

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Janja Mlakar

**Modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja
onesnaženosti padavinskih voda na
kanalizacijskih sistemih**

Diplomska naloga št.: 85

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Somentor:

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 21. 6. 2007

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **JANJA MLAKAR** izjavljam, da sem avtor-ica diplomske naloge z naslovom:
**»MODELIRANJE ZADRŽEVANJA IN RAZBREMENJEVANJA ONESNAŽENOSTI
PADAVINSKIH VODA NA KANALIZACIJSKIH SISTEMIH«.**

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

Ljubljana,

(podpis)

BIBLIOGRAFIJSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.2/.3(043.2)
Avtor:	Mlakar Janja
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Panjan
Somentor:	Dr. Mario Krzyk
Naslov:	Modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda na kanalizacijskih sistemih
Obseg in oprema:	84 str., 27 pregl., 19 sl., 2 en., 16 pril.
Ključne besede:	prvi val onesnaženja, kanalizacija, padavinski odtok, program SWMM, razbremenilnik. srednja koncentracija dogodka, onesnažila

Izvodček

V diplomski nalogi je obravnavano modeliranje zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda na kanalizacijskih sistemih s pomočjo računalniškega programa SWMM. Naloga je sestavljena iz dveh teoretičnih in enega praktičnega dela. Prvi del naloge opisuje računalniški program SWMM (Storm Water Management Model) ter njegovo simulacijo kvalitativnega padavinskega odtoka v kanalizacijskem sistemu. Drugi del naloge je namenjen ovrednotenju fenomena prvega vala onesnaženja, ki se pojavi na začetku padavinskega dogodka, in v katerem je moč opaziti visoke koncentracije onesnažil, ki so se nakopičile v času sušnega obdobja med padavinskimi dogodki. Prvi val razbremenjenih odtokov je zato potrebno zadržati in ga v celoti odvesti na čistilno napravo. Tretji del naloge je praktični primer. Na primeru KS Velenje-Šoštanj smo zmodelirali prvi val onesnaženja in kritični odtok, ki se pojavi pri 5-minutnem nalivu. Z umestitvijo predvidenega zadrževalnega bazena Šalek II v kanalizacijski sistem Šaleške doline, smo nato naredili še simulacijo zadrževanja onesnaženosti padavinske vode v kanalizacijskem sistemu. Primerjava modelov je potrdila, da takšna zadrževalno-redukcijska naprava sodi med najpomembnejše ukrepe za obravnavo padavinskega odtoka ter z zmanjšanjem učinkov prvega vala onesnaženja reducira negativne vplive na vodne recipient (Paka).

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 628.2/.3(043.2)
Author: Mlakar Janja
Supervisor: Assoc. Prof. Jože Panjan; Ph. D.
Cosupervisor: Dr. Mario Krzyk
Title: Retention-detention modelling of polluted stormwater runoff on sewage systems
Notes: 84 p., 27 tab., 19 fig., 2 eq., 16 ann.
Key words: first flush, sewage, stormwater, SWMM model, stormwater overflow, event mean concentration, pollutants

Abstract

The present theme handles retention-detention modelling of stormwater runoff on sewage system with help of computer program SWMM. The theme consist of two theoretical and a partical part. First part of theme presents the SWMM software (Storm Water Management Model) and its simulations of runoff quality in drainage system. Second part presents first flush effects, which occurs at the initial stage in stormwater runoff and carries with it concentrations of pollutants that have accumulated during the period of dry weather between storms, which could be one day or several months. First flush of stormwater is need to be retained and fully conveyed to the treatment plant. Third part of theme is a practical example. On sewage system was modelled first flushof stormwater and critical runoff, which occurs with 5-minutes storm. With foresaw of stormwater tank Šalek II in the sewage system of Šalek Valley we then did the simulation of retention polluted stormwater runoff. The comparison of the models confirm, that such a retention-detention device is one of the option for threating stormwater runoff and reducing first flush effects that can lessen adverse impacts on receiving waters.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu.

Zahvaljujem se tudi družini za vso pomoč in podporo pri študiju.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	RAČUNALNIŠKI PROGRAM SWMM¹	3
2.1	Model SWMM	5
2.2	Računske metode	7
2.2.1	Površinski odtok	7
2.2.2	Pronicanje	8
2.2.3	Podpovršinski tok	10
2.2.4	Taljenje snega	11
2.2.5	Transport vode po KS	12
2.2.6	Površinsko skladiščenje vode	14
2.2.7	Transport onesnažil	14
2.3	Simulacija vodne kvalitete s programom SWMM	15
2.3.1	Podaja posameznega onesnažila	15
2.3.2	Raba območja	16
2.3.3	Parametri kopičenja in izpiranja onesnažil	17
2.3.3.1	Osnovna stran (General)	17
2.3.3.2	Kopičenje posameznega onesnažila (Buildup)	18
2.3.3.3	Izpiranje posameznega onesnažila (Washoff)	21
2.3.4	Čiščenje (Treatment)	24
2.3.5	Določitev rabe območja	25
2.4	Izhodni podatki	26
2.5	Prednosti in slabosti programa SWMM	31
3	OVREDNOTENJE FENOMENA PRVEGA VALA ONESNAŽENJA	32
3.1	Določitev onesnažil, njihovega izpiranja in zadrževanja	33
3.2	Koncept prvega vala onesnaženja	34
3.3	Srednja koncentracija onesnažil EMC v prvem čistilnem valu	36
3.4	Variiranje vrednosti onesnažil in prvi val onesnaženja	38

3.5	Povezanost parametrov kvalitete vode	40
3.6	Možnosti zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda na KS	42
4	MODELIRANJE ONESNAŽENJA NA OBMOČJU KS VELENJE-ŠOŠTANJ	45
4.1	Predstavitev Mestne občine Velenje in občine Šoštanj	45
4.2	Vodotoki in jezera Šaleške doline	47
4.3	Varstvo voda v Šaleški dolini	49
4.4	Opis kanalizacijskega sistema Velenje – Šoštanj	50
4.5	Padavinski odtok v KS Velenje-Šoštanj	53
4.6	Določitev časa odтока s programom SWMM	55
4.7	Določitev parametrov za modeliranje kvalitete padavinskega odтока	56
4.8	Preliminarni izračun dimenzij ZBDV	62
4.9	Rezultati in ugotovitve	67
4.10	Komentar rezultatov	81
5	ZAKLJUČKI	83
	VIRI	85
	PRILOGE	89

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1:	SWMM-ovi vizualni in ne-vizualni elementi	6
Preglednica 2.2:	Pregled funkcij kopičenja onesnažil	21
Preglednica 2.3:	Pregled funkcij izpiranja onesnažil	23
Preglednica 2.4:	Primer časovno odvisne preglednice SWMM	28
Preglednica 3.1:	Standardna onesnažila v urbanem odtoku	33
Preglednica 4.1:	Onesnažila v urbanem odtoku, ki so obravnavana v nalogi	56
Preglednica 4.2:	Vhodne karakteristike posameznih onesnažil za proces kopičenja na rabi tal: (a) naselje ter (b) nerazvito območje za varianto I	59
Preglednica 4.3:	Vhodne karakteristike posameznih onesnažil za proces kopičenja na rabi tal: industrijsko območje za varianto I	60
Preglednica 4.4:	Vhodne karakteristike posameznih onesnažil za proces izpiranja na rabi tal: naselje za varianto I	60
Preglednica 4.5:	Vhodne karakteristike posameznih onesnažil za proces kopičenja na rabi tal: (a) nerazvito območje ter (b) industrijsko območje za varianto I	61
Preglednica 4.6:	Predvideni ZBDV, ki ležijo »gorvodno« od ZBDV Metleče_II	63
Preglednica 4.7:	Predvideni ZBDV, ki ležijo »gorvodno« od ZBDV Hudovernik	64
Preglednica 4.8:	Pregled kvalitativnih rezultatov v KS Velenje-Šoštanj po varianti I s povprečnimi vrednostmi vhodnih podatkov	68
Preglednica 4.9:	Pregled kvalitativnih rezultatov v KS Velenje-Šoštanj z umeščnim ZBDV Šalek_II po varianti I s povprečnimi vrednostmi vhodnih podatkov	68
Preglednica 4.10:	Kvalitativni rezultati KS Velenje-Šoštanj po varianti II – prvi val (tri-kratne vrednosti vhodnih podatkov)	69
Preglednica 4.11:	Kvalitativni rezultati KS Velenje-Šoštanj z umestitvijo ZBDV Šalek_II po varianti II – prvi val (tri-kratne vrednosti vhodnih podatkov)	69
Preglednica 4.12:	Koncentracijske vrednosti onesnažil v razbremenilnih ceveh po varianti I – brez ZBDV Šalek_II	71

Preglednica 4.13:	Koncentracijske vrednosti onesnažil v razbremenilnih ceveh po varianti II – brez ZBDV Šalek_II	72
Preglednica 4.14:	Povzetek kopičenja onesnažil na iztokih v odvodnik po varianti I – brez ZBDV Šalek_II	73
Preglednica 4.15:	Povzetek kopičenja onesnažil na iztokih v odvodnik po varianti II – brez ZBDV Šalek_II	74
Preglednica 4.16:	Koncentracije onesnažil v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5' nalivu za varianti I in II	75
Preglednica 4.17:	Koncentracije onesnažil v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5' nalivu ter prisotnem ZBDV Šalek_II za varianti I in II	75
Preglednica 4.18:	Koncentracije onesnažil v razbremenilni cevi 4441 pri 5' nalivu za varianti I in II	78
Preglednica 4.19:	Koncentracije onesnažil v razbremenilni cevi 4441 pri 5' nalivu ter prisotnem ZBDV Šalek_II za varianti I in II	78
Preglednica 4.20:	Koncentracije onesnažil na prelivu ZBDV Šalek_II pri 5' nalivu za varianti I in II	78
Preglednica 4.21:	Koncentracije onesnažil na iztoku_34 pri 5' nalivu za varianti I in II	79
Preglednica 4.22:	Maksimalne vrednosti padavinskega odtoka in koncentracije KPK pri 5' nalivu na RVV Metleče_II za varianti I in II	80

KAZALO SLIK

Slika 1:	Uporabniški vmesnik (verzija 5.0.006a)	4
Slika 2:	Primer fizičnih objektov v delovnem oknu, ki sestavljajo KS	5
Slika 2.1:	Pogovorno okno rabe tal – podstran: splošno	18
Slika 2.2:	Pogovorno okno rabe tal – podstran: kopičenje onesnažil	19
Slika 2.3:	Pogovorno okno rabe tal – podstran: izpiranje onesnažil	22
Slika 2.4:	Primer zapisa funkcije stopnje odstranjevanja onesnažil	24
Slika 2.5:	Pogovorno okno za določitev rabe tal določenega območja	26
Slika 2.7:	Primer izrisa časovnega grafa za suspendirane snovi v RVV Metleče_II	29
Slika 2.8:	Primer izrisa vzdolžnega profila z vrisano gladino odtoka oz. višino polnitve cevi v profile 1299-1306	29
Slika 2.9:	Primer izrisa grafa, ki prikazuje odvisnost suspendiranih snovi (SS) od kemijske potrebe po kisiku (KPK)	30
Slika 4.1:	Izsek iz modela SWMM s simulacijo 5` naliva (prikaz prostora umestitve ZBDV Šalek_II)	66
Slika 4.2:	Izsek iz modela SWMM s simulacijo 5` naliva (RVV in ZBDV Šalek_II)	67
Slika 4.3:	Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5` nalivu po varianti I	76
Slika 4.4:	Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5` nalivu po varianti I	76
Slika 4.5:	Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5` nalivu ter prisotnem ZBDV Šalek_II po varianti I	77
Slika 4.6:	Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5` nalivu ter prisotnem ZBDV Šalek_II po varianti I	77
Slika 4.7:	Koncentracije KPK v odvisnosti od SS na iztoku_34 v odvodnik Paka pri 5` nalivu po varianti I	79
Slika 4.8:	Padavinski odtok ter koncentracija KPK pri 5-minutnem nalivu na RVV Metleče_II po varianti I	80
Slika 4.9:	Padavinski odtok ter koncentracija KPK pri 5-minutnem nalivu na RVV Metleče_II ter prisotnem ZBDV Šalek_II po varianti I	81

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ACAD	Autodesk Computer Assisted Design
ATV	Abwassertechnische Vereinigung
BPK	biokemijska potreba po kisiku
BPK5	biokemijska potreba po kisiku v petih dneh
CČN	centralna čistilna naprava
Cd	Kadmij
Cr	Krom
Cu	Baker
CČN	centralna čistilna naprava
DZB	deževni zadrževalni bazen
EMC	Event Mean Concentration - srednja koncentracija dogodka
Fe	Železo
GIS	geografski informacijski sistem
KB	kombinirani bazen
KPK	Kemijska potreba po kisiku
KS	kanalizacijski sistem
MFF	razmerje masnega prvega vala
Ni	Nikelj
O&M*	Olja in maščobe
Pb	Svinec
PE	populacijska enota
QQD	The Quantity-Quality Simulator
RDV	razbremenilnik deževnih vod
RVV	razbremenilnik visokih vod
SS	Suspendirane snovi
STORM	Corps of Engineers Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model
SWMM	Storm Water Management Model
ZBDV	zadrževalni bazen deževnih vod
Zn	Cink

SLOVAR STROKOVNIH BESED IN TUJK

Komunalna odpadna voda je voda, ki nastaja v bivalnem okolju gospodinjstev zaradi rabe v sanitarnih prostorih, pri kuhanju, pranju in drugih gospodinskih opravilih. Komunalna odpadna voda je tudi voda, ki nastaja v objektih v javni rabi, v proizvodnih in storitvenih dejavnostih, in je po nastanku in sestavi podobna vodi po uporabi v gospodinjstvih. Komunalna odpadna voda je tudi tehnološka odpadna voda, katere povprečni dnevni pretok ne presega 15 m³/dan in letna količina ne presega 4.000 m³, hkrati pa letno obremenjevanje zaradi odvajanja te vode ne presega 50 PE in letna količina nobene od nevarnih snovi ne presega količine za nevarne snovi, določene v prilogi 2. uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 35/96).

Tehnološka odpadna voda je tehnološka odpadna voda, kot jo določa uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda iz virov onesnaževanja (Uradni list RS, št. 35/96). Tehnološka odpadna voda je voda, ki kot stranski produkt nastaja v industriji, obrti, obrti podobni gospodarski ali kmetijski dejavnosti in nima več neposredne uporabne vrednosti za nadaljnji tehnološki proces. Za tehnološko odpadno vodo se šteje tudi zmes tehnološke odpadne vode s komunalno ali padavinsko odpadno vodo oz. z obema, če se pomešane po skupnem iztoku odvajajo v kanalizacijo ali v vodotok. Tehnološka odpadna voda je tudi hladilna voda in izcedna voda, ki odteka iz objektov in naprav za predelavo, skladiščenje in odlaganje odpadkov.

Padavinska voda je voda, ki je posledica padavin in odteka s streh in iz utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin neposredno ali po kanalizaciji v vodotok ali v tla.

Tuja voda je voda, katere izvor ni vir onesnaženja (npr. površinski vodotoki, podtalnica, voda iz drenažnih zajetij) in vdira v kanalizacijski sistem na mestu poškodb ali ob namernem priklopu.

1 Vir strokovnih besed: Odlok o odvajanju...Brezovica, 2005.

Ločeni kanalizacijski sistem je kanalizacijsko omrežje, po katerem se komunalna, tehnološka ali mešanica komunalne in tehnološke odpadne vode odvaja ločeno od padavinske vode.

Mešani kanalizacijski sistem je kanalizacijsko omrežje, po katerem se komunalna, tehnološka ali mešanica komunalne in tehnološke odpadne vode odvaja skupaj s padavinsko odpadno vodo.

Pretok odpadne vode je količina odpadne vode, ki odteka v javno kanalizacijo in je lahko izražena kot povprečni pretok v m^3/leto , m^3/mesec , m^3/dan , m^3/uro ali kot trenutni pretok v $\text{m}^3/\text{sekundo}$.

Čistilna naprava je naprava za obdelavo odpadne vode, ki zmanjšuje ali odpravlja njeno onesnaženost.

Komunalna čistilna naprava je kombinacija mehanske in biološke čistilne naprave in je namenjena čiščenju komunalne odpadne vode.

1 UVOD

Komunalna dejavnost, med katere spada tudi odvod in čiščenje odpadne in padavinske vode je izrazito družbena dejavnost. Eden večjih problemov, ki se pojavlja v zadnjem času kot posledica večjega števila prebivalstva in sodobnega potrošniškega načina življenja je ekološki problem onesnaževanja voda, tako vodotokov kot podtalnice.

Dežne kaplje padajo na zemljo in pridejo v stik z dvorišči, parkirišči, cestami in z drugimi utrjenimi površinami. Pri tem nastaja padavinska odpadna voda, ki je različno onesnažena z organskimi in mineralnimi snovmi, ki so delno neraztopljene in raztopljene v vodi. Po slovenski zakonodaji se mora odpadna voda zajeti in pred izpustom v okolje očistiti do predpisanih mejnih vrednosti.

Ob intenzivnih nalivih je kritičen prvi val onesnaženja, ki se je na tleh nakopičilo v času sušnega obdobja. Padavinska voda je lahko onesnažena s peskom, različnimi odpadki, izločki živali, cestnim prometom, olji, soljo (pozimi), obrusi avtomobilskih gum, ipd. Raziskave potrjujejo občasne visoke koncentracije težkih kovin, predvsem svinca, kroma in cinka ob avtocestah, možna je tudi bakterijska oporečnost padavinske vode.

Na mešanih kanalskih sistemih večji del padavinske vode razbremenimo v bližje odvodnike. Vsak vodotok ima omejeno samočistilno sposobnost, prav tako pa imajo vse čistilne naprave na mešanih kanalskih sistemih omejeno hidravlično in biokemijsko obremenitev. Zaščita vodotokov in večja ter enakomernejša obremenitev čistilnih naprav se da v veliki meri izboljšati z zadrževalnimi bazeni. Zadrževalni bazeni pa so v urbaniziranih območjih, kjer v večji meri prevladujejo mešani kanalizacijski sistemi (v nadaljevanje KS), v ekološkem pogledu bistvenega pomena. Obravnavala in modelirala sem kakovost odtoka, ki se pojavi pri 5` padavinskega dogodka, na razbremenilnikih in ZBDV na konkretnem primeru KS Velenje-Šoštanj. Na območju Velenje-Šoštanj je večje število razbremenilnikov in s tem razbremenjenih izpustov v vodotoke in jezera Šaleške doline. Odvodniki, v našem primeru reka Paka, v deževnih obdobjih prejmejo velike količine vode, s tem pa tudi velike koncentracije spranih onesnažil s površja in splaknjenih blatnih usedlin iz KS. Zanimale nas bodo predvsem koncentracije onesnažil ob nalivih po daljšemu sušnemu obdobju oz. obdobju brez padavin.

Najprej pa sem se seznanila z računalniškim programom SWMM in njegovimi lastnostmi, delovanjem in zmožnostmi, modeliranjem prvega vala onesnaženja ter kritičnega odtoka. Možnosti zadrževanja onesnaženih padavinskih voda v KS pa sem spoznala predvsem preko ATV predpisov.

Prvi val onesnaženja oz. čistilni val, ki nastane na začetku padavinskega odtoka, je torej potrebno zadržati. Po končanem padavinskem dogodku oz. takrat, ko se odtočne razmere v KS umirijo, pa je potrebno odvesti onesnaženo vodo na čistilno napravo (v nadaljevanju ČN), kjer se biološko očisti pred izpustom v odvodnik (receptient). To nalogo opravljajo zadrževalni bazeni. Takšen bazen ima nalogo zadržati prvi val onesnaženja, ki je količinsko majhen, a močno onesnažen, v primeru večjih količin prejete vode pa razliko med prejeto in zadržano količino to delno (mehansko) očiščeno preliti v odvodnik. Kvaliteta prelite vode v odvodnik pa mora v takšnih okoliščinah biti v dopustnih mejah.

2 RAČUNALNIŠKI PROGRAM SWMM¹

Program SWMM (Storm Water Management Model) je bil razvit leta 1971² in predstavlja prvi kompleksen model za analizo urbane odvodnje. Razvoj modela poteka že celih 35 let. Nastala verzija 5 (v nadaljevanju SWMM) sestoji iz računskega orodja napisanega v programskem jeziku C in iz uporabniškega grafičnega vmesnika za Microsoft Windows-ov operacijski sistem napisanega v programskem jeziku Delphi.

SWMM je kompleksen računalniški model za analizo kvalitetnih in kvantitetnih problemov povezanih z urbano odvodnjo. V programu sta združena hidrološki in dinamični model sistema. Hidrološki model je namenjen simuliranju odtoka iz prispevnih ploskev, hidravlični model pa dinamično simulira dogajanje na omrežju. Uporablja se za kratkoročne (enkratni padavinski dogodki) in dolgoročne (daljše obdobje) simulacije kvantitativnega in kvalitativnega odtoka. SWMM simulira dogajanje od začetka naliva, ko prispevna območja sprejmejo padavine (dež, sneg), do iztoka vode iz KS ali odprtega kanala. Ogled rezultatov nam ponuja v oblikah tekstnega formata (poročilo), časovno odvisnih grafov in razpredelnic (time-series table, graf), izrisa prečnih prerezov z gladino vode v odvisnosti od časa, statistik, barvnih situacij itd.

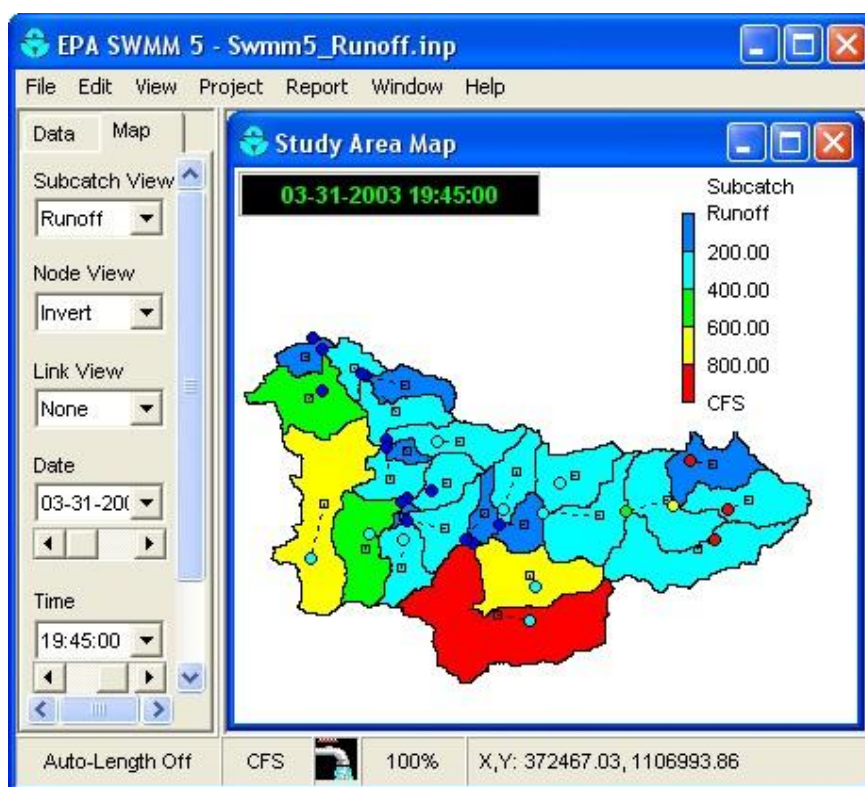
Program računa in simulira različne hidrološke in hidravlične procese, kot so: časovno odvisni nalivi, izhlapevanje (evaporacijo) stoječih površinskih vod, zbiranje (akumulacija) in taljenje snega, depresijsko prestrezanje naliva (depresijski volumen), infiltracijo padavin v prepustno nenasičeno zemljino, precejanje infiltrirane vode v podtalne plasti, vpliv podtalnice na KS, površinski tok po prispevnem območju, padavinski površinski odtok, sušni odtok v ločeni ali mešani kanalizaciji, transport vode po sistemu cevi, korit, bazenov, razbremenilnih objektov, črpališč, odprtih, prelivov in izlivov ter akumulacijo vode v sistemu.

¹Besedilo v tem poglavju je povzeto po: Rossman, 2005a.

²Verzija je razvilo podjetje Metcalf & Eddy Inc.

Velika pozornost pa je v programu namenjena tudi kvalitativnim procesom, kot so: splakovanje raznih onesnažil iz prispevnega območja med in po nalivu, vtok odpadne sanitarne vode in poljubnih zunanjih pritokov v katerikoli točki sistema, transport onesnažil po ločenem ali mešanem sistemu, bilanca onesnažil v odpadnih in deževnih vodah, sedimentacija in transport usedlin ter znižanje koncentracije onesnažil zaradi samočiščenja sistema in čiščenja v bazenih.

Program SWMM lahko uporabljamo za namene projektiranja in dimenzioniranja KS neomejene velikosti z neomejenim številom kanalizacijskih elementov poljubnih oblik s poljubnimi značilnostmi, kontrolo in pregled preobremenjenih in predimenzioniranih delov obstoječega omrežja, kontrolo in pregled kvalitativnih procesov v KS, kontrolo in pregled poplavne varnosti odprtih kanal.



Slika 1: Uporabniški grafični vmesnik

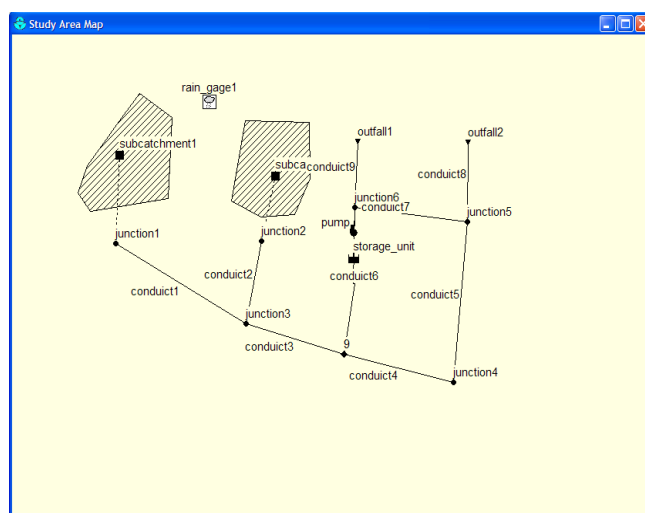
2.1 Model SWMM

Model SWMM izraža dogajanje v KS kot niz vodnih in materialnih odtokov med posameznimi okoliškimi programskimi bloki. Glavni programski bloki so:

- atmosferski blok,
- površinski blok,
- podzemni blok,
- transportni blok.

V nadaljevanju naloge sem se osredotočila zlasti na transportni blok, ki sprejme rezultate površinskega in podzemnega bloka v obliki površinskega odtoka, podtalnice, sušnega odtoka ali uporabniško definiranih hidrografov ter v nadaljevanju simulira transport odtoka in onesnažil skozi sistem elementov KS (korita, cevi, črpalke, razbremenilni objekti, jaški, zasuni, prelive, zadrževalni in čistilni bazeni) do iztokov ali čistilnih naprav. Za vnos podatkov elementov SWMM uporablja vozliščne in vezne objekte (Nodes, Links). Za vzpostavitev SWMM modela ni nujna vključitev vseh štirih glavnih blokov.

Model SWMM v osnovi »gradijo« vizualni in ne-vizualni elementi. Vizualni objekti so fizični elementi KS, ki so lahko prikazani v delovnem oknu (Study Area Map) uporabniškega grafičnega vmesnika programa SWMM.



Slika 2: Primer fizičnih objektov v delovnem oknu, ki sestavljajo KS

K vizualnim elementom prištevamo padavine, prispevna območja, razbremenilnike, zadrževalnike, kanale, črpališča, regulatorje pretoka (glej preglednico 2.1).

Poleg fizičnih objektov, ki so lahko prikazani v delovnem oknu uporabniškega grafičnega vmesnika, program SWMM koristi tudi ne-vizualne podatkovne elemente, ki dodatno opisujejo procese in karakteristike vizualnih elementov.

Preglednica 2.1: SWMM-ovi vizualni in ne-vizualni elementi

Vizualni elementi	Ne-vizualni elementi
Padavine (<i>Rain Gages</i>)	Podnebje (<i>Climatology</i>)
Prispevna območja (<i>Subcatchments</i>)	Temperatura (<i>Temperature</i>)
Vozliščni spoji (<i>Junctions</i>)	Izhlapevanje (<i>Evaporation</i>)
Iztočna vozlišča (<i>Outfalls</i>)	Hitrost vetra (<i>Wind Speed</i>)
Razbremenilna vozlišča (<i>Flow Dividers</i>)	Taljenje snega (<i>Snowmelt</i>)
Akumulacijska vozlišča (<i>Storage Units</i>)	Površinska redukcija (<i>Areal Depletion</i>)
Kanali (<i>Conduits</i>)	Snežni parametri (<i>Snow Packs</i>)
Črpališča (<i>Pumps</i>)	Podzemni objekti (<i>Aquifers</i>)
Regulatorji pretoka (<i>Flow Regulators</i>)	Prečni prerezi (<i>Transects</i>)
Prelivi (<i>Weirs</i>)	Zunanji vtoki (<i>External Inflows</i>)
Standardne odprtine (<i>Orifices</i>)	Kontrolni stavki (<i>Control Rules</i>)
Nestandardne odprtine (<i>Outlets</i>)	Onesnažila (<i>Pollutants</i>)
	Raba območja (<i>Land Uses</i>)
	Čiščenje (<i>Treatment</i>)
	Krivulje (<i>Curves</i>)
	Časovno odvisne tabele (<i>Time Series</i>)
	Časovni vzorec (<i>Time Pattern</i>)

2.2 Računske metode

SWMM je časovno odvisni simulacijski model, ki uporablja načela ohranitve mase, energije in momenta. Z uporabo različnih metod preračuna količinskega in kvalitativnega odtoka za naslednje fizikalne procese:

- površinski odtok
- infiltracija
- podtalnica
- taljenje snega
- transport toka
- površinsko zbiranje vode
- transport onesnažil

2.2.1 Površinski odtok

Vsako prispevno območje obravnava SWMM kot rezervoar, padavine ter vse morebitne odtoke iz višje ležečih območij pa kot pritoke v ta »rezervoar«. Kot iztoki so obravnavani izhlapevanje, infiltracija in površinski odtok. Kapaciteta »rezervoarja« je največji možni depresijski volumen. Površinski odtok na enoto površine Q se prične takrat, ko je višina vode v »rezervoarju« večja od največje možne depresijske višine h_d . V tem primeru program računa površinski odtok z Manningovo enačbo:

$$Q = k \cdot \frac{\sqrt{I}}{n_G} \cdot S \cdot R^{2/3} = k \cdot \frac{\sqrt{I}}{n_G} \cdot \frac{S^{5/3}}{O^{2/3}} \quad (\text{Huber in Dickinson, 1992, str.421})$$

Oznake v zgornji enačbi:

k - koeficient (1.0 za metrične enote in 1.49 za ameriške enote)

I - nagnjenost terena [-]

n_G - Manningov koeficient hrapavosti [-]

S - prerez omočenega oboda [m^2]

R - hidravlični radij [m]

O - omočeni obod [m]

Višino vode h nad prispevnim območjem program nenehno preračunava s časom po enačbi vodne bilance:

$$\frac{dh}{dt} = i^* - \frac{Q}{A} \quad (\text{Huber in Dickinson, 1992, str.421})$$

Oznake v zgornji enačbi:

i^* - presežek padavin = intenziteta padavin – izhlapevanje in pronicanje [cm/h]

A - površina prispevnega območja [m²]

2.2.2 Pronicanje

Proces precejanja padavin skozi prepustno površje v vrhnje nenasičene sloje zemljine imenujemo pronicanje oz. infiltracija. V programu lahko izbiramo med tremi metodami izračuna infiltracije:

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

Horton-ova metoda temelji na opazovanjih in izkušnjah ter uporablja naslednjo enačbo:

$$f_s = f_e + (f_0 - f_e) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (\text{Bischof, 1998, str.19})$$

Oznake v zgornji enačbi:

f_s - mera infiltracije [cm/h],

f_e - minimalna mera infiltracije pri času $t = \infty$ [cm/h],

f_0 - maksimalna mera infiltracije pri času $t = 0$ [cm/h],

f_s - Hortonova konstanta – tipične vrednosti znašajo med 2 in 7 (Rossman, L.A. 2005)[1/h],

t - pretečen čas od začetka naliva [h].

Vrednosti minimalnih in maksimalnih mer infiltracije za različne vrste zemljin se nahajajo v priročniku SWMM 5 (Rossman, 2005) in v Bischof-ovem (1998) delu.

Green-Ampt-ova metoda za izračun infiltracije predvideva mejo (črto) med spodnjo plastjo zemljine z neko mero vlažnosti in zgornjo plastjo zemljine, ki je zaradi infiltracije nasičena. SWMM uporablja Mein-Larson-ovo formulacijo¹ dvostopenjskega modela te metode. Prva stopnja predstavlja čas, ko še površina zemljine (zgornja plast) ni nasičena ($F < F_s$):

$$f = i \quad (\text{Huber in Dickinson, 1992, str.415})$$

$$F_s = \begin{cases} \frac{(\theta_s - \theta_i) \cdot \psi}{-f/K_s - 1}; i \geq K_s \\ \text{racun_ni_potreben}; i \leq K_s \end{cases} \quad (\text{Huber in Dickinson, 1992, str.415})$$

Ko postane površina nasičena z infiltrirano vodo ($F \geq F_s$), se prične druga stopnja modela, program pa prične uporabljati naslednjo enačbo:

$$f = K_s \cdot \left(1 + \frac{(\theta_s - \theta_i) \cdot \psi}{F}\right) \quad (\text{Huber in Dickinson, 1992, str.415})$$

Oznake v zgornjih enačbah:

- f - mera infiltracije [cm/h],
- i - intenziteta padavin [cm/h],
- F - skupna količina infiltrirane vode [cm],
- F_s - količina infiltrirane vode, ki povzroči površinsko nasičenost [cm],
- θ_s - končna (saturirana) vlažnost površine zemljine [cm/cm],
- θ_i - začetna vlažnost površine zemljine [cm/cm],
- K_s - saturirana hidravlična prevodnost [cm],
- Ψ - povprečni kapilarni srk na meji med nasičeno in nenasičeno plastjo zemljine [cm].

Vrednosti K_s in Ψ za različne vrste zemljin lahko najdemo v priročniku SWMM 5 (Rossman, 2005a).

¹Formulacija znana pod imenom "Constant flux Green-Ampt model" (Williams, Ouyang, Chen, 1998).

Tretja metoda za izračun infiltracije je SCS (»Soil Conservation Service«) metoda. Za izračun uporablja naslednje enačbe:

$$f = P - R$$

$$R = \begin{cases} \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S}; & \dots \dots \dots P \geq 0,2 \cdot S \\ 0; & \dots \dots \dots P \leq 0,2 \cdot S \end{cases} \quad (\text{Williams, Ouyang, Chen, 1998, str.9})$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Oznake v zgornjih enačbah:

- f - mera infiltracije [cm/h],
 P - padavine [cm/h],
 R - efektivne padavine (površinski odtok) [cm/h],
 S - retenzijski parameter [cm/h],
 CN - koeficient (»curve number«), katerega vrednosti (v odvisnosti od rabe območja) se nahajajo v priročniku SWMM 5 (Rossman, 2005a) [-].

2.2.3 Podpovršinski tok

Podpovršinski tok je v SWMM definiran kot dvoslojni model. Zgornji sloj je nenasičen (nesaturiran) z določeno mero vlažnosti, medtem ko je spodnji sloj nasičen (saturiran) s konstantno 100 % mero vlažnosti.

Program uporablja za podzemni vodoravni tok vode Q_{gw} naslednjo enačbo:

$$Q_{gw} = A1 \cdot (H_{gw} - E)^{B1} - A2 \cdot (H_{sw} - E)^{B2} + A3 \cdot H_{gw} \cdot H_{sw} \quad (\text{Rossman, 2005a, str.171})$$

Oznake v enačbi:

H_{gw} - kota gladine podtalnice [m],

H_{sw} - kota gladine vode v obravnavanem vozlišču [m],

E - kota dna podzemnega vodonosnika ali obravnavanega vozlišča [m],

A_i, B_i - koeficienti, ki določajo mero pretoka med podzemnim vodonosnikom in vozliščem.

2.2.4 Taljenje snega

Taljenje snega je eden izmed procesov, ki lahko povzroči površinski odtok. Čeprav je količinski odtok ponavadi nizek, lahko po mrzlih zimskih dneh, ko še ni prisotnega taljenja (medtem pa se kopičijo onesnažila), povzroči znaten odtok onesnažil v KS.

V vsakem časovnem koraku odtoka so narejeni naslednji izračuni:

- temperatura zraka in koeficient taljenja sta nadgrajena v odvisnosti od kolendarskega datuma,
- vse padavine, ki padejo kot sneg so dodane v snežni blok,
- vsa presežena debelina snega na površini je prerazporejena na podlagi odstranitvenih parametrov, ki veljajo za določen blok,
- količina snega, ki se stali v tekočo obliko je določena za dve različni situaciji: z in brez pojava dežja.

Mera taljenja snega TS [inch/h] ob prisotnosti padanja dežja:

$$TS = (T_z - 32) \cdot (0,001167 + 1,6155 \cdot 10^{-5} \cdot P_z \cdot u + 0,007 \cdot i) + 0,051 \cdot u \cdot (P_{NZ} - 0,18)$$

(Povzeto po: Huber in Dickinson, 1992, str.365)

Oznake v zgornji enačbi:

T_z - temperatura zraka [$^{\circ}$ F],

P_z - povprečni zračni pritisk (odv. od nadm. višine, geogr. dolžine in širine) [inch·H_g],

P_{NZ} - pritisk zasičenega zraka (odv. od nadm. višine, geogr. dolžine in širine) [inch·H_g],

u - povprečna hitrost vetra 0,5 m nad površino snežne odeje [mi/h],

i - intenziteta naliva [inch/h].

V obdobjih z dežjem mero taljenja snega povečujejo povečanje temperature zraka, hitrost vetra ter intenziteta dežja.

Mera taljenja snega TS [mm/h] v času brez dežja:

$$TS = k_{TS} \cdot (T_Z - T_0) \quad (\text{Huber in Dickinson, 1992, str. 336 in Rossman, 2005a, str. 185})$$

Oznake v zgornji enačbi:

T_Z - temperatura zraka [$^{\circ}\text{C}$],

T_0 - temperatura zraka, pri kateri se prične proces taljenja snega [$^{\circ}\text{C}$],

k_{TS} - koeficient taljenja snega [mm/h/ $^{\circ}\text{C}$].

V obdobjih brez dežja se mera taljenja snega enači s produktom koeficienta taljenja ter razlike med temperaturo zraka ter temperaturo zraka, pri kateri se prične proces taljenja snega.

2.2.5 Transport vode po KS

Za račun transporta vode po kanalih in ceveh lahko v programu SWMM izbiramo med tremi različnimi vrstami tokov:

- dinamični tok (tok z dinamičnim valom),
- kinematični tok (tok s kinematičnim valom),
- stalni tok.

Z uporabo **dinamičnega vala** za transport vode po kanalih rešuje SWMM popolne Saint Venant-ove enačbe za enodimenzijski nestalni neenakomerni tok. Te enačbe sestojijo iz kontinuitetne in momentne enačbe za kanale, ki jih SWMM rešuje z uporabo Picard-ove iteracije (metoda zaporednih približkov), in iz prostorninske kontinuitetne enačbe za vozlišča. Za reševanje transporta vode med kanalom in vozliščem uporablja SWMM dodatno kontinuitetno enačbo za vozliščne spoje, ki povezujejo dva ali več kanalov med seboj. SWMM predvideva zvezno gladino vode med gladino v kanalu in gladino v vozlišču, ki je povezan s kanalom (izjema je pojav prostega pada v primeru, da je kota dna cevi višja od gladine vode v jašku).

S pomočjo teh enačb (kontinuitetnih in momentne) lahko program simulira dinamični tok pod tlakom, povratni tok, skladiščenje vode v KS, iztok vode iz KS (preplavitev), tok skozi zankaste povezave in tok izpod zapornic, skozi bazene, razbremenilnike, črpališča in odprtine ter preko prelivov. Za izračun ponavadi uporabimo krajše časovne korake (5 do 60 s).

Transport vode z uporabo **kinematičnega vala** rešuje SWMM s poenostavljeno obliko momentne enačbe za posamezni kanal. Pri tem upošteva, da je padec gladine vode v kanalu enak padcu dna kanala. Največji možni pretok skozi kanal je rezultat Manning-ove enačbe za polni prerez cevi:

$$Q = k \cdot \frac{\sqrt{I}}{n_g} \cdot A \cdot R^{2/3} = k \cdot \frac{\sqrt{I}}{n_g} \cdot \frac{A^{5/3}}{O^{2/3}} \quad (\text{Rossman, 2005a, str.39})$$

Oznake v zgornji enačbi:

I - padec kanala [m/m],

O - omočeni obod [m].

Program z uporabo kinematičnega vala ne more simulirati povratnega toka in toka pod pritiskom, prav tako je omejen na nerazvejane povezave (na vozlišče sta lahko vezana le dva kanala: vtočni in iztočni). Numerično stabilnost lahko ohranja z daljšimi časovnimi koraki (5 do 15 min).

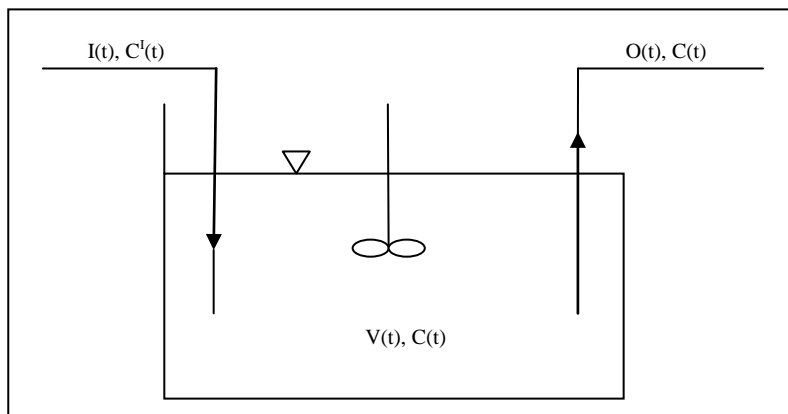
Uporaba **stalnega toka** predstavlja najenostavnejšo metodo transporta vode. SWMM predvideva, da je tok ves čas stalen in enakomeren. Tako za transport vode po kanalu prenese vtočni hidrograf iz gorvodnega konca kanala do dolvodnega konca brez zadrževanja ali spremembe v obliki. Za preračun pretoka uporablja Manning-ovo enačbo (glej kinematični val). Program lahko z uporabo stalnega toka simulira le stalni enakomerni tok skozi nerazvejane povezave. Takšen model lahko uporabljamo le za predhodne analize dolgoročnih simulacij. Za račun transporta vode skozi črpališča, odprtine in prelive uporablja SWMM bolj enostavne enačbe. Ti elementi so v SWMM definirani kot povezava med dvema vozliščema. Tok skozi takšno povezavo je določen kot funkcija višine gladine vode na koncu povezave.

2.2.6 Površinsko skladiščenje vode

V primeru, da pri transportu vode skozi vozliščni spoj (jašek) pretok preseže zmogljivost dolvodnega dela KS (višina gladine vode v jašku preseže njegovo globino), presežena voda izteče iz jaška, ta količina vode pa je izgubljena. Program ponuja tudi možnost skladiščenja presežene vode nad jaškom, ta pa se po isti poti vrne nazaj v sistem, takoj ko kapaciteta sistema to dopušča. Pri uporabi kinematičnega vala in stalnega toka se presežena količina vode skladiščena kot odvečni volumen. Pri uporabi dinamičnega vala pa SWMM predvideva skladiščenje presežene količine na uporabniško določeni površini nad jaškom. Uporabnik lahko točno določi površine, na katerih bi se v primeru presežene vode iz jaška ta tudi zbirala. Pri odprtih kanalih so to lahko travniki ali poplavne površine, ki so namenjene prav temu. Pri zaprtih kanalih (ceveh) so to lahko npr. kar parkirišča, na katerih so ti jaški, lahko pa tudi preusmerino vodo navzdol po cesti, ulici do naslednjega možnega vtoka v KS.

2.2.7 Transport onesnažil

Pri transportu onesnažil skozi kanal se ta v SWMM obnaša kot popolnoma premešan pretočni reaktor (»continuously stirred tank reactor«), čeprav, realno gledano, kanal po obliki bolj spominja na cevni reaktor (»plug flow reactor«). Prav tako za transport onesnažil v SWMM delujejo tudi akumulacijska vozlišča. Za vsa ostala vozlišča, za katere SWMM predvideva, da nimajo volumna, je v kvalitativnem pogledu iztok iz vozlišča enostavno mešanica koncentracije onesnažil vseh vtokov v vozlišče



Shema popolnoma premešanega pretočnega reaktorja (Huber in Dickinson, 1992, str.393)

Osnovna enačba masne bilance popolnoma premešanega pretočnega reaktorja:

$$\frac{d(VC)}{dt} = I(t) \cdot C^I(t) - O(t) \cdot C(t) - K \cdot C(t) \cdot V(t) + L(t)$$

(Povzeto po: Huber in Dickinson, 1992, str.394)

Oznake v zgornji enačbi:

- V - prostornina reaktorja (kanala ali akumulacijskega vozlišča) [l],
- C^I - koncentracija onesnažila v vtoku [mg/l],
- C - koncentracija onesnažila v reaktorju in iztoku [mg/l],
- I - vtok [l/s],
- O - iztok [l/s],
- t - čas [s],
- K - konstanta razpada onesnažila [s^{-1}],
- L - zaloga onesnažil v reaktorju (akumulaciji) [mg].

2.3 Simulacija vodne kvalitete s programom SWMM

Program ima možnost analize samega kopičenja onesnažil, kot tudi izpiranje, transport in obravnavo kakršnega koli števila onesnažil. Predpostaviti oz. podati pa moramo sledeče:

1. onesnažilo, ki bo analizirano,
2. definirati različne kategorije rabe tal, kjer se ustvarja podano onesnažilo,
3. podati parametre funkcije kopičenja in izpiranja, ki določijo kvaliteto odtoka iz posamezne kategorije rabe tal, ter
4. določiti mešanico rabe tal za posamezno prispevno območje.

2.3.1 Podaja posameznega onesnažila

Podaja posameznega onesnažila vključuje:

- ime onesnažila ter njegove koncentracijske enote (mg/l, μ g/l,...)
- koncentracijo onesnažila v padavinah
- koncentracijo onesnažila v podzemnih vodah
- koncentracijo onesnažila v direktni infiltraciji

S programom lahko določimo t.i. ko-polutante (ang. Co-pollutants), kar pomeni naslednje: onesnažilo X lahko ima ko-polutant Y, zato je pri vsebovani koncentracijski vrednosti X-a v odtoku prisotna tudi določena fiksna frakcija koncentracijske vrednosti Y-a.

Kopičenje in izpiranje onesnažil iz prispevne površine je določeno s kategorijami rabe območja.

2.3.2 Raba območja

Z rabo tal ovrednotimo razvojno aktivnost ali površinske karakteristike samega prispevnega območja. Primeri rabe tal so urbana, komercialna, industrijska in neurbana. K površinskim karakteristikam pa prištevamo strešine, asfalt, travnike, neutrjeno ozemlje,... Raba območja je v programu uporabljena le kot spremenljivka pri izračunu kopičenja onesnažil in vrednosti izpiranja znotraj samih prispevnih površin.

Uporabnik programa ima veliko možnosti za definiranje rabe tal, kot npr.. določitev mešane rabe tal za posamezno prispevno površino, kar se odraža v vseh rabah tal znotraj enega območja z enakimi prepustnimi in neprepustnimi karakteristikami, ali pa kot določitev enotne rabe tal za posamezno površino z različnim "paketom" prepustnih in neprepustnih karakteristik, ki odražajo samo klasifikacijo.

Za vsako rabo območja lahko določimo procese, kot so:

- kopičenje onesnažil na površju,
- spiranje onesnažil s površja,
- spiranje povoznih površin.

Količina nakopičenih onesnažil je funkcija števila zaporednih dni brez padavin. Spiranje onesnažil nastopi po procesu padanja padavin. Proces spiranja povoznih površin (čiščenje cestišča) reducira količino določenih nakopičenih onesnažil med padavinskim obdobjem.

2.3.3 Parametri kopičenja in izpiranja onesnažil

S pogovornim oknom rabe tal definiramo kategorijo rabe tal za neko območje ter kopičenje posameznega onesnažila in karakteristike izpiranja. Samo okno vsebuje tri podstrani karakteristik:

- **osnovna stran** (*General*): (določitev imena rabe tal ter karakteristik spiranja povoznih površin),
- **kopičenje posameznega onesnažila** (*Buildup*): (določitev vrednosti, pri kateri se pojavi kopičenje onesnažil),
- **izpiranje posameznega onesnažila** (*Washoff*): (določitev vrednosti, pri kateri se pojavi izpiranje onesnažil).

V nadaljevanju so podrobneje predstavljeni opisi pogovornega okna karakteristik kopičenja in izpiranja onesnažil.

2.3.3.1 Osnovna stran (*General*)

Osnovna stran nam omogoča definiranje:

Imena rabe tal (*Land Use Name*) - ime, ki opiše določeno rabo tal,

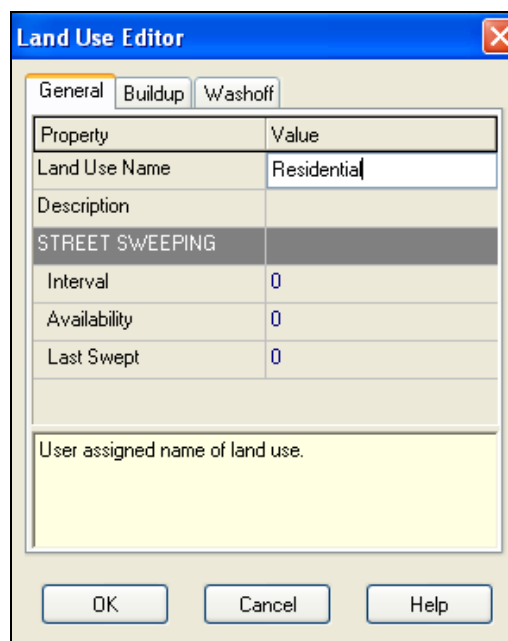
Opisa (*Description*) - komentar ali podroben opis rabe tal,

Intervala čiščenja (*Street Sweeping Interval*) - dnevi med čiščenjem cestišč znotraj posamezne rabe tal,

Uporabnost čiščenja (*Street Sweeping Availability*) - frakcija nakopičenih onesnažil, ki je na voljo za odstranitev s pometanjem,

Zadnje čiščenje (*Last Swept*) - število dni, ki je preteklo od zadnjega čiščenja do začetka simulacije.

Če se v simulaciji spiranje povoznih površin ne pojavi, se le ta okenca pustijo prazna.



Slika 2.1: Pogovorno okno rabe tal – podstran: splošno

2.3.3.2 Kopičenje posameznega onesnažila (*Buildup*)

Ta stran opiše lastnosti, ki so povezane s kopičenjem onesnažil na posamezni prispevni površini med sušnim obdobjem in omogoča definiranje:

Onesnažila (*Pollutant*) - izbira onesnažila, katerega lastnosti kopičenja bodo v nadaljnjem definirane,

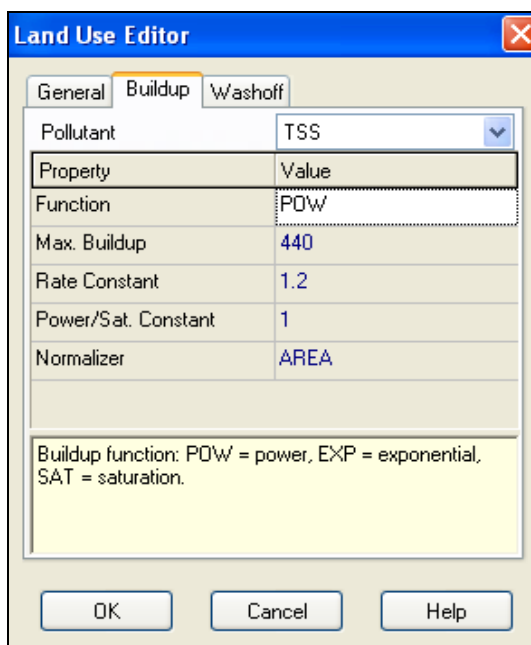
Funkcije (*Function*) - Izbira tipa funkcije kopičenja (Pow/Exp/Sat), ki so opisane v nadaljevanju,

Maksimalnega kopičenja (*Max. Buildup*) - maksimalno možno kopičenje onesnažil, ki se lahko pojavi [kg/ha],

Časovne konstante (*Rate Constant*) - časovna konstanta, ki nadzoruje vrednost kopičenja. Njena vrednost je odvisna od izbire tipa funkcije; »Power« [masa/dnevi], »Ekspontial« [1/dnevi],

Konstante zasičenja (*Power/Sat. Constant*) - časovni eksponent za kopičenje (»Power funkcija«) ali polovična saturacijska konstanta (dnevi) (»Saturation funkcijo«),

Normalizator (Normalizer) - spremenljivka, do katere se normalizira samo kopičenje na enoto površine [ha].



Slika 2.2: Pogovorno okno rabe tal – podstran: kopičenje onesnažil

V primeru večjega števila onesnažil mora uporabnik za vsakega od teh določiti njegove karakteristike kopičenja.

Za vsako posamezno onesnažilo je potrebno določiti tudi t.i. začetno kopičenje, ki je izprano med padavinskim dogodkom. Le to je lahko določeno na dva možna načina:

- določitev števila predhodnjih sušnih dni,
- direktna določitev začetne nakopičene mase na vsakem prispevnem območju.

Kopičenje onesnažil, ki se akumulirajo znotraj posamezne prispevne površine je opisano kot masa [kg] na enoto prispevne površine za metrične enote.

Količina nakopičenih onesnažil je tako funkcija predhodnega sušnega obdobja in je lahko izračunana z izborom ene od spodnjih funkcij:

- Funkcija maksimalne koncentracije onesnažil (Power function)

Kopičenje onesnažil (B) se akumulira v odvisnosti od časa [t], ki raste do neke vrednosti, do nekega maksimalnega limita,

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

Kjer pomeni: C_1 = maksimalno možno kopičenje [kg/ha], C_2 = konstantna vrednost kopičenja, C_3 = časovni eksponent.

- Eksponentna funkcija kopičenja (Exponential function)

Kopičenje sledi eksponentni rasti krivulje, ki se asimptotično približuje maksimalnemu limitu,

$$B = C_1(1 - e^{-C_2 t})$$

Kjer pomeni: C_1 = maksimalno možno kopičenje [kg/ha], C_2 = konstantna vrednost kopičenja (1/dnevi).

- Funkcija nasičenja (Saturation function)

Kopičenje se prične z linearno vrednostjo, ki se s časom odklanja dokler ni dosežena vrednost saturacije,

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

Kjer pomeni: C_1 = maksimalno možno kopičenje [kg/ha], C_2 = polovična saturacijska konstanta (dnevi, ki so potrebni za doseg polovične vrednosti maksimalnega kopičenja).

Preglednica 2.2: Pregled funkcij kopičenja onesnažil (t predstavlja št. predhodnih sušnih dni)

Ime	Funkcija	Enačba
POW	Max. koncentracije onesnažila - (<i>Power</i>)	$Min (C1, C2*t^{C3})$
EXP	Eksponentna – (<i>Exponential</i>)	$C1*(1 - exp(-C2*t))$
SAT	Nasičenja – (<i>Saturation</i>)	$C1*t/(C3 + t)$

2.3.3.3 Izpiranje posameznega onesnažila (*Washoff*)

Ta stran opiše lastnosti, ki so povezane s samim izpiranjem onesnažil na posamezni površini med padavinskim obdobjem.

Onesnažilo (*Pollutant*) - izbira onesnažila, katerega lastnosti izpiranja bodo v nadaljnje definirane,

Funkcija izpiranja (*Function*) - Izbira tipa funkcije izpiranja, ki so opisane v nadaljevanju:

- NONE – ni izpiranja
- EXP – eksponentno izpiranje
- RC – vrednostna krivulja
- EMC – srednje koncentracijska vrednost izpiranja,

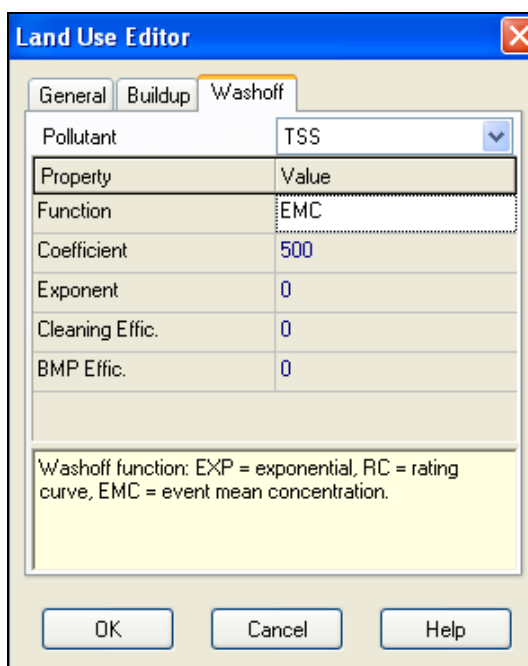
Koeficient (*Coefficient*) - vrednost C1 v enačbah zgoraj navedenih funkcij,

Eksponent (*Exponent*) - eksponent uporabljen v enačbah eksponentne funkcije in funkciji vrednostne krivulje,

Učinkovitost čiščenja (*Cleaning efficiency*) - učinkovitost odstranitve onesnažila s čiščenjem cestišč (procentualno),

»BMP« učinkovitost (*BMP Efficiency*) - Učinkovitost odstranitve (procentualno) v povezavi z Best Management Practice, ki bi se naj izvajala. Modelirano nakopičeno izpiranje v vsakem časovnem koraku je reducirano s to količino.

V primeru večjega števila onesnažil mora uporabnik tako kot pri sami določitvi kopičenja, za vsakega od teh določiti njegove karakteristike izpiranja.



Slika 2.3: Pogovorno okno rabe tal – podstran: izpiranje onesnažil

Samo izpiranje onesnažil iz posamezne kategorije rabe tal se pojavi med padavinskim obdobjem in je lahko opisano kot:

- Eksponentno izpiranje (*Exponential Washoff*)

Izprana onesnažila (W – [mg, μ g/h]) so proporcionalna produktu odtoka, ki se veča do neke vrednosti in vrednosti manjkajočih nakopičenih onesnažil,

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

Kjer pomeni: C_1 = koeficient izpiranja, C_2 = eksponent izpiranja, q = odtočna vrednost na površino [mm/h], B = nakopičena onesnažila [kg/ha].

- Izpiranje po vrednostni krivulji (*Rating Curve Washoff*)

Vrednost izprane mase onesnažil W je proporcionalna z odtočno vrednostjo, ki raste do neke meje,

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

Kjer pomeni: C_1 = koeficient izpiranja, C_2 = eksponent izpiranja, Q = odtočna vrednost.

- Srednja koncentracijska vrednost (*Event Mean Concentration*)

Gre za poseben primer krivulje vrednosti odtoka, kjer je eksponent enak 1 in koeficient C_1 predstavlja koncentracijo izpranih onesnažil [mg/l]. (za podroben opis glej podpoglavje 3.3 EMC in onesnažila v prvem čistilnem valu)

Potrebno je opozoriti, da se v vseh primerih kopičenje posledično zmanjša s pričetkom procesa izpiranja, kakor se tudi izpiranje prekine ko nakopičenih snovi ni več na voljo.

Preglednica 2.3: Pregled funkcij izpiranja onesnažil

Ime	Funkcija	Enačba	Enote
EXP	Eksponentna – (<i>Exponential</i>)	$C1(odtok)^{C2}$ (<i>kopičenje</i>)	Izprana masa/h
RC	Vrednostna krivulja – (<i>Rating Curve</i>)	$C1(odtok)^{C2}$	Izprana masa/s
EMC	Srednja koncentracijska vrednost – (<i>Event Mean Concentration</i>)	$C1$	Izprana masa/l

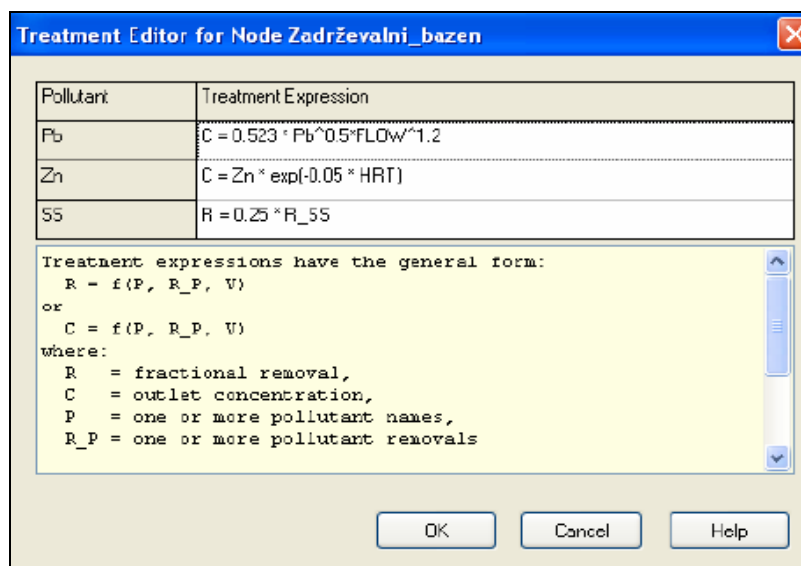
Vsaka funkcija izpiranja izraža rezultate v svojih enotah. Pri eksponentni funkciji je odtok izražen v višini padavin na časovno enoto [mm/h], medtem ko je pri vrednostni krivulji odvisno, katere merske enote je uporabnik programa določil na začetku dela s programom (CFS, CMS, itd.). Parameter kopičenja pri eksponentni funkciji predstavlja »tekoče« kopičenje na prispevnih površinah v masnih enotah. Enote v katerih je izražen koeficient $C1$ je [mm/h]^{-C2} na uro. Pri vrednostni krivulji je enota koeficienta $C1$ odvisna od izbranih merskih enot. Funkcija srednje koncentracijske vrednosti pa ima izražen koeficient $C1$ vedno v koncentracijskih enotah.

2.3.4 Čiščenje (*Treatment*)

Čiščenje določa v SWMM stopnjo odstranjevanja določenega onesnažila v kateremkoli vozlišču. Funkcijo stopnje odstranjevanja onesnažila določi uporabnik programa sam z matematičnim izrazom oz. kompletom funkcij.

S kompletom funkcij je mišljen kakršnikoli dobro zasnovan izraz, ki vsebuje:

- koncentracijo onesnažil vseh tokov, ki vstopijo v nek jašek,... (uporaba imena, ki predstavlja koncentracijo nekega onesnažila)
- odstranitev ostalih onesnažil (uporaba predpone R_ pred onesnažilom, kar predstavlja odstranitev)
- katerokoli od naslednjih spremenljivk:
 - **Tok** za vrednost toka v sam jašek [l/s],
 - **Globino** za globino vode nad vozliščem [m],
 - **Območje** za prispevno območje, ki pripada nekemu jašku [m²],
 - **DT** za časovne korake izračuna [s],
 - **HRT** za hidravlični zadrževalni čas [h].



Slika 2.4: Primer zapisa funkcije stopnje odstranjevanja onesnažil

Rezultat t.i. čiščenja je lahko koncentracija (C) ali pa frakcijska odstranitev (R). Kot primer prvo-stopenjskega izraza za BPK, ki izteka iz zadrževalnega bazena je:

- **koncentracija**

primer: prvo-stopenjska funkcija

$$C = BPK \cdot \exp(-0.05 \cdot HRT) \quad \text{ali}$$

- **odstranitev onesnažil v sledih**

primer: odstranitev svinca predstavlja 20% odstranitve SS

$$R = 0.75 \cdot R_{SS}$$

Samo čiščenje je lahko uporabljeno na vsakršni kategoriji rabe tal za periodično zmanjšanje nakopičenih onesnažil. Parametri, ki opišejo čiščenje so:

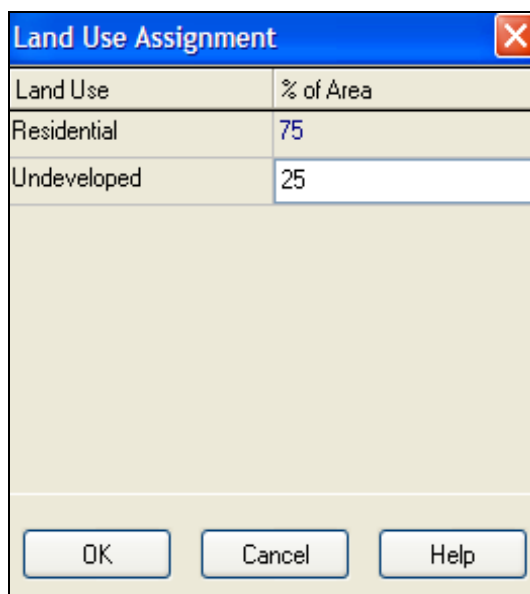
- čas med zaporednimi čiščenji,
- čas, ki je preteklo od zadnjega čiščenja do začetka simulacije,
- frakcije vseh nakopičenih onesnažil, ki so na voljo za samo redukcijo s čiščenjem,
- frakcije posameznih nakopičenih onesnažil, ki so reducirana s čiščenjem.

Poleg površinskega odtoka, SWMM omogoča uporabniku programa tudi vnos onesnažil v stičiščih na kanalizacijskem sistemu preko direktnega vtoka, sušnega vtoka podzemnega toka in padavinsko odvisne infiltracije.

2.3.5 Določitev rabe območja

Pogovorno okno za določitev rabe območja (*Land Use Assignment Editor*).

Njegov namen je opisati rabo tal prispevnega območja, ki služi za samo simulacijo vodne kvalitete. Procent določene rabe tal, ki pokriva neko prispevno območje, se poda zraven reprezentativne kategorije rabe tal. Če določena raba območja ni prisotna na prispevnem območju, se to polje pusti prazno.



Slika 2.5: Pogovorno okno za določitev rabe tal določenega območja

2.4 Izhodni podatki

Izhodne podatke oz. rezultate simulacij lahko odčitamo iz poročil, časovno odvisnih preglednic, statistik, ali kot prikaz v obliki različnih vrst grafov in barvnih situacij v delovnem oknu.

Poročilo je tekstovni prikaz podatkov, v katerem so izpisani vhodni podatki, čas računa simulacije, morebitne napake, ki bi se pojavile pri simulaciji, opis delovanja kontrolnih stavkov, povzetek kvantitativnega in kvalitativnega odtoka, vrednosti masnih kontinuitet, imena vozlišč z največjimi vrednostmi kontinuitet, imena vozlišč ali kanalov z največjimi vrednostmi numerične napake ter različnimi rezultati za vsako prispevno območje (vsota padavin, dotokov, odtokov, izhlapevanj, infiltracije), vozliščni spoj (srednja in največja višina vode, največja kota gladine, skupna prostornina preplavljene vode, časi pojavov konic, akumulacijsko vozlišče (srednja in največja prostornina vode, največji iztok, časi pojavov konic) in kanale (največji pretok, največja hitrost, časi pojavov konic, čas pojava pretoka, odstotek časa pojava kritičnega pretoka).

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 (Build 5.0.009)			

*****	*****	Volume	Depth
Analysis Options	Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	*****	-----	-----
Flow Units CMS	Total Precipitation	0.074	0.190
Infiltration Method GREEN_AMPT	Evaporation Loss	0.000	0.000
Flow Routing Method DYNWAVE	Infiltration Loss	0.043	0.110
Starting Date MAR-14-2006 00:00:00	Surface Runoff	0.034	0.088
Ending Date MAR-16-2006 01:15:00	Final Surface Storage	0.006	0.014
Antecedent Dry Days 50.0	Continuity Error (%)	-11.545	
Report Time Step 00:01:00			
Wet Time Step 01:00:00			
Dry Time Step 01:00:00			

Slika 2.6: Primer poročila SWMM

Za vsak časovni korak so v časovno odvisnih preglednicah izpisani rezultati različnih lastnosti za določen element ali pa rezultati določene lastnosti večih elementov (za primerjavo med elementi). Tako so uporabniku lahko izpisani za:

- prispevna območja: podatki, kot so padavine, višina snežne odeje, izgube (ponikanje z izhlapevanjem), površinski odtok, pretok podtalnice v KS, kota podtalnice in koncentracije spranih onesnažil,
- kanale: pretok in njegova hitrost, srednja globina vode, kapaciteta polnitve, koncentracije onesnažil,
- vozlišča: globina vode, kota gladine vode, prostornina akumulacije, lokalni vtoki, vsota vtokov, površinsko skladiščenje vode, koncentracije onesnažil po morebitnem čiščenju.

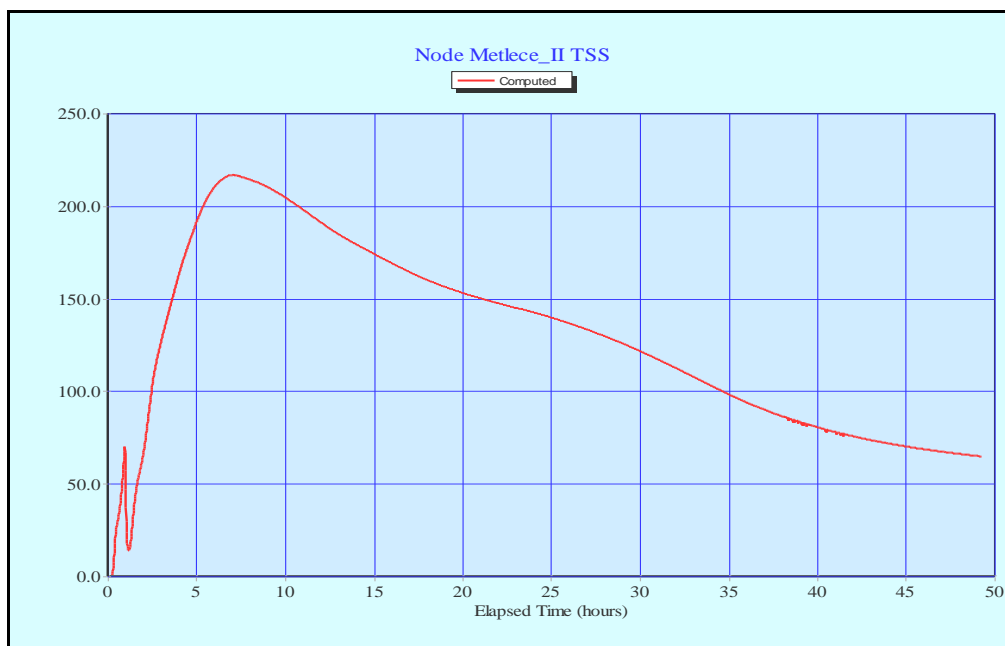
Program ponuja tudi možnost izpisa časovno odvisne preglednice za celoten sistem s podatki, kot so temperature, vsota padavin, višina snežne odeje, srednje izgube, skupni odtok, skupni sušni, direktni in zunanji vtok, skupni vtok podtalnice, skupno površinsko skladiščenje in skupna prostornina akumulacij.

Preglednica 2.4: Primer časovno odvisne preglednice SWMM za RVV Metleče_II

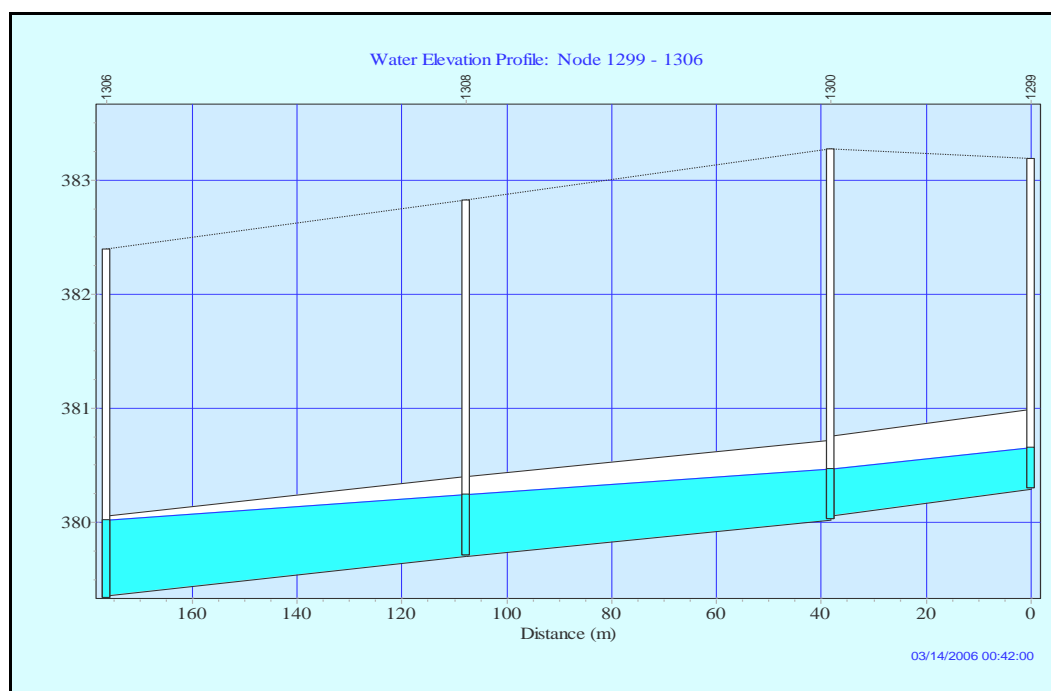
Tabela – RVV Metlece_II					
		Globina	Skupni dotok	TSS	KPK
Dnevi	Ure	(m)	(m³/s)	(mg/L)	(mg/L)
0	0:01:00	0	0	0	0
0	0:02:00	0	0	0	0
0	0:03:00	0	0	0	0
0	0:04:00	0	0	0	0
0	0:05:00	0	0	0	0
0	0:06:00	0	0	0	0
0	0:07:00	0	0	0	0
0	0:08:00	0	0	0	0
0	0:09:00	0	0	0	0
0	0:10:00	0	0	0	0
0	0:11:00	0	0	0	0
0	0:12:00	0.03	0	0.01	0.01
0	0:13:00	0.67	0.09	0.07	0.07
0	0:14:00	0.88	0.31	0.27	0.28

Vse izhodne podatke, naštetih zgoraj za časovno odvisne preglednice, nam SWMM ponuja tudi v obliki časovno odvisnih grafov, ki prikazujejo neko lastnost določenega elementa v odvisnosti od časa. Prav tako so uporabniku na voljo grafi, ki prikazujejo neko lastnost elementa v odvisnosti od poljubne lastnosti poljubnega elementa.

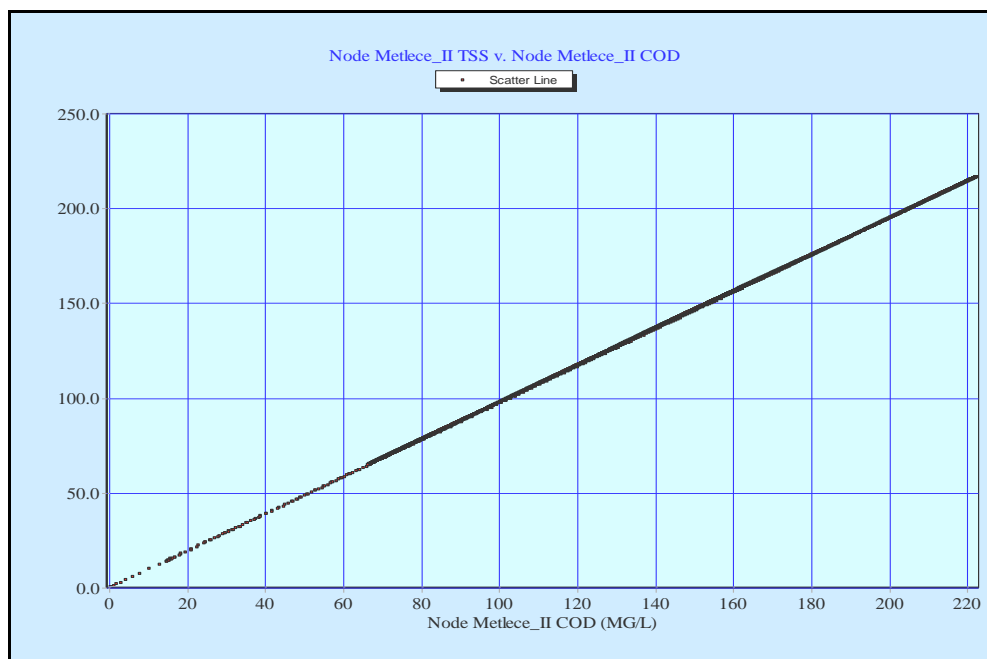
SWMM lahko za vsak časovni korak izriše tudi vzdolžni prerez z gladino vode oz. morebitno tlačno črto za vsak kanal, kolektor ali cev. Za izris vzdolžnega prereza kolektorja nam program ponuja možnost izbire vsakega kanala posebej ali pa določitev imena začetnega in končnega vozlišča, vsi kanali, ki tvorijo povezavo med tema dvema vozliščema pa so vključeni samodejno.



Slika 2.7: Primer izrisa časovnega grafa za suspendirane snovi v RVV Metleče_II



Slika 2.8: Primer izrisa vzdolžnega profila z vrisano gladino odtoka oz. višino polnitve cevi v profile 1299-1306



Slika 2.9: Primer izrisa grafa, ki prikazuje odvisnost suspendiranih snovi (SS) od kemijske potrebe po kisiku (KPK)

Izhodne podatke, kot tudi nekatere vhodne podatke (površina, nagnjenost, širina in nepropustnost prispevnega območja, padec in hrapavost kanala, kota dna jaška) v grafični obliki lahko v SWMM pregledujemo tudi na sami situaciji KS v delovnem oknu programa. Prispevna območja, kanali in vozlišča postanejo za izbran podatek v časovnem koraku obarvani glede na nastavitve legend.

SWMM lako izpiše tudi statistično poročilo iz časovno odvisnih rezultatov simulacije. Za izbran element program izračuna statistične vrednosti vsakega dogodka (minimum, maksimum, povprečje) in statistične vrednosti za celoten niz dogodkov (minimum, maksimum, povprečje, standardna deviacija, odklonski koeficient, frekvenca dogodkov).

2.5 Prednosti in slabosti programa SWMM

V nadaljevanju so predstavljene prednosti in slabosti programa SWMM, ki jih je bilo moč zaslediti pri sami uporabi le tega.

Prednosti programa SWMM:

- 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:

- 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 večih serij podatkov,
- rezultati simulacije zasedejo ogromno prostora na disku.

3 OVREDNOTENJE FENOMENA PRVEGA VALA ONESNAŽENJA

S pojmom prvi val onesnaženja pojmujeemo začetno obdobje v padavinskem odtoku, med katerim so koncentracije onesnažil mnogo večje kot med kasnejšimi obdobji samega odtoka (Deletic, Maksumovic 1998, Gupta, Saul, 1996). S prvim valom onesnaženja se tako lahko vnese zelo velika količina onesnažil v odvodnik. Zato je padavinski odtok ovrednoten kot eden izmed vodilnih povzročiteljev kvalitativne degradacije odvodnika. Prvi val se torej pokaže kot snovni koncentracijski vrh na samem začetku padavinskega dogodka, ki variira v odvisnosti od vrste onesnažila med posameznim padavinskim dogodkom, oz. v odvisnosti od posameznega prispevnega območja med različnimi padavinskimi dogodki. Rečemo lahko, da na prvi val onesnaženja vplivajo številni parametri kot so prispevno območje, intenziteta padavin, neprepustnost območja, predhodno sušno obdobje, itd..

S pojmom prvi val onesnaženja ponavadi pojmujeemo padavinski dogodek in je lahko opisan kot koncentracijski prvi val ali masni prvi val. Koncentracijski prvi val se pojavi, ko ima prvi odtok višje koncentracije v primerjavi z odtokom, ki sledi. Masni prvi val pa je odvisen od dotoka in se pojavi, ko sta tako koncentracijski kot začetni odtočni val visoka nasproti masni emisijski vrednosti v kasnejšem pretoku.

Koncentracijski prvi val se v raziskavah dokaj pogosto pojavi, medtem ko se masni prvi val redko ovrednoti, z manj pogostimi opazovanji in nižjimi magnitudami. To je v povezavi s samo naravo padavinskega odtoka, ki ima v samem začetku padavinskega dogodka nižjo tokovno vrednost kot v sredini samega dogodka. Zato naj bi bila vrednost masne emisije na sredini dogodka večja kot pa na samem začetku kljub nižji koncentraciji na sredini dogodka. Ta koncept lahko uporabimo za vsako vrsto onesnažila ali katerikoli parameter kvalitete voda.

3.1 Določitev onesnažil, njihovega izpiranja in zadrževanja

Čeprav je v urbanem odtoku moč najti veliko število različnih onesnažil, se je pomembno osredotočiti na določene, ki so tipični predstavniki in indikatorji drugih še prisotnih onesnažil. V spodnji preglednici so podana standardna onesnažila v urbanem odtoku:

Preglednica 3.1: Standardna onesnažila v urbanem odtoku

SS	Suspendirane snovi (TSS)
BPK	Biološka potreba po kisiku (BOD)
KPK	Kemijska potreba po kisiku (KPK)
P	Fosfor
TKN	Skupni Kjedadhl-ov dušik
NO ₂ , NO ₃	Nitrit, nitrat
Cu	Baker
Pb	Svinec
Zn	Cink

Ta izbor bazira v ZDA na Nacionalnem urbanem odtočnem programu USEPA (1983), in naj bi nakazoval na onesnažila, ki so prisotna tako v točkovnih, kot netočkovnih virih onesnaženja.

Primarna mera za določitev količine onesnaženja je sama koncentracija, C , ki je definirana kot:

$$C = \frac{\text{kolicina(masa)onesnažila}}{\text{volumen_tekocine}} \quad (\text{River Engineering Division, 2000, pogl. 15.2.2})$$

Koncentracija onesnažil se ponavadi izraža v mg/l ali g/m³. Lahko pa je koncentracija definirana tudi za spremenljivke, ki se ne izražajo v masnih enotah. Takšen primer so bakterije, ki so merjene številčno na enoto volumna.

Vpliv onesnažil na vodno telo je lahko povzroččen tako s koncentracijo kot tudi s kopičenjem. Kopičenje lahko pomeni bodisi celotno maso M v določenem volumnu V

$$M = C \cdot V,$$

(River Engineering Division, 2000, pogl. 15.2.2)

bodisi kot masni tok L (masa/čas), ki teče z vrednostjo Q (volumen/čas) – pretok snovi ali snovni pretok:

$$L = C \cdot Q$$

(River Engineering Division, 2000, pogl. 15.2.2)

3.2 Koncept prvega vala onesnaženja

Koncept prvega vala je lahko tudi apliciran za posamezna padavinska obdobja. V določenih območjih sveta se deževje pojavi v določenih obdobjih. Za primer lahko vzamemo padavine v Los Angeles-u, ki se praviloma pojavljajo od novembra do marca, pri čemer imata januar in februar največ padavin. Dolgo sušno obdobje od aprila do oktobra povzroči nabiranje onesnažil. Prvi večji naliv, ki se pojavi v nekem okolju v t.i. deževnem obdobju splakne skoncentrirana onesnažila s tvorbo večjega izliva. Ta pojav imenujemo prvi val onesnaženja.



Slika: Prikaz prostega avtocestnega iztoka z močno koncentriranim iztokom onesnažil – prvim valom onesnaženja (<http://www.ent.ohiou.edu/~yumingsu/indexbpjt.htm>)

Sam termin »*prvi val*« se lahko uporablja kot:

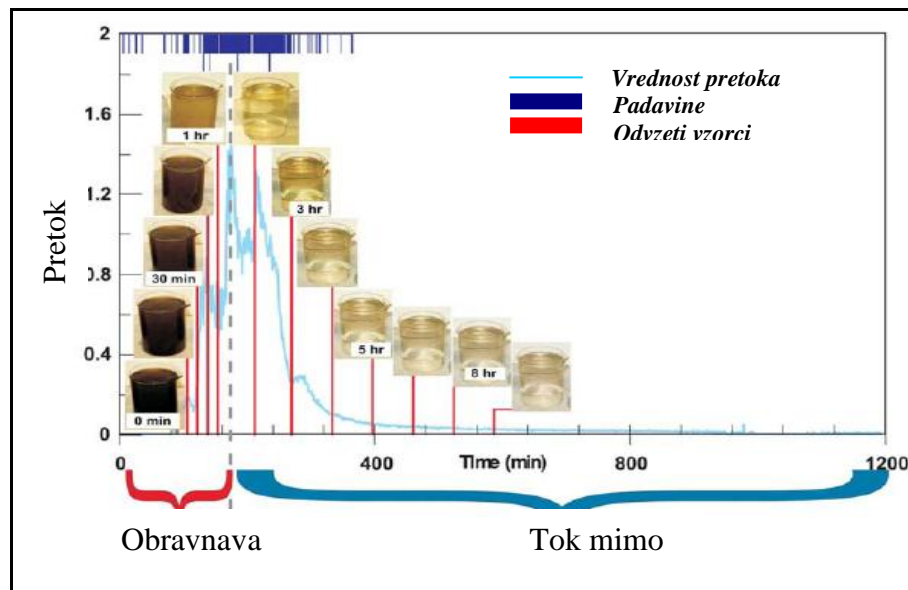
1. **Prvi val** : Večji masni izliv ali izliv višjih koncentracij v začetnem obdobju padavinskega dogodka. Termin je lahko apliciran za vsako vrsto onesnažila.
2. **Sezonski prvi val**: Večji masni izliv ali izliv višjih koncentracij prvega deževnega deževnega dogodka ali pa prvih nekaj dogodkov v deževnem obdobju.

Obstoj prvega vala onesnaženja je definiran po različnih kriterijih. Thornton in Saul (1987) definirata prvi val kot začetno periodo padavinskega toka med padavinskim dogodkom. Geiger (1987) definira prvi val kot pojav ko je naklonski kot normalizirane kumulativne masne emisije izrisane nasproti normaliziranega kumulativnega volumna večji od 45 %. Kasnejši raziskovalci so za definiranje prvega vala prav tako uporabili slednjo definicijo z uporabo le 25 % odtočnega volumna. Deletic (1998) je uporabil statistične metode ki vključujejo mnogokratni regresijski model in omejil prvi val na prvih 20 % odtoka. Sage et al. (1995) in Bertrand-Krajewski et al. (1998) definirata prvi val kot pojav ko je najmanj 80 % nakopičenih onesnažil prisotnih v prvih 30 % odtočnega volumna.

Spodnji sliki prikazujeta odvzete vzorce padavinskega odtoka v različnih časovnih intervalih, kjer je lepo vidno, da so koncentracije onesnažil največje v začetku padavinskega dogodka, ko pretoki še ne dosežejo maksimalnih vrednosti.



Slika: Prikaz odvzetih vzorcev odtoka v različnih časovnih intervalih (Stenstrom, K. M., 2005. str. 20)



Slika: Grafični prikaz odvzetih vzorcev odtoka v različnih časovnih intervalih, ki se prilagaja prvemu valu onesnaženja (Stenstrom, K. M., 2005. str. 1)

3.3 Srednja koncentracija onesnažil EMC v prvem čistilnem valu

Ena izmed boljših opisovalcev koncentracije onesnažil v odpadni vodi je srednja ali povprečna koncentracija dogodka (v nadaljevanju EMC - angl. Event Mean Concentration). Večinoma so koncentracije odtoka iz različnih virov ovrednotene z uporabo srednje koncentracije dogodka, ki predstavlja tokovno-tehtano povprečno koncentracijo med celotno maso onesnažil ter celotnim odtočnim volumnom za neko trajanje padavinskega dogodka t_r (Sansalone, Buchberger, 1997; Charbeneau, Baretta, 1998) kot je prikazano v enačbi (4):

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{t_r} C(t) \cdot Q(t) dt}{\int_0^{t_r} Q(t) dt} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot C_i \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Delta t}$$

(River Engineering Division, 2000, pogl. 15.2.3)

Kjer pomenijo:

EMC - srednja koncentracijska vrednost dogodka [mg/l]

M - nakopičena onesnažila med padavinskim dogodkom [g/(km·leto)]

- V - celotni padavinski odtok med padavinskim dogodkom [m^3]
 t - čas [min]
 C_t - koncentracija, ki je reprezentativna v času vzorčenja »i« [mg/l]
 Q_t - odtok, ki je reprezentativen v času vzorčenja »i« [m^3 /min]
 i - vzorčno obdobje
 Δt - časovni interval [min]

Ena izmed ključnih težav v EMC je, kako izraziti koncentracijo. Ponavadi so stroški tisti, ki preprečijo merjenje $C(t)$ v frekventnih intervalih, zato je odvzeto manjše število vzorcev. Padavine ali padavinski odtok so ponavadi merjeni avtomatsko, posneti v intervalih od 1 do 5 min. Celotna masna emisija je produkt padavin, prispevne površine, odtočnega koeficienta in EMC ter je lahko izračunan z množenjem izmerjenega celotnega odтока in EMC. EMC ne prispeva informacij o časovnih spremembah koncentracij onesnažil ali masnih emisijah, ki so pogosto pomembni za razvoj EMC ali razumevanje sunkovitega kopičenja.

Rezultati študij prikazujejo velike spremembe v koncentracijah večine onesnažil z napredovanjem padavinskega dogodka. Redukcija se pojavi bodisi zaradi izpiranja mase onesnažil iz določenega mesta bodisi zaradi razredčenja z večjim padavinskim odtočnim tokom skozi napredovanjem padavinskega dogodka. S podajo same koncentracije EMC, visoke začetne koncentracije niso prepoznane.

Lastnosti EMC:

- EMC je porazdeljena log-normalno,
- Variacije so podobne med mesti in za večino onesnažil; koeficient variacij (standardna deviacija v odvisnosti od sredine) za EMC se giblje med 0,5-1,
- EMC je za vse praktične namene nepovezana z odtočnim volumnom,
- Odtočni volumen prav tako teži k log-normalnosti toda z opazno nagnjenostjo proti večjim dogodkom. To se odraža v srednjim odtočnim volumnom, ki je veliko večji kot večina padavinskih dogodkov na določenem mestu.

Masno kopičenje se določi kot produkt med odtočnim volumnom in koncentracijo:

→ Letno masno kopičenje = *povprečno dogodkovno masno kopičenje x število padav dogodkov v posameznem letu*

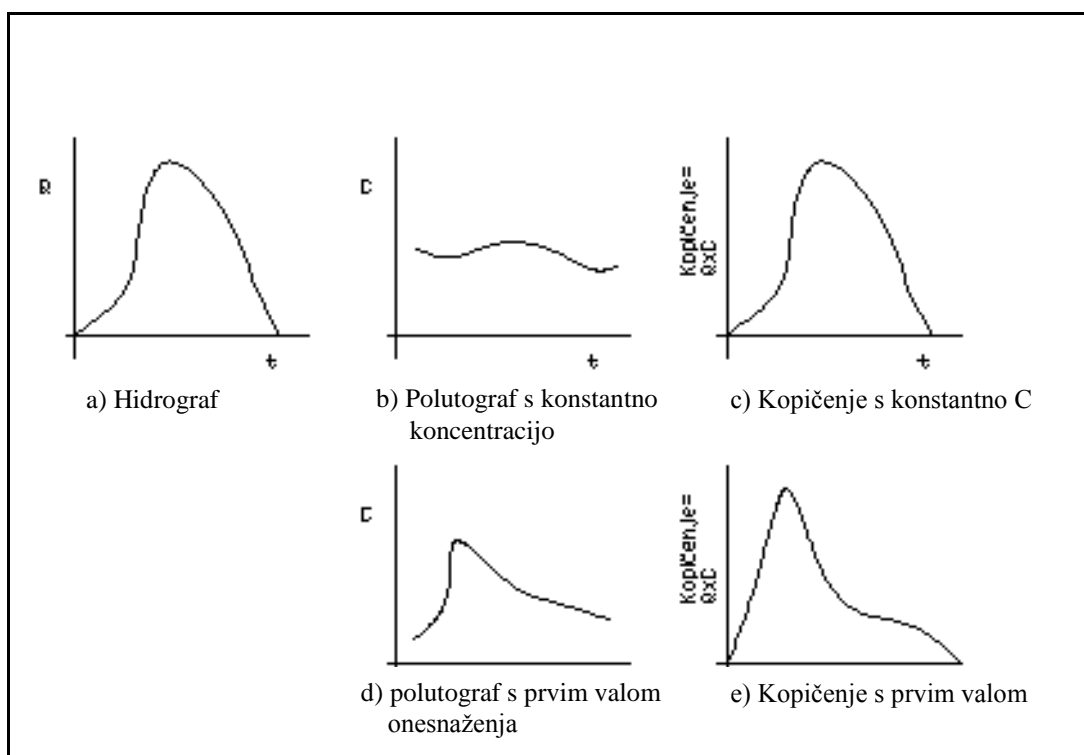
→ Povprečno dogodkovno kopičenje = *povprečni odtočni volumen posameznega padavinskega dogodka x srednji EMC*

Masno kopičenje onesnažil v odtoku se lahko izraža v različnih enotah: g/(km·leto), g/(m²·leto) ali g/(km·cm) odtoka.

3.4 Variiranje vrednosti onesnažil in prvi val onesnaženja

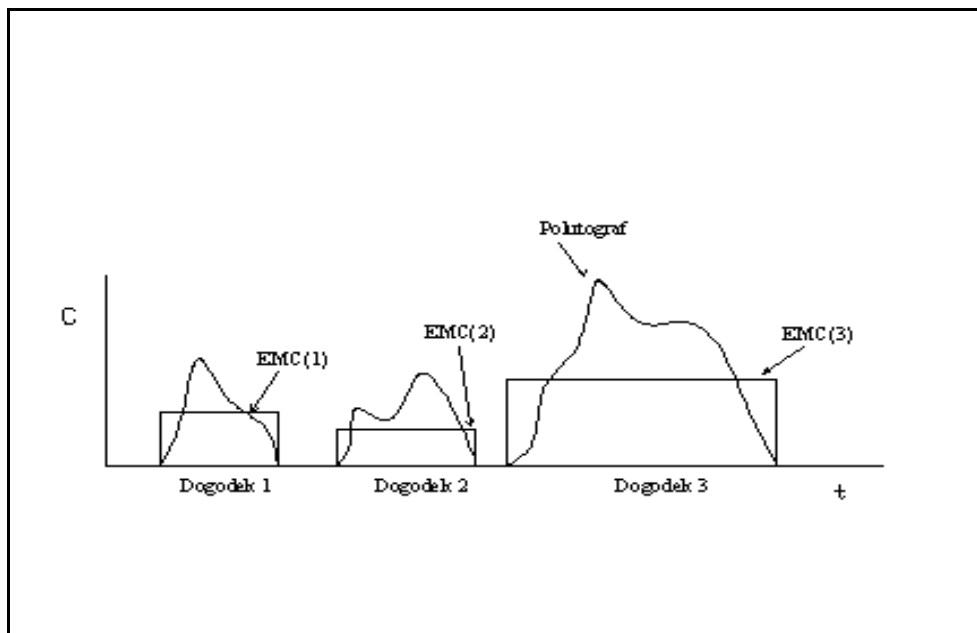
V primerjavi s točkovnimi viri onesnaženj, ki pogosto izražajo dnevne in tedenske variacije onesnažil v odtoku, odtok iz ne-točkovnih virov onesnaženja izvira iz padavinskih dogodkov in sledi začasnim ter fizičnim karakteristikam nekega padavinskega dogodka na nek višji nivo. Izris koncentracije v odvisnosti od časa imenujemo polutograf, izris kopičenja onesnažil (koncentracija x vrednost odtoka v odvisnosti od časa) v odvisnosti od časa pa imenujemo »loadograf« ali graf kopičenja. Omeniti je potrebno, da je pri polutografu zaslediti višje koncentracije zlasti na začetku padavinskega dogodka, kar pripisujemo pojavu prvega vala onesnaženja. Sam pojav pripisujemo večji količini trdnih snovi, ki so se nakopičile na urbani površini v sušnem obdobju. Izpiranje teh delcev pa je zato večje ob samem začetku padavinskega dogodka.

Trenutne koncentracije med padavinskim dogodkom so lahko višje ali nižje od EMC. Toda uporaba srednje koncentracijske vrednosti kot dogodkovne karakterizacije nadomesti dejansko nihanje koncentracije C v odvisnosti od časa pri padavinskih dogodkih s konstantno koncentracijo ali bolje rečeno tam kjer se pojavi enaka masa onesnažil in trajanje kot dejanski dogodek. To zagotavlja točno predstavitev masnega kopičenja za posamezen padavinski dogodek.



Slika: Prikaz učinka prvega vala na obliko polutografa in grafa kopičenja onesnažil (River Engineering Division, Department of Irrigation and Drainage – Malaysia, 2000, pogl. 15.2.3)

Prav tako kot variira sama koncentracija onesnažil v posameznem padavinskem dogodku, variira tudi srednja koncentracijska vrednost v posameznem padavinskem dogodku, kakor tudi v odvisnosti od lokacije. V literaturi zasledimo tudi mediano EMC, ki predstavlja 50% EMC na neki lokaciji in je dobljena iz časovne serije nekega dogodka. Z združitvijo lokacijsko različnih medialnih vrednosti EMC lahko ovrednotimo njihovo variabilnost in koeficient variabilnosti, kar nam poda vsesplošen opis karakteristik onesnažil padavinskega odtoka. Omeniti je potrebno, da ima sam tip rabe tal zelo majhen vpliv na koncentracijo onesnažil v odtoku. Vendar pa raba območja vpliva na masno kopičenje z vidika opaznih razlik v procentu neprepustnosti med območji, kar se izrazi v volumnu odtoka. (Urban Stormwater Management Manual, 2000)



Slika: Prikaz variiranja polutografa in vrednosti EMC med padavinskimi dogodki (River Engineering Division, Department of Irrigation and Drainage – Malaysia, 2000, pogl. 15.2.3)

3.5 Povezanost parametrov kvalitete vode

Rezultati študij prikazujejo močno povezanost med parametri s katerimi se določi kvaliteta vode in delno povezanost tudi med parametri, ki merijo vsebnost organskih snovi (npr.: kemijska potreba po kisiku (KPK), suspendirane snovi (SS)...). KPK prikazuje visoko povezanost z ostalimi parametri. Velika povezanost je zlasti med kovinami, kot sta cink (Zn) in baker (Cu). SS pa ni tako dobro v povezavi z ostalimi onesnažili. Visoka povezanost med parametri nam postavi vprašanje o potrebnosti podrobnega monitoringa vseh parametrov.

Spremenljivke, ki vplivajo na kopičenje onesnažil v odtoku pa so: trajanje naliva, količina naliva, trajanje predhodnega sušnega obdobja, trajanje predhodnega naliva, intenziteta predhodnega naliva, itd.. Povzetek spremenljivk je podan v spodnji preglednici.

Preglednica: Spremenljivke, ki vplivajo na kopičenje onesnažil v odtoku (Barrett, M. E., 1995. str. 21)

Onesnažilo	Trajanje naliva	Volumen naliva	Intenziteta naliva	Promet med nalivom	Trajanje predhodnega sušnega obdobja	Predhodno število vozil	Trajanje predhodnega naliva	Volumen predhodnega naliva	Intenziteta predhodnega naliva
Fe		*	*		*				
SS		*	*		*				*
Zn	*	*				*	*	*	*
KPK	*	*	*		*	*			
P	*	*	*			*			
Nitrat		*	*	*		*			
BPK ₅		*	*	*		*			
Svinec		*	*	*					*
Baker	*	*							
O&M		*		*					

3.6 Možnosti zadrževanja in razbremenjevanja onesnaženosti padavinskih voda na KS

Možne načine obravnave padavinske vode na KS lahko kategoriziramo v t.i. strukturne in nestrukturne kontrole. Strukturni tipi obravnave sestojijo iz dejanskih sestavov, ki zbirajo in obravnavajo sam odtok (Roesner & Matthews, 1990). Nestrukturni pa vključuje običajne postopke kot so izobraževanje in osveščanje preko publikacij, čiščenje cestišč, aplikacijske kontrole uporabe gnojil na travnih površinah ter varstvene pasove za omejitev prenaseljenosti. Za samo strategijo managementa padavinskega odtoka je pomembno ravnovesje med uporabo strukturnih in nestrukturnih tipov obravnave.

V nadaljevanju so podani nekateri nestrukturni tipi:

- Infiltracijski jarki (a),
- Suhi jaški (b),
- Infiltracijska polja (c),
- Travne kotanje (d),
- Porozne površine (e),
- Razširjeni suhi zadrževalniki (f),
- Umetno zgrajena močvirja (g),
- Zadrževalno – redukcijske enote (h),
- Peščeni filtri (i),
- Lovilci olj in maščobe (j).

(a) Infiltracijski jarki so plitko izkopani jarki, ki so zapolnjeni s čistim, drobnim kamenjem, ki preprečujejo začasno podzemno skladiščenje padavinske vode. Vsak takšen sistem vključuje bodisi pred-čistilni travni filtrirni pas bodisi mokro zbiralno polje za redukcijo nakopičenih suspendiranih snovi, olj in maščob v samem vtoku. Takšni jarki se ponavadi uporabljajo za zagotavljanje kontrole kvalitete vode v prvem valu onesnaženja. Odstranitev onesnažil je dopolnjena s fizično filtracijo, adsorbcijo ter mikrobiološko dekompozicijo.

- (b) Suhi jaški so manjši infiltracijski jarki, uporabljeni za zajem ter obravnavo prvega strešnega odtoka. Za razliko od infiltracijskih jarkov, sistem jaškov ne vključuje predobrnave padavinskega odtoka.
- (c) Infiltracijska polja so tipični zbiralniki oz. suha travnata jezerca, kjer se začasno shranjuje vtekajoči padavinski odtok, vse dokler ni postopoma precejen skozi zemljino osnovnega nivoja.
- (d) Travne kotanje so dolgi, relativno ravni, prsteni sistemi, v katerih so primarno odstranjena onesnažila s fizično filtracijo, ter sekundarno z infiltracijo skozi nižje ležečo zemljino. Vegetacija mora biti primerna za zemljinsko stabilizacijo, obravnavo odtoka ter prevzem nutrientov. Onesnažila v odtoku kot so nutrienti ter težke kovine se lahko reducirajo na strani.
- (e) Porozne površine sestojijo iz podzemne geotekstilne kamnite zbiralne površine, ki je prekrita s tanko plastjo posebne mešanice asfalta, v katerem je večina finega agregatnega materiala namerno izpuščenega za povečanje prepustnosti. Takšen sistem lahko učinkovito odstrani tako fine delce kot tudi raztopljena onesnažila v urbanem odtoku.
- (f) Razširjeni suhi zadrževalniki so namerno dimenzionirani za zajetje ter počasno izpuščanje padavinskega odtoka manjših, pogostih neviht. Njihov princip je odstranitev onesnažil z gravitacijskim usedanjem.
- (g) Umetno zgrajena močvirja so zadrževalne enote, ki obsegajo plitva vodna območja ter so primerna za ustanovitev in razrast naravnih rastlinskih vrst. Njihov namen je maksimizirati odstranitev onesnažil skozi gravitacijsko usedanje, razredčenje, filtracijo ter biološkim prevzemom in mehanizmom zadrževanja.
- (h) Zadrževalno – redukcijske enote so odprte, izkopane ali naravne depresije na površju, različnih veličin in globin. Takšne enote ohranjajo trajni nivo vode. Zadrževanje je relativno dolgo z rezidenčnim časom nekaj tednov ali mesecev. Pridržanje pa je v

nasprotju kratkotrajno z rezidenčnim časom nekaj ur ali dni do izpustitve v najbližjo površinsko vodno telo.

- (i) Peščeni filtri se uporabljajo za odstranitev suspendiranih snovi ter ostalih onesnažil. Njihova prednost je tudi razpoložljivost ter nizka nabavna cena.
- (j) Lovilci olj in maščobe odstranjujejo sorazmerno skromen delež suspendiranih snovi, še posebej pa raztopljenih organskih in anorganskih onesnaževal.

Upoštevati je potrebno, da vsak od zgornjih tipov kontrole ni idealno uporaben za vsako situacijo; za kontrolo različnih izvorov onesnaženja se je zato potrebno poslužiti kombinacije različnih tipov

4 MODELIRANJE ONESNAŽENJA NA OBMOČJU KS VELENJE-ŠOŠTANJ

4.1 Predstavitev Mestne občine Velenje in občine Šoštanj

Mestna občina Velenje leži v vzhodnem delu Šaleške doline na nadmorski višini 396 m. Osrednji del občine predstavlja dolinski del ob reki Paki. Ves vzhodni dolinski del Šaleške doline je urbaniziran, saj se je mesto, ki je po številu prebivalcev peto največje v Sloveniji, v svojem razvoju zadnjih 50 let razširilo med nekdanjimi naselji in zaselki Škale, Stara vas, Staro Velenje, Šalek in Šmartno.

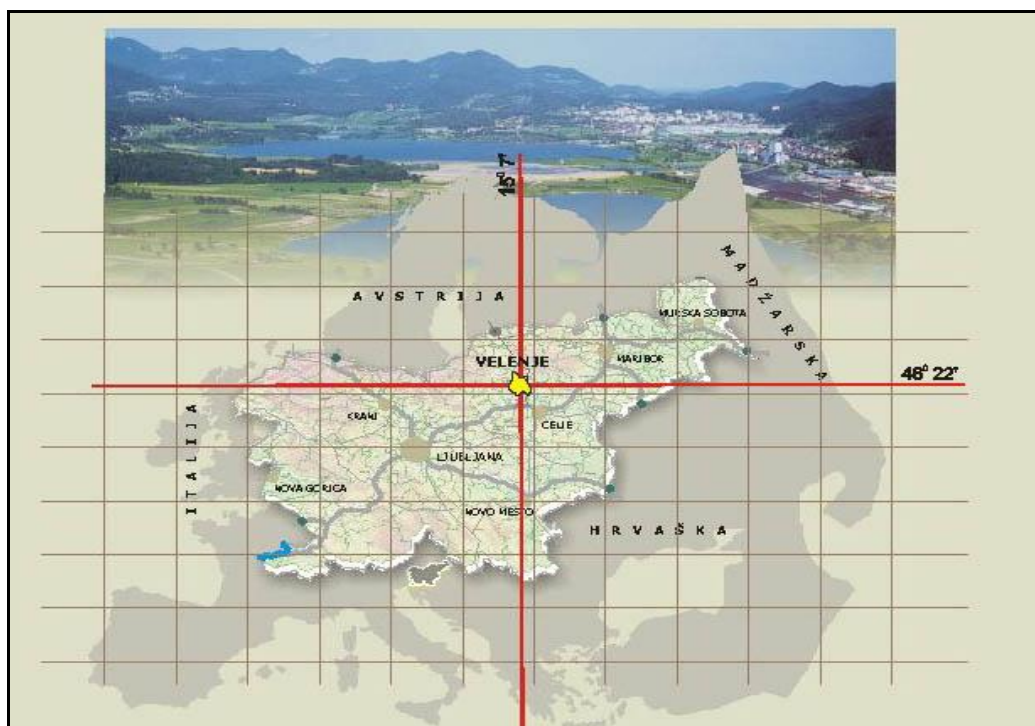
Severno obrobje občine sega v hribovit svet, ki se razteza od Razborja do Graške Gore in preko prebojne doline Pake v Hudi luknji do Paškega Kozjaka. Vzhodna meja občine poteka po Dobrnskem podolju, preko potoka Pirešica, proti jugu na Ponikovsko planoto in Ložniško gričevje, ki Šaleško dolino ločujeta od Spodnje Savinjske doline. Zahodna meja občine razpolovi Šaleško dolino v smeri sever-jug na območju nekdanje vasi Preloge, kjer danes pod dolinskim dnem poteka v Premogovniku Velenje najintenzivnejši odkop lignita.

Središče občine je mesto Velenje, ki je izrazito industrijsko središče (Gorenje, Premogovnik Velenje, TEŠ, Vegrad, Esotech, ...) in prerašča v regionalni savinjsko-šaleški center z razvito trgovino in ostalimi upravnimi, izobraževalnimi ter drugimi dejavnostmi. Velenje ima status mestne občine.

Vodno okolje tvorijo porečje Pake ter ugrezninska jezera, ki so posledica rudarjenja. Kljub naravni legi mesta, ki je umeščeno med hribe in doline, ter delni degradaciji doline zaradi ugrezanja zemlje pri izkopavanju premoga ima Velenje obilo možnosti za nudenje nastanitvenih možnosti lokalnemu prebivalstvu in potencialnim interesentom od drugod.

Omejenost samega prostora je pogojevala izvedbo regulacije reke Pake, ki pa je doprinesla spremenjene hidravlične karakteristike, kot so:

- skrajšan tok,
- povečan strmec,
- povečana hitrost vodnega toka in
- zmanjšana samočistilna sposobnost odvodnika.



Slika: Predstavitev Mestne občine Velenje (<http://www.velenje.si/default.asp?k=velenje>)

Občina (v nadaljevanju O) Šoštanj leži v zahodnem delu Šaleške doline na nadmorski višini 360 m (Nadmorska višina ... občin, ni datuma). Meri 96 km², konec leta 2004 je imelo 8.402 prebivalcev (Prebivalstvo po spolu, ni datuma). Središče občine je mesto Šoštanj, ki je znano po termoelektrarni, ki je največja v Sloveniji, je pa tudi glavni onesnaževalec okolja v Šaleški dolini. Šoštanj je bil do 2. svetovne vojne politično, upravno in gospodarsko središče Šaleške doline, z razvojem velenjskega premogovnika pa je to vlogo prevzelo Velenje, kamor so leta 1963 prenesli sedež občine. Z novo lokalno samoupravo je Šoštanj konec 20. stoletja zopet postal občinsko središče zahodnega dela Šaleške doline. Največja slovenska termoelektrarna (TEŠ) je vrsto let močno onesnaževala bližnjo in daljno okolico, a je v zadnjih letih z izgradnjo čistilnih naprav veliko postorila pri ekološkem očiščenju Šaleške doline. Od železniške proge proti severu se je pod šoštanjskimi Goricami razvilo novejšo naselje z bloki, ki pa se zaradi izkopavanja premoga ni moglo več razvijati, del tega naselja pa je bil zaradi pokanja in ugrezanja že porušen.

4.2 Vodotoki in jezera Šaleške doline

Rečna mreža Šaleške doline je zelo gosta. Med njenimi pritoki je izrazita nesorazmernost, saj so desni v primerjavi z levimi daljši. Desno stran porečja tvorijo pritoki Velunja, Lepena, Bečovnica, Toplica in Florjanščica, levo stran porečja pa Jablanski graben, loka, Trebušnica, Lokoviški potok, Hudi potok in Pozničev graben. Največ vode se steka v reko Pake, ki je dolga 40 km in je levi pritok reke Savinje. Njeno porečje zajema okoli 210 km². Šaleška dolina predstavlja srednji tok Pake, ki je ozemeljsko največji in gosto poseljen. Paka je hudourniški vodotok, za katerega so značilna velika nihanja pretokov. Tako znašajo:

- najnižji pretok: 0,2 m³/s,
- najvišji pretok: 100 m³/s,
- povprečni srednji pretok: 2,6 m³/s (Perko in sod., 1999).

Meritve pretokov na reki se izvajajo na dveh merilnih mestih (v nadaljevanju MM) in sicer: MM Velenje (pred mostom Kidričeve ceste), MM Šoštanj (pod jezom Termoelektrarne).

Kakovost Pake determinirajo problematični nizki pretoki, saj sušna obdobja trajajo tudi po dva meseca.

Paka ima pluvialno-nivalni pretočni režim z jesenskimi (dežnim) in spomladanskimi (topljenje snega) viški. Pretoki v poletnih mesecih močno padejo, poleg tega je povečan še odvzem vode za tehnološke potrebe. Dogaja se, da je na sami lokaciji iztoka CČN Šaleške doline, povprečni odtok delno očiščene komunalne odpadne vode večji od trenutnega pretoka Pake. Porast povprečij minimalnih, maksimalnih in povprečnih vrednosti BPK₅ na MM Šoštanj je dokaz, da ima na odvodnik največji vpliv odtok delno očiščene odpadne vode.

Komunalna odpadna voda torej predstavlja največji vir onesnaženja reke Pake. Onesnaženost te vode, ki odteka v odvodnik, ne bi smela presežati samočistilne sposobnosti odvodnika. S samim čiščenjem odpadne vode je potrebno dosežati mejne vrednosti, ki za posamezni odvodnik še zagotavljajo sposobnost samočiščenja.

Ukrepi za varovanje samočistilne sposobnosti odvodnika:

1. izgradnja zajezitev: s tem se podaljša pretočni čas, kar povzroči samo usedanja snovi, prav tako pa večja površina zagotavlja večji vnos kisika,
2. regulacija reke: z njo se poveča pretočna hitrost, ki zmanjša usedanje delcev; ukrep je primeren v primerih, ko želimo vodo čim hitreje odvesti v večji vodotok,
3. varovanje samočistilne sposobnosti odvodnika: lep primer je izpiranje rečnega korita pri rekah, ki nimajo naravnega odplavljanja v primeru visokih voda,
4. umetno večanje pretokov: s katero se doseže večja stopnja redčenja in povečana količina kisika

Pred začetkom odkopavanja lignita je bila v Šaleški dolini rečna mreža sklenjena. Zaradi izkopavanja premoga se je dno doline pogreznilo za več kot 100 milijonov m³ (Šterbenk, 1999). Najgloblje dele ugreznin je zalila voda. Nastala so 3 umetna ugrezninska jezera: Škalsko, Velenjsko in Družmirsko jezero. Najmanjše in najstarejše jezero Šaleške doline je Škalsko jezero, ki je nastalo ob spodnjem toku Lepene. Njegova površina je 17 ha, največja globina 19 m, prostornina 1 milijon m³, njegovo padavinsko zaledje pa meri dobrih 10 km². Količina vtoka vode v Škalsko jezero znaša 5,4 milijonov m³ na leto (Šterbenk, 1999). Ker so premog pod njim že izčrpali, se ne bo več spreminjalo.

Velenjsko jezero ima 2 pritoka: Lepeno in Sopoto. Lepena služi tudi kot iztok iz jezera v reko Pako (jezernica). Je največje v Šaleški dolini, po površini je enako Blejskemu jezeru, po prostornini pa je celo večje. Njegova površina znaša 140 ha, padavinsko zaledje 20,4 km² (Šterbenk, 2005), največja globina 54 m, prostornina 25 milijonov m³, letna količina vtoka pa več kot 11 milijonov m³ vode (Šterbenk, 1999). Pod večjim delom jezera so premog že izkopali, odkopi pa še potekajo pod zahodnim bregom, vendar tam ugreznino sproti zasipavajo s produkti šoštajske termoelektrarne (pepel, žindra, sadra), nasip pa sproti prekrivajo s plastjo prsti in ga ozelenjujejo. Jezero je občutljivo zaradi počasne menjave vode, saj naj bi zanjo bilo potrebnih okrog dve leti in pol (Šterbenk, 1999). Do leta 1994 je bilo jezero odlagališče pepela in rezervoar za onesnaženo vodo termoelektrarne. Zaradi tega je jezero postalo izredno alkalno, pH vode je bil kar 12. Jezerska voda se je izboljšala po letu 1994, ko so zgradili zaprti krogotok transportne vode iz termoelektrarne. K izboljšanju jezera

in s tem tudi Pake je prispevala tudi izgradnja kanalizacije za sanitarno odpadno vodo v večjem delu pojezerja, ki jo namesto v jezero sedaj vodijo na CČN v Šoštanj.

Drugo po velikosti v Šaleški dolini je Družmirsko jezero in je najmlajše, saj je začelo nastajati šele sredi sedemdesetih let. Njegova površina je leta 2004 obsegala 54 ha, vendar bo zaradi nadaljnega izkopavanja premoga pod njegovim dnom do leta 2020 največje v Šaleški dolini (Šterbenk, 2005). Takrat naj bi njegova površina dosegla 2 km². Je najgloblje jezero v Sloveniji, saj meri njegova največja globina kar 69 m. Njegova prostornina je 10,7 milijonov m³, padavinsko zaledje 33 km², letna količina vtoka pa 24,5 milijonov m³ vode (Šterbenk, 1999). Družmirsko jezero je vir tehnološke vode za termoelektrarno v Šoštanju, zato njegova gladina niha, s tem pa se manjša stabilnost brežin. Tudi Velunja, ki je pritok jezera in iztok iz njega v Pako, zaradi potreb termoelektrarne v sušnem delu leta do Pake sploh ne priteče.

4.3 Varstvo voda v Šaleški dolini

Največ težav povzroča nizka vodnatost Pake. K temu prispevajo tudi industrija in termoelektrarna, ki za delovanje potrebujejo veliko vode, odjemajo pa jo tudi iz Pake. Zaradi tega so prebivalstvo, termoelektrarna in ostali industrijski obrati (Gorenje, itd.) v bližnji preteklosti zelo obremenjevali Pako in zlasti Velenjsko jezero. Delež odpadnih voda je delno očistila CČN, delež pa je zaradi neurejene kanalizacije odtekal v Pako. Za izboljšanje stanja je velenjska občina leta 1993 naročila izdelavo sanacijskega programa »Vode občine Velenje«. Ugotovili so, da je bila Paka pred Velenjem še v I. kakovostnem razredu, v Šoštanju pa je padla celo v zadnji IV. Kakovostni razred (Šterbenk, 1999).

Program sanacije je bil zastavljen v dveh fazah. Po prvi fazi, ki se je zaključila leta 1997 (vključevala je širitev kanalizacije, izgradnjo zaprtega krogotoka za transportne vode iz termoelektrarne, izgradnjo čistilne naprave v Gorenju in usnjarni itd.), Paka ni bila več v IV. razredu. Od leta 1999 dalje poteka druga faza sanacijskega programa, katerega cilj je doseči vsaj II. Kakovostni razred Pake. Kakovost Pake je mogoče izboljšati predvsem s čiščenjem odpadnih vod pred izlivom v odvodnik, saj Pražnikar (1999) ugotavlja, da je največji onesnaževalec Pake komunalna odpadna voda. Cilj druge faze programa je bil delno dosežen

z večanjem priključevanja porabnikov vode na KS Velenje – Šoštanj in z izgradnjo II. Faze CČN konec leta 2006, ki vključuje tudi biološko stopnjo čiščenja. Dokončno pa bi naj bil cilj dosežen z izgradnjo zadrževalnih bazenov.

V Šaleški dolini razbremenilniki obremenjujejo z razbremenjenim onesnaženim odtokom naslednje recipiente oz. odvodnike:

- Trebušnico in s tem tudi Pako (na 2 mestih),
- Lepeno in s tem tudi Velenjsko jezero (na 3 mestih),
- Spodnji tok Bečovnice in s tem tudi Pako (na 2 mestih),
- Spodnji tok Toplice in s tem tudi Pako (na 1 mestu),
- Pako (na 17 mestih).

4.4 Opis kanalizacijskega sistema Velenje – Šoštanj

Kanalizacijski sistem Velenje – Šoštanj je izveden večinoma v mešani izvedbi, odvaja pa odpadno sanitarno vodo (komunalno, industrijsko), padavinsko vodo (cestna, strešna) in izcedno vodo iz komunalne deponije. Z njim v večini upravlja Komunalno podjetje Velenje, d.o.o.

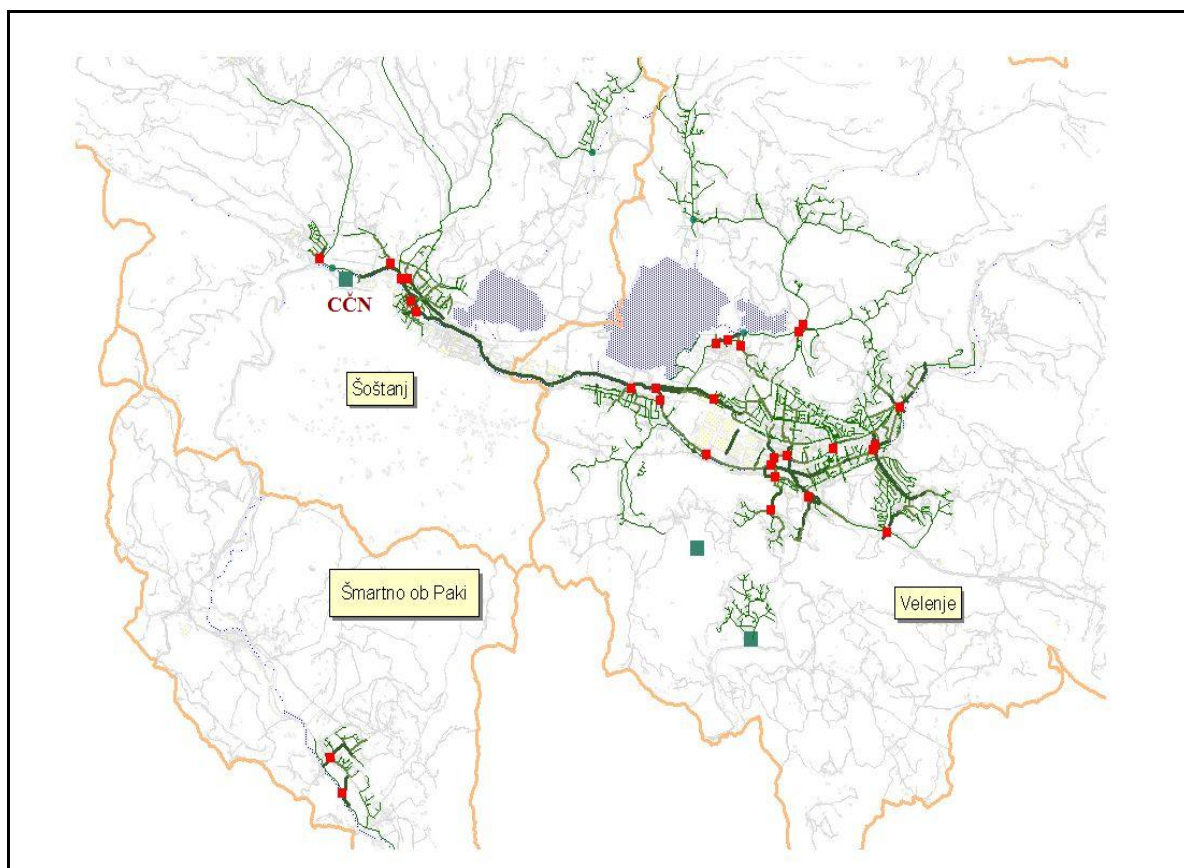
KS Velenje-Šoštanj se je začel razvijati leta 1963¹:

- obdobje gradnje sekundarne in meteorne kanalizacije (do 1971),
- obdobje gradnje primarne kanalizacije (od 1971 do 1987),
- obdobje gradnje kolektorja Velenje – Šoštanj (od 1971 do 1989 v 4 fazah),
- obdobje izgradnje čistilnih naprav (mali ČN Podkraj in Kavče od 1989 do 1991, 1. faza CČN leta 1990, 2. faza CČN leta 2006),
- obdobje priključevanja kanalizacijskih priključkov na čistilne naprave ter gradnje črpališč in razbremenilnikov (od 1990 naprej).

¹Dejavnost odvajanja in čiščenja odplak, 2006

Danes KS Velenje – Šoštanj¹ poleg hišnih priključkov obsega²:

- 28 608 m meteornih kanalov (od tega 6 679 m cestnih meteornih kanalov),
- 51 048 m kanalov za odpadno sanitarno vodo,
- 79 852 m mešanih kanalov (od tega 8 913 magistralnih kanalov),
- 5323 revizijskih in kaskadnih jaškov,
- 8 črpališč (Škale-odlagališče, Škale-novo, Pohrastnik, Stari jašek, Ribiška koča, Gaberke, Bevče, Podkraj),
- 30 razbremenilnikov,
- CČN.



Slika: Kanalizacijski sistem Velenje-Šoštanj

(<http://www.kp-velenje.si/kanalizacija/velika.htm>)

¹Samo kanalizacijski elementi, ki odvajajo vodo na CČN v Šoštanju.

²GIS podatki, 2006

Poleg tega vsebuje KS tudi samostojno malo biološko čistilno napravo Kavče, na katero se odvaja odpadna sanitarna voda iz naselja Kavče, očiščena voda pa odteka v potok Arnaščica. Usedelnik male ČN se čisti 3 do 4-krat na leto, biološko blato pa se odpelje na CČN v nadaljnjo obdelavo (Dejavnost odvajanja in čiščenja odplak, 2006). Mala ČN Podkraj je danes že ukinjena, na njenem mestu je črpališče Podkraj, ki prečrpava odpadno sanitarno vodo iz naselja Podkraj v kanalizacijo, ki gravitira proti kolektorju Velenje – Šoštanj.

Predvideva se približno 42 270 m novozgrajenih kanalov za odpadno sanitarno vodo iz delov naselij, ki gravitirajo na KS Velenje – Šoštanj (Paka, Bevče, Gaberke, Škale, Ravne, Plešivec, Laze, Vinska Gora, Lokovica, Topolščica, Metleče, Skorno pri Šoštanju), predvidena pa so 4 večja območja poselitve: Selo, Lipa-vzhod, 2 območji med Cesto II.reda in Gorico (GIS podatki, 2006).

Centralna čistilna naprava Šaleške doline leži v industrijskem predelu med mestom Šoštanj in naseljem Pohrastnik. Izgradnja je potekala v 2 fazah. 1. faza je bila zgrajena leta 1990 in je vključevala mehansko čiščenje in anaerobno stabilizacijo blata. Mehanska stopnja je bila zgrajena za čiščenje odpadne vode največ 1000 l/s, za onesnaženje 50 000 populacijskih enot (v nadaljevanju PE) in za projektirani učinek 40 % izraženo v BPK_5 (Dejavnost odvajanja in čiščenja odplak, 2006). 2. faza CČN je bila zgrajena septembra 2006, izgradnja pa je vključevala dograditev obstoječe naprave z biološko stopnjo čiščenja s tehnologijo fiksirane biomase, hkrati pa se je posodobilo mehansko predčiščenje komunalnih odpadnih voda in linija obdelave blata, ki vključuje tudi izkoriščanje bioplina, zamenjana pa je bila tudi dotrajana strojna in elektro oprema (Projekti MOV, brez datuma). Izbran je bil tehnološki postopek čiščenja odpadnih vod s kemijskim obarjanjem fosforja in biofiltracije za eliminacijo ogljikovih in dušikovih spojin. Danes poteka enoletno poskusno obratovanje, postopek čiščenja pa sedaj poteka v treh tehnoloških stopnjah:

- mehansko čiščenje,
- biofiltracija ter
- linija za obdelavo blata in izrabo bioplina.

Kot že omenjeno, zajema KS Velenje – Šoštanj 30 razbremenilnikov, zadrževalnih bazenov pa ne. Obstaja le kanal z zadrževalno prostornino premera 120 cm in dolžine 42 m, ki je

nameščen pred razbremenilnikom Aškerčeva v Šoštanju, vendar pa ima zaradi nizkega prelivnega roba razbremenilnika zelo majhen izkoristek zadrževalne prostornine (maksimalna višina vode v cevi pri 5 minutnem nalivu znaša 40 cm^1).

4.5 Padavinski odtok v KS Velenje-Šoštanj

Za dimenzioniranje mešanega KS je merodajen padavinski odtok ter padavine kratkega trajanja in velike jakosti, ki jih imenujemo nalivi. Kanalizacijsko omrežje se pri nas dimenzionira večinoma na ekstremno deževje (naliv) s povratno dobo 1 leto. To pomeni, da naliv v povprečju nastopa 1-krat letno, ti. s pogostostjo 1. Višjo varnost s povratno dobo večih let upoštevamo le za primere depresij (cestni podvozi) ali podzemnih železnic, kjer voda pomeni večjo nevarnost za objekte (Panjan, 2002).

Za vsako točko KS je najneugodnejši le en naliv določenega trajanja, ki povzroči najvišji odtok padavinske vode. Z izenačenimi vrednostmi posameznih gospodarsko enakovrednih nalivov (v nadaljevanju GEN) za karakteristična območja Slovenije so podani podatki o računskih nalivih (Panjan, 2002). Za Velenje in Šoštanj so v sami nalogi vzeti podatki najbližjega¹ mesta, za katerega le ti obstajajo. V tem primeru je to Šmartno pri Slovenj Gradcu, ki ima sinoptično meteorološko postajo.

Izenačene vrednosti GEN [l/s(ha)] za Slovenj Gradec za pogostost 1 in 0,5 (Povzeto po: Kolar, 1983, str.69.)

$t[\text{min}]$	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120	150	180
$n= 1$	295.4	190.0	140.9	114.0	84.6	68.4	58.0	50.7	37.6	32.9	29.7	27.3
$n= 1/2$	362.5	235.2	174.2	140.8	104.5	84.2	71.4	62.4	46.2	37.3	33.7	31.1

¹v geografskem in klimatskem pogledu

Krivulje jakosti GEN so grafično prikazane v prilogi B1. Krivulje GEN so krivulje enotskih jakosti (q) odtoka z določeno pogostostjo (n) pojava v odvisnosti od časa. Dejanske izkušnje

za večino nalivov kažejo, da sta trajanje naliva in intenziteta oz. enotska jakost odтока v funkcijski odvisnosti tako, da daljšemu trajanju naliva ustreza manjša intenziteta oz. enotska jakost odтока in obratno (Panjan, 2002).

Del padlega dežja se infiltrira v podtalje skozi prepustne površine, del pa odteče v KS. S koeficientom odтока določimo, kolikšen del padavin odteče skozi požiralnike in rešetke v kanalizacijo. Vrednost koeficienta je odvisna od deleža prepustnih in neprepustnih površin, hrapavosti površine, predhodne vlažnosti terena, pronicanja, izhlapevanja, nagnjenosti terena, akumulacije na terenu, oblike prispevne površine,...

Koeficient odтока φ_i za razne vrste površin lahko določimo s pomočjo preglednice. Velikost reducirane površine A_{red} pa dobimo z zmnožkom prispevne površine A ter koeficientom odтока φ_i . Prispevne površine situacije Velenje-Šoštanj smo določili glede na kanal, v katerega se stekajo, meje prispevnih površin pa na osnovi simetral med kanali (če površina ni nagnjena) in odtočnih razmer na terenu (morebitna slemena terena, nagnjenost terena). Prispevne površine so izrisane v računalniškem programu ACAD.

Površinski odток Q_i v kanal (skozi požiralnik itd.) smo določili s pomočjo naslednje enačbe:

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

Situacija KS Velenje – Šoštanj s prispevnimi površinami je prikazana v prilogi D2.

4.6 Določitev časa odтока s programom SWMM

S pomočjo samega programa smo simulirali odtok padavinske vode v KS Velenje – Šoštanj pri različnih nalivih in ugotovljali maksimalni oz. merodajni naliv za dimenzioniranje.

V program je bilo potrebno vnesti ves KS Velenje – Šoštanj (vse cevi, jaške razbremenilnike, črpališča in izpuste), njihovi vhodni podatki pa so preneseni iz GIS podatkov. Za simulacijo padavinskega odtoka pa smo potrebovali tudi padavine, katerih vrednosti nalivov smo vzeli iz Kolarjeve tabele. V SWMM lahko vnesemo padavine preko prispevnih površin ali preko direktnega vtoka v jašek. S slednjim seveda poenostavimo model, pri prvem načinu pa potrebujemo geografske značilnosti prispevne površine (padec površine). Padavinski odtoki iz prispevnih površin smo upoštevali kot direktne vtoke v jaške.

Naredili smo 10 modelov z različnimi nalivi (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90 in 120-minutni naliv), pri tem pa smo upoštevali naslednje predpostavke in poenostavitve:

- jakost naliva je pri izbranem trajanju konstantna na celotnem časovnem področju,
- naliv je enak na celotnem površinskem območju Velenje – Šoštanj. Torej ni vpliva potovanja nevihte ali pojava naliva le na delu območja,
- čas odtoka po prispevni površini je zanemarljiv,
- koeficient odtoka je med trajanjem naliva nespremenjen. (Rep, 2007)

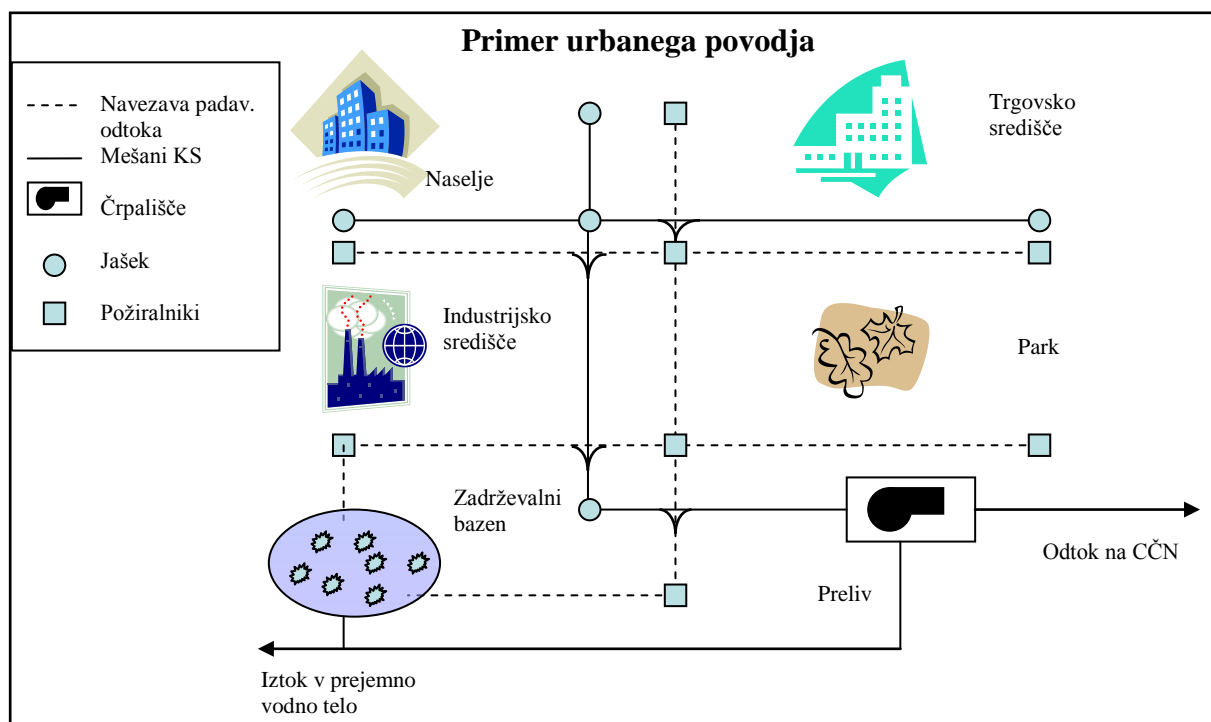
Prav tako sem v sam program SWMM vrisala prispevne površine, katere so izrisane po metodi strešin tudi s programom A-Cad. Za vsako posamezno prispevno površino je bilo potrebno določiti padavine, velikost in širino (glede na glavni odtočni kanal) same površine, naklon in prepustnost prispevne površine, jašek, ki sprejme sam odtok celotne površine, ter rabo tal.

4.7 Določitev parametrov za modeliranje kvalitete padavinskega odtoka

Netočkovno onesnaženje kot rezultat padavinskega odtoka lahko ovrednotimo kot enega največjih povzročiteljev poslabšanja kvalitete vodnega recipienta. Prav tako se razlikujejo same karakteristike urbanega odtoka od karakteristik odpadne vode. Sama prelivajoča se voda med velikim padavinskim dogodkom lahko »šokira« vodni recipient veliko močneje kot pa navadno nakopičenje v iztoku. Zato je nujnega pomena za samo kvalitetno vodno upravljanje, ovrednotenje onesnažil v padavinskem odtoku. Pri ugotavljanju koncentracij onesnažil je potrebno pravilno upoštevati trajanje določenega padavinskega dogodka ter vpliva prvega spiranja. Razgradnja organskih snovi s pomočjo mikroorganizmov, adsorpcija in filtracija omejujejo širjenje le-teh na bankine, v usedalnike in zadrževalnike. Zato je večjo pozornost potrebno usmeriti v onesnaževanje z anorganskimi snovmi, najpogosteje s kovinami. Zgoraj omenjeno dejstvo je bilo odločilno za izbor samih onesnažil, ki sem jih vnesla v sam program. Spodnja preglednica predstavlja onesnažila, ki so obravnavana v sami nalogi.

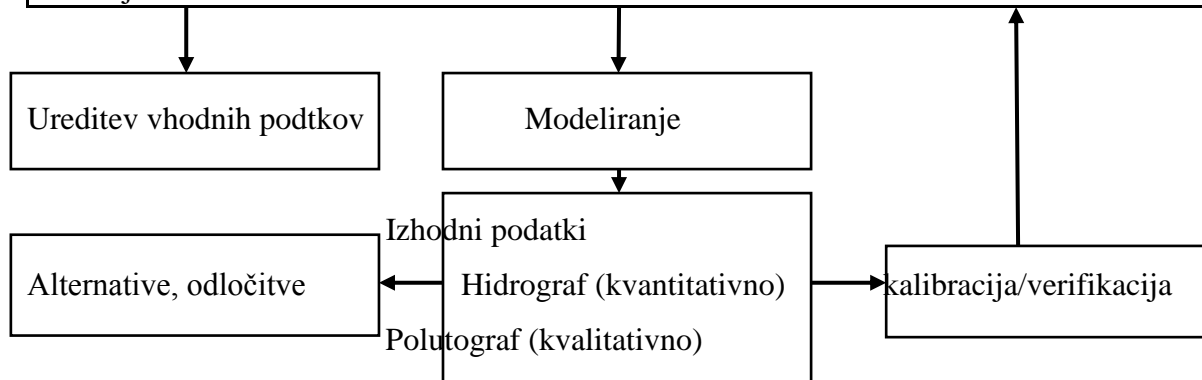
Preglednica 4.1: Onesnažila v urbanem odtoku, ki so obravnavana v nalogi

Zap. Št.	Parameter
<i>1</i>	<i>Suspendirane snovi</i>
<i>2</i>	<i>KPK</i>
<i>3</i>	<i>TKN</i>
<i>4</i>	<i>TP</i>
<i>5</i>	<i>Pb</i>
<i>6</i>	<i>Cu</i>
<i>7</i>	<i>Zn</i>



Vhodni podatki

<p><u>Hidrološki param</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - hietograf - vhodni hidrograf - podatki o izhlapevanju - temperatura <p><u>Kvalitativni podatki</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - stopnja kopičenja - stopnja izpiranja - erozija 	<p><u>Hidravlika sistema</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - geometrija KS - karakteristike črpalke - karakteristike RVV,... 	<p><u>Parametri prispevnega področja</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - delež propustnih/neprop. površin - dolžina povodja,... <p><u>Zemljinske karakteristike</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - hidrološki tip - infiltracijski podatki
--	--	---



Slika: Proces modeliranja urbanega površinskega odtoka (Tsihrintzis, V. A. in Hamid, R., 1997. str. 145)

Na podlagi preučitve same situacije KS Velenje-Šoštanj smo se odločili, da določimo tri poglobitne rabe tal: naselja (*Residential*), industrijska območja (*Industrial*) ter nerazvita območja (*Undeveloped*) (pod to kategorijo so umeščeni vsi parki, travniki, itd.). Za posamezno prispevno površino KS je bilo nato potrebno določiti delež, ki ga zajema vsaka od teh treh rab tal (glej poglavje 2.3.5 Določitev rabe območja). Prav tako je bilo za vsako od rab območja potrebno določiti karakteristike oz. vrednosti kopičenja in izpiranja onesnažil, ki se pojavijo na le tej (glej podpoglavja 2.3.3.2 Kopičenje posameznega onesnažila in 2.3.3.3 Izpiranje posameznega onesnažila).

V nalogi sta predstavljeni dve varianti, ki se razlikujeta v vrednostih vhodnih parametrov. V varianti I so uporabljeni vhodni parametri, katerih vrednosti so predstavljene v spodnjih preglednicah. Vrednosti maksimalnega kopičenja smo povzeli po *Horne et al. (1986)* - Vrednosti kopičenja onesnažil (kg/(ha·leto)) na različnih rabah tal. Srednje koncentracijske vrednosti pa smo povzeli po *U.S. Environmental Agency (1983)* - Karakteristike vodne kvalitete urbanega odtoka (glej prilogo C3). S to varianto je predstavljeno dejansko stanje v KS Velenje-Šoštanj ob »rednih« padavinskih dogodkih.

Z varianto II smo želeli predstaviti pojav prvega vala onesnaženja v KS, kjer koncentracije onesnažil dosežejo kar nekajkratno vrednost koncentracij v kasnejšem odtoku. Vrednosti vhodnih parametrov so v tem primeru tri-kratno povečane.

Za približanje simulacije realni situaciji na KS Velenje-Šoštanj je bilo potrebno upoštevati še trajanje predhodnjega sušnega obdobja. Po premisleku, da se na območju Šaleške doline v poletnih mesecih lahko zgodi, da ne pade niti dežna kaplja tudi po slaba dva meseca, smo v nalogi upoštevali 50-dnevno predhodnje sušno obdobje.

<i>(a) Naselje</i>	<i>Kopičenje</i>						
Onesnažilo	TSS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
Funkcija *	POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW
Max. Kopičenje [kg]	440	330	0.7	0.33	0.33	1.50	4
Vrednostna konstanta [kg/dan]	1.20	0.9	0.0019	0.0009	0.0009	0.004	0.01
Konstanta zasičenja	1	1	1	1	1	1	1
Normalizator [ha]	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA
<i>*možnosti izbire funkcije (POW,EXP,SAT.,NONE)</i>							

<i>(b) Nerazvito območje</i>	<i>Kopičenje</i>						
Onesnažilo	TSS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
Funkcija *	POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW
Max. Kopičenje [kg]	220	165	0.35	0.165	0.165	0.75	2
Vrednostna konstanta [kg/dan]	0.6	0.45	0.001	0.00045	0.0009	0.002	0.005
Konstanta zasičenja	1	1	1	1	1	1	1
Normalizator [ha]	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA
<i>*možnosti izbire funkcije (POW,EXP,SAT.,NONE)</i>							

<i>Industrijsko območje</i>	<i>Kopičenje</i>						
Onesnažilo	TSS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
Funkcija *	POW	POW	POW	POW	POW	POW	POW
Max. Kopičenje [kg]	56	63	5	1	10	4.00	15
Vrednostna konstanta [kg/dan]	0.16	0.17	0.014	0.003	0.03	0.01	0.04
Konstanta zasičenja	1	1	1	1	1	1	1
Normalizator [ha]	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA	AREA
<i>*možnosti izbire funkcije (POW,EXP,SAT.,NONE)</i>							

<i>Naselje</i>	<i>Izpiranje</i>						
Onesnažilo	TSS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
Funkcija *	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC
Koeficient	500	510	1	1	3	7.00	20
EkspONENT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Učinkovitost čiščenja	0	0	0	0	0	0	0
BMP učinkovitost	0	0	0	0	0	0	0
<i>*možnosti izbire funkcije (RC,EXP,EMC,NONE)</i>							

<i>(a) Nerazvito območje</i>	<i>Izpiranje</i>						
Onesnažilo	TSS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
Funkcija *	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC
Koeficient	250	255	0.5	0.5	1.50	3.50	10
EkspONENT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Učinkovitost čiščenja	0	0	0	0	0	0	0
BMP učinkovitost	0	0	0	0	0	0	0
<i>*možnosti izbire funkcije (RC,EXP,EMC,NONE)</i>							

<i>(b) Industrijsko območje</i>	<i>Izpiranje</i>						
Onesnažilo	TSS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
Funkcija *	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC	EMC
Koeficient	350	400	0.034	0.022	0.149	0.35	1
EkspONENT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Učinkovitost čiščenja	0	0	0	0	0	0	0
BMP učinkovitost	0	0	0	0	0	0	0
<i>*možnosti izbire funkcije (RC,EXP,EMC,NONE)</i>							

S tako pripravljeno bazo vhodnih podatkov je bilo mogoče pognati izračun. Kot že omenjeno smo naredili 10 modelov z različnimi nalivi (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90 in 120-minutni naliv) za obstoječi sistem, v katerem so prisotni le razbremenilniki visokih voda (RVV), ter 10 modelov z različnimi nalivi (5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 90 in 120-minutni naliv) za sistem z RVV ter dodanim zadrževalnim bazenom Šalek II, ki bi zadrževal prvi val onesnaženja iz večjega dela naselja Gorica. Cilj zastavljene naloge je bil ugotoviti, kako izgradnja že enega zadrževalnega bazena vpliva na kvalitativne značilnosti padavinskega odtoka ter posredno na samo Pako kot glavni odvodnik.

4.8 Preliminarni izračun dimenzij ZBDV

Po preliminarni študiji je na KS Velenje-Šoštanj ZBDV predvidenih 33 ZBDV. V prilogi C5 so podana poimenovanja obstoječih RVV in predvidenih ZBDV ter njihove dimenzije. Za ZBDV Šalek_II, Cesta talcev, Hudovernik ter Metleče_II (pred CČN) smo na osnovi izračunanih volumnov, predvideli njihove dimenzije in jih umestili v sam prostor. Seveda pa gre le za eno od možnih variant, katero je potrebno v nadaljevanju natančneje preučiti. V nadaljevanju so podane dimenzije že omenjenih ZBDV ter predlagana umestitev predvidenega ZBDV Hudovernik ter Šalek_II.

ZBDV: Metleče_II (pred CČN)

Prispevno območje: Velenje-Šoštanj (1563,481 ha)

Kritični naliv: $n = 1$, $t = 90$ min

Podatki:

Velikost reduciranih prispevnih površin $\rightarrow A_u = 147,593 \text{ ha} - 142,105 \text{ ha} = 5,488 \text{ ha}$

Povprečni dnevni sušni odtok $\rightarrow Q_{dw24} = 261,53 \text{ l/s} - 227,8 \text{ l/s} = 33,73 \text{ l/s}$

Potrebna prostornina predvidenega ZBDV $\rightarrow V = 1100 \text{ m}^3$

Pri dimenzioniranju ZBDV Metleče_II je potrebno upoštevati ZBDV, ki so predvideni na samem KS »gorvodno«. Iz tega razloga pri samih podatkih odštejemo povprečne dnevne sušne odtoke posameznih bazenov, ter velikosti reduciranih prispevnih površin. Spodnja preglednica prikazuje predvidene ZBDV, ki ležijo t.i. »gorvodno« od ZBDV Metleče_II.

Preglednica 4.6: Predvideni ZBDV, ki ležijo »gorvodno« od ZBDV Metleče_II

ZBDV	A _u [ha]	Q _{dw24} [l/s]
Metleče	1,853	1,26
Tovarniška	8,486	6,35
OŠ Kajuh	7,894	4,98
Merx	3,099	3,25
Aškerčeva Šoštanj	1,897	1,46
Pesje	8,717	4,74
Bela dvorana	19,145	38,78
Stari izpust	98,908	171,96
Skupaj:	142,105	227,8

Izbrane dimenzije ZBDV:

$$L = 36,33 \text{ m}$$

$$B = 12,12 \text{ m}$$

$$H = 2,5 \text{ m}$$

$$V = 1100,799 \text{ m}^3$$

Površinska obremenitev bazena pri kritičnem dotoku v poln bazen:

$$q_a = \frac{Q_{crit}}{L \cdot B} \quad (1)$$

$$q_a = 4,18 \text{ m}^3/\text{h} < 10 \text{ m}^3/\text{h} \quad \checkmark$$

Hitrost horizontalnega toka skozi bazen pri kritičnem dotoku (bazen brez RVV):

$$v_H = \frac{Q_{crit}}{B \cdot H} \quad (2)$$

$$v_H = 0,034 \text{ m/s} < 0,05 \text{ m/s} \quad \checkmark$$

ZBDV: Cesta talcev**Prispevno območje:** Jenkova + Cesta talcev, Velenje (75,955 ha)**Kritični naliv:** $n = 1$, $t = 5$ min

Velikost reduciranih prispevnih površin tega območja znaša 27,73 ha, povprečni dnevni sušni odtok Q_{dw24} pa 38,53 l/s. Potrebna prostornina predvidenega ZBDV Cesta talcev je določena na 898,6 m³. Izbrane dimenzije ZBDV za potrební volumen so: $L = 25,2$ m, $B = 8,5$ m, $H = 4,2$ m, kar poda volumen 899,64 m³. Pri izbiri takšnih dimenzij sta tako površinska obremenitev bazena pri kritičnem dotoku v poln bazen, kot hitrost horizontalnega toka skozi bazen pri kritičnem dotoku (bazen brez RVV) znotraj predpisanega območja:

$$q_a = 7,6380777 \text{ m/h} < 10 \text{ m/h}, v_h = 0,024381 \text{ m/s} < 0,05 \text{ m/s}.$$

ZBDV: Hudovernik**Prispevno območje:** levi breg + Selo, Velenje (468,013 ha)**Kritični naliv:** $n = 1$, $t = 15$ min

Pri dimenzioniranju ZBDV Hudovernik je potrebno upoštevati ZBDV, ki so predvideni na samem KS »gorvodno«. Iz tega razloga pri samih podatkih odštejemo povprečne dnevne sušne odtoke posameznih bazenov, ter velikosti reduciranih prispevnih površin.

Velikost reduciranih prispevnih površin tega območja znaša 38,06 ha (68,99 ha – 30,946 ha), povprečni dnevni sušni odtok Q_{dw24} pa 68,33 l/s (96,25 l/s – 27,92 l/s). Potrebna prostornina predvidenega ZBDV Hudovernik je določena na 696,5 m³.

Preglednica 4.7: Predvideni ZBDV, ki ležijo »gorvodno« od ZBDV Hudovernik

ZBDV	A_u [ha]	Q_{dw24} [l/s]
Gorica - jug	6,098	10,57
Gasilski dom Velenje	8,760	11,94
Staro Velenje	8,398	2,84
Ljubljanska Cesta	7,680	2,57
Skupaj:	30,936	27,92

Izbrane dimenzije ZBDV za potrebni volumen so: $L = 27,31$ m, $B = 9,11$ m, $H = 2,8$ m, kar poda volumen $696,62$ m³. Pri izbiri takšnih dimenzij sta tako površinska obremenitev bazena pri kritičnem dotoku v poln bazen, kot hitrost horizontalnega toka skozi bazen pri kritičnem dotoku (bazen brez RVV) znotraj predpisanega območja:

$$q_a = 9,249311 \text{ m/h} < 10 \text{ m/h}, v_h = 0,04744 \text{ m/s} < 0,05 \text{ m/s}.$$

Umestitev zadrževalnega prelivnega bazena »Hudovernik« v prostor smo izvedli glede na lego obstoječega razbremenilnika in odvodnika (Paka), ter ostale razmere. Bazena je zato umeščen pod sam razbremenilnik in južno od primarnega kanalizacijskega voda. Gre za območje stanovanjskih hiš ter poslovne zgradbe. Z lociranjem samega zadrževalnega območja se dve stanovanjski hiši predvidita za rušenje.

Območje razbremenilnika in zadrževalnega bazena se tako lahko razprostere na 2223 m². Zaradi tega ni potrebno prestavljati nobenega kanala, ukine pa se samo iztočna betonska cev dolžine $7,5$ m v Pako. Na iztoku iz razbremenilnika se namesti nova betonska razbremenilna cev istega premera ter dolžine $1,2$ m, ki povezuje obstoječi razbremenilnik in predvideni zadrževalni bazen. Odvodni kanal bazena je betonski premera 120 cm in dolžine 12 m ter odvaja prelito vodo iz bazena v Pako. Ob koncu gradnje je potrebno vzpostaviti prvotno stanje (ponovna izdelava dela cestišča, ki se zaradi gradnje poruši, ter humusiranje).

ZBDV: Šalek_II

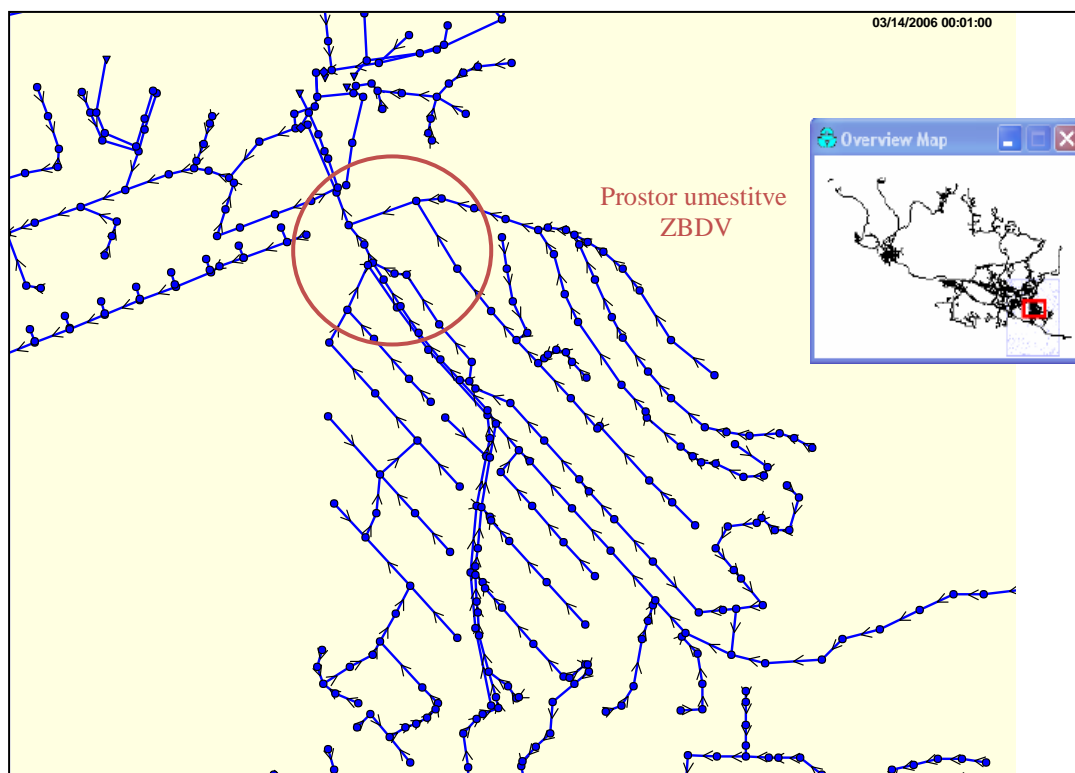
Prispevno območje: Gorica, Velenje ($52,663$ ha)

Kritični naliv: $n = 1$, $t = 5$ min

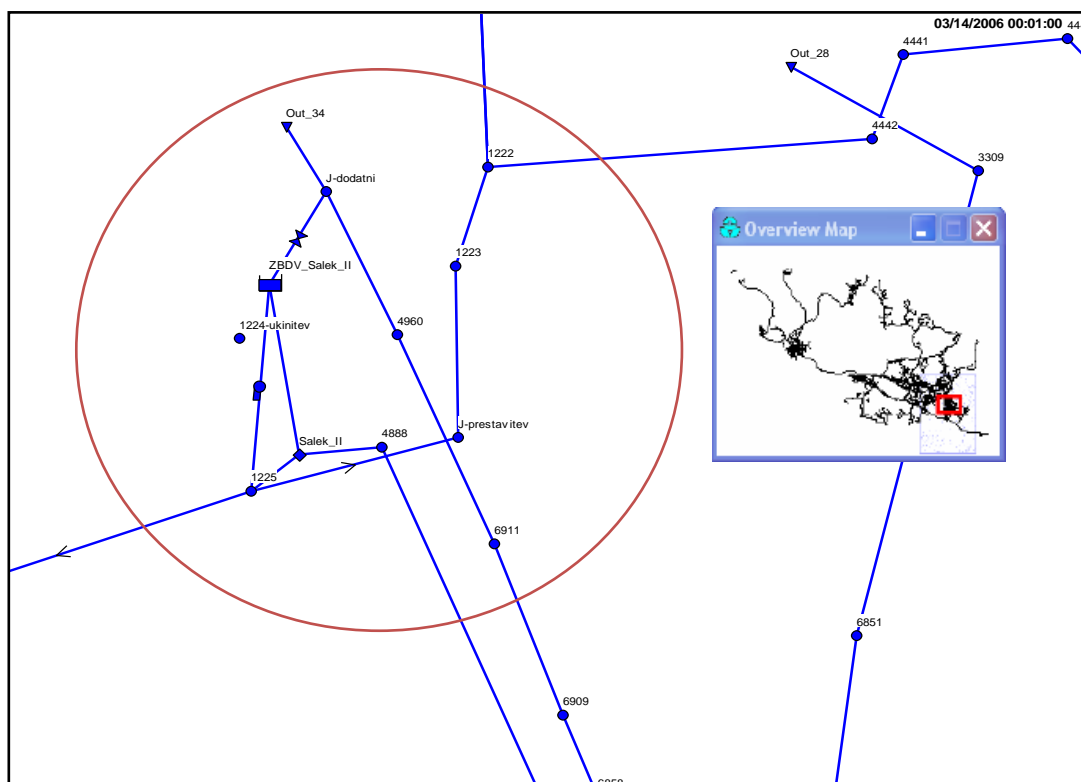
Velikost reduciranih prispevnih površin tega območja znaša $16,07$ ha, povprečni dnevni sušni odtok Q_{dw24} pa $17,42$ l/s. Potrebna prostornina predvidenega ZBDV Cesta talcev je določena na 345 m³. Izbrane dimenzije ZBDV za potrebni volumen so: $L = 18,4$ m, $B = 6,8$ m, $H = 2,76$ m, kar poda volumen $345,33$ m³. Pri izbiri takšnih dimenzij sta tako površinska obremenitev bazena pri kritičnem dotoku v poln bazen, kot hitrost horizontalnega toka skozi bazen pri kritičnem dotoku (bazen brez RVV) znotraj predpisanega območja:

$$q_a = 7,4384679 \text{ m/h} < 10 \text{ m/h}, v_h = 0,0266218 \text{ m/s} < 0,05 \text{ m/s}.$$

Umestitev zadrževalnega prelivnega bazena » Šalek_II« v prostor smo izvedli glede na lego obstoječega razbremenilnika in odvodnika (Paka), ter ostale razmere, kot to prikazuje slika 4.4. Zaradi tega se prestavi 2 betonska kanala premera 40 cm v skupni dolžini 37,97 m. Ukinjena je tudi betonska razbremenilna cev premera 120 cm dolžine 11,64 m, na iztoku iz razbremenilnika pa se namesti nova betonska razbremenilna cev istega premera dolžine 1,54 m, ki povezuje obstoječi razbremenilnik in predvideni zadrževalni bazen. Odvodni kanal bazena je betonski, premera 120 cm in dolžine 7,12 m ter odvaja prelito vodo iz bazena v obstoječi betonski kanal premera 120 cm, ki vodi k izpustu Φ 120 cm v Pako. Na mestu priklopa odvodnega kanala na obstoječi kanal se na mestu izdelata armiranobetonski združitevni objekt. Ostali elementi KS ostanejo nespremenjeni (Rep, D., 2007).



Slika 4.1: Izsek iz modela SWMM s simulacijo 5` naliva (prikaz prostora umestitve ZBDV Šalek_II)



Slika 4.2: Izsek iz modela SWMM s simulacijo 5` naliva (RVV in ZBDV Šalek_II)

4.9 Rezultati in ugotovitve

Dobljeni rezultati s programom SWMM potrjujejo definicijo prvega vala onesnaženja, ki pravi, da je najbolj kritičen odtok v začetnih minutah. Iz tega razloga so v nadaljevanju predstavljeni dobljeni rezultati 5` naliva, ki se je izkazal kot najbolj kritičen.

Spodnji preglednici 4.8 in 4.9 podajata rezultate na celotnem KS Velenje-Šoštanj brez oz. z ZBDV Šalek II v primeru vhodnih parametrov povprečnih vrednosti. Preglednici 4.10 in 4.11 pa podajata rezultate na celotnem KS Velenje-Šoštanj brez oz. z ZBDV Šalek II v primeru vhodnih karakteristik s tri-kratnimi povečanimi vrednostmi, ki nakazujejo na pojav prvega vala onesnaženja.

Preglednica 4.8: Kvalitativni rezultati KS Velenje-Šoštanj po varianti I s povprečnimi vrednostmi vhodnih podatkov

5` naliv (brez ZBDV Šalek II)	TSS [kg]	KPK [kg]	Pb [kg]	Cu [kg]	Zn [kg]	TP [kg]	TKN [kg]
Začetno kopičenje	17135,40	12895,80	39,70	15,40	42,90	65,50	886,60
Kopičenje v času sušnega obdobja	714,50	537,70	1,65	0,64	1,78	2,73	4,49
Količina izpranih onesnažil iz PP	121,10	124,80	0,00	0,00	0,001	1,56	4,44
Zunanji iztok v vodne recipiente (Paka)	223,97	230,50	0,00	0,00	0,001	2,92	8,34

Preglednica 4.9: Kvalitativni rezultati KS Velenje-Šoštanj z umestitvijo ZBDV Šalek_II po varianti I s povprečnimi vrednostmi vhodnih podatkov

5` naliv (z ZBDV Šalek II)	TSS [kg]	KPK [kg]	Pb [kg]	Cu [kg]	Zn [kg]	TP [kg]	TKN [kg]
Začetno kopičenje	17135,40	12895,80	39,70	15,40	42,90	65,50	886,60
Kopičenje v času sušnega obdobja	714,50	537,70	1,65	0,64	1,78	2,73	4,49
Količina izpranih onesnažil iz PP	121,10	124,80	0,00	0,00	0,001	1,56	4,44
Zunanji iztok v vodne recipiente (Paka)	196,77	202,77	0,00	0,00	0,001	2,54	7,25

Logično, je začetno kopičenje v obeh primerih enako, razlike se pojavijo šele ob pregledu rezultatov zunanjega iztoka v vodne recipiente (Paka, ...). V času enega padavinskega dogodka, natančneje 5` naliva, ter upoštevanju 50-dnevnega sušnega obdobja, se iz KS Velenje – Šoštanj pojavi iztok v odvodnik, ki vsebuje 223,97 kg TSS, 230,50 kg KPK, 0,001 kg Zn, 2,92 kg TP ter 8,34 kg TKN. Ob prisotnosti le enega ZBDV Šalek_II, je moč opaziti količinsko zmanjšanje onesnažil v samem iztoku, ki se giblje med 12 – 13% oz. 196,77 kg TSS, 202,77 kg KPK, 0,001 kg Zn, 2,54 kg TP ter 7,25 kg TKN.

Preglednica 4.10: Kvalitativni rezultati KS Velenje-Šoštanj po varianti II – prvi val (tri-kratne vrednosti vhodnih podatkov)

5` naliv (brez ZBDV Šalek II)	TSS [kg]	KPK [kg]	Pb [kg]	Cu [kg]	Zn [kg]	TP [kg]	TKN [kg]
Začetno kopičenje	51406,19	38687,28	119,07	46,20	46,20	196,47	530,96
Kopičenje v času sušnega obdobja	2143,63	1613,26	4,96	1,93	1,925	8,19	7,96
Količina izpranih onesnažil iz PP	363,17	374,43	0,001	0,001	0,002	4,66	13,32
Zunanji iztok v vodne recipiente (Paka)	2444,56	2674,73	0,002	0,002	0,006	15,04	42,98

Preglednica 4.11: Kvalitativni rezultati KS Velenje-Šoštanj z umestitvijo ZBDV Šalek_II po varianti II – prvi val (tri-kratne vrednosti vhodnih podatkov)

5` naliv (z ZBDV Šalek II)	TSS [kg]	KPK [kg]	Pb [kg]	Cu [kg]	Zn [kg]	TP [kg]	TKN [kg]
Začetno kopičenje	51406,19	38687,28	119,07	46,20	46,20	196,47	530,96
Kopičenje v času sušnega obdobja	2143,63	1613,26	4,96	1,925	1,93	8,19	7,96
Količina izpranih onesnažil iz PP	363,17	374,43	0,001	0,001	0,002	4,66	13,32
Zunanji iztok v vodne recipiente (Paka)	667,87	695,55	0,001	0,001	0,003	7,84	22,39

V varianti II se ob predpostavljeno višjih vrednosti vhodnih parametrov pojavijo rezultatsko večje vrednosti. V času enega padavinskega dogodka, natančneje 5` naliva, ter upoštevanju 50-dnevnega sušnega obdobja, se iz KS Velenje – Šoštanj pojavi iztok v odvodnik, ki vsebuje 2444,56 kg TSS, 2674,7 3kg KPK, 0,006 kg Zn, 15,04 kg TP ter 42,98 kg TKN. Ob prisotnosti le enega ZBDV Šalek_II, je moč opaziti količinsko zmanjšanje onesnažil v samem iztoku, katerih vrednosti znašajo 667,87 kg TSS, 695,55 kg KPK, 0,003 kg Zn, 7,84 kg TP ter 22,39 kg TKN.

Preglednica 4.12 prikazuje iztoke v vodni recipient (reka Paka) po varianti I, pri katerih so koncentracijske vrednosti onesnažil najbolj opazne. Če koncentracije onesnažil na izpustih primerjamo z mejnimi vrednostmi parametrov za spremljanje onesnaženosti površinskih voda (glej prilogo C4) lahko ugotovimo sledeče:

- v kar 13-tih od skupno 21-tih (61%) kontroliranih razbremenilnih ceveh koncentracija SS presega mejne koncentracijske vrednosti,
- mejna vrednost KPK je presežena le v enem primeru (razbremenilna cev 2469 – PP Bela Dvorana), vendar se v treh primerih koncentracije približujejo mejni vrednosti
KPK (razbremenilna cev 2552 – PP Dijaški dom, razbremenilna cev 6780 – PP Ljubljanska cesta ter razbremenilna cev 2552 – PP Dijaški dom),
- vrednosti kovin (Pb, Zn, Cu) ter TP ter TKN so pod mejnimi koncentracijskimi vrednostmi).

V preglednici 4.13 pa so prikazani iztoki v vodni recipient (reka Paka) po varianti II, kjer koncentracije v večini primerov presegajo mejne vrednosti. Na tem mestu tako lahko govorimo o prvem valu onesnaženja, saj:

- v kar 19-tih od skupno 21-tih (86%) kontroliranih razbremenilnih ceveh koncentracija SS presega mejne koncentracijske vrednosti,
- mejna vrednost KPK je presežena v 11-ih primerih,
- vrednosti TP pa so presežene v 11-ih primerih.

Preglednica 4.12: Koncentracijske vrednosti onesnažil v razbremenilnih ceveh po varianti I - brez ZBDV Šalek_II

Razbremenilna cev	SS [mg/l]	KPK [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
<i>Mejne vrednosti</i>	25	120	10	50	3000	2-3	-
3608 (PP Aškerčeva)	40,63	44,02	0,04	0,04	0,13	0,3	0,85
2469 (PP Bela Dvorana)	121,23	132,72	0,1	0,1	0,32	0,76	2,11
10012 (PP Cesta Talcev)	48,61	49,58	0,1	0,1	0,29	0,68	1,94
2552 (PP Dijaški dom)	97,78	99,74	0,20	0,20	0,59	1,37	3,91
10016 (PP Gasilski dom)	9,66	9,85	0,02	0,02	0,06	0,14	0,39
1871 (PP Gorica_jug)	50,94	51,96	0,1	0,1	0,31	0,71	2,04
10007 (PP Gorenje GA)	38,52	39,32	0,08	0,08	0,23	0,54	1,53
2584 (PP Jenkova cesta)	11,14	11,37	0,02	0,02	0,07	0,16	0,45
6780 (PP Ljubljanska cesta)	109,87	112,07	0,22	0,22	0,66	1,54	4,39
3602 (PP Merx)	1,91	1,95	0,0	0,0	0,01	0,03	0,08
662 (PP Metleče)	8,42	8,72	0,01	0,01	0,04	0,10	0,30
794 (PP OŠ Kajuh)	36,48	37,20	0,07	0,07	0,22	0,51	1,46
2479 (PP Selo)	49,82	50,81	0,10	0,10	0,30	0,70	1,99
5724 (PP Stara vas)	63,37	64,74	0,13	0,13	0,38	0,88	2,50
10003 (PP Stari jašek_I)	13,77	14,05	0,03	0,03	0,08	0,19	0,55
10021 (PP Stari jašek_II)	26,66	30,23	0,01	0,01	0,02	0,06	0,15
10005 (PP Stari jašek_III)	65,65	73,13	0,04	0,03	0,11	0,28	0,76
6381 (PP Staro Velenje)	8,77	8,95	0,02	0,02	0,05	0,12	0,35
4441 (PP Šalek_II)	1,27	1,30	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05
3852 (PP Tovarniška pot)	62,31	63,56	0,12	0,12	0,37	0,87	2,49
1463 (PP Zdravstveni dom)	3,07	3,13	0,01	0,01	0,02	0,04	0,12

Preglednica 4.13: Koncentracijske vrednosti onesnažil v razbremenilnih ceveh po varianti II - brez ZBDV Šalek_II

Razbremenilna cev	SS [mg/l]	KPK [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
<i>Mejne vrednosti</i>	25	120	10	50	3000	2-3	-
3608 (PP Aškerčeva)	121,90	132,06	0,12	0,12	0,38	0,89	2,54
2469 (PP Bela Dvorana)	363,69	398,17	0,31	0,30	0,95	2,21	6,32
10012 (PP Cesta Talcev)	145,82	148,73	0,29	0,29	0,87	2,04	5,83
2552 (PP Dijaški dom)	293,34	299,20	0,59	0,59	1,76	4,11	11,73
10016 (PP Gasilski dom)	28,97	29,55	0,06	0,06	0,17	0,41	1,16
1871 (PP Gorica_jug)	152,81	155,87	0,31	0,31	0,92	2,14	6,11
10007 (PP Gorenje GA)	115,57	117,95	0,23	0,23	0,69	1,61	4,60
2584 (PP Jenkova cesta)	33,43	34,10	0,07	0,07	0,20	0,47	1,43
6780 (PP Ljubljanska cesta)	329,62	336,21	0,66	0,66	1,98	4,61	13,18
3602 (PP Merx)	5,73	5,84	0,01	0,01	0,03	0,08	0,23
662 (PP Metleče)	25,25	26,16	0,04	0,04	0,13	0,31	0,89
794 (PP OŠ Kajuh)	109,43	111,61	0,22	0,22	0,66	1,53	4,38
2479 (PP Selo)	149,45	152,43	0,30	0,30	0,90	2,09	5,98
5724 (PP Stara vas)	190,11	194,22	0,38	0,38	1,13	2,63	7,51
10003 (PP Stari jašek_I)	41,31	42,14	0,08	0,08	0,25	0,58	1,65
10021 (PP Stari jašek_II)	102,76	116,51	0,02	0,02	0,09	0,20	0,58
10005 (PP Stari jašek_III)	539,74	554,83	1,01	1,01	3,04	7,10	20,30
6381 (PP Staro Velenje)	26,31	26,84	0,05	0,05	0,16	0,37	1,05
4441 (PP Šalek_II)	4,30	4,39	0,01	0,01	0,03	0,06	0,17
3852 (PP Tovarniška pot)	186,94	190,68	0,37	0,37	1,12	2,62	7,48
1463 (PP Zdravstveni dom)	9,20	9,38	0,02	0,02	0,06	0,13	0,37

Preglednica 4.14: Povzetek kopičenja onesnažil na iztokih v odvodnik po varianti I – brez ZBDV Šalek_II

Iztočni jašek	Pretok		SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	Povp. [m ³ /s]	Max [m ³ /s]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Out_4	0,010	0,120	0,218	0,222	0,000	0,000	0,000	0,003	0,009
Out_17	0,010	0,18	0,46	0,46	0,000	0,000	0,000	0,006	0,018
Out_19	0,190	0,330	0,476	0,486	0,000	0,000	0,000	0,007	0,019
Out_24	0,010	0,160	0,109	0,111	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004
Out_30	0,020	0,590	0,107	0,109	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004
Out_31	0,790	1,390	2,859	2,916	0,000	0,000	0,000	0,040	0,114
Out_35	0,340	1,150	3,624	3,697	0,000	0,000	0,000	0,051	0,145
Out_36	0,820	1,570	2,951	3,010	0,000	0,000	0,000	0,041	0,118
Out_37	0,050	0,340	1,861	2,064	0,000	0,000	0,000	0,009	0,024
Out_38	0,340	0,920	0,040	0,041	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002
Out_43	0,070	0,970	0,688	0,760	0,000	0,000	0,000	0,004	0,010
Out_44	0,090	1,050	3,607	3,681	0,000	0,000	0,000	0,050	0,144
Out_54	0,410	0,870	1,080	1,102	0,000	0,000	0,000	0,015	0,043
Out_56	0,210	0,500	0,223	0,242	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005
Out_60	0,410	0,820	2,442	2,490	0,000	0,000	0,000	0,034	0,098
Out_101	0,170	0,500	0,210	0,214	0,000	0,000	0,000	0,003	0,008
2104	0,150	1,550	1,258	1,283	0,000	0,000	0,000	0,018	0,050
Out_2_CČN	0,100	0,760	159,68	164,53	0,000	0,000	0,001	2,064	5,887
Out_C.Talcev	0,420	1,050	4,434	4,523	0,000	0,000	0,000	0,062	0,177
Out_Gorenje_GA	0,030	0,080	0,315	0,322	0,000	0,000	0,000	0,004	0,012
Out_Hudovernik	1,030	2,000	8,354	8,521	0,000	0,000	0,000	0,117	0,334
Out_Stari_jasek_III	0,100	0,330	1,321	1,487	0,000	0,000	0,000	0,004	0,011

Preglednica 4.15: Povzetek kopičenja onesnažil na iztokih v odvodnik po varianti II – brez ZBDV Šalek_II

Iztočni jašek	Pretok		SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	Povp. [m ³ /s]	Max [m ³ /s]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Out_4	0,010	0,120	0,654	0,667	0,000	0,000	0,000	0,090	0,26
Out_17	0,010	0,18	1,364	1,391	0,000	0,000	0,000	0,019	0,066
Out_19	0,190	0,330	1,429	1,457	0,000	0,000	0,000	0,020	0,057
Out_24	0,010	0,160	0,328	0,334	0,000	0,000	0,000	0,005	0,013
Out_30	0,020	0,590	0,320	0,327	0,000	0,000	0,000	0,004	0,013
Out_31	0,790	1,390	8,577	8,749	0,000	0,000	0,000	0,120	0,343
Out_35	0,340	1,150	10,872	11,090	0,000	0,000	0,000	0,152	0,435
Out_36	0,820	1,570	8,854	9,031	0,000	0,000	0,000	0,124	0,354
Out_37	0,050	0,340	5,583	6,193	0,000	0,000	0,000	0,025	0,073
Out_38	0,340	0,920	0,120	0,123	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005
Out_43	0,070	0,970	2,065	2,279	0,000	0,000	0,000	0,011	0,030
Out_44	0,920	1,050	91,053	100,93	0,000	0,000	0,000	0,424	1,211
Out_54	0,410	0,870	3,240	3,305	0,000	0,000	0,000	0,045	0,130
Out_56	0,210	0,500	0,669	0,725	0,000	0,000	0,000	0,005	0,014
Out_60	0,410	0,820	7,325	7,471	0,000	0,000	0,000	0,103	0,293
Out_101	0,170	0,500	0,630	0,642	0,000	0,000	0,000	0,009	0,025
2104	0,150	1,550	3,774	3,849	0,000	0,000	0,000	0,530	0,151
Out_2_CČN	0,020	0,760	476,16	490,75	0,001	0,001	0,003	6,137	17,52
Out_C.Talcev	0,420	1,050	13,302	13,568	0,000	0,000	0,000	0,186	0,532
Out_Gorenje_GA	0,030	0,080	0,946	0,967	0,000	0,000	0,000	0,013	0,037
Out_Hudovernik	1,030	2,000	25,063	25,564	0,000	0,000	0,000	0,351	1,003
Out_Stari_jasek_III	0,100	0,330	3,963	4,462	0,000	0,000	0,000	0,011	0,032

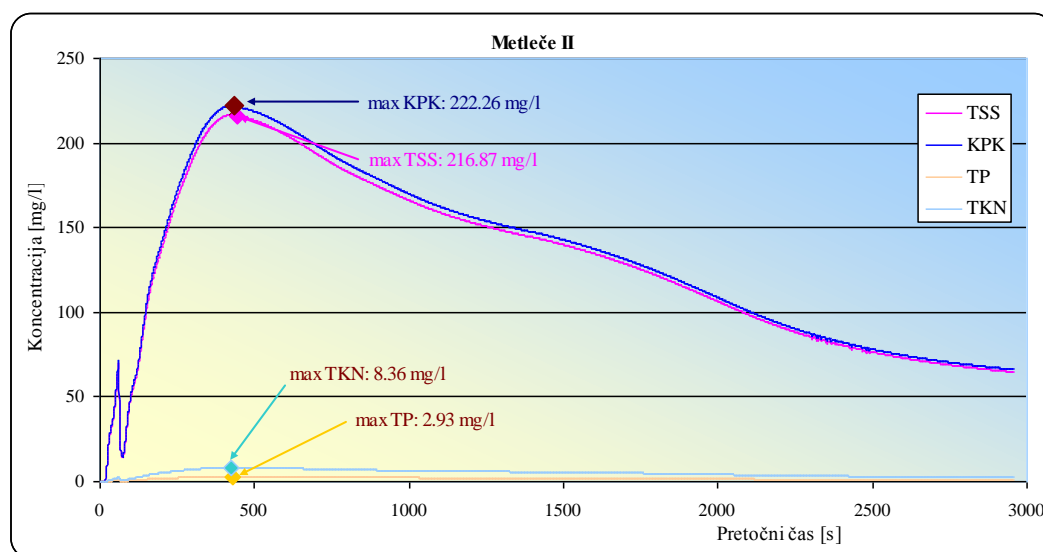
V nalogi smo naredili primerjavo med KS Velenje-Šoštanj brez ZBDV Šalek_II ter z ZBDV Šalek_II še v treh izbranih vozliščih. In sicer smo primerjali koncentracijske vrednosti onesnažil na RVV Metleče_II ter RVV Metleče_II ob prisotnosti ZBDV Šalek_II, v razbremenilni cevi 4441 ter razbremenilni cevi 4441 ob prisotnosti ZBDV Šalek_II ter na prelivu ZBDV Šalek_II in iztoku_34 v Pako. Tudi tu je lepo vidna razlika v maksimalni koncentracijski vrednosti posameznih onesnažil.

Preglednica 4.16: Koncentracije onesnažil v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5' nalivu za varianti I in II

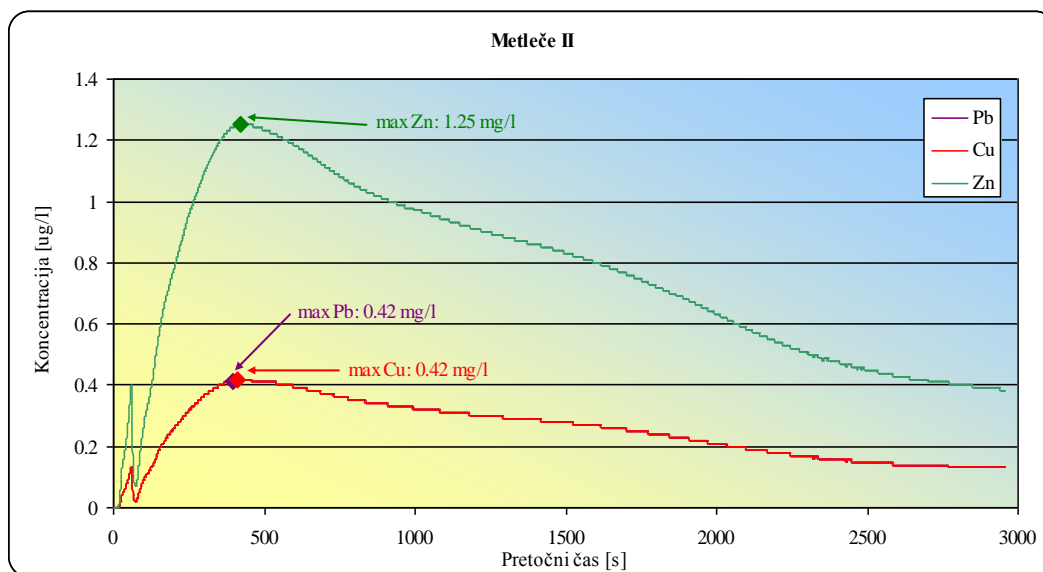
RVV Metleče_II	SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	[mg/l]	[mg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Varianta I	216,87	222,26	0,42	0,42	1,25	2,93	8,36
Varianta II	650,62	666,80	1,25	1,25	3,76	8,77	25,07

Preglednica 4.17: Koncentracije onesnažil v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5' nalivu ter prisotnem ZBDV Šalek_II za varianti I in II

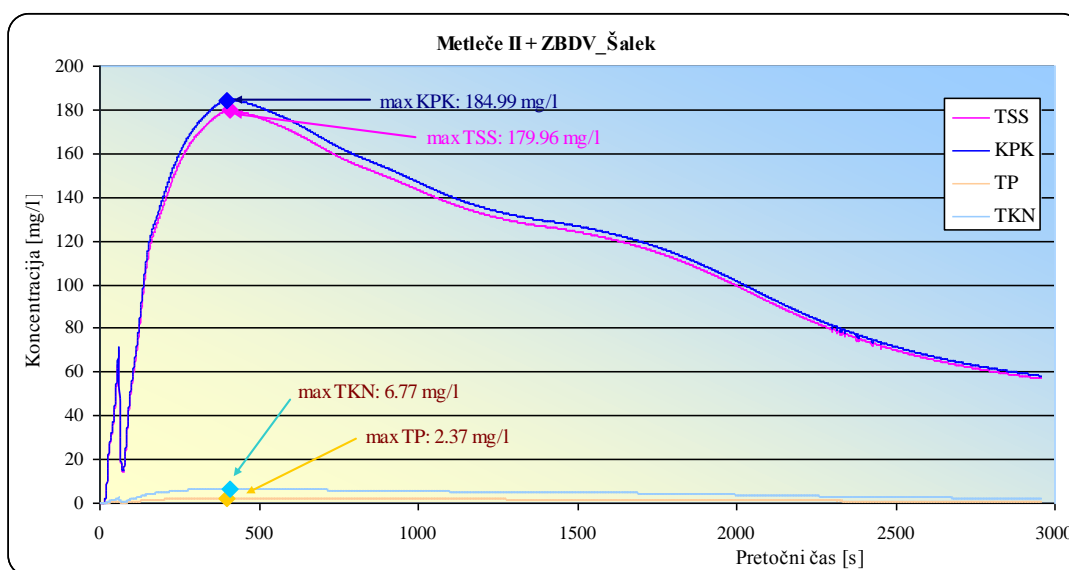
RVV Metleče_II + ZBDV Šalek_II	SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	[mg/l]	[mg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Varianta I	179,09	184,99	0,34	0,34	1,02	2,37	6,77
Varianta II	539,81	554,85	1,01	1,01	3,05	7,11	20,31



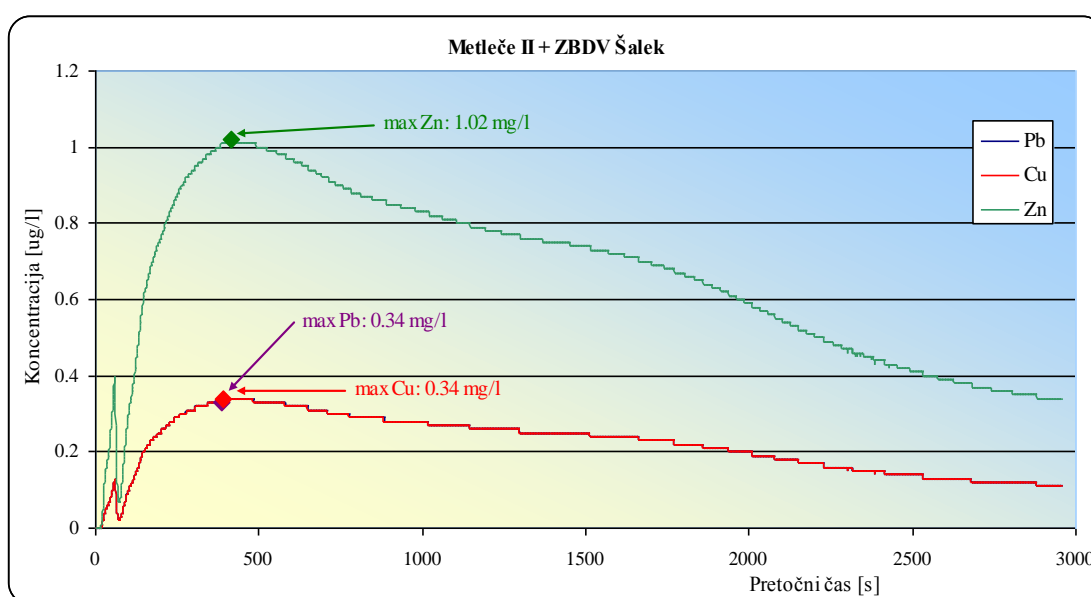
Slika 4.3: Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5` naliivu po varianti I



Slika 4.4: Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CČN) pri 5` naliivu po varianti I



Slika 4.5: Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CCN) pri 5` nalu ter prisotnem ZBDV Šalek_II po varianti I



Slika 4.6: Koncentracije onesnažil v odvisnosti od časa v RVV Metleče_II (pred CCN) pri 5` nalu ter prisotnem ZBDV Šalek_II po varianti I

Preglednica 4.18: Koncentracije onesnažil v razbremenilni cevi 4441 pri 5' nalivu za varianti I in II

Razbremenilna cev 4441	SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	[mg/l]	[mg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Varianta I	1,43	1,46	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06
Varianta II	4,30	4,39	0,01	0,01	0,03	0,06	0,17

Preglednica 4.19: Koncentracije onesnažil v razbremenilni cevi 4441 pri 5' nalivu ter prisotnem ZBDV Šalek_II za varianti I in II

Razbremenilna cev 4441 + ZBDV Šalek_II	SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	[mg/l]	[mg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Varianta I	1,27	1,30	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05
Varianta II	3,82	3,89	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05

Preglednica 4.20: Koncentracije onesnažil na prelivu ZBDV Šalek_II pri 5' nalivu za varianti I in II

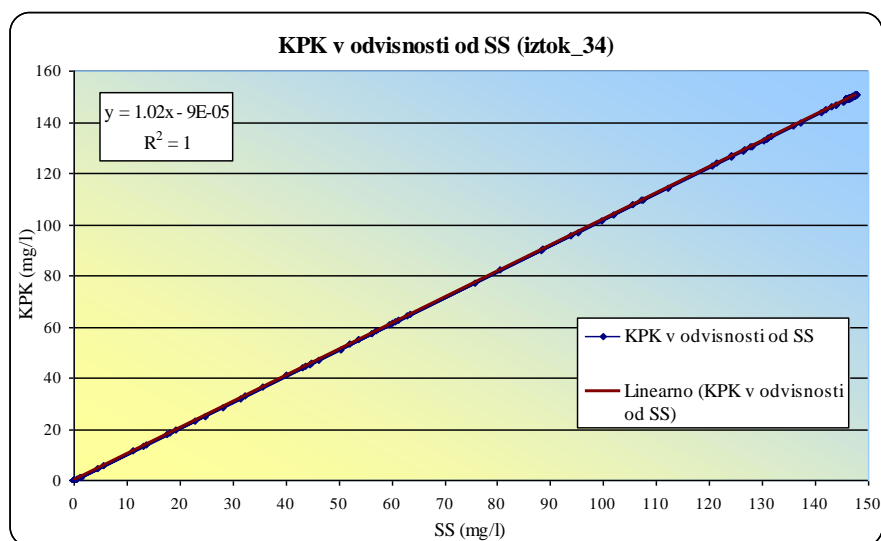
Preliv ZBDV Šalek_II	SS	KPK	Pb	Cu	Zn	TP	TKN
	[mg/l]	[mg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Varianta I	0,19	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Varianta II	0,58	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

Rezultati v zgornjih razpredelnicah 4.18, 4.19 in 4.20 lepo prikazujejo delež zadržanih onesnažil v ZBDV Šalek_II, ki ga predstavlja razlika med koncentracijo posameznega onesnažila v razbremenilni cevi 4441 ter koncentracijo onesnažila na samem prelivu zadrževalnega bazena. Delež SS, ki so zadržane v bazenu znaša 85%, kakor tudi delež KPK-ja. Koncentracija dušika pa se zmanjša za 80%.

Preglednica 4.21: Koncentracije onesnažil na iztoku_34 pri 5' nalivu za varianti I in II

Iztok_34	SS [mg/l]	KPK [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
Varianta I	147,87	150,83	0,30	0,30	0,89	2,07	5,91
Varianta II	443,62	452,49	0,89	0,89	2,66	6,21	17,74

Spodnja slika prikazuje koncentracijo KPK v odvisnosti od SS. Rezultati nakazujejo na linearno soodvisnost. Zaradi velikega korelacijskega koeficienta lahko povzamemo, da so suspendirane snovi zelo zanesljiv indikator za KPK. Torej, če lahko že na začetku vzpostavimo to korelacijo, določitev suspendiranih snovi do neke stopnje nadomešča meritve KPK.



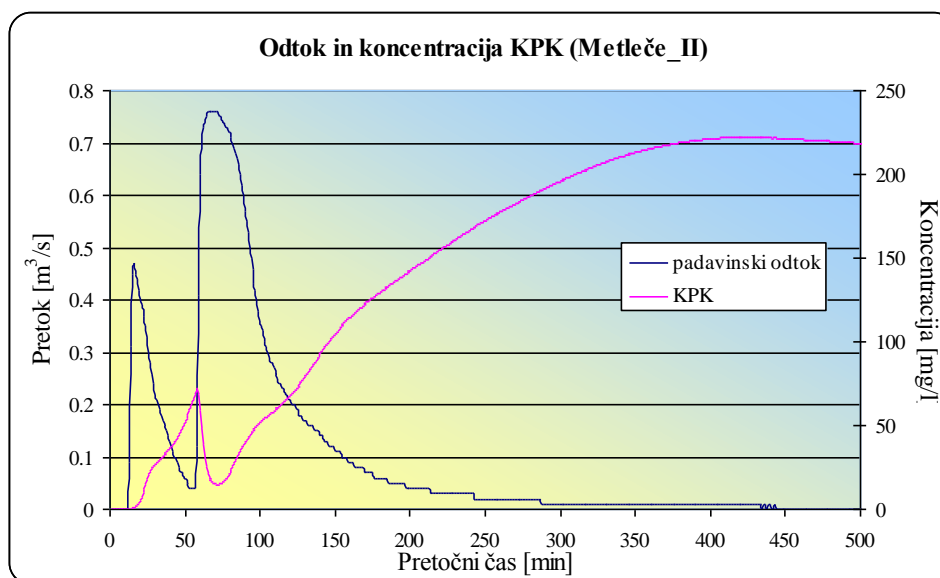
Slika 4.7: Koncentracije KPK v odvisnosti od SS na iztoku_34 v odvodnik Paka pri 5` nalivu po varianti I

Rezultati v preglednici 4.22 nakazujejo na vpliv, ki ga povzroči prisotnost enega samega ZBDV na mreži KS. Vrednost koncentracije KPK se je namreč po izračunu programa SWMM v varianti I v RVV Metleče_II pri 5` nalivu zmanjšala iz **222,26 mg/l** na **184,99 mg/l**, kar predstavlja **16,77 %** redukcijo v koncentraciji KPK.

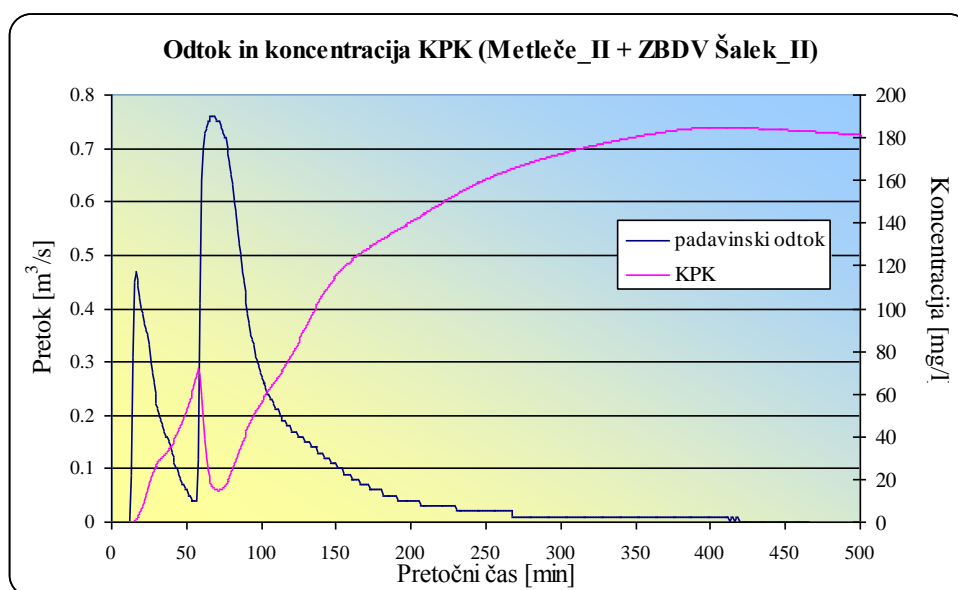
Preglednica 4.22: Maksimalne vrednosti padavinskega odtoka in koncentracije KPK pri 5` nalivu na RVV Metleče_II za varianti I in II

5` naliv	Padavinski odtok [m ³ /s]		KPK [mg/l]	
			Varianta I	Varianta II
Metleče_II	0,76	0,76	222,26	666,80
Metleče_II + ZBDV Šalek_II	0,76	0,76	184,99	554,99

Sliki 4.8 in 4.9 prikazujeta dejanski odtok in koncentracijo KPK med padavinskim dogodkom na RVV Metleče_II v primeru, ko je na sami mreži KS prisoten ZBDV Šalek_II oz. ko na mreži le-ta ni prisoten.



Slika 4.8: Padavinski odtok ter koncentracija KPK pri 5-minutnem nalivu na RVV Metleče_II po varianti I



Slika 4.9: Padavinski odtok ter koncentracija KPK pri 5-minutnem nalivu na RVV Metleče_II ter prisotnem ZBDV Šalek_II po varianti I

4.10 Komentar rezultatov

V nalogi so prikazani rezultati 5-minutnega naliva na KS Velenje-Šoštanj, ki povzroči prvi val onesnaženja. Koncentracije SS na izpuštih v odvodnik v varianti I presegajo v 61% mejne koncentracijske vrednosti, mejne vrednosti KPK so presežene le v enem primeru, v treh primerih pa se približujejo mejnim vrednostim. V varianti II so mejne vrednosti SS presežene v kar 18-tih od skupno 21-tih (86%) kontroliranih razbremenilnih ceveh, mejna vrednost KPK je presežena v 11-ih primerih, vrednosti TP pa so presežene v 11-ih primerih.

Na iztoku_34 (iztok iz PP Šalek_II) pri 5'nalivu, povprečne koncentracijske vrednosti onesnažil močno presegajo mejne vrednosti:

Varianta I:

SS: 147.87 mg/l > 25 mg/l

KPK: 150.83 mg/l > 120 mg/l

TP: 2.07 mg/l > 2 mg/l

Varianta II:

443,62 > 25 mg/l

452,49 > 120 mg/l

6,21 > 2 mg/l

Če govorimo o zaščiti voda oz. konkretno o zaščiti odvodnika Paka, je potrebno ves prvi val onesnaženja odvesti na ČN, še bolje pa zaradi dokaj nizkih pretokov v času sušnega obdobja, še dodatno zadržati tudi del še vedno onesnažene vode do volumna, ki odvodniku ne škodi več. Rezultati simulacij nakazujejo na velike količine prelite vode pri večini razbremenilnikov. Na takšnih mestih seveda pridejo v poštev le DPB, ki lahko zadržijo le del razbremenjene vode (prvi val onesnaženja oz. čistilni val). Zadržati morajo tolikšno količino onesnaženega prvega vala, da je kakovost nadaljnje prelite vode v odvodnik v dopustnih mejah.

Vsak razbremenilnik torej praviloma potrebuje tudi zadrževalni objekt. Le-tega potrebujejo tudi vsa črpališča mešanih vod, ki v primeru preobremenitve razbremenjujejo višek vode v odvodnik (ČR Ribiška koča in Stari jašek III). V KS Velenje-Šoštanj je tako potrebnih 26 zadrževalnih bazenov. Obstoječih razbremenilnikov je sicer 30, vendar trije izmed njih (Ribiška koča I, II in III) razbremenjujejo le izcedne vode iz komunalne deponije v že zgrajeni bazen s črpališčem (Škale-odlagališče).

Z rezultati, ki jih poda program SWMM je moč ugotoviti koncentracijsko soodvisnost med posameznimi onesnažili, kot npr. med KPK ter SS. Zaradi velikega korelacijskega koeficienta lahko povzamemo, da so suspendirane snovi zelo zanesljiv indikator za KPK. Zato določitev SS do neke stopnje nadomešča meritve KPK. Prav tako je opazna relativna »moč« prvega vala onesnaženja za PP s tipom rabe območja: naselja, kjer $SS > TKN > KPK > TP > Pb$, v primeru industrijske rabe območja pa velja: $SS > Pb > KPK$, kar potrjuje tezo, da različne rabe območja proizvedejo različne prve vale onesnaženja.

V nalogi sem ugotovila, da lahko v osnovi onesnažila, ki se pojavijo v padavinskem odtoku, razdelimo v tri kategorije:

1. onesnažila, kot je SS, na katera vplivajo pogoji med sušnim obdobjem in so lahko ublažena z nekaterimi aktivnostmi med sušnim obdobjem kot npr. čiščenje cestišč.. ,
2. onesnažila, na katera vplivajo pogoji med padavinskim dogodkom in so lahko ublažena z rednimi kontrolami odtoka,
3. onesnažila, na katera vplivajo tako sušna kot deževna obdobja.

5 ZAKLJUČKI

V diplomskem delu sem predstavila kvalitativno modeliranje padavinskega odtoka z računalniškim modelom SWMM, ki omogoča kratkoročne in dolgoročne kvantitativne in kvalitativne simulacije le-tega. Ovrednotila sem fenomen »prvega vala onesnaženja«, ki se tako nanaša na začetno stanje padavinskega dogodka, ki vsebuje, procentualno gledano, veliko količino onesnažil glede na relativno mali volumen padavinskega odtočnega vala. Zmanjšanje koncentracije onesnažil je včasih nadomeščeno s povečanjem razmerja odtoka v odvisnosti od napredovanja padavinskega dogodka.

Model SWMM uporablja razmerje masnih emisij kot vodilne enačbe in izraža koncentracije ali kopičenje onesnažil kot funkcijo časa. Spremenljivke so odvisne od volumna odtoka, intenzitete padavin, intenzitete prometa, predhodnih sušnih dni, obdajajoče izrabe tal in ostalih parametrov.

Razlika med minimumom in maksimumom izprane mase ter srednjimi koncentracijami dogodka so velike zaradi karakteristik samega dogodka in mesta, kot so intenziteta padavin, območje, odtočni koeficient ter predhodno sušno obdobje. Srednje koncentracije onesnažil so v negativni povezavi s trajanjem padavin, celotnim padavinskim dogodkom, celotnim odtočnim volumnom ter povprečno intenzivnostjo padavin. Večji padavinski dogodki imajo manjši EMC zaradi učinkov razredčenja ali izčrpanih mas onesnažil.

Prvi val onesnaženja oz. čistilni val, ki nastane na začetku padavinskega odtoka, je torej potrebno zadržati, ob koncu padavinskega dogodka oz. takrat, ko se odtočne razmere v KS umirijo, pa odvesti na čistilno napravo, kjer se biološko očisti pred izpustom v odvodnik (reko Pako). To nalogo bi naj v KS Velenje-Šoštanj opravljali zadrževalni bazeni, ki lahko vsebuje tudi varnostni (čistilni) preliv. Takšni bazeni imajo nalogo zadržati prvi val onesnaženja, ki je količinsko majhen, a močno onesnažen, v primeru večjih količin prejete vode pa razliko med prejeto in zadržano količino to delno (mehansko) očiščeno preliti v odvodnik. Kvaliteta prelite vode v odvodnik pa mora v takšnih okoliščinah biti v dopustnih mejah.

Z izgradnjo predvidenega zadrževalnega bazena se velike koncentracije zadržijo in odvedejo na čistilno napravo. Na iztoku v odvodnik, pa se posledično kvaliteta vode vrne v okvir dopustnih vrednosti.

Na območju KS Velenje-Šoštanj je izgradnja zadrževalnih bazenov zelo potrebna. Samo tako bo prestrežen prvi val onesnaženja in dosežen cilj – II. kakovostni razred Pake.

VIRI

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

Barrett, Michael E., Malina, Joseph F., JR., Charbeneau, Randall J., Ward, George H. 1995. Water Quality and Quantity impacts of Highway construction and operation: summary and conclusions. Austin, The University of Texas, Center for research in water resources, at Austin: 36 str.

Bastič, D. 1997. Prostorska evidenca kanalizacijskega sistema Šaleake doline in idejni projekt zadrževalnega bazena deževnih vod za podroje Gorica _ Bevče v Velenju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Višješolski študij gradbeništva: 78 str.

Bertrand-Krajewski, J-L., Ghassan, C., Saget, A.. 1998. Distribution of Pollutant Mass vs. Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. Water Research, Volume 32, Issue 8, August: Str. 2341-2356.

Dejavnost odvajanja in čiščenja odplak. 2006. Komunalno podjetje Velenje d.o.o.
<http://www.kp-velenje.si/index1.htm> (15.10.2006)

GIS podatki. 2006. Interni digitalni podatki podjetja. Velenje, Komunalno podjetje Velenje d.o.o.

Grošelj, J. 2003. Idejni projekt kanalizacijskega sistema na območju Kranja _ Britof, Predoslje in Orehovlje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 67 str.

Hamilton, R. S., Harrison, R. M..1991. Highway Pollution. Studies in Environmental Science 44: str. 510.

Huber, W.C., Dickinson R.E. 1992. SWMM, Version 4: Users Manual. Athens, Georgia, U.S. Environmental Protection Agency: 502 str.

www.cee.odu.edu/model/swmm.php (15.10.2006)

Huber, W.C..1986. Deterministic Modelling of Urban Runoff Quality. In: Torno, H.C., Marsalek, J., Desbordes, M.. Urban Runoff Pollution Springer-Verlag: str. 167-242.

Kim, Lee-Hyung., Kayhanian, Masoud., Zoh, Kyung-Duk., Stenstrom, Michael K. 2004. Modeling of highway stormwater runoff. Science of the total Environment 348: str. 1-18.

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

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

Mangani, Giovanna., Berloni, Arnaldo., Bellucci, Francesca., Tatano, Fabio., Maione, Michela. 2005. Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters. Water, Air and Soil Pollution 160: str. 213-228.

Mesečne in letne višine padavin. Meteorološki letopis 2004. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

http://www.arso.gov.si/podrocja/vreme_in_podnebje/podnebje/2004pad_vis.pdf

(12.08.2006)

MOV statistika. Mestna občina Velenje.

<http://www.velenje.si/default.asp?id=148> (10.10.2007)

Občina Šoštanj. Ljubljana, Prostorski informacijski sistem občin.

<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=SOSTANJ> (10.10.2007)

Občina Velenje. Ljubljana, Prostorski informacijski sistem občin.

<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=VELENJE> (10.10.2007)

Panjan, J. 2001. Prvi val onesnaženja, analiza delovanja in nastanitev GIS obstoječih zadrževalnih bazenov pri avtoceste. Razvojno-raziskovalna naloga. Zaključno poročilo v letu 2001. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za Gradbeništvo in geodezijo: 76 str.

Pražnikar, Š. 1999. Ocena vplivov onesnaževalcev na vodno okolje Šaleške doline. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, VZZ, Oddelek za sanitarno inženirstvo: 58 str.

Projekti MOV. Mestna občina Velenje. <http://www.velenje.si/default.asp?id=303> (8.1.2007)

Rep, D. 2007. Uporaba programa SWMM in smernic ATV 128 za dimenzioniranje kanalizacijskih sistemov in zadrževalnih bazenov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 106 str.

River Engineering Division, Department of Irrigation and Drainage – Malaysia. 2000. Urban Stormwater Management Manual for Malaysia.

<http://www.water.gov.my/division/river/stormwater/toc.htm> (16.04.2007)

Rossman, L. A. 2005a. SWMM Users Manual Version 5. Cincinnati, OH, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: 239 str.
<http://www.epa.gov/ednrrmrl/models/swmm/index.htm> (10.05.2006)

Rossman, L. A. 2005b. Storm Water Management Model quality assurance report: Dynamic wave flow routing. Cincinnati, OH, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: 115 str.

<http://www.epa.gov/ednrrmrl/models/swmm/index.htm> (10.05.2006)

Sansalone, J. J., S. G. Buchberger. 1997. Characterization of Solid and Metal Element Distribution in Urban Highway Stormwater. *Water Science and Technology* 36, 8-9: str. 155-160.

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

Šterbenk, E. 2005. Šaleška dolina - učilnica na prostem. Vpliv pokrajine na jezera in vpliv jezer na pokrajino. V: Plut, D., Bricelj, M., Gros, D., Jakopi, D. Slovenija - vodna učna pot Evrope. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, FF, Oddelek za geografijo: str. 67-72

Tsihrintzis, V. A., Hamid, R.. 1997. Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review. *Water Resources Management* 11: str. 137-164

Yuming, Su., Gayle F., Mitchell, Neil D., Thomas.. 2005. Characteristics of First Flush Effects in Storm Water Runoff via a Retention-Detention System. Ohio, Ohio University, Department of Civil Engineering: 19 str.

<http://www.ent.ohiou.edu/~yumingsu/indexbpjt.htm> (16.05.2006)

Yuming, Su., Gayle F., Mitchell.. 2005. Using first order modeling to describe first flush effects of storm water runoff. Ohio, Ohio University, Department of Civil Engineering: 7 str.

<http://www.ent.ohiou.edu/~yumingsu/indexbpjt.htm> (16.05.2006)

PRILOGE

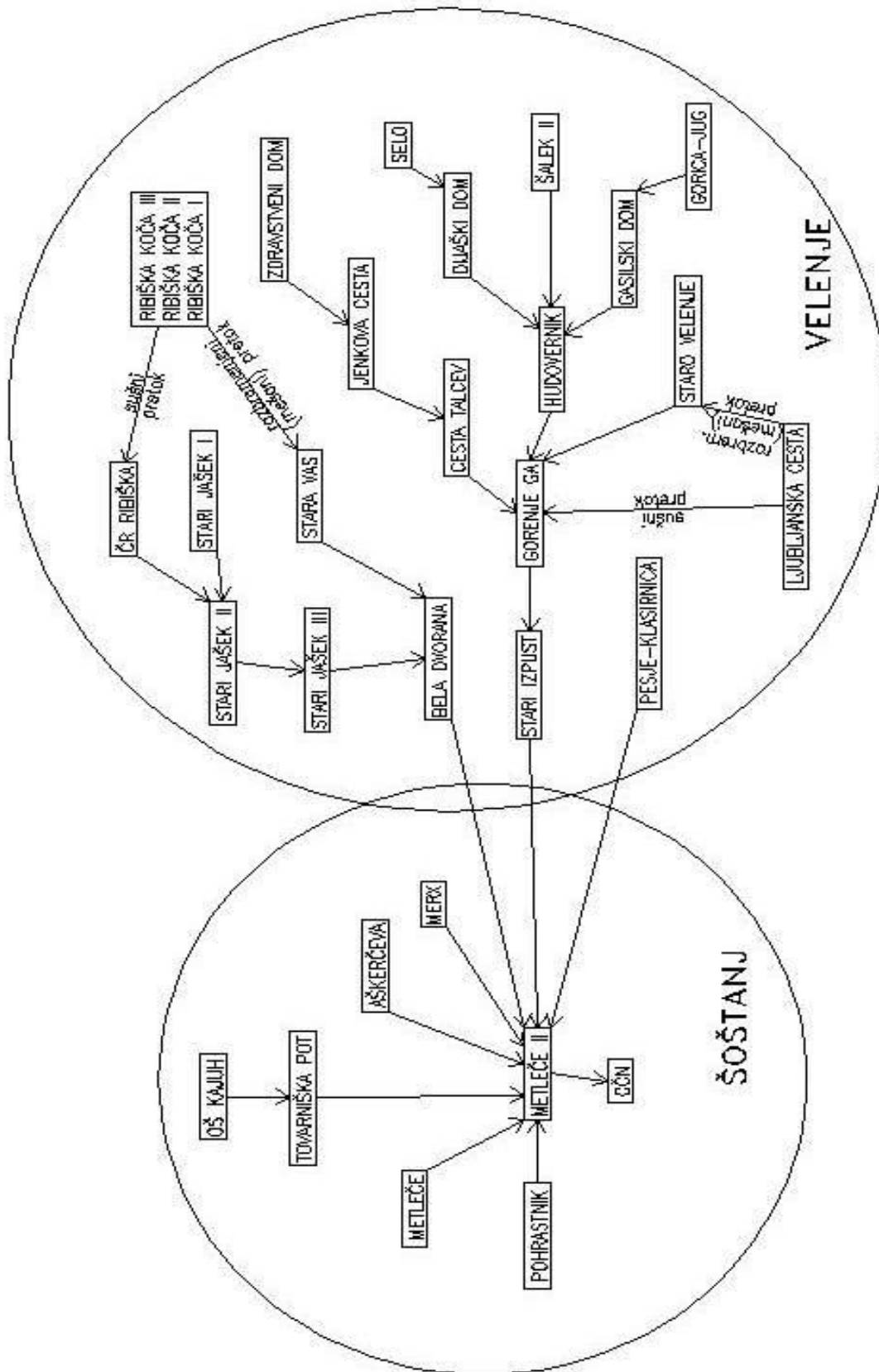
Priloga A	Odtok odpadne vode v KS Velenje-Šoštanj
A1	Shema pretokov med razbremenilniki
A2	Količina odpadnih voda iz industrije in velike obrti, odvedenih v KS leta 2005

Priloga B	Odtok padavinske vode v KS Velenje-Šoštanj
B1	Krivulja jakosti nalivov
B2	Površine območij in njihove reducirane površine
B3	Padavinski odtoki po ceveh pri razbremenilniku Šalek II
B4	Časi odtokov po kanalih pri maksimalnem nalivu
B5	Padavinski odtoki s koncentracijskimi vrednostmi onesnažil po razbremenilnih ceveh v KS Velenje-Šoštanj varianti I

Priloga C	Pomoč pri modeliranju kvalitete odtoka padavinske vode v KS Velenje-Šoštanj
C1	Vrednosti kopičenja onesnažil (kg/ha/leto) na različnih rabah tal
C2	Srednje koncentracijske vrednosti padavinskega odtoka iz avtocest
C3	Karakteristike vodne kvalitete urbanega odtoka
C4	Mejne vrednosti parametrov za spremljanje stanja onesnaženosti površinskih voda

Priloga D	Grafične priloge	
D1	Situacija KS Velenje-Šoštanj	M = 1:20000
D2	Situacija prispevnih površin za KS Velenje-Šoštanj	M = 1:20000
D3	Situacija predvidenega ZBDV Šalek II	M = 1:200
D4	Situacija predvidenega ZBDV Hudovernik	M = 1:200

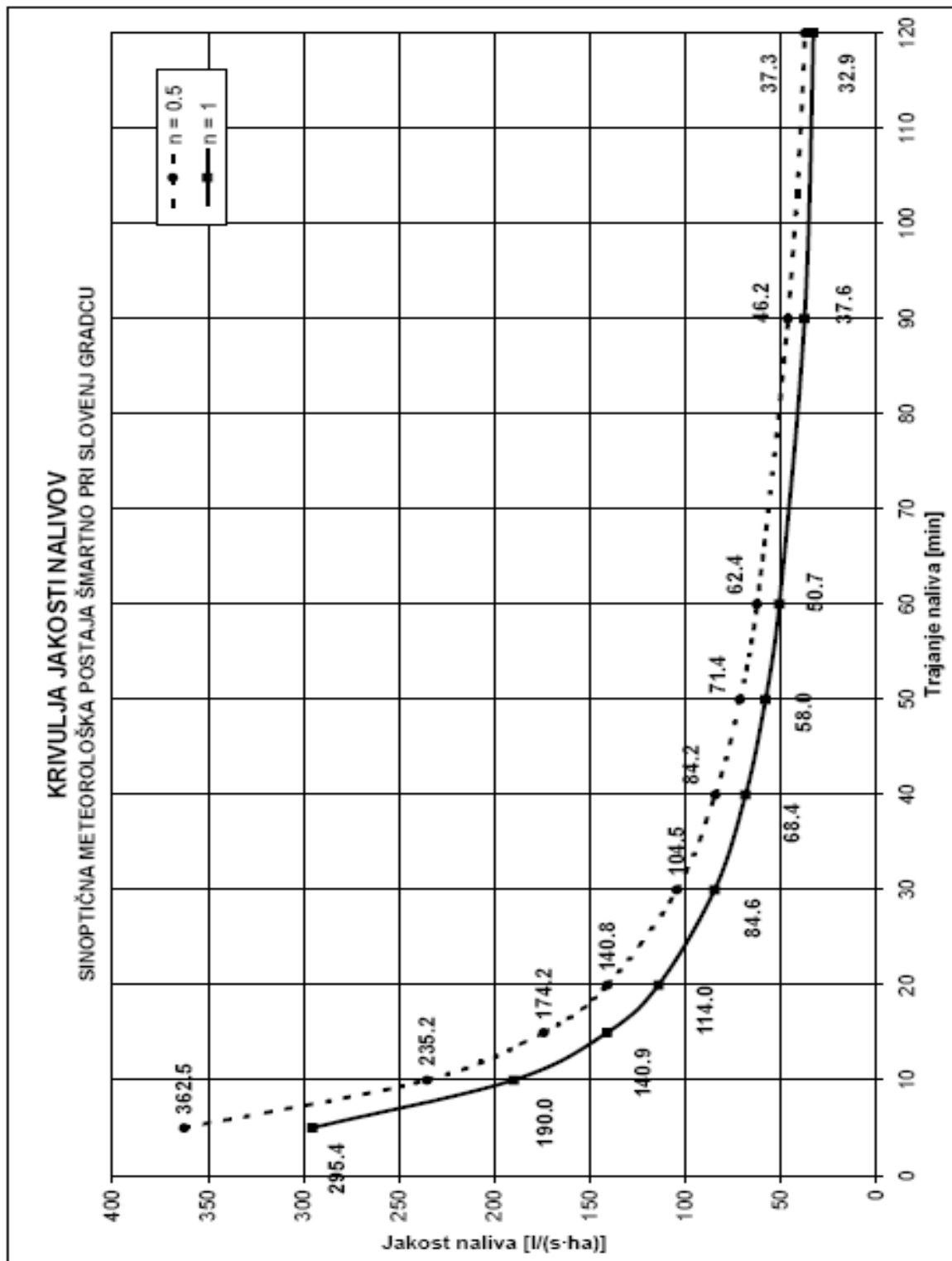
PRILOGA A1: Shema pretokov med razbremenilniki



PRILOGA A2: Količina odpadnih voda iz industrije in velike obrti, odvedenih v KS leta 2005

Industrija, velika obrt	Odp. vode	Odp. vode	Razbremenilnik	DNEVNA KONICA
Naziv	[m³/leto]	[l/s]	Naziv	[l/s]
VEGRAD ŽELEZOKRIVNICA	257.00	0.008	Selo	0.015
VEGRAD MEHANIZACIJA	875.00	0.028	Selo	0.051
VEGRAD VEMONT	12942.00	0.410	Selo	0.749
VEPLAS HALA I	1592.00	0.049	Gorenje GA	0.089
GORENJE SKLADIŠČE V.S.	130.00	0.004	Gorenje GA	0.008
GORENJE EMBALAŽA	403.00	0.013	Gorenje GA	0.023
GORENJE STARA PLASTIKA	1769.00	0.056	Gorenje GA	0.102
GORENJE LAKIRNICA	1851.00	0.059	Gorenje GA	0.107
BLUES d.o.o.	2427.00	0.077	Gorenje GA	0.140
GORENJE PRI GD	3443.00	0.109	Gorenje GA	0.199
GORENJE POHIŠTVO	5312.00	0.168	Gorenje GA	0.307
GORENJE PRI G. VRAT.	211065.00	6.693	Gorenje GA	12.214
GORENJE PRI TOV. VRAT.	175378.00	5.561	Stari izpust	10.149
PUP DELAVNICE	2162.00	0.069	Stari jašek I	0.125
MIZARSTVO OP. MVKM	836.00	0.027	Stari jašek I	0.048
FIRŠT ROTOTEHNIKA	476.00	0.015	Stari jašek II	0.028
DAMA d.o.o.	842.00	0.027	Stari jašek II	0.049
ŠCV	882.00	0.028	Stari jašek II	0.051
APS d.d., APOVIZIJA	1915.00	0.061	Stari jašek II	0.111
PREMOGOVNIK VELENJE d.d.	64814.00	2.055	Stari jašek II	3.715
PUP PLASTINJAK	4409.00	0.140	Stara vas	0.255
PEČOVNIK KOVIN.	9111.00	0.289	Stara vas	0.527
TRC JEZERO d.o.o.	8447.00	0.268	Bela dvorana	0.489
MINS NO1 d.o.o.	665.00	0.021	Bela dvorana	0.038
PREMOGOVNIK VELENJE d.d.	698.00	0.022	Bela dvorana	0.040
INTEREUROPA d.d.	1029.00	0.033	Bela dvorana	0.060
ERA d.d.	1380.00	0.044	Bela dvorana	0.080
GORENJE PRI INTEREUROPI	297095.00	9.421	Bela dvorana	17.193
TES	65952.00	2.091	Metleče II	3.817
ESOTECH d.d.	1992.00	0.063	Metleče II	0.115
PREMOGOVNIK VELENJE d.d.	205313.00	6.510	Metleče II	11.882
GORENJE IPC	5353.00	0.170	CČN	0.310
GORENJE LESNA	2799.00	0.089	CČN	0.162
MALES ŽAGA	127.00	0.004	CČN	0.07
SKUPAJ:	1093691.00	34.68		

PRILOGA B1: Krivulja jakosti nalivov



PRILOGA B2: Površine območij in njihove reducirane površine

Razbremenilnik	POSAMEZNO		SKUPAJ	
	Površina območja [ha]	Reducirana površina [ha]	Površina območja [ha]	Reducirana površina [ha]
Selo	79.371	10.279	79.371	10.279
Dijaški dom	21.951	6.802	101.321	17.081
Šalek II	52.633	16.074	52.633	16.074
Gorica-jug	190.522	6.089	190.522	6.089
Gasilski dom	17.246	2.671	207.768	8.760
Ljubljanska cesta	31.426	7.680	31.426	7.680
Staro Velenje	1.861	0.718	33.287	8.398
Hudovernik	73.004	18.673	468.013	68.986
Zdravstveni dom	11.318	4.225	11.318	4.225
Jenkova cesta	54.849	18.699	66.167	22.924
Cesta talcev	9.788	4.805	75.955	27.729
Gorenje GA	39.999	2.193	583.968	98.908
Stari izpust	158.272	0.000	742.240	98.908
Ribiška koča III, II, I, ČR	361.635	0.000	361.635	0.000
Stari jašek I	13.986	3.782	13.986	3.782
Stari jašek II,III	5.038	2.608	380.659	6.390
Stara vas	31.286	8.913	31.286	8.913
Bela dvorana	25.508	3.842	437.452	19.145
Pesje.klasirnica	32.280	8.717	32.280	8.717
Aškerčeva	6.261	1.897	6.261	1.897
Merx	9.036	3.099	9.036	3.099
OŠ Kajuh	37.551	7.894	37.551	7.894
Tovarniška pot	2.223	0.592	39.774	8.486
Metleče	20.800	1.853	20.800	1.853
Pohrastnik	22.840	3.140	22.840	3.140
Metleče II (pred CČN)	252.798	2.349	1563.481	147.593
SKUPAJ:	1574.034	147.593		

PRILOGA B3: Padavinski odtoki po ceveh pri razbremenilniku Šalek II**MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO ZADNJI CEVI (4373) PRI RAZLIČNIH NALIVIH
(Rezultati iz programa SWMM)****n = 1, q_s = 0**

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]
t = 5	3.5794	5:30	1.20	3.16
t = 10	2.9602	10:30	1.20	2.62
t = 15	2.2492	14:30	1.20	1.99
t = 20	1.8319	20:00	1.20	1.62
t = 30	1.3633	30:20	1.20	1.21

$d_{cevi} = 1.20$ m
 $L_{cevi} = 8.39$ m
 $I_{cevi} = 0.1$ ‰

**MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (4441) PRI
5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO
(Rezultati iz programa SWMM)****n = 1, q_s = 0**

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]
t = 5	3.1324	5:30	0.64	5.13

$d_{cevi} = 1.20$ m
 $L_{cevi} = 17.28$ m
 $I_{cevi} = 41.7$ ‰

**MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO CEVNI DUŠILKI (4372) PRI
5 MINUTNEM NALIVU
(Rezultati iz programa SWMM)****n = 1, q_s = 0**

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]
t = 5	0.4904	4:20	0.30	6.94

$d_{cevi} = 0.30$ m
 $L_{cevi} = 3.97$ m
 $I_{cevi} = 63.0$ ‰

PRILOGA B4: Časi odtokov po kanalih pri maksimalnem nalivu

	POSAMEZNO	SKUPAJ
Razbremenilnik	Konica odtoka [min:s]	Konica odtoka [(h):min:s]
Selo	5:30	5:30
Dijaški dom	10:10	15:40
Šalek II	5:30	5:30
Gorica-jug	2:50	2:50
Gasilski dom	14:20	14:20
Ljubljanska cesta	5:00	5:00
Staro Velenje	6:00	6:00
Hudovernik	15:00	30:40
Zdravstveni dom	6:00	6:00
Jenkova cesta	8:40	14:40
Cesta talcev	4:20	19:00
Gorenje GA	14:30	45:10
Stari izpust	32:30	1:03:10
Ribiška koča III, II, I, ČR	/	/
Stari jašek I	4:40	4:40
Stari jašek II	10:00	10:00
Stari jašek III	3:10	13:30
Stara vas	7:00	7:00
Bela dvorana	9:10	22:40
Pesje.klasirnica	10:10	10:10
Aškerčeva	4:20	4:20
Merx	5:00	5:00
OŠ Kajuh	7:10	7:10
Tovarniška pot	10:00	10:00
Metleče	5:20	5:20
Pohrastnik	5:10	5:10
Metleče II (pred CČN)	1:17:40	1:48:20

PRILOGA B5: Padavinski odtoki s koncentracijskimi vrednostmi onesnažil po razbremenilnih ceveh v KS Velenje-Šoštanj po različici I**MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (3608) PRI****5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Aškerčeva)**

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	0.5038	4:20	0.24	4.66		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
40.63	44.02	0.04	0.04	0.13	0.3	0.85

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (2469) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Bela Dvorana)**

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	0.3429	9:20	0.30	2.01		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
121.23	132.72	0.1	0.1	0.32	0.76	2.11

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (10012) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Cesta Talcev)**

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	1.0426	5:00	0.34	5.68		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
48.61	49.58	0.1	0.1	0.29	0.68	1.94

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (2552) PRI

5 MINUTNEM NALIVU – V Pako (Prispevne površine: Dijaški dom)

(Rezultati iz programa SWMM)

$$n = 1, q_s = 0$$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	1.1500	07:00	0.56	2.53		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
97.78	99.74	0.2	0.2	0.59	1.37	3.91

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (10016) PRI

5 MINUTNEM NALIVU – V Pako (Prispevne površine: Gasilski dom)

(Rezultati iz programa SWMM)

$$n = 1, q_s = 0$$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	min	0	min	min		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
9.66	9.85	0.02	0.02	0.06	0.14	0.39

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (10007) PRI

5 MINUTNEM NALIVU – V Pako (Prispevne površine: Gorenje GA)

(Rezultati iz programa SWMM)

$$n = 1, q_s = 0$$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	min	0	min	min		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
38.52	39.32	0.08	0.08	0.23	0.54	1.53

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (1871) PRI**5 MINUTNEM NALIVU – V Trebušnico (Prispevne površine: Gorica_jug)****(Rezultati iz programa SWMM)****n = 1, q_s = 0**

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	1.5959	2:50	0.72	3.35		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
50.94	51.96	0.1	0.1	0.31	0.71	2.04

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (2584) PRI**5 MINUTNEM NALIVU – V Pako (Prispevne površine: Jenkova cesta)****(Rezultati iz programa SWMM)****n = 1, q_s = 0**

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	1.36	06:00	0.35	4.91		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
11.14	11.37	0.02	0.02	0.07	0.16	0.45

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (6780) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V RVV Staro Velenje (Prispevne površine: Ljubljanska cesta)****(Rezultati iz programa SWMM)****n = 1, q_s = 0**

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	1.2280	5:10	0.45	3.58		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
109.87	112.07	0.22	0.22	0.66	1.54	4.39

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (662) PRI

5 MINUTNEM NALIVU - V Bečovnico (Prispevne površine: Metleče)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	0.2730	5:30	0.26	2.30		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
8.42	8.72	0.01	0.01	0.04	0.10	0.30

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (3602) PRI

5 MINUTNEM NALIVU - V Bečovnico (Prispevne površine: Merx)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	0.5816	5:00	0.24	4.47		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
1.91	1.95	0.0	0.0	0.01	0.03	0.08

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (794) PRI

5 MINUTNEM NALIVU - V Bečovnico (Prispevne površine: OŠ Kajuh)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t=5	0.3274	6:00	0.24	2.28		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
36.48	37.20	0.07	0.07	0.22	0.51	1.46

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (4441) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Šalek_II)**

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	3.1324	5:30	0.64	5.13		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
1.27	1.30	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (10005) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V VELENJSKO JEZERO**

(Prispevne površine: Stari jašek_II, III)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t=5	0.3224	3:40	0.27	2.67		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
65.65	73.13	0.04	0.03	0.11	0.28	0.76

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (10003) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V VELENJSKO JEZERO**

(Prispevne površine: Stari jašek_I)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t=5	0.6267	5:10	0.41	3.07		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
13.77	14.05	0.03	0.03	0.08	0.19	0.55

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (6381) PRI

5 MINUTNEM NALIVU – V PAKO (Prispevne površine: Staro Velenje)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	0.53	07:00	0.25	3.88		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
8.77	8.95	0.02	0.02	0.05	0.12	0.35

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (5724) PRI

5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Stara vas)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	1.1964	5:20	0.55	2.69		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
63.37	64.74	0.13	0.13	0.38	0.88	2.50

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (2479) PRI

5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Selo)

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t =5	1.5427	5:50	0.66	2.82		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [µg/l]	Cu [µg/l]	Zn [µg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
49.82	50.81	0.10	0.10	0.30	0.70	1.99

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (3852) PRI**5 MINUTNEM NALIVU – V Bečovnico (Prispevne površine: Tovarniška pot)**

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	0.80	08:00	0.30	5.78		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
62.31	63.56	0.12	0.12	0.37	0.87	2.49

MAKSIMALNI DEŽEVNI PRETOKI PO RAZBREMENILNI CEVI (1463) PRI**5 MINUTNEM NALIVU - V PAKO (Prispevne površine: Zdravstveni dom)**

(Rezultati iz programa SWMM)

$n = 1, q_s = 0$

Naliv [min]	Q_{max} [m ³ /s]	Čas [m:s]	$h_{v\ cevi}$ [m]	$v_{v\ cevi}$ [m/s]		
t = 5	0.9182	5:00	0.46	2.45		
TSS [mg/l]	COD [mg/l]	Pb [μg/l]	Cu [μg/l]	Zn [μg/l]	TP [mg/l]	TKN [mg/l]
3.07	3.13	0.01	0.01	0.02	0.04	0.12

PRILOGA C3: Karakteristike vodne kvalitete urbanega odtoka

<i>Onesnažilo</i>	<i>Srednja koncentracijska vrednost</i>
TSS (mg/l)	180 – 548
BPK (mg/l)	12 - 19
KPK (mg/l)	82 – 178
Skupni P (mg/l)	0.42 – 0.88
Delni P (mg/l)	0.15 – 0.28
TKN (mg/l)	1.90 – 4.18
NO ₂ /NO ₃ -N (mg/l)	0.86 – 2.2
Cu (µg/l)	43 – 118
Pb (µg/l)	182 – 443
Zn (µg/l)	202 - 633
<i>Vir: U.S. Environmental Agency (1983)</i>	

PRILOGA C4: Mejne vrednosti parametrov za spremljanje stanja onesnaženosti površinskih voda.

Fizikalno-kemijski parametri	Enota	Izražen kot	MV*
TERENSKÉ MERITVE IN SPLOŠNI PARAMETRI			
Temperatura vode ^T	°C	-	25
pH ^T	-	-	6,5-8,5**
Kisik ^T	mg/l	O ₂	-
Nasičenost s kisikom ^T	-	%O ₂	>70%
Električna prevodnost ^T	µS/cm	-	1000**
Motnost ^T	NTU	-	-
Usedljive snovi	mg/l	-	-
Suspendirane snovi	mg/l	-	25**
KPK _{Cr}	mg/l	O ₂	30A
KPK _{Mn}	mg/l	O ₂	-
BPK ₅	mg/l	O ₂	<3
Amonij	mg/l	NH ₄	0,05**
Nitritni dušik	mg/l	N	-
Nitrat	mg/l	NO ₃	25
Skupni dušik	mg/l	N	3**
Fosfati	mg/l	PO ₄	0,3
KOVINE			
Baker	µg/l	Cu	50
Cink	µg/l	Zn	3000
Krom (VI)	µg/l	Cr	-
Mangan	mg/l	Mn	0,05
Nikelj	µg/l	Ni	20
Svinec	µg/l	Pb	10
Železo	mg/l	Fe	0,2

»se nadaljuje...«

»...nadaljevanje«

ORGANSKI PARAMETRI			
Adsorbiljivi organski halogeni-AOX	µgCl/l	Cl	5
Policiklični aromatski ogljikovodiki-PAH	µg/l	-	0,1
Celotni ogljikovodiki (mineralna olja)	mg/l	-	10

Opombe: *MV-mejne vrednosti za A1, razred kakovosti povzete po Popravku uredbe o kakovosti površinskih voda, ki se jih odvzema za oskrbo s pitno vodo (Ur. L. RS št. 4/2001)

** priporočena vrednost (PV)

^A Samo za kakovostni razred A3

^T Terenske meritve