЕВА ГРАДА БЕОГРАДА ОД СТРАНЕ ТУРСКОГ ПАШЕ КНЕЗУ МИХАЈЛУ, ДОЛАЗИ ДО ОСНИВАЊА „ТЕХНИЧАРСКЕ ДРУЖИНЕ“, чији је први председник био Емилијан Јосимовић и тај датум је усвојен као година настанка наше организације. Убрзо затим (1869) оснива се и Удружење за пољску привреду, односно Српско пољопривредно друштво.

Године 1890. долази до оснивања Удружења српских инжењера, а од 1896. инжењера и архитеката.

Прво стручно гласило овог удружења „Српски технички лист“ изашао је 1890. године.

ПРВИ ПОЧАСНИ ЧЛАН УДРУЖЕЊА СРПСКИХ ИНЖЕЊЕРА БИО ЈЕ НИКОЛА ТЕСЛА, КОЈИ ЈЕ ТО ПРИЗНАЊЕ ДОБИО ЗА ВРЕМЕ СВОГ КРАТКОГ И ЈЕДИНОГ БОРАВКА У БЕОГРАДУ 1892. ГОДИНЕ.

За време Првог светског рата у Солуну излазе два броја „Српског техничког листа“ где се иначе налазио велики број инжењера који су били и војници. Ту је 1918. године одржана Скупштина са 463 инжењера.

УДРУЖЕЊЕ ЈЕ 1932/35. ГОДИНЕ СОПСТВЕНИМ СРЕДСТВИМА, КРЕДИТИМА И ДОБРОВОЉНИМ ПРИЛОЗИМА ИЗГРАДИЛО СВОЈ ДОМ У УЛИЦИ КНЕЗА МИЛОША 7, А ДОМ ИНЖЕЊЕРА „НИКОЛА ТЕСЛА“ УЛ. КНЕЗА МИЛОША 9-11, ИЗГРАЂЕН ЈЕ У ПЕРИОДУ ОД 1962. ДО 1969. ГОДИНЕ. У ОВА ДВА ДОМА ИНЖЕЊЕРА СМЕШТЕН ЈЕ И РАДИ САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ СА СВОЈИХ 26 РЕПУБЛИЧКИХ СТРУКОВНИХ И МУЛТИДИСЦИПЛИНАРНИХ ДРУШТАВА, КОЈИ СЕ САМОСТАЛНО ФИНАНСИРАЈУ, ОД УКУПНО 45 ЧЛАНИЦА САВЕЗА.

Поред **Емцилана Јосимовића**, првог председника, који је био и ректор Лицеја и Велике школе и почасни члан Српске краљевске академије у раду нашег Савеза учествовали су и дали свој допринос и: **Коста Алковић**, проф. Велике школе, министар грађевина, члан Српског ученог друштва и Српске краљевске академије, **Димитрије Стојановић**, професор Техничког факултета и први директор Српских државних железница, члан Српског ученог друштва и Српске краљевске академије, **Милош Савчић**, министар грађевине Србије, председник града Београда, и познати привредник, који је дао највише средстава 1932. године за подизање Дома инжењера и техничара Србије, председници САНУ **Јосиф Паничић** и **Јован Жујовић**, **Симо Лозанић**, **Кирило Савић**, **Александар Деспић**, **Никола Хајдин** и многи други познати стручњаци и научни радници.

САДРЖАЈ РАДА

Савез инжењера и техничара Србије је добровољна, невладина, непрофитна, стручно-научна, интересна, професионална и ванстраначка организација инжењера и техничара и њихових организација у Републици Србији, отворена за сарадњу са другим научно-стручним, привредним и осталим организацијама, на бази међусобног уважавања, узајамног поштовања и самосталности у раду.

Савез инжењера и техничара Србије и његове чланице се самостално финансирају и самостално финансирају своје стручне активности и издавање стручних публикација.

Циљеви и задаци СИТС-а су:

- окупљање и организовање инжењера и техничара Србије ради остваривања њихових интереса, увећања стручног знања, обезбеђења одговарајућег статуса у заједници, на бази њиховог стручног доприноса у привредном, економском, научно-технолошком и укупном развоју Републике Србије;

- обједињавање, јачање и омасовљавање инжењерско-техничарских организација Србије, развијање међусобне сарадње и сарадње са одговарајућим међународним организацијама инжењера и техничара;
- побољшавање статуса, интереса, угледа и заштите чланова инжењерско-техничарске организације Србије и пружање помоћи својим члановима и чланицама;
- развијање свих облика сарадње са другим домаћим и иностраним инжењерским организацијама и асоцијацијама
- пружање помоћи инжењерима и техничарима у научном и стручном усавршавању и организовању одговарајућих облика перманентног образовања;
- праћење савременог развоја технике и технологије и указивање на токове збивања и промене у овој области и давање мишљења о оптималности техничких и технолошких решења при привредним, инвестиционим и другим подухватима;
- неговање и развијање етике инжењерско-техничарског позива, људских права и слобода;
- подстицање, организовање научно-стручних скупова, објављивање научних и стручних радова, издавање часописа и других публикација од интереса за инжењерско-техничарску организацију и техничку интелигенцију;
- организовање конгреса од значаја за струку, који је скуп инжењера и техничара Србије, на коме се разматрају најзначајнија питања из делокруга рада инжењерско-техничарске организације Србије, развоја привреде, науке, технике и образовања. Конгрес се одржава у складу са могућностима и потребама, о чему одлуку доноси Скупштина СИТС;
- организовање скупова, семинара, курсева, стручних обилазака, изложби, округлих столова и јавних расправа од интереса за локалне самоуправе и за привредне, образовне и здравствене институције;
- организовање континуалне едукације за инжењерске, здравствене и образовне организације у сарадњи и у складу са критеријумима меродавних државних и других институција;
- рад на техничкој регулативи (законима, прописима и стандардима), обезбеђујући њену савременост, адекватност, актуелност и функционалност, а посебно на осавремењавању регулативе за локалне самоуправе;
- разматрање и давање стручних мишљења о програмима, плановима, пројектима, анализама и другим актима важним за развој технике, технологије и производње у Републици Србији, као и судско вештачење;
- организација и одржавање стручних испита у складу са Законом;
- подстицање и помагање оних активности и иницијатива усмерених ка очувању животне средине, водних ресурса и уређењу простора, уштеди и рационализацији потрошње свих врста енергије;
- сарадња са одговарајућим стручним, привредним и другим организацијама и органима на реализацији задатака од заједничког интереса;
- неговање сећања на значајне личности и догађаје из историје инжењерско-техничарских струка, науке и дисциплина;

- управљање Домовима и осталом имовином, извршавање општих, административних, стручних, рачуноводствено-финансијских, техничких и других послова преко Стручне службе Савеза инжењера и техничара Србије у свом интересу, интересу чланова, чланица, запослених и друго.

Савез и чланице Савеза имају развијену сарадњу са органима локалне самоуправе, одговарајућим градским и републичким министарствима и другим органима, Српском академијом наука и уметности, Инжењерском комором Србије, Инжењерском академијом Србије, Привредном комором Србије, са многим предузећима, привредним и стручним асоцијацијама, факултетима и универзитетима и многим другим институцијама. Имамо развијену и одговарајућу међународну сарадњу.

Савез већ дуги низ година на основу Закона и уговора са надлежним републичким министарствима организује и спроводи послове одржавања стручних испита из области инжењерских струка у Републици Србији.

Савез инжењера и техничара Србије – СИТС, данас има више хиљада својих чланова, 45 својих чланица у Србији, и то: 27 чланица на републичком нивоу, струковних савеза различитих инжењерских струка, (архитектура, урбанизам, грађевина, машинство, електротехника, рударство, геологија, геодезија, агрономија, шумарство, хемија и др.), 18 колективних чланице савеза на покрајинском, градском и регионалном нивоу.

Савез је оснивач ИАС – Инжењерске академије Србије. У оквиру Савеза формиран је у 2002. години Развојни центар СИТС-а који ангажује наше научнике и стручњаке на решавању многих текућих и развојних садржаја из области привреде Србије.

Поред бројних периодичних публикација, редовно излази више стручних часописа, међу којима: „Техника“, „КГХ“ (Климатизација, грејање, хлађење), „Изградња“, „Процесна техника“, „Пољопривреда“, „Шумарство“, „Текстилна индустрија“, „Форум“, „Ecologica“, „Заштита материјала“ и други.

Савез има своју покретну и непокретну имовину (Домове инжењера у Београду), самостално се финансира, редовно измирује своје обавезе према свим надлежним државним органима и својим добављачима и успешно послује.

Савез инжењера и техничара Србије, као национална инжењерска организација Србије, члан је међународних организација, и то FEANI – Европска федерација националних инжењерских удружења и COPISSE – Стална конференција инжењера Југоисточне Европе.

Савез као чланица FEANI посебно учествује у програмима који се односе на сталне облике едукације инжењера, затим у оквиру посебне Комисије за мониторинг у вези са добијањем EUR-ING титуле и друго.

Корени су давно постављени и евидентни су резултати прејашњег рада. Налазећи инспирацију у прошлим временима сагласно многим и великим променама у свету, а посебно у техници и технологији, Савеза инжењера и техничара Србије и његове чланице у континуитету иновирају свој рад, од интереса за своје чланове, своје чланице, грађане и државу Србију.

SADRŽAJ

<i>Marija Ercegović, Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Koprivica, Marija Kojić, Dimitrios Kalderis</i>	
Valorizacija otpadne biomase za proizvodnju efikasnih adsorbenata teških metala hidrotermalnom karbonizacijom	13
<i>Marija Simić, Jelena Petrović, Tatjana Šoštarić, Marija Ercegović, Jelena Milojković, Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević</i>	
Potencijalna upotreba agroindustrijskog otpada za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda	19
<i>Rada Petrović</i>	
Postupci uklanjanja bora iz podzemnih voda	25
<i>Željka Ostojić, Branislav Babić, Strahinja Nikolić, Maja Đorović Stevanović, Sanja Marčeta</i>	
Efekti klimatskih promena na vodovodne distributivne mreže	31
<i>Dragan Vlatković, Dušan Todorović</i>	
Monitoring i analiza noćne potrošnje kao pouzdanog indikatora gubitaka	41
<i>Branislav Babić, Ognjen Govedarica, Aleksandar Đukić</i>	
Bilans voda u vodovodu – metodološki pristupi i terminologija	47
<i>Miroslav Kukučka, Nikoleta Kukučka Stojanović</i>	
Kondicioniranje podzemnih voda bogatih gvoždem i manganom u cilju dobijanja vode za piće	53
<i>Stanko Stankov</i>	
Značaj velikih podataka u vodovodnim i kanalizacionim sistemima	58
<i>Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Tamara Apostolović, Aleksandra Tubić, Nikica Ivić, Marina Šćiban, Jasmina Agbaba</i>	
Statistička analiza promene sadržaja organskih materija tokom prerade vode za piće	68
<i>Jurica Kovač</i>	
Pokazatelji i ocjene aktivnosti kontrole gubitaka vode	75
<i>Olivera Doklešić</i>	
Fizički (ne)integritet vodovodnog sistema na praktičnom primjeru oštećenja glavnog cjevovoda u Đenoviću, Opština Herceg Novi.....	90

<i>Aleksandar Krstić</i>	Benčmarking kao alat za sveobuhvatno planiranje i nadzor nad unapređenjem učinka vodovodnih i kanalizacionih preduzeća	97
<i>Vladimir Kapetina, Goran Orašanić</i>	Analiza potrošnje vode ruralnih i urbanih dijelova vodovodnog sistema Istočno Sarajevo	104
<i>Dušan Milojkov, Angelina Mitrović, Danijela Smiljanić, Gvozden Jovanović, Miroslav Sokić</i>	Identifikacija metoda za separaciju i karakterizaciju nanoplastike iz vodenih sredina	110
<i>Isidora Protić, Milana Drašković, Danijela Jašin</i>	Mikrobiološka kontrola vode za piće grada Zrenjanina	116
<i>Njegoš Dragović, Snežana Urošević, Milovan Vuković</i>	Mineralne vode za piće u Bujanovačkoj Banji	122
<i>Dejan Dimkić, Darko Kovač, Mira Papović</i>	Faktori efikasnosti u vodosnabdevanju – upoređenje sa slučajem Vodovoda Nikšić (CG)	130
<i>Tajana Simetić, Mladen Popov, Sanja Vasiljević, Marijana Kragulj Isakovski, Aleksandra Tubić, Nikica Ivić, Jasmina Agbaba</i>	Određivanje sadržaja ukupnog organskog ugljenika i trihalometana u vodi	139
<i>Dragan Marinović, Svetlana Belošević, Zoran Milićević, Zoran Dimitrijević, Dušanka Marinović, Jovana Belošević</i>	Higijenska ispravnost vode za piće Vrnjačke Banje	146
<i>Radoslav Raković</i>	Zaštita podataka o ličnosti u korporacijskim mrežama za potrebe vodovoda i kanalizacije	153
<i>Mirko Vujović</i>	Izrada i realizacija Akcionog plana za upravljanje neprihodovanom vodom i smanjenje gubitaka	159
<i>Predrag Bogdanović, Zorana Petrović, Aida Bučo-Smajić</i>	Zahtevi u pogledu kvalifikovanosti zaposlenih u preduzećima vodovoda – tehničko pravilo UTVSI DVGW W 1000	166
<i>Marina Orlić, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Vladimir Adamović, Jelena Milojković, Zorica Lopičić</i>	Uklanjanje fosfata sorbentom na bazi biočadi koštice šljive impregnisane magnezijumom	173

<i>Ivan Stupić</i>	Dostupnost vode za piće na teritoriji grada Kragujevca, sa posebnim osvrtom na seoska naselja	181
<i>Siniša Gajin</i>	Uticaj odnosa s javnošću na zadovoljstvo korisnika usluga i imidž JKP „VIK“	190
<i>Devad Koldžo</i>	Uspostava pilot „SMART“ mjerne zone (DMA) u Džedi (Saudijska Arabija)	201
<i>Marija Ćurčić, Jasmina Nikić, Vesna Kecić, Aleksandra Tubić, Jasmina Agbaba</i>	Ispitivanje uticaja odabranih parametara procesa jonske izmene na uklanjanje nikla iz vode	208
<i>Nikola Nikolić, Vaso Novaković</i>	Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda neogenih basena u severnom delu Bosne i Hercegovine	214
<i>Matej Čehovin, Alojz Medic</i>	Problematika održavanja adekvatnog kvaliteta vode za piće malih i seoskih vodovoda u sušnim periodima – izazovi i praktična rešenja	223
<i>Goran Gavrilović</i>	Brana „Nova Grošnica“ – stanje i održavanje	229
<i>Miloš Milošević, Dušan Todorović</i>	Sanacija dijela glavne dovodne cijevi vode Opštine Herceg Novi	236
<i>Milan Đorđević</i>	Iskustva u primeni sistema elektronskih faktura u sistemima za obračun i naplatu vode	242
<i>Zoran Pendić, Sanja Pendić Polak, Bojana Jakovljević, Ana Milijić, Sanja Ivošević, Željko Marković, Vesna Reljić Ćurić, Dragana Jovanović, Marina Strižak, Ljiljana Jovanović</i>	Lanac „voda - energija - hrana“ - koliko je važna karika „voda“?	249
<i>Dragan Milićević</i>	Održivo upravljanje komunalnim otpadnim vodama u manjim naseljima	261
<i>Jelena Milojković, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Vladimir Adamović, Jelena Petrović, Marina Orlić, Zorica Lopičić</i>	Uklanjanje zagađujućih materija iz otpadnih voda primenom biočadi	272

*Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Maja Đorović Stevanović,
Sanja Marčeta*

**Infiltracija – važna komponenta kišne kanalizacije sa aspekta
klimatskih promena279**

Ivan Milojković, Nikola Divac

**Kišni prelivi za priključenje otpadnih voda na tunel
„Karaburma“291**

*Rada Petrović, Marija Mihajlović-Kostić, Slavica Lazarević,
Ivona Janković-Častvan, Đorđe Janačković*

**Adsorpcija Cd²⁺ i Zn²⁺ jona iz ekvimolarnih dvokomponentnih
rastvora u komunalnoj otpadnoj vodi i dejonizovanoj vodi na
prirodnom i modifikovanom zeolitu.....297**

Stanko Stankov

Frekvencijska regulacija u sistemima vodovoda i kanalizacije304

Ognjen Prohaska, Stevan Prohaska

**Kvantitativne karakteristike kiša jakog intenziteta u okolini grada
Zrenjanina sa aspekta projektovanja kišne kanalizacije314**

*Jovan Despotović, Jasna Plavšić, Andrijana Todorović, Nenad Jaćimović,
Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović, Ljiljana Janković,
Aleksandar Đukić, Marko Ivetić, Anja Ranđelović*

**Kišna kanalizacija u gradovima – analize i faze za izradu
projekata kišne kanalizacije.....323**

Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović

**Upravljanje procjednim otpadnim vodama na novoj sanitarnoj
kadi komunalnog otpada u Opštini Žabljak340**

*Jovana Perendija, Mina Popović, Verica Ljubić, Dragana Milošević,
Slobodan Cvetković*

**Mogućnost primene otpadne biomase hmelja za adsorpciju jona
Ni²⁺ iz vodenih rastvora351**

Goran Sekulić

**Mogućnost ugradnje malih hidroelektrana u sklopu postrojenja
za prečišćavanje otpadnih voda357**

KIŠNA KANALIZACIJA U GRADOVIMA - ANALIZE I FAZE ZA IZRADU PROJEKATA KIŠNE KANALIZACIJE

RAINWATER DRAINAGE IN CITIES - ANALYZES AND PHASES FOR THE DEVELOPMENT OF RAINWATER DRAINAGE PROJECTS

JOVAN DESPOTOVIĆ¹, JASNA PLAVŠIĆ², ANDRIJANA TODOROVIĆ³,
NENAD JAČIMOVIĆ⁴, MILOŠ STANIĆ⁵, DUŠAN PRODANOVIĆ⁶,
DRAGUTIN PAVLOVIĆ⁷, LJILJANA JANKOVIĆ⁸, ALEKSANDAR ĐUKIĆ⁹,
MARKO IVETIĆ¹⁰, ANJA RANĐELOVIĆ¹¹

Rezime: U ovom radu je shematski i fragmentarno prikazan niz važnijih analiza i faza kod projektovanja sistema za kanaliziranje kišnih voda u gradskim uslovima, na osnovu više od 40 godina iskustva članova Instituta za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu: istraživačkog – laboratorijskog, terenskog i studentskog, te niza projekata i izvođačkog iskustva, što je započelo projektom za Zrenjanin 1979-1980. godine.

¹ Jovan Despotović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

² Jasna Plavšić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

³ Andrijana Todorović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

⁴ Nenad Jaćimović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

⁵ Miloš Stanić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

⁶ Dušan Prodanović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

⁷ Dragutin Pavlović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

⁸ Ljiljana Janković, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

⁹ Aleksandar Đukić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

¹⁰ Marko Ivetić, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

¹¹ Anja Ranđelović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, IRCUD UNESKO Centar, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

Početni korak je analiza jakih kiša različitih trajanja, kao osnovnim podlogama, mada se podaci o merodavnim kišama najčešće „prenose“ sa bliskih lokacija, i daje se pregled potrebnih podloga za analizu i modeliranje oticaja kišnih voda, potom prikazuju vrste merenja u kanalizacionim sistemima, diskutuju i drugi aspekti u skladu sa konceptom i zadatim stepenom zaštite od kišnih voda – prihvatljivim rizikom od poplava – na bazi projektnog zadatka za formiranje tehničkog rešenja. Bitno je da projektom treba osigurati i bezbedno odvijanje pešačkog i motornog saobraćaja na ulicama, na prelazima i kolovozima, kao i zaštitu okoline od zagađenja kišnim oticajem koji, posle tretmana, može da se koristi.

Opisani su aspekti i efekti kanalisanja i ispuštanja kišnih voda, koje su do 70-ih godina smatrane „čistim“, na životnu sredinu, prvenstveno na recipijente - vodotoke, dok se poslednjih 20-ak godina koriste kao izvori voda za razne namene.

Ključne reči: kišni oticaj, gradovi, računске kiše - zavisnosti ITP, merenja, količine i kvalitet u sistemima, kapacitet slivnika, modeliranje oticaja, projekti, kvalitet oticaja, kontrola zagađenja, prečišćavanje i korišćenje kišnog oticaja

Abstract: The paper presents schematic and fragmentary approach to rain water in urban conditions, according to the basic stages of design project procedure that is based on more than 40 years of experience of members of the Institute of Hydraulic and Water Ecological Engineering at the Faculty of Engineering, University of Belgrade, including research, laboratory and field works, preliminary and main designs and execution works experience.

As first and important step is analysis of short duration high intensity rainfall usually based on near by gauge data through required analysis of background information for modelling of rainfall runoff, together with measurements in drainage systems, based on Terms of references, that includes concept and protection level from rain water – acceptable risk of flood, and finally development of technical solution. The solution also needs to ensure safe pedestrian and motor traffic on streets, at crossings and on pavements. Before the 70-ies the effects of collecting and discharge of rainfall runoff was considered not polluted on the environment, primarily on the recipients – watercourses, what was found being wrong. Yet, during last two decades after treatment rainfall runoff being used as water sources.

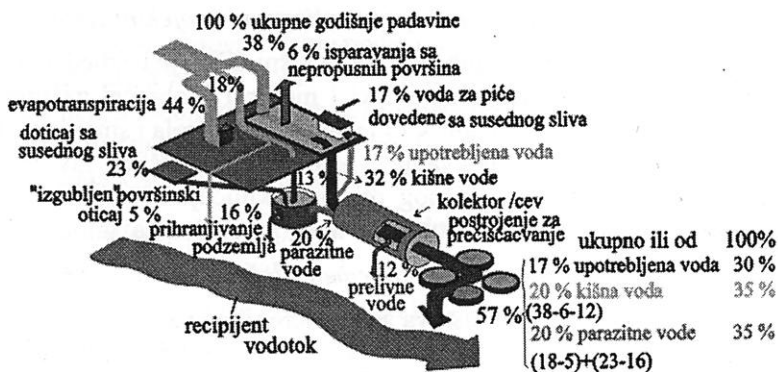
Key Words: rainfall runoff, urban conditions, design storm, ITP curves, measurements, inlet capacity, drainage system measurements, runoff modelling, master plans, design, runoff quality, pollution control, runoff pretreatment and harvesting.

1. Uvod

Urbanizacija bitno utiče na hidrološki ciklus jer se isti menja uvođenjem „ponora“, „izvora“ i drugih infrastrukturnih sistema, kao što su vodovodni i kanalizacioni. Uticaj urbanizacije se pre svega ogleda u smanjenju infiltracije i evapotranspiracije, a velikom povećanju površinskog oticaja.

Povećanje oticaja podrazumeva i veću verovatnoću plavljenja, pa uzimajući u obzir potencijalne štete koje nastaju, povećava rizik od poplava. Takođe, urbanizacija u području uslovljava smanjenje zaliha vode u podzemlju i njen kvalitet.

Ukoliko nema ni generalnih informacija o postojećim putevima vode na razmatranom području, postoji rizik kod izgradnje i održavanja sistema za kanalisanje kišnih voda, pogotovu u visoko urbanizovanim sredinama. Drugim rečima, kišna kanalizacija je samo jedan od sistema kojima otiču kišne vode u gradovima (slika 1).



Slika 1. Hidrološki složeni ciklus u urbanim sredinama, sa posebnim osvrtom na opšti kanalizacioni sistem koji se najčešće „kompletira“ izgradnjom PPOV ili alternativnim sistemima prečišćavanja otpadnih voda, čiji se najvažniji i najveći tokovi moraju detaljno poznavati radi zaštite od velikih kišnih voda i poplava [11]

Dalje, kako bi se zaštitili postojeći vodni resursi od antropogenog uticaja u urbanim sredinama i da bi se smanjio rizik od štetnog dejstva voda, neophodno je integralno upravljanje gradskim vodama. Važna komponenta u ovom procesu je upravljanje kišnim oticajem određenim merama i objektima. U radu je data metodologija za planiranje i projektovanje hidrotehničkih objekata, kao i njihovo praćenje u fazi eksploatacije, da bi se adekvatno upravljalo kišnim oticajem u urbanim sredinama, na bazi sledećih analiza i sadržaja:

- Ciljevi kanaliziranja i zaštite od kišnih voda, standardi, koncepti, i projektni zadatak, sa uslovima nadležnih.
- Analiza padavina: padavine – kiše, prekidan i slučajan proces, formiranje krivih visine/intenziteta kiše i trajanja.
- Matematičko modeliranje oticaja kišnih voda i sistema kišne kanalizacije.
- Merenja padavina i oticaja, radi modeliranja procesa padavine – oticaj, u prirodi, u laboratoriji i u sistemima/kanalima/cevima.
- Projektovanje – proračuni i dimenzionisanje hidrotehničkih objekata i elemenata.
- Izgradnja, održavanje i funkcionisanje sistema.
- Bezbednost saobraćaja na ulicama – motornog i pešačkog, pri pojavi jakih kiša.
- Zagađenje u kišnim vodama, zaštita životne sredine.
- Korišćenje - recikliranje ili korišćenje tretiranih kišnih voda.

2. Metodologija

2.1. Izabrani koraci – analize, podaci i faze za projektovanje sistema kišne kanalizacije

U ovom poglavlju su prikazane osnovne etape izrade projekata sistema za kanaliziranje kišnih voda u gradu.

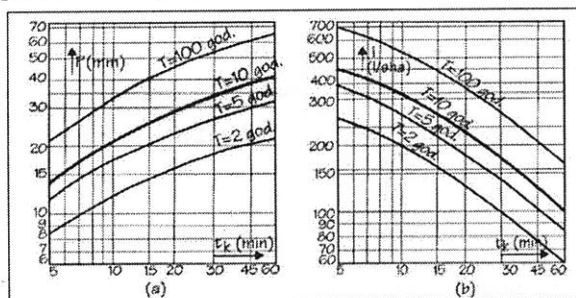
2.1.1. Ciljevi, standardi – propisi, koncept kanaliziranja i projektni zadatak

Prvi cilj izgradnje kanalizacionih sistema za kišni oticaj je bezbednost odvijanja svih aktivnosti u gradu, uključujući pešački i motorni saobraćaj za vreme većih padavina, dakle zaštititi ljudi i imovine. Cilj je takođe i kontrola i smanjenje rizika od poplava – nekontrolisanog zadržavanja voda. Pitanja zaštite životne sredine obuhvata kanaliziranje i tretiranje kišnog oticaja, uključujući rasteretne prelive u opštim kanalizacionim sistemima i druga izlivanja, procurivanja, taloženja i sl.

2.1.2. Analiza padavina. Padavine kao povremen, složen i slučajan proces

Standardna analiza padavina zasniva se na merenjima padavina, pri čemu su za male i srednje urbane slivove merodavne kiše trajanja od 5 minuta do časovnih vrednosti, dakle znatno kraće od dnevnih kiša. Na osnovu ovih podataka se statističkom analizom dobijaju zavisnosti visina kiše - trajanje - povratni period (HTP krive), odnosno intenzitet – trajanje - povratni period (ITP krive), koje predstavljaju osnov za dimenzionisanje objekata. Nedostatak ovih merenja dovodi inženjere u praksi do toga da zavisnosti ITP određuju na osnovu skromnih raspoloživih podataka, bez sagledavanja neizvesnosti koje postoje; npr. metodologija za konsistentno određivanje ITP zavisnosti je data na primeru meteorološke stanice Banja Luka [30].

Dodatni problem u analizi osmatranja padavina i određivanje merodavnih kiša predstavlja uticaj urbanizacije i klimatskih promena, pa je Todorović sa sar. (2014) analizirala trendove kod padavina, koji su određeni na osnovu 100 godina dugog niza osmatranja dnevnih padavina na stanici „Vračar“ u Beogradu. Za detalje pogledati navedene radove u kojima se razmatraju trendovi i cikličnost pojave. U radu Plavšić i sar. (2016) su uporedo analizirani prisustvo trenova i cikličnosti u pokazateljima ekstremnih padavina. Tek posle analize trenda i cikličnosti treba određivati merodavne padavine. Novije analize padavina obuhvataju analizu trenda promena kao elemente klimatskih promena, a navode se rezultati iz rada „Trendovi u pokazateljima režima padavina u Beogradu“ [26]. Dodatno, za analize pokretanja nanosa i transporta zagađenja u urbanim sredinama od interesa su i drugi pokazatelji, kao što su maksimalni intenziteti kiše (određuju pokretanje istaloženog nanosa na saobraćajnim površinama), ili trajanje sušnih perioda (određuju istaložavanje nanosa na saobraćajnim površinama) [15].



Slika 2. Zavisnosti (a) visine kiše, i (b) intenziteta kiše i povratnog perioda od 2 do 100 godina, za kiše od 5 do 60 minuta trajanja za kišomernu stanicu Vračar (Beograd) za potrebe modeliranja kišnog oticaja

Računske kiše su osnovni ulazni podaci za hidrološke proračune i projektovanje objekata za zaštitu od velikih voda. Na malim i srednjim slivovima merodavna trajanja kiše su kraća, a računске kiše se definišu na pomenutim dijagramima od trajanja kiše za dati povratni period (zavisnosti HTP)[13]. Na slici 2. su informacije za proračune oticaja kišnih voda bilo detaljnim ili konceptualnim modelima.

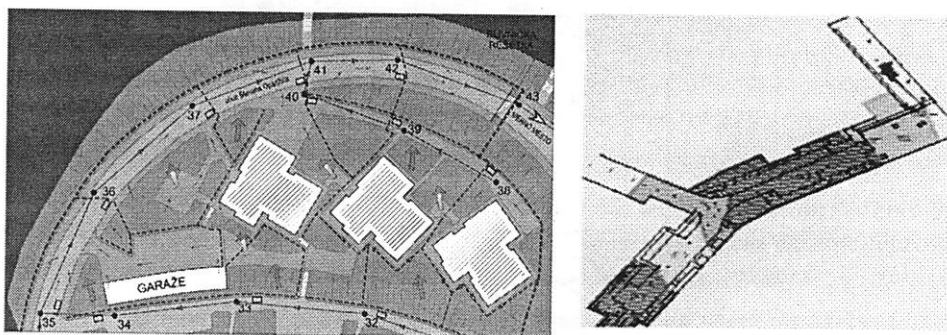
2.1.3. Merenja i istraživanja za potrebe modeliranja procesa padavine-oticaј za potrebe projektovanja

Merenja padavina – kiša i oticaja na eksperimentalnim slivovima su pokrenuta krajem 70-ih na eksperimentalnom poligonu Miljakovac u Beogradu [23], a u Hidrauličkoj laboratoriji, od 1985. godine. [9].

Eksperimentalni sliv gradske kanalizacije za kišne vode uspostavljen je na Miljakovcu u Beogradu 1979. godine, slika 3. Na ovom slivu su se obavljala sistematska merenja o čemu ima brojnih. To je bio početak i podloga da je 1988. godine formiran centar UNESCO-a pod imenom IRTCUD (International Research and Training Center on Urban Drainage), koji postoji i danas [25].

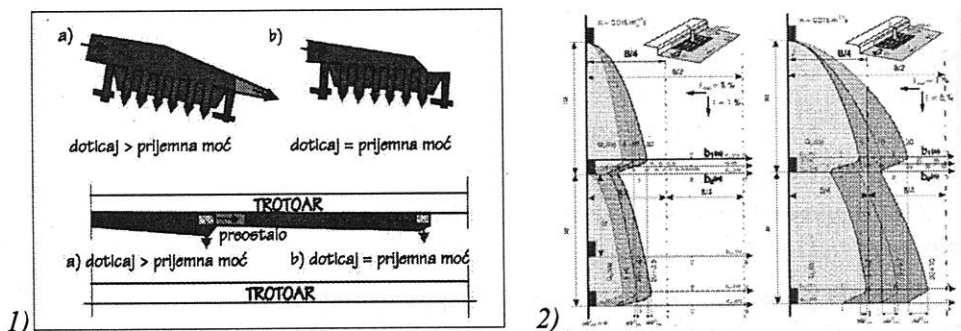
Na slici 3 levo je deo eksperimentalnog poligona Miljakovac, na kome se vide brojni detalji. Na nizvodnom kraju je slivnička rešetka koja obezbeđuje da površinski oticaј bude kontrolisan, zahvaćen i izmeren.

Na slici 3 desno je prikazan eksperimentalni poligon na Građevinskom fakultetu u Beogradu, opremljen za merenje količine i kvaliteta oticaja sa tipične gradske površine; u funkciji od 2010. godine [25].



Slika 3. Podsliv na eksperimentalnom slivu Miljakovac u Beogradu (merenja od 1979. do 1992.) – slika levo, Eksperimentalni poligon kišne kanalizacije na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu sa opremom za merenje kišnog proticaja i zagađenja u proticaju – slika desno [15]

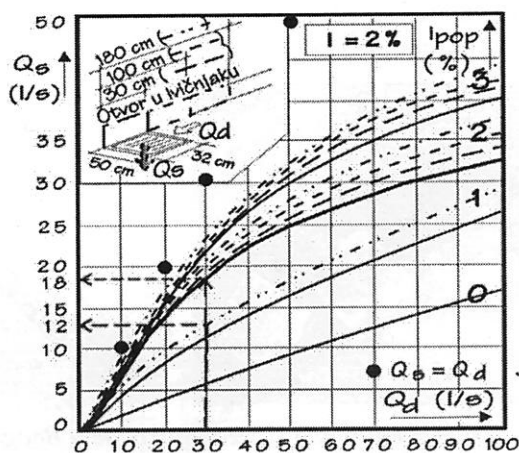
Merenja prijemne moći - kapaciteta i efikasnosti elemenata sistema za kanalizaciju – slivnika, su imala za cilj utvrđivanje realnog kapaciteta slivnika. Utvrđeno je da u realnosti - na ulicama, slivnici funkcionišu kao što je shematski dato na slici 4 (a), a NE kako se pretpostavlja i kao što je dato na slici 3 (b); merenjima su dobijeni vrlo interesantni i važni zaključci za razmatranje oticaja i kanizacionih sistema [11].



Slika 4. Shematski prikaz prihvatanja oticaja slivnicama na slici 1: (a) pretpostavljena efikasnost slivnika kišne kanalizacije, i (b) realna efikasnost slivnika u realnim uslovima oticaja, a na slici 2. i uticaj poprečnog i podužnog nagiba oticajne površine na kapacitet slivnika

Merenja u laboratoriji obavljena su radi utvrđivanja kapaciteta i efikasnosti slivnika kišne kanalizacije, jer je i na terenu – na ulicama, i u laboratoriji utvrđeno da slivnici funkcionišu kako je dato na slici 4.1. (a), a ne kako se pretpostavlja - kao što je dato na slici 4.1. (b), pokazala su mnoge interesantne aspekte [9].

Rezultati merenja sa empirijskim vezama kapaciteta slivnika od doticaja do njega, podužnog, poprečnog nagiba i vrste slivnika, bitno su uticali na modeliranje kišnog oticaja [5].



Slika 5. Prijemna moć kombinovanog slivnika (rešetka u kolovozu + otvor u ivičnjaku), za različite podužne i poprečne nagibe i doticaje do slivnika do 100 l/s: CRNE tačke daju idealni kapacitet slivnika od 100%

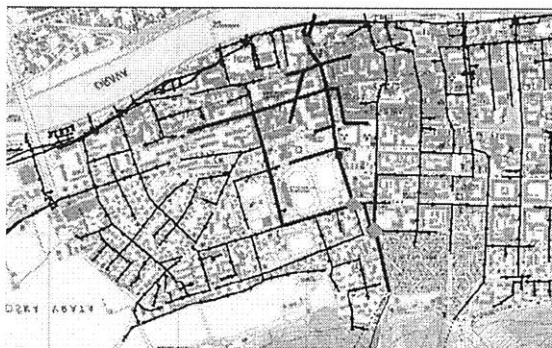
Brojni su radovi sa ovom temom, ali otkako su analizirane zavisnosti kapaciteta slivnika od doticaja, podužnog i poprečnog nagiba, i od vrste slivnika, proračuni i praksa su unapređeni [3].

Merenja komponenti procesa oticaja u gradskim uslovima su po pojedinim fazama, i to: Padavine: ukupne visine padavina i pluviografski zapisi; Kapacitet

zahvatnih građevina (npr. slivnika); Protoka (u cevi/kolektore, u oknima, na spojevima, na prelivima u opštem sistemu, na izlivima, itd.); Uticaji na recipijente (Q i kvalitet).

2.1.5. Matematičko modeliranje kanaliziranja kišnih voda u gradu

Na bazi svih raspoloživih podloga, i to: hidroloških, topografskih, urbanističkih planova, arhitektonskih i građevinskih projekata i dr, formira se koncept tehničkog rešenja ili master plan, koji mora da obuhvati stanje kanaliziranosti na razmatranom slivu. Najbolje je obuhvatiti idealan položaj svih elemenata i objekata sistema, kao što su oluci, cevi, revizionna okna, uključujući priključke cevi i/ili kanala, prelive, ispusti, ali i potencijalne depresije ili infiltraciona polja. Potom se na bazi merodavnih kiša modelira tečenje po površini – propusne i nepropusne površine, krovovi, ulice, trotoari, zahvatanje rigolama i slivnicima, tečenje u kanalima ili cevima – zavisi da li je system otvoren ili zatvoren, transformacije hidrograma oticaja u retenzijama ili u infiltracionim/irigacionim slojevima, odnosno u podzemnoj sredini – aluvionu. Na slici 6. su rezultati matematičkog modela opšteg kanalizacionog sistema u Mariboru; urađeno 2008, radi adaptacije na nivoe u Dravi kao recipijentu, i prelivima u opštem sisteamu radi boljeg rada PPOV- a i manjeg zagađenja reke Drave.



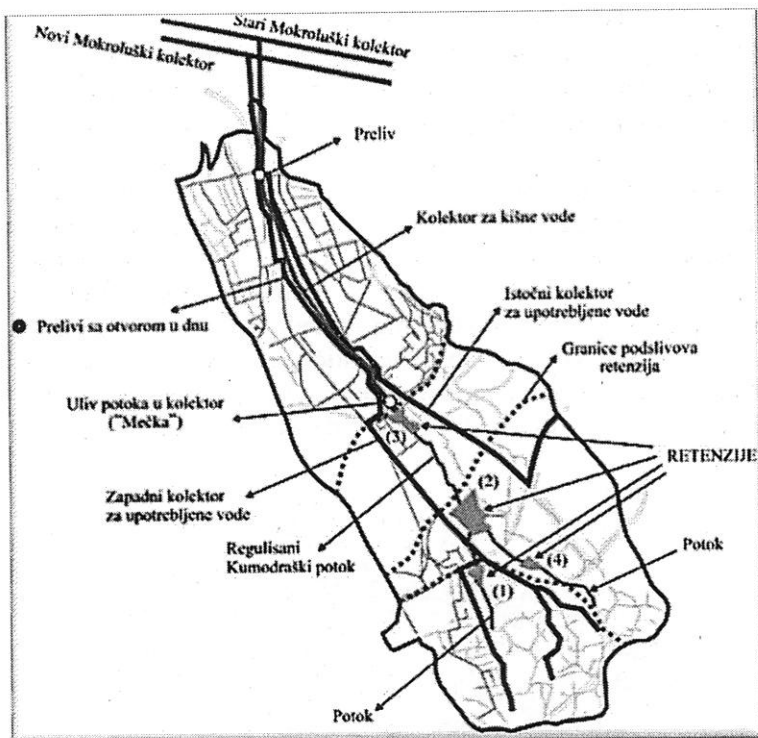
Slika 6. Rezultati hidrauličkog proračuna tečenja u kanalizacionom sistemu u Mariboru: potpuno ispunjeni kolektori (crveno) i plava revizionna okna - čvorovi u kojima se izliva voda i dr, za merodane padavine 10 g., videti lit. [10]

2.1.6. Projektovanje – analize, proračuni i dimenzionisanje objekata i sistema

Nakon prikupljanja podloga, uslova i mišljenja, sprovodi se kompletan postupak projektovanja prema Projektnom zadatku, standardima i propisima – nacionalnim, regionalnim i lokalnim, sa ciljem:

- Formiranja pouzdanih i tačnih baza podataka,
- Zaštite ili poboljšanja hidrološkog ciklusa u gradu, pre svega kanaliziranja kišnih voda,
- Efikasnog funkcionisanja, upravljanja sistemom i buduće dogradnje sistema,
- Zaštite – obezbeđenja bezbednosnih zahteva,
- Procene uticaja i unapređenja za životne sredine.

Primeri izrade master planova, idejnih, glavnih i izvođačkih projekata počev od 70-ih godina savremenim postupcima i metodama za brojne gradove, kao što su: Ruma, Kraljevo, Maribor (na slici 6), Bijeljina, Podgorica, u Beogradu (Kumodraž, slika 7), aerodromi u Podgorici, Beogradu, Angoli, autoputevi u regionu idr



Slika 7. Shematski prikaz rešenja zaštite od poplava autoputa, naselja Kumodraž i ulica na nizvodnom kraju, izgradnjom 4 retenzije za kišni oticaj, razdvajanje u dva sistema, za fekalne vode i za kišni oticaj na slivu Kumodražskog potoka, rasteretni kanal, kao i mogućnost recikliranja kišnog oticaja u industrijama na slivu

2.1.5. Izgradnja, održavanje i funkcionisanje

U mnogim prilikama je posle projekata obavljen i nadzor – projektantski ili investitorski nad izgradnjom sistema za kanalizaciju i pretretiranje kišnih voda u gradovima i na saobraćajnicama, a u poslednje vreme i na mostovima i saobraćajnim petljama. Poseban problem je opšte gledanje na masivne infrastrukturne saobraćajne sisteme, kao što su autoputevi, mostovi i brze železnice „koji se sami održavaju“, pa tako pokušaji uvođenja savremenih postupaka i metoda i novih tehnologija, izazivaju otpore.

Održavanje kanalizacionih sistema, pored tradicionalnih metoda, treba da obezbedi monitoring, pre svega zbog mogućih incidenata, i kada nisu u uslovima koji neposredno mogu da utiču na životnu sredinu, zdravlje ljudi ili životinja, odnosno na zaštićene zone. Obuka i raspolaganje savremenim saznanjima treba da

bude svakodnevno kako bi se sistemi blagovremeno održavali uz pomoć inteligentnih sistema praćenja, što je danas praksa za unapređenje kanalizacije i tretiranje kišnog oticaja, i šta više, korišćenje tih voda.

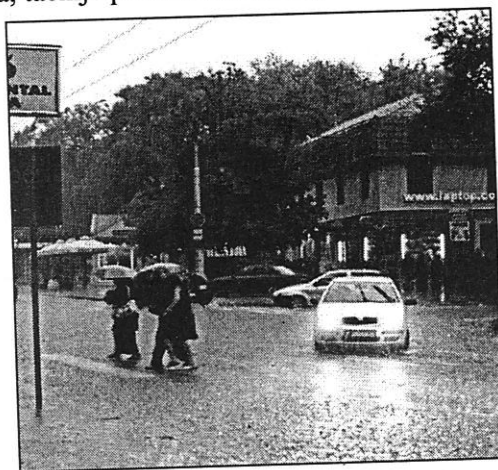
Ako ma koji od objekata u sistemu ne funkcioniše - nije adekvatan po kapacitetu ili lokaciji, on bukvalno „poplavi“ uzvodni deo grada ili deonicu. U klasičnim projektima je takva neefikasnost sistema uzrok lokalnih izlivanja, poplava i velikih rizika po pešake i vozače. Naročito je ovakva neefikasnost izražena kada se kompleksni sistemi izvode po fazama, sa „provizorijumima“ (koji traju zauvek) i sličnim pristupima.

Kada se donose urbanistički planovi i strategija u gradovima, svakako je neophodno imati u vidu sledeće, često zaboravljene aspekte [11]:

- Da li se radi o naseljima u kojima opada ekonomija, ili se razvijaju a izgradnja napreduje u budućnosti;
- Kakva vrsta ekonomije se razvija i kakve su perspektive da se to nastavi na duži rok;
- Savremenost stanovništva koje će tu živeti, pošto savremene kanalizacione sisteme treba adekvatno pratiti – održavanje svih elemenata i sistema, čišćenje, unapređenje elemenata i sistema uopšte;
- Kontrola uticaja drugih sistema na kanalizaciju.
- Kontrola efekata i uticaja na živi svet.

2.1.6. Bezbednost motornog i pešačkog saobraćaja u vreme padavina i oticaja

Pitanje bezbednosti odvijanja saobraćaja se analizira preko prostiranja površinskog oticaja na ulicama da se proceni koliko je pešački i motorni saobraćaj ugroženo (ne)kontrolisanim tečenjem; vidi sliku 8. Na slici je nekontrolisano širenje oticaja preko slivnika, tačnije preko cele slivne površine zbog većeg proticaja.



Slika 8. Kada je jaka kiša a površinski oticaj preko kolovoza nekontrolisan znatno se smanjuje bezbednost prelaska ulice za pešake i upravljanja motornim vozilom za vozače

Na bazi proračuna koeficijenta sigurnosti tj. obezbeđenja širine površinskog toka od oko 30 cm (može se smatrati širinom toka koji se može prekoračiti), generalno se može reći da se međusobno rastojanje slivnika mora smanjiti u odnosu na praksu sa 40 m/30 m, na oko 15 m/20 m [12]. Ovakvi proračuni dovode kanalsanje kišnih voda da osigurava sigurnost, stabilnost i adekvatno funkcionisanje.

Analiza sigurnosti odvijanja motornog i pešačkog saobraćaja u gradovima zasniva se na proračunima sigurnosti, i to po dva aspekta u okviru hidrotehnike: hidrološki i hidraulički, prema sledećim definicijama:

Hidrološki:

$$KS_1 = \frac{i_{rac}(T)}{i}$$

gde je KS_1 razmera intenziteta projektovane kiše za povratni period T i intenziteta realne kiše.

Hidraulički:

$$KS_2 = \frac{Q_{d,proj}(T)}{Q_i}$$

gde je KS_2 = projektovani doticaj u rigoli / protok zahvaćen slivnikom.

Ukupni koeficijent sigurnosti KS se može izračunati kao proizvod hidrološkog i hidrauličkog:

$$KS = KS_1 \cdot KS_2$$

Na bazi takve računice odredi se međusobno rastojanja slivnika na ulici, da bi $KS > 1$; vidi [12].

2.1.7. Pitanja zaštite životne sredine i recikliranja kišnih voda

Utjecaji zagađenja kišnog oticaja na životnu sredinu su višestruki, a mogu biti incidentni ili dugotrajni, obzirom na period vremena ispuštanja kišnih voda bez kanalizacije i bez tretiranja oticaja, i samog zagađenja

Efekti ubrzanog razvoja gradova i urbanizacija ruralnih područja su brojni ali je među većim pogoršanje prirode i kvaliteta vode. Zagađenja se akumuliraju na gradskim površinama, odakle ih spira kišni oticaj. Količina zagađenja koje spira oticaj zavisi od brojnih faktora: karakteristike površina, zagađivači (saobraćaj, industrija, i dr.) i njihov prostorni raspored, kao i od brojnih hidroloških i meteoroloških faktora (npr. kvalitet vazduha). Istraživanja kvaliteta kišnog oticaja sa urbanih slivova ukazuju na sledeća zagađenja u oticaju [14]:

- Organska zagađenja, iskazana kao HPK ili BPK₅, prisutna su u umerenim koncentracijama kod oticaja sa urbanih nepropusnih površina;
- Suspendovane materije se smatraju najvećim zagađenjem u kišnom oticaju jer su prisutne u značajnim koncentracijama, a njihova koncentracija zavisi od korišćenja zemljišta na slivu, intenzitet i trajanja kiše;

- Teški metali (bakar, olovo, kadmijum, nikl, hrom, cink) su prisutni u kišnom oticaju u širokom opsegu koncentracija, njihova koncentracija pokazuje dobru korelaciju sa koncentracijom suspendovanih materija, i prvenstveno zavisi od načina korišćenja zemljišta na slivu i intenziteta saobraćaja;
- Ulja i masti su povremeno prisutna u kišnom oticaju a njihovo prisustvo je znak akcidentnih zagađenja;
- Jednjenja azota i fosfora su prisutna u većim koncentracijama kada je veće spiranje sa zelenih površina.
- Druga zagađenja su u površinskom oticaju u zavisnosti od korišćenja zemljišta, hemijskog sastava, vazduha.

2.2. Principi za uspostavljanje mera za kontrolu urbanog oticaja

Prostorna i vremenska promenljivost parametara površinskog oticaja, i činjenica da zagađenje koje se spira oticajem potiče iz rasutih izvora zagađenja, usložnjava uspostavljanje prostih pravila i zahteva za kontrolu i smanjenje zagađenja u gradovima. Zato uvođenje graničnih vrednosti emisije tj. maksimalno dozvoljenih koncentracija parametara u kišnom oticaju koji se ispušta u prirodu, nije opravdano i praktično primenjivo [21].

Efekti od zagađenja u oticaju mogu biti akutni i hronični. Protiv akutnih efekata treba se boriti prevencijom i akcionim planovima pri akcidentima. Dugoročni (hronični) efekti zagađenja potencijalno nose rizik od nedostizanja propisanog statusa vodnog tela u koje se urbani oticaj izliva. Pristup ovoj problematici u zakonodavstvu EU, a delom i u Srbiji, je da sva ispuštanja u vode budu takva da ne naruše dobar status vodnih tela. Ovo ukazuje da je krajnji cilj smanjenje negativnih uticaja od ljudskih aktivnosti, što podrazumeva da se u prvom koraku moraju odrediti uslovi na slivu bez urbanizacije, a zatim primenom odgovarajućih mera se negativni uticaji urbanizacije i drugih ljudskih aktivnosti kontrolišu da ne pređu neku vrednost koja ne ugrožava opstanak i razvoj ljudske zajednice, ali ni ciljani status vodnog tela. Ovakav pristup zavisi od lokalnih specifičnosti. Kako istraživanja ukazuju da emisija zagađenja prvenstveno zavisi od visine kiše [15], mere i tehnička rešenja moraju biti usmerene ka smanjenju (kontroli) oticaja i kontroli kvaliteta oticaja od kiše određene ukupne visine padavina, određene prema realnim karakteristikama sliva i recipijenata.

Sistemi koji za primarni cilj imaju odvođenje, kontrolu i smanjenje količina urbanog kišnog oticaja uz poboljšanje njegovog kvaliteta najčešće su: Održivi sistemi za odvođenje urbanog oticaja (eng. Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS) ili sistemi sa niskim negativnim uticajima od urbanizacije (eng. Low Impact Development Systems – LIDs). Da bi ovi sistemi mogli da ispune zahteve, oni treba da oponašaju prirodne procese na slivu. To se postiže sa „nizom tehnika“ (engl. management train), a objekti i tehnike koje se koriste i se mogu hijerarhijski grupisati [31].

Prevenција – podrazumeva kontrolu pojave oticaja, odnosno njegovo prikuplja-

nje i sprečavanje dospevanja u sam sistem za odvođenje oticaja, a voda se koristi u tehničke svrhe.

Kontrola na mestu nastanka (engl. Source control) – nudi upotrebu različitih tehnika za kontrolu količina ali i kvaliteta oticaja na najuzvodnijem kraju sliva, kao npr. infiltracioni bazeni, jame i rovovi, zeleni krovovi. Kontrola na samom slivu (engl. Site control) – sadrži mere za prikupljanje i zadržavanje oticaja na slivu.

Regionalana kontrola – prikupljanje i kontrola oticaja sa manjih urbanih slivova iz prethodnog koraka.

2.3. Metode za kontrolu količina oticaja i njegovog kvaliteta

Kontrola količina otekle kišne vode obuhvata [25] sledeće:

- Infiltracija - očeđivanje vode kroz zemlju radi smanjenja količina otekle vode. Kada podzemna voda nije visoka i nema rizika od njenog zagađivanja ovo je rešenje, a efikasnost zavisi od tla kroz koje voda prolazi.
- Zadržavanje vode predstavlja prihvatanje ili usporavanje vode pomoću suvih depresija, jezera ili podzemnih objekata. Ove metode smanjuju vrh poplavnog talasa, ali ne smanjuju količine otekle vode.
- Prenos vode je neophodna karika u lancu povezivanja pojedinih komponenti i predstavlja kontrolisani prenos količina vode sa jednog na drugo mesto površinskim kanalima, kolektorima ili rovovima.
- Korišćenje kišnih voda, npr. za navodnjavanje, pranje ulica i druge svrhe, u zavisnosti od lokalnih uslova. U analizama se mora uzeti u obzir prostor za čuvanje vode, praćenje, pouzdanost i aspekti kvaliteta vode.
- Kontrola kvaliteta otekle vode postiže se primenom mnogih metoda. U zavisnosti od kriterijuma, definišu se metode prečišćavanja pre drugih, ili se mogu kombinovati, na više načina. Najčešće korišćene su metode:
- Taloženje je jedan od primarnih načina prečišćavanja kišnih voda. Najveći deo zagađenja u oticaju je vezan za suspendovane čestice, te se njihovim taloženjem može smanjiti količina zagađujućih materija u oticaju.
- Filtracija i biofiltracija kroz zemljište, agregat ili veštačke materijale (geotekstil) uklanja zagađene materije filtracijom i u filterskom materijalu se odigravaju biohemijski procesi i uklanjaju organske materije i nutrijenti.
- Adsorpcija predstavlja vezivanje zagađenja za površinu čvrstih čestica. Materijal kroz koji protiče zagađena voda vremenom je zasićen pa prestaje proces adsorpcije. Postoje različiti mehanizmi sorpcije [25].
- Biodegradacija je biološki proces, gde se mikrobiološke zajednice formiraju u zemljišnoj sredini i biodegradabilne organske materije (ulja, masti, i dr.) koriste kiseonik i nutrijente iz vode koja se infiltrira
- Isparavanjem voda iz mešavine prelazi u gasovitu fazu i formira se talog.
- Precipitacija je metod tretmana gde se ubacuju soli metala koje reaguju sa rastvorenim metalima u vodi stvarajući nerastvorena jedinjenja, koja se zatim uklanjaju iz vode taloženjem.

- Upijanje biljaka - biljke u jezerima i barama koriste određena jedinjenja iz vode u procesu fotosinteze. Ovim putem se izvajaju iz vode jedinjenja fosfora i azota i ugrađuju u biomasu, uz upijanje i drugih materija (sulfati, teški metali).
- Nitrifikacija je proces gde amonijak i amonijum joni biohemijskom oksidacijom uz prisustvo određenih bakterija formiraju nitrate.
- Fotoliza je proces gde UV zraci rastvaraju organskih materija.

3. Primer projekta kanalizacija i prečišćavanja kišnih voda sa mosta i mogućnosti njenog korišćenja

U zoni uže sanitarne zaštite izvorišta Beogradskog vodovoda, u projektima kišne kanalizacije saobraćajnica i mostova preko reke Save, primenjene su moderne metode i postupci sa slivnicima u trotoaru i 15 cm na kolovozu, i na kraju, predtretman kišnih voda za irigaciju u podzemlje, tj. u akvifer reke Save [18]. Tražen je sistem monitoringa, iako se očekivalo popravljjanje kvalitet vode sa mostova i zemljišta – terena oko bunara, jer je ranije oticaj bio bez tretmana, kao i slivanje vode u reku Savu ili priobalja, videti [20].

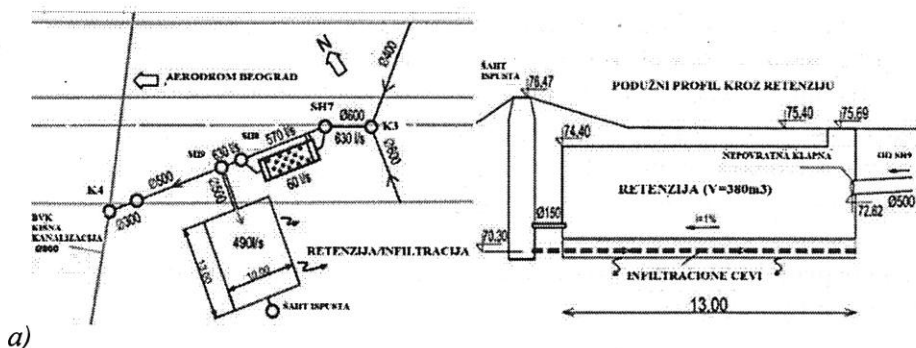
Na slici 9. je izgrađen kanalizacioni sistem na zapadnoj polovini mosta Gazela preko Save a voda se odvodi do sistema za tretman kišnih voda, retenirira i infiltrira u podzemlje, sa rekonstrukcijom mosta od 2011/2013.



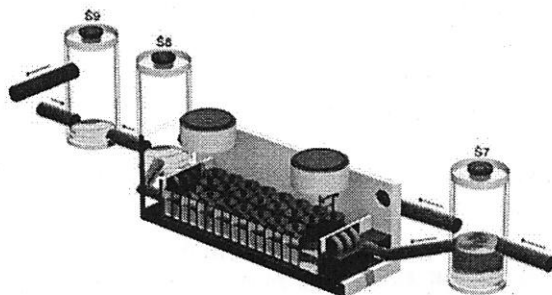
Slika 9. Cevi i okna za transport, raspodelu protoka, filtriranje i reteniranje oticaja sa mosta „Gazela“ i pripadajućih saobraćajnica, površine ~ 70.000 m² - detaljnije na slici 10.

Na slici 10 je centralni deo pretretmana kišnih voda sa Stormfiltertima, koji se koriste i na sledećem mostu kod Ostružnice. Prečišćena voda se ispušta u irigacioni kanal u akvifer beogradskog izvorišta, jer je stanje sistema bunara ugroženo širenjem urbanizacije u okviru uže zone sanitarne zaštite [20].

Na slici 10 su prikazani filteri za tretiranje kišnih voda {StormfilterItalia^R}, kakvi su primenjeni na kanalizaciji na mostovima: kod TENT-a, na Gazeli i u projektu Ostružnica, kao i u Italiji (Pedemontana).



a)



b)

Slika 10. a) Shematski prikaz funkcionisanja sistema za prečišćavanje oticaja sa zapadne polovine mosta Gazela, sa prelivima i ispuštima u komoru sa StormfilterItalia^R, i oticaju prečišćenog proticaja ka retenziji i irigaciji prečišćene vode u podzemlje; b) Komora za filtriranje kišnog oticaja sa mosta Gazela u Beogradu Storfilterima - Italia

4. Zaključak

Složeni sistemi za kanalisanje i prečišćavanje kišnih voda u gradovima ili na infrastrukturnim sistemima zahtevaju odgovarajući detaljni projektni zadatak, mnoga istraživanja i raznovrsne podloge kako bi se svi elementi kompleksnih projekata obradili na kvalitetan način.

Uvek se mogu istaći kao osnovni ciljevi zaštita i obezbeđenje aktivnosti ljudi i funkcionisanje u sredinama koje su od interesa za vreme pojave kiša jakih intenziteta, kontrola i sprečavanje plavljenja saobraćajnih koridora i transport ljudi i robe. Za potrebe detaljnih projekata neophodno je poznavati lokalne karakteristike režima kiša, sve podloge i podatke o površinama, prostorima, prirodnim putevima tečenja i izgrađenim objektima. Ali još je važnije upozoriti na ekstremne događaje i mogućnost pojave plavljenja u gradovima i moguće prekidanje infrastrukturnih sistema i procesa kao što je saobraćaj, energetski putevi, kretanje ljudi, itd.

Zato se formiraju projektna rešenja koja umesto neposrednih priključaka na ispuste i velike kolektore i recipijente, kišna voda usporava, prečišćava, infiltrira i potom koristi za razne namene, pranje, navodnjavanje, zalivanje, ili irigaciju akvifera – vodonosnih slojeva, čak i kao izvor vode za piće.

Izučavanje svih lokalnih uslova i podloga, od urbanističkih, geoloških, saobraćajnih, geodetskih, hidrografskih i drugih do detalja, pre nego što se pređe na savremene načine i postupke obrade, je najvažniji korak. Potom je veoma bitno razlikovati šta je cilj izrade projekata, da li je to obaveza malog značaja ili se radi projekat za često ugrožene sredine koje trpe velike štete, pretnju i pod rizikom su da može biti velikih poplava.

Obzirom da ne postoje detaljni propisi i procedure, ovaj rad je imao za cilj da informiše slušaoce i nadležne kolege o aspektima i fazama za savremena rešenja sistema za kišne vode i zaštitu od poplava u gradovima. U prvom koraku kod ovakvih projekata neophodna je jedinstvena podloga koja sadrži sve infrastrukturne sistema, urbanističke planove, predviđene rekonstrukcije i masovnu izgradnju, zelene inicijative i sl, uz analize hidrografskih uslova i meteoroloških pojava, kao što su padavine, naročito jake kiše određenog trajanja, kao neophodni minimum za savremeno integralno upravljanje vodama.

U savremenim projektima, kada je ispuštanje kanalisnog oticaja sa pojedinog sliva ili kvarta ograničeno, primenjuju se modeli i sistemi sa ublažavanjem – retenziranjem oticaja, što takođe može biti u kombinaciji sa korišćenjem zelenih terena – krovova, zidova, parkovskih i parking površina, i biciklističkih i pešačkih staza.

5. Literatura

- [1] Debo T. N. and Reese A. J, *Municipal Stormwater Management*, 2nd ed. Lewis Publishers, New York, USA, 2003.
- [2] J. Despotović, J. Petrović, V. Vukmirović: Some considerations of urban drainage design practice using experimental data, *Atmospheric Research*, 42, 279-292. Elsevier, 1996.
- [3] J. Despotović, J. Petrović, N. Jaćimović, A. Đukić, B. Babić, M. Jovanović, Opšta i separata kanalizacija na slivu Kumodražskog potoka: vodoprivredno-komunalno-ekološki pristup, Zbornik radova konferencije „Otpadne vode i čvrsti otpad“, Udruženje za teh. vode i sanit. inž. Budva, str. 277-286. 1999.
- [4] J. Despotović, J. Petrović, N. Aćimović, *Measurement, calibration of rainfall-runoff models and assessment of the return period of flooding events at urban catchment Kumodraz in Belgrade*, Intern. Workshop on Rainfall in Urban Conditions, Pontresina, 2000.
- [5] J. Despotović, J. Petrović, N. Jaćimović, A. Mijić, Merenje, kalibracija modela padavine-oticaaj i ocena povratnog perioda poplava na slivu Kumodražskog potoka u Beogradu, *Konferencija „Moderni tehnički postupci u kanalizaciji“*, Beograd, 2001.
- [6] J. Despotović, J. Plavšić, N. Jaćimović, Poplave u gradovima kao uzroci šteta, havarija i zaraza: primer sliva Kumodražskog potoka u Beogradu, *I Stručno savetovanje „Inženjerski rizik i hazard u urbanom sistemu Beograda“*, UIB, Beograd, str. 31-38, 2002.
- [7] J. Despotović, Kanalisanje u Beogradu radi zaštite od poplava i zagađenja: informaciona baza, merenja i uslovi za uključivanje i informisanje javnosti, *I*

- Stručno savetovanje „Inženjerski rizik i hazard u urbanom sistemu Beograda“*, UIB, str. 237- 246, 2002.
- [8] J. Despotović, J. Petrović, N. Jaćimović, Measurements, calibration of rainfall-runoff models and assessment of the return period of flooding events at urban catchment Kumodraž in Belgrade, *Wat. Sci. and Technology*, Vol. 45, No. 2, pp. 127- 133, 2002.
- [9] J. Despotović, N. Stefanović, D. Pavlović, J. Plavšić, Inefficiency of urban storm inlets as a source of urban floods, *Water Science and Technology*, Vol. 51, No. 2, pp. 139 – 145, 2005.
- [10] J. Despotović, U. Krajnc, Z. Jovanović, J. Plavšić, Matematički model kanalizacionog sistema Maribora radi unapređenja kanalizacionog sistema i rada PPOV-a, *Međunarodna konferencija „Savremena tehnika kanaliziranja“*, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, ISBN 978-86-82931-30-0, p. 13-24, 2009.
- [11] J. Despotović, *Kanalisanje kišnih voda*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2009.
- [12] J. Despotović, J. Plavšić, N. Jaćimović, Lj. Janković, *Odvođenje kišnog oticaja i sigurnost saobraćaja u gradovima*, Zbornik radova 15. Savetovanja SDHI, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet i Srpsko društvo za hidraulička istraživanja - Beograd, Babe. str: 415-424, UDK:628.217:519.87, ISBN:978-86-7518-109-5, CD: 978-86-7518-110-1, 2009.
- [13] Despotović, J. Plavšić, Odvođenje kišnih voda sa gradskih mostova, *Uvodno na 10. Slovenski kongresu „O Cestama i prometu“ - SLOCEST 2010*, Portorož, 2010.
- [14] Đukić A, Ljubisavljević D, *Upravljanje kvalitetom kišnog oticaja – mogućnosti i ograničenja*, Zbornik radova sa konferencije Voda 2011, SDZV, Beograd, 2011.
- [15] Đukić A, *Modeliranje emisije zagađenja kišnog oticaja sa urbanih slivova, Doktorska disertacija*, Univerzitet u Beogradu-Građevinski fakultet, 2016.
- [16] A. Djukic, B. Lekic, V. Rajakovic-Ognjanovic, Đ. Veljovic, T. Vulic, M. Djolic, Z. Naunovic, J. Despotovic, D. Prodanovic, Further insight into the mechanism of heavy metals partitioning in stormwater runoff, *Journal of Environmental Management*, 168, p. 104-110, 2016.
- [17] A. Đukić, M. Stanić, J. Plavšić: *Odvodnjavanje puteva*, Univerzitetu Beogradu – Građevinski fakultet i IRTCUD – Međunarodni Centar za istraživanje i obuku u oblasti urbanog odvodnjavanja UNESKO, ISBN 978-86-7518-222-1, 2022.
- [18] J. Despotović, N. Jaćimović, J. Plavšić, M. Stanić, A. Djukić, D. Pavlović, A. Todorović, S. Biondi, F. Sambo, *Odvodnjavanje autoputeva i mostova u cilju zaštite izvorišta za vodosnabdevanje od redovnog i incidentnog zagađivanja – Primer Ostružničkog mosta, II Srpski kongres o putevima*, Beograd, 9-10 juni, 2016.
- [19] Jovan Despotović, Jasna Plavšić, Andrijana Todorović, Dragutin Pavlović, Dušan Prodanović, Ljiljana Janković, Miloš Stanić, Aleksandar Đukić, Nenad Jaćimović, Marko Ivetić, *Upravljanje kišnim oticajem u gradovima u 7 koraka. SITS, Vodovod i kanalizacija '19*, Kragujevac, 2019.
- [20] J. Деспотовић, са сарадницима: *Примена савремених метода у зонама санитарне заштите изворишта од атмосферских вода са саобраћајница – Мост Остружница*, Грађевински факултет, СЕКИБЕО d.o.o., Stormwater Italia – Venice, UTVSI, Forum voda 2017.ПОСТЕР.

- [21] Hvitved-Jacobsen T, Vollertsen J, Nielsen A, *Urban and Highway Stormwater Pollution-concepts and Engineering*. CRC Press. Taylor&Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2010.
- [22] Metcalf&Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th edition, McGraw hill INS, NY, USA, 2002.
- [23] Č. Maksimovic and M. Radojković: *Urban Drainage Catchments*, Pergamon press, ISBN 0 08 034086 5, 1986.
- [24] D. Pavlović, J. Plavšić, J. Despotović, *Statistička analiza dnevnih kiša u Srbiji metodom godišnjih ekstrema – Gumbelova ili EV2 raspodela*, Zbornik radova 16-tog nauč. savetovanja SDHI i SDH, Donji Milanovac, ISBN 978-86-7518-159-0, p.360-369, 2012.
- [25] J. Petrović, J. Despotović, Historical rainfall for urban storm drainage design, *Water Science and Technology*, Vol. 37, No. 11, str. 105-111, 1998.
- [26] Plavšić J, Blagojević B, Todorović A, Despotović J, Long-term behaviour of precipitation at three stations in Serbia. *Acta Hydrotechnica*, 29(50), p.23-26, 2016.
- [27] Plavšić J, Inženjerska hidrologija. Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet, Beograd, ISBN 978-86-7518-207-8, 2019.
- [28] Stanić Miloš, Primena grafova u Hidroinformatici, Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu, ISBN 978-86- 7518-223-8, 2022.
- [29] Todorović A, Plavšić J, Despotović J, Pavlović D, *Trendovi u pokazateljima režima padavina u Beogradu*, Zbornik radova građevinskog fakulteta: „Savremena dostignuća u građevinarstvu“, Građ. fakultet u Subotici, e-ISSN 2334-9573, p.119-124.
- [30] Topalović Ž, Plavšić J, Despotović J, Konsistentno određivanje računskih kiša, *Vodoprivreda*, 47(4-6), str. 151-159, 2015.
- [31] Woods-Ballard B, Kellagher R, Martin P, Jefferies C, Bray R, Shaffer P, *The SUDS manual*, CIRIA C697, 2007.
- [32] Plavšić J, Vladiković, D, Despotović J. (2014b) Hydrometeorological aspects of floods in May 2014 in the Sava River basin and in Serbia. *Voda i sanitarna tehnika*, 44(5-6): 21-34.
- [33] Plavšić, J., Vladiković, D., Despotović, J. (2014a) Floods in the Sava River Basin in May 2014. Proc. Mediterranean Meeting on Monitoring, modelling, early warning of extreme events triggered by heavy rainfall, University of Calabria, Cosenza, Italy, 26-28 June 2014. E. Ferrari and P. Versace (eds.), ISBN 978-88-6822-268-0, pp. 241-251.
- [34] Todorović A, Plavšić J, Despotović J, and Pavlović D. *Trends in Precipitation Indices at Belgrade*, Proc. Conf. on Contemporary Achievements in Civil Engineering. M. Besevic (ed.), ISSN 0352-6852, 2014.