



ANALIZA OSETLJIVOSTI ELEMENATA ZA KONTROLU OTICAJA U SIMULACIONOM MODELU KIŠNE KANALIZACIJE URBANOG SLIVA URBAN DRAINAGE SIMULATION MODEL SENSITIVITY ANALYSIS ON RUNOFF CONTROL ELEMENTS

APSTRAKT

U aktuelnoj projektantskoj praksi modeliranja kišne kanalizacije, bez obzira da li se primenjuje klasični ili alternativni pristup, primenjuju različiti elementi sistema za odvodnjavanje (slivnici, šahtovi, rešetke sa kanalima, kolektori sa otvorima i različiti tipovi izlaznih okana). Elementi na ulazu u sistem kišne kanalizacije predstavljaju elemente za kontrolu protoka, a njihove karakteristike imaju veliki uticaj na kapacitet i osobine projektovanog sistema. Proučavanje hidrauličkih karakteristika ovih elemenata se uglavnom obavlja u pojednostavljenim, laboratorijskim uslovima, a ovako određene karakteristike se koriste u modeliranju realnih, kompleksnih sistema za sakupljanje i odvođenje atmosferskih voda.

Nažalost, u većini slučajeva, laboratorijski testovi ne tretiraju upotrebu ovih elemenata u savremenim sistemima za sakupljanje i odvođenje atmosferskih voda u kojima je dozvoljeno da se deo vode zadrži na ulici i gde se u eksploataciji po principima „dvojnog odvodnjavanja“ može očekivati protok kroz kontrolni element u oba smera tokom epizoda u kojima deo kolektora radi pod pritiskom. Modeliranje sistema korišćenjem alternativnog koncepta obuhvata takođe i primenu principa povezivanja i približavanja mesta nastanka oticaja i mesta njegove infiltracije, što zahteva primenu novih elemenata u modeliranju sistema za sakupljanje i odvođenje atmosferskih voda (npr. primena polu-poroznih trotoara i asfalta), a samo neki od ovih elemenata su ugrađeni u komercijalne softverske pakete za modeliranje oticaja.

Ovaj rad ispituje osetljivost izlaznih rezultata modeliranja dobijenih primenom komercijalnog softverskog paketa StormNet na promenu ulaznih parametara elemenata za prihvatanje površinskog oticaja. U radu su analizirani rezultati modeliranja i neodređenosti vezane za dobijene rezultate (protok, brzina), za različite uslove tečenja (tečenje sa slobodnom površinom ili pod pritiskom, sa ili bez retenziranja na površini) na urbanim slivovima različitim površinama, kao funkcija stepena nepoznavanja (ili pogrešne pretpostavke) o karakteristikama pojedinačnih kontrolnih elemenata drenažnog sistema.

Ključne reči: elementi za kontrolu oticaja u kišnoj kanalizaciji, StormNET, ACO-Hydro

ABSTRACT

In current design practice, regardless if classic or sustainable drainage concept approach is applied in modeling of rainfall-runoff process, various drainage elements are used (gullies, catch basins, grates or slotted inlets with various types of outlets). These elements are drainage controls and their characteristics have significant impact on capacity and system performance. The study of hydraulic characteristics of these elements is mostly performed in simplified laboratory conditions while obtained performance data are used in the modeling process of the real and complex drainage systems.

Unfortunately, in most cases, these laboratory tests do not consider the use of these elements in terms of contemporary sustainable drainage, where it is allowed to retain part of the water on the streets and where „dual drainage“ concept is used, which allows two-way flow through those control elements during the pressurized flows in the collectors. Also, modeling the system using an alternative concept includes drainage water infiltration at the source, which requires the application of new drainage elements in modeling (e.g. semi-permeable pavements and asphalt), and only some of those elements are built-in the commercial software packages for the storm water runoff modeling.

This paper examines the sensitivity of the commercial urban drainage model StormNET regarding the characteristics of the drainage elements used for surface drainage. The paper analyzes the results of the model and the uncertainty of the obtained results (flow, velocity), for different flow conditions (with free surface or pressurized flow, with or without ponding) in urban catchments of different sizes, as a function of the degree of ignorance (or error) of the individual drainage control elements' parameters.

Keywords: drainage control elements, StormNET ACO-Hydro

1. UVOD

Razvoj projektovanja sistema kišne kanalizacije u uslovi-
ma sve veće urbanizacije sliva zahteva iterativni pristup,
sa ciljem da se ograniči količina vode i dužina toka vode
na obodu profila saobraćajnice, kao i plavljenje na naj-
nižim mestima sa dubinama koje neće ometati saobra-

1. INTRODUCTION

The development of a storm drainage design in ur-
ban areas requires a trial and error approach, with the
aim to limit the amount of water flowing along the
gutters or ponding at the low areas to rates and qu-

1,2 Hidroprojekat saobraćaj, Serbia, zeljka.ostojic@hps.rs, sanja.marceta @hps.rs

3,4 University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia,

5 ACO, Belgrade, Serbia,

čaj. Negativnije posledice loše rešenog odvodnjavanja su oštećenja okolnih ili susednih objekata, pogoršanje karakteristika kolovoznog zastora, pogoršanje bezbednosti saobraćaja kao i zastoji usled pojave preteranih, nepotrebnih količina vode na najnižim delovima saobraćajnica ili duž ivičnjaka, uz pojavu prekomernog doticaja u kanalizacioni sistem što doprinosi češćem prelivanju i gubitku vode iz sistema ukoliko se radi o sistemu opšteg kanaliziranja.

Simulacioni modeli za odvodnjavanje sa urbanih slivova su bazirani na konceptu čvorova i veza i sastoje se od tri komponente: hidrološki model – simulacija padavina, evaporacije i infiltracije; model površinskog oticaja – simulacija tečenja po terenu, na površini podsliva; i model tečenja kroz mrežu kolektora – simulacija tečenja vode u sistemu kolektora, sa slobodnom površinom i pod pritiskom. Koncept čvorova i veza se koristi u svakoj od komponenti, što omogućava jednostavno prezentovanje smerova tečenja i dodavanje kontrolnih elemenata u granatim ili prstenastim mrežama. Simulacioni model mora da verno reprodukuje uslove koji se javljaju u sistemu kao što su pojave uspora u uslovima sa ili bez uticaja nizvodnih graničnih uslova, pojava tečenja sa slobodnom površinom ili tečenja pod pritiskom, promena u smerovima tečenja, uticaja peliva, ispusta, pumpanja i retenziranja. Svaka od komponenti simulacionog modela se može primenjivati sa različitim stepenom složenosti u zavisnosti od problema koji treba rešiti modeliranjem, kao i mogućnosti za kalibraciju modela.

Klasičan pristup modeliranju je korišćenje determinističkog pristupa kao polazne osnove u procesu modeliranja, gde su parametri modela i kontrolnih elemenata u napred fiksirani. U ovom radu se analizira osetljivost dobijenog rešenja, odnosno neodređenost izlaznih rezultate modela na bazi procene neodređenosti i grešaka u ulaznim podacima i parametarima modela, posebno paramterima kontrolnih elemenata. U radu je prezentovan model postojećeg sistema za odvođenje atmosferskih voda skladišta u Kraljevu, uz analizu uticaja promene ulaznih parametara na rezultate simulacije. Analizirane su dve kišne epizode:

- Kiša povratnog perioda 2 godine, trajanja 10 minuta, intenziteta 206 L/s/ha
- Kiša povratnog perioda 10 godina, trajanja 10 minuta, intenziteta 311 L/s/ha

Za svaku od ovih kišnih epizoda sproveden je hidraulički proračun za najopterećeniji ugrađeni element linijskog odvodnjavanja, kanal sa rešetkom, koristeći dva programa: Hydro-ACO za uslov neuniformnog protoka sa lateralnim doticajem, i u komercijalnom programskom paketu StormNet, za različite oblike poprečnog profila kanala i različite vrednosti koeficijenta rapavosti, različita plavljenja i nizvodne uslove. Poređenje dobijenih rezultata sa elementima ograničene analize osetljivosti je urađeno samo za slučaj u kome je primenjena kišna epizoda povratnog perioda 2 godine.

antities that will not interfere with traffic. The most destructive effects of an inadequate drainage system are damage to surrounding or adjacent properties, deterioration of the roadway components, traffic hazard and delays caused by excessive, unnecessary ponding in sags or excessive flow along roadways, as well as more frequent overflow from combined sewer systems to the receiving waters.

An urban simulation drainage model is based on link-node concept and it consists of three sub models (hydrological model - simulating precipitation, evaporation and infiltration; surface runoff routing model - simulating hydraulics on the catchments surface; and pipe flow model-simulating the hydraulics in the pipe system). The link-node concept is very useful in representing flow control devices with the possibility to represent branched or looped networks, backwater due to tidal or non-tidal conditions, free surface flow, pressurized flow or surcharge, flow reversals, flow transfers by weirs, orifices, pumping and storage. Each of sub models can be applied with different complexity and accuracy, depending on the problem that should be solved with the model, and calibration possibilities.

Estimation of model output uncertainties is based on errors and uncertainty contributions of the input data and model parameters as a result of used conventional deterministic modeling approach, as a starting point of the modeling process, sensitivity analysis, field measurements, literary reviews and model testing.

This paper presents the model of existing drainage system of warehouse in Kraljevo, with analysis of the effect of input data variations on the results. Two rain gages were analysed:

- Rain gage with the return period of 2 years, duration 10 minutes, precipitation intensity 206 l/s/ha
- Rain gage with the return period of 10 years, duration 10 minutes, precipitation intensity 311 l/s/ha

For each of the applied rain events, the hydraulics calculation were done for the most loaded trench drains in both Hydro - ACO program, for non-uniform flow with lateral inflow, and in commercial package STORM NET (with different channel shapes and roughness coefficients, ponding and downstream conditions). Comparing obtained results with elements of the sensitivity analysis was done only for the rain gage with the return period of 2 years.

2. METHODOLOGY

2.1. Storm drainage inlet structures modeling

Each of the drainage element of real drainage system should have the representative object in link-node

2. METODOLOGIJA

2.1. Modeliranje elemenata ulaza u kišnu kanalizaciju

Svaki element realnog sistema za odvođenje i sakupljanje atmosferskih voda treba da ima odgovarajući objekat kojim je predstavljen u okvirima koncepta modeliranja čvor-veza ili da se može predstaviti kontrolnim pravilom kojim se može verno opisati njegovo ponašanje u realnom sistemu. Elementi ulaza u podzemni, zatvoreni sistem kolektora kišne kanalizacije i mreža kolektora treba da budu projektovani zajedno, s obzirom na njihovu interakciju i međuzavisnost:

1. kolektori mogu biti prazni usled nedovoljne propusne moći elemenata ulaza, i
2. uspor u kolektorima može redukovati efikasnost elemenata na ulazu u sistem, ili prouzrokovati plavljenje, umesto da spreči isto.

Složenost ovih interakcija je takva da je i u slučajevima najjednostavnijih sistema projekat najbolje rešavati modeliranjem.

2.2. Elementi tačkastog površinskog odvodnjavanja

Elementi tačkastog površinskog odvodnjavanja su slivnici sa rešetkama, otvori u ivičnjacima, kolektori sa prorezima i otvori kombinovanog tipa. Ovi elementi imaju ulogu da omogućе da atmosferska voda sa površine terena dospe u zatvoreni sistem podzemnih kolektora. Takođe, ovi elementi se koriste za čišćenje i pregled stanja kolektora.

Element tačkastog odvodnjavanja se može modelirati na dva načina:

- kao objekat sa dve veze, jednom vezom za modeliranje dela oticaja koji dospeva u kolektorsku mrežu i drugom vezom tipa by-pass kojom se modelira deo oticaja koji ne dospeva u kolektorsku mrežu (prolazi pored elementa i nastavlja da teče nizvodno)
- i kao objekat sa samo jednom vezom ka kolektorskoj mreži u slučaju da se nalaze u najnižoj tački saobraćajnice.

Često se projektovanju elemenata ulaza u kolektorsku mrežu ne posvećuje neophodna pažnja, premda oni imaju direktan uticaj na brzinu uklanjanja vode sa kolovoza (ukoliko su ovi elementi nedovoljnog kapaciteta, oni ne mogu da prihvate proračunski oticaj i može doći do plavljenja, pogoršanja uslova bezbednosti saobraćaja tokom kišne epizode), kao i na stepen iskorišćenosti sistema odvodnjavanja (predimenzionisanost nizvodnih deonica kolektorske mreže, s obzirom na nedovoljan kapacitet elemenata ulaza u sistem).

Proizvođači opreme za odvodnjavanje rade eksperimente i nezavisna merenja kapaciteta i hidrauličkih karakteristika elemenata ulaza u svojim laboratoriji-

conceptual model, or at least control rule based on its behaviour in real system. Stormwater inlets and pipe drains have to be designed together because two systems interact as follows:

1. If there is insufficient inlet capacity the pipes will not flow full, and
2. Backwater effects from the pipe drainage system may reduce the effectiveness of the inlets, or cause them to surcharge instead of acting as inlets.

The complexity of these interactions is such that in all but the simplest situations, the design task is best handled by computer models.

2.2. The surface inlet structures

The surface inlet structures considered are grate inlets, curb opening inlets, slotted inlets and combination inlets. These elements present elements of point drainage system and allow surface water to enter the storm drainage system. They also serve as access points for cleaning and inspection.

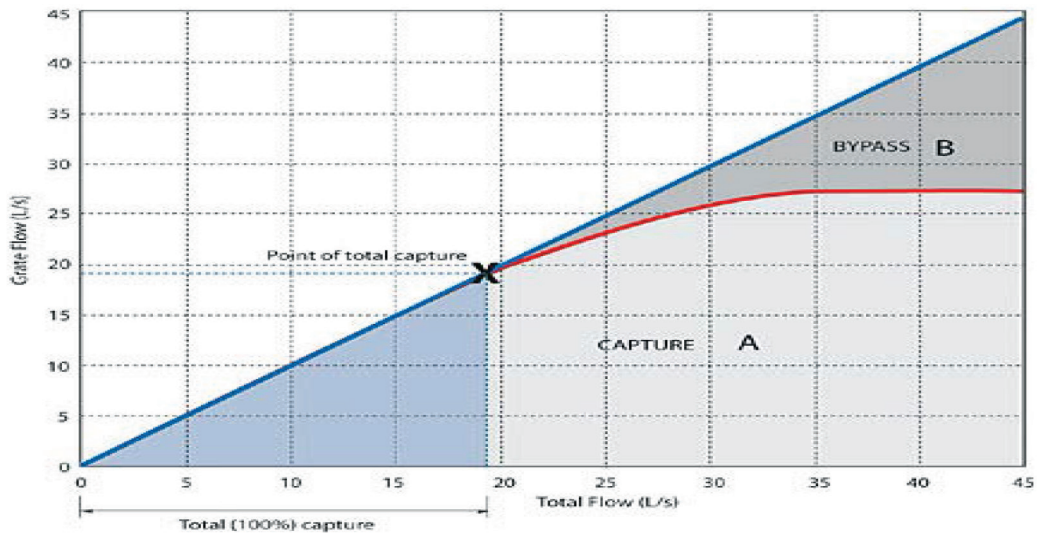
The surface inlet structures can be modeled as special structures with one by-pass link for surface runoff and the other link to the pipe drains, if they are mounted on grade, or as special structures with one link to the pipe drains, if they are mounted on sag. Design of storm drain inlet is often neglected or receives little attention during the design of storm drainage system, although it directly impacts both the rate of water removal from the roadway (if the storm drain inlet is unable to capture the design runoff into the sewer system, roadway flooding and possible hazardous conditions for traffic may occur during a storm event), and the degree of utilization of the storm drainage system (oversizing of sewer pipes downstream of the inlet since the inlet cannot capture the design flow).

Manufacturers of drainage equipment have independently measured, in experiments, the hydraulic intake capacities of drain grates. Tests are usually carried out under various flow rates and catchments approach slopes, until bypass occurred (point at which liquids would pass across grate). The angle of approach section perpendicular to the grate can be critical for grating intake performance. The greater the angle the greater the velocity of liquid is and the geometry (slot shape and dimension) can have a significant effect on the flow capture (splash velocity). This grate slot geometry effectiveness changes with the shape.

Unfortunately, in most cases, laboratory tests do not consider the use of these elements in the sustainable drainage system, where retaining of some water on the streets is allowed and where „dual drainage“ concept is used, which allows two-way flow through those control elements during the pressurized flows in collectors. The typical result of laboratory testing is given at the figure 1, without considering local conditions shown in the figure 2.

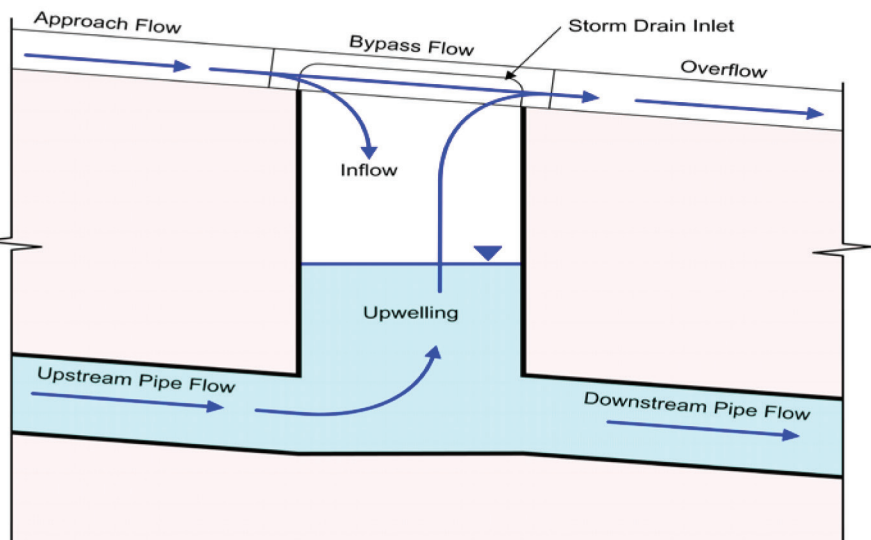


jama. Testiranja se obično rade sa različitim protocima i na eksperimentalnim slivovima različitim padova sve do momenta pojave by-pass protoka (moment u kome voda preskače rešetku i ne dospeva do slivnika). Ugao pod kojim voda dotiče na rešetku može biti kritičan element za ostvarivanje projektovanog prijemnog kapaciteta. Sa povećanjem ugla dolazi do povećanja brzine dotoka i geometrija ulaza (oblik i dimenzije otvora) mogu imati značajan uticaj na prihvatanje dotoka (brzina rasprskavanja). Efikasnost rešetke se takođe menja sa oblikom otvora na njoj.



Slika 1: Tipičan dijagram prijemne moći slivnika (*Grate flow*) u odnosu na dotok (*Total flow*) – preuzeto iz kataloga ACO (*Point of total capture* – tačka zagušenja)
Figure 1: Typical grate performance- Adopted from ACO

Nažalost, u većini slučajeva, ovi laboratorijski testovi ne tretiraju upotrebu ovih elemenata u savremenim sistemima za sakupljanje i odvođenje atmosferskih voda projektovanim po principima održivog razvoja, u kojima je dozvoljeno da se deo vode zadrži na ulici i gde se u eksploataciji po principima „dvojnog odvodnjavanja“ može očekivati protok kroz kontrolni element u oba smera tokom epizoda u kojima deo kolektora radi pod pritiskom. Tipičan rezultat laboratorijskog ispitivanja je dat na slici 1, dobijen bez razmartanja realnih uslova oticaja koji su prikazani na slici 2.



Slika 2: StormNET-om je moguće modelirati dotok ka slivničkoj rešetki (*Storm Drain Inlet*), protok koji prihvata slivnik (*Inflow*), bypass protok, podizanje nivoa usled punjenja slivnika (*Upwelling*) i preliv (*Overflow*), kao i uzvodni (*Upstream Pipe Flow*) i nizvodni protok (*Downstream Pipe Flow*) u kolektorima (Preuzeto iz StormNET USERS MANUAL)

Figure 2: StormNET can model the storm drain inlet approach flows, inflows, bypass flows, upwelling and overflows, as well as upstream and downstream pipe flows

– Adopted from StormNET USERS MANUAL

2.3. Elementi linijskog površinskog odvodnjavanja sa izlaznim oknima

Kanali sa rešetkama i sabirnim oknima predstavljaju elemente linijskog odvodnjavanja. Uobičajno je da ovi elementi linijskog odvodnjavanja dostižu svoj hidraulički kapacitet pre nego što karakteristike primenjene rešetke postanu hidraulički značajne, a sabirna okna se biraju tako da nemaju uticaja na hidrauliku sistema.

Međutim, povremeno u projektantskoj praksi prijemna moć rešetke postaje limitirajući faktor za hidraulički kapacitet odvoda, i to u slučajevima velikog oticaja i padova u slivu, zahvaljujući nedovoljnoj površini otvora rešetke, prekomernom dotoku ili prevelikom poprečnom padu. ACO je razvio program Grating

2.3. Grating trench drains with the outlet elements

The grating trench drains with outlet elements present elements of linear drainage system. Usually the trench drain reaches hydraulic capacity **before** grate

Intake Calculator (GIC) koji proračunava efikasnost odvođenja vode za odabranu rešetku. Ukoliko je zahtevani kapacitet rešetke za prijem oticaja veći od karakteristika same rešetke, proračunava se zapremina oticaja koji obilazi rešetku - bypass (ili dovodi do lokalnog plavljenja, otkaza sistema). Potrebni ulazni podaci za proračun su dužina kanala sa rešetkom, dužina pravca dominantnog doticaja i širina sliva, vrsta i tip površina okolnih trotoara, intenzitet padavina, intenzitet kiše, poprečni pad profila u kome je ugrađena rešetka i tip rešetke koja je ugrađena.

Proizvođači linijskih kanala sa rešetkama obično tvrde da se kanali mogu dimenzionisati za uslove ustaljenog jednolikog tečenja pa se propusna moć obično računa po Manning-u. To predstavlja veoma pojednostavljen pristup, karakterističan za projektovanje i dimenzionisanje pozemnog dela sistema. U uslovima ustaljenog, jednolikog tečenja ne obračunava se uticaj lateralnog dotoka koji dospeva do kanala (preko dela rešetke), pa se mogu dobiti pogrešni rezultati koji su potencijalno opasni (plavljenje i oštećenje sistema). Za proračun ustaljenog jednolikog tečenja se proračun protoka zasniva na jednačini $Q=v*A$, a pad kanala S je činilac u Manningovoj jednačini. ($Q=(1/n) AR^{2/3} \times S^{1/2}$). Za padove čija je vrednost bliska nuli ne mogu se sračunati dubine vode, pa se ne može dimenzionisati ni kanal, brzina tečenja teži nuli a realizovane dubine vode su precenjene, što daje kanale većih dimenzija, koji su samim tim i skuplji. Kada je pad kanala veliki, ovakav proračun daje potcenjene dubine kanala, što kao rezultat može imati plavljenje. Proračunom ustaljenog, nejednolikog tečenja za delove zapremine vode koja se transportuje kanalom uz neprekidno dodavanje dela zapremine koja je prikupljena rešetkom duž kanala – lateralni dotok realnije se određuje hidraulički kapacitet kanala.

Hydro je naziv ACO kompjuterskog programa kojim se modelira ponašanje kanala na osnovu usvojene pretpostavke o protoku koji se menja duž kanala (ustaljeno, nejednoliko tečenje). Programom je definisan skup nelinearnih jednačina, čija se rešenja eksperimentalno proveravaju i kalibrišu. Jedna od karakteristika nejednolikog tečenja je činjenica da se brzina i dubina razlikuju u pojedinim presecima duž kanala. Takođe, ovaj program je u stanju da reprezentuje efekte promene pada i dužine deonice kanala. Pad se može modelirati kao rešenje bez nagiba dna kanala kada se za tečenje u kanalu koristi nagib postojećeg terena, integrisani pad u telu kanala, kao kaskadni pad ili kao kombinacija pomenutih slučajeva. Povećanje pada dovodi do povećanja brzine u poprečnom profile kanala i samim tim povećava i hidrauličku efikasnost odvođenja, kao što se može videti iz Manningove jednačine. U modeliranju hidrauličkih karakteristika kanala sa linijskim rešetkama, česta je pretpostavka da karakteristike sabirnog okna nisu limitirajući faktor. Projektant treba da obezbedi da sabirna okna ne budu poddimenzionisana i da deluju kao deo konstrukcije linijske rešetke. Kapacitet sabirnih okana (za odvod kišnice sa sliva) treba da bude

intake hydraulics affects performance, and the outlet is not the restricting factor.

However, occasionally grate hydraulics become the determining factor in designer practice, particularly if catchment slopes are large and catchment runoff quantity is high, due to insufficient grate clear opening, excessive liquid quantities, or steep slope perpendicular to the grate. ACO developed the Grating Intake Calculator (GIC) providing the information on the intake efficiency of the chosen grate. If the required liquid intake is greater than the grate's performance, the extent of bypass (or failure) will be calculated. The required input data's are length of trench run, length and width of catchments area, surrounding pavement/surface type, rainfall intensity, perpendicular approach to trench and preferred grate type.

Trench drain manufacturers usually claim that trenches can be sized according to the principles of steady uniform flow (Manning's culvert) – an oversimplified approach typically used for the design of underground pipes. Steady uniform flow does not account for the continuous lateral inflow entering the trench (through the grate) along its length, therefore results can be misleading and potentially dangerous (flood and damage). For calculations using steady uniform flow estimation of flow capacity is based on $Q=v*A$, and slope is multiplier in Manning's equation ($Q=(1/n) AR^{2/3} \times S^{1/2}$). For flat gradients slope is zero and water depths cannot be calculated, therefore trench cannot be sized, velocity tends towards zero, and water depths are overestimated, **resulting in larger, more costly trench**. When slope is large, water depth are underestimated. Trench size is undersized - **resulting in flooding**. Non-uniform flow, accounting for liquid being carried in a trench, plus the constant addition of liquid collected through the grates along the trench run - lateral intake, determine trench hydraulic capacity.

Hydro is the name given to the ACO computer program used to model the behavior of a trench drain according to the principles of spatially varied flow (steady, non-uniform flow). The program is driven from a set of non linear equations and its algorithm is calibrated experimentally. A characteristic of non-uniform flow is that liquid velocity and height change at successive cross sections along the trench. Also, this program is able to represent the effects of slope and run length. Slope can be introduced in model by existing pavement with natural fall, a stepped configuration, by introducing slope along the base of the trench run or by combination of these methods. Slope increases the velocity of liquid within the trench drain and therefore improves hydraulic efficiency, as can be seen in the Manning's equation. In modeling hydraulic performance of grated trench drains, the assumption often made is that the outlet is not a restricting factor. Designers should ensure the outlet or subsequent pipe work is not undersized and acts as a constriction to the grated trench drain. Outlet from



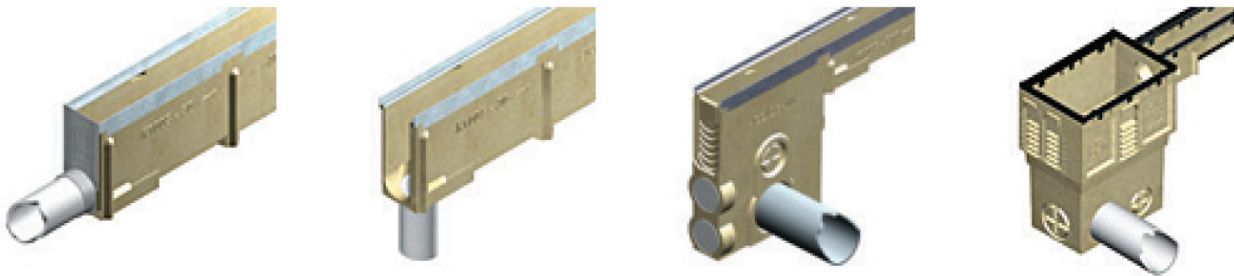
manji od kapaciteta kolektora da bi se izbegao efekat uspora i plavljenja. Takođe važan je i položaj sabirnog okna u kanalu.

U svakom slučaju, linijska rešetka se kao element odvodnjavanja priključuje na podzemni deo kolektorskog sistema. Ukoliko se kanal projektuje sa nezadovoljavajućim kapacitetom sabirnog okna na jednom od krajeva, kapacitet kanala može da bude dostignut ranije, ukoliko se koristi veći, samim tim i skuplji kanal i/ili više sabirnih okana. Ukoliko je teren ravan i nagib dna projektovanog kanala jednak nuli, rešetka i linijski kanal se mogu projektovati sa sabirnim oknom u centralnom položaju. U ovom slučaju su smanjene dužine na kojima se realizuje tečenje sa hidrauličkim padom i smanjene mogućnosti za pojavu prekoračenja kapaciteta i plavljenje. Ovo omogućava da dimenzije kanala budu manje, ekonomičnije i/ili da se smanji broj sabirnih okana koja treba da budu postavljena duž linijskog kanala za prihvatanje iste zapremine vode. Ukoliko je linijska rešetka sa kanalom deo sistema za odvodnjavanje projektovanog alternativnim pristupom u okviru koga je dozvoljeno zadržavanje vode na površini u određenom vremenu, sabirno okno može imati funkciju kontrolnog elementa- suženja.

trench drains (catchments water) must be less than the pipe capacity to avoid backing up of water and flooding. Also the position of the outlet on the trench length is important.

The grated trench drain is ultimately connected to the underground pipe system. If designed with inappropriate end outlet, the trench may reach capacity sooner unless larger and more costly grated trench drain and/or more outlets are used. If there is zero ground slopes along the run and underground pipe work position is fixed, the trench drain can be designed with a central outlet. Run lengths to the outlet are therefore shorter and less likely to exceed capacity and flood. This allows a smaller, more economical grated trench drain and/or fewer outlets to be positioned along the run to drain the same volume. If the grated trench drain is part of the catchment system that requires water to be held by the grated trench drain for a period of time - such as sustainable drainage system - this pipe can be used as a constriction.

In StormNET orifices are used to model outlet and diversion structures in drainage systems, which are typically openings in the wall of a manhole, detention pond or control gate. They are internally represented in StormNET as a link connecting two nodes.



Krajnji ispust – cev vezana horizontalno na kraj odvoda. Pruža najmanji ispustni kapacitet.

Ispust sa donje strane – cev vezana vertikalno na dno odvoda. Pruža poboljšani kapacitet ispusta zahvaljujući gravitaciji.

Ispust u nastavku – uobičajeno iste širine kao i odvod, ali dublji. Omogućava korišćenje korpe za smeće radi prikupljanja otpadaka. Nudi vrhunski ispustni kapacitet obzirom da se veće cevi mogu lako povezati i povećana dubina daje značajan pritisak vode iznad cevi ispusta.

Univerzalni ispust – veći nastavak, širi i dublji nego odvod. Omogućava korišćenje korpe za smeće radi prikupljanja otpadaka. Nudi vrhunski ispustni kapacitet obzirom da se veće cevi mogu lako povezati i povećana dubina daje značajan pritisak vode iznad cevi ispusta.

Slika 3: Tip sabirnog/izlaznog okna (preuzeto od ACO)
Figure 3: Size and type of the outlet adopted from ACO

Modeliranje izlaza iz većih šahtova, retenzionih prostora ili građevina za raspodelu protoka zahteva posebnu pažnju. U StormNET-u se to radi preko modela otvora: u početnoj fazi modeliranja se otvori u StormNET-u predstavljaju kao veza između dva čvora. U svim varijantama hidrauličkog proračuna otvor „orifice“ može služiti kao izlaz iz retenzionog prostora. Ukoliko nije povezan sa objektom retenzionog pro-

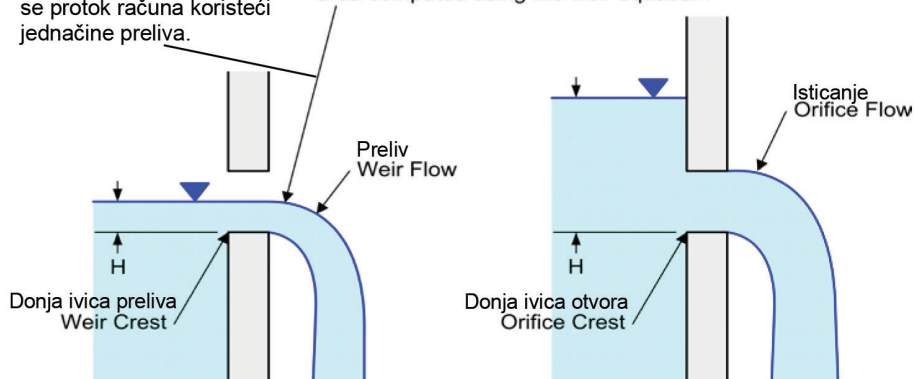
Orifices can be used as a detention pond outlets under all types of flow routing. If not attached to a detention pond, they can only be used in drainage networks that are analyzed with Hydrodynamic Routing. The orifice flow computed by StormNET can account for tailwater submergence effects. An orifice can have either a circular or rectangular shape, be located either at the bottom or along the side of the upstre-

Slika 4: Protok kroz otvor se računa kao prelivanje ili slobodno isticanje (preuzeto iz priručnika StormNET-a)

Figure 4: Orifice acting as the weir and orifice adopted from StormNET manual

Otvor se u početku tretira kao preliv dok se ne potopi gornja ivica otvora, tako da se protok računa koristeći jednačine preliva.

The orifice will initially act as a weir until the top of the orifice is submerged. Therefore, the discharges for the first stages of orifice flow area computed using the weir equation.



stora otvor „orifice”. se može koristiti samo u slučaju da se proračun sprovodi metodom hidrodinamičkog talasa. Protok sračunat kroz otvor u StormNET-u može da obuhvati i uticaje tečenja u slučaju potopljenosti ili uspora usled uticaja donje vode. Otvor može imati kružni ili kvadratni oblik, može biti lociran na dnu ili na bočnom zidu uzvodnog objekta i može imati žablji poklopac za sprečavanje povratnog toka.

Kao što je prikazano na slici 4, preuzetoj iz priručnika StormNET-a, isticanje kroz otvor će u početnoj fazi imati karakteristike prelivanja, sve dok gornja ivica otvora ne bude potopljena. Protok kroz orvor se u slučaju njegove nepotopljenosti obračunava koristeći jednačinu za preliv. Potom se prelazi na jednačinu isticanja kroz potopljen otvor.

3. PRIMER PRIMENE METODOLOGIJE - SKLADIŠTE U KRALJEVU

Realni, postojeći sistem za odvodnjavanje kompleksa skladišta u Kraljevu projektovan od strane ŠIDPROJECT je izgrađen 2009 godine i modeliran u StormNET-u. Površina kompleksa je orijentaciono 1,5 ha, mreža kolektora je granata, podeljena u 12 deonica a predviđeno je prikupljanje i odvođenje prikupljene atmosfere vode sa svih saobraćajnih površina, uključujući krovove i parkinge unutar kompleksa. Ko-

am node, and have a flap gate to prevent backflow.

As shown in Figure 4, adopted from StormNET manual, an orifice will initially act as a weir until the top of the orifice is submerged. The discharge through the orifice for unsubmerged orifice flow is computed using the weir equation. The flow then transitions to a fully submerged orifice flow.

3. WAREHOUSE KRALJEVO CASE STUDY

The real, existing drainage system of warehouse complex in Kraljevo designed by ŠIDPROJECT and built in year 2009 was modeled in StormNET. The area of complex is approximately 1,5 ha, the network is branched, divided into 12 sections and collection and evacuation of storm water from all traffic areas, including roofs and parking lots within the complex is predicted. The final recipient is an existing channel running around the existing custom house complex. All roads have gutter sections without special depression (unilateral slope with edge). Point drainage elements are grate inlets and roof vertical gutters, and linear drainage elements are trench drains.

During the first steps in design process, thanks to good collaboration between ACO and ŠIDPROJECT,

Tabela 1: Dužine linijskih kanala, padovi, visine i širine preuzeti iz ACO proračuna i projekta ŠIDPROJEKT-a

Table 1 Trench drain lengths, slopes, height and width adopted from ACO calculation and ŠIDPROJEKT design

| Channel Kanal | 1 | 2 | 3 | 4b | 4c | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Height (m) Visina (m) | 0.355 | 0.155 | 0.155 | 0.40 | 0.40 | 0.20 | 0.16 | 0.18 |
| Width (m) Širina (m) | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.15 | 0.10 |
| L (m) | 65 | 61 | 58 | 19 | 21 | 58.5 | 45 | 37.5 |
| I (%) | 0.42 | 0.7 | 1.06 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 1.12 |

dimension and hydraulic capacity of all trench drains on complex were examined in the Hydro - ACO program for nonuniform flow with lateral inflow. The rain gage with return period 2 and 10 years, intensity 206 l/s/ha and 311 l/s/ha were considered. After many trials the final dimensions for linear trench drains have been adopted. These dimensions were the input data for the StormNET model, and they are shown in the following table.

With the basic presumption



načni recipijent za sve prikupljene vode je postojeći otvoreni kanal koji prolazi obodom predmetnog kompleksa objekata. Sve saobraćajnice imaju ivičnjake bez posebnih depresija na krajevima poprečnog profila (jednostran nagib kolovoza sa ivičnjakom). Elementi tačkastog odvodnjavanja su slivnici i oluci sa olučnjacima, a elementi linijskog odvodnjavanja su kanali sa rešetkama.

Tokom početnih koraka u procesu projektovanja, zahvaljujući dobroj saradnji između ACO i ŠIDPROJECT-a, svi kanali su dimenzionisani i hidraulički provereni u Hydro-ACO programu za nejednoliko tečenje sa lateralnim dotokom. Povratni periodi merodavnih kišnih epizoda su 2 godine i 10 godina, a intenziteti su 206 L/s/ha i 311 L/s/ha. Posle mnogo iteracija usvojene su konačne dimenzije kanala sa rešetkama. Ovako dimenzionisani kanali sa rešetkama predstavljaju ulazne podatke za model formiran u StormNET-u i prikazani su u tabeli 1.

Rezultati proračuna za kišne epizode povratnog perioda 2 godine i 10 godina koji su određeni uz poštovanje osnovne pretpostavke da kapacitet kanala sa rešetkom nije ograničen uslovima tečenja u kanalizacionom sistemu su prikazani u tabelama 2 i 3.

Model u StormNET-u je urađen uz korišćenje ITP krivih i racionalne teorije u okvirima hidrološkog dela modela koji definiše proces oticaja. Slivovi odgovarajućih površina su priključeni čvorovima poštujući sledeću proceduru:

1. olučne vertikale su priključene u čvorove, koji predstavljaju šahtove,
2. neke površine saobraćajnica su povezane na specijalne objekte ulaza koji se nalaze u padu, sa vezama prema mreži zatvorenih kolektora i sa by-pass vezom,
3. neke površine saobraćajnica su povezane na specijalne objekte ulaza koji se nalaze na najnižem mestu saobraćajnice, sa vezama prema mreži zat-

Tabela 2: Rezultati hidrauličkog proračuna, kišna epizoda povratnog perioda 2 god.
Table 2 Results of hydraulic calculation – rain with return period 2 years

| Channel Kanal | 1 | 2 | 3 | 4b | 4c | 5 | 6 | 7 |
|--|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Outflow (l/s) Protok (l/s) | 53.64 | 17.87 | 18.97 | 62.86 | 87.18 | 16.26 | 18.59 | 16.05 |
| Max velocity (m/s) Maks. brzina (m/s) | 2.3 | 1.59 | 1.79 | 2.07 | 2.31 | 1.55 | 1.61 | 1.71 |
| Channel capacity (%) Kapacitet kanala (%) | 125.96 | 100.73 | 142.41 | 54.89 | 74.93 | 94.73 | 108 | 103.42 |
| Minimum free-board (mm) Minimalni slobodni zazor (mm) | -61.21 | -2.28 | -46.75 | 155.61 | 87.17 | 6.81 | -10.18 | -5.99 |

Tabela 3 Rezultati hidrauličkog proračuna, kišna epizoda povratnog perioda 10 god.
Table 3 Results of hydraulic calculation – rain with return period 10 years

| Channel Kanal | 1 | 2 | 3 | 4b | 4c | 5 | 6 | 7 |
|---|---------|--------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Outflow (l/s) Protok (l/s) | 81.02 | 26.96 | 28.65 | 94.97 | 131.88 | 24.51 | 28.03 | 24.23 |
| Max velocity (m/s) Maks. brzina (m/s) | 2.59 | 1.79 | 2.02 | 2.37 | 2.64 | 1.75 | 1.81 | 1.94 |
| Channel capacity (%) Kapacitet kanala (%) | 189.5 | 151.52 | 215.56 | 83.34 | 110.55 | 138.91 | 163.8 | 155.92 |
| Minimum freeboard (mm) Minimalni slobodni zazor (mm) | -183.56 | -50.84 | -113.62 | 59.08 | -39.33 | -39.33 | -60.97 | -60.97 |

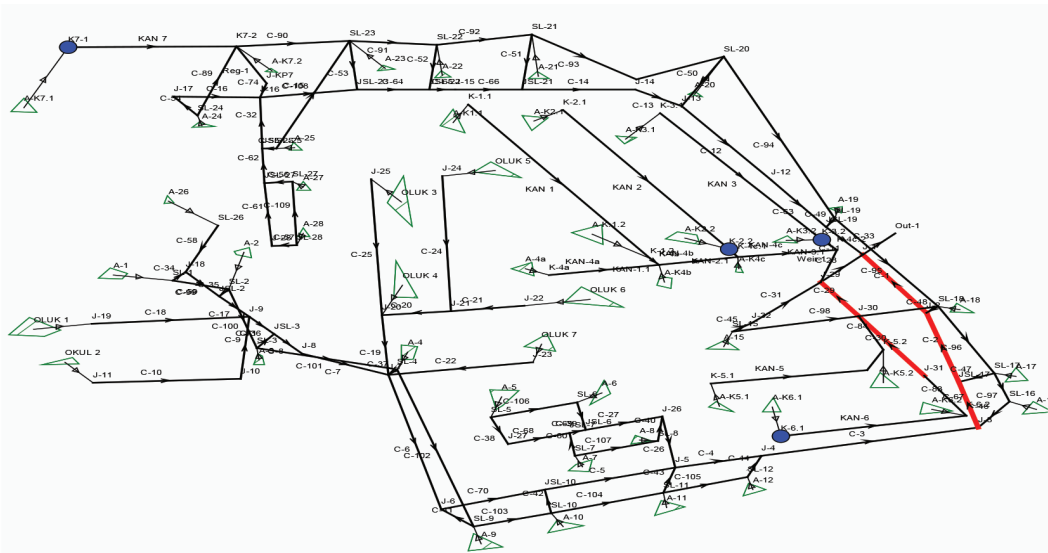
that the channel flow is not restricted by the capacity of the continuing sewer system, the results for rain with return periods 2 and 10 years are shown in tables 2 and 3.

The model in StormNET was done using IDF curves and rational theory in hydrology part of model for defining runoff process. Appropriate catchment areas have been jointed to the network nodes following this procedure:

1. Roof vertical gutters is connected to junctions, representing catch basins
2. Some of road surfaces are connected to grate inlets mounted on grade with connections to pipe network and by-pass links
3. Some of road surfaces are connected to grate inlets mounted on sag with connections to pipe network and with no by-pass links
4. Some of road surfaces are connected to junctions representing the upstream edge of linear trench drain and detention ponds representing the downstream edge of linear trench drain

Pipe diameters, lengths, slopes, position of manholes for underground part of drainage system was taken from ŠIDPROJECT design. Storm sewer was constructed of PVC sewer pipes and fittings with diameters DN500mm, DN400mm and DN300mm bottom tube

- vorenih kolektora i bez bypass veze, i
4. neke površine saobraćajnica su povezane sa čvorovima od kojih jedan predstavlja uzvodni kraj linijskog kanala sa rešetkom i retenzionim prostorom koji predstavlja nizvodni kraj linijskog kanala sa rešetkom.



Slika 5: Šematski prikaz modela sistema za odvodnjavanje kompleksa skladišta u KRALJEVO
Figure 5: Scheme of drainage network in KRALJEVO warehouse

Prečnici cevi, dužine, padovi i položaji šahtova na mreži zatvorenih kanalizacionih kolektora su preuzeti iz projekta ŠID-PROJEKT-a. (šema je data na slici 5). Predviđeni su kanalizacioni kolektori od PVC-a sa odgovarajućim spojnim komadima prečnika DN500mm, DN400mm i DN300mm, sa podužnim padovima koji se nalaze u rasponu od 0,3-2,7%. Dubina rovova se kreće između 1,5-3,3 m, a ukupna dužina kolektorske mreže je 897 m. Ukupno ima 32 reviziona okna Ø1000 mm na kolektorskoj mreži. Prečnici slivničkih veza i spojeva olučnih vertikala su prečnika DN160 mm.

Slivnici koji se nalaze na deonicama u padu su međusobno povezani rigolima koji predstavljaju realnu geometriju saobraćajnice, bez obzira na rastojanje između njih (bez dodatnih čvorova). Ukupna dužina linijskog kanala sa rešetkom je modelirana kao jedan kanal odgovarajućeg poprečnog preseka, viša tačka linijskog kanala je čvor mreže, a niža tačka je retenzija (čvor sa zapreminom). Nizvodni kraj linijske rešetke sa kanalom je povezan sa kanalskom mrežom otvorom koji reprezentuje sabirno okno i kolektor čiji je ono početak.

4. REZULTATI SPROVEDENE ANALIZE OSETLJIVOSTI

Modeliranjem realnog sistema za odvodnjavanje pokazano je da je dimenzionisanje podzemnog dela kolektorskog sistema urađeno pravilno. Hidraulički profil glavnog kolektora J6-Out1 je prikazan na slici 6, za kišnu epizodu povratnog perioda od 2 godine. Brzine, padovi i maksimalne realizovane dubine u kolektoru su unutar preporučenih granicama u svim deonicama kolektora. Tečenje pod pritiskom se pojavljuje u nizvodnim deonicama, ali bez negativnog uticaja na druge delove mreže.

with the slope varying from 0,3-2,7%. The depth of the trench ranges from 1,5-3,3 m, and total network length is 897 m. Total of 32 AB manholes F1000 mm was provided in the network. The connection pipes for street gullies and roof gutters are DN160 mm.

Grate inlets on grade are connected to each other with gutter sections representing the real road cross section, regardless the distance between them (without additional nodes). The complete length of the grated trench drain is represented as one open channel; the higher point of the grated trench inlet is modeled as junction, and the lower point as detention pond. The lower point of the grated trench inlet is connected with the conduit system by orifice link, representing the connection pipe.

The drainage network is shown in the Figure 5.

4. RESULTS OF MODELING AND SENSITIVITY ANALYSIS

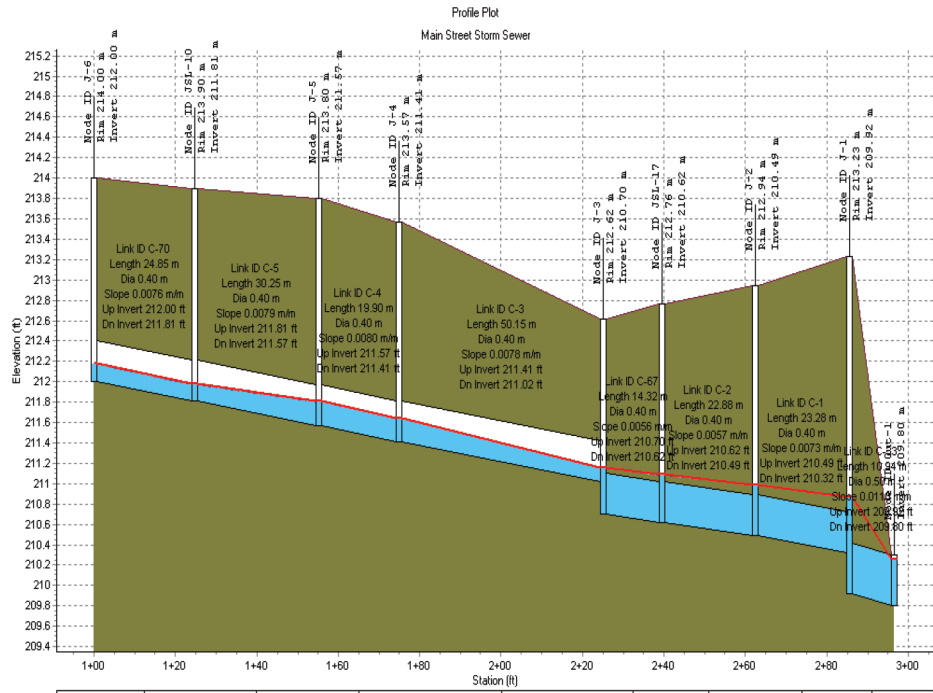
Modeling of this real drainage system shows that sizing of underground conduits has been properly done. Hydraulic profile of the main street storm sewer J6-Out1 is shown on figure 6, for rain with return period of 2 years. Velocities, slopes and maximum depths are in accordance with the recommended limits in all sections of this conduit. Pressurized flow appears in downstream section, but without negative impact to other parts of the network.

Some problems in modeling process are related to proper representation of catchment surfaces that can hardly affect runoff and/or flooding process. If we pay particular attention to simulation results we can see flooding in upstream node K7-1 of channel



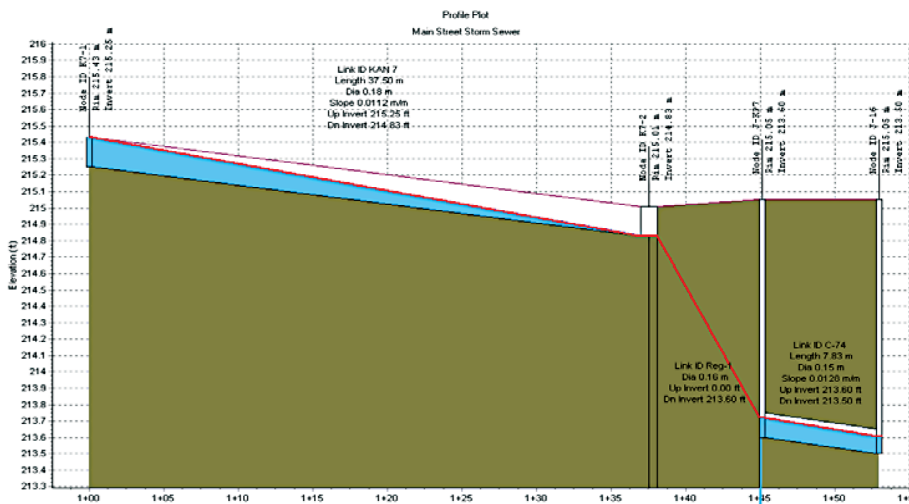
Slika 6: Hidraulički profil glavnog kolektora kišne kanalizacije J6-Out1
Figure 6: Hydraulic profile of main street storm sewer J6-Out1

Neki od problema koji se javljaju u procesu modeliranja su povezani sa pravilnim predstavljanjem slivova i podele na podslivove koji se priključuju pojedinim čvorovima. To direktno utiče na količine voda i samo modeliranje procesa oticanja i plavljenja. Ukoliko se posebna pažnja posveti rezultatima simulacije u najzvodnijem čvoru KAN7-1 kanala KAN7, vidi se da se u njemu javlja plavljenje bez potapanja nizvodne deonice. Hidraulički profil kanala KAN7, dobijen simulacijom u StormNET-u je pokazan na slici 7, a dijagrami realizovanih brzina i protoka za isti kanal dobijeni proračunom u programu Hydro-ACO su pokazani na slici 8.



| Node ID: | J-6 | JSL-10 | J-5 | J-4 | J-3 | JSL-17 | J-2 | J-1 | Duk-1 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|--------|
| Rim (m): | 214.00 | 213.90 | 213.80 | 213.57 | | 212.62 | 212.76 | 212.94 | 213.23 |
| Invert (m): | 212.00 | 211.81 | 211.57 | 211.41 | | 210.70 | 210.62 | 210.49 | 209.92 |
| Max HGL (ft): | 212.18 | 211.98 | 211.81 | 211.64 | | 211.16 | 211.09 | 210.99 | 210.87 |
| Link ID: | C-70 | C-5 | C-4 | C-3 | C-67 | C-2 | C-1 | C-33 | |
| Length (m): | 24.85 | 30.25 | 19.90 | 50.15 | 14.32 | 22.88 | 23.28 | 10.94 | |
| Dia (m): | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.50 | |
| Slope (m/m): | 0.0076 | 0.0079 | 0.0080 | 0.0078 | 0.0056 | 0.0057 | 0.0073 | 0.0110 | |
| Up Invert (ft): | 212.00 | 211.81 | 211.57 | 211.41 | 210.70 | 210.62 | 210.49 | 209.92 | |
| Dn Invert (ft): | 211.81 | 211.57 | 211.41 | 211.02 | 210.62 | 210.49 | 210.32 | 209.80 | |
| Max Q (lps): | 56.0900 | 60.1800 | 86.1100 | 90.0100 | 94.7400 | 99.9000 | 112.0700 | 605.4300 | |
| Max Vel (ft/s): | 1.06 | 0.93 | 1.12 | 1.24 | 0.92 | 1.00 | 1.18 | 2.61 | |
| Max Depth (m): | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.22 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.48 | |

K7, without surcharging the downstream section. The hydraulic profile of channel K7, obtained from StormNET is shown on figure 7, and velocity and flow rate diagram for the same channel obtained from Hydro-ACO program is shown on figure 8.



| Node ID: | K7-1 | K7-2 | J-KP7 | J18 |
|-----------------|--------|--------|--------|---------|
| Rim (m): | 215.43 | 215.01 | 215.05 | 215.05 |
| Invert (m): | 215.25 | 214.83 | 213.60 | 213.50 |
| Max HGL (ft): | 215.43 | 214.83 | 213.72 | 213.61 |
| Link ID: | KAN 7 | | Reg-1 | C-74 |
| Length (m): | 37.50 | | | 7.83 |
| Dia (m): | 0.18 | | 0.16 | 0.15 |
| Slope (m/m): | 0.0112 | | | 0.0128 |
| Up Invert (ft): | 215.25 | | 0.00 | 213.60 |
| Dn Invert (ft): | 214.83 | | 213.60 | 213.50 |
| Max Q (lps): | 4.2500 | | 0.0000 | 12.0000 |
| Max Vel (ft/s): | 0.71 | | 0.00 | 1.32 |
| Max Depth (m): | 0.09 | | 0.00 | 0.12 |

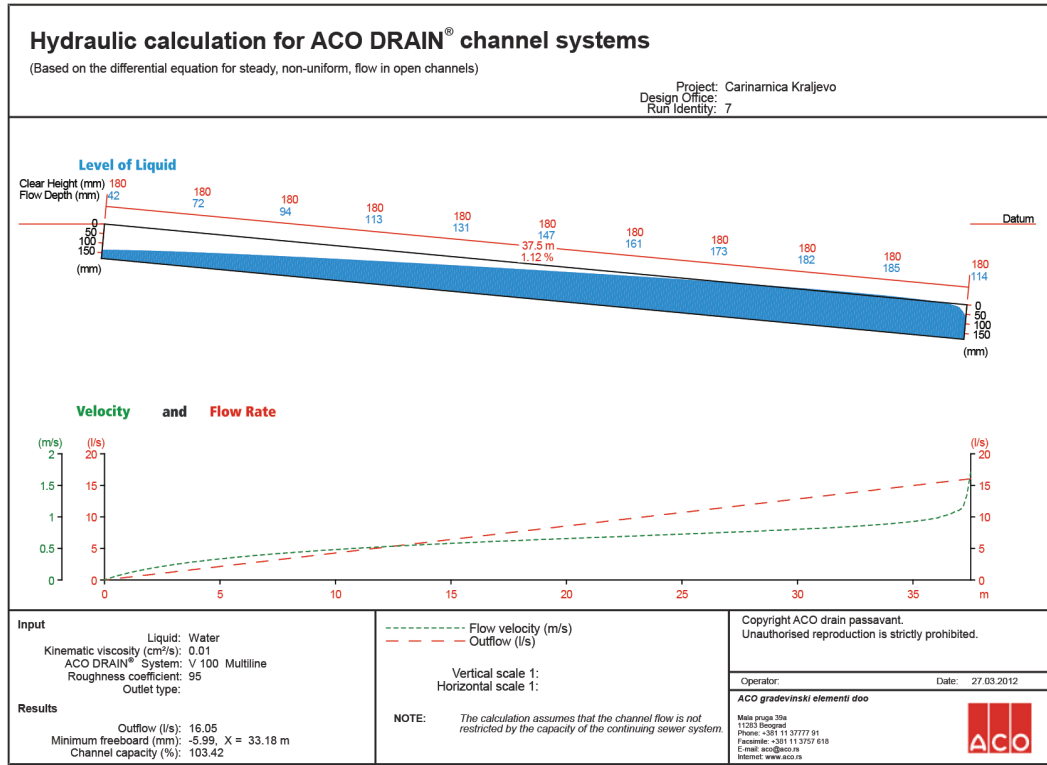
Slika 7: Hidraulički profil kanala KAN7 u StormNET-u
Figure 7: Hydraulic profile of channel KAN7 in StormNET

Furthermore limited sensitive analysis has been done for this channel. The selection of both shape and material of storm drain system components influence the hydraulic capacity. Conduit roughness characteristics vary with conduit material; thus, the hydraulic capacity varies with the material type. Two values of a Manning's roughness coefficients were examined -

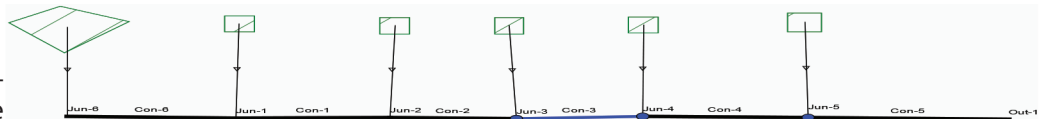
Comparison of these hydraulic profiles induced division of trench drain into 5 equal length sections, with the appropriate catchments subdivision. The new channel K7 representation with hydraulic profile is shown on figures 9 and 10.

Furthermore limited sensitive analysis has been done for this channel. The selection of both shape and material of storm drain system components influence the hydraulic capacity. Conduit roughness characteristics vary with conduit material; thus, the hydraulic capacity varies with the material type. Two values of a Manning's roughness coefficients were examined -

Slika 8: Hidraulički profil kanala KAN7 u HYDRO-ACO programu
Figure 8: Hydraulic profile of channel KAN7 in HYDRO-ACO program



Poređenje ovih hidrauličkih profila iniciralo je podelu linijskog kanala sa rešetkom na 5 deonica jednake dužine, uz odgovarajuću podelu slivne površine. Novi pristup u modeliranju kanala KAN7 i odgovarajući hidraulički profil su prikazani na slikama 9 i 10.

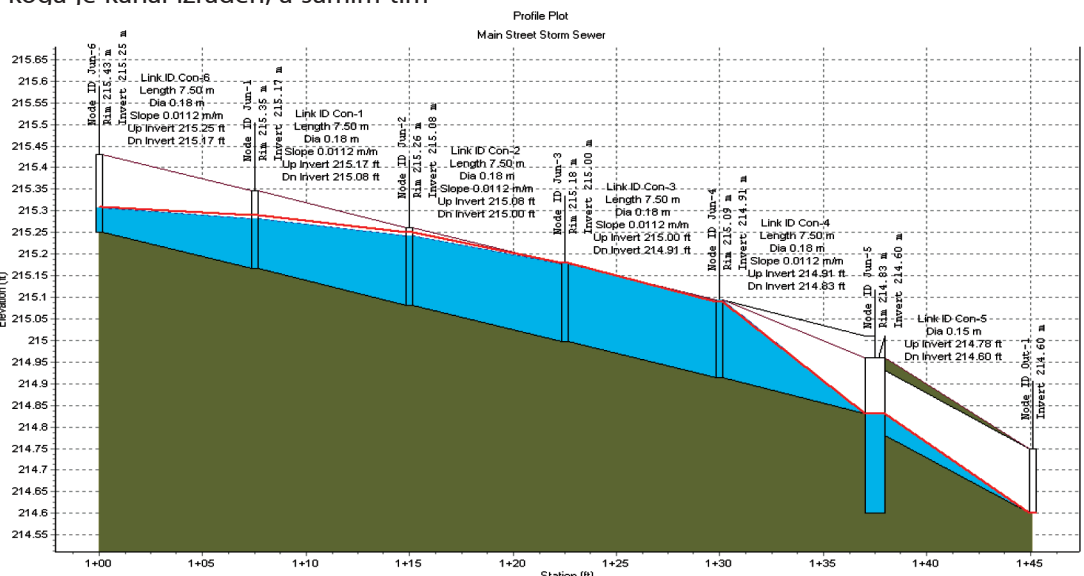


Slika 9: Kanal KAN7 u Storm NET-u nakon podele na deonice i podslivove
Figure 9: Channel KAN7 in Storm NET after catchments subdivision

Nakon podele kanala KAN7 urađena je ograničena analiza osetljivosti. Izbor oblika i materijala elemenata sistema za odvodnjavanje utiče na njihov hidraulički kapacitet. Hrapavost kanala je promenljiva u zavisnosti od materijala od koega je kanal izrađen, a samim tim menja se i hidraulički kapacitet sa promenom materijala. Ispitivane su dve vrednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti i to $n = 0,015 \text{ m}^{-1/3}$ (PVC cevi) i $n = 0,024 \text{ m}^{-1/3}$ (betonske cevi).

U okviru ograničene analize osetljivosti razmatrani su sledeći scenariji:

- kanal KAN7 je pravougaoni sa koeficijentom hrapavosti $n = 0,015 \text{ m}^{-1/3}$ ili $n = 0,024 \text{ m}^{-1/3}$, bez lokalnih depresija, i
- kanal KAN7 je pravougaoni sa hrapavošću $n = 0,015 \text{ m}^{-1/3}$ ili $n = 0,024 \text{ m}^{-1/3}$, sa površinom od 10 m^2 za lokalnu depresiju.



Slika 10: Hidraulički profil kanala KAN7 u StormNET-u nakon podele na deonice podslivove
Figure 10: Hydraulic profile of channel KAN7 in StormNET after catchments subdivision

the first is 0.015 (PVC pipes) and the second is 0.024 (concrete pipes).



Rezultati dobijeni za kanale, čvorove, lokalne depresije i otvore za $n = 0,015 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, $n = 0,024 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Scenario 1, bez postojanja lokalnih depresija i Scenario 2, sa postojanjem lokalnih depresija od 10m^2 po čvorovima) su prikazani u Prilogu A, u tablicama 1 i 2.

5. DISKUSIJA REZULTATA

Glavni rezultati sprovedene ograničene analize osetljivosti su:

- Kapacitet kanala KAN7 je $14,64 \text{ L/s}$ u slučaju da je vrednost Manning-ovog koeficijenta $n=0,015 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ primenjena, odnosno $9,45 \text{ L/s}$ za vrednost Manning-ovog koeficijenta $n=0,024 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$. Ovakav rezultat ima za posledicu smanjenje maksimalnih protoka u svim kolektorima i smanjenja doticaja po svim čvorovima u slučaju da je primenjen koeficijent rapavosti $n= 0,024 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$. Ovakve razlike su prisutne po svim deonicama i čvorovima, a najznačajnije su u središnjim deonicama linijskog kanala Con-2, Con-3 i Con-4, kao i u središnjim čvorovima Jun - 3 i Jun - 4 u slučaju da su lokalne depresije površine 10m^2 pridružene čvorovima.
- U slučaju da se primenjuje Manningov koeficijent vrednosti $n=0,015 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ili $n=0,024 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, sa ili bez lokalnih depresija od 10m^2 razlike između maksimalnih protoka po svim kolektorima i doticaja po svim čvorovima postoje, ali nisu značajne. Ukupno vreme potopljenosti pojedinih delova mreže je produženo u slučaju da se čvorovima priključe lokalne depresije, a zapremina koja se javlja pri plavljenju se smanjuje.
- U svim proračunima nizvodni čvor linijskog kanala sa rešetkom je modeliran kao retenzija, sa ili bez definisane površine za plavljenje. Maksimalni doticaji su generalno veći u slučaju da se površina u kojima je dozvoljeno plavljenje priključuju čvorovima, ali razlika između doticaja u čvor Jun-5 nije značajna ($16,91 \text{ L/s}$ ili $17,41 \text{ L/s}$ kada je $n=0,015 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ primenjeno, i $12,12 \text{ L/s}$ odnosno $13,32 \text{ L/s}$ kada je $n= 0,024 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ primenjeno). Sa druge strane razlike između maksimalnih oticaja iz čvora su značajne. U slučaju kada ne postoji površina za plavljenje maksimalni oticaj je $9,45 \text{ L/s}$ i ne zavisi od maksimalnog doticaja. Sa druge strane kada se površina na kojoj je dozvoljeno plavljenje priključi čvoru Jun-5 maksimalni oticaji su značajno veći i iznose $17,15 \text{ L/s}$ u slučaju kada je doticaj u čvor $16,91 \text{ L/s}$, odnosno $12,87 \text{ L/s}$ u slučaju da je maksimalni doticaj u čvoru $13,32 \text{ L/s}$. Ovi zaključci su veoma značajni, jer ovaj podatak predstavlja količinu vode koja dospeva u podzemnu mrežu i ovo je maksimalni protok koji može biti ograničen konstrukcijom izlaza. U ovom momentu mi samo možemo da zaključimo da veličina i tip sabirnog okna kao izlaznog čvora iz sistema i kao kontrolnog elementa u sistemu za odvodnjavanje treba da budu modelirani zajedno i istovremeno sa modeliranjem linijskih kanala sa rešetkama u laboratorijskim uslovima.

The scenarios of limited sensitive analysis are:

- channel K7 is rectangular with roughness $n = 0.015$ or $n = 0.024$, with no ponding area in junctions
- channel K7 is rectangular with roughness $n = 0.015$ or $n = 0.024$, with ponding area of 10m^2 in junctions

The results for channels, outfalls, junctions, ponds and orifices for $n = 0.015$, $n = 0.024$ (Scenario 1, without ponding, or Scenario 2, with ponding area of 10m^2 in junctions) are shown in Appendix A in tables 1 and 2.

5. DISCUSSION OF RESULTS

The main results of this limited sensitive analysis are:

- Design flow capacity for channel K7 is $14,64 \text{ l/s}$ in the case when Manning's n -value 0.015 is applied, and $9,45 \text{ l/s}$ when Manning's n -value 0.024 is applied. This difference results in lowering peak flows in all conduits and lowering peak inflows in all junctions in case when $n= 0.024$ is applied. These differences are present in all sections and junctions, and it is most significant in middle positioned sections Con-2, Con-3 and Con-4 and middle positioned junctions Jun - 3 and Jun - 4 in the case when ponding area of 10m^2 has been jointed with junction nodes.
- In the case when Manning's n -value $n= 0.015$ or $n= 0.024$ is applied, with or without ponding area of 10m^2 differences between peak flows in all conduits and peak inflows in all junctions exist, but they are not significant. Total time flooding is generally extended when ponding areas has been jointed to the junctions and flooded volumes decreased.
- In all calculations the trench drain downstream node is modeled as a retention pond with or without ponding area. Peak inflows are generally higher when pond areas has been jointed to trench drain junction, but the difference between peak inflows to retention pond Jun-5 is not significant (16.91 l/s or 17.41 l/s when $n=0.015$ was applied, and 12.12 l/s or 13.32 when $n= 0.024$ was applied). On the other hand the differences between peak outflows are significant. In the case when there is no pond area, the peak outflow is 9.45 l/s and it does not depend on peak inflow value. On the other hand when pond area has been jointed to Jun-5 the peak outflows are significantly greater $17, 15 \text{ l/s}$ in the case when inflow is 16.91 l/s and 12.87 l/s in the case when peak inflow is 13.32 l/s . These conclusions are very important, because this is the amount of water that enters the underground network and this is the peak flow that can be limited with the outlet construction. In this moment we can only conclude that size and type of outlet as control element in drainage system should be modeled together with grated trench drains in laboratory conditions.

6. ZAKLJUČAK

Ukoliko se želi pravilno modeliranje linijskog kanala sa rešetkama u StormNET-u, ukupna dužina linijskog kanala sa rešetkom treba da bude podeljena u potreban broj deonica u zavisnosti od dužine linijskog kanala, kojih ima najmanje 2 i to na početku i kraju kanala. Najviša tačka linijskog kanala može da bude modelirana kao čvor, a najniža tačka kao čvor sa zapreminom (retenzija). Najniže tačke linijskog kanala sa rešetkom treba da budu povezani sa kolektorskom mrežom prelivom ili otvorom za isticanje, u zavisnosti od tipa izlaza tj. sabirnog okna koje predviđa proizvođač opreme.

Maksimalni protok koji se realizuje, kao i momenat u kome se on realizuje su najznačajniji podaci u procesu dimezionisanja kolektora. Ograničena analiza osetljivosti pokazuje da mnogobrojni faktori utiču na rezultate sa različitim stepenom značajnosti. Jedan od najuticajnijih faktora je površina za koju je dozvoljeno plavljenje u nizvodnom čvoru koji se modelira kao retenzija.

U opštem slučaju, umesto korišćenja jedne vrednosti za svaku ulaznu veličinu koja rezultuje jednom vrednošću izlaza, za ulazne veličine treba definisati funkciju gustine verovatnoće, jer u tom slučaju izlazni rezultati imaju smisao funkcije raspodele diskretne promenljive. To bi dovelo do veoma važnih konačnih zaključaka vezanih za projektovanje sistema za odvođenje atmosferskih voda. Umesto zaključaka da se plavljenje (prekoračivanje nivoa terena) ili tečenje pod pritiskom pod uticajem uspora javlja sa povratnim periodom od 5 godina (kao što je povratni period kišne epizode), zaključci bi se formulisali na drukčiji način, u smislu da se sa verovatnoćom 95% plavljenje dešava sa povratnim periodom od 2 – 13 godina.

REFERENCE/ REFERENCES

1. ACO, http://www.acoaus.com.au/techsupport/drain/grate_hydr.htm
2. Achleitner S., (2006). Modular conceptual modelling in urban drainage development and application of city drain, PhD thesis, Univesity Innsbruck, Austria
3. BOSS International (2005), *StormNET, Stormwater&Waster Modeling, User's Manual*
4. Federal Highway Administration (2009). *Urban drainage design manual*, Hydraulic Engineering Circular No.22 (HEC 22), Third Edition, Publication No.FHWA-NHI-10-009 Washington, D.C.
5. Jovan Despotović (2009), *Kanalisanje kišnih voda*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu (in Serbian Language)
6. U.S. Army Corps of Engineers (1993). *Design of Bridge Deck Drainage*, Hydraulic Engineering Circular No.21 (HEC 21),
7. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2004). *Storm water management model user's manual*, <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>

6. CONCLUSIONS

If we want to do proper modeling of trench drains in StormNET, the complete length of the grated trench drain should be divided into the necessary number of sections depending of the grated trench drain length, with at least 2 objects for modeling. The highest point of the grated trench inlet can be modeled as junction, and the lower point as detention pond. The lower points of the grated trench inlet should be connected with the conduit system by weir or orifice, in dependence of the outlet type that has been predicted by manufacturer.

The peak flow and time of peak flow occurrence is one of the most important factors in sizing process. The partial sensitivity analysis showed that numerous factors influence the results with different level of significance. One of the most significant factors is pond area of the downstream node that has been modeled as the retention pond.

Generally, instead of using one value for each input, resulting in a single output, a probability density function for each input and calculation parameter should be used, so than the output yields to the discrete probability density function.

This would lead to the very important final conclusions for sewers system design: Instead of concluding that flooding (exceeding of ground level) or surcharging or flow reversal occurs with at return period of 5 years (the return period of rain gage), the conclusion yields, that there is a probability of 95 % that flooding occurs with a return period of 2 – 13 years.

ZAHVALNOST / ACKNOWLEDGMENT

Ovaj rad je deo projekta TR37010 "Urbani sistemi za odvodnjavanje kao ključni elemenat infrastrukture u naseljima i gradovima" koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

This paper is part of the Project TR37010 "Urban Drainage Systems as Key Infrastructure in Cities and Towns" financed by the Ministry of Science of the Republic of Serbia.



PRILOG / APPENDIX

Tabela 1. Kanal K7 maksimalni doticaj i oticaj po čvorovima i maksimalni protoci po kolektorima **sa** i **bez** lokalnih depresija za koeficijent hrapavosti $n=0,015$
Table 1. Channel K7 peak inflows, outflows in junctions and peak flows for conduits without and **with** ponding roughness $n=0,015$

| Element ID | Peak Flow (lps) | Max Flow Velocity (m/sec) | Max Design Flow Ratio | Flow Depth / | | Max Flow / Design Flow Ratio | Max Flow Depth / Total Depth | Surcharged (min) | Total Time (min) | Max Flow Depth (m) | Element ID | Peak Inflow (lps) | Maximum HGL Depth (m) | Time of Maximum HGL (days) | Total Flooded Volume (ha-mm) | Total Time Flooded (minutes) |
|------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | | Flow | Depth | | | | | | | | | | | |
| Con-1 | 7.34 | 0.52 | 0.5 | 0.8 | 0.14 | 0 | 0 | 0 | 0.14 | 1-Jun | 7.53 | 0.12 | 0 00:10 | 0 | 0 | |
| Con-2 | 11 | 0.64 | 0.75 | 0.96 | 0.17 | 0 | 0 | 0 | 0.17 | 2-Jun | 11.07 | 0.17 | 0 00:10 | 0 | 0 | |
| Con-3 | 12.37 | 0.69 | 0.84 | 1 | 0.18 | 0 | 0 | 0 | 0.18 | 3-Jun | 14.69 | 0.18 | 0 00:09 | 0.03 | 4 | |
| Con-4 | 13.03 | 0.87 | 0.89 | 0.83 | 0.15 | 0 | 0 | 0 | 0.15 | 4-Jun | 16.25 | 0.18 | 0 00:08 | 0.08 | 6 | |
| Con-6 | 3.69 | 0.43 | 0.25 | 0.51 | 0.09 | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 6-Jun | 3.89 | 0.06 | 0 00:10 | 0 | 0 | |
| Con-1 | 7.26 | 0.52 | 0.5 | 0.82 | 0.15 | 0 | 0 | 0 | 0.15 | 1-Jun | 7.52 | 0.12 | 0 00:10 | 0 | 0 | |
| Con-2 | 10.76 | 0.62 | 0.74 | 0.98 | 0.18 | 0 | 0 | 0 | 0.18 | 2-Jun | 11.01 | 0.17 | 0 00:11 | 0 | 0 | |
| Con-3 | 12.28 | 0.68 | 0.84 | 1 | 0.18 | 7 | 7 | 0 | 0.18 | 3-Jun | 14.48 | 0.2 | 0 00:12 | 0.03 | 7 | |
| Con-4 | 14.18 | 0.92 | 0.97 | 0.85 | 0.15 | 0 | 0 | 0 | 0.15 | 4-Jun | 15.95 | 0.2 | 0 00:14 | 0.06 | 10 | |
| Con-6 | 3.68 | 0.43 | 0.25 | 0.52 | 0.09 | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 6-Jun | 3.88 | 0.06 | 0 00:10 | 0 | 0 | |
| Element ID | Orifice Type | Flap Gate | Circular Orifice Diameter | Orifice Invert Offset | Orifice Invert | Orifice Coefficient | Peak Flow | Peak Flow | Peak Flow | Time of Peak Flow Occurrence (days) | Peak Inflow | Maximum HGL Depth | Time of Maximum HGL | Total Flooded Volume | Total Time Flooded | |
| Con-5 | BOTTOM | YES | (m) 0.15 | (m) 0.18 | 614 | 614 | 9.45 | 9.45 | 9.45 | 0 00:05 | | | | | | |
| Con-5 | BOTTOM | YES | 0.15 | 0.18 | 614 | 614 | 17.15 | 17.15 | 17.15 | 0 00:11 | | | | | | |
| Element ID | Peak Inflow (lps) | Peak Outflow (lps) | Maximum HGL Depth Attained (m) | Time of Maximum HGL Occurrence (days hh:mm) | Total Flooded Volume (ha-mm) | Total Time Flooded (minutes) | Peak Inflow (lps) | Peak Inflow (lps) | Peak Inflow (lps) | Element ID | Invert Elevation (m) | Boundary Type | Peak Inflow (lps) | | | |
| 5-Jun | 16.91 | 9.45 | 0.23 | 0 00:05 | 0.37 | 12 | 16.91 | 9.45 | 9.45 | Out-1 | 214.6 | FREE | 9.45 | | | |

Tabela 2. Kanal K7 maksimalni doticaji i oticaj po čvorovima i maksimalni protoci po kolektorima sa i bez lokalnih depresija za koeficijent hrapavosti n=0,024
Table 2. Channel K7 peak inflows, outflows in junctions and peak flows for conduits without and with ponding, roughness n=0.024

| Element ID | Peak Flow (lps) | Time of Peak Flow Occurrence (days) | Max Flow Velocity (m/sec) | Max Flow Design Ratio | Max Flow Depth Ratio | Total Time Surcharged (min) | Max Flow Depth (m) | Element ID | Peak Inflow (lps) | Maximum HGL Depth Attained (m) | Time of Maximum HGL Occurrence (days) | Total Time Flooded (minutes) | Total Flooded Volume (ha-mm) |
|------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| Con-1 | 7.340 | 0 00:10 | 0,43 | 0,80 | 0,95 | 0,00 | 0,17 | Jun-1 | 7,46 | 0,16 | 0 00:10 | 0,00 | 0,00 |
| Con-2 | 8.510 | 0 00:10 | 0,47 | 0,93 | 1,00 | 0,00 | 0,18 | Jun-2 | 11,06 | 0,18 | 0 00:08 | 5,00 | 0,04 |
| Con-3 | 8.510 | 0 00:08 | 0,47 | 0,93 | 1,00 | 0,00 | 0,18 | Jun-3 | 12,39 | 0,18 | 0 00:07 | 8,00 | 0,13 |
| Con-4 | 8.230 | 0 00:06 | 0,61 | 0,90 | 0,75 | 0,00 | 0,13 | Jun-4 | 12,39 | 0,18 | 0 00:06 | 11,00 | 0,19 |
| Con-6 | 3.670 | 0 00:10 | 0,29 | 0,40 | 0,75 | 0,00 | 0,14 | Jun-6 | 3,89 | 0,11 | 0 00:10 | 0,00 | 0,00 |
| Con-1 | 7.330 | 0 00:10 | 0,43 | 0,80 | 0,96 | 0,00 | 0,17 | Jun-1 | 7,46 | 0,16 | 0 00:10 | 0,00 | 0,00 |
| Con-2 | 7.900 | 0 00:08 | 0,44 | 0,86 | 1,00 | 12,00 | 0,18 | Jun-2 | 11,05 | 0,18 | 0 00:15 | 12,00 | 0,12 |
| Con-3 | 8.260 | 0 00:10 | 0,46 | 0,90 | 1,00 | 15,00 | 0,18 | Jun-3 | 11,13 | 0,23 | 0 00:14 | 15,00 | 0,07 |
| Con-4 | 10.150 | 0 00:14 | 0,72 | 1,11 | 0,78 | 0,00 | 0,14 | Jun-4 | 12,14 | 0,23 | 0 00:14 | 17,00 | 0,09 |
| Con-6 | 3.670 | 0 00:10 | 0,29 | 0,40 | 0,75 | 0,00 | 0,14 | Jun-6 | 3,88 | 0,11 | 0 00:10 | 0,00 | 0,00 |
| Element ID | Orifice Type | Orifice Shape | Flap Gate | Circular Orifice Diameter (m) | Orifice Invert Offset (m) | Orifice Coefficient | Peak Flow (lps) | Time of Peak Flow | Peak Flow (lps) | Maximum HGL Depth Attained (m) | Time of Maximum HGL Occurrence (days) | Total Time Flooded (minutes) | Total Flooded Volume (ha-mm) |
| Con-5 | BOTTOM | CIRCULAR | YES | 0,15 | 0,18 | 614.0000 | 9.450 | 0 00:06 | 9.450 | 0,18 | 0 00:06 | 614.0000 | 0,18 |
| Con-5 | BOTTOM | CIRCULAR | YES | 0,15 | 0,18 | 614.0000 | 12.870 | 0 00:12 | 12.870 | 0,18 | 0 00:12 | 614.0000 | 0,18 |
| Element ID | Max (Rim) Offset (m) | Peak Inflow (lps) | Peak Outflow (lps) | Time of Maximum HGL Occurrence (days) | Total Flooded Volume (ha-mm) | Total Time Flooded (minutes) | Element ID | Boundary Type | Flap Gate | Fixed Water Elevation (m) | Peak Inflow (lps) | | |
| Jun-5 | 0,23 | 12.12 | 9.45 | 0 00:05 | 0,10 | 11.00 | Out-1 | FREE | NO | | 9.45 | | |
| Jun-5 | 0,23 | 13.32 | 12.87 | 0 00:12 | 0,04 | 17.00 | Out-1 | FREE | NO | | 12.87 | | |

MAKING MODERN LIVING POSSIBLE

Danfoss



DRIVES: 0.18 kW – 1.2 MW

Pogonska Perfekcija

Da li primećujete Danfoss na slici?

Nadamo se da ne. U svetu elektromotornih pogona, perfekcija znači nevidljivost. Što nas manje primećujete, to bolje naši frekventni pretvarači rade. Ipak, rad bez privlačenja pažnje se ne svodi samo na vrhunski inženjering.

Pouzdanosti je primarna u našem poslovanju – od jednostavnog sistema poručivanja usklađenog sa kvalitetnom proizvodnjom, do odgovorne i uslužne tehničke podrške i servisa. Sve ovo se svodi na jednu jednostavnu činjenicu: mi proizvodimo frekventne pretvarače, ali pouzdanost i odgovornost su naši proizvodi.

VLT[®]
THE REAL DRIVE

Danfoss d.o.o.

Đorđa Stanojevića 14 11070 Novi Beograd Srbija
Tel. +381 11 2098 571 Mob: +381 60 2098 571 Fax: +381 11 2098 551
Vesna.Cvetojevic@danfoss.com • www.danfoss.rs/vlt