

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Fortun, U., 2016. Ocena vpliva prelivajoče vode, dela kanalizacijskega sistema Črnomlja, v reko Dobličico. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J., somentor Krzyk, M.): 108 str.

Datum arhiviranja: 08-04-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Fortun, U., 2016. Ocena vpliva prelivajoče vode, dela kanalizacijskega sistema Črnomlja, v reko Dobličico. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J., co-supervisor Krzyk, M.): 108 pp.

Archiving Date: 08-04-2016

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 ŠTUDIJSKI  
PROGRAM VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

**UROŠ FORTUN**

**OCENA VPLIVA PRELIVAJOČE VODE, DELA  
KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMLJA, V REKO  
DOBLIČICO**

Diplomska naloga št.: 274/VKI

**ASSESSING THE IMPACT OF OVERFLOW WATER, A  
PART OF THE ČRNOMELJ SEWERAGE SYSTEM,  
INTO THE DOBLIČICA RIVER**

Graduation thesis No.: 274/VKI

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Somentor:**

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 23. 03. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

**IZJAVE**

Podpisani Uroš Fortun izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Ocena vpliva prelivajoče vode, dela kanalizacijskega sistema Črnomlja, v reko Dobljico«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, marec 2016

---

(podpis)

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>628.2/.3(497.4Črnomlj)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Uroš Fortun</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Jože Panjan</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. dr. Mario Krzyk</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Ocena vpliva prelivajoče vode, dela kanalizacijskega sistema Črnomlja, v reko Dobljico</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>108 str., 27 sl., 20 pregl., 32 graf., 6 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>prvi val onesnaženja, preliv, program SWMM, koncentracija onesnaževal, kalibracija, reka Dobljica, Črnomelj</b>

### **Izveček**

Diplomska naloga obravnava prvi val onesnaženja. Opisane so definicije pojava prvega vala, opisana je metoda za določitev srednje koncentracije onesnažil in podan je postopek za določitev razmerja masnega prvega vala, s katerim določimo, koliko mase posameznega onesnažila se je izločilo v delu odtoka v odvisnosti od časa. V drugem delu je predstavljen program SWMM (Storm Water Management Model). Tretji del naloge obravnava rezultate meritev vzorcev, ki so bili pridobljeni na Viču v Ljubljani. Analiza je potekala v vseh letnih časih in je vsebovala dvajset parametrov. V četrtem delu je prikazan rezultat analize vzorcev preлива na razbremenilnem objektu v Črnomlju in vpliv prelite vode na kakovost Dobljice. Z rezultati analize sem kalibriral model v SWMM ter s tako pripravljenim modelom simuliral nihanje koncentracij onesnaževal v odvisnosti od časa. Določil sem maso izpranih onesnažil v realnem padavinskem dogodku dne 21. 11. 2015, v katerem je po dvajsetih sušnih dnevih padlo 20 milimetrov padavin. Z rezultati simulacije sem določil srednjo koncentracijo onesnažil in količino mase izpranega onesnažila v odvisnosti od volumenskega odtoka. Ugotovljeno je bilo, da bi v primeru pravilnega delovanja razbremenilnega in zadrževalnega bazena zmanjšali izpuste posameznega onesnažila tudi za 70 %. Model sem uporabil še za simulacijo padavinskega dogodka s trajanjem 30 minut in povratno dobo enega leta. Prikazana je primerjava med 20- in 50-dnevnim sušnim obdobjem.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 628.2/.3(497.4Črnomelj)(043.2)  
**Author:** Uroš Fortun  
**Supervisor:** Assoc. prof. Jože Panjan, Ph.D.  
**Co-Supervisor:** Assist. Mario Krzyk, Ph.D.  
**Title:** Assessing the impact of overflow water, a part of the Črnomelj sewerage system, into the Dobljčica river  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Notes:** 108 p., 27 fig., 20 tab., 32 graph., 6 ann.  
**Key words:** first flush, overflow, programme SWMM, pollutant concentration, calibration, stream Dobljčica, Črnomelj

**ABSTRACT**

The thesis deals with the first flush phenomenon. Given are the definitions of the first flush, the method for defining the event mean concentration and the procedure of defining mass first flush ratio, which gives us the quantity of the mass of emitted pollutants, as a function of the storm progress indicated by the normalized runoff volume. The second part describes programme SWMM (Storm Water Management Model). The third part represents the results of measurements which took place at Vič in Ljubljana. The analysis took place in all seasons and it contained twenty parameters. The fourth part shows results of measurements on the stormwater overflow in Črnomelj and the influence of overflow water on the quality of the Dobljčica river. I used the results for calibration of the model in SWMM. With that model, I simulated the oscillation of the pollutants over time. I defined the mass of wash-off pollutants in the rainfall event of 21 November 2015 in which there were 20 millimetres of rainfall after 20 droughty days. With the results of simulation, I determined the event mean concentration and the amount of mass emission in relation to cumulative flow volume. It was found that if the stormwater overflow and stormwater holding tank worked correctly, pollution would be reduced by 70%. I also used the calibrated model in simulating the rainfall event with duration of 30 minutes and one-year return period. Simulation was set with 20-day and 50-day dry period.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju asist. dr. Mario Krzyk.

Zahvaljujem se podjetju Komunala Črnomelj d.o.o. za pridobitev podatkov in za pomoč pri izvedbi terenskih meritev.

Zahvaljujem se tudi družini za pomoč in podporo pri študiju.

## Vsebina

1. UVOD .....	1
2. OPIS OBMOČJA.....	3
2.1 Geomorfološke značilnosti Bele krajine .....	4
2.1.2 Geološke razmere .....	5
2.2 Površinske vode v Beli krajini.....	5
2.2.1 Kakovost površinskih voda v Beli krajini .....	6
2.3 Kanalizacijski sistem Črnomelj .....	8
3. PRVI VAL ONESNAŽENJA .....	10
3.1 Pregled prvega vala onesnaženja .....	10
3.2 Srednja koncentracijska vrednost onesnažil (EMC) .....	12
3.2.1 Model koncentracije onesnažil.....	14
3.3 Masni prvi val.....	17
3.4 Onesnaževala v odpadni vodi.....	18
4. ZADRŽEVALNA KAPACITETA CEST <sup>1</sup> .....	21
4.1 Volumen padavinske zadržane vode na križišču cest.....	22
4.1.1 Intenziteta padavin in IDF krivulje .....	23
4.2 Zadrževalna kapaciteta cest.....	24
4.3 Trajanje preplavitve .....	26
5. OPIS PROGRAMA SWMM <sup>2</sup> .....	29
5.1 Navodila.....	30
5.2 Vizualni objekti .....	31
5.2.1 Padavine.....	32
5.2.2 Prispevno podobmočje.....	32
5.2.3 Vozlišča .....	33
5.2.4 Iztočno vozlišče.....	33
5.2.5 Razbremenilnik.....	34
5.2.6 Akumulacijska vozlišča.....	35
5.2.7 Kanali.....	35



5.2.8 Črpališča.....	35
5.2.9 Regulatorji pretoka.....	36
5.3 Nevizualni objekti.....	36
5.3.1 Podnebje.....	36
5.3.2 Snežni parametri.....	37
5.3.3 Podzemni objekti.....	38
5.3.4 Hidrogram enote.....	38
5.3.5 Prečni prerez.....	39
5.3.6 Zunanji vtoki.....	39
5.3.7 Kontrolni stavki.....	40
5.3.8 Onesnaževala.....	40
5.3.9 Raba območja.....	41
5.3.13 Čiščenje.....	44
5.3.14 Krivulje.....	44
5.3.15 Časovno odvisne tabele.....	45
5.3.16 Časovni vzorec.....	45
5.4 Računske metode.....	45
5.4.1 Površinski odtok.....	45
5.4.2 Infiltracija.....	47
5.4.3 Podzemne vode.....	52
5.4.4 Taljenje snega.....	53
5.4.5 Transport vode po KS.....	53
5.4.6 Površina za zadrževanje vode nad vozliščem.....	55
5.4.7 Transport onesnažil.....	55
5.5 Simulacija.....	55
5.5.1 Možnosti pri dinamičnem toku.....	56
5.5.2 Problemi pri simulaciji.....	57
5.6 Prednosti in slabosti programa SWMM.....	58

---

6. VRSTA IN KONCENTRACIJA ONESNAŽEVAL .....	60
6.1 Koncentracija onesnažil na Viču v Ljubljani .....	63
6.1.1 Povzetek vseh meritev.....	75
6.2 Meritve in simulacija koncentracije na prispevnem območju Črnomelj .....	76
6.2.1 Ocena pojava prvega vala .....	79
6.3 Simulacija odtoka in koncentracije na prispevnem območju .....	80
6.3.1 Kalibracija modela.....	81
6.3.2 Delovanje kanalizacijskega sistema na obravnavanem območju.....	83
6.3.3 Rezultati simulacije za padavinski dogodek z dne 21. 11. 2015 .....	86
6.3.4 Ocena prvega vala z masnim prvim valom (MFF) in izračun srednje koncentracije onesnažil (EMC) pri padavinskem dogodku 21. 11. 2015 .....	91
6.3.5 Rezultati simulacije za 30-minutni naliv s povratno dobo enega leta in 20 suhimi dnevi....	94
6.3.6 Rezultati simulacije za 30-minutni naliv s povratno dobo enega leta in 50 suhimi dnevi....	97
7. ZAKLJUČEK.....	101
VIRI.....	103

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Število prebivalcev v mestih Črnomelj, Kanižarica in Vojna vas v letih 1948-2014 (Vir: Statistični urad Republike Slovenije, 2015) .....	4
Preglednica 2: Leto izgradnje in dolžina zgrajenega kanalizacijskega sistema (Planinc, 2015) .....	9
Preglednica 3: Rezultati meritev padavinske vode in vode s cest (Nadler, A. in Meißner, E., 2001: str 628).....	19
Preglednica 4: SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine (Brilly, Šraj 2005: str 26).....	47
Preglednica 5: Koeficient CN za urbanizirane površine (Brilly, Šraj 2005: str 97).....	52
Preglednica 6: Organski in anorganski parametri (vir: Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo) .....	62
Preglednica 7: Izvor onesnaževal v odpadni vodi, ki nastaja na urbaniziranih območjih (vir: Nix, 1994: str 6).....	63
Preglednica 8: Količina padavin na dan opravljanja meritev in razmere predhodnega obdobja (vir: Meteorološki letopisi. 2015).....	64
Preglednica 9: Koncentracija onesnažil v Črnomlju .....	77
Preglednica 10: Padavine dne 29. 10. 2015.....	82
Preglednica 11: Padavine dne 21. 11. 2015 (vir: Meteo. Splet) .....	82
Preglednica 12: Parametri kopičenja uporabljeni pri simulaciji v SWMM .....	82
Preglednica 13: Parametri izpiranja uporabljeni pri simulaciji v SWMM .....	82
Preglednica 14: Koncentracija posameznega onesnaževala, dne 21. 11. 2015 (simulacija SWMM) ...	90
Preglednica 15: Masa izpranih onesnažil na dotoku na razbremenilnik, na odtoku proti ČN in na prelivu, dne 21. 11. 2015 (simulacija SWMM) .....	90
Preglednica 16: Povratne dobe za ekstremne padavine za merilno mesto Dobljice (Povratne dobe za ekstremne padavine. 2015).....	94
Preglednica 17: Koncentracije onesnažil pri 30-minutnem nalivu in z 20 suhimi dnevi.....	95
Preglednica 18: Masa izpranih onesnažil na dotoku na razbremenilnik, na odtoku proti ČN in na prelivu, pri 30-minutnem nalivu in z 20 suhimi dnevi .....	96
Preglednica 19: Koncentracije onesnažil pri 30-minutnem nalivu in s 50 suhimi dnevi.....	98
Preglednica 20: Masa izpranih onesnažil na dotoku na razbremenilnik, na odtoku proti ČN in na prelivu, pri 30-minutnem nalivu in s 50 suhimi dnevi.....	99

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Velikost občine Črnomelj (Vir: Geopedia) .....	4
Slika 2: primer določanje teže odtoka za EMC kalkulacije .....	14
Slika 3: Občutljivostna analiza, $\beta^*$ se spreminja .....	15
Slika 4: Občutljivostna analiza, $\gamma^*$ se spreminja .....	16
Slika 5: Občutljivostna analiza, $\alpha$ se spreminja .....	16
Slika 6: Občutljivostna analiza, $\alpha$ & $\beta^*$ se spreminjata .....	17
Slika 7: Primer grafa kopičenja MFF <sub>n</sub> (Stenstrom, 2005: str 26). .....	18
Slika 8: Prečni presek cestišča (Guo, 2000: str 627). .....	21
Slika 9: Depresijska zadrževalna kapaciteta na cestnem križišču (Guo, 2000: str 628). .....	25
Slika 10: Jez (angl. weir) in odprtina (angl. orifice) .....	27
Slika 11: Primer fizičnih objektov v modelu kanalizacijskega sistema (Rossman, 2010: str 34). .....	31
Slika 12: Hidrograf enote (Rossman, 2010: str 46). .....	38
Slika 13: Primer prečnega prereza naravnega kanala (Rossman, 2010: str 47) .....	39
Slika 14: Nastavitve za posamezno onesnaževalo (vir: program SWMM) .....	41
Slika 15: Shematični pregled površinskega odtoka (Rossman, 2010: str 56) .....	46
Slika 16: Dve coni pri modelu Green-Ampt (Rossman, 2015: str 106). .....	49
Slika 17: Dvoslojni model zemljine (Rossman, 2010: str 57). .....	53
Slika 18: Nastavitve za dinamično obliko toka (vir: program SWMM) .....	56
Slika 19: Status simulacije (vir: program SWMM) .....	57
Slika 20: Mesto jemanja vzorcev v Črnomlju, dne 21. 11. 2015 .....	77
Slika 21: Vpliv iztoka prelite odpadne vode na vodotok .....	80
Slika 22: Razbremenilni objekt pri sušnem pretoku (slikano 6. 11. 2015) .....	83
Slika 23: Razbremenilni objekt pri prelivu (slikano 21. 11. 2015, ob 9:00 uri, ob največjem prelivu). .....	83
Slika 24: Zadrževalni bazen (slikano 6. 11. 2015) .....	84
Slika 25: Odvzeti vzorci z dne 21. 11. 2015. ....	85
Slika 26: Količina odtoka, dne 21. 11. 2015 ob 9:00 uri .....	86
Slika 27: Količina odtoka z dne 21. 11. 2015 ob 9:00 uri pri zadrževalnem bazenu .....	87

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Suspendirane snovi.....	65
Grafikon 2: Kemijska potreba po kisiku - KPK.....	66
Grafikon 3: Biokemijska potreba po kisiku v petih dneh - BPK <sub>5</sub> .....	67
Grafikon 4: Sulfat.....	67
Grafikon 5: Klorid.....	68
Grafikon 6: Cink.....	68
Grafikon 7: Celotni dušik.....	69
Grafikon 8: Amonijev dušik.....	69
Grafikon 9: Nitritni dušik.....	70
Grafikon 10: Nitratni dušik.....	70
Grafikon 11: Krom - šestvalentni.....	71
Grafikon 12: Baker.....	71
Grafikon 13: Celotni fosfor.....	72
Grafikon 14: Svinec.....	72
Grafikon 15: Nikelj.....	73
Grafikon 16: Kadmij.....	73
Grafikon 17: pH.....	74
Grafikon 18: Elektroprevodnost.....	74
Grafikon 19: Raztopljen kisik.....	75
Grafikon 20: Temperatura.....	75
Grafikon 21: Koncentracija TSS, BPK in KPK ter velikost pretoka.....	87
Grafikon 22: Koncentracija ortofosfatov in amonijevega dušika.....	88
Grafikon 23: Koncentracije za nitrat in nitrit.....	89
Grafikon 24: Koncentracija za svinec (Pb), baker (Cu) in cink (Zn).....	89
Grafikon 25: Koncentracija TSS, BPK in KPK na prelivu.....	90
Grafikon 26: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen.....	92
Grafikon 27: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen.....	93
Grafikon 28: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen.....	93
Grafikon 29: Koncentracije za TSS, BPK in KPK pri 30-minutnem nalivu in z 20 suhimi dnevi.....	95
Grafikon 30: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen.....	97
Grafikon 31: Koncentracije za TSS, BPK in KPK pri 30-minutnem nalivu in s 50 suhimi dnevi.....	98
Grafikon 32: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen.....	99

**OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

BPK	biokemijska potreba po kisiku
ČN	čistilna naprava
EMC	Srednja koncentracija onesnažil
EU	Evropska unija
KČN	komunalna čistilna naprava
KPK	kemijska potreba po kisiku
KS	kanalizacijski sistem
MČN	mala čistilna naprava
MFF	Razmerje masnega prvega vala
PE	populacijska ekvivalent
SWMM	Storm Water Management Model

## 1. UVOD

Voda je najpomembnejši vir življenja. Je brez barve, vonja in okusa. Človek jo uporablja v vsakdanjem življenju. Pri uživanju hrane, pijače, pri pranju avtomobilov, pri osebni higieni, v raznovrstnih industrijskih obratih itd. Vodo človek pri svoji uporabi onesnaži, zato jo je treba pred ponovno vključitvijo v naravni krog očistiti do takšne mere, da nima slabega vpliva na okolje. V manjših naseljih se odpadno vodo čisti na individualnih čistilnih napravah. V naseljih do 2000 PE se odpadno vodo odvaja po ločenem sistemu kanalizacije in se zaključi z malo čistilno napravo. Pri velikih naseljih (nad 2000 PE) se odpadno vodo odvaja po mešanem sistemu (kombinacija sušnega in padavinskega odtoka) ali po ločenem sistemu, pri katerem imamo dva kanala, in sicer enega za sušni odtok in drugega za padavinski odtok. Ker poleg sušnega odtoka v mešanem kanalizacijskem sistemu odvajamo tudi padavinsko vodo, se v primeru močnejšega naliva močno poveča pretok v kanalizacijskem sistemu. Konica odtoka je v času padavin lahko tudi nekaj stokrat večja od sušnega odtoka. Odvajanje in čiščenje tako velikih količinskih konic bi bilo z ekonomskega vidika nesprejemljivo in tehničnega nesmiselno. Z namenom zmanjšanja konice odtoka na kanalizacijskih sistemih gradimo zadrževalno-razbremenilne objekte. Poleg visokega padavinskega odtoka se na začetku padavinskega dogodka pojavi izpiranje nakopičenih onesnažil na prispevnem območju. Izpiranje je najintenzivnejše na začetku padavinskega dogodka in posledično so v začetnem delu odtoka zelo visoke koncentracije onesnažil. Tako imenovani prvi čistilni val bi se moral zadržati na zadrževalnem bazenu in se ob zmanjšanju odtoka odvajati na čistilno napravo. Velikokrat pa je zgrajen samo razbremenilni objekt in se močno onesnažena voda odvaja neposredno v vodotok.

V diplomski nalogi bom predstavil lastnosti prvega čistilnega vala. Pojav bom raziskoval na manjšem prispevnem območju mešanega kanalizacijskega sistema v Črnomlju. Na območju, ki se zaključi z razbremenilnim objektom in zadrževalnim bazenom, bom raziskoval delovanje kanalizacijskega sistema in določal koncentracije ter vpliv prelite vode na reko Dobljico. Ob pojavu naliva bom odvzel vzorce iz preliva in iz reke Dobljice ter tako analiziral vpliv preliva na kakovost Dobljice.

Pomagal si bom s programom Storm water management model (SWMM). Program se uporablja za kvalitativno in kvantitativno simuliranje odtoka. Simuliral bom odtok na prispevnem območju obravnavanega razbremenilnega objekta. Z opravljenimi terenskimi meritvami bom kalibriral model. Z rezultati simulacije za padavinski dogodek bom naredil masno bilanco in ocenil količino zadržane mase posameznega onesnaževala v delu volumenskega odtoka. Za primerjavo bom naredil simulacijo naliva s povratno dobo enega leta in trajanjem 30 minut. Ker na koncentracijo vpliva kopičenje, ki je odvisno od števila suhih dni, bom opravil simulacijo in primerjal razliko v koncentraciji pri 20 in 50 suhih dnevih.

V sušnem obdobju se na prispevni površini kopičijo številna onesnaževala. Vir so atmosfera, promet, erozija zemljine, kmetijske površine, vrtovi, parkirišča in druge površine, na katerih človek opravlja različne dejavnosti. Ta nakopičena onesnaževala se ob padavinah izpirajo in so prisotna v odtoku. Koncentracije lahko presegajo mejne vrednosti in tako močno obremenijo okolje. V Ljubljani na Viču so bile opravljene analize koncentracij odtokov v obdobju med 2004 in 2005. Podrobneje bom predstavil rezultate analize in preveril odvisnost koncentracij od količine padavin.



## 2. OPIS OBMOČJA

Bela krajina obsega 595 km<sup>2</sup> (približno 3 % slovenske površine) in po podatkih iz leta 2014 imajo tri belokranjske občine (Semič, Metlika in Črnomelj) skupaj 26.782 prebivalcev (vir: Statistični urad). Je večinoma kraška pokrajina med Gorjanci, Kočevskim Rogom in Kolpo. Osrednji del Bele krajine je kraški ravnik z nadmorsko višino od 160 do 200 m. Tektonsko delovanje in apnenčeva podlaga sta omogočila svojevrsten nastanek uravnane kraškega površja, ki je ponekod pred nadaljnjim zakrasevanjem zaščiten z debelo plastjo rdeče glin. Proti severu sega vse do Gorjancev, na zahodu je predel Kočevskega Roga, ki je znan po najvišjem vrhu in priljubljenem pohodnem kraju Mirno goro. Na jugozahodu je področje zaprto in težje prehodno s Poljansko goro. Jugovzhodni del pa je porasel z bukovim gozdom. Skoraj celotno območje sodi v porečje reke Kolpe. Kolpa ima en večji pritok. V Primostku se vanjo izliva Lahinja. Ostali viri so kraški izviri neposredno ob strugi reke. Za belokranjske vode so značilne visoke temperature v poletnih mesecih. Kolpa se segreje tudi do 28 stopinj Celzija in je priljubljena turistična destinacija za kopalce, kjer je urejenih več kampov ter možnost prenočevanja. Območje ima subpanonsko podnebje. Na vreme vplivajo Gorjanci, ki ščitijo belokranjsko območje pred vdorom mrzlega severnega zraka. Za Belo krajino so značilni vremenski ekstremi, kot so zelo visoka letna temperatura, nizka zimska temperatura ali velika količina zapadlega snega. Ekstremi so kratkotrajnega trajanja. Nad belokranjskim ravnikom je značilen topel vinogradniški pas nekje do nadmorske višine 400–450 m. Območje ima precej padavin, okrog 1200–1300 mm/leto, s prvim viškom padavin v jeseni. V tem času se povečajo pretoki rek, večjih težav s poplavlami pa ni zaznati, saj imajo reke ozke in globoke struge s skromnimi poplavnimi površinami. Značilna so majhna naselja, razbitost reliefa in razpršenost pozidave. To predstavlja veliko oviro pri gradnji vodovodnega in kanalizacijskega omrežja ter pri gradnji čistilnih naprav. V letu 2015 obratujejo naslednje ČN: CCN Vojna vas in ČN v Semiču, Kanižarici, Radencih, Starem Trgu, Dragatušu, Črmošnjicah, Krvavčjem Vrhu, Gribljah, Sovinku in Vinici (vir: Komunala Črnomelj). (podpoglavje povzeto po Plut, 2008).

Občina Črnomelj je med tremi belokranjskimi občinami največja in po površini sodi med večje občine v Sloveniji. S 340 km<sup>2</sup> se uvršča na peto mesto. Po statističnih podatkih iz leta 2014 ima občina 14.586 prebivalcev, od tega jih v mestu Črnomelj živi okrog 5.717 (vir: Statistični urad, Največja mesta). Površina mesta Črnomelj je 12,9 km<sup>2</sup>. S preprostim izračunom dobimo gostoto naseljenosti v mestu Črnomelj, ki znaša 443 prebivalcev na km<sup>2</sup>. Po podatkih, ki mi jih je posredovala Komunala Črnomelj, je 4.372 prebivalcev priključenih na kanalizacijski sistem mesta Črnomelj. Kanalizacijski sistem se zaključuje s CCN Vojna vas z zmogljivostjo 9600 PE. Poleg odpadne vode iz gospodinjstev se v KS odvaja industrijska odpadna voda.

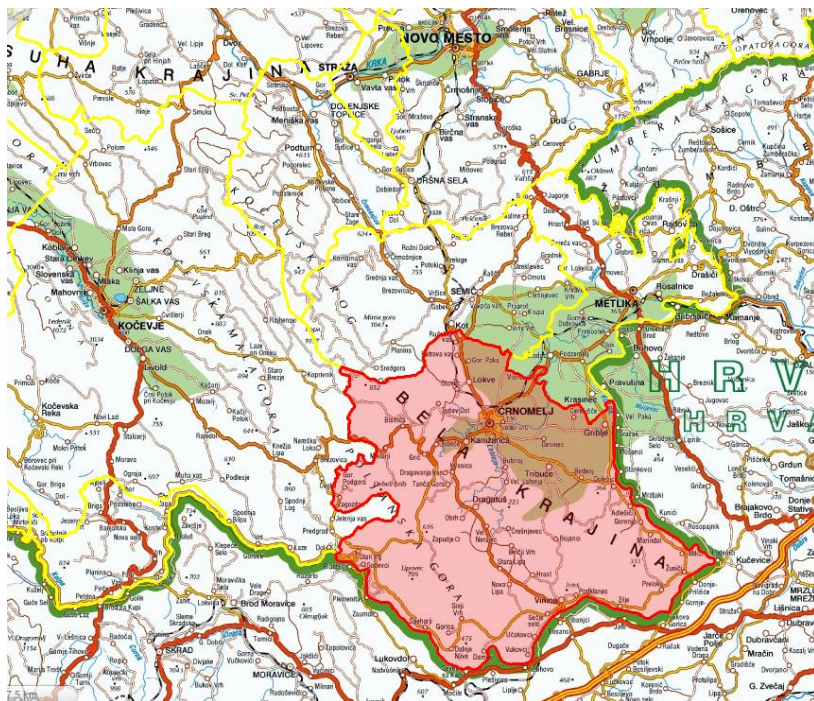
Drugi večji kraj, ki z odpadnimi vodami obremenjuje Dobljico, je Kanižarica. Po podatkih Statističnega urada za leto 2014 ima naselje 597 prebivalcev. Naselje ima lastno ČN z zmogljivostjo 1000 PE (vir: Komunala Črnomelj).

Preglednica 1: Število prebivalcev v mestih Črnomelj, Kanižarica in Vojna vas v letih 1948-2014 (Vir: Statistični urad Republike Slovenije, 2015)

Število prebivalcev v mestu Črnomelj											
Leto	1948	1953	1961	1971	1981	1991	2002	2011	2012	2013	2014
Št. Preb.	2058	2361	2853	3744	4887	5523	5854	5776	5765	5737	5717

Naselje Kanižarica											
Leto	1948	1953	1961	1971	1981	1991	2002	2011	2012	2013	2014
Št. Preb.	129	212	385	438	532	559	569	583	575	581	597

Vojna vas											
Leto	1948	1953	1961	1971	1981	1991	2002	2011	2012	2013	2014
Št. Preb.	121	110	103	117	122	120	106	123	127	125	118



Slika 1: Velikost občine Črnomelj (Vir: Geopedia)

## 2.1 Geomorfološke značilnosti Bele krajine

Glavna geomorfološka značilnost Bele krajine je izrazita uravnanost, ki še posebno izstopa zaradi višjega območja na njenem severnem in zahodnem delu. To sta območji Gorjancev in Poljsanske gore.

Najnižji in najbolj uravnan del na belokranjskem severnem in osrednjem delu je tudi dobil ime belokranjski (tudi črnomaljski) ravnik. Najbolj uravnani del ravnika je med Črnomljem in Primostkom, in sicer v višinah med 160 m in 220 m. Najnižje območje ravnika je na jugu in vzhodu obdano z nekoliko višjim območjem z neizrazitimi slemi in z nekaterimi vrhovi (npr. Velika in Mala Plešivica). Zaradi višjih območjih na vseh robovih Bele krajine nam območje okrog Črnomlja daje vtis kotline. Belokranjski ravnik je v morfološkem pogledu najzahodnejši del rahlo valovite Karlovške (tudi Hrvaške) kotline, zgrajene iz jurskih in krednih apnencev v nadmorskih višinah od 150 do 300 m. (poglavje povzeto po Plut, 2008)

### **2.1.2 Geološke razmere**

Najstarejše kamnine na območju Bele krajine so zgornjetriasni dolomiti severno od Metlike. Večji del Bele krajine prekrivajo sparitni in mikritni apnenci ter zrnati dolomiti spodnjekredne starosti. Severnovzhodno od Črnomlja v okolici Gradca ter na območju Velikega Bukovja se nahajajo zaplate rdečih glin na spodnje krednih apnencih. Pliocenski sedimenti kanižarske premogovne kadunje obsegajo zaplato med Dobljčico in zgornjo Lahinjo na površini okoli 5 km<sup>2</sup> in debeline okoli 300 m. Na tem območju je v preteklosti deloval Premogovnik Kanižarica, ki pa je že nekaj časa zaprt.

Holocenske rečne naplavine prekrivajo večje površine ob toku Kolpe pri Metliki ter območja ob zgornjem toku Dobljčice, Podturnščice in Lahinje. (poglavje povzeto po Plut, 2008)

### **2.2 Površinske vode v Beli krajini**

Zaradi kraške značilnosti je v Beli krajini malo površinskih vodotokov. Ob postopnem dvigovanju se je večji del vodnega odtoka preložil v notranjost, dokler niso na površju ostali le maloštevilni vodotoki. Na južnem delu ob meji s Hrvaško teče zelo vodnata reka Kolpa. V belokranjskem toku dobiva reka Kolpa dotok površinskih voda iz Lahinje, ki je edini večji dotok vode v Kolpo. Ostali površinski viri so kraški, velikokrat le nekaj deset metrov dolgi vodotoki. Lahinja izvira pod Knežino in ima več pritokov. Prvi je že kmalu po izviri, in sicer se vanjo izliva potok Nerajščica. Pri Dragatušu ima pritok Podturnščice in v Črnomlju pritok Dobljčice. Lahinja ima še v kraju Gradec pritok Krupe (neslavno znana po onesnaženju s PCB), nato pa se pri Primostku izliva v Kolpo. Za vse vodotoke je značilen nizek padec in visoka izvijuganost. Za Dobljčico in Lahinjo so značilni številni okljuki in velja, da so okljuki najbolj zaviti tam, kjer teče voda v nasprotni smeri vpada kameninskih skladov, ker teži reka v smer vpada. (povzeto po Plut, 1988)

Na belokranjskih rekah je več stalnih merilnih postaj za meritev vodostaja, pretoka in temperature vode. Na reki Lahinji je merilna postaja na spodnjem delu toka pri Gradcu pred sotočjem z reko Krupo. Po

podatkih iz opazovanj med leti 1971 in 2000 na reki Lahinji je srednji pretok opazovanega obdobja 5,58 m<sup>3</sup>/s. Na Kolpi so tri merilne postaje: Petrina (25,83 m<sup>3</sup>/s), Radenci II (50,73 m<sup>3</sup>/s) in Metlika (70,98 m<sup>3</sup>/s). (Bat in sod., 2008) S spletne strani Arso (vir: ARSO. Arhiv hidroloških podatkov), kjer imajo arhiv meritev za vse merilne postaje v Sloveniji, sem pridobil podatke za Krupo. Na Krupi se je opravljalo meritve na več merilnih mestih, vendar se na nobenem ne opravljajo redne meritve. Najdaljše obdobje je bilo na merilnem mestu Dolenjce (Krupa), kjer so bile meritve opravljene med leti 1956 in 1979 z vmesnimi prekinitvami. V tem obdobju je bil povprečni pretok 4,2 m<sup>3</sup>/s (vir: Arhiv hidroloških podatkov – dnevni podatki). Največji pretok ima reka Kolpa, Krupa in Lahinja pa imata podoben pretok okrog 5 m<sup>3</sup>/s. Na reki Dobljici pa ni merilne postaje pretoka. Za delo diplomske naloge sta pomembni reki Lahinja in Dobljica, v kateri se izteka odpadna voda iz razbremenilnih naprav kanalizacijskega sistema v Črnomlju. V Lahinjo je tudi izpeljan iztok iz centralne čistilne naprave v Vojni vasi.

### 2.2.1 Kakovost površinskih voda v Beli krajini

V Sloveniji se opravlja monitoring stanja površinskih in podzemnih voda, kateri služi za oceno kemijskega in ekološkega stanja površinskih voda ter količinskega in kemijskega stanja podzemnih voda. Rezultati meritev predstavljajo izhodišča za pripravo ukrepov, na osnovi katerih naj bi vodna telesa površinskih in podzemnih voda do leta 2015 dosegla dobro stanje. Prve ocene stanja slovenskih voda so bile izdelane leta 2009 na podlagi monitoringa, ki je bil opravljen v obdobju 2006–2008 (vir: Ocena ekološkega in kemijskega stanja voda v Sloveniji za obdobje 2006 do 2008). Naslednje obdobje je bilo med leti 2008 in 2010 (vir: Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010). Zdaj pa se opravlja monitoring na podlagi Programa monitoringa stanja voda za obdobje 2010–2015 (vir: Program monitoringa stanja voda za obdobje 2010–2015). Ministrstvo za okolje in prostor še pripravlja poročilo za zadnje obdobje meritev. V tem diplomskem delu bom uporabil podatke, pridobljene z monitoringom v obdobjih 2006–2008 in 2008–10. V Beli krajini se monitoring opravlja na Kolpi (merilna mesta Osilnica, Radenci in Radoviči pri Metliki), Lahinji (merilno mesto Geršiči) in Krupi (merilno mesto Klošter). Na reki Dobljici pa se monitoringa ne opravlja.

Vse tri reke so na vseh merilnih mestih v opazovanem obdobju 2006–2008 in 2008–10 dosegle dobro kemijsko stanje. Ocena kemijskega stanja rek predstavlja obremenjenost rek s prednostnimi snovmi, za katere so na območjih držav Evropske skupnosti postavljeni enotni okoljski standardi kakovosti. V vodno okolje se odvaja več tisoč različnih kemikalij. Evropska unija je določila 33 snovi oz. skupin snovi kot prednostne snovi. Od tega je 13 snovi zaradi visoke obstojnosti, bioakumulacije in strupenosti identificiranih kot prednostno nevarne snovi (npr. kadmij, živo srebro, endosulfan, nonilfenol, ...). Države članice morajo z ukrepi zagotoviti, da se postopoma zmanjša onesnaževanje s prednostnimi snovmi in da se ustavi ali postopno odpravi emisije, odvajanje in uhajanje prednostno nevarnih snovi (Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010, str. 2). Okoljske standarde kakovosti (v nadaljevanju

OKS) za snovi s seznama določa Direktiva 2008/105/ES o okoljskih standardih kakovosti, ki je prenesena v slovenski pravni red z Uredbo o stanju površinskih voda. OKS so določeni kot letna povprečna vrednost parametra kemijskega stanja v vodi (v uredbi označeno: LP-OSK) in kot največja dovoljena koncentracija parametra kemijskega stanja v vodi (v uredbi označeno: NDK-OSK). Vodno telo dosega dobro kemijsko stanje, če nobena letna povprečna vrednost parametra kemijskega stanja, izračunana kot aritmetična srednja vrednost koncentracij, izmerjenih v različnih časovnih obdobjih leta, ne presega LP-OSK in če največja izmerjena vrednost parametra kemijskega stanja ni večja od NDK-OSK. Okoljski standardi kakovosti za določanje kemijskega stanja rek so določeni v prilogi 2 uredbe o stanju površinskih voda in prilagam parametre v prilogi A te diplomske naloge (vir: Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010).

Na merilnih mestih se poleg kemijskega stanja rek izvaja tudi monitoring za ekološko stanje rek. Ekološko stanje rek je izraz kakovosti in strukture delovanja ekosistemov, povezanih s površinskimi vodami. Za vrednotenje stanja so uporabljeni kriteriji iz uredbe o stanju površinskih voda. Vodotoki so po ekološkem stanju razvrščeni v pet kakovostnih razredov, in sicer zelo dobro, dobro, zmerno, slabo in zelo slabo. Ocenjevanje poteka na osnovi:

- bioloških elementov kakovosti (bentoški nevretenčarji, fitobentos in makrofiti),
- kemijskih in fizikalno-kemijskih elementov, ki podpirajo biološke elemente kakovosti (splošni fizikalno-kemijski elementi, posebna onesnaževala) in
- hidromorfoloških elementov, ki podpirajo biološke elemente kakovosti.

Ocene kakovosti vodotoka se določi na način »slabši določi stanje«, to pomeni, da je končna ocena ekološkega stanja najslabša ocena, ki je določena s posameznim elementom kakovosti. Ocenjevanje poteka na določanju sprememb vrednosti fizikalno-kemijskih, bioloških in hidromorfoloških elementov glede na referenčno stanje. To je stanje povsem ali skoraj brez človekovega vpliva. Poleg zgoraj naštetih modulih za ovrednotenje stanja se določi stanje tudi na podlagi prisotnosti posebnih onesnaževal (vir: Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010).

Kolpa je v opazovanem obdobju 2006/2008 dosegla naslednje ocene:

- vodno telo (v nadaljevanju VT) Osilnica-Petrina je dosegla zelo dobro ekološko stanje,
- na VT Petrina-Primostek je dosegla zmerno stanje zaradi trofičnosti (povečana vsebnost hranil) in
- na VT Pimostek-Kamanje dobro ekološko stanje.

Lahinja je v opazovanem obdobju dosegla dobro ekološko stanje (nizka raven zaupanja), Krupa pa je bila ocenjena z zmernim stanjem zaradi vpliva posebnih onesnaževal, in sicer zaradi PCB-ja (vir: Ocena ekološkega in kemijskega stanja voda v Sloveniji za obdobje 2006 do 2008).

V opazovanem obdobju 2008–2010 so bile belokranjske reke, prav tako kot v predhodnem obdobju, ocenjene z dobrim kemijskim stanjem in bile ocenjene z naslednjim ekološkim stanjem (vir: Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010):

- Kolpa (meritve opravljene samo na merilni postaji Radenci): dobro ekološko stanje,
- Lahinja: dobro stanje,
- Krupa: zmerno stanje zaradi previsoke koncentracije PCB-ja.

### 2.2.1.1 Stanje na prispevnem območju

Na obravnavanem območju kanalizacijskega sistema v Kanižarici in Črnomlju so iztoki iz razbremenilnih naprav in tudi iz ČN speljani v reki, ki tečeta skozi naselji. Čez Kanižarico teče Dobljica, v katero je izpeljan iztok iz ČN Kanižarica in iztok iz razbremenilnika. Kanalizacija v Kanižarici je v večini speljana po ločenem sistemu, le območje blokovskega naselja je opremljeno z mešanim KS. Dobljica je tako pri naselju Kanižarica obremenjena z iztokom iz ČN z zmogljivostjo 1000 PE ter del območja, ki je opremljeno z mešanim sistemom, obremenjuje Dobljico s padavinsko odpadno vodo, ki se v času padavin preko razbremenilnika preliva v odvodnik.

V mestu Črnomelj se Dobljica izliva v Lahinjo. Odpadna voda iz Črnomlja tako obremenjuje Dobljico in Lahinjo. KS v Črnomlju je po večini grajen v mešanem sistemu. Iz tega razloga ima več razbremenilnikov, preko katerih se v času padavin mešana odpadna voda preliva v Dobljico ter Lahinjo in tako obremenjuje odvodnika. Kanalizacijski sistem se zaključuje s ČN z zmogljivostjo 9600 PE.

Monitoring stanja voda se izvaja le na Lahinji, in sicer pri kraju Geršiči, ki je oddaljen od Črnomlja približno 7 km. Z opravljanjem monitoringa tako ni zaznano morebitno povečano onesnaženje odvodnika v času padavin, kadar se odvodnik obremenjuje s prelito mešano odpadno vodo. Prav tako se na iztokih iz razbremenilnih naprav ne opravlja monitoringa. Redno se opravlja monitoring le na ČN Vojna vas.

## 2.3 Kanalizacijski sistem Črnomelj

V preteklosti se ni zbiralo podatkov o kanalizacijskem sistemu, zato so podatki precej skopi. Po podatkih, ki jih je posredovalo Javno podjetje Komunala Črnomelj, se je KS začel graditi že leta 1950. Do leta 1965 so zgradili 7.271 m mešanega KS, le manjši del (približno 70 m) je bil zgrajen v ločeni izvedbi. V zadnjem obdobju (po letu 2000) se večinoma gradi ločeni sistem. V spodnji preglednici vidimo, da so v Črnomlju po letu 2000 zgradili 3.000 m ločenega sistema in 950 m mešanega KS. Ločen sistem je zgrajen na območju novega naselja Butorajske ceste. Odtok komunalne vode s tega območja se priključi na mešan KS. Padavinski odtok pa se odvaja v Lahinjo.

Drugo območje z ločenim sistemom (zgrajen je samo kanal za sušni odtok, padavinske vode se ne odvaja) je na območju Vojne vasi in se nahaja v neposredni bližini CČN Vojna vas.

Tretje območje z ločenim sistemom (kanal za sušni odtok in kanal za padavinski odtok) je na območju Majerja. Tu je prisotna tudi industrija. V preteklosti je tu delovala klavnica, vendar ta ne obratuje več. Za območje Majerja je značilna manjša obrt, prav tako je na tem območju večja površina namenjena parkiriščem. Padavinski odtok je po meteornem kanalu speljan v Lahinjo. Trenutno se tudi kanal za komunalno odpadno vodo odvaja neposredno (brez čiščenja) v Lahinjo. Načrtovana pa je oz. se že izvaja predvidena priključitev na obstoječi KS, in sicer imajo namen zgraditi most čez reko Lahinjo ter pod mostom speljati kanalizacijsko cev. Na ta način se izognemo tlačnemu vodu, saj je tukaj območje omejeno z reko Lahinjo, ki predstavlja premostitveno oviro. Projekt je občina Črnomelj (investitor) že začela. Zgradili so že revizijske jaške. Za izgradnjo dodatnih cevi in za izgradnjo mostu pa je zmanjkalo finančnih sredstev.

Trenutno (leto 2015) je v izgradnji mešani sistem na območju Kočevja (območje pri bencinski črpalki), ki se bo priključil na obstoječi KS. Dodatno se bo priključilo okoli 150 prebivalcev.

Preglednica 2: Leto izgradnje in dolžina zgrajenega kanalizacijskega sistema (Planinc, 2015)

MEDIJ	LETO	SKUPNA DOLŽINA (m)
fekalni (sušni odtok)	od 0 do 1965	68,99
fekalni (sušni odtok)	od 1992 do 2000	1193,63
fekalni (sušni odtok)	od 2000 do 2014	3034,57
mešani	od 0 do 1965	6117,01
mešani	od 1965 do 1983	7271,57
mešani	od 1983 do 1992	2570,84
mešani	od 1992 do 2000	1716,03
mešani	od 2000 do 2014	950,9
mešani razbremenjeni	od 0 do 1965	8,02
mešani razbremenjeni	od 1983 do 1992	192,32
mešani razbremenjeni	od 1992 do 2000	17,73
mešani razbremenjeni	od 2000 do 2014	57,41
meteorni (padavinski odtok)	od 0 do 1965	491,84
meteorni (padavinski odtok)	od 1965 do 1983	502,55
meteorni (padavinski odtok)	od 1983 do 1992	97,27
meteorni (padavinski odtok)	od 1992 do 2000	155,4
meteorni (padavinski odtok)	od 2000 do 2014	2394,77

Na kanalizacijskem sistemu je zgrajenih 5 razbremenilnikov, 2 zadrževalna bazena in 3 črpališča. Podatkov o prostornini zadrževalnega bazena v komunalnem podjetju ne hranijo.

### 3. PRVI VAL ONESNAŽENJA

Dež, ki v obliki padavin pade na urbanizirano območje, v času od stika s tlemi do odtoka v bližnji vodotok odteka skozi zapletene hidrološke in hidravlične sisteme. Ko se pomika oz. odteka po območju, se združuje in se nenehno povečuje v vse večje odtoke. Tok poteka po različnih površinah, kot so ceste, parkirišča, igrišča, stanovanjska naselja, industrializirana območja idr., na katerih ljudje opravljamo različne aktivnosti. Pri tem voda s površine izpira onesnažene delce. Ta onesnažena voda po KS zelo hitro doseže odvodnik in ga zelo obremeni (Stenstrom in Kayhanian, 2005). V preteklosti so se inženirji ukvarjali samo z odtokom. Pri tem so skušali, kar se da hitro, vodo speljati v odvodnik. V zadnjem času pa se stroka ukvarja tudi s problemom ohranjanja kvalitete odvodnika, saj se na začetku odtoka pojavi odtok z veliko koncentracijo onesnažil. Za ohranjanje kvalitete odvodnika je bistveno, da se ta zelo onesnaženi del odtoka zadrži na zadrževalnem bazenu in se kasneje, ko se pretok normalizira, odvede na ČN. Problematiko zadrževanja odpadnih voda na mešanem kanalizacijskem sistemu obravnavajo nemške smernice ATV-128E (ATV-A 128E, 1992). Pri projektiranju kanalizacijskih sistemov si stroka pomaga z različnimi simulacijskimi modeli. Eden izmed njih je Storm Water Management Model (SWMM), ki je bil razvit leta 1971. Od takrat je deležen nenehnih izboljšav. Trenutno je na voljo verzija EPA SWMM 5.1 (leto 2015). Program je podrobneje predstavljen v petem poglavju.

#### 3.1 Pregled prvega vala onesnaženja

Ko govorimo o prvem valu onesnaženja, po navadi predpostavimo, da se pojavi ob padavinskem dogodku. Razložimo ga lahko kot koncentracijski prvi val ali kot masni prvi val. O koncentracijskem prvem valu govorimo, kadar ima začetni odtok visoko koncentracijo onesnažil v primerjavi s kasnejšim odtokom. Masni prvi val je rezultat zmnožka koncentracije z deležem celotnega odtočnega volumna. Je odvisen od količine odtoka in se pojavi, kadar sta koncentracija in začetni odtok (konica odtoka) zelo velika v primerjavi z emisijskim masnim deležem kasnejšega odtoka. V strokovni literaturi se večinoma srečamo s koncentracijskim prvim valom, medtem ko je masni prvi val redkokdaj ovrednoten. V znanstveno-raziskovalni študiji, opravljeni na Univerzi V Kaliforniji, je imelo večino parametrov, zajetih v monitoringu, višje koncentracije na začetku odtoka. Masni prvi val ni bil tako pogosto merjen in tudi meritve so bile opravljene z nižjo stopnjo. Razlog je v tem, da ima odtok na začetku manjšo vrednost od odtoka v kasnejšem delu padavinskega odtoka. Ali drugače, delež masne emisije je v srednjem delu padavinskega odtoka višji, četudi imamo v tem delu odtoka manjšo koncentracijo onesnažil. Imamo pa večji volumenski odtok, ki nam povzroči večji emisijski masni delež (volumen krat koncentracija). (odstavek povzet po Stenstrom in Kayhanian, 2005)



Koncept prvega čistilnega vala je lahko definiran v povezavi s sezonskimi padavinami oz. s padavinami, ki nastopijo po daljšem sušnem obdobju. V obdobju suše se onesnaževala nakopičijo in ob nastopu deževnega obdobja nam prvi deževni dogodek po daljši suši povzroči zelo obremenjen odtok. Prva nevihta izpere vsa dotedanja nakopičena onesnaževala in takšen odtok zelo obremeni odvodnik. Ta problem je imenovan kot »sezonski čistilni val«.

Oba termina (prvi val in sezonski prvi val) se uporabljata za kateri koli parameter, kot so kovine, drobni delci, toksične snovi idr. Za vse parametre se lahko uporabi koncentracijski ali masni prvi val. V raziskovalni nalogi, opravljeni na Univerzi v Kaliforniji (Stenstrom, Kayhanian, 2005), sta termina uporabljena na naslednji način:

- Prvi val: odtok večjega masnega deleža ali visoke koncentracije onesnažil v začetni fazi odtoka v primerjavi z poznejšim odtokom. Termin se lahko uporabi za vse vrste onesnaževal.
- Sezonski prvi val: odtok večjega masnega deleža ali višje koncentracije onesnažil ob pojavu prvega padavinskega dogodka (nevihta) po daljšem sušnem obdobju v primerjavi z poznejšimi padavinskimi dogodki v sezoni.

Termin »prvi val« sta najprej predstavila leta 1970 avtorja Sartor in Boyd (1972). Prvi in splošni koncept prvega vala se nanaša na odstranitev večjega deleža mase ali koncentracije onesnažil v začetnem delu padavinskega dogodka. Predpostavljalo se je, da je to rezultat hitrega izpiranja onesnažil, ki se akumulira v času sušnih dni na neprepustnih površinah. V splošni obliki na prvi val vpliva veliko parametrov, vključno s karakteristikami padavinskega dogodka, velikostjo in karakteristikami dreniranega območja, lastnostmi onesnažil ter z dolžino oz. številom predhodno suhih dni (Bertrand-Krajewski in sod., 1998, Deletic, 1998, citirano po Sharifi in sod., 2011: 2025).

Geiger (1987) (Geiger 1987, citirano po Kim in sod., 2005: 2) je prvi val definiral tako, da je graf normalizirane kumulativne mase v odnosu s kumulativnim volumnom večji od 45 % (slika 7). Deletic (1998) je uporabil standardne statistične metode, ki vključujejo mnogokraten regresijski model, in je prvi val omejil s prvimi 20 % celotnega odtoka. Avtor Bertrand-Krajewski (1998) pa je prvi val definiral tako, da se v začetnih 30 % celotnega odtoka izloči 80 % mase celotnega nakopičenega onesnaženja. (Bertrand-Krajewski in sod., 1998, Deletic, 1998, citirano po Kim in sod., 2005: 2)

### **3.1.1 Vplivni parametri na kakovost prvega vala**

Na prvi val vpliva več parametrov. V strokovni literaturi velikokrat zasledimo, da avtor oz. raziskovalec pri obravnavi in razlaganju večjega prispevnega območja zaključi, da ni prišlo do pojava prvega čistilnega vala. Takšen zaključek je zmoten in naiven, saj vemo, da je na velikih prispevnih območjih dotočni čas različen. Odtok iz najbolj oddaljene točke prepotuje večjo razdaljo do iztoka v odvodnik.

Pri tem prihaja do mešanja z odtoki iz pod-območij, ki so bližje odtočnemu kanalu. Takrat se prvi čistilni val iz bolj oddaljenega območja premeša z odtokom iz območja, pri katerem je že konec prvega vala. Tako je prvi val iz enega pod-območja premešan z odtokom iz drugega pod-območja. Posledično so na iztoku manjše koncentracije in se z monitoringom ne zazna izrazitega vala. (Stenstrom in Kayhanian, 2005).

Drugi zelo vplivni parameter je odstotek skupne neprepustne površine glede na celotno prispevno območje. Območja z veliko ali celo z večinoma neprepustnimi površinami zagotovijo pogoje, da se lahko razvijejo velike hitrosti odtočne vode. Posledično se nakopičena onesnaževala hitreje izperejo in se transportirajo v kanalizacijski sistem. Tudi odtok se pojavi skoraj takoj po začetku padavinskega dogodka. Na območjih, kjer imamo več neprepustnih površin, na katerih se hitro po padavinskem dogodku pojavi odtok, je tudi več možnosti za prvi val. Na območjih s krajšimi dotočnimi časi je prav tako večja verjetnost pojava prvega vala.

Velika verjetnost pojava prvega vala se pojavi pri odtoku s cest in avtocest. Značilno je, da so prispevna območja na cestah večinoma neprepustna (več kot 95 %) in majhnih površin (Stenstrom in Kayhanian, 2005). Ugotovitve študije »karakterizacija fenomena prvega vala« (Stenstrom in Kayhanian, 2005) so, da se pri odtoku z avtocest pri prvem nalivu odstrani 30–50 % nakopičenih onesnaževal v začetnem 10–20 % odtočnem volumnu. To pomeni, da se pri obravnavi prvih 20 % volumenskega odtoka lahko odstrani tudi do 50 % vseh onesnažil. Na drugi strani se z obravnavo 20 % celotnega padavinskega dogodka odstrani le 20 % celotne mase onesnažil.

### 3.2 Srednja koncentracijska vrednost onesnažil (EMC)

Srednja koncentracijska vrednost ali EMC je definirana kot kvocient med skupno maso onesnažil ( $M$ ) in celotnim odtočnim volumnom ( $V$ ) padavinskega dogodka.

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int C(t) * Q(t) dt}{\int Q(t) dt} \quad (3.2)$$

V zgornji enačbi (3.2) je  $C(t)$  funkcija realnih vrednosti (vrednosti v enačbi so realne številke) v odvisnosti od časa, ki predstavlja koncentracijsko krivuljo onesnaževala.  $Q(t)$  je prav tako funkcija realnih vrednosti v odvisnosti od časa, predstavlja krivuljo odtoka v odvisnosti od padavinskega dogodka oz. naliva. Toda v praktičnih primerih funkciji  $C(t)$  in  $Q(t)$  nista integrirani vrednosti, ampak sta rezultat diskretnih opravljenih meritev. Pri analizi imamo tako samo vrednosti, ki smo jih dobili iz meritev, nimamo pa podatkov v času med dvema meritvama. Z večjim številom oz. z bolj pogostimi meritvami, zlasti na začetku padavinskega dogodka v času pojava prvega vala, zelo povečamo

natančnost. Predpostavimo, da meritve koncentracije onesnažil in meritve odtokov opravljamo v enakih časovnih intervalih in nato lahko EMC določimo kot

$$EMC = \frac{\sum_i c_i * q_i}{\sum_i q_i} \quad (3.3)$$

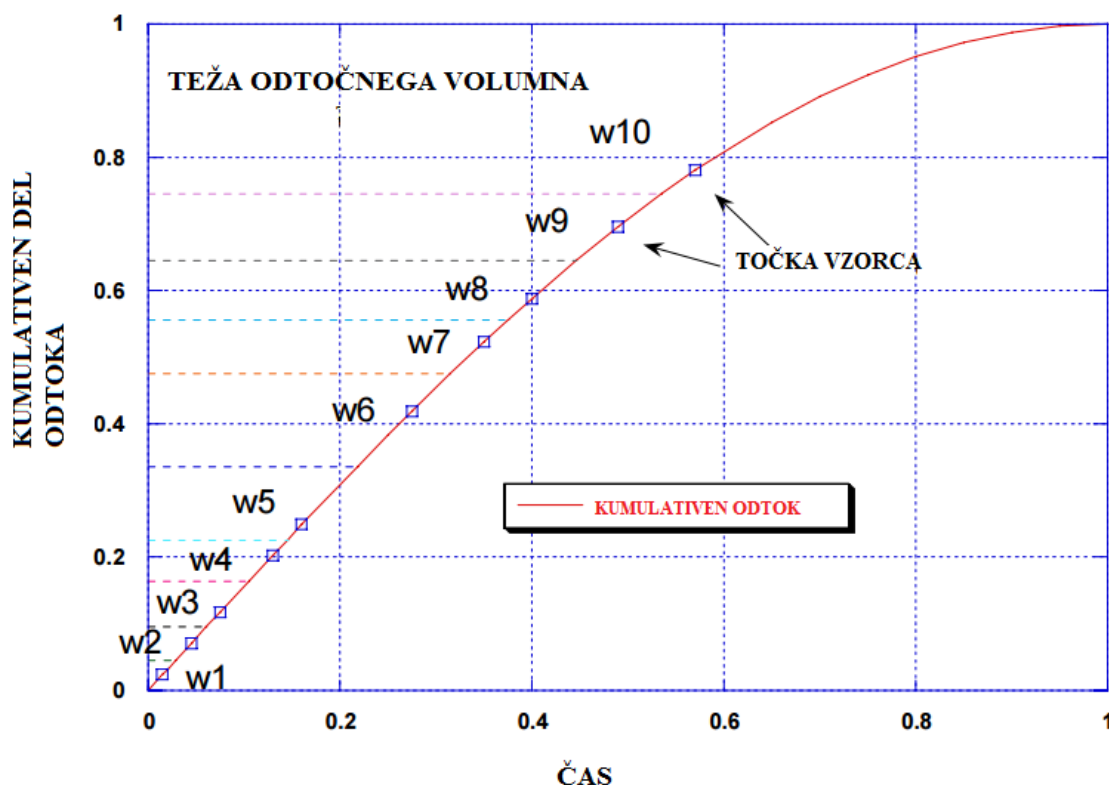
kjer sta  $c_i$  in  $q_i$  vrednosti, pridobljeni z meritvami v posameznem intervalu. Če privzamemo vrednosti odtoka kot vrednosti v obliki teže, se zgornja enačba (3.3) oblikuje v naslednjo enačbo

$$EMC = \sum_i w_i c_i \quad (3.4)$$

$$w_i = \frac{q_i}{\sum_i q_i} \quad (3.5)$$

Pri prejšnjih dveh enačbah je  $w_i$  masni tok in  $\sum_{i=1}^n = 1$ . V praktičnih primerih je navadno tako, da imamo na razpolago več meritev odtoka in manj meritev koncentracij onesnaženosti. Razlog je v tem, da meritve koncentracij zahtevajo več dela, časa, treba je opraviti laboratorijsko analizo itd. Posledica vsega tega je, da je takšna meritev tudi dražja. Medtem pa je opravljanje meritev pretokov preprostejše, velikokrat tudi avtomatizirano. Pri večini primerov mora biti teža preračunana za vsako posamezno meritev koncentracije onesnažil v enačbi (3.4). Za prilagoditev teže je smiselno uporabiti odtočni volumen. Spodaj je prikazan pristop, ki razdeli odtočni volumen iz srednje točke (ali vrednosti) med dvema zaporednima meritvama. V spodnji enačbi (3.6) je  $V_i$  odvisen od odtočnega volumna v  $i$ -ti meritvi koncentracije. Takšna metoda je uporabna tudi v primeru, ko so koraki med dvema meritvama različni (Stenstrom in Kayhanian, 2005).

$$w_i = \frac{V_i}{\sum_i V_i} \quad (3.6)$$



Slika 2: primer določanje teže odtoka za EMC kalkulacije

### 3.2.1 Model koncentracije onesnažil

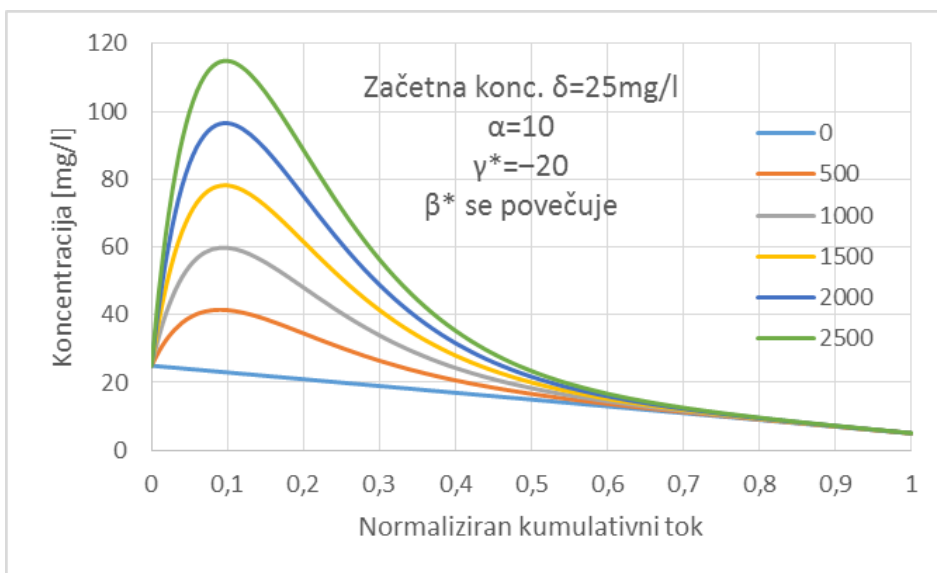
EMC-ja ne moremo določiti s preprosto metodo povprečnih vrednosti vseh opravljenih meritev zaradi kvalitativnih in kvantitativnih lastnosti odtoka, ki so slučajne narave (zavzemajo slučajne vrednosti). Vzrok temu so spremenljive intenzitete ter velikosti padavin, napake, ki jih naredimo v času izvajanja poskusa, in tudi zaradi pomanjkanja števila meritev (Kim in sod.,2005).

Posamezno onesnažilo ima na prispevnem območju začetno maso, ki obstaja že pred padavinskim dogodkom, in preostalo maso, ki ostane po končanem padavinskem dogodku. Količina izpranega onesnažila je enaka razliki začetne in preostale mase. Kopičenje onesnažila je odvisno od predhodnega števila suhih dni, števila dnevnega prometa in drugih virov (Kim in sod., 2005). Za uporabo modela kot orodja za napovedovanje je nujno treba predvideti celotni odtočni volumen, ki mora temeljiti bodisi na vremenski napovedi bodisi na drugih informacijah (Panjan in Krzyk, 2012).

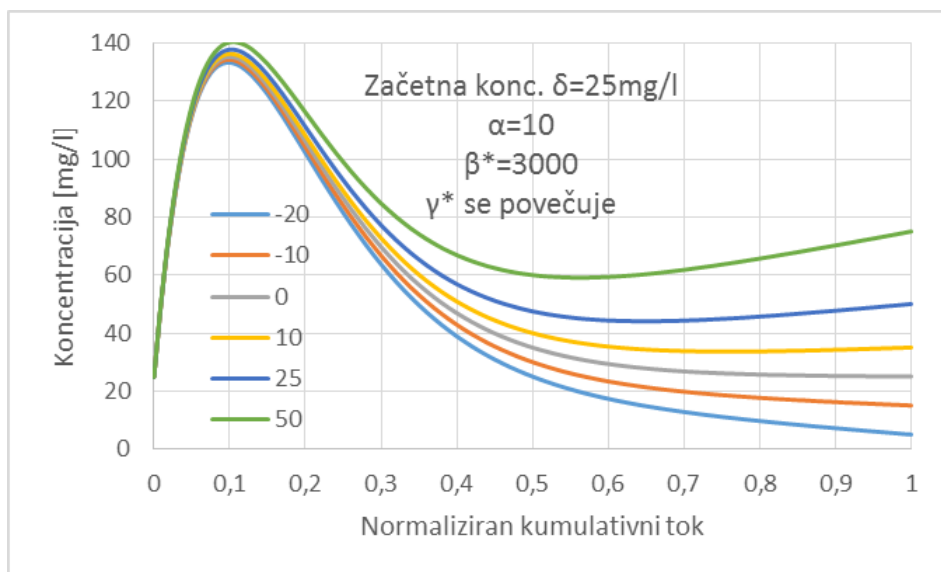
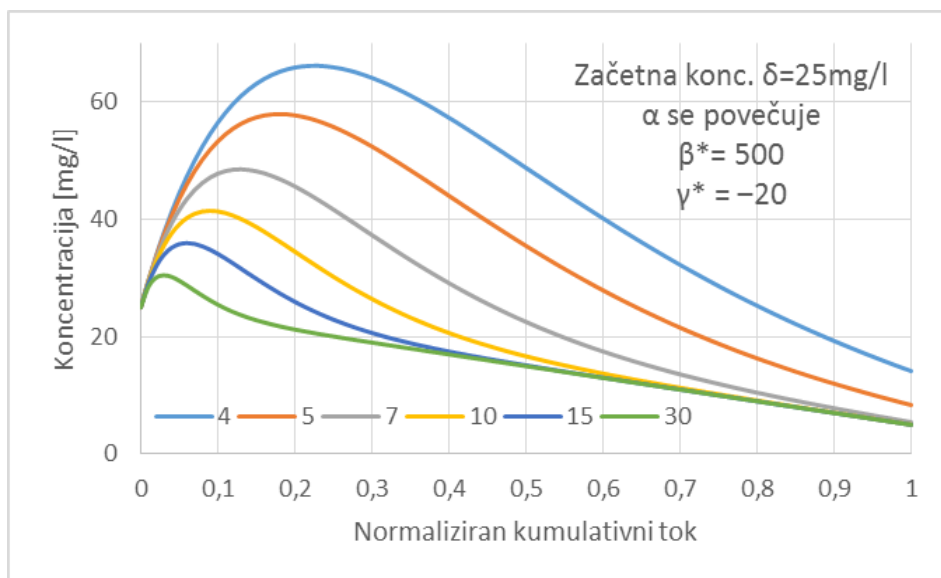
$$C(t) = C_{nk} = \delta + V_{nRu(t)} \cdot \{\gamma^* + \beta^* \cdot Exp \cdot [-\alpha \cdot V_{nRu(t)}]\} \quad (3.7)$$

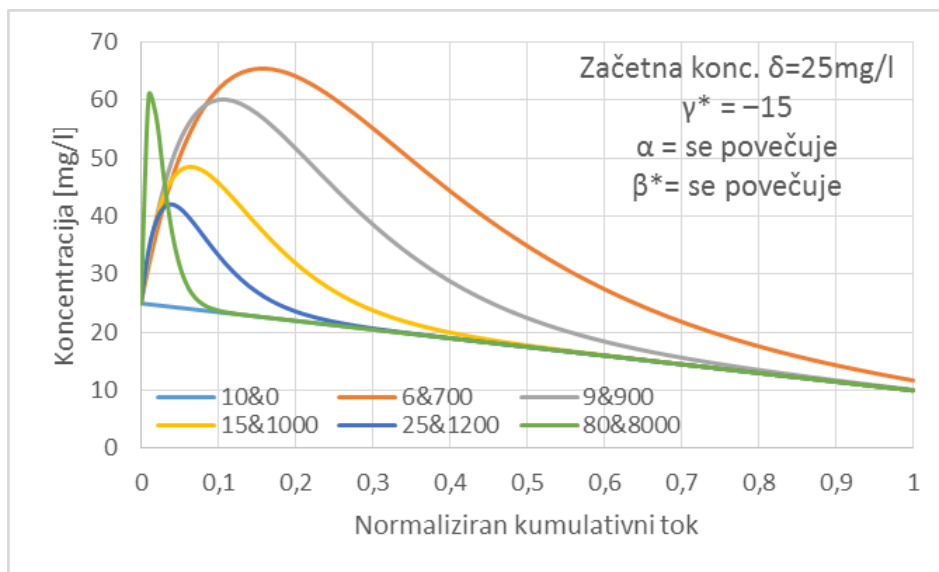
$$V_{nRu}(t) \text{ je normaliziran komulativni volumen; } 0 \leq V_{nRu}(t) \leq 1 \quad (3.8)$$

Enačba (3.8) ima štiri parametre, ki različno vplivajo na model (glej slike 2, 3, 4 in 5). Povečevanje  $\beta^*$  nam poveča odtočno konico modela ter je pri  $\beta^*=0$  linearen. Povečevanje parametra  $\gamma^*$  poveča končen preostanek onesnažil. Povečanje  $\alpha$  pa poveča delež in maso odtoka. Model je uporaben za kalkulacijo EMC-ja po končanem padavinskem dogodku. Omogoča določevanje koncentracije v vsaki točki v odvisnosti od kumulativnega odtoka in se lahko uporabi namesto diskretnih vrednosti. Druga možnost je za določevanje kopičenja onesnažil in EMC pred padavinskim dogodkom. Dolžina padavinskega dogodka je različna med posameznimi dogodki, zato je težko predvideti koncentracije v odvisnosti od časa. Ta model (enačba 3.7 in 3.8) se izogne temu problemu tako, da namesto časa uporablja normaliziran kumulativni odtok (Kim in sod., 2005). Vsi podatki za slike 3, 4, 5 in 6 so podani v PRILOGI B. V prilogi B so prikazane vrednosti, ki jih funkcija  $C(t)$  zavzame pri različnih vrednostih za parametre  $\alpha$ ,  $\beta^*$  in  $\gamma^*$  v odvisnosti od dela volumenskega odtoka.



Slika 3: Občutljivostna analiza,  $\beta^*$  se spreminja

Slika 4: Občutljivostna analiza,  $\gamma^*$  se spreminjaSlika 5: Občutljivostna analiza,  $\alpha$  se spreminja



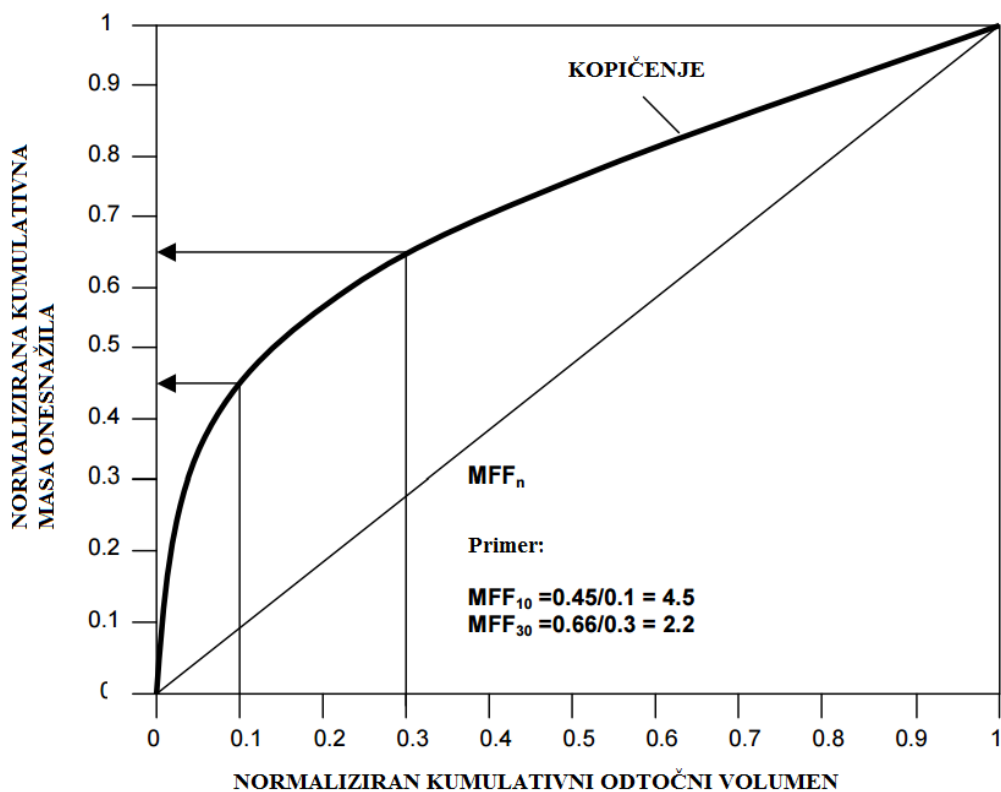
Slika 6: Občutljivostna analiza,  $\alpha$  &  $\beta^*$  se spreminjata

### 3.3 Masni prvi val

V študiji (Stenstrom, 2005) so v želji po ovrednotenju prvega vala uvedli nov parameter. Poimenovali so ga masno razmerje prvega vala (angl. MFF- mass first flush ratio). Razmerje (MFF) določa maso odtočnih onesnaževal, in sicer kot funkcijo razvoja padavinskega dogodka, kot je prikazano v normaliziranem odtočnem volumnu (slika 7). Enačba je definirana sledeče:

$$MFF_n = \frac{\int_0^{t_1} C(t)Q(t)dt}{\frac{M}{\int_0^{t_1} Q(t)dt}} \quad (3.7)$$

V enačbi je MFF (masni prvi val) razmerje na točki kumulativnega odtočnega volumna, ki ustreza odstotku celotnega odtočnega volumna ( $n\%$ ), in  $t$  je čas, potreben za dosego  $n\%$  (čas od pojava odtoka do merjene točke) (Hongbing in sod., 2009). Enačba za  $MFF_n$  je brez dimenzijska, indeks nam predstavlja točko v padavinskem dogodku in se ujema z odtočnim volumnom odtoka ter zavzema vrednosti od 0–100 %. Spremenljivke v enačbi (3.7) imajo enak pomen kot v enačbi za EMC (3.2).  $M$  predstavlja celotno maso izpranega onesnaževala,  $V$  je skupni odtočni volumen,  $C(t)$  in  $Q(t)$  pa sta vrednosti za koncentracijo onesnažil in za odtočni volumen v odvisnosti od časa. Po definicije je MFF na začetku padavinskega dogodka enak 0 in ob koncu je enak 1. Če se pri izračunu pokažejo rezultati večji od 1, pomeni, da so bila onesnažila odstranjena hitreje od odtočnega volumna (Stenstrom, 2005).



Slika 7: Primer grafa kopičenja MFF<sub>n</sub> (Stenstrom, 2005: str 26).

Na sliki 7 je prikazan koncept navideznega padavinskega dogodka. Normalizirana masna emisija onesnaževala je funkcija normaliziranega odtočnega volumna. MFF je lahko prekalkuliran na vsaki točki, in sicer kot kvocient med ordinatno in abscisno osjo. Iz slike 7 je razvidno, da je bilo 45 % mase onesnažila izpranega v prvih 10 % volumna odtoka ter 66 % mase onesnažil v prvih 20 % odtoka. Za dani primer je  $MFF_{10}=4,5$  in  $MFF_{30}=2,2$ . Iz razmerja se preračuna odstotek odtoka onesnažil v poljubni točki, kjer je indeks pomnožen z razmerjem MFF. Ali v številkah  $10 * 4,5 = 45 \%$  in  $30 * 2,2 = 66 \%$ .

### 3.4 Onesnaževala v odpadni vodi

Poleg točkovnega vira onesnaženja (gospodinjstva in industrijska odpadna voda) nam odvodnik obremenjuje tudi ne-točkovni vir onesnaženja. Velik vpliv na ne-točkovno onesnaženje ima odtok s cest in avtocest ter odtok iz različnih vrst rabe prostora (stanovanjski del, trgovska središča, parkirišča, industrijska območja, ...)

Odpadna voda iz urbaniziranih območij (ne-točkovni vir) s seboj odnaša veliko težkih kovin. Posledično je največji vir onesnaževanja lokalnih odvodnikov s kovinami prav padavinska odpadna voda s cest in drugih prispevnih površin (Characklis and Wiesner, 1997). Prisotne kovine antropogenega izvora so arzen (As), svinec (Pb), natrij (Na), cink (Zn), barij (Ba), kadmij (Cd), železo (Fe) in krom (Cr). Poleg



našteti kovin so prisotni še drugi elementi, ki so naravnega izvora, in sicer aluminij (Al), kalcij (Ca), magnezij (Mg), stroncij (Sr), živo srebro (Hg) in mangan (Mn) (Zartman in sod., 2001). Viri kovinskih delcev so prav tako v tekoči kot v trdi obliki. V urbanem odtoku imajo kovine organsko osnovo, in sicer nastajajo iz ostankov odpadkov gum, delcev, ki nastanejo z obrabo cestišč (obrus), zavornih oblog, velik vir pa je prah iz izpušnih sistemov (Roger in sod., 1998). (Kang, 2005)

Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) so organskega izvora in so po navadi prisotni v povezavi z drugimi onesnaževali. Njihov izvor so odpadki gum, obrus asfaltne površine, izpušni sistemi ter razna olja in maziva. Prav tako je velik vir atmosfersko nalaganje. Urbani odtok je velik distributer dušika in fosforja.

Avtorja Nadler in Meißer (Nadler in Meißer, 2001) sta v nemškem mestu Augsburg raziskovala količino kemijskih elementov v padavinski in odpadni vodi s cest. V preglednici 3 so prikazane srednje vrednosti za posamezen parameter. Dodal sem parametre, ki so določeni v slovenski zakonodaji. Siva polja označujejo elemente, ki jih slovenska zakonodaja ne predpisuje. Parametri so določeni v Uredbi o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (Uradni list RS, št. 47/05) (v nadaljevanju uredba [1]) in v Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12 in 64/14) (v nadaljevanju uredba [2]). Za padavinsko vodo s cest veljajo parametri iz Uredbe [1] (predzadnji stolpec). Tisti parametri, ki pa jih uredba [1] ne določa, so določeni v uredbi [2] (mejne vrednosti so prikazane v zadnjem stolpcu).

Preglednica 3: Rezultati meritev padavinske vode in vode s cest (Nadler, A. in Meißner, E., 2001: str 628).

Parameter	Enota	Padavinska voda			Odpadna voda s ceste			uredba o pad. vodi s cest v Slo	Mejna vred. v odpadni vodi v SLO za izpuste neposredno ali posredno v vode
		1.Leto	2.Leto	3.Leto	1.Leto	2.Leto	3.Leto		
pH		6,5	7,4	7,5	7,5	7,4	7,3		6,5-9,0
prevodnost	µS/cm	223	60,8	50,5	1290	493	2436		
odfil. del	mg/l	10	5	8,6	176	66	113		
TOC	mg/l	3,8	4,8	3,5	31	23	22		30
DOC	mg/l	2,8	4,1	2,5	8,8	6,4	5,9		5
BPB5	mg/l	2	2	1	4	2	2		25
Klorid	mg/l	46	1,3	2,8	487	131	669	meja strupenosti	
Sulfat	mg/l	5,9	2,6	2,1	139	5,1	5,9		2000 oz.for.
Kalcij	mg/l	9,5	7,5	6,8	57	31	49		
Natrij	mg/l	20	1,4	3,9	295	91	474		

se nadaljuje...

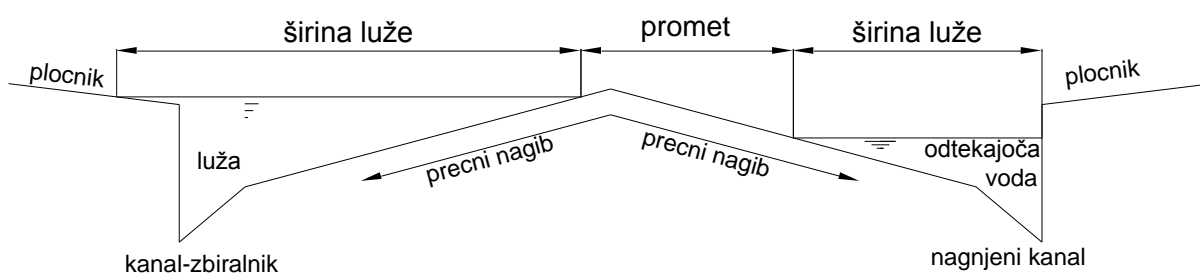
...nadaljevanje Preglednice 3

Svinec	µg/l	5,5	3,7	2,2	26	11	11		500
Kadmij	µg/l	0,18	0,1	0,05	0,5	0,3	0,3	100	25
Krom	µg/l	2,9	2,6	4,4	10	6	8	500	500
Baker	µg/l	–	7,8	5	47	26	31	500	500
Nikelj	µg/l	1,8	1,4	3,3	5	4	6	500	500
Cink	µg/l	102	57	51	480	328	372	2000	2000
Nitrat	mg/l	4,5	7	7,4	8,8	5,5	16		20 oz.f.
Antimon	µg/l	0,7	0,3	0,3	3,5	2,3	1,6		300
Molibden	µg/l	1,2	0,3	0,2	1,5	0,9	0,4		1000
Vanadij	µg/l	0,8	0,3	0,4	6,7	3,7	3,1		500
CH; C9-C20	µg/l	81	67	75	1062	211	1696		
CH; C21-C26	µg/l	142	230	360	1925	601	2118		
PAH	µg/l	0,19	0,05	0,04	2,18	1,11	0,64	0,06	10

Iz preglednice 3 je razvidno, da vsi v analizi opravljeni parametri odpadne vode s ceste zavzemajo višjo vrednost od vrednosti za padavinsko vodo. To je posledica kopičenja onesnažil v času sušnih dni in njihovega izpiranja v času padavin. V zadnja dva stolpca sem dodal predpisane vrednosti v Sloveniji. V predzadnjem stolpcu so vrednosti iz uredbe [1], ki določajo mejne vrednosti emisije snovi v vode in v javno kanalizacijo za padavinsko odpadno vodo, ki se odvaja s cestišča javne ceste. Pregled rezultatov za padavinsko vodo pokaže, da noben parameter ne presega predpisanih vrednosti v uredbi [1]. V zadnjem stolpcu pa imamo mejne vrednosti iz uredbe [2]. Vidimo, da so presežene vrednosti za TOC (celotni organski ogljik) v prvem letu opravljanja meritev.

#### 4. ZADRŽEVALNA KAPACITETA CEST<sup>1</sup>

Sistem za odvodnjavanje cest vsebuje različne elemente za zbiranje, odtok in zadrževanje padavinske vode. Čeprav je naloga odvodnjavanja s cest čim hitrejša odstranitev vode s cestišča (prometna varnost), se velikokrat zgodi, da se na stiku oz. križišču dveh cest pojavi manjše poplavljanje. Pojavi se vprašanje, zakaj se pojavlja poplavljanje? Na urbaniziranih območjih ima geometrijska oblika preseka ceste velik vpliv na odvodnjavanje. Na sliki 8 je prikazan prečni presek ceste. Razvidno je, da prečni presek hitro odvaja padavinsko vodo s pločnika in cestišča. Nato po nagnjenemu kanalu padavinska voda odteka proti cestnim jaškom, preko katerih doseže kanalizacijski sistem, ali pa se prosto odvede po naravni površini.



Slika 8: Prečni presek cestišča (Guo, 2000: str 627).

V Sloveniji je prečni nagib določen v Pravilniku o projektiranju cest (Uradni list RS št. 91-3896/2005:9303, 17. člen). Prečni nagib asfaltne ali cement betonskega vozišča izven naselja je od 2,5 % do 7,0 %, v naselju od 2,5 % do 5,0 % (Uradni list RS št. 91-3896/2005:9303, 17. člen). Anderson (1993) priporoča, da je prečni nagib na cesti, ki ima na obeh straneh pločnik, enak 2.0 %. Kadar je zaradi preprečitve poplavljanja pločnikov potreben večji naklon, Anderson (1993) priporoča nagib do 4 % (Anderson, 1993, citirano po Guo, 2000: 626). Priporočila so nekoliko manjša, kot jih zahteva slovenska zakonodaja. Kljub temu, da prečni nagib cestišča ustvari trikoten kanal ob robu ceste ter poveča odtočno sposobnost in vtočno zmogljivost cestnih jaškov, se na stičišču oz. križišču dveh cest ustvari zbiralnik vode. Temu zadrževanju vode se je potrebno izogniti z vgraditvijo odtočnega jaška (Guo, str. 626).

<sup>1</sup>Besedilo v tem poglavju je povzeto po: Guo, J.C.Y. 2000

Zadrževanje odpadne vode na cesti je navadno posledica povratnega toka ali zamašitve jaška. Iz projektantskega vidika se poplavljanje pojavlja zaradi podcenjevanja količine padavinske vode, ki doseže depresijsko območje. Na nagnjenih cestiščih, kjer ne prihaja do depresivnih območij, se odtok določa z Manningovo enačbo (enačba 5.4.1). Račun z Manningovo enačbo ne upošteva zadrževanje padavinske vode na depresijskih območjih. Avtor (Guo) priporoča uporabo volumenske metode.

#### 4.1 Volumen padavinske zadržane vode na križišču cest

Na urbaniziranih območjih je velikost prispevne površine na posameznem odvodnem jašku med 0,4 in 1,2 hektarja (razdalja med jaški na cesti je 60–120m) (Guo, str. 626). Za prispevna območja takšne površine je volumenska metoda primerna. Za določitev konice pretoka se uporablja racionalna metoda, pri kateri je konica odtoka [ $Q_d$ ] odvisna od odtočnega koeficienta [ $C$ ], intenzitete padavin [ $I_d$ ] in od površine prispevnega območja [ $A$ ]:

$$Q_d = \alpha * C * I_d * A \quad (4.1.1)$$

Intenziteta padavin se določi sledeče

$$I_d = \frac{a}{(T_d + b)^n} \quad (4.1.2)$$

$\alpha$ .....faktor pretvorbe enot, 1/360

$I_d$ .....intenziteta padavin (mm/h)

$T_d$ .....trajanje padavinskega dogodka (min)

$a, b, n$ .....konstante IDF (intensity-duration-frequency) formule oz. v slovenskem prostoru ITP krivulje (intenziteta-trajanje-pogostost). Več v naslednjem podpoglavju (4.1.1).

Cestni jaški in cestna kanalizacija so po navadi dimenzionirani na 2–5-letne padavinske dogodke s pomočjo enačb (4.1.1 in 4.1.2). V primeru močnejših padavinskih dogodkov so cestni jaški neprimerni za odtok največjih pretokov vode. Voda, ki ne odteče skozi posamezen jašek, odteka proti najnižjemu delu, kjer akumulira in se preko jaška odvede v kanalizacijski sistem. Osnovna ideja volumenske metode je razlika med dotočnim in odtočnim volumnom padavinske vode, ki nastane pri zaporednih padavinskih dogodkih različnega trajanja. Dotočni volumen  $V_i$  [ $m^3$ ] je določen z naslednjo enačbo:

$$V_i = \alpha C A I_d T_d \quad (4.1.3)$$

odtočni volumen  $V_o$  [ $m^3$ ] ima naslednjo enačbo, kjer je  $Q$  [ $m^3/s$ ] kapaciteta odtočnega jaška pri 2–5-letnem padavinskem dogodku:

$$V_o = QT_d \quad (4.1.4)$$

Potrební zadrževalni volumen  $V$  je razlika med enačbama (4.1.3 in 4.1.4)

$$V = \alpha CA^* \frac{a}{(Td+b)^n} T_d - QT_d \quad (4.1.5)$$

Da dosežemo maksimalni zadrževalni volumen, kvocient zgornje enačbe z dolžino trajanja padavinskega dogodka izenačimo na vrednost nič.

$$\frac{dV}{dT_d} = \frac{-nTd}{(Td+b)^{n+1}} + \frac{1}{(Td+b)^n} - \frac{Q}{\alpha a CA} = 0, \text{ rešitev enačbe je,} \quad (4.1.6)$$

$$T_d = \frac{1}{n} \left[ (Td+b) - \frac{Q}{\alpha a CA} * (Td+b)^{n+1} \right] \quad (4.1.7)$$

Kjer je rezultat enačbe  $T_d$  čas trajanja padavinskega dogodka. Ko je vrednost parametra »b« zanemarljiva oz. nima bistvenega vpliva na enačbo, ima enačba naslednjo obliko:

$$T_d = \left[ \frac{\alpha a CA(1-n)}{Q} \right]^{1/n} \quad (4.1.8)$$

Zgornjo enačbo (4.1.8) lahko uporabimo za grob izračun enačbe (4.1.7). Izračunano vrednost  $T_d$  nato vstavimo v enačbo (4.1.5) in določimo potreben zadrževalni volumen.

#### 4.1.1 Intenziteta padavin in IDF krivulje

Količina in trajanje padavin so nepredvidljivi podatki. Za posamezen kraj oz. območje govorimo o verjetnosti nastopa padavin. Verjetnosti določamo s statističnimi metodami na podlagi predhodnih meritev padavinskih dogodkov (Kompore, 1991). Najpogostejši tip padavinskih informacij so tako imenovane IDF (intensity-duration-frequency) krivulje. V slovenskem prostoru jih imenujemo GEN krivulje (krivulje gospodarsko enakovrednih nalivov) (Panjan, 2002) ali v dobesednem prevodu JTP krivulje (jakost-trajanje-pogostost) (Kompore, 1991).

Karakteristike padavin se na različnih področjih razlikujejo. Padavine merimo s pomočjo ombrometrov, ombografov in totalizatorjev (Brilly, Šraj, 2005). Iz dobljenih podatkov o intenzitetah na posameznem merilnem mestu v opazovanem obdobju, ki naj bi bilo čim daljše, lahko izračunamo pogostost pojava ali gospodarsko enakovredne nize nalivov (GEN) (Kolar, 1983). Podatke o povratnih dobah za ekstremne padavine dobimo na spletnih straneh ARSO (ARSO. Povratne dobe za ekstremne padavine).

IDF krivulje so najpogostejše uporabljena orodja v okoljskem inženirstvu. Uporabljamo jih pri planiranju projektov, namenjenim upravljanju z vodami, kot tudi pri protipoplavnih projektih (Minh in sod.). Pri analizi in vrednotenju nalivov uporabljamo »številčni postopek« ali pa postopek »vrednotenja padavinskih podatkov po metodi verjetnostne teorije« (Panjan, 2002). Rezultat obeh postopkov so IDF krivulje.

IDF formule so empirične enačbe (dobljene s poskusi), ki predstavljajo odvisnost med največjo padavinsko intenziteto, trajanjem in pogostostjo padavinskega dogodka. V strokovni literaturi lahko najdemo več enačb. Med njimi so štiri osnovne, ki ponazarjajo intenziteto padavin. To so enačbe: Talbot, Bernard, Kimijima in Sherman (Minh in sod.). Na kratko bom predstavil Shermanovo enačbo, ki je navedena in predstavljena zgoraj (enačba 4.1.2).

$$i = \frac{a}{(d+b)^e} \quad (4.1.9)$$

i.....intenziteta padavin [mm/uro]

d.....trajanje padavin [min]

a,b,e .....konstante, ki so odvisne od meteoroloških pogojev.

Zavedati se je treba, da so posamezne IDF krivulje narejene na točki merilne postaje. Z empiričnimi enačbami pa skušamo dobiti količine tudi na drugih območjih oz. na območju, kjer izvajamo projekt. Enačbe so določene s parametri a,b in e, ki so odvisni od meteoroloških pogojev. Za ta namen so narejene mape oz. karte, iz katerih odčitamo parametre na posameznem območju (povzeto po Minh in sod.).

## 4.2 Zadrževalna kapaciteta cest

Na cestnih križiščih je pretok omejen oz. preprečen z višino pločnika. Na najnižjih točkah (depresijskih območjih), kjer se padavinska voda zbira in ne more odtekati, se voda odvaja skozi odtočni jašek. Zadrževalni volumen na depresijskih območjih je podoben volumnu prisekanega stožca. Volumen se določi z naslednjo enačbo:

$$V = \frac{1}{3} * h * A_h \quad (0 < h < H_c) \quad (4.2.1)$$

ali

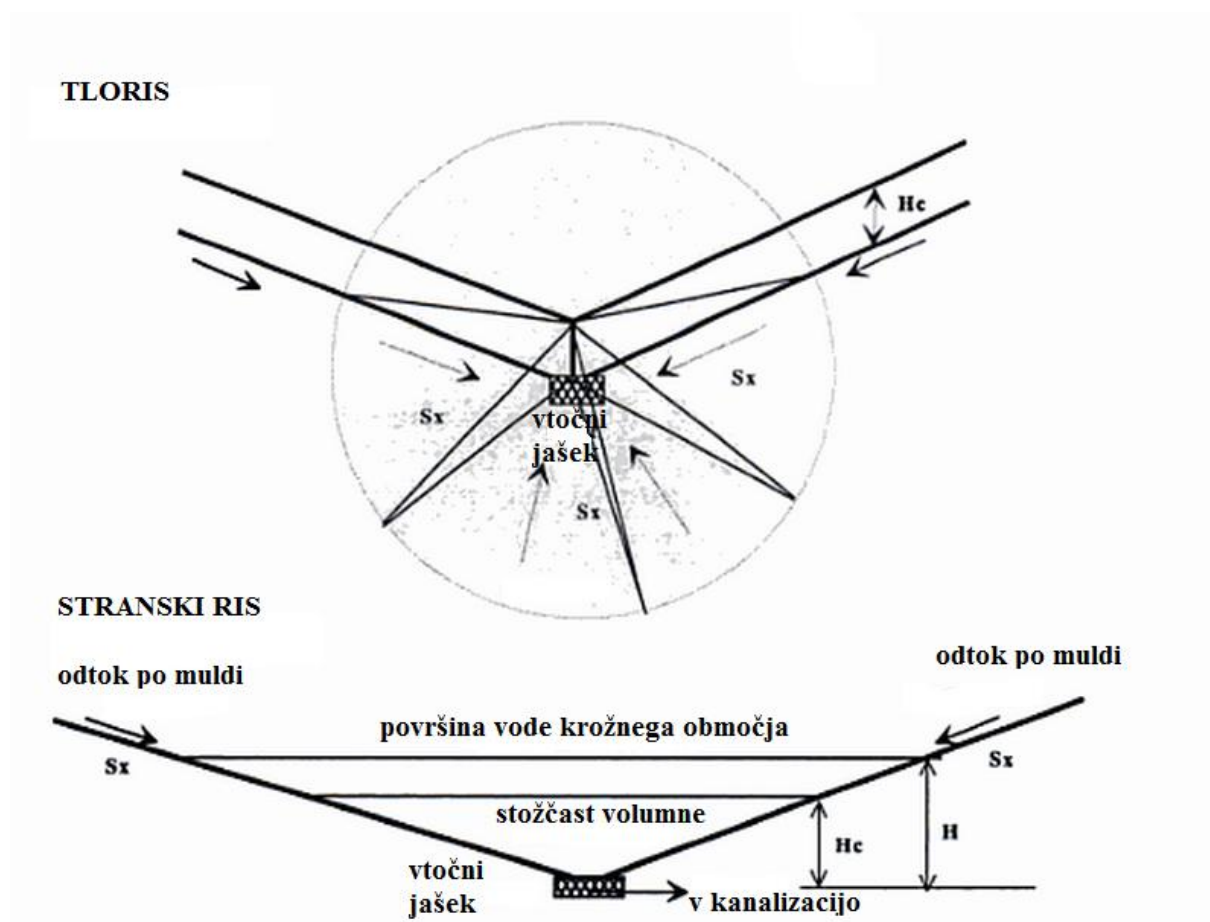
$$V = \frac{1}{3} * H_c * A_c + \frac{(h - H_c)}{3} * (A_c + A_h + \sqrt{A_c A_h}) \quad (h > H_c) \quad (4.2.2)$$

$h$  = višina vode, [m]

$H_c$  = višina pločnika, [m]

$A_c$  = površina vode pri višini  $H_c$ , [m<sup>2</sup>]

$A_h$  = površina vode pri višini  $h$ , [m<sup>2</sup>]



Slika 9: Depresijska zadrževalna kapaciteta na cestnem križišču (Guo, 2000: str 628).

Iz slike 9 in zgornjih enačb (4.2.1 in 4.2.2) je razvidno, da je zadrževalna kapaciteta okrog vtočnega jaška odvisna od volumna zadržane vode do višine robnika (enačba 4.2.1) in volumna zadržane vode nad višino robnika (enačba 4.2.2). Nad višino robnika se za račun uporabi krožno površino. Za določevanje volumna pod višino robnika pa uporabimo delež krožne površine, uporabimo koeficient »k«. Če poznamo faktor  $k$ , potem določimo površino na naslednji način:

$$A_h = k \cdot \pi \cdot R_h^2 \quad (4.2.3)$$

$$R_h = \frac{h}{S_x} \quad (4.2.4)$$

$k$ ..... delež oz. frakcija krožne površine

$R_h$ ... polmer krožne površine nad vtočnim jaškom, [m]

$h$ ..... višina vodne gladine

$S_x$  = prečni naklon cestišča

Enačbi (4.2.5 in 4.2.6) vstavimo v enačbi (4.2.1 in 4.2.2) in dobimo:

$$V = \frac{k}{3} \frac{\pi h^3}{S_x^2} \quad \text{za } (0 < h < H_c) \quad (4.2.5)$$

$$V = \frac{k}{3} \frac{\pi h^3}{S_x^2} + \frac{\pi(h-H_c)}{3S_x^2} * (kH_c^2 + h^2 + \sqrt{kH_ch}) \quad \text{za } (h > H_c) \quad (4.2.6)$$

### 4.3 Trajanje preplavitve

Dimenzionirana dolžina padavinskega dogodka,  $T_d$ , v enačbi (4.1.7) ni enota časa trajanja padavinskega dogodka, ampak je del dogodka, ko so padavine najintenzivnejše. To je tudi potreben čas za zapolnitev depresijskih oz. najnižjih območij. Ko se dotok na najnižja območja zmanjša do te mere, da je manjši od kapacitete odtočnega jaška, se začne zmanjševati količina zadržane vode. Iz tega razloga je čas trajanja preplavitve definiran kot seštevek časa polnitve in časa odvajanje zadržane vode. Na najnižji točki oz. na depresijskem delu območja je lahko odtočni jašek različnih oblik, npr. odprtina v robniku, rešetka ali kombinacija obojega. V odvisnosti od globine zadržane vode lahko jašek deluje kot jez ali kot odprtina. Avtor (Guo, str. 628) se je v članku osredotočil na jašek z rešetko, na podlagi katerega je predstavil metodologijo za določitev trajanja preplavitve. Pristop se lahko uporabi tudi za druge vrste jaška. Hidravlika za jašek se modelira kot odprtina (angl. orifice), kadar je globina vode visoka oz. višja od odprtine, in kot jez (angl. weir), kadar je globina nižja od višine odprtine (slika 10). Enačba za tok skozi odprtino je naslednja:

$$Q = C_0 e A_0 \sqrt{2gh} \quad (4.3.1)$$

$Q$ .....kapaciteta jaška [ $m^3/s$ ]

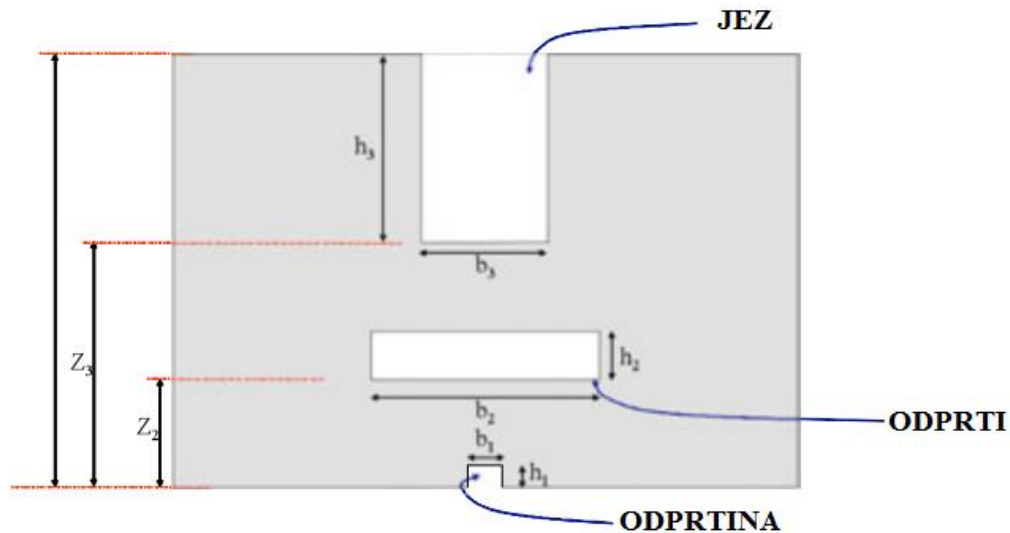
$C_0$ .....koeficient odprtine oz. jaška



e.....razmerje odprtega dela proti površine rešetke

$A_0$ .....površina rešetke [m<sup>2</sup>]

g.....gravitacijski pospešek [9,81 m/s<sup>2</sup>]



Slika 10: Jez (angl. weir) in odprtina (angl. orifice)

Tok skozi jez ima naslednjo enačbo:

$$Q = C_w P h^{1.5} \quad (4.3.2)$$

$C_w$ .....koefficient odprtine oz. jez-a

$P$ .....omročeni del rešetke [m]

Minimalna globina vode  $Y$  [m] pri kateri se odtok v jašek spremeni iz toka čez jez v tok skozi odprtino, je odvisna od višine robnika  $H_c$

$$Y = 1,4 * H_c \quad (4.3.3)$$

Enačba (4.3.3) je empirična in ne upošteva oblike rešeta jaška. Minimalno višino  $Y$  se določi z izenačenjem enačbe za tok čez jez (4.3.2) in enačbe za tok skozi odprtino (4.3.2). V praksi to pomeni, da kadar globina vode preseže globino  $Y$ , se tok skozi jašek spremeni v tok skozi odprtino.

$$Y = \frac{C_0 e A_0 \sqrt{2g}}{C_w P} = \frac{C_0 e W L \sqrt{2g}}{C_w (1,8W + L)} \quad (4.3.4)$$

$Y$ .....minimalna globina vode, pri kateri je rešetka kot odprtina [m]

$W$ ....širina rešetke [m]

$L$ ....dolžina rešetke v smeri odtoka [m]

V primeru, ko imamo režim toka v jašek kot jez, se trajanje preplavitve izračuna s spodnjo enačbo:

$$\int_{t=T_d}^{t=T} dt = \int_{h=H}^{h=0} \frac{A_h}{60Q} dh \quad \text{za } H < Y \quad (4.3.5)$$

Ko vstavimo enačbi (4.2.5) in (4.3.2) v zgornjo enačbo (4.3.5), dobimo  $T$  (trajanje preplavitve):

$$T = T_d + \frac{2}{3}MH^{1.5} \quad \text{za } H < Y \quad (4.3.6)$$

kjer je  $M$  konstanta za tok v obliki jezu, in sicer ima naslednjo enačbo:

$$M = \frac{1}{60} \frac{k}{S_x^2} \frac{\pi}{C_w P} \quad (4.3.7)$$

Kadar je globina vode višja od  $Y$ , se tok spremeni v obliko toka skozi odprtino. V tem primeru se čas preplavitve določi z enačbo:

$$T = T_d + \frac{2}{3}MY^{1.5} + \frac{2}{5}N*(H^{2.5} - Y^{2.5}) \quad \text{za } H \geq Y \quad (4.3.8)$$

kjer je  $N$  konstanta za obliko toka skozi odprtino:

$$N = \frac{1}{60} \frac{k}{S_x^2} \frac{\pi}{C_0 e A_0 \sqrt{2g}} \quad (4.3.9)$$

Ko poznamo globino preplavitve, lahko z enačbo (4.3.6 ali 4.3.8) določimo čas preplavitve.

## 5. OPIS PROGRAMA SWMM<sup>2</sup>

Storm Water Management Model (SWMM) je dinamični padavinsko-odtočni simulacijski model za določanje kvantitativnega in kvalitativnega padavinskega odtoka. Simuliramo lahko posamezen naliv ali pa ga uporabimo za simulacijo dolgotrajnega obdobja, v katerem analiziramo padavinska in vmesna sušna obdobja. Uporablja se za urbanizirana območja, za analizo obstoječih kanalizacijskih sistemov ali pri dimenzioniranju popolnoma novih KS.

Program je bil prvič razvit leta 1971 in je od takrat doživel več nadgradenj. Po svetu se ga uporablja za dimenzioniranje, analiziranje in načrtovanje padavinskih odtokov na mešanem, ločenem in na drugih dreniranih sistemih. Najnovejša verzija je SWMM 5.1.010, jo pa še vedno izpopolnjujejo, tako da skoraj vsako leto izdajo izpopolnjeno verzijo. Program vsebuje strnjeno okolje za urejanje podatkov na obravnavanem območju, vsebuje simulacije za hidrologijo, hidravliko in simulacije za kvaliteto voda. Rezultati simulacije so prikazani v različnih oknih.

Program izračunava odtok za različne hidrološke procese, ki povzročajo odtok iz urbaniziranih območij. To so:

- časovno odvisne padavine,
- izhlapevanje prostostoječe površinske vode (luže, ...),
- akumulacija snega in njegovo taljenje,
- zadržanje padavin v depresijskih območjih,
- infiltracija padavin v nenasičene zemljine,
- pronicanje infiltrirane vode v podzemne plasti,
- mešanje med podzemno vodo in kanalizacijskim sistemom,
- nelinearen rezervoar, ki odvaja zaledno vodo.

Da so vsi ti parametri zajeti v izračunu, razdelimo podobmočja na več manjših homogenih območij. Vsako od njih vsebuje svoj del prepustne in neprepustne površine. Zaledne vode so lahko odvajane med posameznimi podobmočji.

---

<sup>2</sup> Celotno poglavje je povzeto po Rossman, A. L. 2010.

Program vsebuje tudi skupino prilagodljivih hidravličnih sposobnosti, ki se uporabljajo za vodenje odtoka in zunanjih dotokov skozi kanalizacijski sistem iz cevi, kanalov, zadrževalnih objektov, razbremenilnikov in prelivov. To vključuje naslednje zmožnosti:

- zmožnost obravnavanja sistemov neomejene velikosti,
- uporaba standardnih zaprtih in odprtih oblik in prav tako naravnih kanalov,
- modeliranje posebnih elementov, kot so zadrževalni bazeni, črpališča, jezovi,
- vključitev zunanjih odtokov in kvaliteta količine površinske padavinske vode, podzemnega vtoka, padavinsko odvisne infiltracije, sušni odtok odpadne vode in dotok po želji uporabnika.

Poleg modeliranja odtoka lahko program preračuna tudi produkcijo onesnaževal v povezavi s tem padavinskim odtokom. Modelirani so lahko naslednji procesi:

- kopičenje onesnaževal v sušnem obdobju glede na vrsto rabe prostora,
- izpiranje onesnaževal iz različnih območij v času padavinskega dogodka,
- zmanjšanje onesnaževanja zaradi čiščenja ulic in cest.

## 5.1 Navodila

Program obravnava kanalizacijski sistem kot niz vodnega toka in toka materiala med večjim številom velikih okoljskih oddelkov. Pri modeliranju ni nujno, da uporabimo vse dele, ki jih zajema program. Lahko uporabimo samo en del, npr. transportni. Oddelki in objekti (oz. ikone v programu) programa SWMM vsebujejo:

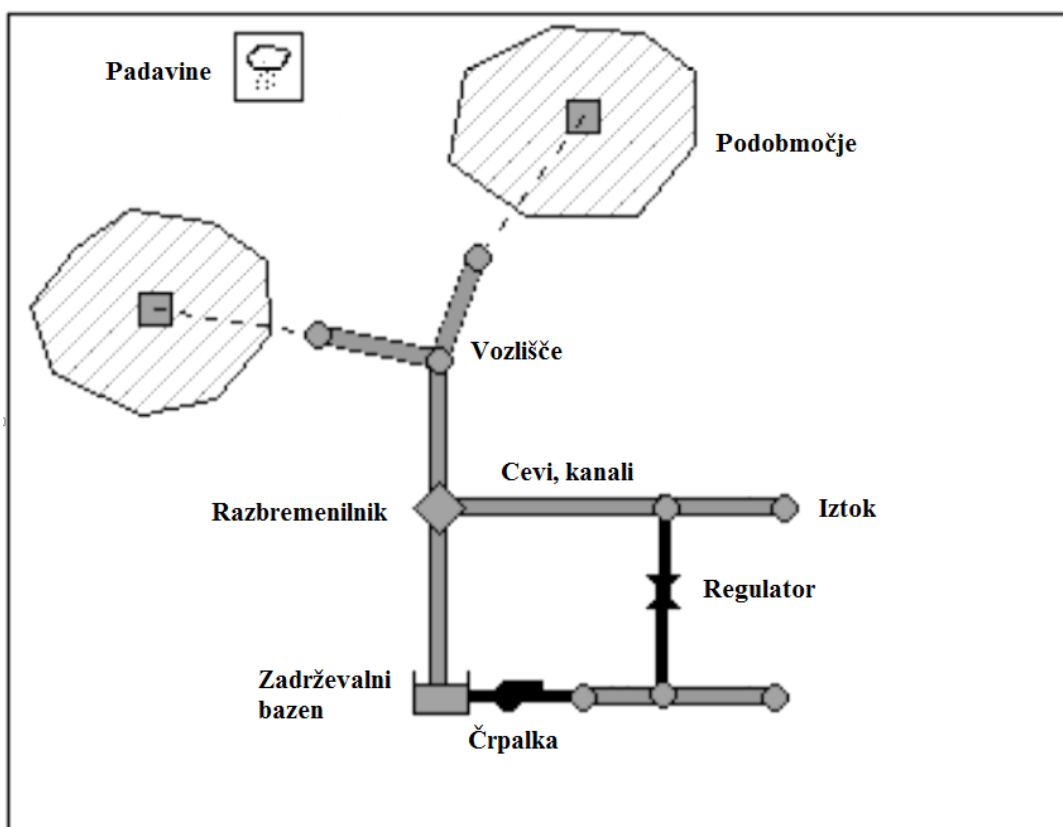
- atmosferski del, iz katerega so padavine in onesnaževala odloženi na zemeljsko površino. SWMM uporablja (angl. rain gage) objekte za vključitev padavin v sistem izračunavanja.
- površinski del, ki je vključen v program kot podobmočje (angl. subcatchment). Površinski del prejme padavine iz atmosferskega dela, in sicer kot dežne ali snežne padavine. Te padavine predstavljajo infiltracijo za podzemne vode, pa tudi površinski odtok in nalaganje onesnaževal v transportni del.
- podzemni del, vir podzemne vode je infiltracija iz površinskega dela in ta del vode je delni vir transportnega dela. V programu se ta del modelira z uporabo podzemne ikone (angl. aquifer).
- transportni del. Ta del je sistem omrežja, sestavljen iz različnih vodov (to so kanali, cevi, črpališča in regulatorji) in zadrževalnih objektov, ki odvajajo odpadno vodo preko razbremenilnikov v vodotoke ali na ČN. Vir odtoka transportnega dela je lahko tudi površinski odtok, infiltracija podzemne vode, gospodinjstva odpadna voda ali iz delov, ki jih določa

uporabnik programa. Komponente transportnega dela so v programu obdelovane z ikonami vozlišče in po vezalna cev (angl. Node in Link).

Pri uporabi najprej uredimo enote. Spodaj v oknu enote (angl. flow units) spremenimo enote v LPS, kar v prevodu pomeni liter na sekundo (l/s). S tem spremenimo enote v metrični sistem. Pri vnašanju parametrov moramo vedno paziti, v kakšnih enotah jih podajamo. Še zlasti je problem, ker so nekatera navodila napisana v ameriških enotah in ne moremo samo uporabiti predstavljenih parametrov, ampak moramo obvezno uporabiti metrične enote.

## 5.2 Vizualni objekti

Na spodnji sliki je prikazano, kako so lahko oblikovani objekti, da predstavljajo kanalizacijski sistem. Ti objekti so prikazani v mapi v platformi programa SWMM. V nadaljevanju poglavja so predstavljeni vsi objekti.



Slika 11: Primer fizičnih objektov v modelu kanalizacijskega sistema (Rossman, 2010: str 34).

### 5.2.1 Padavine

Z oknom padavine (angl. rain gages) vnesemo podatke o količini padavin za eno ali več podobmočij oz. prispevnih območij. Podatke lahko vnesemo sami, ali pa jih uvozimo z zunanjo tabelo. Potrebni podatki za izračun so trajanje padavin, intenziteta (mm/h) in čas trajanja naliva. Pri vnašanju podatkov moramo biti pozorni na enote, ker je SWMM ameriški program in uporablja drugačne enote. Spremenimo v milimetre (mm) in jakost padavin v mm/h. Padavine lahko vnesemo tudi v volumenskih količinah. Se pravi, da vnesemo višino padavin v milimetrih, ki je padla v določenem obdobju, npr. v 30 min. To je zelo priročno, saj je količina padavin na spletnem portalu ARSO podana kot količina padavin v 30 min. Poleg polurnih vrednostih lahko vnašamo tudi kumulativne količine, ki so prav tako podane na spletu.

Zelo pozorni moramo biti tudi na časovni interval (angl. time interval). Biti mora enak časovnemu intervalu, ki ga podamo v časovni seriji (angl. time series), saj program deluje tako, da interval, ki ga podamo v oknu padavine (angl. rain gages), pomeni, v kakšnem časovnem koraku program prebere količino padavin, ki jih podamo v oknu časovni interval (angl. time series). Če imamo torej podatke o padavinah v 30-minutnem intervalu, uporabimo 30-minutni interval.

### 5.2.2 Prispevno podobmočje

Prispevna podobmočja s pripadajočo topografijo in kanalizacijskim sistemom določajo površinski odtok, ki se vodi do iztoka na KS. Uporabnik sam določi število in velikost podobmočij. Stremeti je treba k temu, da strnemo območja z enakimi lastnostmi. Iztoki so lahko vozlišča KS ali vozlišče kakšnega drugega podobmočja.

Podobmočja so razdeljena na prepusten in neprepusten del. Na prepustnem delu prihaja do infiltriranja padavinske vode v podzemni del, kar nam zmanjšuje odtok na KS. Na neprepustnem delu nimamo infiltracije, je pa to območje razdeljeno na dva dela, in sicer del, ki vsebuje depresijske dele, kar nam predstavlja zadržanje vode, in drugi del, ki nam ne predstavlja zadrževanja, temveč takojšen odtok. Za izračun infiltracije na prepustnem območjih prispevnega območja določimo z uporabo treh modelov:

- Horton infiltracija,
- Green-Ampt infiltracija,
- infiltracija po SCS krivulji.

Program omogoča uporabo vpliva snežnih padavin na količino odtoka. Parametre vnesemo v okno, ki omogoča vnos podatkov snežnih padavin (angl. snow pack). Prav tako omogoča upoštevanje infiltriranje podzemne vode skozi vozlišča KS in vnos onesnaževal na prispevnih območjih v oknu uporabe površin

(angl. land uses). Ostali glavni parametri, ki jih vedno vnesemo v program, so podatki o količini in trajanju padavin, iztoki, raba površine (onesnaževala na zemljini), površina, širina, nagnjenost terena, prepustne in neprepustne površine, depresijski deli območja, Manningov koeficient trenja za površinski tok za prepustno in neprepustno površino ter odstotek neprepustne površine brez depresijskih območij.

### 5.2.3 Vozlišča

Vozlišča so elementi, ki združijo dva ali več elementov, kot so naravni kanali, revizijski jaški ali cevi. Na vozliščih lahko prihaja do vtoka voda s površine. V KS se lahko pojavi tok pod tlakom, takrat voda izteka skozi vozlišče na površje, kjer se lahko prosto razlije, ali pa je tako urejeno, da se na mestu vozlišča zadrži in se ob zmanjšanju pretoka vrne nazaj v KS. Glavni parametri za vozlišča so:

- koordinati mesta vozlišča,
- kota dna vozlišča oz. jaška (angl. invert elevation),
- višina do površine terena (angl. max depth),
- začetna višina vode v vozlišču (angl. initial depth),
- podatek o dodatni količine vode, ki se zadrži v revizijskem jašku (angl. surcharge depth),
- količina zadržane vode nad vozliščem (angl. ponded area) in
- podatek o zunanjih dotokih.

### 5.2.4 Iztočno vozlišče

Iztočno vozlišče je končno vozlišče KS in se uporablja za definiranje robnih pogojev dinamičnega toka. Za ostale vrste toka se smatrajo kot vozlišča. Na iztočno vozlišče lahko priklopimo samo eno cev. Robne pogoje na iztočnem vozlišču razložimo s potrditvijo katerega koli spodaj naštetega pogoja gladine odvodnika:

- kritična in normalna globina toka v cevi,
- stalna višina vodne gladine,
- višina plime v odvisnosti glede na uro v dnevu,
- višina, ki jo določi posameznik, in sicer višina gladine v odvisnosti od časa v dnevu.

Osnovni parametri, potrebni za izračun:

- kota dna iztoka,
- robni pogoji in pripadajoče parametre,
- prisotnost lopute za preprečitev povratnega toka skozi iztok.

### 5.2.5 Razbremenilnik

Razbremenilnik je objekt na KS, ki preusmeri dotok na specifično cev v prej določeni obliki oz. predhodno določeni globini, pri kateri začne voda odteka v drugo cev. Razbremenilnik ima na iztoku samo dve cevi. Prva cev je namenjena sušnemu pretoku in delu padavinskega odtoka. Druga cev pa je namenjena odvajanju prelite vode. Razbremenilnik je aktiven, ko se pojavi kinematičen tok. Ko pa je tok stalen, se obnaša kot vozlišče z dinamičnem tokom. Program obravnava štiri različne tipe razbremenilnikov. Ločijo se glede na način ločitve kritičnega pretoka:

- prelije se ves dotok, ki je večji od določenega pretoka, pri katerem je določeno, da se začne prelivanje (angl. cutoff divider);
- prelije se dotok, ki je večji od sposobnosti pretoka dolvodne cevi (angl. overflow divider);
- razbremeni se odtok, ki je definiran v tabeli, ki predstavlja razbremenilni pretok kot funkcijo skupnega dotoka (angl. tabular divider);
- za izračun preliva se uporabi enačbo jezu (angl. weir divider).

Pretok, ki je razbremenjen čez jez (angl. weir divider), program računa z naslednjo enačbo:

$$Q_{div} = C_w * (f * H_w)^{1.5}$$

$$f = \frac{Q_{in} - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$

$Q_{div}$ .....razbremenjeni odtok

$C_w$ .....koeficient jezu

$H_w$ .....višina jezu

$Q_{in}$ .....tok na dotoku v razbremenilnik

$Q_{min}$ .....pretok pri katerem se razbremenjevanje prične

$$Q_{max} = C_w H_w^{1.5}$$

Osnovni vneseni parametri v program so:

- parametri, ki se jih vnaša za vozlišča (poglavje 4.2.3),
- ime razbremenilne cevi,
- uporabljena metoda za izračun količine preliva.



### 5.2.6 Akumulacijska vozlišča

Akumulacijske enote so vozlišča na KS in predstavljajo zadrževalni volumen. Obstajajo v majhni obliki, kot so luže, ali pa tudi v velikosti jezera. Velikostni red volumna je definiran kot funkcija ali kot tabela v odvisnosti med površino in višino. Osnovni parametri so:

- kota dna akumulacijskega vozlišča,
- maksimalna globina,
- koeficient izhlapevanja.

### 5.2.7 Kanali

Vodi na sistemu so cevi ali kanali, po katerih teče pretok med vozlišči. Oblike cevi in kanalov izberemo s seznama standardnih geometrij zaprtih in odprtih variant. Program podpira tudi izvedbo nestandardnih oblik, ki jih določi uporabnik sam. Za izračun pretoka program uporablja Manningovo enačbo. Osnovni vhodni podatki so:

- imena dotočnih in iztočnih vozlišč,
- razlika med višino vtoka in višino iztoka,
- dolžina cevi,
- Manningov koeficient hrapavosti,
- geometrija prereza cevi,
- izgube med razmerjem vtoka/iztoka,
- prisotnost zaklopke, ki varuje pred povratnim tokom.

### 5.2.8 Črpališča

Črpališča se uporabljajo za prenos odtoka na višje višine. Uporabljajo se tam, kjer ni mogoč gravitacijski odtok. Črpalna krivulja določa razmerje med pretokom in pogoje med vtokom in iztokom na vozlišču. Poznamo štiri črpalne krivulje.

Osnovni vhodni podatki so:

- imena vhodnih in iztočnih vozlišč,
- ime črpalne krivulje,
- začetno stanje.

### **5.2.9 Regulatorji pretoka**

Regulatorji pretoka so naprave za kontrolo in uravnavo pretoka v KS. Uporabljajo se za kontrolo izpusta iz zadrževalnih (akumulacijskih) objektov, za preprečitev nepredvidenih prenapolnitev sistema in za uravnavanje pretoka na ČN.

V programu SWMM so regulatorji pretoka obravnavani kot prelivi (angl. weirs), standardne odprtine (angl. orifices) ali nestandardne odprtine (angl. outlets).

## **5.3 Nevizualni objekti**

Dodatki k fizičnim objektom, ki so vizualno podani na mapi območja, so SWMM pripomočki različnih področij, ki določajo dodatne parametre in procese znotraj obravnavanega območja.

### **5.3.1 Podnebje**

#### **5.3.1.1 Temperatura**

Podatki o temperaturah se uporabljajo, kadar se določa pretok zaradi taljenja snega. Če se proces snega ne odvija, podatkov o temperaturi ni treba vnašati. Podatke vnesemo na dva načina, in sicer kot podatki, ki jih določi uporabnik sam, ali kot zunanja datoteka, ki vsebuje podatke o najnižjih in najvišjih temperaturah. V zunanji datoteki so lahko tudi podatki o izhlapevanju in vetrni hitrosti.

#### **5.3.1.2 Izhlapevanje**

Izhlapevanje se pojavi pri stoječih vodah na prispevnem območju, pri podzemni vodi in pri zadržani vodi na objektih sistema. Stopnje izhlapevanja so definirane na več načinov, in sicer kot konstantna vrednost, kot mesečna povprečna vrednost, vrednost, ki jo definira posameznik, ali kot dnevne vrednosti, vnesene iz zunanje datoteke.

#### **5.3.1.3 Hitrost vetra**

Hitrost vetra se uporablja, samo kadar pri izračunu upoštevamo taljenje snega. Podatki so lahko vneseni kot mesečne povprečne vrednosti ali pa so podatki o hitrosti vetra, zajeti v datoteki, uporabljeni za najnižje in najvišje dnevne temperature.

#### **5.3.1.4 Taljenje snega**

Parametri taljenja snega so podnebni parametri. Uporabljajo se pri simulaciji snežnih padavin in pri simulaciji taljenja snega ter vsebujejo:

- temperaturo snega, pri kateri se začnejo snežne padavine,
- koeficient temperaturne spremembe snežne odeje,
- nadmorska višina obravnavanega območja, zemljepisna širina in korekcija zemljepisne dolžine.

#### **5.3.1.5 Površinska redukcija**

S časom taljenja snega se zmanjšuje površina, prekrita s snežno odejo. Ta proces je opisan s krivuljo, ki definira zvezo med površino, ki je prekrita s snegom, ter mero relativne globine (kvocient med trenutno debelino snežne odeje in globino do kote, kjer je pokritost površine s snegom 100 %). Uporabnik vnese podatke o deležu pokritosti območja s snežno odejo posebej za prepustna in neprepustna podobmočja (Rep, 2007).

#### **5.3.2 Snežni parametri**

Snežni parametri vsebujejo podatke, ki definirajo nalaganje snega in njegovo odstranjevanje (topljenje), skozi tri različne tipe območij, to so:

- območja, kjer se pluži, vsebujejo količino neprepustne površine, ki jo določi uporabnik;
- neprepustna površina, ki pokriva območje, na katerem ni omogočeno pluženje, in
- območje, ki predstavlja vso prepustno površino.

Vsako od teh treh območij je v programu predstavljeno z naslednjimi parametri:

- minimalen in maksimalen koeficient taljenja snega,
- minimalna temperatura zraka, pri kateri se taljenje snega začne,
- debelina snežne odeje, pri kateri imamo 100 % pokritost s snežno odejo,
- začetna debelina snežne odeje in
- začetna in največja količina proste vode, ki se nahaja v snežni odeji.

Dodatno lahko vnesemo podatke, ki vsebujejo parametre o odstranitvi snega. Kadar se iz neprepustnih območij odvaža sneg na nedrenirana območja oz. območja, ki ne prispevajo k dodatnemu odtoku v KS.

### 5.3.3 Podzemni objekti

Podzemni objekti so podpovršinska območja s podzemno vodo. Uporabljajo se za modeliranje infiltracijskega toka iz prispevnega območja, ki leži nad podzemnim objektom. Program dovoljuje tudi simuliranje infiltracijo podzemne vode v KS ali pa infiltracijo iz KS v podzemno vodo (možnost onesnaženja). Eden podzemni objekt je lahko prisoten na več podobmočjih. Uporablja se, kadar je izrecno potrebno upoštevati infiltracijo podzemne vode.

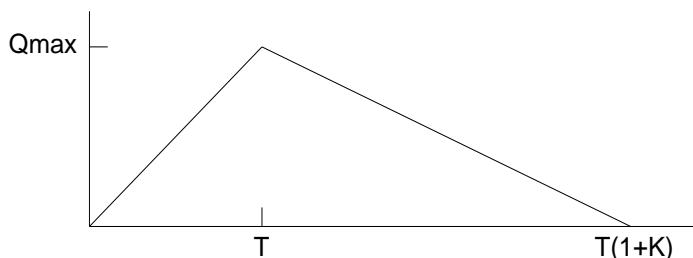
Program za podzemne objekte obravnava dve coni. To sta nasičena in nenasičena cona. Njihovo obnašanje je definirano s parametri, kot so poroznost zemljine, hidravlična prevodnost, količina izhlapevanja, kota dna terena in izgube v podzemne vode. Dodatno morajo biti vneseni podatki o začetni višini vode in začetni vlažnosti nenasičene zemljine. Podzemni objekti so povezani v prispevna območja in v KS ter so definirani v oknu prispevna območja. Najdemo jih pod zavihkom »angl. Groundwater«. V tem zavihku dodatno vnesemo parametre, ki določajo podzemni tok med nasičenimi in nenasičenimi plastmi.

### 5.3.4 Hidrogram enote

Hidrogram enote oceni infiltracijsko/vtočno količino odtoka v KS, povzročeno s padavinami. Vmesnik za hidrogram enote omogoča tri takšne hidrograme enote: enega za kratkoročni, enega za srednjeročni in enega za dolgoročni odziv sistema. Program omogoča, da parametre nastavimo za vsak mesec različno.

Vsak hidrogram enote je definiran s tremi parametri:

- R: delež padavin, ki vplivajo na odtok v KS,
- T: čas od nastopa padavin do najvišjega odtoka ( $Q_{max}$ ) v urah,
- K: razmerje med potrebnim časom za prenehanje dotoka v KS (čas med T in  $T(1+K)$ ) in med časom, potrebnim od nastopa padavin do  $Q_{max}$  (čas od 0 do T)

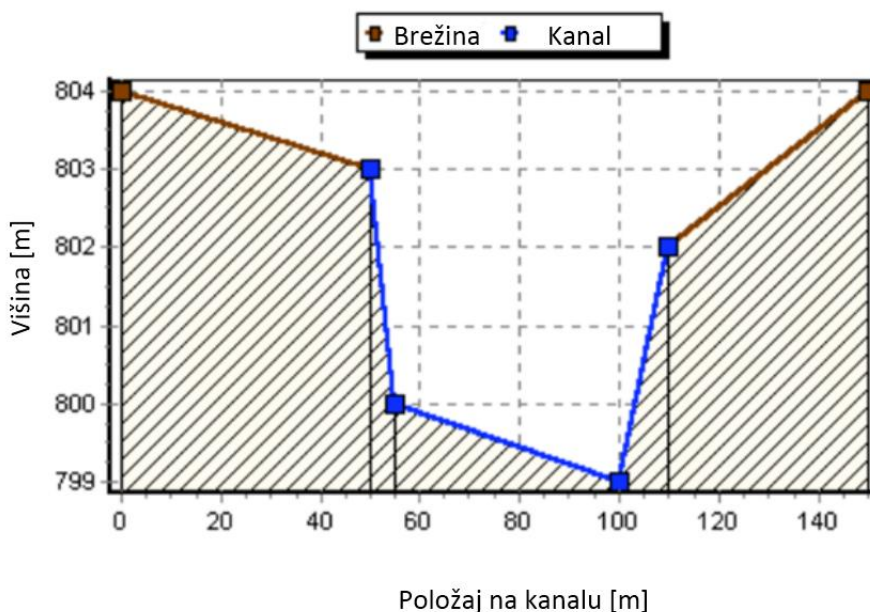


Slika 12: Hidrogram enote (Rossman, 2010: str 46).

Infiltracijsko/vtočna količina odtoka v KS zaradi padavin (RDII) je padavinska voda, ki vstopa v ločen ali mešan KS. Voda vstopa zaradi direktnih vtokov s streh, zaradi črpališč iz depresijskih delov, zaradi priključenih drenaž idr. Infiltracijski del vtoka pa povzroča infiltracija zaradi šibkih spojev cevi, slabo izvedenih vozlišč, zaradi slabih revizijskih jaškov itd. RDII je lahko velik vzrok povečanega odtoka, povzroča povečano razbremenjevanje onesnaženih voda in lahko zaliva kleti. Polega tega nam lahko povzroča povečan odtok na ČN. Rezultat tega je slabša učinkovitost ČN (Rossman, 2015).

### 5.3.5 Prečni prerez

Prečni prerez prikazuje, kako se spreminja prečni profil glede na mesto odseka odvodnika (kanala). Spreminja se s premikanjem po strugi gorvodno oz. dolvodno ali glede na spreminjanje neobičajne oblike cevi. Primer prečnega prereza prikazuje spodnja slika:



Slika 13: Primer prečnega prereza naravnega kanala (Rossman, 2010: str 47)

### 5.3.6 Zunanji vtoki

Poleg podzemne vode in pritokov prispevnega območja so na vozliščih možni še trije različni pritoki:

- direktni vtok, definiran s strani uporabnika kot količina dotoka v določenem času. Uporablja se za določitev dotoka in kvalitete vode, ko ne izračunavamo s padavinskim odtokom (pri modeliranju območja, kadar nimamo definiranih prispevnih območij).
- sušni dotok, to je konstantni dotok. Navadno je njegov vir sanitarna odpadna voda. Izračunava se ga na podlagi povprečnih dotokov (mesečnih, dnevnih ali glede na uro v dnevu).

- padavinsko odvisna infiltracija/vtok (RDII). To je padavinska voda, ki doseže ločeni ali mešani kanalizacijski sistem zaradi vtoka direktno priključenih žlebov s streh, kot tudi infiltracija površinske vode v KS na mestih slabih spojev, na mestih slabih revizijskih jaškov idr. Padavinsko odvisna infiltracija se izračuna za posamezne padavinske podatke z uporabo hidrograma enote, ki determinira kratkoročne, srednjeročne in dolgoročne vplive na vtok v KS glede na posamezen padavinski dogodek.

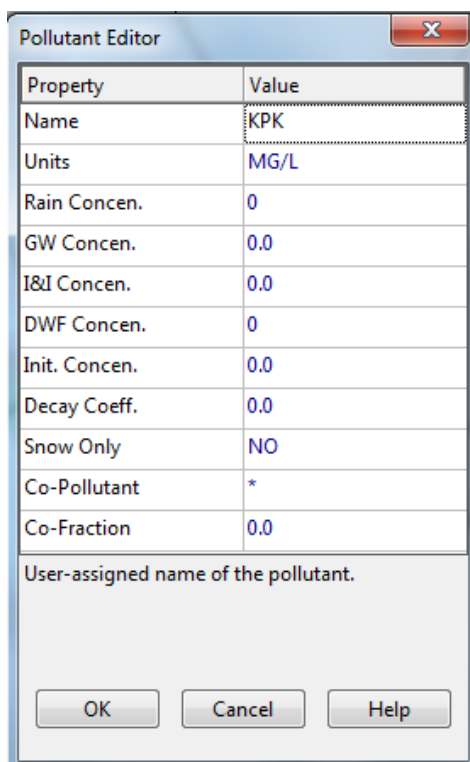
Direktni vtok, sušni dotok in padavinsko odvisna infiltracija/vtok (RDII) so nastavitve vsakega posameznega elementa na KS (vozišča, iztoka, razbremenilnika in zadrževalne oz. akumulacijske enote) in se jih nastavi takrat, ko vstavimo posamezni element (del vhodnih podatkov).

### 5.3.7 Kontrolni stavki

Kontrolni stavki določajo, kako bodo črpalke in regulatorji delovali v simulaciji. Z njimi določamo delovanje črpalk in regulatorjev, in sicer tako, da določimo čas, ko naj delujejo oz. kdaj se naj izklopijo. Vklon/izklop določimo glede na višino vode. Okno za vnos kontrolnih pravil najdemo pod zavihkom hidravlika → kontrole (angl. controls).

### 5.3.8 Onesnaževala

Program simulira kopičenje, izpiranje in transport onesnaževal. Nujno potrebna parametra za sleherno onesnaževalo sta ime onesnaževala in enota koncentracije (mg/l ali  $\mu\text{g/l}$ ). Koncentracijo v padavinah, koncentracijo v podzemni vodi, koncentracijo sušnega pretoka in koncentracijo v direktni infiltraciji pa definiramo po želji. Definiramo lahko tudi ko-onesnaževala. To so onesnaževala, prisotna poleg večjega onesnaževala (npr. onesnaževalo X ima ko-onesnaževalo Y, torej koncentracija v padavinsko-odtočni vodi onesnaževala X vsebuje še del onesnaževala Y, ki je prisoten poleg osnovnega onesnaževala X).



Slika 14: Nastavitve za posamezno onesnaževalo (vir: program SWMM)

### 5.3.9 Raba območja

Raba območja nam prikazuje vrsto aktivnosti oz. vrsto uporabe površine znotraj prispevnega območja. Glede na vrsto aktivnosti so v programu ločena območja na stanovanjska, komercialna, industrijska in nerazvita območja. Vrsta uporabe površin pa vključuje površine streh, mestne travnate površine, pločnike itd. in se uporabljajo edino pri variacijah prostorskih načrtov v razmerjih nalaganja onesnaževal in pri razmerjih za pranje cestnih površin znotraj prispevnega območja.

Za vsako vrsto uporabe površine so lahko definirani naslednji procesi:

- nalaganje onesnaževal (kopičenje),
- izpiranje onesnaževal,
- čiščenje cestnih površin.

### 5.3.10 Nalaganje onesnaževal

Nalaganje onesnaževala, ki se akumulira na prispevnem območju različnih vrst rabe površine, je določeno z maso na enoto površine [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] ali z maso na enoto dolžine robnika [ $\text{kg}/\text{m}$ ]. Količina nakopičenih onesnažil je odvisna od predhodnega števila suhih dni in je lahko določena na naslednje tri načine:

Funkcija stalnega kopičenja (angl. power function)

$$B = \text{Min} (C_1, C_2, t^{C_3})$$

V enačbi je  $C_1$  maksimalno možno kopičenje ([kg/m<sup>2</sup>] ali [kg/m]),  $C_2$  je konstanta razmerja kopičenja te  $C_3$  je časovni eksponent.

Eksponentna funkcija (angl. exponential function), kjer je kopičenje onesnaževal eksponentna funkcija, ki se asimptotično približuje največji vrednosti

$$B = C_1(1 - e^{-C_2t})$$

V enačbi je  $C_1$  maksimalno možno kopičenje ([kg/m<sup>2</sup>] ali [kg/m]) in  $C_2$  je konstanta razmerja kopičenja [liter/dan].

Funkcija zasičenja (angl. saturation function), kjer se kopičenje začne kot linearna funkcija in se s časom postopoma zmanjšuje, dokler ne doseže točne zasičenja.

$$B = \frac{C_1 \cdot t}{C_2 + t}$$

$C_1$  je maksimalno možno kopičenje ([kg/m<sup>2</sup>] ali [kg/m]) in  $C_2$  predstavlja konstanto polovične zasičenosti (dnevi za dosego polovičnega od celotno možnega kopičenja onesnaževal).

Zunanja časovna tabela (angl. external time series) je možnost, ki nam omogoča vnos časovne tabele, ki opisuje stopnjo kopičenja onesnaževala v odvisnosti od časa. V tabeli uporabljamo enote masa na površini [kg/m<sup>2</sup>/dan]. Lahko uporabimo drugo možnost in vnesemo najvišjo stopnjo kopičenja ter faktor, ki multiplicira vrednosti v časovni tabeli.

### 5.3.11 Izpiranje onesnažil

Na površinah z različno rabo območja prihaja v času padavin do izpiranja onesnažil. Program nam omogoča uporabo ene od izmer spodnjih treh enačb.



Eksponentno izpiranje (angl. exponential washoff), količina izpranih onesnažil [W], je v enoti masa na uro [mg/h]. Izpiranje je sorazmerno odtoku, ki se povečuje do neke vrednosti odtoka in količine preostalih nakopičenih onesnažil:

$$W = C_1 q^{C_2} B$$

V enačbi je  $C_1$  koeficient izpiranja,  $C_2$  eksponent izpiranja,  $q$  je odtok na površino [mm/uro] in  $B$  masa nakopičenih onesnažil [kg]. Enote mase oz. količine izpranih onesnažil so enake enotam, ki jih program uporabi pri izkazovanju koncentracije onesnažila [mg/l].

Izpiranje po vrednostni krivulji (angl. rating curve washoff). Stopnja izpiranja  $W$ , v enoti masa na sekundo, je proporcionalna stopnji odtoka, ki narašča do neke vrednosti:

$$W = C_1 W^{C_2}$$

V enačbi je  $C_1$  koeficient izpiranja,  $C_2$  eksponent izpiranja in  $Q$  stopnja odtoka.

Srednja koncentracijska vrednost onesnažil (angl. event mean concentration) je poseben primer izpiranja po vrednostni krivulji, kjer je eksponent 1 (ena) in koeficient  $C_1$  predstavlja koncentracijo izpranega onesnažila [mg/l].

Program omogoča, da za posamezno onesnaževalo in posamezno obliko rabe območja določimo stalen odstotni delež. Ta ponazarja kateri koli ukrep, s katerim zmanjšamo količino onesnaževal na območju.

### 5.3.12 Čiščenje cestnih površin

Program omogoča dodajanje funkcije čiščenja cestnih površin za posamezno rabo območja (glej 4.3.8) z namenom zmanjšanja količine kopičenja onesnažila. Vnesemo podatke o številu dni med posameznimi čiščenji, število dni od zadnjega čiščenja do začetka simulacije ter delež nakopičenega onesnaževala, ki se ga lahko odstrani s čiščenjem cestnih površin. Če na območju ne opravljajo rednega čiščenja, okna pustimo prazna in tako program ne upošteva tega bloka. Avtor Nix navaja, da ima čiščenje zelo majhen vliv na količino onesnaževal. Če želimo imeti kakovostno čiščenje, se mora izvajati večkrat mesečno, sploh pa mora biti čiščenje izvedeno med obdobji med dvema padavinskima dogodkoma (Nix, 1994).

### 5.3.13 Čiščenje

Odstranjevanje onesnaževal iz vodnega toka, ki vstopa v KS skoti vozlišča, je določeno v oknu za vsak objekt, in sicer v zavihku, ki določa čiščenje (angl. treatment). Nahaja se na vsakem vozlišču (revizijski jašek, razbremenilnik, iztok ali zadrževalni objekt). Funkcija čiščenja je lahko vsak dobro formuliran matematični izraz, ki vsebuje naslednje parametre:

- koncentracijo onesnažila v mešanem odtoku, ki vstopa skozi vozlišče;
- odstranjevanje ostalih onesnažil (uporabimo predpono  $R_{\_}$ , ki predstavlja odstranjevane);
- kateri koli od naslednjih procesov:
  - tok.....za stopnjo toka v vozlišče [v enotah, ki jih nastavimo, npr. l/sek ali  $m^3/sek$ ],
  - globina.....za globino vode nad koto vozlišča [m],
  - površina.....za površino nad jaškom [ $m^2$ ],
  - DT.....za časovni korak [sek],
  - HRT.....za hidravlični čas zadrževanja [ura].

Rezultat funkcije čiščenja je ali koncentracija (označena s C) ali stopnja odstranjena (označena z R).

### 5.3.14 Krivulje

Krivulje objektov določajo funkcijsko odvisnost med dvema količinama. Program ponuja naslednje krivulje:

- akumulacijska krivulja: pokaže odvisnost med površino akumulacijskega vozlišča in med višino vode;
- krivulja razbremenilnika: je funkcija med količino razbremenilnega odtoka in celotnega dotoka;
- krivulja plime in oseke: kaže koto vode glede na čas v dnevu;
- črpalna krivulja: je funkcija toka skozi črpalko glede na globino, koto gladine ali volumen višje ležečega vozlišča;
- višinska krivulja: določa količino pretoka skozi iztočni kanal v odvisnosti od višinske razlike gladin preko nestandardne odprtine;
- kontrolna krivulja: determinira, kako se spreminjajo kontrolne nastavitve črpalke ali regulatorja pretoka, kot funkcija neke kontrolne spremenljivke (npr. višina vode v vozlišču), določena s kontrolnimi stavki.

Da lahko uporabljamo krivulje, je treba v oknu možnosti (angl. options) nastaviti, da program izračunava s krivuljami.

### 5.3.15 Časovno odvisne tabele

Časovno odvisne tabele se uporabljajo za opisovanje variiranja nastavitvev na določenem vozlišču glede na čas. Uporabljajo se za opisovanje podatkov o temperaturi, izhlapevanju, padavinah, višini vode na iztoku, zunanjih hidrogramov na vtoku vozlišč, zunanjih vtokov onesnaževala na posameznem vozlišču in o kontrolnih nastavitvah za črpalke ter regulatorje pretoka.

### 5.3.16 Časovni vzorec

Časovni vzorec omogoča variacijo zunanjega sušnega vtoka v periodični obliki. Vsebujejo niz faktorjev, ki so dodani kot množitelji osnovnega sušnega vtoka ali koncentracije onesnaževal. Imamo štiri različne časovne vzorce, in sicer mesečnega, dnevnega, urnega in vzorec, ki zajame samo vikende.

## 5.4 Računske metode

SWMM je fizikalno osnovan kot časovni simulacijski model. Za izračun uporablja osnove o ohranitvi mase, energije in vztrajnostnega momenta. V tem poglavju bom na kratko razložil metode, ki jih uporablja SWMM za modeliranje padavinskega odtoka (kvantitativni in kvalitativni parametri) z uporabo naslednjih fizikalnih procesov:

- površinski odtok,
- infiltracija,
- podzemne vode,
- topljenje snega,
- transport vode po KS,
- površinsko zadrževanje,
- transport onesnažil.

### 5.4.1 Površinski odtok

Shematičen pregled površinskega odtoka, kot ga uporablja SWMM, je prikazan na sliki 15. Vsako prispevno območje je obravnavano kot rezervoar. Vir dotoka so padavine ali pa je vir iz povezanega prispevnega območja. Poleg dotoka imamo tudi odtok, in sicer kot infiltracijo, izhlapevanje ali površinski odtok. Kapaciteta obravnavanega rezervoarja oz. prispevnega območja je enaka največjemu možnemu depresijskemu volumnu,  $h_p$ , ki je rezultat akumulacijske sposobnosti območja. Akumulacijska sposobnost je skupno zadrževanje vode v lužah, na površinsko omočeni zemljini in prestreženih padavin. Odtok iz prispevnega območja ( $Q$ ) se pojavi, ko je presežena sposobnost depresijskega volumna ( $h_p$ ). Odtok ( $Q$ ) se izračunava z Manningovo enačbo (5.4.1.).

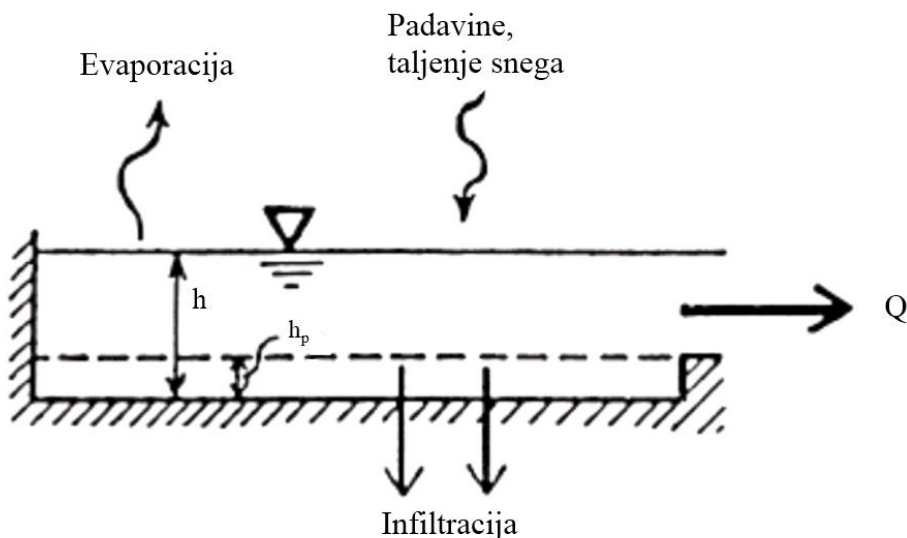
Predpostavimo, da se odtok na površju prispevnega območja obnaša kot enakomeren tok znotraj pravokotnega kanala s širino  $W$ , višino  $h-h_p$  in nagnjenostjo  $I$  (Rossman, 2015).

$$Q = S \cdot v = S \cdot \frac{1}{n_G} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (5.4.1)$$

V enačbi je  $n_g$  koeficient površinske hrapavosti,  $I$  je povprečna nagnjenost terena,  $S$  prečna površina prispevnega območja, po katerem teče voda, in  $R$  hidravlični radij. Ker je širina vedno veliko večja od » $h$ «, iz tega sledi  $S_x = W(h-h_s)$  in  $R_x = h-h_s$ . Parametra vnesemo v enačbo (5.4.1) in dobimo naslednjo enačbo za odtok (Rossman, 2015):

$$Q = \frac{1}{n_G} W \cdot I^{1/2} \cdot (h - h_s)^{5/3} \quad (5.4.2)$$

Hidravlični radij ( $R=S/O$ ) predstavlja volumen tekočine na enoto površine, na kateri se dotika tok in ostenje cevi, torej volumen, v katerem se porazgubi turbulenca, nastala na enoti površine ostenja (Steinman, 1999). Najbolj zapleten parameter v enačbi (5.4.2) je širina površinskega odtoka ( $W$ ). Širina površinskega odtoka zelo močno vpliva na odtok v kanalu. Ko je povečana širina ( $W$ ) površinskega toka, je posledično dolžina »rezervoarja« skrajšana. To pomeni, da se ob spreminjanju širine površina območja in globina volumna odtoka ne spreminjata. V primeru zmanjšanja širine območja pride do zakasnitve odtoka. Faktor širine ( $W$ ) je v praktičnih primerih zelo težko določiti. Iz tega razloga se parameter uporablja za kalibracijo modela (Nix, 1994).



Slika 15: Shematični pregled površinskega odtoka (Rossman, 2010: str 56)

## 5.4.2 Infiltracija

Infiltracija je proces prepojitve površine zemljine s padavinsko vodo. S procesom infiltracije se na prepustnih območjih zadrži velika količina voda, kar nam zmanjša konico odtoka. Teoretično je infiltracija opisana z Richardovo enačbo, ki pa je zahtevna nelinearna parcialna enačba ter tako težko uporabna za simulacije s programom SWMM. Inženirji so zato razvili več enostavnih algebraičnih infiltracijskih modelov. Modeli vsebujejo bistvene odvisnosti med infiltracijsko kapaciteto in med lastnostjo zemljine ter volumnom predhodno infiltrirane vode v času naliva. SWMM ima na voljo štiri metode. To so Hortonova, modificirana Hortonova, Green-Amptova in SCS metoda. Ker ni splošnega dogovora, katera metoda je najboljša oz. katera je primerna za posamezno območje, se uporabnik o izbiri odloči sam. Vse infiltracijske metode so zelo odvisne od vrste zemljine in od razmer v njej. (Rossman, 2015)

Ameriški NRCS (angl. Natural Resources Conservation Service, prej je to bil Soil Conservation Service ali SCS) je na podlagi poskusov izdelal klasifikacijo različnih vrst zemljin glede na njihovo prepustnost (Preglednica 4). Lastnosti zemljine so opisane s koeficientom CN, ki zajema vplive pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine (Preglednica 5) (Brilly, Šraj 2005. Modeliranje površ.....).

Preglednica 4: SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine (Brilly, Šraj 2005: str 26).

Skupina zemljine	opis	Stopnja izgub (mm/hr)
A	Nizek odtočni potencial. Zemljina ima, tudi če je nasičena, visoko stopnjo infiltracije. Globoke, dobro drenirane zemljine z zmerno teksturo (pesek, globoka rečna naplavina).	7,5–11,5
B	Povprečni do nizek odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, povprečno stopnjo infiltracije vode. Plitve rečne naplavine, peščena ilovica z zmerno prepustnostjo.	3,85–7,5
C	Visok do zmeren odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, nizko stopnjo infiltracije vode. Glinena ilovica, plitva peščena ilovica, zemljine z nizko vsebnostjo organskih snovi in zemljine z običajno visoko vsebnostjo glin.	1,3–3,85
D	Visok odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, zelo nizko stopnjo infiltracije vode. Zemljine z visoko gladino talne vode, z glinastim slojem ali neprepustnim slojem na površini ali tik pod površino, zaslanjena zemljišča ipd. Zemljine imajo zelo nizko stopnjo prepustnosti.	0,00–1,3

### 5.4.2.1 Hortonova metoda

Metoda temelji na empiričnih opazovanjih, ki kažejo, da se infiltracija eksponentno zmanjšuje z dolžino trajanja padavin. Vhodni parametri zahtevajo vnos podatkov o maksimalnih in minimalnih infiltracijskih stopnjah, zakasnitveni koeficient, ki določa hitrost padanja infiltracije v odvisnosti od časa, in čas, ki ga potrebuje nasičena zemljina, da se v celoti osuši. Dodaten parameter, ki ga lahko vnesemo, je maksimalen volumen infiltracije [mm].

Horton (1933,1940) je predlagal naslednjo eksponentno enačbo za predvidevanje zmanjšanja kapacitete infiltracije skozi čas. Enačba je empirična. Način določitve potrebnih parametrov je razložen v navodilih priročnika SWMM – Hidrologija (Rossman, 2015).

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty)e^{-k_d t} \quad (5.4.3)$$

$f_p$ .....intenziteta infiltracije [mm/h]

$f_\infty$ .....minimalna oz. ravnovesna intenziteta infiltracije

$f_0$ .....maksimalna oz. začetna intenziteta infiltracije [mm/h]

$t$ .....čas od začetka nastopa naliva [sec]

$k_d$ .....zakasnitveni koeficient [sec<sup>-1</sup>]

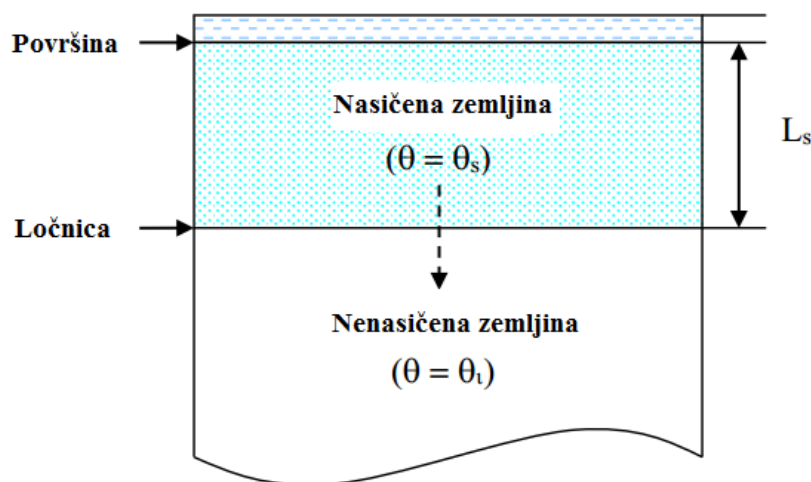
### 5.4.2.2 Modificirana Hortonova metoda

Metoda uporablja enake parametre kot originalna Hortonova metoda (glej poglavje 5.4.2.1). Toda predvideva, da bo del infiltrirane vode pronical v globino z minimalno stopnjo infiltracije. Rezultat tega je, da razlika med dejansko in minimalno infiltracijo, ki se akumulira pod površjem, povzroča, da se kapaciteta infiltracije zmanjšuje skozi čas. Z modificirano Hortonovo metodo dobimo natančnejše rezultate v primeru padavin z nizko intenziteto (Rossman, 2015).

### 5.4.2.3 Green-Amotova metoda

Temelji na predpostavki, da obstaja ravna ločnica med zgornjo, zaradi infiltracije nasičeno zemljino in med spodnjo, nenasičeno zemljino. Vhodni parametri so začetni primanjkljaj vlažnosti v zemljini ( $\Theta_{dmax}$ ), saturirana hidravlična prevodnost ( $K_s$ ) in kapilarni dvig na meji med nasičeno in nenasičeno zemljino ( $\Psi_s$ ).

Metoda temelji na konceptu infiltracijskega procesa, pri katerem se infiltrirana voda giblje navpično v nasičeno zemljino, začeni na površini (slika 9). Nasičena cona zemljine ima vlažnost  $\Theta$  na stopnji zasičenosti  $\Theta_s$ , medtem ko je vlažnost v nenasičeni coni nekje na začetni stopnji  $\Theta_i$  (Rossman, 2015).



Slika 16: Dve coni pri modelu Green-Ampt (Rossman, 2015: str 106).

Hitrost pronicanja vode med conama je določena s Darcyjevo enačbo, kot funkcija med hidravlično sposobnostjo  $K_s$ , kapilarnim dvigom na meji med nasičeno in nenasičeno zemljino  $\Psi_s$ , globino vode na površini  $d=h$  in globino nasičene cone  $L_s$ .  $L_s$  nadomestimo s kumulativno infiltracijo,  $F$ , in začetni primanjkljaj vlažnosti v zemljini pod nasičeno cono  $\Theta_d = \Theta_s - \Theta_i \rightarrow L_s = F/\Theta_d$ . Ob predpostavki, da je globina,  $d$ , zanemarljivo majhna v primerjavi z drugimi globinami, dobimo enačbo Green-Ampt (5.4.4) (Rossman, 2015)

$$f_p = K_s \cdot \left\{ 1 + \frac{\Psi_s \Theta_d}{F} \right\} \quad (5.4.4)$$

Zgornja enačba program uporablja, kadar se razvije nasičena cona. Pred točko, ko se razvijejo takšne razmere, pa velja, da je infiltracijska kapaciteta enake intenziteti padavin,  $f_p=i$ . V vsaki časovni točki se lahko preveri, če je že dosežena stopnja nasičenosti. To se preveri tako, da iz enačbe (5.4.4) izrazimo  $F$ , ki je označen s  $F_s$ . V enačbi je  $f_p$  enak intenziteti padavin,  $i$ . Rezultat enačbe (5.4.5) se primerja z realno kumulativno infiltracijo  $F$  ter se preveri, če je enaka ali večja od  $F$ . Pri tem ni kalkulacij  $F_s$  (5.4.5), kadar je  $i \leq K_s$  (Rossman, 2015).

$$F_s = \frac{K_s \Psi_s \Theta_d}{i - K_s} \quad (5.4.5)$$

Začetni primanjkljaj vlažnosti v zemljini ( $\Theta_{dmax}$ ) je definiran kot razlika med vlažnostjo zasičenosti in med vlažnostjo na začetku simulacije oz. padavinskega dogodka. Parameter  $\Theta_{dmax}$  ima največji vpliv na odtok iz prepustnih površin. Parameter lahko določimo iz tabel ali računsko (Rossman, 2015).

Podatke za saturirano hidravlično sposobnost ( $K_s$ ) najlažje dobimo iz tabel (Rossman, 2015, str. 118). Podatki so bili pridobljeni z meritvami na 5000 različnih zemljinah v Zduženih državah Amerike.

Kapilarni dvig na meji med nasičeno in nenasičeno zemljino ( $\Psi_s$ ) je parameter, ki ga je najtežje meriti. Na srečo pa rezultati infiltracije z Green-Amptovo metodo niso visoko odvisni od parametra  $\Psi_s$ . S to problematiko se je ukvarjalo več avtorjev in njihovi rezultati oz. vrednosti za parameter  $\Psi_s$  so dostopni v tabelah. Avtorji, ki so se ukvarjali s to problematiko, so: Mein and Larsen (1973), Brakensiek and Onstad (1977), Clapp and Hornberger (1978), Chu (1978), Rawls in drugi (1983). Glede na parameter  $K_s$  pa je verjetno najboljša možnost za izračun  $\Psi_s$ , da uporabimo podatke iz tabele avtorja Rawls in drugi (1983), kateri so navedeni v navodilih SWMM (Rossman, 2015).

#### 5.4.2.4 SCS metoda

Predpostavi, da je celotna infiltracijska sposobnost zemljine lahko določena iz tabele koeficienta CN (angl. curve number). Skozi proces trajanja padavin se infiltracijska sposobnost zemljine zmanjšuje kot funkcija skupne dolžine padavin in preostale infiltracijske sposobnosti. Potrebni vhodni parametri so koeficient CN (Preglednica 3), hidravlična prevodnost (za izračun minimalnega separacijskega časa za posamezen padavinski dogodek) in potreben čas, ki ga potrebuje nasičena zemljina, da se v celoti osuši.

Metoda je bila dodana v SWMM 5. Torej je dokaj nova v programu in je bila dodana zaradi svoje enostavnosti. Podatki za CN so dostopni za vse vrste zemljin. Metoda je zelo priljubljena pri inženirjih (Rossman, 2015).

Program SWMM za izračun zahteva dva podatka. To je CN in podatek o času sušenja ( $T_{dry}$ ) (to je čas, potreben, da se popolnoma nasičena zemljina osuši na vrednost, ki je običajna za suho zemljino). Program SWMM koeficient CN uporabi za izračun maksimalnega potencialnega zadrževanja ( $S_{max}$ ). (Rossman, 2015)

Odtok ( $Q$ ) je določen z enačbo in je odvisen od količine padavin (5.4.6). V osnovni metodi SCS, (5.4.6) je parameter  $P$  zamenjan s  $P - I_a$  kjer je  $I_a$  parameter za začetne izgube in opisuje izgube na površini povodja, preden pride do infiltracije vode v zemljino (vpliv vegetacije). Ker SWMM začetne izgube upošteva s parametrom za zadrževalno sposobnost  $d_p = h_p$  (glej slika 14), podatka za začetne izgube ne potrebujemo.



$$Q = \frac{P^2}{P + S_{max}} \quad (5.4.6)$$

Ob predpostavki, da vsa padavinska voda, ki ne odteče, predstavlja infiltracijo ( $P - Q = F$ ), je lahko enačba za  $Q$  (5.4.6) razširjena za določitev kumulativne infiltracije ( $F$ ) (5.4.7)

$$F = P - \frac{P^2}{P + S_{max}} \quad (5.4.7)$$

$$S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5.4.8)$$

Z znano regeneracijsko konstanto ( $k_r$ ) program določi minimalni regeneracijski čas med dvema padavinskima dogodkoma  $T_r$  [ura] (5.4.10).

$$k_r = \frac{1}{24T_{dry}} \quad (5.4.9)$$

Enačba za čas sušenja ( $T_{dry}$  [dan]) se uporablja za izračun regeneracijske konstante  $k_r$  [ura] (5.4.11).

$$T_r = \frac{0,06}{k_r} \quad (5.4.10)$$

Čas sušenja [ $T_{dry}$ ], ki je izražen v dnevih, je lahko določen v povezavi s saturirano hidravlično prevodnostjo ( $K_s$ ) v [in/hr]. Pozorni moramo biti, da v enačbo vstavimo  $K_s$  v enoti [in/hr].

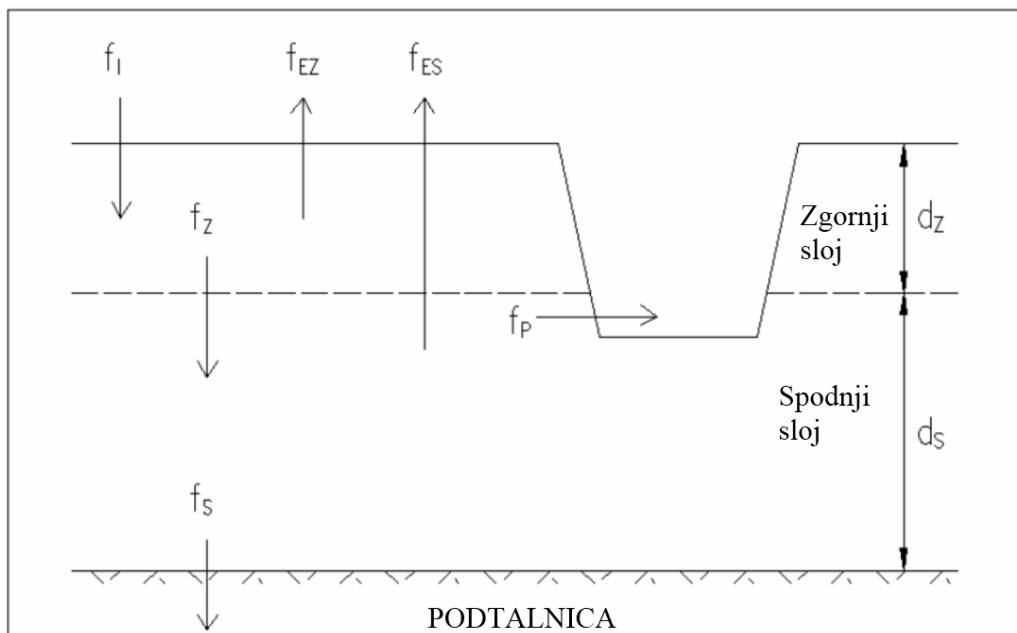
$$T_{dry} = \frac{3,125}{\sqrt{K_s}} \quad (5.4.11)$$

Preglednica 5: Koefficient CN za urbanizirane površine (Brilly, Šraj 2005: str 97).

Raba tal	% neprep. Površin	Vrednost CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<b>Odperte površine (parki, nasadi, igrišča za golf, pokopališča itd.)</b>					
slabi pogoji (pokritost s travo < 50 %)		68	79	86	89
povprečni pogoji (pokritost s travo 50 % do 75 %)		49	69	79	84
dobri pogoji (pokritost s travo > 75 %)		39	61	74	80
<b>Neprepustne površine</b>					
tlakovane površine, strehe, ceste		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z robniki in kanaliziranimi odtoki		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z odprtimi kanali		83	89	92	93
makadamske ceste (pesek)		76	85	89	91
neobdelane poti (zemlja)		72	82	87	89
<b>Urbana območja</b>					
komercialna in poslovna območja	85	89	92	94	95
industrijska območja	72	81	88	91	93
<b>Stanovanjske površine</b>					
povprečna velikost parcele do 500 m <sup>2</sup>	65	77	85	90	92
povprečna velikost parcele do 1000 m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
povprečna velikost parcele do 1300 m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
povprečna velikost parcele do 2000 m <sup>2</sup>	25	54	70	80	85
povprečna velikost parcele do 4000 m <sup>2</sup>	20	51	68	79	84
povprečna velikost parcele do 8000 m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82

### 5.4.3 Podzemne vode

Spodnja slika je skica, ki definira dvoslojni model podzemne vode, ki ga uporablja SWMM. Zgornji sloj je nenasičen (nasičen samo do neke stopnje, ki je manjša od 100 %), spodnji sloj pa je zasičen s 100 % vlažnostjo.



Slika 17: Dvoslojni model zemljine (Rossman, 2010: str 57).

$f_I$  ..... infiltracija iz površine

$f_{EU}$  ..... evapotranspiracija iz zgornjega sloja

$f_u$  ..... pronicanje iz zgornjega v spodnji sloj, ki je odvisen od vlažnosti in debeline  $d_z$  zgornjega sloja

$f_{EL}$  ..... evapotranspiracija iz spodnjega sloja

$f_L$  ..... pronicanje iz spodnjega sloja v podtalnico, ki je odvisno od debeline spodnjega sloja  $d_s$

$f_G$  ..... bočni dotok podzemne vode, ki je odvisen tako od debeline spodnjega sloja kot tudi globine kanalizacijske cevi

#### 5.4.4 Taljenje snega

V programu SWMM je taljenje snega del izračunavanja padavinskega odtoka. Vsako taljenje snega je dodano kot dodaten vir padavinskega odtoka na prispevnem območju.

#### 5.4.5 Transport vode po KS

Transport vode med vozlišči program določa s tremi vrstami tokov:

- stacionarni (stalni) tok,
- kinematični tok,
- dinamični tok.

Stacionarni (stalni) tok predstavlja najenostavnejši možni tok vode. Predpostavlja, da je tok v vsaki točki stalni enakomerni tok. Tako program samo prenese dotočni hidrograf na začetku cevi na konec cevi, brez spremembe oblike cevi. Za izračun pretoka program uporablja Manningovo enačbo. Ta metoda ne upošteva zadrževalne objekte, povratnega toka ali vtočno/iztočnih izgub. Uporabi se samo v nerazvejanih sistemih, kjer ima vsako vozlišče samo en vtok in en iztok. Ta metoda se uporabi samo za predhodne analize, po katerih sledi dolgoročna simulacija.

Pri stacionarnem (stalnem) toku v vsaki točki danega prečnega prereza ostane hitrost konstanta po velikosti in smeri, tlak pa ostaja nespremenjen. To pomeni, da se pri stalnem oz. stacionarnem toku hitrost in tlak spreminjata samo po prostoru, ne pa po času. Takšen tok nastaja pri toku v ceveh pri stalnem tlaku, pri mirnem toku stalne količine vode preko preliva, itd. (Steinman, 1999, str. 11). Spodaj je prikazan matematičen zapis.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \text{in} \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (\text{Steinman, 1999, str. 11}) \quad (5.4.12)$$

Pri enakomernem toku so si površine prečnih prerezov v smeri toka vodotoka medsebojno enake. Prav tako so enake hitrosti v istih točkah v raznih prečnih prerezih. Takšna oblika toka se pojavlja v cilindrični cevi s stalnim premerom in pretokom kot tudi pri odprtem kanalu enakega preseka, enaki globini vode in pretoka na celotni dolžini opazovanega odseka kanala (Steinman, 1999, str. 11).

Kinematičen tok program računa s poenostavljeno obliko momentne enačbe v vsaki cevi. Program upošteva, da je padec gladine vode v cevi enak padcu dna cevi. Najvišji možni pretok v cevi je enak pretoku po Manningovi enačbi pri polni polnitvi cevi. Višji pretoki od te vrednosti se ne izračunavajo in so tako rekoč izgubljeni ali pa se upoštevajo kot akumulirana voda nad vozliščem, ki se ob zmanjšanju pretoka odlije v cev kanalizacijskega sistema. Pri tej metodi se ne upošteva povratnega toka, vtočno/iztočnih izgub ali toka pod tlakom ter ne upošteva več cevi v enem vozlišču. Običajno lahko ohranja numerično stabilnost pri daljših časovnih korakih, tj. 5–15 min. Če pri simulaciji ne potrebujemo krajših korakov, je ta metoda zelo učinkovita, še posebej pri dolgoročnih simulacijah.

Dinamični tok rešuje SWMM s kompletnimi Saint-Venantovimi enačbami in na podlagi tega je takšen izračun najbolj natančen. Program za izračun uporablja kontinuitetno in momentno enačbo za kanale oz. cevi in dodatno kontinuitetno enačbo v vozliščih. Z enačbami dinamičnega toka se lahko simulira tok pod tlakom (pojavi se, ko je cev popolnoma polna), uporabi se za izračun zadrževalne sposobnosti kanala, povratni tok, vtočno/iztočne izgube, za tok skozi razbremenilnike, črpališča in prelive. Zaradi zahtevnih enačb program za simulacijo uporablja krajše časovne intervale (intervali so manjši od 1 min).

#### 5.4.6 Površina za zadrževanje vode nad vozliščem

Po navadi se pri odtoku po KS v primeru, ko je presežena kapaciteta odvodne cevi, odvečna voda prelije nad vozlišče in je izgubljena. Program ima možnost, da to odvečno vodo shranimo nad vozliščem v tako imenovanem zadrževalnem območju. Ko se pretok zmanjša oz. ko kapacitete cevi to dovoljujejo, se zadržana voda odvede v KS. Kadar za simulacijo uporabljamo stalen ali kinematičen tok, program zadržano vodo upošteva kot presežen volumen. Pri uporabi dinamičnega toka pa SWMM predvidi, da se presežen volumen zadrži na površini nad vozliščem. Treba je vnesti podatke o površini, namenjeni zadrževanju, in sicer za vsako vozlišče posebej. Podatke vnesemo v kvadratnih metrih. Uporabimo lahko tudi orodje za skupinsko urejanje ter tako določimo za vsa vozlišča enako površino.

#### 5.4.7 Transport onesnažil

Za transport onesnažil znotraj kanalizacijskih cevi program SWMM predpostavi, da se cev obnaša kot brezstopenjski mešalni zadrževalni reaktor (angl. continuously stirred tank reactor). Bolj realno bi bilo uporabiti cevni reaktor (angl. plug flow reactor), toda razlike bi bile majhne. Program za modeliranje transporta onesnažil v zadrževalnih bazenih uporablja enako metodo kot pri transportu skozi cevi. Pri drugih vrstah vozlišč, ki so brez volumna, pa program predpostavi, da je kvaliteta iztočne vode iz vozlišča preprosto kombinacija (mešanica) koncentracij vseh vod, ki vstopajo v vozlišče. Glavna enačba, ki jo program uporablja, je:

$$\frac{dVC}{dt} = \frac{V \cdot dC}{dt} + \frac{C \cdot dV}{dt} = (Q_i \cdot C_i) - (Q \cdot C) - K \cdot C \cdot V \pm L \quad (\text{Nix, 1994}) \quad (5.4.13)$$

C..... koncentracija onesnaževala v cevi in iztoku iz cevi [mg/l]

V..... volumen vode v cevi [liter]

Q<sub>i</sub> .... dotok v cev [liter/sek]

C<sub>i</sub>..... koncentracija onesnažila na vtoku [mg/l]

Q..... iztok iz cevi [liter/sek]

K..... koeficient razpadanja onesnažila [sek<sup>-1</sup>]

L..... vir onesnažila v cevi [mg/sek]

### 5.5 Simulacija

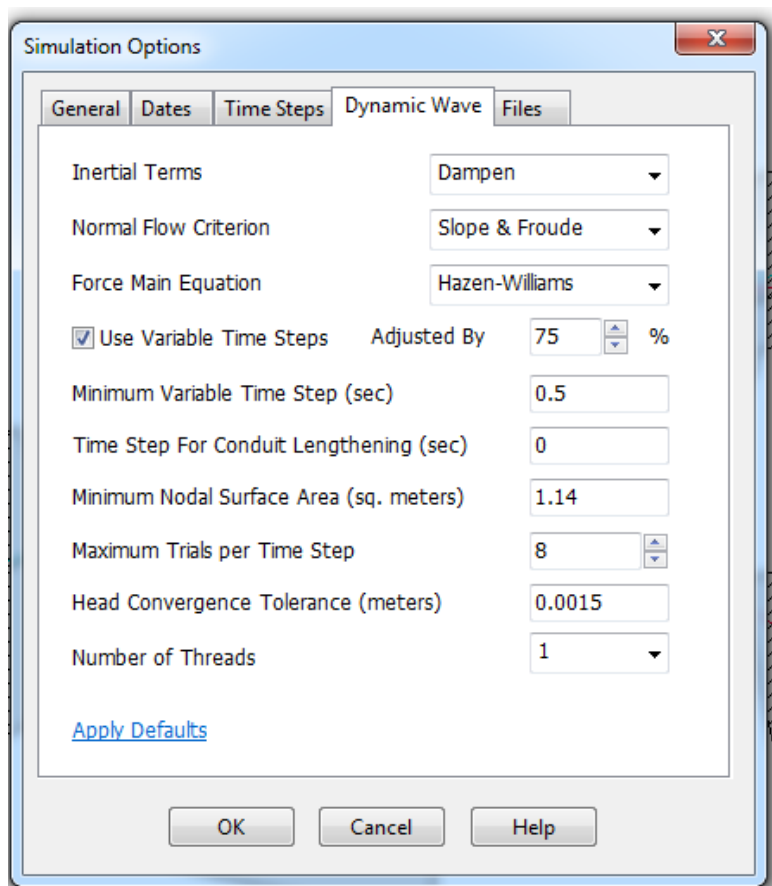
Najprej preverimo, da imamo enote nastavljene na metrični sistem (program nam omogoča lit/sek, m<sup>3</sup>/s ali milijon litrov/dan). Pred pričetkom simulacije je treba nastaviti še nekaj možnosti, ki jih najdemo v oknu možnosti. To so možnosti glede vrste simulacije, ki jo želimo opravljati, kot je izbira simulacije

odnosa med padavinami in povzročenim odtokom, vpliv taljenja snega, kvaliteta odtoka in vpliva podzemnih voda. Izberemo vrsto toka, s katerim želimo opravljati simulacijo, tj. stacionarni tok, kinematični tok ali dinamični tok. Izberemo metodo, s katero simuliramo infiltracijo (poglavje 5.4.2). V nastavitvah določimo začetek in konec simulacije ter število predhodnih suhih dni. Določimo tudi časovne korake. Pri tem se je treba zavedati, da krajši časovni korak povečuje natančnost. Še posebej moramo biti pozorni pri dinamični obliki toka, kjer naj bo korak manjši od 60 sek. Dodatne nastavitve zahteva tudi dinamična oblika toka (poglavje 5.5.1).

Ko vnesemo celoten KS v program SWMM, lahko zaženemo simulacijo. Z modelom simuliramo volumen odtoka, naraščanje odtoka v času padavin, velikost pretoka v posamezni cevi, delovanje razbremenilnih in zadrževalnih bazenov ter spremljamo koncentracijo onesnažil skozi čas.

### 5.5.1 Možnosti pri dinamičnem toku

Kadar simuliramo z dinamičnim tokom, je treba v zavihku možnosti vnesti dodatne parametre, ki kontrolirajo, kako so narejene kalkulacije pri simulaciji z dinamičnim tokom.



Slika 18: Nastavitve za dinamično obliko toka (vir: program SWMM)

## 5.5.2 Problemi pri simulaciji

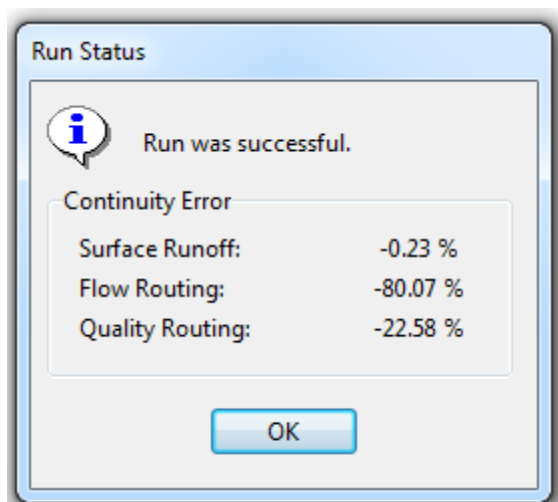
Pri zagonu simulacije lahko pride do prekinitve. Program sporoči napako, ki jo je treba odpraviti. Za odpravljanje napak je zelo priročen dodatek na koncu priročnika SWMM, v katerem so opisani vzroki za posamezno težavo. V nadaljevanju bom predstavil nekaj tipičnih napak, zaradi katerih se simulacija predhodno konča.

### 5.5.2.1 Napaka kanalizacijskega sistema

- iztočno vozlišče ima lahko samo eno priklopljeno cev;
- vozlišče, ki predstavlja razbremenilnik, mora imeti točno dve iztočne cevi;
- pri simulaciji s kinematičnim tokom, ima lahko vozlišče samo eno iztočno cev;
- pri simulaciji z dinamičnim tokom mora biti vsaj eno iztočno vozlišče.

### 5.5.2.2 Prevelika napaka simulacije

Ko je simulacija končana, nam program sporoči, kakšna je računsko napaka (slika 9) za odtok, napaka za odvodnjavanje po ceveh in napaka za onesnaževala. Odstotek napake predstavlja razliko v odstotkih med začetno količino zadrževanja skupaj s celotnim dotokom in med končno količino zadrževanja skupaj s celotnim odtokom na celotnem prispevnem oz. kanaliziranem območju. Kadar je napaka nerazumno visoka, tj. kadar je napaka večja od 10 %, je treba iskati vzrok v premajhnih časovnih korakih ali v prekratkih ceveh (nastavimo v možnostih dinamičnega toka tj. Options => Dynamic Wave). Dodatno lahko pogledamo v poročilo statusa ( v zavihku Report => Status), kjer vidimo, v katerem vozlišču ali cevi prihaja do največje napake.



Slika 19: Status simulacije (vir: program SWMM)

### 5.5.2.3 Nestabilen rezultat odvodnjavanja po ceveh

Zaradi numeričnih metod, na podlagi katerih program simulira odtok, lahko prihaja do nihanj pretoka v nekaterih ceveh ali globine vode v nekaterih vozliščih. Pogosteje se to dogaja pri dinamični obliki toka v nekem časovnem obdobju. Program SWMM ne prepozna pogojev, ko je takšno stanje doseženo. Naloga uporabnika je torej, da preveri numerično stabilnost modela ter določi, če so rezultati simulacije veljavni. Pri odločitvi si uporabnik lahko pomaga z grafom odtoka v problematičnih ceveh omrežja. Numerična nestabilnost se pojavi v nekem obdobju odtoka (ni prisotna v celotnem trajanju odtoka) in je velikokrat ni mogoče prepoznati, če imamo prevelik časovni korak. Temu se izognemo tako, da nastavimo časovni korak za poročilo (angl. reporting, najdemo ga pod zavihkom možnosti) na vrednost, ki je manjša od ene minute.

Numerična nestabilnost pri dinamični obliki odtoka se lahko zmanjša na naslednje načine (glej sliko 19):

- zmanjšanje časovnega koraka za poročilo (Time steps => Reporting);
- uporabiti variabilen časovni korak z manjšim faktorjem časovnega koraka (obkljukamo polje za uporabo variabilnega časa, angl. use variable time);
- izbira možnosti za ignoriranje inercialne oblike momentne enačbe (Inertial Terms => Ignore);
- izbira možnosti za podaljševanje cevi (Dynamic Wave => Time step for conduit lengthening). Ta možnost ima velik vpliv na kvaliteto odtoka.

## 5.6 Prednosti in slabosti programa SWMM

Prednosti programa SWMM (Mlakar, 2007):

- natančna simulacija kvantitativnega in kvalitativnega dogajanja na prispevnih območjih in v KS za kratkoročne in dolgoročne simulacije,
  - za simulacijo kvalitativnega dogajanja na prispevnih območjih in v KS je na voljo veliko različnih metod
  - poljubno število vnesenih objektov KS,
  - veliko različnih načinov podajanja rezultatov (poročila, preglednice, grafi, situacije, vzdolžni prerez kanalov itd.),
  - vhodni podatki so lahko vneseni tudi preko Beležnice (\*.txt),
  - brezplačen program,
  - možna je pretvorba podatkov v druge formate (\*.dxf, \*.wmf, \*.map).



Slabosti programa SWMM (Mlakar, 2007):

- uporabniški grafični vmesnik ne vsebuje funkcije »razveljavi« (»Undo«),
- situacija nima merila, prav tako ga nimajo vzdolžni prerezi kanalov,
- SWMM ne podpira ozadja (slika, zemljevid itd.) v delovnem oknu formata (\*.tiff),
- pri izrisu grafikonov ni možen izris večjih serij podatkov,
- rezultati simulacije zasedejo ogromno prostora na disku.

## 6. VRSTA IN KONCENTRACIJA ONESNAŽEVAL

Suspendirane ali neraztopljene snovi so usedljive, plavajoče in lebdeče snovi ter tako odstranljive s fizikalnimi postopki. Vir anorganskih snovi so gline in peski, vir organskih snovi pa odmrli in živi mikroorganizmi. Dimenzija suspendiranih snovi je  $10^{-4}$  mm ali več (Urbanič, 2003).

Kemijska potreba kisika (KPK) je merilo za organsko onesnaženje. Z njim določimo vse organske snovi, ne moremo pa ločiti med biološko razgradljivimi in biološko inertnimi organskimi snovmi. KPK je parameter, ki pove količino kisika, potrebnega za kemijsko oksidacijo organskega onesnaženja v odpadni vodi.

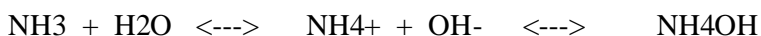
Biokemijska potreba kisika (BPK) je množina kisika, potrebna za oksidacijo razgradljivih organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov. Je merilo za onesnaženje odpadnih voda z razgradljivimi organskimi snovmi. Ker je postopek poleg količine in koncentracije organskih snovi odvisen od temperature ter števila in aktivnosti mikroorganizmov, je standardiziran pri 20 °C in trajanju pet dni. Z BPK določimo onesnaženje v obliki kisika, ki ga mikroorganizmi porabijo pri razkroju snovi. Vzorcju na začetku in na koncu postopka določimo množino kisika in iz te razlike določimo množino kisika, ki ga mikroorganizmi porabijo pri razgradnji organskih snovi. Vrednosti  $BPK_5$  so v neobremenjenih vodotokih manjše od 2 mg/l, kjer pa je prisoten vpliv odpadne vode, pa okrog 10 mg/l (Urbanič, 2003).

Celotni dušik je vsota vseh vrst dušikovih spojin (vsota TKN (celotnega dušika po Kjeldahlu), nitritnega in nitratnega dušika)

Amonijev dušik je v vodi prisoten prvenstveno kot  $NH_4^+$ , znatno manj v nedisociirani obliki  $NH_4OH$ . Slednji je zelo toksičen za vodne organizme, posebno za ribje populacije. Razmerje med  $NH_4^+$  in  $NH_4OH$  je odvisno od disociacijske dinamike, na katero vplivata pH in temperatura. Kadar je pH nižji od 7, prevlada amonijev ion, pri višjem pH-ju pa se ravnotežje premakne na levo stran (vir: Opinio, Splet). Neonesnažene vode vsebujejo malo amonijevega dušika, navadno manj kot 0,1 mg/l, izraženega kot dušik ( $NH_4^+-N$ ). Običajne vrednosti v površinskih vodotokih so 0,2 mg/l, lahko pa tudi 2–3mg/l. Višje koncentracije so posledica onesnaževanja s komunalnimi in industrijskimi odpadnimi vodami ter posledica izpiranja iz gnojil. Zaradi tega je amonijak indikator organskega onesnaženja (Chapman, 2006).

nizek pH

visok pH



Nitritni dušik se določa kolorimetrično. Je precej nestabilen in se zlahka oksidira v nitratno obliko. Je pokazatelj zmerno starega onesnaženja in redko prekorači mejo 1 mg/l v odpadni vodi in 0,1 mg/l v površinskih vodah ali podtalnici. Vendar pa je kljub tako nizkim koncentracijam, v katerih se pojavlja, izjemno pomemben parameter za preučevanje obremenitve voda, saj je zelo toksičen za večino vrst rib in drugih v vodi živečih vrst. (Opinio. Splet)

Nitratni dušik ( $\text{NO}_3^-$ ) je končni produkt aerobne razgradnje organskih dušikovih spojin. V vodotokih so vir nitratnega dušika izpiranje površin, odmrli deli rastlin in živali ter vulkanske kamnine. V neonesnaženih vodah so sezonske spremembe nitratov posledica primarne produkcije in odmiranja organizmov, vendar vrednosti navadno ne presegajo 1 mg/l. Višja koncentracija je posledica izpiranja kmetijskih površin zaradi umetnih gnojil in ob takih pogojih vrednosti dosega 10 mg/l. Vrednosti okoli 25 mg/l pa so posledica komunalnih odpadnih voda (Urbanič, 2003). Zgornja meja dopustne koncentracije pri izpustu neposredno ali posredno se določi po formuli (enačba 6.1.1) in hkrati vrednost ne sme biti večja od 20 mg/l (Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo).

$$\text{MVK} = 0,3 \cdot \text{OSK} \cdot sQ_{np} / Q \quad (6.1.1)$$

Fosfor je vitalni faktor v življenjskih procesih. Pospešuje primarno produkcijo v vodnih telesih (rast mikroorganizmov). V površinskih in odpadnih vodah se nahaja v obliki fosfatov. Najpogostejše oblike so ortofosfati, polifosfati in organsko vezani fosfati. Velik vir fosfatov so detergenti ter spiranje umetnih gnojil s kmetijskih površin. Organsko vezani fosfati nastajajo pri bioloških procesih. Navadno jih določamo kot celotni fosfor. Za določanje vrednosti je najprimernejša spektrofotometrija. V neobremenjenih vodotokih koncentracije ne presegajo 0,1 mg/l. Ker so kmetijske površine velik vir fosforja, dosega vodotoki na kmetijskih območjih koncentracije okoli 0,25 mg/l. Povišanje povzročajo komunalne in industrijske odpadne vode (Urbanič, 2003).

Elektro prevodnost je sposobnost vode, da prevaja električni tok. Odvisna je od temperature raztopine in koncentracije ionov. Meri se v mikrosiemensih na centimeter ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Na prevodnost vpliva obremenjenost s hranili, saj se z višjo količino hranil poveča količina nabitih delcev in s tem elektro prevodnost. Najvišje vrednosti so jeseni, ko prihaja do intenzivne razgradnje odpadnega listja. Padavine, nasprotno, zaradi razredčenja zmanjšujejo elektro prevodnost. V vodotokih je običajna vrednost med 10 in 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Višja vrednost kaže na obremenjenost s hranili (dušik, fosfor, ...) (Urbanič, 2003).

Koncentracija raztopljenega kisika je bistvena za vse aerobne organizme. Koncentracija se spreminja v odvisnosti od temperature in atmosferskega tlaka, slanosti, turbulence, fotosintezne aktivnosti primarnih producentov in respiratorne aktivnosti življenjske združbe. Značilno je, da se z višanjem temperature

topnost kisika manjša. S fotosintezo se koncentracija povečuje, medtem ko respiracijska aktivnost organizmov zmanjšuje vsebnost raztopljenega kisika. Rezultat tega je, da koncentracija kisika niha glede na letni čas in tudi glede na uro v dnevu. Ne pozabimo, da fotosinteza poteka le ob svetlobi, tako da ponoči koncentracija pade, saj nam takrat poteka le poraba kisika. Koncentracija v vodotokih niha med 15 mg/l pri 0 °C in 8 mg/l pri 24 °C. Koncentracije pod 5 mg/l negativno vplivajo na delovanje organizmov. Vrednosti pod 2 mg/l povzročajo smrt rib in drugih organizmov (Urbanič, 2003).

pH vpliva na številne biotske in kemijske procese v vodi. Spremembe v pH so lahko posledica efluentov, še zlasti če je hkrati povišana elektro prevodnost. V naravnih vodotokih je pH med 6,0 in 8,5. Nižje vrednosti se lahko pojavijo v vodah, bogatih z raztopljenimi organskimi snovmi, medtem ko so višje vrednosti pogoste v evtrofnih sistemih (Urbanič, 2003). Kadar je pH nad 7, torej bazičen, se sklepa na fotosintezno aktivnost alg.

Poleg opisanih parametrov so bile v analizi opravljene analize drugih parametrov. To so temperatura, sulfat, klorid, cink, svinec, nikelj, kadmij, baker in šestvalentni krom (preglednica 6).

Preglednica 6: Organski in anorganski parametri (vir: Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo)

Anorganska onesnaževala	Cink, svinec, nikelj, kadmij, baker, šestvalentni krom, sulfat, kloridi, celotni dušik, amonijev dušik, nitritni dušik, nitratni dušik, fosfor
Organska onesnaževala	KPK, BPK

Izvor onesnažil v padavinski odpadni vodi na urbaniziranih področjih je zelo raznolik. V preglednici 7 so prikazana nekatera onesnažila in njihov najpogostejši izvor. Največji vir so vozila, ki pa v zadnjem obdobju več ne povzročajo onesnaževanja s svincem, ker pri nas uporabljamo neosvinčen bencin. Vozila znatno obremenjujejo okolje s platišči (degradacija platišča) in z obrabo zavornih ploščic. Velik vir onesnaževanja nam predstavlja izpiranje zemljin, ki povzroča onesnaženje s suspendiranimi in organskimi snovmi.

Preglednica 7: Izvor onesnaževal v odpadni vodi, ki nastaja na urbaniziranih območjih (vir: Nix, 1994: str 6).

VIR ONESNAŽEVALA							
Onesnaževalo	Erozija zemljine	Vozila		Industrij. odpadki	Fosilna goriva	kemikalije iz vrtov in zelenic	Živalski odpadki
		Platišče	Izpuh				
Suspendirane snovi	V	V			V		
Organski material	V	V	m				V
Hranila							
Dušik	m		V	m			V
Fosfor	V		m				V
Nafta		V	V	V			
Mikro organizmi							V
Težke kovine							
Železo	V						
Mangan	V						
Cink	m	V		m		V	
Svinec			V	V			
Baker		V		V			
Krom		V		V			
Nikelj		m		V			
Kadmij		m		V			
Sulfat			m		V	V	V
Kislina							
Dušikova kislina		V			V		
Žveplova kislina		V			V		
Pesticidi						V	
	V - glavni vir			m - manjši vir			

## 6.1 Koncentracija onesnažil na Viču v Ljubljani

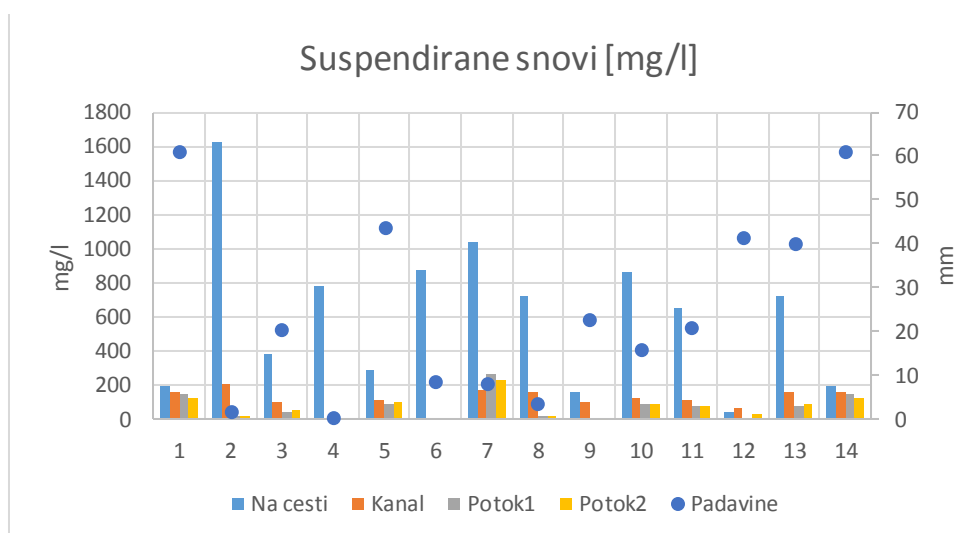
Na Viču v Ljubljani je Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo opravljala vzorčenja in meritve kakovosti vode v obdobju med 10. 11. 2004 in 9. 2. 2007. Vzorci so bili odvzeti v luži pred fakulteto na Hajdrihovi 28 v Ljubljani. Merilna mesta so bila na iztoku iz razbremenilnega bazena v potok Gradaščica, v potoku Gradaščica pred izpustom iz razbremenilnika in iz potoka Gradaščica po izpustu odpadne vode iz razbremenilnega bazena (Panjan in sod., 2013). Rezultati meritev so prikazani v spodnjih grafikonih. Podatke sem uredil v vrstnem redu, po letnih časih, tako da se lahko razbere vpliv letnega časa na kakovost odpadne vode. V preglednici 8 je prikazan vrstni red podanih meritev in količina padavin, ki so nastopile na dan opravljanja meritev. Dodal sem vremenske lastnosti pred meritvami, iz katerih lahko razberemo, kakšne lastnosti so bile na prispevnem območju pred meritvami. V primeru daljšega sušnega obdobja (večjega števila dni brez padavin) lahko pričakujemo višje kopičenje onesnažil, kar se pozna pri opravljanju meritev, v višji koncentraciji analiziranega parametra. Vemo, da višje kopičenje

onesnažil pomeni v času padavin večje izpiranje. Prve štiri vrstice predstavljajo meritve v jesenskem času. Peta, šesta in sedma meritev predstavljajo zimsko obdobje, 8.–12. meritev je spomladansko obdobje. Poleti je bila opravljena samo ena meritev, in sicer julija. Opravljenih je bilo 13 krogov meritev. Grafikone sem uredil tako, da sem dodal štirinajsto meritev, ki je bila opravljena 30. 9. 2005, z namenom, da je lažje razbrati prehod iz poletja na jesen. Podatki za grafikone so podani v prilogi D. V prilogi D so z rumeno barvo označene vrednosti, ki presegajo mejno vrednost, določeno v slovenski zakonodaji. Mejne vrednosti za posamezen parameter so določene v Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS št. 64-2582/12:6392 in Uradni list RS št. 64-2706/14:7322), v nadaljevanju Uredba [2], ter v Uredbi o stanju površinskih voda (Uradni list RS št. 14-437/2009:1757, Uradni list RS št. 98-5091/2010:15307 in Uradni list RS št. 96-3445/2013:10357), v nadaljevanju Uredba [3].

Preglednica 8: Količina padavin na dan opravljanja meritev in razmere predhodnega obdobja (vir: Meteorološki letopisi. 2015).

št.	datum	padavine [mm]	ura vzorčenja	Podatki o padavina na dan meritve
1	30.9.2005	60,8	9:00-9:50	Prej 2 dni dež, 3.-6. dan suho, 7.-13. dan pred meritvami deževno obdobje. Sprano območje.
2	10.11.2004	1,5	9:00-9:30	Predhodno rahlo sprano območje. Meritve opravljene po majhni količini padavin.
3	23.11.2006	20,1	10:00-10:50	Prejšnji dan 17mm in pred 2 dnevoma 5,9mm. Pred tem 18 dni suhega vremena. Nakopičena onesnažila.
4	24.11.2006	0	/	Brez padavin. Vzorec vzet samo iz luže.
5	24.1.2007	43,3	12:00-13:05	En dan prej 8,3mm. 2 dni prej pa 9,7mm. Pred tem 12 dni suhega
6	9.2.2007	8,4	/	En dan prej 4mm in dva dni prej 19,6mm. Pred dežjem 12 dni suhega. Vzorec samo iz luže.
7	17.2.2006	8	9:00-9:50	Prejšnji dan 3mm, 2-35 dan je bilo suho. Vpliv snežne odeje, ki se je tanjšala.
8	29.3.2005	3,1	10:00-10:30	Pred meritvami 5 dni rahle padavine, še pred tem pa 10 dni suho. Bilo je rahlo sprano območje
9	4.4.2006	22,2	9:00-9:50	Pred tem 4 dni suhega, 5. in 6. dan pred meritvami skupaj 8mm padavin
10	11.4.2005	15,7	10:50-11:20	Pred tem 2 dni močan dež, skupaj 56,5mm.Zelo sprano območje
11	5.5.2005	20,6	11:00-11:30	En dan pred meritvami 6 mm padavin, pred tem 7 dni suho
12	31.5.2006	41,1	9:00-9:50	Pred meritvami dva dni dež. 48,5 in 10,8 mm
13	6.7.2005	39,5	10:30-11:00	En dan pred meritvami 2,1mm padavin. Pred tem pa 2 dni suho ter 3. do 7. dan pred meritvami dolgotrajen dež
14	30.9.2005	60,8	9:00-9:50	Prej 2 dni dež, 3-6 dni suho, 7-13 deževno obdobje

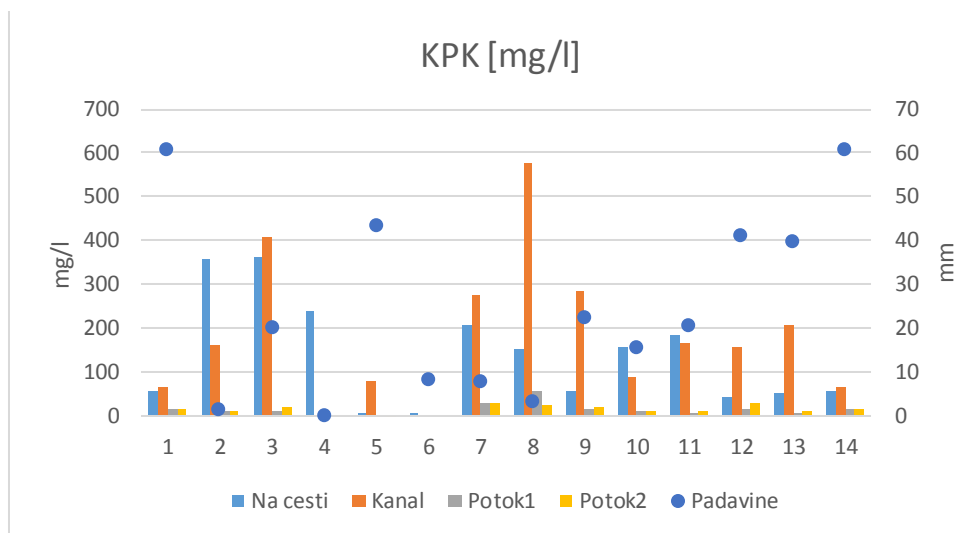
Za suspendirane snovi je dovoljena koncentracija za odvajanje posredno ali neposredno v vode 80 mg/l (uredba [2]). Presežene vrednosti so pri vseh vzorcih, vzeti iz luže (razen pri vzorcu z 31. 5. 2006). Presežena je bila tudi koncentracija v meritvah v kanalu, kjer so bile presežene vse vrednosti razen pri meritvah, opravljenih 31. 5. 2006 (12.). Takrat je bilo območje predhodno močno izprano (v dveh dneh 50 mm padavin) in posledično ni bilo veliko onesnaženja na prispevnem območju. Presežene so bile tudi vrednosti pred izpustom in za izpustom iz razbremenilnega bazena. Presežene vrednosti so bile z dne: 30. 9. 2005 (1.), 24. 1. 2007 (5.), 17. 2. 2006 (7.), 11. 4. 2006 (10.) in 6. 7. 2005 (13.) (rahlo nad mejo). V potoku je bila meja za suspendirane snovi presežena v dogodkih z večjo količini padavin. Vir suspendiranih snovi so glin, peski in mikroorganizmi, ki pridejo v potok tudi iz drugih virov, kot je erozija. Opaziti je višje koncentracije v padavinskih dogodkih z majhno količino padavin. Pri močnejših padavinah pa je koncentracija manjša. To nakazuje na razredčenje snovi. Iz opravljenih meritev je težko določiti, ali ima letni čas vpliv na koncentracijo. Je pa opaziti vpliv padavin na koncentracijo suspendiranih snovi, saj je koncentracija višja pri manjših padavinah.



Grafikon 1: Suspendirane snovi

Mejna vrednost za KPK je 120 mg/l (uredba [2]). Pri dogodkih z majhno količino padavin (zlasti 29. 3. 2005, dogodek št. 8) je višja koncentracija v kanalu, kar nakazuje, da padavine niso povzročile povečanega pretoka v kanalu in je takšen vzorec zelo podoben vzorcu ob sušnem pretoku. Vzrok gre iskati tudi v dejstvu, da je bilo območje predhodno izprano in ni bilo možnosti, da bi bila v luži visoka koncentracija KPK. Pri ostalih dogodkih se prav tako opazi, da je ob obilnejših padavinah koncentracija za KPK manjša. Če primerjamo dogodke pod št. 3, 9, 10 in 11 (pri vseh štirih dogodkih je bila podobna količina padavin, okrog 20 mm), zaznamo povečano koncentracijo v dogodku št. 3. Za dogodek št. 3 je značilno, da je bilo predhodno nekoliko sprano, vendar je bilo pred dežjem 18 dni suhega vremena. V suhem času so se nakopičila onesnažila, kar je vzrok višji koncentraciji v primerjavi z dogodki št. 9, 10 in 11. Opaziti je višje koncentracije v jesenskem (dogodki št. 2 in 3) in spomladanskem času (dogodki

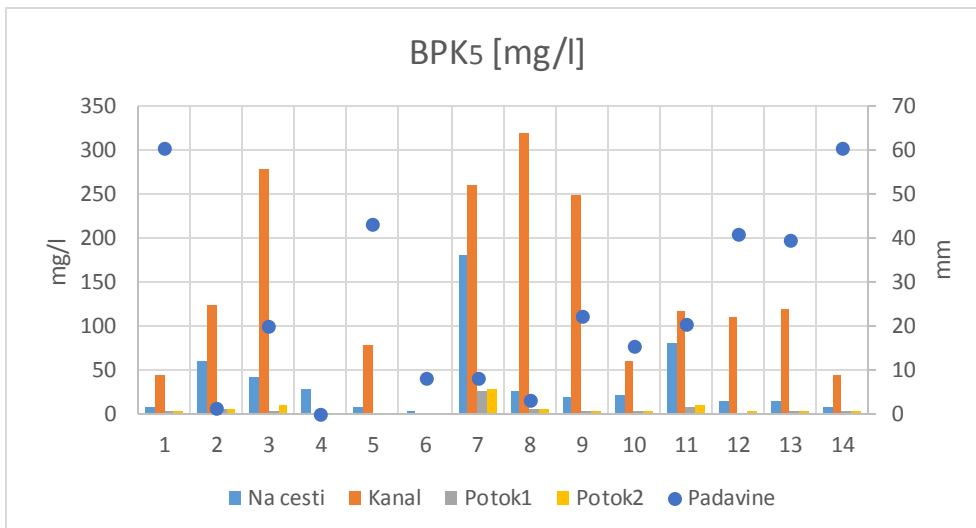
št. 8, 9, 10 in 11). V dogodkih št. 3, 9, 11 in 12 je zaznati vpliv izpusta v potok, saj se koncentracija v teh dogodkih poveča. Pri ostalih dogodkih izpust iz razbremenilnega objekta ne vpliva na koncentracije v potoku.



Grafikon 2: Kemijska potreba po kisiku - KPK

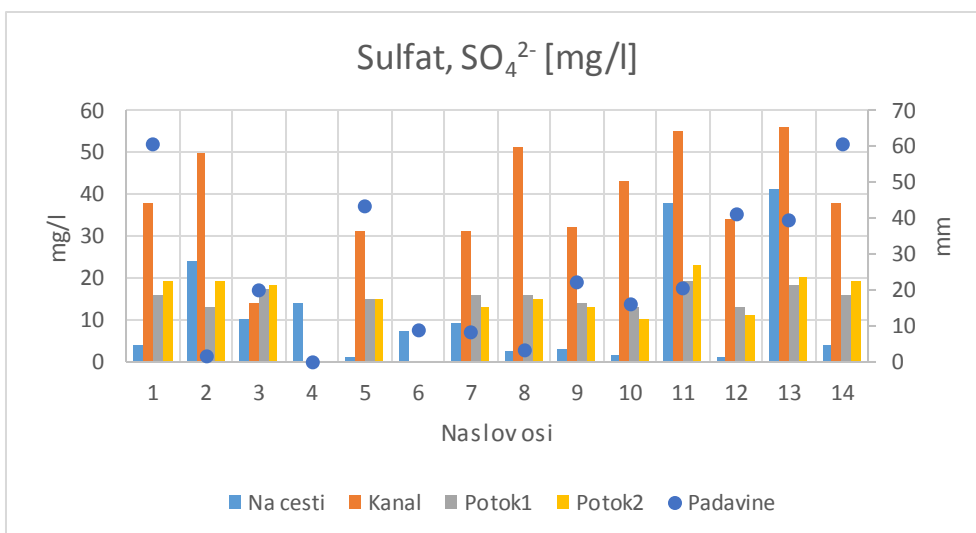
Mejna vrednost parametra je 25 mg/l za izpuste posredno ali neposredno v vode (uredba [2]). Pri vseh meritvah  $BPK_5$  je koncentracija v kanalu višja od koncentracije v luži. S parametrom  $BPK_5$  določamo organsko razgradljive snovi. Iz tega lahko sklepamo, da sta glavni vir organsko razgradljivih snovi gospodinjska in industrijska odpadna voda. V Uredbi o stanju površinskih voda (uredba [3]) je določena meja za doseg zelo dobrega ekološkega stanja 1,6–2,4 mg/l in za doseg dobrega ekološkega stanja 2–5,4 mg/l  $BPK_5$ . Zaznati je vpliv iztoka iz razbremenilnega bazena. Pri dogodkih z večjo količino padavin (> 15 mm) je koncentracija parametra glede na koncentracijo pred iztokom povečana. Tako da je vpliv na potok očiten. Najslabšo oceno ima vzorec št. 7 (28 mg/l), ki je bil analiziran v času taljenja snežne odeje (17. 2. 2006). Višje koncentracije so v jesenskem in spomladanskem času.





Grafikon 3: Biokemijska potreba po kisiku v petih dneh - BPK<sub>5</sub>

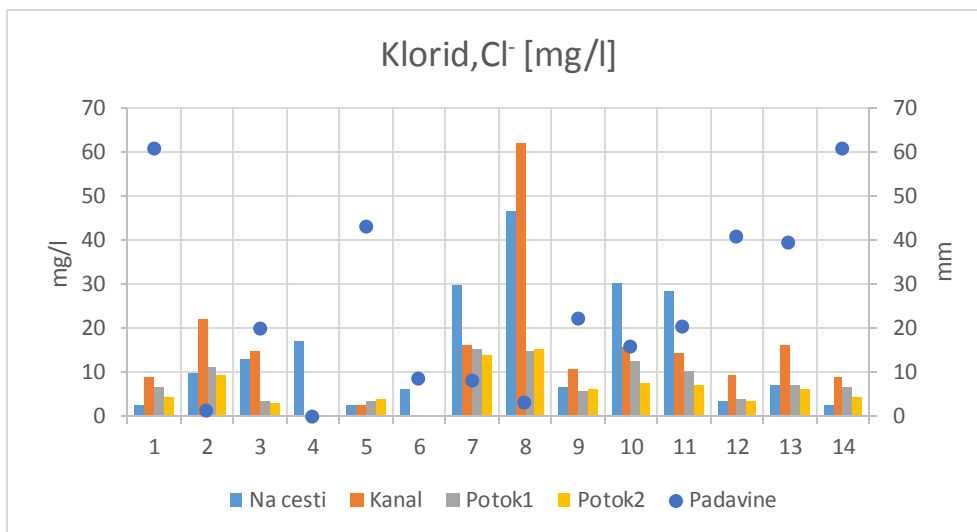
Mejna vrednost za sulfat je določena po formuli oz. ne več kot 2000 mg/l (izpust v vode) in 300 mg/l za izpust v kanalizacijo (uredba[2]). Mejna vrednost ni presežena v nobenem vzorcu. V vseh meritvah je koncentracija v kanalu najvišja, razen v meritvi št. 3. Na koncentracijo sulfatov ima vpliv soljenje, vendar iz rezultatov vzorcev ne moremo tega trditi. Za potrditev le-tega bi bilo treba narediti še kakšno analizo v času soljenja. Koncentracije so nizke v luži, velikokrat celo manjše od koncentracije v potoku. To kaže na to, da je vir sulfatov drugje kot na cestišču. Velik vir sulfatov so živalski iztrebki in gnojila (preglednica 7).



Grafikon 4: Sulfat

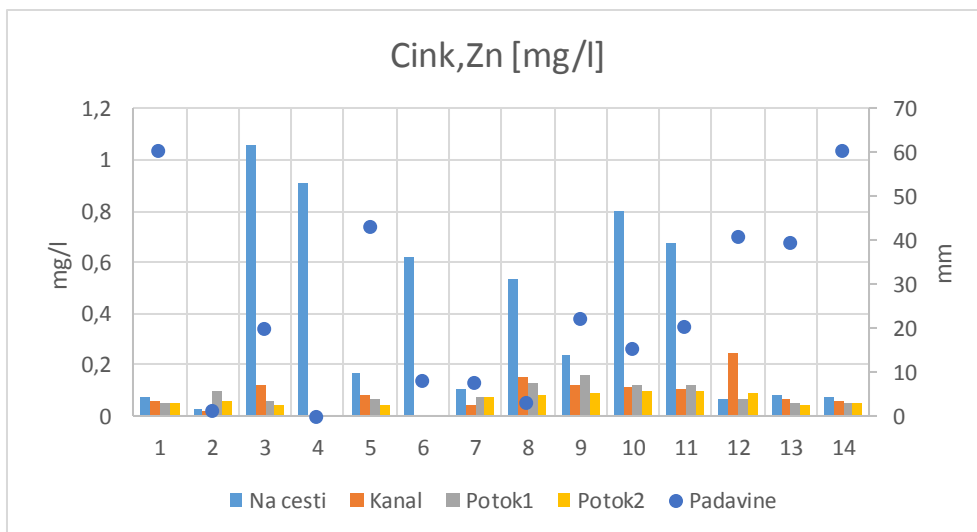
Po Uredbi [2] je mejna vrednost za kloride presežena, ko je presežena mejna vrednost za strupenost (določa se jo z vodnimi bolhami). Povečane koncentracije so v dogodkih št. 7, 8, 9 in 11. Opaziti je, da se pri večji količini padavin pojavi nižja koncentracija parametra. Višje koncentracije so pozno pozimi

in v spomladanskem času. V dogodkih 7, 8, 10 in 11 je višja koncentracija v luži, kar nakazuje, da je bilo onesnaževalo nakopičeno in tudi da je vir urbano okolje.



Grafikon 5: Klorid

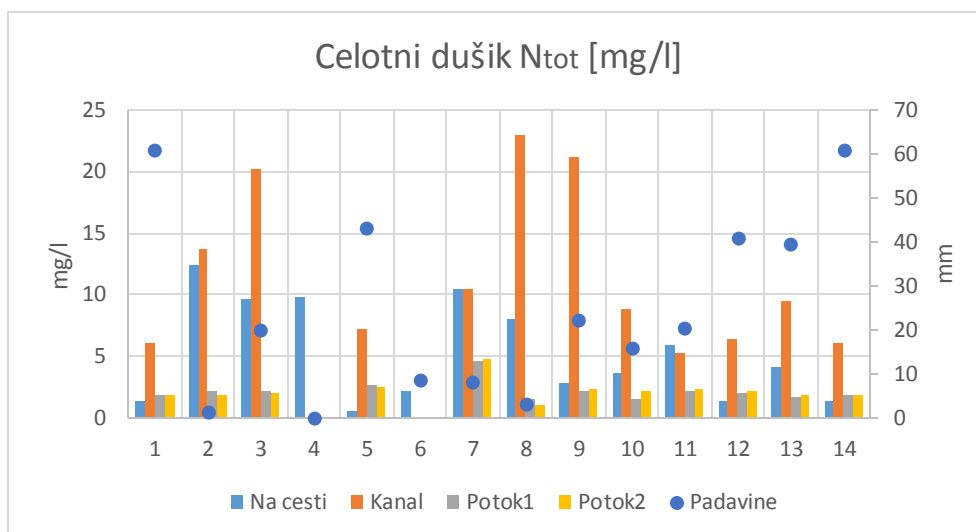
Mejna vrednost za cink po uredbi [2] je 2 mg/l in ni bila presežena v nobeni meritvi. Koncentracije so najvišje v meritvah, opravljenih na vzorcih iz luže. Nakazuje, da je vir cinka na cesti, kar ni nenavadno, saj je cink prisoten v platiščih in tudi mazalnih oljih ter se tako kopiči v času suhih dni. Meritve so pokazale višje koncentracije v luži v času od novembra do maja. Zaznati je vpliv padavin, saj so pri dogodkih z večjo količino padavin bile izmerjene manjše koncentracije.



Grafikon 6: Cink

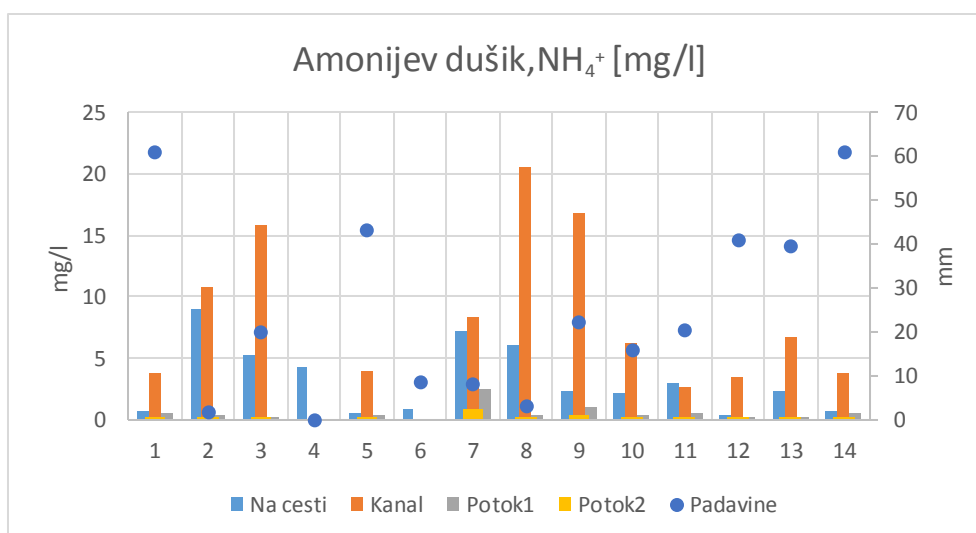
Mejna vrednost celotnega dušika je vsota mejne vrednosti amonijevega in nitratnega dušika, izražene kot dušik (uredba[2]). Meritve kažejo višjo koncentracijo dogodkov št. 2, 3, 8 in 9. To so analize,

opravljene v jesenskem in spomladanskem času. Višje vrednosti imajo vzorci iz kanala in opaziti je, da je koncentracija pri močnejših padavinah manjša.



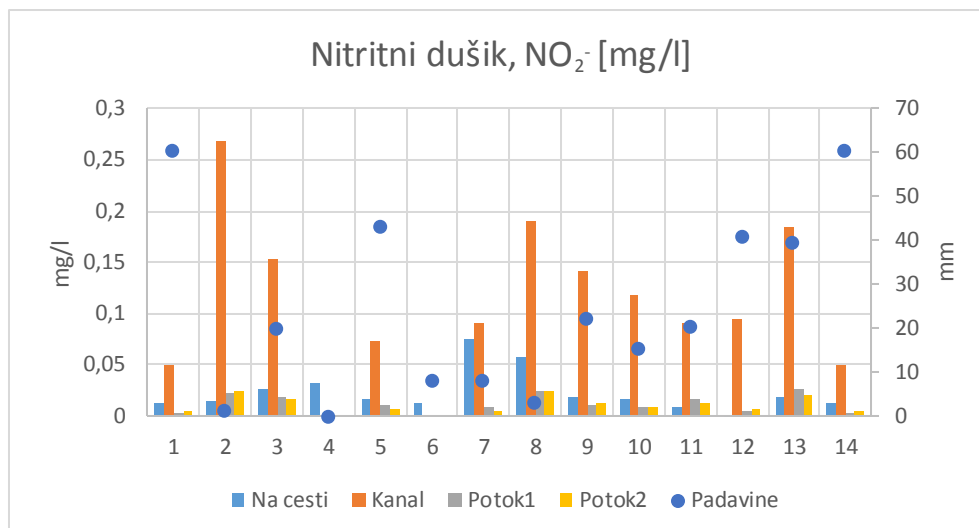
Grafikon 7: Celotni dušik

Mejna vrednost amonijevega dušika je 10 mg/l (uredba [2]). Presežene vrednosti so v vzorcih iz kanala, in sicer vzorci št. 2, 3, 8 in 9. To je v jesenskem in spomladanskem času. V teh meritvah so povečane tudi koncentracije v analizi iz luže, vendar ne presegajo mejne vrednosti. Zaznati je povečanje koncentracije v potoku v vzorcu št. 7, ki je vzet v času taljenja snežne odeje.



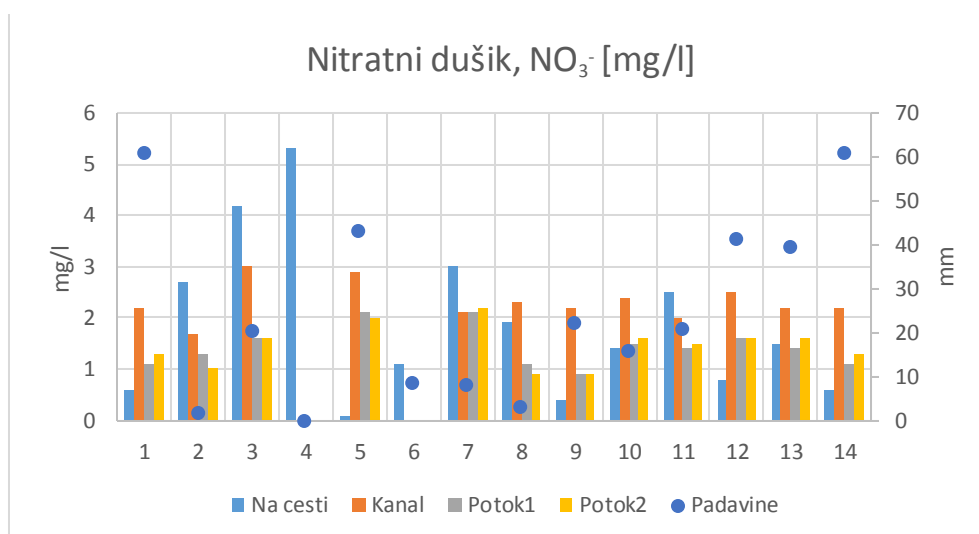
Grafikon 8: Amonijev dušik

Mejna vrednost nitritnega dušika je 1 mg/l (uredba [2]) in njena vrednost ni bila presežena v nobeni analizi.



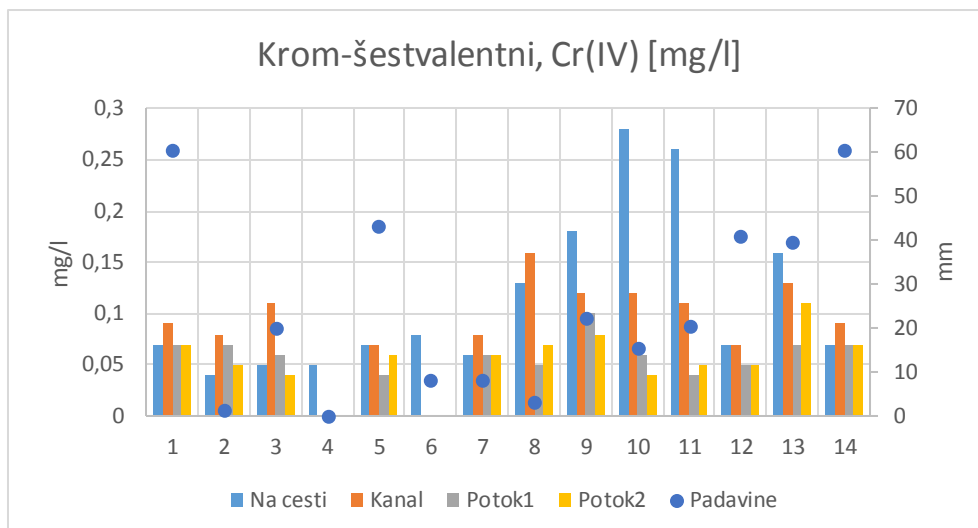
Grafikon 9: Nitritni dušik

Mejna vrednost nitratnega dušika je določena z enačbo  $MVK = 0,3 \cdot OSK \cdot sQnp/Q$  in ne več kot 20 mg/l (uredba [1]). Po uredbi [3] je mejna vrednost za zelo dobro ekološko stanje 3,2 –7 mg/l in za dobro ekološko stanje 6,5–9,5 mg/l. Vrednosti se uporabljajo za uvrstitev vodotoka v razrede in te vrednosti niso uporabne za iztok iz kanalizacije.



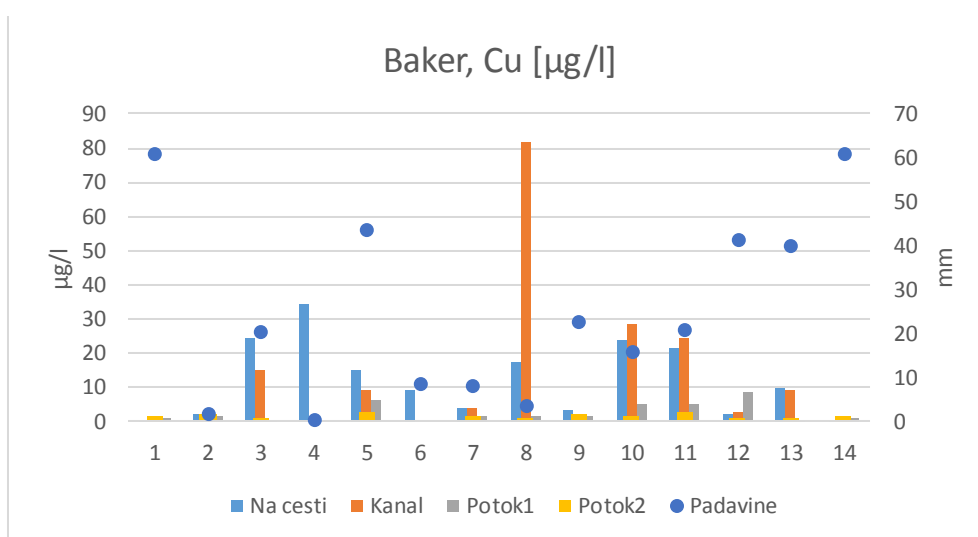
Grafikon 10: Nitratni dušik

Mejna vrednost za šestvalentni krom je po uredbi [2] enaka 0,1 mg/l. Vrednost je presežena v luži (vzorci št. 8, 9, 10, 11 in 13) in v kanalu (vzorci št. 3, 8, 9, 10, 11 in 13) ter v potoku nad razbremenilnim bazenom (vzorec št. 9) in pod iztokom iz razbremenilnega bazena (vzorec št. 13). Najvišje koncentracije so dosežene v spomladanskem času.



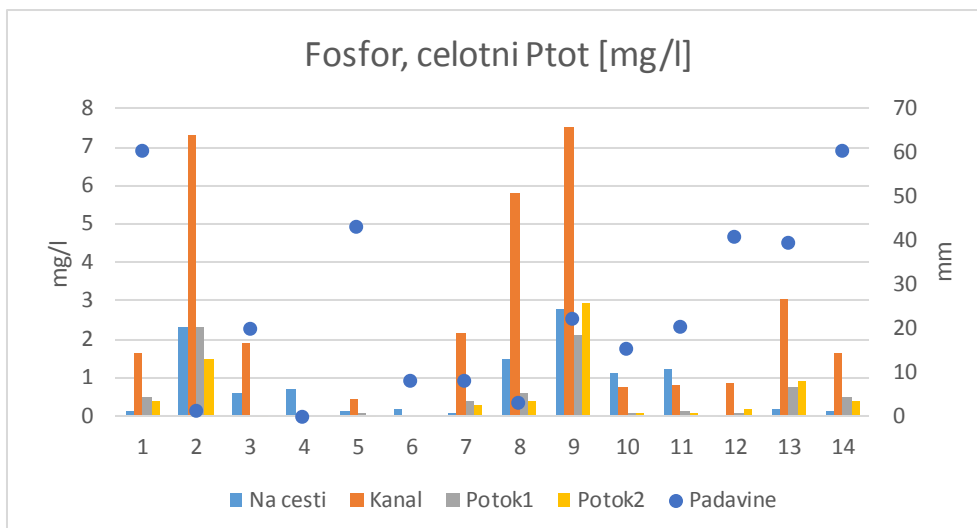
Grafikon 11: Krom - šestvalentni

Mejna vrednost za baker je 0,5 mg/l oz. 500 µg/l (uredba [2]). Mejna vrednost ni bila presežena v nobeni meritvi. Zaznati je bilo nekoliko višje koncentracije v vzorcih iz luže, in sicer št. 3, 4, 8, 10 in 11. Za te vzorce je značilno, da je bila količina padavin na dan meritev manjša od 25 mm. Pri dogodkih z večjo količino padavin so koncentracije zelo nizke.



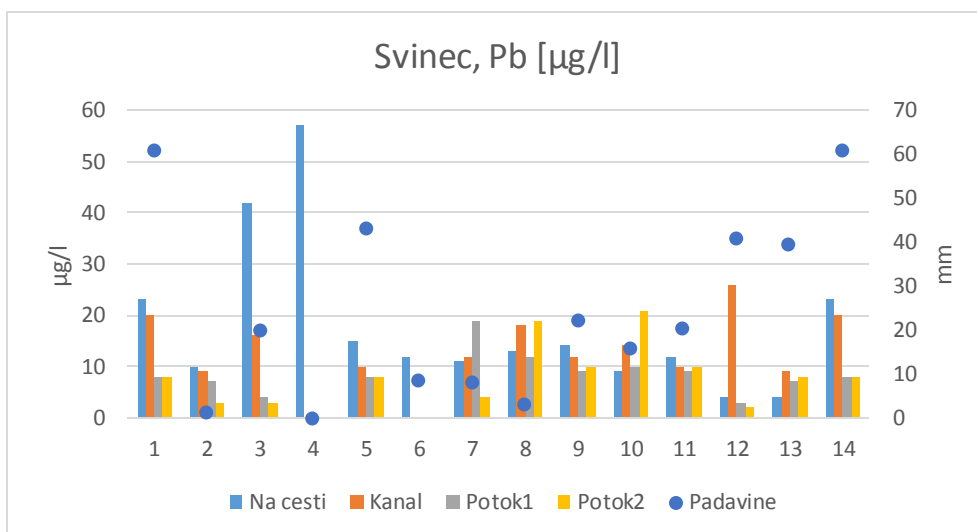
Grafikon 12: Baker

Mejna vrednost za fosfor je 2 mg/l (uredba [2]). Vrednost je bila presežena v meritvah iz luže (vzorca št. 2 in 9) ter v meritvah na vzorcih iz kanala (vzorci št. 2, 7, 8, 9 in 13). V meritvah št. 2 in 9 je bila mejna vrednost presežena v potoku. V vzorcu 2 in 9 je bila koncentracija presežena tako pred izpustom iz razbremenilnega bazena kot pri vzorcu za izpustom iz razbremenilnega bazena.



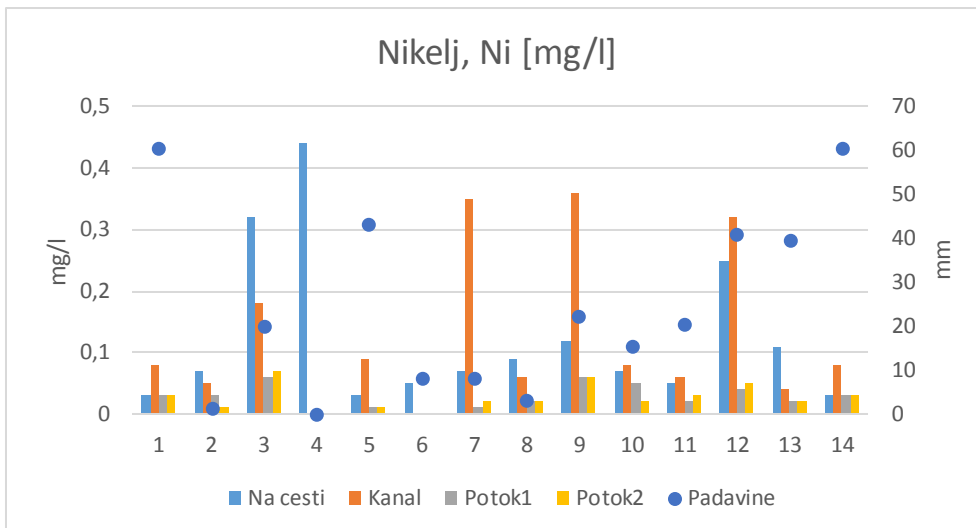
Grafikon 13: Celotni fosfor

Mejna vrednost za svinec je 0,5 mg/l oz. 500 µg/l (uredba [2]). Mejna vrednost ni bila presežena v nobeni meritvi. Nekoliko višje koncentracije so bile v luži v meritvah št. 1, 3 in 4.



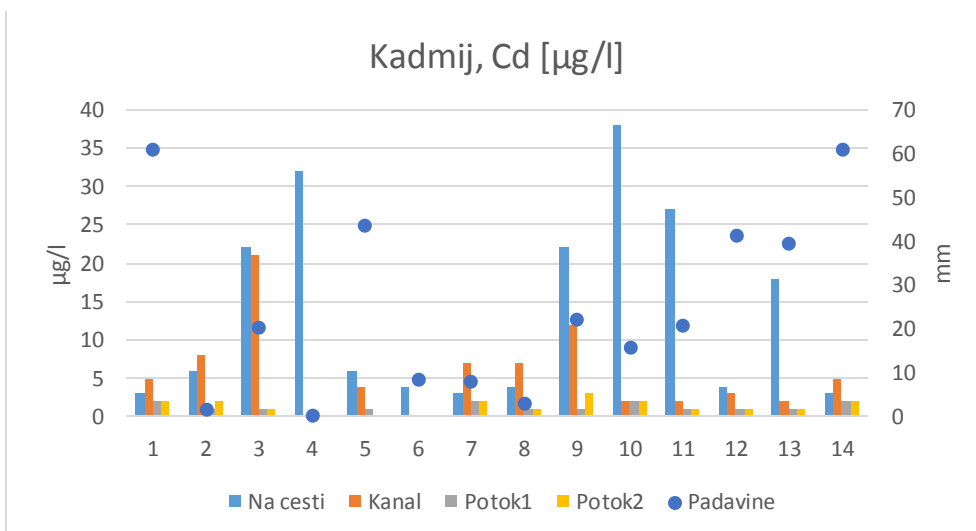
Grafikon 14: Svinec

Mejna vrednost za nikelj je 0,5 mg/l (uredba [2]). Mejna vrednost ni bila presežena v nobeni meritvi. So pa koncentracije vzorcev v luži št. 3 (0,32mg/l) in št. 4 (0,44mg/l) nekoliko višje, še posebej vzorec št. 4, ki je zelo blizu mejne vrednosti.



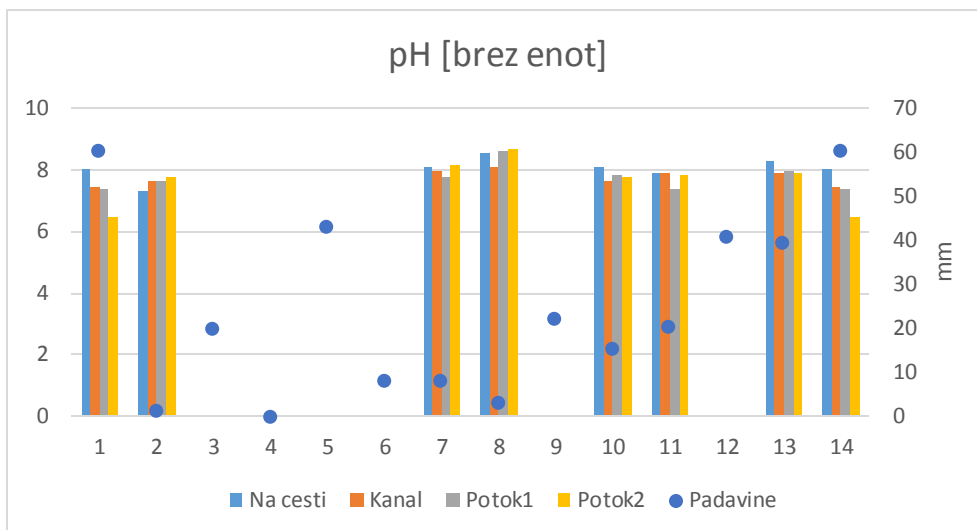
Grafikon 15: Nikelj

Mejna vrednost za kadmij je 25  $\mu\text{g/l}$  oz. 0,025 mg/l (uredba [2]). Vrednost je presežena v meritvah iz luže št. 4, 10 in 11. Izmerjena vrednost je bila visoka tudi v meritvi št. 3, 9 in 13. Povečane vrednosti je zaznati v jesenskem in spomladanskem času. V nobeni meritvi ni bila presežena dovoljena vrednost v kanalu.



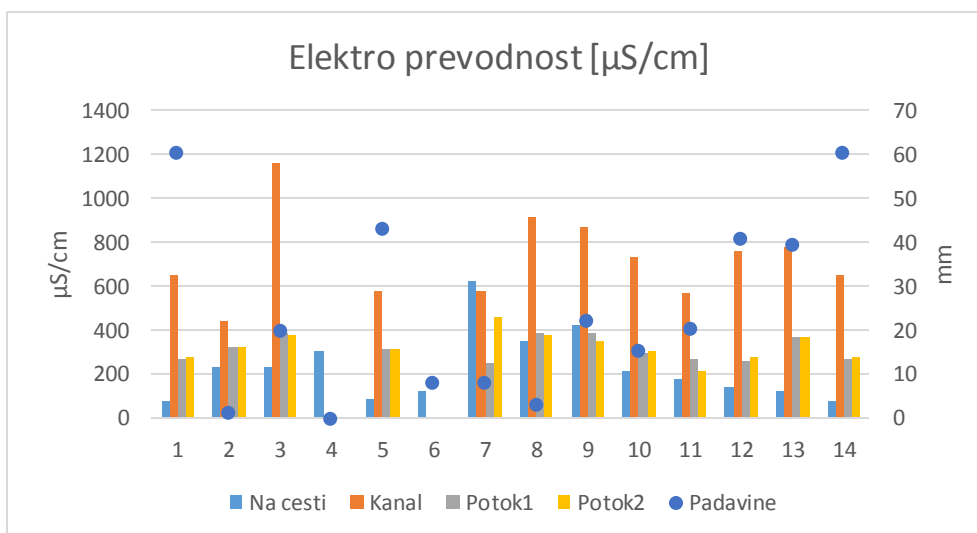
Grafikon 16: Kadmij

Mejna vrednost pH za odvajanje neposredno ali posredno v vode je med 6,5 in 9 ter za odvajanje v javno kanalizacijo med 6,5 in 9,5 (uredba [2]). Mejna vrednost ni presežena v nobeni meritvi. V dogodkih št. 3, 4, 5, 6, 9 in 12 ni bila opravljena analiza parametra. Pri ostalih dogodkih je opazen vpliv količine padavin na pH. Pri tem je pri dogodkih z višjo količino padavin nižji pH.



Grafikon 17: pH

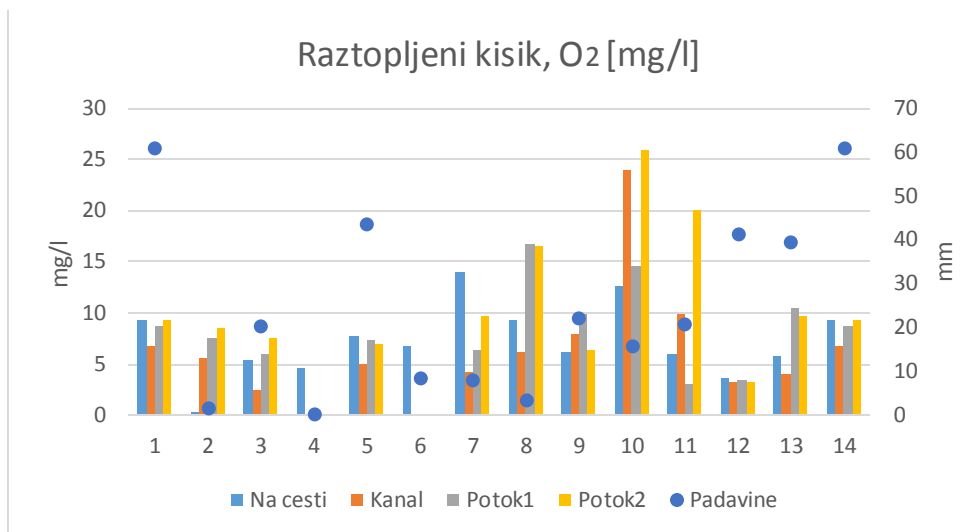
Mejna vrednost elektro prevodnosti ni določena v slovenski zakonodaji. V literaturi je zaslediti, da je običajna vrednost med 10 in 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Urbanič, 2003). Višja vrednost tako predstavlja obremenjenost. V opravljenih meritvah je bila vrednost presežena v meritvi št. 3 in še to samo v kanalu. V vodotoku so vrednosti okoli 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kar ni problematično.



Grafikon 18: Elektro prevodnost

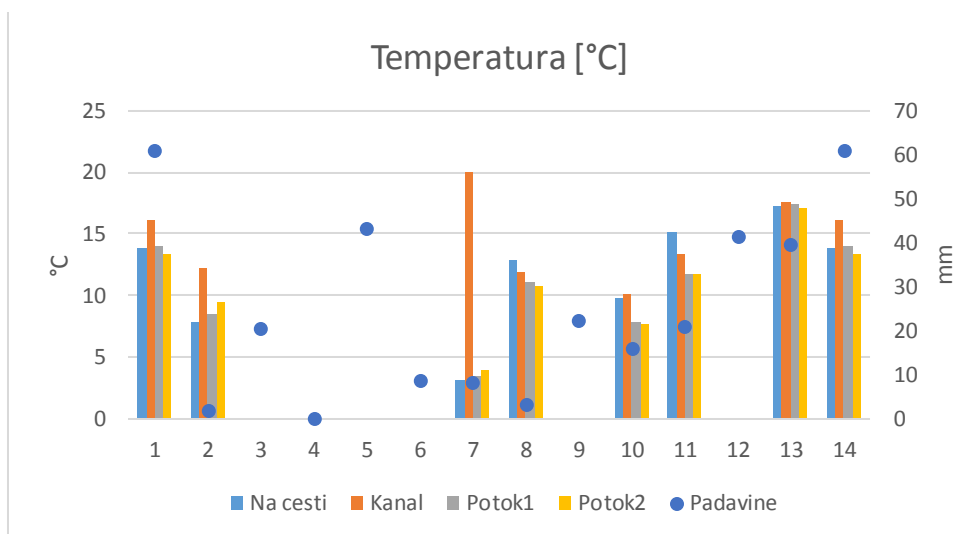
Mejna vrednost za raztopljeni kisik v slovenski zakonodaji ni določena. V strokovni literaturi je zaslediti, da so problematične koncentracije pod 5 mg/l, še posebej koncentracije nižje od 2 mg/l, pri kateri začnejo poginjati ribe in drugi organizmi. Koncentracija je bila kritična v potoku pri meritvah št. 11 in 12, kar je posebej zaskrbljujoče, saj tako nizka koncentracija vpliva na delovanje organizmov, zlasti če je koncentracija nizka dalj časa. Iz meritev je opaziti, da je koncentracija v potoku višja v spomladanskem času. Najnižje koncentracije pa so jeseni in pozimi.





Grafikon 19: Raztopljen kisik

Temperatura izstopa v meritvi št. 7, ki pa je bila verjetno napačno izmerjena. V nekaterih meritvah je nekoliko višja temperatura v kanalu v primerjavi s temperaturo v luži in v potoku.



Grafikon 20: Temperatura

### 6.1.1 Povzetek vseh meritev

Iz rezultatov meritev sem prišel do nekaj zaključkov. Analiza za parametre TSS, klorid, cink, šestvalentni-krom, baker, svinec in kadmij je pokazala, da imajo najvišje vrednosti v vzorcih iz luže. To kaže na kopičenje posameznega onesnažila v sušnem obdobju in da je vir urbanizirano območje. Verjetno je velik vir teh parametrov promet. Analiza je pokazala, da bi bilo smiselno te parametre še podrobneje analizirati saj kažejo na prisotnost v prvem čistilnem valu, saj je bilo območje jemanja

vzorcev takšno, da je bilo v luži zajeto onesnaženje iz začetka odtoka, ker jašek ni pravilno deloval in je voda ostala zajeta.

Opazi se, da je koncentracija posameznega parametra v padavinskem dogodku s padavinami višjimi od 25 mm nižja napram padavinskemu dogodku s srednjo količini padavin (do 25 mm). Ta trend je opaziti pri vseh parametrih. Analiza kaže na to, da je voda najbolj obremenjena pri manjših padavinah kratkega trajanja.

Za parametre KPK,  $BPK_5$ , dušik, amonijev dušik, nitritni dušik, fosfor in kadmij rezultati kažejo na višje koncentracije v spomladanskem in jesenskem času.

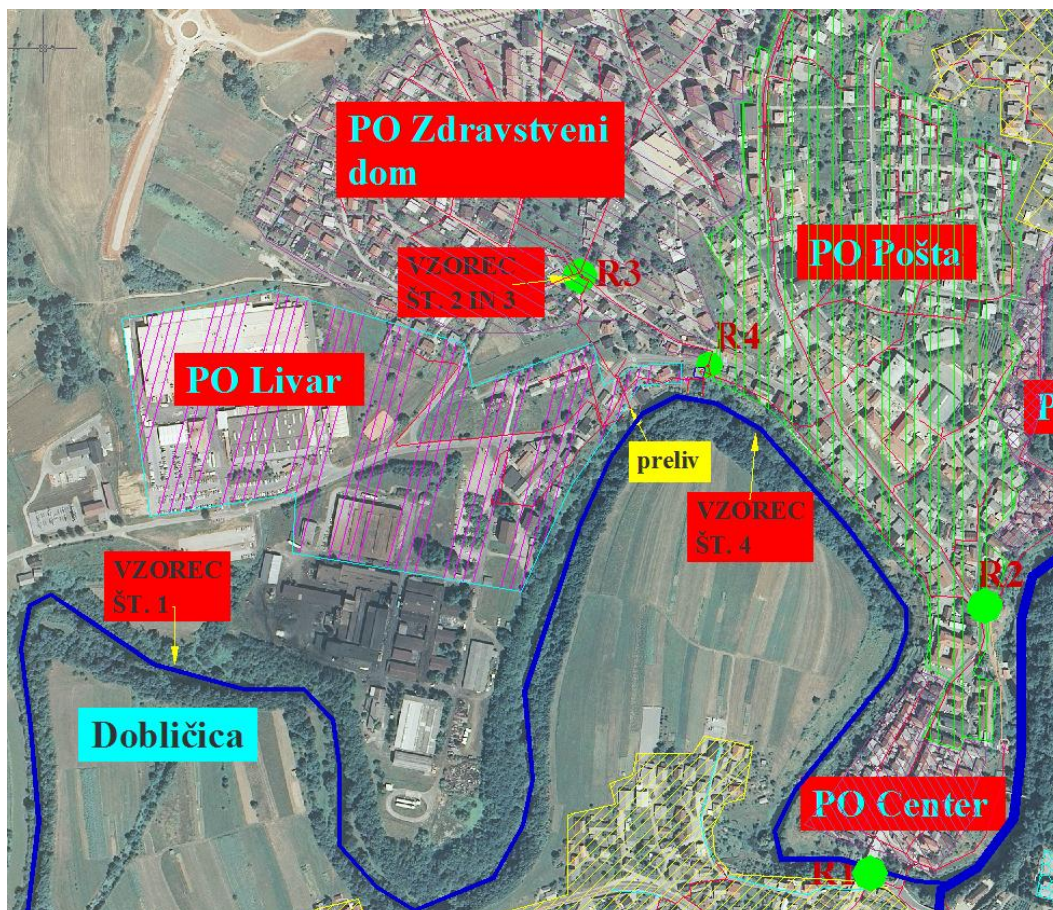
## 6.2 Meritve in simulacija koncentracije na prispevnem območju Črnomelj

Na prispevnem območju kanalizacijskega sistema Črnomelj sem si izbral prispevno območje Zdravstveni dom (v nadaljevanju PO Zdravstveni dom). Določal sem vpliv preliva iz razbremenilnika R3 na vodotok Dobljica. Vzorec št. 1 sem vzel iz vodotoka Dobljica, in sicer pri Svibniškem mostu (ob 7:00 uri), kjer na vodotok ni vpliva odpadnih vod iz KS Črnomelj in prav tako ni bilo vpliva padavin. Vzorec je bil vzet pred nastopom padavin. Na PO Zdravstveni dom sem izbral razbremenilnik R3, na katerem sem vzel dva vzorca. Vzorec št. 2 sem vzel ob začetku preliva (ura 8:35), medtem ko sem vzorec št. 3 vzel 15 min po vzorčenju prvega vzorca (ura 8:50). Pri vzorcu št. 2 sem imel v načrtu vzeti vzorec takoj ob pojavu preliva, vendar sem zaradi hitrega nastopa močnih padavin nekoliko zamudil ter tako vzel vzorec 2–3 min po začetku pojava preliva. Vzorec št. 4 sem vzel iz Dobljice približno 150 metrov nizvodno od mesta iztoka iz preliva (na sliki označen z rumeno »preliv«) (ura 10:00). Mesto razbremenilnika, preliva in lokacija jemanja vzorcev je označena na sliki 20 (glej tudi priloge F.2 in F.3). Rezultati analize so prikazani v preglednici 8. Vzorci so bili vzeti 21. 11. 2015, analiza pa je bila opravljena 25. 11. 2015 v laboratoriju na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo na Oddelku za okoljsko gradbeništvo, Hajdrihova 28. V času med odvzemom in analizo so bili vzorci shranjeni v hladilniku pri +4 °C.

Analizirana je bila elektro prevodnost, koncentracija kisika, temperatura, pH, TSS (samo vzorec št. 3), nitriti, nitriti, amonijev dušik, fosfor, KPK in  $BPK_2$  (samo vzorce št. 2 in 4). Pri tem opozarjam, da je bil parameter  $BPK$  odčitano po dveh dneh. Za parametre elektro prevodnost, pH, temperatura in koncentracijo kisika je najboljša, da se meritve opravi na mestu vzorčenja. Ker pa nisem imel aparatur za opravljanje meritev, je bila analiza narejena v laboratoriju. Verjetno bi bili rezultati meritev, opravljeni na mestu vzorčenja, nekoliko drugačni. Za ostale parametre je priporočljivo, da se analiza opravi v 24 urah, ker pa to ni bilo mogoče, je bila analiza opravljena 96 ur po odvzemu vzorcev.

V nadaljevanju bom predstavil kratek opis lastnosti vzorcev:

- Vzorec 1: iz Dobljice pred nastopom padavinami ob 7:00;
- Vzorec 2: kmalu po nastopu preliva ob 8:35;
- Vzorec 3: 15 min po prvem vzorcu ob 8:50;
- Vzorec 4: iz Dobljice, prisoten vpliv preliva, ob 10:00.



Slika 20: Mesto jemanja vzorcev v Črnomlju, dne 21. 11. 2015

Rezultati analize so prikazani v spodnji preglednici.

Preglednica 9: Koncentracija onesnažil v Črnomlju

Parameter	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4	MV
Elektro prevodnost [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	241	139,5	67	233	/
Kisik O <sub>2</sub> [mg/l]	9,2	0,56	1,24	6,43	/
T (°C)	17,1	18,5	16,9	18,6	/
Konc. kisika pri 100% nasičenosti pri dani temp. [mg/l]	9,35	9,1	9,39	9,08	/
Stopnja nasičenosti [%]	98,4	6,2	13,2	70,8	/
pH	7,68	7,14	7,36	7,56	6,5 - 9,0

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 9

TSS [mg/l]	/	/	103	/	80 mg/l
Nitrat [mg/l]; NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	1,02	0,664	0,354	1,14	po formuli
Nitrit [mg/l]; NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,018	0,261	0,047	0,033	1 mg/l
Amonijev dušik [mg/l]; NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0,18	5,07	0,62	0,51	10 mg/l
Ortofosfati [mg/l]; PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,09	20,1	8,1	2,83	/
KPK [mg/l]	4,4	522	302	17,2	120 mg/l
BPK <sub>2</sub> [mg/l]	/	45,5	/	11,5	25 mg/l za BPK <sub>5</sub>

MV.....mejna vrednost parametrov onesnaženosti pri neposrednem in posrednem odvajanju vode po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo

Elektro prevodnost je pod 1000 [μS/cm] in ne kaže znakov obremenjenosti. Meritve so tudi potrdile trditev, da padavine zmanjšujejo koncentracijo ionov, kar povzroča manjšo prevodnost, saj ima vzorec 3 najnižjo prevodnost. Prevodnost se torej s trajanjem preliva zmanjšuje.

Koncentracija kisika je v vodotoku na mestu, kjer ni vpliva odpadne vode (vzorec 1) skoraj pri 100 % zasičenosti, medtem ko je koncentracija na začetku preliva (vzorec 2) le 0,56 mg/l (6,2 % zasičenosti) in po 15 min trajanja preliva (vzorec 3) 1,24 mg/l (13,2 % zasičenosti). Kar kaže na to, da je odtok najbolj obremenjen na začetku padavinskega dogodka in se s trajanjem odtoka koncentracija kisika povečuje oz. obremenjenost vode zmanjšuje. Vzorec št. 4 je tudi potrdil vpliv preliva na koncentracijo v vodotoku. Vrednost je bila 6,43 mg/l (70,8% nasičenosti), kar je znatno zmanjšanje glede na vzorec brez vpliva. Preračunal sem stopnjo nasičenosti v odstotkih glede na koncentracijo ob 100 % nasičenosti. Značilno je, da ima voda ob vrednosti pod 80 % slab vonj in okus (Urbanč, 2003).

Parameter pH je v vseh meritvah nekoliko nad 7 (rahlo bazičen). Najvišji je v vzorcu 1 (neobremenjen vodotok), in sicer je pH=7,68. Vrednost v vzorcu 1 kaže na fotosintezno aktivnost alg. Najnižja vrednost pH-ja je v vzorcu 2 (preliv) (7,14). V vzorcu 3, ki je že nekoliko razredčen, pa vrednost nekoliko naraste (7,36). Opaziti je vpliv preliva na pH vrednost v vodotoku, saj vzorec 4 zavzame vrednost pH=7,56, ki je nekoliko nižja kot v neobremenjenem vodotoku.

TSS so bile analizirane samo v vzorcu št. 3. Vzorec je s koncentracijo 103 mg/l presegel mejno vrednost, ki je 80 mg/l.

Pri nitratih je prišlo do povečanje koncentracije v vzorcu 4 glede na vzorec 1, pri tem pa je koncentracija preliva (vzorca 2 in 3) nižja od koncentracije v vodotoku. Koncentracija v vodotoku se torej ni povečala na račun preliva, ampak je prišla od drugod, najverjetneje s spiranjem gnojil s kmetijskih površin.

Nitrit pri nobeni meritvi ne preseže zakonodajne meje, ki je pri 1 mg/l. Je pa najvišja vrednost v vzorcu 2. Višja koncentracija na začetku preliva kaže na pojav prvega čistilnega vala. Koncentracija v vzorcu 4 je višja kot v vzorcu 1. Do povečane koncentracije je prišlo v času padavinskega dogodka.

Koncentracija amonijevega dušika je v vzorcu 2 zelo povečana. V vzorcu 3 je izmerjena koncentracija že veliko manjša od koncentracije na začetku preliva. Vpliv preliva je zaznan v vodotoku. Koncentracija v vodotoku se poveča, še vedno pa so koncentracije v vseh vzorcih pod zakonodajno vrednostjo.

Fosfor je bil v analizi merjen kot ortofosfat in je dosegel visoke koncentracije v vseh vzorcih, razen v vzorcu 1. Na začetku preliva (vzorec 2) je bila koncentracija 20,1 mg/l. Vzorec 3 je imel še vedno visoko koncentracijo, in sicer 8 mg/l. Visoka koncentracija preliva je imela vpliv na kakovost vodotoka, saj je vzorec 4 imel koncentracijo 2,83 mg/l. Zakonodaja ne predpisuje mejne vrednosti za ortofosfate. Predpisana je mejna vrednost za celotni fosfor (2 mg/l). V primeru, ko merimo fosfor kot celotni fosfor, je koncentracija višja od koncentracije, merjene kot ortofosfati. V primeru merjenja celotnega fosforja bi tako koncentracija večkratno presegala zakonodajno vrednost.

Mejna vrednost za KPK (120 mg/l) je bila presežena v vzorcih 2 in 3. Koncentracija je bila zelo visoka. V vzorcu 2 je bila celo podobna koncentraciji, ki jo ima sušni odtok v kanalizaciji. Vrednost za sušni pretok je v ATV smernicah določena na 600 mg/l (ATV-A 128E. 1992). Koncentracija v vzorcu 3 je še vedno imela vrednost nad mejno vrednostjo. Visoka koncentracija je imela vpliv na Dobljico, saj je parameter KPK povečal s 4,4 mg/l na 17,2 mg/l.

BPK je bil izmerjen v vzorcih 2 in 4. Izmerjen je bil po dveh dneh, tako da ga ne moremo primerjati z mejno vrednosti, ki je določena s koncentracijo po petih dnevih. Vrednost v vzorcu 2 je presegala mejno vrednost, ki je postavljena za  $BPK_5$ . Vzorec 4 potrjuje vpliv odpadnih voda na vodotok, saj je večji od 10 mg/l.

### **6.2.1 Ocena pojava prvega vala**

Pri pregledu koncentracije posameznega onesnažila po posameznih vzorcih je zelo očitno, da je vzorec št. 2, tj. vzorec na začetku preliva, najbolj obremenjen. Vsi parametri imajo najvišjo koncentracijo prav v vzorcu 2. Nekateri parametri (KPK, BPK in TSS) presegajo celo mejno vrednost, določeno v Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12 in 64/14). Na zelo obremenjeno odpadno vodo na začetku preliva kaže tudi zelo nizka koncentracija kisika. V vzorcu 2 se jasno pokaže padec koncentracije vseh analiziranih parametrov. To nihanje koncentracije, od zelo visoke na začetku preliva in nižje koncentracija po 15 minutah prelivanja, kaže na zmanjševanje obremenjenosti vode in na pojav prvega čistilnega vala. Da visoke koncentracije

preliva vplivajo na kakovost vodotoka, je pokazala analiza vodotoka v času, ko je bila voda že pomešana s prelito odpadno vodo (vzorec 4). Vpliv preliva na vodotok je bilo mogoče opaziti že s prostim očesom (slika 21). Razlika med barvo pred in za iztokom iz preliva je očitna. Obarvanost vode kaže na obremenjenost z onesnaževali (slika 21).



Slika 21: Vpliv iztoka prelite odpadne vode na vodotok

### 6.3 Simulacija odtoka in koncentracije na prispevnem območju

Območje Zdravstvenega doma (slika 20, podrobni prikaz je v prilogi F) sem vnesel v program SWMM. Model v programu SWMM je prikazan v prilogi F.1. Območje sem razdelil na več manjših prispevnih podobmočij. Podatke o višinah jaškov in dimenzijah cevi sem dobil na Komunali Črnomelj, kjer imajo bazo podatkov o kanalizacijskem sistemu v Črnomlju. Podatke sem imel dostopne v programu AutoCad-Map3D. Podlogo sem iz AutoCada-Map3D enostavno uvozil v program SWMM, nato pa sem ročno prenesel podatke o kotah dna jaška. Program SWMM je še nekoliko nerazvit in ne omogoča direktnega prenosa podatkov o dimenzijah in kotah terena, tako da je vnašanje dimenzij jaškov in premerov cevi zelo zamudno. Poleg dimenzij jaškov in cevi sem pri simulaciji uporabil tudi razbremenilnik. Za dimenzioniranje razbremenilnika program omogoča več možnosti. Jaz sem ga dimenzioniral tako, da sem odtok proti ČN enostavno odvedel po cevi premera 37 cm. Za preliv, ki se odvaja v Dobljčico, pa sem uporabil funkcijo jezua (angl. weir). Višino jezua (60 cm) sem določil z merjenjem na terenu. V program sem vnesel zadrževalni bazen s prostornino 300 m<sup>3</sup>. Zadrževalni bazen je le redko kdaj

napolnjen, saj je na dnu bazena veliko blata (okrog 5 cm), na katerem raste trava (slika 24), kar nakazuje, da že dolgo časa ni bil napolnjen. Vzrok temu je razbremenilnik nad zadrževalnim bazenom, ki je narejen brez preliva. Cev, ki vodi v zadrževalni bazen, je nameščena 90 cm višje od odvodne cevi. Odvodna cev, ki vodi proti ČN, odvede celoten dotok, tako da višina v razbremenilniku ne doseže globine, pri kateri bi se voda prelila v zadrževalni bazen. To so pokazale simulacija v programu SWMM in meritve na terenu.

### 6.3.1 Kalibracija modela

Kalibracija modela je potekala v dveh delih. V prvem koraku sem umerjal model glede na padavinski dogodek dne 29. 10. 2015 (preglednica 10). V program SWMM sem vnesel podatke o količini padavin za vsakih 30 minut. Na obravnavanem območju sem primerjal simuliran pretok in globino vode na razbremenilnem objektu (na sliki 20 označen kot R3). Globino vode na terenu sem izmeril ročno med padavinskim dogodkom in potem spreminjal parametre v programu, da sem dobil podobno globino, kot je bila izmerjena. Stopnja neprepustnih površin je najbolj vplivala na količino pretoka, tako da sem odstotni delež neprepustnih površin uporabil za umerjanje modela. Za simulacijo sem uporabil 25 % neprepustnih površin, razen za območja, kjer je večja gostota pozidave (blokavska območja), sem uporabil 30 % neprepustnih površin in za območja komercialne rabe sem uporabil 40 % neprepustnih površin. Drugi parametri, ki sem jih uporabil za simulacijo, so v prilogi C.

Drugi del kalibracije je potekal glede na padavinski dogodek dne 21. 11. 2015. Pri tem dogodku je prišlo do preliva. Podatke, ki sem jih pridobil z meritvami (preglednica 9), sem uporabil za umerjanje koncentracije onesnažil v preleti vodi. Program omogoča, da uporabnik vnese različne rabe površin (poglavje 5.3.9). Za vsako rabo določi proces kopičenja in izpiranja onesnažil. Tak način simulacije zahteva veliko podatkov. Ker je potrebne parametre težko določiti, sem uporabil eno vrsto rabe območja, in sicer sem ga poimenoval »stanovanjski«. Temu je botrovalo dejstvo, da je večina prispevnega območja v uporabi kot naselje s hišami. Na območjih z večjo gostoto poselitve in območjih s komercialno rabo (višja koncentracija onesnažil) sem uporabil večji delež neprepustnih površin (30 oz. 40 %). Vrednosti maksimalnega kopičenja sem povzel po Horne et al. (1986) –

Vrednosti kopičenja onesnažil (kg/(ha·leto)) na različnih rabah tal (Mlakar, 2007). Za izpiranje sem za onesnaževala, za katere sem imel podatke o koncentraciji preliva (preglednica 9), uporabil eksponentno funkcijo. Parametre za eksponentno funkcijo sem določil s poskušanjem na ta način, da je graf koncentracije posameznega onesnažila, dobljen s simulacijo v SWMM, sovpadal z izmerjenimi vrednostmi (preglednica 9), za ostala onesnaževala (nitrat, nitrit, svinec, baker in cink) pa srednjo koncentracijsko vrednost (EMC). Podatke sem pridobil v navodilih za program SWMM (Rossman, 2010), vrednosti so povzete po US Environmental Agency (1983) in so podane v prilogi C.

Preglednica 10: Padavine dne 29. 10. 2015

Padavine 29. 10. 2015											
11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30
0.1	0.1	0.3	0.5	0.2	1	1.4	0.5	0.4	0.1	0.3	0.1

Preglednica 11: Padavine dne 21. 11. 2015 (vir: Meteo. Splet)

Padavine 21. 11. 2015										
ura	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
[mm]	0.2	0.5	3.8	4.4	3.4	2.2	1.8	1.4	1.9	2.2

Med 29. 10. 2015 in 21. 11. 2015 je bilo vmesno obdobje 20-dnevnega lepega vremena brez padavin in s temperaturami do 25 stopinj Celzija. Zelo toplo vreme za ta letni čas in posledično so bili dobri pogoji za kopičenje onesnažil. V tem obdobju so bili marsikje v Sloveniji doseženi temperaturni rekordi za mesec november.

Preglednica 12: Parametri kopičenja uporabljeni pri simulaciji v SWMM

Raba območja: Stanovanjska		Proces: Kopičenje									
Parameter		TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
Funkcija											
Vrsta kopičenja		POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW
Max. Kopičenje [kg]		440	80	330	1	1	4	4	0,7	0,33	0,33
Kopičenje na dan [kg/dan]		1,2	0,7	0,9	0,0027	0,0027	0,011	0,01	0,0019	0,0009	0,0009
Časovni eksponent		0,3	0,2	0,7	1	1	0,7	1	1	1	1
Normalizator [ha]		AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA

Preglednica 13: Parametri izpiranja uporabljeni pri simulaciji v SWMM

Raba območja: Stanovanjska		Proces: Izpiranje							µg/l	µg/l	µg/l
Parameter		TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
Funkcija											
Funkcija		EXP	EXP	EXP	EMC	EMC	EXP	EXP	EMC	EMC	EMC
Koeficient ali EMC		0.6	0.7	0.7	0.7	0.3	0.5	0.8	120	50	280
Eksponent		2.2	2	1.8			1.7	2.1			



### 6.3.2 Delovanje kanalizacijskega sistema na obravnavanem območju



Slika 22: Razbremenilni objekt pri sušnem pretoku (slikano 6. 11. 2015)

Slika 22 prikazuje razbremenilni objekt na prispevnem območju Zdravstvenega doma (glej sliko 20, na sliki 20 je lokacija razbremenilnega objekta označena z R3). Na sliki vidimo dve cevi. Leva cev s premerom 37 cm odvaja odpadno vodo proti ČN. Desna cev je razbremenilna cev s premerom 80 cm in odvaja odpadno vodo v Dobljico. Višina preliva je 60 cm. Razbremenilnik je narejen tako, da se preliv pojavi, ko že imamo tok pod tlakom na levi cevi.



Slika 23: Razbremenilni objekt pri prelivu (slikano 21. 11. 2015, ob 9:00 uri, ob največjem prelivu)

Razbremenilnik ob pojavu preliva z dne 21. 11. 2015. Ob padavinskem dogodku sem na tem razbremenilniku vzela vzorca št. 2 in 3. Na sliki je vidno, da je v levi cevi prisoten tok pod tlakom.



Slika 24: Zadrževalni bazen (slikano 6. 11. 2015)

Na sliki 24 vidimo notranji del zadrževalnega bazena. Na dnu je veliko blata, kar kaže na slabo izpiranje ob praznjenju bazena (bazen je brez izplakovalnika). Na desni strani slike je viden iztok, ki ima ročno loputo. Odtok je vedno odprt, tako da tudi ob morebitnem polnjenju bazena ne more priti do zadrževanja odpadne vode. Na stenah so vidne črte, kar je znak, da je bil bazen v preteklosti že napolnjen. Vidnih je več različnih višin.

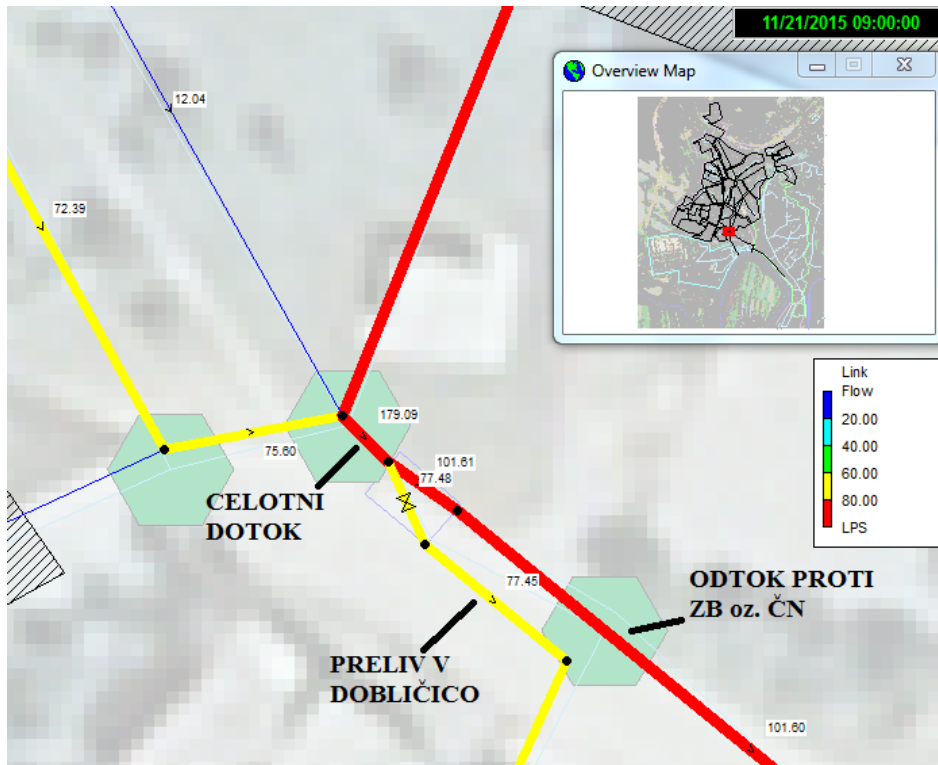


Slika 25: Odvzeti vzorci z dne 21. 11. 2015.

- \*kanal – vzorec iz kanalizacije pred padavinskim dogodkom (brez analize v laboratoriju)
- 1 – vzorec, odvzet iz Dobljice pred padavinskim dogodkom ob 7:00 uri (analiziran)
- 2 – vzorec, odvzet takoj po začetku pojava preliva ob 8:35 (analiziran)
- 3 – vzorec, odvzet 15 min po odvzemu drugega vzorca na prelivu ob 8:50 (analiziran)
- 4 – vzorec, odvzet iz Dobljice po končanem prelivu ob 10:00 uri (analiziran)
- 5 – vzorec, odvzet 30 min po vzorčenju vzorca 2 na prelivu (brez analize)
- dob. – vzorec, odvzet iz Dobljice ob 13:40 uri (brez analize)

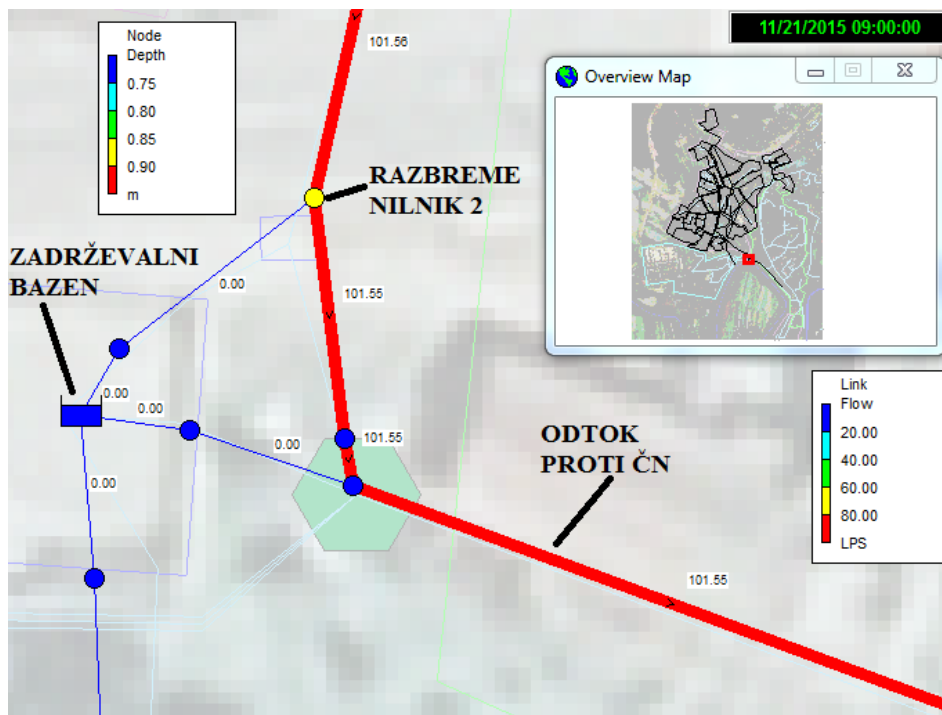
Slika 25 prikazuje vzorce. Analizirani so bili vzorci št. 1, 2, 3 in 4. Iz barve vzorcev je razbrati, da je odpadna voda na začetku preliva bolj obremenjena.

### 6.3.3 Rezultati simulacije za padavinski dogodek z dne 21. 11. 2015



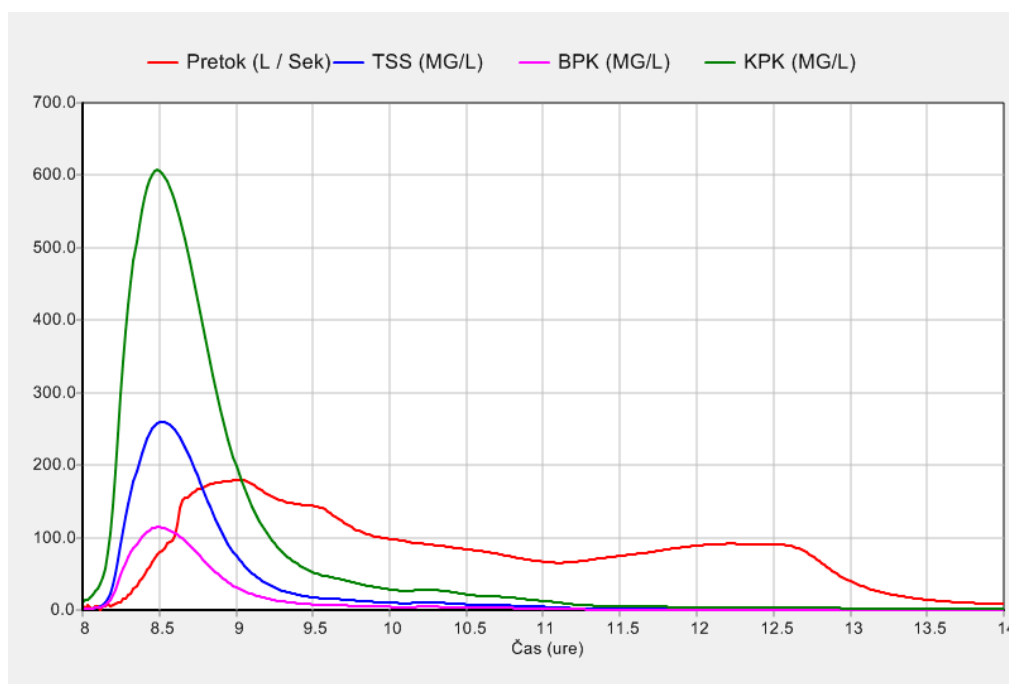
Slika 26: Količina odtoka, dne 21. 11. 2015 ob 9:00 uri

Slika 26 prikazuje delovanje KS na razbremenilnem objektu ob 9:00 uri, tj. ob največjem pretoku. Dotok na razbremenilni objekt je približno 180 l/sek, pri tem je pretok proti ČN 100 l/sek (tok pod tlakom), odtok čez preliv pa je 77 l/sek.



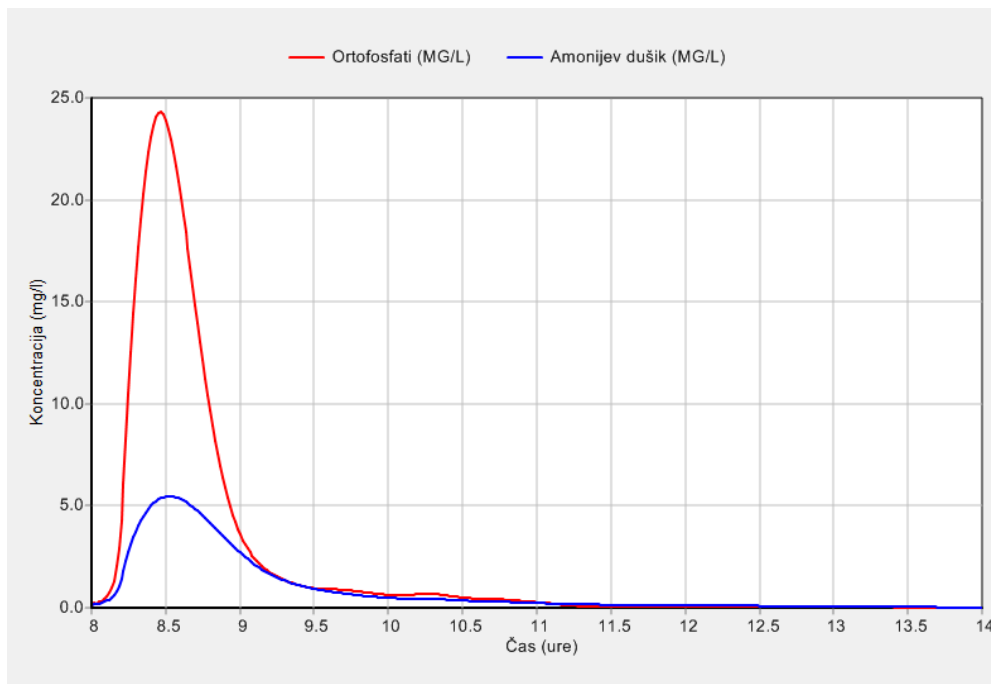
Slika 27: Količina odtoka z dne 21. 11. 2015 ob 9:00 uri pri zadrževalnem bazenu

Slika 27 prikazuje tok na območju zadrževalnega bazena. Slika je prikazana v trenutku, ko imamo na sistemu največji pretok, tudi odtok iz razbremenilnega bazena proti ČN je pod tlakom. To pomeni, da na delu sistema, kjer se nahaja zadrževalni bazen, ne more priti do večjega pretoka kot je 100 l/sek. Pri tem pretoku rezultat simulacije kaže na to, da ni prišlo do toka v zadrževalni bazen. Rezultat simulacije so potrdile tudi meritve na terenu.



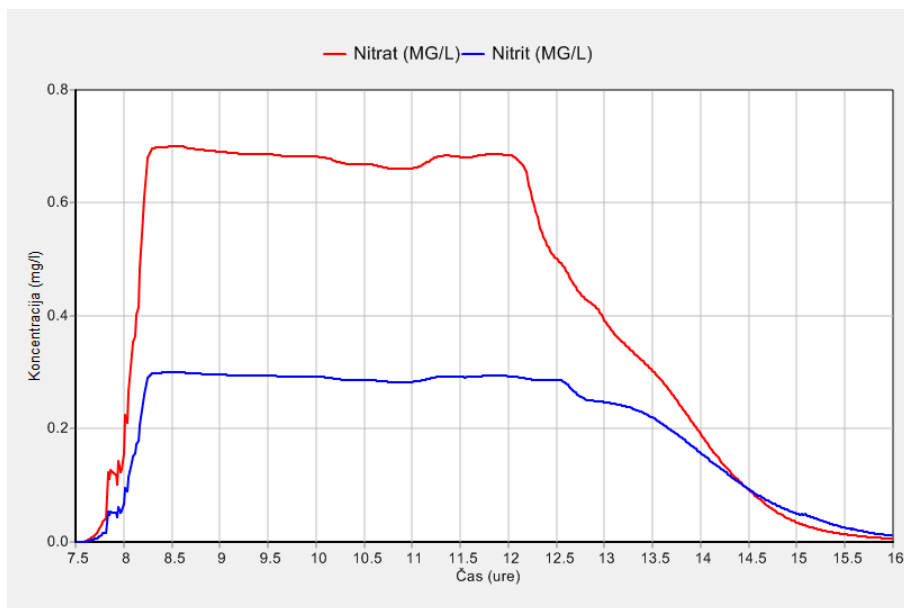
Grafikon 21: Koncentracija TSS, BPK in KPK ter velikost pretoka

Grafikon 21 prikazuje pretok in koncentracije parametrov za TSS, BPK in KPK. Simulacija je pokazala, da je najvišja koncentracija posameznega parametra najvišja, še preden je dosežen maksimalen pretok. Po konici koncentracija posameznega onesnaževala strmo pade. Maksimalen pretok nastopi ob 9:01, maksimalna koncentracija za KPK pa ob 8:29. Torej konica KPK-ja nastopi 32 minut pred najvišjim pretokom. Razlika med konicama za TSS in BPK ter konico pretoka je podobna, torej okrog 30 min.



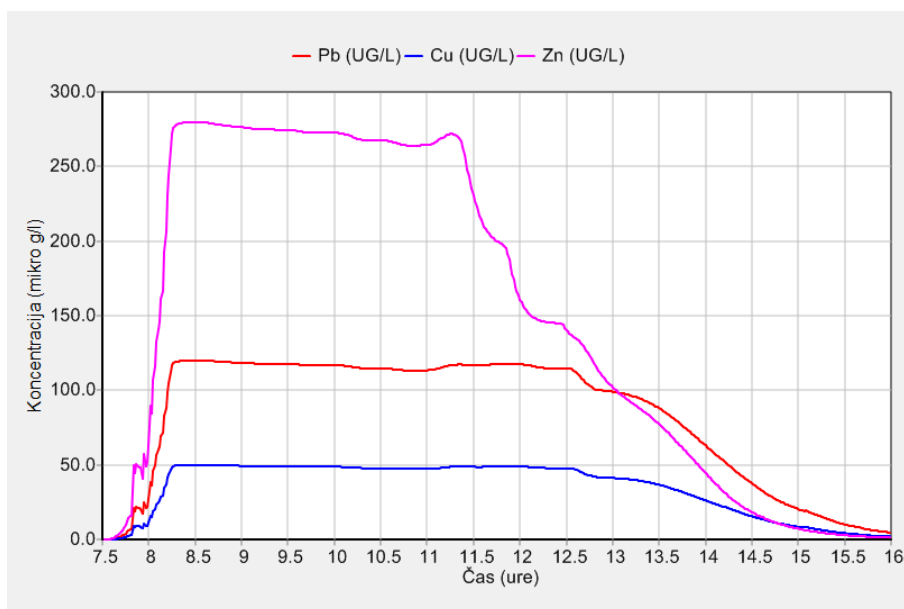
Grafikon 22: Koncentracija ortofosfatov in amonijevega dušika

Grafikon 22 prikazuje potek koncentracije za amonij in ortofosfate. Še posebej za ortofosfate je simulacija pokazala na strmo naraščanje in na strmo padanje koncentracije. Amonij doseže nižjo koncentracijo konice in tudi padanje je bolj položno. Konici za oba parametra dosežeta najvišjo koncentracijo nekaj trenutkov pred začetkom preliva.



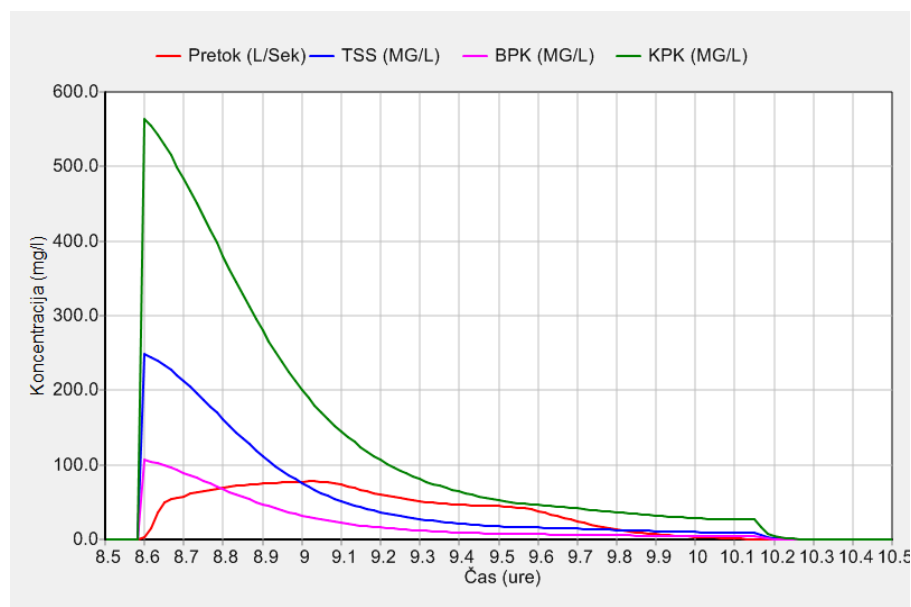
Grafikon 23: Koncentracije za nitrat in nitrit

Koncentracijo nitrita in nitrata sem simuliral s srednjo koncentracijo onesnažila (EMC). Zaradi tega razloga tudi ni ekstremne konice, ampak koncentracija doseže določeno vrednost in je skozi celoten odtok približno enaka. S tem načinom sem določil skupno količino izpranega onesnažila.



Grafikon 24: Koncentracija za svinec (Pb), baker (Cu) in cink (Zn)

Za simulacijo koncentracije kovin sem uporabil EMC. Koncentracija doseže določeno vrednost in ostane približno enaka skozi celoten odtok.



Grafikon 25: Koncentracija TSS, BPK in KPK na prelivu

Grafikon 25 prikazuje koncentracije na prelivu. Koncentracija ves čas trajanja preliva upada. Najbolj obremenjena voda je na začetku preliva.

Preglednica 14: Koncentracija posameznega onesnaževala, dne 21. 11. 2015 (simulacija SWMM)

Element \ Parameter	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
max. konc. na dotoku razbreme.	260.3	114.5	607.4	0.7	0.3	5.45	24.3	119.9	50	279.9
max. Konc. na prelivu	248.3	106.4	563.6	0.7	0.3	5.3	20.2	119.9	50	279

Preglednica 14 prikazuje maksimalne koncentracije celotnega dogodka in maksimalne koncentracije na prelivu. Rezultati kažejo na to, da je bila najvišja koncentracija dosežena, nekaj trenutkov predno se je začel preliv. Posledica tega je, da koncentracija na prelivu ves čas upada.

Preglednica 15: Masa izpranih onesnažil na dotoku na razbremenilnik, na odtoku proti ČN in na prelivu, dne 21. 11. 2015 (simulacija SWMM)

Element \ Parameter	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
masa onesnažila na dotoku na razb.	70.99	30.62	177.02	1.117	0.498	2.136	4.867	0.199	0.083	0.41

se nadaljuje...



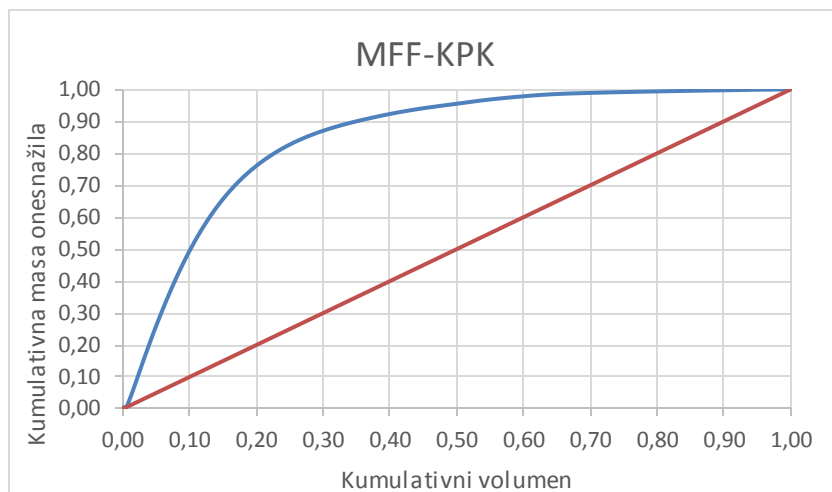
...nadaljevanje Preglednice 15

masa onesnažila proti ČN	52.12	22.6	129.96	0.954	0.428	1.553	3.735	0.171	0.071	0.345
masa onesnažila na prelivu	18.87	8.02	47.06	0.163	0.07	0.583	1.132	0.028	0.012	0.065
procent preliva glede na celotno maso	26.6	26.2	26.6	14.6	14.1	27.3	23.3	14.1	14.5	15.9

Preglednica 15 prikazuje skupno maso izpranih onesnažil na celotnem sistemu in količino prelite mase posameznega onesnažila. Dodal sem odstotni delež prelite mase posameznega onesnaževala. Odstotni delež je bil podoben za TSS, KPK, BPK, amonij in ortofosfate, in sicer približno 25 %. Simulacija je pokazala, da se večji delež onesnaženja odvaja proti ČN, vendar je KS urejen tako, da sta na poti do ČN še dva razbremenilna objekta brez zadrževalnega bazena, kjer se onesnaženje prelije v reko Lahinjo. Za nitrite, nitrate, svinec, cink in baker je simulacija pokazala, da se prelije le približno 15 % masnega deleža. To je posledica tega, da je simulacija opravljena z EMC-jem, saj je koncentracija enaka čez celoten pretok in na začetku pretoka ni višja kot pri uporabi eksponentne funkcije.

#### **6.3.4 Ocena prvega vala z masnim prvim valom (MFF) in izračun srednje koncentracije onesnažil (EMC) pri padavinskem dogodku 21. 11. 2015**

Iz rezultatov simulacije padavinskega dogodka z dne 21. 11. 2015 sem izbral parametre za KPK, amonij in ortofosfate. Rezultate sem uporabil za izdelavo grafa masnega prvega vala (poglavje 3.3) in za določitev srednje koncentracije onesnažil (EMC). Te parametre sem izbral, ker sem imel za te parametre dve meritvi (preglednica 9). Na podlagi dveh analiz sem umeril model in tako simuliral spreminjanje koncentracije v pretoku. Volumen celotnega odtoka z dne 21. 11. 2015 je bil 1748 m<sup>3</sup>. Podrobnosti o koncentracijah so v prilogi E.1. V prilogi E.1 so podatki o pretoku, koncentracijah za KPK, ortofosfate in amonij.

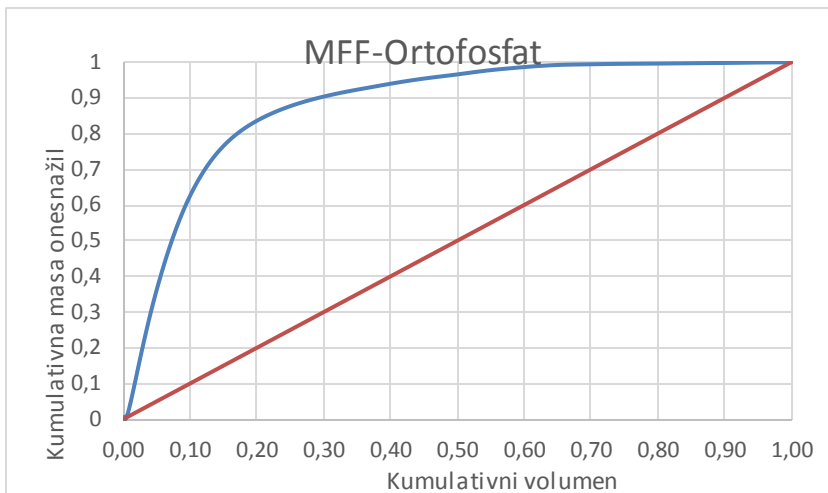


Grafikon 26: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen

Grafikon 26 kaže, da je bil prisoten prvi čistilni val. Vse vrednosti so nad premico, ki poteka pod 45°. Po Geigerjevi definiciji prvega vala (poglavje 3.1) je prvi čistilni val prisoten, ko so vse vrednosti nad 45° premico. Bertrand-Krajewski je prvi val definiral tako, da se v prvih 30 % celotnega odtoka izloči 80 % mase celotnega nakopičenega onesnaženja (poglavje 3.1). Tudi po Bertrand-Krajewskijevi definiciji je bil v dogodku 21. 11. 2015 prisoten prvi čistilni val. V prvih 30 % odtoka je bilo izpranih 87 % celotnih nakopičenih onesnažil, merjenih s KPK-jem. Iz grafa razberemo, da bi z zadržanjem prvih 10 % odtoka zadržali 50 % celotnega nakopičenega onesnaževala. V tem padavinskem dogodku je 10 % enako 180 m<sup>3</sup>. 30 % odtoku pa ustreza 520 m<sup>3</sup>. Za padavinski dogodek sem izračunal tudi EMC, ki ima nizko vrednost zaradi velikega celotnega odtočnega volumna (1748 m<sup>3</sup>). Z zadržanjem 300 m<sup>3</sup>, kar je volumen zadrževalnega bazena, zgrajenega, vendar nedelujočega na KS Črnomelj, bi zadržali 71 % onesnaženja KPK.

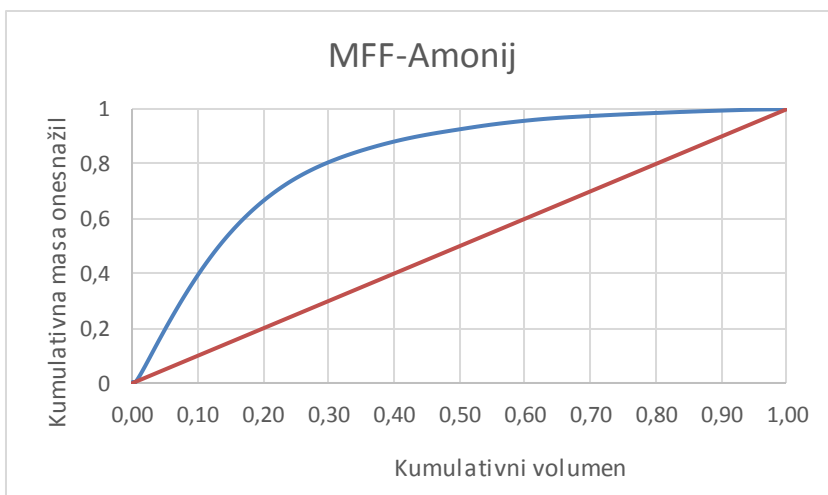
$$EMC_{\text{kpk,nov}} = 100 \text{ mg/l}$$

$$V_{\text{celotni}} = 1748 \text{ m}^3$$



Grafikon 27: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen

Grafikon 27 predstavlja odnos med maso in volumnom za ortofosfate. Tudi tukaj graf kaže na prvi čistilni val, saj je graf nad 45°-premico ter se v prvih 30 % odtoka izpere 90 % onesnažila. V primeru, če bi zadržali prvih 10 % odtoka (180 m<sup>3</sup>), bi zadržali 62 % ortofosfatov. Z zadržanjem 300 m<sup>3</sup> bi zadržali 80 % celotnih ortofosfatov. Srednja koncentracija ortofosfatov za celotni volumen 1748 m<sup>3</sup> je enak  $EMC_{\text{ortofosfati,nov}} = 2,74 \text{ mg/l}$ .



Grafikon 28: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen

Rezultat (Grafiko za amonij prav tako kaže na prvi čistilni val. Celotni graf je nad 45°-premico in v prvih 30 % odtoka se izpere 80 % onesnažil. Amonija se izpere nekoliko manj kot onesnažila, merjenega s KPK-jem, in ortofosfatov, vendar še vedno 80 %. Z zadržanjem prvih 10 % (180 m<sup>3</sup>) odtoka bi zadržali 39 % onesnažila. Z zadržanjem 300 m<sup>3</sup> bi zadržali 60 % celotne mase amonija. Srednja koncentracija amonijaka  $EMC_{\text{amonij,nov}} = 1,21 \text{ mg/l}$ .

### 6.3.5 Rezultati simulacije za 30-minutni naliv s povratno dobo enega leta in 20 suhimi dnevi

Na prispevnem območju Zdravstvenega doma sem poleg simulacije realnega padavinskega dogodka (21. 11. 2015) simuliral tudi pretok in količino izpranih onesnažil glede na padavine s povratno dobo enega leta in trajanjem padavin za 5, 10, 15, 20, 30, 25 in 60 min. Pri tem sem uporabil podatke za merilno mesto Črnomelj – Dobljice (preglednica 16). Rezultati so pokazali, da je največja masa posameznega onesnažila prisotna pri 30-minutnem nalivu. Za 20-minutni naliv je simulacija pokazala, da so mase izpranih onesnažil zelo podobne kot pri 30-minutnem nalivu. Pri daljših nalivih (45 min in 60 min) se skupna količina izpranega posameznega onesnažila zmanjšuje. Pri 5-minutnem nalivu je na začetku odtoka najvišja koncentracija, vendar pa je količina izpranih onesnažil manjša zaradi manjšega volumenskega odtoka. Na podlagi simulacij s padavinami različnega trajanja sem se odločil, da podrobno predstavim rezultate simulacije s 30-minutnim nalivom (10 mm padavin), saj se je pri tem dogodku pokazal največji vpliv na okolje. Pri tem sem naredil dve simulaciji. Pri prvi simulaciji sem upošteval 20 predhodnih suhimi dni, kar je enako obdobje kot pri padavinah 21. novembra. Pri drugi pa sem upošteval obdobje s 50 suhimi dnevi, s saj so na območju jugovzhodne Slovenije velikokrat prisotna obdobja s 50 in več dnevi suhega vremena. Tako sem simuliral vpliv sušnega obdobja na kvaliteto odtoka. V prilogi E.2 so prikazani rezultati za pretok, koncentracijo onesnažil (KPK, ortofosfati in amonij) in prikazani so izračuni za določitev masnega prvega vala.

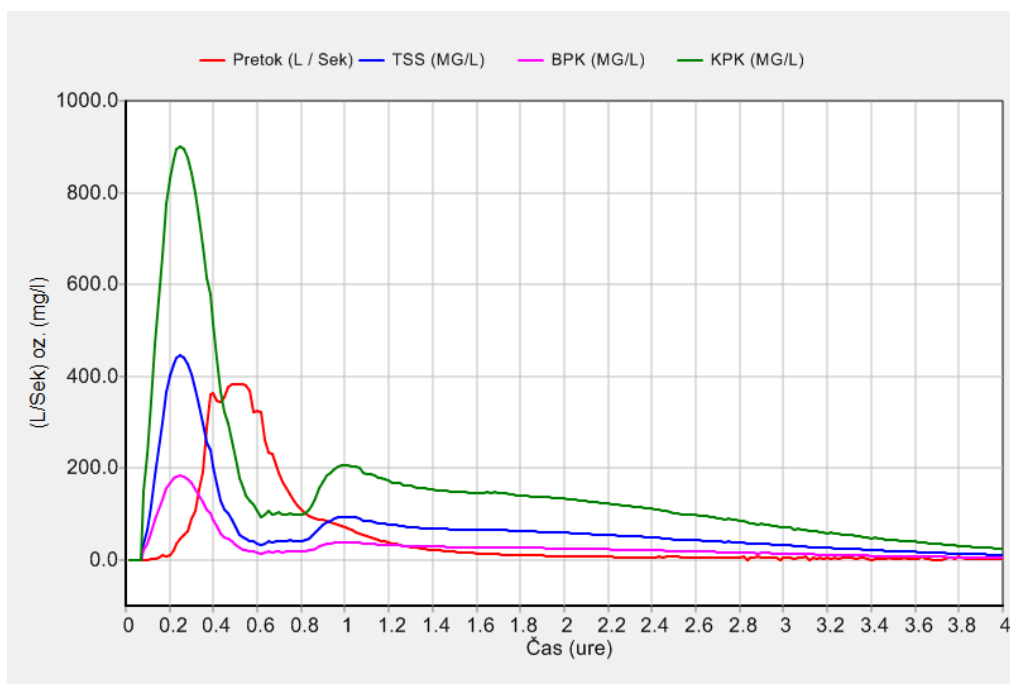
Preglednica 16: Povratne dobe za ekstremne padavine za merilno mesto Dobljice (Povratne dobe za ekstremne padavine. 2015).

#### POVRATNE DOBE ZA EKSTREMNE PADAVINE

Postaja: ČRNOMELJ - DOBLIČE  
Obdobje: 1970 - 2008

Višina padavin (mm)

trajanje padavin	POVRATNA DOBA							mm	
	1 leto	2 leti	5 let	10 let	25 let	50 let	100 let		250 let
5 min	4	8	11	13	15	17	19	21	mm
10 min	7	12	16	19	23	26	29	33	mm
15 min	8	15	21	24	29	32	36	40	mm
20 min	9	17	25	29	35	40	44	50	mm
30 min	10	20	29	35	43	48	54	61	mm
45 min	11	23	34	41	50	56	63	71	mm
60 min	12	26	37	45	55	63	70	80	mm
90 min	13	28	42	51	62	70	79	89	mm
120 min	15	31	44	53	65	73	81	92	mm
180 min	19	35	48	57	68	76	85	96	mm
240 min	22	38	53	62	75	84	93	105	mm
300 min	24	40	56	66	79	89	98	111	mm
360 min	24	43	59	69	83	92	102	115	mm
540 min	25	49	69	82	99	111	123	139	mm
720 min	25	54	77	91	110	124	138	156	mm
900 min	25	57	79	93	112	125	139	156	mm
1080 min	25	60	83	98	117	132	146	164	mm
1440 min	25	64	88	104	124	139	154	174	mm



Grafikon 29: Koncentracije za TSS, BPK in KPK pri 30-minutnem nalivu in z 20 suhimi dnevi

Na zgornjem grafikonu je razvidna zelo visoka koncentracija na začetku odtoka. Za KPK je najvišja koncentracija 901 mg/l. Potem se koncentracija odtoka hitro zmanjša in doseže koncentracijo okrog 150 mg/l. Rezultat simulacije kaže na prisoten prvi čistilni val. Začetni odtok je zelo obremenjen in zelo presega zakonodajne vrednosti (glej preglednico 9).

Preglednica 17: Koncentracije onesnažil pri 30-minutnem nalivu in z 20 suhimi dnevi

Parameter Element	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
max. konc. na dotoku razbreme.	445.2	183.1	901	0.7	0.3	7.91	38.65	119.9	50	279.9
max. Konc. na prelivu	344.7	143.7	756	0.7	0.3	23.35	7.44	119.9	50	278.8

Na preglednici 17 je razvidno, da je koncentracija v prelivu nekoliko manjša, kot je najvišja koncentracija v pretoku.

Preglednica 18: Masa izpranih onesnažil na dotoku na razbremenilnik, na odtoku proti ČN in na prelivu, pri 30-minutnem nalivu in z 20 suhimi dnevi

Parameter Element	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
masa onesnažila na dotoku na razb.	68.69	29.66	171.21	0.459	0.196	2.068	4.513	0.078	0.033	0.183
masa onesnažila proti ČN	39.16	16.64	91.97	0.253	0.108	1.038	2.74	0.043	0.018	0.101
masa onesnažila na prelivu	29.53	13.02	79.24	0.206	0.088	1.03	1.773	0.035	0.015	0.082
procent preliva glede na celotno maso	43.0	43.9	46.3	44.9	44.9	49.8	39.3	44.9	45.5	44.8

Preglednica 18 prikazuje skupno količino izpranega onesnažila na cevi pred razbremenilnikom. Ta količina se potem razdeli na dva dela. En del odteka proti ČN, drugi del pa se preko preliva prelije v Dobljico in jo tako neposredno obremeni. V preglednico sem dodal odstotni delež prelitega onesnaževala glede na celoten dotok onesnaževala na razbremenilnik. Vsi podatki so v kilogramih [kg]. Rezultat je pokazal, da se v odvodnik prelije skoraj 45 % posameznega onesnaževala.

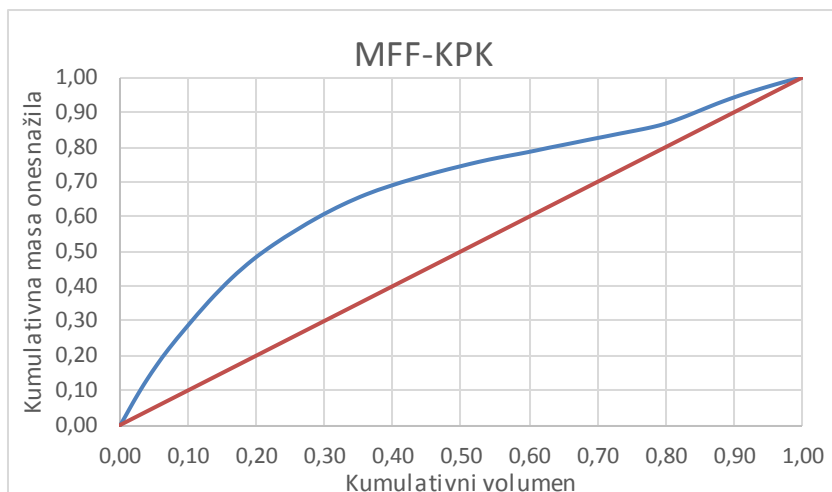
Rezultate simulacije sem prenesel v program Excel, jih uredil in določil graf za določevanje razmerja masnega prvega vala (glej poglavje 3.3), ki je prikazan na grafikonu 29. Iz grafikona lahko enostavno določimo delež izpranih onesnažil glede na delež volumenskega odtoka. Grafikon je narejen glede na podatke iz dotoka na razbremenilnik. Podatke o pretoku in koncentraciji posameznega onesnažila sem povzel po simulaciji v programu SWMM. Določil sem še srednjo koncentracijo onesnaževala (EMC), in sicer z razmerjem med celotno maso izpranega onesnaževala in celotnim odtočnim volumnom (glej poglavje 3.2). Srednje koncentracije obravnavanih onesnažil, celotnega volumenskega odtoka (664,9 m<sup>3</sup>) so prikazane spodaj.

$$EMC_{\text{kpk},20} = 256,5 \text{ mg/l}$$

$$EMC_{\text{ortofosfati},20} = 6,78 \text{ mg/l}$$

$$EMC_{\text{amonij},20} = 3,10 \text{ mg/l}$$

$$V_{\text{celotni},20} = 664,9 \text{ m}^3$$

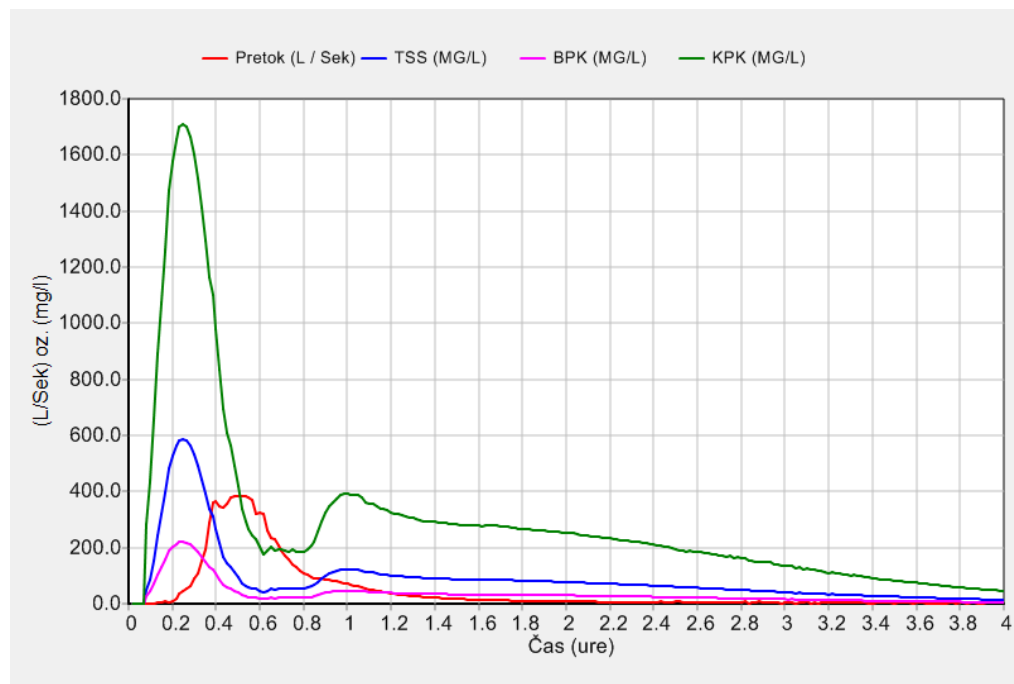


Grafikon 30: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen

Iz grafikona 30 lahko razberemo, da je bilo v prvih 10 % odtočnega volumna odvedene 28 % celotne izprane mase za KPK. Pri odtočnem volumnu 664,9 m<sup>3</sup> to pomeni, da je bilo s prvimi 65 m<sup>3</sup> odtoka izpranega 48 kg KPK. Ali drugače, če bi zadržali prvih 65 m<sup>3</sup>, bi zadržali 48 kg KPK-ja. V primeru, da zadržimo 20 % (130 m<sup>3</sup>) odtoka, bi zadržali 48 % oz. 81 kg KPK. Z zadrževalnim bazenom s kapaciteto 300 m<sup>3</sup> bi zadržali 73 % oz. 124 kg onesnaževala, merjenega s KPK. V prilogi E.3 prilagam grafe masnega prvega vala za ortofofate in amonij.

### 6.3.6 Rezultati simulacije za 30-minutni naliv s povratno dobo enega leta in 50 suhimi dnevi

Za primerjavo sem naredil analizo s 30-minutnim nalivom in 50 suhimi dnevi. V prilogi E.4 so prikazani rezultati za pretok, koncentracijo onesnažil (KPK, ortofosfati in amonij) in prikazani so izračuni za določitev masnega prvega vala.



Grafikon 31: Koncentracije za TSS, BPK in KPK pri 30-minutnem nalivu in s 50 suhimi dnevi

Na grafikonu 31 so prikazani rezultati simulacije koncentracij za TSS, BPK in KPK pri 30-minutnem nalivu (10 mm padavin) in 50 predhodnimi suhimi dnevi. Če rezultate primerjamo z dogodkom z 20 suhimi dnevi (grafikon 28), vidimo, da imamo višjo konico posameznega onesnaževala. KPK doseže celo maksimalno koncentracijo 1711 mg/l. Najvišje koncentracije presegajo mejne vrednosti za izpuste neposredno ali posredno v vodotok (preglednica 9), po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Koncentracije na prelivu prav tako presegajo mejne vrednosti.

Preglednica 19: Koncentracije onesnažil pri 30-minutnem nalivu in s 50 suhimi dnevi

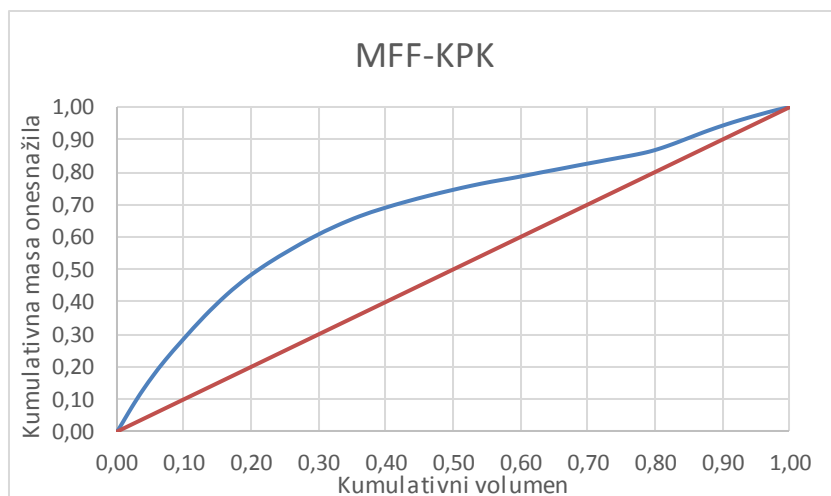
Element \ Parameter	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
	TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
max. konc. na dotoku razbreme.	586.1	220	1711	0.7	0.3	15.03	96.62	119.9	49.9	279.9
max. Konc. na prelivu	453.8	172.7	1436.4	0.7	0.3	14.13	58.4	119.9	49.9	279.8



Preglednica 20: Masa izpranih onesnažil na dotoku na razbremenilnik, na odtoku proti ČN in na prelivu, pri 30-minutnem nalivu in s 50 suhimi dnevi

Parameter Element	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	TSS	BPK	KPK	Nitrat	Nitrit	Amonij	Fosfor	Pb	Cu	Zn
masa onesnažila na dotoku na razb.	90.42	35.63	325.16	0.459	0.196	3.927	11.276	0.078	0.033	0.183
masa onesnažila proti ČN	51.55	19.99	174.67	0.253	0.108	1.971	6.844	0.043	0.018	0.101
masa onesnažila na prelivu	38.87	15.64	150.49	0.206	0.088	1.956	4.432	0.035	0.015	0.082
procent preliva glede na celotno maso	43.0	43.9	46.3	44.9	44.9	49.8	39.3	44.9	45.5	44.8

Če primerjamo rezultate z dogodkom pri 20 suhimi dnevih (poglavje 6.3.5), vidimo, da je odstotni delež prelitega posameznega onesnaževala med simulacijama zelo podoben. Vendar pa je količina prelitega posameznega onesnaževala večja pri dogodku s 50 suhimi dnevi, kar je posledica večje količine kopičenja v času suhimi dnevi.



Grafikon 32: Količina izpranega onesnažila glede na kumulativni volumen

Grafikon 32 ima enako obliko kot grafikon 29. Torej je delež izpranega onesnažila v enakem volumenskem odtoku enak pri obeh simulacijah. Različna pa je masa izpranega onesnažila, saj je tudi masa izpranega onesnažila v celotnem odtoku večja pri dogodku s 50 suhimi dnevi. Celotna masa za KPK je 352 kg (preglednica 20). Posledica večjega kopičenja in večje mase izpranega posameznega onesnažila je višja srednja koncentracija (EMC). V primeru, da zadržimo 20 % (130 m<sup>3</sup>) odtoka, bi zadržali 48 % oz. 154 kg KPK. V primeru delovanja zadrževalnega bazena s kapaciteto 300 m<sup>3</sup> bi zadržali 73 % oz. 235 kg onesnaževala merjenega s KPK. V prilogi E.5 je prikazan graf masnega prvega

vala za ortofosfate in amonij. Srednje koncentracije obravnavanih onesnažil, celotnega volumenskega odtoka ( $664,9 \text{ m}^3$ ) so prikazane spodaj.

$$EMC_{\text{kpk},50} = 487,1 \text{ mg/l}$$

$$EMC_{\text{ortofosfati},50} = 16,95 \text{ mg/l}$$

$$EMC_{\text{amonij},50} = 5,89 \text{ mg/l}$$

$$V_{\text{celotni},50} = 664,9 \text{ m}^3$$

## 7. ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem se ukvarjal z vplivom prelivajoče vode na manjšem delu kanalizacijskega sistema Črnomlja v reko Dobljico. Pri analizi sem se osredotočil na zahodni del mesta Črnomelj, območje sem poimenoval »Prispevno območje Zdravstveni dom«. Pri pregledu je bilo ugotovljeno, da ima ta del sistema dva razbremenilnika (samo na enem je prišlo do preliva) in zadrževalni bazen s približno prostornino 300 m<sup>3</sup>, ki pa ni ustrezno dimenzioniran in ne opravlja svoje funkcije. Značilnost urbaniziranih območjih je, da se na površinah v času lepega vremena kopičijo onesnaževala. Ob nastopu padavin pride do izpiranja nakopičenih onesnažil. Najvišje koncentracije so na začetku pretoka, potem pa se hitro zmanjšujejo. V primeru prelivanja ima obremenjena voda velik vpliv na vodotok, v katerega se izliva. Začetne visoke koncentracije in poznejše upadanje so povezane s prvim čistilnim valom. Prvi čistilni val je omejen na začetni pretok in ga je smiselno zadržati v sistemu ter po končanem padavinskem dogodku prečistiti na čistilni napravi. V nalogi sem se ukvarjal z meritvijo koncentracij na začetku pretoka in določil, koliko mase onesnažila se izpere v posameznem delu odtoka.

V nalogi sem za simulacijo odtoka in koncentracijo onesnažil uporabil program Storm Water Management Model (SWMM). Model sem kalibriral z dvema padavinskima dogodkoma. Pri prvem padavinskem dogodku sem umerjal pretok, tako da se je višina vode na cevi pred razbremenilnim objektom ujemala v simulaciji in v realni meritvi. Pri drugem dogodku sem umerjal koncentracijo posameznih onesnažil. Za kalibracijo koncentracij sem uporabil rezultate analize vzorcev. Z vnesenimi podatki o prispevnem območju in karakteristikami koncentracije onesnaževal sem simuliral odtok ter določil maso prelitega onesnaženja. Model sem uporabil za simulacijo padavin s povratno dobo enega leta in trajanjem 5, 10, 15, 20, 30, 45 in 60 minut. Pokazalo se je, da je najbolj obremenjujoč dogodek s 30-minutnim trajanjem. Zato so v diplomski nalogi prikazani samo rezultati za 30-minutni naliv.

Med padavinskim dogodkom dne 21. 11. 2015 je bila na dveh vzorcih na prelivu in dveh vzorcih reke Dobljice opravljena laboratorijska analiza. Analizirani so bili naslednji parametri: elektro prevodnost, koncentracija kisika, pH, nitrati, nitriti, amonij, ortofosfati, KPK, BPK in TSS. BPK je bil izmerjen samo na dveh vzorcih in TSS samo na enem vzorcu. Analiza je pri vseh parametrih pokazala najvišjo koncentracijo onesnažil na začetku preliva in zmanjšanje v naslednjem vzorcu. Vsi parametri kažejo na pojav prvega čistilnega vala. Primerjava vzorcev iz Dobljice je pokazala, da prelita odpadna voda vpliva na kakovost vodotoka.

Simulacija s padavinami različnega trajanja je pokazala, da ima na konico koncentracije velik vpliv število predhodno suhih dni oz. količina nakopičenih onesnažil. Po drugi strani pa visoka konica še ne pomeni največje masne obremenitve, saj je bila masa izpranih onesnažil največja pri dogodku s 30-

minutnim trajanjem. V nalogi je predstavljen graf v odvisnosti med kumulativnim volumnom in kumulativno maso izpranih onesnažil. Iz grafa lahko enostavno določimo količino izpranih onesnažil glede na velikost volumenskega odtoka. Ugotovljeno je bilo, da bi v primeru delovanja zadrževalnega bazena za padavinski dogodek 21. 11. 2015 zadržali 71 % onesnaženja KPK, 80 % ortofosfatov in 60 % amonija. Za vsako simulacijo sem določil srednjo koncentracijo onesnažil (EMC). Rezultati kažejo na to, da je pri večjem volumenskem odtoku manjši EMC, medtem ko večje število suhih dni poveča EMC.

Rezultati so pokazali smiselnost zadrževanja prvega dela odtoka, saj s tem zmanjšamo obremenjenost vodotoka z onesnažili. Na prispevnem območju Zdravstvenega doma kanalizacijskega sistema Črnomlja je zelo škoda, da je razbremenilnik in sistem napačno dimenzioniran, saj bi s pravilnim delovanjem že zgrajenega zadrževalnega bazena zmanjšali vpliv preliva na Dobljico. Za boljše delovanje sistema bi bilo treba znižati preliv na razbremenilnem objektu pred zadrževalnim bazenom. To bi se lahko naredilo z majhnimi stroški, učinki na kakovost vodotoka pa bi bili veliki.

## VIRI

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

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 99 str.

Chapman, D. 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition. London: 651 str.

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/watqualassess.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watqualassess.pdf)

(Pridobljeno 23. 12. 2015.)

Guo, J.C.Y. 2000. Street Stormwater Storage Capacity. Water Environment Research. 72, 5: 626-630.

Kang, J. 2005. Modeling First Flush and Participle Destabilization: Implications for Design and Operation of Stormwater BMPs. Los Angeles, University of California: 160 str.

<http://www.seas.ucla.edu/stenstro/d/d39.pdf> (Pridobljeno 22. 9. 2015.)

Kim, L-H., Kayhanian, M., Zoh, K-D., Stenstrom, Michael K. 2005. Modeling of highway stormwater runoff. Science of the total Environment 348: str. 1-18.

[http://www.researchgate.net/publication/7601240\\_Modeling\\_of\\_Highway\\_Stormwater\\_Runoff](http://www.researchgate.net/publication/7601240_Modeling_of_Highway_Stormwater_Runoff)

(Pridobljeno 12. 10. 2015.)

Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 509 str.

Kolar, J. 1983. Odvod odpadne vode iz naselij in zaščita voda. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 524 str.

- Hongbing, L., Lin, L., Gu, H., Ping, L., Jingxian, L., Sheng, H., Fuxiang, W., Rui, X., Xiaoxue, H. 2009. Total pollution effect of urban surface runoff. *Journal of Environmental Sciences* 21, 9: 1186-1193.  
[http://www.jesc.ac.cn/jesc\\_En/ch/reader/create\\_pdf.aspx?file\\_no=2009210904](http://www.jesc.ac.cn/jesc_En/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=2009210904) (Pridobljeno 19. 9. 2015.)
- Bat, M., Dolinar, M., Frantar, P. idr. 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971-2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija republike Slovenije za okolje, 119 str.  
Arhiv hidroloških podatkov – dnevni podatki. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor.  
[http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php?p\\_vodotok=Krupa](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Krupa) (Pridobljeno 18. 2. 2015.)
- Minh Nhat, L., Tachikawa, Y., Takara, K. 2006. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Annuals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, 49 B: 93-103.  
<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no49/49b0/a49b0p09.pdf> (Pridobljeno 25. 8. 2015.)
- Mlakar, J. 2007. Modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda na kanalizacijskih sistemih. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Mlakar): 84 str.
- Nadler, A. in Meißner, E. 2001. Ergebnisse einer Versuchsanlage zur Versickerung des Niederschlagswassers von Straßen. *Wasserwirtschaft, Abwasser*. 48, 5: 624 - 628
- Nix, Stephan J. 1994. *Urban Stormwater Modeling and Simulation*. CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd.N.W., Boca Raton, Florida 33431: 212 str.
- Panjan, J. 2002. Odvodnjavanje onesnaženih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 91 str.
- Panjan, J., Krzyk, M. 2012. Občutljivostna analiza parametrov modeliranja prvega vala onesnaženih voda s cestnih površin. *Gradbeni vestnik* 61, december 2012: 275-283.
- Panjan, J., Krzyk, M., in Malus, D. 2013 Meritve kakovosnih parametrov za modeliranje prvega vala onesnaženih voda s cestnih površin. *Gradbeni vestnik* 62, julij 2013: 159-164.

Plut, D. 2008. Bela krajina in Krajinski park Lahinja. Ljubljana, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta: 160 str.

Plut, D. 1988. Belokranjske vode. Novo mesto. Dolenjski muzej: 200 str.

Planinc, Z. 2015. Specifikacija kanalizacijskega sistema Črnomelj (splet). Sporočilo za: Fortun, U. 11.2.2015. Osebna komunikacija.

Rossman, A. L. 2010. SWMM Users Manual, Version 5.0, Cincinnati, OH, Water Supply and Water Resource Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: 285 str.

<http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm?#downloads>

(Pridobljeno 15. 1. 2015.)

Rossman, L. 2015. Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology, Cincinnati, OH, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory: 235 str.

<http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (Pridobljeno 23. 9. 2015.)

Stenstrom, M.K., Kayhanian, M. 2005. First Flush Phenomenon Characterization, California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis, Sacramento: 69 str.

[http://www.dot.ca.gov/hq/env/stormwater/pdf/CTSW-RT-05-073-02-6\\_First\\_Flush\\_Final\\_9-30-05.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/env/stormwater/pdf/CTSW-RT-05-073-02-6_First_Flush_Final_9-30-05.pdf)

(Pridobljeno 9. 10. 2015.)

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

Sharifi S., Massoudieh A., Kayhanian M., 2011. A Stochastic Stormwater Quality Volume-Sizing Method with First Flush Emphasis. Water Environment Research 83, 11: 2025-2035.

[http://www.udc.edu/docs/dc\\_water\\_resources/technical\\_reports/Massoudieh\\_Project\\_Publication.pdf](http://www.udc.edu/docs/dc_water_resources/technical_reports/Massoudieh_Project_Publication.pdf)

(Pridobljeno 17. 9. 2015.)

Urbanič, G. in Toman, Mihael J. 2003. Varstvo celinskih voda. Ljubljana: Študentska založba. 94 str.

### **Zakonodaja in pravilniki:**

Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS št. 91-3896/2005: 9303.

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=58173> (Pridobljeno 17. 7. 2015.)

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS št. 64-2582/12: 6392 in Uradni list RS št. 64-2706/14: 7322.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6070> (Pridobljeno 15. 8. 2015.)

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest. Uradni list RS št. 47-1901/2005: 4733.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED3607> (Pridobljeno 15. 8. 2015.)

Uredba o stanju površinskih voda. Uradni list RS št. 14-437/2009:1757, Uradni list RS št. 98-5091/2010: 15307 in Uradni list RS št. 96-3445/2013: 10357.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED5010> (Pridobljeno 20. 8. 2015.)

### **Internetni viri:**

Povratne dobe za ekstremne padavine. 2015.

[http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/precip\\_return\\_periods\\_newer/](http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/precip_return_periods_newer/) (Pridobljeno 24. 8. 2015.)

Meteorološki letopisi. 2015.

[http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%C5%A1ki%20letopis/meteoroloski\\_letopisi.htm](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorolo%C5%A1ki%20letopis/meteoroloski_letopisi.htm)

(Pridobljeno 11. 9. 2015.)

Meteo. 2015 Uradna vremenska napoved za Slovenijo.

<http://meteo.arso.gov.si/> (Pridobljeno 21. 11. 2015.)

Arhiv hidroloških podatkov - dnevni podatki.2015.

[http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php) (Pridobljeno 15. 2. 2015.)

Topografska karta Črnomelj. 2015.

[http://www.geopedia.si/#T105\\_F408:17\\_x509138.1559999996\\_y52162.259000000005\\_s11\\_b4](http://www.geopedia.si/#T105_F408:17_x509138.1559999996_y52162.259000000005_s11_b4)

(Pridobljeno 16. 2. 2015.)

Komunala Črnomelj. Spletna stran.

<http://www.komunala-crnomelj.si/> (Pridobljeno 25. 2. 2015.)



OPINIO. 2015.

<http://www.opinio.si/vprasanja-odgovori/cistilne-naprave/31-glavni-parametri-odpadnih-vod>

(Pridobljeno 25. 10. 2015.)

Ocena ekološkega in kemijskega stanja voda v Sloveniji za obdobje 2006 do 2008. 2015.

<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost%20voda/Ocena%20stanja%20voda%2020062008.pdf> (Pridobljeno 23. 2. 2015.)

Ocena stanja rek v Sloveniji v letih 2009 in 2010. 2015.

<http://www.arso.gov.si/vode/reke/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/REKE%20porocilo%202009-2010.pdf> (Pridobljeno 23. 2. 2015.)

Program monitoringa stanja voda za obdobje 2010-2015. 2015.

<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Program%202010%20-%202015.pdf> (Pridobljeno 23. 2. 2015.)

Statistični urad Republike Slovenije. 2015. Največja mesta po številu prebivalcev.

[http://www.stat.si/krajevnaimena/pregledi\\_naselja\\_najvecja\\_prebivalci.asp?tlst=off&txtIme=%C8RNOMELJ&selNacin=celo&selTip=naselja&ID=499](http://www.stat.si/krajevnaimena/pregledi_naselja_najvecja_prebivalci.asp?tlst=off&txtIme=%C8RNOMELJ&selNacin=celo&selTip=naselja&ID=499) (Pridobljeno 14. 2. 2015.)

Statistični urad Republike Slovenije. 2015.

<http://www.stat.si/> (Pridobljeno 16. 2. 2015.)

Ta stran je namenoma prazna.

## **SEZNAM PRILOG**

### **PRILOGA A: MEJNE VREDNOSTI PARAMETROV ZA PADA VINSKO ODPADNO VODO**

### **PRILOGA B: PODATKI ZA MODEL KONCENTRACIJE ONESNAŽIL**

### **PRILOGA C: VREDNOSTI UPORABLJENE V PROGRAMU SWMM**

C.1: SREDNJA KONCENTRACIJA ONESNAŽIL

C.2: UPORABLJENI PARAMETRI ZA SIMULACIJO ODTOKA V PROGRAMU SWMM

### **PRILOGA D: REZULTATI MERITEV NA VIČU V LJUBLJANI**

### **PRILOGA E: REZULTATI SIMULACIJE NA PRISPEVNEM OBMOČJU**

#### **ZDRAVSTVENEGA DOMA ČRNOMELJ**

E.1 PADA VINSKI DOGODEK 21.11.2015 IN 5 MIN KORAK

E.2 REZULTATI SIMULACIJE S 30 MIN NALIVOM IN 20 SUHIH DNI

E.3 MASNI PRVI VAL ZA ORTOFOSFATE IN AMONIJ S 30 MIN NALIVOM IN 20 SUHIH DNI

E.4 REZULTATI SIMULACIJE S 30 MIN NALIVOM IN 50 SUHIH DNI

E.5 MASNI PRVI VAL ZA ORTOFOSFATE IN AMONIJ S 30 MIN NALIVOM IN 50 SUHIH DNI

### **PRILOGA F: SHEMA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMELJ**

F.1: IZSEK PRISPEVNEGA OBMOČJA IZ PROGRAMA SWMM, DNE 21.11.2015

F.2: SITUACIJA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMELJ

F.3: SITUACIJA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMELJ - PRELIV

Ta stran je namenoma prazna.

## PRILOGE

### PRILOGA A: MEJNE VREDNOSTI PARAMETROV ZA PADAVINSKO ODPADNO VODO

Parameter	Izražen kot	Enota	MEJNE VREDNOSTI	
			za odvajanje posredno ali neposredno v vode	za odvajanje v javno kanalizacijo
<b>I. SPLOŠNI PARAMETRI</b>				
1. Neraztopljene snovi		mg/l	80/160 (a)	(b)
2. Usedljive snovi		ml/l	0,5/10 (a)	10
<b>III ANORGANSKI PARAMETRI</b>				
3. Kadmij*	Cd	mg/l	0,1	0,1
4. Baker*	Cu	mg/l	0,5	0,5
5. Cink*	Zn	mg/l	2,0	2,0
6. Celotni krom*	Cr	mg/l	0,5	0,5
7. Nikelj*	Ni	mg/l	0,5	0,5
<b>IV. ORGANSKI PARAMETRI</b>				
8. Celotni ogljikovodiki* (mineralna olja)		mg/l	10/50 (a)	20
9. Lahkohlapni aromatski ogljikovodiki* - BTX (c)		mg/l	0,1	1,0
10. Adsorbiljni organski halogeni* - AOX	Cl	mg/l	0,5	0,5
11. Fenoli*	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	mg/l	0,1	10
12. PAH* (d)		mg/l	0,00006	-

Opomba: parametri, ki imajo oznako\*, so s predpisom, ki ureja emisijo toplote in snovi pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo, določeni kot nevarna snov.

Oznake:

(a) manjša vrednost velja za vodovarstvena območja v skladu s predpisi, ki urejajo vodovarstvena območja,

(b) mejna koncentracija neraztopljenih snovi v padavinski vodi se določi v okoljevarstvenem dovoljenju z vrednostjo, pri kateri še ni vpliva na kanalizacijo ali čistilno napravo,

(c) vsota benzena, toluena in ksilena,

(d) policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH) so vsota izmerjenih koncentracij benzo(a)pirena, fluoroantena, benzo(b)fluoroantena, benzo(k) fluoroantena, benzo(ghi)perilena in indeno(1,2,3-cd)pirena. PAH so značilni parameter naftnih derivatov, mejno vrednost predstavlja meja določanja.

vir: Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (Uradni list RS št. 47-1901/2005:4733)

**PRILOGA B: PODATKI ZA MODEL KONCENTRACIJE ONESNAŽIL**

$\beta^*$ se povečuje							$\gamma$ se spreminja							
$\delta$ [mg/l]	25						$\delta$ [mg/l]	25						
$\alpha$	10	10	10	10	10	10	$\alpha$	10	10	10	10	10	10	10
$\beta^*$	0	500	1000	1500	2000	2500	$\beta^*$	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
$\gamma^*$	-20	-20	-20	-20	-20	-20	$\gamma^*$	-20	-10	0	10	25	50	
VnRu	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	VnRu	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)
0.00	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	0.00	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
0.02	24.6	32.8	41.0	49.2	57.3	65.5	0.02	73.7	73.9	74.1	74.3	74.6	75.1	75.1
0.04	24.2	37.6	51.0	64.4	77.8	91.2	0.04	104.6	105.0	105.4	105.8	106.4	107.4	107.4
0.06	23.8	40.3	56.7	73.2	89.7	106.1	0.06	122.6	123.2	123.8	124.4	125.3	126.8	126.8
0.08	23.4	41.4	59.3	77.3	95.3	113.3	0.08	131.2	132.0	132.8	133.6	134.8	136.8	136.8
0.10	23.0	41.4	59.8	78.2	96.6	115.0	0.10	133.4	134.4	135.4	136.4	137.9	140.4	140.4
0.12	22.6	40.7	58.7	76.8	94.9	113.0	0.12	131.0	132.2	133.4	134.6	136.4	139.4	139.4
0.14	22.2	39.5	56.7	74.0	91.2	108.5	0.14	125.8	127.2	128.6	130.0	132.1	135.6	135.6
0.16	21.8	38.0	54.1	70.3	86.4	102.6	0.16	118.7	120.3	121.9	123.5	125.9	129.9	129.9
0.18	21.4	36.3	51.2	66.0	80.9	95.8	0.18	110.7	112.5	114.3	116.1	118.8	123.3	123.3
0.20	21.0	34.5	48.1	61.6	75.1	88.7	0.20	102.2	104.2	106.2	108.2	111.2	116.2	116.2
0.22	20.6	32.8	45.0	57.2	69.4	81.5	0.22	93.7	95.9	98.1	100.3	103.6	109.1	109.1
0.24	20.2	31.1	42.0	52.9	63.7	74.6	0.24	85.5	87.9	90.3	92.7	96.3	102.3	102.3
0.26	19.8	29.5	39.1	48.8	58.4	68.1	0.26	77.7	80.3	82.9	85.5	89.4	95.9	95.9
0.28	19.4	27.9	36.4	44.9	53.5	62.0	0.28	70.5	73.3	76.1	78.9	83.1	90.1	90.1
0.30	19.0	26.5	33.9	41.4	48.9	56.3	0.30	63.8	66.8	69.8	72.8	77.3	84.8	84.8
0.32	18.6	25.1	31.6	38.2	44.7	51.2	0.32	57.7	60.9	64.1	67.3	72.1	80.1	80.1
0.34	18.2	23.9	29.5	35.2	40.9	46.6	0.34	52.2	55.6	59.0	62.4	67.5	76.0	76.0
0.36	17.8	22.7	27.6	32.6	37.5	42.4	0.36	47.3	50.9	54.5	58.1	63.5	72.5	72.5
0.38	17.4	21.7	25.9	30.2	34.4	38.7	0.38	42.9	46.7	50.5	54.3	60.0	69.5	69.5
0.40	17.0	20.7	24.3	28.0	31.7	35.3	0.40	39.0	43.0	47.0	51.0	57.0	67.0	67.0
0.42	16.6	19.7	22.9	26.0	29.2	32.3	0.42	35.5	39.7	43.9	48.1	54.4	64.9	64.9
0.44	16.2	18.9	21.6	24.3	27.0	29.7	0.44	32.4	36.8	41.2	45.6	52.2	63.2	63.2
0.46	15.8	18.1	20.4	22.7	25.0	27.4	0.46	29.7	34.3	38.9	43.5	50.4	61.9	61.9
0.48	15.4	17.4	19.4	21.3	23.3	25.3	0.48	27.3	32.1	36.9	41.7	48.9	60.9	60.9
0.50	15.0	16.7	18.4	20.1	21.7	23.4	0.50	25.1	30.1	35.1	40.1	47.6	60.1	60.1
0.52	14.6	16.0	17.5	18.9	20.3	21.8	0.52	23.2	28.4	33.6	38.8	46.6	59.6	59.6
0.54	14.2	15.4	16.6	17.9	19.1	20.3	0.54	21.5	26.9	32.3	37.7	45.8	59.3	59.3
0.56	13.8	14.8	15.9	16.9	17.9	19.0	0.56	20.0	25.6	31.2	36.8	45.2	59.2	59.2
0.58	13.4	14.3	15.2	16.0	16.9	17.8	0.58	18.7	24.5	30.3	36.1	44.8	59.3	59.3
0.60	13.0	13.7	14.5	15.2	16.0	16.7	0.60	17.5	23.5	29.5	35.5	44.5	59.5	59.5
0.62	12.6	13.2	13.9	14.5	15.1	15.7	0.62	16.4	22.6	28.8	35.0	44.3	59.8	59.8
0.64	12.2	12.7	13.3	13.8	14.3	14.9	0.64	15.4	21.8	28.2	34.6	44.2	60.2	60.2
0.66	11.8	12.2	12.7	13.1	13.6	14.0	0.66	14.5	21.1	27.7	34.3	44.2	60.7	60.7
0.68	11.4	11.8	12.2	12.5	12.9	13.3	0.68	13.7	20.5	27.3	34.1	44.3	61.3	61.3
0.70	11.0	11.3	11.6	12.0	12.3	12.6	0.70	12.9	19.9	26.9	33.9	44.4	61.9	61.9
0.72	10.6	10.9	11.1	11.4	11.7	11.9	0.72	12.2	19.4	26.6	33.8	44.6	62.6	62.6
0.74	10.2	10.4	10.7	10.9	11.1	11.3	0.74	11.6	19.0	26.4	33.8	44.9	63.4	63.4
0.76	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	0.76	10.9	18.5	26.1	33.7	45.1	64.1	64.1
0.78	9.4	9.6	9.7	9.9	10.0	10.2	0.78	10.4	18.2	26.0	33.8	45.5	65.0	65.0
0.80	9.0	9.1	9.3	9.4	9.5	9.7	0.80	9.8	17.8	25.8	33.8	45.8	65.8	65.8
0.82	8.6	8.7	8.8	8.9	9.1	9.2	0.82	9.3	17.5	25.7	33.9	46.2	66.7	66.7
0.84	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	0.84	8.8	17.2	25.6	34.0	46.6	67.6	67.6
0.86	7.8	7.9	8.0	8.0	8.1	8.2	0.86	8.3	16.9	25.5	34.1	47.0	68.5	68.5
0.88	7.4	7.5	7.5	7.6	7.7	7.7	0.88	7.8	16.6	25.4	34.2	47.4	69.4	69.4
0.90	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2	7.3	0.90	7.3	16.3	25.3	34.3	47.8	70.3	70.3
0.92	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.8	0.92	6.9	16.1	25.3	34.5	48.3	71.3	71.3
0.94	6.2	6.2	6.3	6.3	6.4	6.4	0.94	6.4	15.8	25.2	34.6	48.7	72.2	72.2
0.96	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	6.0	0.96	6.0	15.6	25.2	34.8	49.2	73.2	73.2
0.98	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	0.98	5.6	15.4	25.2	35.0	49.7	74.2	74.2
1.00	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	1.00	5.1	15.1	25.1	35.1	50.1	75.1	75.1

$\alpha$ se spreminja						
$\delta$ [mg/l]	25					
$\alpha$	4	5	7	10	15	30
$\beta^*$	500	500	500	500	500	500
$\gamma^*$	-20	-20	-20	-20	-20	-20
VnRu	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)
0.00	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
0.02	33.8	33.6	33.3	32.8	32.0	30.1
0.04	41.2	40.6	39.3	37.6	35.2	30.2
0.06	47.4	46.0	43.5	40.3	36.0	28.8
0.08	52.4	50.2	46.2	41.4	35.4	27.0
0.10	56.5	53.3	47.8	41.4	34.2	25.5
0.12	59.7	55.5	48.5	40.7	32.5	24.2
0.14	62.2	57.0	48.5	39.5	30.8	23.2
0.16	64.0	57.7	47.9	38.0	29.1	22.5
0.18	65.2	58.0	46.9	36.3	27.4	21.8
0.20	65.9	57.8	45.7	34.5	26.0	21.2
0.22	66.2	57.2	44.2	32.8	24.7	20.7
0.24	66.1	56.3	42.6	31.1	23.5	20.3
0.26	65.7	55.2	40.9	29.5	22.4	19.9
0.28	65.1	53.9	39.1	27.9	21.5	19.4
0.30	64.2	52.5	37.4	26.5	20.7	19.0
0.32	63.1	50.9	35.6	25.1	19.9	18.6
0.34	61.8	49.3	33.9	23.9	19.2	18.2
0.36	60.4	47.6	32.3	22.7	18.6	17.8
0.38	59.0	45.8	30.7	21.7	18.0	17.4
0.40	57.4	44.1	29.2	20.7	17.5	17.0
0.42	55.7	42.3	27.7	19.7	17.0	16.6
0.44	54.0	40.6	26.3	18.9	16.5	16.2
0.46	52.3	38.9	25.0	18.1	16.0	15.8
0.48	50.6	37.2	23.7	17.4	15.6	15.4
0.50	48.8	35.5	22.5	16.7	15.1	15.0
0.52	47.1	33.9	21.4	16.0	14.7	14.6
0.54	45.3	32.3	20.4	15.4	14.3	14.2
0.56	43.6	30.8	19.4	14.8	13.9	13.8
0.58	41.9	29.4	18.4	14.3	13.4	13.4
0.60	40.2	27.9	17.5	13.7	13.0	13.0
0.62	38.6	26.6	16.6	13.2	12.6	12.6
0.64	36.9	25.2	15.8	12.7	12.2	12.2
0.66	35.3	24.0	15.1	12.2	11.8	11.8
0.68	33.8	22.7	14.3	11.8	11.4	11.4
0.70	32.3	21.6	13.6	11.3	11.0	11.0
0.72	30.8	20.4	12.9	10.9	10.6	10.6
0.74	29.4	19.3	12.3	10.4	10.2	10.2
0.76	28.0	18.3	11.7	10.0	9.8	9.8
0.78	26.6	17.3	11.1	9.6	9.4	9.4
0.80	25.3	16.3	10.5	9.1	9.0	9.0
0.82	24.0	15.4	9.9	8.7	8.6	8.6
0.84	22.8	14.5	9.4	8.3	8.2	8.2
0.86	21.6	13.6	8.8	7.9	7.8	7.8
0.88	20.4	12.8	8.3	7.5	7.4	7.4
0.90	19.3	12.0	7.8	7.1	7.0	7.0
0.92	18.2	11.2	7.3	6.6	6.6	6.6
0.94	17.1	10.5	6.9	6.2	6.2	6.2
0.96	16.1	9.8	6.4	5.8	5.8	5.8
0.98	15.1	9.0	5.9	5.4	5.4	5.4
1.00	14.2	8.4	5.5	5.0	5.0	5.0

$\alpha$ & $\beta^*$ se spreminjata						
$\delta$ [mg/l]	25					
$\alpha$	10	6	9	15	25	80
$\beta^*$	0	700	900	1000	1200	8000
$\gamma^*$	-15	-15	-15	-15	-15	-15
VnRu	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)	C(t)
0.00	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
0.02	24.7	37.1	39.7	39.5	39.3	57.0
0.04	24.4	46.4	49.5	46.4	42.1	37.4
0.06	24.1	53.4	55.6	48.5	40.2	28.1
0.08	23.8	58.5	58.8	47.9	36.8	24.9
0.10	23.5	61.9	60.1	45.8	33.4	23.8
0.12	23.2	64.1	59.9	43.0	30.4	23.3
0.14	22.9	65.2	58.6	40.0	28.0	22.9
0.16	22.6	65.5	56.7	37.1	26.1	22.6
0.18	22.3	65.1	54.4	34.4	24.7	22.3
0.20	22.0	64.2	51.8	32.0	23.6	22.0
0.22	21.7	62.8	49.0	29.8	22.8	21.7
0.24	21.4	61.2	46.3	28.0	22.1	21.4
0.26	21.1	59.3	43.6	26.4	21.6	21.1
0.28	20.8	57.3	41.1	25.0	21.1	20.8
0.30	20.5	55.2	38.6	23.8	20.7	20.5
0.32	20.2	53.0	36.4	22.8	20.3	20.2
0.34	19.9	50.8	34.2	22.0	20.0	19.9
0.36	19.6	48.7	32.3	21.2	19.7	19.6
0.38	19.3	46.5	30.5	20.6	19.3	19.3
0.40	19.0	44.4	28.8	20.0	19.0	19.0
0.42	18.7	42.4	27.3	19.5	18.7	18.7
0.44	18.4	40.4	25.9	19.0	18.4	18.4
0.46	18.1	38.5	24.7	18.6	18.1	18.1
0.48	17.8	36.7	23.5	18.2	17.8	17.8
0.50	17.5	34.9	22.5	17.8	17.5	17.5
0.52	17.2	33.3	21.5	17.4	17.2	17.2
0.54	16.9	31.7	20.7	17.1	16.9	16.9
0.56	16.6	30.2	19.9	16.7	16.6	16.6
0.58	16.3	28.8	19.1	16.4	16.3	16.3
0.60	16.0	27.5	18.4	16.1	16.0	16.0
0.62	15.7	26.2	17.8	15.8	15.7	15.7
0.64	15.4	25.0	17.2	15.4	15.4	15.4
0.66	15.1	23.9	16.7	15.1	15.1	15.1
0.68	14.8	22.8	16.1	14.8	14.8	14.8
0.70	14.5	21.8	15.7	14.5	14.5	14.5
0.72	14.2	20.9	15.2	14.2	14.2	14.2
0.74	13.9	20.0	14.8	13.9	13.9	13.9
0.76	13.6	19.2	14.3	13.6	13.6	13.6
0.78	13.3	18.4	13.9	13.3	13.3	13.3
0.80	13.0	17.6	13.5	13.0	13.0	13.0
0.82	12.7	16.9	13.2	12.7	12.7	12.7
0.84	12.4	16.2	12.8	12.4	12.4	12.4
0.86	12.1	15.6	12.4	12.1	12.1	12.1
0.88	11.8	14.9	12.1	11.8	11.8	11.8
0.90	11.5	14.3	11.7	11.5	11.5	11.5
0.92	11.2	13.8	11.4	11.2	11.2	11.2
0.94	10.9	13.2	11.1	10.9	10.9	10.9
0.96	10.6	12.7	10.8	10.6	10.6	10.6
0.98	10.3	12.2	10.4	10.3	10.3	10.3
1.00	10.0	11.7	10.1	10.0	10.0	10.0

**PRILOGA C: VREDNOSTI UPORABLJENE V PROGRAMU SWMM****C.1: SREDNJA KONCENTRACIJA ONESNAŽIL**

Onesnažilo	Srednja koncentracija onesnažila (EMC)	Enota
TSS	180 - 548	mg/l
BPK	12 - 19	mg/l
KPK	82 - 178	mg/l
TP	0.42 - 0.88	mg/l
Raztopljen P	0.15 - 0.28	mg/l
TN	1.90 - 4.18	mg/l
NO <sub>2</sub> ; NO <sub>3</sub>	0.86 - 2.2	mg/l
Cu	43 - 118	μg/l
Pb	182 - 443	μg/l
Zn	202 - 663	μg/l

Srednja koncentracija onesnažil (Rossman, 2010: str 165).

**C.2: UPORABLJENI PARAMETRI ZA SIMULACIJO ODTOKA V PROGRAMU SWMM**

Parametri uporabljeni v programu SWMM (v oklepajih so angleški izrazi)	
Širina (Width)	70
% nagnjenosti terena (Slope)	0.5
% neprepustnih (Imperv)	25, 30 ali 40
Manningov koef. na neprepustnih povr. (N-Imperv)	0.014
Manningov koef. na prepustnih povr. (N-Imperv)	0.4
Zadrževalna sposobnost na neprep. povr. (Dstore-Omperv) [mm]	1.5
Zadrževalna sposobnost na prep. povr. (Dstore-Perv) [mm]	5
% brez sposobnosti zadrževanja na neprep. povr. (zero-Imperv)	25
% odvodnje (Percent Routed)	100
Infiltracija (Infiltration)	CN = 82

Vir za Manningov koeficient je (Rossman, 2010: str 164)



## PRILOGA D: REZULTATI MERITEV NA VIČU V LJUBLJANI

Pri prikazu je decimalno ločilo pika (.)

Suspendirane snovi [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	195	156	149	128	60.8
2	10.11.2004	1620	211	16	16	1.5
3	23.11.2006	388	99	48	56	20.1
4	24.11.2006	786				0
5	24.1.2007	284	112	91	107	43.3
6	9.2.2007	879				8.4
7	17.2.2006	1041	174	266	230	8
8	29.3.2005	728	164	20	17	3.1
9	4.4.2006	165	104	12	12	22.2
10	11.4.2005	866	126	88	87	15.7
11	5.5.2005	650	110	78	80	20.6
12	31.5.2006	38	71	8	33	41.1
13	6.7.2005	724	156	82	85	39.5
14	30.9.2005	195	156	149	128	60.8

KPK [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	59	67	16	17	60.8
2	10.11.2004	359	162	10	11	1.5
3	23.11.2006	363	408	12	20	20.1
4	24.11.2006	240				0
5	24.1.2007	9	79	1	2	43.3
6	9.2.2007	8				8.4
7	17.2.2006	209	277	31	30	8
8	29.3.2005	155	578	58	26	3.1
9	4.4.2006	57	286	17	22	22.2
10	11.4.2005	159	90	13	10	15.7
11	5.5.2005	187	169	9	12	20.6
12	31.5.2006	46	160	15	30	41.1
13	6.7.2005	54	210	9	10	39.5
14	30.9.2005	59	67	16	17	60.8

BPKs [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	8	45	3	4	60.8
2	10.11.2004	60	125	6	6	1.5
3	23.11.2006	42	280	4	11	20.1
4	24.11.2006	28				0
5	24.1.2007	9	79	1	2	43.3
6	9.2.2007	4				8.4
7	17.2.2006	180	260	26	28	8
8	29.3.2005	26	320	6	6	3.1
9	4.4.2006	20	250	4	4	22.2
10	11.4.2005	21	60	3	4	15.7
11	5.5.2005	80	118	7	10	20.6
12	31.5.2006	15	110	1	3	41.1
13	6.7.2005	15	120	3	3	39.5
14	30.9.2005	8	45	3	4	60.8

Sulfat, SO <sub>4</sub> [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	4	38	16	19	60.8
2	10.11.2004	24	50	13	19	1.5
3	23.11.2006	10	14	17	18	20.1
4	24.11.2006	14				0
5	24.1.2007	1	31	15	15	43.3
6	9.2.2007	7				8.4
7	17.2.2006	9	31	16	13	8
8	29.3.2005	2.2	51	16	15	3.1
9	4.4.2006	3	32	14	13	22.2
10	11.4.2005	1.5	43	13	10	15.7
11	5.5.2005	38	55	19	23	20.6
12	31.5.2006	1	34	13	11	41.1
13	6.7.2005	41	56	18	20	39.5
14	30.9.2005	4	38	16	19	60.8

Klorid, Cl [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	2.4	8.73	6.34	4.22	60.8
2	10.11.2004	9.73	22.08	11.14	9.44	1.5
3	23.11.2006	13	14.8	3.4	3	20.1
4	24.11.2006	17.1				0
5	24.1.2007	2.6	2.5	3.4	3.6	43.3
6	9.2.2007	6.1				8.4
7	17.2.2006	29.63	16.35	15.24	13.92	8
8	29.3.2005	46.45	62.15	14.62	15.35	3.1
9	4.4.2006	6.65	10.74	5.62	6.14	22.2
10	11.4.2005	30.2	15.85	12.45	7.35	15.7
11	5.5.2005	28.6	14.25	10.2	6.8	20.6
12	31.5.2006	3.4	9.4	3.8	3.4	41.1
13	6.7.2005	7.07	16.21	7.02	6	39.5
14	30.9.2005	2.4	8.73	6.34	4.22	60.8

Cink,Zn [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	0.072	0.059	0.055	0.051	60.8
2	10.11.2004	0.025	0.019	0.096	0.063	1.5
3	23.11.2006	1.06	0.12	0.06	0.04	20.1
4	24.11.2006	0.91				0
5	24.1.2007	0.17	0.08	0.07	0.04	43.3
6	9.2.2007	0.62				8.4
7	17.2.2006	0.108	0.042	0.072	0.073	8
8	29.3.2005	0.535	0.151	0.127	0.081	3.1
9	4.4.2006	0.236	0.125	0.164	0.091	22.2
10	11.4.2005	0.798	0.114	0.125	0.102	15.7
11	5.5.2005	0.674	0.108	0.121	0.1	20.6
12	31.5.2006	0.07	0.25	0.07	0.09	41.1
13	6.7.2005	0.079	0.066	0.053	0.047	39.5
14	30.9.2005	0.072	0.059	0.055	0.051	60.8

Celotni dušik, Ntot [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	1.4	6.1	1.8	1.8	60.8
2	10.11.2004	12.4	13.7	2.1	1.9	1.5
3	23.11.2006	9.6	20.3	2.1	2	20.1
4	24.11.2006	9.8				0
5	24.1.2007	0.62	7.2	2.6	2.5	43.3
6	9.2.2007	2.2				8.4
7	17.2.2006	10.4	10.5	4.7	4.8	8
8	29.3.2005	8.1	23	1.6	1.1	3.1
9	4.4.2006	2.8	21.2	2.1	2.4	22.2
10	11.4.2005	3.6	8.8	1.5	2.2	15.7
11	5.5.2005	6	5.3	2.1	2.3	20.6
12	31.5.2006	1.3	6.4	2	2.2	41.1
13	6.7.2005	4.1	9.5	1.7	1.9	39.5
14	30.9.2005	1.4	6.1	1.8	1.8	60.8

Amonijev dušik, NH4 [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	0.74	3.78	0.59	0.65	60.8
2	10.11.2004	9	10.8	0.44	0.43	1.5
3	23.11.2006	5.2	15.8	0.27	0.23	20.1
4	24.11.2006	4.2				0
5	24.1.2007	0.49	3.98	0.34	0.33	43.3
6	9.2.2007	0.91				8.4
7	17.2.2006	7.2	8.28	2.5	2.39	8
8	29.3.2005	6.1	20.5	0.37	0.16	3.1
9	4.4.2006	2.25	16.75	1	1.25	22.2
10	11.4.2005	2.15	6.15	0.39	0.52	15.7
11	5.5.2005	2.94	2.69	0.53	0.57	20.6
12	31.5.2006	0.4	3.45	0.28	0.41	41.1
13	6.7.2005	2.35	6.75	0.22	0.23	39.5
14	30.9.2005	0.74	3.78	0.59	0.65	60.8

Nitritni dušik, NO2 [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	0.013	0.049	0.003	0.005	60.8
2	10.11.2004	0.014	0.269	0.023	0.025	1.5
3	23.11.2006	0.026	0.153	0.018	0.017	20.1
4	24.11.2006	0.032				0
5	24.1.2007	0.016	0.073	0.01	0.006	43.3
6	9.2.2007	0.013				8.4
7	17.2.2006	0.075	0.09	0.008	0.005	8
8	29.3.2005	0.058	0.191	0.025	0.024	3.1
9	4.4.2006	0.019	0.142	0.011	0.012	22.2
10	11.4.2005	0.016	0.118	0.008	0.008	15.7
11	5.5.2005	0.008	0.091	0.017	0.013	20.6
12	31.5.2006	0.001	0.094	0.005	0.006	41.1
13	6.7.2005	0.019	0.185	0.026	0.021	39.5
14	30.9.2005	0.013	0.049	0.003	0.005	60.8

Nitratni dušik, NO3 [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	Pad.
1	30.9.2005	0.6	2.2	1.1	1.3	60.8
2	10.11.2004	2.7	1.7	1.3	1	1.5
3	23.11.2006	4.2	3	1.6	1.6	20.1
4	24.11.2006	5.3				0
5	24.1.2007	0.1	2.9	2.1	2	43.3
6	9.2.2007	1.1				8.4
7	17.2.2006	3	2.1	2.1	2.2	8
8	29.3.2005	1.9	2.3	1.1	0.9	3.1
9	4.4.2006	0.4	2.2	0.9	0.9	22.2
10	11.4.2005	1.4	2.4	1.5	1.6	15.7
11	5.5.2005	2.5	2	1.4	1.5	20.6
12	31.5.2006	0.8	2.5	1.6	1.6	41.1
13	6.7.2005	1.5	2.2	1.4	1.6	39.5
14	30.9.2005	0.6	2.2	1.1	1.3	60.8

Krom - šestvalentni, Cr(VI) [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	Pad.
1	30.9.2005	0.07	0.09	0.07	0.07	60.8
2	10.11.2004	0.04	0.08	0.07	0.05	1.5
3	23.11.2006	0.05	0.11	0.06	0.04	20.1
4	24.11.2006	0.05				0
5	24.1.2007	0.07	0.07	0.04	0.06	43.3
6	9.2.2007	0.08				8.4
7	17.2.2006	0.06	0.08	0.06	0.06	8
8	29.3.2005	0.13	0.16	0.05	0.07	3.1
9	4.4.2006	0.18	0.12	0.1	0.08	22.2
10	11.4.2005	0.28	0.12	0.06	0.04	15.7
11	5.5.2005	0.26	0.11	0.04	0.05	20.6
12	31.5.2006	0.07	0.07	0.05	0.05	41.1
13	6.7.2005	0.16	0.13	0.07	0.11	39.5
14	30.9.2005	0.07	0.09	0.07	0.07	60.8

Baker, Cu [µg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	Pad.
1	30.9.2005	0.2	1.3	1.1	1.2	60.8
2	10.11.2004	2.3	1.1	1.3	1.6	1.5
3	23.11.2006	24.2	14.9	0.6	0.7	20.1
4	24.11.2006	34.1				0
5	24.1.2007	15	9	6	2	43.3
6	9.2.2007	9				8.4
7	17.2.2006	4	4	1.5	1.1	8
8	29.3.2005	17.2	82	1.6	0.7	3.1
9	4.4.2006	3.1	0.2	1.6	1.8	22.2
10	11.4.2005	23.6	28.3	5	1.4	15.7
11	5.5.2005	21.5	24.5	4.8	2.3	20.6
12	31.5.2006	2	2.7	8.7	0.6	41.1
13	6.7.2005	9.9	9	0.5	0.6	39.5
14	30.9.2005	0.2	1.3	1.1	1.2	60.8

celotni fosfor, Ptot [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	0.11	1.62	0.5	0.39	60.8
2	10.11.2004	2.33	7.34	2.31	1.46	1.5
3	23.11.2006	0.61	1.91	0.03	0.02	20.1
4	24.11.2006	0.69				0
5	24.1.2007	0.14	0.45	0.08	0.03	43.3
6	9.2.2007	0.16				8.4
7	17.2.2006	0.08	2.18	0.37	0.28	8
8	29.3.2005	1.5	5.78	0.61	0.4	3.1
9	4.4.2006	2.77	7.5	2.12	2.93	22.2
10	11.4.2005	1.1	0.76	0.1	0.08	15.7
11	5.5.2005	1.23	0.83	0.12	0.09	20.6
12	31.5.2006	0.02	0.87	0.09	0.17	41.1
13	6.7.2005	0.19	3.06	0.78	0.91	39.5
14	30.9.2005	0.11	1.62	0.5	0.39	60.8

Svinec, Pb [µg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	23	20	8	8	60.8
2	10.11.2004	10	9	7	3	1.5
3	23.11.2006	42	16	4	3	20.1
4	24.11.2006	57				0
5	24.1.2007	15	10	8	8	43.3
6	9.2.2007	12				8.4
7	17.2.2006	11	12	19	4	8
8	29.3.2005	13	18	12	19	3.1
9	4.4.2006	14	12	9	10	22.2
10	11.4.2005	9	14	10	21	15.7
11	5.5.2005	12	10	9	10	20.6
12	31.5.2006	4	26	3	2	41.1
13	6.7.2005	4	9	7	8	39.5
14	30.9.2005	23	20	8	8	60.8

Nikelj, Ni [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	0.03	0.08	0.03	0.03	60.8
2	10.11.2004	0.07	0.05	0.03	0.01	1.5
3	23.11.2006	0.32	0.18	0.06	0.07	20.1
4	24.11.2006	0.44				0
5	24.1.2007	0.03	0.09	0.01	0.01	43.3
6	9.2.2007	0.05				8.4
7	17.2.2006	0.07	0.35	0.01	0.02	8
8	29.3.2005	0.09	0.06	0.02	0.02	3.1
9	4.4.2006	0.12	0.36	0.06	0.06	22.2
10	11.4.2005	0.07	0.08	0.05	0.02	15.7
11	5.5.2005	0.05	0.06	0.02	0.03	20.6
12	31.5.2006	0.25	0.32	0.04	0.05	41.1
13	6.7.2005	0.11	0.04	0.02	0.02	39.5
14	30.9.2005	0.03	0.08	0.03	0.03	60.8

Kadmij, Cd [µg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	3	5	2	2	60.8
2	10.11.2004	6	8	1	2	1.5
3	23.11.2006	22	21	1	1	20.1
4	24.11.2006	32				0
5	24.1.2007	6	4	1	<1	43.3
6	9.2.2007	4				8.4
7	17.2.2006	3	7	2	2	8
8	29.3.2005	4	7	1	1	3.1
9	4.4.2006	22	12	1	3	22.2
10	11.4.2005	38	2	2	2	15.7
11	5.5.2005	27	2	1	1	20.6
12	31.5.2006	4	3	1	1	41.1
13	6.7.2005	18	2	1	1	39.5
14	30.9.2005	3	5	2	2	60.8

pH [brez]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	8.02	7.43	7.38	6.48	60.8
2	10.11.2004	7.32	7.65	7.66	7.75	1.5
3	23.11.2006	0	0	0	0	20.1
4	24.11.2006	0				0
5	24.1.2007	0	0	0	0	43.3
6	9.2.2007	0				8.4
7	17.2.2006	8.1	7.95	7.8	8.19	8
8	29.3.2005	8.54	8.08	8.63	8.69	3.1
9	4.4.2006	0	0	0	0	22.2
10	11.4.2005	8.13	7.66	7.84	7.79	15.7
11	5.5.2005	7.92	7.92	7.4	7.85	20.6
12	31.5.2006	0	0	0	0	41.1
13	6.7.2005	8.28	7.88	7.99	7.91	39.5
14	30.9.2005	8.02	7.43	7.38	6.48	60.8

Raztopljeni kisik, O <sub>2</sub> [mg/l]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	9.3	6.8	8.8	9.4	60.8
2	10.11.2004	0.3	5.6	7.6	8.55	1.5
3	23.11.2006	5.5	2.5	6	7.6	20.1
4	24.11.2006	4.6				0
5	24.1.2007	7.8	5	7.3	6.9	43.3
6	9.2.2007	6.8				8.4
7	17.2.2006	14	4.2	6.5	9.8	8
8	29.3.2005	9.35	6.2	16.7	16.5	3.1
9	4.4.2006	6.3	8	10	6.5	22.2
10	11.4.2005	12.7	24	14.7	26	15.7
11	5.5.2005	6	10	3	20	20.6
12	31.5.2006	3.7	3.3	3.4	3.3	41.1
13	6.7.2005	5.73	4.12	10.44	9.82	39.5
14	30.9.2005	9.3	6.8	8.8	9.4	60.8

Elektroprevodnost [μS/cm]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	80	651	267	275	60.8
2	10.11.2004	232	439	325	323	1.5
3	23.11.2006	236	1160	389	382	20.1
4	24.11.2006	309				0
5	24.1.2007	89	583	316	317	43.3
6	9.2.2007	124				8.4
7	17.2.2006	625	579	254	456	8
8	29.3.2005	350	917	386	382	3.1
9	4.4.2006	420	866	388	354	22.2
10	11.4.2005	214	732	299	307	15.7
11	5.5.2005	181	567	270	218	20.6
12	31.5.2006	142	758	260	277	41.1
13	6.7.2005	125	780	365	367	39.5
14	30.9.2005	80	651	267	275	60.8

Temperatura [°C]						
Št.	Datum	luža	kanal	potok1	potok2	pad.
1	30.9.2005	13.9	16.1	14	13.4	60.8
2	10.11.2004	7.8	12.2	8.4	9.5	1.5
3	23.11.2006	0	0	0	0	20.1
4	24.11.2006	0				0
5	24.1.2007	0	0	0	0	43.3
6	9.2.2007	0				8.4
7	17.2.2006	3.1	20	3.5	3.9	8
8	29.3.2005	12.9	11.9	11	10.8	3.1
9	4.4.2006	0	0	0	0	22.2
10	11.4.2005	9.7	10.1	7.9	7.7	15.7
11	5.5.2005	15.2	13.4	11.8	11.7	20.6
12	31.5.2006	0	0	0	0	41.1
13	6.7.2005	17.3	17.6	17.5	17.1	39.5
14	30.9.2005	13.9	16.1	14	13.4	60.8

## PRILOGA E: REZULTATI SIMULACIJE NA PRISPEVNEM OBMOČJU ZDRAVSTVENEGA DOMA ČRNOMELJ

### E.1 PADAVINSKI DOGODEK 21.11.2015 IN 5 MIN KORAK

Cev pred razbremenilnikom, padavine 21.11.2015. 20 suhih dni				Ortof osfat	Am onij ev duši k	Skup Vol [m <sup>3</sup> ]	kumul ativen vol.	delna masa KPK [kg]	Skupna masa KPK[kg ]	MFF- kpk	deln a mas a ortof os [kg]	Sku p mas a orto fos [kg]	MFF - fos for	deln a mas a am onij [kg]	Sku p mas a amo nij [kg]	0
Ura	Pretok	Vol.	KPK													(MG/ L)
(h:mm)	(LPS)	(m3)	(MG/L)	(MG/ L)	(MG /L)	[m <sup>3</sup> ]	vol.	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
7:10	0.28	0.08	0.00	0.00	0.00	0.1	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:15	1.23	0.37	0.00	0.00	0.00	0.5	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:20	0.69	0.21	0.00	0.00	0.00	0.7	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:25	0.32	0.10	0.00	0.00	0.00	0.8	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:30	0.77	0.23	0.00	0.00	0.00	1.0	0.001	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:35	0.57	0.17	0.02	0.00	0.00	1.2	0.001	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:40	-0.15	-0.05	0.40	0.01	0.00	1.1	0.001	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:45	0.41	0.12	1.40	0.02	0.02	1.2	0.001	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:50	0.29	0.09	4.32	0.06	0.05	1.3	0.001	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
7:55	1.03	0.31	9.51	0.14	0.11	1.6	0.001	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
8:00	1.23	0.37	16.61	0.26	0.20	2.0	0.001	0.01	0.01	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
8:05	0.57	0.17	26.14	0.44	0.30	2.2	0.001	0.00	0.01	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
8:10	3.47	1.04	75.81	1.88	0.78	3.2	0.002	0.08	0.09	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
8:15	9.42	2.83	284.96	9.92	2.62	6.0	0.003	0.81	0.90	0.005	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.004
8:20	26.40	7.92	476.06	18.70	4.20	14.0	0.008	3.77	4.67	0.027	0.15	0.18	0.04	0.03	0.04	0.020
8:25	50.20	15.06	576.51	23.30	5.07	29.0	0.017	8.68	13.35	0.077	0.35	0.53	0.11	0.08	0.12	0.056
8:30	80.67	24.20	600.24	23.54	5.39	53.2	0.031	14.53	27.88	0.160	0.57	1.10	0.23	0.13	0.25	0.118
8:35	96.10	28.83	568.02	20.59	5.31	82.1	0.047	16.38	44.25	0.254	0.59	1.69	0.36	0.15	0.40	0.191
8:40	155.60	46.68	507.00	16.51	5.00	128.7	0.074	23.67	67.92	0.390	0.77	2.46	0.52	0.23	0.63	0.301
8:45	166.64	49.99	425.49	11.99	4.50	178.7	0.103	21.27	89.19	0.512	0.60	3.06	0.64	0.22	0.86	0.408
8:50	173.38	52.01	338.66	8.12	3.89	230.7	0.133	17.62	106.81	0.613	0.42	3.48	0.73	0.20	1.06	0.504
8:55	177.07	53.12	260.47	5.34	3.26	283.9	0.164	13.84	120.64	0.692	0.28	3.77	0.79	0.17	1.24	0.587
9:00	179.09	53.73	197.15	3.55	2.69	337.6	0.195	10.59	131.23	0.753	0.19	3.96	0.83	0.14	1.38	0.655
9:05	175.99	52.80	150.42	2.54	2.21	390.4	0.225	7.94	139.18	0.798	0.13	4.09	0.86	0.12	1.50	0.711
9:10	164.92	49.48	116.22	1.94	1.80	439.9	0.254	5.75	144.93	0.831	0.10	4.19	0.88	0.09	1.59	0.753
9:15	154.96	46.49	91.30	1.54	1.48	486.3	0.281	4.24	149.17	0.856	0.07	4.26	0.89	0.07	1.65	0.786
9:20	148.83	44.65	73.78	1.27	1.24	531.0	0.306	3.29	152.47	0.874	0.06	4.32	0.91	0.06	1.71	0.812
9:25	145.47	43.64	61.49	1.09	1.06	574.6	0.332	2.68	155.15	0.890	0.05	4.37	0.92	0.05	1.76	0.834
9:30	143.68	43.10	52.50	0.96	0.92	617.7	0.356	2.26	157.41	0.903	0.04	4.41	0.92	0.04	1.80	0.853
9:35	138.56	41.57	47.16	0.92	0.82	659.3	0.380	1.96	159.37	0.914	0.04	4.44	0.93	0.03	1.83	0.869
9:40	126.12	37.84	43.17	0.90	0.74	697.1	0.402	1.63	161.01	0.923	0.03	4.48	0.94	0.03	1.86	0.882
9:45	114.24	34.27	38.88	0.85	0.66	731.4	0.422	1.33	162.34	0.931	0.03	4.51	0.95	0.02	1.88	0.893
9:50	106.06	31.82	34.82	0.78	0.59	763.2	0.440	1.11	163.45	0.937	0.02	4.53	0.95	0.02	1.90	0.902
9:55	101.01	30.30	31.35	0.70	0.53	793.5	0.458	0.95	164.40	0.943	0.02	4.55	0.96	0.02	1.92	0.909
10:00	97.96	29.39	28.47	0.64	0.49	822.9	0.475	0.84	165.23	0.948	0.02	4.57	0.96	0.01	1.93	0.916
10:05	95.56	28.67	27.12	0.62	0.46	851.6	0.491	0.78	166.01	0.952	0.02	4.59	0.96	0.01	1.94	0.923
10:10	92.77	27.83	27.49	0.65	0.45	879.4	0.507	0.77	166.78	0.957	0.02	4.61	0.97	0.01	1.96	0.928
10:15	90.79	27.24	28.40	0.70	0.45	906.7	0.523	0.77	167.55	0.961	0.02	4.63	0.97	0.01	1.97	0.934
10:20	88.42	26.53	27.10	0.67	0.42	933.2	0.538	0.72	168.27	0.965	0.02	4.65	0.97	0.01	1.98	0.940
10:25	86.09	25.83	24.59	0.60	0.39	959.0	0.553	0.64	168.90	0.969	0.02	4.66	0.98	0.01	1.99	0.944
10:30	84.00	25.20	21.80	0.52	0.36	984.2	0.568	0.55	169.45	0.972	0.01	4.67	0.98	0.01	2.00	0.949
10:35	81.77	24.53	19.77	0.46	0.33	1008.7	0.582	0.48	169.94	0.975	0.01	4.69	0.98	0.01	2.01	0.953
10:40	78.85	23.66	19.02	0.44	0.32	1032.4	0.596	0.45	170.39	0.977	0.01	4.70	0.99	0.01	2.01	0.956
10:45	75.40	22.62	17.98	0.42	0.30	1055.0	0.609	0.41	170.79	0.980	0.01	4.71	0.99	0.01	2.02	0.959
10:50	72.00	21.60	16.31	0.38	0.28	1076.6	0.621	0.35	171.15	0.982	0.01	4.71	0.99	0.01	2.03	0.962

Cev pred razbremenilnikom, padavine 21.11.2015. 20 suhih dni				Ortofosfati	Amonijev dušik	Skup Vol [m <sup>3</sup> ]	kumulativen vol.	delna masa KPK [kg]	Skupna masa KPK [kg]	MFF-kpk	delna masa ortofos [kg]	Skupna masa ortofos [kg]	MFF-fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	0
Ura	Pretok	Vol.	KPK													(MG/L)
(h:mm)	(LPS)	(m <sup>3</sup> )	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	[m <sup>3</sup> ]	vol.	[kg]	[kg]		[kg]	[kg]		[kg]	[kg]	MFF-amonij
10:55	69.03	20.71	14.41	0.33	0.25	1097.3	0.633	0.30	171.44	0.983	0.01	4.72	0.99	0.01	2.03	0.965
11:00	66.64	19.99	12.63	0.28	0.23	1117.3	0.645	0.25	171.70	0.985	0.01	4.73	0.99	0.00	2.04	0.967
11:05	65.27	19.58	10.67	0.22	0.21	1136.9	0.656	0.21	171.91	0.986	0.00	4.73	0.99	0.00	2.04	0.969
11:10	65.67	19.70	8.39	0.15	0.18	1156.6	0.667	0.17	172.07	0.987	0.00	4.73	0.99	0.00	2.04	0.971
11:15	67.54	20.26	6.77	0.10	0.16	1176.9	0.679	0.14	172.21	0.988	0.00	4.74	0.99	0.00	2.05	0.972
11:20	70.10	21.03	6.07	0.08	0.16	1197.9	0.691	0.13	172.34	0.988	0.00	4.74	0.99	0.00	2.05	0.974
11:25	72.62	21.79	5.88	0.08	0.15	1219.7	0.704	0.13	172.46	0.989	0.00	4.74	0.99	0.00	2.05	0.975
11:30	74.76	22.43	5.84	0.08	0.15	1242.1	0.717	0.13	172.59	0.990	0.00	4.74	0.99	0.00	2.06	0.977
11:35	76.72	23.02	5.58	0.08	0.15	1265.1	0.730	0.13	172.72	0.991	0.00	4.74	1.00	0.00	2.06	0.978
11:40	79.11	23.73	5.01	0.06	0.14	1288.9	0.744	0.12	172.84	0.991	0.00	4.74	1.00	0.00	2.06	0.980
11:45	81.91	24.57	4.56	0.05	0.13	1313.4	0.758	0.11	172.95	0.992	0.00	4.75	1.00	0.00	2.07	0.982
11:50	84.57	25.37	4.29	0.04	0.13	1338.8	0.772	0.11	173.06	0.993	0.00	4.75	1.00	0.00	2.07	0.983
11:55	86.75	26.03	4.07	0.04	0.13	1364.8	0.788	0.11	173.17	0.993	0.00	4.75	1.00	0.00	2.07	0.985
12:00	88.82	26.65	3.92	0.04	0.12	1391.5	0.803	0.10	173.27	0.994	0.00	4.75	1.00	0.00	2.08	0.986
12:05	90.50	27.15	3.88	0.04	0.12	1418.6	0.819	0.11	173.38	0.994	0.00	4.75	1.00	0.00	2.08	0.988
12:10	91.33	27.40	3.97	0.05	0.11	1446.0	0.834	0.11	173.49	0.995	0.00	4.75	1.00	0.00	2.08	0.989
12:15	91.44	27.43	3.91	0.06	0.11	1473.5	0.850	0.11	173.59	0.996	0.00	4.75	1.00	0.00	2.09	0.991
12:20	91.21	27.36	3.66	0.05	0.10	1500.8	0.866	0.10	173.70	0.996	0.00	4.75	1.00	0.00	2.09	0.992
12:25	90.97	27.29	3.33	0.05	0.10	1528.1	0.882	0.09	173.79	0.997	0.00	4.76	1.00	0.00	2.09	0.993
12:30	90.88	27.26	3.01	0.04	0.09	1555.4	0.897	0.08	173.87	0.997	0.00	4.76	1.00	0.00	2.09	0.994
12:35	89.64	26.89	3.08	0.05	0.09	1582.3	0.913	0.08	173.95	0.998	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.996
12:40	84.66	25.40	3.59	0.06	0.09	1607.7	0.928	0.09	174.04	0.998	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.997
12:45	75.02	22.51	3.63	0.07	0.08	1630.2	0.941	0.08	174.12	0.999	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.997
12:50	62.76	18.83	3.26	0.06	0.07	1649.0	0.951	0.06	174.19	0.999	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.998
12:55	49.83	14.95	2.75	0.05	0.07	1663.9	0.960	0.04	174.23	0.999	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.999
13:00	39.74	11.92	2.41	0.05	0.06	1675.9	0.967	0.03	174.25	0.999	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.999
13:05	32.26	9.68	2.18	0.04	0.05	1685.5	0.973	0.02	174.28	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.999
13:10	26.58	7.97	1.99	0.04	0.05	1693.5	0.977	0.02	174.29	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.999
13:15	22.29	6.69	1.83	0.03	0.04	1700.2	0.981	0.01	174.30	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.10	0.999
13:20	19.00	5.70	1.72	0.03	0.04	1705.9	0.984	0.01	174.31	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:25	16.40	4.92	1.62	0.03	0.04	1710.8	0.987	0.01	174.32	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:30	14.33	4.30	1.52	0.03	0.04	1715.1	0.990	0.01	174.33	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:35	12.68	3.80	1.43	0.03	0.03	1718.9	0.992	0.01	174.33	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:40	11.22	3.37	1.35	0.03	0.03	1722.3	0.994	0.00	174.34	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:45	10.17	3.05	1.24	0.02	0.03	1725.3	0.996	0.00	174.34	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:50	9.28	2.78	1.13	0.02	0.03	1728.1	0.997	0.00	174.35	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
13:55	8.57	2.57	1.03	0.02	0.02	1730.7	0.999	0.00	174.35	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
14:00	7.99	2.40	0.94	0.02	0.02	1733.1	1.000	0.00	174.35	1.000	0.00	4.76	1.00	0.00	2.11	1.000
Volumen [m <sup>3</sup> ]		1733.1				KPK		Ortofosfati		Amonij						
Vsota [kg]		174.4				174.4		4.76		2.11						
EMC [mg/l]		100.6				100.6		2.75		1.22						

## E.2 REZULTATI SIMULACIJE S 30 MIN NALIVOM IN 20 SUHIH DNI

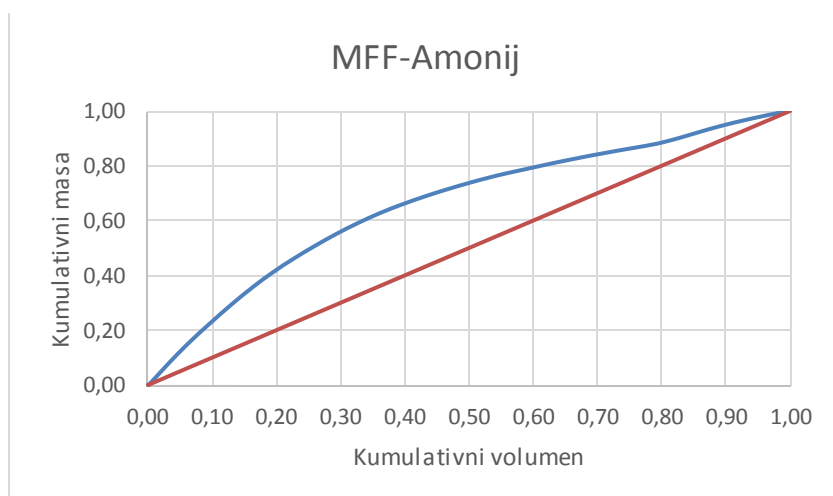
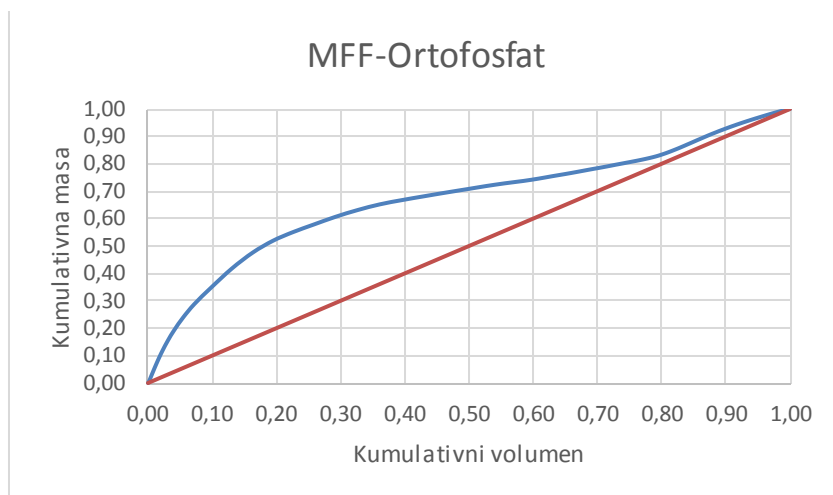
Cevpredrazbremenilnikom.30 min naliv, 20 suhih dni				Ortofosfati	Amonijevdišik	Skup Vol [m^3]	kumulativen vol.	delna masa KPK [kg]	Skupn masa KPK[kg]	MFF -kpk	delna masa orto fos [kg]	Skupna masa orto fos [kg]	MFF - fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	0
Ura	Pretok	Vol.	KPK													(MG/L)
(h:m m)	(LPS)	(m3)	(MG/L)	(MG/L)	(MG /L)	Skup Vol [m^3]	kumulativen vol.	delna masa KPK [kg]	Skupn masa KPK[kg]	MFF -kpk	delna masa orto fos [kg]	Skupna masa orto fos [kg]	MFF - fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	MFF - amonij
0:01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00											0
0:02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
0:03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:05	0.07	0.00	150.21	4.48	1.44	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:06	0.22	0.01	231.38	7.68	2.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:07	0.77	0.05	345.72	13.12	3.07	0.06	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:08	2.47	0.15	470.81	19.78	4.04	0.21	0.00	0.07	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:09	5.55	0.33	566.16	25.14	4.78	0.55	0.00	0.19	0.28	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0:10	9.24	0.55	662.60	30.16	5.55	1.10	0.00	0.37	0.65	0.00	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00
0:11	6.58	0.39	777.26	35.51	6.50	1.50	0.00	0.31	0.95	0.01	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00
0:12	9.54	0.57	831.73	37.64	6.98	2.07	0.00	0.48	1.43	0.01	0.02	0.06	0.01	0.00	0.01	0.01
0:13	20.07	1.20	872.81	38.65	7.38	3.27	0.00	1.05	2.48	0.01	0.05	0.11	0.02	0.01	0.02	0.01
0:14	35.59	2.14	894.53	38.46	7.65	5.41	0.01	1.91	4.39	0.03	0.08	0.19	0.04	0.02	0.04	0.02
0:15	45.31	2.72	900.97	37.44	7.82	8.13	0.01	2.45	6.84	0.04	0.10	0.29	0.07	0.02	0.06	0.03
0:16	53.51	3.21	895.58	35.73	7.90	11.34	0.02	2.88	9.71	0.06	0.11	0.41	0.09	0.03	0.08	0.04
0:17	63.77	3.83	876.85	33.16	7.91	15.16	0.02	3.36	13.07	0.08	0.13	0.54	0.12	0.03	0.11	0.06
0:18	91.20	5.47	842.69	29.78	7.82	20.63	0.03	4.61	17.68	0.10	0.16	0.70	0.16	0.04	0.16	0.08
0:19	107.42	6.45	797.98	26.20	7.64	27.08	0.04	5.14	22.82	0.13	0.17	0.87	0.19	0.05	0.21	0.10
0:20	154.66	9.28	743.17	22.51	7.37	36.36	0.05	6.90	29.72	0.17	0.21	1.08	0.24	0.07	0.27	0.13
0:21	193.13	11.59	681.64	18.97	7.03	47.95	0.07	7.90	37.62	0.22	0.22	1.30	0.29	0.08	0.36	0.17
0:22	288.01	17.28	613.43	15.61	6.62	65.23	0.10	10.60	48.22	0.28	0.27	1.57	0.35	0.11	0.47	0.23
0:23	360.46	21.63	579.26	14.60	6.36	86.86	0.13	12.53	60.75	0.36	0.32	1.88	0.42	0.14	0.61	0.30
0:24	363.85	21.83	515.26	12.13	5.91	108.69	0.16	11.25	72.00	0.42	0.26	2.15	0.48	0.13	0.74	0.36
0:25	345.97	20.76	438.71	9.26	5.35	129.44	0.19	9.11	81.10	0.48	0.19	2.34	0.52	0.11	0.85	0.41
0:26	343.17	20.59	366.79	6.85	4.79	150.03	0.23	7.55	88.65	0.52	0.14	2.48	0.55	0.10	0.95	0.46
0:27	355.19	21.31	321.46	5.81	4.37	171.35	0.26	6.85	95.51	0.56	0.12	2.60	0.58	0.09	1.04	0.50
0:28	377.22	22.63	296.03	5.64	4.07	193.98	0.29	6.70	102.21	0.60	0.13	2.73	0.61	0.09	1.13	0.55
0:29	383.02	22.98	257.82	4.86	3.68	216.96	0.33	5.93	108.13	0.63	0.11	2.84	0.63	0.08	1.22	0.59
0:30	383.34	23.00	220.41	4.08	3.29	239.96	0.36	5.07	113.20	0.66	0.09	2.94	0.65	0.08	1.29	0.63
0:31	382.85	22.97	178.35	3.07	2.85	262.93	0.40	4.10	117.30	0.69	0.07	3.01	0.67	0.07	1.36	0.66
0:32	382.27	22.94	155.01	2.75	2.55	285.87	0.43	3.56	120.85	0.71	0.06	3.07	0.68	0.06	1.42	0.69
0:33	379.52	22.77	141.07	2.68	2.33	308.64	0.46	3.21	124.06	0.73	0.06	3.13	0.70	0.05	1.47	0.71
0:34	369.00	22.14	127.62	2.55	2.12	330.78	0.50	2.83	126.89	0.74	0.06	3.19	0.71	0.05	1.52	0.74
0:35	322.07	19.32	120.72	2.60	1.98	350.10	0.53	2.33	129.22	0.76	0.05	3.24	0.72	0.04	1.55	0.75
0:36	324.36	19.46	106.65	2.32	1.78	369.57	0.56	2.08	131.30	0.77	0.05	3.28	0.73	0.03	1.59	0.77
0:37	320.68	19.24	93.78	2.05	1.60	388.81	0.58	1.80	133.10	0.78	0.04	3.32	0.74	0.03	1.62	0.79
0:38	261.76	15.71	99.39	2.42	1.59	404.51	0.61	1.56	134.66	0.79	0.04	3.36	0.75	0.02	1.64	0.80
0:39	234.14	14.05	106.77	2.82	1.60	418.56	0.63	1.50	136.16	0.80	0.04	3.40	0.75	0.02	1.67	0.81
0:40	230.00	13.80	99.44	2.66	1.48	432.36	0.65	1.37	137.54	0.81	0.04	3.44	0.76	0.02	1.69	0.82
0:41	205.28	12.32	101.49	2.83	1.46	444.68	0.67	1.25	138.79	0.81	0.03	3.47	0.77	0.02	1.71	0.83
0:42	190.04	11.40	103.00	2.96	1.43	456.08	0.69	1.17	139.96	0.82	0.03	3.51	0.78	0.02	1.72	0.84
0:43	169.50	10.17	98.77	2.87	1.36	466.25	0.70	1.00	140.97	0.83	0.03	3.54	0.78	0.01	1.74	0.84
0:44	157.44	9.45	98.40	2.91	1.33	475.70	0.72	0.93	141.89	0.83	0.03	3.56	0.79	0.01	1.75	0.85
0:45	141.53	8.49	102.08	3.09	1.33	484.19	0.73	0.87	142.76	0.84	0.03	3.59	0.80	0.01	1.76	0.85
0:46	129.94	7.80	97.93	2.99	1.27	491.98	0.74	0.76	143.53	0.84	0.02	3.61	0.80	0.01	1.77	0.86
0:47	118.79	7.13	97.13	2.99	1.24	499.11	0.75	0.69	144.22	0.85	0.02	3.63	0.81	0.01	1.78	0.86
0:48	109.59	6.58	98.23	3.06	1.23	505.69	0.76	0.65	144.86	0.85	0.02	3.65	0.81	0.01	1.79	0.87
0:49	101.97	6.12	101.95	3.22	1.25	511.80	0.77	0.62	145.49	0.85	0.02	3.67	0.82	0.01	1.79	0.87
0:50	96.20	5.77	108.99	3.49	1.30	517.58	0.78	0.63	146.12	0.86	0.02	3.69	0.82	0.01	1.80	0.87
0:51	91.82	5.51	116.81	3.78	1.36	523.09	0.79	0.64	146.76	0.86	0.02	3.71	0.82	0.01	1.81	0.88
0:52	90.13	5.41	134.72	4.43	1.52	528.49	0.79	0.73	147.49	0.86	0.02	3.74	0.83	0.01	1.82	0.88
0:53	88.41	5.30	155.02	5.15	1.70	533.80	0.80	0.82	148.31	0.87	0.03	3.77	0.84	0.01	1.83	0.89
0:54	86.47	5.19	171.35	5.73	1.84	538.99	0.81	0.89	149.20	0.87	0.03	3.80	0.84	0.01	1.84	0.89
0:55	84.36	5.06	182.92	6.13	1.95	544.05	0.82	0.93	150.13	0.88	0.03	3.83	0.85	0.01	1.85	0.90

Cevpredrazbremenilnikom.30 min naliv, 20 suhih dni				Ortof osfati	Am onij evd ušik	Skup Vol [m <sup>3</sup> ]	kumul ativen vol.	delna masa KPK [kg]	Skupn masa KPK[kg]	MFF -kpk	deln a mas a orto fos [kg]	Sku p mas a orto fos [kg]	MFF - fosf or	deln a mas a am onij [kg]	Sku pna mas a am onij [kg]	0	1
Ura	Pretok	Vol.	KPK													(MG/L)	(MG/L)
0:56	81.98	4.92	189.35	6.36	2.00	548.97	0.83	0.93	151.06	0.89	0.03	3.86	0.86	0.01	1.86	0.90	
0:57	79.44	4.77	197.31	6.64	2.08	553.73	0.83	0.94	152.00	0.89	0.03	3.89	0.86	0.01	1.87	0.91	
0:58	76.60	4.60	204.14	6.87	2.14	558.33	0.84	0.94	152.94	0.90	0.03	3.92	0.87	0.01	1.88	0.91	
0:59	73.51	4.41	205.87	6.93	2.15	562.74	0.85	0.91	153.84	0.90	0.03	3.95	0.88	0.01	1.88	0.91	
1:00	70.34	4.22	205.89	6.93	2.15	566.96	0.85	0.87	154.71	0.91	0.03	3.98	0.88	0.01	1.89	0.92	
1:01	67.12	4.03	204.73	6.89	2.14	570.99	0.86	0.82	155.54	0.91	0.03	4.01	0.89	0.01	1.90	0.92	
1:02	64.08	3.84	203.88	6.85	2.13	574.83	0.86	0.78	156.32	0.92	0.03	4.04	0.90	0.01	1.91	0.93	
1:03	61.14	3.67	203.40	6.83	2.13	578.50	0.87	0.75	157.07	0.92	0.03	4.06	0.90	0.01	1.92	0.93	
1:04	57.94	3.48	199.24	6.69	2.09	581.98	0.88	0.69	157.76	0.93	0.02	4.08	0.91	0.01	1.93	0.93	
1:05	54.50	3.27	190.53	6.39	2.00	585.25	0.88	0.62	158.38	0.93	0.02	4.10	0.91	0.01	1.93	0.94	
1:06	51.63	3.10	187.88	6.29	1.97	588.35	0.88	0.58	158.96	0.93	0.02	4.12	0.92	0.01	1.94	0.94	
1:07	49.05	2.94	187.91	6.29	1.97	591.29	0.89	0.55	159.52	0.94	0.02	4.14	0.92	0.01	1.94	0.94	
1:08	46.25	2.78	182.67	6.11	1.92	594.06	0.89	0.51	160.02	0.94	0.02	4.16	0.92	0.01	1.95	0.95	
1:09	43.67	2.62	177.84	5.94	1.87	596.68	0.90	0.47	160.49	0.94	0.02	4.17	0.93	0.00	1.95	0.95	
1:10	41.52	2.49	177.27	5.92	1.87	599.17	0.90	0.44	160.93	0.94	0.01	4.19	0.93	0.00	1.96	0.95	
1:11	39.40	2.36	176.05	5.88	1.85	601.54	0.90	0.42	161.35	0.95	0.01	4.20	0.93	0.00	1.96	0.95	
1:12	37.26	2.24	171.76	5.73	1.81	603.77	0.91	0.38	161.73	0.95	0.01	4.22	0.94	0.00	1.97	0.95	
1:13	35.35	2.12	168.39	5.62	1.78	605.90	0.91	0.36	162.09	0.95	0.01	4.23	0.94	0.00	1.97	0.96	
1:14	33.74	2.02	168.06	5.60	1.77	607.92	0.91	0.34	162.43	0.95	0.01	4.24	0.94	0.00	1.97	0.96	
1:15	32.13	1.93	166.59	5.55	1.76	609.85	0.92	0.32	162.75	0.95	0.01	4.25	0.94	0.00	1.98	0.96	
1:16	30.54	1.83	163.24	5.44	1.72	611.68	0.92	0.30	163.05	0.96	0.01	4.26	0.95	0.00	1.98	0.96	
1:17	29.13	1.75	160.93	5.36	1.70	613.43	0.92	0.28	163.33	0.96	0.01	4.27	0.95	0.00	1.98	0.96	
1:18	27.89	1.67	160.56	5.34	1.69	615.10	0.93	0.27	163.60	0.96	0.01	4.28	0.95	0.00	1.99	0.96	
1:19	26.69	1.60	159.55	5.31	1.68	616.70	0.93	0.26	163.86	0.96	0.01	4.29	0.95	0.00	1.99	0.97	
1:20	25.49	1.53	157.15	5.22	1.66	618.23	0.93	0.24	164.10	0.96	0.01	4.29	0.95	0.00	1.99	0.97	
1:21	24.42	1.47	155.55	5.17	1.64	619.70	0.93	0.23	164.32	0.96	0.01	4.30	0.95	0.00	1.99	0.97	
1:22	23.46	1.41	155.36	5.16	1.64	621.10	0.93	0.22	164.54	0.96	0.01	4.31	0.96	0.00	2.00	0.97	
1:23	22.54	1.35	154.89	5.14	1.64	622.46	0.94	0.21	164.75	0.97	0.01	4.32	0.96	0.00	2.00	0.97	
1:24	21.63	1.30	153.33	5.09	1.62	623.75	0.94	0.20	164.95	0.97	0.01	4.32	0.96	0.00	2.00	0.97	
1:25	20.80	1.25	151.94	5.04	1.61	625.00	0.94	0.19	165.14	0.97	0.01	4.33	0.96	0.00	2.00	0.97	
1:26	20.06	1.20	151.49	5.02	1.60	626.21	0.94	0.18	165.32	0.97	0.01	4.34	0.96	0.00	2.01	0.97	
1:27	19.35	1.16	151.19	5.01	1.60	627.37	0.94	0.18	165.50	0.97	0.01	4.34	0.96	0.00	2.01	0.97	
1:28	18.64	1.12	150.15	4.97	1.59	628.49	0.95	0.17	165.67	0.97	0.01	4.35	0.96	0.00	2.01	0.97	
1:29	17.99	1.08	149.04	4.93	1.58	629.57	0.95	0.16	165.83	0.97	0.01	4.35	0.97	0.00	2.01	0.98	
1:30	17.40	1.04	148.59	4.92	1.57	630.61	0.95	0.16	165.98	0.97	0.01	4.36	0.97	0.00	2.01	0.98	
1:31	16.84	1.01	148.46	4.91	1.57	631.62	0.95	0.15	166.13	0.97	0.00	4.36	0.97	0.00	2.01	0.98	
1:32	16.29	0.98	147.90	4.89	1.57	632.60	0.95	0.14	166.28	0.98	0.00	4.37	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:33	15.76	0.95	147.07	4.86	1.56	633.54	0.95	0.14	166.42	0.98	0.00	4.37	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:34	15.28	0.92	146.61	4.84	1.55	634.46	0.95	0.13	166.55	0.98	0.00	4.38	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:35	14.82	0.89	146.55	4.84	1.55	635.35	0.96	0.13	166.68	0.98	0.00	4.38	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:36	14.39	0.86	146.44	4.83	1.55	636.21	0.96	0.13	166.81	0.98	0.00	4.38	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:37	13.96	0.84	145.98	4.82	1.55	637.05	0.96	0.12	166.93	0.98	0.00	4.39	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:38	13.25	0.80	146.13	4.82	1.55	637.84	0.96	0.12	167.05	0.98	0.00	4.39	0.97	0.00	2.02	0.98	
1:39	13.21	0.79	147.70	4.87	1.57	638.64	0.96	0.12	167.16	0.98	0.00	4.40	0.98	0.00	2.02	0.98	
1:40	12.65	0.76	146.71	4.84	1.56	639.40	0.96	0.11	167.27	0.98	0.00	4.40	0.98	0.00	2.03	0.98	
1:41	12.36	0.74	147.84	4.87	1.57	640.14	0.96	0.11	167.38	0.98	0.00	4.40	0.98	0.00	2.03	0.98	
1:42	12.05	0.72	145.70	4.80	1.55	640.86	0.96	0.11	167.49	0.98	0.00	4.41	0.98	0.00	2.03	0.98	
1:43	11.64	0.70	145.53	4.79	1.55	641.56	0.96	0.10	167.59	0.98	0.00	4.41	0.98	0.00	2.03	0.98	
1:44	11.49	0.69	144.29	4.75	1.53	642.25	0.97	0.10	167.69	0.98	0.00	4.41	0.98	0.00	2.03	0.99	
1:45	11.01	0.66	143.02	4.70	1.52	642.91	0.97	0.09	167.78	0.98	0.00	4.42	0.98	0.00	2.03	0.99	
1:46	10.92	0.66	142.28	4.68	1.51	643.56	0.97	0.09	167.88	0.98	0.00	4.42	0.98	0.00	2.03	0.99	
1:47	10.51	0.63	141.01	4.63	1.50	644.19	0.97	0.09	167.97	0.99	0.00	4.42	0.98	0.00	2.03	0.99	
1:48	10.40	0.62	140.99	4.63	1.50	644.82	0.97	0.09	168.05	0.99	0.00	4.43	0.98	0.00	2.03	0.99	
1:49	10.05	0.60	139.57	4.58	1.49	645.42	0.97	0.08	168.14	0.99	0.00	4.43	0.98	0.00	2.04	0.99	
1:50	9.91	0.59	139.54	4.58	1.49	646.02	0.97	0.08	168.22	0.99	0.00	4.43	0.98	0.00	2.04	0.99	
1:51	9.63	0.58	138.29	4.54	1.47	646.59	0.97	0.08	168.30	0.99	0.00	4.43	0.98	0.00	2.04	0.99	
1:52	9.48	0.57	138.38	4.54	1.47	647.16	0.97	0.08	168.38	0.99	0.00	4.44	0.98	0.00	2.04	0.99	



Cevpredrazbremenilnikom.30 min naliv, 20 suhih dni				Ortofosfati	Amonijev dušik	Skupni vol [m <sup>3</sup> ]	kumulativni vol.	delna masa KPK [kg]	Skupna masa KPK [kg]	MFF -kpk	delna masa orto fos [kg]	Skupna masa orto fos [kg]	MFF - fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	0	
Ura	Pretok	Vol.	KPK													(MG/L)	(MG/L)
(h:m:m)	(LPS)	(m <sup>3</sup> )	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	(MG/L)	MFF - amonij
1:53	9.25	0.56	137.20	4.50	1.46	647.72	0.97	0.08	168.46	0.99	0.00	4.44	0.99	0.00	2.04	0.99	
1:54	9.08	0.54	137.06	4.49	1.46	648.26	0.98	0.07	168.53	0.99	0.00	4.44	0.99	0.00	2.04	0.99	
1:55	8.89	0.53	136.02	4.46	1.45	648.80	0.98	0.07	168.60	0.99	0.00	4.44	0.99	0.00	2.04	0.99	
1:56	8.72	0.52	135.85	4.45	1.45	649.32	0.98	0.07	168.67	0.99	0.00	4.45	0.99	0.00	2.04	0.99	
1:57	8.56	0.51	135.01	4.42	1.44	649.83	0.98	0.07	168.74	0.99	0.00	4.45	0.99	0.00	2.04	0.99	
1:58	8.38	0.50	134.64	4.41	1.44	650.34	0.98	0.07	168.81	0.99	0.00	4.45	0.99	0.00	2.04	0.99	
1:59	8.24	0.49	133.87	4.38	1.43	650.83	0.98	0.07	168.88	0.99	0.00	4.45	0.99	0.00	2.04	0.99	
2:00	8.07	0.48	133.52	4.37	1.42	651.31	0.98	0.06	168.94	0.99	0.00	4.45	0.99	0.00	2.04	0.99	
2:01	7.95	0.48	132.91	4.35	1.42	651.79	0.98	0.06	169.01	0.99	0.00	4.46	0.99	0.00	2.04	0.99	
2:02	7.76	0.47	132.19	4.32	1.41	652.26	0.98	0.06	169.07	0.99	0.00	4.46	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:03	7.59	0.46	130.72	4.27	1.40	652.71	0.98	0.06	169.13	0.99	0.00	4.46	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:04	7.42	0.45	129.37	4.23	1.38	653.16	0.98	0.06	169.18	0.99	0.00	4.46	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:05	7.32	0.44	128.41	4.20	1.37	653.60	0.98	0.06	169.24	0.99	0.00	4.46	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:06	7.10	0.43	127.79	4.18	1.37	654.02	0.98	0.05	169.30	0.99	0.00	4.47	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:07	7.07	0.42	126.92	4.15	1.36	654.45	0.98	0.05	169.35	0.99	0.00	4.47	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:08	6.89	0.41	125.81	4.11	1.35	654.86	0.98	0.05	169.40	0.99	0.00	4.47	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:09	6.61	0.40	124.79	4.08	1.33	655.26	0.99	0.05	169.45	0.99	0.00	4.47	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:10	6.74	0.40	124.05	4.05	1.33	655.66	0.99	0.05	169.50	0.99	0.00	4.47	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:11	6.50	0.39	123.38	4.03	1.32	656.05	0.99	0.05	169.55	0.99	0.00	4.47	0.99	0.00	2.05	0.99	
2:12	6.31	0.38	122.48	4.00	1.31	656.43	0.99	0.05	169.60	0.99	0.00	4.48	0.99	0.00	2.05	1.00	
2:13	6.47	0.39	121.48	3.96	1.30	656.82	0.99	0.05	169.64	0.99	0.00	4.48	0.99	0.00	2.05	1.00	
2:14	6.06	0.36	120.55	3.93	1.29	657.18	0.99	0.04	169.69	1.00	0.00	4.48	0.99	0.00	2.05	1.00	
2:15	6.08	0.36	119.76	3.91	1.28	657.55	0.99	0.04	169.73	1.00	0.00	4.48	0.99	0.00	2.05	1.00	
2:16	6.10	0.37	118.92	3.88	1.27	657.91	0.99	0.04	169.77	1.00	0.00	4.48	0.99	0.00	2.05	1.00	
2:17	5.74	0.34	118.00	3.85	1.26	658.26	0.99	0.04	169.81	1.00	0.00	4.48	0.99	0.00	2.05	1.00	
2:18	6.13	0.37	116.98	3.81	1.25	658.62	0.99	0.04	169.86	1.00	0.00	4.48	1.00	0.00	2.05	1.00	
2:19	6.01	0.36	116.09	3.78	1.24	658.99	0.99	0.04	169.90	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.05	1.00	
2:20	5.51	0.33	115.23	3.76	1.23	659.32	0.99	0.04	169.94	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.05	1.00	
2:21	4.90	0.29	114.44	3.73	1.23	659.61	0.99	0.03	169.97	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.05	1.00	
2:22	5.74	0.34	112.89	3.68	1.21	659.95	0.99	0.04	170.01	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:23	5.52	0.33	112.06	3.65	1.20	660.29	0.99	0.04	170.05	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:24	4.77	0.29	110.90	3.61	1.19	660.57	0.99	0.03	170.08	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:25	5.66	0.34	109.74	3.57	1.18	660.91	0.99	0.04	170.12	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:26	7.23	0.43	108.55	3.53	1.16	661.35	0.99	0.05	170.16	1.00	0.00	4.49	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:27	5.82	0.35	107.51	3.50	1.15	661.69	1.00	0.04	170.20	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:28	6.65	0.40	106.03	3.45	1.14	662.09	1.00	0.04	170.24	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:29	6.36	0.38	104.99	3.42	1.13	662.48	1.00	0.04	170.28	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:30	7.86	0.47	101.08	3.29	1.09	662.95	1.00	0.05	170.33	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:31	8.31	0.50	100.21	3.26	1.08	663.45	1.00	0.05	170.38	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:32	4.83	0.29	99.36	3.23	1.07	663.74	1.00	0.03	170.41	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:33	4.90	0.29	98.57	3.20	1.06	664.03	1.00	0.03	170.44	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:34	4.70	0.28	98.74	3.21	1.06	664.31	1.00	0.03	170.47	1.00	0.00	4.50	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:35	4.18	0.25	98.36	3.20	1.06	664.56	1.00	0.02	170.49	1.00	0.00	4.51	1.00	0.00	2.06	1.00	
2:36	5.20	0.31	97.30	3.16	1.04	664.87	1.00	0.03	170.52	1.00	0.00	4.51	1.00	0.00	2.06	1.00	
Skupni volumen [m <sup>3</sup> ]		664.9						KPK		Ortofosfat		am onij					
						Vsota [kg]		170.5		4.51		2.06					
						EMC [mg/l]		256.5		6.78		3.10					

### E.3 MASNI PRVI VAL ZA ORTOFOSFATE IN AMONIJ S 30 MIN NALIVOM IN 20 SUHIH DNI

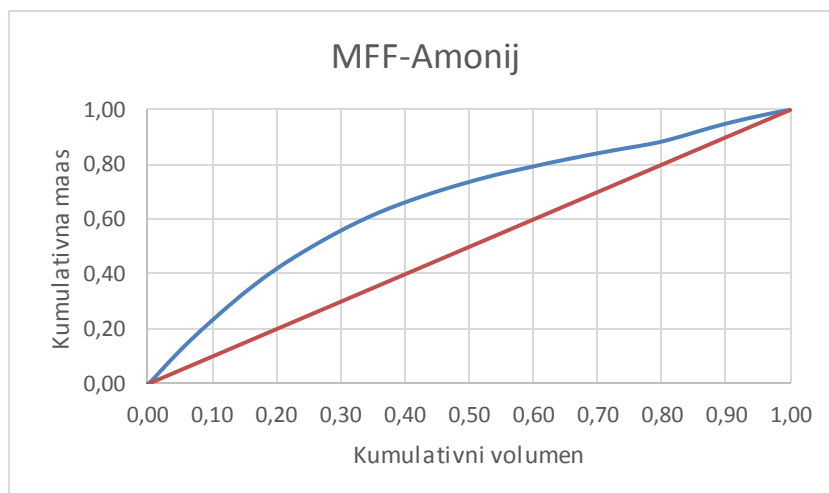
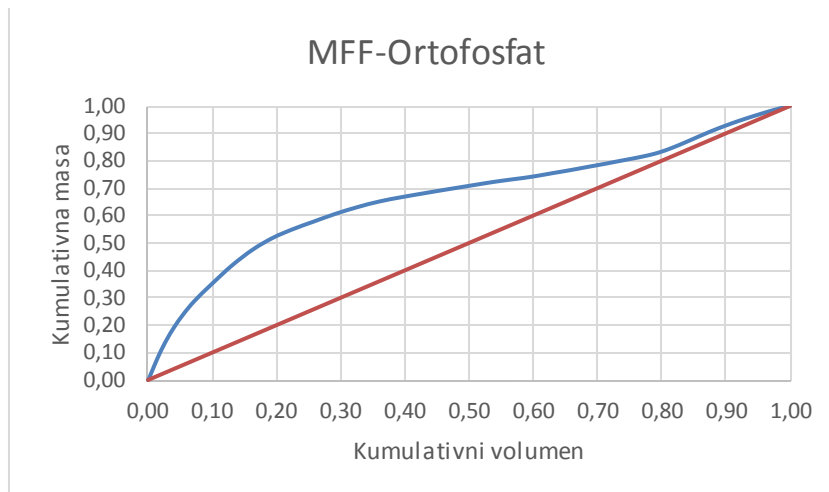


### E.4 REZULTATI SIMULACIJE S 30 MIN NALIVOM IN 50 SUHIH DNI

Cevpredrazbremenilnikom. 30 min naliv, 50 suhih dni				Ortofosfati (MG/L)	Amonijev dušik (MG/L)	Skup Vol [m <sup>3</sup> ]	kumulativn vol.	delna masa KPK [kg]	Skupna masa KPK[kg]	MFF -kpk	delna masa ortofos [kg]	Skupna masa ortofos [kg]	MFF -fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	0
Ura (h:mm)	Pretok (LPS)	Vol (m3)	KPK (MG/L)													1
0:01	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:02	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:03	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:04	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:05	0.1	0.0	285.3	11.19	2.74	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:06	0.2	0.0	439.4	19.20	4.07	0.0	0.00	0.01	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:07	0.8	0.0	656.6	32.79	5.83	0.1	0.00	0.03	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0:08	2.5	0.1	894.1	49.44	7.68	0.2	0.00	0.13	0.2	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0:09	5.6	0.3	1075.2	62.85	9.08	0.5	0.00	0.36	0.5	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
0:10	9.2	0.6	1258.4	75.41	10.54	1.1	0.00	0.70	1.2	0.00	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00
0:11	6.6	0.4	1476.1	88.78	12.35	1.5	0.00	0.58	1.8	0.01	0.04	0.11	0.01	0.00	0.02	0.00
0:12	9.5	0.6	1579.6	94.11	13.25	2.1	0.00	0.90	2.7	0.01	0.05	0.16	0.01	0.01	0.02	0.01
0:13	20.1	1.2	1657.6	96.62	14.02	3.3	0.00	2.00	4.7	0.01	0.12	0.28	0.02	0.02	0.04	0.01
0:14	35.6	2.1	1698.9	96.14	14.54	5.4	0.01	3.63	8.3	0.03	0.21	0.48	0.04	0.03	0.07	0.02
0:15	45.3	2.7	1711.1	93.61	14.85	8.1	0.01	4.65	13.0	0.04	0.25	0.74	0.07	0.04	0.11	0.03
0:16	53.5	3.2	1700.8	89.33	15.01	11.3	0.02	5.46	18.4	0.06	0.29	1.02	0.09	0.05	0.16	0.04
0:17	63.8	3.8	1665.3	82.90	15.03	15.2	0.02	6.37	24.8	0.08	0.32	1.34	0.12	0.06	0.22	0.06
0:18	91.2	5.5	1600.4	74.44	14.85	20.6	0.03	8.76	33.6	0.10	0.41	1.75	0.16	0.08	0.30	0.08
0:19	107.4	6.4	1515.5	65.49	14.51	27.1	0.04	9.77	43.3	0.13	0.42	2.17	0.19	0.09	0.39	0.10
0:20	154.7	9.3	1411.4	56.26	14.00	36.4	0.05	13.10	56.4	0.17	0.52	2.69	0.24	0.13	0.52	0.13
0:21	193.1	11.6	1294.5	47.43	13.36	47.9	0.07	15.00	71.4	0.22	0.55	3.24	0.29	0.15	0.68	0.17
0:22	288.0	17.3	1165.0	39.02	12.57	65.2	0.10	20.13	91.6	0.28	0.67	3.92	0.35	0.22	0.89	0.23
0:23	360.5	21.6	1100.1	36.50	12.07	86.9	0.13	23.79	115.4	0.36	0.79	4.71	0.42	0.26	1.15	0.29
0:24	363.9	21.8	978.6	30.34	11.22	108.7	0.16	21.36	136.7	0.42	0.66	5.37	0.48	0.24	1.40	0.36
0:25	346.0	20.8	833.2	23.15	10.16	129.4	0.19	17.30	154.0	0.48	0.48	5.85	0.52	0.21	1.61	0.41
0:26	343.2	20.6	696.6	17.14	9.09	150.0	0.23	14.34	168.4	0.52	0.35	6.20	0.55	0.19	1.80	0.46
0:27	355.2	21.3	610.5	14.53	8.30	171.3	0.26	13.01	181.4	0.56	0.31	6.51	0.58	0.18	1.97	0.50
0:28	377.2	22.6	562.2	14.11	7.74	194.0	0.29	12.72	194.1	0.60	0.32	6.83	0.61	0.18	2.15	0.55
0:29	383.0	23.0	489.6	12.16	7.00	217.0	0.33	11.25	205.4	0.63	0.28	7.11	0.63	0.16	2.31	0.59
0:30	383.3	23.0	418.6	10.21	6.25	240.0	0.36	9.63	215.0	0.66	0.23	7.34	0.65	0.14	2.45	0.63
0:31	382.9	23.0	338.7	7.68	5.41	262.9	0.40	7.78	222.8	0.69	0.18	7.52	0.67	0.12	2.58	0.66
0:32	382.3	22.9	294.4	6.86	4.85	285.9	0.43	6.75	229.5	0.71	0.16	7.68	0.68	0.11	2.69	0.69
0:33	379.5	22.8	267.9	6.71	4.43	308.6	0.46	6.10	235.6	0.73	0.15	7.83	0.70	0.10	2.79	0.71
0:34	369.0	22.1	242.4	6.38	4.03	330.8	0.50	5.37	241.0	0.74	0.14	7.97	0.71	0.09	2.88	0.74
0:35	322.1	19.3	229.3	6.49	3.76	350.1	0.53	4.43	245.4	0.76	0.13	8.10	0.72	0.07	2.95	0.75
0:36	324.4	19.5	202.6	5.81	3.39	369.6	0.56	3.94	249.4	0.77	0.11	8.21	0.73	0.07	3.02	0.77
0:37	320.7	19.2	178.1	5.13	3.05	388.8	0.58	3.43	252.8	0.78	0.10	8.31	0.74	0.06	3.08	0.79
0:38	261.8	15.7	188.8	6.05	3.02	404.5	0.61	2.96	255.7	0.79	0.10	8.40	0.75	0.05	3.12	0.80
0:39	234.1	14.0	202.8	7.05	3.03	418.6	0.63	2.85	258.6	0.80	0.10	8.50	0.75	0.04	3.17	0.81
0:40	230.0	13.8	188.9	6.66	2.82	432.4	0.65	2.61	261.2	0.81	0.09	8.60	0.76	0.04	3.21	0.82
0:41	205.3	12.3	192.7	7.07	2.77	444.7	0.67	2.37	263.6	0.81	0.09	8.68	0.77	0.03	3.24	0.83
0:42	190.0	11.4	195.6	7.40	2.72	456.1	0.69	2.23	265.8	0.82	0.08	8.77	0.78	0.03	3.27	0.84
0:43	169.5	10.2	187.6	7.18	2.58	466.2	0.70	1.91	267.7	0.83	0.07	8.84	0.78	0.03	3.30	0.84
0:44	157.4	9.4	186.9	7.29	2.52	475.7	0.72	1.77	269.5	0.83	0.07	8.91	0.79	0.02	3.32	0.85
0:45	141.5	8.5	193.9	7.73	2.53	484.2	0.73	1.65	271.1	0.84	0.07	8.97	0.80	0.02	3.34	0.85
0:46	129.9	7.8	186.0	7.47	2.42	492.0	0.74	1.45	272.6	0.84	0.06	9.03	0.80	0.02	3.36	0.86
0:47	118.8	7.1	184.5	7.48	2.36	499.1	0.75	1.31	273.9	0.85	0.05	9.09	0.81	0.02	3.38	0.86
0:48	109.6	6.6	186.6	7.66	2.34	505.7	0.76	1.23	275.1	0.85	0.05	9.14	0.81	0.02	3.39	0.87
0:49	102.0	6.1	193.6	8.05	2.38	511.8	0.77	1.18	276.3	0.85	0.05	9.19	0.82	0.01	3.41	0.87
0:50	96.2	5.8	207.0	8.72	2.47	517.6	0.78	1.19	277.5	0.86	0.05	9.24	0.82	0.01	3.42	0.87
0:51	91.8	5.5	221.8	9.46	2.58	523.1	0.79	1.22	278.7	0.86	0.05	9.29	0.82	0.01	3.44	0.88
0:52	90.1	5.4	255.9	11.06	2.88	528.5	0.79	1.38	280.1	0.86	0.06	9.35	0.83	0.02	3.45	0.88
0:53	88.4	5.3	294.4	12.87	3.22	533.8	0.80	1.56	281.7	0.87	0.07	9.42	0.84	0.02	3.47	0.89
0:54	86.5	5.2	325.4	14.31	3.50	539.0	0.81	1.69	283.4	0.87	0.07	9.49	0.84	0.02	3.49	0.89
0:55	84.4	5.1	347.4	15.33	3.70	544.0	0.82	1.76	285.1	0.88	0.08	9.57	0.85	0.02	3.51	0.90

Cevpredrazbremenilnikom. 30 min naliv, 50 suhuh dni				Ortof osfati	Amonijev dušik	Skup Vol [m <sup>3</sup> ]	kumulativn vol.	delna masa KPK [kg]	Skupna masa KPK[kg]	MFF -kpk	delna masa ortofos [kg]	Skupna masa ortofos [kg]	MFF - fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	0 1 MFF - amonij
Ura	Pretok	Vol	KPK													
0:56	82.0	4.9	359.6	15.90	3.81	549.0	0.83	1.77	286.9	0.89	0.08	9.65	0.86	0.02	3.53	0.90
0:57	79.4	4.8	374.7	16.60	3.94	553.7	0.83	1.79	288.7	0.89	0.08	9.73	0.86	0.02	3.54	0.91
0:58	76.6	4.6	387.7	17.19	4.06	558.3	0.84	1.78	290.4	0.90	0.08	9.80	0.87	0.02	3.56	0.91
0:59	73.5	4.4	391.0	17.33	4.09	562.7	0.85	1.72	292.2	0.90	0.08	9.88	0.88	0.02	3.58	0.91
1:00	70.3	4.2	391.0	17.33	4.09	567.0	0.85	1.65	293.8	0.91	0.07	9.95	0.88	0.02	3.60	0.92
1:01	67.1	4.0	388.8	17.22	4.07	571.0	0.86	1.57	295.4	0.91	0.07	10.02	0.89	0.02	3.61	0.92
1:02	64.1	3.8	387.2	17.14	4.05	574.8	0.86	1.49	296.9	0.92	0.07	10.09	0.90	0.02	3.63	0.93
1:03	61.1	3.7	386.3	17.09	4.04	578.5	0.87	1.42	298.3	0.92	0.06	10.15	0.90	0.01	3.64	0.93
1:04	57.9	3.5	378.4	16.72	3.96	582.0	0.88	1.32	299.6	0.93	0.06	10.21	0.91	0.01	3.66	0.93
1:05	54.5	3.3	361.8	15.97	3.80	585.2	0.88	1.18	300.8	0.93	0.05	10.26	0.91	0.01	3.67	0.94
1:06	51.6	3.1	356.8	15.73	3.75	588.3	0.88	1.11	301.9	0.93	0.05	10.31	0.92	0.01	3.68	0.94
1:07	49.1	2.9	356.9	15.73	3.75	591.3	0.89	1.05	302.9	0.94	0.05	10.36	0.92	0.01	3.69	0.94
1:08	46.3	2.8	346.9	15.28	3.65	594.1	0.89	0.96	303.9	0.94	0.04	10.40	0.92	0.01	3.70	0.95
1:09	43.7	2.6	337.7	14.86	3.56	596.7	0.90	0.88	304.8	0.94	0.04	10.44	0.93	0.01	3.71	0.95
1:10	41.5	2.5	336.7	14.81	3.54	599.2	0.90	0.84	305.6	0.94	0.04	10.48	0.93	0.01	3.72	0.95
1:11	39.4	2.4	334.3	14.70	3.52	601.5	0.90	0.79	306.4	0.95	0.03	10.51	0.93	0.01	3.73	0.95
1:12	37.3	2.2	326.2	14.33	3.44	603.8	0.91	0.73	307.2	0.95	0.03	10.54	0.94	0.01	3.74	0.95
1:13	35.4	2.1	319.8	14.04	3.37	605.9	0.91	0.68	307.8	0.95	0.03	10.57	0.94	0.01	3.74	0.96
1:14	33.7	2.0	319.2	14.01	3.37	607.9	0.91	0.65	308.5	0.95	0.03	10.60	0.94	0.01	3.75	0.96
1:15	32.1	1.9	316.4	13.88	3.34	609.8	0.92	0.61	309.1	0.95	0.03	10.63	0.94	0.01	3.76	0.96
1:16	30.5	1.8	310.0	13.59	3.27	611.7	0.92	0.57	309.7	0.96	0.02	10.65	0.95	0.01	3.76	0.96
1:17	29.1	1.7	305.6	13.39	3.23	613.4	0.92	0.53	310.2	0.96	0.02	10.68	0.95	0.01	3.77	0.96
1:18	27.9	1.7	304.9	13.35	3.22	615.1	0.93	0.51	310.7	0.96	0.02	10.70	0.95	0.01	3.78	0.96
1:19	26.7	1.6	303.0	13.26	3.20	616.7	0.93	0.49	311.2	0.96	0.02	10.72	0.95	0.01	3.78	0.97
1:20	25.5	1.5	298.5	13.06	3.15	618.2	0.93	0.46	311.6	0.96	0.02	10.74	0.95	0.00	3.79	0.97
1:21	24.4	1.5	295.4	12.92	3.12	619.7	0.93	0.43	312.1	0.96	0.02	10.76	0.95	0.00	3.79	0.97
1:22	23.5	1.4	295.0	12.90	3.12	621.1	0.93	0.42	312.5	0.96	0.02	10.78	0.96	0.00	3.79	0.97
1:23	22.5	1.4	294.2	12.85	3.11	622.5	0.94	0.40	312.9	0.97	0.02	10.79	0.96	0.00	3.80	0.97
1:24	21.6	1.3	291.2	12.72	3.08	623.8	0.94	0.38	313.3	0.97	0.02	10.81	0.96	0.00	3.80	0.97
1:25	20.8	1.2	288.6	12.60	3.05	625.0	0.94	0.36	313.6	0.97	0.02	10.83	0.96	0.00	3.81	0.97
1:26	20.1	1.2	287.7	12.56	3.04	626.2	0.94	0.35	314.0	0.97	0.02	10.84	0.96	0.00	3.81	0.97
1:27	19.4	1.2	287.1	12.53	3.04	627.4	0.94	0.33	314.3	0.97	0.01	10.86	0.96	0.00	3.81	0.97
1:28	18.6	1.1	285.2	12.43	3.02	628.5	0.95	0.32	314.6	0.97	0.01	10.87	0.96	0.00	3.82	0.97
1:29	18.0	1.1	283.1	12.34	3.00	629.6	0.95	0.31	314.9	0.97	0.01	10.88	0.97	0.00	3.82	0.98
1:30	17.4	1.0	282.2	12.29	2.99	630.6	0.95	0.29	315.2	0.97	0.01	10.90	0.97	0.00	3.82	0.98
1:31	16.8	1.0	281.9	12.28	2.99	631.6	0.95	0.28	315.5	0.97	0.01	10.91	0.97	0.00	3.83	0.98
1:32	16.3	1.0	280.9	12.23	2.97	632.6	0.95	0.27	315.8	0.98	0.01	10.92	0.97	0.00	3.83	0.98
1:33	15.8	0.9	279.3	12.15	2.96	633.5	0.95	0.26	316.0	0.98	0.01	10.93	0.97	0.00	3.83	0.98
1:34	15.3	0.9	278.4	12.11	2.95	634.5	0.95	0.26	316.3	0.98	0.01	10.94	0.97	0.00	3.83	0.98
1:35	14.8	0.9	278.3	12.10	2.95	635.3	0.96	0.25	316.6	0.98	0.01	10.95	0.97	0.00	3.84	0.98
1:36	14.4	0.9	278.1	12.09	2.95	636.2	0.96	0.24	316.8	0.98	0.01	10.96	0.97	0.00	3.84	0.98
1:37	14.0	0.8	277.2	12.04	2.94	637.0	0.96	0.23	317.0	0.98	0.01	10.97	0.97	0.00	3.84	0.98
1:38	13.3	0.8	277.5	12.05	2.94	637.8	0.96	0.22	317.2	0.98	0.01	10.98	0.97	0.00	3.84	0.98
1:39	13.2	0.8	280.5	12.18	2.97	638.6	0.96	0.22	317.5	0.98	0.01	10.99	0.98	0.00	3.85	0.98
1:40	12.7	0.8	278.6	12.09	2.96	639.4	0.96	0.21	317.7	0.98	0.01	11.00	0.98	0.00	3.85	0.98
1:41	12.4	0.7	280.8	12.18	2.98	640.1	0.96	0.21	317.9	0.98	0.01	11.01	0.98	0.00	3.85	0.98
1:42	12.1	0.7	276.7	12.00	2.94	640.9	0.96	0.20	318.1	0.98	0.01	11.02	0.98	0.00	3.85	0.98
1:43	11.6	0.7	276.4	11.98	2.93	641.6	0.96	0.19	318.3	0.98	0.01	11.03	0.98	0.00	3.86	0.98
1:44	11.5	0.7	274.0	11.87	2.91	642.2	0.97	0.19	318.5	0.98	0.01	11.04	0.98	0.00	3.86	0.99
1:45	11.0	0.7	271.6	11.76	2.89	642.9	0.97	0.18	318.6	0.98	0.01	11.04	0.98	0.00	3.86	0.99
1:46	10.9	0.7	270.2	11.70	2.87	643.6	0.97	0.18	318.8	0.98	0.01	11.05	0.98	0.00	3.86	0.99
1:47	10.5	0.6	267.8	11.59	2.85	644.2	0.97	0.17	319.0	0.99	0.01	11.06	0.98	0.00	3.86	0.99
1:48	10.4	0.6	267.8	11.58	2.85	644.8	0.97	0.17	319.2	0.99	0.01	11.07	0.98	0.00	3.86	0.99
1:49	10.1	0.6	265.1	11.46	2.82	645.4	0.97	0.16	319.3	0.99	0.01	11.07	0.98	0.00	3.87	0.99
1:50	9.9	0.6	265.0	11.45	2.82	646.0	0.97	0.16	319.5	0.99	0.01	11.08	0.98	0.00	3.87	0.99
1:51	9.6	0.6	262.6	11.35	2.80	646.6	0.97	0.15	319.6	0.99	0.01	11.09	0.98	0.00	3.87	0.99
1:52	9.5	0.6	262.8	11.35	2.80	647.2	0.97	0.15	319.8	0.99	0.01	11.09	0.98	0.00	3.87	0.99

Cevpredrazbremenilnikom. 30 min naliv, 50 suhuh dni				Ortof osfati (MG/L)	Amonijev dušik (MG/L)	Skup Vol [m <sup>3</sup> ]	kumulativen vol.	delna masa KPK [kg]	Skupna masa KPK[kg]	MFF -kpk	delna masa ortofos [kg]	Skupna masa ortofos [kg]	MFF - fosfor	delna masa amonij [kg]	Skupna masa amonij [kg]	0
Ura (h:mm)	Pretok (LPS)	Vol (m3)	KPK (MG/L)													1
1:53	9.3	0.6	260.6	11.25	2.78	647.7	0.97	0.14	319.9	0.99	0.01	11.10	0.99	0.00	3.87	0.99
1:54	9.1	0.5	260.3	11.24	2.77	648.3	0.98	0.14	320.1	0.99	0.01	11.11	0.99	0.00	3.87	0.99
1:55	8.9	0.5	258.3	11.15	2.75	648.8	0.98	0.14	320.2	0.99	0.01	11.11	0.99	0.00	3.88	0.99
1:56	8.7	0.5	258.0	11.13	2.75	649.3	0.98	0.13	320.3	0.99	0.01	11.12	0.99	0.00	3.88	0.99
1:57	8.6	0.5	256.4	11.06	2.73	649.8	0.98	0.13	320.5	0.99	0.01	11.12	0.99	0.00	3.88	0.99
1:58	8.4	0.5	255.7	11.02	2.73	650.3	0.98	0.13	320.6	0.99	0.01	11.13	0.99	0.00	3.88	0.99
1:59	8.2	0.5	254.2	10.96	2.71	650.8	0.98	0.13	320.7	0.99	0.01	11.13	0.99	0.00	3.88	0.99
2:00	8.1	0.5	253.6	10.93	2.71	651.3	0.98	0.12	320.8	0.99	0.01	11.14	0.99	0.00	3.88	0.99
2:01	8.0	0.5	252.4	10.87	2.69	651.8	0.98	0.12	321.0	0.99	0.01	11.14	0.99	0.00	3.88	0.99
2:02	7.8	0.5	251.1	10.81	2.68	652.3	0.98	0.12	321.1	0.99	0.01	11.15	0.99	0.00	3.89	0.99
2:03	7.6	0.5	248.3	10.69	2.65	652.7	0.98	0.11	321.2	0.99	0.00	11.15	0.99	0.00	3.89	0.99
2:04	7.4	0.4	245.7	10.57	2.62	653.2	0.98	0.11	321.3	0.99	0.00	11.16	0.99	0.00	3.89	0.99
2:05	7.3	0.4	243.9	10.49	2.61	653.6	0.98	0.11	321.4	0.99	0.00	11.16	0.99	0.00	3.89	0.99
2:06	7.1	0.4	242.7	10.44	2.59	654.0	0.98	0.10	321.5	0.99	0.00	11.17	0.99	0.00	3.89	0.99
2:07	7.1	0.4	241.0	10.37	2.58	654.4	0.98	0.10	321.6	0.99	0.00	11.17	0.99	0.00	3.89	0.99
2:08	6.9	0.4	238.9	10.27	2.55	654.9	0.98	0.10	321.7	0.99	0.00	11.18	0.99	0.00	3.89	0.99
2:09	6.6	0.4	237.0	10.19	2.53	655.3	0.99	0.09	321.8	0.99	0.00	11.18	0.99	0.00	3.89	0.99
2:10	6.7	0.4	235.6	10.12	2.52	655.7	0.99	0.10	321.9	0.99	0.00	11.19	0.99	0.00	3.89	0.99
2:11	6.5	0.4	234.3	10.07	2.51	656.1	0.99	0.09	322.0	0.99	0.00	11.19	0.99	0.00	3.90	0.99
2:12	6.3	0.4	232.6	9.99	2.49	656.4	0.99	0.09	322.1	0.99	0.00	11.19	0.99	0.00	3.90	1.00
2:13	6.5	0.4	230.7	9.91	2.47	656.8	0.99	0.09	322.2	0.99	0.00	11.20	0.99	0.00	3.90	1.00
2:14	6.1	0.4	228.9	9.83	2.45	657.2	0.99	0.08	322.3	1.00	0.00	11.20	0.99	0.00	3.90	1.00
2:15	6.1	0.4	227.4	9.77	2.43	657.5	0.99	0.08	322.3	1.00	0.00	11.20	0.99	0.00	3.90	1.00
2:16	6.1	0.4	225.8	9.70	2.42	657.9	0.99	0.08	322.4	1.00	0.00	11.21	0.99	0.00	3.90	1.00
2:17	5.7	0.3	224.1	9.62	2.40	658.3	0.99	0.08	322.5	1.00	0.00	11.21	0.99	0.00	3.90	1.00
2:18	6.1	0.4	222.2	9.53	2.38	658.6	0.99	0.08	322.6	1.00	0.00	11.21	1.00	0.00	3.90	1.00
2:19	6.0	0.4	220.5	9.46	2.36	659.0	0.99	0.08	322.7	1.00	0.00	11.22	1.00	0.00	3.90	1.00
2:20	5.5	0.3	218.9	9.39	2.34	659.3	0.99	0.07	322.7	1.00	0.00	11.22	1.00	0.00	3.90	1.00
2:21	4.9	0.3	217.3	9.32	2.33	659.6	0.99	0.06	322.8	1.00	0.00	11.22	1.00	0.00	3.90	1.00
2:22	5.7	0.3	214.4	9.19	2.30	660.0	0.99	0.07	322.9	1.00	0.00	11.23	1.00	0.00	3.90	1.00
2:23	5.5	0.3	212.8	9.13	2.28	660.3	0.99	0.07	322.9	1.00	0.00	11.23	1.00	0.00	3.91	1.00
2:24	4.8	0.3	210.6	9.03	2.26	660.6	0.99	0.06	323.0	1.00	0.00	11.23	1.00	0.00	3.91	1.00
2:25	5.7	0.3	208.4	8.93	2.23	660.9	0.99	0.07	323.1	1.00	0.00	11.24	1.00	0.00	3.91	1.00
2:26	7.2	0.4	206.2	8.83	2.21	661.3	0.99	0.09	323.2	1.00	0.00	11.24	1.00	0.00	3.91	1.00
2:27	5.8	0.3	204.2	8.75	2.19	661.7	1.00	0.07	323.2	1.00	0.00	11.24	1.00	0.00	3.91	1.00
2:28	6.7	0.4	201.4	8.63	2.16	662.1	1.00	0.08	323.3	1.00	0.00	11.25	1.00	0.00	3.91	1.00
2:29	6.4	0.4	199.4	8.54	2.14	662.5	1.00	0.08	323.4	1.00	0.00	11.25	1.00	0.00	3.91	1.00
2:30	7.9	0.5	192.0	8.22	2.06	662.9	1.00	0.09	323.5	1.00	0.00	11.25	1.00	0.00	3.91	1.00
2:31	8.3	0.5	190.3	8.15	2.04	663.4	1.00	0.09	323.6	1.00	0.00	11.26	1.00	0.00	3.91	1.00
2:32	4.8	0.3	188.7	8.08	2.03	663.7	1.00	0.05	323.6	1.00	0.00	11.26	1.00	0.00	3.91	1.00
2:33	4.9	0.3	187.2	8.01	2.01	664.0	1.00	0.06	323.7	1.00	0.00	11.26	1.00	0.00	3.91	1.00
2:34	4.7	0.3	187.5	8.03	2.01	664.3	1.00	0.05	323.7	1.00	0.00	11.26	1.00	0.00	3.91	1.00
2:35	4.2	0.3	186.8	7.99	2.01	664.6	1.00	0.05	323.8	1.00	0.00	11.27	1.00	0.00	3.91	1.00
2:36	5.2	0.3	184.8	7.91	1.98	664.9	1.00	0.06	323.8	1.00	0.00	11.27	1.00	0.00	3.91	1.00
volumen [m <sup>3</sup> ]																
665																
								KPK		fosfor		am onij				
								Vsota [kg]		11.27		3.91				
								EMC [mg/l]		16.95		5.89				

**E.5 MASNI PRVI VAL ZA ORTOFOSFATE IN AMONIJ S 30 MIN NALIVOM IN 50 SUHIH DNI**

## **PRILOGA F: SHEMA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMELJ**

F.1: IZSEK PRISPEVNEGA OBMOČJA IZ PROGRAMA SWMM, DNE 21.11.2015

F.2: SITUACIJA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMELJ

F.3: SITUACIJA KANALIZACIJSKEGA SISTEMA ČRNOMELJ - preliv

**F.1: IZSEK PRISPEVNEGA OBMOČJA IZ PROGRAMA SWMM, DNE 21.11.2015**

