

# MATEMATIČKI MODEL KANALIZACIONOG SISTEMA MARIBORA RADI UNAPREĐENJA KANALIZACIONOG SISTEMA I RADA PPOV-A

## MATHEMATICAL MODELING OF THE SEWAGE SYSTEM FOR IMPROVEMENT OF THE SYSTEM AND THE WWTP IN THE MARIBOR CITY

### REZIME

U radu su kroz prikaz matematičkog modela kanalizacionog sistema u Mariboru opisani uslovi i zahtevi za adekvatno funkcionisanje savremenog postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda. Dato je uslovljenost funkcionisanja PPOV efikasnošću kanalizacionog sistema, kroz kvantifikaciju procesa oticaja i kanalisanja kišnih voda. Misli se da se problemi kanalisanja i zaštite životne sredine u gradu (opštini) rešavaju izgradnjom PPOV, ali se ovde prikazuje da se tek otvaraju brojna pitanja. Neadekvatno kanalisanje kišnih voda dovodi do plavljenja, spiranja zagađenja, erozivnog dejstva, smanjenja sigurnosti odvijanja saobraćaja i do neadekvatnog funkcionisanja PPOV. Neadekvatna pozicija i karakteristike objekata u kanalizaciji - preliva, razdelnih objekata i ispusta, neadekvatno raspodeljuje vodu na zagađenu koja otiče do PPOV i prelivnu vodu koja otiče u prirodu. Radi funkcionisanja kanalizacije i PPOV-e prikazan je deo projekata rekonstrukcije objekata kanalizacije.

**Ključne reči:** Opšti sistem kanalizacije; PPOV; Matematički model SWMM; Prelivi, ispusti; Maribor.

### SUMMARY

This paper discuss conditions and constraints for WWTP operation using mathematical modelling of the sewage system for the city of Maribor. Using results of SWMM model accounting for various phases of urban surface runoff also a description of conditions for WWTP functioning. It is also emphasized that construction of WWTP opened numerous questions. When rainfall runoff drainage is not solved it provokes floodings, surface spilling and erosion of pollutants and decrease of traffic safety, also a malfunction of WWTP. A series of manholes, combined sewer overflows and outlets don't divide approach flow into flow towards WWTP and the rest into the receiving waters. Several projects for reconstruction and improvement of existing waste water system in Maribor were designed and parts of presented

**Keywords:** Combined sewer system; WWTP; Mathematical model SWMM; CSOs, outlets; Maribor.

### UVOD

Gradske površine grada Maribora su uglavnom pokrivene kanalizacijom opšteg tipa, koji je tipičan za gradove u srednjoj Evropi sa zajedničkim kanalisanjem komunalnih i kišnih voda. Gradska opština Maribor je u godini 2003 završila dve velike investicije u domenu kanalizacije:

- Glavni kanalizacioni kolektor od brane u Melju do Dogoš, koji omogućava transport svih otpadnih voda grada Maribora do lokacije Centralog postrojenja za otpadne vode i kanalizacijski kolektor Maribor – jug, koji omogućava transport otpadne vode iz dela opštine Hoče – Slivnica i opštine Miklavž na Dravskem polju na CPPOV – Slika 1.
- Centralno postrojenje za prečišćavanje u Dogošu prikuplja i prečišćava svu otpadnu vodu iz grada Maribora, susedne opštine Miklavž i opštine Hoče – Slivnica, uključujući tercijalni stepen

### INTRODUCTION

City of Maribor is mostly covered with combined sewer system, which is typical for cities in Central Europe with a common drainage of municipal and rainfall waters. Municipality of Maribor ended two major investments in the area of sewerage in 2003:

- The main sewer collector from the dam in Melje to Dogose, which allows the transport of all waste waters from the city of Maribor to location of Central WWTP and sewer collector Maribor - South, which allows the transport of waste waters from the part of Municipality of Hoca – Slivnica and Municipality of Miklavz in the Dravsko Polje to CWWTP - Figure 1.
- Central treatment plant in Dogose collect and treat all wastewater from: the city of Maribor, neighboring municipalities of Miklavz and Hoca - Slivnica, including tertiary level of treatment. Central plant in Maribor has a capacity of

<sup>1</sup> Prof. J. Despotović, Z. Jovanović, Doc. Dr. J. Plavšić Građevinski fakultet u Beogradu, , CEKIBEO iz Beograda

<sup>2</sup> Dr. U. Krajnc, Institut za ekološki inženjering, Maribor

prečišćavanja. Centralno postojenje grada Maribora ima kapacitet od 195.000 PE sa mogućnošću proširenja na 285.000 PE. Kapacitet CPPOV za biološko prečišćavanje iznosi 5000 m<sup>3</sup>/h, za primarno prečišćavanje i crpljenje u kanal HE SD<sub>1</sub> iznosi 7000 m<sup>3</sup>/h. Postrojenje za prečišćavanje postiže veoma visok stepen pročišćavanja, dok je izpust iz postrojenja bitno bolji nego što su zakonski zahtevi.

Dodatna merenja bioloških parametara u Dravi nizvodno od Maribora, gde je pre izgradnje postrojenja za otpadne vode oticala približno jedna trećina neprečišćenih otpadnih voda grada Maribor, pokazale su veliki stepen eutrofikacije Drave i potrebu za tercijalnim prečišćavanjem.

Program dovršetka i tehnološkog zaokruženja kanalizacije ima dve glavne namene:

1. Zaštitu od zagađenja značajnih izvoda vode mariborskog vodovoda. Mariborski vodovod snabdeva pitkom vodom širu regiju gde živi približno 180.000 stanovnika, pored Gradske opštine Maribor još dvanaest drugih opština. Zone sanitarne zaštite su na području osam opština i to: Gradska opština Maribor, Hoče-Slivnica, Miklavž na Dravskom polju, Rače-Fram, Starše, Šentilj, Ruše i Selnica. Naznačajniji vodni izvor je Vrbanski plato, iz kojeg se dobiva 75-80% (cca 500 l/s) potrebnih količina pitke vode, koju distribuira Mariborski vodovod. Na Dravskom polju su locirana crpilišta Betnava, Bohova in Dobrovce sa ukupnim kapacitetom 160 l/s.
2. Zaštitu kvaliteta reke Drave (nacionalni park Drava)

Prema generalnim rešenjima predmetni projekat je procenjen na oko 42 mil evra (bez PDV) i prijavljen je za sufinansiranje iz kohezijskog fonda Evropske unije. Obuhvata izgradnju 64 km kanalizacije, 18 većih retnzionih bazena i 36 crpilišta. U sklopu izrade tog projekta investitor Gradska opština Maribor naručila je dokumentaciju kod Instituta za ekološki inženjering iz Maribora, koji je za izradu matematičkog modela i učešće u idejnim projektima kanalizacije angažovao preduzeće CEKIBEO i Građevinski fakultet iz Beograda.

Pored proširenja mreže na prigradska naselja, koja još nisu priključena na gradsku mrežu, dva su glavna zadatka rekonstrukcije gradske kanalizacije:

- Povećati sigurnost od plavljenja urbanizovanih delova Maribora. Intenzivne kiše u poslednjih par godina, koje su prouzrokovale plavljenja, još su potencirale taj problem.
- Bolje korišćenje CPPOV na način da se sve zaprljane vode – komunalne i deo kišnih voda odvede na PPOV i prečisti, uz detaljnu analizu i proračun „prvog pluska- spiranja“.

195.000 PE with possibility of extension to 285.000 PE. CWWTP capacity for biological treatment is 5000 m<sup>3</sup>/h, and for primary treatment and outflow into the channel of HE SD<sub>1</sub> is 7000 m<sup>3</sup>/h. Treatment plant achieves a very high degree of purifying, while plant outflow is significantly better than the legal requirements.

Additional measurements of biological parameters in the river Drava, downstream from the Maribor, which was the disposal location of almost one third of the waste waters of the Maribor before the construction of WWTP, showed a large degree of eutrophication and the need for tertiary treatment.

Finalization program of the sewer system has two main purposes:

1. Protection of significant water sources of Maribor waterworks. Maribor waterworks supply with drinking water a wide region with approximately 180.000 inhabitants, twelve other municipalities beside the Municipality of Maribor. Zones of sanitary protection are in the area of eight municipalities: Urban municipality of Maribor, Hoče-Slivnica, Miklavz in the Dravsko Polje, Rače-Fram, Starse, Sentilj, Ruse and Selnica. The most significant water source is Vrbanski plato, from which it gets 75-80% (app. 500 l/s) of the necessary quantity of drinking water, which is distributed to Maribor waterworks. Pump stations Betnava, Bohova and Dobrovce are located in the area of Dravsko polje with a total capacity of 160 l/s.
2. River Drava quality protection (Drava National park).

According to general solutions subjected project is estimated at about 42 million euros (without VAT) and is registered for co-financing from the European Structural and Cohesion Funds. It includes the construction of 64 km of sewage, 18 major retention basins and 36 pump stations. As part of making this project the investor urban municipality of Maribor ordered the documents at the Institute for Ecological engineering from Maribor, which engaged company CEKIBEO and Faculty of Civil Engineering from Belgrade for creation of mathematical models and participation in the sewerage project ideas.

Beside expanding the network to suburbs, which are not yet connected to urban network, there are two main tasks of reconstruction of municipal sewage:

- Increase the flooding safety of urbanized parts of Maribor. Intense rains in the last few years, which caused flooding, have emphasized this problem.
- Better usage of WWTP, in the manner that all polluted water – communal and rainfall water should be transferred and treated in WWTP, with detailed analysis and calculation of “first flush phenomenon”.

Imajući u vidu da je kanalizacioni sistem u Mariboru opšteg tipa, da najstariji deo postoji već 150 godina i da je izgradnja bila tokom različitih faza razvoja grada, očekivalo se da će inspekcija otkriti veliki broj objekata sa različitim funkcijama i kriterijumima za njihovo postavljanje u sistemu. Između ostalih, to su: zahvatne građevine za stalne ili povremene potoke u sistem kanalizacije na severnim i južnim početnim deonicama kanalizacije, sabirno-razdelne građevine u kojima se sabira doticanje iz nekoliko cevi, a potom raspodeljuje u nekoliko drugih cevi, razni oblici preliva, i konačno, različite vrste ispusta u Dravu i energetski kanal hidroelektrane Zlatoličje. U sistemu postoje različite vrste cevi, kako se razvijala tehnologija i saznanja o tome. Ova saznanja se i dalje proveravaju i upotpunjuju.

Osnovno obeležje kanalizacionog sistema je nivo ili stepen zaštite od kišnih voda, što je najčešće kvantifikovano propisanim merodavnim povratnim periodima ili verovatnoćom pojave kišnih voda i plavljenja od koje se stanovništvo i imovina štite izgradnjom sistema za kanalizaciju kišnih voda, opštim ili separatnim za kišne vode. Zadatak klasičnih kanalizacionih sistema je prihvatanje površinskog oticaja kišnih voda slivnicima (sa krovova, ulica, platoa, pa i zelenih površina, pri pojavi jakih kiša), najbrže sprovođenje u cevni kanalizacioni sistem i ispuštanje u recipijente, bez prečišćavanja ili zadržavanja oticaja. Računski ili merodavni povratni period kod klasičnih sistema je 2 godine, za opšte sisteme 5 godina, a za glavne – velike kolektore 10 ili više godina. Kada se radi o zahvatanju (pri) gradskih potoka – povremenih ili stalnih, u kanalizacioni sistem, mogu se očekivati poplave većeg povratnog perioda od 10 godina, npr. 20, 50 i 100 godina i zato je potrebno izgraditi objekte i podsisteme za retenziranje poplavnih talasa u okviru sistema. Uzvodno razdvajanje većih oticaja kišnih voda je predviđeno na slivovima potoka uzvodno od gradskog parka, kod gradskog stadiona Branika, kod potoka Zokova graba u Melju i dr.

Savremenim sistemima se kišne vode prikupljaju i prečišćavaju što uzvodnije, već na krovovima, u slivničkim i revizionim oknima, u parkovima, u kolovozima ili pored oticajnih površina u infiltracionim jarkovima i pre nego što se kišne vode sprovedu u cevni sistem. Takođe se zahvaćeni veći oticaji retenziraju i prečišćavaju u stalnim ili povremenim jezerima – retenzijama. Računski ili merodavni povratni period su veći i dati su standardima EN 754 [2].

## MATEMATIČKO MODELIRANJE

Postoje, u načelu, dva pristupa za izučavanje funkcionisanje složenog kombinovanog kanalizacionog sistema. To mogu biti merenja padavina – kiša, proticaja i parametara kvaliteta, i matematičko modeliranje procesa oticaja, kanaliziranja kišnih voda i kanaliziranja industrijskih i komunalnih voda. Najbolje je kada se u isto vreme mogu organizovati i merenja i

Bearing in mind that the sewage system in Maribor belongs to a combined type of sewer systems, the oldest part is already 150 years old, and that construction was done at various stages of city development, it was expected that the inspection will disclose a large number of objects with different functions and criteria for their placement in the system. Among others, these are: water catchment objects for permanent or temporary streams in the sewage system in the northern and southern sections of initial sewage, gathering-dividing objects where the outflow from several pipes is being gathered, and then distributed to several other pipes, various forms of overflow, and finally, different types of outlets in the river Drava and energetic channel of hydroelectric plant Zlatoličje. In the system there are different kinds of pipes, due to a development of technology and knowledge. This knowledge is still checked and incomplete.

The main characteristic of the sewer system is the level or degree of rainfall protection, which is commonly quantified by proper feedback periods or probability of occurrence of rainfall periods and flooding, from which the population and property are being protected by rainfall drainage system, combined or separate. The task of classical sewerage system is acceptance of surface rain waters by drains (from roofs, streets, plateaus, and green areas, in the case of severe rainfall), the fastest drainage into sewage pipe system and discharge into recipients, without treatment or outflow retention. Calculative feedback period of the classical system is 2 years, for combined systems is 5 years, and for the main - large collectors is 10 years or more. As for the catchment of (non-) urban streams - intermittent or permanent, in the sewage system can be expected flooding of greater feedback periods than 10 years, for example 20, 50 and 100 years and, therefore it is necessary to construct objects and subsystems for retention of flood waves within the system. Upstream separation of larger rainfall outflows is predicted on the stream basins upstream from the city park, near the city stadium of Branik, near the stream Zokova Graba in the Melje, etc.

With contemporary systems, rainfall waters are collected and treated as much upstream as it is possible, on the roofs, in drains and retention shafts, in parks, in the pavement or next to outflow areas in infiltration dikes and before the rainfall waters are drained to pipe system. Also, larger outflows are retained and treated in intermittent or permanent lakes – retentions. Calculative feedback periods are greater and are given in standards EN 754 [2].

## MATHEMATICAL MODELING

There are, in principle, two approaches to the complex functioning of the combined sewer system. These may be measurements of precipitation - rain, flow and quality parameters, and mathematical outflow process modeling, drainage of rainfall, mu-

uspostaviti matematički model radi tariranja realnih pojava u konkretnim uslovima. Prednosti simultanog praćenja rada kanalizacionog sistema, merenja proticaja i simulacija na matematičkom modelu su brojne, kao npr. neposredno se uočavaju nedostaci, pojave se proveravaju na modelu i projektuju rekonstrukcije proširenja i sl.

Merenje padavina se ne može smatrati reprezentativnim jer je jedina službena kišomerna stanica ARSO na mariborskom aerodromu, cca 15 km južno od grada. U gradu postoji još „neslužbena“ stanica u južnom delu, u blizini Mariborskog vodovoda i jedna na PPOV.

Ciljevu uspostavljanja matematičkog modela su:

1. Određivanje kritičnih mesta u kanalizacionom sistemu i određivanje verovatnoće pojave izlivanja iz kanalizacije i plavljenja.
2. Ispitivanje funkcionisanja preliva u funkciji obezbeđenja od izlivanja zagađenih voda u Dravu i otvorene kanale kao recipijente.
3. Eliminacija čistih voda iz sistema kako bi se smanjilo opterećenje na PPOV.
4. Mogućnost adekvatnog razdvajanja čistih od više zagađenih voda na obodu mariborskog polja
5. Ispitivanje rada postojećih kolektora i preliva promenom dinamičkog modela kanalizacije.

U konkretnim uslovima iskustva stečena merenjima i uspostavljanjem matematičkog modela kanalizacionog sistema u Mariboru bazirana su, pre svega, na detaljnoj inspekciji praktično svih značajnih objekata (što predstavlja oko 600 radnih dana), i još uvek nisu rešene sve nedoumice. Takođe je vizuelno utvrđena i pogonska hrapavost većih i starijih cevi i kolektora, kao i karakteristike prelivnih građevina u kanalizacionom sistemu u Mariboru.

Na slici 1 se može videti dispozicija kanalizacionog sistema sa glavnim kolektorima, sve do PPOV, recipijent reka Drava i energetski kanal hidrosistema. Dispozicija sistema ukazuje da se sistem bazira i kontroliše u hidrauličkom smislu, ali i sa aspekta kvaliteta, na vekom broju preliva na glavnim kolektorima. Bitna karakteristika je pozicija preliva u odnosu na energetski kanal i Dravu, tačnije uticaj nivoa u dva recipijenta kojima se kontroliše prelivanje na objektima.

Na slici 1 su dati glavni kolektori: Levoobrežni (severni) – Lo, koji se završava c.s. u Melju, Desnoobrežni, Tezno I i II i drugi, ali se u ovom radu primena matematičkog modela ilustruje opisima o dva kolektora. Treba uočiti da se prelivi na levoj obali prelivaju u Dravu, dok se prelivi kolektora Tezno I prelivaju u Stražunski kanal (o čemu više reči kasnije).

Uočeni problemi su brojni, iako je izgrađeno PPOV što za mnoge predstavlja definitivno rešenje pitanja

municipal and industrial waters. Best situation is to organize in the same time both measurements and mathematical modeling in order to treat real phenomenon in concrete conditions. Advantages of simultaneous monitoring of sewer systems, flow measurement and simulation of mathematical model are numerous, such as: direct observation of defects, phenomenon is verified on the model, projection of future reconstruction, etc.

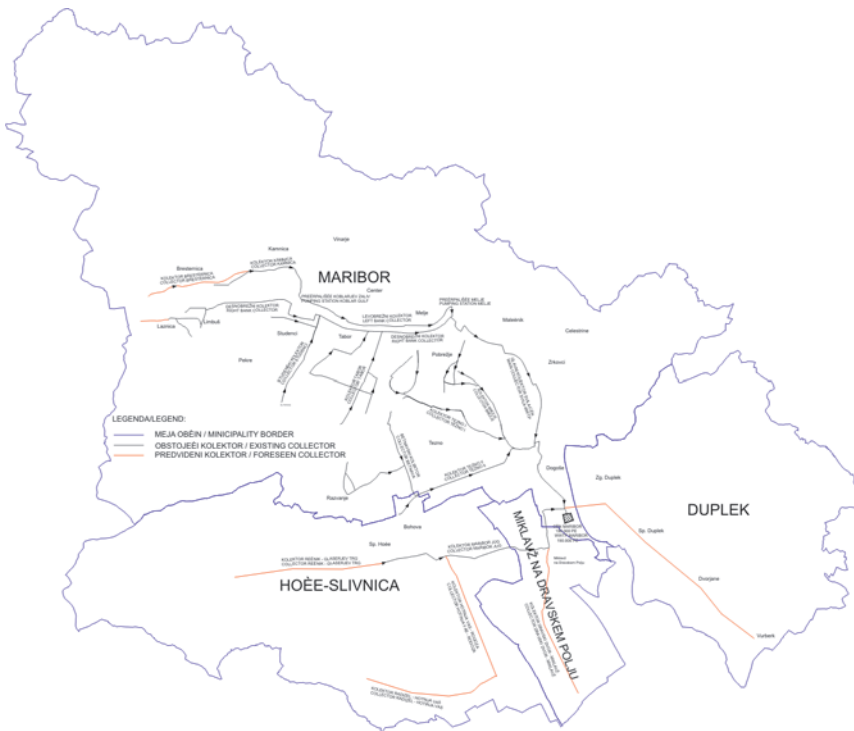
Measurement of rainfall can not be considered representative because the only official rainfall gauging station ARSO (The Environmental Agency of the Republic of Slovenia) is in Maribor airport, approximately 15 km south of the city. There are more "unofficial" stations, such as those in the southern part, near Maribor Waterworks and one on the WWTP.

The objectives of establishing the mathematical model are:

1. Determination of critical points in the sewer system and determination of the probability of occurrence of overflows from sewer system and flooding.
2. Examination of overflow in the function of securing the polluted water from being discharged into the river Drava and open channels as recipients.
3. Elimination of clean water from the system in order to reduce the burden of WWTP.
4. The possibility of an adequate separation of clean from more polluted water at the edge of Maribor area.
5. Examination of the existing collectors and overflows by changing the dynamic model of sewer.

In concrete conditions experiences gained by measurements and establishing mathematical models of sewer system in Maribor, are based primarily on the detailed inspection of practically all major objects (which represents about 600 work days), but it still have not solved all the doubts. Also, there was visual determination of surface roughness of larger and older pipes and collectors, and characteristics of overflow objects in the sewer system in Maribor.

In Figure 1 we can see disposition of sewer system with the main collectors, up to WWTP, recipient river Drava and energetic channel of the hydro system. Disposition of the system indicates that the system is based and controlled in the hydraulic sense, and also from the aspect of quality, on the large number of overflows on the main collectors. Relevant characteristic is the location of overflows in relation to the energetic channel and river Drava, namely the impact of levels in the two recipients which is controlled by the overflow objects.



Slika 1. Dispozicija kanalizacionog sistema, položaj recipijenta i granice naselja u Mariboru

Figure 1. Disposition of sewer system, location of recipients and city limits of Maribor

In Figure 1 are given the main collectors: Levoobrezni (north) - Lo, ending in Melje, Desnoobrezni, Tezno I and II and others, but in this paper the application of mathematical model is illustrated with description of the two collectors. It should be noticed that the recipient of overflows on the left bank is river Drava, while the recipient of the collector Tezno I is Strazun channel.

The observed problems are numerous (despite constructed WWTP which would be an ultimate solution for urban waste waters for all time), such as: overflowing on some overflows during even small rainfalls, and on other side very small overflowing during the severe rainfalls, distribution of the total inflow in certain objects – shafts, on two or more drains, without an analysis of real drainage power, or even appropriate geometry .

otpadnih voda u nekom gradu za sva vremena: prelivanje na nekim prelivima za vreme pojave i slabijih kiša, dakle u periodima kada ne bi trebalo da preliava, na drugim prelivima, pak, veoma malo prelivanje pri pojavi vrlo jakih kiša, izlivanje znatnih voda iz kanala za kišne vode, raspodela ukupnog doticaja u nekim objektima – oknima, na dva ili više odvoda, bez analize realnih odvodnih moći, pa čak ni odgovarajuće geometrije...

Na slici 2 je prikazan deo kolektora Tezno I sa prelivima i Stražunskim potokom kao recipijentom prelivenih voda.

Na pojedinim delovima grada su tokom većih padavina uočeni problemi, kao što je izlivanje kanalisane vode iz sistema, značajne količine vode na kolovozima, i sl. korišćenjem razvijenog matematičkog modela su simulirane i potom predložene rekonstrukcije na pojedinim podsistemima, i to: Tomšičeva, Taborški kolektor, Štrosmayerova i Svetozarevska [4].

Na sledećoj slici 4. su prikazani osnova i presek tipičnog preliva koji je projektovan i dimenzionisan prema klasičnim procedurama ATV [6]. Za modeliranje

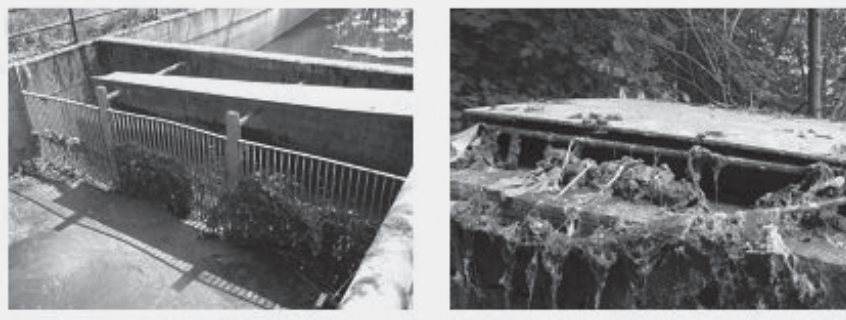


Slika 2. Deo kolektora Tezno I sa dovodima sa podslivova do preliva i ispustima u Stražunski kanal

Figure 2. Part of the Tezno I collector with inflows from substreams to overflows and outlets in the Strazun channel

Figure 2 shows part of the collector Tezno I with overflows and Strazun stream as the recipient of overflow water.

In some parts of the city some problems can be observed during major rainfalls, such as overflowing of drained water from the system, significant amounts of water on the pavements, etc. Using the developed mathematical model some reconstructions are then simulated and suggested, such as reconstructions of the following objects and streets: Tomšiceva st., Tabor collector, Strosmayer st. and Svetozarevska st.[4].

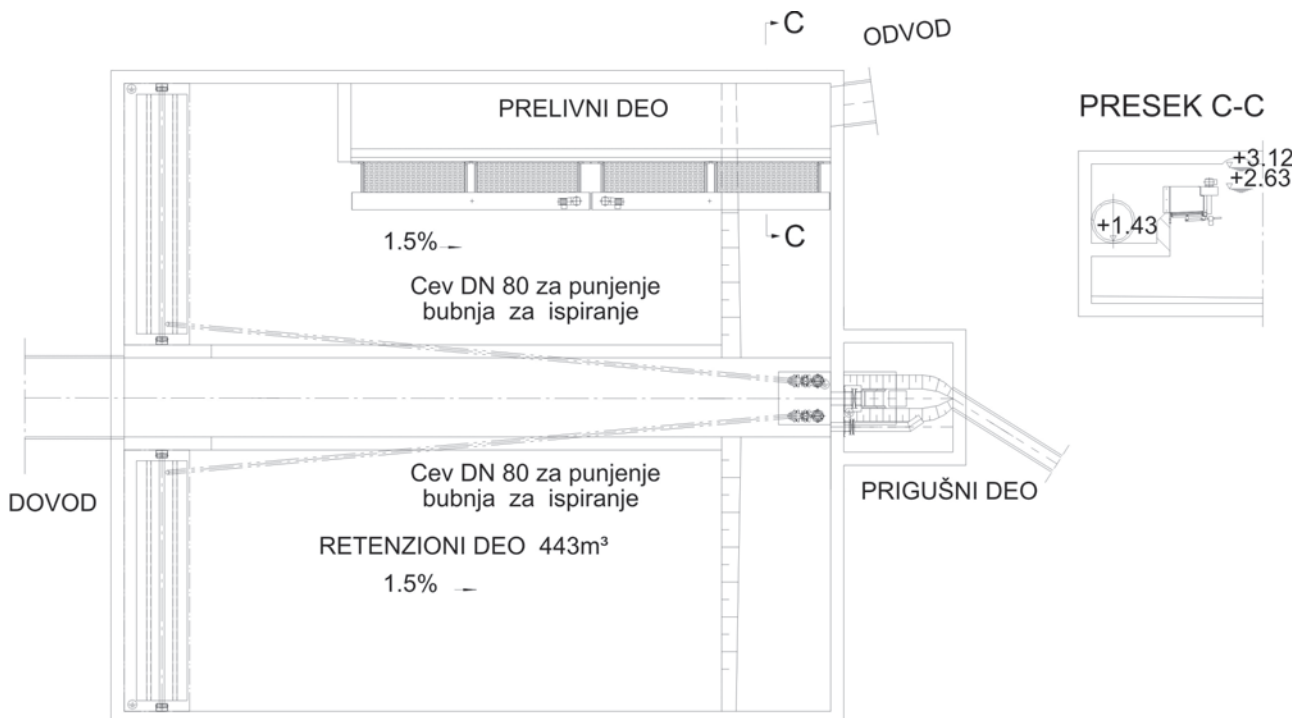


Slika 3. Dva karakteristična preliva na kolektorju Tezno I ispred Sražunskog kanala (v.sl.2)

Figure 3. Two characteristic overflows on the Tezno I collector before Srazun channel

The following Figure 4 shows a basis and cross-section of a typical overflow which is designed and dimensioned according to conventional procedures ATV [6]. SWMM program package is selected for the modeling of outflow process and sewer system [7]. The modeling used the following background:

- Topographic - digitized maps, sewer objects, streets, objects and orthophotos.
- All available installation cadastres, with additional re-



Slika 4. Osnova i presek C-C jednog tipičnog preliva projektovanog po klasičnoj proceduri ATV [6]  
Figure 4. Basis and section C-C of one typical overflow project using the conventional procedure ATV [6]

procesa oticaja i sistema kanaliziranja izabran je programski paket SWMM [7]. Za modeliranje su korišćene sledeće podloge:

- Topografske – digitalizovane karte, objekti kanalizacije, ulice, objekti i orto fotografije.
- Katastar instalacija, svih raspoloživih, uz dodatna snimanja.
- Rezultati merenja – zapremine doticaja, potrošnje vode, proticaja na pojedinim profilima.
- Hidrogeološke, hidropedološke i geomehaničke podloge.
- Planovi predviđene urbanizacija i izgradnje u Mariboru.
- Građevinske podloge postojećeg kanalizacionog sistema, uključujući projekte objekte i PPOV.

Date visine kiše za data trajanja mogu se preračunati u merodavne intenzitete. Međutim, realne kiše, koje

cording.

- Measurement results – inflow volume, water consumption, water flow in some sections.
- Hydrogeological, hydropedologic and geomechanic background.
- The plans for urbanization and construction in Maribor.
- Construction of the existing sewer system, including projects and objects of WWTP.

Observed amounts of rainfalls for subjected periods of time can be converted into proper intensity. However, the real rainfalls, which are represented by calculated rains, are extremely unequal in space and time. On several occasions, different amounts of rainfalls were observed on various rainfall gauging stations. This phenomenon will be investigated in the following stages for finer outflow analysis in the sewer system.

*Tabela 1: Visina eksteremnih padavina u (mm) po Gumbelovoj metodi od ARSO [1] Kišomerna stanica MARIBOR – Tabor, period : 1948 – 2006.*

*Table 1: Amount of extreme rainfalls in (mm) using Gumbel method according to ARSO [1] rainfall gauging station in Maribor - Tabor, period: 1948 – 2006.*

Trajanje(min)	2 god	5 god	10 god	25 god	50 god	100 god
T (min)	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year
5 min	8	11	12	15	17	18
10 min	11	15	18	22	24	27
15 min	14	19	23	27	30	33
20 min	16	22	26	30	34	38
30 min	18	25	29	35	39	43
45 min	21	29	34	40	44	49
60 min	23	31	36	43	48	53
90 min	26	35	41	49	55	60
120 min	28	37	44	52	58	64
180 min	32	41	47	55	61	67
240 min	35	45	51	59	65	71
300 min	38	48	54	62	68	74

su reprezentovane računskim kišama su izuzetno neravnomerne po prostoru i po vremenu. U više navrata, na mnogim lokacijama su osmotrene različite visine kiša na kišomernim stanicama. O tom fenomenu će se povesti računa u sledećim fazama radi finije analize oticaja u kanalizacionom sistemu.

Hidraulički proračuni su urađeni za različite padavine i to povratnih perioda od 2, 5 i 10 godina i trajanja do 90 minuta.

Na slici 5 je shematski prikazan rad rasteretnih preliva prema klasičnom modelu bez retenziranja – usporenja i smanjenja maksimuma doticaja do preliva prema klasičnom dimenzionisanju i preliva sa retenzionim bazenom kada se smanjuju maksimalni doticaji.

## PRVI TALAS – PRVO SPIRANJE („FIRST FLUSH“)

Prvi talas (u terminologiji „first flush“) predstavlja prvi deo kišnog oticaja koji je najzagađeniji, jer spirataložene zagađujuće materije kao što su teški metali, organski otpaci i dr; smatra se da koncentracija mnogih zagađenja opada nakon izvesnog klimaksa, kao što je dato na slici 6, na kojoj je karakterističan primer oticaja usled kiše koja je padala u periodu od oko 6 sati i oticaja od te kiše na izlazu iz kanalizacije. Date su slike uzorkovanog oticaja gde se po mutnoći vidi da već posle 1 sat dolazi do znatnog bistrenja a da je zatim voda sve čistija. Taj deo oticaja, u ovom primeru je to prvi sat, se prečišćava a taj deo hidrograma je zapremina prvog talasa [3].

Kod analize kriterijuma za prelivanje analizirana su dva poznata kriterijuma da od ukupnog ukupnog doticaja za vreme kiše na prečišćavanje se upućuje

Hydraulic calculations were made for different precipitation and feedback periods of 2, 5 and 10 years and up to 90 minutes.

In Figure 5 is schematically shown the work of dividing overflows according to conventional model – without retentions and reductions of maximum inflow using conventional dimensioning and overflows with retention shafts with reduced maximal inflows.

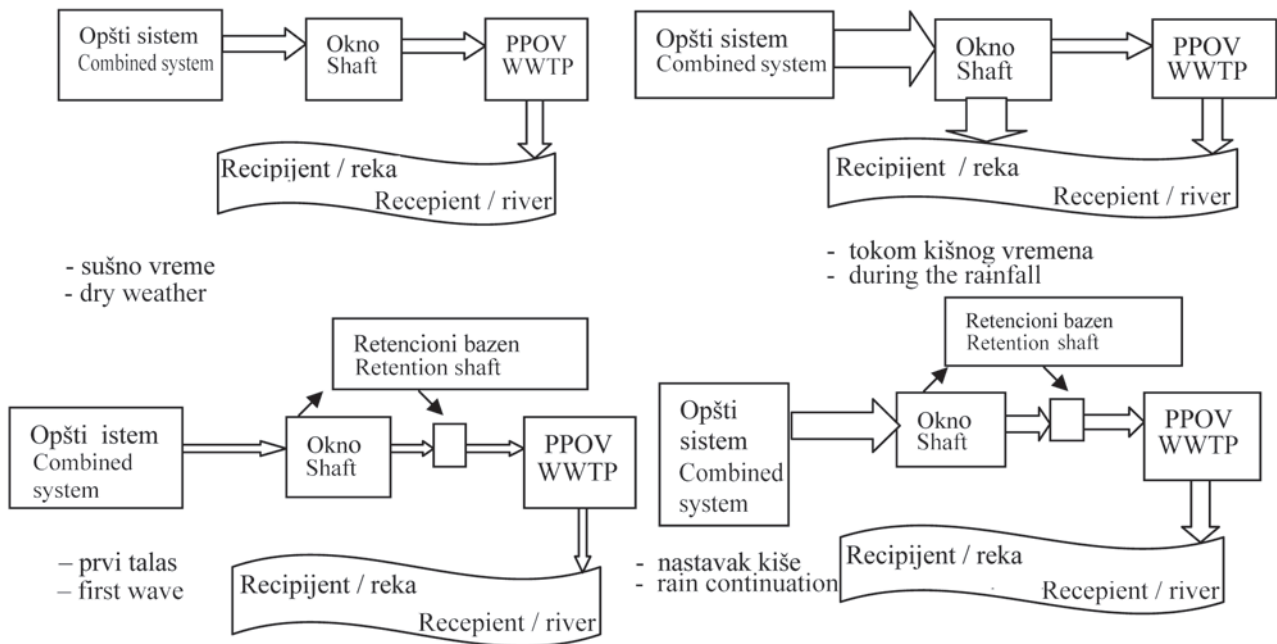
## FIRST WAVE – FIRST FLUSH

First wave (in the terminology "first flush") is the first part of the rainfall outlet which is highly contaminated, because it flushes the aqueous pollutants such as heavy metals, organic waste, etc. It is believed that the concentration of many pollutions decreases after a certain climax, as given in Figure 6, which is a characteristic example of rainfall outflow in the period of about 6 hours and outflow of that rainfall at the sewer outlet. In the following, there are pictures of sampled outflow, where we can observe a significant purification of water using the measured turbidity. Date of swelling sampled images where the fuziness seen that already after 1 hour there is a significant clarification and that then all the water cleaner. That part of outflow, in this example it is the first hour, is treated and that part of hydrograph is the volume of the first wave [3].

Two known outflow criteria were analyzed; during the rainfall first 15 l/s/ha (according to the ATV), or initial 15 mm/h (EPA) are treated [3], [5].

The main objectives for establishing works are following:

- Establishing general criteria for the calculations and dimensioning of elements and systems, in order to improve the functioning of security systems. This would mean prevention of frequent, even unnecessary overflow in the river Drava and energetic channel even for the rainfall probability of 20% (5 years) or 10% (10 years) which is accordance to the latest EN 754 recommendations. Also, to define probable overflow areas and to determine the economic protection criteria. These criteria must be economically justified which could be interesting for countries with these problems. Selective application of EN 754 requires the application of proper hydrographs



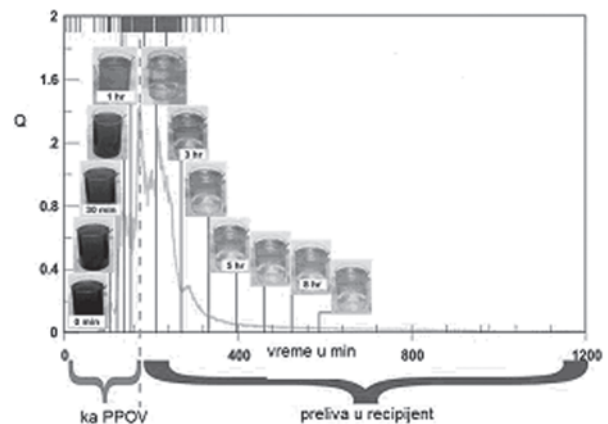
Slika 5: Funkcionisanje - rad rasteretnog preliva u sušno vreme ili tokom kiše, odnosno sa retenzionim bazenom u sušno vreme ili pri pojavi kišnog oticaja

Figure 5: Operation of dividing overflow in dry weather or during the rainfall, with retention shaft at dry weather or during the rainfall

prvih 15 l/s/ha (prema ATV), odnosno početnih 15 mm/h (EPA) [3], [5].

Osnovni ciljevi uspostavljanja radova su sledeći:

- Utvrđivanja najpodesnijeg opšteg kriterijuma za proračune i dimenzionisanje elemenata i sistema ali i radi povećanja funkcionisanja sigurnosti sistema. To bi značilo sprečavanje čestih, čak nepotrebnih prelivanja u Dravu i energetske kanal čak i za kiše verovatnoće 20% (5 godina p.p.) ili 10% (10 godina p.p.) što je u skladu sa najnovijim preporukama EN 754. Takođe, da se za različite verovatnoće definišu verovatne zone izlivanja i utvrde ekonomski kriterijumi zaštite. Za ove kriterijume se sagledava ekonomska opravdanost što bi moglo da bude posebno interesantno u državama u kojima predstoji rešavanje ovakvih problema. Selektivna primena EN 754 zahteva primenu merodavnih hidrograma različitih povratnih perioda za pojedine posebno značajne delove grada, podvožnjake, saobraćajnice...
- Ekonomičniji pristup korišćenja kanalizacionog sistema kroz usporeno oticanje kišnih voda na otvorenim ili zatvorenim površinama na slivu i retenziranja kanalisnog oticaja i ispuštenih komunalnih voda u cevovodima pogotovu većih zapremina, radi formiranja što većeg retenzionog prostora i smanjenja maksimuma hidrograma oticaja.
- Precizna analiza tzv. „prvog talasa spiranja“ (first flush) radi smanjenja prelivanja zagađenih voda u recipijente (uz proveru kriterijuma koje važe u razvijenim zemljama) za sisteme atmosferske kanalizacije i za kombinovane sisteme, sa tretma-



Slika 6. Shematski prikaz hidrograma, promene mutnoće i prvog spiranja (first flush) [4]

Figure 6. Schematic view of hydrograph, change of turbidity and first flush [4]

of different feedback periods for some particularly significant parts of the city, underpasses, roads ...

- Economical approach to the operation of sewer system through reduced rainfall outflow in open or closed watershed and retention of drained outflow and discharged municipal waters in pipelines with larger volumes, in order to form the larger retention space and reduce the maximum of outflow hydrograph.
- Accurate analysis of the first flush in order to reduce the overflow of polluted waters into recipients (regarding the criteria which are applied in developed countries) for atmospheric and combined sewer systems, with waste water treat-



nom zagađenih voda i prema uslovima zaštite recipijenta. Nekada su preliivi projektovani i izgrađeni da sprovedu određeni – definisani broj preliivanja tokom godina, dok je savreni pristup potpuno drugačiji [2], [3].

- Formiranje uslova za izradu kriterijuma o zagađenim vodama, merenjima i modeliranju.

Između ostalih, usvojeni su sledeći parametri za pojedine faze oticanja sa slivnih površina:

- Parametri po Hortonu za maksimalnu (u opsegu od 5 do 20 mm/h) i minimalnu (u opsegu od 1 do 3 mm/) infiltraciju za razne terene na različitim podslivovima, uz različite kapacitete tla.
- U centralnim zonama nepropusne površine na podslivovima su do 70%, ali su druge i manje.
- Pad je od 1% sa platoa i krovova, ali su pojedine ulice i nepropusne površine nagiba do 20%.
- Retenzioni kapacitet terena na nepropusnim površinama je 5 mm, sa npr. 75% površine, a o na 25% površine (krovovi), dok je na propusnim površinama retenzioni kapacitet i do 15 mm.
- Obuhvaćeno je 0.73 ha površina sa kojih se voda uvodi u sistem ispred preliiva.

Na slici 7 je prikaz karakterističnih i vrlo korisnih rezultata matematičkog modeliranja oticaja u levoobrežnom kanalu u profilu c.s. Melj, tj. u c.s. Melje. Mogu se videti dijagrami zapremina doticaja, isticanja, plavljenja i zadržavanja u sistemu na levoj obali Drave [5].

Modeliranje nije završeno, naprotiv. Poslednji događaji od kraja maja 2009. g. kada je došlo do plavljenja na nekoliko lokacija, i to: iz Stražunskog kanala, na slivu Tržnice na Taboru, na slivu Razvanja i dr. zahtevaju nove proračune. Padavine su izmerene kod PPOV: dana 22.5.2009. od 36.5 mm, a dana 26.5.2009 ukupno 88.5 mm. Analiza oticaja sa različitih pripa-

ment according to the conditions of recipient protection. In the past, overflows were designed and constructed to implement certain - defined number of overflows during the years, while contemporary approach is completely different [2], [3].

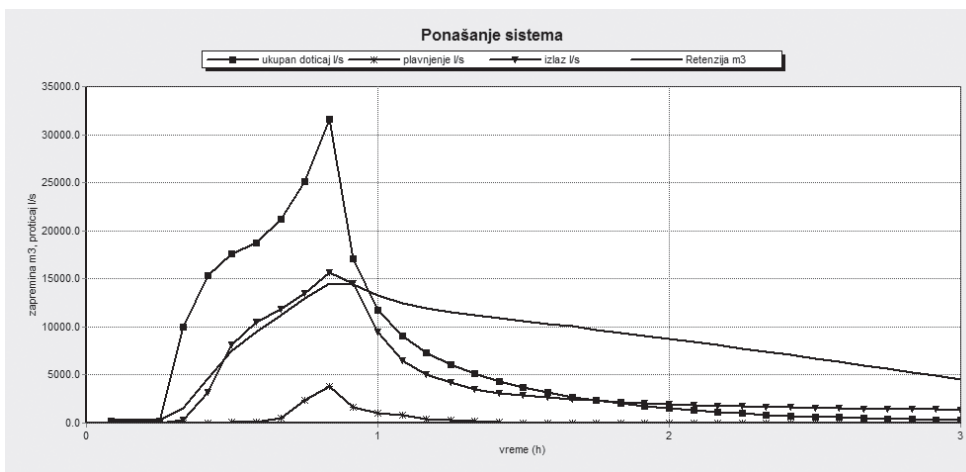
- Creating the conditions for making the criteria on waste waters, measurements and modeling.

Beside others, following parameters are adopted for each phase of overflow:

- Parameters per Horton for maximum (in the range of 5 to 20 mm / h) and minimum (in the range of 1 to 3 mm /) infiltration for various terrains on different watersheds, with different soil capacities.
- In the central zones impermeable surface on sub-watersheds are up to 70%, but less elsewhere.
- The fall is 1% from the plateau and roofs, but some streets and impermeable surface slopes up to 20%.
- Retention capacity of impermeable surfaces is 5 mm, with eg. 75% of the surface, and 0 mm on 25% of the surface (roofs), while on the permeable surfaces retention capacity of up to 15 mm.
- 0.73 ha of the surface from which water is drained into the system before the overflows, is taken into the consideration.

In Figure 7 is a view of the characteristic and very useful results of mathematical outflow modeling in the Melje section of Levoobrežni channel. Diagrams of the inflow volume, outflow, flooding and retention in the system on the left bank of the river Drava is also presented [5].

Modeling is not completed, on the contrary. The last events at the end of May 2009 when there was flooding in several areas, namely: from the Strazun channel, in the watershed of Trznica on Tabor, in the watershed of Razvanj, etc., require new calculations. Precipitation were measured at WWTP: on 22/5/2009 were 36.5 mm, and on 26/5/2009 were in total of 88.5 mm. Outflow analysis on different surfaces, both individual and mutual, which are connected with parallel pipes or in series, to the revision shafts, using the outflow calculation method TR 55 (SWMM), respecting the infiltra-



Slika 7. Levoobrežni kanal – profil c.s. Melje: Zapremina ukupnog doticaja, zapremina isticanja sa sliva, zapremina retenzirana u sistemu i zapremina poplavnih voda za 2 g. kiše trajanja 40 minuta [5].

Figure 7. Levoobrežni channel – profile of the p.s. Melje: Amount of total inflow, volume of outflow from the watershed, retained volume in the system and volume of rainfall for 2 years during the 40 minutes [5].

dajućih površina, kako s pojedinačnih tako i zajedničkih, koje su povezane poralnim cevima ili u seriji, na reviziona okna, proračunom oticaja metodom TR 55 (SWMM), uz poštovanje infiltracionih karakteristika tla, prostornu distribuciju propusnih i nepropusnih površina, retenziranja vode na slivu, isparavanja i dr, u dve faze:

- Analiza protoka u sistemu na bazi kompletnih Saint Venant-ovih jednačina, tako da se osigura jednačina kontinuitetna uz izjednačavanje energije u svim preseccima od značaja (dinamički talas).
- Pri proračunu se računaju zapremine – kontrolne, u cevima, poplavne, istekle iz sistema.

## ZAKLJUČAK

Rad na ovom projektu zahteva složeni pristup koji uključuje neprestanu doradu podloga, modeliranje, merenje, praćenje efekata pri pojavi realnih kiša i oticaja, pa i poplava, radi kompletiranja i što boljeg upoznavanja funkcionisanja kanalizacionog sistema, da bi se parametri pojedinih podmodela što realnije procenili i potom koristili za buduće uslove.



Slika 8. Prelivanja za vreme jakih kiša u junu 2009. g. koje je poslužilo za modeliranje

Figure 8. Overflowing during the severe rainfall in the June 2009, which was used for modeling

U prvom koraku su data iskustva i zaključci u primeni razvijenog matematičkog modela SWMM:

1. **Model je pokazao slaba mesta u sistemu i pomogao da se da predlog poboljšanja**, odnosno da se urade projekti višeg nivoa sa preciznijim graničnim uslovima.
2. Ustanovljeno je kakvi su problemi sa podlogama, prvenstveno katastrom instalacija i postojećim objektima i iste su za ovaj projekat doradene u velikoj meri.
3. Sa ovim modelom koji je razvijen po pojedinih podslivovima je moguće uraditi parcijalne analize rizika od plavljenja za razna područja u Mariboru, ali i efekte buduće urbanizacije, odnosno definisanje urbanističkih uslova za izgradnju novih objekata.
4. Model daje osnov za dalja unapređenja koja su uslovljena sistemskim merenjima količina i kvaliteta, razvojem i tehničkim rešenjima

tion soil characteristics, spatial distribution of permeable and impermeable surfaces, water retention in the watershed, evaporation, etc., can be divided in two phases:

- Watreflow analysis on the basis of complete Saint Venant equations, in order to ensure continuity equation with equalization of energy in all significant sections (dynamic wave).
- Volumes – controlled, in pipes, flooding, outflowed from the system are taken into consideration during the calculation.

## CONCLUSION

Work on this project requires a complex approach which involves constant refinement of background,

modeling, measuring, monitoring of the effects during the real rainfall and outflow, and floods, in order for better understanding of sewage system, for better estimation of parameters of certain sub-models and their usage for future conditions

In the first step are given experiences and conclusions in applying the developed mathematical model SWMM:

1. **Model showed weak places in the system and helped to improve the suggestions**, or to make projects with higher levels of precise limit conditions.
2. Problems with backgrounds were determined, primarily with the installations cadastral and existing objects and these were corrected.
3. With this model which has been developed by individual sub-watersheds, it is possible to make partial flooding risk analysis for various areas in Maribor, and also the effects of future urbanization, and the definition of urban conditions for the construction of new facilities.
4. Model provides a basis for further improvements which are conditioned by the system measurement of quantity and quality, development and improvement of technical solutions on overflows, collecting missing

unapredjenja rada na prelivima, prikupljanjem nedostajućih podloga iz katastra, a prvenstveno podataka o objektima, detaljnijom budućom urbanizacijom.

5. Model bi u budućnosti pored simulacionog mogao da bude i upravljački naročito po pitanju zapremina, rada crpnih stanica i kontrolnih zatvarača.

U projektu koji se još radi predložene su brojne mere i radovi, prema sledećem sadržaju:

1. Promena kote preлива ili Q-H krive (uz regulatore kote prelivanja kod Ul. Štrosmajera).
2. Izrada novih preliva.
3. Regulisanje proticaja u kanalima, uz ispuštanje iz retenzija u kolektore.
4. Zamena cevi u kanalima ili izrada novih kanala.
5. Izrada retenzionih bazena (Jurancić, novi bazeni na kolektoru Tezno I).
6. Promena kapaciteta crpki u crpnim stanicama (c.s. Studenci).
7. Izrada mikroretenzija na nivou kućnih instalacija ili kompleksa.
8. Izrada postrojenja za tretman sa bajpasom.

U sadržaju prijavljenog projekta za kanalizaciju Maribora je oprema za merenje protoka i daljinsku kontrolu i upravljanje. Predviđena oprema sadrži: rastezljiva okna, prigušivače oticaja sa meračima protoka, pomerljive - podesive prelive, merače visine vode – prelivnog mlaza na prelivu i dr. Na retenzionim bazenima: prigušivače, merače protoke kroz prigušivač, merače visine vode na prelivu, merače protoka na ulazu i merače visine vode u bazenu. U crpnim stanicama merače protoka, i kontinualne pluviografe na 6 mesta.

Konačno, krajnji cilj kompletnog i složenog projekta je uspostavljanje modela za upravljanje sistemom mariborske kanalizacije u realnom vremenu, koji će biti koordiniran sa radom PPOV i ARSO modelima prognoze nailaska padavinskih oblaka, radi smanjenja poplava i zagađenja.

background from the cadastre, and primarily data about the objects, and more detailed future urbanization.

5. This simulation model in the future could be control system, especially for the issue of volume, the work of pumping stations and control shutters.

This working project has suggested numerous measures and works, according to the following content:

1. Change of the overflow elevation, or Q-H curve (with regulators of overflow elevation at Strosmajer st.).
2. Construction of new overflows.
3. The regulation of flow in the channels, with drainage from the retention to collectors.
4. Replacement of pipes in the channels or creation of new channels.
5. Construction of retention shafts (Jurancic, new shafts on collector Tezno I).
6. Change of pump station capacity (p.s. Studenci).
7. Construction of microretentions at the level of house installations or complexes.
8. Construction of treatment plants with bypass.

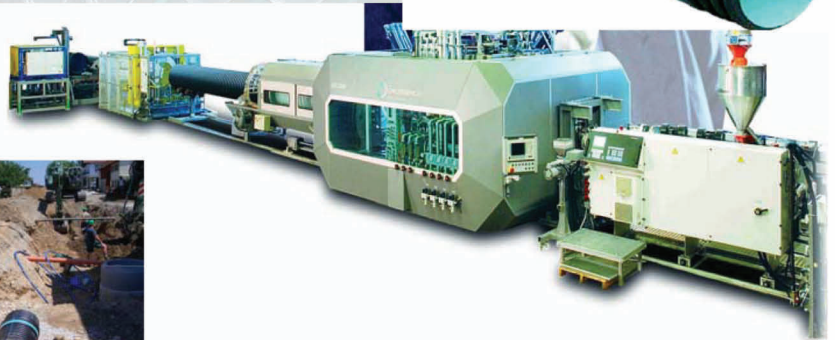
The reported content of the project for Maribor sewage includes the equipment for flow measurement and remote control and management. Predicted equipment includes: dividing shafts, outflow reducers with flowmeters, adjustable overflows, water level meters of overflow stream, etc.; on the retention shafts: reducers, reducer flowmeters, overflow-meters, inflow-meters and flowmeters in the shafts; in pumping station flow meters, and continuous pluviographs in 6 locations.

Finally, the ultimate goal of complete and complex project is to establish a model for system control of Maribor sewerage in real time, which will be coordinated with the work of WWTP and ARSO models of forecasts predictions, in order to reduce flooding and pollution.

## LITERATURA

- [1] ARSO (2007) Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi, Kišomerna stanica Maribor – Tabor, period: 1948 – 2006.
- [2] CEN 752 (1999) Drainage outside buildings, CEN, Brusells.
- [3] Despotović, J. (2009) Kanalisanje kišnih voda, Građevinski fakultet, Beograd.
- [4] Krajnc, U, J. Despotović, Z. Jovanović sa sar. (2006-2009) Matematički model kanalizacionog sistema u Mariboru, IEI – Maribor, CEKIBEO, Građevinski fakultet – Beograd.
- [5] Stenstrom, M. K., Kayhanian, M. (2003) First Flush Phenomenon Characterization, California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis, Sacramento, CA 95814.
- [6] Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo (2001) Zbornik „Građevine u kanalizaciji – Uslovi za projektovanje, hidraulički proračuni i uputstva za konstrukcije“, Beograd
- [7] USA Environmental Protection Agency, SWMM 5.0.

PIPE SYSTEMS  
GIGAPIPE 200 mm – 1.000 mm ID



COMPETENCE HAS A NAME



Contact  
Mr. Edin Mulalic  
Tel. 0043 (1968) 8919  
Fax. 0043 (1968) 8919  
Mobil: 0043 6642833419  
E-Mail [e.mulalic@drossbach.de](mailto:e.mulalic@drossbach.de)