





Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS), Leskoškova 9e, 1000 Ljubljana, telefon 01 52 40 200; faks 01 52 40 199 v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (MSG IZS)**, ob podpori **Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani** in **Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **mag. Andrej Kerin**
prof. dr. Matjaž Mikoš
Jakob Presečnik
 MSG IZS: **Gorazd Humar**
mag. Črtomir Remec
doc. dr. Branko Zadnik
 FGG Ljubljana: **doc. dr. Marijan Žura**
 FG Maribor: **Milan Kuhta**
 ZAG: **prof. dr. Miha Tomaževič**

Glavni in odgovorni urednik:

prof. dr. Janez Duhovnik

Sodelavec pri MSG IZS:

Jan Kristjan Juteršek

Lektor:

Jan Grabnar

Lektorica angleških povzetkov:

Darja Okorn

Tajnica:

Eva Okorn

Oblikovalska zasnova:

Mateja Goršič

Tehnično urejanje, prelom in tisk:

Kočeovski tisk

Naklada:

3000 izvodov

Podatki o objavah v reviji so navedeni v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA (The Int. Construction Database) ter na

<http://www.zveza-dgits.si>

Letno izide 12 števil. Letna naročnina za individualne naročnike znaša 22,95 EUR; za študente in upokojence 9,18 EUR; za družbe, ustanove in samostojne podjetnike 169,79 EUR za en izvod revije; za naročnike iz tujine 80,00 EUR. V ceni je všteti DDV.

Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
 SI560201 7001 5398955

Gradbeni vestnik •

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN
 TEHNIKOV SLOVENIJE in MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH
 INŽENIRJEV INŽENIRSKO ZBORNICE SLOVENIJE
 UDK-UDC 05 : 625; ISSN 0017-2774
 Ljubljana, marec 2010, letnik 59, str. 45-80

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Besedilo prispevkov mora biti napisano v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev ter besedilo.
6. Besedilo člankov mora obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; imena in priimke avtorjev; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavlja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavlja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike, preglednice in fotografije morajo biti omenjene v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino. Vse slike in fotografije v elektronski obliki (slike v običajnih vektorskih grafičnih formatih, fotografije v formatih .tif ali .jpg visoke ločljivosti) morajo biti v posebnih datotekah, običajne fotografije pa priložene.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: (priimek prvega avtorja, leto objave). V istem letu objavljena dela istega avtorja morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA, ki se je ne oštevilčuje, so uporabljena in citirana dela opisana z naslednjimi podatki: priimek, ime prvega avtorja (lahko krajšano), priimki in imena drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani *od do*; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Pod črto na prvi strani – pri prispevkih, krajših od ene strani, pa na koncu prispevka – morajo biti navedeni podrobnejši podatki o avtorjih: znanstveni naziv, ime in priimek, strokovni naziv, podjetje ali zavod, navadni in elektronski naslov.
15. Prispevke je treba poslati glavnemu in odgovornemu uredniku prof. dr. Janezu Duhovniku na naslov: FGG, Jamova 2, 1000 LJUBLJANA, oziroma po e-pošti: janez.duhovnik@fgg.uni-lj.si. V spremnem dopisu mora avtor članka napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD in v 8. točki določenih grafičnih formatih.

Uredništvo

Vsebina • Contents

Nagrajeni gradbeniki

stran **46**

Stipan Mudražija, univ. dipl. inž. grad.

MARJAN PIPENBAHER, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – INŽENIR LETA 2009

Članki • Papers

stran **48**

Luka Dirnbek, univ. dipl. inž. grad.

doc. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.

HIDROLOŠKO MODELIRANJE: VPLIV HISTOGRAMA PADAVIN NA HIDROGRAM POVRŠINSKEGA ODTOKA

**HYDROLOGICAL MODELLING: THE INFLUENCE OF PRECIPITATION
HYETOGRAPH ON RUNOFF HYDROGRAPH**

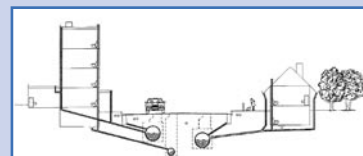


stran **57**

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.

LOČENI ALI MEŠANI SISTEM KANALIZACIJE?

SEPARATE OR COMBINED SEWER SYSTEM?



NOVOSTI

stran **71**

dr. Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad.

INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB (BIM)

Novi diplomanti

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Koledar prireditev

J. K. Juteršek, univ. dipl. inž. grad.

Slika na naslovnici: Luka Koper, foto arhiv Luke Koper

NAGRAJENI GRADBENIKI

MARJAN PIPENBAHER, UNIV. DIPL. INŽ. GRAD. – INŽENIR LETA 2009



Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor je leta 2009 odlikovalo Marjana Pipenbaherja, univ. dipl. inž. grad., s častnim nazivom »inženir leta«. Naš ambiciozni stanovski kolega sodi v sam vrh uspešnih in uglednih slovenskih inženirjev, ki s svojim talentom in znanjem že tri desetletja opozarja nase na področju gradnje mostov in drugih najzahtevnejših konstrukcij v gradbeništvu.

Marjan Pipenbaher je bil rojen 22. avgusta 1957 v Ljubljani, živi v Slovenski Bistrici, šolal pa se je v Mariboru, kjer je leta 1981 diplomiral na Fakulteti za gradbeništvo; tam je podiplomski študij nadaljeval in sedaj pripravlja doktorat tehniških znanosti.

Že pred diplomom se je leta 1980 zaposlil v Gradisovem biroju za projektiranje, ki ga je vodil Vukašin Ačanski, univ. dipl. inž. grad. V prvih 10 letih je projektiral zelo zahtevne konstrukcije visokih gradenj, kot so bile sanacija in novogradnja Slovenskega narodnega gledališča v Mariboru ter Avtobusna postaja v Mariboru.

Leta 1990 je s partnerjem Viktorjem Markljem, univ. dipl. inž. grad., ustanovil Inženirski biro PONTING, d. o. o., v katerem je danes zaposlenih 15 inženirjev in je specializiran za projektiranje najzahtevnejših inženirskih objektov – s poudarkom na mostovih. Leta 2002 je ustanovil še svetovalno podjetje Pipenbaher Consulting Engineers Ltd/PIPENBAHER INŽENIRJI, d. o. o., kot specializirano podružnico podjetja PONTING, d. o. o.

Na Fakulteti za gradbeništvo je že leta 1986 začel delati kot asistent, od leta 2000 pa kot predavatelj predmeta Prednapete betonske konstrukcije. Poleg rednih pedagoških obveznosti je bil tudi mentor in somentor študentom pri izdelavi preko 20 diplomskih nalog s področja razvoja gradbenih konstrukcij, mostov in prednapetega betona.

Že od študija dalje se ukvarja tudi z znanstvenoraziskovalno dejavnostjo in sodeluje s priznanimi specializiranimi inštituti v tujini. V okviru lastnih raziskovalnih in razvojnih nalog je razvil in avtorsko zaščitil prototipa protivetne ograje na viaduktu Črni Kal in viaduktu Baričeviči na AC Zagreb–Split.

V svoji bogati poklicni karieri je Marjan Pipenbaher zasnoval in skupaj s svojim inženirskim timom sodeloval pri projektiranju preko 200 mostov, viaduktov, galerij in zahtevnih inženirskih objektov v Sloveniji in tujini z uporabo novih tehnologij in inventivnimi konstrukcijskimi rešitvami. Med pomembnejše referenčne objekte – tudi v svetovnem merilu –, ki so tudi realizirani, vsekakor sodijo:

- Koroški most preko Drave v Mariboru – dolžine 240 m z največjim razponom 110 m
- most za pešce in kolesarje preko Drave na Ptuj – dolžine 160 m
- most Verige preko morske ožine Boka Kotorska v Črni gori – dolžine 980 m z največjim razponom 450 m
- ločni most preko reke Vipave na cesti Renče–Nova Gorica – dolžine 85 m z razponom centralnega loka nad voziščem 70 m
- most Millenium preko reke Morače v Podgorici – dolžine 160 m in največjim razponom 145 m
- viadukt Peračica na AC Ljubljana–Jesenice – dolžine 360 m, z največjim razponom 110 m in višino stebrov 60 m
- viadukt Dobruša na AC Ljubljana–Jesenice – dolžine 370 m, z največjim razponom 58 m in višino stebrov 45 m

Med letoma 2008 in 2009 je projektiral inženirsko izredno zahtevne objekte, kot so:

- most preko Drave na AC Osijek–Budimpešta – dolžine 2200 m z največjim razponom 220 m

- most Pelješac s poševnimi zategami na AC Split–Dubrovnik – dolžine 2400 m z največjim razponom 570 m
- nova garažna hiša v Luki Koper s 26.000 parkirnimi mesti in površino 480.000 m² (največja samostojna garažna hiša v Evropi!)
- nadkritje EET evropskega energetskega terminala na pomolu II v Luki Koper s površino 182.000 m² in razponom strešne konstrukcije 174 m (drugi največji razpon v Evropi)
- CAPREA City Tower Koper: poslovna stolpnica višine 150 m in pokriti vkop Piranske ulice in Zopre–Perello – podzemni galeriji pod nivojem morja skupne dolžine 420 m

Posebej se je odlikoval tudi kot avtor oz. soavtor na državnih in mednarodnih natečajih, kjer je s svojim projektantskim timom prejel:

- I. nagrado na mednarodnem javnem natečaju za projektno rešitev mosta Verige s poševnimi zategami preko zaliva Boke Kotorske
- II. nagrado na javnem državnem natečaju za konstrukcijsko rešitev Koroškega mostu v Mariboru
- II. nagrado na javnem državnem natečaju za konstrukcijsko rešitev mostu preko reke Mure
- I. nagrado na javnem državnem natečaju za konstrukcijsko rešitev Viadukta Črni Kal
- I. nagrado na javnem državnem natečaju za most preko reke Vipave v Renčah
- I. in II. nagrado za novi cestni most preko reke Drave na Ptuj
- I. nagrado (skupaj s francoskim izvajalskim podjetjem Freyssinet ter belgijskim podjetjem BSIX) za konstrukcijsko rešitev mostu preko morske ožine v centru Dubaja na novi avtocestni povezavi z letališčem
- I. nagrado na mednarodnem javnem natečaju za projektno rešitev mosta preko reke Save v Beogradu z glavnim razponom 380 m

Za svoje strokovno delo pa je prejel več mednarodnih in domačih strokovnih priznanj in nagrad:

- nagrado SDGKJ (Saveza društava građevinskih konstruktora Jugoslavije) za izvirno konstrukcijsko rešitev avtobusne postaje v Mariboru; Cavtat 1989
- priznanje mesta Maribor za izvedbo nove avtobusne postaje v Mariboru, Maribor 1989

- European Award for Steel Structures za projekt in izvedbo sovprežnega mostu za pešce preko reke Drave na Ptuju; ECCS, London, 1999
- nagrado Inženirske zbornice Slovenije za izjemne inženirske dosežke; Ljubljana, 2004
- priznanje DRC, Družbe za raziskave v cestni in prometni stroki, za »izredne inženirske dosežke na področju projektiranja premostitvenih objektov in velik prispevek pri razvoju slovenske cestne stroke«. Ljubljana, 2006
- zlato plaketo Univerze v Mariboru za izjemne dosežke na področju projektiranja gradbenih konstrukcij in delo na pedagoškem področju; Maribor, 2006
- priznanje občine Podgorica in Republike Črne gore za uspešno realiziran projekt mostu s poševnimi zategami preko reke

Morače v Podgorici (eden izmed sedmih simbolov nove države Republike Črne gore), Podgorica 2006

Marjan Pipenbaher je član številnih strokovnih društev, akademij in drugih združenj:

- akademik – član Inženirske akademije Slovenije
- predsednik ZBS – Združenje za beton Slovenije
- član Inženirske zbornice Slovenije, pooblaščen projektant in revident zahtevnih objektov
- član Društva gradbenih konstruktorjev Slovenije
- član Društva gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor
- član Tehničnega odbora za premostitvene objekte v okviru Ministrstva za promet RS

- član IABSE – International Association for Bridge and Structural Engineering
- član FIB – Federation International du Beton – Mednarodno združenje za beton
- Član EERC – Earthquake Engineering Research Center (Berkeley – California/USA)
- Član PTI – Post Tensioning Institute USA

Ustvarjalni opus našega inženirja Marjana Pipenbaherja je resnično impresiven, saj njegove stvaritve pomenijo višek inženirske ustvarjalnosti – kot sinteze konstrukcijske dovršenosti, estetike in funkcionalnosti. Nanj smo mariborski gradbeniki upravičeno ponosni, zato smo ga zasluženo počastili s priznanjem »inženir leta«.

**Stipan Mudražija, univ. dipl. inž. grad.,
predsednik DGIT Maribor**

HIDROLOŠKO MODELIRANJE: VPLIV HISTOGRAMA PADAVIN NA HIDROGRAM POVRŠINSKEGA ODTOKA

HYDROLOGICAL MODELLING: THE INFLUENCE OF PRECIPITATION HYETOGRAPH ON RUNOFF HYDROGRAPH

Luka Dirnbek, univ. dipl. inž. grad.

KOSTAK, Komunalno-stavbno podjetje, d. d.,
Leskovškova cesta 2 a, Krško

doc. dr. Mojca Šraj, univ. dipl. inž. grad.

UL FGG, Jamova 2, Ljubljana, mojca.sraj@fgg.uni-lj.si

Znanstveni članek

UDK: 556.12:556.16

Povzetek | V prikazani študiji smo z umerjenim modelom padavinskega območja Glinščice (HEC-HMS) ugotavljali vpliv histograma efektivnih padavin na hidrogram odtoka. Analizirali smo vpliv šestih različnih metod izračuna padavinskih izgub, vpliv razporeditve sintetičnega histograma padavin in položaja konice histograma padavin na hidrogram padavinskega odtoka. Rezultati so pokazali, da izbira metode izračuna izgub v našem primeru nima velikega vpliva na hidrogram odtoka, zato pa ima velik vpliv na konico in čas pojava konice izbira sintetičnega histograma padavin oz. časovna razporeditev vhodnega histograma z določeno povratno dobo pri daljših trajanjih padavin. Spreminjanje položaja konice histograma je pokazalo, da le-ta bistveno vpliva na čas pojava konice in tudi na samo višino konice.

Summary | The present research investigates the effect of the rainfall excess hyetograph on modeled hydrograph with the use of calibrated model (HEC-HMS) of the Glinščica watershed. The influence of six different models of rainfall loss, the temporal pattern of synthetic hyetograph and different positions of the maximum intensity were analysed. The results showed that all six models of rainfall loss in our study gave applicable and comparable results. The use of different temporal pattern of synthetic hyetograph showed that there was no significant influence on runoff hydrograph by short rainfall durations, but extending of the rainfall duration caused considerable increasing of the difference in peak discharge and time to peak. Changing the maximum rainfall position caused the essential differences in time to peak of resulted hydrographs and also differences in peak discharge were established.

1 • UVOD

Proces padavinskega odtoka je kompleksen pojav, ki ga je težko točno simulirati. V projektantski praksi se zahteva razumna točnost določitve osnovnih lastnosti hidrograma od-

toka, predvsem konice in volumna odtoka. Problem nastopi predvsem pri nemerjenih povodjih in pri določanju konic z določeno povratno dobo – projektnih pretokov. Pro-

jektalni pretoki se po navadi določajo s pomočjo sintetičnih histogramov padavin z določeno povratno dobo in trajanjem, dobljenih na podlagi natančne statistične analize padavinskih dogodkov za čim daljše obdobje meritev. Na ta način dobimo odvisnost med intenziteto, trajanjem in povratno dobo. Pravilna predstavitev sintetičnih padavin je bistvenega pomena za

modele padavinskega odtoka ((Ball, 1994), (El-Jabi, 1991), (Lambourne, 1987)). V prikazani študiji smo poskušali z umerjenim modelom padavinskega odtoka (HEC-HMS)

ugotoviti vpliv histograma učinkovitih padavin na hidrogram odtoka. Model je bil narejen za merjeno padavinsko območje Glinščice. Ugotavljali smo vpliv izbire metode izračuna pa-

davinskih izgub, vpliv porazdelitve sintetičnega histograma padavin in vpliv položaja konice sintetičnega histograma padavin za različna trajanja in povratne dobe.

2 • OBRAVNAVANO OBMOČJE

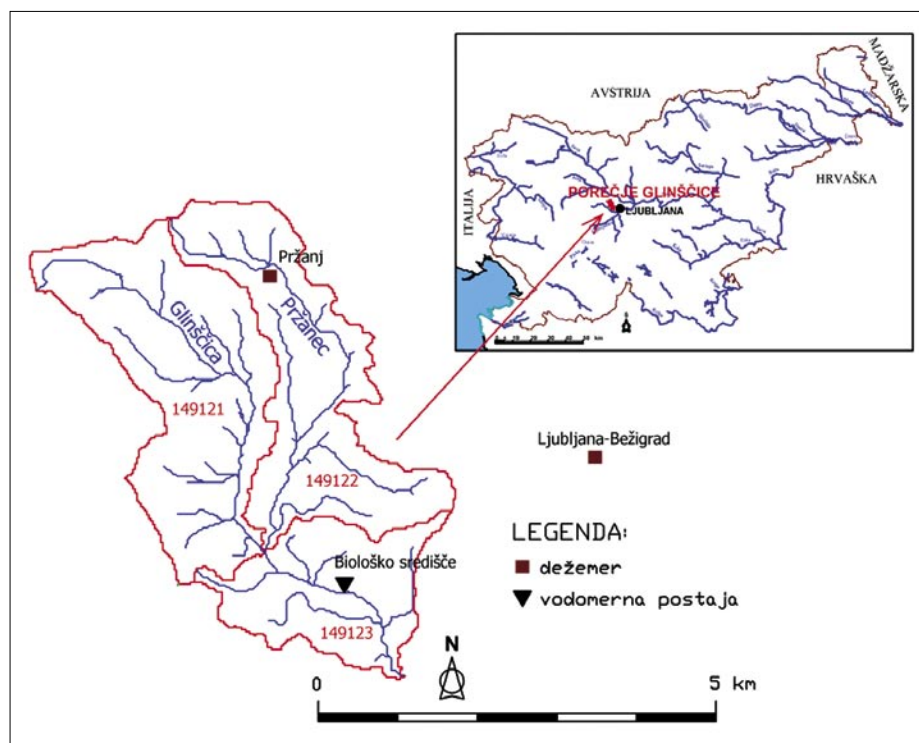
Padavinsko območje Glinščice (slika 1) je eno od treh eksperimentalnih porečij v Sloveniji. Eksperimentalna porečja rek Dragonje, Reke in Gradaščice z Glinščico so danes eksperimentalna osnova razvoja hidrologije, tudi v mednarodnem pomenu ((Brilly, 2006a), (Globevnik, 2004), (Petan, 2008), (Petkovšek, 2004), (Rusjan, 2008), (Šraj, 2008a), (Šraj, 2008b)). Omenjena porečja so opremljena s sodobno opremo za merjenje padavin, pretokov vode, erozijskih pojavov in kakovosti vode. Oprema in meritve omogočajo testiranje novih instrumentov in razvoj metod za izvajanje terenskih hidroloških meritev.

Vodotok Glinščica izvira pod severovzhodnimi obronki Toškega čela in pri Podutiku preide v ravninski del Ljubljanske kotline. Topografsko je porečje sestavljeno iz gričevnatega dela na vzhodu in zahodu ter ravninskega dela, ki se razširi v južnem delu. Relief porečja Glinščice je precej raznolik od strmih povirnih območij do ravnice. Ravninski del porečja je slabo prepusten. Povirje Glinščice sega na severni strani v pobočje Toškega čela in Črnega Vrha, razvodnica na vzhodu sega v urbano območje mesta Ljubljana (Dravlje, Šiška) preko Šišenskega hriba in Rožnika do izliva v Gradaščico, ki predstavlja najjužnejšo točko porečja. Padavinsko prispevno območje Glinščice obsega 16,85 km². Položaj odvodnice znotraj urbanega območja določa odvodnja meteornih voda s kanalizacijskim sistemom, zato orografska razvodnica ne sovпада vedno s prispevnim območjem

Glinščice. Večji pritok Glinščice je Pržanec, ki odvaja vodo s pretežno ravninskega dela vzhodno od Glinščice. Porečje Glinščice je razdeljeno na tri prispevna območja na 6. nivoju šifranta padavinskih območij vodotokov Republike Slovenije (Šraj, 2001). Večji del porečja Glinščice pokriva gozd (48,6 %),

sledijo kmetijske površine (22 %), ostalo pa so urbanizirane površine (10,6 %) (Brilly, 2006a). Zemljine porečja so po klasifikaciji SCS (U.S. Army Corps of Engineers, 2000) pretežno tipa C in D z nizko stopnjo infiltracije.

Porečje Glinščice je opremljeno z avtomatskim dežemerom (Onset RG2-M) v Pržanju, z Dopplerjevim merilcem hitrosti in gladin vode (Starflow Unidata 6526 model) pri Biološkem središču ter sondo za terensko merjenje kvalitete vode (Hydrolab DataSonder 4).



Slika 1 • Porečje Glinščice

3 • METODE

3.1 Hidrološki model

Programski paket HEC-HMS je razvil Hidrološki inženirski center (HEC) ameriške vojske (US Army Corps of Engineers, 2000) in je v bistvu spremenjena različica programa HEC-1, ki je bil razvit za okolje DOS in so ga predstavili že leta 1968. Program HEC-1 je eden najstarejših in najbolj znanih programov za

simulacijo padavinskega odtoka s povodja. Nova različica programa HEC-HMS je prilagojena novi računalniški opremi in delu z okni (HEC-HMS, 2009). Program je v osnovi namenjen modeliranju padavinskega odtoka s povodij. Vključuje tako naravni in umetni odtok s povodij kot zaloge vode na velikih rečnih povodjih ter poplave. Izračunane hidrograme

v programu lahko uporabimo neposredno ali v povezavi z drugo programsko opremo za različne študije, kot so napovedovanje poplav in vodnih zalog, določanje projektnih pretokov in visokovodnih konic, ugotavljanje odtoka s povodij, modeliranje pregrad in propustov, študije vpliva bodoče urbanizacije in podobno (Brilly, 2006b).

V HEC-HMS je vključenih več modelov za izračun padavinskih izgub, s katerimi program izračuna histogram učinkovitih padavin. Efektivne padavine pa transformiramo v odtok z

empiričnimi modeli hidrograma enote ali s konceptualno metodo kinematičnih valov. Za transformacijo je bila v modelu Glinščice uporabljena metoda hidrograma enote, dobljenega iz meritev. Model je bil predhodno umerjen in nato primerjan z izbranim merjenim hidrogramom (november, 2003). Pripadajoče padavine so trajale 40 ur z največjo intenziteto 6 mm/h. Celotna količina padavin je bila 50,4 mm.

3.2 Modeli padavinskih izgub

Padavinske izgube so del padavin, ki so prestrežene, infiltrirane ali akumulirane na površini in ne prispevajo k površinskemu odtoku. Preostale padavine so učinkovite padavine, ki so enakomerno porazdeljene po povodju in predstavljajo površinski odtok (Brilly, 2006b).

Za račun padavinskih izgub program HEC-HMS uporablja naslednje metode:

1. model začetnih in enakomernih izgub,
2. model deficita in enakomernih izgub,
3. model SCS,
4. eksponentno metodo,
5. Green-Amptov model,
6. Smith-Parlangeov model,
7. model stalnega računa vlažnosti zemljine (SMA),
8. mrežasti model SCS,
9. mrežasti model deficita in enakomernih izgub,
10. mrežasti model stalnega računa vlažnosti zemljine (SMA).

Z zgoraj naštetimi metodami izračunamo izgube padavin za vsak računski interval. Izgube se nanašajo na višino padavin v določenem časovnem obdobju. Izbira metode za izračun izgub in ocena parametrov sta lahko kritična koraka pri modeliranju.

V nadaljevanju je predstavljenih šest najpogostejše uporabljenih metod za izračun padavinskih izgub, ki smo jih aplicirali na povodju Glinščice. Za metode, ki niso vgrajene v program HEC-HMS, so bile izgube izračunane ročno s programom MS Excel.

3.2.1 Model infiltracijskega indeksa Φ

Je najpreprostejša metoda računanja padavinskih izgub. Infiltracijo obravnavamo kot konstantno skozi celoten padavinski dogodek. Količina infiltracije je odvisna le od infiltracijskega indeksa Φ (Brilly, 2006b). Program HEC-HMS nima možnosti uporabe metode infiltracijskega indeksa. Ker metoda predvideva enakomerne izgube skozi celoten padavinski dogodek, je bila v programu uporabljena metoda začetnih in enakomernih izgub, z

enakimi začetnimi izgubami kot v vseh ostalih časovnih intervalih. Vrednost Φ -indeksa v naši študiji je bila določena kot razlika med izmerjenim volumnom padavin in izmerjenim volumnom odtoka s prispevne površine Glinščice. Dobljena vrednost Φ -indeksa je 0,778 mm/h (Dirnbek, 2009). Razmerje med padavinami in izgubami je prikazano na sliki 2.

3.2.2 Hortonov model

Hortonov empirični model infiltracijskih izgub je eden najstarejših in najpogostejše uporabljenih infiltracijskih modelov. Horton je model razvil v zgodnjih tridesetih letih prejšnjega stoletja (Horton, 1939). Ugotovil je, da se sposobnost infiltracije zmanjšuje skoraj eksponentno od neke začetne vrednosti f_0 do končne konstantne vrednosti f_c :

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

kjer f predstavlja infiltracijo v času t in k konstanto, ki predstavlja zmanjšanje infiltracijske kapacitete. Hortonov model je postal osnova za razvoj drugih modelov. Program HEC-HMS nima možnosti izbire Hortonove metode, zato je bil izračun izgub in odtoka izveden ročno s programom MS Excel. Uporabljeni parametri so prikazani v preglednici 1 in rezultati izračuna na sliki 2.

Vodobirna površina	149121	149122	149123
Površina (km ²)	7,20	5,99	3,66
f_0 (mm/h)	7,60	7,60	7,60
f_c (mm/h)	0,65	1,3	0,65
k (1/h)	2,00	2,00	2,00

Preglednica 1 • Uporabljeni parametri Hortonovega infiltracijskega modela za prispevne površine Glinščice (Dirnbek, 2009)

3.2.3 Model začetnih in enakomernih izgub

Pogosto uporabljen model, ki se po navadi uporablja pri porečjih, za katera nam primanjkuje podatkov o lastnostih zemljin. Potrebujemo majhno število podatkov, in sicer začetne izgube, konstantno infiltracijo in delež neprepustnega površja. Začetne izgube predstavljajo prestrežene padavine in zadrževanje vode v depresijah. Konstantno infiltracijo pa lahko ob pomanjkanju meritev določimo s pomočjo klasifikacije zemljin SCS (SCS, 1986). V preglednici 2 so podane izgube našega modela, rezultati izračuna pa na sliki 2.

Vodobirna površina	149121	149122	149123
Začetne izgube (mm)	14,10	10,17	5,62
Konstantne izgube (mm/h)	0,65	1,3	0,65

Preglednica 2 • Uporabljeni parametri modela začetnih in enakomernih izgub za prispevne površine Glinščice (Dirnbek, 2009)

3.2.4 Model padavinskih izgub SCS

Model padavinskih izgub SCS je empirični model, ki izvira iz teorije hidrograma enote. Je enostaven in stabilen model, ki se uporablja povsod po svetu, saj nam omogoča izračun izgub na nemerjenih porečjih (US Army Corps of Engineers, 2000). Parametri modela se določijo na podlagi značilnosti porečja. Agencija ameriškega ministrstva za kmetijstvo je izdelala klasifikacijo zemljin glede na njihovo prepustnost in je lastnosti zemljine opisala s koeficientom CN , ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine (Brilly, 2006b). Efektivne padavine izračunamo s pomočjo enačbe:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2)$$

kjer je P kumulativna količina padavin v času t , parameter I_a predstavlja začetne izgube, S pa maksimalno potencialno zadrževanje (retenzija). Maksimalno potencialno zadrževanje S in značilnosti povodja so povezani s parametrom CN kot.

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \quad (3)$$

Vrednosti parametra CN so med 30 in 98 ((SCS, 1971), (SCS, 1986)). Parameter je odvisen od hidrološke skupine zemljin, pokrivnosti tal, hidroloških pogojev in neprepustnih površin. Parametri naše študije so podani v preglednici 3, rezultati pa na sliki 2.

Vodobirna površina	149121	149122	149123
I_a (mm)	1,2	2,4	2,4
CN	88	89	89

Preglednica 3 • Uporabljeni parametri modela SCS za prispevne površine Glinščice (Dirnbek, 2009)

3.2.5 Model Greena in Ampta

Metoda Greena in Ampta predstavlja konceptualno metodo infiltracije padavin na porečju. Analitični model infiltracijskih izgub sta razvila znanstvenika Green in Ampt leta 1911 in temelji na Darcy'jevem zakonu. Pri tem modelu uporabimo za začetne pogoje primanjkljaj vlažnosti do zasičenosti. Ta deficit je ocenjen z razliko med poroznostjo zemljine in prostornino vode, ki je prisotna na začetku v zemljini. Za poroznost ne vzamemo celotne poroznosti zemljine, ampak moramo vzeti del poroznosti, ki je prisotna pri infiltraciji. Tako moramo v modelu določiti sposobnost vsrkavanja zemljine, ki je odvisna od strukture zemljine. Poznati moramo vse lastnosti hidravlične prevodnosti, ki jih lahko določimo iz geoloških raziskav terena in teksture zemljine (US Army Corps of Engineers, 2008). Pri modelu so vse enačbe dobljene na podlagi predpostavke, da se voda infiltrira v relativno suho zemljino pri nevihti z ostro konico maksimalnih padavin. Končne izgube padavin na prepustni površini se izračuna kot:

$$f = K \left[\frac{1 + (\Phi - \theta_i) \cdot S_f}{F_t} \right] \quad (4)$$

kjer je K zasičena hidravlična prevodnost, $(\Phi - \theta_i)$ je volumen deficita vlažnosti, S_f je sesanje vlažne fronte in F_t so kumulativne izgube v času t . Z naraščanjem časa infiltracija f pada. V programu HEC-HMS je Greenov in Amptov model konceptualni model, ki vključuje tudi začetne izgube, ki drugače niso vključene v osnovni model (US Army Corps of Engineers, 2000). Ocenjeni vhodni parametri za prispevno območje Glinščice so podani v preglednici 4 in rezultati na sliki 2.

Vodobirna površina	149121	149122	149123
Začetne izgube (mm)	14,10	10,17	5,62
Volumen deficita vlažnosti	0	0	0
Sesanje vlažne fronte (mm)	714	636	714
Hidravlična prevodnost (mm/h)	0,6	1,2	0,6

Preglednica 4 • Uporabljeni parametri Green-Amptovega modela za prispevne površine Glinščice (Dirnbek, 2009)

3.2.6 Smith-Parlangov model

Smith-Parlangov model temelji na Richardsovi enačbi infiltracije. Potencialna infiltracija f se računa po enačbi:

$$f = K_s \frac{\exp(f_{cum} / B)}{\exp(f_{cum} / B) - 1} \quad (5)$$

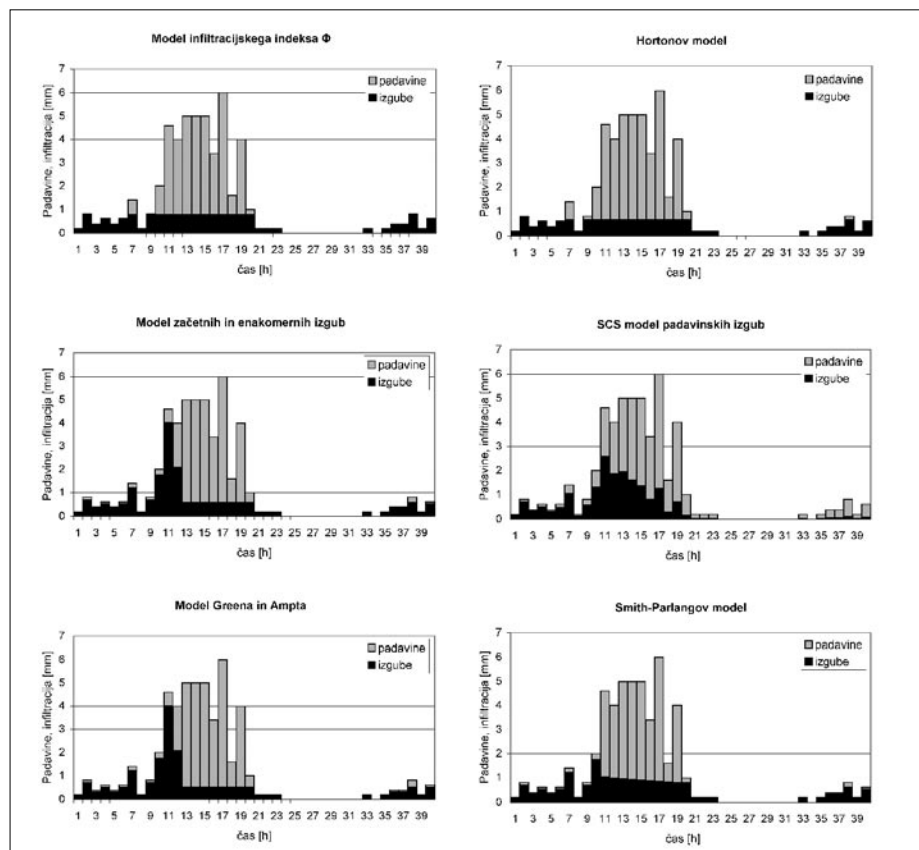
kjer je K_s efektivna zasičena hidravlična prevodnost v časovnem koraku, f_{cum} je kumulativna infiltracija od začetka padavin in B je parameter deficita zasičenosti, ki upošteva efektivni kapilarni dvig in deficit zasičenosti zemljine.

Kot vhodne podatke za model HEC-HMS potrebujemo začetno količino vode v zemljini, preostanek vode, zasičeno količino vode, pritisk vpijanja, porazdeljenost por v zemljini, prevodnost, delež neprepustnega površja, koeficient temperature in koeficient zemljine (preglednica 5). Začetno količino vode določimo kot volumensko razmerje glede na količino padavin. Poznati moramo tudi količino vode, ki se je zadržala v zemljini po končanem dreniranju. Njeno vrednost dobimo z laboratorijskimi raziskavami ali z oceno, ki jo določimo s pomočjo podatkov o teksturi zemljine. Maksimalna sposobnost zadrževanja vode se po

navadi privzame kot enaka poroznosti zemljine. Pritisk zaradi vpijanja se določi na podlagi teksture zemljine. Tekstura vpliva tudi na količino in porazdeljenost por v zemljini ter hidravlično prevodnost. Hidravlična prevodnost predstavlja efektivno zasičeno prevodnost, ki je posledica efektivnih padavin. Vhodni parametri modela HEC-HMS so podani v preglednici 5 in rezultati na sliki 2.

Vodobirna površina	149121	149122	149123
Začetna količina vode	0,415	0,415	0,415
Preostanek zasičenosti	0,09	0,109	0,09
Poroznost	0,475	0,43	0,475
Pritisk vpijanja (mm)	856	794,8	856
Porazdeljenost por	0,165	0,223	0,165
Hidravlična prevodnost (mm/h)	0,6	1,2	0,6

Preglednica 5 • Uporabljeni parametri Smith-Parlangovega modela za prispevne površine Glinščice (Dirnbek, 2009)



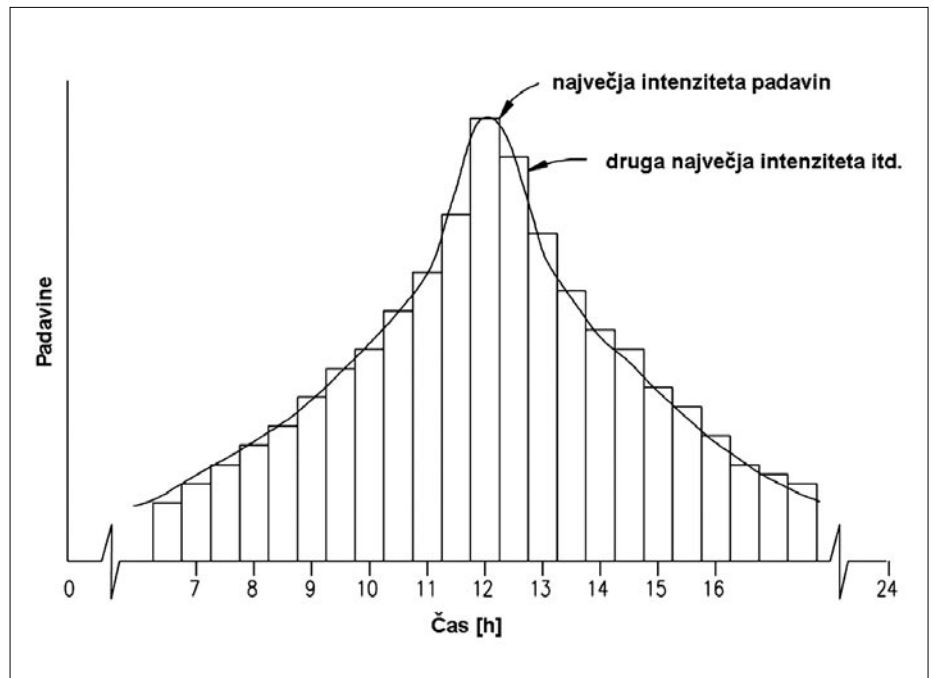
Slika 2 • Prikaz razmerja efektivnih padavin in padavinskih izgub pri uporabi različnih modelov

3.3 Sintetični histogrami padavin

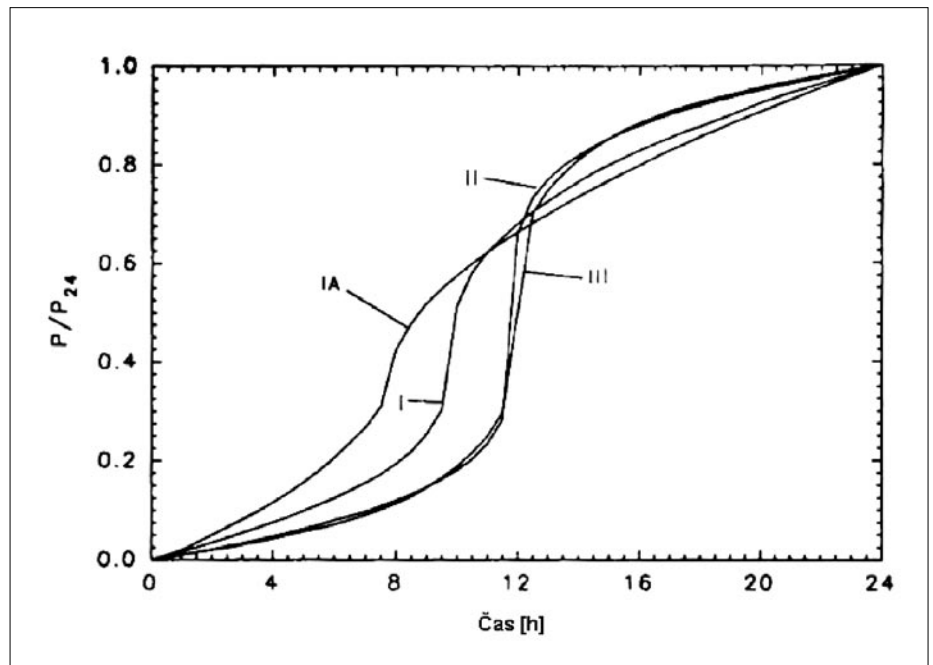
Za izračun projektnih pretokov določene povratne dobe, analizo poplav, načrtovanje, določanje poplavnih linij ipd. se pri hidrološkem modeliranju pogosto uporabljajo sintetični histogrami padavin, dobjeni na podlagi statistične analize padavinskih dogodkov za čim daljše obdobje meritev. Uporabljamo pa jih tudi takrat, ko nimamo na voljo meritev padavin ali pa so le-te prekratke. Sintetični histogrami padavin so najpomembnejši vhodni podatki pri določanju projektnih pretokov (Ball, 1994). Sintetični histogrami padavin določene povratne dobe so časovno porazdeljeni po vzorcu, ki ga po navadi določimo na podlagi krivulj intenziteta-trajanje-pogostost (*ang. intensity-duration-frequency curves*).

Pri konstruiranju sintetičnih padavin je pomembno, da uporabimo primerno trajanje nevihte, časovne intervale, na katere razdelimo nevihto ter razporeditev padavin v odvisnosti od časa. Te podatke prilagodimo glede na površino drenažnega območja in jih uporabimo v hidrološkem modelu (US Army Corps of Engineers, 1982).

Med najbolj znane metode izdelave sintetičnega histograma spada 24-urna porazdelitev padavin SCS, razvita v ZDA, ki temelji na krivuljah intenziteta-trajanje-pogostost ((USACE, 1982), (SCS, 1986)). Krivulje se dobi z natančno analizo padavinskih podatkov za daljše obdobje meritev. Najprej poiščemo maksimalne srednje intenzitete padavin različnih trajanj (5 min, 10 min ... 24 ur). Izmed vseh maksimumov poiščemo letne ekstremne vrednosti, ki se jim poišče najboljše prilagajajočo se porazdelitveno funkcijo (po navadi je to Gumbelova porazdelitev ekstremnih vrednosti). Tako dobimo intenzitete padavin različnega trajanja ter z različno pogostostjo pojavljanja (povratno dobo). Metoda sintetičnega histograma padavin SCS postavi največjo intenziteto na izbrano mesto (25, 50, 75 % trajanja padavin), za njo drugo največjo in pred njo tretjo po velikosti itd. (slika 3). Na tak način so dejansko zajete vse mejne vrednosti intenzitet znotraj 24 ur. Zato je metoda 24-urnega sintetičnega histograma padavin SCS primerna tako za velika kot majhna povodja. V ZDA imajo izdelane 4 regionalne tipe porazdelitev padavin, tipične za določena območja, ki omogočajo hidrologom hitro in enostavno izdelavo sintetičnih histogramov za modeliranje projektnih pretokov (slika 4). Tipa I in Ia zajemata 13 zahodno ležečih gorskih držav, Havaje in Aljasko, tip II 35 vzhodno ležečih držav in tip III Mehiko in obalo Atlantika.



Slika 3 • 24-urni sintetični histogram SCS (SCS, 1986)



Slika 4 • Regionalni tipi porazdelitve padavin za posamezna območja ZDA (SCS, 1986)

V naši študiji smo ugotavljali vpliv sintetičnih histogramov različnih trajanj in verjetnosti na modeliran odtok. Poleg tega smo spreminjali položaj konice sintetičnega histograma in ugotavljali vpliv položaja na hidrogram odtoka.

Narejena pa je bila tudi primerjava med zgoraj opisanim modelom sintetičnega histograma in enakomerno razporejenimi padavinami znotraj padavinskega dogodka. Rezultati študije so predstavljeni v nadaljevanju.

4 • REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Vpliv modela padavinskih izgub

V študiji smo uporabili šest najpogosteje uporabljenih metod padavinskih izgub (metodo infiltracijskega indeksa Φ , Hortonov model, model začetnih in enakomernih izgub, model SCS, model Greena in Amptta ter Smith-Parlangov model).

Vseh šest modelov je dalo sprejemljive in primerljive rezultate (preglednici 6 in 7; slika 5). Analiza in primerjava rezultatov danega primera kaže, da uporaba različnih modelov padavinskih izgub ni bistveno vplivala na rezultate hidrološkega modela. Razlike seveda obstajajo, vendar niso tolikšne, da bi bistveno vplivale na projektni pretok (preglednica 7). Do podobnih zaključkov sta prišla tudi Garklavs in Oberg v svoji študiji (Garklavs, 1986). Ocenjena povprečna napaka posameznih modelov naše študije (*RMSE – root mean squared error*) je med 0,27 in 0,77 m³/s (preglednica 7). V splošnem je najmanjšo napako dal model, kjer je bila uporabljena metoda SCS padavinskih izgub (*RMSE* = 0,27 m³/s). Model je sicer podcenil konico hidrograma za 7,6 %, je pa najbolje določil volumen vala in čas pojava konice (preglednica 7).

Najpogosteje uporabljeni metodi v Sloveniji in tudi drugod po svetu sta metoda SCS in metoda začetnih in enakomernih izgub. Razlog je predvsem v njuni enostavnosti. Modela zahtevata le enega oz. dva parametra, kar je v praksi seveda prednost, ker natančnejših geoloških meritev po navadi nimamo na voljo.

4.2 Vpliv porazdelitve padavin sintetičnega histograma

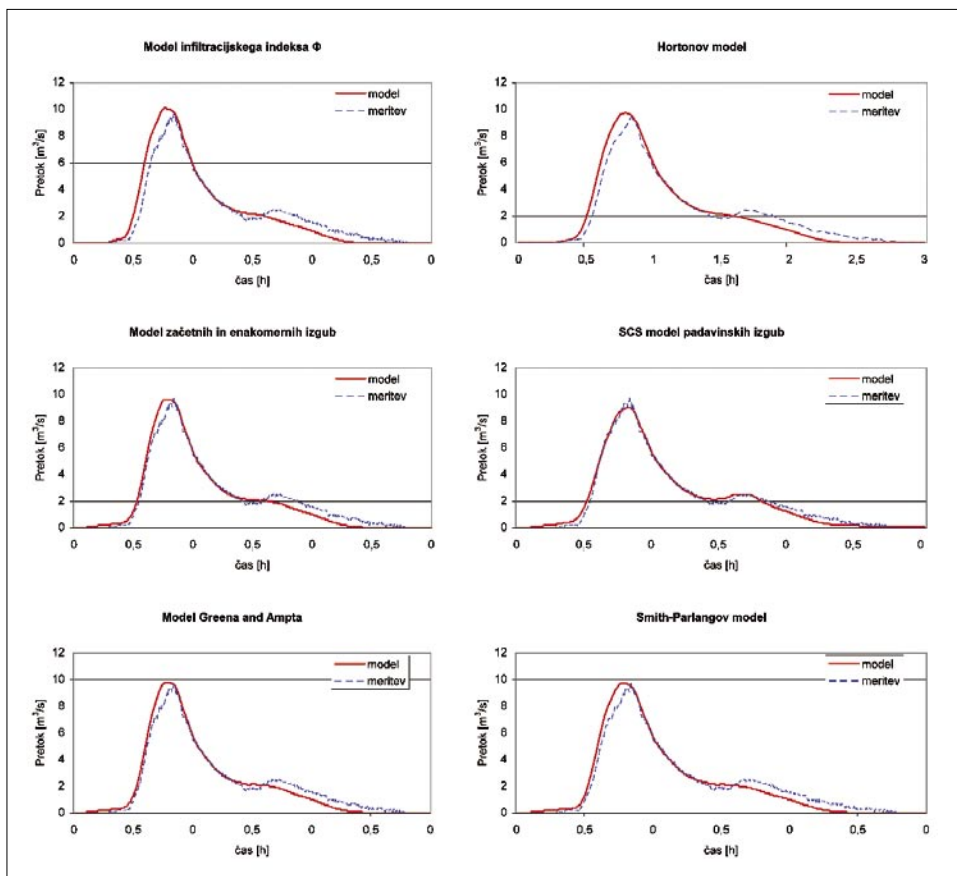
Ker v praksi pogosto nimamo meritev pretokov, da bi lahko hidrološki model umerili, so rezultati (projektni pretok, volumen vala, čas pojava konice) odvisni predvsem od pravilno vnesenega sintetičnega histograma padavin. V študiji smo naredili primerjavo in analizo dveh različnih porazdelitev sintetičnih padavin, in sicer tipične razporeditve padavin SCS (SCS, 1986) s konico na sredini naliva in enakomerne razporeditve padavin. Pri kratkotrajnih nalivih (120 min) ni bilo opaziti bistvenega vpliva razporeditve sintetičnih padavin na hidrogram odtoka (preglednica 8, slika 6). Toda s podaljševanjem trajanja sintetičnih padavin se je razlika v konici odtoka in času njenega pojava drastično večala. Pri 24-urnem trajanju enakomerno razporejenih padavin je bila konica hidrograma odtoka za več kot 100 % nižja kot pri razporeditvi padavin SCS.

	Vodozbirna površina	Padavinske izgube (mm)	Efektivne padavine (mm)	Q_{max} (m ³ /s)	Volumen odtoka (m ³)
Model Φ indeksa	149121	16,82	33,58	4,3	241800
	149122	16,82	33,58	3,6	201100
	149123	16,82	33,58	2,2	122900
Hortonov model	149121	14,88	35,52	4,2	255800
	149122	22,70	27,70	3,5	165900
	149123	14,88	35,53	2,1	130000
Model začetnih in enakomernih izgub	149121	19,98	30,42	4,1	219100
	149122	19,78	30,62	3,3	183400
	149123	12,37	38,03	2,4	139200
Model SCS	149121	18,81	31,59	3,7	227300
	149122	16,59	33,81	3,3	202400
	149123	16,59	33,81	2	123700
Greenov in Amptov model	149121	19,56	30,84	4,1	222000
	149122	19,13	31,27	3,3	187300
	149123	11,91	38,49	2,4	140900
Smith-Parlangov model	149121	20,18	30,22	4	217600
	149122	14,98	35,51	3,7	212700
	149123	17,97	32,49	2,1	118900

Preglednica 6 • Rezultati hidrološkega modeliranja z uporabo različnih modelov padavinskih izgub za posamezne prispevne površine Glinščice (Dirnbek, 2009)

	Q_{max} (m ³ /s)	Razlika (%)	Volumen odtoka (m ³)	Razlika (%)	Čas pojava konice	Razlika (%)	RMSE (m ³ /s)
Model Φ -indeksa	10,1	3,7	566000	1,9	18:20	-1:50	0,77
Hortonov model	9,76	0,2	551800	-0,6	19:00	-1:10	0,58
Model začetnih in enakomernih izgub	9,6	-1,4	541600	-2,5	18:40	-1:30	0,47
Model SCS	9,0	-7,6	553400	-0,3	20:00	-0:10	0,27
Greenov in Amptov model	9,8	0,6	550200	-0,9	18:40	-1:30	0,49
Smith-Parlangov model	9,7	-0,4	549200	-1,1	18:40	-1:30	0,52
Merjeni hidrogram	9,74	0	555290	0	20:10	0	0

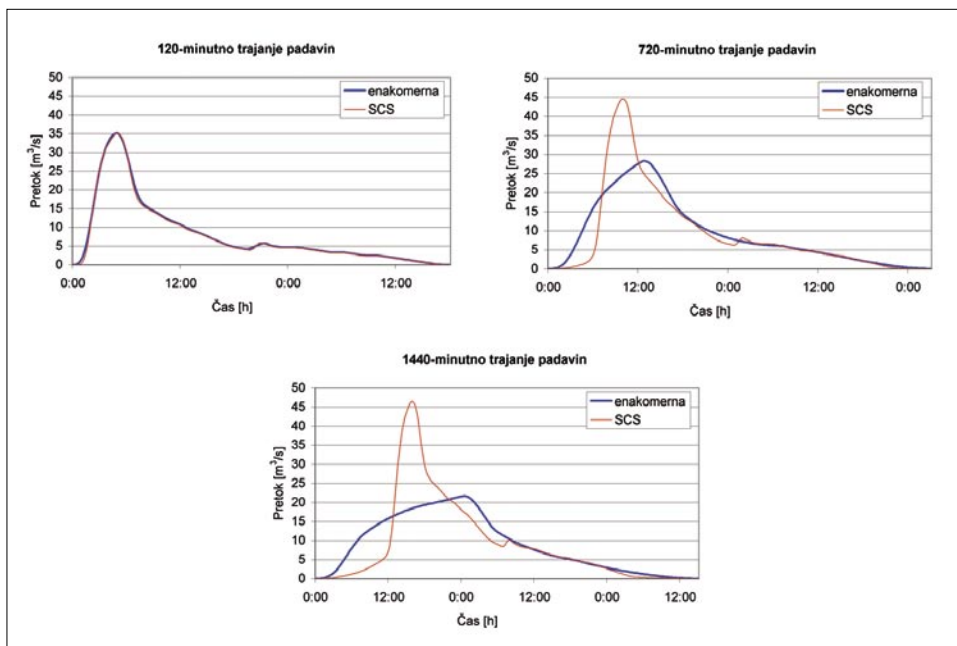
Preglednica 7 • Primerjava rezultatov hidrološkega modeliranja z uporabo različnih modelov padavinskih izgub in merjenih hidrogramov Glinščice (Dirnbek, 2009)



Slika 5 • Primerjava modeliranih odtokov z uporabo različnih modelov padavinskih izgub in merjenega odtoka

Iz rezultatov je razvidno, da enakomerna razporeditev padavin daljšega trajanja daje bistveno nižje konice odtokov in hkrati tudi daljše čase pojava samih konic kot tipična razporeditev padavin SCS. Do podobnih zaključkov so prišli tudi avtorji različnih študij po svetu ((Huff 1967), (Hager, 1985), (Ball, 1994), (Singh, 1997)). Lambourne in Stephenson sta pokazala, da uporaba enakomerno razporejenih padavin (pravokotne oblike) podcenjuje konico in volumen projektnega hidrograma, zato so uporabniki take razporeditve padavin na nevarni strani (Lambourne, 1987). Huff je bil prvi, ki je pokazal, da je časovna razporejenost padavin v večini primerov dejansko bolj ali manj trikotne oblike (Huff, 1967). Ball (Ball, 1994) je poleg tega v svoji študiji ugotovil, da čas koncentracije ni samo lastnost povodja in torej konstanta, temveč je odvisen tudi od časovne razporeditve padavin. Zatorej ga ne bi smeli določati brez upoštevanja časovno neenakomerno razporejenih padavin. Ball (Ball, 1994) je v svoji raziskavi ugotovil, da je čas koncentracije porečja lahko tudi za približno 20 % krajši ali daljši od tistega, ki ga predpostavimo z uporabo enakomerno razporejenih padavin. Do enakih ugotovitev je prišel tudi Hager (Hager, 1985).

4.3 Vpliv položaja konice sintetičnega histograma padavin



Slika 6 • Primerjava modeliranih odtokov pri uporabi različne razporeditve sintetičnih padavin različnega trajanja

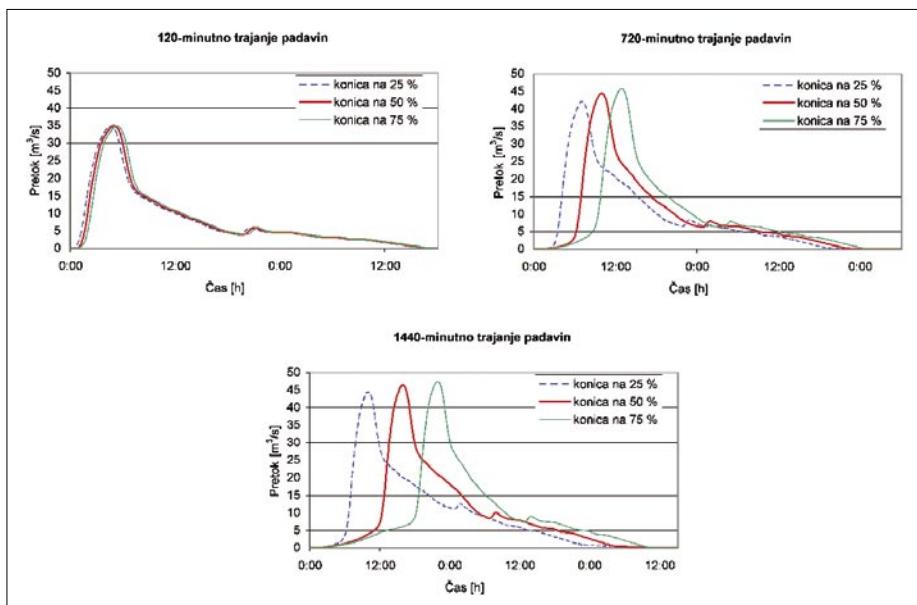
Uporabili smo tri različne položaje konice sintetičnega histograma padavin (25, 50 in 75 % trajanja padavin) za različna trajanja in 100-letno povratno dobo padavin. V modelu je bila uporabljena metoda začetnih in enakomernih padavinskih izgub. Rezultati (preglednica 9 in slika 7) so pokazali bistvene razlike v času pojava konice in manjše razlike v višini konice. Razlika v času pojava konice se opazno večja z daljšanjem trajanja padavin (slika 7). Do podobnih zaključkov so prišli tudi Danil in sodelavci (Danil, 2005), ki so ugotovili, da lahko enak projektni pretok dobimo z različnimi kombinacijami trajanja in povratne dobe padavin.

Porazdelitev padavin	Trajanje padavin s 100-letno povratno dobo (min)					
	120		720		1440	
	enakom.	SCS	enakom.	SCS	enakom.	SCS
Q_{\max} (m ³ /s)	35,2	35,0	28,3	44,5	21,7	46,5
Volumen odtoka (m ³)	1209500	1180200	1689500	1697300	2025800	2041700
Čas pojava konice	4:50	5:00	12:50	9:50	24:30	15:50

Preglednica 8 • Primerjava rezultatov hidrološkega modeliranja z uporabo različnih razporeditev sintetičnih padavin različnega trajanja (Dirnbek, 2009)

	Položaj konice sintetičnega histograma		
	25 %	50 %	75 %
120-minutno trajanje			
Q_{\max} (m ³ /s)	34,7	35,0	34,9
Volumen odtoka (m ³)	1167700	1180200	1181700
Čas pojava konice	4:30	5:00	5:20
720-minutno trajanje			
Q_{\max} (m ³ /s)	42,1	44,5	45,8
Volumen odtoka (m ³)	1678700	1697300	1702500
Čas pojava konice	7:00	9:50	12:50
1440-minutno trajanje			
Q_{\max} (m ³ /s)	44,5	46,5	47,5
Volumen odtoka (m ³)	2027600	2041700	2046900
Čas pojava konice	9:50	15:50	21:50

Preglednica 9 • Primerjava rezultatov hidrološkega modeliranja za različne položaje konice histograma sintetičnih padavin (Dirnbek, 2009)



Slika 7 • Primerjava modeliranih odtokov pri uporabi različnega položaja konice sintetičnega histograma padavin različnih trajanj

5 • SKLEP

V naši študiji so vsi uporabljeni modeli padavinskih izgub dali uporabne in primerljive rezultate. Uporaba posamezne metode v našem primeru ni bistveno vplivala na konico hidrograma, čas pojava konice ali volumen odtoka.

Sintetični histogrami padavin (projektne padavine) so najpomembnejši vhodni podatek pri določanju projektnih pretokov. Njihova razporeditev, trajanje in položaj konice pa lahko bistveno vplivajo na konico hidrograma, čas pojava konice in volumen odtoka. Časovna razporeditev sintetičnih padavin bistveno vpliva na konico in čas njenega pojava. Vpliv lahko zanemarimo le v primeru kratkotrajnih padavin pri relativno majhnih povodjih s kratkimi časi koncentracije. Enakomerna razporeditev padavin lahko podceni konico hidrograma tudi za več kot 100 %, zato so projektanti v tem primeru na nevarni strani. Tipična razporeditev padavin SCS sicer lahko v določenih primerih nekoliko precenjuje projektno pretoko, kljub temu pa uporabo take razporeditve priporočajo hidrologi širom po svetu.

Trajanje padavinskega dogodka je bistveno pri načrtovanju večine projektov. Trajanje projektnih padavin po navadi narašča z naraščanjem površine padavinskega območja, odvisno pa je tudi od namena projekta. Pri projektiranju odvodnje z urbanih površin je trajanje projektnih padavin manj kot 1 ura, pri študijah zadrževanja poplavnih valov pa je po navadi trajanje projektnih padavin večje od 24 ur. V večini hidroloških študij po svetu se uporablja 24-urno trajanje projektnih padavin ali pa trajanje enako času koncentracije.

Različni scenariji položaja konice sintetičnih padavin so pokazali, da postavitve konice bistveno vpliva na čas pojava konice hidrograma in nekoliko manj na samo višino konice. Razlika v času pojava konice se bistveno večja z daljšanjem trajanja padavin.

6 • LITERATURA

- Ball, J. E., The influence of storm temporal patterns on catchment response, *J. Hydrol.*, 158, 285–303, 1994.
- Brilly, M., Rusjan, S., Vidmar, A., Monitoring the impact of urbanisation on the Glincica stream, *Phys. Chem. Earth.*, 31, 17, 1089–1096, 2006a.
- Brilly, M., Šraj, M., Teoretične osnove modeliranja površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS, Učbenik, UL FGG, Ljubljana, 2006b.
- Danil, E. I., Michas, S. N., Lazaridis, L. S., Hydrologic modeling for the determination of design discharges in ungauged basins, *Global NEST Journal*, 7, 3, 296–305, 2005.
- Dirnbek, L., Vpliv histograma efektivnih padavin na hidrogram odtoka, Diplomsko delo, UL FGG, Ljubljana, 2009.
- El-Jabi N., Sarraf S., Effect of maximum rainfall position on rainfall-runoff relationship, *ASCE Publ.*, 117, 5, 681–685, 1991.
- Garklavs, G., Oberg, K. A., Effect of rainfall excess calculations on modeled hydrograph accuracy and unit-hydrograph parameters, *J. of American Water Resources Association*, 22, 4, 565–572, 1986.
- Globevnik, L., Kaligarič, M., Sovinc, A., Forest cover progression, land-use and socio-economic changes on the edge of the Mediterranean. In Mazzoleni, S., Pasquale, G., Mulligan, M., Martino, P., Rego, F. (editors): *Recent dynamics of the Mediterranean vegetation and landscape*, Wiley, 237–244 (Chapter 21), 2004.
- Hager, W. H., Effects of excess rainfall time distribution on catchment area hydrograph, *Nordic Hydrology*, 16, 157–168, 1985.
- HEC-HMS, dostopno na: <http://www.hec.usace.army.mil/> (3. 9. 2009).
- Horton, R. E., Analysis of runoff plot experiments with varying infiltration capacity, *Trans. Hydrology papers, Am. Geophys. Union*, 693–711, 1939.
- Huff, F. A., Time distribution of rainfall in heavy storms, *Water Resources Research*, 3 (4), 1007–1019, 1967.
- Lambourne, J. J., Stephenson, D., Model study of the effect of temporal storm distributions on peak discharges and volumes, *Hydrological Sciences Journal*, 32 (2), 215–226, 1987.
- Petan, S., Šraj, M., Zorn, M., Vidmar, A., Mikoš, M., Brilly, M., Measurements and modelling of rainfall interception and soil erosion processes on the Dragonja experimental river basin, V: Conference on water observation and information system to decision support, Balwois, Ohrid, 2008.
- Pečkovšek, G., Mikoš, M., Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of southwest Slovenia. *Hydrological Sciences Journal* 49(5), 869–877, 2004.
- Rusjan, S., Brilly, M., Mikoš, M., Flushing of nitrate from a forested watershed: An insight into hydrological nitrate mobilization mechanisms through seasonal high-frequency stream nitrate dynamics, *J. Hydrol.*, 354, 1–4, 187–202, 2008.
- Singh, V. P., Effect of spatial and temporal variability in rainfall and watershed characteristics on stream flow hydrograph, *Hydrol. Process.*, 11, 1649–1669, 1997.
- Smith, R. E., Parlange, J. Y., A parameter efficient hydrologic infiltration model, *Water Resour. Res.* 14(3), 533–538, 1978.
- SCS, Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. USDA, Springfield, VA, 1971.
- SCS, Soil Conservation Service, Urban hydrology for small watersheds, Technical reference manual 55. USDA, Springfield, VA, 1986.
- Šraj, M., Šifrant padavinskih območij vodotokov Republike Slovenije – Watershed coding system of the Republic of Slovenia, *Acta Hydrotechnica*, 19, 30, 3–24, 2001.
- Šraj, M., Brilly, M., Mikoš, M., Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia, *Agric. for. meteorol.*, 148, 1, 121–134, 2008a.
- Šraj, M., Rusjan, S., Petan, S., Vidmar, A., Mikoš, M., Globevnik, L., Brilly, M., The experimental watersheds in Slovenia, *IOP Conference Series*, 4, 1–13, 2008b.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Analysis of Ungaged Watersheds Using HEC-1. Davis, California, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 122 str., 1982.
- U.S. Army Corps of Engineers, HEC-HMS Hydrologic Modeling System. Technical Reference Manual, ZDA, 2000.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual, 38–51, 2008.

LOČENI ALI MEŠANI SISTEM KANALIZACIJE?

SEPARATE OR COMBINED SEWER SYSTEM?

Franc Maleiner, univ. dipl. inž. kom.
Sojerjeva 43, 1000 Ljubljana

Strokovni članek
UDK: 628.2

Povzetek | Pravilna izbira sistema zbiranja ter odvajanja odpadnih voda je ključnega pomena za tehnično pravilno, ekonomsko in ekološko optimalno delovanje celotnega sistema zbiranja, odvajanja ter čiščenja odpadnih voda. Na podlagi podatkov Nemškega zveznega statističnega urada je razviden razvoj zbiranja, odvoda ter čiščenja odpadnih voda v Nemčiji v preteklih štirih desetletjih.

Summary | The right choice of the system of wastewater collection and disposal is of vital importance for the functional capability, economical and ecological efficiency of the whole process of waste water treatment.

Based on data from the Federal statistic office of Germany (Statistisches Bundesamt) the development of waste water treatment in Germany is shown over the past four decades.

1 • UVOD

Izreka pravita:

- »Dober inženir se uči na svojih napakah, bister inženir pa na tujih napakah.«
- »Ne ponavljaj že storjenih napak, saj imaš tisoče možnosti napraviti izvirno napako!«

Torej je še kako pametno preverjati tuje strokovne prijeme ter rešitve, se iz njih učiti, jih uporabiti, jih skušati reševati še nekoliko bolje, predvsem pa se izogibati ponavljanju že storjenih (dragih) napak. Kar se tiče strokovnega znanja in izkušenj na področju zbiranja, odvajanja ter čiščenja odpadnih voda, se da nedvomno največ naučiti pri nemških strokovnjakih, ki so nesporno vodilni na področju ekologije tudi v svetovnem merilu. Nemške (DIN) norme ter (DWA) strokovne smernice so namreč osnova evropskim normam ter predpisom na tem strokovnem področju. Ob mojem prihodu v Nemčijo sem leta 1968 nastopil službo ravno v deželi Baden-Württemberg, kjer so tedaj med drugimi prof. Brunner, prof. Krauth, prof. Brombach (predvsem pod vplivi sosednih švicarskih strokovnjakov v sklopu Internacionalne komisije za zaščito kvalitete voda Bodenskega jezera) pričeli najaktivneje raziskovati, meriti in ugotavljati doga-

janja v kanalizacijskih omrežjih. Strokovni ter osebni kontakti so mi tako omogočili tekoče strokovno informiranje in učenje, opazovanje vodilnega razvoja »iz neposredne bližine« in deloma tudi strokovno in praktično sodelovanje pri nastajanju in uporabi novih konceptov zbiranja ter odvajanja odpadnih voda. Prelomnica in osnova novih načinov dimenzioniranja mešanih sistemov kanalizacij v Nemčiji so vsekakor rezultati meritev na kanalizacijskem omrežju v Stuttgart-Büsnau in na tej podlagi leta 1971 izdelana disertacija prof. Krautha – »Odtok in onesnaženje odtoka v mešanem sistemu kanalizacije«. Meritve pod vodstvom prof. Krautha so namreč pokazale neenakomerno ter zelo sunkovito nastopanje onesnaženih konic v mešanih kanalizacijskih omrežjih, kar je (že tedaj) ovrгло dotedanjo (pri nas ponekod še dandanes zasidrano) strokovno prepričanje o enakomernih koncentracijah razredčenih mešanih pretokov. Čeprav je (leta 1948 ustanovljeno) nemško strokovno združenje Abwassertechnische Vereinigung (ATV e.V.) že leta 1962 izdalo predhodne smernice za dimenzioniranje ter oblikovanje prelivov v mešanem sistemu, je

dežela Baden-Württemberg šele leta 1972 (kot prva na svetu) sprejela tudi prvi tehnični odlok o obdelavi padavinskih voda (technische Richtlinien zur Regenwasserbehandlung). Nekaj let kasneje (1981) je prof. Brombach na razvejanem omrežju Bad Mergentheima (kjer sem kot vodilni ter odgovorni projektant načrtoval in vodil izdelavo ustrezne projektne dokumentacije, kakor tudi nadzoroval izgradnjo sanacij ter novogradenj kanalizacijskih omrežij) eksperimentalno dokazal pravilnost njegovih teoretičnih izvajanj in razlag transportnih dogajanj v kanalizacijskih omrežjih kakor tudi nastajanja tako imenovanih »čistilnih valov« (Spülstoß). Pridobljeno nemško strokovno znanje ter razvoj skušam (navkljub rastočemu odporu priznane uradne slovenske stroke ter visokošolstva) že od leta 1973 (več ali manj zaman) prenašati tudi na naša (tedaj še jugoslovanska) tla. V začetku sem naltel na dokaj odprta ušesa svojih strokovnih kolegov in na sodelovanje pri tedaj (tudi v jugoslovanskem merilu) vodilnemu slovenskemu projektivnemu biroju, kjer pa so se morali s časom vse bolj uklanjati ustreznim slovenskim univerzitetno-politično-strokovnim pritiskom. Hudo zamero in meni nikoli več odpuščeni osnovni greh, je namreč povzročil moj namen ustanovitve politično ter strokov-

no neodvisnega slovenskega združenja za zaščito voda (po vzorcu nemške ATV e.V.). Neposredno po ustanovitvi se je namreč to društvo hitro politično »pravilno utirilo« in sta se iz društva takoj odstranila »škodljiva« soustanovitelja (Bolz, Maleiner), ki sta zagovarjala strokovno neodvisnost. Iz strahu pred »krivoverstvom« (vse večjim tujim strokovnim znanjem in izkušnjami) so se sabotirali in končno uspešno prekinili tudi moji (in mednarodni) strokovni seminarji (prvič izven Nemčije, celo pod okriljem ATV e.V.), čeprav so na njih o aktualnih strokovnih temah širom

Slovenije predavali moji domači in tuji kolegi, univerzitetni profesorji, visoki nemški uradniki, vladni in komunalni politiki, priznani vrhunski strokovnjaki iz evropske prakse kakor tudi znani dobavitelji ter izvajalci naprav.

Moj namen zmanjšanja (takratnega le nekajletnega) strokovnega zaostanka za nemško govorečimi deželami se je tako na žalost izjalovil, saj dandanes na področju projektive ne dosegamo več niti jugoslovanskega strokovnega stanja prefektilih osemdesetih let. Nekdaj (širok Jugoslavije sloveči slovenski strokovni projektantski biroji) so se morali namreč po

osamosvojitvi Slovenije preleviti izključno v trgovne inženiringe, saj so (zaradi politično in s pomočjo slepe, gluhe in molčeče IZS okrnjenih nezadostnih honorarjev, predvsem pa z uvedbo razpisov umskih storitev) dandanes prisiljeni (za namen preživetja potrebno dodatno provizijo) zastopati, ponujati ter dobavljati investitorjem le določeno (praviloma najcenejšo, nekvalitetno) robo. Za posledično nepravilno ter slabo delovanje naprav pa od »naših« odgovornih v dobi demokratične anarhije zadnjih dveh desetletij še nihče ni odgovarjal.

2 • HIDRAVLIČNA DOGAJANJA V KANALIZACIJSKIH OMREŽJIH

Koncem šestdesetih let so se zaradi zaščite zelo onesnaženih vodotokov ter pitne vode širom tedaj Zahodne Nemčije pričele pospešeno graditi mehansko-biološke čistilne naprave. Obratovanje teh čistilnih naprav je zelo hitro pokazalo veliko medsebojno odvisnost pravilnega delovanja kanalizacijskih omrežij in čistilnih naprav.

Predvsem zaradi visokih količin tujih voda (zaradi pomanjkljivega ter neustreznega zbiranja ter dovoda odpadnih voda) in napačnega razbremenjevanja (zaradi nizkih prelivnih robov ter pomanjkanja dušilk) so bile tedaj čistilne naprave pogosto biološko »nedohranjene«, saj se je (podobno kakor se to še vedno dogaja na primer v Ljubljani) v vodotoke razbremenjeval pretežni delež letnega onesnaženja, medtem ko so na čistilne naprave dotekali le hudo razredčeni dotoki.

Zaradi pomanjkljivega hidravličnega omejevanja (dušenja) pretokov so čistilne naprave (med padavinskimi obdobji) tudi v hidravličnem oziru hudo preobremenjene, zato se neredko dogaja, da te hidravlične konice občasno (deloma ali celo v celoti) izplaknejo lebdeče biološke kosme v bioloških stopnjah čistilnih naprav v vodotoke. Med časovnimi obdobji temu pogojenih ponovnih in dolgotrajnih vzrej tako izplaknjene biomase pa seveda vedno občutno pade čistilna sposobnost čistilnih naprav.

V praksi sta se torej odkrila glavna krivca za nezadostno delovanje čistilnih naprav, in sicer:

- prevelika količina tujih voda ter
- napačen način razbremenjevanja.

Za boljše izpiranje kanalizacijskega omrežja so se svojčas na začetnih ali na manj položnih kanalskih odsekih sušnih kanalov

pogosto nekontrolirano priključevali številni strešni odtoki. Iz istega razloga so se na meteorne ter mešane kanale priključevali tudi izviri, drenaže, odtoki zunanjih ter zelenih površin, prelivni vodohranov ali celo potočki. Analize obratovalnih stroškov čistilnih naprav so zatorej kaj hitro pokazale stroškovno ter ekološko škodljivost takih nedopustnih priključkov. Temu so zato sledile obsežne sanacije (obstoječih priključkov izvirov, drenaž ter potokov), vendar ostajajo še dandanes prevelike količine tujih voda večinoma drag in le težko rešljiv problem.

Začetni način reševanja z namestitvami številnih razbremenilnikov s prostogladinskim prelivanjem preko nizkih prelivnih robov v omrežjih ter končnim razbremenjevanjem dotokov na čistilni napravi med mehansko ter biološko stopnjo zgoj na biološko čiščenje enkratnega sušnega pretoka se je nemudoma zavrgel, saj ta način ni prinesel zadostnih kvalitativnih izboljšav stanja vodotokov.

Temu so sledili koraki v smeri omejitve števila razbremenilnih mest, nameščanja višjih prelivnih robov in zmožnejših dušilk ter s tem znižanja pogostosti prelivanja na razbremenilnikih. Zvišal pa se je tudi pretok k čistilni napravi, in sicer najprej na dvakratni, nato na petkratni ter ponekod celo na višje mnogokratnike sušnega pretoka. Strogo se je prepovedalo tudi vsako razbremenjevanje med mehansko ter biološko stopnjo čistilnih naprav.

Moderna tehnologija razbremenjevanja kritičnega mešanega odtoka (kritischer Mischwasserabfluß) v skladu z ATV – A 128 (1992) zahteva poleg pravilno dimenzioniranih in konstruiranih razbremenilnih naprav tudi precejšnje zvečanje zadrževalne prostornine omrežja ter dušenje odtokov z ustrezno

zmogljivimi dušilkami (delilna ostrina $\leq 1,2$). Zadnje spremembo pa vsekakor prinašajo najnovejše smernice ATV – DVWK – A 198 (2003).

Osebnostno sem mnenja, da so tako smernice ATV – A 128 kakor tudi ATV – DVWK – A 198 postale težko uporabne, saj so strokovno in časovno prezahtevne ter zahtevajo prekomerno izkušnost in zavzetost. S tem strokovno preobremenijo ter prestrašijo večino projektantov, ki zato raje uporabljajo precej enostavnejše in strokovno nezahtevno načrtovanje ločenega sistema (z vsemi eventualnimi posledicami).

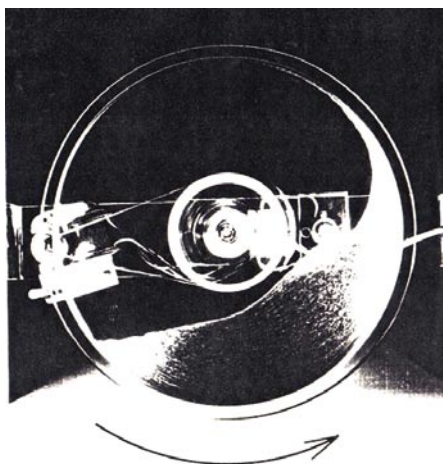
Prvotno strokovno prepričanje, da se na razbremenilnih napravah z večjo količino pretoka zadrži v omrežju tudi linearno-adekvatna količina onesnaženja, so torej končno razblinili rezultati meritev prof. Krautha, ki je na omrežju v Stuttgart-Büsnau potrdil strokovno dolgo neopazeno ugotovitev angleških strokovnjakov izpred druge svetovne vojne. Že ti so namreč ugotovili izredno sunkovite obtežbe onesnaženja na začetkih razbremenilnih prelivnih, saj so njihove izmerjene koncentracije teh začetnih prelivov presegle koncentracije sušnih odtokov celo za več kakor 50-kratni faktor!

Razlago za tako huda nihanja obtežb onesnaženja je podal šele prof. Brombach, ki je analiziral in ponazoril hidravlična dogajanja v kanalizacijskih omrežjih. Opozoril je namreč na do tedaj zanemarjeno dejstvo odlaganja usedlin v položnih kanalih (zaradi pomanjkanja vlečne sile med sušnimi obdobji) in na posledice njihovega ponovnega hidravličnega aktiviranja na začetkih prvih nalivov po sušnih obdobjih.

S simuliranjem pretoka cevi v aparatu Hele-Show (izumljenem 1854), ki uporablja analogijo med tokom v ozki razpoki in ravnim potencialnim odtokom v ceveh s prosto gladino, je prof. Brombach namreč na sledeči način

uspel prikazati nastanek in delovanje tako imenovanega čistilnega vala (Spülstoß) v kanalih.

Aparat Hele-Show sestoji iz dveh po obodu tesnjenih steklenih plošč, na medsebojni razdalji okoli 3 mm. Okoli osi rotirajoči medprostor je delno napolnjen z vodo, ki ji je primešan namaščeni aluminijev prah različnih frakcij. Ta prah predstavlja v kanalih izločene usedline.



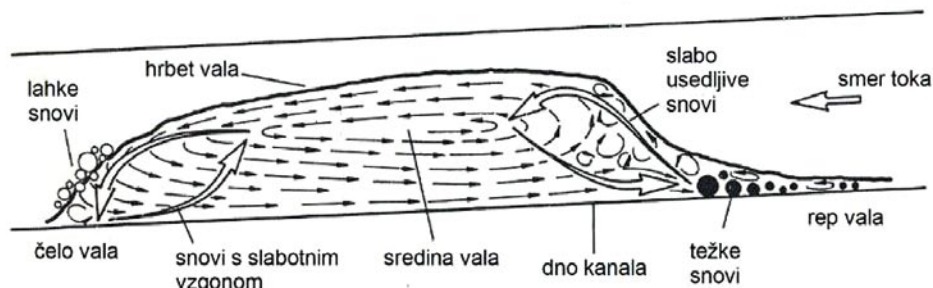
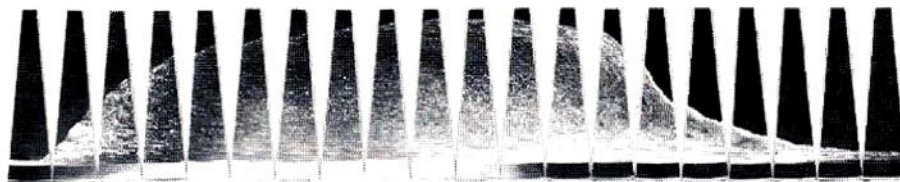
Slika 1 • Aparat Hele-Show

Pri počasnem vrtenju plošč tega aparata se zaradi težnosti in trenja med ploščama ustvari val s prosto gladino. Pri vrtilnih hitrostih plošč, ki odgovarjajo hitrostim odtokov v ravnih kanalih z majhnimi vzdolžnimi padci, sekundarni tok vode dvigne lahke usedline s tal cevi. Te lebdeče snovi se odnašajo v višja območja vala s hitrejšim vzdolžnim gibanjem, ki jih nato odnese in zbira na čelu vala.

Zaradi trenja so pretočne hitrosti ob dnu »cevi« skoraj nične ter naraščajo v smeri proti površini (hrbtu) vala. Ob predpostavki, da se voda tik ob dnu (zaradi trenja) skoraj ne premika, mora voda pod gladino (hrbta) vala drveti proti začelju vala, torej s skoraj dvokratno povprečno hitrostjo težišča vala. Zato potujejo lahki delčki tik pod površino hrbta vala znatno hitreje kakor nekoliko težji delci v težišču vala.

Glede na njihovo težo (vzgon) se torej lažji delci (večinoma organske snovi) znatno hitreje dvignejo na površje vala in »pohitijo« na čelo vala, kakor to storijo težji delčki, ki se počasneje dvigajo ter se zato počasneje odnašajo na čelo vala.

Pretežke sestavine usedlin pa se zgolj kotalijo po dnu cevi. Te težke frakcije onesnaženja (kamenje, pesek itd.) nas pri postopku razbremenjevanja sploh ne zanimajo, saj ne morejo



Slika 2 • Prikaz čistilnega vala

preskočiti zanje previsoke prelivne krone in tako v vsakem primeru ostanejo v omrežju (dokler se končno s pomočjo grabelj, sit ali peskolovov ne odstranijo v mehanski stopnji čistilne naprave).

Najvažnejše je torej zbiranje in koncentriranje lahkih (organskih) delcev na čelu vala (kar so jasno pokazale meritve v Stuttgart-Büsnau) ter njihovo odvajanje v čistilno napravo. Ti čistilni vali pojasnjujejo tudi izmerjene izredno visoke koncentracije začetnih prelivov preko obstoječih prenizkih razbremenilnih prelivnih robov.

Šele pri rotiranju plošč z znatno večjo obodno hitrostjo (pri simulaciji strmih kanalov) se zaradi hudih turbulenc odtoka aluminijev prah enakomerno porazdeli po odtoku in zato formiranje izrazitega čistilnega vala ni več možno. Poleg tega pri tako strmih kanalih (zaradi visoke vlečne sile) med sušnimi obdobji ni možno usedanje snovi, torej bi bilo (zaradi pomanjkanja usedlin) brezuspešno in nesmiselno nameščanje razbremenilnih bazenov za strmimi kanali.

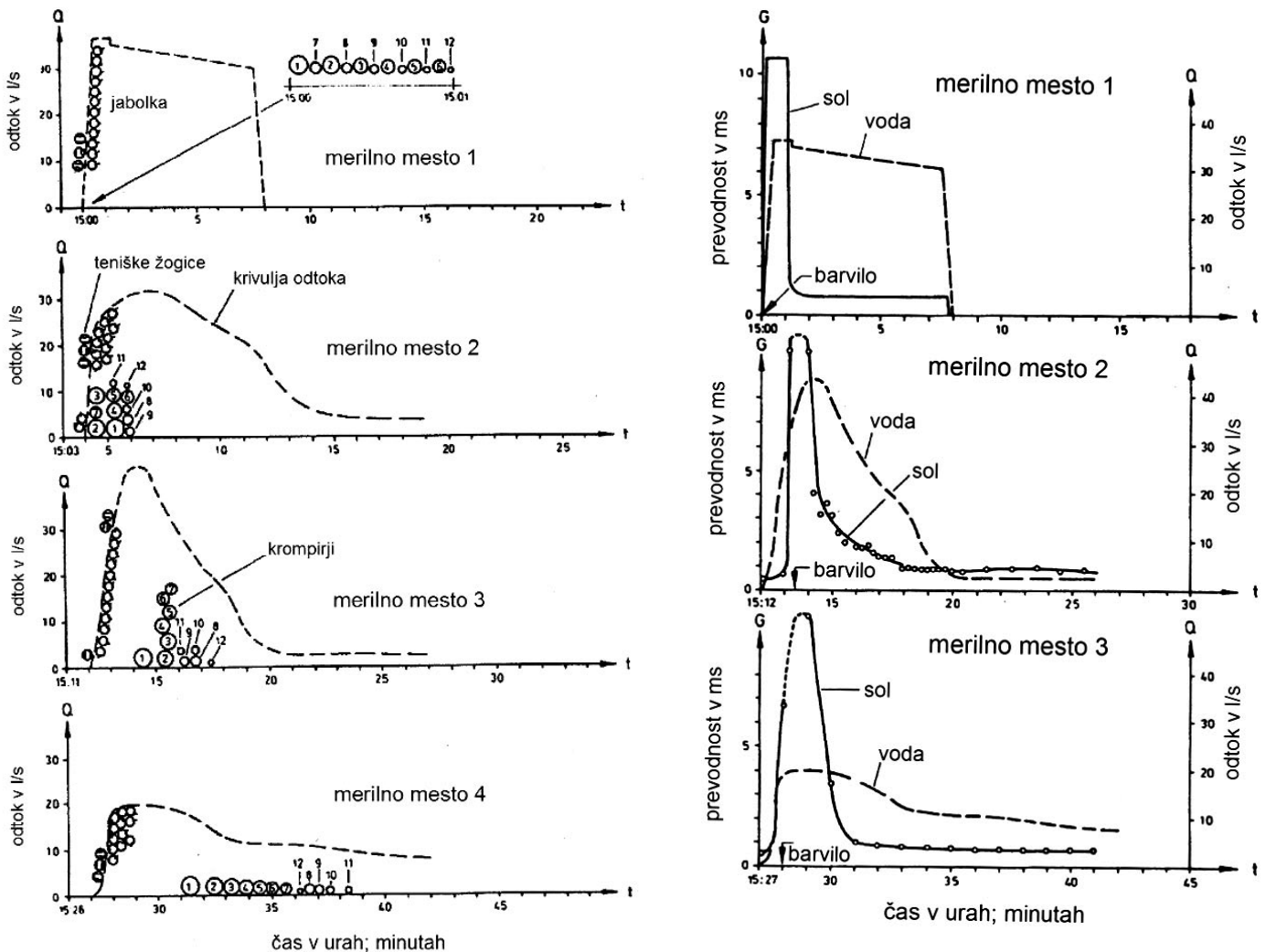
Kakor že omenjeno, je prof. Brombach praktični dokaz te njegove teorije izvedel z dejansko simulacijo odtoka na obstoječem, zelo razvejanem kanalizacijskem omrežju v Bad Mergentheimu. Na nekaj kilometrov dolgem glavnem povezovalnem zbiralniku je uredil 4 zaporedna merilna mesta, na katerih je s sodelavci meril koncentracije (na začetku zbiralnika istočasno) dodanih snovi, ugotavljal zaporedja prispelih (različno oštevilčenih) kosovnih sestavin odtoka, kakor tudi izmeril njihove posamezne mimohodne časovne zamike in časovne dolžine gibanj (slika 3).

Za simulacijo čistilnega vala je uporabil različno velike ter težke dodatke (oštevilčene žogice za namizni tenis, teniške žogice, različno velika jabolka, krompirje itd.) kakor tudi raztopine (sol in barvilo). Vse te sestavine je skupno s 14,5 m³ vode poslal istočasno na pot iz merilnega mesta 1.

Iz merilnih diagramov (te, kakor jo prof. Brombach ironično imenuje, »dirke krompirjev«) je v posameznih zaporednih merilnih točkah jasno razvidno, da kljub sploščitvam odtočnih linij dodanih lahkih snovi sol in barvilo ostane na skoncitrirana na začetku vala. Tudi lahke trdne snovi so ostale na začetku vala, medtem ko so se težje snovi (v odvisnosti od njihove teže oziroma vzgona) pomikale bistveno počasneje.

Iz diagramov je nadalje razvidno, da bi ti začetni čistilni valovi lahko skoraj v celoti preskočili prenizke prelivne krone in bi se tako v vodotok lahko izplaknili tudi pretežni deli celotnega letnega onesnaženja. Zgornji robovi stranskih prelivov (Streichwehr) se morajo zato namestiti dovolj visoko, da se ti hudo onesnaženi deli valov (pri delnem polnjenju dotočnega kanala) še ne morejo in ne smejo prelivati.

Prof. Brunner je ugotovil, da se z zadrževanjem vseh intenzitet nalivov izpod kritičnega naliva (kritische Regenspende), $r_{krit} = 15 \text{ l/s.ha}$, v mešanem kanalizacijskem omrežju lahko zadrži okoli 90 odstotkov vse letne onesnaženosti. Nadaljnji 100-odstotni dvig kritičnega naliva (na $r_{krit} = 30 \text{ l/s.ha}$) pa bi povzročil dodatni dvig zadrževalne sposobnosti letne onesnaženosti zgolj za nadaljnja 2 do 3 odstotke.



Slika 3 • Diagrami časovnih potekov odtoka na merilnih mestih

Ker je takšno stoođotno zvišanje transportnih pretočnih količin skozi kanalizacijsko omrežje (zaradi zgolj 2- do 3-odstotnega zvečanja količine zadržanega onesnaženja) ekonomsko in ekološko le redko upravičljivo, se zato širrom Nemčije kritični mešani odtoki Q_{krit} (kritische Mischwasserabfluß) razbremenilnikov (RÜ) praviloma dimenzionirajo le na kritični naliv $r_{krit} = 15 \text{ l/s.ha}$.

Tudi Slovenci smo nekritično prevzeli ta kritični naliv $r_{krit} = 15 \text{ l/s.ha}$, čeprav se nahajamo na južni strani Alp z znatno višjimi letnimi količinami padavin.

Kritični mešani odtoki razbremenilnikov (Q_{krit}) se smejo zmanjšati (po ATV – A 128) na dušeni odtok Q_d (Drosselabfluß), ki je večji ali enak dvakratnemu sušnemu odtoku le z dodatno namestitvijo ustrezno dimenzioniranih in konstruiranih razbremenilnih bazenov (RÜB). Torej se je med in po sedemdesetih letih pre-

teklega stoletja (na podlagi navedenih meritev ter spoznanj) v Nemčiji popolnoma spremenil celotni koncept razbremenjevanja, in sicer:

- Višine prelivnih kron razbremenilnikov se morajo torej izračunavati in nameščati na podlagi kritičnega mešanega odtoka (Q_{krit}) ter od leta 1992 (po najnovejših smernicah ATV – A 128) na podlagi (na predpisano obtežbo vodotoka (Bezugslastfall)) izračunanih zadrževalnih prostornin omrežja.
- Neposredno vzvodno nameščene prelivne krone razbremenilnih bazenov (BÜ) se morajo dvigniti na višino $\geq 0,6 \text{ DN}$ dotočnega kanala ter tako zajamčiti, da se nastali čistilni vali (ki transportirajo okoli 90 odstotkov celokupne letne onesnaženosti) v celoti zadržijo in shranijo v omrežju. Šele po predhodnem polnjenju bazena (RÜB) se lahko pričnejo preostali (zanemarljivo onesnaženi) dotoki razbremenjevati.

- Ti ujeti, močno onesnaženi čistilni vali (Spülstoß) se morajo v celoti zadržati v omrežju, v razbremenilnih bazenih (RÜB) ali zajezitvenih kanalih (SK) in se morajo nato v celoti (brez naknadnega nizvodnega razbremenjevanja) dozirano odvesti na čistilno napravo in tam ustrezno očistiti.

V letu 1992 poslednjič novelirane smernice ATV – A 128 uvajajo za letni tovor onesnaženja parameter porabe kemično potrebnega kisika (KPK) kot splošni indikator za onesnaženost vtokov oziroma obtežbo vodotokov zaradi razbremenilnih naprav. Izračunski ter dokazni kriterij vpliva na vodotoke, je postal izračunski, fiktivni KPK – letni tovor, ki prispe v vodotoke v večletnem povprečju, pri srednjih okoliščinah padavinskih odtokov. Ta KPK – letni tovor (CSB-Jahresfracht), se sestoji iz letnega tovara neposredno razbremenjenega mešanega odtoka in iz izračunanega preostalega tovara v

čistilni napravi očiščenega padavinskega odtoka. Za povprečne nemške okoliščine se torej definira tako imenovani »obtežbeni primer« (Bezugslastfall), ki zahteva določeni potrebni zadrževalni volumen mešane kanalizacije.

Ta »obtežbeni primer« temelji na naslednjih določbah:

- srednja letna višina padavin znaša 900 mm
- KPK – koncentracija v padavinskem odtoku znaša 107 mg/l
- KPK – koncentracija v sušnem odtoku znaša 600 mg/l
- KPK – koncentracija v (očiščenem) padavinskem odtoku čistilne naprave znaša 70 mg/l

Odstopanja od »obtežbenega primera« lahko povzročijo zmanjšanje ali povečanje potrebne zadrževalne prostornine mešane kanalizacije. Z ustreznim prirejanjem potrebne zadrževalne prostornine mešane kanalizacije na dejanske terenske okoliščine se mora v konkretnem primeru doseči enaka ali manjša obtežba vodotokov (kakor se to zahteva na podlagi izračuna »obtežbenega primera«).

V zadnjem času kažejo tudi nemške praktične izkušnje pri dimenzioniranju bazenov za obdelavo deževnice ter pri določanju hidravlične obtežbe čistilnih naprav (do sedaj zgolj na $2Q_s + Q_i$), da se te naprave lahko ekološko in stroškovno optimirajo na podlagi višjih hidravličnih pretokov čistilnih naprav. DWA-

smernice A 198 (»Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen«; 2003) že grede v smer zvišanja hidravličnih pretokov. **Zatorej pozivam slovenske projektante, da se končno tudi pri nas upoštevajo ta zvišanja hidravličnih obtežb čistilnih naprav.**

Zgolj slepo (na primer na podlagi predpisanega omejenega števila) zmanjševanje pogostosti prelivanj na podlagi ekstremnega zvišanja zadrževalnih prostornin (na primer ljubljanskega) omrežja je tako v strokovnem, ekonomskem kakor tudi ekološkem oziru, milo rečeno, zelo dvomljivo.

3 • ZADRŽEVALNI BAZENI, RAZBREMENILNI BAZENI IN BAZENI ZA ČIŠČENJE PADAVINSKIH VODA

Že desetletja skušam slovenski stroki zama razložiti in prikazati bistvene razlike med različnimi vrstami v kanalizacijskih omrežjih uporabljenih bazenov, ki jih moji slovenski kolegi praviloma ne ločijo niti po imenu, kaj šele po njihovem namenu, možnostih uporabe, različnih načinih dimenzioniranja in njihovih raznolikih, okoliščinam prirejenih konstrukcij ter funkcij.

Glede na njihovo uporabo so vsekakor najstarejši **zadrževalni bazeni** (Regenrückhaltebecken; kratica: **RRB**), ki (brez razbremenjevanja) služijo izključno le hidravličnemu zmanjšanju odtočnih konic pretokov. Način funkcije in njihovega dimenzioniranja podajajo **DWA-smernice ATV – DVWK – A 117**.

Razbremenilni bazeni (Regenüberlaufbecken; kratica: RÜB) so se razvili znatno kasneje na podlagi predhodno opisanih novih spoznanj o dogajanjih v kanalizacijskih omrežjih mešanega sistema. Način funkcije in njihovega dimenzioniranja podajajo **DWA-smernice ATV – A 128**.

Za razliko od zadrževalnih bazenov (RRB), ki **brez** razbremenjevanja uravnavajo celotni pretok, razbremenilni bazeni (RÜB) lovijo in v celoti odvedejo na čistilne naprave zgolj močno onesnažene dele odtokov (tako imenovane »čistilne valove«), medtem ko se pretežni del manj onesnaženih dotokov razbremenijo (neposredno iznad teh ustrezno konstruiranih bazenov) in odteka direktno v vodotoke. Po njihovi funkciji uvrščamo, dimenzioniramo ter konstruiramo razbremenilne bazene v tri vrste:

- lovilni bazeni (Fangbecken),
- pretočni bazeni (Durchlaufbecken),
- kombinirani bazeni (Verbundsbecken).

Po nemških statističnih podatkih znaša povprečna prostornina zadrževalnih bazenov (RRB) 1897 m³, medtem ko znaša povprečna prostornina razbremenilnih bazenov (RÜB) samo 641 m³. Torej je potrebna uporabna prostornina razbremenilnih bazenov (RÜB) praviloma nekajkrat (statistično skoraj 3-krat) manjša od potrebne uporabne prostornine zadrževalnih bazenov (RRB), kar posledično pogojuje tudi nekajkrat manjše investicijske kakor tudi obratovne stroške teh naprav.

Poleg očitnih ekonomskih prednosti govorijo v prid razbremenilnih bazenov (RÜB) tudi ekološki razlogi. Kakor kaže niz raziskav in meritev, se med razbremenjevanjem velikih količin malo onesnaženih deležev dotokov preko razbremenilnih bazenov (RÜB) v vodotoke (decentralno) sicer res vnaša kakšen dodaten odstotek letnega onesnaženja, vendar povzročajo nasprotno celotne, nerazbremenjene odtočne količine zadrževalnih bazenov (RRB) znatno večjo ekološko obremenitev vodotokov, saj ta bistveno večji (celotni) hidravlični pretok skozi (celo na hidravlični pretok pravilno dimenzionirano) čistilno napravo odplakne in (v iztoku čistilne naprave) odnaša v vodotok znatno višjo ali celo nekajkratno količino (v omrežju na tak način zadržanega) onesnaženja.

Obsežno še poslabšano delovanje ljubljanske kanalizacijskega sistema, drage eko-

nomске ter ekološke posledice strokovnega neznanja kakor tudi posledice nadaljnje nestrokovne izgradnje omrežja (ob pomanjkanju koncepta generalne rešitve ljubljanskega kanalizacijskega omrežja) se že in se bodo kmalu lahko opazovale in proučevale tako na ljubljanskem omrežju kakor tudi na čistilni napravi in vodotokih (na Ljubljani in Savi).

Navkljub mojim (za javnost cenzuriranim) kritičnim strokovnim opozorilom, ki sem jih pravočasno pošiljal nizu strokovnih ustanov, državnih uradov in ljubljanskemu županu, namreč MOL v mešanem sistemu ljubljanske kanalizacije vseeno gradi (nekaj desetih milijonov evrov drage) nepotrebne ter ekološko škodljive, povrh pa še nepravilno konstruirane in opremljene zadrževalne bazene (skupne uporabne prostornine preko 30.000 m³).

Poleg tega (strokovno zelo sporna in zastarela) danska **študija** (na katero se tako krčevito sklicuje ljubljanska mestna uprava in je **edina osnova** prihodnje, kratkoročno okoli 250 milijonov evrov drage izgradnje ljubljanskega omrežja!) zahteva in temelji tudi na očitno »spregledani« potrebni dvakratni hidravlični zmogljivosti ljubljanske čistilne naprave. Na podlagi te študije se je namreč med tem že zgradila ljubljanska čistilna naprava zgolj s polovično hidravlično zmogljivostjo.

Ti zadrževalni bazeni bodo torej poleg hidravličnih in zaježitvenih problemov v ljubljanskem mešanem kanalizacijskem omrežju povzročali še dodatno izločanje ter gnitje usedlin s posledično korozijo, emisijami smradu in pospešeno ponovno kemično sprostitivjo težkih kovin (v anaerobnem miljeju).

Opozarjam tudi, da smernice ATV – A 128 pri naštevanju prostornin kanaliza-

cijskega omrežja, ki se smejo upoštevati pri izračunu potrebne standardne celotne zadrževalne prostornine (Gesamtspeichervolumen), izključujejo upoštevanje prostornin zadrževalnih bazenov (RRB). Poleg tega se v teh smernicah jasno opozarja tudi na škodljivost takih (RRB) bazenov z dolgim časom praznjenja zaradi povzročitev slabšega delovanja nizvodnih razbremenilnih naprav ter čistilne naprave. V teh smernicah je iz vodnogospodarskih kakor tudi gospodarskih vzrokov s 40 m³/ha navedena tudi zgornja meja potrebnih celotnih zadrževalnih prostornin (Gesamtspeichervolumen). Za višje izračunske vrednosti se celo izrecno zahteva preveritev in pojasnitev vzrokov.

Bazeni za čiščenje padavinskih voda (Regenklärbecken; kratica: **RKB**) se uporabljajo v ločenih sistemih ter pri gradnji regionalnih cest

in avtocest. Njihova naloga je v kar največji meri izločiti ter zadržati usedline ter lahke tekočine. Način funkcije in njihovega dimenzioniranja podajajo delovna DWA-poročila (Arbeitsbericht) ATV – AG 1.3.2 (1980): »Čiščenje padavinskih voda v ločenem sistemu (Behandlung des Regenabflusses beim Trennverfahren)«.

Ločimo dve vrsti teh bazenov:

- bazeni za čiščenje padavinskih voda s stalno zaježitvijo (RKBmD) ter
- bazeni za čiščenje padavinskih voda brez stalne zaježitve (RKBod).

Ti bazeni se morajo načeloma dimenzionirati ter konstruirati tako, da obtežbe vodo tokov iz ločenega sistema niso višje od obtežb mešanega sistema.

Srednja prostornina teh bazenov (RKB) v Nemčiji znaša 909 m³. Vendar pri tej nave-

deni prostornini ni povsem jasno, ali so v tej statistiki upoštevani tudi bazeni, zgrajeni med gradnjo regionalnih cest in avtocest.

Praktične izkušnje kažejo, da razpolagajo naprave za sedimentacijo (na primer bazeni za čiščenje deževnice (RKB)) zgolj z okoli 50-odstotno zmogljivostjo zadrževanja trdnih snovi (AFS) in s tem zadrževanja na te snovi »vezanih« težkih kovin.

Bazeni za čiščenje padavinskih voda (RKB) se pogosto uporabljajo v ločenem sistemu kot predstopnja **zadrževalnemu bazenu s talnim filtrom** (Retentionsbodenfilter; kratica **RBF**). Ti RBF se pogosto uporabljajo tudi v mešanem sistemu za nadaljnjo obdelavo razbremenjenih mešanih odtokov. Način njihovega dimenzioniranja podajajo **DWA-smernice M 178**.

4 • NEMŠKA KANALIZACIJSKA OMREŽJA V OGLEDALU STATISTIKE

Prof. Brombach je nekajkrat zaporedno obdelal aktualno statistično stanje kanalizacijskih omrežij v Nemčiji. Iz preglednice 1 (zadnje stanje koncem leta 2004) je razvidno, da je že okoli 95,5 % od skupno 82.501.000 prebivalcev v Nemčiji priključenih na javno kanalizacijska omrežja. V deželah Baden-Württemberg, Bremen, Hessen in v Saarlandu jih je na javno kanalizacijo priključenih celo že več kot 99 %. To statistiko pa še vedno nekoliko kvarijo nekdanje »dežele DDR«, ki navkljub ogromnim naporom (z deleži izpod 90 %) še vedno ne dosegajo nemškega povprečja.

Na vsakega nemškega prebivalca odpade tako povprečno 6,24 m kanala ter 0,567 m³ zadrževalne prostornine v različnih vrstah bazenov padavinskih voda (Regenbecken). Najkrajšo dolžino kanalov na prebivalca opazamo v Berlinu (2,75 m/preb.) z mešanim sistemom, medtem ko se z rekordno dolžino (8,91 m/preb.) ponaša redko naseljena severnonemška dežela Niedersachsen s pretežno ločenim sistemom kanalizacije.

Delež omrežij v mešanem sistemu znaša 58,3 % celotne dolžine kanalov. Iz slike 4 je razviden »nemški ekvator mešanega sistema«, ki se v zadnjih letih počasi pomika na jug.

Prof. Brombach opozarja, da je treba pri diskusijah o prednostih oziroma pomanjkljivosti mešanega ali ločenega sistema kanalizacij vedno pretehtati argumente s stališča (severnega ali južnega) bivališča zagovornikov,

saj mesto bivanja pogosto vpliva na njihovo (subjektivno) strokovno »filozofijo«. Poleg tega opozarja tudi na noveše raziskave, ki kažejo, da predstavljajo težke kovine iz odtokov streh in prometnih površin pri ločenih sistemih vse večje probleme. Prepričan je, da ima »moderna, dobri mešani sistem« določene ekološke prednosti glede zaščite vodotokov, poleg tega pa povzroča tudi precej nižje investicijske ter obratovne stroške. To njegovo strokovno mnenje lahko potrdim tudi na podlagi mojih več 10-letnih osebnih strokovnih spoznanj in praktičnih izkušenj.

Nemčija je koncem leta 2004 razpolagala torej:

- s 23.311 razbremenilnimi bazeni (RÜB) in zaježitvenimi kanali (SK) s skupno prostornino 14.938.000 m³,
- s 15.408 zadrževalnimi bazeni (RRB) s skupno prostornino 29.223.000 m³,
- s 2850 bazeni za čiščenje deževnice (RKB) s skupno prostornino 2.592.000 m³ ter
- s 9994 čistilnimi napravami.

Investicijski stroški za približno 47 milijonov m³ skupne uporabne prostornine bazenov za deževnico (Regenbecken) se grobo ocenjujejo (≈ 750 €/m³) na preko 35 milijard evrov.

V povprečju je torej na vsako čistilno napravo priključenih 8255 prebivalcev, kar odgovarja nekako povprečnemu velikostnemu redu čistilne naprave s 15.000 PE. To nadalje pome-

ni, da v Nemčiji številčno dominirajo majhne (do 5000 PE) ter srednje velike naprave (do 20.000 PE).

Glede na povprečno gostoto 231 nemških prebivalcev na km² odpade na posameznega Nemca okoli 4300 m² celotne površine, od česar je delež zazidane ter prometne površine le 12,9 %. Tako torej pripada posameznemu prebivalcu samo še približno 558 m² nepropustno utrjenih površin (strehe, terase itd.), kar nekako odgovarja površini gradbene parcele za enostanovanjsko hišo v predmestjih.

Na gradbenih parcelah zasedajo zgradbe, terase, dvorišča, poti itd. običajno okoli tretjino tlorisne površine. Pri povprečnem dejanskem letnem odtoku padavin z okoli 600 mm se torej na teh 186 m² nepropustno utrjenih površin zbere letno okoli 112 m³ padavin na prebivalca. V istem časovnem obdobju vsak Nемец (pri okoli 130 l/preb.dan) »proizvede« okoli 47 m³ odpadnih voda.

Glede na povprečno 0,567 m³ zadrževalne prostornine na prebivalca v različnih vrstah bazenov pa to nadalje pomeni, da se lahko (iz 186 m² nepropustno utrjenih površin) zadrži med nalivi vsakokrat le okoli 3 mm padavin, kar odgovarja približno zahtevam ATV – A 128 glede maksimalne specifične prostornine razbremenilnih bazenov, ki naj ne bi presejala 30 m³/ha.

Nemški ekvator ravnotežja mešanega in ločenega sistema leži ravno vzdolž prelomnice ravninskega severnega dela in hribovitega južnega dela Nemčije. Medtem ko se južni hriboviti del Nemčije odloča pretežno za mešani sistem, se nasprotno ravninska se-

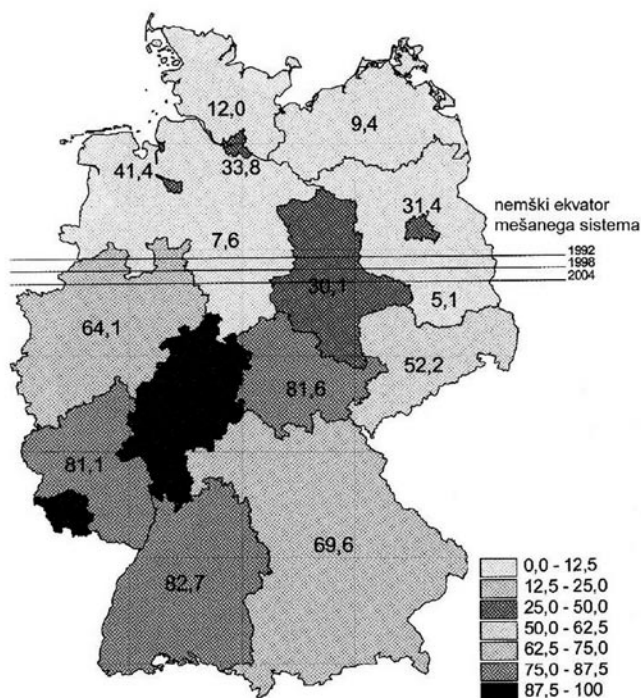
	Število prebivalcev	Delež priključitve na javno kanalizacijo	Mešani kanali, MS (mešani sistem)	Sušni kanali, TS (ločeni sistem)	Meteorni kanali, TS (ločeni sistem)	Kanali skupno, MS + TS	Dožina kanalov na prebivalca, MS + TS	Delež mešane kanalizacije	Razbremenilni bazeni (RUB) in zajezitveni kanali (SK), število, MS	Razbremenilni bazeni (RUB) in zajezitveni kanali (SK), prostornina, MS	Zadrževalne naprave deževnice (RRA), število, MS + TS	Zadrževalne naprave deževnice (RRA), prostornina, MS + TS	Bazen za čiščenje padavinskih voda (RKB), število, TS	Bazen za čiščenje padavinskih voda (RKB), prostornina, TS	Vsota vseh bazenov deževnice, število, MS + TS	Vsota prostornine vseh bazenov deževnice, MS + TS	Zadrževalna prostornina na prebivalca, MS + TS	Razbremenilniki (RU) brez zajezitvenih prostornin, število, MS	Čistilne naprave, število, MS + TS	Povprečni dodatek tujih vod, MS + TS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
dimenzije	1000 E	%	km	km	km	km	m/E	%	n	1000 m ³	n	1000 m ³	n	1000 m ³	n	1000 m ³	m ³ /E	n	n	%
Nemčija	82.501	95,5	238.201	170.851	106.032	514.884	6,24	58,3	23.311	14.938	15.408	29.223	2.850	2.592	41.569	46.753	0,567	21.454	9.994	34,8
Baden-Württemberg	10.717	99,0	48.931	10.261	8.534	67.727	6,32	82,7	6.612	3.539	397	1.271	254	123	7.263	4.934	0,460	3.440	1.118	51,7
Bayern	12.444	95,5	52.504	22.925	10.213	85.642	6,88	69,6	6.409	3.184	2.769	3.353	598	442	9.776	6.979	0,561	4.451	2.633	27,8
Berlin	3.388	98,4	1.902	4.154	3.274	9.330	2,75	31,4	13	46	101	700	11	23	125	769	0,227	531	1	0,0
Brandenburg	2.568	82,6	677	12.503	3.716	16.896	6,58	5,1	45	76	303	435	156	38	504	549	0,214	358	277	2,8
Bremen	663	99,8	909	1.147	1.072	3.028	4,57	41,4	6	80	11	52	49	31	66	163	0,246	22	4	16,9
Hamburg	1.735	98,9	1.257	2.464	1.673	5.394	3,11	33,8	12	103	11	59	29	91	52	253	0,146	196	1	15,5
Hessen	6.098	98,4	28.409	3.948	4.275	36.631	6,01	87,8	2.588	1.697	781	896	43	68	3.412	2.661	0,438	3.448	737	71,4
Mecklenburg-Vorpommern	1.720	83,9	779	7.528	3.442	11.750	6,83	9,4	81	160	453	1.138	125	71	659	1.308	0,769	205	525	12,2
Niedersachsen	8.001	93,8	3.451	41.735	26.095	71.280	8,91	7,6	226	321	3.068	7.539	124	463	3.418	8.323	1,040	251	672	17,8
Nordrhein-Westfalen	18.075	97,2	45.181	25.343	20.786	91.309	5,05	64,1	3.348	3.747	3.303	7.593	773	458	7.424	11.797	0,853	2.037	695	38,6
Rheinland-Pfalz	4.061	98,9	21.462	4.995	3.754	30.211	7,44	81,1	2.338	1.012	1.131	1.737	51	46	3.520	2.795	0,888	2.983	777	43,1
Saarland	1.056	99,1	6.405	508	715	7.628	7,22	92,7	460	243	92	94	21	51	573	387	0,367	1.485	104	56,9
Sachsen	4.296	87,5	9.874	9.036	4.350	23.260	5,41	52,2	429	251	749	1.130	200	106	1.378	1.486	0,346	1.263	791	55,5
Sachsen-Anhalt	2.494	88,3	4.179	9.690	3.016	16.884	6,77	30,1	208	125	373	509	30	47	611	682	0,273	291	280	19,8
Schleswig-Holstein	2.820	94,1	1.635	11.994	9.330	22.960	8,12	12,0	64	70	1.409	2.171	361	513	1.824	2.754	0,973	300	824	7,6
Thüringen	2.355	91,5	10.746	2.421	1.787	14.954	6,35	81,6	472	285	457	547	35	21	964	853	0,362	513	555	36,8

Preglednica 1 • Statistični prikaz javnih kanalizacij na podlagi podatkov nemškega zveznega statističnega urada po Brombachu; stanje konec leta 2004

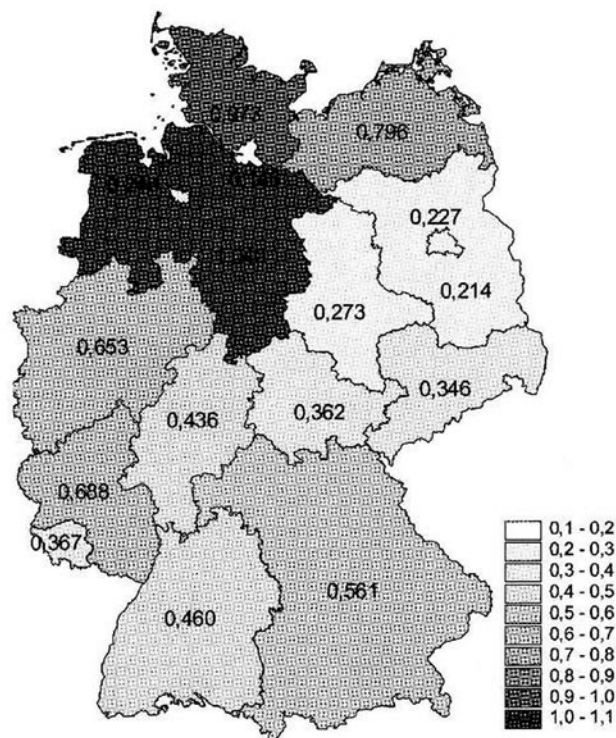
verna Nemčija odloča pretežno za ločeni sistem, pri čemer pa kot oaze močno odstopajo mesta Berlin, Hamburg in Bremen z visokimi deleži mešanega sistema. Po letu 1992 se je ta ekvator vsakih 6 let pomaknil za okoli 20 km proti jugu.

Pri tem pa hudo neprijetno preseneča alarmantno dejstvo, da severne dežele z najvišjim odstotkom ločenih sistemov (slika 4) razpolagajo tudi z najvišjo zadrževalno prostornino padavinskih voda v javnih kanalizacijskih omrežjih (slika 5). Zato se prof. Brombach upravičeno sprašuje: »Ali torej ni ena izmed prednosti ločenega sistema ravno v nepotrebnem zadrževanju ter obdelavi padavinskih voda?«

Kanalizacijski sistemi v Nemčiji so sicer le težko primerljivi s sistemi v ZDA, saj poleg klimatskih raznolikosti in kontinentalnih razsežnosti (gorata področja, puščave, močvirna področja itd.) znaša povprečna gostota naseljenosti v ZDA le 33 prebivalcev na km² ter je tako na primer 7-krat manjša od povprečne gostote naseljenosti v Nemčiji. Vendar se tudi v Evropi pojavlja (v ZDA pa že dalj časa) intenzivna strokovna diskusija o tako imenovanem problemu »SSO« (Sanitary Sewer Overflow). V ZDA namreč ugotavljajo vse obsežnejše probleme z deževnico ne samo v meteornih kanalih, temveč tudi v sušnih kanalih ločenih sistemov, čeprav se



Slika 4 • Deleži mešanega sistema kanalizacije v odstotkih prebivalstva (stanje konec leta 2004) in ekvator mešanega sistema kanalizacije po Brombachu



Slika 5 • Zadrževalna prostornina za deževnico v javnih omrežjih v m³ na prebivalca (stanje konec leta 2004) po Brombachu

taki problemi sistemsko pogojeno v ločenih sistemih kanalizacij sploh ne bi smeli pojavljati. Sušni kanali so namreč (ne samo v ZDA) med deževnimi obdobji zaradi napačnih priključkov,

nevodotesnih pokrovov itd. hidravlično hudo preobremenjeni, preplavljajo kleti in se zato vanje naskrivaj in vse pogosteje vgrajujejo preopredani »legalni zasilni prelivni«. Eden izmed

osnovnih problemov vseh načinov kanalizacij so previsoke količine tujih voda. Tej (dragi) problematiki bo potrebno v prihodnje tudi pri nas posvetiti znatno več pozornosti.

5 • BILANCIRANJE TOVORA ONESNAŽENOSTI

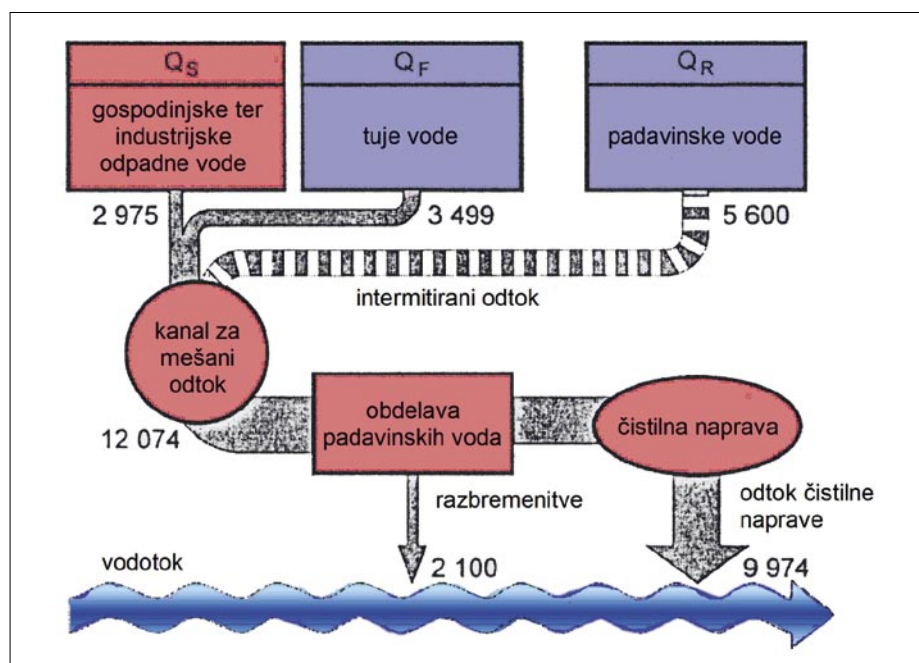
Na podlagi izmerjenih ter statističnih podatkov (ATV – DVWK – Datenpool; www.atv.de) sta dr. Weiß in prof. Brombach za tipični vplivni področji tako klasičnega mešanega sistema (z RÜB) kakor tudi tradicionalnega ločenega sistema ocenila, ovrednotila in medsebojno primerjala skupne iznose tovorov onesnaženosti (Schmutzfrachten). Pri tem namenoma nista uporabila simulacij tovorov onesnaženosti (Schmutzfrachtsimulation).

Nujno moram opozoriti, da sta avtorja to bilanciranje izvedla izključno na podlagi predpostavljenih tehnično popolnoma pravilno izvedenih in delujočih omrežij. Ločeni sistemi komunalnih kanalizacijskih omrežij so namreč tudi v Nemčiji le redkokdaj izvedeni brez napačnih priključkov. V bilanci zatorej ni upoštevano, da lahko že malenkostno število napačnih priključkov v ločenem sistemu onemogoči pravilno delovanje ter tako to bilanco hudo enostransko prevesi v korist mešanega sistema.

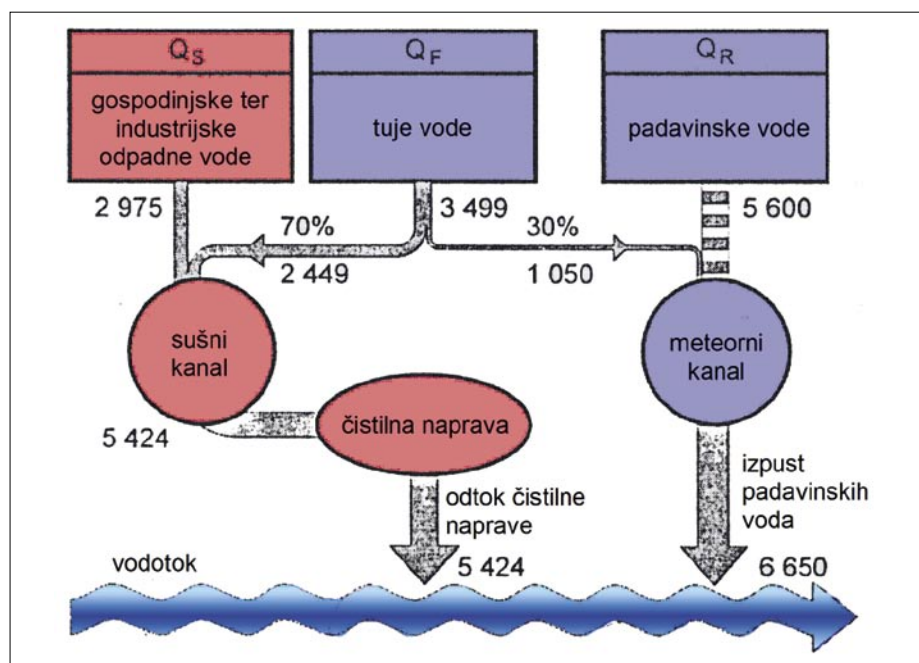
Primerjana, idealizirana sistema odvodnjavanja (prikazana v slikah 6, 7 in preglednici 2) se naslanjata na smernice ATV – A 105. Pri tem se pri ločenem sistemu predpostavlja, da se meteorne vode brez predhodne obdelave (RKB) izlivajo direktno v vodotok. Pri mešanem sistemu pa se nasprotno dodatno upošteva tudi potrebna ustrezna obdelava mešanega odtoka (Regenwasserbehandlung).

V obeh sistemih sta se pri bilanciranju upoštevali tudi obe normalno delujoči čistilni napravi. Ravno tako se nikakor ne sme prezreti dejanskih pretokov tujih voda, saj ta faktor bistveno vpliva na rezultate bilanc.

Vse odtočne prostornine se nanašajo torej na 1 ha nepropustne površine vplivnega področja, ki se v smislu ATV – A 128 (1992) označuje z indeksom » ha_u «.



Slika 6 • Idealizirani mešani sistem s srednjo odtočno prostornino v $m^3/(ha_u \cdot a)$



Slika 7 • Idealizirani ločeni sistem s srednjo odtočno prostornino v $m^3/(ha_u \cdot a)$

podatki vplivnega področja:

odpadne vode iz gospodinjstev in industrije
naselitvena gostota 62,7 P/ha _u
poraba vode 130 l/(P.d)
prostornina odtoka 2.975 m ³ /(ha _u .a)
tuje vode
delež tujih voda 118 %
prostornina odtoka 3499 m ³ /(ha _u .a)
delež na tujih vodah v sušnem kanalu ločenega 70 % sistema
deževnica
letne padavine 800 mm/a
od tega za odtok 70 %
odtočne letne padavine 560 mm/a
prostornina odtoka 5600 m ³ /(ha _u .a)

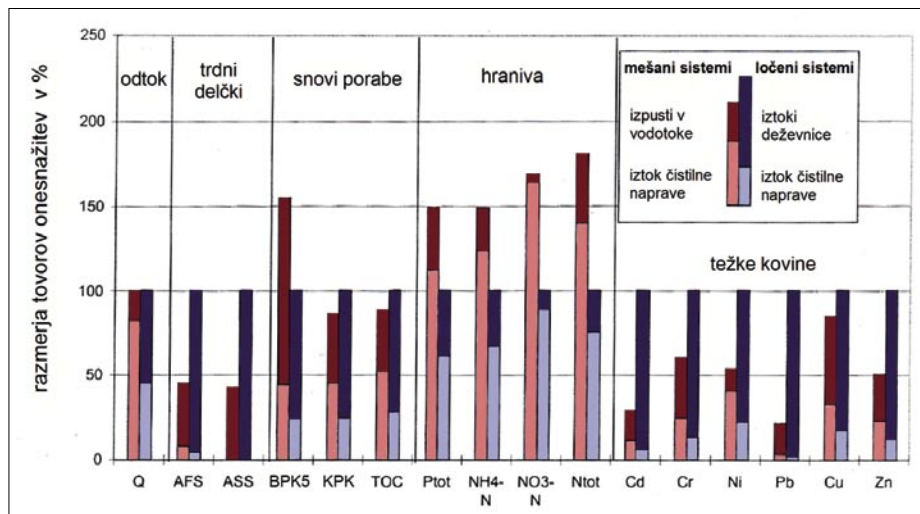
mešani sistem:

mešani kanal
prostornina odtoka 12.074 m ³ /(ha _u .a)
obdelava padavinskih voda
delež razbremenitve 37,5 %
prostornina razbremenilnega odtoka v vodotok 2100 m ³ /(ha _u .a)
čistilna naprava
prostornina očiščenega odtoka 9974 m ³ /(ha _u .a)

ločeni sistem:

sušni kanal
prostornina odtoka 5424 m ³ /(ha _u .a)
meteorni kanal
prostornina odtoka v vodotok 6650 m ³ /(ha _u .a)
čistilna naprava
prostornina očiščenega odtoka 5424 m ³ /(ha _u .a)

Preglednica 2 • Tipični srednji podatki vplivnega področja in odtočnih prostornin na hektar nepropustne površine



Slika 8 • Dolgotrajna bilanca razmerij emisij v vodotoke za mešani (levi rdeči stolpci) in ločeni sistem (desni modri stolpci)

Prostornina celotnega površinskega odtoka (Q) je pri obeh sistemih enaka, vendar pri mešanem sistemu skozi čistilno napravo odteka skoraj 80 % celotne odtočne količine padavin, medtem ko pri ločenem sistemu le slabih 50 %. Zatorej so, količinsko gledano, emisije vseh parametrov v odtoku čistilne naprave pri mešanem sistemu vedno znatno večje od emisij čistilne naprave pri ločenem sistemu (saj se v obeh odtokih čistilne naprave predpostavljajo enako visoke koncentracije odtočnih parametrov).

Pri skupnem iznosu trdnih snovi (AFS, ASS) je razvidno, da mešani sistem zadrži (in na

čistilni napravi dokončno odstrani) znatno večjo količino teh emisij (blata), kakor uspe to zadržati ločenemu sistemu. Torej prekaša pri teh emisijskih parametrih uspešnost mešanega (za več kakor dvokratni faktor) ločeni sistem.

Pri (organskih) snoveh s porabo kisika (Zehrstoffe) je (kot vodilni parameter pri prikazu dobrega čiščenja odpadnih voda) najpomembnejši kemično potrebni kisik (KPK), ki je pri mešanem količinsko nekoliko manjši od ločenega sistema. V smislu zahtev ATV – A 128 (1992) pri dimenzioniranju razbremenilnih bazenov te emisije mešanega

sistema (KPK) namreč ne smejo presegati emisij ločenega sistema. Podobno se obnaša tudi parameter TOC.

Nasprotno pa so emisije biološko potrebnega kisika (BPK₅) pri mešanem sistemu znatno višje. Očitno lahko biološke čistilne naprave obeh sistemov te snovi sicer zelo učinkovito razgradijo, vendar lahko razbremenilni bazeni (RÜB) le minimalno vplivajo na znižanje BPK₅. V meteornih kanalih ločenega sistema pa lahko zasledimo vselej zgolj zanemarljive količine teh snovi.

Tudi pri hranivih (Nährstoffe) so emisije mešanega sistema znatno višje od emisij ločenega sistema. To je še posebno razvidno pri celotnem dušiku (N_{tot}), pa tudi celotnem fosforju (P_{tot}). Vendar se lahko te emisije (predvsem v korist mešanega sistema) znatno zmanjšajo z ustrezno dograditvijo stopenj kemičnega čiščenja (za zvišano izločitev dušika ter fosforja) na čistilnih napravah.

Emisije težkih kovin (Schwermetalle) so pri mešanih sistemih neprimerno manjše od emisij ločenih sistemov, zato je in bo v bližnji prihodnosti vsekakor nujno potrebna dodatna obdelava deževnice tudi na meteornih omrežjih ločenih sistemov.

Vsako bilanciranje vnosov onesnaženja (Schmutzfrachten) v vodotoke mora torej upoštevati tudi ustrezno delovanje pripadajočih čistilnih naprav, saj se nikakor ne sme zanemariti preostalih koncentracij onesnaženja (Restkonzentration) v stalnih odtokih čistilnih naprav. Za nekatere para-

metre (na primer hrana) predstavlja namreč iztok čistilne naprave največji vir emisij, kar lahko z izboljšavo čistilne tehnike in ustreznim obratovanjem uspešno minimiziramo.

Z izboljšanjem čistilnega učinka (torej z ustreznim zmanjšanjem emisij) čistilnih naprav se ustrezno večajo tudi prednosti mešanega sistema v primerjavi z ločenim sistemom.

Potrebno zmanjšanje količin tujih voda omogoča poleg znižanja obratovalnih stroškov tudi zmanjšanje obtežb vodotokov.

6 • KRATKA PRIMERJAVA OBDELAVE PADAVINSKIH VODA V NEKATERIH IZBRANIH DRŽAVAH

Načini obdelave padavinskih voda (Regenwasserbehandlung) v različnih državah medsebojno zelo odstopajo, zato naj le na kratko orišem različne strokovne pristope v nekaterih izbranih državah.

6.1 Švica

Izvirne impulze za skupno čiščenje padavinskih odtokov je koncem šestdesetih let Švici (skupno z Avstrijo, Nemčijo in Liechtensteinom) povzročila oziroma predlagala internacionalna komisija za zaščito kvalitete voda Bodenskega jezera. Prva švicarska uradna priporočila za dimenzioniranje in izvedbo razbremenilnikov in razbremenilnih bazenov so bila v Švici izdana že leta 1977 in so še dandanes v veljavi.

Medtem ko so se v Nemčiji razvijale smernice pretežno v smeri omejitev emisij, je potekal strokovni razvoj v Švici nekoliko drugače. V Švici se namreč opazuje emisije in imisije vzporedno. Leta 1977 je Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzleute (VSA) razvil in izdal tako imenovane smernice za splošno načrtovanje kanalizacij (»Generelle Entwässerungsplanung (GEP)«, ki vsebujejo 7 poglavij:

- 1) Uvod (Einleitung)
- 2) Principi načrtovanja kanalizacij (Grundsätze der Entwässerungsplanung)
- 3) Principi obdelave projektov (Grundsätze der Projektbearbeitung)
- 4) Naloge občin (Aufgaben der Gemeinden)
- 5) Osnove načrtovanja (Projektgrundlagen)
- 6) Obdelava projektov (Projektbearbeitung)
- 7) Honoriranje (Honorierung)

Najpomembnejše je poglavje 5 (Osnove načrtovanja), ki vsebuje naslednjih 8 poglavij:

- 1) Poročilo stanja vodotokov (Zustandsbericht Gewässer)
- 2) Poročilo stanja tujih voda (Zustandsbericht Fremdwasser)

- 3) Poročilo stanja kanalizacije (Zustandsbericht Kanalisation)
- 4) Poročilo stanja ponikanja (Zustandsbericht Versickerung)
- 5) Poročilo stanja vplivnega področja (Zustandsbericht Einzugsgebiet)
- 6) Poročilo stanja območij nevarnosti (Zustandsbericht Gefahrenbereiche)
- 7) Količine odpadnih voda (Abwasseranfall)
 - med sušnimi obdobji (bei Trockenwetter)
 - med padavinskimi obdobji (bei Regenwetter)
- 8) Obdelava in upravljanje s podatki (Datenverarbeitung und Datenverwaltung)

Za vsako področje zbiranja ter odvajanja odpadnih voda se v Švici torej zahteva izdelava kataloga s poročili stanja. Ti katalogi služijo kot osnove prihodnjim načrtovanjem in se občasno dopolnjujejo v tako imenovano »tekoče načrtovanje« (rollende Planung).

Švicarska vlada sofinancira ta poročila stanj in tako podpira njihovo površinsko prekrivajoče širjenje. Poročila stanj izdelujejo različni projektni biroji. Lahko jih izdelujejo oziroma obdelujejo tudi eden za drugim. Na začetku se je obseg teh strokovnih del hudo podcenil, vendar so dandanes (po okoli 20 letih ustvarjanja) ta poročila stanj izdelana že za večino občin.

Združenje švicarskih inženirjev ter arhitektov izdaja tudi normative SIA, ki med drugim obsegajo tudi hidravlično dimenzioniranje kanalizacijskega omrežja ter objektov in so precej podobni nemškimi smernicami DWA. Vendar so v Švici na splošno samostojne tehnične smernice (Richtlinien) za dimenzioniranje, konstruiranje ter obratovanje objektov za obdelavo padavinskih voda precej redkeje kakor v Nemčiji.

Specifična prostornina razbremenilnih naprav je v Švici skoraj istega velikostnega reda, kot je v Nemčiji, in tudi tehnična oprema za dušilkami, koriti za spiranje, mešali, grabljami

itd. ne odstopa bistveno od nemških smernic in norm.

6.2 Avstrija

Avstrijske osnove načrtovanja obdelave mešanih odtokov (ÖWWV-Regelblatt 19; Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen, 2007) bazirajo na predpisanih mejnih vrednostih emisij (Emissionsgrenzwerten). Tako so na primer (v AVE Mischwasser »Mindestwirkungsgrade der Weiterleitung der im Einzugsgebiet der Mischkanalisation anfallenden Schmutzfrachten«) predpisane minimalne stopnje izločanja, ki se glede na velikost občine za AFS, NH₄-N, TN_{br}, P_{tot}, KPK in BPK₅ nahajajo med 55 in 80 %. Te vrednosti so izbrane in določene tako, da iz tega izhajajoče zaježene prostornine nekako odgovarjajo izračunskim prostorninam po ATV – A 128.

Vendar zaradi sunkovitih obtežb odtokov v praksi ni možno nadzorovati in preverjati doseganja teh predpisanih minimalnih stopenj izločanja in s tem izvajanja teh smernic.

Avstrijski bazeni za padavinske vode (Regenbecken) so zelo podobni nemškimi, saj je ÖWWV-Regelblatt 19 precej podoben nemškimi smernicami.

6.3 Velika Britanija

Osnovni princip britanske zaščite vodotokov (Urban Pollution Management Manual) zahteva na vsakem posameznem izpustu padavinskih voda takšno izbiro mejnih vrednosti (Grenzwerte), da te mejne vrednosti ne škodijo dotičnemu vodotoku. Pri tem se še posebej izpostavlja zaščita voda za kopanje in zaščita področij, namenjenih uporabi za sprostitvev in okrevanje.

UPMM pozna dve zasnovi za določanje koncentracij snovi v vodotokih:

- mejne vrednosti za sunkovite obtežbe ter
- trajne mejne vrednosti oziroma mejne vrednosti glede pogostosti nastopanja.

Tako na primer koncentracija kisika v vodotokih z ribami ne sme pasti pod 5 mg pogosteje kot enkrat letno in za največ 24-urno dobo (glej naslednji preglednici UPMM).

koncentracije kisika v odvisnosti od povratnega obdobja in dobe trajanja delovanja v mg/l			
povratno obdobje	doba trajanja delovanja		
	1 ura	6 ur	24 ur
en mesec	5,0	5,5	6,0
trije meseci	4,5	5,0	5,5
eno leto	4,0	4,5	5,0

Preglednica 3 • Spodnje mejne vrednosti vsebnosti kisika na izpustih deževnice v vodotoke z ribami v VB

V vodotokih vseh klasifikacij kvalitete, vsebnost KPK ne sme prekoračiti 5 mg v 99 % vseh meritev. V vodah za kopanje vsebnost bakterij koli za dobo trajanja 1,8 % kopalne sezone ne sme presegati vrednosti 10.000 klic na 100 ml vode. Glede na intenziteto uporabe področij, namenjenih za sprostitvev in okrevanje (Intensität der Erholungsnutzung), razbremenilniki ne smejo prelivati pogosteje kot 1- do 30-krat letno.

Britanska posebnost je tudi izločanje kosovnih snovi na razbremenilnikih. Tako se morajo zadržati na primer vse sestavine, večje od 6 mm, če so zahteve področij, namenjenih za sprostitvev ter okrevanje, visoke ter razbremenilniki prelivajo pogosteje kot enkrat letno. Pri srednji uporabi področij, namenjenih za sprostitvev ter okrevanje, zadostuje zadrževanje kosovnih snovi velikosti 10 mm.

Nadaljnja posebnost načrtovanja britanskih kanalizacij je izračun razbremenilnikov. Odtoki do 6-kratnega sušnega pretoka se morajo brez razbremenjevanja odvajati k čistilni napravi. Če to zaradi omejene kapacitete čistilne naprave ni mogoče, je treba predvideti dodatni zaježitveni prostor. Zaradi tega razpolaga Velika Britanija (v primerjavi z Nemčijo) z znatno manjšim številom in manjšo skupno zaježitveno prostornino bazenov za deževnico.

V primerjavi z britanskim načinom izhajajo torej nemške smernice ATV – A 128 še iz 2-kratnega sušnega pretoka, ki tako zahteva in posledično povzroča precej večje prostornine bazenov. Nasprotno pa je v Veliki Britaniji število grabelj, sit in vrtničnih izločevalcev (Wirbelabscheider) večje kot v Nemčiji.

zahteve glede področij, namenjenih za sprostitvev ter okrevanje	pričakovana pogostost prelivanja	zahteve glede odstranitve kosovnih snovi
visoke	> eno prelivanje na leto ≤ eno prelivanje na leto	odstranitev 6 mm delcev odstranitev 10 mm delcev
srednje	> 30 prelivanj na leto ≤ 30 prelivanj na leto	odstranitev 6 mm delcev odstranitev 10 mm delcev
nizke ali nobene		izmere v smislu priporočil

Preglednica 4 • Spodnje mejne vrednosti za odstranitev kosovnih snovi s pomočjo grabelj ali sit v VB

Kar se tiče števila in namestitvev razbremenilnih bazenov, se skušajo v zadnjem času tudi v VB vse bolj približati »nemški filozofiji« in obratno. Z DWA – A 198 se skuša namreč tudi Nemčija približati »angleški filozofiji« predvsem glede hidravličnih obtežb razbremenilnih ter čistilnih naprav.

6.4 ZDA

Med letoma 1995 do 1997 je ameriški državni urad EPA (Environmental Protection Agency) izdal popolnoma nove smernice za razbremenilnike v mešanem sistemu kanalizacij (CSO Combined Sewer Overflows).

Principi ameriških pravil za obdelavo padavinskih odtokov v mešanem in ločenem sistemu so podani v napotkih za dolgoročni načrt EPA (Guidance for Long-Term Control Plan – EPA 832-B-95-002), in sicer naslednji:

I.	razbremenilniki smejo prelivati le med obdobjem padavin
II.	razbremenilne točke se morajo opazovati celostno v smislu »Clean Water Acts«
III.	minimizirati se mora ogrožanje in poslabšanje kvalitete voda, živih bitij v vodah in zdravje ljudi zaradi posledic uvajanja mešanih izpustov

Preglednica 5 • Napotki za dolgoročni nadzorni načrt EPA

Naslednji principi EPA naj omogočajo iskanje »po meri krojenih« ter stroškovno najugodnejših rešitev:

A	predhodno določanje jasnih zdravstvenih ciljev in ciljev zaščite okolja
B	predvsem za doseganje zadostne fleksibilnosti načrtovanja pri finančno slabih občinah se morajo upoštevati lokalno specifične posebnosti in izvajati stroškovno-uporabnostne analize
C	izgradnja v gradbenih fazah mora upoštevati finančne zmogljivosti občine
D	standardi o kvaliteti voda se lahko revidirajo in prirejajo z napredovanjem obdelave padavinskih voda

Preglednica 6 • EPA-principi iskanja optimalnih in stroškovno najugodnejših rešitev

Vodnopravno dovoljenje za uvajanje v vodotoke pridobi občina za mešano kanalizacijsko omrežje samo na podlagi dokaza o uveljavitvi oziroma neposrednem uveljavljanju vsaj naslednjih devetih, s strani EPA predpisanih ukrepov (Guidance for Nine Minimum Controls):

1.	pravilno obratovanje in redni nadzor kakor tudi vzdrževanje omrežja ter razbremenilnikov
2.	maksimalna uporaba prostornine kanalizacijskega omrežja za zadrževanje odpadnih voda med padavinami
3.	raziskave ter modifikacije naprav za predčiščenje za namen minimiziranja obtežbe vodotokov
4.	odvajanje po možnosti čim večjega dela padavinskih odtokov na čistilno napravo
5.	pretoki mešanega sistema kanalizacije se ne smejo prelivati v sušnih obdobjih
6.	zadrževanje usedlih in plavajočih trdnih snovi na razbremenilnikih
7.	preprečevanje onesnaženja v vplivnem območju
8.	obveščanje javnosti, zadostno informiranje o nastanku in posledicah dogodkov razbremenjevanja
9.	nadzor aktivnosti razbremenilnikov na podlagi ustreznih naprav registriranja ter ugotavljanja stopnje izkoristka obdelave padavinskih voda

Preglednica 7 • Po EPA predpisane minimalne kontrole

Če občine ne skrbijo za obratovanje svojih kanalizacijskih omrežij v skladu s temi devetimi zahtevami, ima EPA pravico uveljavljanja zelo rigoroznih ukrepov in občine kaznuje z drastičnimi denarnimi kaznimi.

7 • IZBIRA SISTEMA

Za izbiro sistema zbiranja ter odvajanja odpadnih voda so bili nekoč odločilni pretežno gospodarski aspekti. Pri naseljih s slabotnim podolžnim padcem kanalov ali ob neposredno ležečih vodotokih se je običajno skušalo znižati gradbene stroške za omrežje ter čistilno napravo z ločenim, direktnim uvajanjem padavinskih odtokov v bližnje vodotoke. V strmejših območjih pa večinoma dominira mešani sistem, saj se je polaganje enega samega (mešanega) zbiralnika izkazalo za zelo varčno. Dandanes se skuša (povsod, kjer je to ekonomsko opravičljivo) manj onesnažene padavinske odtok (zunanja vplivna območja, zelenice, drenaže itd.) odstraniti ločeno, s pomočjo tako imenovanih modificiranih (mešanih in ločenih) sistemov.

Če se nahajajo proizvajalci prekomerno onesnaženih odpadnih voda (na primer iz obrti in industrije) na manjši razdalji ali celo v neposredni bližini čistilnih naprav, se priporoča njihova priključitev v ločenem sistemu, saj tako prispeje te odpadne vode na čistilno napravo direktno, brez njihovega predhodnega redčenja in razbremenjevanja.

Pavšalna ocena in odločitev, kateri od sistemov (mešani, ločeni ali modificirani sistem) je v ekonomskem in ekološkem oziru boljši, ni možna. Taka ocena je namreč odvisna od terenskih okoliščin, ekoloških zahtev in (za vsak posamezni primer določenih) gradbenih ter obratovalnih stroškov.

Glavni argument nasprotnikov mešanega sistema je pogosto letno prelivanje razbremenilnih naprav (lahko tudi do 60 prelivanj letno). Nekateri predpisi to najvišjo pogostost celo številčno omejujejo (na primer na Nizozemskem, kjer je predpisano le 2- do 3-kratno letno prelivanje). Pri tem pa se zavestno »zanemari« bilanciranje emisij onesnaženja. Osnovna zahteva, na podlagi katere »deluje« ATV – A 128, je namreč enakovredna imisijska zaščita vodotokov pri mešanih ter ločenih sistemih kanalizacij. Pri enakovredni imisijski zaščiti vodotoka je torej večje število prelivanj celo koristno, saj ti razbremenjeni pretoki v znatno zmanjšanem obsegu obremenjujejo nadaljnja kanalizacijska omrežja in čistilne naprave. Pri tem se nadalje zamolči tudi negativni vpliv tako imenovanega »hidravličnega stresa« na vodotoke. Decentralizirano količinsko uvajanje ter na več mestih porazdeljena obtežba vodotoka s hranivi vpliva znatno boljše na floro in favno kot skupna (koncentrirana) hidravlična

obtežba in celotna obtežba s hranivi zgolj na enem mestu (izpod čistilne naprave).

Pri izbiri sistemov bomo verjetno morali v prihodnje v večjem obsegu upoštevati tudi klimatske spremembe, saj vse kaže, da bo v prihodnjih desetletjih treba zvišati celo izračunski naliv (Bemessungsregenspende).

Med drugim podajajo obsežne napotke za ustrezno izbiro sistema (mešani ali ločeni sistem) tudi DWA-smernice ATV – A 105 (Wahl des Entwässerungssystems; december 1997).

Če se lahko delno ali v celoti odpovemo zbiranju ter odvajanju padavinskih odtokov, lahko poleg klasičnega gravitacijskega sušnega kanala uporabimo tudi posebni tlačni ali podtlačni postopek zbiranja ter odvajanja odpadnih voda, opisan v DWA-smernicah ATV – A 116 (Besondere Entwässerungsverfahren, Unterdruckentwässerung – Druckentwässerung; marec 2005).

7.1 Mešani sistem

Pri mešanem sistemu se odvajajo gospodinjske, obrtne in industrijske odpadne vode, kakor tudi (neprepredene) tuje in padavinske vode v skupnem, tako imenovanem mešanem kanalu.

Prednosti mešanega sistema so:

- V cestišču se praviloma nahaja samo en zbiralnik, zato se ne potrebuje toliko prostora za gradnjo.
- Za vsako zazidalno zemljišče je potreben le po en priključek.
- Izprana površinska onesnaženja padavin manjših intenzitet se odvajajo v celoti na čistilno napravo in ne (kot v ločenem sistemu) direktno v vodotok.
- Niso možni napačni priključki (kot v ločenem sistemu).

- Relativno kratka skupna dolžina omrežja (v primerjavi z ločenim sistemom).
- Praviloma je potrebno zgolj relativno nizko število izpustov (iz razbremenilnih naprav), zato je tudi število mest, potrebnih za nadzor obtežbe vodotokov, manjše (v primerjavi z ločenim sistemom).

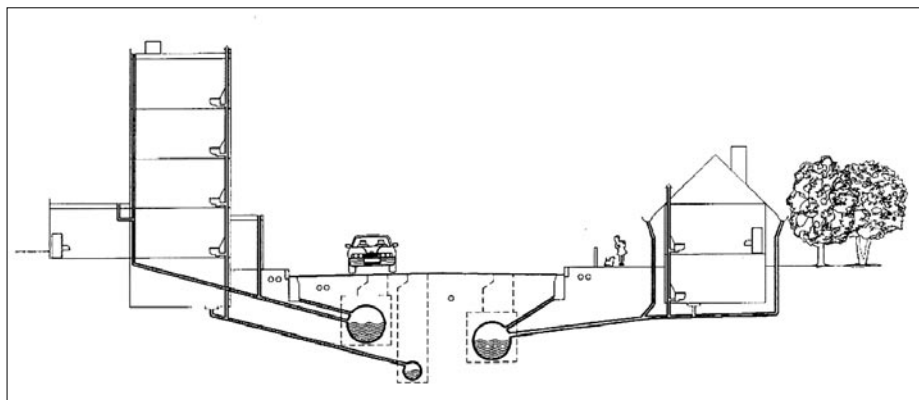
7.2 Ločeni sistem

Pri ločenem sistemu se odvajajo gospodinjske, obrtne in industrijske odpadne vode ter (neprepredene) tuje vode v sušnem kanalu, medtem ko se padavinske in načrtno uvedene tuje vode (drenaže itd.) odvajajo ločeno v tako imenovanih meteornih kanalih.

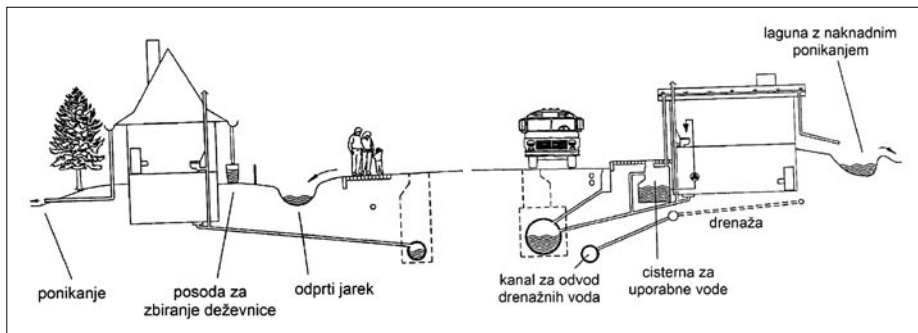
Prednosti ločenega sistema so:

- Odpadne vode ostajajo koncentrirane. S tem se prepreči odvajanje zanemarljivo ter malo onesnaženih padavinskih ter tujih voda (ki niso potrebne čiščenja) preko čistilne naprave.
- Praviloma nekoliko manjše količine tujih voda kakor pri mešanem sistemu.
- Praviloma nekoliko manjše količine kamenja in peska kakor pri mešanem sistemu.
- Črpališča ter tlačni vodi se dimenzionirajo zgolj za sušne odtok, zato je je zmogljivost teh objektov manjša.
- Zaradi manjših premerov cevi sušnih kanalov se v njih ustvarja višje delno polnjenje, kar pomeni večjo vlečno silo in manj usedlin v ceveh.
- Pri strokovno pravilni izvedbi in predpisanem obratovanju ne more nastopiti preplavitve kletnih prostorov zaradi zajezitev iz vodotokov oziroma zaradi hidravlične preobremenitve s padavinskimi odtoki.
- Potrebno je čiščenje le onesnaženih delov padavinskih odtokov.

Generalni problem pri ločenem sistemu je preprečitev napačnih priključkov. Že nekaj napačnih priključkov lahko namreč ones-



Slika 9 • Tradicionalni ločeni (levo) in mešani (desno) sistem



Slika 10 • Močno poenostavljena in modificirana ločeni (levo) ter mešani (desno) sistem

posobi pravilno delovanje celotnega ločenega sistema!

7.3 Modificirani ločeni sistem

Pri modificiranem ločenem sistemu se padavinski dotoki ponikajo ali s pomočjo odprtih jarkov deloma oziroma v celoti odvajajo direktno v površinske vodotoke.

V severni Nemčiji je ta sistem znan in se predvsem v zadnjem času uporablja tudi pod pojmom »decentralizirana odstranitev padavinskih voda« (dezentrale Regenwasserbewirtschaftung). Vendar ta trend decentralizirane odstranitve manj onesnaženih padavinskih odtokov ni omejen zgolj na Nemčijo. V ZDA to strategijo označujejo s pojmi »Stormwater Management« in »Best Management Practices« (BMPs), v Veliki Britaniji s »Sustainable

Urban Drainage« (SUDs) ter v Avstraliji z »Low Impact Development« (LID).

Pri tem pa ne smemo prezreti in zanemariti dejstva, da so ovrednotenja v sklopu EU – okvirnih vodnih smernic (EU – Wasserrahmenrichtlinie), pokazala, da je v mnogih vplivnih področjih obtežba onesnaženja padavinskih odtokov višja, kot je vsota obtežb industrijskih, obrtnih ter hišnih odpadnih voda.

7.4 Modificirani mešani sistem

Pri modificiranem mešanem sistemu se na čistilno napravo odvajajo gospodinjne, obrtne in industrijske odpadne vode kakor tudi (nepreprečene) tuje in le močno onesnažene padavinske vode v skupnem, tako imenovanem mešanem kanalu. Zanimljivo, vendar pa manj onesnaženi padavinski dotoki lahko

ponikajo ali se direktno odvajajo v površinske vodotoke. Ta medtem že dobro preizkušeni sistem se uspešno uporablja širom Nemčije. Ta sistem združuje bistvene prednosti mešanega in ločenega sistema. Prednosti so naslednje:

- Ločeno odvajanje malo in močno onesnaženih padavinskih odtokov, kar omogoča zmanjšanje celotne obremenitve vodotokov.
- S pomočjo meteornih kanalov se lahko odvajajo tudi druge malo onesnažene vode, hladilne vode, drenažne vode itd., ki tako ne obremenjujejo čistilnih naprav.

Zaradi zmanjšane hidravlične obtežbe nizvodnega omrežja in čistilne naprave (na podlagi ponikanja in ločenega odvajanja »čistih« odtokov) se modificirani mešani sistem pogosto uporablja pri sanacijah obstoječih mešanih sistemov in pri priključevanju novih zazidalnih območij.

Vendar pa je modificirani mešani sistem izredno zahteven postopek, ki temelji na obsežnih zahtevah:

- tako glede dodatnega obsežnega strokovnega znanja projektanta, njegovih inženirskih zmožnosti, obsežne porabe njegovega časa kakor tudi
- glede obvezne skrbnosti izvedb, strokovne discipline in okoljevarstvene zavednosti vseh uporabnikov.

Izkušnje nadalje kažejo, da je padavinski dotok skozi zračne odprtine pokrovov jaškov sušnih kanalov vse prej kakor zanemarljiv. Pogosto so namreč ti pokrovi nameščeni v najnižjih točkah cestišč oziroma zemljišč in jih zato glede dotočnih količin lahko istovetimo s cestnimi požiralniki.

Pri načrtovanju in dimenzioniranju hidravličnih obremenitev pripadajočih čistilnih naprav se nasprotno slepo izhaja zgolj iz teoretičnih sušnih količin dotokov. Zatorej so v praksi čistilne naprave med padavinskimi obdobji praviloma (zaradi znatno večjih dejanskih dotočnih konic) hidravlično hudo preobremenjene in jim tako prevelik pretok med deževji v vodotoke redno »odplakne« pretežni del lebdeče biomase. Ponovna vzreja te, za čiščenje odpadnih voda neobhodno potrebne količine lebdeče biomase (v biološki stopnji čistilne naprave) zahteva (vsakokrat znova) daljša časovna obdobja biološke rasti in obnove (nekaj dni ali tednov). Med temi relativno pogostimi obdobji je zato delovanje čistilnih naprav nezadostno ali precej omejeno. Slepa izbira ločenega (namesto mešanega) sistema je pri nas pogosto pogojena tudi s

8 • SKLEP

V uvodu evropskih norm DIN-EN 752 (Sistemi za odvajanje odpadnih voda izven zgradb) se jasno opozarja: **»Že sam način opazovanja in reševanja problematike sistemov zbiranja, odvajanja ter čiščenja odpadnih voda zahteva obdelavo posameznih področij načrtovanja (izbira sistema, dimenzioniranje in konstruiranje objektov, izbira dušilk, grabelj, sit itd.) na podlagi strogega upoštevanja medsebojnih odvisnosti. Zatorej se morajo upoštevati tako medsebojne odvisnosti in delovanja med sistemskimi komponentami oziroma delnimi sistemi kakor tudi odvisnosti ter delovanja le-teh na celotni sistem. Zgolj razdrobljena ter medsebojno izolirana opazovanja in obdelave navidezno optimalnih rešitev lahko pri končni skupni oceni sistema povzročajo izredno hude napake kakor tudi drage posledice in hude pomanjkljivosti tako pri delnih kakor tudi na celotnih sistemih.»**

Navkljub tem napotkom in jasnim strokovnim opozorilom pa se slovenska praksa vse

pogosteje izživlja ravno v strogo razdrobljenih rešitvah brez upoštevanja medsebojnih vplivov. Tak tipičen primer je pri nas prevladujoči izbor »moderne«, strokovno slepe uporabe ločenih sistemov ne glede na to, da so dejanski dotoki iz obstoječih hišnih priključkov praviloma na parcelnih mejah že združeni in so se predhodno že v zgradbah medsebojno premešali. Zatorej bi bilo potrebno njihovo naknadno (večkrat gradbeno neizvedljivo) ponovno razvejanje na sušne in padavinske odtokove v privatnih stavbah in zemljiščih, kar bi bilo povezano z ogromnimi gradbenimi stroški.

Poleg tega so se v praksi za boljše izpiranje usedlin na začetnih odsekih sušnih kanalov pogosto (neuradno in nekontrolirano) priključili tudi številni odtoki streh ali cestnih požiralnikov, kar nekontrolirano zvišuje dejanske količine tujih voda kakor tudi hidravlične konice sušnih odtokov.

strokovnim neznanjem in neodgovornostjo, saj sta dimenzioniranje in konstrukcija mešanega sistema z objekti razbremenjevanja (po ATV – A 128 oziroma DWA – A 198) zahtevnejša, saj potrebujeta znatno obsežnejše strokovno znanje, obilo strokovnih izkušenj, predvsem pa več vloženega časa.

Pošteni, neodvisni strokovnjaki starega kova so bili nekdanj pri iskanju tehnološko, ekonomsko ter ekološko optimalnih rešitev odvisni izključno od prejemanja za preživetje zadostnih honorarjev s strani naročnika. Naročnik je lahko projektantu zaupal in je od njega zahteval oziroma pričakoval izključno samo zanj »po meri« izdelano najboljšo tehnološko, ekonomsko ter ekološko rešitev.

Slovenska politika je (ob asistenci IZS in visokošolstva) razvrednotila strokovno umsko delo na raven obrtniškega dela in z razpisi umskih storitev izključno na podlagi najnižje cene slovenski stroki spodnesla eksistenčna tla in jo tako prisilila, da služi dvema ali več gospodarjem. Ker smešno nizki strokovni honorarji ne zadostujejo več za preživetje, mora projektant za preživetje naročniku »vsiliti« (ceneno) robo, ki jo zastopa in zanjo prejema ustrezno provizijo (beri: pretežni del honorarja). Pri tem se niti najmanj ne more in ne sme ozirati na zaupanje ali želje naročnika.

Dandanes je namreč v Sloveniji edino merilo le še najnižja cena!! Kakovost strokovnega umskega dela, kakovost ter ekonomičnost delovanja

naprav, strokovna odgovornost, izračun skupnih stroškov itd. so preživeli pojmi ter merila, ki so že zdavnaj potonili v pozabo, in kar je najhujše, izrecno se jih ne sme več upoštevati!! Rezultat tega je popoln propad slovenske projektive, strokovnega šolstva, strokovnega znanja ter izkušenj, saj vsaka kvaliteta zahteva namreč tudi zadostno ceno. Že stari slovenski pregovor pravi: »Za mal' d'narja mal' muz'ke!« Posledice naše nesmiselne strokovne politike se tako vedno izdatneje izražajo v predragih slovenskih avtocestah, »aferah« zaradi slabo opremljenih in delujočih klinik, v nepotrebnih ter škodljivi namestitvi ljubljanskih zadrževalnih bazenov, v slabo delujočih čistilnih napravah itd.

Pri samovšečnem medsebojnem trepljanju ram prebivalci celotne slovenske uradne strokovne zgradbe (pri namerno zaprtih ter zaklenjenih oknih in vratih) sploh ne opažajo, da so nas medtem (tudi južni) sosede po strokovni plati očitno že zdavnaj prehiteli. Naj v razmislek navedem zgolj dva primera:

- Priporočam ogled avtoceste Karlovac–Split. Ob podobnem strokovnem trasiranju poteka in kvalitetni, vendar skrajno racionalni izvedbi slovenskih avtocest bi celo izkupiček naših vinjet več kakor zadostoval.
- Pri nas v zadnjem času skoraj že popolnoma »pozabljeno« organizirano »stročno usavršavanje« (običajno pod okriljem ministrstev, inženirskih zbornic itd.), kot ga poznajo in izvajajo na Hrvaškem, v Bosni

in Srbiji (da ne omenjam naših severnih sosedov), zagotovo ne bi škodovalo slovenskemu gospodarstvu.

S propadanjem našega strokovnega znanja (skoraj že v prostem padu) pa obratno sorazmerno vedno hitreje narašča strah pred strokovno kritiko. Namesto korenitih vizionarskih sprememb, iskanja in podpore strokovnega znanja ter izkušenj, zahtev po dobro delujočih in kvalitetnih napravah se slepo, gluho in vse bolj krčevito oklepamo birokracije, formalizma ter principa »najnižjih cen za vsako ceno«, čeprav je postalo že večini strokovnjakov popolnoma jasno, da si takega razmetavanja finančnih sredstev za slabe, predrage rešitve in nezadostno delujoče objekte že zdavnaj ne moremo več privoščiti.

Poleg nezmožnosti nadaljnega financiranja investicijskih ter obratovalnih stroškov avtocest se hitro odpirajo še drugi, vedno obsežnejši finančni kraterji, kot so komunalne storitve (voda, čiščenje odpadnih voda, odpadki itd.), zdravstvo (vzdrževanje klinik itd.), okolje (poplave, plazovi itd.) ... Iz te gospodarske katastrofe, ki nas vse hitreje dohaja, nas bi lahko rešili le preobrat miselnosti in odločanja, vizionarski politični pristop in predvsem ponovni zagon strokovnega znanja.

Kakor je rekel Albert Einstein: »Človeška neumnost in vesolja sta neskončna, čeprav o neskončnosti vesolja še nisem popolnoma prepričan!«

9 • ZAHVALA

Prof. dr. ing. habil. H. Brombachu in njegovim sodelavcem se iskreno zahvaljujem za njihove strokovne podatke in slike.

10 • LITERATURA

- ATV e.V., Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn Berlin.
- Brombach, H., Regenüberlaufbecken im Spiegel der Statistik, Korrespondenz Abwasser, 10/1979.
- Brombach, H., Mehr als 8000 Regenüberlaufbecken in Betrieb!, Korrespondenz Abwasser, 12/1988.
- Brombach, H., Kuhn, G., Häufigkeit und Verteilung der Kanalisationsverfahren in Deutschland, Korrespondenz Abwasser, 8/1992.
- Brombach, H., Abwasserkanalisation und Regenbecken im Spiegel der Statistik, Korrespondenz Abwasser, 4/2002.
- Brombach, H., Abwasserkanalisation und Regenbecken im Spiegel der Statistik; Korrespondenz Abwasser, 11/2006.
- Brombach, H., Wie verschmutzt ist Regenwasser wirklich, Pecher Seminar 2006.
- Brombach, H., Stand und Perspektiven der Regenwasserbehandlung in Deutschland und im Ausland, 6. Regenwassertage in Passau 2007.
- DWA e.V.: ATV – A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen; april 1992.
- DWA e.V., ATV – DVWK – A 198, Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, april 2003.
- Imhoff, K. und K. R., Taschenbuch der Stadtentwässerung, Oldenbourg Verlag München.
- Maleiner, F.: Ločeni ali mešani sistem kanalizacije; odvajanje, čiščenje ter odstranitev padavinskih voda; 4. strokovni seminar, 25. 10. 2000.
- Maleiner, F., Razbremenilni objekti v kanalizacijskih omrežjih, 9. strokovni seminar, 12. 3. 2003.
- Maleiner, F., Nemški predpis o honorarjih za storitve arhitektov ter inženirjev (HOAI), Gradbeni vestnik, marec 2006.
- Maleiner, F., Problematika tujih voda, Gradbeni vestnik, julij 2009.
- Weiß, G., Brombach, H., Kritische Bewertung der Immissionsbelastung der Gewässer durch Regenwassereinleitungen, 37. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 24.–26. 3. 2004.

INFORMACIJSKO MODELIRANJE ZGRADB (BIM)

dr. Tomo Cerovšek, univ. dipl. inž. grad.

Namestnik predstojnika oddelka za gradbeništvo

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

Uvodnik. *Informacijsko modeliranje zgradb (gradbenih objektov in stavb) predstavlja bistveno novost in napredek v načinu dela in uporabe računalnika v gradbeništvo. Glavni namen te rubrike je spodbuditi slovenske gradbene inženirje k rabi BIM in sodobnih načinov dela. Zato bomo bralce redno informirali o konceptih, programskih orodjih BIM, standardih, dogodkih in predstavitev ter poročali o izkušnjah pri uporabi v praksi doma in po svetu. V rubriki bomo poročali tudi o aktivnosti Slovenskega društva za gradbeno informatiko (SDGI).*

Koncepti BIM

Model BIM (angl. Building Information Modeling) je digitalni zapis in predstavitev informacij o konkretni stavbi za komunikacijo med udeleženi v gradbenem projektu. Model BIM vsebuje geometrijske in negeometrijske informacije, ki jih potrebujejo in izdelajo arhitekti in inženirji za načrtovanje, analizo, simulacije, vizualizacije in dokumentacijo tako v fazah pred, med in po gradnji. Geometrijske informacije določajo digitalni 3D-model stavbe, sestavljen iz elementov, ki so digitalni ekvivalent »pravih« elementov stavb (od temeljev do strehe). Negeometrijski del določa dodatne informacije o stavbi in njenih elementih ter lastnosti, ki se nanašajo na funkcijo, obliko in materiale.

Konstruiranje in modeliranje. Klasični 2D- in 3D-programi CAD operirajo s črtami, ravninskimi liki in telesi, medtem ko BIM operira z elementi stavb, ki jih lahko prikazemo v 2D- in 3D-načinu, poleg tega pa so vključene še dodatne negeometrijske informacije o njih. Rezultat klasičnega tehničnega risanja, 2D-risba, je en sam statičen pogled na stavbo, medtem ko lahko v modeliranih BIM konstruiramo in modeliramo model BIM ter izdelamo več pogledov, prerezov, količine in dimenzije. Z 2D-risbo ne moremo obravnavati številnih 3D-problemov pri projektiranju, ki jih z BIM lahko, lep primer je na primer prostorska analiza izvedljivosti konstrukcijskih detajlov ali osončenje prostorov.

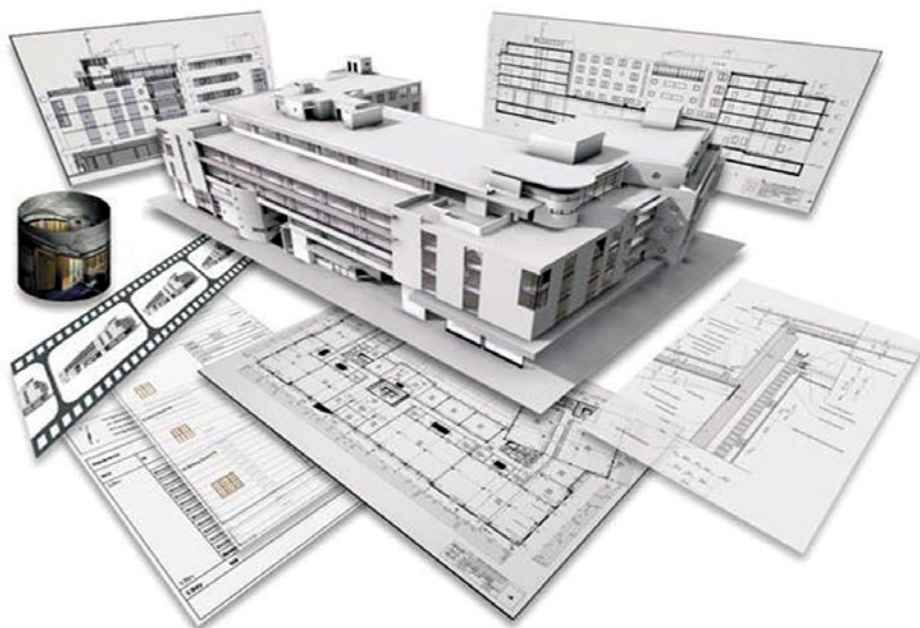
Modelirniki BIM. Model BIM lahko izdelamo z modelirnikom BIM, računalniškim orodjem, ki ima dve funkciji:

- modeliranje poteka z digitalnimi elementi stavb 3D, ki so »inteligentni« in parametrizirani tako, da odražajo bistvene lastnosti elementov dejanskih, fizičnih stavb (element »okno« BIM na primer »ve«, da ne more stati v zraku, temveč mora biti vključeno v steno. Oknu lahko določimo parametre, kot so višina parapeta, zasteklitev, tip in barva okovja in podobno).
- Vsaka informacija je zapisana le enkrat: projektna dokumentacija, izdelana na osnovi modela BIM, je bolj kakovostna in vedno usklajena (florisi, prerezi, fasade, izvlečki količin in tudi matematični modeli za analize se na primer avtomatično generirajo iz skupnega zapisa informacijskega modela stavbe in so zato vedno usklajeni. Če torej spremenimo steno v florisu, je ta debelina avtomatično popravljena v vseh odvisnih florisih, prerezih, pogledih in popisih). Modelirniki BIM lahko pokrivajo ožja strokovna področja, na primer za modeliranje arhitekture, gradbenih konstrukcij, konstrukcijskih elementov, stikov, porabe energije, študije izvedljivosti itd.

Prednosti uporabe BIM

Prednosti uporabe BIM lahko definiramo na več nivojih:

- **Na nivoju individualnega strokovnega dela** nudi BIM vrsto možnosti za hitrejšo in bolj kakovostno opravljanje zamudnih in nekretnih del, kot je priprava projektne dokumentacije in delavniških risb.
- **Na nivoju organizacije** BIM v širšem smislu razumemo kot skupek tehnologij, postopkov in »politik« podjetij. BIM omogoča napredno inženirsko komunikacijo, ki zahteva nova znanja in organiziranost podjetij, kar ni enostaven poseg. Zato se po svetu in pri nas pripravljajo metode uvajanja v prakso.
- **Na nivoju projektne sodelovanja med podjetji** lahko BIM bistveno prispeva k uveljavitvi »integrirane prakse«, ki temelji na sodelovanju, sočasnosti in kontinuiteti interdisciplinarnih projektov. Sočasnost omogočajo internetni strežniki BIM, do katerih lahko projektanti dostopajo do različnih lokacij in podjetij, z BIM učinkoviteje sodelujejo pri usklajevanjih



Slika 1 • Projektna dokumentacija, izdelana na osnovi BIM modela, je bolj kakovostna in vedno usklajena. Florisi, prerezi, fasade, izvlečki količin in tudi matematični modeli za analize se avtomatično generirajo iz skupnega zapisa informacijskega modela stavbe in so zato vedno usklajeni. (Vir slike: Graphisoft in Pilon AEC)



Slika 2 • Z modelirniki BIM lahko vse sisteme stavb, kot so vodovod, kanalizacija, klimatske naprave, elektro inštalacije, itd. modeliramo v 3D. Na podlagi modela BIM lahko preverimo tudi neskladja med posameznimi modeli in morebitne kolizije med nosilnimi konstrukcijami in napeljavami. (Vir slike: Graphisoft in Pilon AEC)

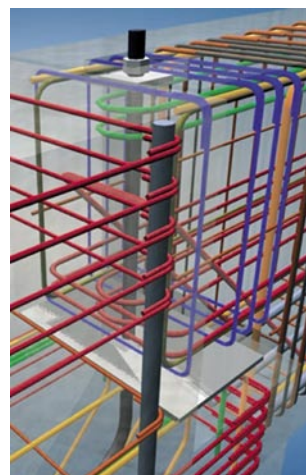
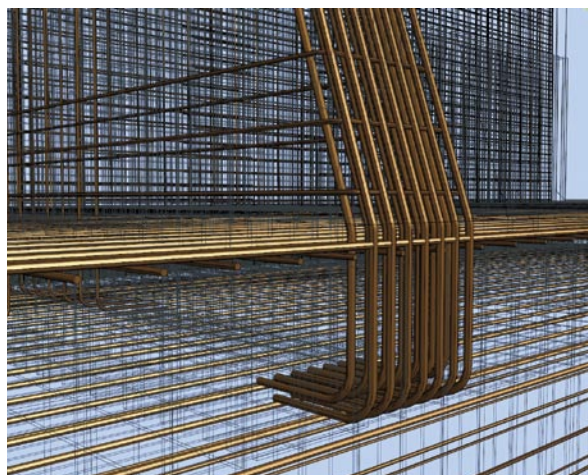
sistemov stavb in ne nazadnje se zagotovi kontinuiteta.

Celostna zasnova in projektiranje. Sodobno projektiranje zahteva celosten pristop, ki poleg zakonsko predpisanih bistvenih kriterijev upošteva tudi celostne kriterije v kontekstu umestitve stavbe v prostor, oblikovnih in funkcionalnih kriterijev kot tudi ustreznosti tehničnih rešitev v smislu izvedljivosti, energetske učinkovitosti, stroškovne učinkovitosti in trajnostne gradnje. Uveljavlja koncept virtualne gradnje, kjer se na podlagi simulacije, identifikacije kolizij in 5D-modela preveri izvedljivost gradbenega projekta. Izdelamo lahko tudi integrirane 5D-modele BIM, kjer četrta dimenzija (čas) predstavlja povezavo s terminskimi plani, peta dimenzija (stroški) predstavlja povezavo z metodo izvedbe elementov in s pripadajočimi kalkulacijami stroškov materiala, delovnih sredstev, delovne sile in podizvajalcev. S pomočjo modela BIM lahko stavbe tudi bolje prostorsko razumemo, preverimo izvedljivost konstrukcijskih detajlov, optimiziramo rešitve in simuliramo odzive. Z modelom BIM lahko izdelamo analizo stroškov, ki bodo povezani z obratovanjem stavbe (za zavarovanje, ogrevanje, obratovanje klimatskih naprav, čiščenje, upravljanje naprav). Ničesar od zgoraj navedenega ne moremo izvesti v 2D brez modela BIM.

Dogodki

Maribor, 2. februar 2010. Na Fakulteti za gradbeništvo na Univerzi v Mariboru so kolegi pod vodstvom prof. dr. Danijela Rebolja

organizirali enodnevni posvet z naslovom »Iz 2D v 3D – ovire in izzivi pri uvajanju Informacijskega Modela Zgradbe (BIM) v prakso«. Enodnevno posvetovanje je potekalo v obliki (uvodnih) predavanj, predstavitev, diskusij, v okviru katerih smo izmenjevali izkušnje in iskali rešitve predvsem za problem uvajanja 3D-modeliranja v celoten življenjski cikel projekta/objekta. Če primerjamo podoben dogodek, ki smo ga organizirali na Univerzi v Ljubljani leta 2006, lahko sklepamo, da je čas za uvajanje BIM v slovensko gradbeništvo sedaj zrel in nujen.



Slika 3 • Primer vizualizacije armature v 3D. Modeli 3D konstrukcijskih detajlov se uporabljajo za natančno ponazoritev armiranja, na podlagi katere lahko avtomatično izdelamo sezname armature, armaturne in delavniške načrte. (Vir slik: levo – Nemetschek Allplan in Cupola AEC in desno – Tekla Structures)

Nekaj bistvenih prednosti uporabe BIM za inženirje.

- Večja produktivnost: s pomočjo modelov BIM za konstrukcijske elemente in stavbe je moč prihraniti kar 55 % časa od izdelanega statičnega izračuna do armaturnih načrtov.
- Uporaba modela BIM za analizo: vedno več aplikacij nudi povezavo med modeli 3D in programi za račun konstrukcij tako da se lahko mreža končnih elementov generira na osnovi modela BIM.
- Lažja koordinacija: na osnovi modela BIM lahko lažje izmenjujemo projektno dokumentacijo tako v fazah pred kot tudi med gradnjo.
- Usklajenost in kakovost projektne dokumentacije: projektna dokumentacija, izdelana na podlagi modela BIM je vedno usklajena in tudi mnogo bolj kakovostna.
- Študije izvedljivosti in simulacije: gradbenim inženirjem nudijo modeli BIM mnogo prednosti pri analizi izvedljivosti celotne konstrukcije in posameznih konstrukcijskih detajlov.

Obvestilo: Več informacij o BIM bo na voljo tudi na spletni strani Slovenskega društva za Gradbeno Informatiko (www.SDGI.si). Predloge za rubriko BIM lahko pošljete na tomo.cerovsek@fgg.uni-lj.si.

NOVI DIPLOMANTI

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Gorazd Rajh, Pomen zgodnje trdnosti mikroarmiranih brizganih betonov pri projektiranju betonskih oblog predorov, mentor doc. dr. Jože Lopatič, somentor dr. Jakob Šušteršič

Nenad Španić, Prikaz metode in tehnike linearnega planiranja gradbenih projektov z uporabo programske opreme Tilos 6.0, mentor doc. dr. Jana Šelih, somentor asist. dr. Aleksander Srdić

Emir Kumalić, Optimizacija časovnega poteka in tehnologije gradnje – izbrani primer trgovsko poslovnega objekta, mentor doc. dr. Jana Šelih

Peter Zupančič, Projekt sovprežnega železniškega mostu, mentor prof. dr. Darko Beg

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Urška Rus, Možnost uporabe registra nepremičnin v prostorskem načrtovanju, mentor izr. prof. dr. Albin Rakar, somentor asist. mag. Tomaž Černe

Miloš Todorović, Projektiranje z orodji BIM ob upoštevanju trajnostnih kriterijev, mentor prof. dr. Žiga Turk

Irena Strnad, Ocena parametrov modela izbire prometnega sredstva, mentor doc. dr. Marijan Žura

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Janez Belaj, Masivne lesene hiše, mentor red. prof. dr. Miroslav Premrov, somentor Matjaž Tajnik, univ. dipl. inž. grad.

Silvo Fras, Možnost uporabe kontinuiranih ogljikovih vlaken za ojačitev betonskih konstrukcij, mentor viš. pred. mag. Andrej Ivanič

Martina Kager, Konstrukcijska zaščita lesa, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj, somentor Benedikt Boršič, univ. dipl. inž. grad.

Jasmina Lovšin, Gradnja s Quad - Lock in Quad - Deck sistemom, mentor viš. pred. Samo Lubej, univ. dipl. inž. grad.

Tina Miklavc, Določanje obstojnosti polimer bitumenskih trakov proti preboju korenin na ozelenjenih strehah, mentor viš. pred. Samo Lubej, univ. dipl. inž. grad.

Matjaž Ojsteršek, Rekonstrukcija in sanacija dijaškega doma Golnik, mentor doc. dr. Andrej Štrukelj

David Polanec, Mikroarmirani beton za industrijske flake, mentor viš. pred. Samo Lubej, univ. dipl. inž. grad., somentor Vitoslav Dobnikar, univ. dipl. inž. grad.

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA

Petra Vogrinec, Metodologija za dimenzioniranje nesemaforiziranih nivojskih križišč, mentor izr. prof. dr. Drago Sever, somentor viš. pred. mag. Sebastian Toplak

Rubriko ureja • **Jan Kristjan Juteršek**, univ. dipl. inž. grad.

Vsem diplomantom čestitamo!

Skladno z dogovorom med ZDGITS in FGG-UL vsi diplomanti gradbenega oddelka Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani prejemaajo Gradbeni vestnik (12 števil) eno leto brezplačno. Vse, ki bodo želeli po prejemu 12. številke postati redni naročniki, prosimo, naj to čimprej sporočijo uredništvu na naslov: GRADBENI VESTNIK, Leskoškova 9E, 1000 Ljubljana; telefon: (01) 52 40 200; faks: (01) 52 40 199; e-mail: gradb.zveza@siol.net.

ZDGITS in Uredništvo Gradbenega vestnika

KOLEDAR PRIREDITEV

6.-9.4.2010

CCCT 2010
The 8th International Conference on Computing, Communications and Control Technologies
Orlando, Florida, ZDA
www.iiis2010.org/imcic/website/default.asp?vc=3

14.-17.4.2010

Infrastructure Asia 2010 Exhibition & Conference
Džakarta, Indonezija
www.infrastructureasia.com

22.-23.4.2010

Betontag 2010
Dunaj, Avstrija
www.betontag.info

29.4.2010

YES 2010
Young Engineers' Symposium 2010
Freiburg, Švica
www.ivbh.ch/yes/yes.html

3.-5.5.2010

IABSE Conference
International Structural Codes
Dubrovnik, Hrvaška
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

14.-20.5.2010

ITA-AITES World Tunnel Congress 2010 and the 36th ITA-AITES General Assembly
Vancouver, Kanada
www.wtc2010.org

23.-27.5.2010

5th International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE 2010)
Chapel Hill, Severna Karolina, ZDA
www.cwe2010.org

29.5.-2.6.2010

The Third International fib Congress and Exhibition "Think Globally, Build Locally"
Washington D.C., ZDA
www.fib2010washington.com

9.-11.6.2010

STC 2010
Swiss Tunnel Congress
Luzern, Švica
www.swisstunnel.ch/STC-2010.39.0.html?&L=0

14.-16.6.2010

International Conference Underground Constructions Prague 2010
Transport and City Tunnels
Praga, Češka
www.ita-aites.cz/showdoc.do?docid=2004

20.-23.6.2010

8th fib International PhD Symposium in Civil Engineering
Kopenhagen, Danska
<http://conferences.dtu.dk/conferenceDisplay.py?confId=21>

21.-23.7.2010

ICSA 2010
International Conference on Structures and Architecture
Guimares, Portugalska
www.arquitectura.uminho.pt

3.-6.8.2010

SMSB 10
8th International Conference on Short and Medium Span Bridges 2010
Niagara Falls, Ontario, Kanada
www.csce.ca/2010/smsb

8.-10.8.2010

Advances in Bridge Engineering - II
Daka, Bangladeš
www.iabse-bd.org

22.-24.9.2010

34th IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium
Benetke, Italija
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

8.-10.6.2011

fib Symposium: "Concrete engineering for excellence and efficiency"
Praga, Češka
www.fib2011prague.com

10.-15.7.2011

13th International Conference on Wind Engineering
Amsterdam, Nizozemska
www.icwe13.org

7.-11.8.2011

9th Symposium on High Performance Concrete Design, Verification and Utilization
Christchurch, Nova Zelandija
www.hpc-2011.com

20.-23.9.2011

IABSE Annual Meetings and IABSE Symposium
London, Anglija
www.iabse.ethz.ch/conferences/calendarofevents

Rubriko ureja • **Jan Kristijan Juteršek**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: msg@izs.si