

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni študij vodarstva in
komunalnega inženirstva

Kandidatka:

Tjaša Kuclar

Ocena masnih obremenitev onesnaženih padavinskih, odpadnih in rečnih voda zboralnika A6 v Ljubljani

Diplomska naloga št.: 158

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Somentor:

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 2010

Errata

Stran z napako	Vrstica z napako	Napaka	Naj bo
-----------------------	-------------------------	---------------	---------------

IZJAVA O AVTORSTVU

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo,

podpisana TJAŠA KUCLAR izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
ANALIZA ONESNAŽENIH PADAVINSKIH, ODPADNIH IN REČNIH VODA

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

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana, 6. 12. 2010

(podpis kandidata/-ke)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 628.19:628.2(043.2)

Avtor: Tjaša Kuclar

Mentor: izr. prof. dr. Jože Panjan

Naslov: OCENA MASNIH OBREMENITEV ONESNAŽENIH
PADAVINSKIH, ODPADNIH IN REČNIH VODA ZBIRALNIKA
A6 V LJUBLJANI

Obseg in oprema: 85 str., 23 pregl., 31 sl., 7 pril.

Ključne besede: kanalizacijski zbiralnik A6, Mestna Gradaščica, kanalizacija,
padavinski odtok, odtok odpadne vode, prvi val, program SWMM
5, razbremenilniki, zadrževalniki

Izvleček:

V diplomski nalogi, je predstavljen izračun masne bilance suspendiranih snovi, skupnega fosforja, skupnega dušika, KPK in BPK₅, v kanalizacijskem zbiralniku A6 na območju Hajdrihove ulice 28 ter odvodnika, Mestna Gradaščica, pri stavbi na Hajdrihovi ulici 28 in za iztokom iz razbremenilnika pod mostom na Riharjevi cesti v Ljubljani. Koncentracija onesnažil je bila pridobljena na osnovi meritev, ki so se izvajale med leti 2004 in 2009 ter predstavlja izhodiščni podatek za preračun masne bilance na zgoraj omenjenih vzorčnih mestih. Prispevno področje kanalizacijskega zbiralnika A6 je izrazito urbanizirano. Na urbaniziranih površinah pa se ob padavinskih dogodkih, zaradi nepropustnosti površin, dogodi odtok padavinske vode, ki se odvodnjava preko sekundarne kanalizacije, le-ta pa je priključena na glavni zbiralnik. Odtok padavinske vode s cestišč, ki je zaradi obrabe pnevmatik in zavor vozil, obrabe vozišča ter nesnage voznikov, onesnažen s trdimi delci in ostalimi onesnažili, predstavlja za kanalski sistem znatno obremenitev. Predvsem to velja za odtok padavinske vode, po daljšem sušnem obdobju. Zaradi velikih pretokov v kanalu, v času padavin, so zaradi ekonomskega razloga, na mešanem kanalskem sistemu nameščeni razbremenilni objekti, ki razbremenijo višek odpadne in padavinske vode v odvodnik, kar pa lahko poruši naravni ekosistem in poveča evtrofikacijo le-tega.

V diplomskem delu je natančneje predstavljen prvi val padavinskega dogodka, kanalizacijski zbiralnik A6, porečje Gradaščice ter nemški standard ATV-A 128E.

V računskem delu diplomske naloge, pa sledi izračun hidravlične obremenitve kanalskega zbiralnika A6, s programom SWMM 5 ter izračun masne bilance za posamezna onesnažila, v kanalskem zbiralniku ter odvodniku. Ker razbremenilni objekti premalo varujejo odvodnik, po Strateško prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana, pa je eden izmed ciljev, da bo Ljubljana zopet kopalna reka, smo predvideli postavitev petih zadrževalnih bazenov in izvedli izračun potrebnih volumnov le-teh na podlagi nemškega standarda ATV-A 128E.

BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 628.19:628.2(043.2)

Author: Tjaša Kuclar

Supervisor: Assoc. Prof. Ph. D. Jože Panjan

Title: ESTIMATION OF THE BURDENING OF COLLECTOR A6 IN LJUBLJANA BY THE POLLUTED PRECIPITATION, WASTE WATERS, AND RIVER WATERS

Notes: 85 p., 23 tab., 21 pic., 7 supp.

Key words: sewage collector A6, the river Mestna Gradaščica, sewage system, waste water, rainwater run-off, first flush, SWMM 5 model, stormwater tank, stormwater overflow

Abstract:

In this thesis we presented the calculation of mass balance of the materials in suspension, total phosphorus, total nitrogen, COD and BOD₅ within sewage collector A6 in the area of Hajdrihova street No. 28 and behind the outfall from the stormwater overflow under the bridge at Riharjeva street in Ljubljana. The pollutant concentration was acquired on the basis of measurements which were carried out during the time period between the years 2004 and 2009, and it presents the basic data for conversion of mass balance at the above mentioned sample sites. The catchment area of sewage collector A6 is expressly urbanised. During precipitation events, on the urbanised areas, due to impervious areas the precipitation waters are drained through the secondary sewage systems which are connected to the main collector. Rainwater run-off from the road surfaces, which is heavily polluted with hard particles and other pollutants due to tire wear, vehicle breaking, road surface wear and other sorts of dirt caused by the drivers, represents a considerable burden to the sewage system. This is valid mostly for the rainwater run-off after a longer period of drought. Due to high rates of discharge during the precipitations, and owing to economic reasons, the stormwater overflows have been installed. These stormwater overflows disburden the surplus of waste waters and rainfall waters into the water drainage system, which can destroy natural ecosystem and increase its eutrophication.

This thesis presents a more detailed description of the first flush of precipitation event, sewage collector A6, riverbasin of the river Gradaščica and the German standard ATV-A 128E.

In the calculation part of this thesis there follows the calculation of hydraulic burdening of sewage collector A6 with the SWMM 5 model, and the calculation of mass balance for particular pollutants, both in sewage collector and river. The fact is that stormwater overflows protect the river insufficiently. Therefore, the Municipality of Ljubljana made the strategic spatial plan, where one of the targets is to make the river of Ljubljanica a river suitable for bathing again. So, we have envisaged the installation of five stormwater tanks and made the calculation of the necessary basin volumes based on the German standard ATV-A 128E.

ZAHVALA

Iskrena zahvala mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu, in somentorju asist. dr. Mariu Krzyku, pri usmerjanju, vodenju in pomoči pri nastajanju diplomske naloge.

Zahvala tudi mojim staršem, fantu ter bratu, pri spodbujanju in moralni podpori v času študija ter pri pisanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE:

1	UVOD.....	1
2	ODVOD PADAVINSKE IN ODPADNE VODE.....	3
2.1	Odvod padavinske vode.....	3
2.2	Odvod odpadne vode	4
2.2.1	Ločeni kanalizacijski sistem.....	5
2.2.2	Mešani kanalizacijski sistem	6
2.3	Prvi val	7
2.3.1	Splošno	7
2.3.2	Načini vzorčenja prvega vala	7
2.4	Razbremenjevanje in zadrževanje odpadne vode.....	14
2.4.1	Razbremenjevanje padavinske vode	14
2.4.2	Zadrževanje onesnaženih voda	14
2.5	Standard za dimenzioniranje in načrtovanje objektov s prelivanjem v mešanem kanalskem sistemu (ATV-A 128E)	15
2.5.1	Področje uporabe	15
2.5.2	Cilji obdelave padavinske vode.....	15
2.5.3	Pogoji pri obdelavi padavinske vode.....	16
2.5.4	Osnove načrtovanja	17
2.5.4.1	Zmanjšanje količine odpadne vode	17

2.5.4.1.1	Padavinski odtok.....	17
2.5.4.1.2	Odtok hišne ter industrijske vode	17
2.5.4.1.3	Infiltrirana voda kanalizacijskega sistema (tuja voda).....	17
2.5.5	Meritve za obdelavo odpadne vode v mešanem kanalizacijskem sistemu	18
2.5.5.1	Vmesno zadrževanje mešane odpadne vode	18
2.5.5.3	Obdelava odpadne vode	18
2.5.6	Objekti s prelivanjem.....	19
2.5.6.1	Razbremenilniki.....	19
2.5.6.2	Deževni prelivni bazeni	19
2.5.6.2.1	Deževni zadrževalni bazeni za zadržanje prvega vala padavinskega odtoka .	20
2.5.6.2.2	Deževni prelivni bazen	20
2.5.6.2.3	Kombinirani bazeni.....	21
2.5.6.2.4	Kanali z zadrževalno kapaciteto in prelivom.....	22
2.5.6.2.5	Postavitev deževnih bazenov.....	23
2.5.6.2.6	Razporeditev večjih deževnih prelivnih bazenov	25
2.5.6.2.6.1	Vzporedni deževni prelivni bazeni.....	25
2.5.6.2.6.2	Zaporedni deževni prelivni bazeni.....	26
2.5.7	Osnove načrtovanja.....	26
2.5.7.1	Dimenzioniranje individualnih objektov s prelivanjem.....	34
3	GLAVNI KANALIZACIJSKI ZBIRALNIKI MESTA LJUBLJANA	36

3.1	Splošno o kanalizacijskem sistemu v Ljubljani.....	36
3.2	Kanalizacijski zbiralnik A6.....	37
3.2.1	Hidrološko pedološke značilnosti prispevnega področja	37
3.2.2	Podatki o obstoječem kanalizacijskem sistemu.....	38
3.2.3	Opis trase kanalizacijskega zbiralnika A6.....	39
3.2.4	Prispevne površine	40
4	PRISPEVNO PODROČJE GRADAŠČICE.....	42
4.1	Geografske značilnosti	42
4.2	Geološka zgradba	42
4.3	Podnebje in padavine.....	44
4.4	Hidrografske razmere.....	45
4.4.1	Gradaščica s pritoki	45
4.4.2	Horjulščica s pritoki.....	45
4.4.3	Glinščica s pritoki.....	46
4.4.4	Rečni režim Gradaščice, Šujice in Glinščice.....	46
5	HIDRAVLIČNI MODEL KANALIZACIJSKEGA ZBIRALNIKA A6	47
5.1	Opis vzorčenja	47
5.2	Program SWMM 5.....	53
5.2.1	Tipična uporaba programa SWMM	54

5.3	Hidravlični izračuni pretokov na kanalskem zbiralniku A6 in Gradaščici ter izračun masne obremenitve	54
5.3.1	Izris obravnavanega območja v programu SWMM 5	55
5.3.2	Umerjanje modela	58
5.3.3	Izračun pretokov v kanalu.....	59
5.3.4	Primer dejanske vrednosti KPK in neraztopljenih snovi na razbremenilniku R40	64
5.3.5	Izračun pretokov v Mestni Gradaščici	65
5.3.6	Analiza stanja za kritični naliv s programom SWMM 5	70
5.3.7	Ročni preračun količine prelivajoče vode	75
5.4	Zadrževalni bazeni in določanje volumna.....	77
6	ZAKLJUČEK	81
VIRI		84

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1:	Koncentracija onesnažil v kanalizaciji z mešanim odtokom in v kanalizaciji samo s padavinsko vodo	6
Preglednica 2:	Sestava komunalnih odpadnih voda, (Imhoff, 1999)	6
Preglednica 3:	Podatki o kanalskih odsekih obstoječega zbiralnika A6 do razbremenilnega objekta R39	39
Preglednica 4:	Karakteristike prispevnih površin, ki gravitirajo na zbiralnik A6 od R43 do R39	41
Preglednica 5:	Datumi vzorčenja	47
Preglednica 6:	Parametri vzorčenja	48
Preglednica 7:	Izračun volumna padavin	58
Preglednica 8:	Izračun površinskega odtoka	59
Preglednica 9:	Izračun koeficienta odtoka	59
Preglednica 10:	Povprečna masna obremenitev kanalizacijskega sistema	60
Preglednica 11:	Masna bilanca kanalizacijskega sistema	61
Preglednica 12:	Vsebnost nitratov in skupnega N v površinskem odtoku (National reasearch council, 2009)	62
Preglednica 13:	Vsebnost fosfata in skupnega P v površinskem odtoku (National reasearch council, 2009)	63
Preglednica 14:	Pretoki z dne 22. 9. 2004 in 24. 9. 2004 (JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.)	64
Preglednica 15:	Rezultati meritev KPK in neraztopljenih snovi (SS), z dne 22.09.2004 in 24.09.2004 (JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.)	64
Preglednica 16:	Masna bilanca onesnažil v vodotoku	67
Preglednica 17:	Podatki za kritični naliv, v odvisnosti od povratne dobe, trajanja naliva in jakosti naliva (Vir: Hočevan, M., 2010, str. 34)	70
Preglednica 18:	Minimalna količina pretoka, katera se mora po ATV-A 128E standardu voditi na ČN	70
Preglednica 19:	Celotna količina prelite vode med posameznim kritičnim nalivom	75
Preglednica 20:	Količina prelivajoče vode	76
Preglednica 21:	Potrebni volumni zadrževalnih bazenov pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 110 mg/l	77
Preglednica 22:	Količina zadržane in prelite vode pri 5-minutnem kitičnem nalivu $n = 0,1$	79
Preglednica 23:	Izračun volumnov na poenostavljen način	80

KAZALO GRAFIKONOV:

Graf 1:	Območje pojava usedanja (Vir: ATV-A 128E, 1992)	20
Graf 2:	Količina padavin za datume vzorčenja	50
Graf 3:	Primerjava koncentracij neraztopljenih snovi – SS	50
Graf 4:	Primerjava koncentracij skupni fosfor.	51
Graf 5:	Primerjava koncentracij skupni dušik	51
Graf 6:	Primerjava koncentracij KPK	52
Graf 7:	Primerjava koncentracij BPK ₅	52
Graf 8:	Odtočna krivulja.....	59
Graf 9:	Masna obremenitev kanala z onesnažili.....	62
Graf 10:	KPK in neraztopljene snovi odpadne vode na R40 dne 22. 9. 2004 (JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.)	65
Graf 11:	Masna obremenitev vodotoka s suspendiranimi snovmi	68
Graf 12:	Masna obremenitev vodotoka s KPK in BPK ₅	68
Graf 13:	Masna obremenitev vodotoka s skupnim fosforjem in skupni dušikom.....	69
Graf 14:	Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5 pri kritičnem nalivu 5 minut in različnih povratnih dobah	72
Graf 15:	Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem nalivu 10 minut in različnih povratnih dobah	73
Graf 16:	Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem nalivu 15 minut in različnih povratnih dobah	73
Graf 17:	Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem nalivu 20 minut in različnih povratnih dobah	74
Graf 18:	Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem nalivu 30 minut in različnih povratnih dobah	74
Graf 19:	Vpliv koncentracije KPK deževnega odtoka na dovoljeno letno mero prelivanja ..	78
Graf 20:	Vpliv koncentracije KPK deževnega odtoka na specifični volumen	78

KAZALO SLIK:

Slika 1:	Koncentracije prvega vala (http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx)	8
Slika 2:	Definicija masnega prvega vala (http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx)	10
Slika 3:	Primer odvzema vzorcev prvega vala v odvisnosti od časa (http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx)	11
Slika 4:	Primer polutografa (http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx)	12
Slika 5:	Hidrotoksičen graf (http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx)	13
Slika 6:	Primer grafa »hidrodelcev« (http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx)	14
Slika 7:	Primer kombiniranega bazena na glavnem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992).....	21
Slika 8:	Primer kombiniranega bazena na stranskem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)	22
Slika 9:	Kanal z zadrževalno kapaciteto in prelivom na zgornjem delu (Vir: ATV-A 128E, 1992)	22
Slika 10:	Kanal z zadrževalno kapaciteto in prelivom na spodnjem delu (Vir: ATV-A 128E, 1992)	23
Slika 11:	Deževni zadrževalni bazen na glavnem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992).....	23
Slika 12:	Deževni zadrževalni bazen na stranskem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)	24
Slika 13:	Deževni prelivni bazen na glavnem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992).....	24
Slika 14:	Deževni prelivni bazen na stranskem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)	24
Slika 15:	Primer vzporedno povezanih deževnih bazenov (Vir: ATV-A 128E, 1992)	26
Slika 16:	Primer zaporedno vezanih deževnih bazenov (Vir: ATV-A 128E, 1992).....	26
Slika 17:	Vpliv kanalizacijskih usedlin.....	32
Slika 18:	Določitev specifičnega zadrževalnega volumna v odvisnosti od razmerja padavinskega odtoka in dovoljene stopnje prelivanja.....	33
Slika 19:	Kritična intenziteta naliva v odvisnosti od dotočnega časa	34
Slika 20:	Glavni zbiralniki kanalizacijskega sistema Ljubljane	37
Slika 21:	Skica kanalizacijskega zbiralnika A6 in njegove prispevne površine	41
Slika 22:	Porečje Gradaščiče, Mestne Gradaščiče in Malega Grabna (Vir: ARSO)	42
Slika 23:	Prispevna površina, analizirana v programu SWMM.....	55
Slika 24:	Izgled osnovne strani programa SWMM 5.....	55
Slika 25:	Okno za določanje osnovnih nastavitev	56

Slika 26: Okno za določanje karakteristik	56
Slika 27: Okno za določanje karakteristik vozlišč	57
Slika 28: Okno za določanje karakteristik kanalov	57
Slika 29: Vodostaj Mestne Gradaščice na dan: 11.12.2009	66
Slika 30: Primer prečnega profila kanalskega zbiralnika A6 in polnitev cevi pri povečanih dimenzijah kanalov v primeru kritičnega naliva	71
Slika 31: Primer prečnega profila kanalskega sistema in polnitev cevi pri kritičnem nalicu 5- minutnem kritičnem nalicu, s povratno dobo 10 let.	72

1 UVOD

Voda ima pri življenjskih procesih vseh živih organizmov pomembno vlogo. Človek uporablja vodo v večji meri kot topilo, transportni medij pri odstranitvi nezaželenih snovi, le v manjši meri pa kot živilo. Prav tako ima voda pomembno vlogo v industriji, pri različnih tehnoloških procesih, kjer se jo uporablja predvsem za odstranjevanje nesnage in odvečne toplote. Zaradi zgoraj omenjene uporabe vode nastaja odpadna voda, ki vsebuje odpadne snovi, v primeru tehnoloških odpadnih voda lahko tudi odvečno toploto. Vse to pa vpliva na naravno ravnotežje kakovosti vodnih recipientov.

Za normalne bivalne razmere ter zaradi zdravstvenih razlogov mora biti urejen odvod odpadne vode ter odstranitev nesnage iz človekove okolice. Tega so se zavedali že v času kamene dobe, na območju današnje Norveške, ko so sistematično odlagali trdne odpadke. Izkopanine iz časa bronaste dobe pa pričajo o visoki razvitosti stanovanjske in komunalne higijene na območjih Asirije, Babilona, Indije, Krete, Egipta, Palestine in Grčije. Iz obdobja starega veka so našli v številnih mestih, kot so Memphis, Ninive, Babilon, Jeruzalem, Aleksandrija, Atene in Rim, odvodne kanale, s kanalizacijo v zgradbah in stranišča na vodno izpiranje. V mestu Agrigent na Siciliji pa so odpadno vodo že precej pred našim štetjem tudi čistili. (Kolar, 1983)

S širjenjem rimskega imperija se je pojavila kanalizacija tudi na območju Slovenije, in sicer na območju današnje Ljubljane, Celja in Ptuja. Za del Ljubljane, ki ga je obsegala takratna Emona, je mogoče v celoti rekonstruirati takratno kanalizacijsko omrežje. Kanalizacijski sistem je bil mešan. V obdobju, ob prehodu v srednji vek, ko je razpadala antična civilizacija, se je prenehala tudi skrb za komunalno higieno in higienske razmere v zelo strjeno grajenih naseljih so bile vse slabše. Spremembe so nastale šele v 19. stoletju, ko je l. 1830 v Londonu izbruhnila epidemija kolere. Tako je bilo zgrajeno v Londonu med 1840 do 1850 kanalizacijsko omrežje s kanali in dovolj velikimi padci za samoizpiranje.

Začetek sistematične izgradnje kanalizacije v Ljubljani se pojavi šele po letu 1899, ko je Hrasky, profesor na tehnični visoki šoli v Pragi, predložil skladno s takratnim urbanističnim načrtom za ureditev popotresne Ljubljane, tudi načrt kanalizacije. Slednji je predvidel gradnjo zbiralnikov na levem in desnem bregu Ljubljanice ter izgradnjo čistilne naprave na območju današnjega Kodeljevega oziroma na Fužinah.

Ta projekt je bil kasneje revidiran na predlog Ludviga Rotha z Dunaja, kateri je predlagal skromnejšo izvedbo, tako da naj bi oba zbiralnika zgradili plitveje, izlivala pa bi se v Ljubljanico dolvodno od nove zapornice na Ljubljani pri Šempetrski kasarni. Revidiran projekt je bil deloma izveden pred letom 1914, dokončan pa je bil med obema svetovnima vojnoma. Takrat je Ljubljana postala tudi upravno središče Slovenije in je bil njen razvoj nekoliko hitrejši. Hitrejši razvoj je privedel do razširitve kanalizacijskega omrežja na območju Viča, Šiške, Most in Bežigrada. Osnovi kanalizacijski sistem pa je ostal nespremenjen.

Po letu 1945 je Ljubljana doživela za 100 % povečanje obstoječih mestnih površin, s čimer je vzporedno sledilo tudi pospešeno urejanje kanalizacijskega omrežja. Zato so l. 1955 pripravili

okvirni investicijski program, ki je zajemal novo urbanizirano območje. Novo območje na severu omejuje Sava in rezervat ljubljanskega vodovoda, na zahodu bi se Ljubljana širila do črte Dravlje – Rožnik – Bokalce, na jugu pa bi bila skrajna meja cesta v Mestni log, na vzhodu pa takratno letališče. Primestna naselja, kot so Škofljica, Šentvid, Polje, Črnuče in ostala, bi bila ločena od mesta.

Izhodišča novega sistema so bila:

- kanalizacijski sistem na področju mestnega dela ostane še naprej mešan, z razliko od obrobni predelov, kjer so težave s priključevanjem zaradi razpoložljivega padca in kapacitet obstoječe kanalske mreže;
- glavni zbiralnik teče od zahoda proti vzhodu vzporedno s tokom Ljubljanice, vse do čistilne naprave;
- ker je reka Sava rekreacijsko področje in ker so vodni viri za preskrbo mesta v stiku s Savo, je potrebno to reko zaščititi pred onesnaženjem s kanalsko vodo;
- kanalska mreža naj bo izoblikovana tako, da bo možna rekonstrukcija železniške in cestne mreže na območju mesta ter da bo hkrati možno širjenje mesta proti vzhodu, prek kompleksa, ki ga zaseda letališče;
- načrtovanje novega sistema naj bo organizirano tako, da njegova izvedba ne bo zahtevala večjih rušenj obstoječih objektov in komunikacij;
- programirani sistem naj bi bil zasnovan tako, da ga je mogoče izvajati v etapah, ki so sproti funkcionalne in uresničljive ob razpoložljivem investicijskem potencialu.

Da bi našli najbolj funkcionalno in najbolj racionalno zasnovo, je bilo izdelanih 5 variant za trasiranje mreže zbiralnikov.

Po Strateško prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana (SPN MOL), ki je bil sprejet leta 2008, je eden od ciljev tudi, da bo Ljubljana zopet kopalna reka. Da bi to dosegli, je potrebno, da se vse onesnažene vode kontrolirano preko zadrževalnih bazenov v dopustnih mejah prelivajo v Ljubljanico. Da bi to dosegli, moramo natančno določiti masne bilance snovi (ogljik – BPK, KPK, dušik, fosfor, suspendirane snovi, itd.)

Zato bom v diplomski nalogi podrobneje analizirala in določila obstoječe stanje na zbiralniku A6, ki pokriva področje Viča, in predvidela potrebne volumne zadrževalnih bazenov na obstoječih, ki bodo varovali Ljubljanico pred prekomernimi masnimi obremenitvami s hranili in ostalimi onesnažili.

2 ODVOD PADAVINSKE IN ODPADNE VODE

2.1 Odvod padavinske vode

Padavinska voda, je voda, ki odteka iz nepropustnih ali slabo propustnih površin (dvorišč, parkirišč, streh, cest, trgov) in propustnih površin (vrtovi, zelenice). Nove pozidave, kot so tlakovane ceste, poti in dvorišča ter parkirni prostori, vodijo do povečanja deleža nepropustnih površin, kar pa privede do povečanje odtočnega koeficienta.

Onesnaženost padavinske vode je zelo različna, predvsem pa je onesnažena z mineralnimi snovmi ter organskimi primesmi. Padavinske vode so najbolj onesnažene po daljšem sušnem obdobju. To predvsem velja za odtok padavinske vode s cestišča. Le-te zaradi obrabe vozišča, naftnih derivatov, obrabe pnevmatik in zavor, soljenja cestišča in težkih kovin močno onesnažuje padavinski odtok z vozišča. Padavinski odtok onesnažuje tudi nesnaga voznikov ter kmetijski stroji. Vzrok padavinske onesnažene vode pa je lahko tudi onesnažena atmosfera, kar privede do kislega dežja.

Padavinske vode se načeloma odvodnjava v najbližji odvodnik, ker je le-ta po določenem času trajanja padavin zelo razredčena in ne predstavlja ogroženosti za odvodnik. Prvi val je lahko onesnažen za 20–30 % bolj kot sušni odtok odpadne vode. Tak padavinski odtok oziroma tako imenovani prvi val padavinskega odtoka mora biti očiščen na čistilni napravi. Tehnično se to rešuje z razbremenilniki, kjer pa razbremenilniki premalo varujejo odvodnik, se zgradijo še zadrževalni bazeni. V primeru razbremenilnikov se že v času naliva v odvodnik prelijejo vse količine nad kritičnim odtokom, količine pod kritičnim odtokom pa se odvedejo na čistilno napravo.

Za padavinske vode velja načelo čim daljšega zadrževanja padavinskih vod na mestu, kjer so padle, s čimer se povzroči zmanjšanje maksimalne količine odtoka po kanalizacijskem sistemu ter hidravlično zmanjšanje obremenitve čistilne naprave.

V Sloveniji je odvajanje padavinskih voda s cestišča urejeno z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest, ki je bila objavljena v Uradnem listu RS 47/2005 13. 5. 2005. Ta uredba določa v zvezi z zmanjšanjem onesnaženja okolja zaradi odvajanja padavinske vode, ki nastaja na območju javnih cest:

- ukrepe zmanjšanja emisije snovi z odvajanjem padavinske odpadne vode,
- mejne vrednosti emisije snovi v vodi in v javno kanalizacijo za padavinsko odpadno vodo, ki se odvaja s cestišča javne ceste in
- vrednotenje in merjenje emisije snovi.

Za posamezna vprašanja v zvezi z odvajanjem padavinske vode, ki niso urejena s to uredbo, se uporabljajo določbe predpisa, ki ureja emisijo snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo.

Glavni elementi te uredbe so točkovna in razpršena odvodnja, definicija neposrednega odvajanja z javnih cest, določitev kriterijev občutljivosti okolja, ločitev vod glede na nastanek (lastne, zaledne in tuje) ter posledično s tem določitev cilja avtocestnih zadrževalnikov,

ureditev sistema meritev padavinskih voda s cestišča ter zmanjšanje števila parametrov za vrednotenje emisij.

Padavinsko vodo na javnih cestah delimo glede na način nastanka padavinskega odtoka na tri vrste. Lastne vode predstavljajo padavine, ki padejo na utrjene površine javnih cest. Za lastne vode mora biti urejeno zbiranje, odvodnja ter po potrebi še obdelava.

Zaledne vode so padavinske vode, ki padejo na neutrjene površine javnih cest ter se razpršeno stekajo proti cestnemu telesu. Zaledne vode niso v stiku z lastnimi vodami, zato se zbirajo posebej ter odvajajo ločeno od zalednih voda.

Tuje vode nastajajo drugje ter so samo v posrednem stiku s cestnim svetom. Pritekajo iz gorvodnih, z javnimi cestami nepovezanih področij, po vodotokih ali razpršeno.

2.2 Odvod odpadne vode

Uporaba vode za različne namene, v urbanih in vaških naseljih, pripelje do nastanka odpadne vode. Le-te nastanejo kot posledica uporabe vode za transport nezaželenih snovi iz gospodinjstev, družbenih dejavnosti (zdravstvo, šolstvo in služnostne dejavnosti) ter industrije in obrti pa tudi iz kmetijstva. Vodo iz vodovodnih omrežij uporabljamo za zadovoljevanje osnovnih življenjskih in fizioloških potreb (1,5–3,0 l/(P*dan)), predvsem higieno, kuhanje in pomivanje (cca. 200 l/(P*dan)) ter ostale komunalne potrebe. Tudi industrija in obrt porabita 100–200 l/(P*dan).

Vodo v kanalizacijskem sistemu delimo glede na izvor in vrsto odtoka na:

– odpadno vodo:

~ **hišna odpadna voda** (odtok iz sanitarij, kuhinj, pranje perila, čiščenje prostorov, predmetov vsakdanje rabe, zunanjih zgradb ...).

Hišna odpadna voda ima povprečno temperaturo med 10–20 °C, pozimi nižjo, poleti višjo. Pri priključevanju odpadne vode na cevovode ni dovoljena višja temperatura kot 20 °C, pri izpustih v odvodnik pa je temperaturna meja višja (30 °C). Višje temperature niso dovoljene, ker povečajo porabo kisika. Sveža odpadna voda iz hiš ima rahel zadušljiv, zatohel, trohneč vonj. V primeru razkrajanja pa ima voda zaradi žveplovodika vonj po gnilih jajcih,. To je predvsem značilno za kanalske odseke z majhnim padcem, dolgim pretočnim časom in močnim odlaganjem organskih snovi pri visokih letnih temperaturah. Barva hišne odpadne vode je svetlo siva, črna siva, za razpadajočo vodo pa je značilna temno siva barva.

Za industrijske odpadne vode in vode iz kmetijskih površin je značilna popolnoma drugačna barva ter drugačen vonj;

~ **komunalna odpadna voda** (odtok, ki nastaja zaradi komunalnih dejavnosti);

~ **industrijska odpadna voda** (odtok iz industrije in obrtne proizvodnje, odtok iz sanitarij ter od čiščenja industrijskih in obrtnih prostorov);

~ **kmetijska odpadna voda** (odtok iz živinorejske ter poljedeljske proizvodnje).

– tuja voda

~ melioracijska voda (odtok zaradi dovoda drenažne vode, vode iz izvirov in potokov, padavinske vode v sistemu za sušni odtok);

– padavinska voda.

Za prenos odpadne vode ter padavinskih voda do čistilne naprave oziroma padavinskih voda do točke izpusta služijo odvodne cevi oziroma podzemni kanali.

Glede na tip iztoka delimo kanalizacijski sistem na ločeni in mešani kanalizacijski sistem.

Pri nas veljajo priporočila, da se mešani kanalizacijski sistemi gradijo v primeru velikih naselij, nad 1000 prebivalcev, pri majhnih naseljih in vaških naseljih do 1000 prebivalcev pa je smotrneje graditi ločene kanalizacijske sisteme.

Odvajanje odpadnih voda je v Sloveniji urejeno z Uredbo o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo (UL RS št. 41/04: 4737-4749: 13 str.).

Ta uredba v zvezi z zmanjševanjem onesnaževanja okolja zaradi odvajanja snovi in emisije toplote v vode, ki nastaja pri odvajanju komunalne, industrijske in padavinske odpadne vode ter njihovih mešanic v vode, določa mejne vrednosti emisije snovi v vode in v javno kanalizacijo, mejne vrednosti emisije toplote v vode, vrednotenje emisije snovi in toplote, prepovedi, omejitve in druge ukrepe zmanjševanja emisije snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda in vsebino okoljevarstvenega dovoljenja in primere naprav, za katere okoljevarstvenega dovoljenja ni treba pridobiti.

S to uredbo se ne ureja emisije toplote, barv, suspendiranih snovi in snovi, ki vplivajo na slanost vode pri odvajanju odpadnih vod v morje.

S to uredbo se ne ureja odvajanja radioaktivnih snovi, ki nastaja pri odvajanju odpadnih vod iz naprav.

2.2.1 Ločeni kanalizacijski sistem

Ločeni kanalizacijski sistem oziroma separaten kanalizacijski sistem ločeno odvaja odpadno ter ločeno padavinsko vodo, vsako po svojem kanalskem omrežju. Pri takem sistemu močnejša deževja ne povzročajo preobremenitve in zaježitve kanalov ter poplav na nižje ležečih priključkih, ker kanal za odvod padavinske vode ni v neposredni zvezi s kanalom za odpadno vodo. V primeru ponikanja ter zadrževanja padavinske vode se volumen ter konični odtok vode bistveno zmanjšata. Zaradi dokaj stalnega dotoka čistilne naprave delujejo zanesljivejše ter manj sunkovito. Izgradnja ter delovanje čistilnih naprav je cenejša, ker ni potrebna izgradnja deževnih bazenov, peskolovov ter podobno. Pomanjkljivost takega sistema predstavlja zapletenost sistema ter preglednost nad izrabo sistema, ki pa je manjša. Investicijski stroški so podvojeni zaradi vzdrževanja dvojnega sistema ter slabšega samodejnega izpiranja pri odvodu odpadne vode. Slaba stran ločenih kanalskih sistemov pa je tudi, nenadzorovano priključevanje prebivalcev na kanale za odpadno vodo, v kolikor to ni načrtovano, saj ga s tem prekomerno obremenijo, vključno s čistilno napravo, na kateri pride zaradi kratkih časov zadrževanja do izplakovanja biologije in posledično do slabega delovanja.

Delno ločene sisteme se gradi s ciljem zmanjševanja ter zakasnjevanja padavinskega odtoka, kar se lahko doseže z razpršenim zadrževanjem padavin na površini (ravne strehe, vrtovi, zelenice, parkirišča), s koncentriranim zadrževanjem na površini (suhi in mokri zadrževalniki) in pod površino ter ponikanjem na in pod površino.

2.2.2 Mešani kanalizacijski sistem

Namen mešanega kanalizacijskega sistema je zbiranje in odvod odpadnih voda, vključno z industrijskimi odpadnimi vodami ter padavinskim površinskim odtokom v enem kanalu. Odtok v času padavin se lahko poveča v primerjavi s sušnim odtokom tudi za stokrat. Za velikost cevi je tako merodajen padavinski odtok, vendar ne največji odtok, zato pa je potrebno ugotoviti, za katero pogostost ter kolikšne pretoke se naj gradi. Kanali so torej v času sušnega odtoka obremenjeni le z odpadno vodo. Odpadna voda ima v tem primeru vpliv le na določitev minimalnega padca kanala, ki je potreben za samoizpiranje.

Pri mešanem kanalizacijskem sistemu se običajno zgradijo tudi razbremenilniki, le-ti odvajajo večji del razredčene vode v odvodnik, preostalo odpadno vodo pa se vodi na čistilno napravo. V takšnem sistemu lahko pride do preobremenitve in zaježitve kanalizacijskega omrežja ter nižje ležečih priključenih prostorov, katere je potrebno zaščititi pred preplavitvijo. Pri mešanem kanalizacijskem sistemu je delovanje čistilne naprave manj zanesljivo ter bolj obremenjujoče za črpališča, zaradi dotoka onesnažene padavinske vode. Razbremenilniki pa imajo tudi slabši vpliv na odvodnik.

Kljub nekaterim pomanjkljivostim je izvedba mešanega kanalizacijskega sistema preprosta, poleg tega pa očistimo tudi onesnažene padavinske vode. Cena v primerjavi z izgradnjo ločenega kanalizacijskega sistema pa je nižja.

Preglednica 1: Koncentracija onesnažil v kanalizaciji z mešanim odtokom in v kanalizaciji samo s padavinsko vodo

Parameter	Koncentracija onesnažil:	
	Mešana kanalizacija [mg/l]	Padavinska kanalizacija [mg/l]
Suspendirane snovi	35–2000	130–11280
Skupni fosfor	0,8–9,4	0,2–4,5
Skupni dušik	1,0–16,5	0,5–6,5
KPK	80–1760	29–1514
BPK	10–470	3–90

Preglednica 2: Sestava komunalnih odpadnih voda, (Imhoff, 1999)

BPK [g/(PE*dan)]	N [g/(PE*dan)]	P ₂ O ₅ [g/(PE*dan)]
55	12	3,5

2.3 Prvi val

2.3.1 Splošno

Že prej omenjeni prvi val onesnaženja oziroma tako imenovani čistilni val predstavlja za odvodnik znatno obremenitev. Prvi val pojmuje odtok, ki se dogodi na začetku padavinskega dogodka. V njem so koncentracije onesnažil bistveno višje, kot jih ima kasnejši odtok. Koncentracija onesnažil v prvem valu je odvisna od številnih parametrov, kot so: prispevno območje, intenziteta padavin, nepropustno območje, predhodno sušno vreme. Med nepropustne površine štejemo predvsem cestišča, parkirišča, dvorišča, strehe in podobno. Na cestišču nastajajo onesnažila zaradi obrabe pnevmatik vozil, zavornih sistemov vozil ter temu posledično obrabe vozišča, ostanki olj in naftnih derivatov ter smeti. Vsi ti dejavniki pripomorejo k visoki koncentraciji onesnažil na cestišču. Koncentracija onesnažil se na cestišču kopiči, vse dokler ni sprana s cestišča, s padavinskim odtokom. Daljše sušno obdobje med padavinskimi dogodki privede do večjih koncentracij. Koncentracije onesnažil na cestiščih lahko zmanjšamo s pometanjem in splakovanjem.

Zaradi velikih koncentracij onesnažil lahko padavinski odtok, ki se razbremeni na razbremenilnih objektih, v odvodniku poruši naravno ravnovesje. Kljub temu da se na razbremenilnikih razbremeni razredčena padavinska voda, je ta še vedno lahko preobremenjena za odvodnike. Zato je za zaščito odvodnika bistveno, da to vodo zadržimo ter jo kasneje, ko se dotok odpadne vode na čistilno napravo umiri, pošljemo v kanalski sistem ter jo očistimo na čistilni napravi.

2.3.2 Načini vzorčenja prvega vala

Načini vzorčenja in ovrednotenje prvega vala padavinskega odtoka so zelo pomembni. Najprej naj bi bila na mestih vzorčenja ekipa, ki vzorči, vendar še preden se prične odtok. Vremenska napoved je pomembna za izogib trošenja časa in neučinkovite mobilizacije za padavine, ki se ne zgodijo, kot tudi za zagotovitev, da je ekipa vzorčenja pripravljena na resnični dogodek. Prometne ceste in ostale nepropustne površine so tiste površine, na katerih se odtok dogodi v minuti od nastopa padavinskega dogodka.

Kot drugo je pomembno pravilno vzorčenje in določitev količine prvega vala. Odvzem vzorcev mora biti izveden tudi na koncu padavinskega dogodka in ne samo na začetku le-tega. Taka zahteva pomeni, da bo vzorčenje prvega vala privedlo do bolj temeljitih virov kot običajno vzorčenje padavinskega dogodka. Vzorci so lahko zbrani ročno ali avtomatsko z večjim številom steklenic.

Najučinkovitejši sistem spremljanja parametrov odpadne vode je ON-LINE sistem, ki je postal pomemben del kvalitetnega nadzora in je v veliko pomoč laboratorijskim meritvam. Kvaliteten nadzor odpadnih vod je pomemben kot procesna kontrola za načrtovanje dela čistilnih naprav in izpust očiščene vode v naravno okolje (Thomas in Pouet, 2005).

Ker se pretoki in koncentracije onesnaženja odpadnih vod zelo spreminjajo (dnevno-nočni cikli, delovni dnevi, vikendi, sezona), onesnaženja ni mogoče pravilno ovrednotiti na podlagi rezultatov analiz enkratno, naključno odvzetih vzorcev. Potrebno je poznavanje pretokov in kontinuirano 24-urno vzorčenje z avtomatskimi vzorčevalniki in spremljanje pretoka odpadne

vode. Za točno poznavanje odpadne vode moramo meritve in analize izvajati dalj časa, in sicer tudi do nekaj tednov (Roš, 2001).

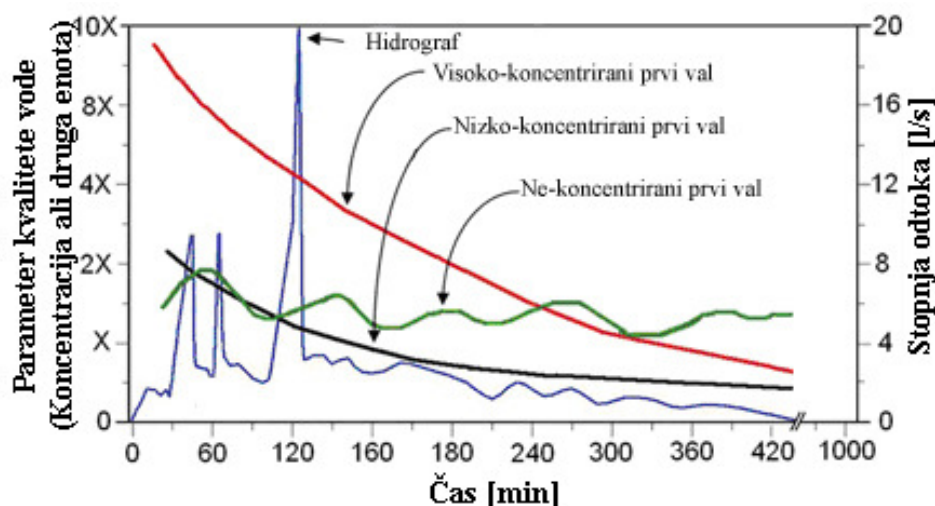
Pri on-line spremljanju kakovosti voda analiza poteka neposredno v vodi z uporabo ustrezne sonde, ki je kemično občutljiva. Glavne značilnosti on-line postopka so:

- analizator, ki se nahaja neposredno v mediju,
- stalno spremljanje,
- preprosti senzorji,
- majhen vpliv ozadja,
- nizki stroški, vendar tehnično zahtevna izvedba (Bonastre in sod., 2005).

Avtorji članka First-Flush Characterization for Stormwater Treatment priporočajo naslednje parametre za vzorčenje kvalitete vode: raztopljen organski ogljik, ortofosfat, kemijska poraba kisika (KPK), skupni Kjeldahl-ov dušik, raztopljen fosfor, olja in maščobe, skupni fosfor, raztopljen svinec, raztopljen baker, raztopljen cink, nitratni dušik, skupne suspendirane snovi.

Fenomen prvega vala je v osnovi mišljen za posamezni padavinski dogodek in ga lahko imenujemo tudi koncentracijski prvi val ali masni prvi val. Koncentracijski prvi val se pojavi, ko ima prvi odtok višje koncentracije kot kasnejši odtok. Masni prvi val je odvisen od dotoka in se dogodi, ko sta oba, koncentracija in začetni odtok, visoka glede na masno emisijsko vrednost v kasnejšem odtoku.

Koncentracijski prvi val je v raziskavah pogosto uporabljen, masni prvi val pa se vrednoti le redko in je ponavadi opazovan le v manjšem obsegu. To je ponavadi odvisno od same narave dogodka, ki ima načeloma na začetku padavinskega dogodka nižjo odtočno vrednost kot na sredini padavinskega dogodka. Vrednost masne energije naj bi bila v sredini padavinskega dogodka večja, kot na začetku padavinskega dogodka, navkljub nižjim koncentracijam na sredini padavinskega dogodka. Ta koncept je lahko uporabljen za vsako vrsto onesnažila ali za katerikoli parameter vode.



Slika 1: Koncentracije prvega vala (<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx>)

Iz *Slike 1* je razvidno, da je lahko koncentracija kemijske sestave na začetku odtoka za 10-krat višja od koncentracije odtoka na koncu padavinskega dogodka.

Koncept prvega vala lahko poimenujemo tudi sezonski prvi val. Kdaj poimenujemo prvi val oziroma kdaj sezonski prvi val, si lahko pogledamo na primeru Kalifornije. Za Kalifornijo ter še mnoga druga območja na zemeljski obli je značilno, da se padavine pojavijo v določenih obdobjih. Večji del padavin se v južnem delu Kalifornije dogodi v času od novembra do marca. Pri čemer imata januar in februar največ padavin. Dolgo sušno obdobje med aprilom in oktobrom povzroči nabiranje onesnažil. Prvo veliko deževje v sezoni, ki se dogodi kadarkoli od oktobra do januarja, splakne skoncentrirana onesnažila, s povzročitvijo večjega iztoka.

Termin prvi val se lahko uporablja kot:

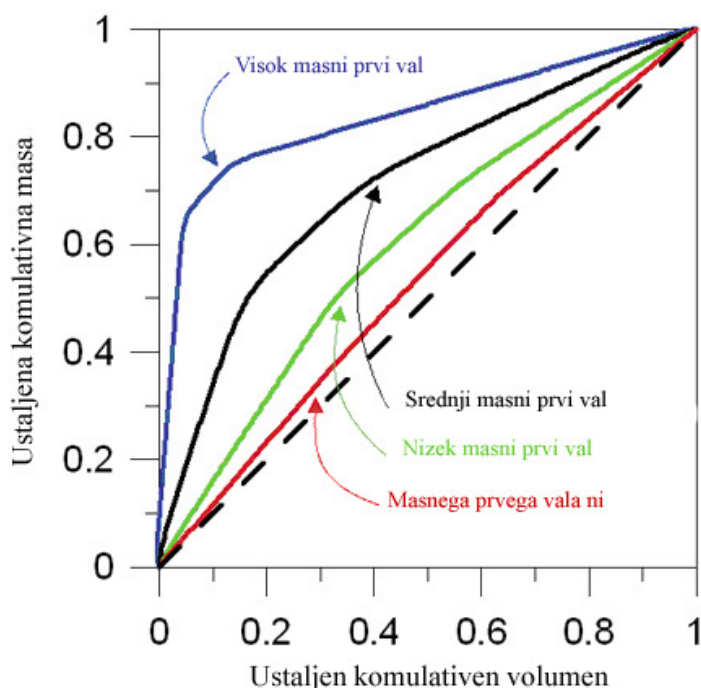
Prvi val: iztok večje količine ali večje koncentracije na začetku padavinskega dogodka. Ta izraz se lahko uporablja za vse vrste onesnažil.

Sezonski prvi val: iztok večje mase ali visokih koncentracij prvega ali prvih nekaj padavinskih dogodkov deževnega obdobja.

Termin prvi val se vedno nanaša na posamezni padavinski dogodek, termin sezonski prvi val pa je vedno uporabljen za celoten letni čas.

Obstoj prvega vala onesnaženja je definiran glede na različne kriterije. Thornton in Saul (1987) sta definirala prvi val kot začetno periodo padavinskega toka med padavinskim dogodkom. Geiger (1987) definira prvi val kot pojav, ko je naklonski kot normalizirane komulativne masne emisije izrisane nasproti normaliziranega komulativnega volumna večji od 45 %. Kasnejši raziskovalci so definirali prvi val enako kot Geiger, le da so uporabili le 25 % odtočnega volumna. Deletic (1998) je uporabil statistične metode, ki vključujejo mnogokratni regresijski model in omejil prvi val na prvih 20 % odtoka. Saget, Chebbo, and Bertrand-Krajewski (1998) definirajo prvi val kot pojav, ko je najmanj 80 % nakopičenih onesnažil prisotnih v prvih 30 % odtočnega volumna.

Na osnovi raziskave je bila predlagana stopnja masnega prvega vala, MFF, katera kvantitativno opiše masni prvi val in je primerna osnova za uporabo za kakršnokoli začetno količino padavin.



Slika 2: Definicija masnega prvega vala (<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx>)

Slika 2 prikazuje razmerje za olja in maščobe. Na osnovi Slike 2 se lahko določi masni prvi val za kakršnokoli sestavo pri kakršnemkoli volumnu.

Izračun srednje koncentracije onesnažil (EMC)

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int C(t)Q(t)dt}{\int Q(t)dt} \quad (2.1)$$

$$EMC = \frac{\sum_i c_i q_i}{\sum_i q_i} \quad (2.2)$$

EMC – srednja koncentracijska vrednost dogodka [mg/l]

M – nakopičena onesnažila med padavinskim dogodkom [g/(ha*leto)]

V – celotni padavinski odtok med padavinskim dogodkom [m³]

C_t – koncentracija, ki je reprezentativna v času vzorčenja »i« [mg/l]

Q_t – odtok, ki je reprezentativen v času vzorčenja »i« [m³/min]

i – vzorčno obdobje

Δt – časovni interval [min]

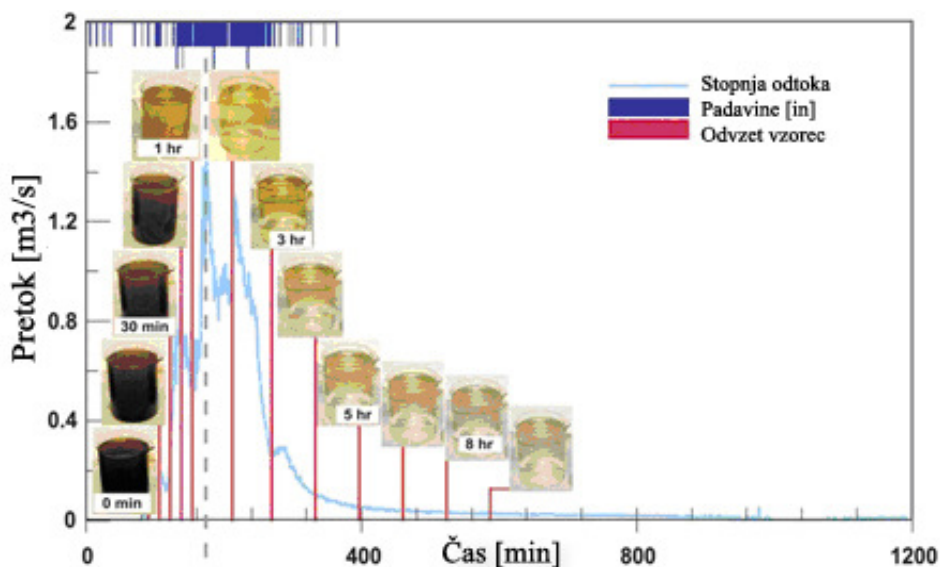
c_i – izmerjena koncentracija v času vzorčenja »i« [mg/l]

q_i – izmerjen odtok v času vzorčenja »i« [m³/min]

Predstavitev podatkov o prvem valu

- Vizualno opazovanje prvega vala

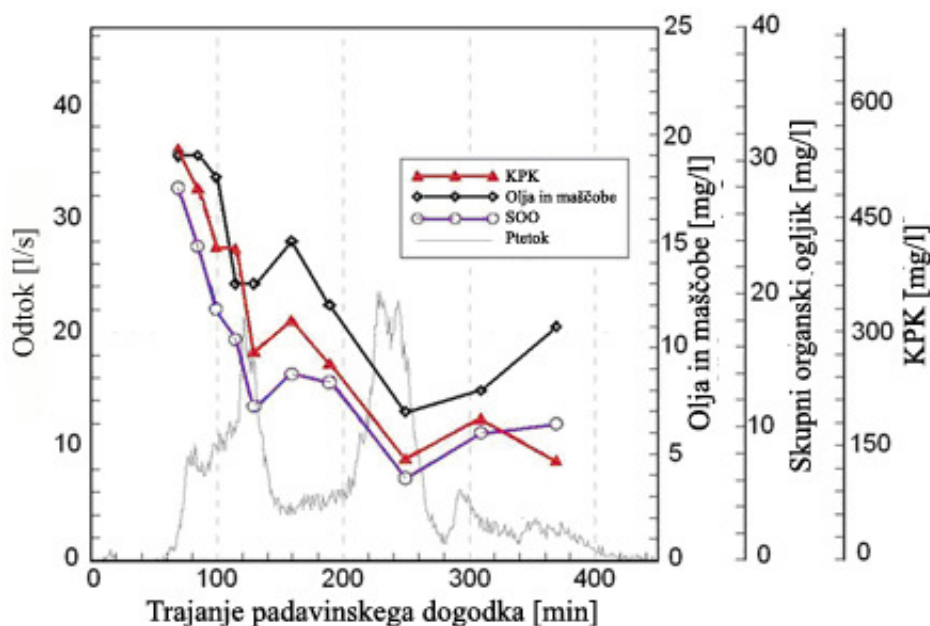
Prvi val je lahko kakovostno ovrednoten z opazovanjem. Opazovanje je lahko uporabno za določitev učinka »umazanije« prvega vala, motnosti ter ostalih organskih snovi, kot so olja in maščobe.



Slika 3: Primer odvzema vzorcev prvega vala v odvisnosti od časa
(<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx>)

Slika 3 prikazuje barvo in motnost vzorcev v časovnem poteku nevihte. Očitno je, da je prvih nekaj vzorcev bolj motnih, njihova barva pa je bolj temna. Temnejša barva ter večja motnost nista indikatorja večje organske ali anorganske koncentracije onesnaženja. Zato je potrebna tudi kvantitativna ocenitev prvega vala.

- Analize prvega vala lahko predstavimo s polutografom. Le-ta predstavlja variabilnost koncentracije parametra kvalitete vode tekom padavinskega dogodka. Polutograf je grafična predstavitev obeh, koncentracije parametrov kvalitete vode in hidrografa na enem grafu. Višje koncentracije na začetku padavinskega dogodka, v primerjavi z nižjimi koncentracijami v nadaljevanju padavinskega dogodka, so kazalec prvega vala posameznega odtoka. Primer polutografa prikazuje Slika 4.

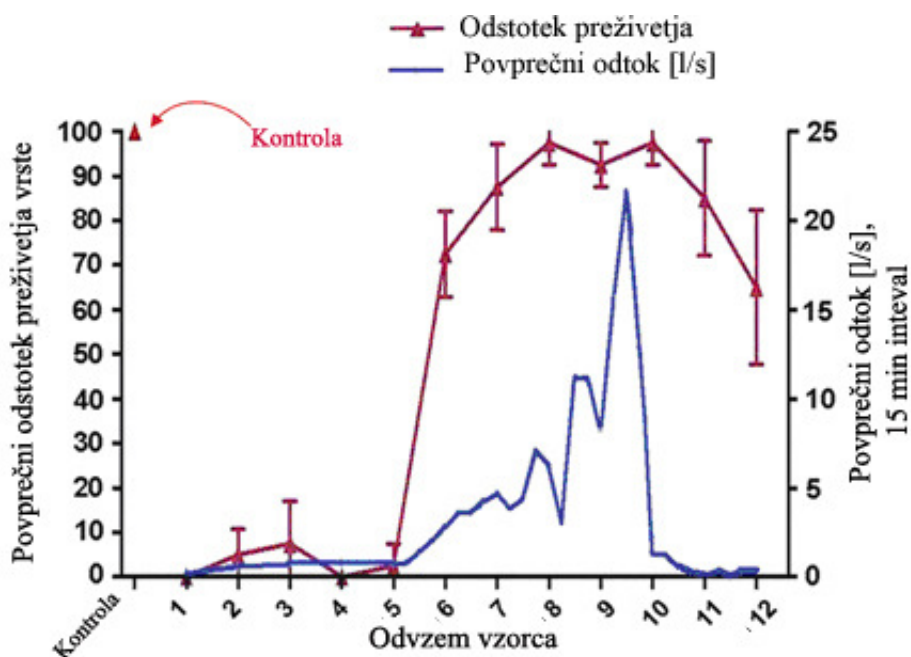


Slika 4: Primer polutografa (<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx>)

Kot je prikazano na *Sliki 4*, polutograf lahko prikazuje število parametrov kvalitete vode na posameznem grafu, ki je lahko uporaben za ponazoritev odnosa med parametri. Polutografi so lahko izdelani za vse parametre kvalitete vode, vključno s tistimi z enotami, z različnimi volumetričnimi koncentracijami (npr.: motnost, prevodnost).

- Koncentracijo prvega vala pa lahko prav tako izrazimo na osnovi razmerja delnega dogodka srednje koncentracije (PEMC), v primerjavi s celotno srednjo koncentracijo (EMC). PEMC je izračunan na enak način kot EMC. PEMC je lahko izračunan za prvih 60 (PEMC60), 90 (PEMC90) ali 120 (PEMC120) minut padavinskega dogodka. Razvidnost prvega vala je prisotna samo tako dolgo, dokler je razmerje PEMC/EMC večje od 1. Višje kot je razmerje, večja je koncentracija prvega vala.
- Analiza masnega prvega vala
Razmerje MFF je izračunano z grafom obremenitve, ki je graf normalne mase (y-os), proti kumulativnemu normalnemu odtočnemu volumnu (x-os). Razmerje MFF je ponavadi določen za 10 %, 20 %, 30 %, 40 % in 50 % odtočnega volumna.
- Analiza toksičnosti prvega vala
Učinek toksičnosti prvega vala je lahko ocenjen, ko sta pogostost in obseg toksičnosti v odvzetih vzorcih, ki so zbrani na začetku vsakega padavinskega dogodka, jasno razvidna iz vrednosti, ki so višje, v primerjavi z vrednostmi vzorcev, ki so odvzeti v nadaljevanju padavinskega dogodka.
Učinek toksičnosti prvega vala je skoraj vedno opazovan na osnovi prejšnjih ocenitev toksičnosti z uporabo dveh živalskih vrst (*P. promelas* in *C. dubia*), za koncentracijo, ki je smrtna, in za koncentracijo, ki je skoraj smrtna.

Tipičen hidrotoksičen graf je prikazan na *Sliki 5*. Graf predstavlja stopnjo toksičnosti med celotnim padavinskim dogodkom.

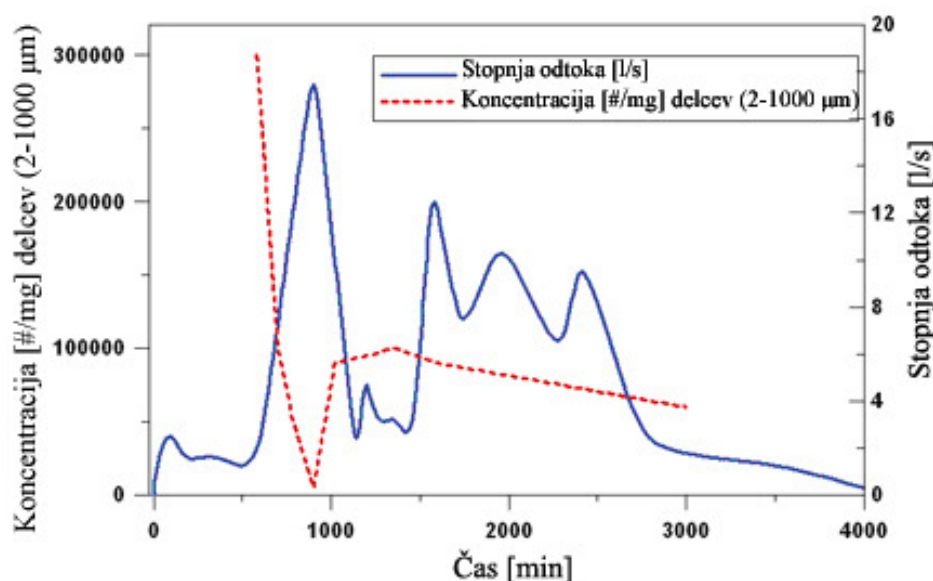


Slika 5: Hidrotoksičen graf (<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx>)

Iz *Slike 5* je jasno razviden učinek prvega vala. Povprečno preživetje vrste *P. promelas* po sedmih dneh oziroma pri petem odvzetem vzorcu je skoraj nično, kar nakazuje na prvi val. Prvi odtok je tako bolj onesnažen, občasno pa se višje koncentracije odvzetih vzorcev pojavijo tudi v kasnejšem odtoku. Omeniti velja, da posamezni odvzeti vzorci v času prvega vala niso toksični.

– Analiza delcev prvega vala

Koncentracija delcev je bila včasih označena s količino delcev določene velikosti, ki je najbolj primerna metoda, če ni na voljo štetje delcev. S sodobnimi merilniki delcev je možno določiti število delcev določene velikosti in maso delcev, brez te naprave pa pridejo v poštev tradicionalne metode določanja velikosti, kot so: sito, filtracija, centrifugacija ali ustalitev. Prvi val delcev je najboljše opisan s hidrografskim številom delcev ali hidrografom, zamenjavo velikosti delcev z določeno velikostjo niza pri različnem trajanju padavin, z delno srednjo koncentracijo delcev in razmerjem števila delcev prvega vala.



Slika 6: Primer grafa »hidrodelcev« (<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off-1.aspx>)

2.4 Razbremenjevanje in zadrževanje odpadne vode

2.4.1 Razbremenjevanje padavinske vode

Razbremenilne objekte se postavlja predvsem zaradi ekonomskih vidikov, saj se z razbremenilnimi objekti izognemo velikim dimenzijam kanalov, obremenitvi čistilne naprave z zelo razredčeno ter s hranili revno padavinsko vodo in povečanim volumnom zaradi zadrževalnih časov ob dežju.

Poznamo razbremenilnike, ki jih ločimo glede na odtok in prelivanje: (Panjan, 2005)

- razbremenilniki s prelivnim robom ter odtokom s prosto gladino,
- razbremenilniki z visokim prelivnim robom ter cevno dušilko na iztoku,
 - ~ bočni enostranski prelivni rob,
 - ~ bočni dvostranski prelivni rob,
 - ~ pravokotni prelivni rob,
- razbremenilniki z delilno ploščo,
- vrtinčni razbremenilniki.

2.4.2 Zadrževanje onesnaženih voda

Zadrževalne objekte se gradi:

- za ščitenje odvodnika pred preveliko obremenitvijo z onesnaženo vodo,
- za enakomerno obremenitev čistilne naprave,
- kadar se načrtuje manjši odtok od kritičnega pretoka in je želja po varovanju odvodnika ter
- za primer nesreč, da odteče v odvodnik čim manjše onesnaženje.

Zadrževalne bazene se gradi na sistemih za odvodnjavanje in so postavljeni tik pred prelivom v odvodnik oziroma na lokaciji razbremenilnikov visokih voda, saj se lahko z zaprtjem izpusta ali preliva onesnaženje zadrži ter odstrani. Minimalna efektivna prostornina ZB je 50 m³.

Osnovni tipi deževnih bazenov:

- **deževni zadrževalni bazeni**, katerih namen je zmanjšati maksimalni padavinski pretok,
- **deževni prelivni bazeni**, z njimi se zmanjša maksimalni padavinski odtok ter del vode, katera se preliva v odvodnik, se delno očisti,
- **deževni bazeni za čiščenje**, z njimi se delno očisti vsa dotekajoča voda pred izlivom v odvodnik,
- včasih mednje štejemo tudi **kombinirane deževne bazene**.

2.5 Standard za dimenzioniranje in načrtovanje objektov s prelivanjem v mešanem kanalskem sistemu (ATV-A 128E)

2.5.1 Področje uporabe

Za dimenzioniranje in načrtovanje hidrotehničnih objektov s prelivom v mešanem kanalizacijskem sistemu se uporablja nemški ATV Standard, ATV-A 128E. Le-ta se uporablja za objekte s prelivanjem za celoten sistem mešanega kanalizacijskega sistema brez prispevnega območja.

Po ATV standardu so objekti s prelivom v mešanem kanalizacijskem sistemu:

- objekti s prelivom v jezero ali reko:
 - ~ padavinski razbremenilniki,
 - ~ padavinski zadrževalniki s prelivom,
 - ~ kanali z zadrževalno kapaciteto ter prelivom.

2.5.2 Cilji obdelave padavinske vode

Zaradi upravljalških in ekonomskih razlogov je glavna naloga načrtovanja zbiranje odpadnih voda in obdelava onesnaženih padavinskih voda ter izogib odvodnje neonesnažene padavinske vode v kanalski sistem. Zaradi ekonomskih in tehničnih razlogov se del odtokov ob padavinskih dogodkih preko razbremenilnih in zadrževalnih objektov na mešanem kanalskem sistemu prelije v odvodnik.

Ob padavinskem dogodku se lahko dogodi odtok padavinske vode, ki je zelo obremenjen z onesnažili, t. i. prvi val, kateri lahko v primeru prelivanja v odvodnik poruši naravno ravnovesje le-tega. Kljub temu da je obremenitev le začasna, lahko koncentracije onesnažil za nekajkrat presežejo koncentracije onesnažil na iztoku iz čistilne naprave. Cilj obdelave padavinske vode je omejiti padavinski odtok na čistilno napravo, da so na iztoku iz čistilne naprave zahtevane koncentracije onesnažil vzdrževane, istočasno pa preliha padavinska voda v odvodnike ostane znotraj spremenljivih omejitev.

Cilj obdelave padavinskih voda mora biti najboljše možno zmanjšanje celotne emisije onesnažil na razbremenilnih in zadrževalnih objektih ter čistilni napravi, v skladu z zahtevami vodnega gospodarstva.

Znaten vpliv na kvaliteto prelite vode ter koncentracijo onesnažil imajo:

- prispevno področje ter lastnosti kanalskega omrežja,
- količina padavin,
- odtočni čas,
- padci terena,
- zadrževalna kapaciteta kanalov,
- prisotnost večjega onesnaženja,
- območja z ločenim sistemom.

2.5.3 Pogoji pri obdelavi padavinske vode

Tehnične zahteve za normalne pogoje so osnovane na podlagi emisijskih mejnih vrednosti brez ocenitve dejanskega stanja kakovosti jezer ali rek. Za jezera in reke brez posebne zaščite ali upravljalških zahtev je opazovanje le-teh mišljeno kot zadostno.

Obremenitev odvodnikov z onesnažili pri prelitih padavinski vodi je odvisna od vrste le-teh, količine, koncentracije, trajanja ter pogostosti obremenitve. Za nadomestilo teh parametrov standard kot glavni indikator onesnaženja uporablja, letno obremenitev onesnaženja s parametrom KPK (kemijska potreba po kisiku). Pri dimenzioniranju ter kontroli je tako letna KPK obremenitev teoretična navidezna vrednost, določena kot povprečje velikega števila let s povprečnimi pogoji, ki doseže jezera in reke s padavinskim odtokom.

Standard pri določanju potrebnega zadrževalnega volumna, za povprečne pogoje v Nemčiji, za osnovo uporablja naslednje privzete vrednosti:

- | | |
|---|----------|
| – povprečne letne padavine | 800 mm |
| – koncentracija KPK padavinskega odtoka c_r | 107 mg/l |
| – koncentracija KPK sušnega odtoka c_{dw} | 600 mg/l |
| – koncentracija KPK v iztoku padavinske vode iz ČN c_{tp} | 70 mg/l |

Odstopanja od zgoraj napisanih vrednosti v dejanski situaciji upoštevajo sledeče:

- povprečna letne višina padavin ima znaten vpliv na onesnaženost mešane odpadne vode ter na količino prelivanja. Večja količina letnih padavin vodi do večjega onesnaženja vodotokov, kar pomeni, da je potrebno pri dimenzioniranju upoštevati večji potreben volumen;
- koncentracija KPK, 600 mg/l sušnega odtoka predstavlja teoretično vrednost, ki se jo za določitev potrebnega skupnega zadrževalnega volumna ne zmanjšuje. Manjša onesnaženost kot 600 mg/l pomaga pri varovanju pred onesnaženjem. Večja onesnaženja pa vodijo v povečanje zadrževalnega volumna;
- v želji po zagotovitvi ustreznega dimenzioniranja zadrževalno-razbremenilnih objektov na dolgi rok, kljub drugačnim letnim ali večletnim koncentracijam KPK izpusta iz ČN v odvodnik, je potrebno upoštevati vrednost, podano s standardom 70 mg/l. Dejansko izmerjene vrednosti koncentracije KPK, izpusta iz ČN v odvodnik, ki se razlikujejo od privzete, nimajo vpliva pri določanju potrebnega zadrževalnega volumna.

2.5.4 Osnove načrtovanja

Odtoki iz naseljenih območij skupaj z onesnaženjem iz kmetijskih površin ter ozračja bistveno določajo kakovostni razred odvodnikov. Poselitvena območja obremenjujejo odvodnik z:

- izpusti padavinskih voda iz ločenih kanalizacijskih sistemov,
- prelivni na mešanem kanalizacijskem sistemu,
- izpusti iz ČN.

2.5.4.1 Zmanjšanje količine odpadne vode

Bistveno je tudi zmanjšanje količin odpadnih voda z zahtevanimi investicijami ter operativnimi stroški za obdelavo padavinske vode. Potrebne meritve za odtok so padavinske vode, hišne ter industrijske vode in infiltrirane vode.

2.5.4.1.1 Padavinski odtok

Količina padavinske vode je odvisna od območja neprepustnih prispevnih površin kanalskega sistema. Načini za zmanjšanje odtoka padavinskih voda so:

- ponikanje neonesnaženih padavinskih voda,
- direktni iztok malo onesnaženega padavinskih voda iz streh in cestišč v odvodnik,
- izogibanje odtokom iz neutrjenih površin ter
- uporaba deževnice za druge namene.

Onesnaženje padavinskega odtoka se lahko zmanjša na sledeče načine:

- pogosto čiščenje cest,
- odstranitev povzročiteljev za onesnaženost odtoka iz površin,
- cestne drenaže z izboljšanim zadrževanjem onesnaževalcev,
- pogosto čiščenje kanalizacijskega sistema ter
- samoizpiranje kanalske mreže.

2.5.4.1.2 Odtok hišne ter industrijske vode

Cilj meritev je zmanjšanje hišnih in industrijskih odpadnih voda ter vpliv na obdelavo padavinske vode v mešanem kanalizacijskem sistemu. Načini za zmanjšanje odtoka hišne ter industrijske vode so:

- uporaba tehnik varčevanja voda ter
- sistem kroženja vode v industrijskih obratih.

2.5.4.1.3 Infiltrirana voda kanalizacijskega sistema (tuja voda)

Standard predvideva tudi ukrepe za zmanjšanje količine infiltrirane vode kanalizacijskega sistema na najnižjo možno mero. Načini za zmanjšanje infiltrirane vode v kanalizacijskem sistemu so:

- nadomestitev običajnih nedovoljenih povezav drenaž in pronicajočih cevi s primernimi drenažami,

- popravilo poškodovanih cevi,
- dobro tesnjenje stičišč kanalizacijskih elementov,
- preprečevanje vdora vode iz rek in jezer v kanalski sistem.

2.5.5 Meritve za obdelavo odpadne vode v mešanem kanalizacijskem sistemu

Razbremenjevanje in zadrževanje padavinske vode v mešanem kanalizacijskem sistemu lahko vsebuje sledeče postopke:

- vmesno zadrževanje mešane odpadne vode ter nato poznejša obdelava na ČN,
- ponovna razdelitev padavinskega odtoka znotraj kanalizacijskega omrežja ter
- analiza obdelane odpadne vode pred iztokom v odvodnik.

2.5.5.1 Vmesno zadrževanje mešane odpadne vode

Vmesno zadrževanje mešane odpadne vode se lahko doseže z zadrževalno kapaciteto kanalov. Zaradi konstrukcijskih ter operativnih razlogov je pametno obdržati ter uporabiti posebne skladiščne prostore. To se upošteva pri:

- deževnih zadrževalnikov s prelivom ali kanalih z zadrževalno kapaciteto in prelivom,
- deževnih zadrževalnih bazenih ter
- premišljeno zadrževanje vode v kanalih (visoki prelivni robovi, kontrolirani iztoki).

Padavinski odtok je lahko skladiščen na tako imenovanih vmesnih površinah, kot so; zadrževanje na parkiriščih, ravnih strehah ali z zmanjšanjem števila jaškov na kanalizacijskem omrežju.

2.5.5.2 Ponovna razdelitev padavinskega odtoka

Ponovna razdelitev padavinskega odtoka znotraj kanalizacijskega omrežja z namenom uporabe razpoložljivih ravnih zadrževalnih površin je skupaj s kontrolo obremenitve ugodna.

2.5.5.3 Obdelava odpadne vode

S procesom obdelave odpadne vode se pričakuje uravnotežena obremenitev odpadnih voda. Količina in karakteristike mešane odpadne vode močno variirajo, tako da samo podatek o obdelani odpadni vodi na čistilni napravi brez upoštevanja podatkov o obdelavi padavinske vode ne more biti podan.

Za obdelavo padavinske vode so lahko uporabljeni sledeči načini:

- mehanska obdelava,
- visoka specifična teža ter ločevalniki za zelo hitro hlapljive tekočine,
- centrifugalni separatorji,
- zasloni, mikro-sita, usedanje, kosmičenje ter
- filtriranje presežka mešane odpadne vode.

2.5.6 Objekti s prelivanjem

Učinkovitost razbremenilnih in zadrževalnih objektov je odvisna od dimenzij ter razporeditve razbremenilnih in zadrževalnih objektov na kanalizacijskem sistemu in njihovih oblik.

Zgornji rob preliva bi moral, kot pravilo, ležati nad vodno gladino načrtovanega nivoja visokih voda rek ali jezer. Kot minimalna zahteva je, da nivo 10-letnih visokih voda rek ali jezer ne gre čez zgornji rob preliva pri ustreznem padavinskem odtoku.

2.5.6.1 Razbremenilniki

Razbremenilniki služijo za zmanjšanje visoke konice iztoka mešane odpadne vode. Locirani so lahko samo tam, kjer je kritični odtok mešane odpadne vode Q_{krit} , lahko speljan naprej kot polna višina in je obdelava padavinske vode izpeljana kasneje v zadrževalni strukturi dolvodno. Potrebna je določitev lege razbremenilnega objekta, kjer se mešane odpadne vode prelivajo in so manj onesnažene.

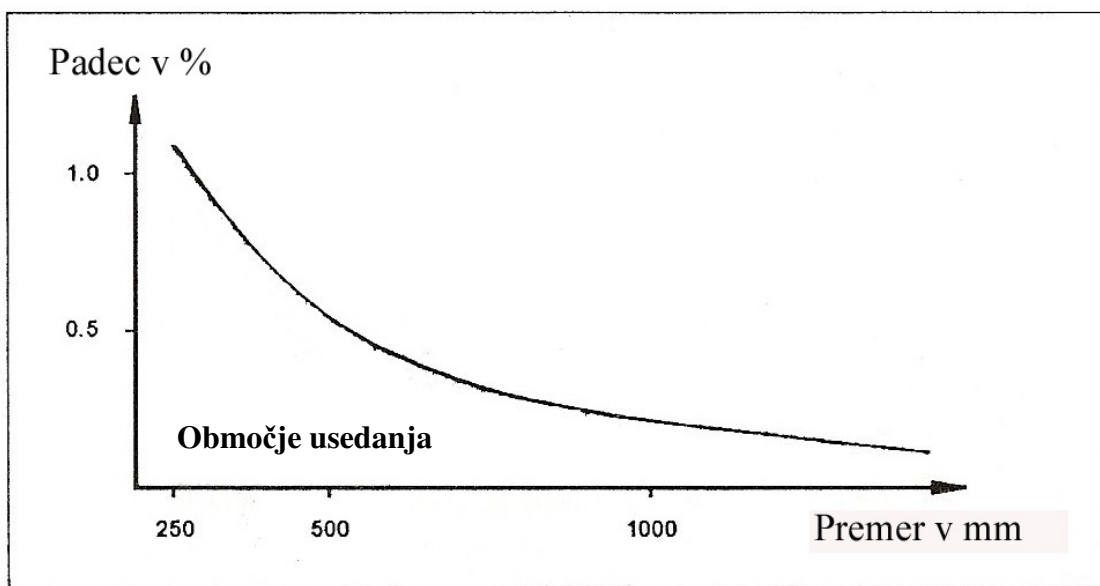
V primeru, ko so vode iz komercialnih območij in industrije znatno bolj onesnažene kot hišne odpadne vode oziroma ko je močno onesnažen iztok skladiščen v zadrževalnem bazenu s prelivom ter speljan v mešani kanalizacijski sistem in če potrebna razredčitev mešane odpadne vode v skladu s tem standardom ne more biti več zagotovljena, potem preliv ne more biti več nameščen preko razbremenilnika.

Razbremenilnim objektom, ki prelivajo malo oziroma nič vode v reke in jezera, se naj bi izognili. V kolikor to ni mogoče, je potrebno upoštevati najmanj kritično intenziteto padavin 15 l/(s*ha) .

2.5.6.2 Deževni prelivni bazeni

Izbira lege deževnega prelivnega bazena upošteva načelo upravljanja z vodami in ekonomski vidik. Standard ATV-A 128E priporoča, da se deževne prelivne bazene umesti na koncu odsekov, za katere je značilno večje usedanje v kanalih oziroma na konec posameznih podobmočij prispevne površine.

Območje pojava usedanja glede na padec in premer kanala:



Graf 1: Območje pojave usedanja (Vir: ATV-A 128E, 1992)

Če padec kanala leži pod krivuljo (Graf 1), potem v kanalu prihaja do usedanja. Usedline v kanalih se pojavljajo predvsem v času sušnega odtoka in majhnih hitrostih le-tega.

2.5.6.2.1 Deževni zadrževalni bazeni za zadržanje prvega vala padavinskega odtoka

Deževni zadrževalni bazeni za zadržanje prvega vala padavinskega odtoka so nameščeni, v kolikor se pričakuje splakovalni oziroma čistilni val. Kot pravilo je to v primeru majhnih prispevnih površin s kratkimi odtočnimi časi. Deževni zadrževalni bazeni zadržijo prvi val onesnaženja, ki se dogodi na začetku dogodka. Zadržan volumen je nato speljan na biološko obdelavo čistilne naprave.

Gradi se jih na koncu majhnih prispevnih površin, kjer so dotočni časi, pri kritičnem nalivu, manjši od 15 do 20 minut ter na sistemih, kjer ni predhodnega razbremenjevanja. V kolikor so pred zadrževalnimi bazeni postavljeni razbremenilniki, potem je potrebno upoštevati celotni dotočni čas prispevne površine zadrževalnika in ne samo dotočni čas od razbremenilnika pa do zadrževalnika.

2.5.6.2.2 Deževni prelivni bazen

Pri večjih prispevnih površinah sta dotok in koncentracija onesnažil ob padavinskem dogodku bolj enakomerna. Zato se v takih primerih načrtuje postavitve deževnih prelivnih bazenov, katerih cilj postavitve je, doseči mehansko čiščenje prelite mešane odpadne vode. Za razliko od deževnega zadrževalnega bazena ima deževni prelivni bazen čistilni preliv, preko katerega se začne prelivati mehanska obdelana odpadna voda v odvodnik, ko je le-ta poln. Deževne prelivne bazene se postavlja v primeru, ko so dotočni časi pri kritičnem nalivu večji od 15 do 20 minut, v primeru, ko so gorvodno od bazena zaporedno vezani drugi razbremenilni ali

zadrževani objekti ter v izjemnih primerih, ko je dotok v bazen večji kot maksimalni možni dušeni iztok.

Kot pravilo je pred deževnim prelivnim bazenom običajno nameščen razbremenilnik visokih vod, ki omejuje maksimalni dotok v deževni prelivni bazen. Dokler se deževni prelivni bazen polni, ima vlogo zadrževalnika, nato pa ima vlogo ustalitvenega bazena s prelivom. Na koncu padavinskega dogodka se mora vsebino v celoti odvesti iz bazena na biološko stopnjo ČN.

2.5.6.2.3 Kombinirani bazeni

Kombinirane bazene se gradi v primerih, kjer se pojavljajo čistilni valovi iz sosednjih območij in dotoki z enakomerno koncentracijo onesnažil. Sestavljeni so iz zadrževalnega dela bazena in prelivnega dela bazena, s čistilnim prelivom. Zadrževalni del je oblikovan kot deževni zadrževalni bazen, prelivni del pa kot deževni prelivni bazen. Ob nalicu mešana odpadna voda doteka najprej v zadrževalni del, ko je ta poln, začne mešana odpadna voda dotekati v prelivni del. Ko je poln tudi prelivni del, se mehansko očiščena voda začne prelivati v odvodnik.

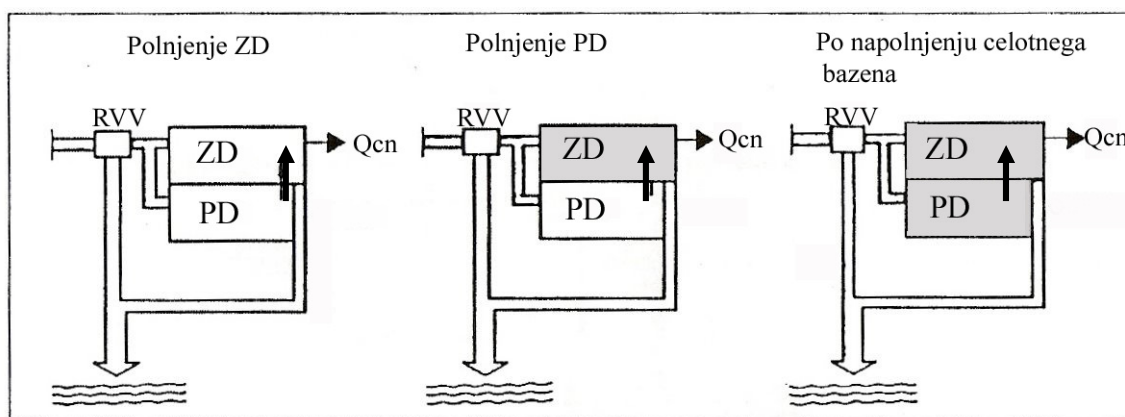
Kombinirani bazeni pridejo v poštev v primeru mejnih ploskev med deževni zadrževalnim bazenom in deževnim prelivnim bazenom ali v primerih, ko je pričakovan čistilni val iz sosednjih prispevnih površin z daljšimi dotočnimi časi. Kombinirani bazeni so dimenzionirani ali kot deževni zadrževalni bazeni ali pa kot deževni prelivni bazeni.

Bistvene prednosti:

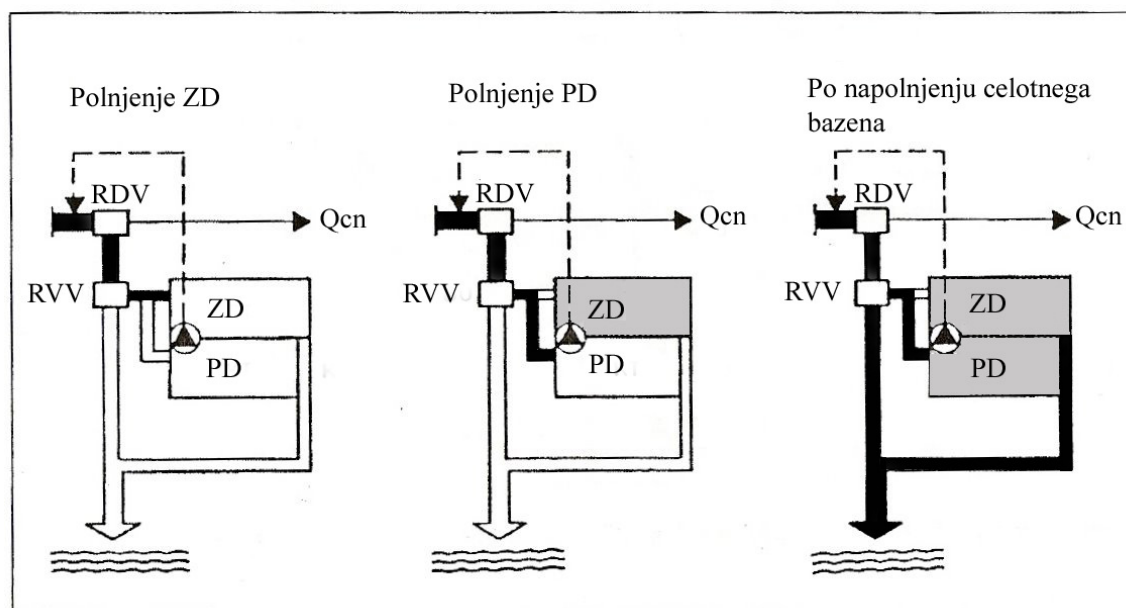
- zadrževanje in obdelava v enem bazenu,
- zadrževalni del ločen od prelivnega dela,
- razdelitev v posamezne celice.

Bistvene slabosti:

- manjši učinek čiščenja v primerjavi z deževnim prelivnim bazenom ter
- večji investicijski in obratovalni stroški.



Slika 7: Primer kombiniranega bazena na glavnem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)



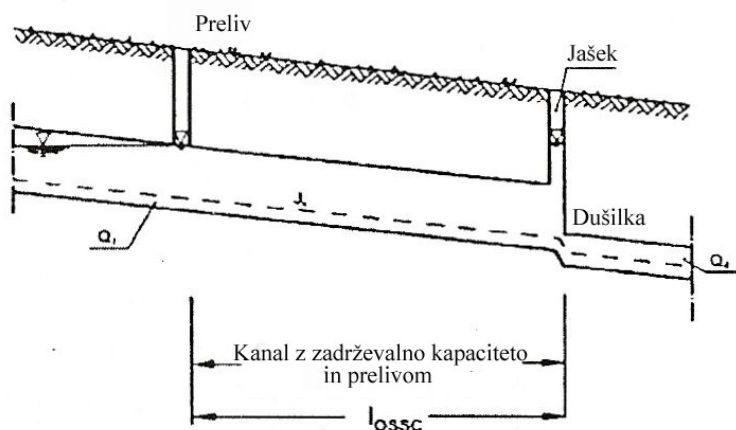
Slika 8: Primer kombiniranega bazena na stranskem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)

2.5.6.2.4 Kanali z zadrževalno kapaciteto in prelivom

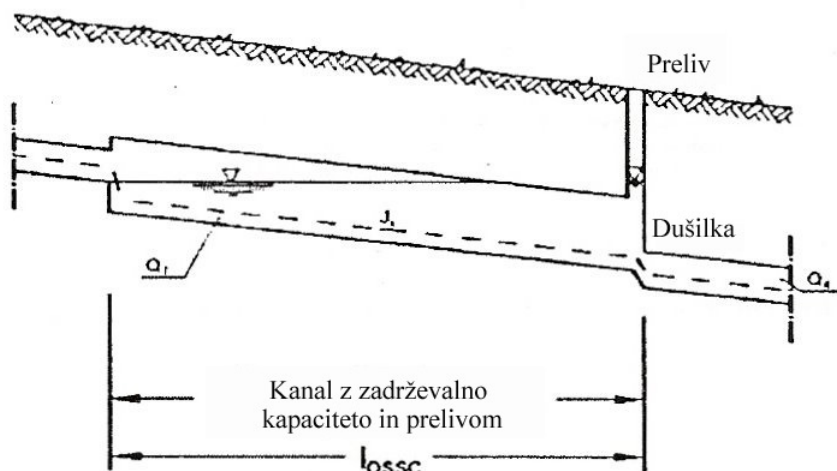
Kanali z zadrževalno prostornino in prelivom se razlikujejo po delovanju oziroma mestu preliva. Kanali z zadrževalno kapaciteto in prelivom imajo lahko preliv:

- na zgornjem delu, ki delujejo kot deževni zadrževalni bazeni (Slika 9) ali
- na spodnjem delu, ki delujejo kot deževni prelivni bazeni (Slika 10).

Prednosti kanalov z zadrževalno kapaciteto in prelivom je, da ni potrebno zgraditi dodatnih objektov ter da se praznjenje dogaja gravitacijsko. Slabosti kanalov z zadrževalno kapaciteto in prelivom pa so; usedanje, večji volumni za kanale z zadrževalno kapaciteto in prelivom na spodnjem delu v primerjavi z volumni deževnih prelivnih bazenov ter da se prelita odpadna voda iz kanalov z zadrževalno kapaciteto in prelivom deloma odplakne v odvodnik.



Slika 9: Kanal z zadrževalno kapaciteto in prelivom na zgornjem delu (Vir: ATV-A 128E, 1992)

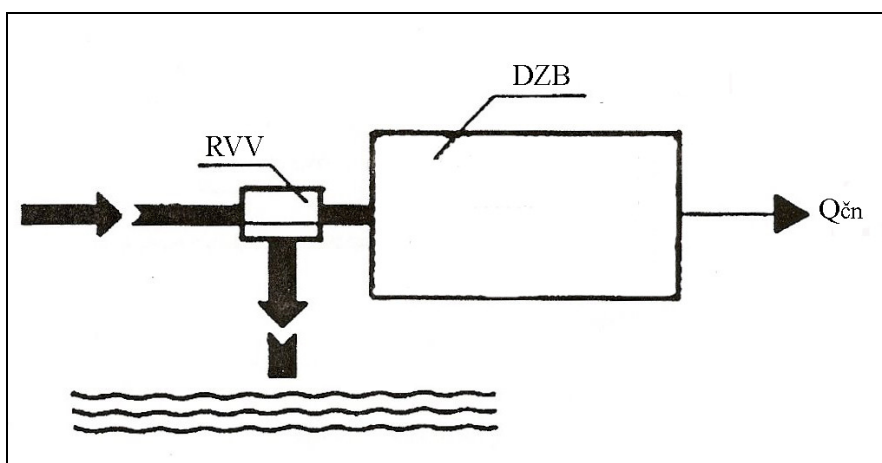


Slika 10: Kanal z zadrževalno kapaciteto in prelivom na spodnjem delu (Vir: ATV-A 128E, 1992)

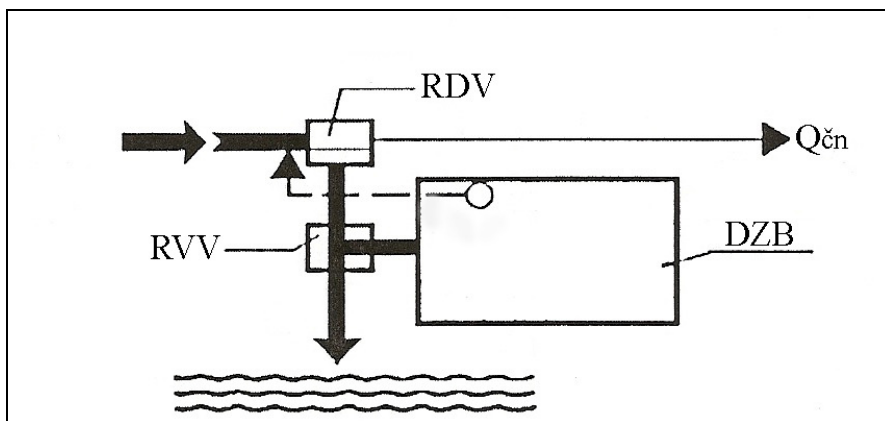
2.5.6.2.5 Postavitev deževnih bazenov

Deževni zadrževalni bazeni, deževni prelivni bazeni, sestavljeni bazeni ter kanali z zadrževalno kapaciteto in prelivom so lahko postavljeni na glavnem ali stranskem vodu.

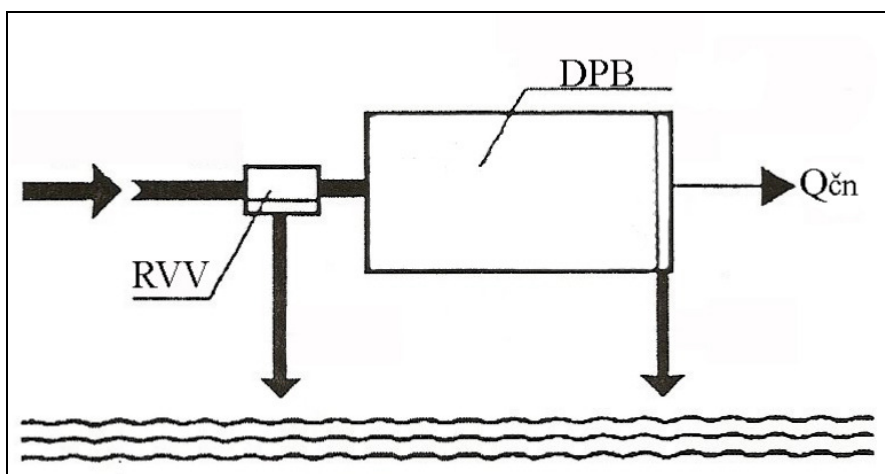
V primeru, ko je bazen na glavnem vodu (Slika 7, Slika 11, Slika 13), je tok voden na ČN skozi bazen, ko pa je bazen na stranskem vodu (Slika 8, Slika 12, Slika 14), je tok proti ČN voden mimo bazena.



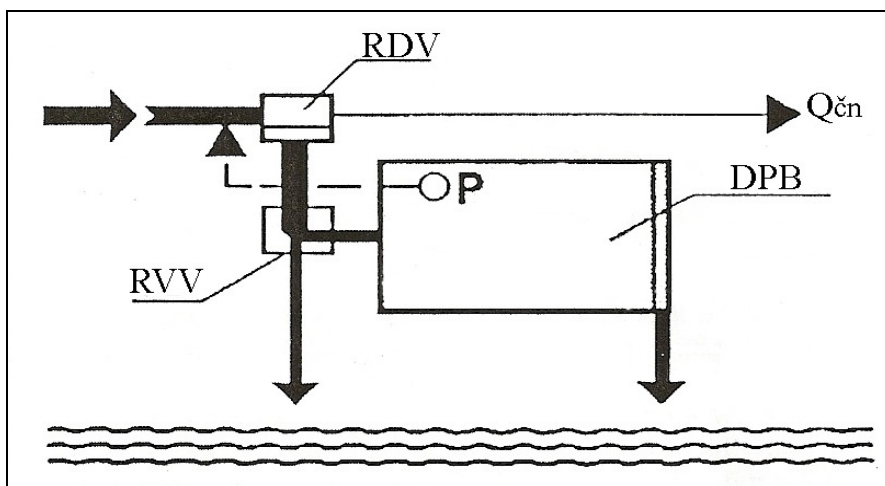
Slika 11: Deževni zadrževalni bazen na glavnem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)



Slika 12: Deževni zadrževalni bazen na stranskem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)



Slika 13: Deževni prelivni bazen na glavnem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)



Slika 14: Deževni prelivni bazen na stranskem vodu (Vir: ATV-A 128E, 1992)

Postavitev deževnih prelivnih bazenov v glavni ali stranski vod je odvisna od lokalne višine in lege kraja. Razvrstitev v stranski vod je prednostna vedno, ko so majhne višinske razlike med

vtokom ter iztokom, tako da mora biti voda iz deževnega prelivnega bazena odvedena s črpalkami.

Postavitev na glavni vod pa je primerna, ko je zadostna višinska razlika med vtokom in odtokom.

Deževni prelivni bazen naj bi bil, če je možno, postavljen v stranski vod. S tako ureditvijo je mešana odpadna voda skladiščena ter prelita z nekoliko nižjo koncentracijo onesnaženosti. Razlog je ta, da se na začetku ter koncu padavinskega dogodka sušni odtok meša z relativno nizkim padavinskim odtokom. Med tako šibko razredčitvijo je ta mešana odpadna voda še bolj onesnažena. V primeru, ko je deževni prelivni bazen postavljen na stranskem vodu, gre tok mimo bazena in se upočasni. Na tak način se celotna prelivna obremenitev v primerjavi z deževnim prelivnim bazenom na glavnem vodu zmanjša. Vendar pa je iz ekonomskega vidika v primeru postavitve bazena na stranskem vodu taka postavitev manj ugodna, saj so potrebni daljši odseki cevi ter ločitveni objekti.

2.5.6.2.6 Razporeditev večjih deževnih prelivnih bazenov

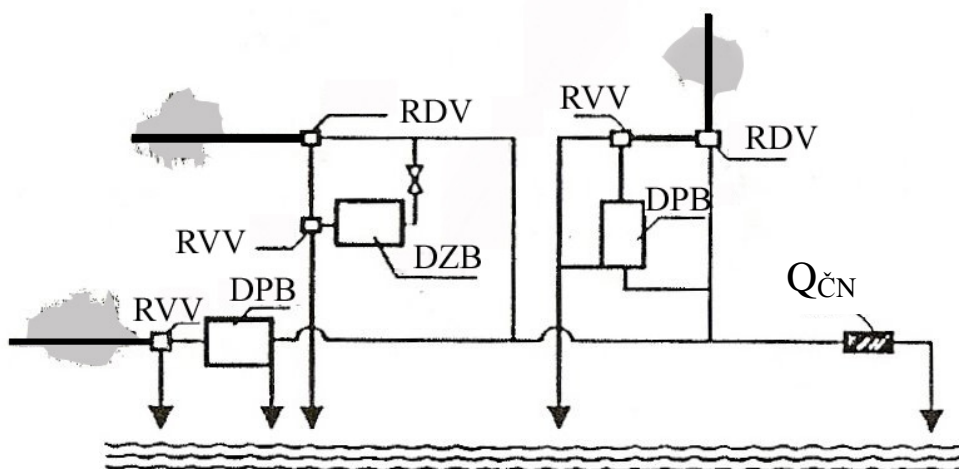
Pri obsežnih ločenih podobmočjih, kot so deli skupnosti ali sosednje skupnosti, vsaka zaključí s svojim deževnim prelivnim bazenom.

S podrazdelitvijo večjih prispevnih območij v posamezna podobmočja so lahko posamezni deževni prelivni bazeni med seboj povezani vzporedno ali zaporedno.

2.5.6.2.6.1 Vzporedni deževni prelivni bazeni

Pri vzporedni postavitvi je prispevno območje urejeno tako, da so bazeni locirani na koncu vsakega prispevnega območja ter tako povezani vzporedno. S tem so deževni zadrževalni bazeni, deževni prelivni bazeni ter kombinirani bazeni možni tako v glavnem kot v stranskem toku.

Prednost take postavitve je, da dušeni iztok iz bazenov v celoti doseže čistilno napravo, ni vpliva med bazeni, možni pa so trije načini oblike bazena ter jasne hidravlične razmere in preprosto dimenzioniranje. Slabosti take postavitve pa so pogosto višji stroški gradnje kot rezultat izgradnje zbirnega kanalizacijskega kolektorja pred ČN.



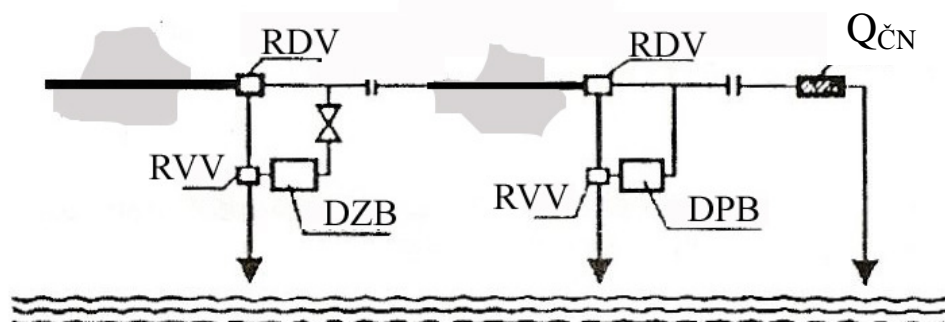
Slika 15: Primer vzporedno povezanih deževnih bazenov (Vir: ATV-A 128E, 1992)

2.5.6.2.2 Zaporedni deževni prelivni bazeni

Pri zaporedni vezavi deževnih prelivnih bazenov se lahko dušeni odtok proti čistilni napravi iz gorvodno ležečega bazena ponovno pomeša s padavinsko vodo in preliva na naslednjem bazenu.

Zato je bistveno, da premeri dušilk naraščajo v smeri toka, tako da skladiščene vsebine gorvodno ležečih bazenov dosežejo čistilno napravo brez prelivanja na prelivih dolvodno ležečih bazenov.

Zaporedno vezani bazeni s kontroliranim prelivom predpostavljajo zelo učinkovito kanalizacijsko delovanje ter skrbno vzdrževanje komponent čistilne naprave.



Slika 16: Primer zaporedno vezanih deževnih bazenov (Vir: ATV-A 128E, 1992)

2.5.7 Osnove načrtovanja

– Letna količina padavin h_{pr}

Z večanjem količine padavin ima mešana odpadna voda daljši čas odtoka in zaradi tega je več odpadne vode razbremenjene v odvodnik. Letna količina padavin h_{pr} je izražena v milimetrih.

– **Določitev velikosti območja nepropustne površine**

Prispevno površino kanalizacijskega sistema imenujemo A_{CA} . Le-ta je razdeljena na utrjeno, reducirano prispevno površino A_{red} in neutrjeno prispevno površino. Utrjene površine so različno definirane z različnimi odtočnimi modeli. Izračunani del površine, s katerega padavine odtečejo, ob upoštevanju vseh izgub, in v celoti dosežejo mešani kanalizacijski sistem, se imenuje nepropustna prispevna površina A_{is} .

Prispevne površine ločenega kanalizacijskega sistema se ne upoštevata. Površine mešanega kanalizacijskega sistema, kjer pa se padavinski odtok ponika, se upoštevata le z efektivnim delom odтока.

$$A_{is} = VQ_r / (10 * h_{Pr,eff}) \quad [ha] \quad (2.3)$$

VQ_r – seštevek letnega padavinskega odтока v mešanem kanalizacijskem sistemu [m^3]
 $h_{Pr,eff}$ – efektivne padavine [mm]

Nepropustna prispevna površina A_{is} , je kot pravilo manjša kot utrjena prispevna površina A_{red} . V primeru, ko pa izračunov oziroma meritev ni na voljo, velja, da je A_{is} enaka A_{red} .

– **Dotočni čas t_f**

Dotočni čas se določi iz najdaljše poti v kanalskem omrežju, pri polni polnitvi cevi ali pa se ga približno oceni, iz časovne razlike med največjimi vrednostmi ustrezne časovne krivulje. Dotočni čas je čas od začetka naliva do maksimalnega odтока v zadnji cevi kanalskega sistema, pred opazovano točko.

– **Srednji padec SG_m**

V skladu z ATV standardom A 118 je nagib kanaliziranega območja razdeljeno v štiri skupine. Za celotno prispevno območje mešanega kanalizacijskega omrežja se srednji padec terena izračuna s sledečo enačbo:

$$SG_m = \sum (A_{CA,i} * SG_i / \sum A_{CA,i}) \quad (2.4)$$

$A_{CA,i}$ – celotno območje, podobmočja i [ha]
 SG_i – skupina nagiba (1, 2, 3 in 4) podobmočja i

– **Odtok mešane odpadne vode na čistilno napravo Q_{CW}**

Odtok mešane odpadne vode Q_{CW} , je sestavljen iz sušnega odтока Q_{dw} in padavinskega odтока Q_r . Kot pravilo Q_{CW} naj ne bi bil manjši kot $2Q_{px} + Q_{dw24}$.

– **Povprečni dnevni sušni odtok Q_{dw24}**

Teoretični sušni odtok za posamezna prispevna področja iz mešanega in ločenega kanalizacijskega sistema sestoji iz sledečih odpadnih vod; iz naselij in majhnih obrti Q_d , iz obrti Q_c , industrije Q_i in infiltrirane vode Q_{iw24} .

$$Q_{dw24} = Q_{d24} + Q_{c24} + Q_{i24} \quad [l/s] \quad (2.5)$$

$$Q_{dw24} = Q_{s24} + Q_{iw24} \quad [l/s] \quad (2.6)$$

- Q_{d24} – povprečna dnevna vrednost [l/s]
 w_s – letna povprečna poraba na prebivalca na dan [$1/(1*d)$]
 Q_{c24} – dnevno povprečje trgovskih odpadnih voda, izračunano iz letnega povprečja [l/s]
 Q_{iw24} – letno povprečje infiltrirane vode v kanalizacijo iz ločenega in mešanega kanalizacijskega sistema v suhem vremenu [l/s]

Omenjeni parametri so določeni na osnovi realnih merjenj števila prebivalcev in njihove porabe vode. Q_{c24} in Q_{i24} , sta določena na osnovi razpoložljivih vzorcev, z ločenim upoštevanjem razvoja v prihodnosti. Samo v primerih, ko to ni mogoče in vrednosti iz primerljivih območij niso znane, lahko upoštevamo vrednost 0,2 do 0,8 l/(s*ha), če se poraba vode nanaša individualno na nepropustno površino območja A_{is} , za komercialne in industrijske vode. Infiltrirana voda mora biti določena z enako pazljivostjo na osnovi dosegljivih vzorcev in z upoštevanjem razvoja v prihodnje. Z upoštevanjem, da je narejeno vse za zmanjšanje vdora infiltrirane vode v kanalizacijski sistem. Če so dostopne zvezne meritve pretoka na ČN, potem je lahko določena ocena kvalitete infiltrirane vode, z uporabo minimalnih nočnih vrednosti v suhem vremenu. V primeru, ko meritve niso na voljo ali pa je lahko izvedena le ena, lahko upoštevamo količino infiltrirane vode do 0,15 l/(s*ha), nanašajoč na nepropustno površino A_{is} , v odvisnosti od razmer podzemne vode in stanja kanalizacije v ločenem in mešanem kanalizacijskem sistemu.

– **Urna konica pretoka za sušni pretok Q_{dwx}**

Dnevna konica Q_{dwx} sušnega odtoka je največkrat dobljena z meritvami, ki so dostopne le na ČN. Relativno visoke vrednosti konice posameznega prispevnega podobmočja bolj in bolj slabijo na poti do ČN zaradi prekrivanja odtočnih krivulj. Ko na voljo ni meritev, Q_{dwx} izračunamo iz sušnega pretoka, v dnevnem povprečju, kot sledi:

$$Q_{px} = (24/x) * Q_{d24} + (24/a_c) * (365/b_c) * Q_{c24} + (24/a_i) * (365/b_i) * Q_{i24} \quad [l/s] \quad (2.7)$$

$$Q_{dwx} = Q_{px} + Q_{iw24} \quad [l/s] \quad (2.8)$$

- Q_{px} – dnevna konica odpadne vode
 Q_{d24} }
 Q_{g24} } – hišne in industrijske odpadne vode
 Q_{i24} }

- x – urno trajanje na dan [h]
 a_c, a_i – delovne ure na dan [h]
 b_c, b_i – delovni dnevi v letu [h]

– **Padavinski odtok iz območij z ločenim kanalizacijskim sistemom Q_{r24}**

Pri dimenzioniranju volumnov se mora upoštevati vdor padavinskih voda ob nalivih v ločen kanalizacijski sistem za odvajanje sušnega odtoka, ki je večji od tujih vod. V kolikor ni meritev, se izračuna kot 100 % odtoka povprečnih odpadnih vod iz gospodinjstev in industrije Q_{rs24} .

$$Q_{rS24} = Q_{wS24} \quad (2.9)$$

– **Padavinski odtok Q_{r24}**

Padavinski odtok Q_{r24} celotnega območja dobimo iz razlike med mešano odpadno vodo Q_{cw} na ČN, sušnim odtokom Q_{dw24} opoldan ter 24-urnim povprečjem padavinskega odtoka iz ločenih območij Q_{rS24} .

$$Q_{r24} = Q_{cw} - Q_{dw24} - Q_{rS24} \quad [l/s] \quad (2.10)$$

Q_{cw} – odtok mešane odpadne vode

Q_{dw24} – sušni odtok opoldne

Q_{rS24} – 24-urno povprečje odtoka padavinske vode iz ločenih območij

Za prispevno podobmočje se padavinski odtok Q_{r24} , izračuna na enak način, le da se Q_{cw} , nadomesti z odtokom mešane odpadne vode skozi dušilko.

$$Q_{r24} = Q_t - Q_{dw24} - Q_{rS24} \quad [l/s] \quad (2.11)$$

– **Kritični padavinski odtok**

Kritični padavinski odtok iz prispevnega območja je določen kot:

$$Q_{rcrit} = r_{crit} * A_i \quad [l/s] \quad (2.12)$$

$r_{crit} [l/(s*ha)]$ – kritična intenziteta padavin

Z večanjem dotočnega časa se konica odtoka mešane odpadne vode na poti po cevi zravna.

– **Kritični odtok mešane vode Q_{crit}**

Kritični odtok mešane odpadne vode je vsota povprečnih dnevnih vrednosti, sušnega vremena in kritičnega odtoka ter vsote neposrednih dotokov iz dušilk razbremenilnikov in zadrževalnih bazenov gorvodno priključnih prispevnih površin.

$$Q_{crit} = Q_{dw24} + Q_{rcrit} + \sum Q_{t,i} \quad [l/s] \quad (2.13)$$

Q_{dw24} – sušni odtok opoldne $[l/s]$

Q_{rcrit} – kritični padavinski odtok $[l/s]$

$\sum Q_{t,i}$ – vsota vseh neposredno gorvodnih pritokov $[l/s]$

– **Povprečni padavinski odtok med prelivanjem Q_{ro}**

Če bi razbremenili odtok mešane odpadne vode v enem letu na eni prelivajoči strukturi, v povezavi s celotnim trajanjem prelivanja, potem bi dobili povprečno količino prelivanja na strukturi. Med procesom prelivanja se večji del mešane odpadne vode prelije, manjši del padavinske vode pa gre skozi dušilko. Oba dva iztoka tvorita povprečni padavinski odtok Q_{ro} , med celotnimi dogodki prelivanja, ki se dogodijo v enem letu.

$$Q_{ro} = VQ_o(T_o * 3.6) + Q_{r24} \quad [l/s] \quad (2.14)$$

VQ_o – vsota iztoka mešane vode v enem letu [m^3]

T_o – vsota trajanja preliva v enem letu [h]

– **Razmerje sušnega odtoka q_{dw24}**

Razmerje sušnega odtoka je izpeljano kot količnik sušnega odtoka in nepropustne prispevne površine:

$$q_{dw24} = Q_{dw24} / A_{is} \quad [l/s] \quad (2.15)$$

– **Razmerje padavinskega odtoka q_r**

Razmerje padavinskega odtoka je izpeljano kot količnik padavinskega odtoka in nepropustne prispevne površine:

$$q_r = Q_{r24} / A_i \quad [l/s] \quad (2.16)$$

– **Koncentracija suhega vremena**

Za izračun potrebnega zadrževalnega volumna za celotno prispevno področje ČN mora biti poznana koncentracija KPK v suhem vremenu. Določena je iz meritev kot letna srednja vrednost, v pritoku na osnovno stopnjo čiščenja, na ČN. Če so dostopne samo meritve iz pritokov na osnovno stopnjo čiščenja, potem so kot pravilo te vrednosti pomnožene z 1,5. Ko pa meritev ni, je srednja koncentracija KPK določena iz spodnje enačbe:

$$c_{dw} = (Q_c * c_d + Q_c * c_c + Q_i * c_i) / (Q_d + Q_c + Q_i + Q_{iw24}) \quad [mg/l] \quad (2.17)$$

– **Določitev dovoljene stopnje prelivanja**

$$c_{dw} : c_r : c_{tp} = 600 : 107 : 70 \quad [mg/l] \quad (2.18)$$

c_{dw} – KPK koncentracija v suhem vremenu [mg/l]

c_r – KPK koncentracija v deževnem vremenu [mg/l]

c_{tp} – KPK koncentracija na ČN, izpust deževne vode [mg/l]

– **Povprečno mešalno razmerje m**

Povprečno mešalno razmerje med padavinsko in odpadno vodo med celotnim dogodkom prelivanja rezultira iz razmerja povprečnega padavinskega odtoka med prelivanjem v enem letu, vključno s padavinsko vodo iz ločenih območij ter povprečnim dnevnim sušnim odtokom.

$$m = (Q_{ro} + Q_{rs24}) / Q_{dw24} \quad (2.19)$$

Q_{ro} – srednji padavinski odtok med prelivanjem [l/s]

Q_{rs24} – padavinski odtok iz ločenih območij [l/s]

Q_{dw24} – odtok v sušnem vremenu kot dnevni srednji [l/s]

– **Vpliv težkih onesnažil a_p**

Če je prekoračena povprečna koncentracija KPK, 600 mg/l, v neobdelanem sušnem odtoku, potem mora biti potrebni zadrževalni volumen povečan. To je doseženo s faktorjem vpliva večjega onesnaženja a_p :

$$\begin{aligned} a_p &= 1 && \text{za } c_{dw} < 600 \text{ mg/l} \\ a_p &= c_{dw}/600 && \text{za } c_{dw} > 600 \text{ mg/l} \end{aligned} \quad (2.20)$$

c_{dw} – srednji KPK koncentracija v suhem vremenu [mg/l]

– **Vpliv letnih padavin a_h**

Letna količina prelivanja odpadne vode na zadrževalnem bazenu s prelivanjem in trajanje prelivanja sta odvisna od letne količine padavin h_{pr} . Z večanjem letne količine padavin bi se v odvodnik prelilo več mešane odpadne vode. V želji po ohranitvi konstantne letne obremenitve onesnaženja je matematična odvisnost koncentracije onesnaženja dolgoročnih srednjih letnih padavin, predvidena z dovoljeno stopnjo prelivanja. Faktor vpliva rezultira iz:

$$\begin{aligned} a_h &= h_{pr}/800 - 1 && \text{za } 600 \leq h_{pr} \leq 1000 \text{ mm} \\ a_h &= - 0.25 && \text{za } h_{pr} < 600 \text{ mm} \\ a_h &= + 0.25 && \text{za } h_{pr} > 1000 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2.21)$$

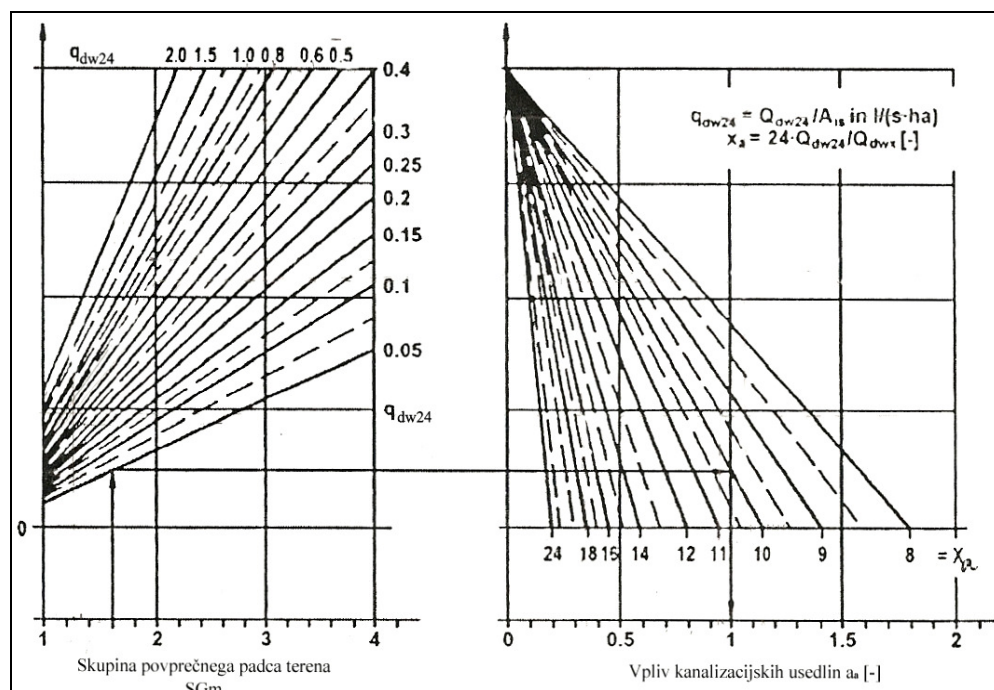
h_{pr} – dolgo časovne lokalne letne padavine [mm]

Pri padavinah nad 1000 mm in pod 600 mm razmerje med letnim trajanjem prelivanja in obremenitvijo prelivanja ne obstaja več.

– **Vpliv usedlin v kanalskem sistemu x_d**

Usedline v kanalizacijskem omrežju so minimalno pričakovane ponoči, v podobmočjih mešanega kanalizacijskega sistema. Usedanju so najprej izpostavljeni začetni odseki in odseki z majhnimi padci. Možnost usedlin v kanalizacijskem omrežju je odvisna od tenzije bremena, ki se dogodi ob suhem vremenu kot tudi ob dežju. Manjši, kot je pretok in padeč kanala, večja je težnja k usedlinam. Osnovni nagib celotnega območja ČN mora biti ustrezen. Kot nadomestilo so padci terena določeni s koeficientom SGm.

$$x_d = 24 * Q_{dw24} / Q_{dwx} \quad (2.22)$$



Slika 17: Vpliv kanalizacijskih usedlin

Zgornja slika prikazuje diagram, iz katerega se na podlagi razmerja sušnega odtoka q_{dw24} , povprečnega koeficienta nagnjenosti terena in razmerja x_d , med povprečnim dnevnim in maksimalnim urnim sušnim odtokom določi vpliv kanalizacijskih usedlin a_a .

– **Računska koncentracija KPK sušnega odtoka c_d**

Koncentracija KPK onesnaženja v suhem vremenu ima pri normalnih pogojih vrednost 600 mg/l. Za upoštevanje dejanskih razmer je določena računska koncentracija KPK iz naslednjih treh bistvenih vrednosti za težka onesnažila, letne padavine in kanalizacijske usedline.

$$c_d = 600 \cdot (a_p + a_h + a_a) \quad [\text{mg/l}] \quad (2.23)$$

– **Teoretična koncentracija KPK prelivov c_{cc}**

Izračun za določitev povprečne koncentracije onesnaženja v prelitni vodi upošteva računsko koncentracijo c_d in povprečno mešalno razmerje m .

$$c_{cc} = (m \cdot c_r + c_d) / (m + 1) \quad [\text{mg/l}] \quad (2.24)$$

– **Dovoljena letna stopnja prelivanja e_0**

Ko monoton delež vsote odtoka padavinske vode teče na ČN in obremenjuje odvodnike s koncentracijo c_{tp} , je lahko proizvedeno ravnoesje obremenitve onesnaženja skupaj s povprečno koncentracijo c_{cc} . Iz cilja obdelave padavinske vode za normalne pogoje s podanimi koncentracijami za dovoljeno stopnjo prelivanja sledi:

$$PL_o + PL_{tp} \leq PL_r \quad (2.25)$$

$$VQ_r \cdot (1 - e_0) \cdot c_{tp} \leq VQ_r \cdot c_r \quad (2.26)$$

- PL_o – letna obremenitev z onesnaženjem zaradi prelivanja mešane odpadne vode [kg]
 PL_{tp} – letna obremenitev z onesnaženjem zaradi iztoka iz ČN [kg]
 PL_r – letna obremenitev z onesnaženjem zaradi izpiranja površin z deževnim odtokom [kg]
 VQ_r – vsota deževnega odtoka v enem letu [m^3]
 e_o – razbremenjen procentualni delež mešane odpadne vode [%]

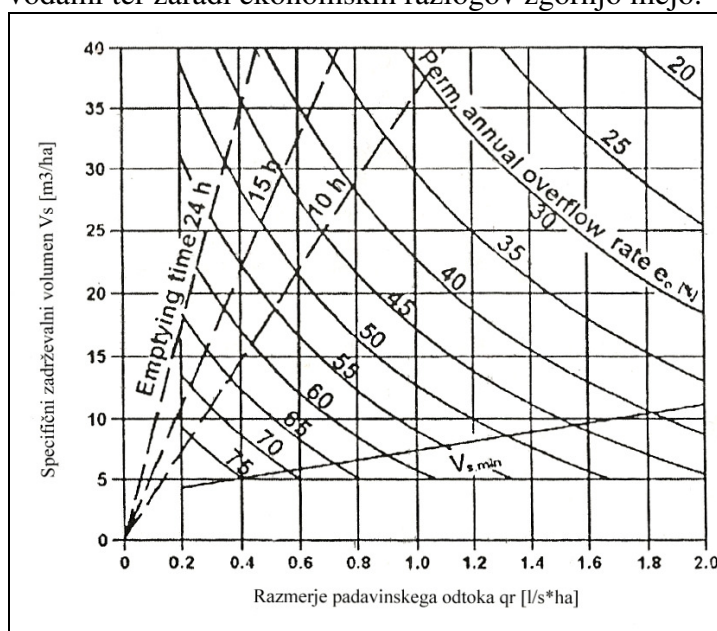
$$e_o = 3700 / (c_{cc} - 70) \quad [mg/l] \quad (2.27)$$

– Potrebni zadrževalni volumen

Z namenom, da se obdrži dovoljena stopnja prelivanja, mora biti zagotovljena določena zadrževalna kapaciteta v kanalizacijskem omrežju. Specifični zadrževalni volumen je lahko določen iz *Slike 18*. Za določitev specifičnega volumna je potrebno še razmerje padavinskega odtoka q_r .

$$V = V_s * A_i \quad [m^3] \quad (2.28)$$

Zahtevani celotni zadrževalni volumen, $40 m^3/ha$, predstavlja v glavnem za upravljanje z vodami ter zaradi ekonomskih razlogov zgornjo mejo.



Slika 18: Določitev specifičnega zadrževalnega volumna v odvisnosti od razmerja padavinskega odtoka in dovoljene stopnje prelivanja

– Minimalni zadrževalni volumen

V kolikor se želi doseči zadosten učinek usedanja v zadrževalnih bazenih s prelivom za mešane odpadne vode, mora biti zagotovljen minimalni čas zadrževanja v letnem povprečju in vzdrževan skozi celotno prelivanje. Z razmerjem padavinskega odtoka q_r se izračun specifičnega minimalnega volumna, za 20-minutni čas zadrževanja, za povprečen padavinski odtok med prelivom, izračuna na sledeč način:

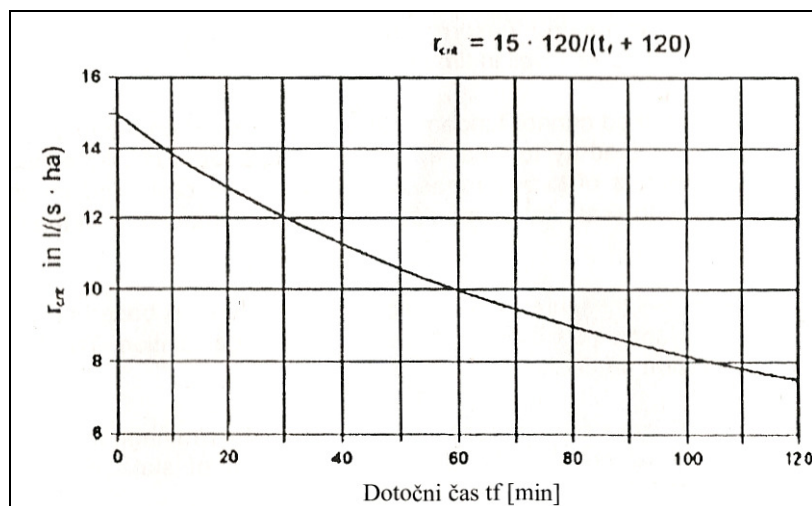
$$V_{s,min} = 3.60 + 3.84 \cdot q_r \quad [m^3/ha] \quad (2.29)$$

2.5.7.1 Dimenzioniranje individualnih objektov s prelivanjem

– Razbremenilnik

V kolikor se želimo izogniti veliki onesnaženosti odvodnikov, mora biti razbremenilnik dimenzioniran na minimalno kritično intenziteto padavin, $r_{crit} = 7.5 - 15 \text{ l/(s*ha)}$. Vrednosti za določitev kritične intenzitete padavin so določene v odvisnosti od dotočnega časa iz *Slike 19* oziroma po enačbi:

$$\begin{aligned} t_f < 120 \text{ min} & \quad r_{crit} = 15 \cdot 120 / (t_f + 120) \quad [l/(s*ha)] \\ t_f > 120 \text{ min} & \quad r_{crit} = 7.5 \quad [l/(s*ha)] \end{aligned} \quad (2.30)$$



Slika 19: Kritična intenziteta naliva v odvisnosti od dotočnega časa

Minimalno razmerje mešanice

Če je na začetku prelivanja razmerje mešanja med padavinskim odtokom ter sušnim odtokom, pod vrednostjo 7 kritičnega odtoka, potem je razmerje mešanja M_{SO} osnova za razbremenilnik. Če pa je srednja KPK koncentracija v sušnem iztoku pod 600 mg/l, potem mora biti minimalna stopnja mešanja M_{SO} , povečana za doseg večjih razredčitev.

$$M_{SO} = (Q_t - Q_{dw24}) / Q_{dw24} \quad (2.30)$$

$$\begin{aligned} M_{SO} & \cdot 7 & \text{za } c_{dw} < 600 \text{ mg/l} \\ M_{SO} & \cdot (c_{dw} - 180) & \text{za } c_{dw} > 600 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$Q_t = (M_{SO} + 1) \cdot Q_{dw24} \quad (2.31)$$

Q_t – zmanjšan iztok z začetkom prelivanja [l/s]

– Deževni prelivni bazeni

Deževni prelivni bazeni morajo imeti najmanj volumen $V_{s,min} = 3.60 + 3.84 q_r$. Zaradi razlogov dimenzioniranja je priporočljivo, da ima deževni prelivni bazen volumen najmanj 100 m^3 , deževni bazen, ki zadrži prvi val padavinske vode, pa najmanj volumen 50 m^3 .

Teoretični čas praznjenja deževnega prelivnega bazena, kot količnik specifičnega zadrževalnega volumna V_s , v povezavi s stopnjo padavinskega odtoka q_r , naj ne bi presegel 10 do 15 ur.

Minimalna stopnja mešanja

Naj bi bila raziskana za vsak posamezni objekt, v kolikor je v daljšem časovnem obdobju, vzdrževano minimalno razmerje mešanja $M_{STO} \geq 7$. Če je srednja KPK koncentracija v suhem vremenu pod 600 mg/l , potem mora biti minimalna stopnja mešanja povišana za doseg večjih razredčitev.

$$\begin{aligned} M_{STO} &\geq 7 && \text{za } c_{dw} < 600 \text{ mg/l} \\ M_{STO} &\geq (c_{dw} - 180)/60 && \text{za } c_{dw} > 600 \text{ mg/l} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Mešalno razmerje se iz rezultatov dolgoročne simulacije odtoka po kanalskem sistemu izračuna po enačbi:

$$M = (c_{dw} - c_{cc}) / (c_{cc} - c_r) \quad (2.33)$$

$$\text{Kjer sta } c_{cc} = PL_o / VQ_o \text{ in} \quad (2.34)$$

$$c_r = PL_r / VQ_r \quad (2.35)$$

3 GLAVNI KANALIZACIJSKI ZBIRALNIKI MESTA LJUBLJANA

3.1 Splošno o kanalizacijskem sistemu v Ljubljani

Omrežje centralnega kanalizacijskega sistema v Ljubljani za odvajanje komunalne in padavinske vode je pretežno zgrajeno v mešanem kanalizacijskem sistemu. V ločenem kanalizacijskem sistemu pa so grajeni nižje ležeči predeli mesta Brdo, Podutik, območje ob levem in desnem bregu Save, ob Malem grabnu ter del Most. Te odpadne vode se preko črpališč prečrpavajo v višje ležeče zbiralnike.

Kanalizacijski zbiralniki predstavljajo osnovo, na katero se priključuje razvejana mreža uličnih kanalov. A0 je v Ljubljani glavni kanalizacijski zbiralnik in poteka ob levem bregu Ljubljanice. Trasa zbiralnika A0 sledi reki Ljubljanici od Trnovega do Fužin, na odseku Vevč se oddalji od Ljubljanice, mimo Kašlja, v Zalogu pa se zopet približa Ljubljanici, kjer je tudi locirana Centralna čistilna naprava Ljubljane.

B0 je drugi najpomembnejši zbiralnik in poteka ob desnem bregu reke Ljubljanice. Trasa B0 poteka od Krakovskega naselja do sotočja Ljubljanice ter Grubarjevega kanala pri Štepanjskem naselju, kjer se zbiralnik B0 priključi na centralni zbiralnik A0.

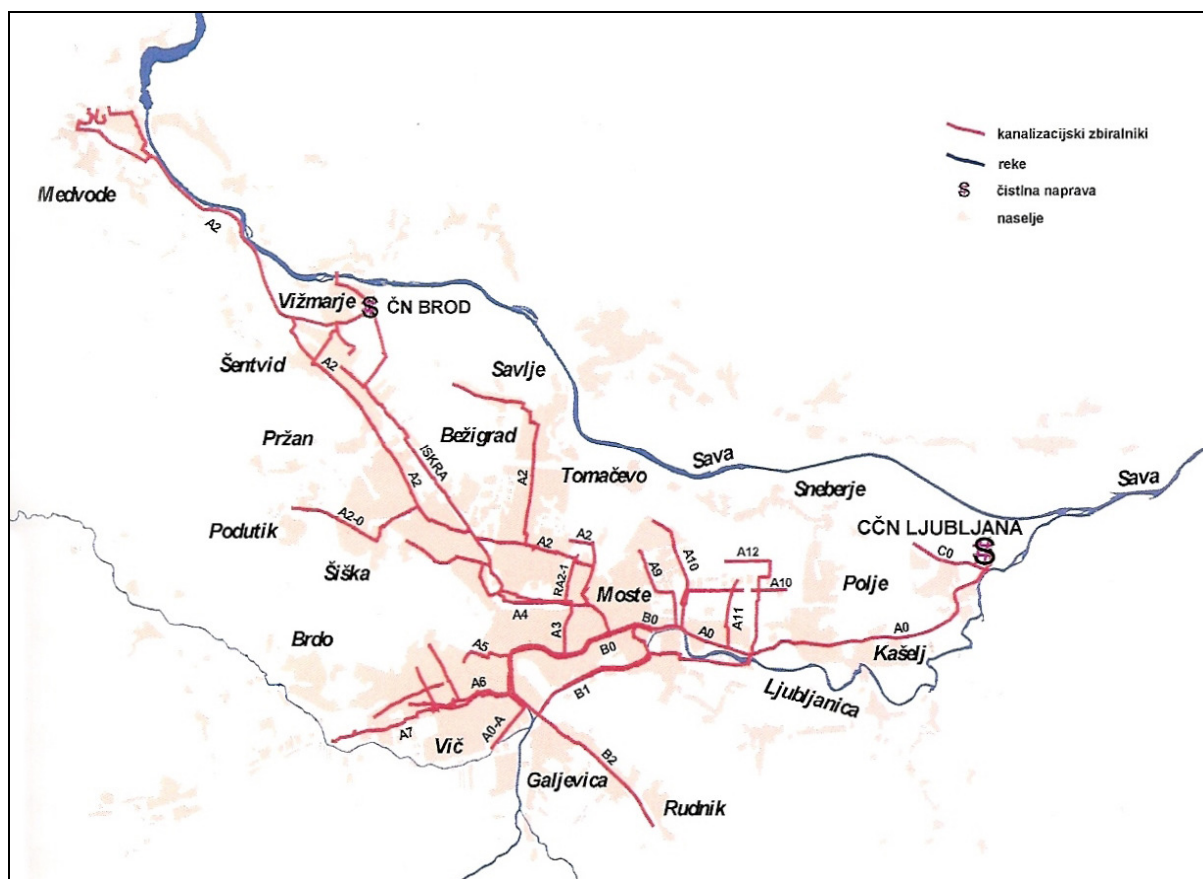
Zbiralnika B1 in B2 potekata ob levem oziroma desnem bregu Grubarjevega kanala. Zbiralnik B1 se na območju Kodeljevega gravitacijsko priključi na A0. Zbiralnik B2 pa se prične na Rudniku ter priključi na centralni zbiralnik A0, v neposredni bližini Fužinskega gradu, na levem bregu Ljubljanice. V prihodnosti je na zbiralnik B2 predvidena priključitev območja Lavrice in Škofljice.

Zasnova in gradnja ostalih zbiralnikov je grajena tako, da se na glavne odvodne zbiralnike ob Ljubljanici priključujejo pravokotno.

Predmestna naselja v okolici Ljubljane, ki so bolj oddaljena od zbiralnikov, imajo svoje kanalizacijske sisteme in čistilne naprave. Mednje spadajo: Črnuče, Dobrova, Gameljne, Horjul, Ig, Kamnik pod Krimom, Matena, Notranje Gorice, Pirniče, Polhov Gradec, Smodinovec, Škofljica, Vižmarje, Brod in Zadvor.

Skupna dolžina kanalov mešanega sistema znaša 422 kilometrov, kanalov za odvod odpadne komunalne vode je 204 km in kanalov za odvod padavinske odpadne vode 230 km. Skupna dolžina omrežja centralnega kanalizacijskega sistema torej znaša 856 km. Sistem vsebuje 38 črpališč za komunalno odpadno vodo in 7 razbremenilnih objektov. Največji premer vgrajene cevi znaša 2400 mm, najmanjši pa 250 mm.

Prispevno področje CCN Ljubljana s približno 250.000 prebivalcev obsega poleg ožjega mestnega jedra, strnjenih urbanih predelov Bežigrada, Šiške, Šentvida, Viča, Galjevice, Rudnika ter Most tudi Medvode, Savlje, Tomačevo, Snebarje, Polje, Zgornji Kašelj, Vevče, Kosovo polje in Majland ob Tržaški cesti, Brdo, Vrhovce, Podutik ter Pržan.



Slika 20: Glavni zbiralniki kanalizacijskega sistema Ljubljane

Predvideno je, da se naj bi v prihodnosti z dograditvijo centralnega kanalizacijskega sistema stekale na CČN Ljubljana tudi odpadne vode iz Škofljice, Brezovice, Broda, Vižmarij, Tacna, Šmartnega pod Šmarno goro, Stanežič ter del naselja v občini Medvode.

Na CČN Ljubljana se preko kanalizacijskega sistema poleg gospodinjskih odpadnih voda stekajo tudi padavinske ter tehnološke odpadne vode. Med najpomembnejše vire tehnoloških voda spadajo: Pivovarna Union, Ljubljanske mlekarne, odlagališče Barje ter Koto Zalog.

3.2 Kanalizacijski zbiralnik A6

3.2.1 Hidrološko pedološke značilnosti prispevnega področja

Hidravlična analiza obstoječega kanalizacijskega sistema zajema širše območje jugozahodnega dela Ljubljane. Območje je s severne strani omejeno s potokom Glinščico oziroma hribom Rožnikom. Na jugu predstavlja naravno mejo potok Gradaščica. Na tem območju živi približno 25.000 prebivalcev in je veliko približno 600 ha. Med to območje spadajo: Rožna dolina, Vič, Vrhovci ter Brdo. Površine tega območja pa so namenjene stanovanjski gradnji ter spremljajočim dejavnostim, kot so manjša obrtniška podjetja. Večje

industrijske dejavnosti pa na tem območju ni. Raba tal je predvidena tudi za kmetijske namene.

Teren se počasi spušča od potoka Glinščica na severu v smeri proti potoku Gradaščica na južni strani Ljubljane, kjer ob njenem levem bregu poteka kanalizacijski zbiralnik A6. Padec terena znaša približno od 294,80 m do 293,30 m. Območje je prikazano na pregledni karti prispevnih površin v *Prilogi G*.

Krovne plasti na obravnavanem območju so iz poplavno zajezitvenih in jezerskih sedimentov, nanosov rečic, ki ga sestavljajo meljna glina, meljast pesek, organska glina in plasti zaglinjenega proda (prekrivajo savski, iški prod, prod Gradaščice in prod Želimeljščice), netipična barjanska tla, s koeficientom prepustnosti $k < 1 \cdot 10^{-8}$ m/s, kar je za vodo slabo propustno. (Sestava krovnih plasti je povzeta iz hidrogeoloških kart TK – 25.000, za občino Ljubljana, ki jih je izdelal Geološki zavod Ljubljana – Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, v sklopu Strokovnih podlag za zavarovanje vodnih virov, izdelanih maja 1997.)

Obravnavano območje po določilih »Uredbe o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Ljubljanskega polja« (Ul. 1. RS št. 120/04) leži izven vodovarstvenih območij mesta Ljubljane.

3.2.2 Podatki o obstoječem kanalizacijskem sistemu

Obravnavano območje ima urejeno odvajanje komunalne in padavinske odpadne vode v pretežno mešanem kanalizacijskem sistemu. Iz uličnih kanalov se odpadna in padavinska voda izlivata v sekundarne kanale, ki se priključujejo na zbiralnik z oznako A6. Na zbiralnik A6 se preko črpališča na Viču priključujejo tudi odpadne vode iz širšega področja Vrhovcev in Brda (področje med Glinščico, železniško progo Ljubljana – Koper in Malim Grabnom), ki imajo urejen ločen kanalizacijski sistem. Na zbiralnik A6 se prečno navezuje stranska zbiralnika A6-1 ter A6-2. Zbiralnik A6 odvaja odpadne vode nadalje do glavnega zbiralnika z oznako A0. Zbiralnik A0 predstavlja temeljni zbiralnik ljubljanskega sistema in odvaja odpadne vode na CČN Ljubljana.

Preglednica 3: Podatki o kanalskih odsekih obstoječega zbiralnika A6 do razbremenilnega objekta R39

ULICA	OD JAŠKA	DO JAŠKA	DIMENZIJA DN [mm]	MATERIAL	DOLŽINA L [m]	PADEC I [%]	LETO GRADNJE
Jamova cesta	A6_37	A6_334	500	beton	106	2,6	1969
	A6_334	A6R43	700	tesal	36	2,2	2003
	A6R43	A6_32	500	beton	63	0,8	1969
	A6_32	A6_30	600	beton	114,5	2,3	1969
	A6_30	A6R42	700	beton	19	7,4	1969
Ob Gradaščici	A6R42	A6032	600	beton	182	2,3	1967
Za Inštitutom Jožef Štefan	A6R41	A6R40	900	beton	242	1,1	1967
Ob hidroinštitutu	A6R40	A6_24	600	beton	136,6	0,9	1933
	A6_24	A6021	600	beton	137,6	1,7	1985
Hajdrihova ulica	A6021	A60211	500	beton	2,2	9	1933
	A6021	A60212	300	beton	2,8	9	1933

Vzdolž zbiralnika A6 je za potrebe razbremenjevanja visokih voda v potok Gradaščico ob ekstremnih nalivih zgrajenih šest razbremenilnikov. To so razbremenilniki R43, R42, R41, R40, R39 in R38, gledano v smeri proti reki Ljubljanici, kamor je A6 gravitacijsko usmerjen.

3.2.3 Opis trase kanalizacijskega zbiralnika A6

Skupna dolžina kanalizacijskega zbiralnika A6 znaša 2077,2 m. Začetni odsek trase obstoječega kanalizacijskega zbiralnika A6 predstavlja kanal DN 500, nasproti trgovskega centa Interspar Vič, ob levi strani potoka Gradaščica. Trasa poteka nadalje v Jamovi cesti, mimo novega mostu, ki povezuje Koprsko ulico z Jamovo cesto. Neposredno za mostom je lociran prvi od šestih razbremenilnikov na A6, z oznako R43. V nadaljevanju sledimo poteku trase A6 v desni polovici Jamove ceste do drugega razbremenilnika R42, ki je lociran izven trase Jamove ceste. Tukaj se trasa A6 odmakne iz obstoječe ceste in poteka neposredno ob Gradaščici. Sam dostop do zbiralnika je otežen, saj poteka v raščenem terenu, kjer ni neposredno dostopnih poti. Na skrajnem južnem koncu Vrhovnikove ulice, ob obstoječem mostu za pešce čez Gradaščico, je lociran tretji razbremenilnik z oznako R41. Preko razbremenilnika R41 se na A6 priključuje zbiralnik A6-2, ki dovaja odpadne vode s prispevnih površin zahodnega dela Viča ter Rožne doline.

Sledimo trasi A6 ob levem bregu Gradaščice, za obstoječimi objekti Inštituta Jožef Štefan, gravitacijsko proti Jadranski cesti, kjer je v bližini mostu izveden četrti razbremenilnik z oznako R40. V nadaljevanju se trasa A6 odmakne nekoliko od struge potoka in poteka ob severni strani Hidroinštituta, kjer na Hajdrihovi ulici najdemo lociran peti razbremenilnik R39. Obenem se preko R39 na A6 priključuje zbiralnik z oznako A6-1, ki prinaša odpadne vode prispevnih površin pretežnega dela Rožne doline. Trasa A6 se nadalje počasi vrne v

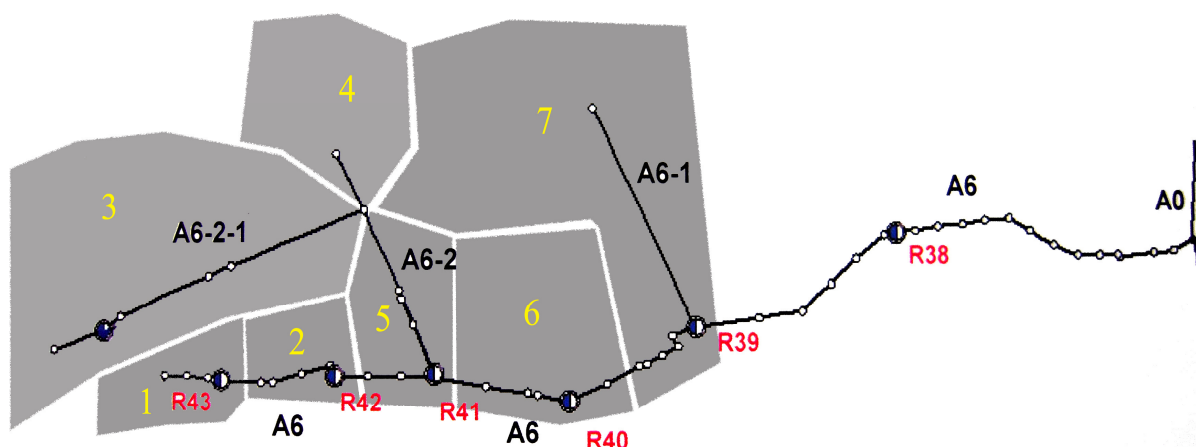
traso bližje potoku Gradaščica, v javno cestno telo Gunduličeve ulice. Na zahodni strani križišča Riharjeve in Finžgarjeve ulice je lociran šesti in zadnji od razbremenilnikov na A6, in sicer R38. Trasa se nato nadaljuje v Finžgarjevi cesti do razbremenilnika R26, kjer se A6 priključi na kanalizacijski zbiralnik A0. Lokacija razbremenilnika R26 je neposredno ob izlivu potoka Gradaščica v reko Ljubljanico.

Kanalizacijski zbiralnik A6-1 se na zbiralnik A6 priključuje preko razbremenilnika R39 in dovaja odpadne vode iz vzhodnega dela rožne doline. Prispevne površine, ki tangirajo, znašajo približno 70 ha. Dolžina kanala, ki je jajčaste oblike in dimenzije DN 1200/1800, znaša 418,0 m.

Kanalizacijski zbiralnik A6-2 se na zbiralnik A6 priključuje preko razbremenilnika R41 ter dovaja odpadne vode iz zahodnega dela Rožne doline, dela Viča, Vrhovc ter Brda. Na zbiralnik A6-2, ki gravitacijsko poteka v smeri sever-jug, se iz zahodne strani, na območju Vrhovnikove ulice, priključuje manjši zbiralnik A6-2-1. Le-ta dovaja odpadne vode s prispevnega območja dela Viča, Vrhovc in Brda, kjer je kanalizacija zasnovana v ločenem sistemu. Na začetku kanalizacijskega zbiralnika A6-2-1 je črpališče, z dvema črpalkama, pri čemer ima ena črpalka kapaciteto črpanja 60 l/s. Po podatkih javnega holdinga Vodovod-kanalizacija d.o.o. sta v letu 2008 črpalke delali 2736 ur, pri čemer sta načrpali v celem letu 1.1181.952 m³ odpadne vode. Dimenzija zbiralnika A6-2 je DN 1800 mm, dolžine 555,0 m. Zbiralnik A6-2-1 je dimenzije DN 700-1000 mm, dolžine približno 770 m.

3.2.4 Prispevne površine

Širše območje obdelave je bilo razdeljeno na 13 prispevnih površin, ki gravitirajo na zbiralnik A6. Celotna prispevna površina obravnavanega območja, ki tangira na zbiralnik A6, do razbremenilnega objekta R39, znaša 297.9 ha. Razdelitev prispevnih površin je zelo groba, velikosti posameznih ploskev ter koeficienti odtoka pa so razvidni iz *Preglednice 4*. Gostota prebivalstva, upoštevana kot vhodni podatek za posamezno prispevno površino, se giblje med 47 PE/ha, na nekaterih primestnih območjih Bokalc, Brda in Vrhovc ter do 230 PE/ha, na gosto poseljenih območjih Rožne doline in Viča.



Slika 21: Skica kanalizacijskega zbiralnika A6 in njegove prispevne površine

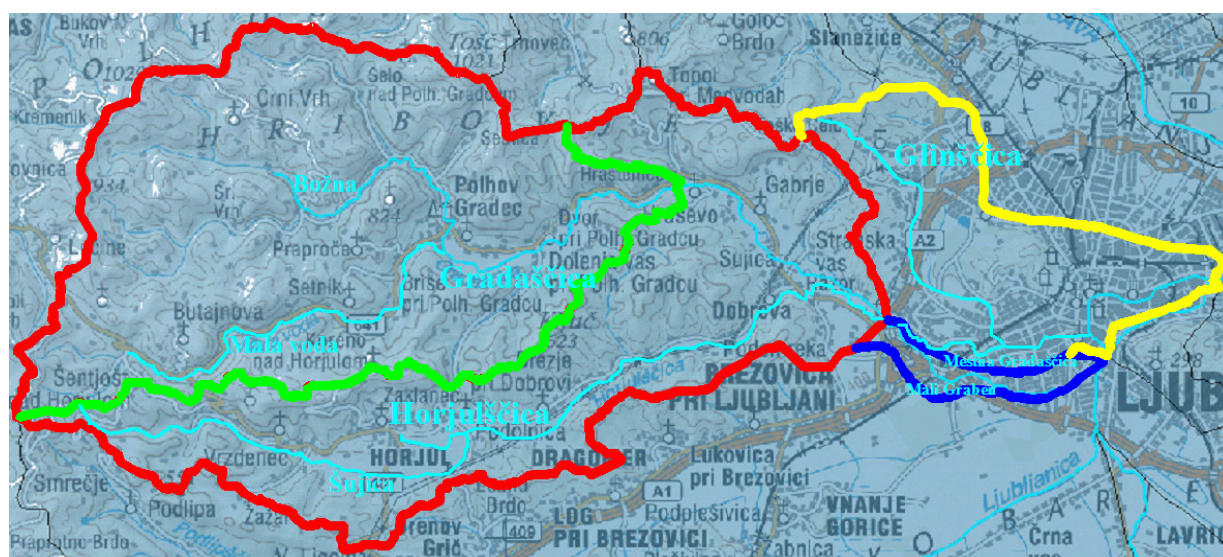
Preglednica 4: Karakteristike prispevnih površin, ki gravitirajo na zbiralnik A6 od R43 do R39

Številka prispevne površine	Oznaka [vozlišče]	Površina [ha]	Gostota preb. [PE/ha]	Koeficient odtoka [%]
7	A61004	70,20	53	25
6	A6R40	10,70	230	30
5	A62001	6,60	147	30
4	A62005	33,80	47	25
3	A621009	10,40	100	25
	A621019	8,40	90	25
	A621R36/1	54,30	78	2
	A621R36/2	45,00	78	2
	A621R36/3	35,80	78	2
	A621R36/4	11,00	78	2
2	A6_30	2,60	147	25
1	A6R43	1,40	147	25
	A6046	7,70	100	20
Skupaj:		297,90 ha	105,62	$\varphi = 18,31$

4 PRISPEVNO PODROČJE GRADAŠČICE

4.1 Geografske značilnosti

Povodje Gradaščice leži v osrednji Sloveniji, zahodno od Ljubljanske kotline. Na severu povodje omejuje Polhovgrajsko hribovje, ki se razprostira vzdolž celotnega povodja. Na zahodu ga omejuje Pasja Ravan in Žirovski vrh, na jugozahodu Rovtarsko Hribovje, na jugu pa avtocesta Ljubljana–Postojna.



— Porečje Gradaščice
— Porečje Mestne Gradaščice
— Porečje Malega Grabna
— Meja med porečjem Gradaščice in njenim pritokom Horjulščico
— Vodotok
Slika 22: Porečje Gradaščice, Mestne Gradaščice in Malega Grabna (Vir: ARSO)

4.2 Geološka zgradba

Med zgornjim karbonom in srednjim permom je prišlo do znatnega dviganja terena, pri katerem se je tudi to ozemlje dvignilo iz morja. Obsežni kompleksi karbonskih skladov predstavljajo neposredno nadaljevanje južnega dela litijske antiklinale.

Kossmat (Setnikar-Kuclar, 1997) je ta pas označil kot Škofjeloško-Polhovgrajski, ki sega od Ljubljanskega in Sorškega polja proti zahodu in se zaključuje ob dislokaciji, ki poteka severno od Barja, mimo Loškega vrha, severno od Horjula, čez Gorenjo vas in naprej proti severozahodu.

Vodilna smer litijske antiklinale je zahod-vzhod. Njeno Škofjeloško-Polhovgrajsko nadaljevanje je podleglo močnemu pritisku na stičišču Alp in Dinaridov, zaradi česar so se tu

karbonske plasti dvignile, se razgibale in potisnile triadne plasti v stran ali jih celo prekinile (Rakovec, 1927).

Ugotovljeno je, da gre v tem stiku za dolg in izrazit nariv. Karbon litijske antiklinale je narinjen na širokem pasu na plasti triadnega horjulskega pasu v smeri proti jugozahodu. Geologi štejejo horjulski triadni pas za nadaljevanje istih geoloških plasti, ki se vlečejo južno od Barja v dinarski smeri od severozahoda proti jugovzhodu (Setnikar-Kuclar, 1997).

Vzporedno z robom barske kotline, ki se razteza podolgem v smeri ZJZ proti VSV, je vrezana dolina Horjulščice od Horjula oziroma Brezja navzdol do konca pri Dobrovi, prav tako pa tudi Polhovgrajska dolina od Polhovega Gradca do Hrastenic. To je razlog za sklepanje, da litijska antiklinala zahodno od Ljubljane zavije iz smeri zahod-vzhod nekoliko proti ZJZ. Geološki pasovi se vlečejo ob Polhovgrajski dolini v tej smeri. Tu se razločno vidi, da je dolina izoblikovana na meji geoloških pasov, in sicer ob stiku malo odpornega karbonskega skrilavca s trdnimi triasnimi dolomiti. Od Dvora navzgor leži dolina pretežno v karbonu, od Dvora navzdol do Gabrja pa je izdolbena v trdih dolomitnih skladih in zato tudi ozka (Setnikar-Kuclar, 1997).

– **Tektonska zgradba**

Pretežni del obravnavanega ozemlja je že od konca triade dalje ter do danes kopno, na katerem se je razvijal relief prav tako kakor danes, le da so na genezo večkrat močno vplivali tektonski procesi.

Poleg glavnih, že omenjenih narivnih dislokacij, je še mnogo manjših. Med njimi je najvažnejša prelomna črta, ki se vleče od Drenovega Griča mimo Horjula proti severozahodu. Ob tem prečnem prelomu se je vzhodno krilo pogreznilo. Pri tem je bila pretrgana narivna ploskev, ob kateri je škofjeloško-polhovgrajska enota potisnjena na poljansko-vrhniske nize. Prelom je torej mlajši od narivne ploskve (Setnikar-Kuclar, 1997).

V vzhodnem delu Polhovgrajskega hribovja poteka severno od Tošča približno v enaki smeri s prejšnjo, nadaljnja dislokacija, ob kateri se je pogreznilo severovzhodno krilo. Naslednja dislokacija poteka ob Ilovem grabnu v smeri severovzhod-jugozahod.

Oba vodotoka (Gradaščica in Horjulščica) imata v gornjem toku velik padec – okrog 20 ‰. V srednjem toku pa sta oba ustvarila široko plosko ravnico, kakršni bi sicer pričakovali ob spodnjem toku. Tako je Horjulščica v svojem srednjem toku ustvarila Horjulsko ravnico, kjer znaša padec le 0,4 do 2,1 ‰. Ob cesti Drenov Grič - Zaklanec se ta ravnica rahlo dvigne, kar se lepo odraža na strmcu, ki od Brezja proti Dobrovi znaša 6,1 ‰.

Polhovgrajska dolina je nekoliko bolj strma okrog Dvora, kjer je padec Gradaščice 3,3 ‰, a se ji strmec od Belice navzdol, posebno okrog Žerovnika, poveča na 7,1 ‰ (Žnidaršič, 1967).

– **Kamninska sestava**

Na območju porečja Gradaščice prevladujeta dve vrsti kamnin: triadne in v manjši meri kredne, ki so v večjem delu karbonatne, največ kot delno prepustni dolomiti različnih starosti in sestav, ter nepropustne paleozoiske, permske in karbonatne plasti, sestavljene iz raznobarvnih peščenjakov, alevroitov, skrilavcev in konglomeratov.

Med triadnimi kamninami je resda največ prepustnih kamnin, so pa med njimi tudi obsežni kompleksi vododržnih plasti, predvsem srednje triadni laporni apnenec in peščeni skrilavec, pomešan z dolomitom in oolitnim apnencem. Nahajajo se severno od Horjula in Vrzdence, na njih so Koreno in del Šentjošta, Setnik, Srednji vrh, Črni vrh, in segajo do doline Poljanščice (Gams, 1998).

– **Prsti**

Pedološka karta v merilu 1:25000 iz leta 1984 loči na obravnavanem območju sedem glavnih tipov prsti:

- rendzina na dolomitu in apnencu,
- evtrična rjava tla na laporatih apnencih in laporjih z vložki apnenca,
- evtrična in distrična tla na apnencih, dolomitih, laporjih, glinastih skrilavcih in peščenjakih,
- distrična rjava tla na permokarbonskih skladih,
- distrična rjava tla na grodenskih skladih,
- rjava pokarbonatna tla na dolomitu in apnencu, tipična in lesivirana in
- obrečna, neoglejena in globoko oglejena.

Debelina prsti je odvisna od reliefa, in sicer so tanki sloji na zgornjih konveksnih delih pobočij, najdebelejša pa je seveda kolutialna plast na konkavnem delu pobočij in na pobočnih polinah (tu je le erozija in ne tudi akumulacija sprane prsti). Debelina prsti ne vpliva odločilno na rabo tal (Gabrovec, 1989).

4.3 Podnebje in padavine

Na območju je v podnebju opazen prehod iz gorskega podnebja Julijskih Alp v milejše podnebje Ljubljanske kotline (Ilešič, 1938). Na samem območju deluje samo ena padavinska postaja, kjer se vrednosti beležijo v intervalu petih minut. To je postaja Črni vrh nad Polhovim Gradcem (840 m n. v., letna količina padavin: 1691 mm). V bližini obravnavanega območja pa delujejo še naslednje postaje:

- Topol pri Medvodah (severno od območja),
- Lučine (zahodno od območja),
- Bežigrad-Ljubljana (vzhodno od območja).

Omenjene postaje delujejo v okviru Agencije Republike Slovenije za okolje.

4.4 Hidrografske razmere

Težišče in hrbtenica hidrografskega omrežja sta reki Gradaščica in Horjulščica. Za največji pritok Gradaščice se uporabljajo tri imena; Horjulščica, Horjulka in Šujica. Ker se med domačini najpogosteje uporablja ime Horjulščica, bo tudi v diplomski nalogi uporabljeno to ime.

Obe reki se izlivata pri Kozarjah v kratek, 200 metrov dolg skupen tok, nato pa se razdelita v dve strugi. Severnejši tok teče skozi Vič in se imenuje Mestna Gradaščica, južnejši pa teče skozi Mestni Log kot Mali Graben in se izliva v Ljubljanico. Kot pritok se v Mestno Gradaščico izliva Glinščica.

Porečje Gradaščice je veliko 154,3 km² (ARSO, 2003) in odmakla skoraj vse vode Polhovgrajskega hribovja. Razvodni hrbet poteka od vzhodnega roba pri Šentvidu čez Toško čelo, mimo Topola-Katarine, čez Grmado na Tošč, proti zahodu na Pasjo ravan, na jug na Sivko, Špik, Črni Vrh, proti vzhodu na Križmanov vrh, Kisovec, po grebenu Loškega hriba in Debelega hriba do Kozarške hoste.

Po vodnatosti in še nekaterih značilnostih je Gradaščica pomembnejša od Horjulščice in Glinščice.

4.4.1 Gradaščica s pritoki

Gradaščica ima v povirju dva izvirna kraka: Veliko Božno, ki priteče izpod Pasje ravni (1031 m n. v.) in Malo vodo, ki priteče izpod Šentjošta (620 m n. v.). Kraka se pri Polhovem Gradcu združita v Gradaščico. Gradaščico izdatneje napaja Velika Božna, ki do sotočja pri Polhovem Gradcu dobi več pritokov hudourniškega značaja (Dobravc, 2003). To so: Mala Božna z izvirom pod Ostrožem (920 m n. v.), Ernejčkov graben priteče izpod Planine (797 m n. v.) nad Lučinami in Mačkov graben izpod Gradaških Gont (Gabrovec, 1989).

V Gradaščico pritekajo od Polhovega Gradca dalje še hudourniški pritoki: z leve Dvorski, Belški in Žerovnikov graben ter Jarčki potoki, z desne pa je pritokov manj. Največji je Črni potok.

Gradaščica se pri Gabrju razlije po širokem prodnatem vršaju. Preko njega si je urezala globoko strugo, ki v zgornjem delu poteka premočrtno, v spodnjem pa začne meandrirati (Gregorka, 1993). Povodje Gradaščice do postaje v Dvoru meri 78,36 km². Celotno povodje Gradaščice pa meri 158,82 km².

Po podatkih ARSA je bil najvišji vodostaj na merski postaji Dvor, izmerjen 18. 9. 2010, 313 cm oziroma 67.5 m³/s, najnižji pa 22. 10. 1985, 66 cm (0.14 m³/s) (ARSO, 2010).

4.4.2 Horjulščica s pritoki

V Horjulščico, imenovano tudi Šujica, se stekajo vode med porečjem Gradaščice in Ljubljanskim Barjem. Porečje Horjulščice meri 46,88 km² (ARSO, 2003).

V zgornjem toku teče Horjulščica po široki in zamočvirjeni ravnici Horjulske doline in po ožjem prehodu vstopa v širši ravninski del pod Dobrovo. Njen edini večji pritok je Bezenica. Pod Dobrovo začne Horjulščica meandrirati, nato približno 2 km teče ob Gradaščici ter se še nato združi z njo (Setnikar-Kuclar, 1997).

Od Gradaščice se Horjulščica loči po mirnejšem toku in ožji ter plitvejši strugi.

4.4.3 Glinščica s pritoki

Reka Glinščica izvira pod severovzhodnimi obronki Toškega čela in pri Podutiku preide v ravninski del Ljubljanske kotline. Topografska slika porečja je sestavljena iz gričevnatega dela na vzhodu in zahodu ter ravninskega dela, ki se razširi v južnem delu. Relief porečja Glinščice je precej raznolik od strmih povirnih območij do ravníc. Ravninski del porečja je slabo prepusten. Povirje Glinščice sega na severni strani v pobočje Toškega čela in Črnega vrha, razvodnica na vzhodu sega v urbano območje mesta Ljubljana (Dravljje, Šiška), preko Šišenskega hriba in Rožnika do izliva v Gradaščico, ki predstavlja najjužnejšo točko porečja. V smeri proti zahodu poteka razvodnica skozi urbano območje preko Brda vse do Tičnice, kjer se usmeri proti severu preko Stražnega vrha, Prevala do Toškega čela. Večji pritok Glinščice je Pržanec, čigar povirje sega v pobočje Velike trate in Male trate in odvaja vodo s pretežno ravninskega dela vzhodno od Glinščice. Padavinsko prispevno območje Glinščice obsega 17,4 km². Položaj odvodnice znotraj urbanega območja določa odvodnja meteornih voda s kanalizacijskim sistemom, zato orografska razvodnica ne sovпада vedno s prispevnim območjem Glinščice. Skupno prispevno območje Glinščice je nekoliko večje in zajema 19,3 km² površine, ker je padavinski odtok z območja med Gunceljami, železnico in orografsko razvodnico med porečjema Glinščice in Save ter del urbanih površin ob izlivnem delu Glinščice preko kanalizacijskega meteornege omrežja speljano na območje porečja Glinščice.

4.4.4 Rečni režim Gradaščice, Šujice in Glinščice

Obe vodi imata izrazito pluvialno-nivalni rečni režim zmerno mediteranskega variante. Večletna povprečja kažejo, da se najvišja voda pojavlja jeseni, ker imajo jesenski meseci največ padavin. V marcu je porast vode močan, kar je pripisati kopnenju snega, saj je takrat padavin malo (Setnikar-Kuclar, 1997).

5 HIDRAVLICNI MODEL KANALIZACIJSKEGA ZBIRALNIKA A6

5.1 Opis vzorčenja

Na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, na oddelku Inštituta za zdravstveno hidrotehniko, od leta 2004 izvajajo primerjalne analize kakovosti padavinskih, odpadnih in površinskih voda. Do konca marca 2009 je bilo izvedenih 23 analiz za sledeče datume vzorčenja in parametre, prikazane v preglednici 5 in 6.

V nadaljevanju pa so za primerjavo prikazani tudi rezultati meritev z dne 22. 9. 2004, na kanalizacijskem zbiralniku A6, na razbremenilnem objektu R40, katere je izvajalo Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija d.o.o. v obdobju julij-september 2003.

Preglednica 5: Datumi vzorčenja

Zap. št.	Datum
1	10. 11. 2004
2	29. 03. 2005
3	11. 04. 2005
4	5. 05. 2005
5	6. 07. 2005
6	30. 09. 2005
7	17. 02. 2006
8	4. 04. 2006
9	31. 05. 2006
10	23. 11. 2006
10a	24. 11. 2006
11	24. 01. 2007
11a	9. 02. 2007
12	8. 03. 2007
13	4. 05. 2007
13 a	7. 05. 2007
14	27. 09. 2007
15	24. 10. 2007
16	26. 11. 2007
17	4. 02. 2008
18	4. 03. 2008
19	23. 04. 2008
20	29. 10. 2008
21	6. 11. 2008
22	6. 03. 2009
23	31. 03. 2009

Preglednica 6: Parametri vzorčenja

Parameter	Enota
Temperatura	°C
pH	-
Raztopljeni kisik, O ₂	mg/l
Elektroprevodnost	μS/cm
Neraztopljene snovi skupaj	mg/l
Neraztopljene snovi anorg.	mg/l
Amonijev dušik N/NH ₄ ⁺	mg/l
Nitratni dušik N/NO ₃ ⁻	mg/l
Nitritni dušik N/NO ₂ ⁻	mg/l
Celotni dušik, N	mg/l
Celotni fosfor, P	mg/l
Baker, Cu	mg/l
Krom- šestvalentni, Cr(VI)	mg/l
Kadmij, Cd	mg/l
Nikelj, Ni	mg/l
Svinec, Pb	mg/l
Cink, Zn	mg/l
Klorid, Cl ⁻	mg/l
Sulfat, SO ₄ ²⁻	mg/l
KPK	mg/l
BPK ₅	mg/l

Analize vzorčenja so se izvajale na štirih lokacijah z naslednjimi oznakami:

- luža na vozišču križišča Hajdrihova pred stavbo na Hajdrihovi 28, Ljubljana – **Na cesti**
- kanalizacijski jašek za stavbo na Hajdrihovi 28, Ljubljana – **Kanal**
- reka Gradaščica 1 pri stavbi na Hajdrihovi 28, Ljubljana – **Potok 1**
- reka Gradaščica 2 za iztokom iz razbremenilnika pod mostom na Riharjevi cesti, Ljubljana – **Potok 2**

Za primerjavo koncentracije na štirih mestih vzorčenja smo uporabili najbolj pomembne parametre. Ti so suspendirane snovi, skupni fosfor, skupni dušik, KPK ter BPK₅.

Pridobljeni so tudi podatki o količini padavin, za posamezne datume vzorčenja.

Suspendirane snovi oziroma neraztopljene snovi ločimo od raztopljenih snovi s filtracijo s srednje gostim filtrirnim papirjem, filtrirnimi lončki z azbestno plastjo, steklenim filtrom, z membranskimi filtri ali s centrifugiranjem. Suspendirane snovi določimo kot odfiltrirane snovi po sušenju pri 105 °C. Glede na gostoto snovi jih ločimo na usedljive, lebdeče in plavajoče snovi. Neraztopljene snovi v vodi so lahko organskega (odmrli in živi organizmi) in anorganskega izvora (gline in peski).

Skupni fosfor; fosfor je vitalni faktor v življenjskih procesih. Pospešuje primarno produkcijo vode, zato je določevanje fosforja pomembno za ocenjevanje potencialne biološke produkcije vode.

Fosfor se kot fosfat nahaja v površinskih in odpadnih vodah. Najpogostejše oblike so; ortofosfati (umetna gnojila, ki se spirajo s kmetijskih površin), kondenzirani fosfati (pridejo v vodo s čistilnimi sredstvi) in organsko vezani fosfati (nastajajo pri bioloških procesih).

Dušik lahko določamo kot; organski dušik, amoniak, nitrit in nitrat. Iz oblike, v kateri se pojavlja, se ugotavlja stanje odpadne vode. Pri aerobnem razkroju se organski dušik in amoniak razkrojita v nitrite in nitrate.

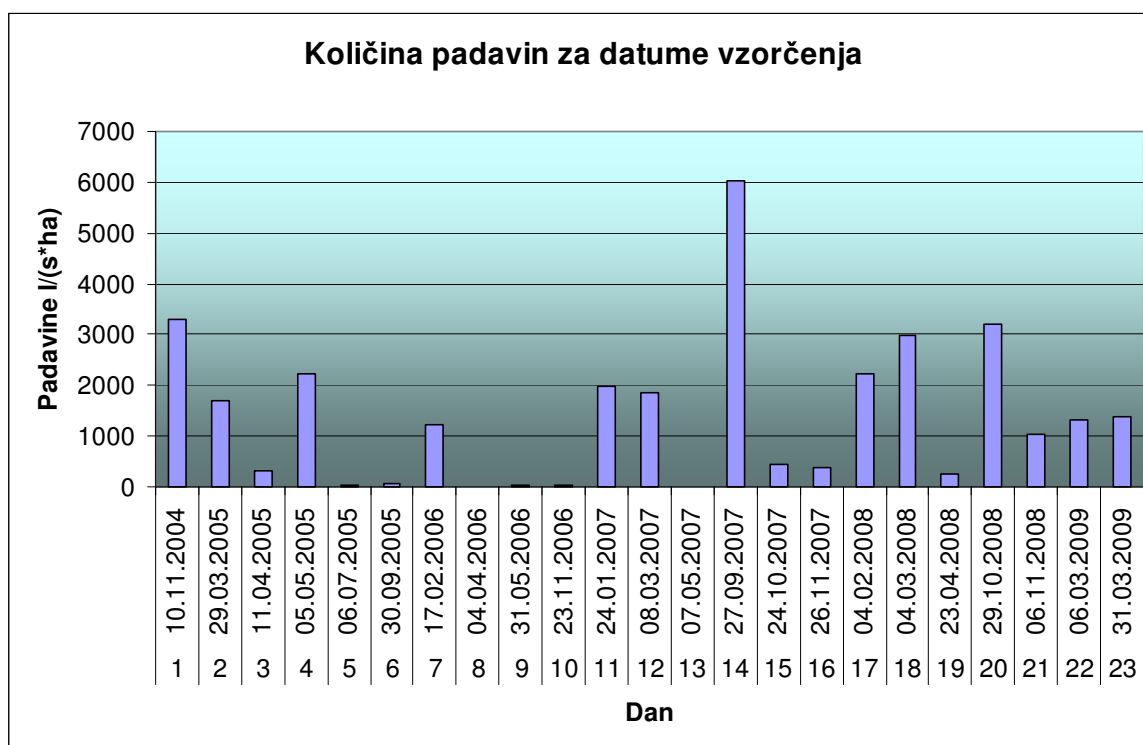
Organski dušik se s pomočjo bakterij prevede v amonij, ta pa se v aerobnih pogojih postopoma oksidira v nitrat (III) in nitrat (V).

Sveže onesnažene vode vsebujejo predvsem organski dušik in amonij, starejše onesnaženje pa vsebuje več nitratov.

KPK je merilo za organsko onesnaženost v odpadnih in površinskih vodah. S KPK določamo vse organske snovi, ne moremo pa ločiti med biološko razgradljivimi in biološko inertnimi organskimi snovmi. Zato se KPK uporablja kot dopolnilo in ne nadomestilo BPK, ki podaja množino porabljenega kisika za razgradnjo organskih snovi pri pogojih, ki so v naravi, torej za biološko razgradnjo organskih snovi. ATV-A 128E standard navaja, da naj bi koncentracija KPK padavinskega odtoka znašala 107 mg/l, koncentracija KPK sušnega odtoka pa 600 mg/l ob povprečnih letnih padavinah 800 mm.

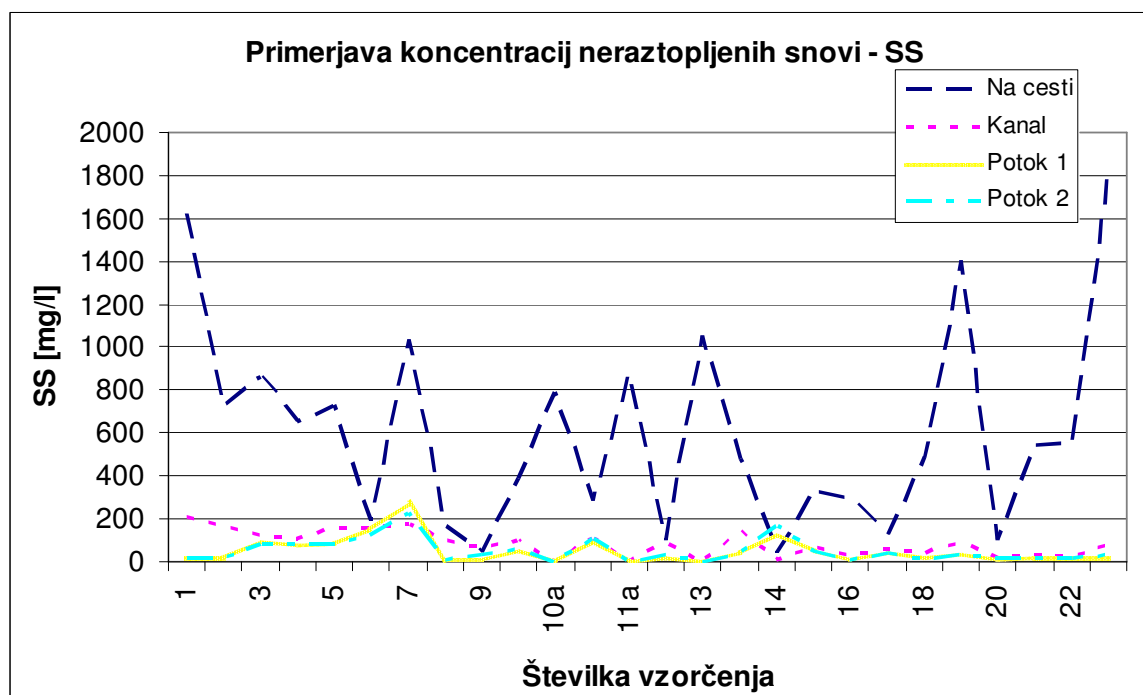
BPK – biokemijska potreba po kisiku je množina kisika, ki je potrebna za oksidacijo razgradljivih organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov, ki jih vzorec vsebuje. BPK je odvisna od količine in koncentracije organskih snovi ter tudi od temperature, turbulence, števila in aktivnosti mikroorganizmov. BPK₅ je standardiziran pri 20°C, po petih dneh in je merilo za onesnaženje površinskih in odpadnih voda z razgradljivimi organskimi snovmi. Za določitev biokemijske obremenitve ČN ali vodotokov tako največkrat uporabimo BPK₅, ki ga določimo v [kg/dan], pri čemer velja, da je obremenitev z BPK₅ na prebivalca na dan, 60 [g/(P*dan)].

Koncentracije onesnažil za analizirane parametre za mešani kanalizacijski sistem in za padavinsko kanalizacijo so prikazane v *Preglednici 1*.

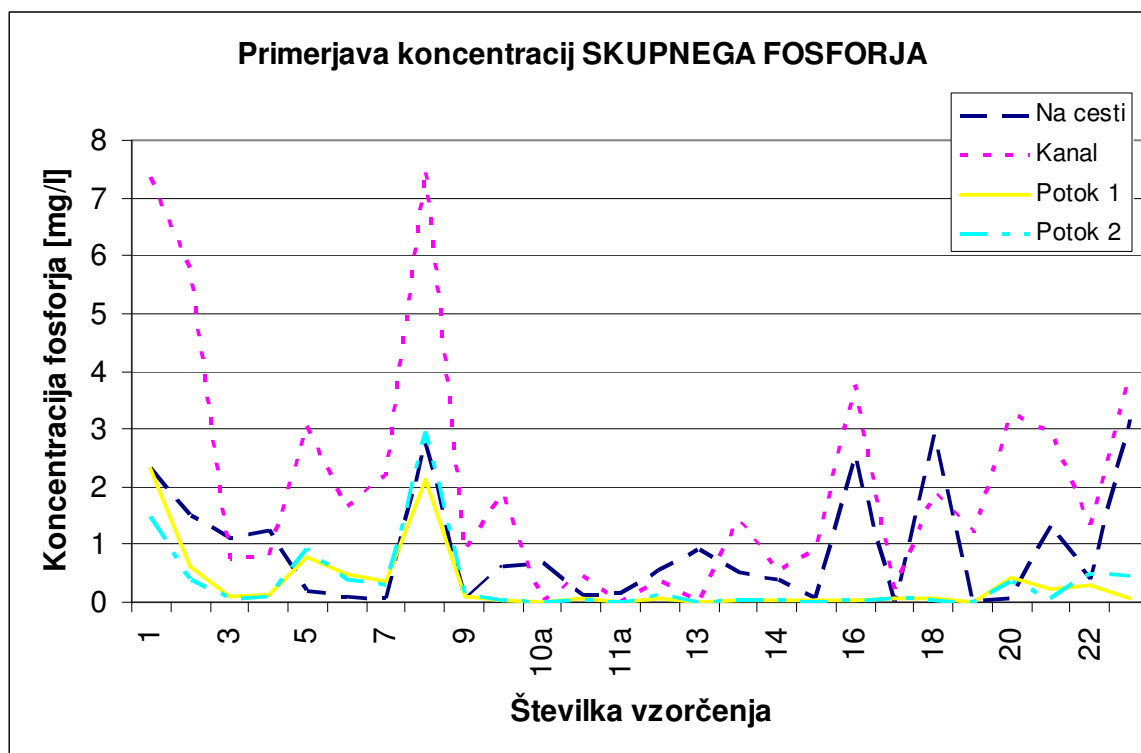


Graf 2: Količina padavin za datume vzorčenja

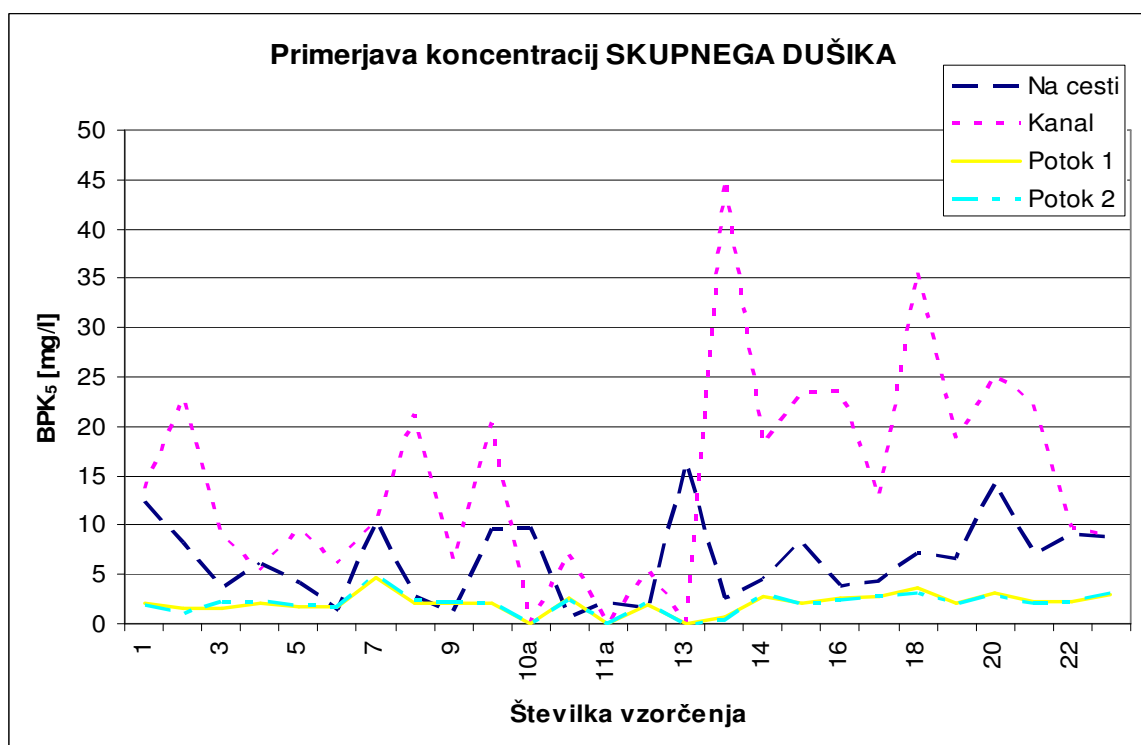
Za zgoraj naštete parametre spodnji grafi prikazujejo primerjavo posameznega parametra glede na lokacijo vzorčenja.



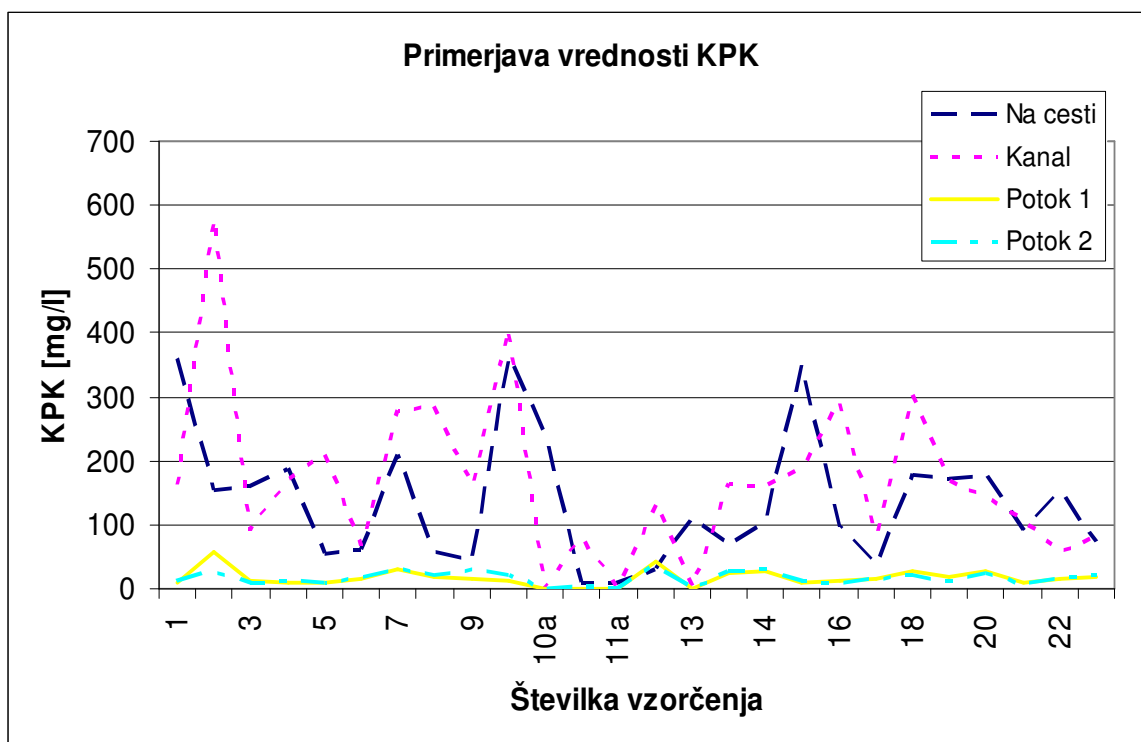
Graf 3: Primerjava koncentracij neraztopljenih snovi – SS



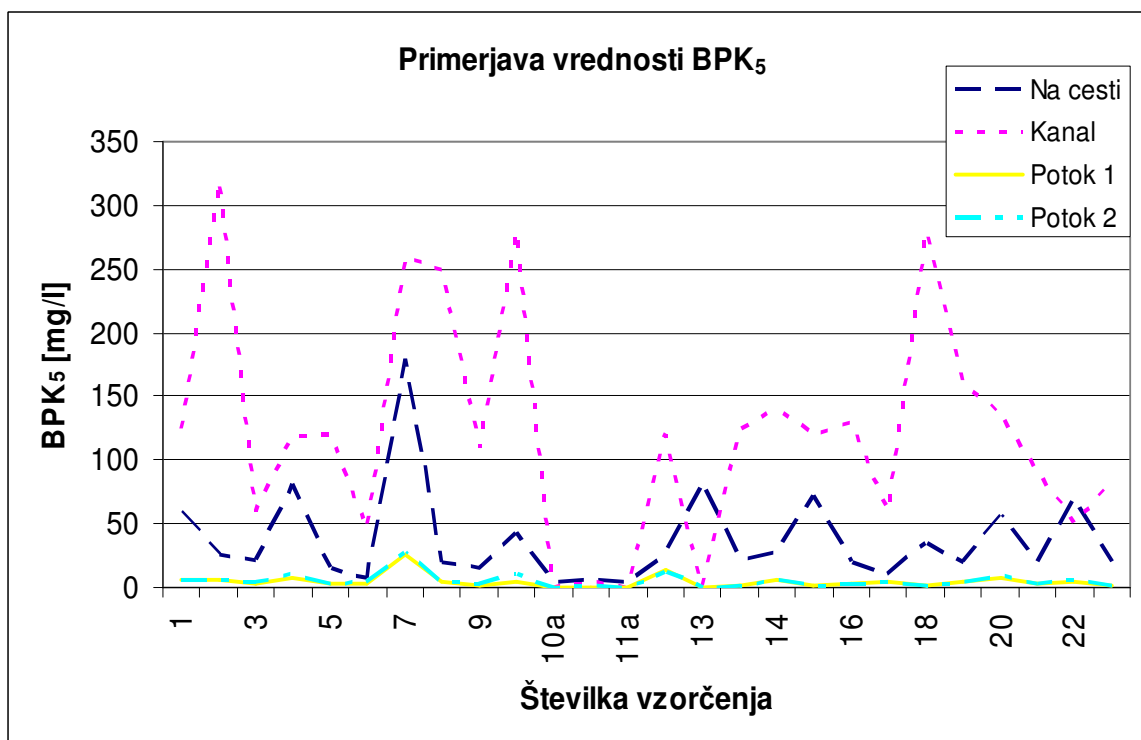
Graf 4: Primerjava koncentracij skupni fosfor.



Graf 5: Primerjava koncentracij skupni dušik



Graf 6: Primerjava koncentracij KPK



Graf 7: Primerjava koncentracij BPK₅

5.2 Program SWMM 5

Program Storm Water Management Model (SWMM) je dinamični model za simulacijo padavinskega odtoka, uporabljen za posamezni padavinski odtok ali za dolgoročne simulacije kvalitete in kvantitete odtoka iz urbanih površin. Komponenta odtoka programa SWMM deluje na osnovi zbiranja podobmočij, ki prejmejo padavine ter nato generira odtok in obremenitev s polutanti. Tako je delež odtoka voden skozi sistem cevi, kanalov, zadrževalnih naprav, črpalk in regulatornih naprav. SWMM vodi kvaliteto in kvantiteto odtoka, ustvarjeno znotraj posameznih podobmočij ter stopnjo odtoka, globino odtoka ter kvaliteto vode v vsaki cevi ter kanalu med časom simulacije in vključuje večkratne časovne korake.

SWMM je bil razvit leta 1971 in je doživel že nekaj večjih izboljšav. Ta program se široko uporablja po vsem svetu za načrtovanje, analiziranje in konstruiranje v povezavi s padavinskim odtokom, mešanim kanalizacijskim sistemom, odvodnimi cevmi in ostalimi drenažnimi sistemi v urbanih območjih in z mnogimi aplikacijami za ruralna območja.

Zdajšnja verzija 5 je v celoti predelana iz prejšnjih verzij. Izvajanje programa v okolju Windows, SWMM 5 zagotavlja enotno okolje za urejanje vhodnih podatkov obravnavanega območja, za zagon hidrološke in hidravlične analize, simulacijo kvalitete odpadne vode in nato ogled rezultatov v različnih formatih. To vključuje barvno lestvico dreniranega območja in rezultatov transporta, časovno odvisne grafe in tabele, prečne prereze in statistično analizo pogostosti.

Program simulira različne hidravlične procese, ki povzročijo odtok iz urbanih površin, kot so: časovno odvisni nalivi, izhlapevanje stoječih površinskih voda, zbiranje in taljenje snega, depresijsko prestrezanje padavin, infiltracija padavin v prepustno nenasičeno zemljino, precejanje infiltrirane vode v podtalne plasti, vpliv podtalne vode na kanalski sistem, površinski tok po prispevnem območju ...

Prostorska spremenljivost v vseh procesih je dosežena z razdelitvijo obravnavanega območja v zbirko manjših, homogenih podobmočij, pri čemer vsako vsebuje svoj koeficient prepustnosti. Površinski odtok je lahko voden med podobmočji, med območji ali med vstopnimi točkami kanalizacijskega sistema.

SWMM prav tako vsebuje prilagodljive nastavitve sposobnosti hidravličnega modeliranja, uporabljenega za odvod odtoka in zunanjih pritokov skozi kanalizacijski sistem omrežja ali cevi, kanalov, zadrževalnih/obdelovalnih enot in različnih struktur.

To vključuje sposobnost:

- ravnanja z omrežjem neomejene velikosti,
- uporabe širše raznolikosti zaprtih in odprtih oblik kanalov kot tudi naravnih kanalov,
- posebnih elementov, kot so zadrževalne/obdelovane enote, razdelilcev pretokov, črpalk, jezov in odprtih,
- uporaba zunanjega pretoka in podatkov o kvaliteti vode površinskega odtoka ter določitev pritokov,
- možnosti simulacije bodisi kinematičnega ali dinamičnega gibanja,
- od modela odvisni odtočni režimi, kot so: stoječa voda, nasproten tok in površinska zajezitev,

- upoštevanja omejitev uporabnikovih pravil za simulacijo delovanja črpalk, odprtih in nivoja vrha jezera,

Razen v primeru modeliranja transporta padavinskega odtoka lahko SWMM prav tako oceni obremenitev s polutanti, v povezavi z odtokom. Sledeč proces je lahko modeliran za kakršnokoli število komponent kvalitete vode, definirane s strani uporabnika:

- onesnaževalci v sušnem odtoku, ki nastanejo pri različni uporabi tal,
- onesnaženje, sprano iz specifičnih površin med padavinskim dogodkom,
- neposredno prispevanje padavinskih naplavin,
- zmanjšanje onesnažil v sušnem odtoku zaradi čiščenja cestišč,
- zmanjšanje obremenitve padavinskega odtoka,
- vstop sušnega odtoka in uporabnikova določitev zunanjega pritoka v katerikoli točki kanalizacijskega sistema,
- spremljane sestave kvalitete vode skozi kanalizacijski sistem,
- zmanjšanje koncentracije onesnaženja skozi obdelavo na zadrževalnih enotah ali z naravnimi procesi v ceveh in kanalih.

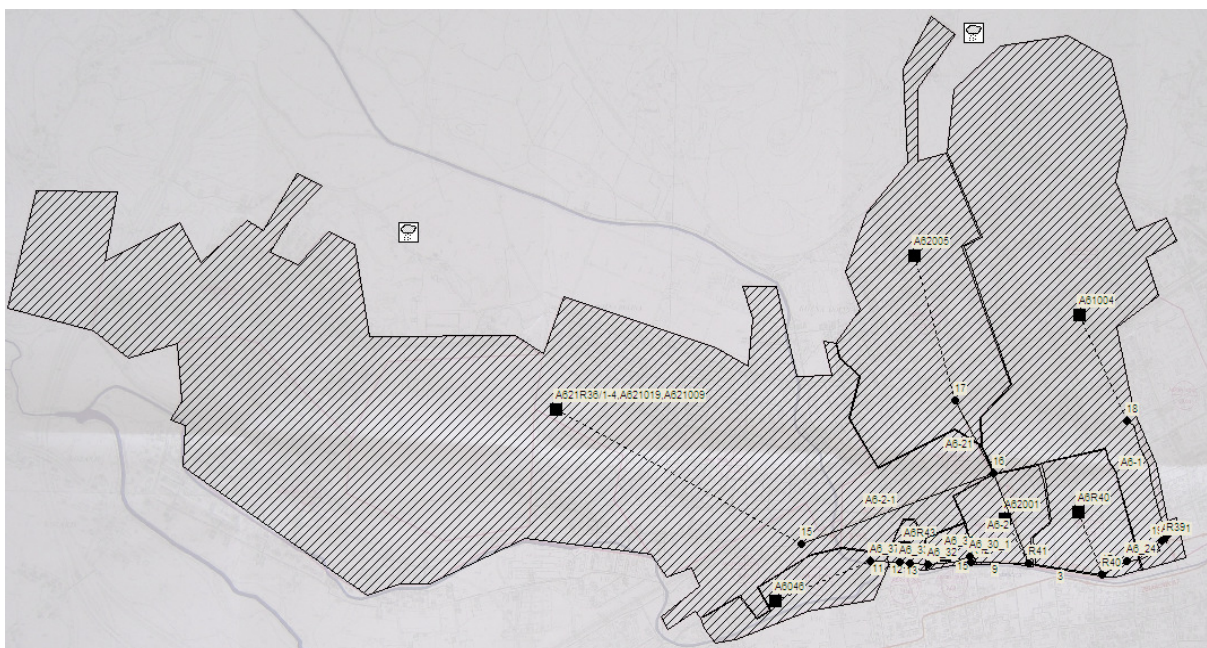
5.2.1 Tipična uporaba programa SWMM

Od začetka pa do danes je bil SWMM uporabljen pri tisočih kanalizacijskih sistemih in padavinskih študijah. Tipične aplikacije vključujejo:

- načrtovanje in določanje velikosti komponent kanalizacijskega sistema za poplavno zaščito,
- določanje velikosti zadrževalnih naprav in dotoka v zadrževalne bazene, za poplavno varnost in zaščito kvalitete odvodnika,
- jasno karto poplav naravnega kanalizacijskega sistema,
- načrtovanje strategij kontrole za zmanjšanje presežkov v mešanem kanalizacijskem sistemu,
- določitev vpliva pritoka in infiltracije v kanalu za odpadno vodo,
- ustvarjanje netočkovnega vira obremenitve z onesnaževalci za študijo razporeditve obremenitve odplak,
- določitev učinkovitosti »najboljšega postopka gospodarjenja« za zmanjšanje obremenitve z onesnaževalci ob deževnem vremenu.

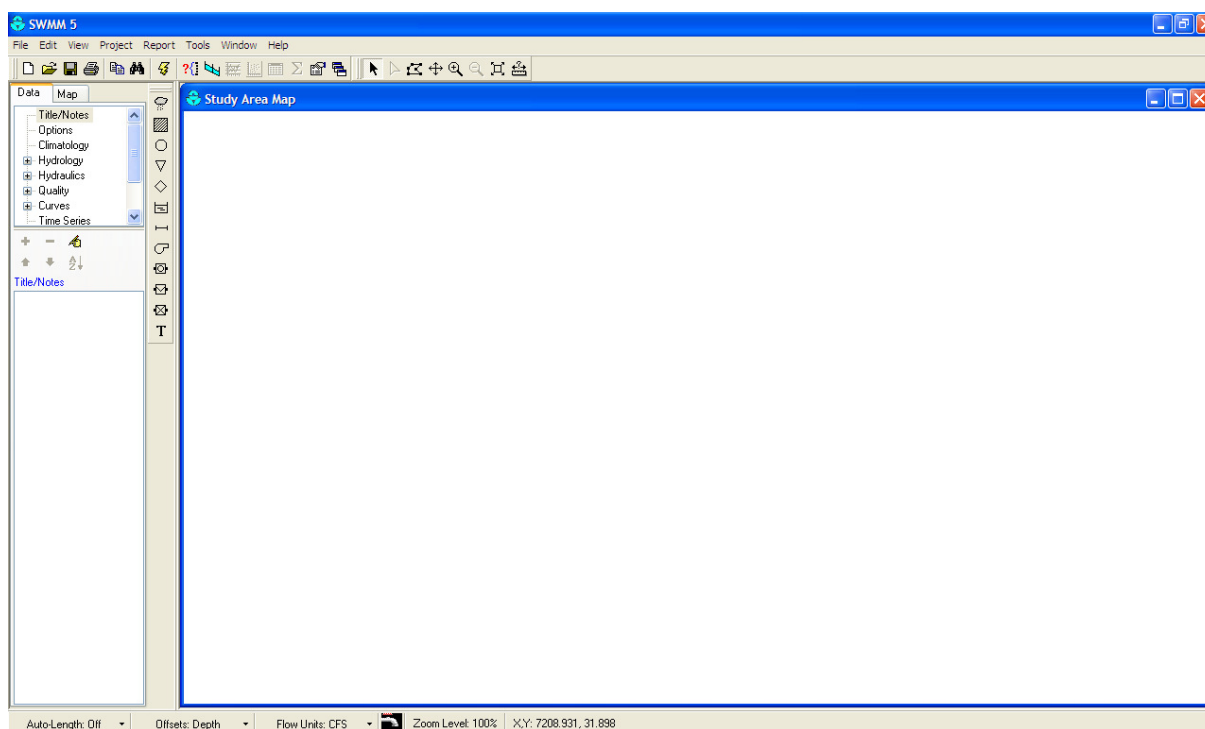
5.3 Hidravlični izračuni pretokov na kanalskem zbiralniku A6 in Gradaščici ter izračun masne obremenitve

Hidravlični izračun obstoječega kanalizacijskega zbiralnika A6 do razbremenilnika R39 sem izvedla s programom SWMM 5. Rezultat, ki sem ga potrebovala za končni izračun masne bilance, je bil pretok v kanalu za razbremenilnikom R39, ob času vzorčenja za posamezni dan vzorčenja. Ker imamo 23 vzorčenj, sem naredila v programu SWMM 5 23 modelov z različno količino in razporeditvijo padavin, katere mi je posredoval ARSO.



Slika 23: Prispevna površina, analizirana v programu SWMM

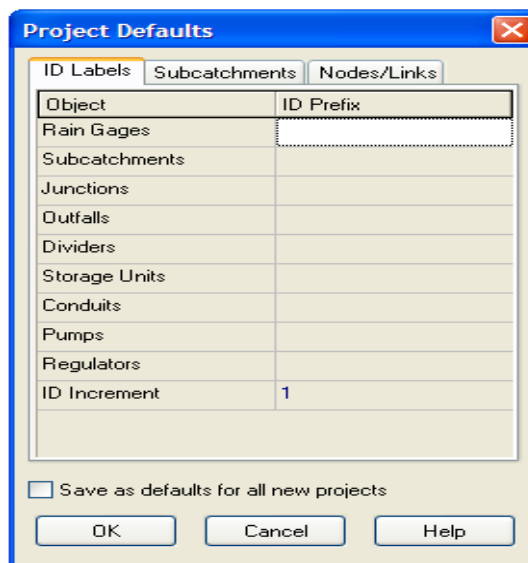
5.3.1 Izris obravnavanega območja v programu SWMM 5



Slika 24: Izgled osnovne strani programa SWMM 5

a) Za izris sistema kanalizacijskega zbiralnika A6 in njemu pripadajočih prispevnih površin je bilo potrebno najprej ustvariti nov projekt in njemu določiti osnovne nastavitve projekta, kot so:

- ~ **oznake posameznih komponent** kanalizacijskega sistema,
- ~ **podobmočja**, določitev osnovnih karakteristik podobmočij. Ker je v mojem primeru 7 podobmočij z različnimi karakteristikami, sem le-te pustila take, kot so in sem jim določila karakteristike kasneje.
- ~ **vozlišča/cevovodi.**



Slika 25: Okno za določanje osnovnih nastavitvev

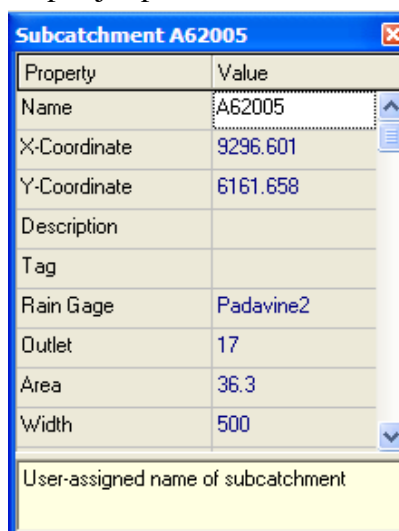
b) Izris objektov

- ~ **Podobmočje:** z gumbom , ki se nahaja v orodni vrstici izrišemo podobmočje različnih oblik
- ~ **Vozlišč/jaškov:** z gumbom 
- ~ **Izliv:** z gumbom 
- ~ **Zbiralni kanal oz. kanalizacija:** z gumbom 

Tako je območje izrisano, posameznim objektom pa je potrebno še določiti osnovne karakteristike.

Podobmočje:

- ~ določitev imena podobmočja,
- ~ površina območja,
- ~ padavine,
- ~ infiltracija,
- ~ za določene parametre, za katere nisem imela podatkov, sem pustila privzete vrednosti.



Slika 26: Okno za določanje karakteristik

podobmočij

Vozlišča:

- ~ določitev kote vtoka

Property	Value
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	292.09
Max. Depth	0
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0

User-assigned name of junction

Slika 27: Okno za določanje karakteristik vozlišč

Zbiralni kanal:

- ~ določitev oblike kanala,
- ~ premer kanala,
- ~ dolžina kanala.

Property	Value
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.9
Length	770
Roughness	0.01
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0
Initial Flow	0

User-assigned name of Conduit

Slika 28: Okno za določanje karakteristik kanalov

Izrisani model z vnesenimi karakteristikami prispevnih površin in kanalskega omrežja je tako predstavljal izhodišče za izračun pretokov v kanalskem zbiralniku. Potreben je bil samo še vnos sušnega odtoka, odtoka tujih voda ter padavin.

Večji del kanalizacijskega zbiralnika je zgrajen v mešanem kanalizacijskem sistemu, del pa tudi v ločenem sistemu. Prispevne površine, ki spadajo v ločeni sistem, so priključene na kanalizacijski zbiralnik A6-2-1. Program SWMM 5 namreč zahteva, da se vsaki prispevni površini določi padavine. Zato je bilo potrebno narediti dva padavinska dogodka, enega za mešani sistem ter enega za ločeni sistem. Za slednjega so bile padavine za posamezne 5-minutne intervale enake nič. Padavinski dogodek za mešani kanalizacijski sistem pa je imel vnesene padavine za 5-minutne intervale, ki sem jih pridobila s strani ARSA.

Pred vnosom padavin je bilo potrebno model še umeriti.

5.3.2 Umerjanje modela

Umerjanje modela je zelo pomemben postopek pri vsakem računalniškem programu, s katerim simuliramo kakršenkoli realni dogodek ter si želimo dobiti tudi verodostojne podatke s pomočjo računalniškega programa. V diplomski nalogi sem sistem kanalizacijskega zbiralnika A6 umerila na podlagi že izdelane diplomske naloge Matjaža Horvata, Hidravlična analiza kanalizacijskega zbiralnika A6 v Ljubljani. Sistem je umeril na osnovi znanih padavin in pretokov na območju povodja Gradaščice in Glinščice.

Ker nisem imela vseh podatkov, ki so bili uporabljeni pri izdelavi diplomske naloge Horvat (2006) za posamezna prispevna območja, sem morala pri umerjanju, s poskušanjem vstavljanja različnih koeficientov, priti do koeficienta odtoka, 25.71 %. V program SWMM 5 namreč ne vnašamo koeficientov odtoka, ampak padce. Povprečni koeficient odtoka, 25.71 %, pripada prispevnim površinam do razbremenilnika R39, ki spadajo v mešani kanalizacijski sistem.

Izhodišče za umerjanje sistema mi je služil podatek o intenziteti naliva, 157 [l/(s*ha)], s povratno dobo 1 leta in 10-minutnim trajanjem padavin.

Po definiciji, da je 1 milimeter padavin na minuto, enak 166,7 l/(s*ha), dobimo, da predstavlja intenziteta naliva 157 l/(s*ha), 0,9418 milimetrov padavin na minuto. Ker padavine trajajo 10 minut, pomeni, da v 10 minutah pade 9,418 milimetrov padavin.

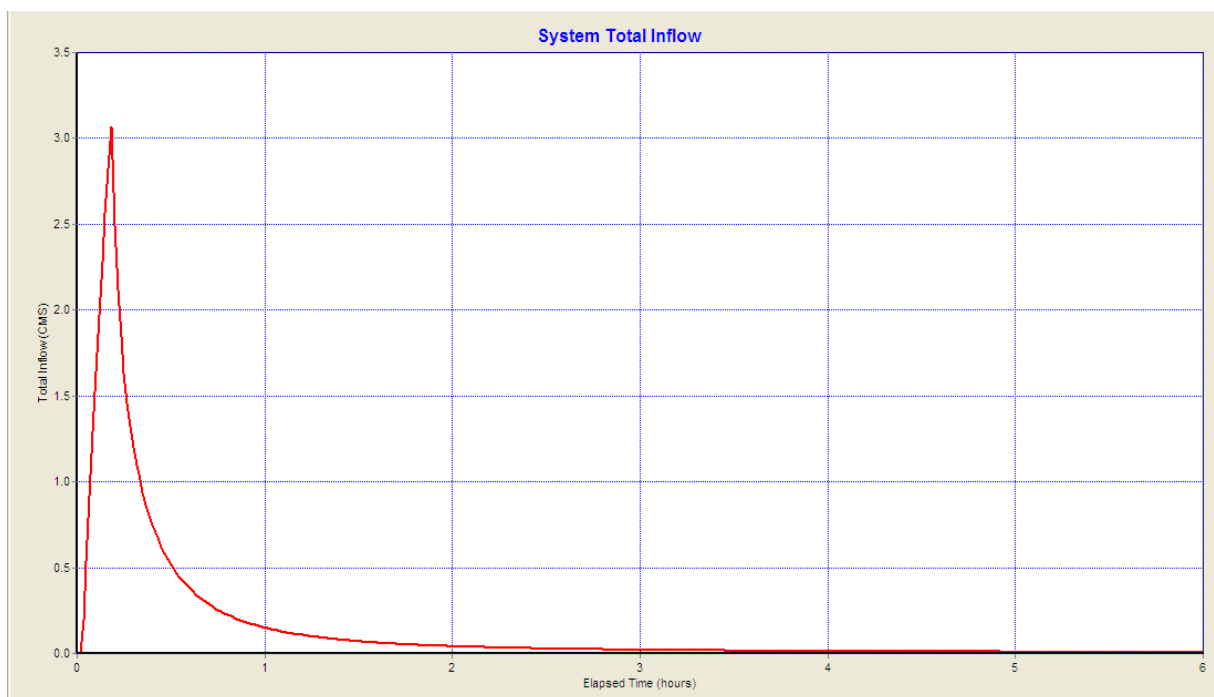
S poskušanjem vnosa različnih parametrov sem prišla do končnih vrednosti in iskanega koeficienta odtoka.

Iz podatkov; površina, intenziteta padavin in trajanje padavin, sem izračunala volumen padavin:

Preglednica 7: Izračun volumna padavin

	VREDNOST	ENOTE
Površina = A	133	ha
Intenziteta padavin	157	l/(s*ha)
Trajanje padavin	10	min
Vpadavin =	12528600	l
	12.528,60	m³

Iz spodnjega *Grafa 8*, ki sem ga dobila s programom SWMM 5, sem določila konico odtoka in trajanje odtoka ter iz dobljenih podatkov izračunala volumen površinskega odtoka:



Graf 8: Odtočna krivulja

Preglednica 8: Izračun površinskega odtoka

	VREDNOST	ENOTE
Trajanje	35	min
Max	3,07	m ³ /s
Vpovršinski =	3.224	m³

Preglednica 9: Izračun koeficienta odtoka

	VREDNOST	ENOTE
Vpovršinski =	3.224	m ³
Vpadavin =	12.528,60	m ³
Koeficient odtoka =	0,2573	

Umerjeni model sem nato uporabila za izračun pretoka za posamezna vzorčenja.

5.3.3 Izračun pretokov v kanalu

Umerjeni model mi je tako predstavljal izhodišče za hidravlično analizo posameznega vzorčenja v programu SWMM 5, zaradi različnih padavinskih dogodkov pa je bilo potrebno napraviti 23 modelov.

Omeniti velja še vnos povprečne dnevne porabe vode, ki znaša 200 l na prebivalca na dan. Podatek o povprečni porabi smo pridobili s strani Inkaso službe JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.. Po vsakem kanalskem sistemu pa se v času padavin pretakajo tako odpadne vode iz

gospodinjstev, komercialnih dejavnosti, obrti kot tudi tuje vode in padavinske vode. Ker na obravnavanem prispevnem območju ni večje industrije, vendar pa so le manjše obrti, sem prispevek odpadnih voda iz industrije in malih obrti, pri preračunu pretoka v kanalu, zanemarila. Upoštevali smo torej dotok odpadne vode iz gospodinjstev ter tujo vodo. Ker podatki oziroma meritve infiltrirane vode na kanalskem območju niso znane, sem upoštevala podatek o količini tuje vode, 0,15 l/(s*ha), ki ga predpisuje ATV-A 128E standard.

Masno obremenitev oziroma masni pretok dobimo, če pomnožimo koncentracijo posameznega onesnažila s pretokom odpadne vode:

$$G = C_{\text{onesnažila}} [\text{mg/l, kg/m}^3] * Q [\text{l/s, g/m}] \quad (5.1)$$

Pri izračunu masne obremenitve v kanalskem zbiralniku sem upoštevala pretok, ki je bil izračunan s programom SWMM 5 za posamezni dan vzorčenja in je odvisen od padavinskega odtoka, ob uri vzorčenja posameznega dne.

V *Preglednici 10* so prikazane koncentracije onesnažili, na osnovi katerih je sledil izračun masne bilance. Izračun masne bilance ni izveden za štiri vzorčenja, saj na ta dan vzorčenja oziroma do ure vzorčenja ni padlo nič padavin, ki bi prispevale k povečanju odtoka.

Končne vrednosti masne bilance so tako odvisne od pretoka in časa trajanja naliva. Daljši kot je bil naliv, večja je masna obremenitev z onesnažili.

Vrednosti, ki so odebeljene predstavljajo največje vrednosti masne bilance, najmanjše vrednosti masne bilance posameznega onesnažila pa so pisane ležeče.

– Izračun povprečnih masnih obremenitev

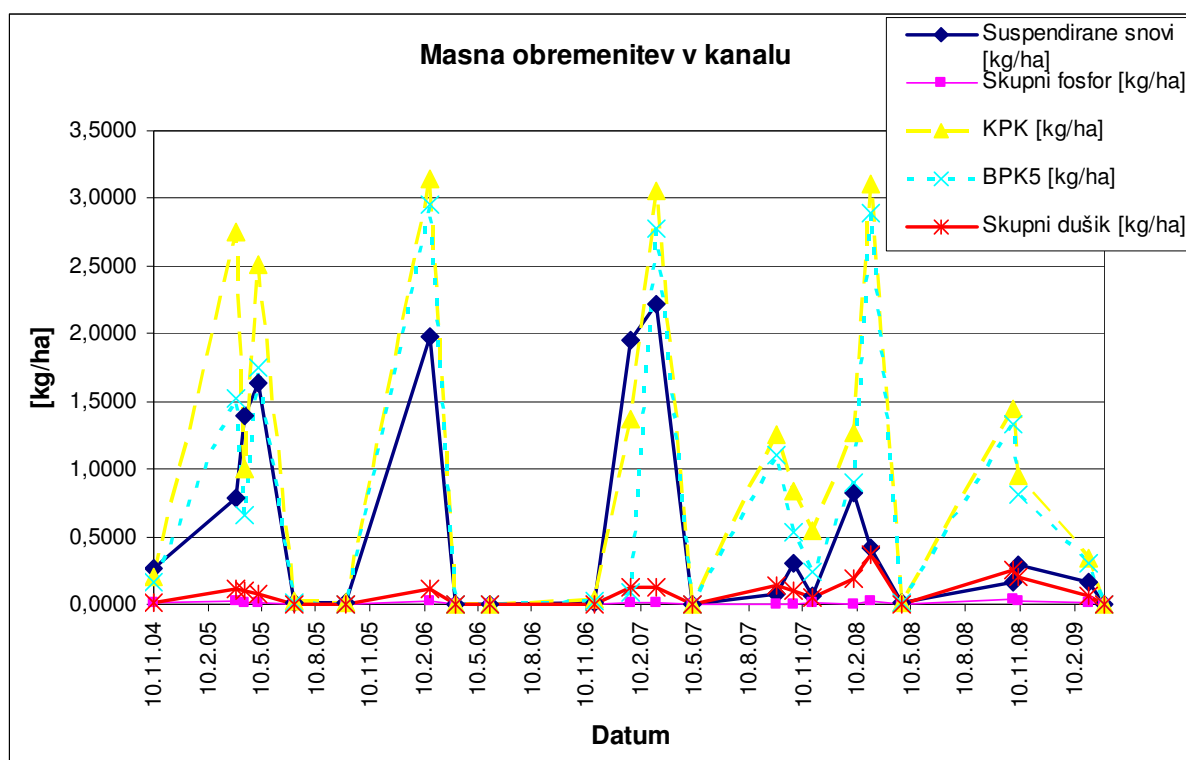
Za mersko postajo Ljubljana – Bežigrad, povprečno pade 1368 mm padavin na leto (ARSO), kar v povprečju predstavlja 155,6 dni s padavinami. Iz povprečja koncentracij posameznih onesnažil spodnja preglednica prikazuje povprečno masno obremenitev na dan oziroma leto.

Preglednica 10: Povprečna masna obremenitev kanalizacijskega sistema

	KPK	BPK ₅	Suspendirane snovi (SS)	Skupni dušik	Skupni fosfor
Povprečna koncentracija onesnažila [mg/l]	189,78	138,39	94,96	16,59	2,35
Masna obremenitev [kg/dan]	4.972	3.625	2.487	435	62
Masna obremenitev [kg/leto]	773.570	564.095	387.051	67.610	9.595

Preglednica 11: Masna bilanca kanalizacijskega sistema

Št. vzor.	Datum	Čas vzorčenja	Pretok v kanalizacijskem sistemu m ³ /s	Koncentracija onesnažil					Masna bilanca onesnažil				
				Suspendirane snovi	Skupni fosfor	KPK	BPK ₅	Skupni dušik	Suspendirane snovi	Skupni fosfor	KPK	BPK ₅	Skupni dušik
				mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1	10.11.2004	9:30	0,18	211	7,34	162	125	13,7	0,26770	0,00931	0,20556	0,15861	0,01738
2	29.03.2005	10:30	0,11	164	5,78	578	320	23	0,78120	0,02753	2,75321	1,52427	0,10956
3	11.04.2005	11:20	0,1	126	0,76	90	60	8,8	1,39580	0,00842	0,99698	0,66465	0,09748
4	05.05.2005	11:30	0,12	110	0,83	169	118	5,3	1,63500	0,01234	2,51202	1,75396	0,07878
5	06.07.2005	11:00	0,1	156	3,06	210	120	9,5	0,01570	0,00031	0,02115	0,01208	0,00096
6	30.09.2005	9:50	0,1	156	1,62	67	45	6,1	0,01570	0,00016	0,00675	0,00453	0,00061
7	17.02.2006	9:50	0,12	174	2,18	277	260	10,5	1,97660	0,02476	3,14659	2,95347	0,11927
8	04.04.2006	9:50	0,1	104	7,5	286	250	21,2	-	-	-	-	-
9	31.05.2006	9:50	0,1	71	0,87	160	110	6,4	-	-	-	-	-
10	23.11.2006	10:50	0,1	99	1,91	408	280	20,3	0,01000	0,00019	0,04109	0,02820	0,00204
11	24.01.2007	13:05	0,11	112	0,45	79	5	7,2	1,94790	0,00783	1,37395	0,08696	0,12522
12	08.03.2007	13:45	0,14	96	0,35	132	120	5,3	2,21970	0,00809	3,05208	2,77462	0,12255
13	07.05.2007	9:35	0,1	145	1,45	162	125	45,2	-	-	-	-	-
14	27.09.2007	9:30	0,11	9	0,51	159	140	18,3	0,07080	0,00401	1,25054	1,10111	0,14393
15	24.10.2007	9:30	0,1	69	0,92	188	120	23,4	0,30570	0,00408	0,83303	0,53172	0,10369
16	26.11.2007	9:30	0,11	36	3,75	292	130	23,6	0,06780	0,00706	0,54989	0,24481	0,04444
17	04.02.2008	9:30	0,15	55	0,23	85	60	12,8	0,82250	0,00344	1,27115	0,89728	0,19142
18	04.03.2008	9:30	0,25	41	1,88	301	280	35,8	0,42320	0,01941	3,10700	2,89023	0,36954
19	23.04.2008	9:30	0,1	89	1,2	169	160	18,7	0,00900	0,00012	0,01702	0,01611	0,00188
20	29.10.2008	9:10	0,12	17	3,27	146	135	25,2	0,16850	0,03240	1,44677	1,33776	0,24972
21	06.11.2008	10:30	0,11	32	2,94	106	90	22,4	0,28710	0,02638	0,95112	0,80755	0,20099
22	06.03.2009	9:30	0,1	28	1,34	57	50	9,8	0,16920	0,00810	0,34441	0,30211	0,05921
23	31.03.2009	9:20	0,1	84	4	82	80	9	-	-	-	-	-
Povprečje:									0,54735	0,00887	1,03827	0,78652	0,08864



Graf 9: Masna obremenitev kanala z onesnažili

Na kanalizacijskem omrežju so se vzorčenja izvajala enkratno, za določen dan vzorčenja. Ker se kontinuirane meritve pretoka na tem delu kanala niso izvajale, se ne ve, v katerem delu odtočnega vala je bila opravljena meritev. Zato nam posamezne vrednosti onesnažil ne dajo konkretnega vpogleda v realno obremenitev kanalskega sistema z onesnažili. Če želimo ugotoviti točne lastnosti odpadnih voda, se morajo meritve in analize izvajati skozi daljše časovno obdobje; nekaj dni, lahko celo nekaj tednov, pri velikih sistemih tudi več let. Lastnosti odpadnih voda se ne ugotavljajo le s pomočjo kemijskih in biokemijskih analiz, temveč tudi z vsemi ostalimi fizikalnimi meritvami, predvsem z meritvami pretoka oziroma hidravlično obremenitvijo, ki pa se v tem primeru ni izvajala.

Pri tem velja omeniti, da so podatki o količini padavin pridobljeni za najbližjo mersko postajo, Bežigrad. Ker se pretoki v kanalskem sistemu niso merili, sem jih morala izračunati s programom SWMM 5.

Iz podatkov torej težko ocenimo, kdaj se je za določen dan vzorčenja dogodil prvi val, saj se je lahko le ta dogodil že pred izvajanjem meritve. Kot sem omenila že na prejšnjih straneh, se prvi val dogodi na začetku padavinskega dogodka in v kolikor želimo pridobiti podatke o koncentraciji onesnažil prvega vala, moramo prvi val ob padavinskem dogodku »pričakati na terenu«.

Preglednica 12: Vsebnost nitratov in skupnega N v površinskem odtoku (National reasearch council, 2009)

Onesnažilo	Nitrati [kg N/ha/leto]			Skupni N [kg N/ha/leto]		
Leto	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Mestne površine	3	2,9	2,9	5,6	5,3	4,2

Preglednica 13: Vsebnost fosfata in skupnega P v površinskem odtoku (National reasearch council, 2009)

Onesnažilo	Fosfat [kg P/ha/leto]			Skupni P [kg P/ha/leto]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Mestne površine	0,003	0,037	0,03	0,1	0,1	0,08

Zgornji preglednici predstavljata vrednosti v površinskem odtoku, v Združenih državah Amerike. Povprečje vrednosti skupnega dušika iz *Preglednice 11* je 5.033 [kg P/ha/leto], kar v povprečju pomeni 0.0138 [kg P/ha/dan]. Povprečje vrednosti skupnega fosforja iz *Preglednice 12* pa je 0.0933 [kg P/ha/leto], kar pomeni 0.000256 [kg P/ha/dan].

Največja koncentracija **suspendiranih snovi** je bila dobljena z vzorcem iz dne 10. 11. 2004, ob 9:30 uri ter je znašala 211 mg/l. Najmanjšo koncentracijo SS, 9 mg/l, pa je imel vzorec iz dne 27. 9. 2007. Zelo nizka koncentracija SS se je po vsej verjetnosti dogodila zaradi padavin, ki so se zgodile en dan pred dnevom vzorčenja. En dan prej je namreč padlo med 19. in 24. uro 15,7 mm padavin, na dan vzorčenja pa še 10,1 mm padavin. Čeprav je bila količina padavin majhna, lahko sklepam, da je se je prvi val dogodil že prejšnji dan, zato je tudi koncentracija SS tako nizka.

Največja izračunana masna obremenitev s SS je za dan vzorčenja 08. 3. 2007 in znaša 2,2197 kg/ha, najmanjša masna obremenitev, 0,009 kg/ha, pa je bila dne 23. 4. 2008, pri pretoku 0,1 m³/s.

Najmanjša koncentracija **skupnega fosforja** izmed vseh vzorčenj je bila izmerjena na dan 4. 2. 2008 ob 9:30 uri, in sicer 0,23 mg/l pri izračunanem pretoku 0,15 m³/s. 4. 4. 2006 pa je bila izmerjena največja koncentracija 7,5 mg/l pri pretoku 0,1 m³/s ob 9:50 uri. Pri izračunu masne obremenitve, zaradi preračuna, upoštevanja pretokov ter časa trajanja nalivov, zgornja datuma več ne predstavljata največje ter najmanjše masne obremenitve. Vendar pa se je največja masna obremenitev dogodila 29. 10. 2008 in je imela vrednost 0,0324 kg/ha, minimalna masna obremenitev pa se je dogodila na dan 23. 4. 2008 ob 9:30 uri z vrednostjo 0,001 kg/ha.

Najmanjša koncentracija **KPK** je bila izmerjena 6. 3. 2009 ob 9:30 uri in pretoku 0,1 m³/s in je znašala 57 mg/l. Največja koncentracija je znašala 578 mg/l, ki je bila dobljena na dan vzorčenja, 29. 3. 2005, ob 10:30 uri in pretoku 0,11 m³/s.

Največja izračunana vrednost masne obremenitve KPK, 3,1466 kg/ha, je bila na dan, 17. 2. 2006, ob uri vzorčenja 9:50 ter pretoku 0,12 m³/s. Najmanjša izračunana masna obremenitev pa je bila na dan 30. 9. 2005 ob 9:50 uri in pretoku 0,1 m³/s.

Izmed 23 vzorčenj je bila najmanjša koncentracija **BPK₅**, dobljena na dan 24. 1. 2007 in je znašala 5 mg/l pri pretoku 0,11 m³/s. Največja koncentracija pa je bila izmerjena 29. 3. 2005 ter je znašala 320 mg/l, pri pretoku v kanalski cevi 0,11 m³/s.

Masna bilanca BPK₅, z izračunano najmanjšo vrednostjo 0,0045 kg/ha je bila za datum vzorčenja 30. 9. 2005, pri pretoku 0,1 m³/s. Najvišja vrednost pa je bila izračunana na dan vzorčenja 17. 2. 2006 in je znašala 2,9535 kg/ha.

Najnižja vrednost koncentracije **skupnega dušika**, 5.3 mg/l, je bila dobljena na dan 5. 5. 2005 ter 8. 3. 2007, najvišja pa 7. 5. 2007 45,2 mg/l.

Največja masna obremenitev je bila izračunana 4. 3. 2008, pri pretoku 0,25 m³/s in je znašala 0,3695 kg/ha, najmanjša vrednost, 0,0006 kg/ha, pa je bila dne 30. 9. 2005, pri pretoku 0,1 m³/s.

5.3.4 Primer dejanske vrednosti KPK in neraztopljenih snovi na razbremenilniku R40

Javno podjetje Vodovod – Kanalizacija d.o.o. je v obdobju julij-september 2004 izvajalo, meritve na razbremenilniku R40. V tem obdobju je bilo narejenih 7 meritev. Izbrala sem najbližjo meritev našim datumom vzorčenja in le-ta je 22. 9. 2004.

Vzorčenje je potekalo s pomočjo avtomatskega vzorčevalnika s plovcem za registracijo padavin, pri katerih razbremenilnik prepušča vodo v Ljubljano.

Meritve odpadne vode obsegajo naslednje parametre:

- osnovni parametri: KPK, neraztopljene snovi, pretok,
- dodatni parametri: pH, elektroprevodnost, usedljivost, amonijev dušik.

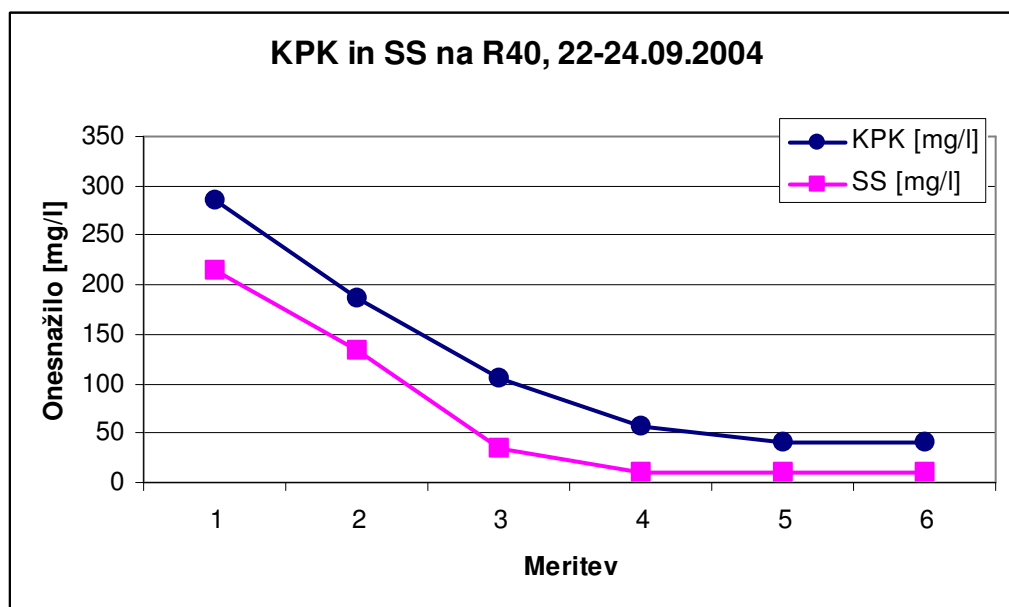
Vzorci so sestavljeni časovno sorazmerno, v odvisnosti od trajanja in poteka naličev.

Preglednica 14: Pretoki z dne 22. 9. 2004 in 24. 9. 2004 (JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.)

Št. meritve	Datum	Ura	Q [m ³ /h]
1	22. 09. 2004	4h do 5h	335
2	24. 09. 2004	12h do 13h	150
3	24. 09. 2004	13h do 14h	961
4	24. 09. 2004	14h do 15h	1359
5	24. 09. 2004	15h do 16h	1364
6	24. 09. 2004	16h do 17h	420

Preglednica 15: Rezultati meritev KPK in neraztopljenih snovi (SS), z dne 22.09.2004 in 24.09.2004 (JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.)

Št. meritve	Datum	Ura	KPK [mg/l]	Neraztopljene snovi (SS) [mg/l]
1	22. 09. 2004	3:53 do 4:04	286	214
2	24. 09. 2004	12:39 do 12:41	186	134
3	24. 09. 2004	13:09 do 13:49	106	34
4	24. 09. 2004	14:09 do 14:49	56	11
5	24. 09. 2004	15:09 do 15:49	<40	<10
6	24. 09. 2004	16:09 do 16:38	<40	<10



Graf 10: KPK in neraztopljene snovi odpadne vode na R40 dne 22. 9. 2004 (JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o.)

Iz podatkov pretoka lahko razberemo, da se je pretok tekom dneva, 24. 9. 2004, znatno povečal zaradi padavinskega dogodka. Le-ta je privedel, da se je koncentracija KPK in neraztopljenih snovi znižala. Glede na to, da je bil prvi izmerjeni pretok večji kot drugi pretok, to po vsej verjetnosti nakazuje, da se je padavinski dogodek zgodil že dne 22. 9. 2004, potem pa se je pretok na dan 24. 9. 2004 umiril. Tretja meritev pretoka pa zopet kaže na povečanje pretoka. Ker se je padavinski dogodek zgodil že 22. 9. 2004, se tudi koncentracije onesnažil ne povišajo, vendar pa ves čas padajo, saj so bila onesnažila sprana že z nalivom dne 22. 9. 2004.

Koncentracija KPK se je po nalicu znižala iz 286 mg/l na manj kot 40 mg/l, ko se je počasi začel umerjati tudi pretok.

Enako se dogodi pri koncentraciji neraztopljenih snovi. Le-ta je znašala na začetku meritve 214 mg/l in je padla na manj kot 10 mg/l, ko se je začel umirjati pretok.

5.3.5 Izračun pretokov v Mestni Gradaščici

Pri odvzemu vzorcev Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo meritve pretokov v Mestni Gradaščici ni izvajala, prav tako meritve ne izvaja ARSO. Pri izračunu masne obremenitve vodotoka pa ima pretok ključni pomen. Zato sem vodostaj izmerila sama in izračunala pretok na osnovi Manningove enačbe. V *Prilogi B* je prikazan prečni prerez korita Mestne Gradaščice s pripadajočimi dimenzijami.

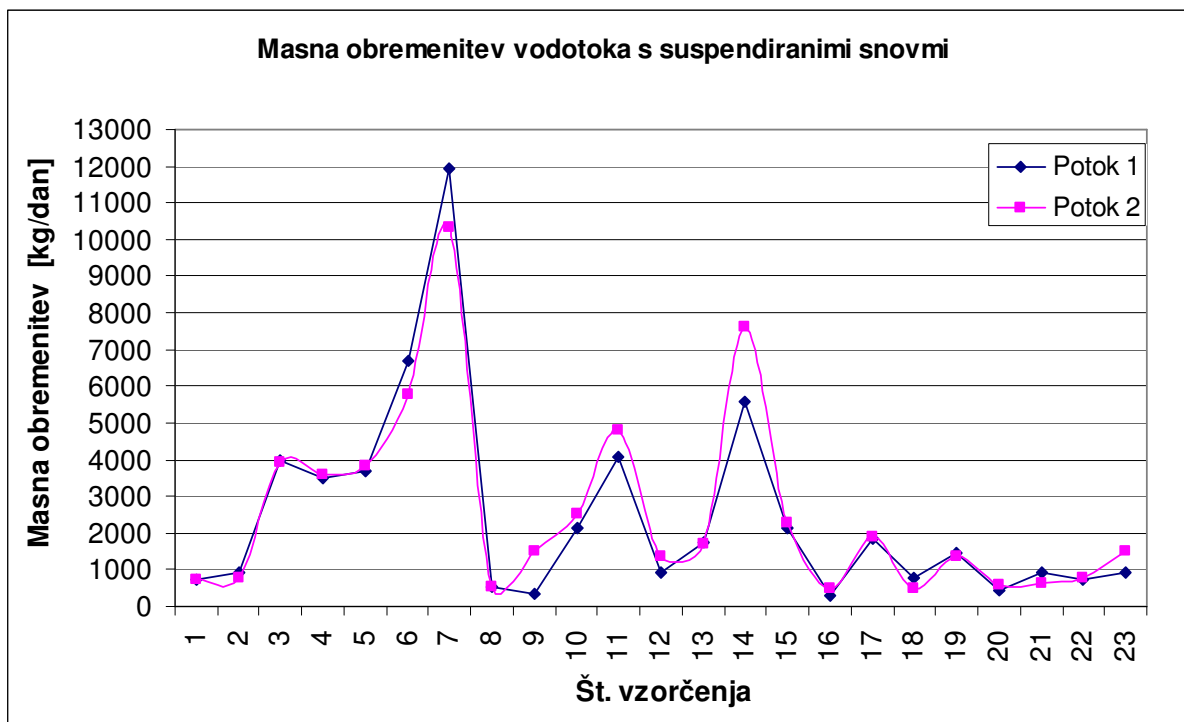
Vodostaj Mestne Gradaščice sem izmerila pri stavbi na Hajdrihovi 28, 11. 12. 2009 in je znašal 0,37 m, kar predstavlja pretok izračunan na osnovi Manningove enačbe, 0,52 m³/s. Približno tak vodostaj Mestne Gradaščice naj bi bil tudi ob dnevnih vzorčenjih. Zato sem pri preračunu masne bilance posameznih onesnažil pri vseh 23 vzorčenjih upoštevala pretok 0,52 m³/s.



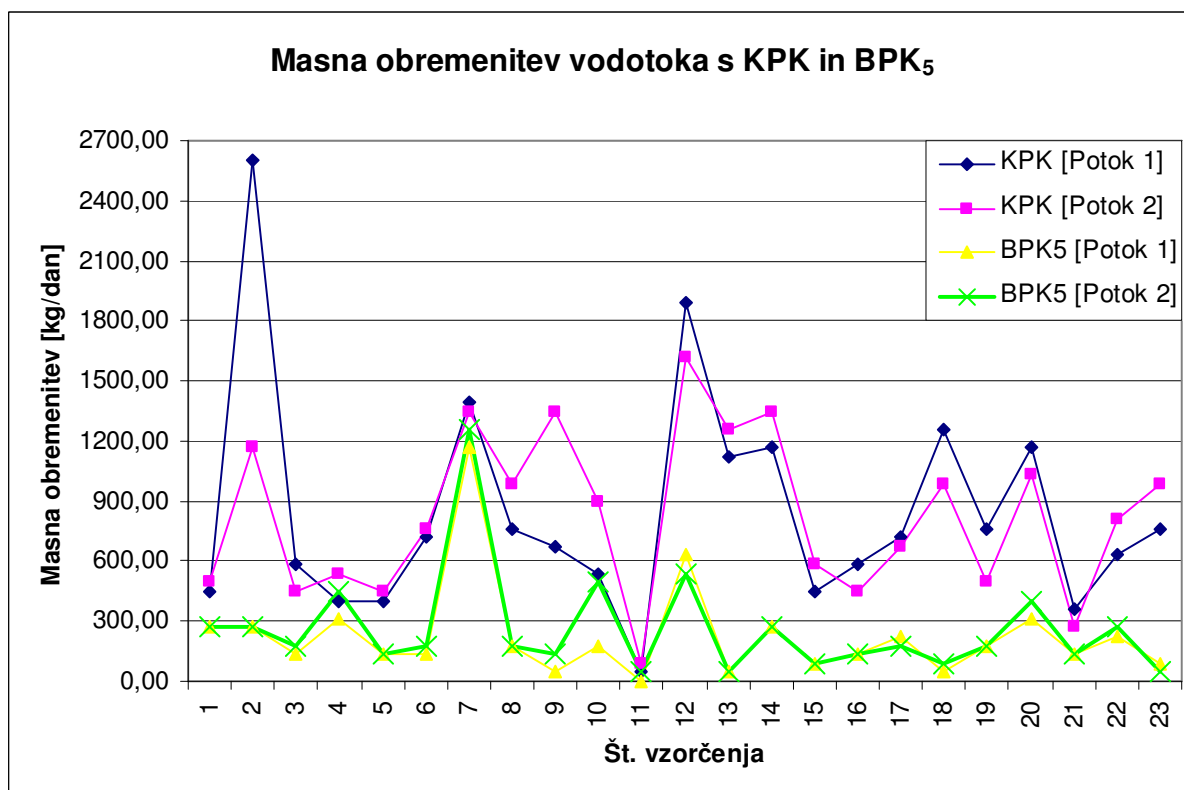
Slika 29: Vodostaj Mestne Gradaščice na dan: 11.12.2009

Iz *Preglednice 15* je razvidno, da so bili vzorci zajeti na dveh vzorčnih mestih. Vzorec z imenom *Potok 1* je bil odvzet v Mestni Gradaščici pri stavbi na Hajdrihovi 28 v Ljubljani. Vzorec *Potok 2* pa je bil prav tako odvzet iz vodotoka Mestna Gradaščica, za iztokom iz razbremenilnika pod mostom na Riharjevi cesti v Ljubljani.

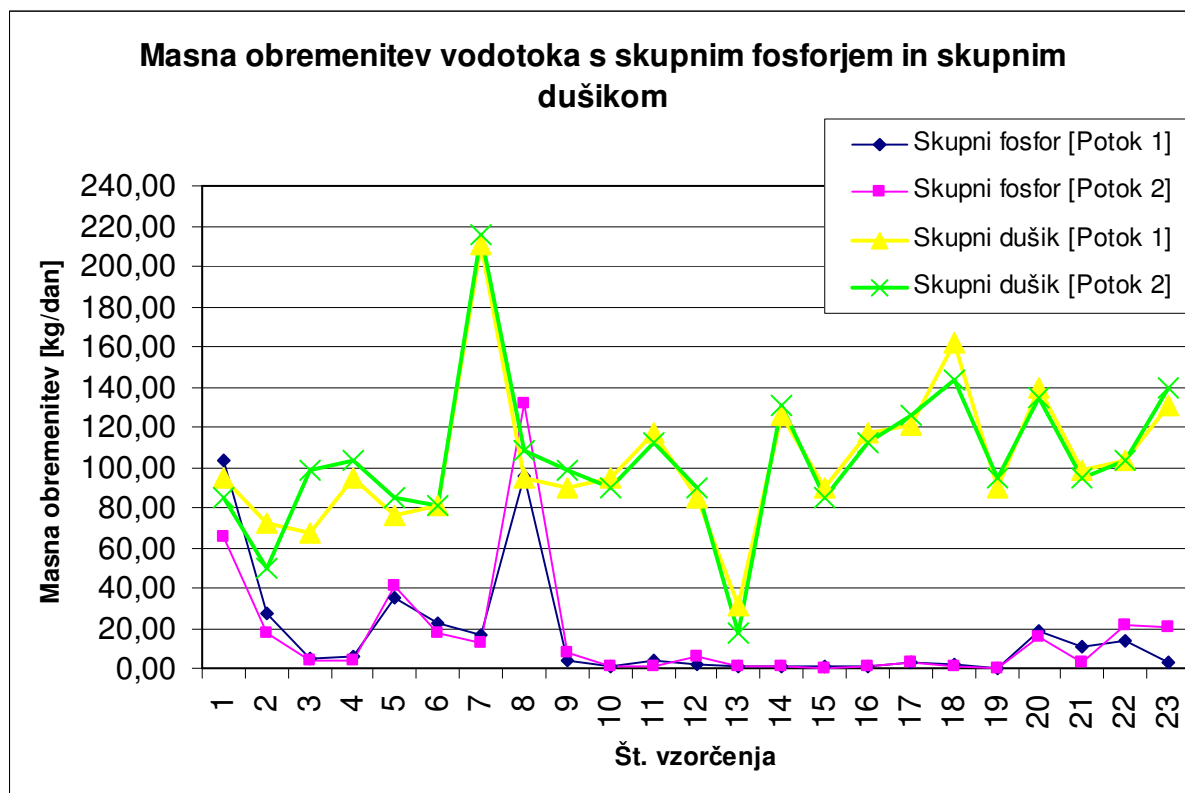
Št. vzor.		Datum	Koncentracija onesnažil										Masna bilanca onesnažil									
			SS		Skupni fosfor		KPK		BPK ₅		Skupni dušik		SS		Skupni fosfor		KPK		BPK ₅		Skupni dušik	
			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kg/dan	kg/dan	kg/dan	kg/dan	kg/dan	kg/dan	kg/dan	kg/dan
			Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2	Potok 1	Potok 2
1	10.11.2004	16,00	16,00	2,31	1,46	10,00	11,00	6,00	6,00	2,10	1,90	718,85	718,85	103,78	65,59	449,28	494,21	269,57	269,57	94,35	85,36	
2	29.03.2005	20,00	17,00	0,61	0,40	58,00	26,00	6,00	6,00	1,60	1,10	898,56	763,78	27,41	17,97	2605,82	1168,13	269,57	269,57	71,88	49,42	
3	11.04.2005	88,00	87,00	0,10	0,08	13,00	10,00	3,00	4,00	1,50	2,20	3953,66	3908,74	4,49	3,59	584,06	449,28	134,78	179,71	67,39	98,84	
4	05.05.2005	78,00	80,00	0,12	0,09	9,00	12,00	7,00	10,00	2,10	2,30	3504,38	3594,24	5,39	4,04	404,35	539,14	314,50	449,28	94,35	103,33	
5	06.07.2005	82,00	85,00	0,78	0,91	9,00	10,00	3,00	3,00	1,70	1,90	3684,10	3818,88	35,04	40,88	404,35	449,28	134,78	134,78	76,38	85,36	
6	30.09.2005	149,00	128,00	0,50	0,39	16,00	17,00	3,00	4,00	1,80	1,80	6694,27	5750,78	22,46	17,52	718,85	763,78	134,78	179,71	80,87	80,87	
7	17.02.2006	266,00	230,00	0,37	0,28	31,00	30,00	26,00	28,00	4,70	4,80	11950,85	10333,44	16,62	12,58	1392,77	1347,84	1168,13	1257,98	211,16	215,65	
8	04.04.2006	12,00	12,00	2,12	2,93	17,00	22,00	4,00	4,00	2,10	2,40	539,14	539,14	95,25	131,64	763,78	988,42	179,71	179,71	94,35	107,83	
9	31.05.2006	8,00	33,00	0,09	0,17	15,00	30,00	1,00	3,00	2,00	2,20	359,42	1482,62	4,04	7,64	673,92	1347,84	44,93	134,78	89,86	98,84	
10	23.11.2006	48,00	56,00	0,03	0,02	12,00	20,00	4,00	11,00	2,10	2,00	2156,54	2515,97	1,35	0,90	539,14	898,56	179,71	494,21	94,35	89,86	
11	24.01.2007	91,00	107,00	0,08	0,03	1,00	2,00	0,00	1,00	2,60	2,50	4088,45	4807,30	3,59	1,35	44,93	89,86	0,00	44,93	116,81	112,32	
12	08.03.2007	20,00	30,00	0,05	0,12	42,00	36,00	14,00	12,00	1,90	2,00	898,56	1347,84	2,25	5,39	1886,98	1617,41	628,99	539,14	85,36	89,86	
13	07.05.2007	39,00	38,00	0,02	0,02	25,00	28,00	1,00	1,00	0,70	0,40	1752,19	1707,26	0,90	0,90	1123,20	1257,98	44,93	44,93	31,45	17,97	
14	27.09.2007	124,00	169,00	0,02	0,02	26,00	30,00	6,00	6,00	2,80	2,90	5571,07	7592,83	0,90	0,90	1168,13	1347,84	269,57	269,57	125,80	130,29	
15	24.10.2007	47,00	51,00	0,02	0,01	10,00	13,00	2,00	2,00	2,00	1,90	2111,62	2291,33	0,90	0,45	449,28	584,06	89,86	89,86	85,36	85,36	
16	26.11.2007	7,00	11,00	0,02	0,03	13,00	10,00	3,00	3,00	2,60	2,50	314,50	494,21	0,90	1,35	5						



Graf 11: Masna obremenitev vodotoka s suspendiranimi snovmi



Graf 12: Masna obremenitev vodotoka s KPK in BPK₅



Graf 13: Masna obremenitev vodotoka s skupnim fosforjem in skupnim dušikom

Zelo velike vrednosti masne obremenitve z onesnažili v Mestni Gradaščici so rezultat velikega porečja Gradaščice, ki je veliko 154,3 ha. Zaradi velikih nadmorskih razlik med najvišjo in najnižjo točko porečja Gradaščice je prisotna erozija tal, med drugim tudi na kmetijskih zemljiščih. Višinska razlika med najvišjo točko porečja (Pasja ravan) in najnižjo točko (izliv Malega Grabna v Ljubljano) znaša kar 738 m.

Med glavne povzročitelje slabšanja kakovosti voda štejemo predvsem intenzivno kmetijstvo in urbanizacijo. Na masno obremenitev s hranili vplivajo naravni in antropogeni vplivi. Slednji je lažje določljiv in se ga oceni na podlagi obremenitve iz urbanega dela, vključno z industrijo in obrtjo ter vpliva kmetijstva. Naravni vpliv pa je težje določljiv, ker so meritve obremenjevanja praviloma večletne in zelo zahtevne zaradi naravnih pogojev, kot so količina padavin, erozija, ponikanje in podobno.

Glavni vir fosforja predstavljajo odpadne vode iz gospodinjstev ter mineralna gnojila in gnojevka na kmetijskih površinah. Vir organskih gnojil oziroma odpadkov so živalski gnoj, ostanki rastlin ter komunalni in industrijski odpadki. V tleh potekajo številni procesi s fosforjem, ki omogočajo dostopnost fosforja rastlinam in možnost prehoda v površinske vode. Vir fosforja v tleh predstavljajo ostanki talnih mineralov gnojil.

Med glavne onesnaževalce odvodnikov štejemo tudi dušik. Iz prsti se večinoma izloči kot nitrat iz podtalja. Dušikove spojine kažejo na organsko onesnaženje vode in na čas, kdaj je to

nastopilo. Amonijak je značilen za sveže onesnaženje, nitriti za bližnje in nitrati za dlje časa onesnaženo vodno okolje. Komunalne vode, industrijske odpadne vode, izcedek iz pognojenih kmetijskih površin, greznice in živalski odpadki predstavljajo glavno pot vstopa dušika v vodne recipiente.

Obremenitev odvodnikov z onesnažili je odvisna od količine padavin, gostote poselitve, števila prebivalstva, koeficienta odtoka in velikosti površin naselij.

5.3.6 Analiza stanja za kritični naliv s programom SWMM 5

Preglednica 17: Podatki za kritični naliv, v odvisnosti od povratne dobe, trajanja naliva in jakosti naliva (Vir: Hočevar, M., 2010, str. 34)

T [leta]	n	Trajanje [min]				
		5	10	15	20	30
10	1	421,25	345,83	264	209	158,75
5	0,5	407,22	292,73	230	186,67	140
2	0,2	359,72	234,69	184,74	156,07	119,74
1	0,1	288,29	198,24	157	131,89	99,72

Količina prelite vode na razbremenilnikih z upoštevanjem ATV-A 128E standarda predpisuje, da se vodi na čistilno napravo najmanj kritični pretok, presežek tega pa se lahko prelije v odvodnik. Kritični pretok določimo iz kritičnega naliva. Po nemških predpisih znaša kritični naliv 15 l/(s*ha), razen če se drugo vrednost utemelji na podlagi drugih zahtev.

Izračun stanja za kritični naliv je izveden s programom SWMM 5, pri čemer sem predpostavila, da se na čistilno napravo vodi najmanj kritični pretok Q_{crit} , pretok nad Q_{crit} pa se preko razbremenilnikov prelije v odvodnik.

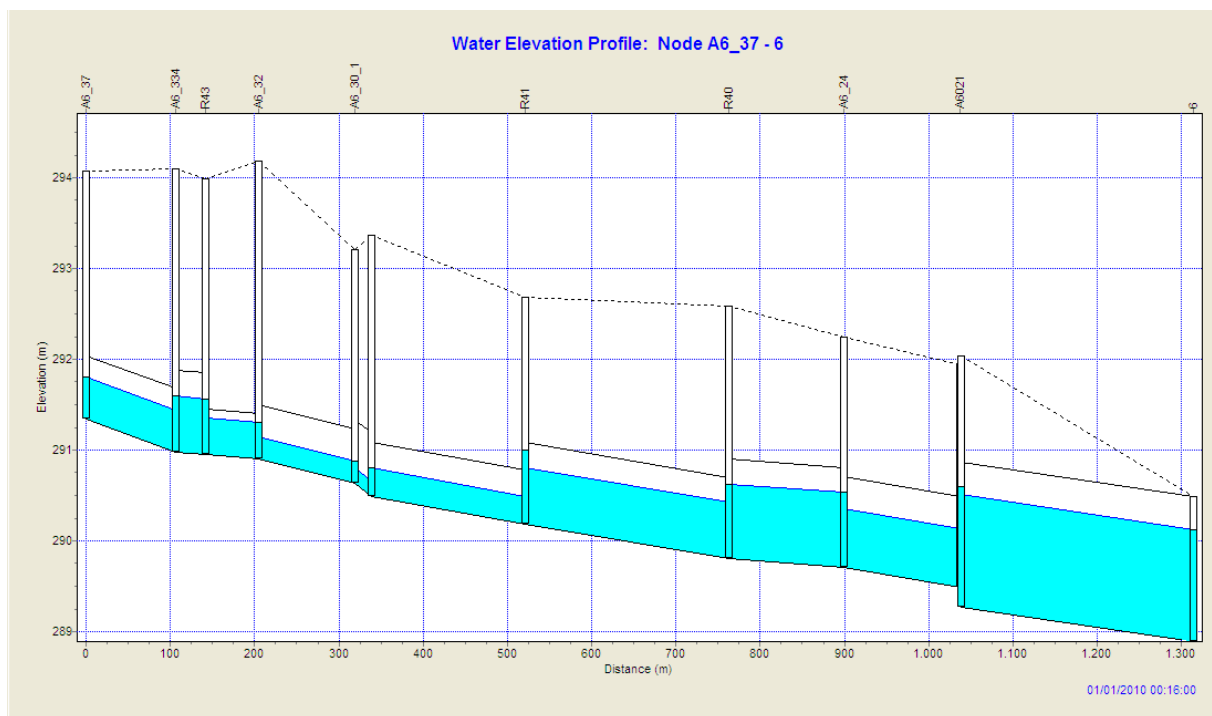
Preglednica 18: Minimalna količina pretoka, katera se mora po ATV-A 128E standardu voditi na ČN

Razbremenilnik	$Q_{crit} = q_{crit} * A$ [m ³ /s]
R43	0,0284
R42	0,0381
R41	0,1946
R40	0,2427
R39	0,5059

Pri pogoju, da na čistilno napravo vodimo najmanj kritični pretok, so v *Preglednici 17* prikazani minimalni pretoki, ki se naj bi vodili od posameznega razbremenilnika na kanalizacijskem zbiralniku A6, proti čistilni napravi. Pretoki, večji od zgornjih vrednosti pa naj bi se preko razbremenilnikov razbremenili, v odvodnik.

Vrednosti v *Preglednici 17* so teoretične mejne vrednosti, nad katerimi začne posamezni razbremenilnik razbremenjevati odpadno vodo.

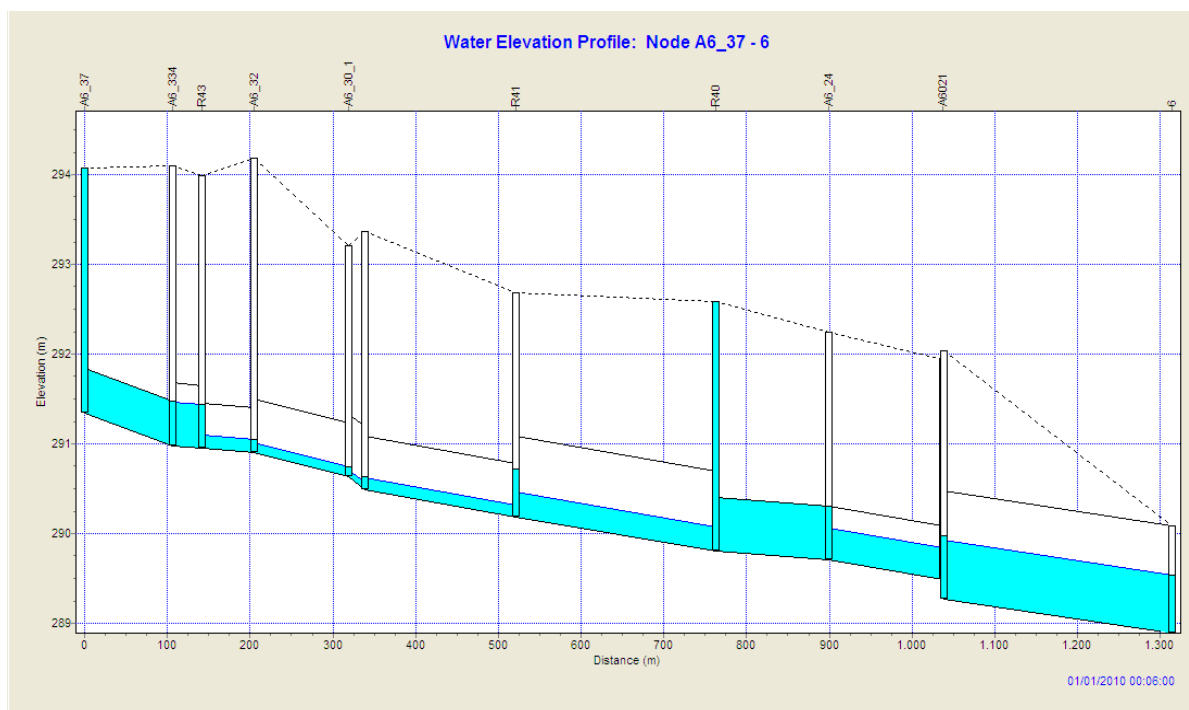
V mojem primeru predstavlja največji problem razbremenilnik R40. Za razbremenilnikom R40 se premer cevi, ki vodi na čistilno napravo, iz 900 mm pred razbremenilnim objektom zmanjša na 600 mm za razbremenilnim objektom, kar predstavlja dušilko. To privede do razlitja kanalske vode na površje terena. S poskušanjem spreminjanja premerov kanala za razbremenilnikom R40 v programu SWMM sem prišla do zaključka, da bi se v primeru, da bi bil premer cevi za razbremenilnim objektom 900 mm, lahko kanalska voda v primeru kritičnega naliva normalno odvedla naprej po kanalu brez izlita na površje terena.



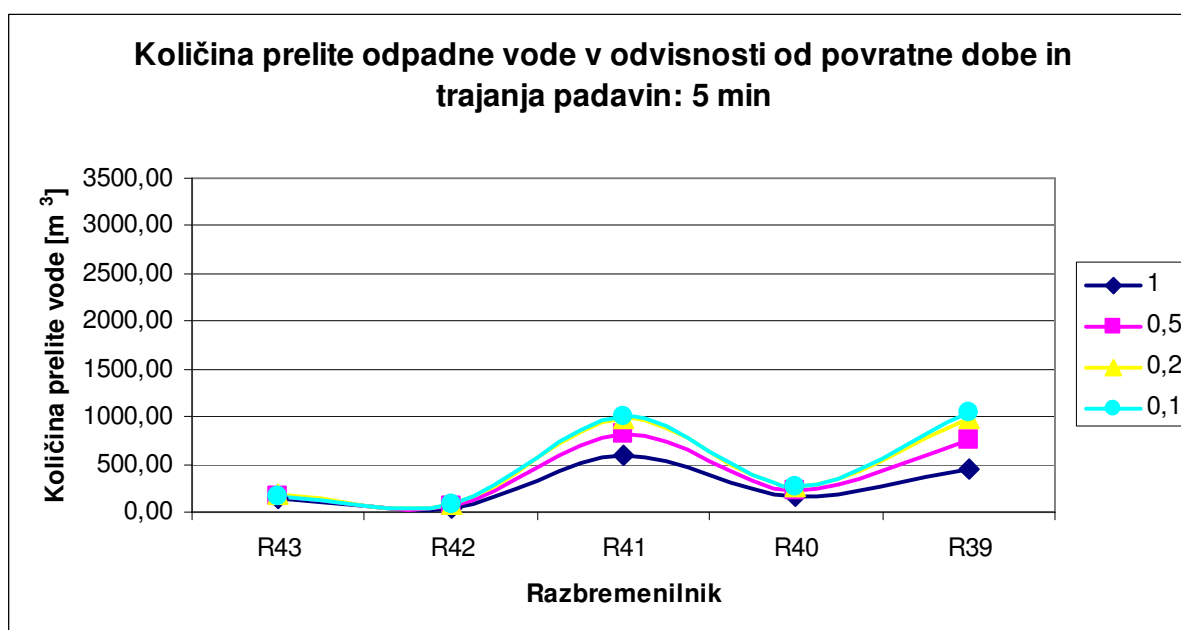
Slika 30: Primer prečnega profila kanalskega zbiralnika A6 in polnitev cevi pri povečanih dimenzijah kanalov v primeru kritičnega naliva

Pri simulaciji kritičnega naliva je razvidno, da se naprej od razbremenilnika R40 vodi le 0,20 m³/s, ne pa 0,2427 m³/s, kot predpisuje standard. Zaradi prevelikih količin padavinske vode v času naliva kanalska voda ne more odteči naprej po cevi, saj je cev zapolnjena z vodo, višek se zaradi zapolnjene cevi in pogoja prelivanja na razbremenilniku izlije na površje. Iz prečnega profila je tudi jasno razvidno, da se zaradi premajhnega premera cevi za jaškom A6_37 dogodi enako kot na že prej omenjenem razbremenilniku.

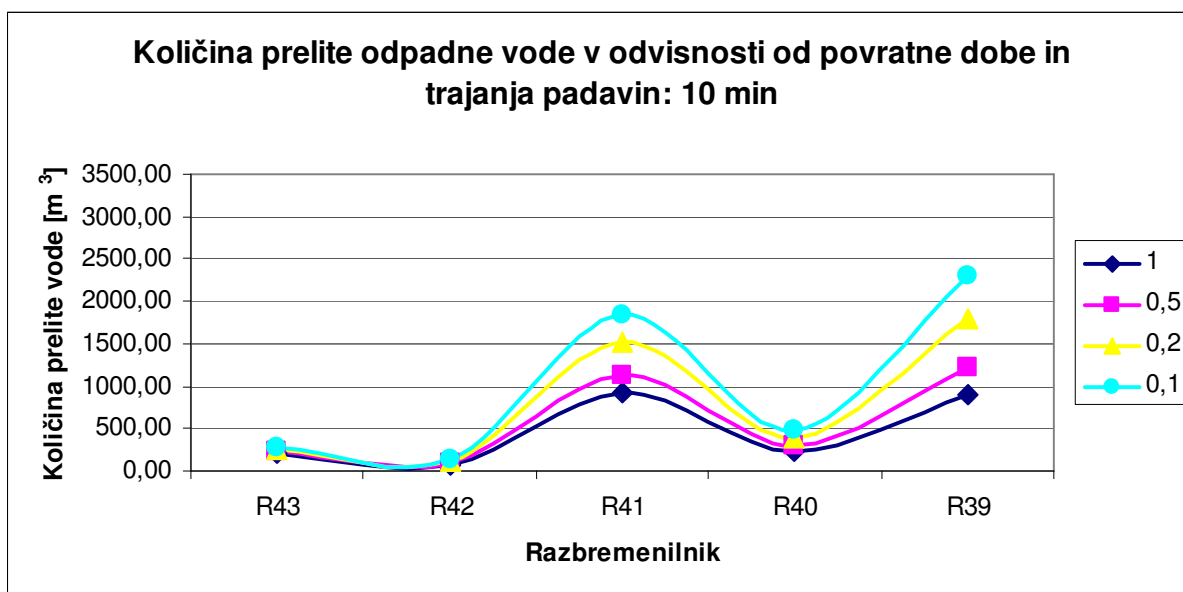
Omeniti še velja, da se vnos razbremenilnikov v program SWMM izvaja na način, da se vnese pretok, pri katerem razbremenilnik začne delovati. Razbremenjene količine odpadne vode sem dobila na predpostavki standarda ATV-A 128E, da se vodi na čistilno napravo najmanj Q_{crit} . Ker program nima možnosti vnosa višine in dolžine prelivnih robov, vrednosti iz *Preglednice 18*, ne predstavljajo količine prelite vode, ki se dogodi ob pojavu kritičnega naliva v realnem primeru.



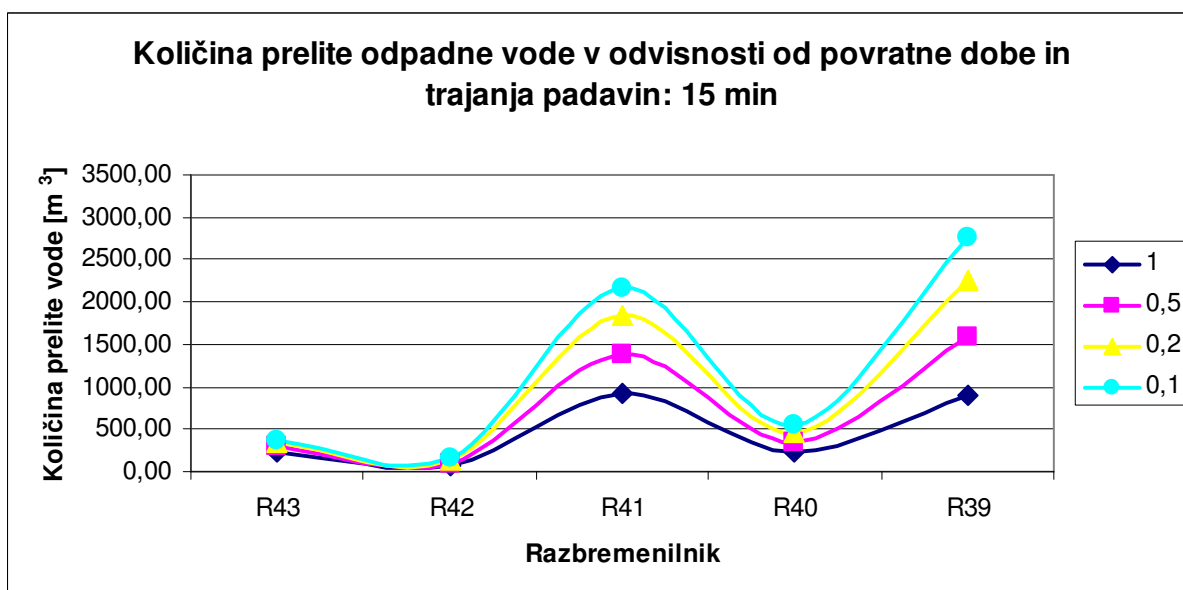
Slika 31: Primer prečnega profila kanalskega sistema in polnitev cevi pri kritičnem naliivu 5-minutnem kritičnem naliivu, s povratno dobo 10 let.



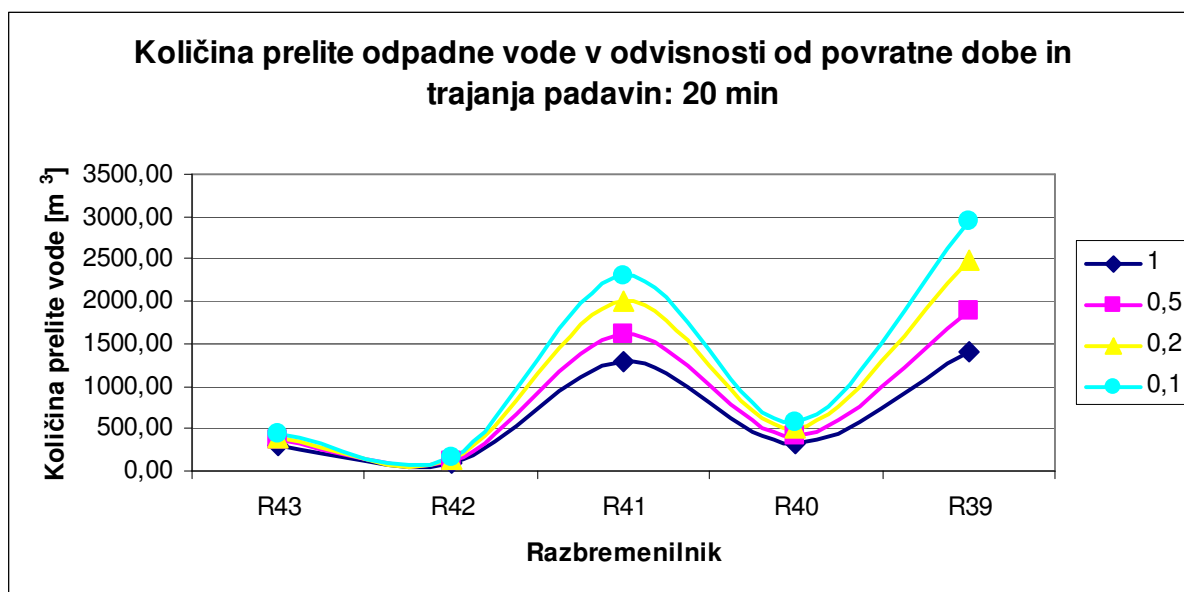
Graf 14: Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5 pri kritičnem naliivu 5 minut in različnih povratnih dobah



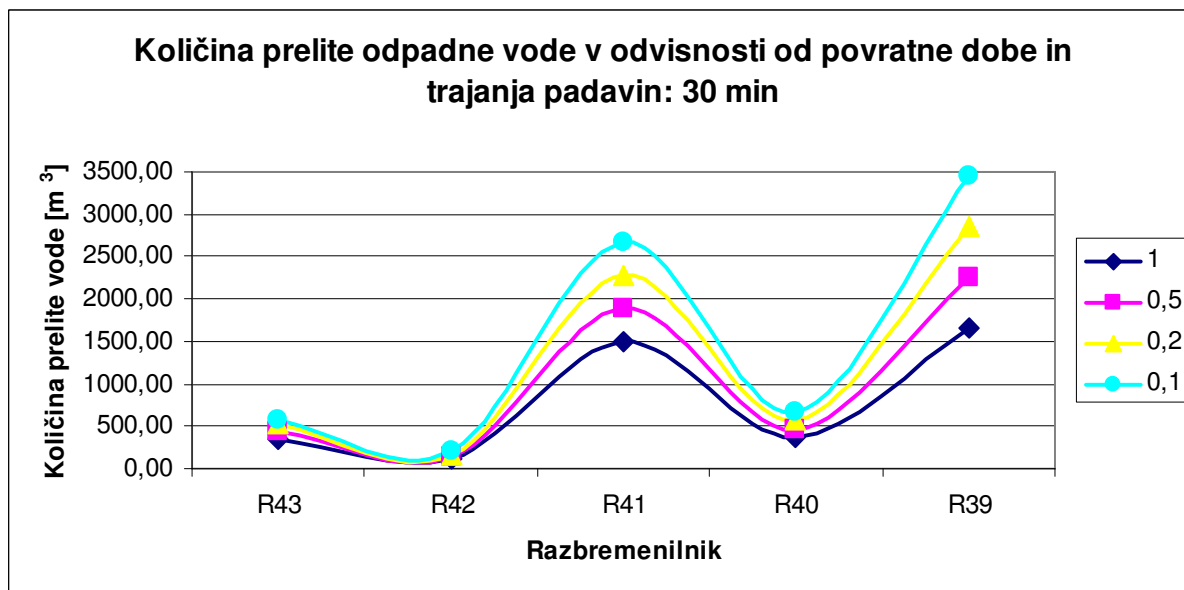
Graf 15: Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem naliivu 10 minut in različnih povratnih dobah



Graf 16: Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem naliivu 15 minut in različnih povratnih dobah



Graf 17: Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem naliivu 20 minut in različnih povratnih dobah



Graf 18: Količina prelite odpadne vode, pridobljena s programom SWMM 5, pri kritičnem naliivu 30 minut in različnih povratnih dobah

Preglednica 19: Celotna količina prelite vode med posameznim kritičnim nalivom

Trajanje naliva [min]	Količina prelite vode [m ³]			
	Povratna doba			
	1	0,5	0,2	0,1
5	1400,67	2032,34	2468,98	2551,97
10	2329,76	2962,57	4060,22	5028,44
15	2360,50	3726,28	5018,50	5998,46
20	3434,20	4372,28	5542,65	6413,66
30	3973,73	5179,09	6426,34	7581,98

5.3.7 Ročni preračun količine prelivajoče vode

V *Preglednici 19* je prikazan ročni preračun količine prelivajoče vode na posameznem razbremenilnem objektu. Količina prelivajoče vode preko razbremenilnikov v odvodnik je izračunana na podlagi razlike med maksimalnim pretokom ($Q_{\max}$) in kritičnim pretokom (Q_{krit}). Maksimalni pretok sem dobila na osnovi kritičnega 5-minutnega naliva, s povratno dobo 5 let. Tako dobimo, da se na razbremenilnem objektu R43 prelija 1.018,60 l/s, na R42 1.016,48 l/s, na razbremenilniku R41 966,66 l/s, na R40 948,19 l/s ter na razbremenilniku R39 705,71 l/s. Pri tem se vodi na čistilno napravo od razbremenilnika R39 naprej pretok 325,38 l/s.

Preglednica 20: Količina prelivajoče vode

Omrežje	Naziv površine po kateri teče kanal	A [ha]	φ [-]	Ared [ha]	L [m]	Dotočni čas [s]	Zmanjševalni faktor	Korekcija z'	$q_{krit} = r_{krit} [l/(s*ha)]$, če je $tf < 120min$	Q _{krit} [l/s]	Q _{suš} [l/s]	Q _{krit} [l/s]	Q _p [l/s]	Kontrola	OPOMBE
1	A6046	7,7	0,257	1,99	106	108,10	0,4595	0,50	7,89	7,81	1,6629	14,28		Q _{krit} = 2*Q _{suš} .	3,3258
2	A6R43/1	0,785	0,257	0,20	36	31,89	0,8405	0,84	11,85	2,01	0,1695	12,49	1018,6	0,3391	R43
3	A6R43/2+ A6_30/1	0,983	0,257	0,25	63	106,29	0,4686	0,50	7,95	1,01	0,2123	11,65		0,4246	
4	A6_30/2	1,775	0,257	0,46	114,5	109,94	0,4503	0,50	7,83	1,79	0,3833	14,10		0,7667	
5	A6_30/3	0,468	0,257	0,12	19	9,18	0,9541	0,95	13,93	1,60	0,1011	14,61	1016,5	0,2021	R42
6	A62001		0,257		182	174,75	0,1262	0,50	6,11	0,00		-			
7=3		164,9	0,257	42,40	770	1132,39	-4,6619	0,50	1,44	30,47	35,6125	168,98		71,2249	
8=4	A62005	33,8	0,257	8,69	260	240,87	-0,2044	0,50	4,99	21,67	7,2996	102,20		14,5992	ločeni sistem
9=5	A62001	6,6	0,257	1,70	295	106,36	0,4682	0,50	7,95	6,75	1,4254	64,43	966,7	2,8507	R41
10=6	A6R40/1	5,391	0,257	1,39	242	116,36	0,4182	0,50	7,62	5,28	1,1643	82,90	948,2	2,3285	R40
10	A6R40/2	5,374	0,257	1,38	151,6	214,63	-0,0731	0,50	5,38	3,72	1,1606	86,61		2,3212	
11	A61004				122,6	231,64	-0,1582	0,50	5,12	0,0000		-			
12	A61004				2,2	2,70	0,9865	0,99	14,67	0,00		-			
12a	A61004				2,8	0,66	0,9967	1,00	14,92	0,00		-			
13	A61004	70,2	0,257	18,05	418	29,90	0,8505	0,85	12,01	184,32	15,1607	325,38	705,7	30,3213	R39

5.4 Zadrževalni bazeni in določanje volumna

Razbremenilniki so v sistem nameščeni, da ob nalivih razbremenijo višek odpadne vode v odvodnik, da kanali in ČN niso prekomerno preobremenjeni. Razbremenjena odpadna voda pa lahko zaradi previsokih koncentracij onesnažil na odvodnik vpliva negativno. Kljub temu da onesnažila v majhnih količinah sicer niso nevarna, imajo komulativni vpliv na kakovost odvodnikov. Čeprav naj bi bil prvi oziroma čistilni val voden na ČN, ni rečeno, da se to v resnici dogodi. Zaradi premajhnega varovanja odvodnikov z razbremenilniki sem na kanalsko omrežje za razbremenilnimi objekti postavila še zadrževalne bazene. Kot predpisuje ATV-A 128E, sem le-te locirala v stranski vod zaradi majhne višinske razlike med vtokom in iztokom. Ti bodo ob močnejših nalivih zadržali višek odpadne vode, ki pa bo kasneje prečrpana nazaj v kanalizacijsko omrežje in voden na ČN, ko se bo pretok v kanalizacijskem omrežju umiril.

Volumen zadrževalnih bazenov sem izračunala po standardu ATV-A 128E. Zadrževalne bazene sem predvidela za razbremenilniki visokih voda. Na kanalizacijskem zbiralniku A6 je nameščenih šest razbremenilnikov: R43, R42, R41, R40, R39 in R38. Ker pa se je vzorčenje kanalske vode obravnavalo na območju razbremenilnega objekta R39, smo predvideno postavitev zadrževalnih bazenov in izračun volumnov le teh izvedli le za pet zadrževalnikov, od razbremenilnega objekta R43 do R39.

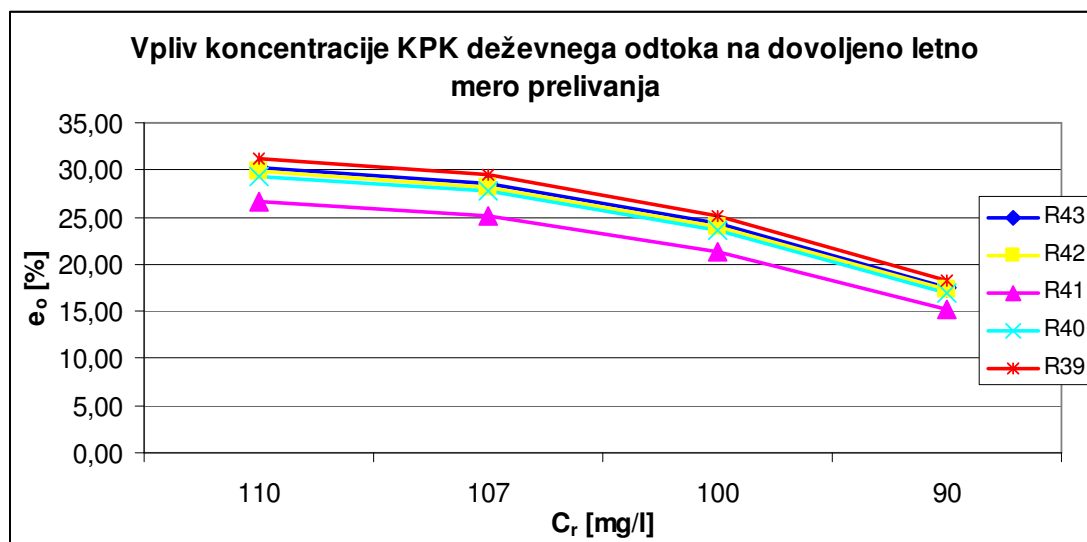
Izračun volumnov zadrževalnih bazenov, Z43, Z42, Z41, Z40 in Z39, po ATV-A 128E je prikazan v *Prilogi E*. V *Prilogi F* je prikazana skica postavitve zadrževalnih bazenov.

Minimalni potrebni volumen zadrževalnega bazena je 50 m^3 . Temu pogoju pa pri izračunu volumnov zadrževalnih bazenov, pri koncentraciji KPK deževnega odtoka za normalno stanje vodotokov 110 mg/l , za zadrževalnik Z43 in Z42, ni zadoščeno. V tem primeru, ko je izračunani potrebni zadrževalni volumen manjši od 50 m^3 , v primeru zadrževalnega bazena Z43 in Z42, pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 110 mg/l , lahko predpostavimo, da bo njihov volumen enak 50 m^3 ali pa jih na teh dveh mestih v kanalskem sistemu sploh ne umeščamo. Izračunani potrebni zadrževalni volumni imajo tako nizke vrednosti zaradi majhnih reduciranih površin.

Preglednica 21: Potrebni volumni zadrževalnih bazenov pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 110 mg/l

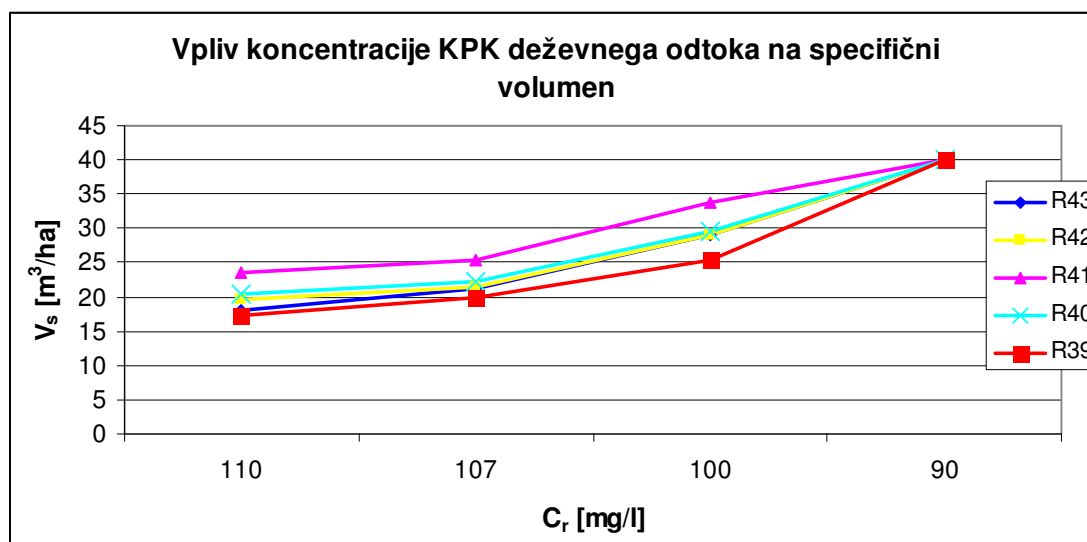
Zadrževalnik	Potrebni volumen bazena $[\text{m}^3]$
Z43	50,00
Z42	50,00
Z41	435,22
Z40	65,26
Z39	302,21
Skupaj:	902,69

Koncentracija KPK deževnega odtoka ima znaten vpliv na dovoljeno stopnjo preliivanja. Iz *Grafa 19* je razvidno, da se pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 90 mg/l, v povprečju letno prelije 17,02 %, pri 110 mg/l pa povprečno 29,42 %. Torej se z manjšanjem koncentracije KPK deževnega odtoka, manjša tudi dovoljena letna mera preliivanja.



Graf 19: Vpliv koncentracije KPK deževnega odtoka na dovoljeno letno mero preliivanja

Graf 20 prikazuje vpliv koncentracije KPK deževnega odtoka na specifični volumen. Razvidno je, da se specifični volumen z večanjem koncentracije KPK deževnega odtoka zmanjšuje. V povprečju je pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 110 mg/l, specifični volumen enak 19,72 m³/ha, pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 70 mg/l pa 40 m³/ha.



Graf 20: Vpliv koncentracije KPK deževnega odtoka na specifični volumen

– **Izračun količine zadržane in prelite odpadne vode v odvodnik za 5-minutni kritični naliv s povratno dobo 1 leta**

V primeru, da bi bili na kanalskem zbiralniku A6 nameščeni zadrževalni objekti, sem za 5-minutni kritični naliv s povratno dobo 1 leta izračunala količino prelivajoče vode.

Preglednica 22: Količina zadržane in prelite vode pri 5-minutnem kritičnem nalivu $n = 0,1$

Ime zadrževalnika	Količina prelivajoče vode v primeru razbremenilnika	Volumen zadrževalnika	Volumen prelite vode
	[m ³]	[m ³]	[m ³]
Z43	172,74	50	122,74
Z42	75,72	50	25,72
Z42	993,49	435,22	558,27
Z41	268,85	65,26	203,59
Z39	1041,17	302,21	738,96
Skupaj:	2551,97	902,69	1649,28

– **Izračun volumnov zadrževalnih bazenov na poenostavljen način**

Za primerjavo sem izvedla še izračun volumnov na poenostavljen način na podlagi kritičnega pretoka. Kritični pretok določimo iz kritičnega naliva, ki znaša po nemških predpisih ATV-A 128E, 15 l/(s*ha).

$$Q_{\text{krit}} = A_{\text{red}} * q'_{\text{krit}} + Q_s + \Sigma Q_{t,i} \quad [\text{l/s}] \quad (5.2)$$

A_{red} – reducirana površina območja [ha]

q'_{krit} – merodajni kritični naliv za dimenzioniranje volumna bazena [l/(s*ha)]

Q_s – sušni odtok [l/s]

$\Sigma Q_{t,i}$ – vsota neposrednih dotokov dušilk razbremenilnikov in deževnih bazenov gorvodno priključenih prispevnih površin [l/s]

Poenostavljen izračun volumna zadrževalnega bazena:

$$V = 3,6 * (Q_{\text{krit}} + Q_{\text{tuja}}) * h/v_o \quad [\text{m}^3] \quad (5.3)$$

Q_{tuja} – odtok tuje vode

h – minimalna globina vode [m]

v_o – površinska obremenitev [m³/(m²*h)]

Minimalna globina vode v bazenu znaša 2,0 m, površinska obremenitev pa 10 m³/(m²*h).

Preglednica 23: Izračun volumnov na poenostavljen način

	Q_{krit}	Q_{inf}	h	v_o	V	V_{ef.}
Zadrževalnik	[l/s]	[l/s]	[m]	[m³/(m²*h)]	[m³]	[m³]
Z43	31,55	0,46	2	10	23	50
Z42	42,51	0,37	2	10	31	50
Z41	366,03	0,82	2	10	264	264
Z40	421,49	2,65	2	10	305	305
Z39	702,12	4,55	2	10	509	509

6 ZAKLJUČEK

Za področje kanalskega zbiralnika A6 v Ljubljani na Viču sem ugotavljala medsebojne vplive med padavinsko, kanalsko in rečno vodo. Na mešanem kanalizacijskem sistemu, so zaradi ekonomskega razloga nameščeni razbremenilni objekti, ki v času padavin razbremenjujejo kanalsko vodo v odvodnik. Kljub temu da je padavinska voda razredčena, lahko še vedno prekomerno obremenjuje odvodnik, s tem pa poruši naravno ravnovesje le-tega. Na podlagi trenutnih meritev onesnažil v odpadni in rečni vodi ob začetkih dežja, ki so se izvajale od 11. novembra 2004 pa do 31. marca 2009, sem določila masno bilanco suspendiranih snovi, skupnega fosforja, skupnega dušika, KPK in BPK₅. Za zmanjšanje obremenitve reke Gradaščica in posredno Ljubljanice pa sem določila potrebne volumne zadrževalnih bazenov na mestih sedanjega razbremenjevanja.

Glavna parametra pri preračunu masne bilance sta koncentracija onesnažil in pretok. Le-ta pa se pri odvzemu vzorcev v kanalskem sistemu in vodotoku ni neposredno meril. Zato sem pretok v kanalskem sistemu izračunala s programom SWMM 5, ki se uporablja za simulacijo padavinskega odtoka ter simulacijo kvalitete in kvantitete odtoka. Z vnosom kanalizacijskega zbiralnika A6 v program SWMM 5, s pripadajočimi prispevnimi površinami ter karakteristikami le-teh, in upoštevanjem sušnega odtoka ter odtoka tujih vod sem s simulacijo padavinskega dogodka za posamezni dan vzorčenja dobila pretok v kanalu.

Prav tako se meritve pretokov oziroma vodostajev ni izvajalo pri odvzemu vzorcev, iz odvodnika Mestna Gradaščica. Zato sem vodostaj Mestne Gradaščice izmerila 11. 12. 2009, le-ta pa je bil približno enak vodostajem ob izvajanju meritev oziroma odvzemu vzorcev. Izračun pretoka Mestne Gradaščice je bil izveden z uporabo Manningove enačbe. Dobljeni pretok pa smo upoštevali pri vseh datumih vzorčenja.

Visoke koncentracije onesnažil v padavinskem odtoku se načeloma pojavljajo na začetku odtoka in ga pojmujejo »prvi val« oziroma čistilni val. Koncentracija onesnažil v prvem valu je odvisna od številnih parametrov, kot so prispevno območje, intenziteta padavin, nepropustno območje in predhodno sušno vreme. Padavinski odtok, ki se dogodi po daljšem sušnem obdobju, predstavlja za kanalski sistem oziroma odvodnik, v primeru razbremenjevanja kanalske vode, znatno obremenitev. To velja predvsem za padavinski odtok s cestnih površin.

Odvzem vzorcev v kanalizacijskem jašku zbiralnika A6 za stavbo na Hajdrihovi ulici 28 in na dveh vzorčnih mestih vodotoka Mestna Gradaščica (pri stavbi na Hajdrihovi 28 in za iztokom iz razbremenilnika pod mostom na Riharjevi cesti v Ljubljani) je bil za posamezni dan vzorčenja izveden le enkratno, zato ne moremo vedeti, v katerem delu odtočnega vala je bila meritev opravljena. Rezultati o koncentraciji onesnažil zato predstavljajo le trenutno stanje. V kolikor bi želeli dobiti točne podatke o obremenitvi čistilne naprave z odpadno vodo in obremenitvi odvodnika z razbremenjeno vodo, bi morali izvajati kontinuirane meritve pretoka in odvzem vzorcev tekom padavinskega dogodka. Zato tudi ni možna neposredna primerjava masne obremenitve med kanalsko vodo in odvodnikom.

Pri izračunu masne obremenitve kanalskega zbiralnika A6 je bila izmed 23 vzorcev najvišja vrednost masne obremenitve s suspendiranimi snovmi izračunana za dan 8. 3. 2007, pri

pretoku $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ in je znašala $2,2197 \text{ kg/ha}$. Najmanjša, $0,0090 \text{ kg/ha}$, pa je bila izračunana za dan 23. 4. 2008 in pri pretoku $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$. Omeniti velja, da je bila izračunana masna obremenitev z onesnažili kanalskega zbiralnika odvisna od trajanja padavinskega dogodka in pretoka. Največja masna obremenitev s skupnim fosforjem je bila dne 29. 10. 2008 in je znašala $0,0324 \text{ kg/ha}$, najmanjša pa $0,0001 \text{ kg/ha}$. Najmanjša obremenitev kanalskega zbiralnika s KPK ($0,0067 \text{ kg/ha}$), BPK₅ ($0,0045 \text{ kg/ha}$) in skupnim dušikom ($0,0006 \text{ kg/ha}$) je bila 30. 9. 2005, pri pretoku $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$. Največja obremenitev s KPK ($3,1466 \text{ kg/ha}$) in BPK₅ ($2,9535 \text{ kg/ha}$) pa je bila izračunana 17. 2. 2006. Največja masna obremenitev s skupnim dušikom ($0,3695 \text{ kg/ha}$) je bila izračunana 4. 3. 2008.

Na osnovi povprečne koncentracije onesnažil smo izračunali še povprečno letno masno obremenitev kanalskega zbiralnika s posameznim onesnažilom. Izračun smo izvedli na osnovi povprečnih letnih padavin (1368 mm/leto) in trajanja le-teh ($155,6 \text{ dni}$), za mersko postajo Ljubljana-Bežigrad. Dobili smo da je masna obremenitev kanalskega sistema s KPK 773.570 kg/leto , z BPK₅ 564.095 kg/leto , s suspendiranimi snovmi 387.051 kg/leto , s skupnim dušikom 67.610 kg/leto in s skupnim fosforjem 9.595 kg/leto .

Visoke koncentracije onesnažil v padavinskem odtoku se načeloma pojavljajo na začetku odtoka in ga pojmujeemo »prvi val« oziroma čistilni val. Koncentracija onesnažil v prvem valu je odvisna od številnih parametrov, kot so prispevno območje, intenziteta padavin, nepropustno območje in predhodno sušno vreme. Padavinski odtok, ki se dogodi po daljšem sušnem obdobju, predstavlja za kanalski sistem oziroma odvodnik v primeru razbremenjevanja kanalske vode znatno obremenitev. To velja predvsem za padavinski odtok s cestnih površin. Visoke koncentracije onesnažil v padavinskem odtoku s cestišč so posledica velike intenzitete prometa in s tem posledično obrabe vozišča ter obrabe pnevmatik, zavornih sistemov, ostankov olj in naftnih derivatov ter nesnage voznikov.

Na mešanem kanalizacijskem sistemu so zaradi ekonomskega razloga nameščeni razbremenilni objekti, ki razbremenjujejo kanalsko vodo v času padavin v odvodnik. Kljub temu da je padavinska voda razredčena, lahko še vedno prekomerno obremenjuje odvodnik, s tem pa poruši naravno ravnovesje le-tega.

Masna obremenitev Mestne Gradaščice s suspendiranimi snovmi je bila največja na dan vzorčenja 17. 2. 2006 in je znašala 11.951 kg/dan , najmanjša pa $314,5 \text{ kg}$ suspendiranih snovi na dan. Kljub temu da se je meritev izvajala na dveh vzorčnih mestih v odvodniku, pred in za razbremenilnim objektom, ni zaslediti večji razlik med koncentracijami onesnažil v vzorcih odvzetih pred in za razbremenilnim objektom. Iz tega lahko sklepamo, da so bili po vsej verjetnosti vzorci odvzeti v nadaljevanju padavinskega odtoka in ne na začetku le-tega.

Največja masna obremenitev s skupnim fosforjem je bila dne 4. 4. 2006, $131,6 \text{ kg/dan}$, najmanjša pa $0,45 \text{ kg/dan}$ na dan 23. 4. 2008.

Masna obremenitev odvodnika s KPK je bila največja 29. 3. 2005 in je znašala $2.605,8 \text{ kg/dan}$, najmanjša pa $44,93 \text{ kg/dan}$, in sicer 24. 1. 2007.

Največja masna obremenitev z BPK₅ ($1.257,9 \text{ kg/dan}$) in skupnim dušikom ($215,6 \text{ kg/dan}$) je bila na dan 17. 2. 2006 najmanjša masna obremenitev z BPK₅ ($0,0 \text{ kg/dan}$) je bila 24. 1. 2007, najmanjša masna obremenitev s skupnim dušikom ($17,9 \text{ kg/dan}$) pa 7. 5. 2007.

Zelo velike vrednosti masne obremenitve z onesnažili v Mestni Gradaščici so rezultat velikega porečja Gradaščice, ki je veliko 154,3 ha. Zaradi velikih nadmorskih razlik med najvišjo in najnižjo točko porečja Gradaščice prihaja do izpiranja oziroma erozije tal.

Intenzivno kmetijstvo in urbanizacija pa sta glavna povzročitelja slabšanja kakovosti odvodnikov. Glavni vir fosforja predstavljajo odpadne vode iz gospodinjstev ter mineralna gnojila in gnojevka na kmetijskih površinah.

Ker v večini primerov razbremenilni objekti premalo varujejo odvodnik, smo predvideli še postavitev petih zadrževalnih objektov, s tem pa bomo tudi pripomogli k dosegu enega izmed ciljev Strateškega prostorskega načrta Mestne občine Ljubljane (SPN MOL), ki je bil sprejet leta 2008, da bo Ljubljana zopet kopalna reka.

Zadrževalne bazene smo predvideli za razbremenilnimi objekti, postavljene v stranskem vodu, sicer pa je postavitev le-teh odvisna od dejanskih razmer na terenu (lege območja in višinskih razlik).

Izračun volumnov zadrževalnih bazenov je bil izveden na dva načina. Prvi izračun je bil izveden na osnovi standarda ATV-A 128E. Ugotovljeno je bilo, da je pri koncentraciji KPK deževnega odtoka 110 mg/l v povprečju dovoljena letna mera prelivanja okrog 29,42 %. Pri strožjem kriteriju koncentracije KPK deževnega odtoka 90 mg/l pa je povprečna stopnja prelivanja 17,02 % letno. Dovoljena stopnja prelivanja se z manjšanjem koncentracije KPK deževnega odtoka zmanjšuje, specifični volumni pa se večajo. Minimalni potrebni volumen zadrževalnega bazena je 50 m³, kar v našem primeru ni doseženo za zadrževalni bazen Z43 ter Z42. Skupni potrebni volumen vseh zadrževalnih bazenov je 903 m³.

Drugi izračun potrebnih zadrževalnih volumnov pa je bil izveden na poenostavljen način, na podlagi kritičnega pretoka.

VIRI

ATV-A 128E. 1992. Standards for the Dimensioning and Desing of Stormwater overflows in Combined wastewater sewers: 74 str.

Drev, D., Kovač, M., Panjan, J. 2009. Ocena masnih obremenitev Cerknškega jezera s hranili. Gradbeni vestnik 58, 114-122.

First-Flush Characterization for Stormwater Treatment

<http://www.stormh2o.com/march-april-2008/pollutants-run-off.aspx> (30.11.2009)

Hočevár, M. 2010. Statistična analiza nalivov za odvod padavinskih voda po kanalizacijskem sistemu. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Vodarstvo in komunalno inženirstvo: 42 f.

Horvat, M. 2006. Hidravlična analiza kanalizacijskega zbiralnika A6 v Ljubljani. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 54 f.

Ilić, D., Panjan, J. 2008. Ocena vpliva fosforja iz kmetijstva na eutrofikacijo površinskih voda v krajinskem parku Goričko. Gradbeni vestnik 57, 310-316.

Kolar, J. 1983. Odvod odpadne vode iz naselij in zaščita vode. Ljubljana. DZS: 523 str.

Krajnc, U. 2006. Odvajanje in čiščenje padavinske vode z javnih cest. Ekolist, revija o okolju 03: 9-14.

Maleiner, F. 2005. Dimenzioniranje kanalizacijskih razbremenilnih naprav po nemških ATV smernicah. Gradbeni vestnik 54: 262-272.

Mlakar, J. 2006. Modeliranje prvega vala onesnaženja z (avto)cest. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo: 62 f.

Nagode, B. 2008. Geografsko vrednotenje možnih posledice suhih zadrževalnikov v porečju Gradaščiče. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 84 f

National reasearch council. 2009. Urban Stormwater Management in the United States. Washington, National Academij of Sciences: 598 str.

Panjan, J. 2004. Količinske in kakovostne lastnosti voda. Univerza v Ljubljani FGG. Slovenija, Ljubljana: 72 str.

Panjan, J. 2002. Odvodnjavanje onesnaženih voda. Univerza v Ljubljani, FGG, Ljubljana: 92 str.

Program EPA SWMM 5 2009

<http://www.epa.gov/ednnrmrl/models/swmm/index.htm> (4. 11. 2009)

Rutar, A. 2008. analiza vpliva parametrov na kakovost šprelite vode in volumne zadrževalnih bazenov po standardu ATV-A 128E. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Univerzitetni študij gradbeništva: 86 f.

Setnikar – Kuclar, D. 1997. Geografija občine Dobrova – Horjul – Polhov Gradec. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta. Oddelek za geografijo: 105 f

Škrbec, G. 2005. Hidrološki model Gradaščice z Glinščico. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Vodarstvo in komunalno inženirstvo: 99 f.

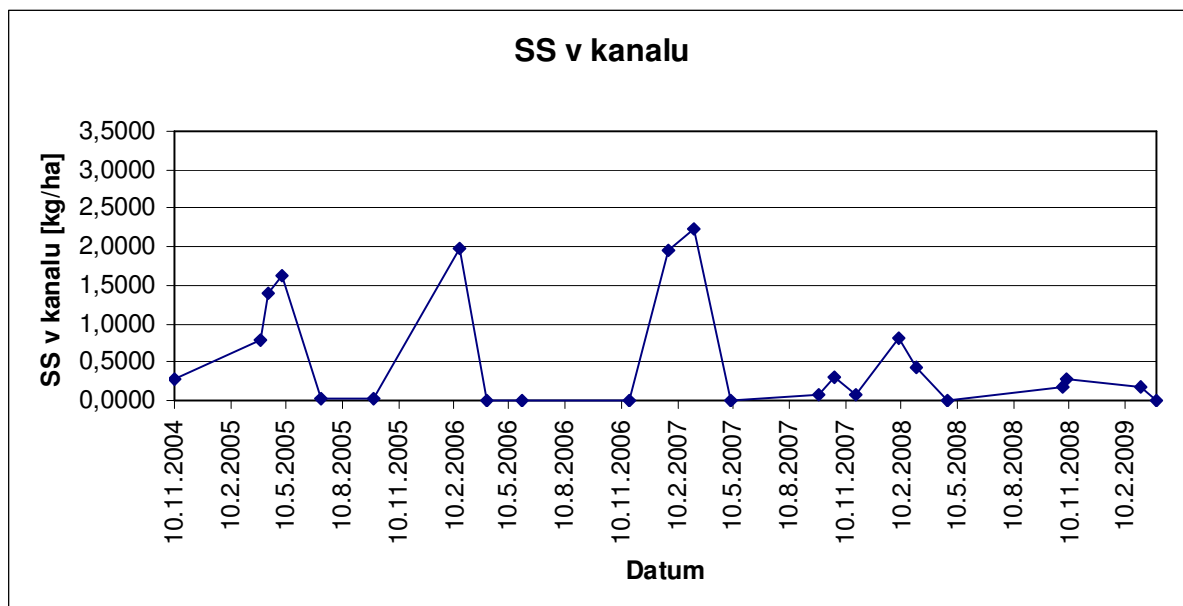
Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest. UL RS št. 41/04: 4733-4736: 4 str.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo. UL RS št. 41/04: 4737-4749: 13 str.

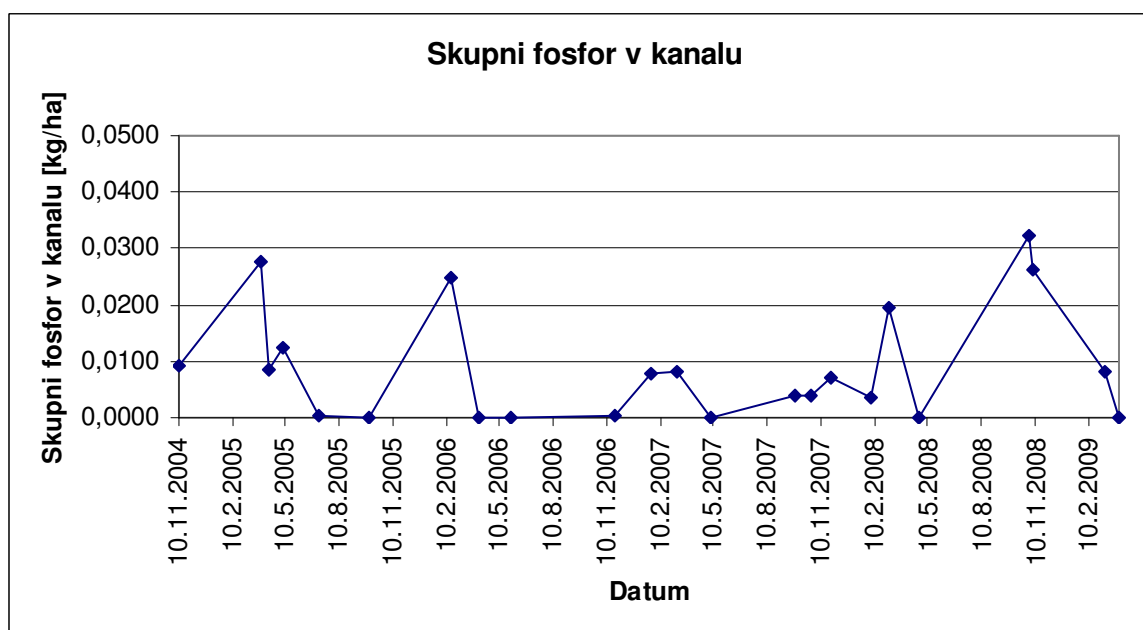
PRILOGE

PRILOGA A	Grafi masne obremenitve kanalskega zbiralnika A6 z onesnažili
PRILOGA B	Prečni prerez korita mestne Gradaščice
PRILOGA C	Količina prelite vode na razbremenilnikih v odvisnosti od trajanja naliva, jakosti naliva in povratne dobe
PRILOGA D	Prečni profil kanalizacijskega sistema A6
PRILOGA E	Izračun zadrževalnih volumnov po ATV-A 128E
PRILOGA F	Skica postavitve zadrževalnih bazenov
PRILOGA G	Pregledna situacija kanalizacijskega omrežja

PRILOGA A: Grafi masne obremenitve kanalskega zbiralnika A6



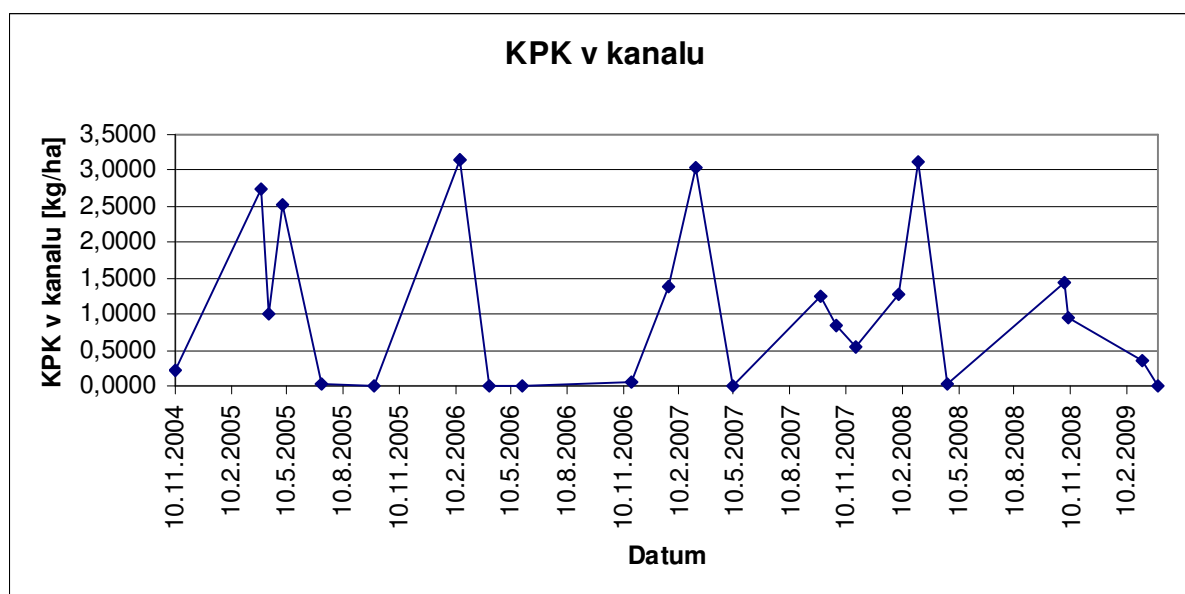
Masna obremenitev suspendiranih snovi v kanalu



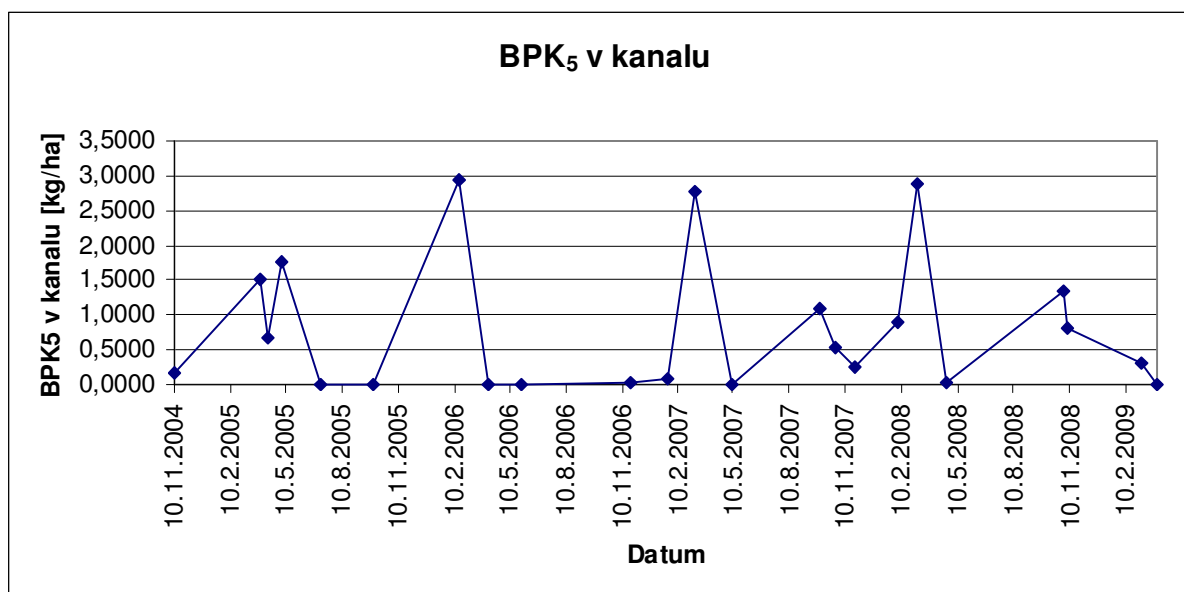
Masna obremenitev skupnega fosforja v kanalu



Masna obremenitev skupnega dušika v kanalu



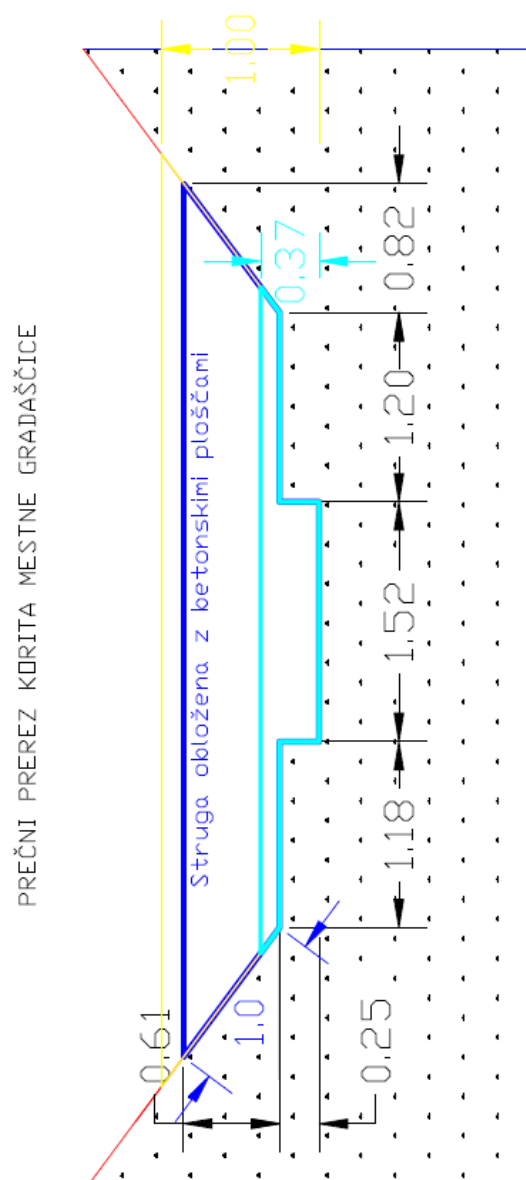
Masna obremenitev KPK v kanalu



Masna obremenitev z BPK₅ v kanalu

PRILOGA B:

Prečni prerez korita Mestne Gradaščice



PRILOGA C: Količina prelite vode na razbremenilnikih v odvisnosti od trajanja naliva, jakosti naliva in povratne dobe

Razbremenilnik	Količina prelite vode [m ³]			
	Povratna doba			
	1	0,5	0,2	0,1
5 min				
R43	139,22	162,40	175,20	172,74
R42	49,49	64,36	74,56	75,72
R41	588,91	816,79	973,36	993,49
R40	164,18	221,89	261,01	268,85
R39	458,87	766,91	984,86	1041,17
SKUPAJ	1400,67	2032,34	2468,98	2551,97

Razbremenilnik	Količina prelite vode [m ³]			
	Povratna doba			
	1	0,5	0,2	0,1
10 min				
R43	208,91	227,40	257,26	276,62
R42	69,31	82,98	107,86	129,77
R41	917,41	1130,04	1514,76	1839,36
R40	241,39	297,51	393,17	477,84
R39	892,73	1224,64	1787,18	2304,85
SKUPAJ	2329,76	2962,57	4060,22	5028,44

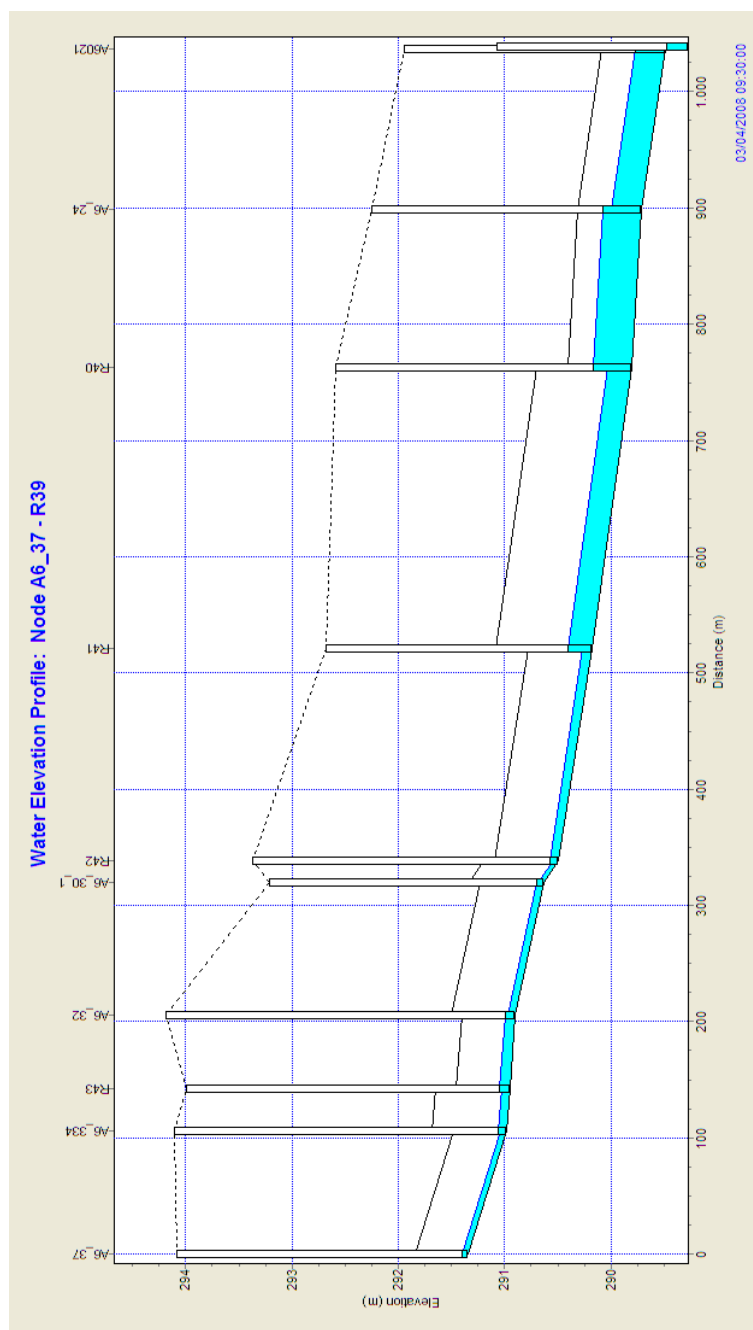
Razbremenilnik	Količina prelite vode [m ³]			
	Povratna doba			
	1	0,5	0,2	0,1
15 min				
R43	231,56	297,09	334,97	358,36
R42	68,74	99,86	129,24	152,27
R41	929,00	1388,21	1832,32	2164,75
R40	239,48	356,48	470,23	554,48
R39	891,72	1584,64	2251,74	2768,61
SKUPAJ	2360,50	3726,28	5018,50	5998,46

Razbremenilnik	Količina prelite vode [m ³]			
	Povratna doba			
	1	0,5	0,2	0,1
20 min				
R43	310,51	366,96	402,92	429,33
R42	92,35	113,31	141,59	163,25
R41	1291,15	1606,50	2002,10	2296,40
R40	326,62	405,30	507,48	585,38
R39	1413,57	1880,21	2488,55	2939,30
SKUPAJ	3434,20	4372,28	5542,65	6413,66

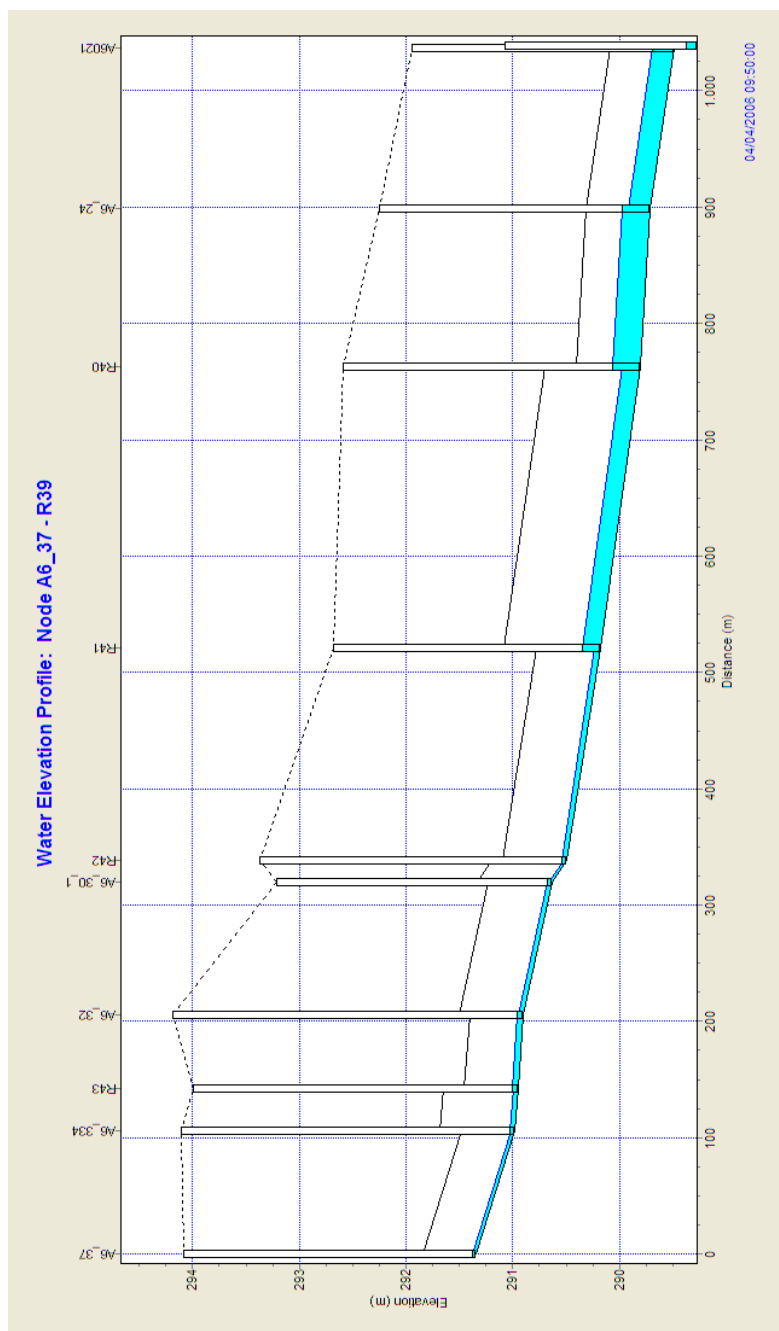
30 min Razbremenilnik	Količina prelite vode [m³]			
	Povratna doba			
	1	0,5	0,2	0,1
R43	352,72	444,82	535,89	585,15
R42	104,07	133,12	164,66	195,99
R41	1489,20	1883,05	2288,03	2677,94
R40	366,50	467,89	575,04	678,03
R39	1661,25	2250,21	2862,72	3444,88
SKUPAJ	3973,73	5179,09	6426,34	7581,98

PRILOGA D: Prečni profil kanalizacijskega sistema A6

Primer prečnega profila za dan vzorčenja, 04.03.2008 ob uri 9:30, pretok $Q=0,25\text{m}^3$, pretok je največji izmed vseh datumov vzorčenja



Primer prečnega profila za dan vzorčenja, 04.04.2006 ob uri 9:50, pretok $Q=0,1\text{m}^3$, pretok je najmanjši izmed vseh datumov vzorčenja



PRILOGA E: Izračun zadrževalnih volumnov po ATV-A 128E

Zadrževalni bazen Z43

PODATKI

Število prebivalcev	A=	976	P
Norma porabe	np=	200	l/(P*dan)
Število prebivalcev ločenega KS	A=	0	P
Norma porabe ločenega KS	np=	0	l/(P*dan)
Povprečni dnevni odtok iz obrti, pisarn	Q _{c24} =	0,945	l/s
Povprečni dnevni odtok iz industrije	Q _{i24} =	0	l/s
Odtok tujih vod	Q _{iw24} =	0,2835	l/s
Koeficient max. urne porabe	x=	12	h
Št. delovnih ur na dan (obrt)	a _c =	10	h
Št. delovnih ur na dan (industrija)	a _i =	16	h
Št. delovnih dni na leto (obrt)	b _c =	300	dni
Št. delovnih dni na leto (industrija)	b _i =	300	dni
Povprečna letna višina padavin	h _{pr} =	1368	mm
Velikost reducirane površine	A _{red} =	1,89	ha
Dotočni čas	t _f =	3	min
Povprečni koef. nagnjenost terena	SG _m =	2	
Koef. KPK v sušnem vremenu	c _{dw} =	600	mg/l

REZULTATI

Povp. dnevni odtok odp. vode iz gospodinjstev	Q _{d24} =	2,26	l/s			
Odtok odpadnih voda	Q _{w24} =	3,20	l/s			
Povp. dnevni sušni odtok	Q _{dw24} =	3,49	l/s			
Dnevna konica odtoka odpadne vode	Q _{px} =	7,28	l/s			
Max. urni sušni odtok	Q _{dwx} =	7,56	l/s			
Odtok skozi dušilko	Q _t =	14,84	l/s			
Odtok tujih vod skozi območje z ločnim sistemom	Q _{rs24} =	0,00	l/s			
Deževni odtok skozi dušilko	Q _{r24} =	11,35	l/s			
Koeficient zmanjšanja odtočnega časa	a _f =	0,99				
Povprečni deževni odtok med prelivanjem	Q _{ro} =	41,38				
Razmerje sušnega odtoka	q _{dw24} =	1,85	l/(s*ha)			
Razmerje deževnega odtoka	q _r =	6,01	l/(s*ha)			
Povprečno mešarno razmerje	m=	11,87				
Faktor vpliva večjega onesnaženja	a _p =	1,00				
Faktor vpliva letnih padavin	a _h =	0,25				
Razmerje x _a	x _a =	11,07				
Faktor vpliva kanalizacijskih usedlin	a _a =	0,92				
Rač. konc. KPK sušnega odtoka	c _d =	1302,00				
Konc. KPK deževnega odtoka	c _r =	110,00	107	100	90	mg/l
Teoretična konc. KPK pelivov	c _{cc} =	202,65	199,88	193,43	184,20	mg/l
Dovoljena letna mera prelivanja	e _o =	30,15	28,49	24,31	17,51	%
SPEC. VOLUMEN BAZENA	V _s =	17,94	21,11	29,16	40	m ³ /ha
POTREBNI VOLUMEN BAZENA	V=	33,91	39,90	55,11	75,60	m ³

Zadrževalni bazen Z42

PODATKI

Število prebivalcev	A=	382	P
Norma porabe	np=	200	l/(P*dan)
Število prebivalcev ločenega KS	A=	0	P
Norma porabe ločenega KS	np=	0	l/(P*dan)
Povprečni dnevni odtok iz obrti, pisarn	Q _{c24} =	0,325	l/s
Povprečni dnevni odtok iz industrije	Q _{i24} =	0	l/s
Odtok tujih vod	Q _{iw24} =	0,0975	l/s
Koeficient max. urne porabe	x=	12	h
Št. delovnih ur na dan (obrt)	a _c =	10	h
Št. delovnih ur na dan (industrija)	a _i =	16	h
Št. delovnih dni na leto (obrt)	b _c =	300	dni
Št. delovnih dni na leto (industrija)	b _i =	300	dni
Povprečna letna višina padavin	h _{pr} =	1368	mm
Velikost reducirane površine	A _{red} =	0,65	ha
Dotočni čas	t _f =	3	min
Povprečni koef. nagnjenost terena	SG _m =	2	
Koef. KPK v sušnem vremenu	c _{dw} =	600	mg/l

REZULTATI

Povp. dnevni odtok odp. vode iz gospodinjstev	Q _{d24} =	0,88	l/s		
Odtok odpadnih voda	Q _{w24} =	1,21	l/s		
Povp. dnevni sušni odtok	Q _{dw24} =	1,31	l/s		
Dnevna konica odtoka odpadne vode	Q _{px} =	2,72	l/s		
Max. urni sušni odtok	Q _{dwx} =	2,82	l/s		
Odtok skozi dušilko	Q _t =	5,53	l/s		
Odtok tujih vod skozi območje z ločnim sistemom	Q _{rs24} =	0,00	l/s		
Deževni odtok skozi dušilko	Q _{r24} =	4,23	l/s		
Koeficient zmanjšanja odtočnega časa	a _f =	0,99			
Povprečni deževni odtok med prelivanjem	Q _{ro} =	15,25			
Razmerje sušnega odtoka	q _{dw24} =	2,01	l/(s*ha)		
Razmerje deževnega odtoka	q _r =	6,50	l/(s*ha)		
Povprečno mešarno razmerje	m=	11,67			
Faktor vpliva večjega onesnaženja	a _p =	1,00			
Faktor vpliva letnih padavin	a _h =	0,25			
Razmerje x _a	x _a =	11,14			
Faktor vpliva kanalizacijskih usedlin	a _a =	0,92			
Rač. konc. KPK sušnega odtoka	c _d =	1302,00			
Konc. KPK deževnega odtoka	c _r =	110,00	107	100	90 mg/l
Teoretična konc. KPK pelivov	c _{cc} =	204,10	201,34	194,89	185,68 mg/l
Dovoljena letna mera prelivanja	e _o =	29,83	28,17	24,02	17,29 %

SPEC. VOLUMEN BAZENA	V _s =	19,61	21,39	29	40 m ³ /ha
----------------------	------------------	-------	-------	----	-----------------------

POTREBNI VOLUMEN BAZENA	V=	12,75	13,90	18,85	26,00 m ³
-------------------------	----	-------	-------	-------	----------------------

Zadrževalni bazen Z41

PODATKI

Število prebivalcev	A=	15750	P
Norma porabe	np=	200	l/(P*dan)
Število prebivalcev ločenega KS	A=	13192	P
Norma porabe ločenega KS	np=	200	l/(P*dan)
Povprečni dnevni odtok iz obrti, pisarn	Q _{c24} =	9,26	l/s
Povprečni dnevni odtok iz industrije	Q _{i24} =	0	l/s
Odtok tujih vod	Q _{iw24} =	2,778	l/s
Koeficient max. urne porabe	x=	12	h
Št. delovnih ur na dan (obrt)	a _c =	10	h
Št. delovnih ur na dan (industrija)	a _i =	16	h
Št. delovnih dni na leto (obrt)	b _c =	300	dni
Št. delovnih dni na leto (industrija)	b _i =	300	dni
Povprečna letna višina padavin	h _{pr} =	1368	mm
Velikost reducirane površine	A _{red} =	18,52	ha
Dotočni čas	t _f =	6	min
Povprečni koef. nagnjenost terena	SG _m =	2	
Koef. KPK v sušnem vremenu	c _{dw} =	600	mg/l

REZULTATI

Povp. dnevni odtok odp. vode iz gospodinjstev	Q _{d24} =	36,46	l/s
Odtok odpadnih voda	Q _{w24} =	45,72	l/s
Povp. dnevni sušni odtok	Q _{dw24} =	48,50	l/s
Dnevna konica odtoka odpadne vode	Q _{px} =	99,96	l/s
Max. urni sušni odtok	Q _{dwx} =	102,74	l/s
Odtok skozi dušilko	Q _t =	202,70	l/s
Odtok tujih vod skozi območje z ločnim sistemom	Q _{rs24} =	30,54	l/s
Deževni odtok skozi dušilko	Q _{r24} =	123,66	l/s
Koeficient zmanjšanja odtočnega časa	a _f =	0,97	
Povprečni deževni odtok med prelivanjem	Q _{ro} =	438,50	
Razmerje sušnega odtoka	q _{dw24} =	2,62	l/(s*ha)
Razmerje deževnega odtoka	q _r =	6,68	l/(s*ha)
Povprečno mešarno razmerje	m=	9,67	
Faktor vpliva večjega onesnaženja	a _p =	1,00	
Faktor vpliva letnih padavin	a _h =	0,25	
Razmerje x _a	x _a =	11,33	
Faktor vpliva kanalizacijskih usedlin	a _a =	0,89	
Rač. konc. KPK sušnega odtoka	c _d =	1284,00	
Konc. KPK deževnega odtoka	c _r =	110,00	107 100 90 mg/l
Teoretična konc. KPK pelivov	c _{cc} =	220,01	217,30 210,95 201,89 mg/l
Dovoljena letna mera prelivanja	e _o =	26,66	25,12 21,28 15,16 %

SPEC. VOLUMEN BAZENA V_s= 23,5 25,27 33,88 40 m³/ha

POTREBNI VOLUMEN BAZENA V= 435,22 468,00 627,46 740,80 m³

Zadrževalni bazen Z40

PODATKI

Število prebivalcev	A=	2461	P
Norma porabe	np=	200	l/(P*dan)
Število prebivalcev ločenega KS	A=	0	P
Norma porabe ločenega KS	np=	0	l/(P*dan)
Povprečni dnevni odtok iz obrti, pisarn	Q _{c24} =	1,605	l/s
Povprečni dnevni odtok iz industrije	Q _{i24} =	0	l/s
Odtok tujih vod	Q _{iw24} =	0,4815	l/s
Koeficient max. urne porabe	x=	12	h
Št. delovnih ur na dan (obrt)	a _c =	10	h
Št. delovnih ur na dan (industrija)	a _i =	16	h
Št. delovnih dni na leto (obrt)	b _c =	300	dni
Št. delovnih dni na leto (industrija)	b _i =	300	dni
Povprečna letna višina padavin	h _{pr} =	1368	mm
Velikost reducirane površine	A _{red} =	3,21	ha
Dotočni čas	t _f =	4	min
Povprečni koef. nagnjenost terena	SG _m =	2	
Koef. KPK v sušnem vremenu	c _{dw} =	600	mg/l

REZULTATI

Povp. dnevni odtok odp. vode iz gospodinjstev	Q _{d24} =	5,70	l/s
Odtok odpadnih voda	Q _{w24} =	7,30	l/s
Povp. dnevni sušni odtok	Q _{dw24} =	7,78	l/s
Dnevna konica odtoka odpadne vode	Q _{px} =	16,08	l/s
Max. urni sušni odtok	Q _{dwx} =	16,56	l/s
Odtok skozi dušilko	Q _t =	32,64	l/s
Odtok tujih vod skozi območje z ločnim sistemom	Q _{rs24} =	0,00	l/s
Deževni odtok skozi dušilko	Q _{r24} =	24,86	l/s
Koeficient zmanjšanja odtočnega časa	a _f =	0,98	
Povprečni deževni odtok med prelivanjem	Q _{ro} =	87,46	
Razmerje sušnega odtoka	q _{dw24} =	2,42	l/(s*ha)
Razmerje deževnega odtoka	q _r =	7,74	l/(s*ha)
Povprečno mešarno razmerje	m=	11,24	
Faktor vpliva večjega onesnaženja	a _p =	1,00	
Faktor vpliva letnih padavin	a _h =	0,25	
Razmerje x _a	x _a =	11,28	
Faktor vpliva kanalizacijskih usedlin	a _a =	0,90	
Rač. konc. KPK sušnega odtoka	c _d =	1290,00	
Konc. KPK deževnega odtoka	c _r =	110,00	107 100 90 mg/l
Teoretična konc. KPK pelivov	c _{cc} =	206,43	203,67 197,24 188,06 mg/l
Dovoljena letna mera prelivanja	e _o =	29,32	27,68 23,58 16,94 %

SPEC. VOLUMEN BAZENA V_s= 20,33 22,22 29,61 40 m³/ha

POTREBNI VOLUMEN BAZENA V= 65,26 71,33 95,05 128,40 m³

Zadrževalni bazen Z39

PODATKI

Število prebivalcev	A=	3721	P
Norma porabe	np=	200	l/(P*dan)
Število prebivalcev ločenega KS	A=	0	P
Norma porabe ločenega KS	np=	0	l/(P*dan)
Povprečni dnevni odtok iz obrti, pisarn	Q _{c24} =	8,775	l/s
Povprečni dnevni odtok iz industrije	Q _{i24} =	0	l/s
Odtok tujih vod	Q _{iw24} =	2,6325	l/s
Koeficient max. urne porabe	x=	12	h
Št. delovnih ur na dan (obrt)	a _c =	10	h
Št. delovnih ur na dan (industrija)	a _i =	16	h
Št. delovnih dni na leto (obrt)	b _c =	300	dni
Št. delovnih dni na leto (industrija)	b _i =	300	dni
Povprečna letna višina padavin	h _{pr} =	1368	mm
Velikost reducirane površine	A _{red} =	17,55	ha
Dotočni čas	t _f =	6	min
Povprečni koef. nagnjenost terena	SG _m =	2	
Koef. KPK v sušnem vremenu	c _{dw} =	600	mg/l

REZULTATI

Povp. dnevni odtok odp. vode iz gospodinjstev	Q _{d24} =	8,61	l/s				
Odtok odpadnih voda	Q _{w24} =	17,39	l/s				
Povp. dnevni sušni odtok	Q _{dw24} =	20,02	l/s				
Dnevna konica odtoka odpadne vode	Q _{px} =	42,85	l/s				
Max. urni sušni odtok	Q _{dwx} =	45,48	l/s				
Odtok skozi dušilko	Q _t =	88,33	l/s				
Odtok tujih vod skozi območje z ločnim sistemom	Q _{rs24} =	0,00	l/s				
Deževni odtok skozi dušilko	Q _{r24} =	68,31	l/s				
Koeficient zmanjšanja odtočnega časa	a _f =	0,97					
Povprečni deževni odtok med prelivanjem	Q _{ro} =	263,56					
Razmerje sušnega odtoka	q _{dw24} =	1,14	l/(s*ha)				
Razmerje deževnega odtoka	q _r =	3,89	l/(s*ha)				
Povprečno mešarno razmerje	m=	13,16					
Faktor vpliva večjega onesnaženja	a _p =	1,00					
Faktor vpliva letnih padavin	a _h =	0,25					
Razmerje x _a	x _a =	10,56					
Faktor vpliva kanalizacijskih usedlin	a _a =	1,02					
Rač. konc. KPK sušnega odtoka	c _d =	1362,00					
Konc. KPK deževnega odtoka	c _r =	110,00	107	100	90	mg/l	
Teoretična konc. KPK pelivov	c _{cc} =	198,39	195,60	189,09	179,80	mg/l	
Dovoljena letna mera prelivanja	e _o =	31,16	29,46	25,19	18,21	%	
SPEC. VOLUMEN BAZENA	V _s =	17,22	20	25,27	40	m ³ /ha	
POTREBNI VOLUMEN BAZENA	V=	302,21	351,00	443,49	702,00	m ³	

PRILOGA F: Skica postavitve zadrževalnih bazenov

