

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



26105973

Kandidat:  
**Vid Žgajner**

# **DIMENZIONIRANJE ZADRŽEVALNIH BAZENOV DEŽEVNIH VODA PRI ZAŠČITI OBČUTLJIVIH VODOTOKOV**

**Diplomska naloga št.: 3149**

**Mentor:**  
izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**  
asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 2010

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **VID ŽGAJNER** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»DIMENZIONIRANJE ZADRŽEVALNIH BAZENOV DEŽEVNIH VODA PRI  
ZAŠČITI OBČUTLJIVIH VODOTOKOV«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,  
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 01.02.2011

---

(podpis)

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 628.2/.3(043.2)

**Avtor:** Vid Žgajner

**Mentor:** Izr.prof.dr. Jože Panjan

**Somentor:** Asist.dr. Mario Krzyk

**Naslov:** Dimenzioniranje zadrževalnih bazenov deževnih voda pri zaščiti občutljivih vodotokov

**Obseg in oprema:** 105 str., 4 pregl., 2 graf., 15 sl., 11 pril.

**Ključne besede:** kanalizacija, zadrževalni bazen, program SWMM, ATV standard, razbremenilni objekt, preliv

### **IZVLEČEK**

Diplomska naloga obravnava dimenzioniranje zadrževalnih bazenov deževnih voda. Naloga je sestavljena iz teoretičnega in praktičnega dela.

Teoretični del zajema splošni opis kanalizacijskih sistemov, predstavitev računalniškega programa SWMM ( Storm Water Management Model ), ki omogoča simuliranje kvantitativnega in kvalitativnega odtoka padavinskih voda. Prav tako pa je v teoretičnem delu predstavljen standard ATV-A 128, v katerem so podane smernice za dimenzioniranje zadrževalnih bazenov.

Praktični del diplomske naloge zajema predstavitev kanalizacijskega sistema Velenje – Šoštanj, opis vzpostavitve hidravličnega modela in potek določitve okvirnih zadrževalnih volumnov. Podrobneje je dimenzioniran zadrževalni bazen pred centralno čistilno napravo. Določene so dimenzije potrebnega zadrževalnega volumna, vse potrebne črpalke, prelivni rob

in razbremenilni objekt. V zaključku so podane ugotovitve in predlagani ukrepi za izboljšanje delovanja kanalizacijskega sistema Velenje – Šoštanj.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 628.2/.3( 043.2 )

**Author:** Vid Žgajner

**Supervisor:** Assist.Prof.Ph.D. Jože Panjan

Assist.Ph.D. Mario Krzyk

**Title:** Dimensioning of stormwater holding tanks to protect sensitive streams

**Notes:** 105 p., 4 tab., 2 graph., 15 fig., 11 add.

**Key words:** sewage, stormwater tank, SWMM model, ATV standard, stormwater overflow, overflow

### **ABSTRACT**

The presented theme deals with the dimensioning of stormwater tanks. Work consists of theoretical and practical part.

The theoretical part contains a general description of sewerage systems, the presentation of a computer program SWMM ( Storm Water Management Model ), which provides quantitative and qualitative simulation of rainwater runoff. Theoretical part also presents standard ATV-A 128 in which are given guidelines for the dimensioning of the storage volume.

The practical part of the thesis presents, the sewerage system Velenje - Šoštanj, a description of the establishment of a hydraulic model and how to dimension the storage volume. Specifically it is presented for a stormwater tank at central treatment plant. In practical presentation it is determinant storage volume, and all necessary pumps and stormwater

overflow. In conclusion are given the findings and proposed measures to improve the functioning of the sewerage system Velenje - Šoštanj.

## ZAHVALA

Na tem mestu bi se rad zahvalil mentorju prof.dr. Jožetu Panjanu in somentorju asist.dr. Mariu Krzyku.

Zahvala za pomoč in nasvete gre tudi g. Primožu Rošerju in vsem ostalim, ki so imeli neposreden, kot tudi posreden vpliv na moje udejstvovanje.

## KAZALO

1	UVOD .....	1
2	KANALIZACIJSKI SISTEM .....	3
2.1	Objekti na kanalizacijskem omrežju .....	3
2.1.1	Vstopni jaški.....	3
2.1.2	Črpališča.....	5
2.1.3	Razbremenilnik.....	7
2.1.4	Deževni bazeni .....	13
2.1.5	Cestni požiralniki.....	15
2.1.6	Podvodi .....	16
2.2	Količina in sestava odpadne vode.....	17
2.2.1	Količina odpadne vode .....	17
2.2.2	Sestava odpadne vode.....	18
2.3	Padavinske vode.....	24
2.3.1	Koeficient odtoka.....	25
2.3.2	Krivulja intenzitete naliva .....	26
3	SMERNICE ATV .....	27
3.1	Obseg in cilji standarda ATV .....	27
3.2	Zahteve pri čiščenju padavinskih voda .....	28
3.2.1	Tehnične zahteve pri normalnih pogojih.....	28
3.2.2	Celostna analiza vpliva na površinske vode .....	30
3.3	Načela načrtovanja.....	30
3.3.1	Zmanjšanje količin odpadne vode.....	31
3.3.2	Ukrepi pri čiščenju odpadnih voda mešanega kanalskega sistema.....	32
3.4	Zadrževalni bazen deževnih voda ( ZBDV ) z razbremenilnikom .....	33
3.4.1	Razbremenilnik.....	33
3.5	Obseg načrtovanja.....	35



---

3.6	Izračun potrebnih podatkov .....	36
3.6.1	Velikost prispevne površine .....	36
•	Letne padavine.....	36
•	Prispevne površine .....	36
•	Čas pretoka $t_r$ .....	37
•	Povprečni nagib terena .....	37
3.6.2	Podatki o odtočnih količinah .....	37
•	Odtok mešane odpadne vode na čistilno napravo .....	37
•	Povprečni dnevni sušni odtok.....	38
•	Maksimalni urni odtok s sušnim odtokom.....	39
•	Padavinski odtok iz ločenih prispevnih površin .....	40
•	Količina padavinskih voda .....	40
•	Kritični padavinski odtok.....	40
•	Kritični mešani odtok.....	41
•	Srednji padavinski odtok med prelivanjem.....	42
3.6.3	Padavinska odtočna razmerja .....	43
•	Razmerje sušnega odtok .....	43
•	Razmerje padavinskega odtoka .....	43
3.6.4	Koncentracija KPK .....	43
3.6.5	Povprečno mešalno razmerje prelitih vod.....	44
3.7	Določitev potrebnega skupnega zadrževalnega volumna.....	45
3.7.1	Določitev dovoljene količine prelivanja .....	45
3.7.2	Vpliv težkih onesnažil.....	46
3.7.3	Vpliv letnih padavin.....	46
3.7.4	Vpliv usedlin.....	47
3.7.5	Merodajna računsko koncentracija v sušnem odtoku.....	47
3.7.6	Teoretična koncentracija onesnaženja prelite vode.....	48
3.7.7	Dovoljena mera prelivanja.....	48

3.8	Potreben skupni zadrževalni volumen.....	49
3.9	Sodelujoči zadrževalni volumen.....	50
4	PROGRAM SWMM.....	52
4.1	Vizualni objekti.....	54
4.1.1	Padavine.....	54
4.1.2	Prispevna območja.....	55
4.1.3	Vozlišča.....	55
4.1.4	Iztočna mesta.....	56
4.1.5	Razbremenilniki.....	56
4.1.6	Akumulacijski bazeni.....	56
4.1.7	Kanali.....	57
4.1.8	Črpališča.....	57
4.1.9	Regulatorji pretoka.....	57
4.2	Nevizualni objekti.....	58
4.2.1	Podnebje.....	58
4.2.2	Prečni prerezi.....	59
4.2.3	Podzemni objekti.....	59
4.2.4	Zunanji vtoki.....	60
4.2.5	Kontrolni stavki.....	60
4.2.6	Onesnažila, raba območja in čiščenje.....	60
4.2.7	Krivulje, časovno odvisne tabele in časovni vzorci.....	61
4.3	Računske metode.....	62
4.3.1	Transport vode in onesnažil po kanalizacijskem sistemu.....	62
4.3.2	Površinski odtok in površinsko akumuliranje.....	63
4.3.3	Pronicanje in podpovršinski tok.....	64
4.3.4	Podpovršinski tok.....	65
4.3.5	Taljenje snega.....	65
4.3.6	Izhodni podatki.....	65
5	KANALIZACIJSKI SISTEM ŠALEŠKE DOLINE.....	68
5.1	Povodje Šaleške doline.....	69
5.2	Podatki o kanalizacijske omrežju in njegovem obratovanju.....	71

---

5.3	Varovanje odvodnikov Šaleške doline v povezavi s problematiko kanalizacijskega sistema KPV .....	74
6	DIMENZIONIRANJE ZBDV .....	76
6.1	Merodajni vhodni podatki .....	76
6.1.1	Določitev prispevnih površin .....	76
6.1.2	Število prebivalcev in rast števila prebivalcev.....	77
6.1.3	Analiza porabe vode .....	77
6.1.4	Dotok tujih voda.....	77
6.1.5	Površinski odtok.....	78
6.1.6	Izračun časa odtoka .....	79
6.1.7	Določitev zadrževalnih volumnov na podlagi smernic ATV-A 128.....	80
6.2	Zadrževalni bazen deževnih voda CČN.....	80
6.2.1	Dimenzioniranje zadrževalnega bazena CČN.....	81
6.2.2	Dimenzioniranje razbremenilnega objekta .....	82
6.2.3	Dimenzioniranje črpalke za praznjenje bazena.....	86
6.2.4	Določitev potrebne moči črpalke za prečrpavanje prelite vode .....	89
6.2.5	Splakovalno korito in polnjenje splakovalnega korita .....	92
6.3	Analiza hidravličnih razmer po izgradnji ZBDV .....	95
7	ZAKLJUČEK.....	101

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1: Koeficient odtoka .....</b>	<b>26</b>
<b>Preglednica 2: Pričakovani sušni dotok in dotok tujih voda v odvisnosti od gostote poselitve ( Kolar 1983, str. 36 ) .....</b>	<b>78</b>
<b>Preglednica 3: Izenačene vrednosti geografsko enakovrednih nalivov ( GEN ) za meteorološko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu .....</b>	<b>78</b>
<b>Preglednica 4: Izračunani skupni efektivni gorvodni volumni in dejanski volumni .....</b>	<b>99</b>

## KAZALO SLIK

<b>Slika 1: Kaskadni jašek .....</b>	<b>4</b>
<b>Slika 2: Shema črpališča.....</b>	<b>7</b>
<b>Slika 3: Shema razbremenilnika.....</b>	<b>9</b>
<b>Slika 4: Shema razbremenilnika z dušilko .....</b>	<b>10</b>
<b>Slika 5: Razbremenilnik .....</b>	<b>13</b>
<b>Slika 6: Zadrževalni bazen .....</b>	<b>15</b>
<b>Slika 7: Zadrževalni bazen deževnih voda z razbremenilnikom .....</b>	<b>33</b>
<b>Slika 8: Grafični vmesnik programa SWMM 5.0.014 .....</b>	<b>52</b>
<b>Slika 9: Shema kanalizacijskega sistema Velenje-Šoštanj .....</b>	<b>68</b>
<b>Slika 10: Tehnološka shema Centralne čistilne naprave Šaleške doline.....</b>	<b>73</b>
<b>Slika 11: Vzdolžni prerez KS s prikazom polnih jaškov pri 5 minutnem nalivu.....</b>	<b>96</b>
<b>Slika 12: Situacijski prikaz razbremenilnega objekta Gorica_I .....</b>	<b>97</b>
<b>Slika 13: Vzdolžni prerez dušilke razbremenilnika Gorica_I in razbremenilnega kanala .....</b>	<b>97</b>
<b>Slika 14: Prikaz zadrževalnega bazena CČN v trenutku tik preden se napolni in se prične prelivanje odpadne vode v vodotok.....</b>	<b>98</b>
<b>Slika 15: Grafični prikaz polnjenja in praznjenja zadrževalnega bazena .....</b>	<b>99</b>

## KAZALO GRAFIKONOV

**Graf 1: Prikaz tipa KS .....71**

**Graf 2: Prikaz deleža KS glede na material cevi .....71**

## 1 UVOD

Organizirano zbiranje in odvajanje odpadnih voda je nujno povsod, kjer človek stalno živi in dela. Ta potreba narašča z večanjem koncentracije prebivalstva in je odvisna od razvitosti potrošnje ter proizvodnje. O tem pričajo zgodovinski viri, ki dokazujejo, da so številna mesta na področju današnje Indije, Grčije, Babilona, Krete in Egipta v prazgodovinskem obdobju odvajala odpadno vodo v vzorno urejeno kanalizacijo. Kanale za odvod odpadne lahko najdemo tudi v številnih mestih v starem veku, kot so Babilon, Jeruzalem, Aleksandrija, Atene in Rim z znanim odvodnim kanalom »cloaca maxima«. S širjenjem rimskega imperija se je kanalizacija pojavila tudi na našem ozemlju. Obstajala je na področjih današnje Ljubljane, Celja in Ptuja. Po razpadu rimskega imperija je skrb za higieno postala zanemarljiva. Šele v 19. stoletju so v Londonu, zaradi epidemije kolere, začeli z gradnjo kanalizacijskega sistema, da bi s tem izboljšali higienske razmere v večmilijonskem mestu. Vendar pa se je kakovost odvodnikov, ki so tekli skozi naselja, drastično poslabšala zaradi porasta tekstilne industrije, kar je privedlo do nevdržnega stanja. Da bi preprečili slabšanje kakovosti vode, so nato sprejeli zakon, ki je prepovedoval izliv odpadne vode v odvodnik brez predhodnega čiščenja. Nova spoznanja so se po tem hitro razširila po celini in tako so v skoraj vseh velikih mestih pričeli z gradnjo kanalizacijskih sistemov. Kanalizacijski sistemi, kot jih poznamo danes, so se torej pričeli razvijati v 19. stoletju in so danes pogoj za uspešen razvoj družbe in ohranjanje zdravega naravnega okolja.

V prejšnjem stoletju se je z razvojem različnih industrijskih panog, ki so pri proizvodnji uporabljale vodo, močno spremenila sestava odpadne vode, k temu pa so prispevala tudi gospodinjstva, ki so uporabljala čedalje več različnih detergentov. Zato se je kakovost odvodnikov vedno hitreje slabšala.

Ker je v današnjem svetu ekološka osveščenost, skrb za okolje in čiste vode na vedno višji ravni, odpadne vode pred izpustom v okolje vodimo na čistilne naprave in jih očistimo. V času močnih padavin, še posebej po daljšem sušnem obdobju se iz cestnih površin splakne onesnaženje, ki mu pravimo prvi val ali kritični odtok. Prvi val onesnaženja je potrebno voditi

na čistilno napravo, da pa bi bila čistilna naprava čim bolj enakomerno obremenjena, tudi ob nalivih, gradimo zadrževalne bazene deževnih voda ( ZBDV ). V zadrževalnih bazenih se ob nalivih zadrži t.i. prvi čistilni val, ki nastane na začetku padavinskega otoka. Ko se razmere na kanalizacijskem sistemu umirijo in se zmanjša dotok na čistilno napravo, se odpadna voda iz bazena izpušča v kanal, ki vodi na čistilno napravo, kjer se odpadna voda očisti in nato izpusti v naravni odvodnik.



## **2 KANALIZACIJSKI SISTEM<sup>1</sup>**

### **2.1 Objekti na kanalizacijskem omrežju**

Kanalizacijski sistem je sestavljen iz več specifičnih objektov. Med specifične objekte kanalizacijskih sistemov štejemo jaške, razbremenilnike, cestne požiralnike, združitvene objekte, podvode, črpališča in zadrževalne bazene deževnih voda. K specifični objektom štejemo tudi hišne priključke in ponikovalnice, vendar pa ti objekti ne spadajo k javnemu delu sistema. Pri hišnem priključku je pomembno zagotoviti vodotesnost in pravilno izvedbo priključka. Priključek mora biti na odvodni kanal priključen pod kotom 45 v horizontalni in vertikalni smeri, kar zagotavlja kvaliteten odtok in preprečuje mašenje hišnega priključka.

#### **2.1.1 Vstopni jaški**

Vstopni revizijski jaški se gradijo povsod, kjer se spremeni smer, padec ali profil kanala. Jaške gradimo tudi na ravnih odsekih, in sicer za potrebe čiščenja in vzdrževanja. Vstopni jaški omogočajo vstop v kanal oziroma dostop do koritnice, da lahko ugotovimo stanje kanala, ga očistimo ali popravimo. Potrebujemo jih, kadar pride do zmanjšanja pretočne sposobnosti zaradi odlaganja težjih delcev, lepljenja maščob na ostenje in včasih celo zamašitve s primesmi, ki jih prinaša odpadna voda. Vstopni jaški prav tako omogočajo zračenje kanalizacijskega omrežja.

Vstopne jaške pri neprehodnih kanalih gradimo pri vseh spremembah profila, padca, smeri in na združitvah kanalskih vej ali pa na 50 m ali manj. Vstopnega jaška ne gradimo pri hišnih priključkih in cestnih požiralnikih, saj nista okarakterizirana kot združitev kanalskih vej.

---

<sup>1</sup> Poglavje povzeto po: Kolar 1983 in Panjan 1999.

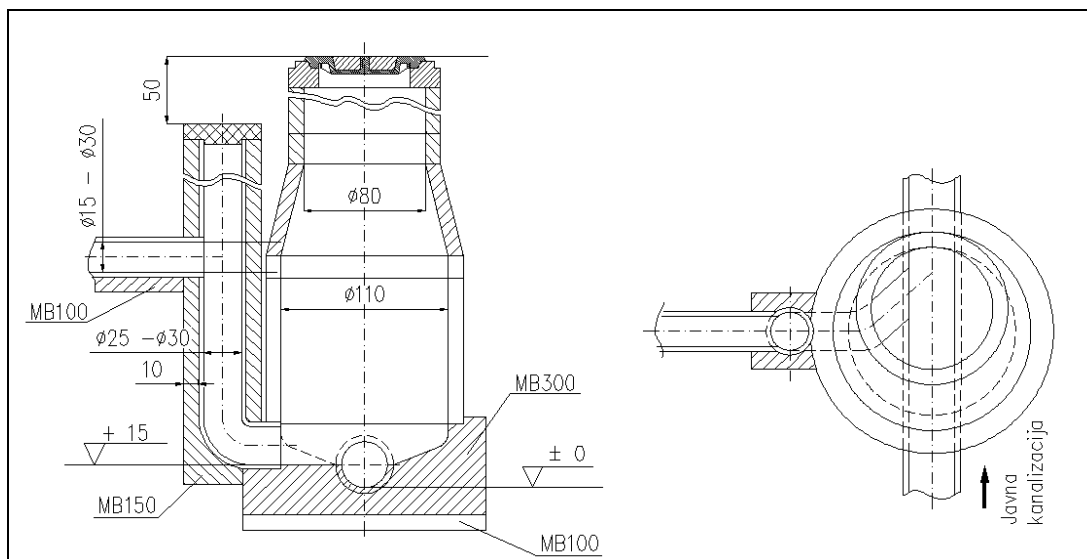
Vstopni jašek naj ima profil vsaj 80 cm in se nato razširi v revizijsko komoro, ki delavca ščiti pred morebitnimi predmeti, ki lahko padejo v jašek. Revizijska komora naj ima premer minimalno 100 cm. Prehod iz komore v vstopni del ima obliko poševnega priskekanega stožca. Pri hišni kanalizaciji so dopustni vstopni jaški  $\Phi$  60 cm, če niso globlji od 80 cm in  $\Phi$  80 cm, če niso globlji od 150 cm.

Gradimo jih z betoniranjem ali zidanjem na mestu, danes pa se je najbolj uveljavil način gradnje v polmontažni obliki ali pa kar vgradnje že končnega izdelka izdelanega iz plastike.

Vstopni jaški so velikokrat problematični zaradi slabe izvedbe stikov in s tem posledično slabe vodotesnosti. Zato danes težimo pri vseh vrstah materialov k popolni montaži z namestitvijo.

Pri ločenih sistemih in povsod tam, kjer so hitrosti nižje od 0,4 m/s, gradimo jaške za izpiranje takrat, ko se kanalska mreže ne izpira dovolj sama po sebi. Možna je tudi izgradnja izpiralnih komor, ki so običajno oblikovane kot revizijske komore.

Gradimo jih tam, kjer so padci večji od maksimalnega dovoljenega padca kanala (omejen s maksimalno hitrostjo 3,5 m/s). Z gradnjo kaskadnih jaškov z ustrezno stopnjo dosežemo zahtevani padec kanala.



Slika 1: Kaskadni jašek<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Povzeto po: Komunalno podjetje Velenje, 2003.

## 2.1.2 Črpališča

Črpališča gradimo na mestih, kjer gravitacijski odvod odpadne vode ni možen. Zagotoviti moramo, da so črpalke konstruirane tako, da ne prihaja do zamašitev in drugih motenj pri obratovanju, ne glede na kvaliteto dotoka. Uporabljamo različne vrste črpalk, in sicer centrifugalne, izrivne, polžaste, črpalke na stisnjen zrak, batne in membranske črpalke, ki pa se uporabljajo predvsem pri čistilnih napravah. Najustreznejšo črpalko izberemo na podlagi presoje njenih karakteristik.

Komora črpališča je navadno izdelana iz armiranega poliestra, možna pa je tudi armiranobetonska izvedba. Poliester je snov, sestavljena iz nenasičenih poliestrskih smol in steklenih vlaken v plasteh. S staranjem se mehanske lastnosti spremenijo le neznatno, zato imajo izdelki iz armiranega poliestra dolgo življenjsko dobo. K dolgi življenjski dobi prispeva tudi zanemarljivo majhno vpijanje vode. Poleg tega je odlično odporen na korozijo in kemikalije (organske in anorganske spojine, kisline, luge...) ter popolnoma neškodljiv za zdravje. Poliester ne prevaja električnega toka. Pomembni sta tudi majhna specifična teža in s tem povezana majhna teža izdelkov, ki omogoča enostavno vgradnjo. Zaradi vseh teh lastnosti so stroški vzdrževanja minimalni.

Črpališča so sestavljena iz ene ali več komor. Preprosta črpališča, kot npr. hišna, so sestavljena samo iz ene komore, v kateri je črpalka. Pri črpališčih iz več komor pa ena komora služi za izločanje večjih delcev, druga komora pa je namenjena vgradnji črpalk. Črpališče je običajno temeljeno in sidrano na armirano betonsko ploščo. Lahko je globoko do 15 m in ima premer do 4 m.

Za dimenzioniranje črpališča oz. določitev premera sesalne in tlačne cevi, višine črpanja in moči črpalke potrebujemo maksimalni pretok črpalke, minimalni pretok črpalke, višino črpanja, hitrost vode v sesalni cevi, hitrost vode v tlačni cevi, izgube na vtoku, izgube na iztoku, hrapavost cevi in kinematično viskoznost tekočine.

Na podlagi naslednjih enačb določimo potrebno višino črpanja, izgube v tlačni cevi in izgube v sesalni cevi:

$$H_{\varepsilon} = \Delta H_s + H + \Delta H_T,$$

**Enačba 1: Izračun višine črpanja**

$$\Delta H_s = \Delta h_{vt} + \Delta h_{Ls} + \Delta h_{k2} = \left( \xi_{vt} + \frac{\lambda_s \cdot L_s}{d_s} + 2 \cdot \xi_k \right) \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g},$$

**Enačba 2: Izračun izgub v sesalni cevi**

$\xi$  brezdimenzijski koeficient lokalnih izgub [ / ],

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ],

L dolžina voda [ m ],

D premer cevi [ m ],

v hitrost toka [ m/s ],

g težnostni pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$$\Delta H_T = \Delta h_{Lr} + \Delta h_{k2} + \Delta h_{iz} = \left( \frac{\lambda_T \cdot L_T}{d_T} + 2 \cdot \xi_k + \xi_{iz} \right) \cdot \frac{v_T^2}{2 \cdot g},$$

**Enačba 3: Izračun izgub v tlačni cevi**

$\xi$  brezdimenzijski koeficient lokalnih izgub [ / ],

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ],

L dolžina voda [ m ],

D premer cevi [ m ],

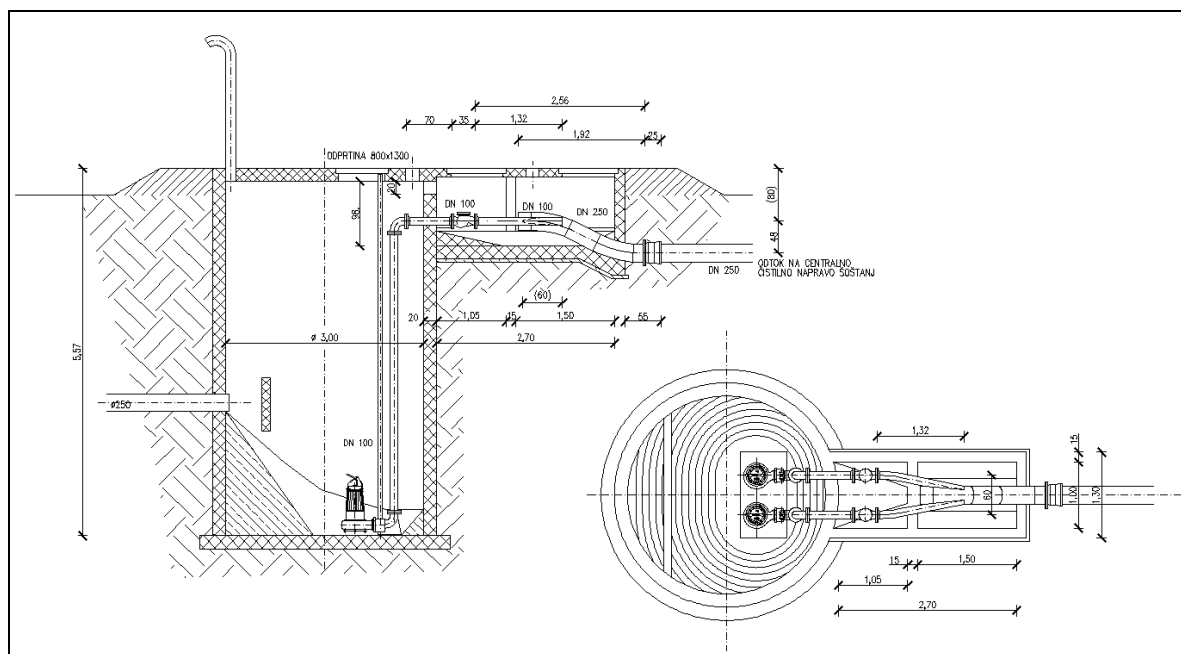
v hitrost toka [ m/s ],

g težnostni pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{\epsilon} \cdot H_{\epsilon}}{\eta_{\epsilon}}$$

Enačba 4: Izračun potrebne moči črpalke

- $\rho$  gostota medija [ kg/m<sup>3</sup> ],
- $g$  težnostni pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],
- $Q$  potrební pretok skozi črpalke [ m<sup>3</sup>/s ],
- $H$  črpalna višina [ m ],
- $\eta$  izkoristek črpalke [ / ].



Slika 2: Shema črpališča<sup>3</sup>

### 2.1.3 Razbremenilnik

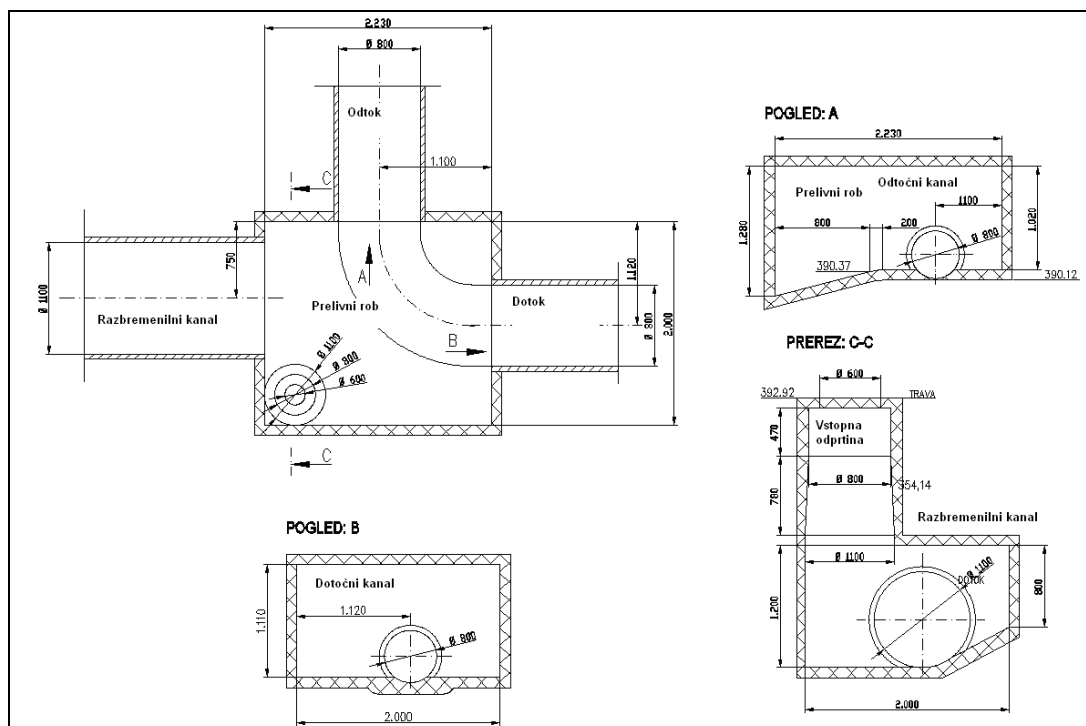
Razbremenilnik je objekt, ki služi za dodatno odvajanje vode. Pri mešanem kanalskem sistemu odvajamo prek razbremenilnikov večji del padavinskega odtoka v odvodnik ali zadrževalni bazen, preostalo količino padavinskega odtoka pa vodimo na čistilno napravo. Da

<sup>3</sup> Povzeto po: KPV, december 2003.

vodotok zaščitimo pred onesnaženjem, moramo, preden pričnemo z dimenzioniranjem razbremenilnika, določiti dotok pri katerem se sme padavinska voda preliti v odvodnik. Upoštevati je potrebno, da z naraščanjem pretoka v kanalskem sistemu hkrati narašča pretok v odvodniku. Prav tako je potrebno upoštevati, da je odtok v kanalskem sistemu zaradi izpiranja usedlin mnogo bolj obremenjen kakor sušni odtok.

Pri dimenzioniranju razbremenilnika je potrebno upoštevati razredčenje in prelivajočo količino onesnaženja. Razredčenje je razmerje med celotnim odtokom in sušnim odtokom. Pričetek delovanja razbremenilnika označimo s  $Q_{krit}$ , ki je sestavljen iz enega dela sušnega odtoka in npr. petih delov padavinskega odtoka. Običajno se stopnja razredčenja uporablja le kot orientacijska vrednost, vrednost  $Q_{krit}$  pa običajno določimo na podlagi jakosti padavinskega odtoka na enoto površine, pri kateri naj prične razbremenilnik delovati. Razbremenilni objekt gradimo tudi tik pred čistilno napravo in ga dimenzioniramo tako, da zagotovimo enakomerni dotok na čistilno napravo in s tem preprečimo preobremenitev ČN, ter zaščitimo odvodnik.

Pri dimenzioniranju razbremenilnika moramo biti pozorni na padavine, ki so merodajne za dimenzioniranje. Običajno za dimenzioniranje izberemo neko srednjo intenziteto padavin. Kadar nimamo na voljo krivulje trajanja dežja, lahko s pomočjo prirejenega diagrama iz smernic ATV določimo  $Q_{krit}$ . Pri določitvi  $Q_{krit}$  upoštevamo sušni odtok, pretok v odvodniku, samočistilno sposobnost odvodnika, padavinske razmere in akumulacijsko sposobnost kanalske mreže.



Slika 3: Shema razbremenilnika<sup>4</sup>

Dimenzioniranje poteka po naslednjem postopku, in sicer najprej določimo stopnjo razredčenja na podlagi znanega sušnega in padavinskega pretoka:

$$\frac{Q_{krit}}{Q_{suš}} = x.$$

**Enačba 5: Določitev stopnje razredčenja**

$Q_{krit}$  kritični pretok [ l/s ],

$Q_{suš}$  sušni pretok [ l/s ].

Nato sledi določitev višine prelivanja, ki pa mora biti višja od 0,25 m:

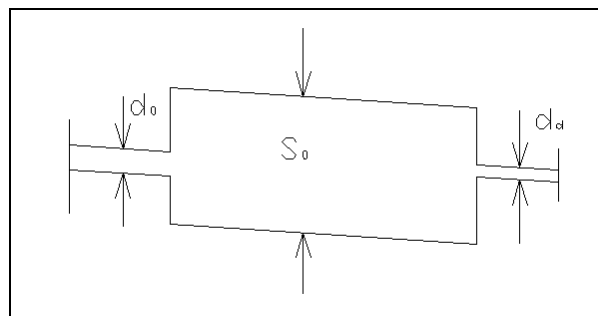
$$S_0 \geq 0,6 \cdot d_0 \geq 0,25m.$$

**Enačba 6: Izračun višine prelivanja**

$d_0$  premer gorvodne ( dotočne ) cevi pri razbremenilniku [ m ],

$S_0$  višina prelivnega roba [ m ].

<sup>4</sup> Povzeto po: KPV, junij 2007.



Slika 4: Shema razbremenilnika z dušilko

Nato sledi dimenzioniranje dušilke. Najprej si izberemo premer  $d_d$  in padec  $I_d$  dušilke. Sledi kontrola hitrosti toka vode skozi dušilko pri sušnem odtoku, ki mora biti v mejah med 0,5 m/s in 3,5 m/s:

$$v_d = \frac{4 \cdot Q_{suš}}{d_d^2 \cdot \pi}$$

**Enačba 7: Kontrola hitrosti odtoka v dušilki**

$Q_{suš}$  sušni pretok [ l/s ],

$d_d$  premer dušilke [ m ],

$v_{d,krit}$  hitrost toka v dušilki pri sušnem pretoku [ m/s ].

Določimo še hitrost odtoka v dušilki pri kritičnem pretoku  $v_{krit}$  in brezdimenzijski koeficient trenja  $\lambda$ , ki jih potrebujemo za določitev padca energijske črte v dušilki:

$$v_{d,krit} = \frac{4 \cdot Q_{krit}}{d_d^2 \cdot \pi}$$

**Enačba 8: Določitev hitrosti odtoka v dušilki pri kritičnem pretoku**

$Q_{krit}$  kritični pretok [ l/s ],

$d_d$  premer dušilke [ m ],

$v_{d,krit}$  hitrost toka v dušilki pri kritičnem pretoku [ m/s ],



$$\lambda = \frac{124,6 \cdot n_G^2}{d_d^{1/3}}.$$

**Enačba 9: Določitev brezdimenzijskega koeficienta trenja**

$n_G$  Manning-ov koeficient trenja [ / ],

$d_d$  premer dušilke [ m ],

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ].

Padec energijske črte v dušilki določimo z naslednjim izrezom:

$$I_e = \lambda \cdot \frac{1}{d_d} \cdot \frac{v_{d,krit}^2}{2g}.$$

**Enačba 10: Izračun padca energijske črte vzdolž dušilke**

$v_{d,krit}$  hitrost toka v dušilki pri kritičnem pretoku [ m/s ],

$d_d$  premer dušilke [ m ],

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ].

Potrebno je določiti le še dolžino dušilke:

$$l_d = \frac{s_d - m \cdot d_d - \frac{v_{d,krit}^2}{2g} (1 + \zeta_d)}{I_e - I_d} \geq 20 \cdot d_d.$$

**Enačba 11: Izračun dolžine dušilke**

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ],

$d_d$  premer dušilke [ m ],

$n_G$  Manning-ov koeficient trenja [ / ],

$g$  gravitacijski pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$v$  hitrost [ m/s ],

$I_e$  padec energijske črte v dušilki pri kritičnem pretoku [ % ],

$m$  koeficient za določitev tlačne črte na iztoku iz dušilke, ki ga odčitamo v diagramu v odvisnosti od Froud-ovega števila [ / ],

$\xi_d$  brezdimenzijski koeficient izgub na vtoku v dušilko [ / ].

S tem je dimenzioniranje dušilke končano, določiti je potrebno le še dolžino preliva in višino prelivajoče vode. Dolžino preliva  $l_p$  določimo po naslednjem obrazcu:

$$l_p = \frac{4 \cdot Q_{\max}}{1000 \cdot d_0}.$$

**Enačba 12: Dolžina preliva**

$Q_{\max}$  maksimalni pretok [ l/s ],

$d_0$  premer dotočnega kanala [ m ],

$l_p$  dolžina preliva [ m ].

Prelivno višino  $h_p$  pa določimo na podlagi naslednje enačbe:

$$h_p = \left[ \frac{3 \cdot Q_p}{2 \cdot c \cdot l_p \cdot 1000 \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right]^{2/3}.$$

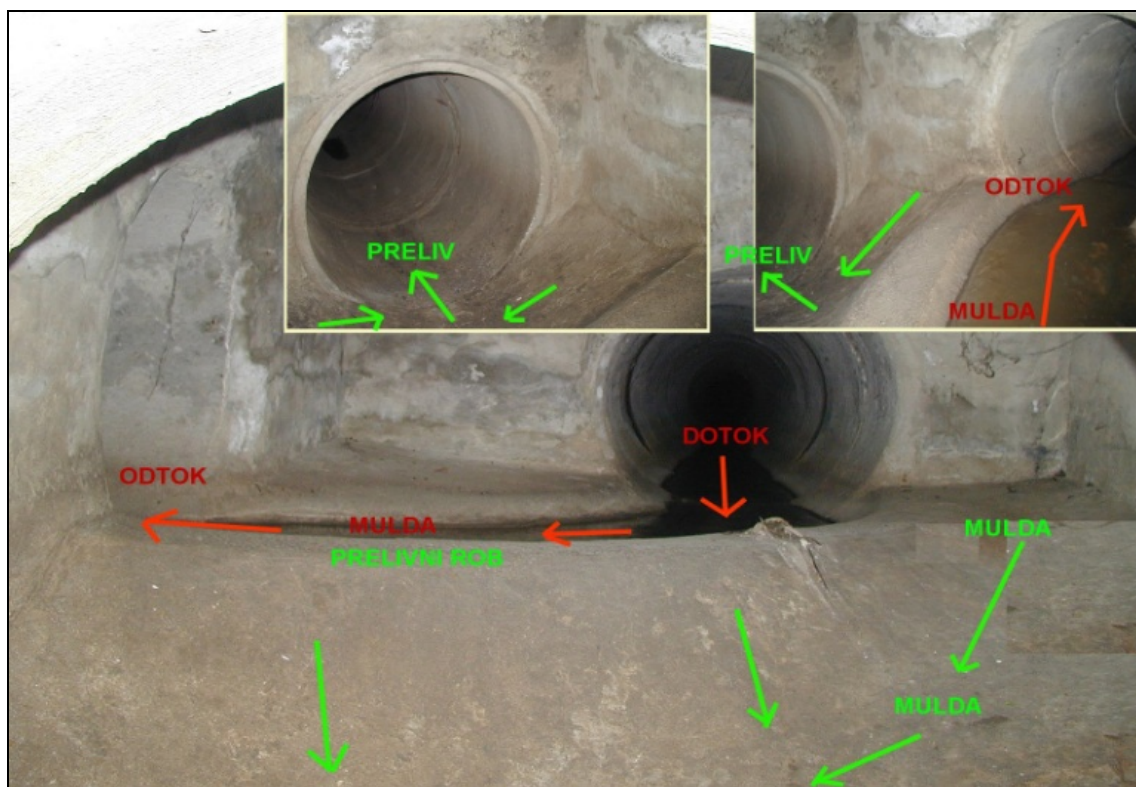
**Enačba 13: Višina prelivanja**

$c$  zmanjševani koeficient pri nepopolnem prelivu [ / ],

$l_p$  dolžina preliva [ m ],

$\mu$  koeficient oblike preliva [ / ],

$Q_p$  količina prelite odpadne vode [ l/s ].



Slika 5: Razbremenilnik<sup>5</sup>

Ločimo več vrst razbremenilnikov, in sicer razbremenilnike z delilno ploščo, razbremenilnike s pravokotnim prelivom in razbremenilnike z bočnim prelivom. Oblikovanje razbremenilnih objektov je izjemno zahtevno, saj je od njihove oblike odvisno zanesljivo delovanje. Razbremenilnik gradimo v kombinaciji z dušilko, ki ob začetku delovanja razbremenilnika že zagotavlja odtok kanalske vode pod tlakom. Kot dušilko lahko uporabimo dušilni vod, lahko pa vgradimo tudi razne vrste dušilk.

#### 2.1.4 Deževni bazeni

Gradimo jih v primeru, kadar želimo zmanjšati maksimalni padavinski odtok ( deževni zadrževalni bazeni ), kadar želimo zmanjšati maksimalni padavinski odtok in del vode, ki se preliva v odvodnik delno očistiti ( deževni prelivni baze ) in kadar želimo vso dotekajočo vodo delno očistiti pred izlivom v vodotok ( deževni bazeni za delno čiščenje ).

<sup>5</sup> Povzeto po: KPV, junij 2007.

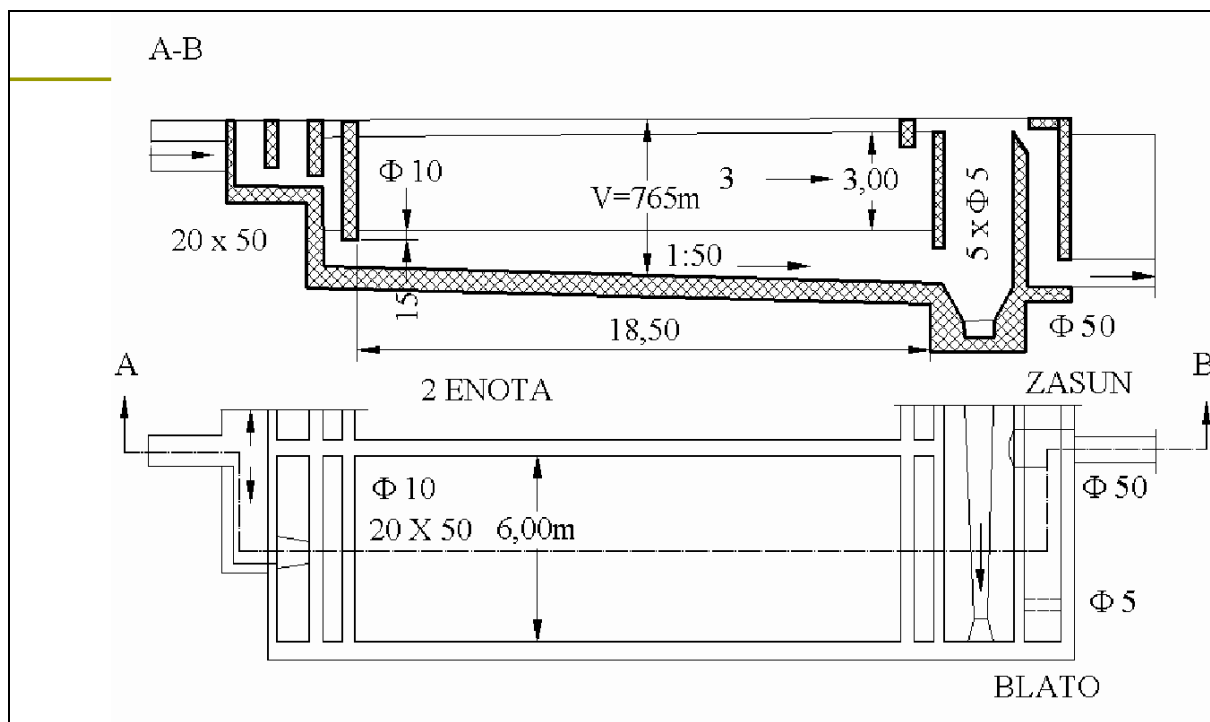
Pri odločitvi za gradnjo deževnega zadrževalnega bazena je pomembno, da so stroški gradnje le tega nižji od privarčevanega denarja pri gradnji kanala na dolvodnem delu kanal ( manjši premeri kanalskih cevi na dolvodnem delu kanala ). Pri odločitvi za gradnjo deževnega prelivnega bazena ali bazena za delno čiščenje pa je odločilnega pomena zadržati prvi val močno onesnažene vode in s tem povečati zaščito odvodnika pred onesnaženjem.

Poznamo dve vrsti konstrukcij deževnih bazenov, in sicer odprti in pokriti tip. Odprte bazene gradimo predvsem takrat, kadar so večjih razsežnosti.

Konstrukcija deževnega bazena mora biti takšna, da je na vtoku zagotovljeno dobro razporejanje vodnega toka po celi površini in da na iztoku ne prihaja do odplavljanja usedlin ali plavajočih primesi. Odplavljanje usedlin in plavajočih primesi preprečimo z izgradnjo potopne stene. Prav tako mora biti hitrost toka vode skozi deževni bazen dovolj majhna, da je omogočeno usedanje plavajočih primesi.

Vsak deževni bazen mora omogočati odstranjevanje usedlin. Usedline lahko odstranjujemo na več načinov. Tako lahko usedline odstranjujemo s pomočjo strgal na enak način kot pri usedalnikih, ali pa tako da žlebasto oblikujemo dno bazena, kar zagotavlja dovolj velike odtočne hitrosti za odplakovanje usedlega blata. Odstranjevanje usedlin je možno tudi s pomočjo vrtinčastih bazenov, pri katerih s pomočjo tangencialnega vtoka v bazen zagotovimo krožno gibanje vode in posledično usedanje plavajočih primesi na sredi bazena. Na sredi bazena je izoblikovan iztok, ki je speljan na čistilno napravo. Takšna konstrukcija bazena je primerna predvsem za srednje in manjše volumne. Ker z naraščanjem gladin narašča tudi odtok na čistilno napravo, je potrebno le tega ustrezno uravnati s pomočjo dušilke, ki zmanjšuje odvisnost odtoka od gladine v bazenu.

Spodnja slika prikazuje primer deževnega bazena ( Panjan 2007 ).



Slika 6: Zadrževalni bazen ( Panjan 2007 )

### 2.1.5 Cestni požiralniki

Cestni požiralniki so sestavni del cestne infrastrukture in služijo za odvod padavinske vode s cestnih površin. Običajno jih gradimo hkrati s kanalizacijo, vzdržujemo pa jih skupaj z javnimi kanalskimi napravami.

Ločimo dve vrsti cestnih požiralnikov, in sicer cestni požiralnik z mrežo in cestni požiralnik pod pločnikom. Kadar je potrebno odvajati večje količine padavinske vode in ko je potrebno zanesljivo delovanje, gradimo kombinirane cestne požiralnike.

Da zagotovimo odtok vode do požiralnika, gradimo koritnice z minimalni padcem 0,5 ‰, ki zbirajo vodo s cestišča in jo usmerjajo proti požiralniku. Če je padeč terena manjši od 0,5 ‰, gradimo koritnico z umetnim padcem večjim ali enakim 0,5 ‰.

Razdalja med požiralniki je 20 – 40 m, kadar pa je potrebno odvajati večje količine vode na občutljivih mestih, lahko gradimo požiralnike tudi na razdalji 5 m. Na posamezen požiralnik priključujemo površine v velikosti 200 – 400 m<sup>2</sup>.

Pri požiralnikih z mrežo uporabljamo mreže, ki so konstruirane za obremenitve do 400 kN. Podobno, kot pri požiralnikih z mrežo, tudi pri požiralnikih pod pločnikom uporabljamo pokrove nosilnosti do 400 kN. Pokrovi in mreže služijo za opravljanje revizije požiralnika. Pri požiralniku z mrežo revizijo opravljamo z dviganjem mreže, ki je pritrjena na tečaje, pri požiralnikih pod pločnikom pa z dviganjem pokrova revizijskega jaška. Požiralnik z mrežo služi tudi kot zračnik kanalskega sistema.

Pri obeh vrstah požiralnikov je mogoča izvedba s peskolovom ali brez peskolova. Na močno obremenjenih cestah je možno vgraditi tudi lovilec olj, med tem ko je vgradnja lovilca olj na parkiriščih obvezna.

### 2.1.6 Podvodi

Gradnje podvodov se poslužujemo na mestih, kjer zaradi ovir, kot so reke, potoki ali pomembnejše prometnice, gradimo kanal kot podvod pod oviro. Podvod izvedemo tako, da poglobljeni del kanala deluje pod tlakom.

Za pravilno delovanje podvoda moramo zagotavljati minimalno pretočno hitrost 0,5 m/s, saj lahko v nasprotnem primeru pride do prekomernega usedanja in posledično do zamašitve. Ker tekom dneva, tedna in letnih obdobjih odtok niha, se je potrebno temu nihanju odtoka prilagoditi. Zato gradimo podvode sestavljene iz več različnih profilov cevi, od katerih je najmanjši profil prilagojen minimalnemu odtoku, skupaj pa morajo vse cevi prevajati predvideni maksimalni odtok.

Podvode je potrebni izvesti tako, da so kritične točke, kot so kolena v spodnjem delu sifona dostopne in jih je možno očistiti. Po potrebi lahko predvidimo možnost dovoda večjih količin vode za poživitev odtoka.

Podvode dimenzioniramo glede na pričakovan odtok in s tem določimo potrebno razliko gladin  $\Delta h$ . Upoštevati je potrebno tudi spremembo gladin v kanalu na vtočni in iztočni strani, kot tudi linijske in lokalne izgube. Pred vtokom običajno zgradimo razbremenilnik, ki nam v primeru hujših okvar omogoča odtok vode mimo podvoda.

## **2.2 Količina in sestava odpadne vode**

### **2.2.1 Količina odpadne vode**

V kanalizacijsko omrežje se steka le del porabljene pitne vode, vendar je v večini primerov to večji del celotne porabe. Seveda je količina odpadne vode odvisna od različnih dejavnikov, in sicer od načina življenja, klimatskih pogojev, razpoložljivih količin, cene vode, urejenosti kanalizacijskega omrežja, gospodarske strukture in gostote naselitve ter velikosti naselja. Poleg sušnega odtoka moramo upoštevati tudi tujo vodo, ki doteka v kanal, bodisi kot padavinska voda, bodisi kot drenažna voda ali voda iz potokov.

Velik del porabe vode in odtoka v kanalizacijo je odvisen od števila prebivalcev, zato je potrebno pri načrtovanju kanalizacijskega omrežja in čistilnih naprav upoštevati število prebivalcev na kanaliziranem območju, kot ga pričakujemo po izteku amortizacijske dobe omrežja in pripadajočih objektov.

Pričakovano število prebivalcev lahko določimo povzamemo iz urbanistične dokumentacije, kadar pa to ni mogoče, pa poskušamo na osnovi podatkov o razvoju določiti procent prirasta prebivalstva v preteklem obdobju in na podlagi dobljenega prirasta prebivalstva izračunamo pričakovano število prebivalcev.

Ker je dotok odpadne vode glede na količino zelo različen, ne moremo kanalizacijskega omrežja ali objektov na omrežju in čistilnih naprav zanesljivo dimenzionirati samo na podlagi podatkov iz literature. Pri načrtovanju zahtevnejših objektov je potrebno opraviti bolj ali manj obsežne meritve in raziskave in si tako pridobiti zanesljivejše podatke za dimenzioniranje.

Kadar določamo količino sušnega odtoka v naseljih, kjer imamo fekalni kanalski sistem, lahko uporabimo podatke o oskrbi z vodo, vendar se je pri tem potrebno zavedati, da vsa prodana ali načrpana voda ne odteče v kanalizacijo in da lahko v kanalizacijo doteka tudi voda iz drugih virov. Pri kanalizacijskih sistemih, ki zbirajo vso vodo, je pretok mogoče meriti z vgradnjo merskega jezua, vendar samo v primeru, ko je na razpolago zadostna višina.

### **2.2.2 Sestava odpadne vode**

Sestava odpadne vode je odvisna od več dejavnikov, v glavnem pa ločimo odpadno vodo iz naselij, industrijsko in kmetijsko odpadno vodo. Pri sestavi odpadne vode običajno navajamo količino vseh primesi, mineralnih, organskih, suspendiranih, ujedljivih, lebdečih, raztopljenih primesi, biokemijsko potrebo po kisiku v petih dneh in druge vrednosti.

Ker se odpadna voda po sestavi zelo razlikuje glede na številne možne vplive pri različnih dejavnostih, je potrebno pri načrtovanju resnih projektov izvesti vsaj osnovne raziskave, saj nam literatura podaja le informativne vrednosti, ki pa nam ne podajo dejanske sestave odpadne vode. Pri odpadni vodi iz industrije pa je potrebno osnovne raziskave razširiti na določanje tistih snovi, ki bi lahko povzročale škodo na kanalskem omrežju in škodile procesu čiščenja in negativno vplivale na kakovost vode v odvodniku.

S fizikalnimi, kemijskimi in biološkimi parametri nadzorujemo kakovost vode. S kemijsko analizo dobimo sliko trenutnega stanja in podatke o vsebnosti raztopljenih in neraztopljenih snovi.

Z biološko analizo dobimo podatke o kratkoročnih in dolgoročnih vplivih na življenjske združbe, lahko nakaže obstoj nekaterih elementov in spojin, vendar pa nam ne poda vsebnosti. Zato je potrebno za realno oceno kakovosti vodotokov izvesti kemijsko in hidrobiološko analizo. Za vsako analizo je bistvenega pomena dogovorjena metodologija, ki pa mora zadostiti določenim zahtevam:

- dati dober vpogled v nihanje kakovosti,
- ustrezati praktičnim potrebam,



- biti preprosta in kratka
- dati rezultate, ki jih je mogoče obdelovati v preglednicah.

S sodobno tehniko lahko kontinuirano spremljamo različne parametre, kot so, temperatura, kalnost, pH vrednost, raztopljeni kisik, prevodnost in ocene drugih parametrov kvalitete kanalske vode. Te meritve običajno opravljajo na klasičen način, kjer je potrebno posebno pozornost nameniti vzorčenju. Vzorec je potrebno odvzeti na tak način, da prikaže realne rezultate. Vzorce je potrebno zaščititi pred spremembo temperature, kar lahko storimo na dva načina, in sicer z ohladitvijo vzorca pod temperaturo biološke aktivnosti ali pa s fiksiranjem vzorca.

Vzorce lahko odvezemamo avtomatsko, v primeru, da takšne možnosti nimamo pa odvezem izvajamo po metodi odvzema reprezentativnih vzorcev po veljavnih statističnih metodah. Pri avtomatskem odvzemu vzorca je pomembno, da vzorec poda povprečno vrednost, pomembno pa je tudi, da je odvezem vzorca sorazmeren s pretokom.

#### Fizikalni parametri:

##### ➤ **Temperatura**

Temperatura niha v odvisnosti od letnega časa. V večjih kanalskih sistemih temperatura odpadne vode niha manj izrazito, kot pri manjših sistemih.

##### ➤ **Barva**

Odpadna voda iz naselij ( sveža ) je rumeno sive barve, odpadna voda, ki je prešla v fazo gnitja pa je sive, temno sive ali celo črne barve. Barvo lahko določimo na dva načina. Prvi način je metoda s standardno platin-kobaltovo raztopino, vendar ta metoda ni primerna za vse vrste odpadnih voda. Druga metoda pa je spektrofotometrična metoda in ima vrsto prednosti pred platin-kobaltovo metodo. Slednja metoda omogoča določanje več barvnih karakteristik, kot sta čistost in svetlost tonov, vendar pa ta metoda ni primerna za določanje obarvanosti površinskih voda, ker te s filtracijo izgubijo barvo.

➤ **Motnost**

Kot pomemben pokazatelj onesnaženja in stopnje čiščenja pri fizikalnih parametrih se pojavlja tudi motnost. Motnost merimo z Jacksonovi turbidimetrom in nefelometrično. Pri merjenju motnosti v industrijskih obratih pa je najbolj primerna preprosta metoda s »potapljanjem križa«.

➤ **Raztopljene in neraztopljene snovi**

Odpadna voda nosi s sabo raztopljene in neraztopljene snovi, ki jih glede na njihovo gostoto delimo na usedljive, lebdeče in plavajoče. Njihovo ločevanje je odvisno od velikosti por filtrskega materiala. Raztopljene in neraztopljene snovi ločimo s filtracijo s srednje gostim filtrskim papirjem. Raztopljene snovi določimo kot sušino – izparilni ostanek po sušenju pri 105° C, neraztopljene snovi pa kot prefiltrirane snovi po sušenju pri 105° C. Kadar filtracija s filtrskim papirjem ne ustreza, se poslužujemo metod, kot so lončki G2 z azbestno plastjo, lončki G3 s steklenim filtrom, z membranskim filtrom ali s centrifugiranjem. Vendar pa pri teh metodah ne zajamemo v vodi raztopljenih plinov, hlapnih snovi in snovi, ki pri sušenju in izparevanju razpadejo. Možno je tudi določanje ostanka po žarenju pri temperaturi 600° C, kjer na podlagi žarilnega ostanka in sušine določimo žarilno izgubo. Žarilna izguba so organske in anorganske snovi, ki hlapijo ali pa tvorijo hlapne produkte.

Kemijski parametri:

➤ **OH ioni**

Določanje OH ionov je pravzaprav določanje kislosti in alkalnosti, ki je določena s pH vrednostjo. Pri vrednosti pH 7 je snov nevtralna, pri vrednosti nad 7 povzroča alkalno reakcijo in pri vrednosti pod sedem kislo reakcijo.

Vrednost pH je negativni logaritem koncentracije H in OH ionov. Vrednost pH določamo z indikatorskim papirjem ali s pH metrom, ki deluje na principu razlike električne upornosti.

➤ **Nasičenost s kisikom**

Količino v vodi raztopljenega kisika lahko določimo na več načinov. Prvi način je kemično določanje raztopljenega kisika v vzorcu vode s pomočjo vezave raztopljenega kisika na manganovo spojino. Pri tem moramo paziti, da med odvzemom vzorca in med analizo voda ne bi prejela dodatnega kisika. To metodo imenujemo Winklerjeva metoda. Po drugi metodi merimo nasičenost kisika s pomočjo polprepustnih membran na osnovi elektrokemičnih poti. Nasičeno stanje je odvisno od temperature, nadmorske višine in koncentracije soli.

➤ **Poraba kisika v odpadni vodi**

Je najzanesljivejši indikator za onesnaženje z organskimi snovmi. Definiramo jo kot količina kisika v mg/l O<sub>2</sub>, ki je v določenih pogojih in opazovani dobi potreben za razkroj organskih primesi v vodi.

➤ **Kemijska potreba kisika - KPK**

Kemijska potreba kisika v mg/l O<sub>2</sub> je potrebna količina za kemično oksidacijo primesi v vodi. S pomočjo oksidacije, pri kateri se porablja kisik, določimo vsebnost organskih snovi. Pri določevanju kemijske potrebe po kisiku uporabljamo več oksidantov, kot so KMnO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> in NaOCl.

➤ **Biokemijska potreba po kisiku - BPK**

Biokemijska potreba po kisiku je količina kisika, ki ga pri procesu razkroja porabijo mikroorganizmi. Poraba kisika je odvisna od količine in koncentracije organskih snovi, od števila in aktivnosti mikroorganizmov, temperature, turbulence itd. Zato je za potrebe primerjanja rezultatov analize potrebno standardizirati pogoje določanja. Analizo izvajamo pri temperaturi 20° C. Običajno določamo biokemijsko potrebo kisika po petih dneh.

Pri zadostni količini kisika v vodi proces poteka v dveh stopnjah. V prvi stopnji se razkrajajo predvsem ogljikove spojine, v drugi pa dušikove spojine. Proces razgradnje ogljikovih spojin se prične takoj in se zaključi po približno dvajsetih dneh, medtem ko

se razgradnja dušikovitih spojin prične nekje po desetih dneh in traja dalj časa. Pri slednjem procesu se amonijak in organski dušik spremenita v nitrite in nitrate.

Za določanje biokemijske potrebe kisika se poslužujemo razredčevalne metode, kjer vzorec odpadne vode razredčimo. S tem povečamo razredčevalno napako ter ustvarimo drugačne pogoje od naravnih pogojev. Biokemijsko potrebo po kisiku določamo na osnovi zmanjšanja koncentracije kisika po preteku dogovorjene dobe. Predvsem je pomembno, da kisik ni porabljen pred iztekom te dobe. Biokemijsko potrebo po kisiku lahko spremljamo tudi tekoče, in sicer na osnovi padca zračnega tlaka v posodi, v kateri je vzorec. Padeč tlaka je soracionalen porabi kisika. Razredčevalna metoda spada v skupino aparaturnih metod. Prednost teh metod je, da je s pomočjo grafa mogoče prikazati biološki proces razgradnje v odvisnosti od časa in ker so pogoji, pri kateri poteka razgradnja, mnogo bliže naravnim.

Standardizirana razredčevalna metoda je uporabna predvsem za rečne in komunalne odpadne vode. Če jo želimo uporabljati za industrijske odpadne vode, pa jo je potrebno modificirati. Slabost te metode je, da ni možno kontinuirano spremljati biološke razgradnje. Zaradi omenjenih napak to metodo uporabljamo v kombinaciji z drugimi metodami, predvsem z Warburgovo, Sapromatno in Baromatno metodo.

### ➤ **Organski ogljik in dušik**

Prav tako pomembno kot določanje BPK in KPK je analiza, pri kateri določamo organsko vezani ogljik in dušik. V splošnem ločimo dve skupini določanja organsko vezanega ogljika. Prva metoda je tako imenovana suha metoda, pri kateri vzorec uparimo in sežgemo s kisikom, druga metoda pa je t.i. mokra metoda, pri kateri organski ogljik oksidiramo v raztopini. Poleg teh dveh metod za določevanje organskega ogljika poznamo še druge metode, in sicer gravimetrija, turbidometrija, konduktometrija, acidimetrija itd. Pred določanjem organsko vezanega ogljika moramo vzorec očistiti anorgansko vezanega ogljika.

Dušik lahko v odpadni vodi najdemo v obliki organskega dušika, amonijaka, nitrita in nitrata. Glede na obliko v kateri se nahaja dušik, lahko določimo stanje odpadne vode. Nitriti in nitrati nastajajo pri aerobne razkroju organskega dušika in amonijaka.

### Bakteriološki parametri:

Bakteriološka onesnaženost nam nakazuje na onesnaženje z odpadno vodo. Ugotavljamo jo tako, da določamo število klic in z določanjem koliformnih bakterij. Pri določanju števila klic uporabljamo razredčevalno metodo ali metodo membranske filtracije. Pri razredčevalni metodi izračunamo, na podlagi poraslosti gojišča z bakterijskimi kolonijami, število živih bakterij v določeni količini vode. Pri membranski metodi pa vzorec, ki ga preiskujemo, precedimo skozi membrano, nato pa membrano položimo na gojišče za 16 – 24 ur pri 37° C, po preteku potrebnega časa pa preštujemo število kolonij. Število koliformnih bakterij izrazimo z najverjetnejšim številom ( MPN ), kar naj predstavlja število koliformnih bakterij v 100 ml ali 1 l odpadne vode. Možen je tudi prikaz števila koliformnih bakterij z najmanjšo količino vode, v kateri je vsaj ena bakterija. Število koliformnih bakterij je prav tako možno določiti z membransko metodo tako, da membrano položimo na specifično selektivno gojišče, kjer bakterije zrastejo v značilni obliki in barvi, nato pa te bakterije preštujemo in jih izrazimo v količini na 100 ml ali 1 l vzorca.

### Biološki parametri:

V osnovi ločimo dve metodi določanja biološke onesnaženosti, in sicer ekološko in fiziološko metodo. Na osnovi reakcije organizma določamo stopnjo ogroženosti.

Z ekološko metodo ugotavljamo spremembe v strukturi življenjske združbe nad izvorom in pod izvorom odpadne vode v odvodnik. Metoda deluje na principu reakcije življenjske združbe na zmanjševanje vsebnosti raztopljenega kisika in na vsebnost razkrojnih produktov. Stopnja onesnaženosti je večja pri nižji vsebnosti raztopljenega kisika in večji koncentraciji razkrojnih produktov. Določen indikator onesnaženja v saprobnem sistemu imajo tudi določeni organizmi, ki so pri določeni stopnji onesnaženja najbolj številni. Pri saprobnem sistemu poznamo štiri stopnje onesnaženja s tremi vmesnimi stopnjami, ki jih opišemo z imeni ali številkami.

Pri fiziološki metodi onesnaženost odpadne vode določamo s testnimi organizmi v laboratoriju. Dobra stran te metode je, da so rezultati bolj eksaktni kot pri ekološki

metodi, med tem ko je slaba stran fiziološke metode, da poizkusi ne tečejo v naravnih razmerah. Poznanih je več postopkov določanja onesnaženosti odpadnih voda s fiziološko metodo, in sicer določanje BPK, uporaba testnih organizmov v laboratoriju itd. Pri prvi metodi s pomočjo BPK merimo dejavnost razgrajevalcev in jo izražamo z množino porabljenega kisika v določenem času. Pri drugem postopku pa s testnimi organizmi v laboratoriju pri kontroliranih pogojih določamo onesnaženost vode tako, da enkrat v vzorec damo organizme, ki so sposobni razgraditi zgnitja sposobne snovi ( bakterije ), drugič pa organizme, ki se asimilirajo ( alge ). Če zasledimo povečano število organizmov v določenem času, lahko sklepamo na onesnaženost vode. Pri tem postopku dobimo sliko, koliko zgnitja sposobnih snovi vsebuje odpadna voda ( bakterije ) in kolikšna je vsebnost anorganskih soli ( alge ).

### **2.3 Padavinske vode**

Padavinske vode upoštevamo, kadar dimenzioniramo meteorno kanalizacijo ali pa pri dimenzioniranju mešanega kanalskega sistema. Za dimenzioniranje so pomembna deževja in nalivi, med tem ko so snežne padavine zaradi porazdeljenega taljenja skozi daljši čas manj pomembne. Druge padavine pri dimenzioniranju kanalskih sistemov ne predstavljajo pomembnega deleža odtoka. Po pogostosti in izdatnosti so padavine odvisne od geografske lege, trenutnih meteoroloških razmer, letnega časa itd.

Padavine lahko vrednotimo na dva načina, in sicer s pomočjo intenzitete ali s pomočjo enotske jakosti odtoka. Intenziteta predstavlja višino padavin v enoti časa, enotska jakost pa predstavlja količino padavin v enoti časa na enoto površine.

V splošnem je jakost naliva največja v njegovem središču, ki se med nalivom lahko premika. Ker je izračun odtoka na tak način bolj zahteven, pri izračunu odtoka običajno privzamemo, da je na izbranem območju in pri izbranem trajanju jakost naliva konstantna. Ločimo enojne in sestavljene nalive. Enojni naliv ima samo eno naraščanje in eno upadanje, sestavljeni naliv pa ima več naraščanj in upadanj.

Problematičen je predvsem površinski odtok iz urbaniziranih površin po daljšem sušnem obdobju, saj je lahko onesnaženje nekajkrat višje od onesnaženja sušnega odtoka. Padavinske vode med tokom do kanalskega omrežja z urbaniziranih površin odnašajo različne polutante, kot so prah, cvetni prah, naravne in umetne odpadke, olja itd. Vsa ta onesnažena voda za odvodnik lahko predstavlja veliko obremenitev, še posebej v času nizkih pretokov v odvodniku, ko je samočistilna sposobnost odvodnika še toliko manjša. Iz tega razloga težimo k temu, da na območju urbaniziranih površin gradimo mešane kanalske sisteme v kombinaciji z zadrževalnimi bazeni ter razbremenilniki in onesnažene vode vodimo na čistilno napravo. Vendar pa so pretoki ob dežju bistveno večji od sušnega odtoka ter tudi bistveno večji od hidravlične sposobnosti čistilne naprave. Zato na čistilno napravo vodimo samo t.i. prvi val onesnaženja, oz. čistilni val. Zaradi preobremenjenosti čistilne naprave v času padavin čistilnega vala ne moremo takoj očistiti, ampak ga moramo zadržati in ga po koncu deževja voditi na ČN. Na kanalskem omrežju zato gradimo zadrževalne bazene, v katerih zadržimo prvi val onesnaženja do konca padavin, ter padavinske vode kasneje očistimo na čistilni napravi. Ko padavinska voda zapolni volumen zadrževalnega bazena, se prične razbremenjevati preko razbremenilnega objekta izgrajenega pred zadrževalnim bazenom. Voda, ki jo razbremenjujemo in vodimo da najbližjega odvodnika, je zaradi zadrževanja prvega vala manj onesnažena in zato tudi manj obremenjuje odvodnik.

### 2.3.1 Koeficient odtoka

Koeficient odtoka izraža razliko med količino dežja, ki pade na prispevno območje, in količino vode, ki odteče v kanal. Koeficiente odtoka nam za karakteristične površine podaja spodnja preglednica ( Kolar 1983, 78 ).

Vrsta površine	$\phi$
Strehe s pločevinasto ali emajlirano kritino	0,95
Strehe z običajno kritino	0,90 – 0,95
Ceste in poti, utrjene z betonom ali asfaltom	0,85 – 0,90
Tlak iz naravnega ali umetnega kamna z zalitimi stiki	0,75 – 0,85
Tlak iz naravnega ali umetnega kamna z nezalitim stiki	0,50 – 0,70

Z bitumensko emulzijo obrizgana površina	0,25 – 0,60
Slabo utrjene poti brez površinske obdelave	0,15 – 0,30
Kolodvori in igrišča	0,10 – 0,30
Parki, vrtovi in travniki	0,05 – 0,25
Gozd	0,01 – 0,20

**Preglednica 1: Koeficient odtoka**

»Prispevno območje po svoji izkoriščenosti ni enovito, ampak je delno zazidano z zgradbami, delno ga pokrivajo utrjene, delno pa zelene površine« ( Kolar 1983, 78 ). Zato je potrebno za vsak posamezen primer izračunati nov koeficient odtoka po naslednjem obrazcu:

$$\varphi = \frac{\sum (f_i \cdot \varphi_i)}{\sum f_i} \quad (\text{Povzeto po: Kolar 1983, 78})$$

**Enačba 14: Koeficient odtoka**

### 2.3.2 Krivulja intenzitete naliva

Ob dolgotrajnem dežju so padavine relativno šibke, zato se v tem primeru cevi ne napolnijo. Zato poiščemo tak naliv, ki je zadostne jakosti in zadostnega trajanja, da povzroči zapolnitev kanalizacijskega omrežja in nastopi poplava. Za dimenzioniranje moramo čas odločilnega naliva določiti tako, da je enak času zbiranju odtoka. Izračuni nam običajno pokažejo, da kritični naliv traja 10 do 20 minut. Pogosto upoštevamo kar 15 – minutni naliv.

Jakost naliva izračunamo po naslednji enačbi:

$$q' = \frac{C}{t_r^\alpha} \quad (\text{Povzeto po: Kolar 1983, 73})$$

**Enačba 15: Izračun enotske intenzitete**

$q'$  enotska jakost ( intenziteta naliva ) [ l/(s\*ha) ],

$t_r$  čas trajanja naliva [ min ],

$C, \alpha$  koeficienta odvisna od povratne dobe in trajanja naliva [ / ].



### **3 SMERNICE ATV<sup>6</sup>**

#### **3.1 Obseg in cilji standarda ATV**

Smernice so pripomoček za dimenzioniranje razbremenilnih objektov ter zadrževalnih bazenov na mešanih kanalizacijskih sistemih. Razbremenilni objekti ( deževni preliv, deževni bazen s prelivom, kanalizacijska omrežja z zadrževalnim volumnom in prelivom ) na mešanih kanalskih sistemih služijo za odvajanje presežnih količin voda v jezera ali reke.

Onesnažene padavinske vode lahko močno obremenjujejo odvodnik ali jezero. Čeprav so padavine kratkega trajanja in se pojavijo le občasno, pa lahko količina vnesenih onesnažil v reko ali jezero močno poslabša kakovost teh voda. Za zagotavljanje ustrezne kakovosti vode v odvodniku je potrebno omejiti vnos onesnažil z onesnaženo padavinsko vodo do te mere, da je koncentracija onesnaženja pod sprejemljivo vrednostjo. Zadržano padavinsko vodno nato očistimo. Namen čiščenja padavinskih voda je na največji možni način zmanjšati vnos emisij v odvodnik preko razbremenilnih objektov ali iztokov iz čistilnih naprav.

Zmanjšanje vnosa onesnažil je mogoče doseči na več različnih načinov, kot na primer z zadrževanjem ali s preprečevanjem vtoka v odvodnik. Vpliv na količino prelivanja in koncentracijo onesnažene vode ima več dejavnikov, kot so količina padavin, čas toka, nagnjenost terena, zadrževalni volumen kanalskega omrežja, onesnaženje območja. Te dejavnike je potrebno upoštevati pri izračunu, pri tem pa je potrebno odšteti odtoke, ki jih odvajamo po ločenem kanalskem sistemu.

Ob upoštevanju zgoraj omenjenih vplivov dimenzioniramo prelivne objekte na preostali pretok. Učinkovitost čiščenja padavinskih voda je odvisna ne samo od razpoložljivega zadrževalnega volumna, pač pa tudi od tehnologije in delovanja vgrajenih inštalacij.

---

<sup>6</sup> Povzeto po ATV-A 128 E

Standard predvideva dve metodi dimenzioniranja in kontrole rezultatov. Prva metoda je poenostavljena metoda dimenzioniranja z uporabo diagramov, druga metoda pa je kontrolna metoda.

## **3.2 Zahteve pri čiščenju padavinskih voda**

Za različne situacije ta standard določa tehnična določila za normalne pogoje in zahtevnejše pogoje glede na stanje odvodnika oz. ostalih vod. Za vsak posamezen primer se je potrebno odločiti katerim zahtevam želimo zadostiti. Pri površinskih vodah, v katere se izliva voda iz razbremenilnih objektov ali čistilnih naprav, je potrebno ovrednotiti vpliv vsakega razbremenilnega objekta ali čistilne naprave, kot tudi vpliv celotnega sistema na onesnaženost površinskih voda.

### **3.2.1 Tehnične zahteve pri normalnih pogojih**

Tehnične zahteve te metode temeljijo na podlagi emisij brez ocene lokalnih razmer v jezeru ali reki. Dimenzioniranje in ovrednotenje zahtev te metode na podlagi KPK je teoretično. Pri povprečnem letu s povprečnimi pogoji se onesnaženje prenese v površinske vode med padavinami.

Če poznamo podatke o letni količini prelite vode, število prelivanj in čas prelivanja, lahko za posamezne nalive napovemo koncentracijo onesnaženja. Torej lahko formuliramo medsebojno povezavo, ki nam podaja opis ključnih vplivov na količino onesnaženja. Ta zveza je narejena na podlagi srednje vrednosti koncentracije onesnaženja pri sušnem odtoku in pri padavinskem odtoku.

Za te pogoje je v tem standardu definirano referenčno onesnaženje za povprečne pogoje, za katere je potrebno zagotoviti določen zadrževalni volumen na mešanem kanalizacijskem sistemu. S tem volumnom zagotovimo učinkovito zaščito pred onesnaženjem. Odstopanja od

referenčnega primera vodijo k povečanju ali zmanjšanju potrebnega zadrževalnega volumna, vendar pa pri prilagajanju onesnaženja referenčnemu primeru za posamezno obremenitev zadrževalni volumen ni bistveno manjši oz. večji kot pri referenčnem primeru.

Za referenčni primer so privzete naslednje vrednosti:

- srednja vrednost letnih padavin 800 mm,
- koncentracija KPK v padavinski vodi 107 mg/l,
- koncentracija KPK v sušnem odtoku 600 mg/l,
- koncentracija KPK na iztoku iz ČN 70 mg/l.

Odstopanja od referenčnega primera so upoštevana na naslednji način:

- srednje letne padavine so lokalno različne in imajo tudi različen vpliv na onesnaženje padavinskih voda pa tudi različen vpliv na prelivanje. Večje količine padavin vodijo k večjemu onesnaženju odvodnikov, kar vodi k dimenzioniranju večjih potrebnih zadrževalnih volumnov,
- koncentracija KPK 600 mg/l predstavlja teoretično vrednost z zahtevanim zadrževalnim volumenom, ki ga ne smemo zmanjšati. Večja koncentracija KPK pa vodi k povečanju zadrževalnega volumna,
- pri dimenzioniranju razbremenilnih objektov za daljša obdobja, kljub letnim in dolgoročnim spremembam odpadne vode iz čistilnih naprav, je potrebno zmanjšanje teoretične vrednosti 70 mg/l. Z zmanjšanjem teoretične vrednosti smo na varni strani, dejansko izmerjena vrednost KPK pa nima vpliva pri določitvi potrebnega zadrževalnega volumna.

### 3.2.2 Celostna analiza vpliva na površinske vode

Za končno oceno razbremenilnega objekta s prelivom je potrebna celostna neprekinjena analiza vpliva na površinske vode. To se navezuje predvsem na reke in jezera, pri katerih je na enem mestu iztok iz več prelivov. Na takšnih mestih je potrebno predvideti bazene s samočistilno sposobnostjo. Dovoljena količina onesnaženja se v takšnih primerih lahko porazdeli po samostojnih razbremenilnih objektih, kjer je potrebno upoštevati značilnosti površinske vode in zahteve razbremenilnih objektov. Prav tako je potrebno zadostiti tehničnim pogojem za dimenzioniranje samostojnih razbremenilnih objektov.

Če se vsi razbremenilni pretoki odvajajo v stranski kanal ali glavni kanal reke z enako zahtevano stopnjo zaščite, potem lahko dimenzioniramo razbremenilne objekte s prelivom na enak način.

Če pa se razbremenjena voda odvaja v reke oz. potoke z različno stopnjo zaščite, te reke oz. potoki pa se nato izlivajo v skupni odvodnik, potem je potrebno upoštevati zahteve skupnega odvodnika. Za bolj občutljive odvodnike je možno upoštevati zahteve odvodnika ali pa razmisliti o možnosti preusmeritve razbremenjene vode v manj občutljiv odvodnik. Za stranske kanale je merodajna stopnja zaščite le tega. V primeru, da so reke oz. jezera ločena, je potrebno upoštevati zahteve vsake površinske vode posamezno.

### 3.3 Načela načrtovanja

Spodaj opisani pogoji podajajo pregled različnih ukrepov na čiščenje padavinskih voda pri mešanih sistemih. Odtoki s poseljenih površin sabo odnašajo delce iz kmetijskih površin in atmosfere, kar določa kakovost voda v rekah in jezerih. V reke in jezera se onesnažila vnašajo preko iztoka onesnažene padavinske vode iz meteorne kanalizacije, prelivov odpadne vode pri mešani kanalizaciji in preko iztokov iz čistilnih naprav.

### 3.3.1 Zmanjšanje količin odpadne vode

Za znižanje stroškov investicije in znižanje stroškov obratovanja čistilne naprave je potrebno ugotoviti, ali je možno zmanjšati količino odpadne vode, kar je še posebej smiselno pri padavinskih vodah in vodi, ki se infiltrira v kanalski sistem, enako tudi pri sušnem odtoku in industrijskih odpadnih vodah.

Količina padavinske vode je odvisna predvsem od velikosti nepropustnih površin, ki so vezane na kanalizacijsko omrežje. Količino padavinske vode lahko zmanjšamo na več načinov. Onesnaženo neškodljivo padavinsko vodo lahko ponikamo, vodo iz strešnih površin in rahlo onesnaženo vodo lahko vodimo neposredno v odvodnik, med tem ko moramo vodo iz cestnih površin obvezno voditi v mešan kanalski sistem in jo očistiti na čistilni napravi. Preprečiti je potrebno odtekanje vode iz prepustnih površin z zadrževanjem. To vodo lahko kasneje počasi odvajamo v odvodnik ali pa jo porabimo za zalivanje.

Padavinsko vodo lahko pred onesnaženjem tudi zaščitimo. To lahko storimo tako, da redno izvajamo čiščenje nepropustnih površin ( padavinsko vodo lahko nato vodimo v odvodnik ), odstranimo vir onesnaženja in s čiščenjem kanalskega omrežja.

Če zmanjšamo količino sušnega odtoka in količino industrijske odpadne vode, se to pozna na čistilni napravi, kjer so izmerjene višje koncentracije onesnaženja in zaznane večje količine usedljivih snovi. Ukrepi za zmanjšanje količine sušnega odtoka in industrijskih vod so npr. uvedba tehnologij, ki porabijo manj vode, uvedba sistemov s krogotokom.

Količino infiltrirane odpadne vode je potrebno zmanjšati na najnižjo možno raven, kar lahko dosežemo na več različnih načinov. Tesnost se zagotovi z zamenjavo netesnih cevi, s preprečitvijo vtekanja vode na spojih med jaški in cevmi, z vgradnjo vodotesnih pokrovov na jaških kanalizacijskega sistema.

### 3.3.2 Ukrepi pri čiščenju odpadnih voda mešanega kanalskega sistema

Čiščenje padavinskih voda v mešanih sistemih vključuje naslednje ukrepe; zadrževanje mešanih odpadnih voda na omrežju, prerazporeditev padavinskega odtoka po omrežju, čiščenje odpadne vode pred iztokom v jezero ali reko.

Zadrževalni volumen za mešane odpadne vode lahko zagotovimo z zadrževalno sposobnostjo kanalizacijskega omrežja. Iz konstrukcijskih in obratovalnih razlogov je zadrževanje v določenih objektih občutljivo. Zadrževanje padavinske vode je možno tudi na površinah parkirišč in streh.

Prerazporeditev deževnih voda po kanalskem omrežju z namenom koriščenja zadrževalne sposobnosti omrežja skupaj z reguliranjem pretoka je možno. Možnosti prerazporeditve deževnih voda so odvisne od karakteristik preliva ( količine, trajanje in pogostost prelivanja ).

Čiščenje odpadnih voda je najbolj učinkovito takrat, ko je koncentracija vnesenih onesnažil konstantna. Karakteristike mešane odpadne vode močno nihajo, zato je njeno čiščenje na čistilnih napravah za odpadno komunalno vodo vprašljivo. Kljub temu pri čiščenju deževnih voda lahko upoštevamo naslednje načine čiščenja:

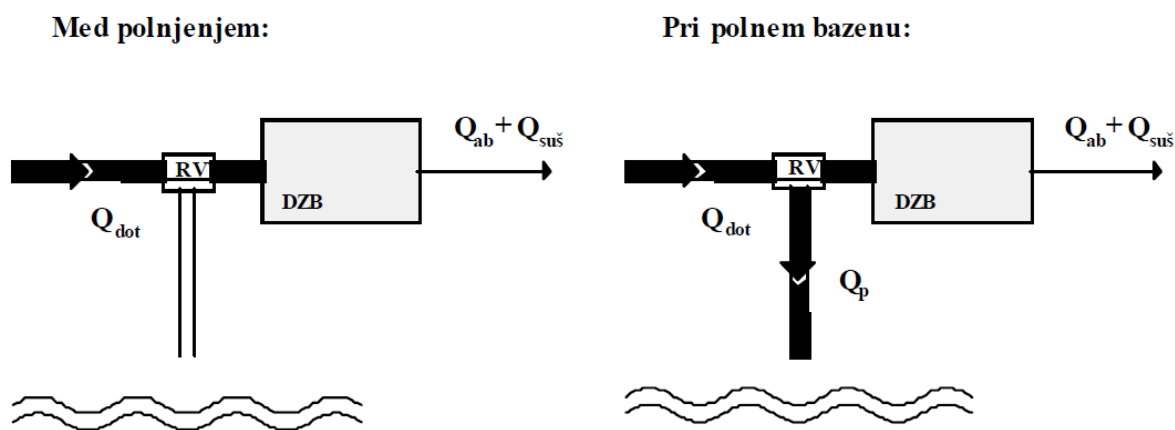
- mehansko čiščenje je doseženo v deževnih zadrževalnih bazenih,
- čiščenje s centrifugalnim ločevalnikom,
- filtracija mešane odpadne vod.

Zadrževanje plavajočih snovi je mogoče zagotoviti z grabljami oz. s sitom.

Deževni bazeni na območju čistilne naprave, v odvisnosti od lokalnih pogojev, so lahko uporabljeni tudi kot bazeni za zadrževanje škodljivih snovi, ki iztečejo ob nesrečah, vendar pa je za takšen namen potrebno pridobiti soglasje upravljavca.

### 3.4 Zadrževalni bazen deževnih voda ( ZBDV ) z razbremenilnikom

Naloga ZBDV je zadržati prvi val onesnaženja , ki se pojavi ob nastopu padavin po daljšem sušnem obdobju predvsem na prispevnih območjih s krajšim odtočnim časom. Volumen bazena je določen s krono prelivnega objekta, sam zadrževalni bazen pa nima preлива. Zato je potrebno vso zadržano odpadno vodo odpeljati na čistilno napravo, kjer se voda mehansko in biološko očisti. ZBDV gradimo na omrežju za območja, ki niso predhodno razbremenjena ter kadar čas dotoka pri kritičnem nalivu ne presega 15-20 minut.



Slika 7: Zadrževalni bazen deževnih voda z razbremenilnikom

#### 3.4.1 Razbremenilnik

Razbremenilniki služijo za zmanjšanje konice pretoka. Razbremenilnik je lociran na mestu, kjer je mogoče zagotoviti vodenje kritičnega pretoka mešane odpadne vode na čistilno napravo. Prav tako je pri načrtovanju potrebno zagotoviti pogoj, da prelita onesnažena voda povzroča najmanjše onesnaženje. Pri industrijskih odpadnih vodah, ki so bolj onesnažene kot sušni odtok in se izlivajo v kanal za mešano odpadno vodo, je potrebno doseči zadostno razredčenje. Kadar zadostne stopnje razredčenja ni mogoče doseči, je potrebno razbremenilni objekt odstraniti.

Glede na način odtoka in način prelivanja ločimo več vrst razbremenilnih objektov:

- razbremenilnik s prelivnim robom in odtokom s prosto gladino,
- razbremenilnik z visokim prelivnim robom in cevno dušilko na iztoku, pri čemer je lahko prelivni rob izveden kot bočni enostranski prelivni rob, bočni dvostranski prelivni rob ali kot pravokotni prelivni rob,
- razbremenilnik z delilno ploščo,
- vrtinčni razbremenilnik.

Razbremenilnik je objekt, ki na čistilno napravo odvaja najmanj kritični pretok  $Q_{krit}$ . Kritični pretok je vsota sušnega odtoka, kritičnega odtoka iz neposredne prispevne površine in vsote kritičnih odtokov iz gorvodno vezanih prispevnih površin.

Pri dimenzioniranju razbremenilnega objekta je potrebno predhodno določiti sušni dotok  $Q_{suš}$ , padavinski dotok  $Q_p$ , količino prelivanja  $Q_{pr}$  ter kritični odtok  $Q_{krit}$ . Prav tako moramo poznati srednji nizki pretok v odvodniku  $Q_{sn}$ , koto visokih voda vodotoka, razredčenost, samočistilno sposobnost vodotoka in padavinske razmere obravnavanega območja.

$$Q_{krit} = Q_{suš} + Q_{krit,pp} + \sum Q_{krit,gpp}, \quad (\text{povzeto po Panjan, 2007})$$

$Q_{krit}$             kritični odtok [ l/s ],

$Q_{suš}$             sušni dotok [ l/s ],

$Q_{krit,pp}$         kritični odtok iz prispevne površine [ l/s ],

$\sum Q_{krit,gpp}$     vsota kritičnih odtokov iz gorvodno vezanih prispevnih površin.

Količine prelite vode določimo na naslednji način:

$$Q_p = Q_{max} - Q_{krit}. \quad (\text{povzeto po Panjan, 2007})$$

$Q_p$             količina prelite vode [ l/s ],

$Q_{max}$         maksimalni dotok [ l/s ],



$Q_{krit}$             kritični odtok [ l/s ].

Ko imamo pridobljene vse potrebne vhodne podatke, se lotimo izračuna višine prelivnega roba, določitve cevne dušilke in dolžine prelivnega roba. Dimenzioniranje poteka po algoritmu podanem v poglavju 2.1.3.

### **3.5 Obseg načrtovanja**

Pri načrtovanju prelivnih objektov je potrebno analizirati obstoječe stanje in določiti stanje, ki ga želimo doseči za daljše obdobje.

Pri obstoječih kanalskih sistemih je potrebno upoštevati oba pogoja, med tem ko je pri načrtovanju novega kanalizacijskega sistema potrebno upoštevati samo zahteve dolgoročnega planiranja. Pri obeh primerih je potrebno upoštevati celotno prispevno površino, prav tako je potrebno v določenih primerih upoštevati različne nivoje dolgoročnega plana za različne dele omrežja

Pri določitvi trenutnih razmer je ključnega pomena določitev učinkovitosti trenutnega kanalizacijskega sistema in pripadajoče čistilne naprave. Pri določitvi trenutnih razmer je potrebno upoštevati sušni dotok, kakovost rek in jezer, prispevne površine, prav tako pa je potrebno upoštevati meritve o sušnem pretoku in letni vtok odpadne vode na čistilno napravo. Sušni odtok lahko enačimo s količino prodane pitne vode.

Pri določitvi dolgoročnih razmer pa moramo upoštevati razvoj mesta, pričakovano rabo prostora, zazidalne načrte in ostale infrastrukturne načrte. Potrebne podatke za načrtovanje kanalizacijskega sistema lahko pridobimo s pomočjo projekcij na osnovi dosegljivih podatkov.

Običajno se kanalizacijska omrežja gradijo za dobo 50-100 let, čistilne naprave pa se gradijo za dobo 15-25 let.

### 3.6 Izračun potrebnih podatkov

Pri določitvi potrebnega zadrževalnega volumna je potrebno upoštevati vso prispevno območje, iz katerega se padavinska voda steka v mešan kanalizacijski sistem. To velja tako za poenostavljeno kot tudi detajlno metodo določitve potrebnega zadrževalnega volumna.

#### 3.6.1 Velikost prispevne površine

##### ➤ Letne padavine

Trajanje letnega prelivanja preko prelivnega objekta je odvisno od letnih padavin. Z naraščanjem letnih padavin se mešana odpadna voda dalj časa preliva in vteka neposredno v jezera ali reke. V izračunu se upoštevajo letne padavine v milimetrih vodnega stolpca.

##### ➤ Prispevne površine

Prispevne površine, s katerih se steka padavinska voda v mešani kanalizacijski sistem, imenujemo drenažna območja  $A_{CA}$ . Drenažna območja delimo na pozidana  $A_{red}$  in nepozidana območja. Pozidana območja so določena z različnimi koeficienti izgub. V izračunu uporabimo, po odštetih izgubah, neprepustne prispevne površine  $A_{is}$ .

$$A_{is} = \frac{V * Q_r}{10 * h_{pr.eff}}, \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 22})$$

$V * Q_r$  skupni letni odtok padavinske vode po mešanem kanalizacijskem sistemu [ m<sup>3</sup>/leto ],

$h_{pr.eff}$  efektivne padavine [ mm ].

Ločenih območij ne upoštevamo kot efektivna prispevna območja, pri združenih območjih pa upoštevamo le efektivne površine. Oddaljene in propustne površine lahko pri izračunu v splošnem zanemarimo.

$$A_{is} = A_{red} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 23})$$

➤ **Čas pretoka  $t_r$**

Čas koncentracije ima vpliv na zajezitev pretočnih valov. Določitev koncentracije onesnaženja v predhodno razbremenjenem kanalizacijskem sistemu je možno določiti le, če v določitev vložimo nekaj truda. Letno količino prelitega onesnaženja lahko nadomestimo s časom pretoka. Čas pretoka lahko določimo iz najdaljše poti toka po kanalizacijskem sistemu z popolnim polnjenjem ali pa čas pretoka približno določimo kot časovno razliko med maksimalno vrednostjo pripadajočih časovnih krivulj. Čas pretoka iz zelo razpršenih prispevni površin, ki imajo manjši vpliv na vtok v mešani sistem, pa lahko zanemarimo.

➤ **Povprečni nagib terena**

Smernice ATV ločijo štiri »skupine« nagiba terena za prispevno območje. Na podlagi teh štirih skupin določimo povprečni nagib terena za celotno prispevno površino po naslednjem obrazcu:

$$SG_M = \frac{\sum (A_{CA,i} * SG_i)}{\sum A_{CA,i}}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 23})$$

$A_{CA,i}$  vsota podobmočji celotne prispevne površine v [ ha ],

$SG_i$  tip G, »skupina« nagiba terena za posamezno podobmočje prispevne površine.

### 3.6.2 Podatki o odtočnih količinah

➤ **Odtok mešane odpadne vode na čistilno napravo**

Pretok mešane odpadne vode  $Q_{CW}$  je sestavljen iz sušnega pretoka  $Q_{DW}$  in pretoka padavinske vode  $Q_R$ . Pretok  $Q_{CW}$  določimo po naslednjem izrazu:

$$Q_{CW} = 2 \times Q_{PX} + Q_{DW,24}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 23})$$

$Q_{PX}$  dnevna konica odtoka odpadnih voda [ l/s ],

$Q_{DW,24}$  povprečni dnevni sušni odtok [ l/s ],

$Q_{CW}$  pretok mešane odpadne vode [ l/s ].

$Q_{CW}$  določimo kot pričakovani pretok v prihodnosti in običajno odstopa od trenutnih vrednosti pretoka mešane odpadne vode, ki doteka na čistilno napravo. Ločimo dva primera:

- če je življenjska doba čistilne naprave še vsaj 8-10 let in je sposobna očistiti vsaj  $Q_{CW} \geq 2 \times Q_{PX} + Q_{DW,24}$  na biološki stopnji, potem načrtujemo zadrževalne bazene deževnih voda na trenutno kapaciteto čistilne naprave,
- če pa se v bližnji prihodnosti načrtuje povečanje zmogljivosti čistilne naprave pa je potrebno pri določevanju volumna zadrževalnega bazena upoštevati predvideno stanje v prihodnosti.

Pri vzporednih prispevnih, površinah kjer je  $Q_{CW} > 2 \times Q_{PX} + Q_{DW,24}$ , je potrebno zagotoviti, da  $Q_{CW}$  v nobenem trenutku ni večji od dimenzioniranega  $Q_{CW}$ .

### ➤ Povprečni dnevni sušni odtok

Merodajni sušni odtok za individualne prispevne površine za mešane in ločene kanalske sisteme je sestavljen iz gospodinjskih odpadnih voda  $Q_D$ , komercialnih odpadnih voda  $Q_C$ , industrijskih odpadnih voda  $Q_I$  ter voda, ki se infiltrirajo v omrežje  $Q_{IW24}$ .

$$Q_{W24} = Q_{D24} + Q_{C24} + Q_{I24} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 24})$$

$$Q_{DW24} = Q_{S24} + Q_{IW24}$$

$Q_{D24}$  dnevna povprečna vrednost [ l/s ],

I število priključenih prebivalcev [ PE ],

$Q_{C24}$  povprečna dnevna količina komercialnih voda izračunana iz povprečne letne [ l/s ],

$Q_{IW24}$  povprečna letna količina infiltrirane vode v ločeni in mešani kanalizacijski sistem [ l/s ].

Vrednosti za posamezne vrste odpadne vode ( gospodinjska, komercialna, industrijska ) se določijo na podlagi podatkov o številu prebivalcev in količini porabljene pitne vode. Pri določitvi količin za komercialne in industrijske odpadne vode je potrebno pri izračunu upoštevati razvoj posameznih panog za komercialne in industrijske odpadne vode ločeno. Če količin odpadne vode ni mogoče določiti, za primerljiva območja pa podatki ne obstajajo, lahko za izračun količine upoštevamo 0,2-0,8 l/s/ha ob upoštevanju porabljene vode in velikosti neprepustnih površin.

Pri določitvi količine infiltrirane vode je prav tako potrebno upoštevati razvoj obravnavanega območja. Pri načrtovanju je potrebno zagotoviti vodotesnost omrežja. Če se izvaja merjenje pretoka na čistilni napravi, lahko kot količino infiltrirane vode privzamemo najnižjo izmerjeno nočno vrednost pretoka. Kadar nam ta podatek ni na voljo, lahko količino infiltrirane vode izračunamo s pomočjo priporočenega podatka 0,15 l/s/ha. Pri tem je potrebno upoštevati velikost neprepustnih površin in pogoje podtalne vode ter kanalizacijskega omrežja.

➤ **Maksimalni urni odtok s sušnim odtokom**

Maksimalni dnevni sušni odtok  $Q_{DWX}$  je najbolj natančen izmerjen podatek, vendar se merjenje le-tega izvaja samo na čistilni napravi. Splošno relativno visoke maksimalne vrednosti na prispevnih podobmočjih se na poti proti čistilni napravi manjšajo. Ker pa se meritve na omrežju ne izvajajo, izračunamo  $Q_{DWX}$  kot povprečno dnevno vrednost po spodaj podanem izrazu:

$$Q_{PX} = \frac{24}{x} * Q_{D24} + \frac{24}{a_c} * \frac{365}{b_c} * Q_{C24} + \frac{24}{a_i} * \frac{365}{b_i} * Q_{I24},$$

$$Q_{DWX} = Q_{PX} + Q_{IW24}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 24})$$

$Q_{PX}$  maksimalna dnevna vrednost pretoka odpadnih voda [ l/s ],

x,h trajanje tekom dneva (14, 16 ali 18 ur) [ h ],

$a_c, a_i$  in  $h$  delovne ure na dan [ h ],

$b_c, b_i$  in  $d$  produktivni dnevi letno [ h ].

### ➤ Padavinski odtok iz ločenih prispevnih površin

Pri dimenzioniranju zadrževalnega volumna je potrebno pri izračunu padavinskega odtoka, ki je količinsko večji od infiltrirane vode pri sušnem odtoku, upoštevati vtok padavinskih voda v omrežje za odpadno padavinsko vodo. Če niso na voljo merjeni podatki, je potrebno pri izračunu dodati 100% povprečnega hišnega in industrijskega odtoka  $Q_{wS24}$ . Padavinski odtok iz prispevnih površin z ločenim odvajanjem odpadnih voda določimo na naslednji način:

$$Q_{rS24} = Q_{wS24} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 25})$$

Za prispevne površine večje od 10 ha je za določitev osnovnih zahtev načrtovanja priporočljivo izvesti meritve padavinskega odtoka.

### ➤ Količina padavinskih voda

Odtok padavinske vode iz celotne prispevne količine je razlika med pretokom mešane odpadne vode  $Q_{CW}$ , ki se steka na čistilno napravo, opoldanskim sušnim odtokom  $Q_{DW24}$  in 24-urno povprečno vrednostjo padavinskega odtoka iz prispevnih površin z ločenim odvajanjem odpadnih voda  $Q_{rS24}$ .

$$Q_{r24} = Q_{CW} - Q_{DW24} - Q_{rS24} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 25})$$

Na prispevnih podpodročjih je padavinski odtok sestavljen iz mešanega odtoka odpadnih voda  $Q_t$ .

$$Q_{r24} = Q_t - Q_{DW24} - Q_{rS24} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 25})$$

$Q_t$  odtok skozi dušilko [ l/s ].

### ➤ Kritični padavinski odtok

Kritični padavinski dotok se določi po naslednjem obrazcu:

$$Q_{krit} = r_{krit} * A_i \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 25})$$

$r_{krit}$  kritična intenziteta padavin v [ l/(s\*ha) ],

$A_i$  sodelujoča nepropustna površina [ ha ],

$Q_{krit}$  kritični dotok [ l/s ].

Smernice ATV-A 128E kot priporočeno vrednost intenzitete  $r_{krit}$  navajajo konstantno vrednost 15 l/(s\*ha).

Z naraščanjem časa toka se pojavi sploščitev vtočnih valov. Posledica tega je zmanjšanje prelivanja padavinskih voda, zmanjšanje skupnega prelivanja in s tem zmanjšanje vnosa onesnažil v odvodnik ali jezero. To predpostavko je potrebno pri dimenzioniranju upoštevati.

Z določitvijo kritične intenzitete padavin za zadrževalne bazene s prelivom za mešane odpadne vode iz urbaniziranih površin ostaja neocenjen vpliv reduciranega časa toka. Reducirani čas toka je upoštevan pri izračunu konstante  $r_{krit}$ .

#### ➤ **Kritični mešani odtok**

Kritični odtok mešanih odpadnih vode je vsota povprečne dnevne vrednosti sušnega odtoka in kritičnega padavinskega odtoka neposredno priključenih prispevnih površin ter tudi pretoki neposredno priključenih iztokov iz razbremenilnih objektov in prelivov iz zadrževalnih bazenov.

$$Q_{krit} = Q_{DW24} + Q_{rkrit} + \sum Q_{t,i} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 26})$$

$Q_{DW24}$  povprečni dnevni sušni odtok iz neposrednih in vmesnih prispevnih površin [ l/s ],

$Q_{rkrit}$  kritični padavinski odtok iz neposrednih in vmesnih prispevnih površin [ l/s ],

$\sum Q_{t,i}$  vsota vseh neposrednih višje ležečih vtokov [ l/s ].

### ➤ Srednji padavinski odtok med prelivanjem

Če delimo količino prelite mešane odpadne vode na enem prelivnem objektu v celem letu s skupnim trajanjem prelivanja, dobimo povprečje prelite odpadne vode za dotični prelivni objekt. Prav tako je pri izračunu srednjega padavinskega odtoka med prelivanjem potrebno upoštevati iztok padavinskih voda  $Q_{r24}$ . Vsota zgoraj opisanih pretokov nam da srednjo vrednost padavinskega odtoka  $Q_{ro}$  med vsemi prelivanji preko leta.

$$Q_{ro} = VQ_o * (T_o * 3,6) + Q_{r24} \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 26})$$

$VQ_o$  vsota iztokov mešane odpadne vode v enem letu [ m<sup>3</sup>/leto ],

$T_o$  in  $h$  skupni čas prelivanja v enem letu [ h ].

Za zadrževalne bazene s prelivom se srednji padavinski odtok med prelivanjem lahko določi z uporabo spodnje enačbe pod pogojem, da je količnik odtoka manjši od 2 l/s/ha:

$$Q_{ro} = a_f * (3,0 * A_i + 3,20 * Q_{r24}). \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 26})$$

$$a_f = 0,50 + \frac{50}{t_f + 100} \quad \text{za } t_f < 30 \text{ min,}$$

$$a_f = 0,885 \quad \text{za } t_f > 30 \text{ min,}$$

$a_f$  redukcija časa toka padavinskega odtoka [ / ],

$t_f$  najdaljši čas toka do zadrževalnega bazena [ min ],

$A_{is}$  neprepustna površina [ ha ],

$Q_{r24}$  del padavinske vode [ l/s ].



### 3.6.3 Padavinska odtočna razmerja

#### ➤ Razmerje sušnega odtoka

Razmerje sušnega odtoka  $q_{DW24}$  je razmerje med srednjim letnim sušnim odtokom  $Q_{DW24}$  in neprepustno površino  $A_{is}$ :

$$q_{DW24} = \frac{Q_{DW24}}{A_{is}}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 26})$$

$Q_{DW24}$  povprečni dnevni sušni odtok iz neposrednih in vmesnih prispevnih površin [ l/s ],

$A_{is}$  neprepustna površina [ ha ].

#### ➤ Razmerje padavinskega odtoka

Količnik odtoka padavinske vode, ki se nanaša na srednje letne vrednosti, je razmerje med odtokom padavinske vode in sodelujoče nepropustne prispevne površine:

$$q_r = \frac{Q_{r24}}{A_i}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 26})$$

$Q_{r24}$  odtok padavinske vode [ l/s ],

$A_i$  sodelujoča neprepustna površina [ ha ].

Pri tem ločimo dva primera, in sicer trenutni količnik odtoka padavinske vode in načrtovani količnik odtoka padavinske vode v prihodnosti.

### 3.6.4 Koncentracija KPK

Za določitev potrebnega zadrževalnega volumna za celotno prispevno površino čistilne naprave moramo poznati koncentracijo KPK sušnega odtoka. Koncentracija KPK je določena na podlagi meritev kot srednja letna vrednost v odpadni vodi, ki vteka na čistilno napravo na

prvo stopnjo čiščenja. Če imamo znane podatke o koncentraciji KPK na iztoku iz prve stopnje čiščenja potem moramo te vrednosti pomnožiti s faktorjem 1,5. Če pa podatkov o koncentraciji KPK nimamo, pa srednjo vrednost KPK določimo na naslednji način:

$$c_{dw} = \frac{Q_d * c_d + Q_c * c_c + Q_i * c_i}{Q_d + Q_c + Q_i + Q_{iw24}}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 27})$$

$c_{dw}$  koncentracija KPK v odpadni vodi [ mg/l ],

$c_d$  koncentracija KPK v odpadni vodi iz gospodinjstev [ mg/l ],

$c_c$  koncentracija KPK v odpadni vodi iz male obrti, pisarn, trgovin [ mg/l ],

$c_i$  koncentracija KPK v odpadni vodi iz velike obrti in industrije [ mg/l ].

Koncentracija  $c$  za sušni odtok ima v sebi že zajeto onesnaženje infiltrirane vode. Če so deli prispevnih površin močnejše onesnaženi, je potrebno pri dimenzioniranju razbremenilnikov in zadrževalnih bazenov kot reprezentativne vrednosti upoštevati višje koncentracije.

### 3.6.5 Povprečno mešalno razmerje prelitih vod

Izraženo kot kvocient povprečnega deževnega odtoka med prelivanjem skupaj z vodami iz ločenega območja in povprečnega dnevnega sušnega odtoka:

$$m = \left( \frac{Q_{ro} + Q_{rS24}}{Q_{DW24}} \right). \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 27})$$

$Q_{ro}$  srednji padavinski pretok med prelivanjem [ l/s ],

$Q_{rS24}$  padavinski pretok iz prispevnih površin z ločenim odvajanjem voda [ l/s ],

$Q_{DW24}$  dnevna srednja vrednost sušnega odtoka [ l/s ].

### 3.7 Določitev potrebnega skupnega zadrževalnega volumna

Za določitev potrebnega zadrževalnega volumna je potrebno upoštevati celotno prispevno površino nad zadnjim razbremenilnim objektom. Vrsto prispevne površine, odtoka, čas odtoka, koncentracijo onesnažil, in karakteristike prispevne površine, potrebne za dimenzioniranje določamo za zadnji razbremenilni objekt.

#### 3.7.1 Določitev dovoljene količine prelivanja

Dovoljena količina prelivanja je odvisna od več različnih parametrov. Najpomembnejši podatek pri dimenzioniranju zadrževalnih bazenov je srednja koncentracija onesnažil v prelivajoči mešani odpadni vodi, ki je odvisna od razmerja med padavinsko vodo in sušnim odtokom. Torej močnejše kot je mešana odpadna voda onesnažena, manjše je dopustno prelivanje, posledica tega pa je večji potreben zadrževalni volumen. Za določitev dovoljene količine prelivanja na celotnem prispevnem območju je potrebno poznati vse podatke ( neprepustne površine, čase toka, srednji padec terena ) za določitev zadnje dušilke, ki celoten dotok dovaja na biološko stopnjo čiščenja čistilne naprave brez nadaljnega prelivanja. Če na čistilno napravo doteka odpadna voda po več kot eni dovodni cevi, je potrebno vsako območje obravnavati ločeno, vendar pa je potrebno zagotoviti, da skupni dotok na čistilno napravo ne presega kapacitete čistilne naprave.

V tem standardu je kot referenčni primer za določitev celotnega potrebnega zadrževalnega volumna definiran z naslednjimi vrednostmi onesnaženja:

$$c_{DW} : c_r : c_{tp} = 600 : 107 : 70 .$$

$c_{DW}$  koncentracija KPK v sušnem odtoku,

$c_r$  koncentracija KPK v padavinski vodi,

$c_{tp}$  koncentracija KPK na iztoku iz čistilne naprave.

Na koncentracijo prelite vode preko razbremenilnih objektov ima vpliv koncentracija onesnaženja v sušnem odtoku, koncentracija onesnaženja v padavinskih vodah, kombinacija onesnaženja sušnega in padavinskega odtoka ter plavajoči delci.

### 3.7.2 Vpliv težkih onesnažil

Kadar je koncentracija KPK 600 mg/l v sušnem odtoku presežena, je potrebno povečati skupni potrebni zadrževalni volumen. To opišemo s preobremenitvenim parametrom  $a_p$ , ki nam opisuje porast koncentracije onesnaženja:

$$a_p = 1 \quad \text{za } c_{DW} < 600 \text{ mg/l,}$$

$$a_p = \frac{c_{DW}}{600} \quad \text{za } c_{DW} > 600 \text{ mg/l,}$$

$c_{DW}$  srednja koncentracija KPK dobljena z meritvami ali na osnovi izračuna.

### 3.7.3 Vpliv letnih padavin

Čas prelivanja tekom leta je odvisen od letnih padavin, torej z naraščanjem padavin se mešana odpadna voda dalj časa preliva neposredno v odvodnik. Ker želimo koncentracijo onesnaženja, ki jo izpuščamo v odvodnik, omejiti v čim bolj ozko območje, nam ta standard podaja matematično odvisnost med koncentracijo onesnaženja in dolgoletnim povprečjem letnih padavin  $h_{pr}$ . Faktor vpliva določimo po naslednjim obrazcu.

$$a_h = \frac{h_{pr}}{800} - 1 \quad \text{za } 600 \leq h_{pr} \leq 1000 \text{ mm,}$$

$$a_h = -0,25 \quad \text{za } 600 < h_{pr} \text{ mm,}$$

$$a_h = +0,25 \quad \text{za } 600 > h_{pr} \text{ mm.}$$

### 3.7.4 Vpliv usedlin

Usedanje lahko pričakujemo predvsem v nočnih urah, ko je pretok odpadne vode po kanalizacijskem omrežju minimalen in hitrosti toka vode padejo pod 0,5 m/s. Manjša kot sta hitrost toka in padec, večja je tendenca usedanja plavajočih delcev. Primes usedlin  $a_a$  je mogoče določiti s pomočjo količnika sušnega odtoka, koeficienta  $x_d$ , ki predstavlja razmerje med srednjim dnevnim sušnim odtokom in dnevno konico sušnega odtoka:

$$x_d = 24 * \frac{Q_{DW24}}{Q_{DWX}}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 29})$$

$Q_{DW24}$  povprečni dnevni sušni odtok [ l/s ],

$Q_{DWX}$  maksimalni dnevni sušni odtok [ l/s ].

Če je mogoče dokazati, da ob dežju padavinska voda odnese usedline, lahko koeficient  $a_a$  zmanjšamo ali pa predpostavimo vrednost nič.

### 3.7.5 Merodajna računsko koncentracija v sušnem odtoku

Pri dimenzioniranju je potrebno upoštevati lokalne razmere, ki so merodajne za določitev koncentracije onesnaženja. Potrebno je upoštevati težka onesnažila, letne padavine in količino usedlin:

$$c_d = 600 * (a_p + a_h + a_a). \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 30})$$

$a_p$  vpliv težkih onesnažil,

$a_h$  vpliv letnih padavin,

$a_a$  vpliv kanalizacijskih usedlin.

### 3.7.6 Teoretična koncentracija onesnaženja prelite vode

Srednjo koncentracijo onesnaženja prelite vode določimo s pomočjo merodajne koncentracije v sušnem odtoku in s srednjim količnikom mešane prelite odpadne vode:

$$c_{cc} = \frac{m * c_r + c_d}{m + 1}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 30})$$

Če so neprepustne površine onesnažene s težkim onesnaženjem višjim od 600 mg/l, potem je potrebno koncentracijo padavinske vode  $c_r$  izračunati po posebnem postopku.

### 3.7.7 Dovoljena mera prelivanja

Dovoljeno mera prelivanja določimo s pomočjo naslednjega obrazca:

$$e_0 = \frac{3700}{c_{c0} - 70}, \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 31})$$

$$c_{c0} = c_{cc},$$

$e_0$  razmerje med količino prelite mešane odpadne vode in vsoto padavinskega odtoka.

Za reke in jezera z mešanim količnikom  $\frac{MLWQ}{Q_{PX}} > 100$  lahko dopustni odstotek prelite vode

povečamo za faktor, ki narašča linearno od 1,0 za  $\frac{MLWQ}{Q_{PX}} = 100$ , do vrednosti 1,2 za

$$\frac{MLWQ}{Q_{PX}} \geq 1000. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 31})$$

$MLWQ$  srednji nizki pretok v jezero ali reko [ l/s ],

$Q_{PX}$  dnevna konica sušnega in industrijskega vtoka na čistilno napravo [ l/s ].

Dovoljena mera prelivanja je teoretična vrednost, ki je izpeljana za referenčni primer s padavinami  $h_{pr} = 800$  mm. Vpliv letnih padavin, ki se razlikujejo od referenčnih padavin, zajamemo s parametrom  $a_h$ . Dejanska mera prelivanja na prispevni površini se bolj ali manj razlikuje v odvisnosti od lokalnih padavinskih razmer.

### 3.8 Potreben skupni zadrževalni volumen

Za zagotovitev dovoljenega odstotka prelitega onesnaženja je potrebno na kanalizacijskem omrežju imeti določen zadrževalni volumen. Specifični zadrževalni volumen je mogoče določiti iz grafa, ki nam podaja količnik odtoka v odvisnosti od specifičnega zadrževalnega volumna. Pri določevanju zadrževalnega volumna iz grafa je potrebno poznati podatek o specifičnem padavinskem odtoku. Potreben zadrževalni volumen v  $m^3$  določimo na naslednji način:

$$V = V_S \cdot A_i \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 32})$$

$V_S$  specifični volumen zadrževalnega bazena [  $m^3/ha$  ],

$A_i$  sodelujoča neprepustna površina [ ha ].

Najmanjši specifični volumen znaša:

$$V_S = 3,60 + 3,84 \cdot q_{r,\min}$$

$q_{r,\min}$  minimalno razmerje padavinskega odtoka [ l/(s\*ha) ].

Zahtevani specifični skupni zadrževalni volumen  $40 m^3/ha$  predstavlja v ekonomskem in obratovalnem smislu zgornjo mejo. Če v izračunu presežemo to mejo, je potrebno za to navesti razloge, še prej pa je potrebno uporabiti vsa možna sredstva za zmanjšanje vnosa

onesnažil v odvodnik ali jezero. Določitev potrebnega skupnega zadrževalnega volumna pri padavinskem odtoku večjim od  $2 \text{ l/(s*ha)}$  poteka iterativno po kontrolni metodi po naslednjem postopku:

- določitev primerne onesnaženja padavinske vode,
- določitev srednje koncentracije padavinskih voda  $c_r$  iz 600 mg/l KPK letnega onesnaženja in učinkovitih padavin,
- prva presoja potrebnega skupnega zadrževalnega volumna,
- določitev srednjega padavinskega pretoka med prelivanjem  $Q_{ro}$  in količnika prelite mešane odpadne vode  $m$ ,
- določitev teoretične koncentracije onesnaženja prelite vode  $c_{cc}$ , brez upoštevanja vpliva letnih padavin ( $a_h = 0$ ),
- določitev dovoljenega odstotka prelite odpadne vode  $e_o$  z upoštevanjem zgornje meje teoretičnega onesnaženja padavinske vode  $c_r$ ,
- primerjava dejanskega teoretičnega odstotka prelivanja in dovoljenega odstotka prelivanja; če je potrebo izvedemo iterativni postopek za določitev potrebnega skupnega zadrževalnega volumna, dokler se obe vrednosti ne ujemata.

### 3.9 Sodelujoči zadrževalni volumen

Pri poenostavljeni metodi določevanja zadrževalnih volumnov lahko k skupnemu zadrževalnemu volumnu štejemo:

- zadrževalne bazene deževnih voda dimenzionirane na  $1,2 q_r$ . Pri objektih takšnih razsežnosti so manjši negativni vplivi dopustni in ni potrebno dokazovati ustreznosti s pomočjo kontrolnega postopka,



- zadrževalno sposobnost bazenov na čistilni napravi,
- dodatni zadrževalni volumen, ki se aktivira s pomočjo pragov ali zapornic,
- zadrževalna sposobnost kanalizacijskega omrežja ( statični kanalski volumen ) do višine najnižjega prelivnega roba, zmanjšan za teoretično vrednost 1,5. Zadrževalno sposobnost določimo s pomočjo naslednjega obrazca:

$$V_s = \frac{(V_{stat} / A_{is})}{1,5}. \quad (\text{Povzeto po ATV-A 128E 1992, 33})$$

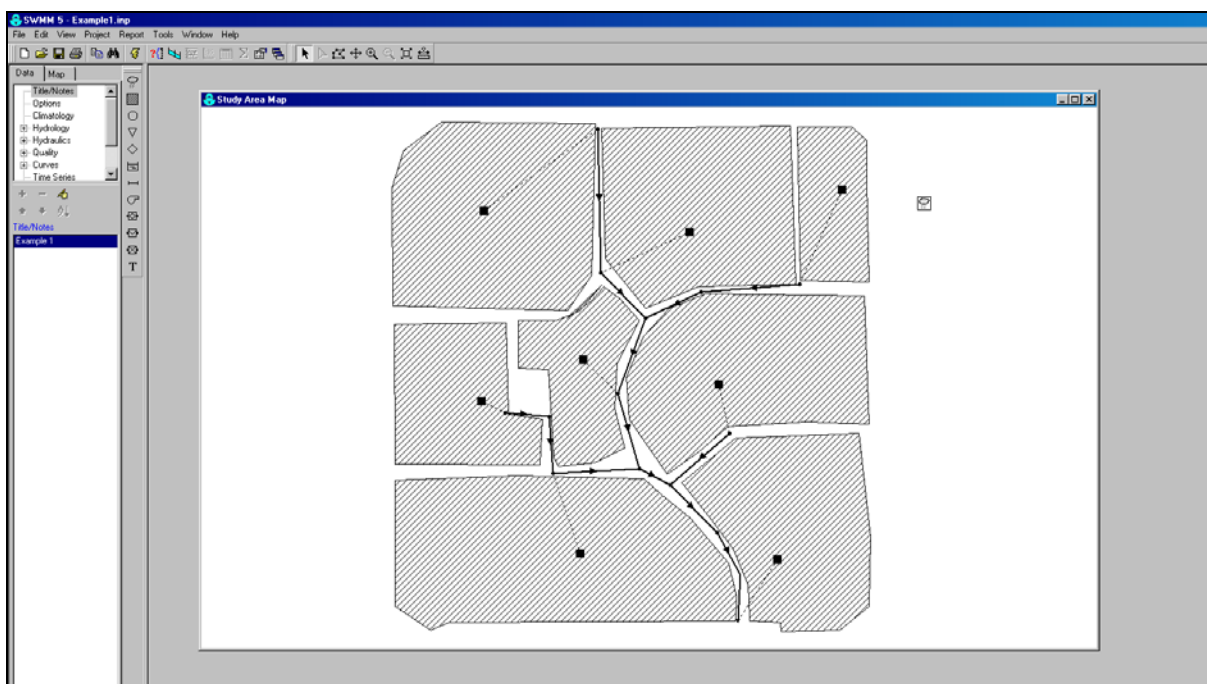
$V_{stat}$             statični kanalski zadrževalni volumen [ m<sup>3</sup> ] pri premerih cevi DN 800 ali več,

$A_{is}$             neprepustna površina sodelujočih prispevnih območij [ha].

Pri kontrolnem postopku so vključeni vsi zadrževalni volumni, ne zmanjšani, ampak dejanski razpoložljivi volumni.

## 4 PROGRAM SWMM<sup>7</sup>

Pri izdelavi diplomskega dela sem za hidravlični izračun uporabil program Storm Water Manegment Model ( SWMM ), ki so ga v ZDA razvili leta 1971 pri Agenciji za zaščito okolja ( United States Environmental Protetcion Agency ) na Oddelku za zaščito voda in vodnih virov ( Water Supply and Water Resources Agency ) v sodelovanju s podjetjem CDM. Program je bil nato mnogokrat posodobljen, leta 2002 pa je bil program SWMM izdan v takšni obliki, kot ga poznamo danes. Najnovejša verzija programa je SWMM 5.0.014, vendar jo še vedno izboljšujejo in redno posodablajo.



Slika 8: Grafični vmesnik programa SWMM 5.0.014

Program SWMM je dinamični simulacijski model padavinskega odtoka. SWMM je v splošnem sestavljen iz hidrološkega in hidravličnega modula. Hidrološki model simulira padavinski odtok s prispevnih površin, medtem ko je hidravlični model namenjen simulaciji dinamičnega dogajanja na omrežju. Simulacija kvantitativnega in kvalitativnega odtoka je

<sup>7</sup> Poglavlje je povzeto po: Rossman 2008.

možna tako za enkratne padavinske dogodke kot tudi za daljše padavinske dogodke, kjer simulacija poteka od začetka padavin, ko prispevna območja sprejemajo padavine, pa do iztoka vode iz kanalskega sistema ali odprtega kanala.

Hidravlični izračun je mogoče izvesti po enačbah stalnega toka ali enačbah nestalnega, dinamičnega toka oz. t.i. Saint Venant-ovih enačbah, kar nam omogoča simulacijo preplavitev, povratnega toka, toka izpod zapornic, zankastih povezav ter toka pod pritiskom. Podatke lahko vnašamo na dva načina. Prvi način je vnašanje podatkov preko uporabniškega vmesnika programa SWMM ali pa s pomočjo programa Beležnica ( \*.txt datoteka ). Izhodne rezultate si lahko ogledamo na več načinov in v različnih oblikah. Program nam podaja rezultate v obliki tekstovnih poročil, grafov, preglednic, omogoča izris vzdolžnih profilov, izračuna statistiko, itd.

Pri računu in simulaciji hidroloških in hidravličnih procesov je mogoče upoštevati izhlapevanje stoječih površinskih voda ( evaporacija ), akumulacijo in taljenje snega, infiltracijo padavin v prepustno nenasičeno zemljino, vpliv podtalnice na kanalski sistem, vpliv depresij, precejanje infiltrirane vode, površinski odtok, odtok med vozlišči kanalskega sistema, transport in akumulacijo vode po ceveh, koritnicah, bazenih, razbremenilnikih, črpališčih, prelivih in izlivih. Prav tako je pri simulaciji možno upoštevati kvantitativne procese, kot so transport onesnažil, sedimentacija in transport usedlin, razmerje onesnažil v deževnih in odpadnih vodah, splakovanje onesnažil iz prispevnih območij med in po njem, vtok komunalne vode in zunanjih pritokov v katerikoli točki sistema, zmanjšanje koncentracije onesnažil zaradi samočistilne sposobnosti biofilma v kanalskih ceveh ( predvsem pri betonskih ceveh ) ter zmanjšanje koncentracije onesnažil zaradi čiščenja v bazenih. Program SWMM uporabljamo za projektiranje in dimenzioniranje kanalizacijskih sistemov, za hidravlični preračun že obstoječih omrežij, za kontrolo poplavne varnosti in učinke posegov na obstoječem kanalskem sistemu.

SWMM je sestavljen iz štirih programskih delov, ki so med seboj povezani in z njimi lahko opišemo dogajanje na prispevnih površinah in v kanalizacijskem sistemu. Prvi blok se imenuje atmosferski blok in je namenjen simuliranju padavin in odlaganju onesnažil na prispevno območje. Padavinski blok je povezan s površinskim, saj le-temu kot rezultat oddaja padavine, nadalje pa je površinski blok povezan s transportnim in podzemnim blokom.

Podzemni blok od površinskega bloka sprejema padavine preko pronicanja padavin. Transportni blok pa sprejema rezultate površinskega bloka v obliki površinskega odtoka z onesnažili in od podzemnega bloka v obliki podtalnice. K transportnemu bloku moramo prišteti še sušni odtok. S transportnim blokom simuliramo odtok in transport onesnažil po kanalskem sistemu do končne točke.

V projektu so lahko vsebovani vsi bloki, ki nam jih ponuja ta programska oprema, vendar pa je možno v projektu uporabiti le en modul. Kadar uporabljamo le en modul, je to običajno transportni modul.

## **4.1 Vizualni objekti**

»Vizualni objekti so fizični elementi kanalskega sistema, ki so /.../ prikazani v delovnem oknu /.../ uporabniškega grafičnega vmesnika programa SWMM« ( Rep 2007, 6 ). SWMM nam ponuja naslednje vizualne objekte: padavine, prispevna območja, vozlišča, iztočna mesta, razbremenilniki, akumulacijski bazeni, kanali, črpališča, regulatorji pretoka, prelive ter standardne in nestandardne odprtine.

### **4.1.1 Padavine**

Podatke o padavinah vnašamo preko uporabniškega vmesnika za eno ali več prispevnih območij. Vnašamo jih pod zavihkom hidrologija »Hydrology« in sicer pod skupino padavinski podatki »Rain Gages«. Padavine podamo kot tabelo ali kot zunanjo padavinsko datoteko.

#### 4.1.2 Prispevna območja

Prispevna območja uporabimo, kadar dimenzioniramo mešano kanalizacijsko omrežje. »Topografija prispevnega območja usmerja površinski odtok k iztočni točki, ki jo določi uporabnik. Takšna točka je lahko vozliščni objekt /.../ ali drugo prispevno območje. Prispevno območje lahko razdelimo na prepustno in neprepustno podobmočje« ( Rep 2007, 7 ). Pronicanje padavin skozi propustno nenasičeno zemljino lahko določimo po eni izmed naslednjih metod, in sicer Horton-u, Green-Ampt-u ali po metodi SCS krivulje. S programom je možno določiti tudi vnos onesnažil na območje, vtok podtalnice v jaške ali druge vozliščne objekte na kanalizacijskem sistemu ter parametre padavin, ki opisujejo kopičenje, taljenje in porazdelitev snežnih padavin.

Poleg teh podatkov so za izračun potrebni še podatki o trajanju in količini padavin, vhodna in izhodna mesta, površina prispevnega območja, padec, raba, širina prispevnega območja, delež neprepustnih in prepustnih površin in njihove površine. Prav tako je potrebno podati vrednosti za Manning-ov koeficient hrapavosti, vrsto zemljine in koncentracije glavnih onesnažil. Te vrednosti so podane v priročniku za uporabo programa SWMM.

#### 4.1.3 Vozlišča

Vozlišča so osnovni sestavni del kanalizacijskih sistemov in služijo za združevanje dveh ali več kanalskih cevi oz. odprtih kanalov. V vozlišča priključujemo tudi hišne priključke, priključke za padavinsko vodo in vtok podtalnice. Vtok v kanalski sistem je možno podati tudi preko podatkovne datoteke.

Ko v programu definiram vozlišče, moramo podati naslednje vhodne podatke, in sicer koordinate, koto dna, koto terena oz. globino jaška, začetno višino vode v spoju in količino vtoka vode ali ime datoteke s podatki o količini vtoka.

#### 4.1.4 Iztočna mesta

»Iztočna mesta so končna vozlišča kanalizacijskega sistema in definirajo dolvodni oz. končni robni pogoj dinamičnega toka« ( Rep 2007, 8 ). Kot iztočno mesto smatramo vtok na čistilno napravo ali pa izliv v odvodnik.

Robni pogoj definiramo na podlagi ene izmed definicij, in sicer na podlagi stalne kote, ali z valovito višino v odvodniku ali na čistilni napravi, ali s spremenljivo višino v odvodniku ali na čistilni napravi podano v tabeli višin v odvisnosti od časa, ali s pomočjo kritične ali normalne globine v obravnavani cevi.

Pri iztočnih mestih moramo definirati položaj le-tega, koto dna, količino vtoka, vrsto povratne zapore in robni pogoj ter pripadajoče parametre.

#### 4.1.5 Razbremenilniki

Razbremenilniki so vozlišča kanalskega sistema, ki določeno količino vode v sistemu odvedejo v zadrževalni baze, v drugo cev ali neposredno iz sistema. Glavni vhodni podatki so ime razbremenilnika, izbira metode za izračun prelivajoče količine vode in parametri razbremenilnega spoja. »razbremenilna vozlišča so aktivna le pri toku s kinematičnim valom, v /.../ nasprotnem primeru pa se obnašajo kot vozliščni spoji« ( Rep 2007, 9 ).

#### 4.1.6 Akumulacijski bazeni

Akumulacije služijo za zadrževanje odpadne vode in so zelo različnih razsežnosti oziroma velikosti. Prav tako opravljajo funkcijo čiščenja, zato jih lahko okarakteriziramo kot čistilne bazene. Glavni vhodni podatki so izbira metode za izračun prostornine, parametri akumulacijskega bazen in faktor izhlapevanja.

#### **4.1.7 Kanali**

Kanale lahko opišemo kot cev ali kot odprto korito. Kanali služijo za odvajanje vode in njej vsebovanih onesnažil iz enega vozlišča v naslednje dolvodno vozlišče. Program nam ponuja 21 standardnih prečnih prerezov z že vgrajenimi krivuljami površin in pretoka v odvisnosti od polnitve kanala. Omogočeno je definiranje poljubnega prečnega prereza, vendar pa je potrebno definirati parametre oblike.

Vsaki cevi je potrebno podati ime, ime vtočnega in iztočnega vozlišča, obliko prečnega prereza, dolžino, koeficient hrapavosti, višino vtoka in višino iztoka, pretok v kanalu in energijske izgube na vtoku in iztoku iz kanala.

#### **4.1.8 Črpališča**

Črpališč se poslužujemo na mestih, kjer gravitacijski odtok odpadne vode ni možen. Zato s pomočjo črpalk odpadno vodo dvignemo na ustrezno višino. Program SWMM nam ponuja štiri tipe črpalk, ki so definirane na osnovi črpalnih krivulj in podajajo zvezo med pretokom in pogojem na vtočnem in iztočnem mestu.

Pri črpališču je potrebno določiti ime vtočnega in iztočnega vozlišča, izbrati tip črpalne krivulje in določiti pripadajoče parametre ter definirati začetno stanje.

#### **4.1.9 Regulatorji pretoka**

Regulatorje pretoka vgrajujemo v kanalizacijsko omrežje z namenom nadzora oz. reguliranjem iztoka iz akumulacije, ali uravnavanja pretoka, ali za preprečevanje prenapoljenosti objekta. S temi objekti modeliramo iztoke in razbremenilne objekte v kanalizacijskem sistemu.

Program nam ponuja tri vrste regulatorjev pretoka, in sicer prelive, standardne odprtine in nestandardne odprtine. Pri prelivu moramo podati obliko in geometrijo, ime vtočnih in iztočnih vozlišč, višino krone preliva, koeficient preliva podan v priročniku SWMM ( Rossman 2008 ) ter morebitno povratno zaporo. Pri standardnih odprtinah določamo ime vtočnih in iztočnih vozlišč, tip in obliko odprtine, višino krone odprtine, koeficient prelivanja ter povratno zaporo.

## **4.2 Nevizualni objekti**

### **4.2.1 Podnebje**

Podnebje nam podaja oz. opisuje vremenske parametre, kot so temperatura, izhlapevanje, hitrost vetra, taljenje snega, površinska redukcija in snežni parametri.

Podatke o temperaturi definiramo predvsem, kadar imamo opravka s padavinami v obliki snega. Podatke lahko v program vnesemo ročno v tabelo preko uporabniškega vmesnika ali pa preko podatkovne datoteke. V tej podatkovni datoteki so podani tudi podatki o izhlapevanju in hitrosti vetra.

Izhlapevanje moramo upoštevati, kadar imamo odprte kanale, stoječe vode na prispevnem območju ter v primeru odprtih akumulacijskih objektov. Izhlapevanje je mogoče določiti oz. podati na več načinov, in sicer s konstantno vrednostjo, s časovno definirano datoteko, z dnevnimi vrednostmi podanimi v datoteki ali na podlagi mesečnih srednjih vrednosti.

Podatke o hitrosti vetra lahko tako kot pri temperaturi vnašamo v tabelo preko grafičnega vmesnika ali pa preko podatkovne datoteke. Hitrost vetra potrebujemo, kadar imamo padavine podane kot sneg, saj veter vpliva na taljenje snega.

Parametri, ki vplivajo na taljenje snega, so nadmorska višina, zemljepisna širina in korekcija le-te, temperatura zraka ob padavinah, ko sneg pade na prispevno površino in koeficient spremembe temperature snežne odeje.



Površinska redukcija je proces, pri katerem se zmanjšuje površina snežne odeje, ki prekriva prispevno površino. »Ta proces je opisan s krivuljo, ki definira zvezo med površino, ki je prekrita s snegom, ter mero relativne globine (kvocient med trenutno debelino snežne odeje in globino do kote, kjer je prekritost površine s snegom 100%)« ( Rep 2007, 15 ). Podatke je potrebno vnesti posebej za prepustno in neprepustno površino.

Parametre, ki opisujejo taljenje snežne odeje, je možno vnašati za tri različna podobmočja prispevne površine. Prvo podobmočje so neprepustne površine, kje je možno odstranjevanje snega s pluzenjem ( parkirišča, ceste, dovozne poti ), drugo podobmočje so površine, ki so prekrute s snegom, tretje podobmočje pa propustne površine. Vnašamo parametre, kot so najmanjši in največji koeficient taljenja, višina začetne snežne plasti, začetna in največja vrednost proste vode med razpokami in v porah snežne odeje, najnižja temperatura, pri kateri se prične taljenje snega, delež neprepustnih površin, ki se pluzijo, in podatek o višini snega nad snežno, odejo ki predstavlja 100% prekritost prispevne površine. Dodatno je mogoče določiti parametre o pluzenju oz. višino snežne odeje, pri kateri se prične pluzenje, ter odstotek snega, ki je prestavljen na ostala podobmočja.

#### **4.2.2 Prečni prerezi**

S funkcijo prečni prerezi opisujemo poljubne oblike kanala. Potrebno je podati stacionažo in višinsko koto. Program omogoča tudi določitev leve in desne brežine ( poplavno območje ) ter glavno strugo, ki lahko imajo različne vrednosti Manning-ovih koeficientov.

#### **4.2.3 Podzemni objekti**

Podzemni objekti opisujejo vertikalni transport vode ( pronicanje ), ter vdiranje tuje vode v kanalski sistem in iz njega. Podzemni objekti so pravzaprav podzemni vodonosniki, ki se napajajo s pronicanjem vode iz prispevnih površin nad vodonosnikom. To funkcijo uporabljamo predvsem tam, kjer določamo izmenjevanje vode med kanalskim sistemom in

vodonosnikom, ali pa če želimo v rečnih koritih povečati pretok s pomočjo podtalnice. En vodonosnik lahko povežemo z več prispevnimi površinami, vodonosnik pa je sestavljen iz zgornjega nenasičenega sloja in spodnjega nasičenega sloja. Ob definiranju podzemnega objekta moramo podati poroznost, hidravlično prepustnost, koto dna, vlažnost nenasičenega sloja, procent pronicanja iz zemljine v podzemni vodonosnik in globino, do katere še poteka proces izhlapevanja.

#### **4.2.4 Zunanji vtoki**

V kanalizacijski sistem lahko na mestih, kjer so vozlišča ( jaški, iztoki, razbremenilniki, akumulacije ), poleg podtalnice in površinske vode vtekajo tudi direktni vtoki. Med direktne vtoke prištevamo direktni vtok, sušni vtok in vtok odvisen od padavin, ki je podan kot hidrogram.

#### **4.2.5 Kontrolni stavki**

S kontrolnimi stavki nam je omogočeno definiranje delovanja regulatorjev pretoka ali črpališč. Z njimi definiramo pretok preko regulatorjev pretoka ali obratovanje črpalk glede na čas, gladino vode v črpališču ali cevi ter v odvisnosti od pretoka skozi določeno cev.

#### **4.2.6 Onesnažila, raba območja in čiščenje**

Podatke o onesnaženju je mogoče v program vnašati neposredno preko uporabniškega vmesnika pri sušnem odtoku ali pa s podatkovno datoteko. Omogočena je simulacija nastanka, odtok in transport onesnažil. Količina onesnažil in njihovo spiranje je odvisno od rabe območja, ki nam definira lastnosti prispevne površine.

Za vsako prispevno področje lahko definiramo, glede na rabo področja, odlaganje onesnažil na površinah, spiranje onesnažil s površin in spiranje onesnažil iz povoznih površin. Količina odloženih oz. nakopičenih onesnažil je odvisna od števila dni brez dežja, ob dežju nastopi spiranje le teh.

Čiščenje se definira s pomočjo matematičnega izraza oz. funkcijo, ki ima pripono C ( koncentracija onesnaženja v odpadni vodi po iztoku iz vozlišča ) ali R ( odstranjeni delež onesnažila ), kjer stopnjo čiščenja določi uporabnik. Funkcijo čiščenja je možno definirati za poljubno vozlišče.

#### **4.2.7 Krivulje, časovno odvisne tabele in časovni vzorci**

S krivuljami podamo odvisnost med dvema količinama, krivulje pa v programu podamo s pomočjo tabel preko grafičnega vmesnika. Program SWMM nam ponuja šest tipov krivulj. Razbremenilna krivulja podaja odvisnost razbremenjenega pretoka v odvisnosti od celotnega pretoka v razbremenilniku, akumulacijska krivulja podaja površino akumulacije proti njeni globini, krivulja plimovanja podaja gladino vode v odvisnosti od časa, črpalna krivulja podaja količino črpanja v odvisnosti od kote gladine oz. globine, višinska krivulja podaja pretok skozi iztočni kanal v odvisnosti od višinske razlike gladin preko nestandardne odprtine in kontrolna krivulja določa spreminjanje pretoka kot funkcijo neke spremenljivke, ki je določena s kontrolnim stavkom.

S časovno odvisnimi tabelami definiramo nekatere spremenljivke, ki so funkcije časa, kjer je možno določiti čas kot čas simulacije ali pa kot uro dneva, ko se simulacija prične. Z njimi opisujemo temperaturo, izhlapevanje, padavine, gladino vode na iztoku, kontrolne nastavitve, hidrograme vtokov in polutograme na zunanjem vtoku.

Časovni vzorci opisujejo spreminjanje nekega parametra s faktorji skozi različne časovne intervale ( dan, teden, mesec ). Primer časovno odvisnega vzorca so padavine, pri katerih se s časom spreminja intenziteta. Padavine definiramo tako, da vzamemo neko povprečno vrednost, nato za vsako časovno enoto posebej določimo delež povprečne vrednosti ( faktor ), nato pa povprečne padavine v vsaki časovni enoti pomnožimo s pripadajočim faktorjem.

## 4.3 Računske metode

»SWMM je časovno odvisni simulacijski model /.../« ( Rep 2007, 21 ), ki temelji na uporabi načela o ohranitvi mase, energije in gibalne količine. Izračun površinskega odtoka, podpovršinskega odtoka, taljenja snega, transporta vode in onesnažil, infiltracije ter površinsko zbiranje vode temelji na različnih metodah kvalitativnega in količinskega odtoka.

### 4.3.1 Transport vode in onesnažil po kanalizacijskem sistemu

Transport je možno v programu SWMM določiti na tri različne načine oz. vrste toka, in sicer s pomočjo enačb dinamičnega toka, z enačbami kinematičnega toka in s pomočjo stalnega toka.

Za izračun odtoka na podlagi dinamične metode program uporablja Saint-Venant-ove enačbe enodimenzijskega nestalnega neenakomernega toka. Te enačbe so sestavljene iz momentne enačbe za kanale in kontinuitetne enačbe, rešujejo pa se s pomočjo Picard-ove iteracije. Izgube zaradi trenja program izračuna iz Manning-ove enačbe. Pri reševanju transporta vode med kanalom in vozliščem program uporablja dodatno kontinuitetno enačbo, ki povezuje več kanalov in predvideva zvezno gladino v kanalu in voliščih. S pomočjo enačb dinamičnega toka lahko simuliramo tok pod tlakom, dinamični tok, tok izpod zapornic, skozi razbremenilnike, bazene, odprtine, črpališča in preko prelivov. Ta metoda nam da najbolj zanesljive in točne rezultate, pri računu pa uporabljamo časovne korake krajšega trajanja.

Pri računu transporta odpadne vode po kanalskem sistemu s pomočjo enačb kinematičnega vala so uporabljena poenostavljena enačba gibalne količine. Predpostavljeno je, da je padec gladine vode enak padcu dna kanala, ter da je maksimalni pretok, določen po Manning-ovi enačbo, pri polni cevi. Pri tej računski metodi ni mogoče simulirati toka pod tlakom, povratnega toka, kot tudi ne vozlišč na katere je vezano več cevi. Model se obnaša stabilno, če je izbrani časovni korak nekje med 5 do 15 minut. Računska metoda je uporabna, kadar pri

hidravličnem preračunu ne potrebujemo krajših časovnih korakov, zato pa je zelo učinkovita predvsem pri dolgoročnih simulacijah.

Najenostavnejša metoda v programu SWMM je metoda stalnega toka, ki predpostavlja, da je tok ves čas stalen in enakomeren. Pri računu s to metodo se gorvodni hidrograf prenese iz gorvodnega iztoka v dolvodni vtok brez spremembe oblike, prav tako pa ni upoštevano zadrževanje. Pri tej metodi so možne le simulacije stalnega enakomernega toka, vendar še to le pri sistemih, ki imajo v vozlišču le en vtok in iztok.

Za ostale objekte, kot so črpališča, akumulacije, prelive in odprtine, ki so definirani kot povezava med dvema vozliščema, so pri hidravličnem preračunu s programom SWMM uporabljene bolj enostavne enačbe, ki opisujejo tok skozi tako vozlišče kot funkcijo gladine vode na koncu povezave.

Obnašanje SWMM modela pri transportu onesnažil deluje celotni sistem kot popolnoma premešan pretočni reaktor. Na transport onesnažil vplivajo tudi akumulacije, medtem ko je pri ostalih vozliščnih elementih koncentracija onesnažil na vtoku in iztoku enaka. Osnovna enačba za transport onesnažil je enačba popolnoma premešanega pretočnega reaktorja.

#### **4.3.2 Površinski odtok in površinsko akumuliranje**

Model SWMM obravnava vsako prispevno površino kot rezervoar, katerega pritoki oz. vtoki so padavine in površinski odtok iz prispevnih površin nad obravnavano prispevno površino, iztoki pa so površinski odtok, pronicanje in izhlapevanje. »Kapaciteta« rezervoarja je največji možni depresijski volumen. Površinski odtok na enoto površine  $Q'$  se prične takrat, ko je višina  $h$  v »rezervoarju« večja od največje možne depresijske višine  $h_d$  ( Rep 2007, 21 ). Na osnovi enačbe vodne bilance program nenehno preračunava višino vode  $h$  nad prispevnim območjem.

Kadar so pretoki preveliki in jih kanalizacijsko omrežje ni zmožno odvajati, se voda prične akumulirati na terenu. SWMM omogoča možnost skladiščenja presežne vode in kasnejše vodenje vode v kanalizacijsko omrežje. »Pri uporabi kinematičnega vala in stalnega toka je

presežna količina vode skladiščena kot odvečni volumen. Pri uporabi dinamičnega vala pa SWMM predvideva skladiščenje presežne vode na uporabniško določeni površini nad jaškom« ( Rep 2007, 31 ). Kot skladiščni prostor presežne vode se pri kanalih uporabljajo parkirišča, možno je tudi odvajanje vode po cesti do naslednjega vozliščnega objekta na kanalskem sistemu, medtem ko se pri odprtih kanalih izkoriščajo travniki, poplavna območja ali lokalne depresije.

### 4.3.3 Pronicanje in podpovršinski tok

Pronicanje lahko izračunamo s pomočjo ene izmed naslednjih metod:

- SCS metod
- Horton-ova metoda
- Green-Ampt-ova metoda.

SCS ( Soil Conservation Service ) je metoda, ki so jo za izračun precejanja padavinske vode skozi prepustno nenasičeno površje razvili Williams, Ouyang in Chen. Pri izračunu pronicanja moramo upoštevati retenzijski parameter, koeficient odvisen od rabe območja, efektivne padavine, padavine in mero infiltracije.

Horton-ova enačba je bila razvita na podlagi opazovanj in izkušenj, pri določanju pronicanja pa moramo upoštevati mero infiltracije, minimalno mero infiltracije pri času neskončno, maksimalno infiltracijo pri času nič, Horton-ovo konstanto in čas od začetka naliva.

Pri Green-Ampt-ovi metodi je predpostavljeno, da je meja med zgornjo nasičeno ( zaradi infiltracije ) zemljino in spodnjo zemljino s poljubno vlažnostjo opisana z ravno črto. Metoda predvideva dve stopnji, prva stopnja predstavlja čas, ko zgornja plast še ni nasičena, druga stopnja pa se prične, ko se zgornja plast nasiči s padavinsko vodo. Za vsako stopnjo program uporablja različno enačbo, pri vsaki pa je potrebno upoštevati mero infiltracije, intenziteto padavin, skupno količino infiltracije, količino infiltrirane vode, ki povzroči zasičenost, saturirano in začetno vlažnost površinske zemljine, saturirano hidravlično prevodnost in povprečni kapilarni srk na meji med nenasičeno in nasičeno površinsko zemljino.

#### **4.3.4 Podpovršinski tok**

V program je vgrajena enačba za vodoravni podzemni tok vode, v kateri je potrebno upoštevati koto gladine podtalnice, koto gladine vode v obravnavanem vozlišču, koto dna podzemnega vodonosnika in koeficiente, ki določajo mero pretoka med vodonosnikom in obravnavanim vozliščem.

#### **4.3.5 Taljenje snega**

Odtok pri taljenju snega je običajno majhen, bolj problematična so onesnažila, ki se nakopičijo v snežni odeji, kar povzroči velik odtok onesnažil. SWMM predvideva dve situaciji, in sicer taljenje snega z dežjem in taljenje snega brez dežja.

V enačbi, kjer je potrebno upoštevati dež, je poleg intenzitete naliva potrebno upoštevati tudi temperaturo zraka, povprečni zračni pritisk, pritisk zasičenega zraka in povprečno hitrost vetra.

V enačbi, v kateri padavine niso, zajete pa je potrebno upoštevati vpliv temperature zraka, temperaturo zraka, pri kateri se prične taljenje snega, in koeficient taljenja snega.

#### **4.3.6 Izhodni podatki**

Rezultate hidravličnega preračuna si lahko ogledamo v več oblikah, in sicer v obliki poročil, časovno odvisnih preglednic, statistik ali pa v obliki grafov, situacij in vzdolžnih profilov.

V tekstovnih poročilih so prikazani:

- vhodni podatki,
- čas računa simulacije,
- napake,

- kontrolni stavki,
- kvantitativni in kvalitativni odtok,
- rezultati za vsako prispevno območje.

V časovno odvisnih preglednicah si lahko ogledamo:

- za prispevna območja padavine, površinski odtok, izgube, pretok podtalnice v KS, višina snežne odeje, koncentracija spranih onesnažil, kota podtalnice,
- za kanale pretok, hitrost toka, maksimalna hitrost toka, srednja globina vode, kapaciteta polnitve, koncentracija onesnažil, Froud-ovo število,
- za vozlišča so izpisani podatki o globini vode, kota gladine vode, volumen akumulacije, lokalni vtoki, skupna količina vtokov, površinsko skladiščenje vode, koncentracija onesnažil po morebitnem čiščenju,
- možen je tudi ogled podatkov o temperaturi v sistemu, vsoti padavin, višini snežne odeje, srednje izgube, skupni odtok, skupni sušni odtok, direktni in zunanji vtok, skupni vtok podtalnice, skupno površinsko skladiščenje in skupna prostornina akumulacij.

Vse zgoraj opisane podatke si lahko ogledamo tudi v obliki časovno odvisnih grafov ali grafov, ki prikazujejo lastnost nekega elementa v odvisnosti od poljubne lastnosti drugega elementa. Za kanale je možen izris vzdolžnih profilov za vsak računski korak, možno pa si je ogledati tudi animacijo toka vode po izbranem kanalu. Določene grafe si je možno ogledati tudi v situaciji. Tako kot pri kanalih tudi tukaj obstaja možnost ogleda animacije. Program dopušča tudi izvoz situacije v dxf<sup>8</sup> datoteko, ki jo lahko nato dalje oblikujemo v programskem orodju ACAD.

S pomočjo funkcije »Query« nam program SWMM omogoča filtriranje podatkov, na primer izpiše in barvno označi v situaciji kanale, v kateri je minimalna hitrost toka vode manjša od minimalno dopustne hitrosti toka vode.

Izhodne podatke si je možno ogledati tudi v statističnem poročilu, kjer je za izbrani element izračunana statistika ( minimum, maksimum, povprečje ) in statistika za celoten niz dogodkov

---

<sup>8</sup> Drawing Exchange Format



( minimum, maksimum, povprečje, standardna deviacija, odklonski koeficient, frekvenca dogodkov ).

## 5 KANALIZACIJSKI SISTEM ŠALEŠKE DOLINE<sup>9</sup>

Kanalski sistem Velenje-Šoštanj so začeli graditi leta 1963<sup>10</sup>, do leta 1971 je bilo obdobje gradnje sekundarne in meteorne kanalizacije, od leta 1971 do 1987 je sledila izgradnja primarne kanalizacije, do leta 1989 je bil v štirih fazah izgradnje kolektor, ki je povezal Velenjsko omrežje s Šoštanjskim kanalskim omrežjem. Od 1989 so bil izgrajene mala čistilna naprava Kavče ( zgrajena 1991 ) in Podkraj ( zgrajena 1989, leta 2007 ukinjena MKČN in zgrajeno črpališče ) ter Centralna čistilna naprava ( zgrajena 1990 ), ki pa se je leta 2006 z 2. fazo dokončala. Nato so se gradila še razna črpališča, razbremenilniki in priključki na čistilne naprave.



Slika 9: Shema kanalizacijskega sistema Velenje-Šoštanj

<sup>9</sup> Povzeto po dokumentih KP V

<sup>10</sup> Povzeto po dokumentih sektorja odvajanja in čiščenja odplak,

Kanalizacijski sistem Šaleške doline je danes sestavljen iz štirih ločenih kanalskih sistemov, ki se zaključijo na čistilni napravi. Ti sistemi so:

- centralni kanalizacijski sistem Velenje-Šoštanj s Centralno čistilno napravo Šaleške doline s kapaciteto 50.000 PE,
- kanalizacijski sistem Šmartno ob Paki, ki se zaključi z malo komunalno čistilno napravo Šmartno ob Paki s kapaciteto 1.500 PE,
- kanalizacijski sistem Kavče, ki se zaključi na mali komunalni čistilni napravi Kavče s kapaciteto 350 PE,
- kanalizacijski sistem Andraž, ki se zaključi na mali komunalni čistilni napravi Andraž s kapaciteto 100 PE.

Kanalizacijski sistem Velenje-Šoštanj je mešanega značaja, kar pomeni, da se v sušnem obdobju vanj steka vsa odpadna vode, medtem ko je med padavinami večina pretoka padavinskega značaja. Kanalski sistemi, ki so priključeni na male komunalne čistilne naprave pa so ločeni kanalski sistemi in ne služijo za odvod padavinske vode zato niso del diplomskega dela.

## 5.1 Povodje Šaleške doline

V splošnem je mreža vodotokov v Šaleški dolini zelo razvejana in gosta. Praktično vsi vodotoki se izlivajo v reko Pako, ki izvira pod vrhom Volovica. Srednji letni pretok v Šoštanju znaša  $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ( Perko in sod. 1999 ), najmanjši pretok pa  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Najvišji pretok se pojavi spomladi, saj je Paka hudourniška reka s snežno-dežnim režimom, najnižji pretok pa je v mesecu avgustu. Paka je dolga 40 km in je levi pritok Savinje. Značilnost povodja Pake je, da so levi pritoki kratki ( Trebušnica, Jablanski graben, itd. ), desni pritoki pa dolgi ( Velunja, Lepena, itd. ).

Problematična so tudi umetna jezera, ki so nastala kot posledica rudarjenja na področju Šaleške doline. Posledica rudarjenja pa je bila tudi prekinitev vodotokov, ki sedaj vtekajo v

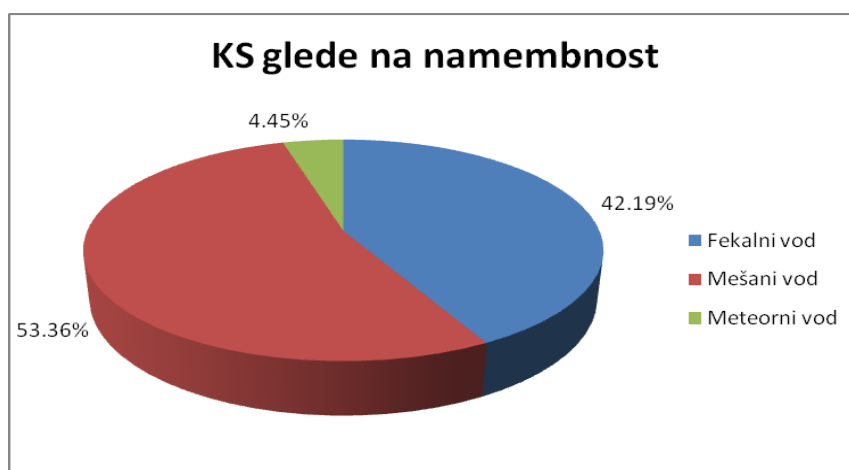
jezera. Nastala so tri jezera, in sicer Škalsko, Velenjsko in Družmirsko jezero. Na spodnjem toku Lepene je najprej nastalo Škalsko jezero, skupne površine 17 ha z 10 km<sup>2</sup> prispevne površine, največje globine 19 m in prostornine 1 milijon m<sup>3</sup>. Letni vtok v Škalsko jezero znaša 5,4 milijona m<sup>3</sup> (Šterbenk 1999), volumen jezera pa se ne spreminja več, saj je rudarjenje na območju Škal zaključeno.

Drugo največje jezero v Šaleški dolini je s 54 ha in zaledjem 33 km<sup>2</sup> Družmirsko jezero, katerega največja globina je 69 m, prostornina 10,7 milijonov m<sup>3</sup> in letna količina vtoka pa 24,5 milijona m<sup>3</sup>. Vendar pa naj bi zaradi intenzivnega rudarjenja pod jezerom njegova površina do leta 2020 narasla na 2 km<sup>2</sup>. S tem bo to jezero postalo največje v Šaleški dolini. Jezero služi tudi kot » /.../ vir tehnološke vode za termoelektrarno v Šoštanju, kar povzroča nihanje gladine vode in s tem nestabilnost brežin. Tudi Velunja, ki je pritok jezera in iztok iz jezera v Pako, zaradi potreb termoelektrarne v sušnem delu leta do Pake sploh ne priteče« (Rep 2007, 74).

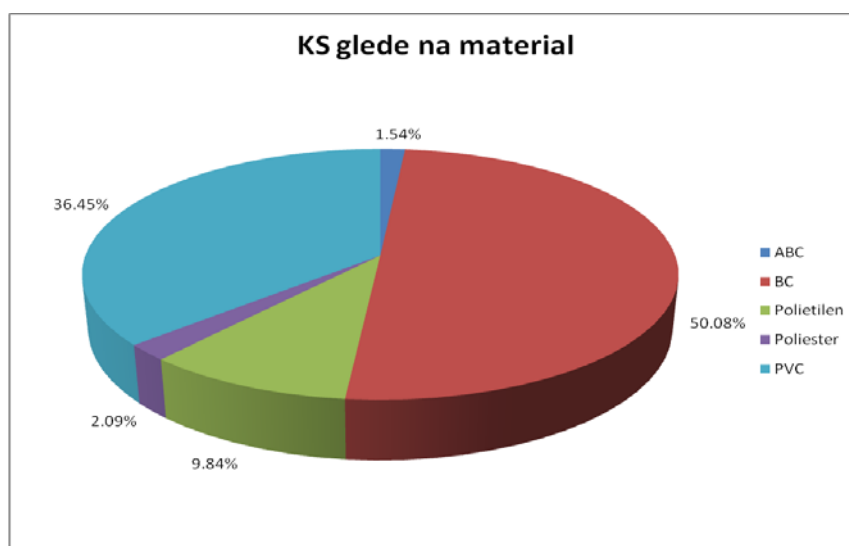
Trenutno največje jezero s površino 140 ha in prostornino 25 milijonov m<sup>3</sup> je Velenjsko jezero. Največja globina je 54 m, površina zaledja je 20,4 km<sup>2</sup>, količina letnega vtoka pa znaša 11 milijonov m<sup>3</sup>. Pod večino dna jezera so že zaključili z izkopavanjem lignita, izkopavanje poteka še samo na zahodnem delu jezera, kjer pa ugreznine zasipavajo s produkti elektrarne zato se volumen jezera ne povečuje več. V preteklosti je jezero služilo kot odlagališče pepela iz elektrarne, ter za shrambo onesnažene vode iz elektrarne, kar je močno poslabšalo kakovost vode v njem, saj je postala močno alkalna z vrednostjo pH 12. Ko so leta 1994 v termoelektrarni zgradili zaprti krogotok tehnološke vode in z izgradnjo kanalizacijskega sistema, se je kakovost vode v jezeru izboljšala ter je danes namenjen rekreativni dejavnosti. Jezero ima pritoka Lepeni in Sopot. Lepena služi tudi kot iztok iz jezera v Pako. Ker so vtoki čiste vode majhni in ker se voda v jezeru zamenja nekje v dve letih in pol, je jezero zelo občutljivo.

## 5.2 Podatki o kanalizacijske omrežju in njegovem obratovanju

Skupna dolžina kanalizacijskega omrežja<sup>11</sup> v upravljanju Komunalnega podjetja Velenje je 185.190 m. Od tega je 7.396 m meteorne kanalizacije cestnih priključkov, 8.860 m magistralnih vodov, 26.833 m primarnih vodov, 114.735 m sekundarni kanalskih vodov, ter 27.336 m meteorne kanalizacije. Na omrežju je zgrajenih 6.117 revizijskih jaškov.



Graf 1: Prikaz tipa KS



Graf 2: Prikaz deleža KS glede na material cevi

<sup>11</sup> GIS podatki, 2009.

Na kanalizacijskem omrežju je zgrajenih se osem črpališč za odpadno komunalno vodo s skupno močjo 218,5 kW ter skupno črpalno zmogljivostjo 428 l/s, in sicer:

- črpališče Škale,
- črpališče Škale novo,
- črpališče Ribiška koča,
- črpališče stari jašek,
- črpališče Pohrastnik,
- črpališče Gaberke,
- črpališče Bevče in
- črpališče Podkraj.

Na količino prečrpane odpadne vode preko črpališč močno vplivajo vremenske razmere, saj je precejšen del kanalizacije mešanega sistema.

V prvi polovici leta 2007 je bilo na mestu porušene MKČN Podkraj zgrajeno sodobno črpališče odpadnih vod, ki je priključeno na obstoječe fekalno kanalizacijo Podkraj-Tajna. V obstoječo mešano kanalizacijo, ki gravitira na črpališče Podkraj, so poleg komunalne odpadne vode iz gospodinjstev priključene tudi padavinske in zaledne vode, kar je posledica neurejenega odvodnjavanja meteorne in cestne kanalizacije na tem območju Podkraj. Predvsem v deževnem vremenu omenjeno črpališče močno obremenjuje obstoječo fekalno kanalizacijo Podkraj, ki se pri Hartlu priključuje na obstoječi kolektor.

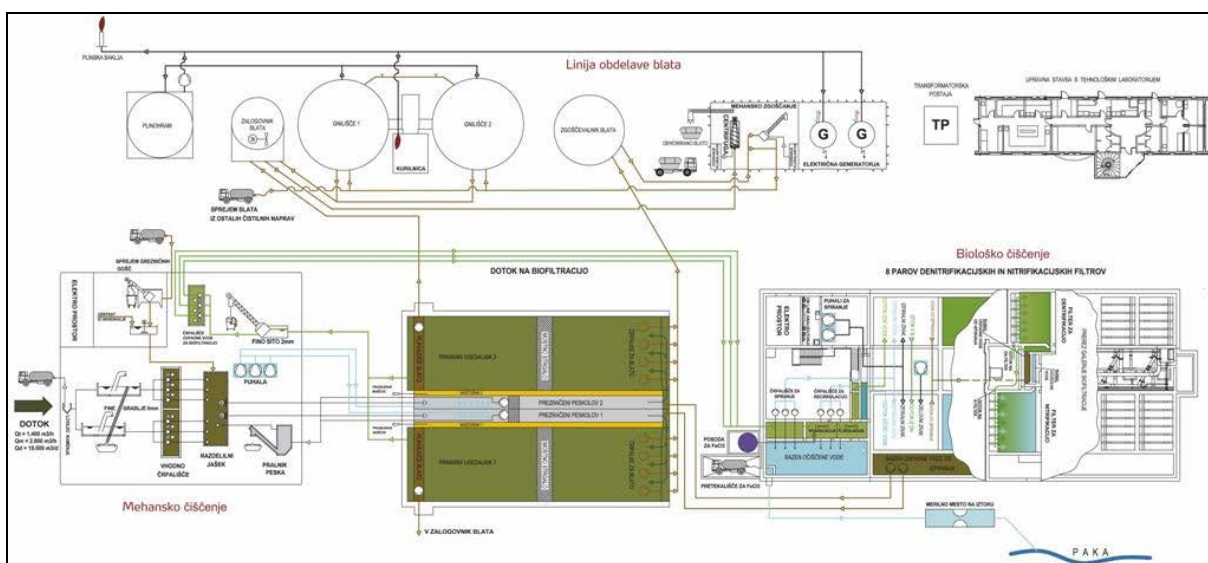
Črpališča odpadnih vod Gaberke, Škale novo in Bevče odvajajo komunalno odpadno vodo iz območij, kjer je grajen ločen sistem kanalizacije, vendar se je ob padavinah prav tako povečal dotok padavinskih voda v črpališča in količina prečrpane odpadne vode. Najbolj izrazito je bilo to prisotno v Gaberkah. Na podlagi intenzivnega iskanja lokacije vdora padavinske vode, je bila ugotovljena netesnost dveh jaškov, ki jih je izvajalec saniral v sklopu garancije.

Prav tako je na omrežju Velenje-Šoštanj zgrajenih še 31 razbremenilnih objektov, zadrževalnih bazenov pa ni. Kot zadrževalni bazen služi le kanal grajen pred

razbremenilnikom Aškerčeva v Šoštanju. Kanal ima premer 1,2 m in je dolg 42 m, vendar pa zaradi nizkega prelivnega roba v razbremenilniku prostornina ni izkoriščena.

Kanalski sistem se zaključi na Centralni čistilni napravi Šaleške doline v Šoštanju. Prva faza je pričela delovati leta 1990 za potrebe usnjarske industrije. Čistilna naprava je delovala dobro na dveh vzporednih progah. Leta 1995 pa so obe progi povezali v zaporedni in s tem povečali odstotek čiščenja za 20%. Leta 2005 se je nadaljevala gradnja čistilne naprave. Nova čistilna naprava deluje po metodi biološke ruše, ki je manj občutljiva na nihanje pretoka, zajemanje odvečnega blata je aktivno, potrebuje manj prostora, predvsem pomembno pa je zmanjšanje emisij vonjav.

Centralna čistilna naprava Šaleške doline je dimenzionirana na hidravlično obremenitev 50.000 populacijskih enot (PE). Odpadna voda se obdeluje po postopku biofiltracije s fiksirano biomaso, v katerih poteka oksidacija ogljika, nitrifikacija in denitrifikacija.



Slika 10: Tehnološka shema Centralne čistilne naprave Šaleške doline

V letu 2007 je bil na Centralni čistilni napravi<sup>12</sup> očiščeno 5,35 milijona m<sup>3</sup> odpadne vode, iz katere je bilo s postopki čiščenja izločeno 103 m<sup>3</sup> trdih odpadkov, 99 m<sup>3</sup> peska, 186 m<sup>3</sup> maščob in 2.872 m<sup>3</sup> dehidriranega blata. Kot stranski produkt čiščenja je bilo proizvedeno 286.548 m<sup>3</sup> bioplina, s katerega na čistilni napravi uporabljajo za proizvodnjo toplotne in

<sup>12</sup> KPV 2008

električne energije za lastne potrebe. Tako je bilo na agregatu za električno energijo proizvedeno 589.230 kWh električne energije in na agregatu za toplotno energijo 140.700 kWh toplotne energije.

### **5.3 Varovanje odvodnikov Šaleške doline v povezavi s problematiko kanalizacijskega sistema KPV**

Za kanalizacijski sistem KPV je značilno, da starejši kanalski sistemi niso vodotesni, prav tako pa je na tem področju veliko pretočnih greznic, ki so slabo ali pa sploh niso vzdrževane. Ker ni večjih čistilnih naprav, ki bi sprejemale usedline iz greznic, se običajno vsebine iz greznic izpuščajo neposredno v površinske vodotoke. Problematična so tudi manjša naselja, ki praviloma niso priključena na kanalski sistem. Nekatera manjša naselja so priključena na male čistilne, ki so zastarele in praviloma ne dosegajo standardov določenih z zakonodajo. Problematično je tudi ravnanje z blatom, ki nastane z delovanjem čistilnih naprav, vendar pa se na tem področju stvari urejujejo, saj bo v bližnji prihodnosti KPV izgradilo kompostarno na bivšem odlagališču. Pri mešanem sistemu je neustrezno tudi prelivanje odpadne vode čistilnega vala preko razbremenilnikov v reko Pako, zato zgrajene čistilne naprave ne očistijo te odpadne vode.

Ker se ob deževju odtok lahko poveča tudi do 100 krat v primerjavi s sušnim odtokom, se mešanica onesnažene padavinske vode in sušnega odtoka preko razbremenilnih objektov odvaja v najbližji odvodnik. Razbremenilniki sicer omogočajo, da se del najbolj onesnažene odpadne vode odpelje na ČN in očisti, vendar pa odpadna voda, ki se razbremenjuje v odvodnik, onesnažuje vodotok. Razbremenjevanje odpadne vode je najbolj problematično v poletnih mesecih, ko pretoki vodotokov upadejo in posledica tega je zmanjšanje samočistilne sposobnosti, ki je v poletnih mesecih manjša od količine onesnaženja. Poleg nižjega pretoka je potrebno upoštevati še odvzem vode iz vodotokov za potrebe industrije, kar še dodatno znižuje samočistilno sposobnost odvodnika. Zaradi tega lahko v poletnih mesecih pride celo do pomora rib. Prav tako je ob visokem vodostaju Pake, zaradi netesnosti kanalov,



problematično vdiranje vode v kanalizacijski sistem in obratno ob nizkem vodostaju, posledica tega pa je spiranje sistema.

## **6 DIMENZIONIRANJE ZBDV**

### **6.1 Merodajni vhodni podatki**

Preden pričenemo z določanjem potrebnih zadrževalnih volumnov za posamezna prispevna območja, si moramo pripraviti vhodne podatke. Na podlagi podatkov GIS, pridobljenih na Komunalnem podjetju Velenje ( KPV ), sem določil večino zahtevanih vhodnih podatkov za določitev zadrževalnih volumnov. S stani KPV sem pridobil podatke o kanalizacijskem omrežju, ki sem jih potreboval za vzpostavitev hidravličnega modela, s katerim sem določil kritični naliv in najdaljši čas pretoka. Prav tako so mi s KPV posredovali podatke o porabi mrzle vode in številu prebivalcev.

#### **6.1.1 Določitev prispevnih površin**

Določitev prispevnih območij sem izvedel v programu Manifold System, ki je namenjen za ogled in obdelavo GIS podatkov, prav tako program omogoča določitev prispevnih površin na podlagi digitalnega modela reliefa ( DMR ). DMR natančnosti 12,5 m x 12,5 m sem pridobil s strani KPV in na podlagi le tega določil prispevne površine. Vsako prispevno površino sem v nadaljevanju povezal z najbližjim jaškom, v katerega se steka padavinska voda.

Nato sem vsaki prispevni površini določil koeficient odtoka. Sledil je izračun padavinskega odtoka iz posameznih prispevnih površin, ki sem ga potreboval za izračun najdaljšega časa odtoka s programom SWMM.

### **6.1.2 Število prebivalcev in rast števila prebivalcev**

Podatek o številu prebivalcev, ki so priključeni na javni kanal, izvirajo iz leta 2008. Rast prebivalstva se določa na osnovi podatkov iz preteklega obdobja vsaj za 30 let nazaj.

Prirast prebivalstva sem upošteval za vsako naselje posebej, prav tako pa so k številu prebivalcev prišteti tisti prebivalci, ki bodo prebivali na predvidenih območjih poselitve. Prav tako sem upošteval, da naravni prirast v občini Velenje ni enak kot v občini Šoštanj.

### **6.1.3 Analiza porabe vode**

Zaradi uvedbe novih tehnologij v industriji in višje cene vode, se poraba pitne vode v zadnjih letih v Šaleški dolini znižuje. Zato sem predpostavil, da bo v prihodnosti poraba pitne vode enaka trenutni porabi in sem s tem na varni strani.

### **6.1.4 Dotok tujih voda**

Za potrebe izračuna sušnega odtoka je potrebno predhodno določiti dotok tujih voda. Ker s strani KPV ni bilo mogoče pridobiti podatkov o tujih vodah, sem dotok le-teh določil na podlagi Kolarjeve preglednice ( Kolar 1983, 36 ).

Za vsako izmed prispevnih območij sem določil gostoto prebivalcev na hektar ter z linearno interpolacijo izračunal pričakovani dotok tuje vode na hektar. Nato sem to številko pomnožil z velikostjo pripevnega območja in dobil pričakovani pretok tuje vode.

Gostota prebivalcev na hektar (P/ha)	Pričakovani dotok tuje vode (l/s/ha)	Pričakovani sušni odtok (l/s/ha)	Skupni dotok (l/s/ha)
50	0,25	0,22	0,47
100	0,40	0,44	0,84
200	0,75	0,87	1,62
300	1,00	1,31	2,31
400	1,20	1,75	2,95
500	1,30	2,19	3,49
600	1,35	2,62	3,97

Preglednica 2: Pričakovani sušni dotok in dotok tujih voda v odvisnosti od gostote poselitve ( Kolar 1983, str. 36 )

### 6.1.5 Površinski odtok

V praksi se je uveljavilo pravilo, da se kanalizacijski sistemi dimenzionirajo na padavine s povratno dobo enega leta, kar pomeni, da se takšne padavine v povprečju pojavijo enkrat na leto. Na varnost z večjo povratno dobo dimenzioniramo v primeru depresij, kot so na primer cestni podvozi ali podzemne železnice.

Kadar dimenzioniramo mešani kanalski sistem, je potrebno upoštevati padavinski odtok, pri čemer se je potrebno zavedati, da so za dimenzioniranje KS merodajne padavine kratkega trajanja in velike jakosti (nalivi). »Za vsako točko KS je najneugodnejši le en naliv določenega trajanja, in sicer tisti ki povzroči najvišji odtok padavinske vode. Podatke o računskih nalivih so podani z izenačenimi vrednostmi posameznih gospodarsko enakovrednih nalivov (v nadaljevanju GEN) za karakteristična območja Slovenije« (Panjan, 2002).

n	Jakost odtoka nalivov...(l/s/ha), trajanja (min)									
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
0.1	446.7	296.5	217.8	174.9	128.5	103.2	87.1	75.8	55.7	44.7
0.2	430.0	279.1	204.1	163.4	119.5	95.7	80.6	70.0	51.2	41.0
0.5	362.5	235.2	174.2	140.8	104.3	84.2	71.4	62.4	46.2	37.3
0.67	332.9	217.4	160.8	129.9	96.1	77.6	65.7	57.4	42.5	36.9
1	295.4	190.0	140.9	114.0	84.6	68.4	58.0	50.7	37.6	32.9
2	248.6	151.0	114.6	94.2	71.5	58.8	55.0	44.6	33.9	29.3

Preglednica 3: Izenačene vrednosti geografsko enakovrednih nalivov ( GEN ) za meteorološko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu

Ker za Šaleško dolino oz. mesto Velenje ni ovrednotenih vrednosti GEN sem zaradi geografskih in klimatskih podobnosti izbral GEN izračunane za sinoptično meteorološko postajo Šmartno pri Slovenj Gradcu ( glej zgornjo tabelo ).

Kolikšen del padavinske vode odteče, je odvisno od več dejavnikov, in sicer od deleža prepustnih in neprepustnih površin, hrapavosti površine, vlažnosti tal pred padavinami, nagnjenosti terena, izhlapevanja, lokalne retenzije, pronicanja, oblike prispevne površine itd. Izračun deleža padavinske vode, ki odteče v KS, izvedemo s pomočjo enačbe:

$$Q_i = q \cdot A_i \cdot \varphi_i = q \cdot A_{red} \cdot \quad (\text{Povzeto po Kolar 1983, 64})$$

Pred tem je potrebno določiti koeficient odtoka  $\varphi_i$  za prispevne površine, na podlagi katerega določimo reducirano prispevno površino  $A_{red}$ . Reducirano prispevno površino potrebujemo tudi kasneje, ko določamo volumen zadrževalnega bazena.

### 6.1.6 Izračun časa odtoka

Izračun časa odtoka sem izvedel s pomočjo programa SWMM. V program sem vnesel podatke o ceveh, jaških, razbremenilnikih, črpališčih in izpustih. Vse te podatke sem pridobil s strani KPV, in sicer iz njihovega katastra komunalnih vodov. Na podlagi izdelanega modela KS Šaleške doline sem ugotavljal, kateri izmed nalivov povzroči najbolj neugodne razmere odtoka ( največjo konico pretoka, čas ko se pojavi, količina vode, hitrost toka vode ). Pri tem se upošteval, da je koeficient odtoka med nalivom nespremenjen, da je intenziteta naliva ves čas trajanja naliva in na celotnem območju Šaleške doline konstantna. Prav tako sem zanemaril čas odtoka po prispevni površini.

### **6.1.7 Določitev zadrževalnih volumnov na podlagi smernic ATV-A 128**

Izračun zadrževalnih volumnov sem določil na podlagi obrazca, ki ga priporočajo smernice ATV-A 128. V obrazec sem vnesel znane podatke, potrebno pa je bilo določiti še koncentracijo KPK v sušnem odtoku in koeficient nagnjenosti terena.

Ker na KPV ne izvajajo meritev KPK nikjer na omrežju, razen na čistilni napravi v Šoštanju, sem na podlagi priporočila smernic privzel vrednost 600 mg/l. Padec terena sem določil s pomočjo DMR, nato pa na podlagi znanega padca terene določil koeficient nagnjenosti terena.

Izračun efektivnih zadrževalnih volumnov sem izvedel s pomočjo programskega paketa Microsoft Office, in sicer v programu Excell.

## **6.2 Zadrževalni bazen deževnih voda CČN**

Zadrževalni bazen deževnih voda, lociran pred vtokom na centralno čistilno napravo, je namenjen zadrževanju onesnažene padavinske vode, ki priteka iz smeri mesta Šoštanj ter naselja Topolšica in Florjan. Priloga G prikazuje umestitev bazena v prostor na mestu obstoječega razbremenilnika pred centralno čistilno napravo Šoštanj. Obstoječi razbremenilnik se zaradi neustreznega delovanja ukine, prav tako pa bo potrebno izvesti nekaj prestavitev obstoječih vodov, da bo možna priključitev na novozgrajeni zadrževalni bazen. Predvidena je izgradnja novega razbremenilnika, preko katerega se odpadna voda gravitacijsko preliva v Pako. Za primer ekstremno visokih voda v vodotoku, ko gravitacijski odtok ni mogoč, sta predvideni dve črpalki, ki prelito odpadno vodo črpata v vodotok. Črpalke sta dimenzionirani tako, da ena zadostuje za prečrpavanje prelite vode in delujeta izmenično. Na iztočni cevi, ki je namenjena za gravitacijski odtok, je na koncu vgrajena protipovratna loputa, ki preprečuje vdor vode iz vodotoka v zadrževalni bazen, prav tako pa je na vtoku v iztočno cev vgrajena zapornica, ki jo je v primeru, ko odpove protipovratna loputa, mogoče zapreti na daljavo ali pa fizično v objektu. V primeru prečrpavanja prelite vode je potrebno zapornico, ki preprečuje vdor vode iz vodotoka v zadrževalni baze, zapreti. Za pogon črpalk

za prečrpavanje prelite odpadne vode je potrebno predvideti elektropriključek, v primeru izpada električne energije pa sta predvidena dva dizelska agregata, ki delujeta izmenično.

### 6.2.1 Dimenzioniranje zadrževalnega bazena CČN

Najprej je potrebno določiti dimenzije armiranobetonske konstrukcije zadrževalnega bazena pred čistilno napravo (ZB CČN), in sicer na podlagi izračunanega potrebnega efektivnega volumna zadrževanja, ki znaša  $V_B=380 \text{ m}^3$ . Pri določitvi dimenzij je potrebno upoštevati zahteve smernic, da je dolžina bazena vsaj dvakrat daljša od širine bazena. Prav tako pa je potrebno preveriti površinsko obremenitev in horizontalno hitrost toka skozi napolnjen bazen pri kritičnem pretoku.

Določitev dimenzij za zadrževalni bazen Centralna čistilna naprava ( ZB CČN ):

$$L = 15m$$

$$B = 7m$$

$$H = 3,6m$$

Površinska obremenitev bazena pri kritičnem pretoku v poln bazen se preveri po naslednjem računskem obrazcu:

$$q_a = \frac{Q_{krit}}{L \cdot B} = \left( \frac{8,11 \frac{l}{s} + 15 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 5,737ha}{15m \cdot 7m} \right) \cdot \frac{3600 \frac{s}{h}}{1000 \frac{l}{m^3}} = 3,23 \frac{m}{h} < 10 \frac{m}{h}.$$

$q_a$  površinska obremenitev bazena [ m/h ],

$Q_{krit}$  kritični pretok [ l/s ],

L dolžina bazena [ m ],

B širina bazena [ m ].

Sledi še kontrola horizontalne hitrosti toka skozi poln bazen pri kritičnem pretoku:

$$v_h = \frac{Q_{krit}}{B \cdot H} = \left( \frac{8,11 \frac{l}{s} + 30 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 5,737 ha}{7m \cdot 3,6m} \right) \cdot \frac{1}{1000 \frac{l}{m^3}} = 0,007 \frac{m}{s} < 0,05 \frac{m}{s}.$$

$v_h$  horizontalna hitrost toka skozi bazen [ m/s ],

$Q_{krit}$  kritični pretok [ l/s ],

$H$  višina bazena [ m ],

$B$  širina bazena [ m ].

## 6.2.2 Dimenzioniranje razbremenilnega objekta

Zaradi omejenosti s prostorom in bližine vročevoda ( varovalni pas ) zadrževalni bazen ni mogoče umestiti v bližino obstoječega razbremenilnika, zato bo potrebno zgraditi novega, izgradnja novega razbremenilnika pa je smiselna tudi zato, ker obstoječi razbremenilni objekt ne deluje ustrezno in prihaja do prelivanja odpadnih voda že pri padavinah manjše intenzitete. Prav tako bo potrebno zgraditi nov združitveni objekt za zbiralni kanal po katerem odpadna voda priteka iz Šoštanja ter tlačni vod, ki poteka iz smeri Pohrastnika ( Topolšica ). V ta dela je potrebno vključiti še prestavitev tlačnega voda iz črpališča Pohrastnik in prestavitev zbirnega kanala, po katerem priteka voda iz Velenja in Šoštanja.

Zaradi zgoraj omenjenih dejstev sem se odločil za dimenzioniranje novega razbremenilnega objekta. Najprej je potrebno dimenzionirati dušilko, pri čemer je potrebno upoštevati pogoj, da je hitrost toka odpadne vode skozi dušilko pri sušnem pretoku  $Q_{suš} = 0,240 m^3 / s$  znotraj intervala od 0,5 m/s do 3,5 m/s.



Podatki:

$$Q_{suš} = 0,240 m^3 / s$$

$$Q_{max} = 2,135 m^3 / s$$

$$Q_{krit} = 0,778 m^3 / s$$

$$d = 1,2 m$$

Najprej je potrebno določiti prelivno višino  $S_d$  :

$$S_d \geq 0,6 \cdot d = 0,6 \cdot 1,2 m = 0,72 m,$$

$$S_d \geq 0,25 m.$$

$d$  premer dotočnega kanala [ m ].

Izberem:  $S_d = 0,8 m$  .

#### DUŠILKA:

Izberem premer  $d_d = 0,6 m$  in padec  $I_d = 0,5\%$  . Izpolniti je potrebno pogoj, da je hitrost toka odpadne vode skozi dušilko pri sušnem pretoku  $Q_{suš} = 0,240 m^3 / s$  znotraj intervala 0,5 m/s in 3,5 m/s.

$$v_d = \frac{4 \cdot Q_{suš}}{d_d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,240 \frac{m^3}{s}}{(0,6 m)^2 \cdot \pi} = 0,85 \frac{m}{s}$$

$Q_{suš}$  sušni pretok [  $m^3/s$  ],

$v_d$  hitrost odtoka skozi dušilko [ m/s ],

$d_d$  premer dušilke [ m ].

Prav tako je potrebno določiti padec energijske črte na dušilki, in sicer po naslednjih izrazih:

$$I_e = \lambda \cdot \frac{1}{d_d} \cdot \frac{v_{d,krit}^2}{2g} = 0,0427 \cdot \frac{1}{0,6m} \cdot \frac{\left(2,75 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 29,2\text{‰},$$

$$\lambda = \frac{124,6 \cdot n_G^2}{d_d^{1/3}} = \frac{124,6 \cdot 0,013^2}{0,27^{1/3}} = 0,0427,$$

$$v_{d,krit} = \frac{4 \cdot Q_{krit}}{d_d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,778 \frac{m^3}{s}}{(0,6m)^2 \cdot \pi} = 2,75 \frac{m}{s}.$$

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ],

$d_d$  premer dušilke [ m ],

$n_G$  Manningov koeficient trenja [ / ],

$g$  gravitacijski pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$v$  hitrost [ m/s ],

$I_e$  padec energijske črte v dušilki pri kritičnem pretoku [ ‰ ],

$Q_{suš}$  sušni pretok [ m<sup>3</sup>/s ].

Sledi še izračun potrebne dolžine dušilke:

$$l_d = \frac{s_d - m \cdot d_d - \frac{v_{d,krit}^2}{2g} (1 + \xi_d)}{I_e - I_d} = \frac{0,8m - 0,8 \cdot 0,6m - \frac{\left(2,75 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} \cdot (1 + 0,5)}{29,2 - 5} = 10,67m \geq 20 \cdot d_d = 12m \cdot$$

$m$  koeficient za določitev tlačne črte ne iztoku iz dušilke, ki ga odčitamo v diagramu v odvisnosti od Froudovega števila ( predpostavimo  $m = 0,8$  ) [ / ],

$\xi_d$  brezdimenzijski koeficient izgub na vtoku v dušilko ( predpostavimo 0,5 ) [ / ],

$s_d$  višina prelivnega roba [ m ],

- $d_d$  premer dušilke [ m ],
- $v_{d,krit}$  hitrost odtoka skozi dušilko pri kritičnem pretoku [ m/s ],
- $I_e$  padec energijske črte v dušilki pri kritičnem pretoku [ ‰ ],
- $I_d$  padec dušilke [ ‰ ].

Izberem dušilko:

$$l_d = 12m$$
$$d_d = 0,6m$$
$$I_d = 0,5\%$$

PRELIV:

Pri dimenzioniranju preliva je potrebno določiti dolžino prelivanja in prelivno višino. Dolžino prelivanja določimo po naslednjem obrazcu:

$$l_p = \frac{4 \cdot Q_{\max}}{1000 \cdot d} = \frac{4 \cdot 2135 \frac{l}{s}}{1000 \cdot 1,2m} = 7,12m.$$

- $Q_{\max}$  maksimalni pretok [l/s],
- $d$  premer dotočnega kanala [m].

Sledi še izračun prelivne višine:

$$h_p = \left[ \frac{3 \cdot Q_p}{2 \cdot c \cdot l_p \cdot 1000 \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right]^{2/3} = \left[ \frac{3 \cdot 1357 \frac{l}{s}}{2 \cdot 0,9 \cdot 7,12m \cdot 1000 \cdot 0,52 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}} \right]^{2/3} = 0,27m.$$

- $l_p$  dolžina prelivanja [ m ],
- $c$  zmanjševalni koeficient pri nepopolnem prelivu ( predpostavimo  $c = 0,9$  ) [ / ],
- $\mu$  koeficient oblike preliva ( privzamemo 0,52 ) [ / ],
- $h_p$  prelivna višina [ m ]

$Q_p$  prelita količina odtoka [ l/s ].

### 6.2.3 Dimenzioniranje črpalke za praznjenje bazena

Ker gravitacijski odtok iz zadrževalnega bazena CČN na čistilno napravo ni mogoč, je potrebno zadržano odpadno vodo prečrpavati v obstoječ kanal, ki preko sifona pod reko Pako odpadno vodo transportira na čistilno napravo. Zato je potrebno določiti kapaciteto črpalke.

Pri dimenzioniranju črpalke za prečrpavanje odpadne vode iz bazena v kanal je potrebno upoštevati priporočilo standarda ATV-A 128, da čas praznjenja bazena ne presega 10 ur. Za pretok črpalke privzamem kombinirani odtok odpadnih voda, torej določim pretok črpalke 50 l/s. Na podlagi znanega potrebnega pretoka prečrpavanja in velikosti zadrževalnega volumna lahko izračunam čas praznjenja bazena:

$$t_p = \frac{V_B}{Q_{\dot{c}}} = \frac{380 \cdot 10^3 \text{ l}}{50 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 2,11 \text{ h} \cong 2 \text{ h } 07 \text{ min} < 10 \text{ h}.$$

$V_B$  zadrževalni volumen [ l ],

$Q_{\dot{c}}$  pretok skozi črpalke [ l/s ].

Za izračun moči črpalke je predhodno potrebno izračunati nekaj ključnih podatkov, kot so linijske in lokalne izgube tlačnega voda s črpalke. Te podatke potrebujemo za izračun črpalne višine.

Za tlačni vod izberem okroglo litoželezno cev premera 150 mm skupne dolžine 3 m. Na podlagi izbranega materiala lahko določim absolutno hrapavost  $\epsilon$ , ki za litoželezno cev znaša 0,25 mm ( Moody-jev diagram ).

Preden pričnemo z izračunom lokalnih in linijskih izgub, je potrebno določiti koeficient trenja  $\lambda$ . Koeficient trenja določimo s pomočjo Moody-jevega diagrama, na podlagi izračunanega

Reynolds-ovega števila in razmerja  $\varepsilon/d$ , kar sledi v nadaljevanju. V izračunu privzamem viskoznost vode pri temperaturi  $15^{\circ}\text{C}$  ( $1,14 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ).

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{2,83 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,15\text{m}}{1,14 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 372368,4 \cong 3,7 \cdot 10^5,$$

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,15\text{m})^2 \cdot \pi} = 2,83 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,25\text{mm}}{150\text{mm}} = 0,00167.$$

$v$  pretočna hitrost [ m/s ],

$d$  premer cevi [ m ],

$\nu$  viskoznost medija [  $\text{m}^2/\text{s}$  ],

$Q$  pretok [  $\text{m}^3/\text{s}$  ],

$\varepsilon$  hrapavost ostenja cevi [ mm ].

Iz diagrama odčitamo koeficient trenja  $\lambda$ , ki znaša 0,027. Sledi izračun linijskih izgub tlačnega cevovoda:

$$\Delta E_{lin} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,027 \cdot \frac{4,5\text{m}}{0,15\text{m}} \cdot \frac{(2,83 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,33\text{m}.$$

$\lambda$  brezdimenzijski koeficient trenja [ / ],

$L$  dolžina cevi [ m ],

$v$  pretočna hitrost [ m/s ],

$d$  premer cevi [ m ],

$g$  težnostni pospešek [  $m/s^2$  ],

$\Delta E_{lin}$  linijske izgube v cevovodu [ m ].

Pri izračunu lokalnih izgub pa je potrebno upoštevati lokalne izgube posameznih elementov, ki sestavljajo tlačni vod:

- iztok (  $\xi_{iz} = 1,0$  ),
- lok DN 150/90° (  $\xi_{90^\circ} = 0,45$  ),
- zaporni ventil DN 150 v odprtem stanju (  $\xi_{zv} = 0,12$  ),
- nepovratni ventil DN 150 (  $\xi_{npv} = 6,25$  ),

$$\Delta E_{lok} = (\xi_{npv} + \xi_{zv} + 2 \cdot \xi_{90^\circ} + \xi_{iz}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = (6,25 + 0,12 + 2 \cdot 0,45 + 1,0) \cdot \frac{(2,83 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 3,76m .$$

$\Delta E_{lok}$  lokalne izgube v cevovodu [ m ],

$\xi$  koeficient lokalnih izgub [ / ].

Potrebno višino črpanja dobimo z vsoto geodetske višine ( 4,5 m ), linijskih in lokalnih energijskih izgub:

$$h_{\check{c}} = h_{geod} + \sum \Delta E_{lin} + \sum \Delta E_{lok} = 4,5m + 0,33m + 3,76m = 8,59m .$$

$h_{\check{c}}$  višina črpanja [ m ],

$h_{geod}$  geodetska višina [ m ],

$\sum \Delta E_{lin}$  vsota linijskih izgub [ m ],

$\sum \Delta E_{lok}$  vsota lokalnih izgub [ m ].

Sedaj lahko izračunamo moč črpalke:

$$P_{\dot{c}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{\max} \cdot h_{\dot{c}}}{\eta} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,050 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 8,59 \text{m}}{0,70} = 6020 \text{W} \cong 6 \text{kW} .$$

$P_{\dot{c}}$             moč črpalke [ kW ],

$\rho$                 gostota medija [ kg/m<sup>3</sup> ],

$g$                 težnostni pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$Q_{\max}$             maksimalni pretok skozi črpalke [ m<sup>3</sup>/s ],

$h_{\dot{c}}$               višina črpanja [ m ],

$\eta$                 izkoristek črpalke [ / ].

Za nemoteno prečrpavanje odpadne vode v odvodni kanal sta predvideni dve črpalke, ki delujeta izmenično ( prvo praznjenje prva črpalke, drugo praznjenje druga črpalke ). V primeru okvare ene izmed črpalke se vkopi druga.

Torej potrebujemo dve centrifugalni potopni črpalke z močjo 6kW in izkoristkom 70%.

#### 6.2.4 Določitev potrebne moči črpalke za prečrpavanje prelite vode

Določitev moči črpalke, ki prečrpava prelito odpadno vodo v odvodnik, poteka po enakem postopku kot v prejšnji točki. Ker je potrebno prečrpavati veliko količino vode ( 1,357 m<sup>3</sup>/s ) izberem propelersko črpalke z iztokom dimenzije 800 mm. Z izbranim odvodnim kanalom zadostimo pogoju pretočne hitrosti ( znotraj intervala od 0,5 m/s do 3,5 m/s ) v tlačnem vodu:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 1,357 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,8 \text{m})^2 \cdot \pi} = 2,70 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{2,70 \frac{m}{s} \cdot 0,8m}{1,14 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 1894736,8 \cong 1,89 \cdot 10^6,$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,25mm}{800mm} = 0,000313 \cong 3,13 \cdot 10^{-4}.$$

v                    pretočna hitrost [ m/s ],

d                    premer cevi [ m ],

$\nu$                     viskoznost medija [ m<sup>2</sup>/s ],

Q                    pretok [ m<sup>3</sup>/s ],

$\varepsilon$                     hrapavost ostenja cevi [ mm ].

Iz zgornjih podatkov določim koeficient trenja  $\lambda=0,0152$ . Sledi izračun linijskih in lokalnih izgub v tlačnem vodu:

$$\Delta E_{lin} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,0152 \cdot \frac{36,5m}{0,80m} \cdot \frac{(2,70 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,26m.$$

$\lambda$                     brezdimenzijski koeficient trenja [ / ],

L                    dolžina cevi [ m ],

v                    pretočna hitrost [ m/s ],

d                    premer cevi [ m ],

g                    težnostni pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$\Delta E_{lin}$             linijske izgube v cevovodu [ m ].

Lokalne izgube:

- iztok (  $\xi_{iz} = 1,0$  ),



- lok DN 800/90° (  $\xi_{90^\circ} = 0,27$  ),
- zaporni ventil DN 800 v odprtem stanju (  $\xi_{zv} = 0,10$  ),
- nepovratni ventil DN 800 (  $\xi_{npv} = 1,25$  ),

$$\Delta E_{lok} = (\xi_{npv} + \xi_{zv} + 2 \cdot \xi_{90^\circ} + \xi_{iz}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = (1,25 + 0,10 + 3 \cdot 0,27 + 1,0) \cdot \frac{(2,70 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 1,17m .$$

$\Delta E_{lok}$  lokalne izgube v cevovodu [ m ],

$\xi$  koeficient lokalnih izgub [ / ].

Tlačna višina:

$$h_{\check{c}} = h_{geod} + \sum \Delta E_{lin} + \sum \Delta E_{lok} = 1,17m + 0,26m + 4,00m = 5,43m .$$

$h_{\check{c}}$  višina črpanja [ m ],

$h_{geod}$  geodetska višina [ m ],

$\sum \Delta E_{lin}$  vsota linijskih izgub [ m ],

$\sum \Delta E_{lok}$  vsota lokalnih izgub [ m ].

Moč črpalke:

$$P_{\check{c}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{max} \cdot h_{\check{c}}}{\eta} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1,357 \frac{m^3}{s} \cdot 5,43m}{0,70} = 103265W \cong 103,3kW .$$

$P_{\check{c}}$  moč črpalke [ kW ],

$\rho$  gostota medija [ kg/m<sup>3</sup> ],

$g$  težnostni pospešek [ m/s<sup>2</sup> ],

$Q_{max}$  maksimalni pretok skozi črpalke [ m<sup>3</sup>/s ],

$h_{\xi}$  višina črpanja [ m ],

$\eta$  izkoristek črpalke [ / ].

### 6.2.5 Splakovalno korito in polnjenje splakovalnega korita

Predvidena je vgradnja prekucnega splakovalnega korita prostornine  $7 \text{ m}^3$ , ki je namenjen spiranju zadrževalnika po izpraznitvi. Na mestu, kjer je predvideno splakovalno korito, je predvidena izgradnja odprtine, ki omogoča dostop do splakovalnega kotita in črpalke za potrebe vzdrževanja.

Ker korita ni možno napolniti gravitacijsko, je potrebna črpalka, ki je dimenzionirana v nadaljevanju. Polnjenje korita se prične preden pričnemo s prečrpavanjem odpadne vode v kanal, ki vodi na čistilno napravo. Na podlagi izbranega časa polnjenja  $t=700 \text{ s}$  ter znane prostornine splakovalnega korita lahko določim potrebni pretok črpalke:

$$Q_{\xi} = \frac{V_k}{t} = \frac{7000 \text{ l}}{700 \text{ s}} = 10 \frac{\text{l}}{\text{s}}.$$

$V_k$  volumen splakovalnega korita [ l ],

$t$  čas polnjenja korita [ s ].

Tlačni vod je sestavljen iz litoželeznih elementov. Izberem cev premera 100 mm, skupne dolžine 4,2 m.

Hitrost vode v tlačnem vodu:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{d^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,1 \text{ m})^2 \cdot \pi} = 1,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



$\Delta E_{lin}$  linijske izgube v cevovodu [ m ],

Lokalne izgube:

- iztok (  $\xi_{iz} = 1,0$  ),
- lok DN 100/90° (  $\xi_{90^\circ} = 0,51$  ),
- zaporni ventil DN 100 v odprtem stanju (  $\xi_{zv} = 0,14$  ),
- nepovratni ventil DN 100 (  $\xi_{npv} = 7,00$  ),

$$\Delta E_{lok} = (\xi_{npv} + \xi_{zv} + 2 \cdot \xi_{90^\circ} + \xi_{iz}) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = (7,00 + 0,14 + 3 \cdot 0,51 + 1,0) \cdot \frac{(1,27 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,29m .$$

$\Delta E_{lok}$  lokalne izgube v cevovodu [ m ],

$\xi$  koeficient lokalnih izgub [ / ].

Tlačna višina:

$$h_{\check{c}} = h_{geod} + \sum \Delta E_{lin} + \sum \Delta E_{lok} = 3,4m + 0,09m + 0,29m = 3,78m .$$

$h_{\check{c}}$  višina črpanja [ m ],

$h_{geod}$  geodetska višina [ m ],

$\sum \Delta E_{lin}$  vsota linijskih izgub [ m ],

$\sum \Delta E_{lok}$  vsota lokalnih izgub [ m ].

Moč črpalke:

$$P_{\check{c}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_{max} \cdot h_{\check{c}}}{\eta} = \frac{1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,01 \frac{m^3}{s} \cdot 3,78m}{0,70} = 529W \cong 0,55kW .$$

$P_{\check{c}}$  moč črpalke [ kW ],

$\rho$	gostota medija [ kg/m <sup>3</sup> ],
$g$	težnostni pospešek [ m/s <sup>2</sup> ],
$Q_{\max}$	maksimalni pretok skozi črpalko [ m <sup>3</sup> /s ],
$h_{\xi}$	višina črpanja [ m ],
$\eta$	izkoristek črpalke [ / ].

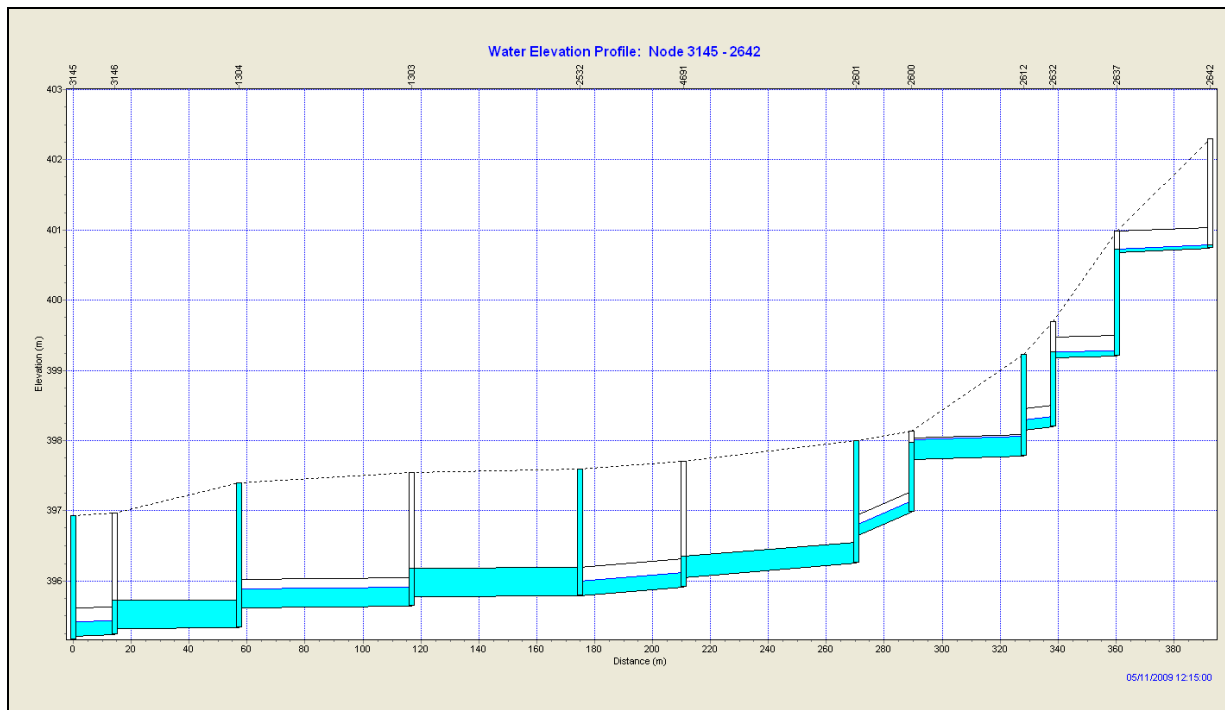
### 6.3 Analiza hidravličnih razmer po izgradnji ZBDV

Pri izdelavi diplomske naloge ( idejne zasnove ureditve odvajanja in čiščenja padavinskih voda ) sem težil k dvema ciljema. Prvi, najpomembnejši cilj, je bila zahteva, da je koncentracija onesnaženja prelite odpadne vode nižja od 110 mg/l KPK. Drugi, prav tako pomemben dejavnik, pa je ekonomski vidik investicije. Zato sem poiskoval z najmanjšim možnim številom zadrževalnih bazenov zadržati zahtevano količino onesnaženja in s tem zaščititi naravne odvodnike.

Z izgradnjo petnajstih zadrževalnih bazenov zadostimo pogojema iz prejšnjega odstavka, čeprav se v nekaterih študijah pojavlja večje število zadrževalnih bazenov. Zmanjšanje števila zadrževalnih bazenov je možno predvsem zaradi medsebojno blizu ležečih razbremenilnih objektov, preko katerih lahko odpadna voda vteka v isti bazen, dodatno zmanjšanje števila zadrževalnih bazenov pa je mogoče zaradi ukinitve razbremenilnih objektov okoli Škalskega in Velenjskega jezera. Pri tem je potrebno opozoriti, da z zmanjšanjem števila zadrževalnih bazenov ne zmanjšamo skupnega zadrževalnega volumna ( cca. 5000 m<sup>3</sup> ). V kolikor bi želeli zmanjšati skupni zadrževalni volumen, je potrebno potoke, ki vtekajo v sistem, izločiti.

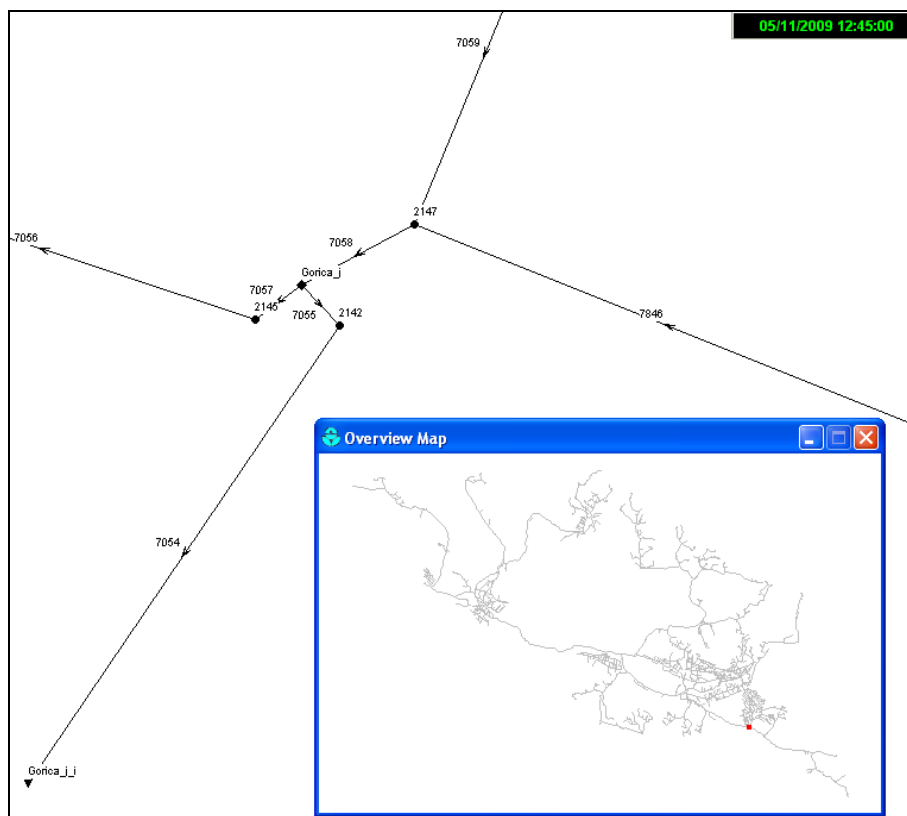
Dobljeni zadrževalni volumni so izračunani po priporočilih smernic ATV, in sicer po metodi enostavnejšega postopka. Izračunani volumni služijo le kot okvirne oziroma začetne vrednosti za dimenzioniranje potrebnega volumna po kontrolnem postopku. Za določitev natančnejših volumnov po kontrolnem postopku je potrebno izvesti meritve dejanskih letnih količin in koncentracij onesnažil v prelitih odpadnih vodi in količine prelite vode.

Vzpostavljeni model KS nam omogoča pregled preobremenjenih odsekov, prav tako je na vzdolžnih prerezih mogoče opazovati gladino oz. tlačno črto in energijsko črto. Na kanalizacijskem omrežju je med ali po nalivu več kanalov, po katerih odpadna voda odteka pod pritiskom in v primeru, da ne prihaja do iztekanja odpadne vode iz omrežja, ti odseki niso problematični. Vendar pa pri 5 minutnem nalivu na več mestih prihaja do iztekanja.



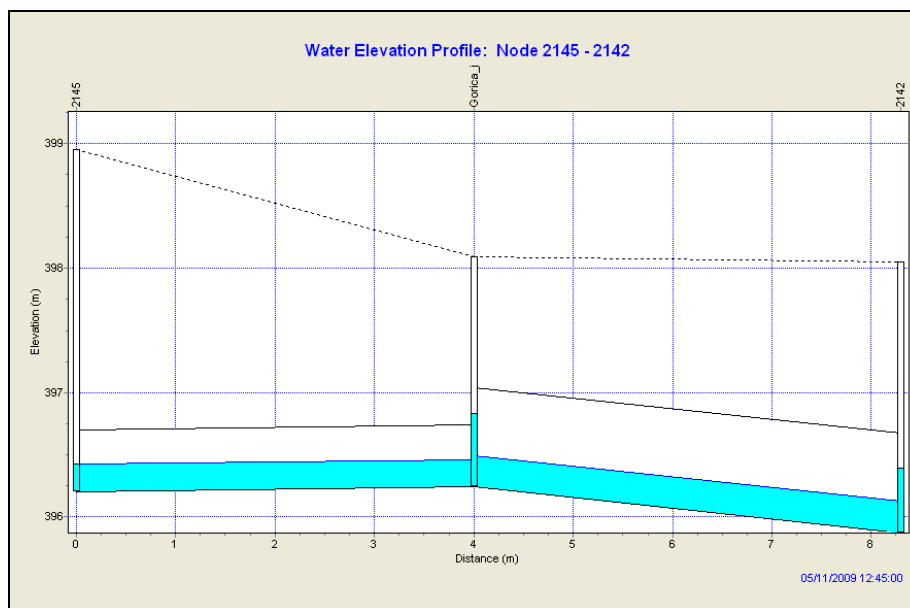
**Slika 11: Vzdolžni prerez KS s prikazom polnih jaškov pri 5 minutnem nalivu**

Na KS so najbolj problematični razbremenilni objekti, saj mnogi med njim niso ustrezno načrtovani, med te pa sodi tudi na spodnji situaciji prikazani razbremenilni objekt Gorica\_I. V primeru tega razbremenilnega objekta je dušilka neustreznih dimenzij ( $\Phi=0,50$  m), zato ne opravlja svoje osnovne funkcije. Prav tako je krona preliva razbremenilnika prenizko, zaradi česar prihaja do preliivanja odpadne vode v odvodnik že pri manjših nalivih, kljub temu da dušilka še ni pričela opravljati svoje funkcije, kar seveda ni sprejemljivo.



Slika 12: Situacijski prikaz razbremenilnega objekta Gorica\_I

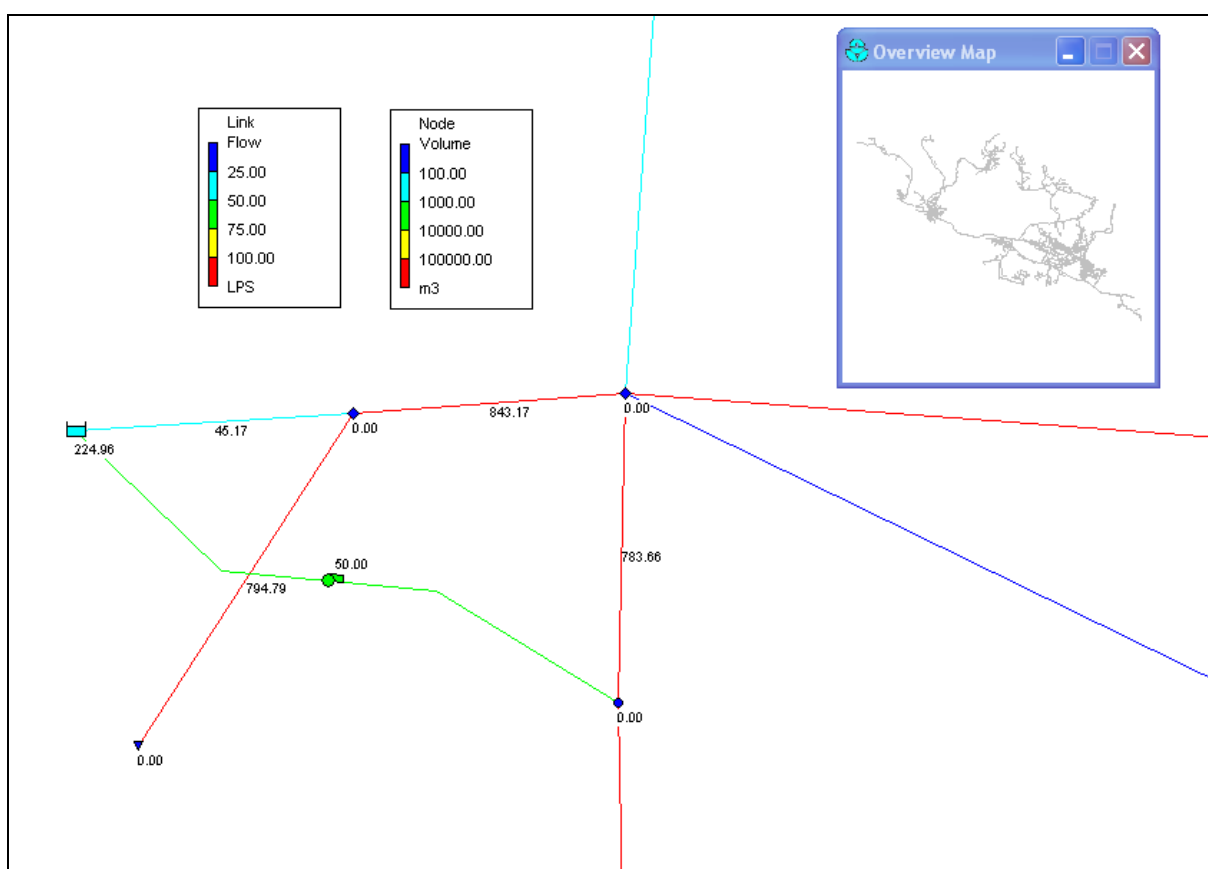
Na vzdolžnem prerezu je prikazana zgoraj opisana problematika preliivanja odpadne vode v odvodnik še preden prične delovati dušilka.



Slika 13: Vzdolžni prerez dušilke razbremenilnika Gorica\_I in razbremenilnega kanala

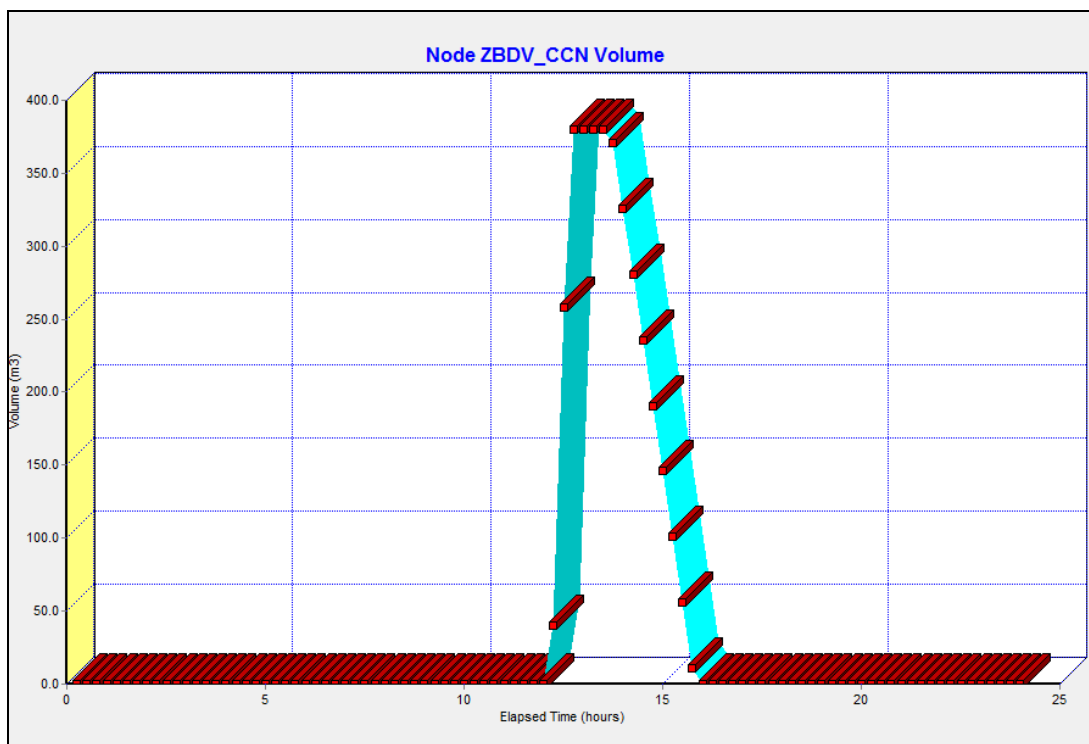
V hidravlični model KS sem vnesel predvideni zadrževalni bazen pred Centralno čistilno napravo in opazoval dogajanje med petminutnim nalivom. Prav tako sem primerjal računsko dobljene rezultate z rezultati simulacije.

Polnjenje bazena se prične ob 12:00, najvišji vtok v bazen pa se pojavi 12:45, ko je višina odpadne vode v bazenu 3,60 m, absolutna kota gladine znaša 347,70 m, v bazenu pa se ustvari akumulacija 380,00 m<sup>3</sup>. Nato sledi vklop črpalke za praznjenje bazena ( 50 l/s ), za praznjenje pa je potrebno 2 uri in 07 minut. Vrednosti, dobljene pri simulaciji, se bistveno ne razlikujejo od računsko določenih vrednosti.



Slika 14: Prikaz zadrževalnega bazena CČN v trenutku tik preden se napolni in se prične prelivanje odpadne vode v vodotok





Slika 15: Grafični prikaz polnjenja in praznjenja zadrževalnega bazena

Ime zadrževalnika	Potrební efektivni gorvodni volumen ( m3 )	Dejanski volumen ( m3 )
Selo	350.00	350.00
Šalek	675.05	325.05
Gorica II	210.73	210.73
Zdravstveni dom	311.47	311.47
Jenkova cesta	1175.08	863.60
Gorica I	315.16	315.16
Gasilski dom	392.33	77.18
Podkraj	215.74	215.74
Gorenje	2974.46	305.52
Stara vas	284.08	284.08
Bela dvorana	1043.73	759.66
Pesje	4449.69	431.50
Šoštanj	4542.45	92.76
Pohrastnik	79.18	79.18
CČN	4993.67	372.04
Skupaj	/	4993.67

Preglednica 4: Izračunani skupni efektivni gorvodni volumni in dejanski volumni

V zgornji preglednici so podani izračunani volumni za vse predvidene zadrževalne bazene na kanalizacijskem sistemu Velenje - Šoštanj. Prvi stolpec podaja potrebne učinkovite gorvodne volumne, ki so izračunani za posamezno prispevno površino, vključno z gorvodno vezanimi prispevnimi površinami. V drugem stolpcu so podani dejanski zadrževalni volumni za posamezno prispevno površino ob že upoštevanih gorvodno ležečih zadrževalnih bazenih.

Vsi volumni so določeni na podlagi predpostavke, ki zahteva, da je koncentracija onesnaženja KPK v prelivajoči vodi nižja ali enaka 110 mg/l. Zaradi strogo postavljene mejne koncentracije onesnaženja prelivajoče vode, je pri večini zadrževalnih bazenov specifični zadrževalni volumen večji od priporočenega specifičnega volumna podanega v smernicah ATV ( 40 m<sup>3</sup>/ha ). Zgornja meja specifičnega volumna ni presežena le v dveh primerih in sicer pri zadrževalniku Gorica II in Šoštanj.

Največji zadrževalni volumen je potreben na območju mesta Velenje in znaša 863,30 m<sup>3</sup> ( ZB Jenkova cesta ) ter zbira onesnaženo odpadno vodo s prispevne površine velikosti približno 22 ha. Na omenjeni zadrževalni bazen je gorvodno vezan zadrževalni bazen Zdravstveni dom s prispevno površino v velikosti 3,5 ha. Najmanjši zadrževalni bazen je Gasilski dom s prispevno površino v velikosti 5,7 ha in nima gorvodno vezanih zadrževalnih bazenov. V primeru ZB Gasilski dom in še v nekaterih drugih primerih na omrežju Velenje - Šoštanj je zaradi razmeroma majhnih zadrževalnih volumnov smiselno te zadrževalne volumne vključiti v dolvodno ležeče zadrževalne bazene in s tem zmanjšati stroške investicije izgradnje zadrževalnih bazenov.

## 7 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu so predstavljene nemške smernice ATV-A 128 za dimenzioniranje zadrževalnih bazenov, prav tako pa je predstavljen računalniški program SWMM ( Storm Water Management Model ), ki omogoča dinamične simulacije padavinskega odtoka za enkratni dogodek ali dolgoročne simulacije kvantitativnega in kvalitativnega odtoka. S pomočjo programa SWMM sem izdelal model kanalskega sistema Velenje – Šoštanj, nato pa na podlagi dobljenih rezultatov in smernic ATV-A 128 po enostavnem postopku določil potrebne zadrževalne volumne.

Kanalizacijski sistem Velenje – Šoštanj je zelo zapleteno omrežje, saj je večje število razbremenilnikov vezanih zaporedno. Glede na to, da nobeden izmed izračunanih zadrževalnih volumnov ne izpolnjuje pogojev dimenzioniranja po enostavnem postopku, je potrebno zadrževalne volumne določiti po kontrolnem postopku. Vendar je za uporabo kontrolnega postopka potrebno pridobiti izmerjene podatke dejanskih koncentracij onesnažil, žal pa ti podatki niso na voljo in jih bo potrebno pred izdelavo projektne dokumentacije za izgradnjo zadrževalnih bazenov pridobiti z meritvami na iztočnih mestih na kanalskem sistemu.

Na omrežju je predvidenih 15 zadrževalnih bazenov, pri tem pa je potrebno poudariti, da je na omrežju nujna obnova določenih kanalov, ki so v zelo slabem stanju in ne zagotavljajo vodotesnosti. V sklopu izdelave projektne dokumentacije za izgradnjo zadrževalnih bazenov je smotno na novo določiti in dimenzionirati razbremenilne objekte, saj velik del obstoječih razbremenilnikov ne deluje pravilno. Odvečni razbremenilni objekti se ukinejo.

Zadrževalni volumni so dimenzionirani tako, da zajamejo prvi čistilni val ali kritični dotok na čistilno napravo in s tem preprečujejo uhajanje onesnaženja iz KS in v odvodnike. Upoštevan je bil pogoj, ki predvideva, da v primeru, ko se zadrževalni bazen napolni in se odpadna voda prične prelivati v vodotok, le-ta ne vsebuje več kot 110 mg KPK/l. S tem pogojem

zagotovimo, da je odpadna voda, ki izteka iz KS, enake kvalitete, kot kvaliteta vode v odvodniku oz na iztoku iz ČN.

Natančneje je obdelan zadrževalni bazen pred Centralno čistilno napravo. Izveden je bil izračun dimenzij bazena, vseh potrebnih črpalk in ostale strojne opreme. Prav tako je objekt umeščen v prostor, obdelana je izgradnja novega združitvenega objekta. Kot že omenjeno sem potrebne zadrževalne volumne določil po enostavnejšem postopku, saj podatkov za dimenzioniranje po kontrolnem postopku ni mogoče pridobiti oziroma ne obstajajo.

Zadrževalni bazen je izdelan kot armiranobetonska škatla dimenzij 15,0x7,0x3,6 m. Za potrebe obratovanja in vzdrževanja so predvideni štirje vhodi, ki so dvignjeni nad koto stoletnih voda. Pred vtokom v razbremenilni objekt je predvidena izgradnja združitvenega objekta, ki združuje dotok odpadnih voda iz smeri Topolšice in smeri Šoštanja. Razbremenilnik deluje tako, ko je dosežen kritični pretok  $Q_{krit} = 0,778 m^3 / s$ , se prične odpadna voda prelivati v zadrževalni bazen, ko se le-ta napolni, se prične odpadna voda prelivati v razbremenilno komoro in gravitacijsko odteka v odvodnik, v kolikor gravitacijski odtok ni mogoč ( pojav visokih voda ) pa se prelita odpadna voda prečrpava v odvodnik. V zadrževalnem bazenu bodo vgrajene črpalke za praznjenje bazena, za polnjenje splakovalnega korita in že prej omenjene črpalke za prečrpavanje prelite odpadne vode.

Kljub do sedaj izvedenim tehničnim ukrepom bo potrebno na KS Velenje – Šoštanj še veliko postoriti. Potrebno bo obnoviti velik del kanalov, saj so na določenih odsekih cevi že dotrajane in zagotavljanje tesnosti ni možno, ter zgraditi zadrževalne bazene deževnih voda. Vsi ti tehnični ukrepi pa bodo pomemben prispevek k programu sanacije voda v Šaleški dolini.

## VIRI

ATV-A 128E. 1992. Standards for the Dimensioning and Design of Stormwater Overflows in Combined Wastewater Sewers: 74 str.

Dejavnost čiščenja in odvajanja odplak. 2010. Komunalno podjetje Velenje d.o.o.

[http://www.kp-velenje.si/index.php?option=com\\_content&view=article&id=125&Itemid=200](http://www.kp-velenje.si/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=200)

( 24.03.2010 )

Friction Losses in Pipe Fittings. Tabele.

<http://www.westerndynamics.com/Download/friclossfittings.pdf> ( 05.04.2010 )

GIS podatki. 2010. Interni digitalni podatki podjetja. Velenje, Komunalno podjetje Velenje d.o.o.

Kolar, J. 1983. Odvod odpadne vode iz naselij in zaščita voda. Ljubljana. Državna založba Slovenije: 523 str.

Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodij. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, FGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 509 str.

Malainer, F. 2006. Razbremenilni objekti v kanalizacijskih omrežjih. Študijsko gradivo. 36 str.

Manifold System. The Ultimate GIS and Mapping.

<http://www.manifold.net/index.shtml> ( 16.08.2009)

Mesečne in letne višine padavin. Meteorološki letopis 2008. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

[http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%C5%A1ki%20letopis/2008pad\\_vis.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%C5%A1ki%20letopis/2008pad_vis.pdf)  
( 14.11.2009 )

Panjan, J. 2002. Odvajanje onesnaženih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, FGG: 91 str.

Panjan, J. 2007. Preliminarna študija kanalizacija Velenje – Šoštanj. Delovni osnutek I. faze. Inštitut FGG: 66 str.

Puhar, J. 1998. Krautov strojniški priročnik. 2. ponatis 12. izdaje. Ljubljana. Tehniška založba Slovenije: 694 str.

Rep, D. 2006. Uporaba programa SWMM in smernic ATV 128 za dimenzioniranje kanalizacijskih sistemov in zadrževalnih bazenov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer, Univerzitetni študij gradbeništva: 106 str.

Rossman, L.A. 2009. SWMM Users Manual, Version 5.0, HO, Water Supply and Water Resource Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: 259 str.

[http://www.epa.gov/ednrmrl/models/swmm/epaswmm5\\_user\\_manual.pdf](http://www.epa.gov/ednrmrl/models/swmm/epaswmm5_user_manual.pdf) ( 18.06.2010 )

Steinman, F. 1999. Hidravlika. 1. Ponatis. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, FGG: 295 str.

Šterbenk, E. 1999. Šaleška jezera: vpliv premogovništva na pokrajinsko preobrazbo Šaleške doline. Velenje. ERICo Velenje, Založništvo Pozoj Velenje: 192 str.

Wikipedija. 2010. Prosta Enciklopedija.

[http://sl.wikipedia.org/wiki/Glavna\\_stran](http://sl.wikipedia.org/wiki/Glavna_stran) ( 10.03.2010 )





## **PRILOGE**

- Priloga A:** Shema vezave zadrževalnih bazenov
- Priloga B:** Preglednica dotokov v posamezni zadrževalni bazen
- Priloga C:** Preglednica dejanskih in reduciranih prispevnih površin
- Priloga D:** Preglednica najdaljših časov odtoka
- Priloga E:** Izračun potrebnih gorvodnih zadrževalnih volumnov
- Priloga F:** Preglednica gorvodnih in dejanskih potrebnih zadrževanih volumnov
- Priloga G:** Grafični prikaz KS Velenje - Šoštanj
- Priloga H:** Grafični prikaz prispevni površin za posamezni zadrževalni bazen
- Priloga I:** Grafični prikaz prispevne površine za zadrževalni bazen CČN
- Priloga J:** Grafični prikaz umestitve ZBDV CČN v prostor
- Priloga K:** Tloris in prečni prerez ZBDV CČN