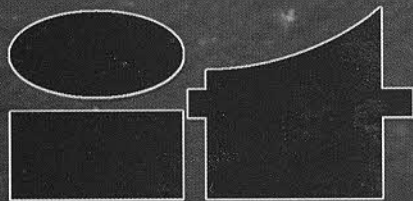


SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



31. STRUČNO - NAUČNI SKUP
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM

ZBORNİK RADOVA
VODOVOD I KANALIZACIJA '10

Divčibare, 05 - 08. oktobar 2010.



Ljiljana Djukanović
2010

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

**31. stručno-naučni skup
sa međunarodnim učešćem**

VODOVOD I KANALIZACIJA '10

Zbornik radova

Divčibare, 05 – 08. oktobar 2010.



Izdavač:

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

Za izdavača:

Mr Branislav Vujinović, dipl. inž., generalni sekretar

Programski odbor:

Ninoslav Petrović (predsednik), Momčilo Bikicki,
Dušan Prodanović, Časlav Lačnjevac i Bogdan Vlahović

Organizacioni odbor:

Branislav Vujinović (predsednik), Jovan Despotović, Zoran
Marjanović, Borisav Milutinović, Selimir Manojlović,
Veljko Dimitrijević, Obren Četković, Nikica Ivić, Vidoje Vujić
Olivera Ćosović i Marijana Mihajlović

Glavni i odgovorni urednik:

Ninoslav Petrović

Tehnički urednik:

Slavka Vukašinović

Štampa:

Akadska izdanja, Zemun

Tiraž: 250 primeraka

Organizator:

Savez inženjera i tehničara Srbije

Suorganizatori:

Inženjerska akademija Srbije

Inženjerska komora Srbije

Privredna komora Beograda

Saobraćajni institut »CIP« Beograd

JKP »Beogradski vodovod i kanalizacija« Beograd

Institut za vodoprivredu »Jaroslav Černi« Beograd

JKP »Vodovod« – Valjevo

Pokrovitelj:

**Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj
Republike Srbije**

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/2(082)

СТРУЧНО – научни скуп са међународним учешћем
Водовод и канализација '10 (31 ; 2010 ; Дивчибаре)

Zbornik radova / 31. stručno – naučni skup Vodovod i kanalizacija '10, Divčibare, 05 – 08. oktobar 2010. : [organizatori] Savez inženjera i tehničara Srbije ... [et. al.] ; [glavni i odgovorni urednik Ninoslav Petrović]. – Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2010 (Zemun ; Akademska izdanja). – 198 str. : ilustr. ; 24 cm

Tekst ćir. i lat. - Tiraž 250. – Napomene uz tekst. - Bibliografija uz većinu radova. – Abstracts.

ISBN 978 – 86 – 80067 - 26 – 1

1. Савез инжењера и техничара Србије (Београд)

а) Водовод – Зборници

б) Канализација - Зборници

COBISS.SR-ID 178400780

S A D R Ž A J

<i>Boris Džodanović, Vojislav Marinković, Dejan Šomođa</i> Princip rada vakuumske kanalizacije sa primerom	9
<i>Vladimir Ćirić, Dušan Sretenović, Miloš Srećković</i> Kanalizacioni sistemi sa programiranim proticajima i pritiscima	19
<i>Veljko Đukić, Biljana Đukić</i> Primjena membranskog bioreaktora za obradu komunalne otpadne vode	27
<i>Adam Milivojević</i> Četvrti stepen prerade mulja otpadnih voda preko vermikultura	33
<i>Milenko Jevtić, Ivan Milojković, Nedeljko Stojnić</i> Istražena i osvojena nova elektrohodinamička tehnologija i mogućnost njene primene u održavanju kanizacionih sistema	39
<i>Ivan Milojković</i> Benchmarking za beogradski kanizacioni sistem u odnosu na cene usluga kanisanja naselja za 2007. godinu	45
<i>Anja Randelović, Dušan Kostić, Marko Ivetić, Radomir Kapor</i> Neki problemi u rekonstrukciji spojeva kanizacionih kolektora	51
<i>Nemanja Branislavljević, Dušan Prodanović</i> Automatska validacija podataka u kanizaciji	57
<i>Vojislav Marinković, Boris Džodanović</i> Hidraulička analiza objekata na izvorištu „Ristića put“ u Bačkoj Palanci	63
<i>Nenad Radić, Dušan Đurić, Goran Jevtić, Nenad Milenković, Milica Milovanović</i> Mogućnost proširenja izvorišta „Ratno ostrvo“ primenom metode veštačke infiltracije	71

<i>Božo Dalmacija, Srđan Rončević, Ranko Grujić, Branislava Maksimović, Snežana Maletić, Jelena Molnar, Vesna Pešić, Marijana Kragulj</i>	
Hemijski kvalitet podzemnih voda na novosadskim izvorištima tokom 2009/10. godine	79
<i>Ljiljana Takić, Ljiljana Randelović, Nenad Živković, Amelija Đorđević</i>	
Kvalitet vode akumulacije Barje	85
<i>Dušan Lukić, Mirjana Babić</i>	
Prikaz rezultata testiranja rada vodomera sa adapterom za daljinsko očitavanje	91
<i>Vojislav Marinković, Boris Džodanović</i>	
Mogućnost povećanja energetske efikasnosti u vodovodnim sistemima	97
<i>Radivoje Obradović, Miroљub Krstić, Časlav Lačnjevac, Milan Bogušić, Dragan Petrović</i>	
Greške pri merenju zaštitnih potencijala kod katodne zaštite čeličnih cevovoda u zemlji i načini njihovog otklanjanja	105
<i>Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović</i>	
Provera bilansiranja vode na postrojenjima Makiš – Bele Vode u sistemu Beogradskog vodovoda	113
<i>Stanko Stankov, Zoran Stajić, Staniša Perić</i>	
Bežični prenos podataka u sistemima za nadzor i upravljanje	121
<i>Stanko Stankov, Zoran Stajić, Staniša Perić</i>	
Centralni sistem za nadzor i upravljanje vodovodnim sistemom JKP „Naissus“ Niš	129
<i>Milena Bečelić – Tomin, Božo Dalmacija, Miroslava Marčić</i>	
Korišćenje podataka pilot istraživanja u cilju identifikacije kritičnih kontrolnih tačaka	139
<i>Ivanka Kaut, Jelena Stojić, Stevan Živkov</i>	
Rekonstrukcija sistema aeracije kao uslov za bolje prečišćavanje vode na postrojenju vodovoda Pančevo	145
<i>Budo Zindović, Miodrag Jovanović, Radomir Kapor, Dušan Prodanović, Dejana Đorđević</i>	
Numerički modeli kao podrška u projektovanju vodovodnih i kanalizacionih sistema u Beogradu	151

Pavle Radanov

Restruktuiranje JKP „Vodovod i kanalizacija“ Pančevo 157

Milan Đorđević

**Organizovanje i intenziviranje razmene znanja i gotovih
rešenja u cilju povećavanja efikasnosti naplate 163**

Boris Džodanović, Vojislav Marinković

Preventivno održavanje 169

Dušan Lukić

**Regulatorni okvir radne verzije Zakona o komunalnim
delatnostima 173**

Boban Birmančević

**Usklađivanje nacionalnog zakonodavstva Srbije u oblasti
voda sa direktivama Evropske unije 179**

Robert Eckert

**Zaporni ventil od polietilena: novi koncept za rešavanje
starih problema zaporne tehnologije..... 185**

НЕКИ ПРОБЛЕМИ У РЕКОНСТРУКЦИЈИ СПОЈЕВА КАНАЛИЗАЦИОНИХ КОЛЕКТОРА

SOME PROBLEMS IN RECONSTRUCTIONS OF SEWER SYSTEM JOINING OBJECTS

АЊА РАНЂЕЛОВИЋ¹, ДУШАН КОСТИЋ²,
МАРКО ИВЕТИЋ³, РАДОМИР КАПОР⁴

Резиме: Реконструкција и изградња објеката комуналне инфраструктуре у урбаним градским језгрима је све већи изазов. Скучен подземни простор оставља место за нестандартне облике, чије функционисање при експлоатацији није увек могуће предвидети стандардним техникама пројектовања. Димензије ових објеката су постале довољно велике да постаје исплативо правити њихове физичке моделе – што је раније било резервисано за области хидроенергетике, регулације река итд.

Кључне речи: физички модел, канализација, спојна грађевина

Abstract: Reconstruction of sewer infrastructure in urban areas is becoming a challenging process. Cramped underground areas leave space for nonstandard shapes. It is sometimes difficult to predict the flow capacity or other features using the standard designing technics. Dimensions of objects have increased, so has the price, and it is now becoming more acceptable to invest in physical scale models – which is something that was in the past reserved for hydroenergetics, river structures, etc.

Key words: scale model, sewer system, joining object

1. Увод

Изградња објеката комуналне хидротехнике у урбаним градским језгрима представља све већи грађевински изазов. И поред савремене опреме и усавршених технологија градње, постојећи подземни објекти и инсталације ствара-

¹ Ања Ранђеловић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

² Душан Костић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

³ Др Марко Иветић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

⁴ Др Радомир Капор, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

ју компликоване услове за изградњу нових инфраструктура. Недовољно познавање њиховог тачног положаја, додатно отежава ситуацију. Нису ретки случајеви, да се по започетој градњи објеката, односно отварањем ископа, утврди постојање инсталација, које нису уцртане или су непрецизно унете у Катастар подземних инсталација.

Због тога се и канализациони колектори, веома често, граде по трасама, различитим од првобитно пројектованих. У том случају, за њихове спојеве, морају се обезбедити алтернативне локације, или се они постижу нестандартним техничким решењима. Канализациони колектори се пројектују и граде, тако да димензије попречног пресека уз одговарајући уздужни пад пропуштају рачунски проток. Колектори се спајају под што оштријим углом у основи, како се токови у њима међусобно не би реметили.

Условима изградње наметнута геометрија често захтева да се одступи од основних правила струке. То углавном не иде у прилог коректном хидрауличком функционисању ових објеката. Са становишта хидрауличног функционисања, неприлике могу изазвати превише благи (или чак супротни) падови, јако стрми падови, трасе са наглим преломима, или спојеви колектора изведени под углом који неповољно утичу на пропусну способност објекта.

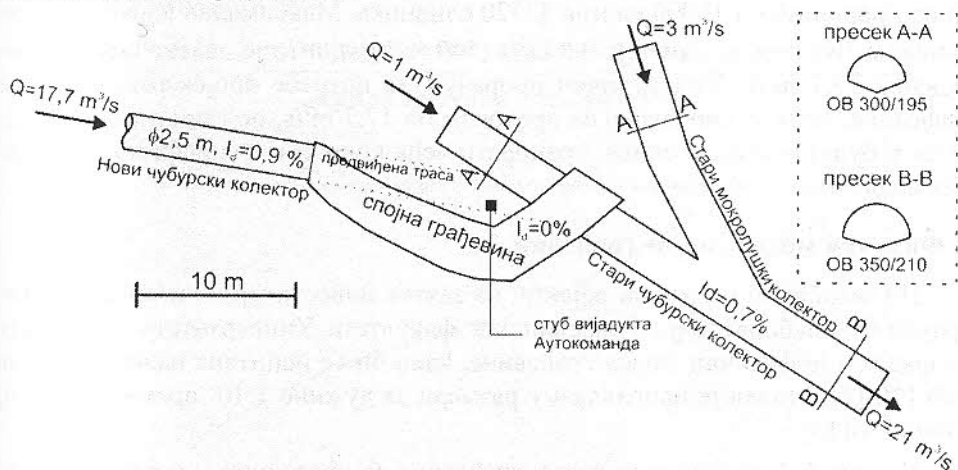
2. Реконструкција колектора у Јужном булевару

У 2007. години Дирекција за грађевинско земљиште и изградњу Београда Ј.П, обезбедила је, у својству Инвеститора, Главни пројекат реконструкције канализационе мреже у Јужном булевару, деоница од Улице Устаничке до Улице Максима Горког, а у склопу Главног пројекта реконструкције Јужног булевара са припадајућом инфраструктуром. Овај колектор дренира комуналне и атмосферске отпадне воде Чубурског слива, које је, према техничким условима БВК, требало увести у Стари мокролушки колектор. У овом пројекту није дато решење спојне грађевине Новог чубурског колектора са Старим мокролушким колектором. Пројектант није располагао поузданим подацима о тачној локацији Старог мокролушког колектора као ни подацима о положају стубова вијадукта Аутокоманда, па је због тога остављено отворено питање спојне грађевине. У таквом облику је Главни пројекат Новог чубурског колектора усвојен од стране Инвеститора и техничке контроле пројекта и прихваћен од будућег корисника БВК.

Детаљном реконструкцијом Јужног булевара у Београду, извршена је замена свих подземних инсталација. Главни канализациони вод, такође је реконструисан, постављањем коругованог полиетиленског колектора, кружног попречног пресека, пречника 2,5 m. У оквиру радова Нови чубурски колектор је постављен до локације спојне грађевине. Траса новог колектора, вођена је, прилагођавајући се условима на терену, све до Старог мокролушког колектора. Тек су се отварањем ископа на локацији предвиђеног споја, у Бокелској улици, створили услови за спровођење неопходних истражних радова.

Закључено је да део раније пројектоване трасе и спојна грађевина не могу да се реализују због положаја стубова вијадукта на Аутокоманди (слика 1), а искључена је и могућност проналажења друге локације за спојну грађевину. Због што бржег завршетка започете реконструкције морало се брзо доћи до новог решења споја. У Бокелској улици, испод површине терена, пројектована је и изведена армиранобетонска грађевина, чија је улога увођење кишних и фекалних отпадних вода из Новог чубурског колектора у Стари мокролушки колектор. Услед захтева за безбедном удаљеношћу од стубова надвожњака, а у оквиру расположивих габарита, изведена је грађевина нестандардног облика, која се спаја са Старим мокролушким колектором под неповољним углом. Објекат у основи има један нагли прелом, на месту где заобилази стуб вијадукта, непосредно пре споја са Старим мокролушким колектором.

На слици 1. је приказана диспозиција колектора, предвиђена и изведена траса са спојном грађевином.



Слика 1.

3. Пројектована пропусна моћ спојне грађевине

Према Главном пројекту реконструкције канализационе мреже у Лужном булевару, деоница од Улице Устаничке до Улице Максима Горког, капацитет Новог чубурског колектора је димензионисан на проток од $29 \text{ m}^3/\text{s}$. Чубурски слив има површину од 250 ha, и усвојена је рачунска киша повратног периода 10 година и трајања 30 минута. На овај начин је добијен отицај од $28,4 \text{ m}^3/\text{s}$, и под претпоставком да се он у целости дренира заједно са фекалним отпадним водама ($0,6 \text{ m}^3/\text{s}$), захтева да колектор прихвати $29 \text{ m}^3/\text{s}$ отпадних вода. Према Главном пројекту реконструкције канализационе мреже у Лужном булевару, у делу Биланс вода Старог мокролушког колектора, у зони споја са Новим чубурским колектором, процењено је да Стари мокролушки колектор има капацитет од $21 \text{ m}^3/\text{s}$. Стари мокролушки колектор је, узводно од Аутокоманде, растерећен на неколико места, кишним преливима усмереним ка

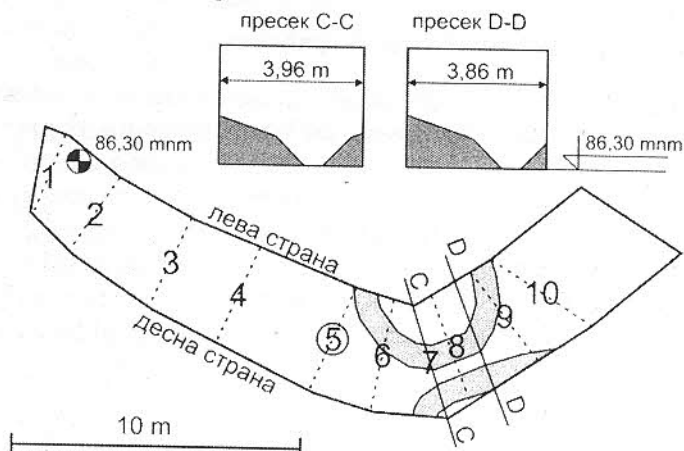
Новом мокролушком колектору. На преливној грађевини испод Улице Прешернове, из Старог мокролушког колектора се пребацује око $15 \text{ m}^3/\text{s}$ кишних вода у Нови мокролушки колектор. Према истој документацији, наводи се да, низводно од места растеређења, све до Аутокоманде, Старим мокролушким колектором не протиче више од $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Због тога је максималан проток из Новог чубурског колектора, који Стари мокролушки колектор може да прихвати - $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Према Главном пројекту спојне грађевине Старог мокролушког и Новог чубурског колектора (чвор Бокелска), грађевина је димензионисана на проток од $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Сматра се да на Чубурском сливу, површине 250 ha има око 540 сливника. Ова процена је заснована на претпоставци равномерно распоређених сливника по целој површини слива београдске канализације. Студија о функционисању београдске канализације у нередовним и изузетним околностима, коју је израдио Грађевински факултет за потребе БВК, наводи да на површини од 15000 ha има 32320 сливника. Максималан капацитет сливника на Чубурском сливу је $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ ($540 \times 7 \text{ l/s}$), што је далеко мање од наведених $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Хидраулички прорачун, за потребе пројектовања спојне грађевине, ипак је спроведен са протоком од $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$, под претпоставком да ће се у будућности, са слива, дренирати већа количина атмосферских отпадних вода.

4. Физички модел спојне грађевине

По завршеној изградњи објекта, на захтев инвеститора и извођача, у Хидрауличкој лабораторији Грађевинског факултета Универзитета у Београду направљен је физички модел грађевине, како би се испитала њена пропусна моћ [1], [2]. Модел је направљен у размери за дужине 1:10, према Фрудовој сличности [3].

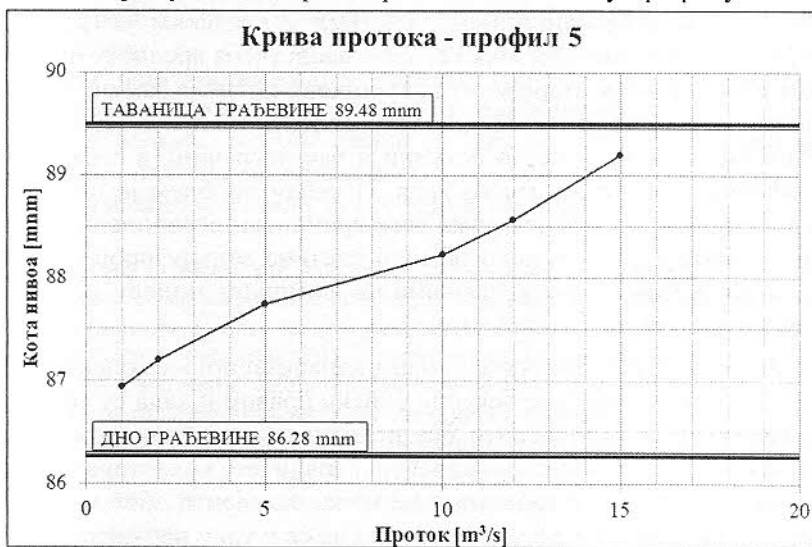
На слици 2. је приказан детаљ грађевине са пресецима у којима је мерен ниво воде при различитим протоцима.



Слика 2.

Посебно је било интересантно испитати дејство сужења (пресеци 5-10) на ток. Сужење је оригинално пројектовано да би „помогло“ води при скретању у Стари мокролушки колектор. Узводно од сужења течење у спојној грађевини је хидраулички мирно, због чега се лакше мења правац струјања. Осим тога, сужење је пројектовано и као мерни објекат, будући да се у области између пресека С и D остварује критична дубина. Предложено је да се пресек 5 користи као мерни пресек, на коме је одређена крива протока и тако утврђена пропусна моћ целе грађевине. Установљено је да је максимални проток који се може безбедно пропустити кроз грађевину $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2,7 \text{ m}^3/\text{s}$, односно 16% мање од пројектованог). Иако је урађена анализа показала да капацитет сливника не може да спроведе очекиване падавине у колектор и да је спојна грађевина има довољан капацитет, треба водити рачуна да њен максимални капацитет одређује и капацитет колектора. При будућим реконструкцијама канализационог система на сливу ове објекте не треба оптерећивати додатним водама.

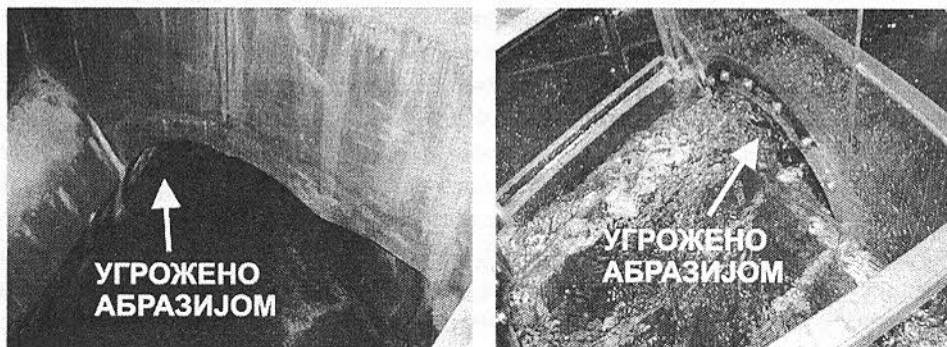
На слици 3. је приказана крива протока снимљена у профилу 5.



Слика 3.

Стари мокролушки колектор је направљен пре више десетина година од неармираног бетона, који је сада већ постао трошан, па је на моделу посебна пажња поклоњена местима где постоји ризик по стабилност конструкције. Тако су измерене вредности пулзација притисака на површинама колектора и спојне грађевине и утврђено да то није од посебног значаја за њихову стабилност. Међутим, уочено је место где постоји велика опасност од штетног дејства абразије (слика 4). То је место где силовити ток из спојне грађевине улази у Стари мокролушки колектор. На дужини од 3 m, предвиђена је замена или ојачање облоге Старог мокролушког колектора, без смањивања светлог отвора.

На слици 4. је приказано место где постоји опасност од абразије у природи (при мањем протоку) и на моделу (при протоку од $12 \text{ m}^3/\text{s}$).



Слика 4.

5. Закључак

Реконструкција канализационих система у градским језгрима је тежа него изградња самог система. Иако се књиговодствена вредност ових објеката временом смањује, због старења итд., трошкови потпуне замене инфраструктуре стално расту, што је неопходно валоризовати на прави начин. Подаци о постојећим системима су често оскудни и чак погрешни, а ограничења због већ изграђених објеката су много већа. Посебан проблем је што је трајање реконструкције у градским језгрима увек временски ограничено. Тако се може доћи у ситуацију да се неки објекти система морају пројектовати и изградити, а тек потом се испитивањима на физичком моделу могу одредити њихове хидрауличке карактеристике.

Хидрауличке карактеристике спојева канализационих колектора, када су углови под којим се спајају колектори блиски правом и када су велике брзине течења, тешко се могу одредити без испитивања на физичком моделу. Са друге стране пропусна моћ споја одређује капацитете колектора. Догађа се да се максимални капацитет колектора не може остварити због мањег капацитета споја колектора. Због тога је потребно да се у току пројектовања испитивањем на физичком моделу провере предложена решења.

6. Литература

- [1] Костић Д., А. Ранђеловић, П. Војт, М. Иветић, Р. Капор: *Хидрауличка моделска испитивања споја колектора са силовитим течењем*, Зборник, 2009.
- [2] Ранђеловић А., Д. Костић, П. Војт, М. Иветић, Р. Капор: *Хидрауличка моделска испитивања мерења протока на споју колектора са силовитим течењем*, Вода и санитарна хидротехника, Београд, вол. 39, бр. 4, стр. 29-36, 2009.
- [3] Hager W. H.: *Wastewater Hydraulics Theory and Practice*, Springer-Verlag, Berline, 1994.

НУМЕРИЧКИ МОДЕЛИ КАО ПОДРШКА У ПРОЈЕКТОВАЊУ ВОДОВОДНИХ И КАНАЛИЗАЦИОНИХ СИСТЕМА У БЕОГРАДУ

NUMERICAL MODELS AS A SUPPORT IN DESIGN PROCESS OF WATER - AND SEWER SYSTEMS IN BELGRADE

БУДО ЗИНДОВИЋ¹, МИОДРАГ ЈОВАНОВИЋ², РАДОМИР КАПОР³,
ДУШАН ПРОДАНОВИЋ⁴, ДЕЈАНА ЂОРЂЕВИЋ⁵

Резиме: Овај рад илуструје могућност примене нумеричких модела при пројектовању објеката водовода и канализације. Осим за решавање проблема који се често јављају у пракси, нумерички модели се могу користити и за решавање „нестандардних“ задатака. Као пример, приказани су резултати који се односе на праћење утицаја канализационих испуста на квалитет воде у Чукарничком заливу и резултати добијени за потребе фазне градње водозахвата „Макиш 2“ на реци Сави.

Кључне речи: нумеричко моделирање, еколошко инжењерство, испирање залива, водозахват

Abstract: This paper illustrates the application of numerical models for the design of structures in water-supply and sewer systems. These models can be used not only for solving tasks which arise frequently in engineering practice, but also can be used to deal with the “non-standard” issues. For illustration purpose, the results portraying the effect of sewer outlet on the water quality in Čukarica Bay and the results of the analysis for phase building of water plant „Makiš 2“ are presented.

Key words: numerical modelling, environmental engineering, bay flushing, intake structure

1. Увод

Нумерички модели су одавно постали неопходно средство у пројектовању објеката водовода и канализације. Овакав тренд је условљен њиховом релативно ниском ценом (поједини софтверски пакети могу се добити и користити без икакве надокнаде), могућношћу обраде великог броја варијантних

¹ Будо Зиндовић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Унивезитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, Београд

² Др Миодраг Јовановић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Унивезитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, Београд

³ Др Радомир Капор, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Унивезитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, Београд

⁴ Др Душан Продановић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Унивезитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, Београд

⁵ Мр Дејана Ђорђевић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Унивезитета у Београду, Булевар краља Александра 73/1, Београд

решења у релативно кратком временском року и једноставном презентацијом резултата прорачуна.

Нумерички модели могу се примењивати у свим фазама пројектовања хидротехничких објеката. Њихово присуство је нарочито изражено у почетним фазама (идејна решења) док се у даљим нивоима разраде могу комбиновати са физичким моделима. Незаменљиво су средство за решавање нестандартних задатака, од праћења понашања система током експлоатационог периода, пројектовања и провере система у различитим фазама изградње, до реконструкције и модернизације објеката.

У наставку се приказују два примера који имају за циљ да илуструју неке могућности нумеричких модела. У првом делу, на примеру Чукарничког залива, илуструју се могућности софтверских алата при контроли понашања система и његовог утицаја на животну средину. У другом делу, на примеру водозахвата „Макиш 2“, приказане су позитивне особине нумеричких пакета при фазној изградњи система за снабдевање водом града Београда. Наравно, у оба примера су нумерички модели пре употребе калибрисани на основу измерених, стварних података са терена.

2. Одређивање утицаја канализационих испуста и мера ремедијације на квалитет воде Чукарничког залива

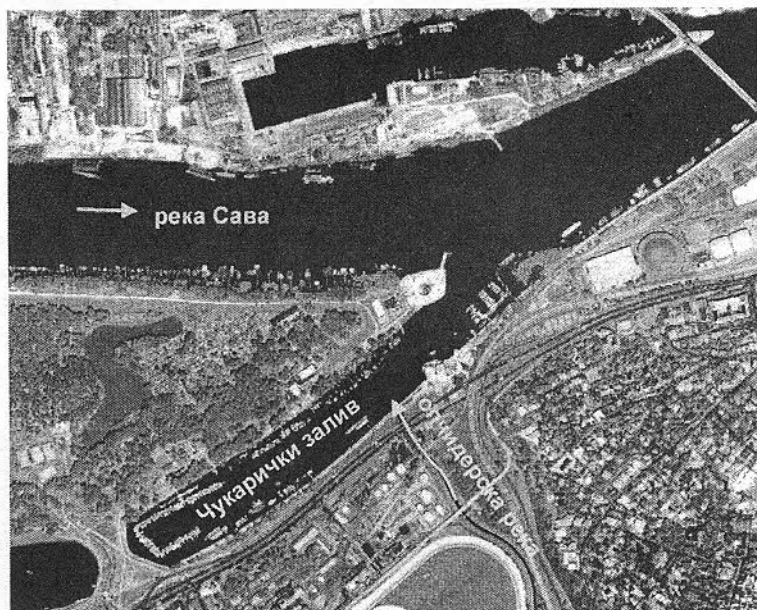
Моделирање квалитета воде је важан поступак којим се може показати утицај одређеног објекта на акватичну средину, а самим тим и на флору и фауну. Ова чињеница је веома важна за велике градове у Србији будући да до данас (2010. година) немају изграђене објекте за третман отпадних вода, које се, непречишћене или недовољно пречишћене, директно испуштају у водотоке и нарушавају квалитет њихове воде.

Преграђивањем Чукарничког рукавца 1967. године, формирано је Савско језеро површине око 86 ха (Слика 1). Низводни крај некадашњег рукавца, Чукарнички залив, остао је отворен према реци Сави. Овај залив користи се у спортско-рекреативне и комерцијалне сврхе и већим делом припада зони непосредне заштите изворишта Београдског водовода.

Вода Чукарничког залива изложена је дугогодишњем загађењу и спада у воде најнижег квалитета на територији града Београда. Квалитет воде је нарочито неповољан током летњег периода када се као продукт распадања органске материје, ослобађају гасови непријатног мириса. У околини Залива лоцирани су бројни загађивачи, а најзначајнији су Топчидерска река и канализациони испуст на ушћу ове реке у Залив.

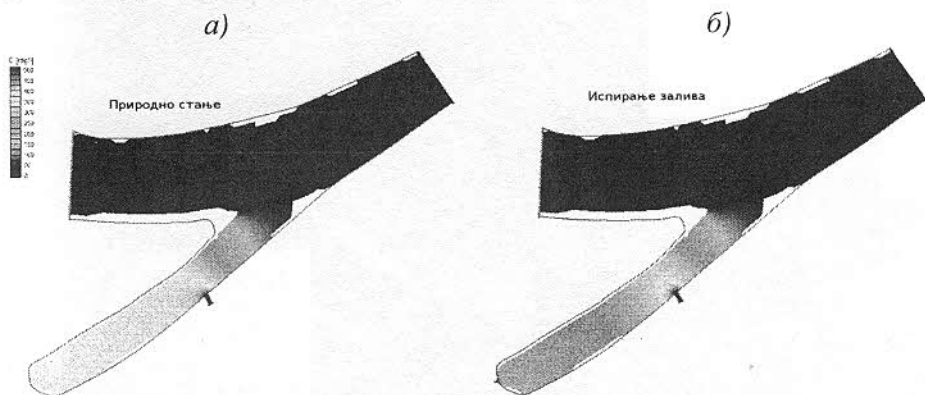
До побољшања квалитета воде Чукарничког залива може доћи уколико се приступи пречишћавању свих отпадних вода које доспевају у Залив, чишћењем дна и третирањем загађеног муља и испирањем Залива водом из Савског језера. Иако би примена свих наведених мера дала најбоље резултате, последња мера је најекономичнија и може се применити у најкраћем

року. Наиме, за потребе изазивања вештачке циркулације у Савском језеру инсталиране су две пумпе укупног капацитета $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Како до сада нису коришћене, идеја је била да се оне употребе за поправљање квалитета воде у Заливу.



Слика 1. Чукарички залив на реци Сави

Резултат симулације квалитета воде за постојеће стање и са упуштањем воде помоћу постојећих пумпи приказан је на Слици 2.



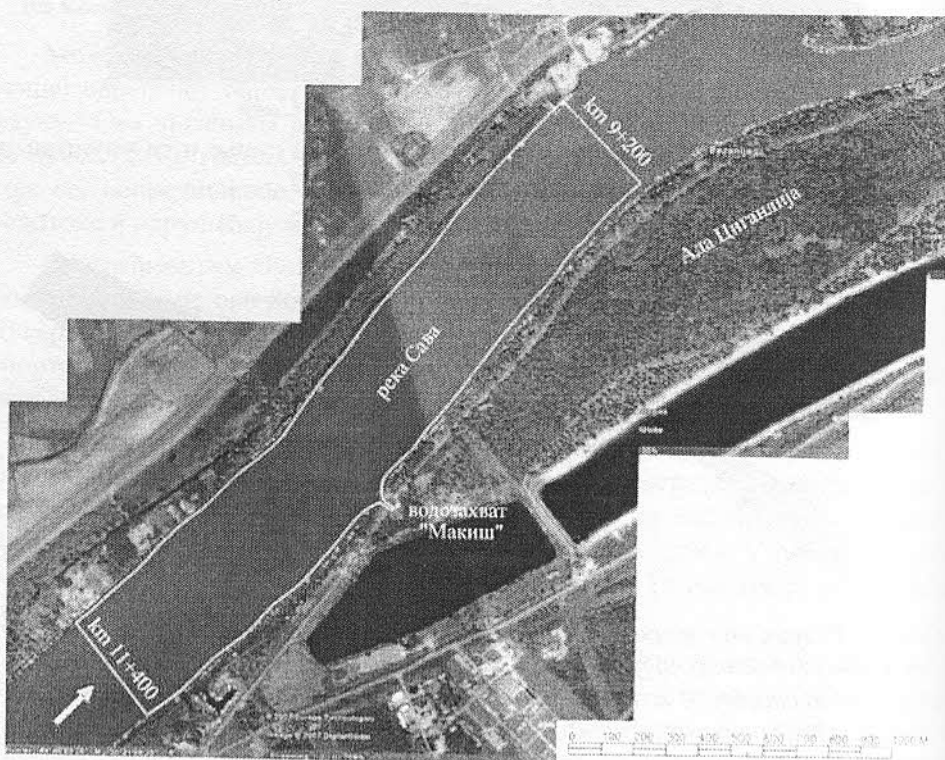
Слика 2. Резултати прорачуна квалитета воде у Чукарском заливу у Београду за задату концентрацију загађења на ушћу Топчидерске реке од 1000 mg/L : а) природно стање, б) испирање залива. У природном режиму, концентрација загађења је велика, захвата већи део површине Залива и износи око 400 mg/L , што је око 40% улазне концентрације. Применом испирања, квалитет воде је побољшан и износи око 250 mg/L , односно око 25% од концентрације загађења на ушћу Топчидерске реке.

Примећује се да је у случају постојећег стања (Слика 2а) концентрација загађења у целом Заливу врло висока и да износи око 40% концентрације које доспева Топчидерском реком. Рад пумпи има позитиван ефекат на квалитет воде Залива, што се уочава по нижим вредностима концентрације (Слика 2б). Примећује се и да је непосредна зона ушћа Топчидерске реке најзагађенија, што је уочено и током теренских мерења.

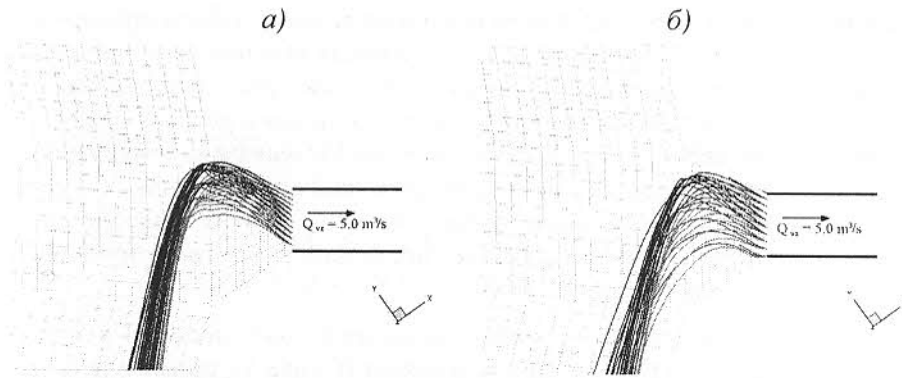
3. Примена нумеричких модела при модернизацији и фазној градњи водозахвата „Макиш 2“

Пројектовањем и изградњом нових објеката, не престаје потреба за праћењем њиховог рада током експлоатације. Велики системи се не могу изградити одједном, већ се њихова градња обавља у етапама (фазно). У ретким случајевима, пауза између појединих фаза може бити од неколико месеци до неколико година и нови услови могу довести у питање оптималност (или пак сврсисходност) усвојеног решења.

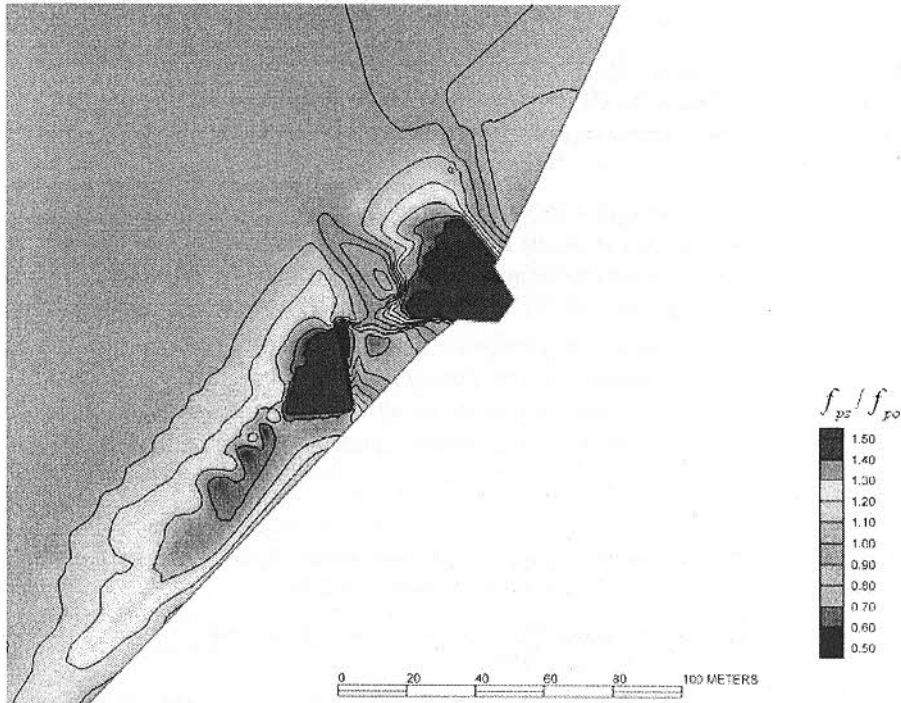
Постројење за производњу питке воде „Макиш“ пуштено је у рад пре скоро две деценије. У првој фази, изграђено је постројење „Макиш 1“ капацитета од 2 до 3 m³/s. Изградњом другог дела постројења, укупни проток на постојећем водозахвату повећао би се на 5 до 6 m³/s.



Слика 3. Ситуација са положајем водозахвата постројења за производњу питке воде „Макиш“ (означена је рачунска област за разматрању деоницу реке Саве)



Слика 4. Струјнице на улазу у водозахват Макиши за различите дужине прага који је постављен узводно од улаза у циљу спречавања његовог засипања: а) постојећи праг, б) продужен праг (након реконструкције). Резултати показују да продужење прага побољшава струјну слику у зони улаза и повећава захватни капацитет објекта.



Слика 5. Одређивање зоне чишћења улаза водозахвата постројења „Макиши“. Однос вредности параметра покретања наноса по Великанову за засуто корито (f_{pz}) и очишћено корито (f_{po}) показује области у којима би после чишћења корита дошло до смањења проноса наноса и засипања (области црвене и наранџасте боје, $f_{pz}/f_{po} \geq 1$). Резултати показују да је за спречавање засипања водозахвата неопходно багеровањем очистити коритито на дужини од најмање 100 м узводно од водозахвата.

Основна анализа спроведена је на физичком моделу, у фази пројектовања система 1986. године. Потреба за новим анализама иницирана је чињеницом да је између две фазе изградње система прошло око двадесет година. Нова испитивања су неопходна не само због преласка на нови режима рада (повећање капацитета), већ и услед промена које су се одиграле у међувремену (промене корита реке Саве због измене хидролошких, хидрауличких и псамолшких услова). Пошто изградња новог физичког модела изискује знатна финансијска средства и време, анализа је спроведена уз употребу нумеричких модела раванског и просторног течења.

Резултати нумеричких симулација приказани су на Сликама 4 и 5. Поређењем струјних слика у зони улаза у водозахват (Слика 4), примећује се да се изменом карактеристика постојећег објекта, могу побољшати услови струјања ка водозахвату. Дијаграми распореда параметара проноса наноса пре и након извршеног чишћења речног корита, указују на обим радова који је неопходан за несметано функционисање водозахвата (Слика 5).

4. Закључак

Нумерички модели су постали неопходно средство у пројектовању хидротехничких објеката. Не само да се могу применити током свих фаза пројектовања нових објеката, већ могу бити корисни и при провери рада постојећих објеката.

На примеру симулације квалитета воде у Чукаричком заливу, у раду је показано да се нумерички модели могу успешно применити при испитивању мера за поправљање квалитета воде. На примеру течења у зони улаза у водозахват „Макиш“, показано је да се применом нумеричких симулационих модела могу ефикасно решити проблеми ревитализације постојећих објеката водовода. Аутори су мишљења да примена оваквих модела, у спрези са теренским мерењима и испитивањима на физичким моделима, пружа најквалитетнију основу за пројектовање водоводних и канализационих система.

5. Литература

- [1] Продановић Д.: *Механика флуида за студенте Грађевинског факултета*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2007.
- [2] Јовановић М.: *Основе нумеричког моделирања раванских отворених токова*, Грађевински факултет, Београд, 1998.
- [3] Јовановић М., Капор Р., Продановић Д., Зиндовић Б.: *Хидрауличка студија Чукаричког залива и његовог споја са реком Савом*, Извештај бр. 43336, Грађевински факултет, Београд, 2005.
- [4] Јовановић М., Капор Р., Продановић Д., Зиндовић Б.: *Хидрауличка студија функционисања водозахвата „Макиш“*, Извештај бр. 43643, Грађевински факултет, Београд, 2007.