

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Gantar, M., 2014. Metode zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J., somentor Krzyk, M.): 77 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Gantar, M., 2014. Metode zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J., co-supervisor Krzyk, M.): 77 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KOMUNALNA SMER

Kandidatka:

MOJCA GANTAR

**METODE ZMANJŠEVANJA PADAVINSKEGA ODTOKA
V URBANEM OKOLJU**

Diplomska naloga št.: 3380/KMS

**METHODS OF REDUCING STORMWATER RUNOFF IN
URBAN ENVIRONMENTS**

Graduation thesis No.: 3380/KMS

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. dr. Mario Krzyk

Član komisije:

izr. prof. dr. Vlatko Bosiljkov

doc. dr. Simon Schnabl

prof. dr. Igor Planinc

Ljubljana, 28. 03. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisana **Mojca GANTAR** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
METODE ZMANJŠEVANJA PADAVINSKEGA ODTOKA V URBANEM OKOLJU.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 14. 3. 2014

Mojca Gantar

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 628.2/.3(043.2)
- Avtor:** Mojca Gantar
- Mentor:** izr. prof. dr. Jože Panjan
- Somentor:** asist. dr. Mario Krzyk
- Naslov:** Metode zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 77 str., 6 pregl., 58 sl., 34 en., 9 pril.
- Ključne besede:** padavine, površinski odtok, urbanizacija, racionalna metoda, zadrževanje

Izvleček

Urbanizacija ima velik vpliv na količine padavinskega odtoka. Stopnja ponikovanja se zaradi visokega deleža pokritosti tal z neprepustnimi materiali zniža, izhlapevanje je manjše zaradi krčenja vegetacije, prostora za naravno zadrževanje na terenu pa v urbanem okolju ni. Raziskave kažejo, da se količina in hitrost padavinskega odtoka zato povečata tudi do nekajkrat, odtok pa je tudi bolj onesnažen.

V prvem delu naloge so opisane lastnosti padavinskega odtoka, tipi odvodnje in vpliv urbanizacije na odtok. Sledi opis ukrepov zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju – drevesa, zelena streha, zbiranje deževnice, padavinsko korito, poglobljen zelen pas, suhi in mokri zadrževalniki, mokrišča, prepustne tlakovane površine, ponikovalnice in zadrževalno razbremenilni objekti.

V drugem delu diplomske naloge je podrobno predstavljena racionalna metoda, ki se pogosto uporablja za izračun maksimalnega odtoka z manjših prispevnih površin. Na njej temelji modificirana racionalna metoda, s pomočjo katere se z upoštevanjem dovoljenega iztoka iz zadrževalnika določi potrebna prostornina zadrževanja. Na treh primerih smo raziskali dejanske posledice urbanizacije – spremembo odtočnega koeficienta, časa koncentracije in količin padavinskega odtoka. Izračunali smo potrebno zadrževalno prostornino, pri kateri se razmere dolvodno zaradi urbanizacije ne bi spremenile.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	628.2/.3(043.2)
Author:	Mojca Gantar
Supervisor:	Assoc. prof. Jože Panjan, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. Mario Krzyk, Ph.D.
Title:	Methods of reducing stormwater runoff in urban environments
Document type:	Graduation thesis – University studies
Scope and tools:	77 p., 6 tab., 58 fig., 34 eq., 9 ann.
Key words:	precipitations, surface runoff, urbanization, Rational method, detention

Abstract

Urbanization has a significant impact on the amount of surface runoff. Percolation is reduced due to a high percentage of impervious materials covering the soil, evapotranspiration is decreased due to vegetation clearing, and there is not enough space for naturally formed depressions that would retain water within urban areas. Studies show that both surface runoff amount and velocity in these areas increase up to severalfold. Such runoff contains more pollutants as well.

The first part of this thesis describes the characteristics of surface runoff, drainage types and the impact of urbanization on runoff. It also contains an overview of measures for urban runoff prevention and mitigation, which include trees, green roofs, rainwater harvesting, stormwater planters, deepened green belts, dry and wet detention basins, constructed wetlands, permeable paved surfaces, infiltration basins as well as other recharge and discharge structures in sewer systems.

The second part contains a detailed presentation of the rational method, which is often used to calculate peak runoff from smaller drainage areas. It forms the basis of the modified rational method that helps estimate the necessary runoff retention volume by taking into account the allowed discharge. We studied the actual effects of urbanization in three cases, by monitoring the change in runoff coefficient, time of concentration and runoff amount. We calculated the necessary urban runoff retention volume that would not affect conditions downstream.

ZAHVALA

Za strokovno vodenje, pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju asist. dr. Mariu Krzyku.

Iskreno se zahvaljujem staršema, ki sta mi omogočila študij, Aljažu, sestrama in prijateljem pa za potrpežljivost in podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 PADAVINE IN PADAVINSKI ODTOK.....	2
2.1 Padavine	2
2.1.1 Splošno	2
2.1.2 Merjenje padavin	2
2.1.3 Razporeditev padavin v Sloveniji.....	3
2.2 Tipi odvodnje.....	4
2.2.1 Mešani kanalizacijski sistem	4
2.2.2 Ločeni kanalizacijski sistem.....	5
2.2.3 Delno ločeni kanalizacijski sistem.....	6
2.3 Padavinski odtok	7
2.4 Vpliv urbanizacije na padavinski odtok	8
2.5 Podnebne spremembe	11
2.6 Samočistilna sposobnost odvodnika	12
2.7 Zakonodaja s področja odpadnih padavinskih voda	13
3 PRINCIPI ZMANJŠEVANJA IN ZAKASNITVE PADAVINSKEGA ODTOKA	16
3.1 Drevesa	16
3.2 Zelena streha.....	18
3.3 Zbiranje deževnice.....	21
3.4 Padavinsko korito	22
3.5 Poglobljen zelen pas	25
3.6 Suhi/mokri zadrževalniki.....	27

3.7	Mokrišče.....	29
3.8	Rastlinska čistilna naprava	30
3.9	Zadrževalni in razbremenilni sistemi	32
3.9.1	Zadrževalni sistemi	34
3.9.1.1	Zadrževalni bazeni	34
3.9.1.2	Zadrževalni bazeni za čiščenje deževnice	34
3.9.2	Razbremenilni sistemi	34
3.9.2.1	Lovilni razbremenilni bazen (deževni zadrževalni bazen).....	36
3.9.2.2	Prelivni razbremenilni bazen (deževni prelivni bazen).....	37
3.9.2.3	Kombinirani razbremenilni bazen	39
3.9.2.4	Kanali z zadrževalno prostornino in prelivom	40
3.10	Prepustne tlakovane površine.....	41
3.11	Ponikovalnice	42
4	PRIMERJAVA KOLIČIN ODTOKA Z ZADRŽEVANJEM ALI BREZ	44
4.1	Definicija prispevnih območij.....	44
4.2	Odtočni koeficienti.....	46
4.3	Čas koncentracije	47
4.4	Intenziteta padavin	49
4.5	FAA postopek za določanje zadrževalnega volumna.....	56
4.6	Konkretna prispevna območja.....	59
4.6.1	Prispevno območje 1 (Gorenja vas)	61
4.6.2	Prispevno območje 2 (Nova Gorica)	64
4.6.3	Prispevno območje 3 (Žiri).....	67
4.7	Preliminarna ocena stroškov izgradnje.....	72
5	ZAKLJUČEK.....	73
VIRI.....		75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mejne vrednosti parametrov za odpadno padavinsko vodo, izražene v mg/l oz. ml/l... 14	
Preglednica 2: Vrednosti odtočnih koeficientov..... 47	
Preglednica 3: Vrednosti odtočnih koeficientov po RM 48	
Preglednica 4: Podatki za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem za obdobje 1976–2008 za padavinsko postajo Črni Vrh nad Polhovim Gradcem..... 51	
Preglednica 5: Podatki za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem za obdobje 1970–1991 ter 1999–2001 za padavinsko postajo Nova Gorica 52	
Preglednica 6: Ocena stroškov izgradnje suhega zadrževalnika 72	

KAZALO SLIK

Slika 1: Povprečna letna količina korigiranih padavin za obdobje 1971-2000	3
Slika 2: Shema mešanega kanalizacijskega sistema.....	5
Slika 3: Shema ločenega kanalizacijskega sistema	6
Slika 4: Shematski prikaz zbiranja odtoka	7
Slika 5: Vpliv geoloških pogojev na odtok	8
Slika 6: Vpliv pozidave na padavinski odtok.....	9
Slika 7: Vpliv urbanizacije na padavinski odtok.....	9
Slika 8: Shema ravnanja s padavinskim odtokom.....	11
Slika 9: Vloga dreves v spopadanju s padavinskim odtokom	17
Slika 10: Tipičen prerez zelene strehe.....	19
Slika 11: Padavinski odtok s tradicionalne in zelene strehe, opazovani v Belgiji.....	20
Slika 12: Preprosta ureditev zbiranja deževnice.....	21
Slika 13: Padavinsko korito, ki zadrži padavinsko vodo s cestišč	22
Slika 14: Shema ponikovalnega in pretočnega korita	23
Slika 15: Shema zadrževalnega korita	24
Slika 16: Shema poglobljenega zelenega pasu.....	25
Slika 17: Umirjanje prometa s pomočjo zelenega pasu	26
Slika 18: Primer ureditve poglobljenega zelenega pasu na parkirišču	26
Slika 19: Koncept delovanja zadrževalnikov	27
Slika 20: Shema suhega zadrževalnika	28
Slika 21: Shema mokrega zadrževalnika.....	29
Slika 22: RČN za čiščenje odpadne vode na Planini Razor	31
Slika 23: Shema delovanja RČN.....	32
Slika 24: Vzporedna in zaporedna vezava bazenov	33
Slika 25: Graf za določitev območja usedanja	33
Slika 26: Prikaz delovanja zadrževalnega bazena.....	34
Slika 27: Princip delovanja razbremenilnika.....	35
Slika 28: Prikaz delovanja med polnjenjem in po napolnjenju LRB	36
Slika 29: LRB v stranski veji s povratno zaklopko.....	37
Slika 30: Prikaz delovanja med polnjenjem in po napolnitvi PRB	38
Slika 31: Prikaz delovanja PRB v stranskem priključku med polnjenjem.....	38
Slika 32: KRB, bazena eden poleg drugega.....	39
Slika 33: Kanal z zadrževalno prostornino in prelivom zgoraj in prelivom spodaj	40
Slika 34: Tipični prerez prepustnih površin; prepusten sistem in porozen sistem	41
Slika 35: Shema ponikovalnega jarka ter ponikovalnega jaška	42

Slika 36: Princip delovanja ponikovalnega bloka	43
Slika 37: Vtočni in iztočni hidrogram	44
Slika 38: ITP krivulje za padavinsko postajo Črni Vrh nad Polhovim Gradcem	51
Slika 39: ITP krivulje v dvojnem logaritemskem merilu za padavinsko postajo Nova Gorica.....	52
Slika 40: Tipi odtočnih hidrogramov po MRM.....	54
Slika 41: Hidrogrami dobljeni po MRM za območje 1	54
Slika 42: Grafična določitev potrebnega zadrževalnega volumna.....	57
Slika 43: Krivulji iztoka in vtoka v zadrževalnik	58
Slika 44: Lokacija obravnavanih prispevnih območji	59
Slika 45: Lokacija zadrževalnikov 1 in 3 glede na Poljanščico.....	60
Slika 46: Prispevno območje 1 pred in po urbanizaciji	61
Slika 47: Vtočni, iztočni in potrebni zadrževalni volumen za prispevno območje 1	62
Slika 48: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (prispevno območje 1)	63
Slika 49: Prispevno območje 2 pred in po urbanizaciji	64
Slika 50: Vtočni, iztočni in potrebni zadrževalni volumen za prispevno območje 2	65
Slika 51: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (prispevno območje 2)	66
Slika 52: Prispevno območje 2 pred in po urbanizaciji	67
Slika 53: Vtočni, iztočni in potrebni zadrževalni volumen za prispevno območje 3	68
Slika 54: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (prispevno območje 3)	69
Slika 55: Pokritost prispevnih območji	70
Slika 56: Primerjava vrednosti odtočnega koeficienta	70
Slika 57: Primerjava časa koncentracij.....	71
Slika 58: Primerjava količin odtoka pred in po urbanizaciji	71

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ČN	čistilna naprava
DLKS	delno ločeni kanalizacijski sistem
KRB	kombinirani razbremenilni sistem
KS	kanalizacijski sistem
LKS	ločeni kanalizacijski sistem
LRB	lovilni razbremenilni sistem
MKS	mešani kanalizacijski sistem
MRM	modificirana racionalna metoda
PRB	prelivni razbremenilni sistem
RČN	rastlinska čistilna naprava
RM	racionalna metoda

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Voda je eden izmed temeljnih pogojev za življenje ljudi in opravljanje dejavnosti. Iz vodnega kroga za svoje potrebe odvezujemo vodo, z urbanizacijo pa spreminjamo naravne pogoje.

Naravni vodni krog s ponikanjem, izhlapevanjem, naravnim zadrževanjem in površinskim odtokom omogoča kroženje vode med atmosfero in zemeljskim površjem ter ponekod poskrbi za visoko gladino podtalnice, ki je pogost vir pitne vode. Človek s posegi v okolje vpliva na vse segmente vodnega kroga: travnate in gozdne površine postanejo manj prepustne cestne oz. strešne površine, naravni tok vodotokov se pogosto spremeni in podredi človeški dejavnosti, prostora za naravno zadrževanje padavinske vode znotraj mest pa zaradi interesov za drugačno rabo tako ugodno lociranih parcel ni. Vse to se odraža v povečani količini in hitrosti padavinskega odtoka. Celoten sistem odvodnje pa največkrat temelji na čim krajšem času potovanja padavinske vode do kanalov ter naprej do odvodnika, kar stanje v primeru močnih nalivov še poslabša. Takrat pride do preplavljanja kanalov in ogrožanja poseljenih površin s poplavami.

Zavedati se moramo, da si delovanja vode ne moremo podrediti. Njena uničujoča moč je v zadnjem času tudi v Sloveniji povzročala materialno škodo ter celo ogrozila človeška življenja. Izredni dogodki so povod za intenzivnejše in učinkovitejše urejanje področja voda, tako na nivoju države, lokalnih skupnosti kot tudi posameznikov. Večji del proračuna se nameni za preventivo – urejanje brežin vodotokov, čiščenje struge, ustrezno vzdrževanje zadrževalnikov, ozaveščanje javnosti o pomenu smotrnejše rabe vode ... Lastniki stavb pa so v primeru, da padavinske vode ne odvajajo v kanale, s strani države nagrajeni v obliki nižjega plačila komunalnih storitev.

Pomembno je torej, da pred vsakršnim posegom v okolje ovrednotimo vpliv le-tega na naravno delovanje vode. Z upoštevanjem naravnega obnašanja je potrebno z različnimi ukrepi poskrbeti za vsaj delno izničenje vpliva planiranega posega. Omogočiti je potrebno zadostno ponikovanje, zadrževanje in izhlapevanje, tako da urbano okolje igra aktivno vlogo v vodnem krogu. Poleg tega pa je zaradi spremenjenih kakovostnih značilnosti odtekajoče vode potrebno vsaj prvi, najbolj onesnaženi val padavinske vode pred izpustom v odvodnik očistiti na čistilni napravi.

V diplomskem delu bomo predstavili različne principe urejanja povečanega padavinskega odtoka v urbanem okolju. Opisali bomo ukrepe razpršenega in koncentriranega zadrževanja na površini, koncentriranega zadrževanja pod površino ter ponikanja na in pod površino. Podrobneje bomo preučili spremembo količin padavinskega odtoka na konkretnih urbaniziranih območjih ter s pomočjo modificirane racionalne metode določili potrebne zadrževalne volumne.

2 PADAVINE IN PADAVINSKI ODTOK

2.1 Padavine

2.1.1 Splošno

Vso vodo, ki pade na zemljino površje (dež, rosenje, sneg, toča, sodra, babje pšeno, ledene iglice ...), zajema pojem *padavine* (Brilly, Šraj, 2005). Z vidika kanalizacije je najpomembnejša vrsta padavin dež, ostale običajno zanemarimo. Snežne padavine imajo na količino odtoka zaradi razmerja časa taljenja in odtočnega časa zanemarljiv vpliv (Kolar, 1983).

Padavine glede na obliko gibanja zračnih mas delimo na (Brilly, Šraj, 2005):

- *konvektivne padavine* (nastanejo pri lokalnem dviganju segretyh zračnyh mas, pojavljajo se v poletnem obdobju),
- *orografske padavine* (nastanejo pri lokalnem dviganju zračnyh mas ob pobočju planin),
- *ciklonske padavine* (povzročajo jih ciklon (območje nizkega zračnega pritiska), delimo pa jih na frontalne in nefrontalne).

Količina padavin je odvisna od letnega časa, geografske lege območja (večja geografska širina pomeni manj padavin) in trenutnih razmer (Kolar, 1983). Padavine se zmanjšujejo z oddaljenostjo od morja ter naraščajo z nadmorsko višino, večja mesta pa beležijo več padavin kot njihova okolica (Brilly, Šraj, 2005).

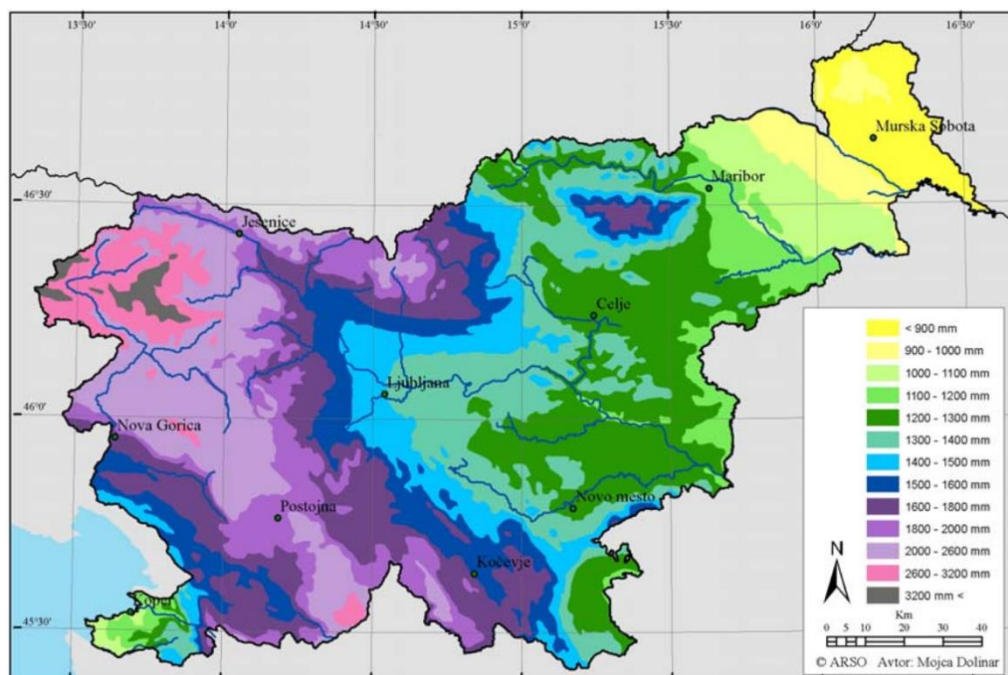
2.1.2 Merjenje padavin

Količino padavin opišemo z debelino vodne plasti na vodoravnih tleh, če ta voda ne bi odtekla, izhlapela ali pronicala v zemljo. Liter vode na kvadratni meter ustreza enemu *mm* padavin. Pomembno je, da inštrument, s katerim merimo količino padavin, postavimo na prostem, zunaj vpliva okoliških stavb, objektov in dreves. Za merjenje padavin v krajših časovnih obdobjih se uporablja *ombrometer*. Množina padavin, ki je padla v zadnjih 24-ih urah, se dnevno ročno izmeri. Največkrat se uporablja Helmanov ombrometer s posodo postavljeno 1 meter nad površjem s prostornino 200 cm³. *Totalizator* se uporablja za merjenje večmesečnih padavin, saj se od ombrometra razlikuje po velikosti posode. Postavimo ga na bolj nedostopne kraje. Ombrometer, opremljen z mehanizmom za registriranje padavin, t. i. *ombrograf*, omogoča neprekinjene meritve (Brilly, Šraj, 2005). *Meteorološki radar* je najnovejša metoda merjenja padavin. Ta v atmosfero oddaja elektromagnetne mikrovalove. Ko le-ti dosežejo padajoče dežne kapljice, se del valov vrne na postajo. Čas, ki je potreben, da se valovi vrnejo na radarsko postajo (in njihova intenziteta), je povezan z intenziteto padavin. Radar, povezan s

spletom, kjer dobimo vpogled v ažurne podatke, se uporablja za opozarjanje na poplave, za napovedovanje vremena in kvalitete vode (Butler, Davies, 2011).

2.1.3 Razporeditev padavin v Sloveniji

Geografska lega Slovenije, njen razgiban relief, usmerjenost gorskih grebenov in bližina morja se zrcalijo v raznolikem podnebju, od katerega zavisi tudi porazdelitev padavin preko leta (Slika 1). Na območju se prepletajo kar trije tipi podnebja: *zmerno celinsko* (vzhodna Slovenija), *subalpsko* (osrednja Slovenija) in *submediteransko podnebje* (zahodno od dinarsko-alpske pregrade). Količina padavin se od morja proti dinarsko-alpski pregradi povečuje, za pregrado pa naglo zmanjšuje. Maksimum letnih padavin je dosežen v Julijcih (nad 3200 mm padavin), na skrajnem severovzhodu države pa ta količina ne preseže 900 mm. Občutna je tudi razlika v številu dni na letni ravni, ko dnevna vsota padavin preseže 50 mm (tj. 50 l dežja na m²). Za razliko od vzhodnega dela države, kjer v povprečju niti dvakrat na leto ne pride do tako močnih padavin, je na severozahodu takih dni kar 16 (ARSO, 2006).



Slika 1: Povprečna letna količina korigiranih padavin za obdobje 1971–2000 (ARSO, 2006)

2.2 Tipi odvodnje

Zasnova kanalizacijskega sistema (KS) zavisi od konfiguracije zemljišča, finančnih zmožnosti, lege podtalnice ter odvodnika, lege okoliških naselij, obstoječe, predvidene izrabe zemljišč (Kolar, 1983) ter velikosti in tipa naselja. Glede na vrsto vode, ki teče po kanalizacijskih ceveh, obstajajo mešani, ločeni ter delno ločeni sistemi.

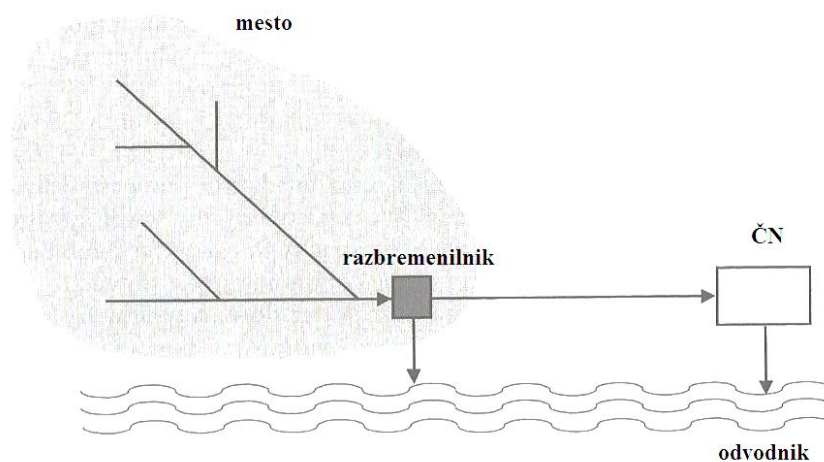
2.2.1 Mešani kanalizacijski sistem

Mešani kanalizacijski sistem (MKS, pogosto imenovan tudi kombinirani) po istih kanalih odvaja odpadno vodo ter v času padavin tudi padavinsko vodo (Slika 2). Cevi so v sušnem obdobju torej skoraj prazne. Kanali morajo biti sposobni prenesti po celotnem sistemu odpadno vodo v času padavin, ko se pretok, glede na sušni pretok, lahko poveča tudi do 100-krat. Ker bi bila gradnja omrežja, ki bi preneslo tudi nalive največje jakosti z nizko pogostostjo, neekonomična in tehnično zahtevna, se je pri nas in v svetu uveljavilo pravilo, da se kanale dimenzionira večinoma na ekstremno deževje s povratno dobo od 0,5 leta do 2 leti, trajanja 5, 10, 15, 20, 30 minut. Ob pojavu ekstremnega deževja in z njim večjega padavinskega odtoka, kot ga dimenzionirano omrežje prenese, pride do preobremenitev, kar lahko vodi do povratnega toka in preplavitve priključenih prostorov. Da bi ob takih deževjih zaščitili čistilne naprave pred preobremenitvijo in se izognili dotoku malo onesnažene vode na ČN, v MKS dodajamo razbremenilnike, preko katerih del padavinskih voda neposredno odvajamo v vodotoke.

Kot navaja Kompare (1991), so:

- prednosti MKS:
 - o preprosta izvedba,
 - o nižji investicijski stroški,
 - o relativno enostavno in poceni vzdrževanje;

- pomanjkljivosti MKS:
 - o slabša zaščita odvodnikov,
 - o črpališča in čistilne naprave moramo močnejše dimenzionirati,
 - o nizko ležeče etaže objektov je treba zaščititi pred preplavitvijo.



Slika 2: Shema mešanega kanalizacijskega sistema (Butler, Davies, 2011)

2.2.2 Ločeni kanalizacijski sistem

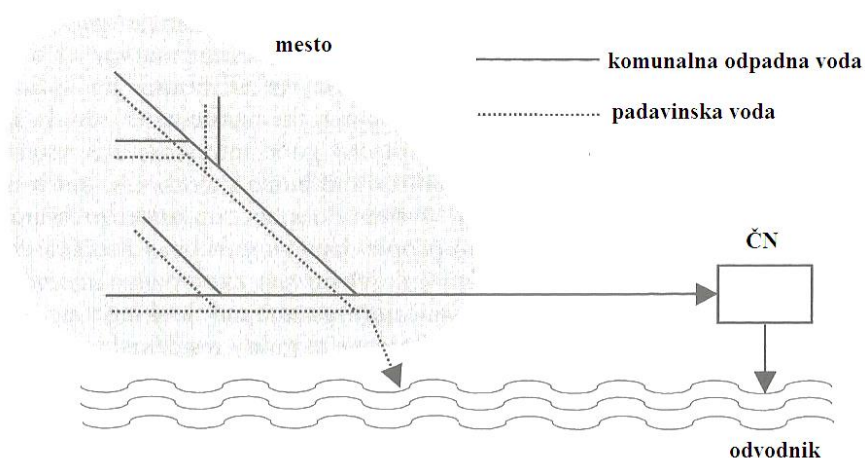
Ločeni kanalizacijski sistem (LKS, imenovan tudi separaten) v en kanalski sistem odvaja padavinsko vodo, v drugega pa odpadno vodo (Slika 3). Odpadno vodo odvaja t. i. sanitarna (fekalna) kanalizacija, padavinsko vodo pa, kot navaja Panjan (2005), odvajamo na enega od naslednjih načinov:

- padavinska voda se steka v padavinsko (meteorno) kanalizacijo,
- padavinska voda ponika ali odteka,
- uredimo sistem odprtih in zaprtih jarkov in kanalov.

Kot navaja Kompare (1991), so:

- prednosti LKS:
 - o dobra zaščita odvodnika,
 - o povečana varnost pred preplavitvijo,
 - o zanesljivejše delovanje čistilnih naprav,
 - o enostavno obratovanje in kontrola,
 - o možnost zmanjševanja volumnov in koničnih odtokov padavinske vode,
 - o padavinska voda gre po najkrajši poti v odvodnik,
 - o cenejše čistilne naprave;
- pomanjkljivosti LKS:
 - o večja zapletenost sistema,
 - o dražje vzdrževanje,
 - o večji investicijski stroški (podvojeni),

- prvi val deževne vode je močno onesnažen.



Slika 3: Shema ločenega kanalizacijskega sistema (Butler, Davies 2011)

2.2.3 Delno ločeni kanalizacijski sistem

Delno ločeni kanalizacijski sistem (DLKS) je bil prvič uporabljen v večjih industrijskih kompleksih, kjer so deževnico z dvorišnih streh in zadnjih dvorišč vodili v kanalizacijo za odpadno vodo, strešine in dvorišča ob cesti ter sama cestišča pa so drenirali v popolnoma ločenem sistemu (Kompere, 1991). Taki sistemi stremijo k zmanjšanju padavinskega odtoka ter njegovi zakasnitvi, ukrepi pa zavisijo od različne onesnaženosti odtoka. Kot navaja Panjan (2005), dosežemo to z naslednjimi ukrepi:

- razpršeno zadrževanje na površini (ravne strehe, vrtovi, parkirišča),
- koncentrirano zadrževanje na površini (suhi/mokri zadrževalniki),
- koncentrirano zadrževanje pod površino (deževni bazeni),
- ponikanje na površini (zelenice, parkirišča s prepustnim tlakom),
- ponikanje pod površino (drenaže).

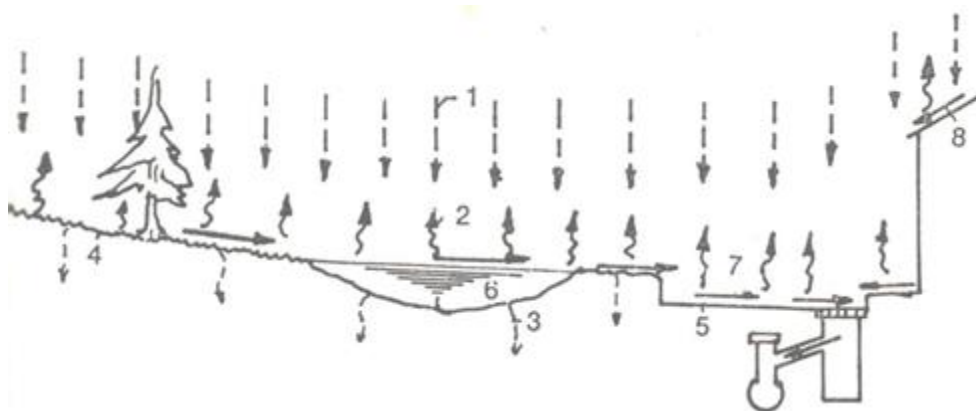
Kot navaja Kompere (1991), so:

- prednosti DLKS poleg tistih za LKS še:
 - še boljša zaščita odvodnika,
 - enakomernejša obremenitev čistilnih naprav z vidika onesnaženja,
 - zanesljivejše delovanje kanalizacije mešanega tipa;
- pomanjkljivosti DLKS poleg tistih za LKS še:
 - še večja zapletenost sistema,

- dražje, bolj zapleteno vzdrževanje,
- ponikanje in površinsko zadrževanje je problematično.

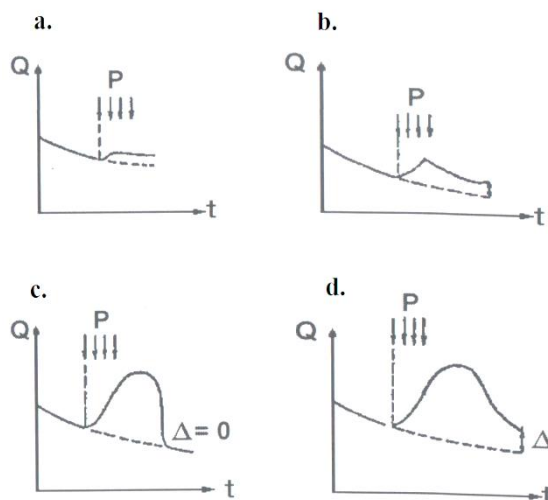
2.3 Padavinski odtok

Padavinska voda je voda, ki po padavinah na območju naselja odteka z neprepustnih površin (strehe, dvorišča, ceste, trgi) ali prepustnih površin (vrtovi, zelenice) (Panjan, 2005). Kot je razvidno s slike 4, le del padavin odteče v kanalizacijo, preostali del izhlapi, ponikne ali pa površinsko odteče v vodotoke.



Slika 4: Shematski prikaz zbiranja odtoka: 1 padavine, 2 izhlapevanje, 3 ponikanje, 4 propustna površina, 5 utrjena površina, 6 akumulacija na terenu, 7 površinski odtok, 8 odtok s streh (Kolar, 1983)

Vegetacijska plast sprejme padavine in jih zadrži, dokler odvečna voda ne odteče z listov ali po deblu do tal. Padavine se dalj časa zadržijo v depresijah (poglobitvah) terena, zadržana količina (mm) je odvisna od tipa zemljine, naklona terena in pogostosti padavin. Na neprepustnih površinah je ta količina običajno 0,5–2 mm, na ravnih strehah 2,5–7,5 mm in do 10 mm na vrtovih. Ta voda nato izhlapi, ponikne ali odteče. Evapotranspiracija (izhlapevanje in transpiracija) je odvisna od zračne vlage, vetra in temperature, na količino padavinskega odtoka pa bistveno ne vpliva. Ponikanje v zemljino skozi pore pa zavisi od tipa, strukture, gostote zemljine, navlaženosti, tipa vegetacije in nivoja podtalnice (Butler, Davies, 2011). Tipične značilnosti štirih različnih skupin glede na vpliv geoloških pogojev na površinski odtok so nazorno prikazane na sliki 5 (Brilly, Šraj, 2005):



Slika 5: Vpliv geoloških pogojev na odtok (Brilly, Šraj, 2005)

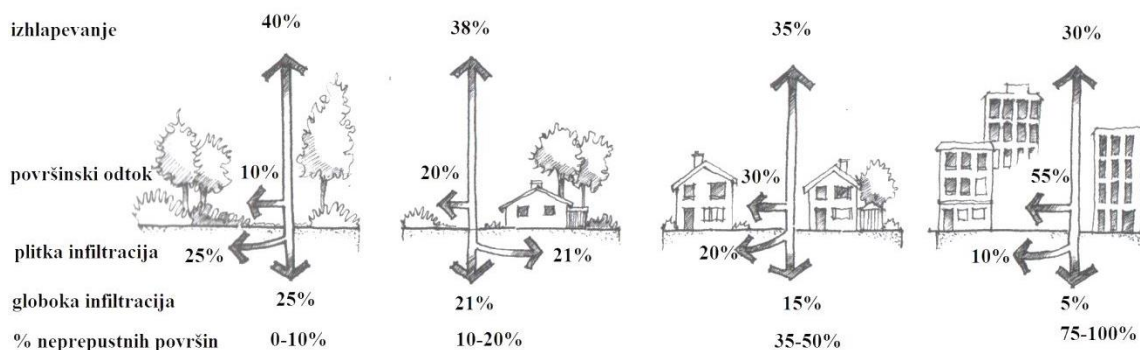
- primer a.: intenziteta padavin (i) je manjša od intenzitete infiltracije (f_i); celotna količina padavin je manjša od količine vode, ki se lahko zadrži v tleh (aluvij),
- primer b.: $i < f_i$ (ni površinskega odtoka); celotna količina padavin je večja od količine vode, ki se lahko zadrži v tleh (Kras),
- primer c.: $i > f_i$ (površinski odtok); celotna količina padavin je manjša od količine vode, ki se lahko zadrži v tleh (neprepustna podlaga),
- primer d.: $i > f_i$; celotna količina padavin je večja od količine vode, ki se lahko zadrži v tleh (močnejša, daljša nevihta).

2.4 Vpliv urbanizacije na padavinski odtok

Sočasno s procesom urbanizacije so se zaradi novih razmer spreminjali tudi kanalizacijski sistemi. Po Panjanu (2005) lahko ta razvoj razdelimo v naslednje faze:

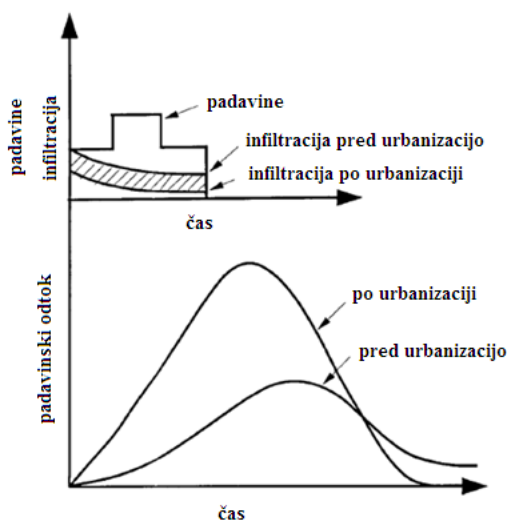
- odvodnja s pomočjo naravne hidrografske mreže (naravni kanali, potoki, vodotoki)
- delno kanalizirani sistemi (jarki, odprti kanali),
- mešani kanalizacijski sistem,
- ločeni kanalizacijski sistem,
- delno ločeni kanalizacijski sistem,
- napredni odvodni sistemi (infiltracijski bazeni, zadrževalniki, izkoriščanje depresij in cestišč za zadrževanje).

Mestna območja so tudi do 90 % prekrita s stavbami, prometnicami ter ostalimi neprepustnimi površinami, ki ne dopuščajo naravne infiltracije. Pronicanje padavinske vode skozi odprtine zemlje, ki jih ustvarijo rastline oziroma živali, je onemogočeno, kar se zrcali v nižanju gladine podzemne vode ter nižjih vodostajih. Slika 6 prikazuje, kako se z večanjem deleža neprepustnih površin manjšata infiltracija in izhlapevanje ter večja površinski odtok.



Slika 6: Vpliv pozidave na padavinski odtok (Dunnett, Clayden, 2007)

Območja utrjenih površin ustvarijo kar za 4 krat več površinskega odtoka, kot naravna območja z isto površino. Konice padavinskega odtoka so torej, kot je razvidno s slike 7, višje, gladke površine s hitrim odtokom pa časovno obdobje med padavinami in koničnim padavinskim odtokom zamaknejo v levo. Pretoki naravnih povodij, kjer se izkorišča naravne zmožnosti zadrževanja na terenu in ponikanja, trajajo dlje, kar ugodno vpliva na poplavno varnost dolvodno ležečih območij. Hitrost in obseg padavinskega odtoka pa večja tudi kanalizacijsko omrežje s kanali in jarki.



Slika 7: Vpliv urbanizacije na padavinski odtok (Mays, 2001)

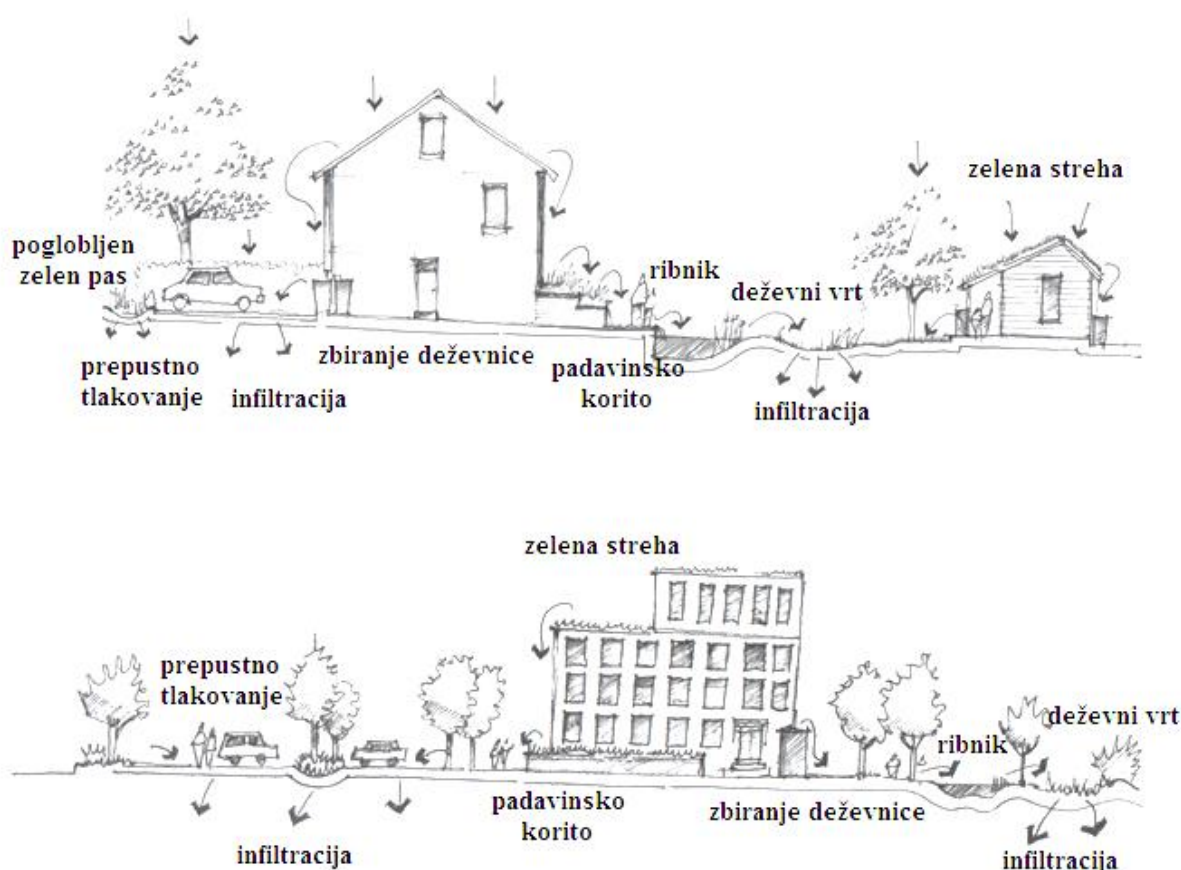
Urbanizacija pa ne vpliva zgolj na kvantiteto, temveč tudi na kvaliteto padavinskega odtoka. Ob intenzivnih nalivih je kritičen prvi val padavinske vode, saj pobere največ onesnaženja, ki se je na tla naložilo v času sušnega vremena – pesek, različni odpadki, izločki živali, cestni promet, olje, sol, obrusi avtomobilskih gum. Z raziskavami so v padavinski vodi potrjene tudi občasne visoke koncentracije težkih kovin, predvsem svinca, kroma in cinka ob avtocestah, izključena pa ni niti njihova bakterijska oporečnost (Kralj Marhold, 2006). Neoporečnost padavinske vode škoduje flori in favni odvodnikov ter onesnažuje pitno vodo.

Kanalizacijska omrežja so v preteklosti temeljila na hitrem, varnem in ekonomičnem odvodu padavinskega odtoka do omrežja ter nato po istem principu čim prej do najbližjega odvodnika. Potrebni so bili veliki premeri cevi, v času nalivov so zaradi ekstremnih padavinskih odtokov nastajale poplave ter druge nevspečnosti, hiter odtok pa je povzročal erozijo. Mesta se dandanes pogosto širijo na poplavno ogrožena področja, zgoščevanje poselitve znotraj obstoječe pa se odraža v še večji prostornini vode, ki jo mora sistem odvesti. Na tako zgoščenih območjih primanjkuje prostora za zadrževanje padavinskih voda.

Vse zgoraj omenjene spremembe zahtevajo bolj trajnostno naravnano odvodnjo, ki se trudi zmanjšati negativne vplive človeka na okolje. Le-ta zahteva obravnavo strokovnjakov z različnih področij (Kompare, 1991):

- meteorologija, hidrologija,
- pedologija,
- hidravlika,
- arhitektura, urbanizem,
- gradbeništvo,
- sociologija, psihologija, ekonomija.

Pravilna odvodnja poleg zadrževanja (koncentrirano, razpršeno), ponikanja, ločevanja, recikliranja padavinske vode omogoča tudi revitalizacijo vodnega okolja, ustvaritev novih biotopov in s tem bolj zanimivo krajino. Sočasno rešuje še probleme poplavnosti in onesnaženosti odvodnikov, običajno pa se zaključi s komunalno čistilno napravo. Slika 8 na primeru stanovanjskega (zgoraj) in poslovnega (spodaj) območja prikazuje, kako lahko z različnimi ukrepi zajamemo padavinski odtok in ga vrnemo nazaj v okolje.



Slika 8: Shema ravnanja s padavinskim odtokom (Dunnett, Clayden, 2007)

2.5 Podnebne spremembe

Nekateri menijo, da stanje poslabšuje tudi segrevanje ozračja, ki se zrcali v izmenjujočih se ekstremnih dogodkih – hude suše in uničujoča neurja. Z vidika urbane odvodnje so najbolj zaskrbljujoči podatki o večjih intenzitetah padavin ter vse večji skupni količini padavin, kar se odraža v (Butler, Davies, 2011):

- povečani hitrosti in količini odtoka, ki lahko preseže kapacitete kanalizacijskega sistema (preobremenitev sistema, preplavljanje, škoda na nepremičninah),
- slabši kakovosti kanalov, kot posledica pogostejših preplavitev,
- pogostejših prelivanjih razbremenilnih objektov,
- večji prisotnosti površinskih onesnažil v poletnih mesecih,
- slabši kakovosti vode,
- večji obremenitvi čistilnih naprav.

2.6 Samočistilna sposobnost odvodnika

Težnjo k čim hitrejšemu odvajanju celotnega odtoka do kanalov je po namestitvi čistilnih naprav na koncu mreže zamenjala želja, da se neonesnaženi in minimalno onesnaženi odtoki v čim večji meri odvajajo v vodotoke. Do čistilne naprave naj bi torej prišli zgolj močno onesnaženi odtoki, to pa poleg manjših premerov cevi, manjših objektov, investicijskih stroškov pomeni tudi zmanjšanje obratovalnih stroškov (Maleiner, 2005 a). Pomembno je, da kljub temu, da vsako takšno odvajanje stanje odvodnika poslabša, ne presežemo *samočistilne sposobnosti odvodnika*. Kot navaja Kolar (1983), pod pojmom samočistilna sposobnost odvodnika razumemo skupek fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov, ki vodijo do razkroja razgradljivih snovi v vodi in vračanja produktov razgradnje v kroženje:

- *fizikalni procesi* (sposobnost za usedanje, specifično težo, viskoznost, sončevo sevanje, valovanje, tokove),
- *kemijski procesi* (za potek pomembna preskrba s kisikom),
- *biološki procesi* (samočistilna sposobnost je premo sorazmerna z absorpcijsko površino rastlin in živali v vodi).

Vodo lahko odvajamo v (Panjan, 2005):

- *podtalnico (ponikanje)*; ponikamo samo neonesnaženo padavinsko vodo, saj je naravno čiščenje (filtracija, adsorpcija, biološko čiščenje) težko kontrolirati, zaradi netesnosti je vodovodna mreža na območju izpostavljena onesnaženju,
- *površinske tekoče*; vodo je potrebno očistiti do stopnje, ki jo odvodnik še prenese (odvisna od namembnosti vodotoka, pretočnih količin, sposobnosti navzemanja kisika, predhodne obremenitve ter vrste in količine uvajanja odpadne vode),
- *površinske stoječe sladke vode*; v jezera načeloma ne odvajamo niti očiščene vode,
- *morje*; pri izpustu moramo med drugim upoštevati oddaljenost izliva od obale, morske tokove ob izlivu, fizikalne razlike med odpadno in morskno vodo, globino izliva in njegovega izoblikovanja.

Pri posameznih zgradbah pride v poštev še zbiranje odpadne vode in odvoz s kontejnerji ali cisternami. Slovenska zakonodaja predpisuje minimalno število osnovnih parametrov za iztoke iz čistilnih naprav: BPK₅, KPK, amonijev dušik in celotni fosfor.

2.7 Zakonodaja s področja odpadnih padavinskih voda

Področje odpadnih padavinskih voda je urejeno z več pravnimi akti – pravilniki, uredbami, sklepi in občinskimi predpisi. Na območju Evropske unije je temeljni akt, ki celostno ureja področje voda, *Okvirna direktiva o vodah (Water Framework Directive – 2000/60/EC)*. Njen glavni cilj je dolgoročno dobro ekološko in kemijsko stanje površinskih voda ter dobro količinsko in kemijsko stanje podzemnih voda. V Sloveniji je to področje do sprejema *Zakona o vodah (Uradni list RS, št. 67/2002)* urejal *Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 41/2004)*, na podlagi katerega je bilo sprejetih več zakonskih podatkov, ki urejajo odvajanje padavinskih voda.

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo

Uredba obravnava zmanjševanje onesnaževanja okolja zaradi odvajanja snovi in emisije toplote v vode ali javno kanalizacijo, ki nastajajo pri odvajanju odpadne vode. Velja za celotno področje odpadnih voda – poleg padavinskih upošteva tudi komunalne in industrijske odpadne vode.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest¹

Uredba ureja področje tistih odpadnih padavinskih voda, ki nastajajo na cestnih površinah. Določa ukrepe zmanjševanja emisije snovi z odvajanjem padavinske vode, med drugim:

- določa mejni dnevni povprečni pretok vozil za različne vrste javnih cest, pri katerem je za padavinsko odpadno vodo, ki odteka s cestišča, potrebno zagotoviti zajetje v zadrževalniku, ločeno od zalednih vod, ki nastajajo na območju javne ceste,
- določa mejne vrednosti emisij (Preglednica 1), za katere je, če so na iztoku zadrževalnika presežene, potrebno odpadno padavinsko vodo očistiti v čistilni napravi,
- določa, da se odpadno padavinsko vodo, ki odteka iz zadrževalnika, čistilne naprave ali lovilca olj, ne sme odvajati neposredno v podzemne oz. celinske vode, posredno v podzemne vode na najožjih vodovarstvenih območjih ter v vode na ožjem vodovarstvenem območju.

¹ Povzeto po: Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (Uradni list RS, št. 47/2005).

Preglednica 1: Mejne vrednosti parametrov za odpadno padavinsko vodo, izražene v mg/l oz. ml/l

Parameter	Mjerne vrednosti	
	za odvajanje posredno ali neposredno v vode	za odvajanje v javno kanalizacijo
<i>I. SPLOŠNI PARAMETRI</i>		
1. Neraztopljene snovi	80/160	
2. Usedljive snovi	0,5/10	10
<i>III. ANORGANSKI PARAMETRI</i>		
3. Kadmij	0,1	0,1
4. Baker	0,5	0,5
5. Cink	2	2
6. Celotni krom	0,5	0,5
7. Nikelj	0,5	0,5
<i>IV. ORGANSKI PARAMETRI</i>		
8. Celotni ogljikovodiki (mineralna olja)	10/50	20
9. Lahkohlapni aromatski ogljikovodiki - BTX	0,1	1
10. Adsorbiljivi organski halogeni - AOX	0,5	0,5
11. Fenoli	0,1	10
12. PAH (d)	0,00006	-

Uredba od upravljavca javnih cest zahteva, da zagotavlja meritve onesnaženosti odpadne padavinske vode. Vzorčenje se izvaja v obdobju deževnega vremena na iztoku padavinske vode iz zadrževalnika in čistilne naprave, pogostost meritev pa glede na velikost prispevne površine zavisi od 1 do 5 meritev na leto.

Za odvajanje odpadne padavinske vode z javnih cest na območjih polnjenja tekočih goriv v motorna vozila, pranja in čiščenja motornih vozil, popraviljanja motornih vozil, skladiščenja, razgradnje ali reciklaže odpadnih motornih vozil se uporabljajo določbe *Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz postaj za preskrbo motornih vozil z gorivi, objektov za vzdrževanje in popravila motornih vozil ter pralnic za motorna vozila (Uradni list RS, št. 10/1999)*.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav

določa mejne vrednosti parametrov odpadne vode, mejne vrednosti učinka čiščenja odpadne vode ter posebne ukrepe v zvezi z načrtovanjem in obratovanjem komunalnih čistilnih naprav.

Uredba o metodologiji za oblikovanje cen storitev obveznih občinskih gospodarskih javnih služb varstva okolja

S 1. januarjem 2013 je v veljavo stopila uredba, ki v 19. členu določa ločeno oblikovanje in obračunavanje cen za:

- odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode in padavinske odpadne vode z javnih površin,
- odvajanje in čiščenje padavinske odpadne vode s streh.

Takšno zaračunavanje storitev naj bi uporabnike spodbudilo k čim manjšemu direktnemu odvajanju padavinske vode v kanale. S ponikanjem ali zadrževanjem na površini bi se poplavna ogroženost zmanjšala, nivo podtalnice pa dvignil, kar so tudi glavni okoljski cilji tako EU kot Slovenije. Izračun količin padavinske vode temelji na podatkih o tlorisni površini strehe ter količini padavin, ki nanjo padejo ter se odvedejo v KS ter nadalje na ČN. Uporabniki, ki vodo s streh ponikajo ali zadržujejo, bodo deležni stimulacije.

3 PRINCIPI ZMANJŠEVANJA IN ZAKASNITVE PADAVINSKEGA ODTOKA

3.1 Drevesa

Dodajanje dreves je eden izmed bolj enostavnih, a večkrat spregledanih ukrepov pri spopadanju s padavinskim odtokom. Drevesa so učinkovita pri zmanjševanju padavinskega odtoka, poleg tega pa pripomorejo še k čistejši vodi, večji količini podtalnice in preprečevanju erozije (City of Portland, Oregon). Padavine, ki se zadržijo na rastlinah, preden dosežejo tla, razumemo pod pojmom *prestrežene padavine*. Njihova količina je odvisna od več vegetacijskih in meteoroloških dejavnikov (Brilly, Šraj, 2005, cit. po Šraj, 2003):

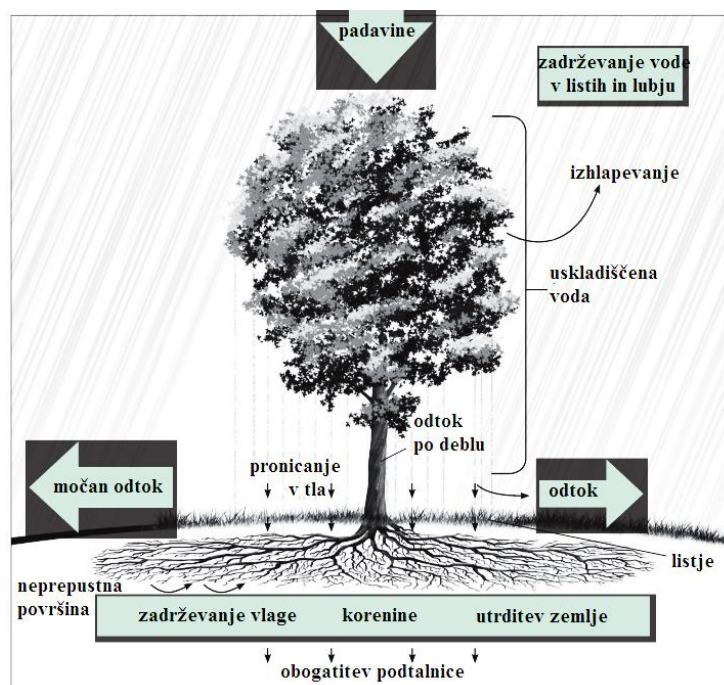
- *vrste in gostote vegetacije* (večja gostota dreves – večja količina prestreženih padavin; zimzelena drevesa imajo večjo sposobnost zadrževanja kot listnata (saj v zimskih mesecih zadržijo več vode) (City of Portland, Oregon)),
- *kapacitete krošnje* (ta je odvisna od vrste, velikosti, oblike in starosti vegetacije, površine in orientacije listov),
- *intenzitete, trajanja in pogostosti padavin* (pogostejše padavine zmanjšujejo količino prestreženih padavin),
- *vrste padavin*,
- *klimatskih pogojev* (vpliv vetra in temperature na izhlapevanje),
- *časovnega obdobja v letu*.

Drevesa zmanjšujejo in upočasnjujejo padavinski odtok. Padavine sprejmejo in del zadržijo v listih ter lubju (Slika 9). Del te vode izhlapi nazaj v ozračje, del drevesa porabijo, del pade na tla skozi odprtine med listi v krošnji, del pa po deblu odteče do tal (Rosenow, 2010). Slednji je odvisen od naslednjih dejavnikov (Brilly, Šraj, 2005):

- *lastnosti drevesne skorje* (hitrejše odtekanje in manjše zadrževanje vode pri gladki skorji),
- *velikosti krošnje in gostote dreves* (večja krošnja – večji delež odtoka po deblu),
- *oblike krošnje* (drevesa z navzgor usmerjenimi vejami omogočajo večji odtok po deblu),
- *količine padavin* (odtok po deblu se pojavi šele, ko je skladiščna zmogljivost drevesa zapolnjena).

Porozna plast iz odpadlega listja pod drevesno krošnjo omogoča dežju, da, namesto da bi hipoma odtekel po površini, pronica v zemljo. Plast uravnava še zemljino temperaturo, ohranja vlago ter varuje organizme, ki pripomorejo k zmanjšanju škodljivih snovi (korenine, odpadlo listje in vegetacija odstranijo sedimente, onesnažila in nutriente). Drevesne korenine s stabilizacijo zemljine preprečujejo erozijo (zlasti pomembno pri rečnih bregovih). Drevesne krošnje direktno nad potoki, močvirji

zmanjšajo temperaturo vode, v bolj urbanih območjih pa zmanjšujejo toploto pločnikov (posledično se zmanjšuje tudi temperatura odtoka) (Rosenow, 2010).



Slika 9: Vloga dreves v spopadanju s padavinskim odtokom (Rosenow J. E., 2010)

Iglaste vrste dreves prestrežejo 20–40 %, listnate pa 20–25 % padavin (Brilly, Šraj, 2005, cit. po Šraj, 2003), ocenjeno pa je tudi, da lahko urbani gozd (sestoj dreves znotraj mesta) zmanjša padavinski odtok na letni ravni za 2–7 % (Rosenow, 2010).

Drevesa lahko povežemo v urbani gozd, lahko pa so del zelenih streh, poglobljenih zelenih pasov in ostalih nadalje opisanih ukrepov. V urbana območja jih lahko dodajamo tudi posamezno (drevesne kotanje). V tem primeru površino okoli drevesa pred vplivom pešcev zaščitimo z jekleno mrežo, ki jo namestimo nad gramoz. Raziskovalci so celo razvili programsko opremo *i-Tree*, katere namen je pojasnjevanje in napovedovanje obsega padavin, ki ga sprejmejo drevesa.

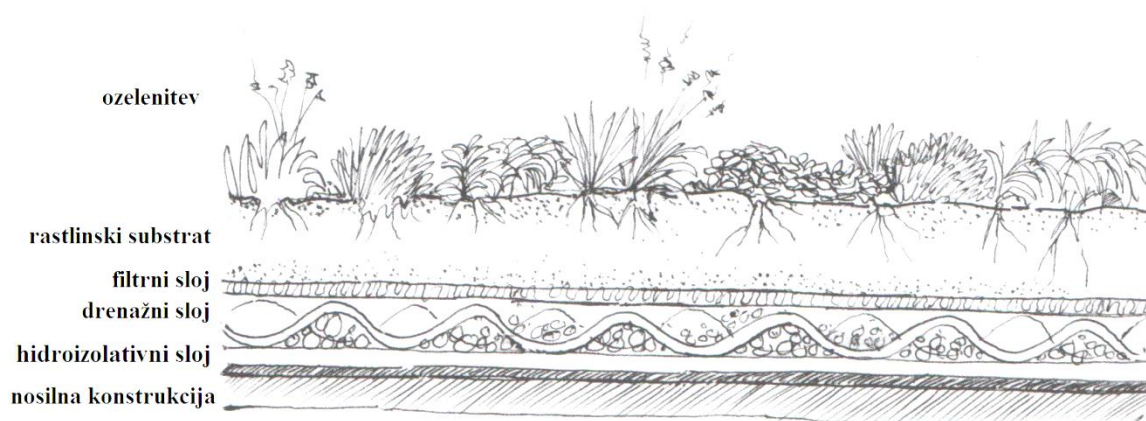
3.2 Zelena streha

Zelene (eko, žive) strehe so eden izmed načinov razpršenega zadrževanja padavinske vode na površini. To so strehe, katerim je na vrhu dodana plast vegetacije (Dunnett, Clayden, 2007). Imajo pomemben prostorski potencial, pospešujejo izhlapevanje, zaradi pronicanja padavinske vode skozi rastni substrat pa ugodno vplivajo tudi na kvaliteto vode (Butler, Davies, 2011). Obremenitev kanalizacijskih sistemov je zmanjšana, kot vsaka druga vrsta ozelenitve urbanih površin pa imajo zelene strehe še mnoge druge pozitivne lastnosti. Od tehnično-ekonomskih (podaljšana življenjska doba ravne strehe, manjša temperaturna nihanja, zaščita strehe pred vremenskimi poškodbami (toča ...) ter UV sevanjem) preko zdravstveno-socialnih (možnost sprostitev v urbanem okolju, naravni habitat, izboljšana zvočna zaščita) do okoljskih prednosti (estetski videz, možnost za počitek, vrtnarjenje; zmanjšanje vpliva toplotnega otoka, čiščenje zraka) (Kunič, 2009).

Glede na debelino rastnega substrata ločimo ekstenzivno in intenzivno zeleno streho. Debelina substrata pri ekstenzivni ozelenitvi 2,5–15,2 cm pomeni cenejšo izvedbo in manjšo težo strehe (49–170 kg/m²). Takšna ozelenitev je zato primerna tudi za nadgradnjo že obstoječih streh z vprašljivo nosilnostjo, primerna pa je tudi za strehe z naklonom do 35 %. Dostop do takšne strehe imajo zaradi slabše nosilnosti ali drugih konstrukcijskih zahtev praviloma le upravljavci. Zaradi svoje odpornosti, prilagodljivosti na podnebne spremembe in nezahtevnosti za ozelenitev največkrat uporabimo različne vrste trajnic. Intenzivno ozelenjene strehe z debelino rastnega substrata nad 15,2 cm omogočajo bolj raznoliko vegetacijo (grmi, drevesa ...) in habitat za živali, ki pa zahteva pogosto vzdrževanje. Strehe so pogosto opremljene s klopmi, tlaki in so posledično atraktiven prostor za zadrževanje ljudi. Zato ter zaradi visoke teže same strehe pri polni zasičenosti z vodo (240–1460 kg/m²) zahtevajo višjo nosilnost primarne strešne konstrukcije. Zmožnost zadrževanja padavinske vode je v primerjavi z ekstenzivno ozelenitvijo višja (Cantor, 2008).

Vse zelene strehe so sestavljene iz istih temeljnih slojev z različnimi funkcijami (Slika 10), razlikujejo pa se zlasti v debelini rastlinskega substrata ter posledično v tipu vegetacije. Tipična streha sestoji iz (Dunnett, Clayden, 2007):

- *hidroizolativnega sloja*. Poleg vodoneprepustnosti mora sloj zagotavljati tudi protikoreninsko zaščito, ki varuje pred mehanskimi poškodbami korenin zasaditve;
- *drenažnega sloja*. Sloj zbira in odvaja odvečno padavinsko vodo s strehe ter poskrbi, da se morebitna toplotna izolacija ne navlaži. Na trgu so dostopni sloji iz oblikovanih plastičnih celic z že vključenim drenažnim izhodom, ki pa jih lahko nadomesti preprost lahek agregat;
- *filtrnega sloja*. Geotekstil preprečuje vdor substrata v drenažni sloj in njegovo zamašitev;
- *rastlinskega substrata*. Sloj podpira in omogoča rast vegetaciji ter zadržuje padavinsko vodo;
- *ozelenitve*. Predstavlja živi del strehe.



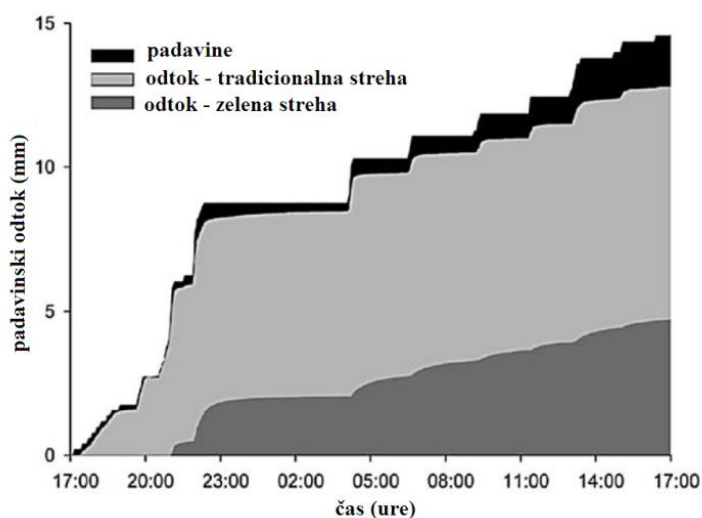
Slika 10: Tipičen prerez zelene strehe (Dunnet in Clayden, 2007)

Zmožnost zadrževanja padavinske vode zelene strehe se kaže v (Mentens, Raes in Hermy, 2006):

- zakasnitvi začetnega časa odtoka zaradi absorpcije vode v sistem,
- zmanjšanju celotnega odtoka zaradi zadrževanja vode in počasnega vračanja v atmosfero,
- porazdelitvi odtoka na daljše časovno obdobje zaradi relativno počasnega izpusta odvečne vode.

Najnovejši sistemi zelenih streh pa odvečno padavinsko vodo v času padavin shranijo, nato pa se jo uporabi na sami strehi za zalivanje vegetacije (Cantor, 2008).

Slika 11 prikazuje zmanjšanje in zakasnitev odtoka z zelene strehe na konkretnem primeru opazovane tradicionalne in ekstenzivne zelene strehe v Belgiji (obe z naklonom 20°). Količina odtoka se glede na tradicionalno streho več kot prepolovi, voda pa s strehe začne odtekati šele 4 ure po začetku naliva.



Slika 11: Padavinski odtok s tradicionalne in zelene strehe, opazovani v Belgiji (Mentens, Raes in Hermy, 2006)

Zmožnost zadrževanja padavinske vode na letni ravni po raziskavah variira nekje od 75 % za intenzivno ter 45 % celotnega padavinskega odtoka za ekstenzivno zeleno streho. Nadaljnje raziskave kažejo še, da je odtok z zelenih streh močno odvisen od količine letnih padavin, tipa strehe, števila slojev in globine ravnega substrata, v nobeni povezavi pa ni s starostjo zelene strehe in njenim naklonom (Mentens, Raes, Hermy, 2006).

Zelena streho lahko torej opišemo kot tradicionalno streho z dodatnimi sloji, s pomočjo katerih neprepustne površine spremenimo v take, ki imajo sposobnost zadrževanja padavinske vode. Največkrat neizkoriščene strehe predstavljajo kar 40–50 % neprepustnih površin v urbanih okoljih (Dunnett, Clayden, 2007), zemljišča znotraj strjeno poseljenih območji pa so draga. Ozelenitev streh ima tako velik, a velikokrat kar spregledan potencial pri gospodarjenju s prostorom in trajnostno ureditvijo. Zelene strehe zaradi vseh opisanih pozitivnih lastnosti doživljajo vzpon – na trgu se pojavljajo tudi t. i. zelene strešne opeke, ki pri graditeljih sprožajo manj dvomov. Nadomestitev prostora na naravnih tleh, ki ga odvezamo z gradnjo z zeleno streho, je v določenih primerih tudi že zakonsko predpisana. Ekološki sklad Republike Slovenije pa prekritje objektov z rastlinsko odejo spodbuja z delnim sofinanciranjem. Vse pogostejši so tudi objekti z zeleno steno, vertikalni vrtovi. Ti prav tako prestrežejo deževnico, preden pade na tla, in pripomorejo k zmanjšanju njene količine.

3.3 Zbiranje deževnice

Tako tradicionalna kot zelena streha imata določen odtok s strehe, ki v večini primerov po odtočnih žlebovih odteka direktno v kanalizacijski sistem. Eden izmed načinov ravnanja s takim odtokom je njegovo zadrževanje v za to namenjenih cisternah in sodih, ki so priključeni direktno na odtočno cev. Ideja takega zadrževanja izhaja že iz daljne preteklosti, ko so se ljudje ponekod zanašali izključno na deževnico (Dunnett, Clayden, 2007). Dandanes se zbiralniki deževnice ne pojavljajo zgolj v sušnih ter polsušnih območjih, ampak tudi širše, saj so vse večji pokazatelj okoljske ozaveščenosti in trajnostnega življenjskega sloga. Med nevihto se zbiralniki napolnijo in del padavin shranijo. Ta voda se uporabi lokalno, kar predstavlja neposredno prednost za lastnika (Petrucci, Deroubaix, de Gouvello idr., 2012). Instalacija zbiralnikov je pogost ukrep pri spopadanju z nenehnim višanjem cen vode ter odgovor na prepoved uporabe vode za določene namene v sušnih obdobjih. Poleg možnosti za prihranek denarja deževnica s svojimi lastnostmi (ne vsebuje kloridov, vsebuje malo soli) ter primerno temperaturo ugodno vpliva na rastline. Zbiralniki deževnice so lahko podzemni (pogosto izvedljivo le pri novogradnjah) ali pa nadzemni (samostoječa izvedba) (Slika 12). Deževnica se lahko zbira v preprostem sodu oziroma neprepustnem kontejnerju, na tržišču pa se že pojavlja vrsta zadrževalnikov, ki dodajo tudi k estetski vrednosti. Pogosto so sodobni zadrževalniki opremljeni z ventilom, ki, ko je cisterna polna, usmeri preostali odtok direktno v kanalizacijske kanale.



Slika 12: Preprosta ureditev zbiranja deževnice (Vir: Avtorica)

Zbiranje deževnice obsega (Dunnett, Clayden, 2007):

- zajetje padavinske vode s streh hiš in ostalih objektov,
- filtriranje in čiščenje padavinske vode (filter odstrani organske snovi, listje, mah, živalske iztrebke),
- skladiščenje vode za nepitno uporabo: zalivanje vrtov, spiranje školjk, pranje perila in avtomobilov (raziskave kažejo, da se v splošnem lahko zadrži dovolj padavinske vode za celotno nepitno uporabo).

3.4 Padavinsko korito

Padavinsko vodo s streh lahko namesto direktno v kanalizacijske sisteme vodimo v nadzemna korita napolnjena z zemljo in zasajena z rastlinami – t. i. padavinska korita. S pomočjo infiltracije, evaporacije, transpiracije in zadrževanja zmanjšajo odtok, poleg tega pa odstranijo še določena onesnažila. Korita lahko uporabimo tudi za zadrževanje padavinske vode s cestišč (Slika 13).

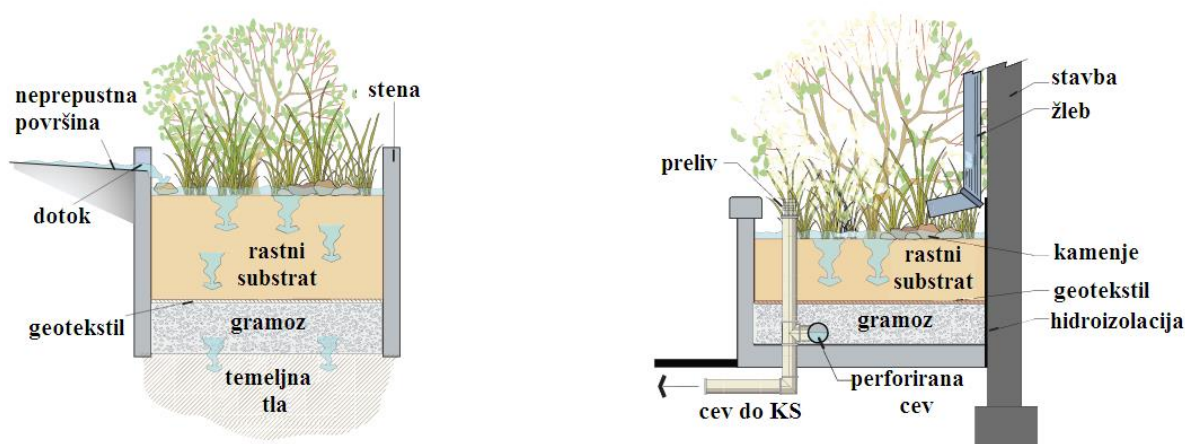


Slika 13: Padavinsko korito, ki zadrži padavinsko vodo s cestišč (Dunnett, Clayden, 2007)

Voda s strehe po žlebu steče direktno v padavinska korita, kamenje pri iztoku pa ji odvzame energijo in prepreči erozijo. Prvi curek vode infiltrira skozi zemljo. Če dotočna hitrost preseže hitrost infiltriranja, na vrhu korita nastane luža. Odvečna voda se lahko čez rob korita pretaka v naslednji sistem za ravnanje s padavinskim odtokom, lahko se odvede v klasični kanalizacijski sistem ali pa

ponikne v zemljo pod koritom. Cilj konstruiranja je, da se voda v padavinskem koritu ne zadrži več kot 12 ur – zaželjeno je celo, da se voda odvede v 2–6 urah. S tem se izognemo dolgoročnemu nasičenju z vodo in anaerobnim pogojem, ki škodujejo rasti rastlin (Dunnett, Clayden, 2007).

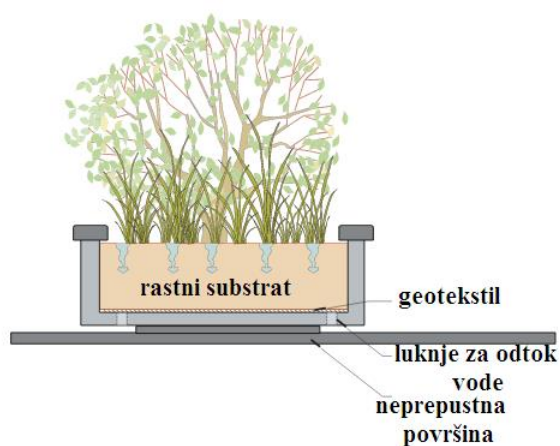
Ločimo 2 vrsti padavinskih korit: pretočna in ponikovalna padavinska korita. *Pretočna korita* (Slika 14, desno) začasno shranijo padavinski odtok, ki ga, preden gre naprej v kanalizacijske kanale, tudi delno očistijo. Imajo neprepustno dno ali pa so postavljena na neprepustno površino, kar onemogoča infiltracijo v temeljna tla. Napolnjena so z gramozom, zemljo in vegetacijo. Začasno shranijo vodo na vrhu zemlje. Medtem ko voda infiltrira skozi korito, jo delno očistijo onesnažil. Odvečna padavinska voda se zbira v perforirani cevi na dnu in nadalje odteka v kanalizacijski sistem. Korita so različnih velikosti, oblik in iz različnih materialov (kamen, beton, opeka, umeten les). Pretočna korita zmanjšajo hitrost padavinskega odtoka, njegov volumen in temperaturo. Ker so locirani tik ob stavbi, poskrbijo še za senco in posledično ugodno vplivajo na porabo energije. *Ponikovalna korita* (Slika 14, levo) so konstrukcije z odprtim dnom, ki omogočajo padavinskemu odtoku, da počasi pronica v tla. Padavinska voda se začasno zadrži na vrhu zemlje, nato pa počasi infiltrira skozi korito in nadalje v temeljna tla. Ponikovalna korita niso primerna za tla s slabo prepustnostjo. Ugodno vplivajo tudi na podtalnico (City of Portland, Oregon).



Slika 14: Shema ponikovalnega (levo) in pretočnega (desno) korita (City of Portland, Oregon)

Padavinsko vodo s strehe, ki priteče po žlebu, pa lahko zelo preprosto preusmerimo kar na dvorišče ali vrt in tako preprečimo preobremenitev kanalizacijskih kanalov v času padavin. Ta enostaven, poceni, učinkovit in krajinsko atraktiven ukrep pa je enostaven tudi za vzdrževanje. Občasno je potrebno zgolj preveriti material za razpoke in ostale poškodbe ter z žlebov odstraniti listje in ostalo navlako (City of Portland, Oregon).

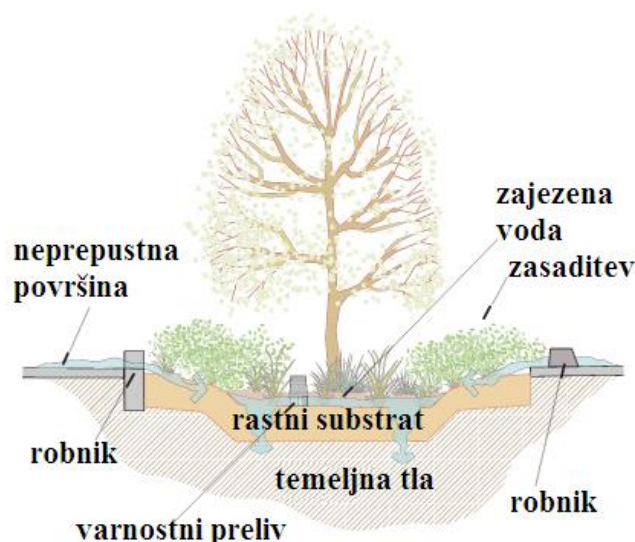
Poznamo tudi korita, ki sprejmejo direktno padavine (ne padavinski odtok) (Slika 15). Tako zadrževalno korito je sestavljeno iz zemlje in rastlin ter ga lahko postavimo na različne vrste neprepustnih površin. Deževnica se začasno zadrži na zemlji, nato pa počasi pronica skozi korito. Včasih je odtekanje vode omogočeno skozi luknje na dnu korita. Takšna korita so običajno iz kamna, betona ali opeke, na tržišču pa se pojavljajo tudi kot prefabricirani elementi (City of Portland, Oregon).



Slika 15: Shema zadrževalnega korita (City of Portland, Oregon)

3.5 Poglobljen zeleni pas

Poglobljen zeleni pas (Slika 16) ima obliko blago nagnjene linearne depresije, ki je poraščena s travo ali gosto vegetacijo, vanjo pa steka voda s streh, cest in parkirišč (City of Portland, Oregon).



Slika 16: Shema poglobljenega zelenega pasu (City of Portland, Oregon)

Njihov osnovni namen je transport vode, poleg tega pa še omogoča vodi, da infiltrira v tla, onesnažila pa se med tem filtrirajo in usedajo. Taki poglobljeni pasovi niso stalno zapolnjeni z vodo – teži se k akumulaciji zgolj med nevihtami (zato ozki pasovi; široke depresije hitro postanejo zadrževalniki). Padavinsko vodo zadržijo nekaj ur/dni, dokler ne infiltrira v tla oziroma po potrebi odteče nadalje v zadrževalni bazen.

Poznamo dve vrsti poglobljenega zelenega pasu. *Zatravljen pas* je primernejši v primerih, kjer se mora tok vode pospeševati, funkcija *zasajenega pasu* pa je pospeševanje infiltracije. Le-ta je bogato zasajen – grmičevje, drevesa, trajnice. Padavinska voda poskrbi za naravno namakanje teh rastlin. Priporočena globina pasu je 15 cm, maksimalna širina naj ne presega 60 cm, za pasove ob avtocestah pa je zgornja meja širine 120 cm. Poglobljeni zeleni pasovi lahko potekajo vzporedno s cestnim telesom; so zanimiv krajinski element, hkrati pa lahko imajo tudi funkcijo umirjanja prometa (Slika 17).



Slika 17: Umirjanje prometa s pomočjo zelenega pasu (Vir: Avtorica)

S poraslim depresijskim območjem lahko nadomestimo tudi območja med posameznimi vrstami parkirnih mest na večjih parkiriščih, ki so običajno ločena z robniki dvignjenimi otoki (Slika 18). Primerna vegetacija je nujna za filtriranje onesnažil s parkirnih površin (olje, bencin). Take pasove lahko umestimo tudi vzdolž posameznih parkirnih mest ob hiši (Dunnett, Clayden, 2007).

Vzdrževanje poglobljenih zelenih pasov (razen odstranitve smeti in naplavin) ni potrebno. Takšni pasovi so atraktivni, stroškovno ugodni, omogočajo habitat živalim ter poskrbijo za izboljšanje vizualne podobe (City of Portland, Oregon).

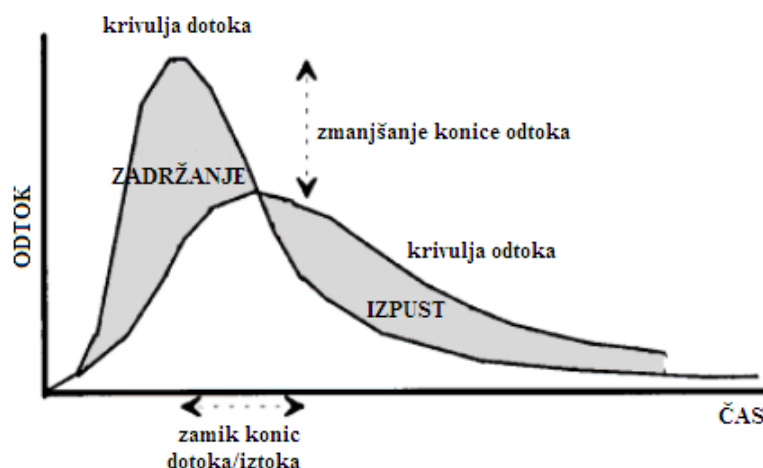


Slika 18: Primer ureditve poglobljenega zelenega pasu na parkirišču (Dunnett, Clayden, 2007)

3.6 Suhi/mokri zadrževalniki

Koncentrirano zadrževanje padavinske vode na površini s pomočjo suhih oz. mokrih zadrževalnikov temelji na principu zajetja vode iz streh, parkirišč, dvorišč ali utrjenih travnatih površin, ki jo nato odvedemo v zadrževalne bazene in nadalje kontrolirano spuščamo v vodotoke ali kanalizacijo (Vahtar, Kompore, 1998). V večini primerov služijo zadrževalna jezera kot večnamenski objekt. Poleg zadrževanja visokih voda se lahko uporabljajo še za kritje potreb po vodi za različne dejavnosti, za namakanje, pridobivanje energije, redčenje odpadne vode ter izboljšanje plovnosti rek (Steinman, Banovec, 2008).

Potrební zadrževalni volumen je odvisen od razlike med hitrostjo padavinskega dotoka ter dopustne izpustne hitrosti. Delovanje zadrževalnikov je v splošnem sestavljeno iz dveh faz: časa polnjenja (dotok večji od iztoka) ter časa praznjenja (dotok manjši od iztoka). Fazi ločuje konica iztoka (Slika 19), ki se pojavi na padajoči premici dotoka. Takrat sta hitrosti iztoka in dotoka izenačeni (Guo, 2001).

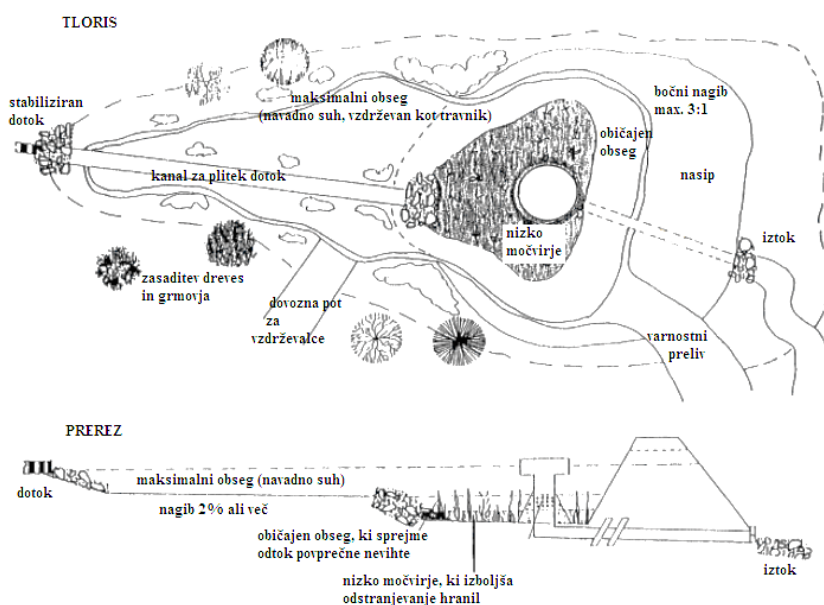


Slika 19: Koncept delovanja zadrževalnikov (Guo, 2001)

Zadrževalniki voda so lahko suhi, in se napolnijo z vodo samo ob poplavi, ali mokri, in služijo kot večnamenske akumulacije, v katerih je del prostornine namenjen za zadrževanje voda (Brilly, Mikoš, Šraj, 1999).

Suhih zadrževalnikov se zaradi skrbnega načrtovanja in primerno izbrane vegetacije velikokrat v okolju sploh ne opazi (Butler, Davies, 2011). Če je tak zadrževalnik ustrezno dimenzioniran, je njegovo vzdrževanje enostavno. Vzdrževanje obsega košnjo in sečnjo brežin v zadrževalnem prostoru, odstranjevanje plavin izpred zapornic, vzdrževanje dostopnih poti, jarkov in propustov v zadrževalnem prostoru, vzdrževanje hidromehanske opreme z elektro sklopi. Poleg osnovnega vzdrževanja se zagotavlja tudi obratovanje, ki obsega manipulacijo s hidromehansko opremo, redne

kontrolne preglede stanja objekta in opreme, beleženje stanja na objektih in opremi in poročanje o vseh dogodkih, ki lahko vplivajo na funkcionalnost vodne infrastrukture, vključno z obratovanjem v izrednih razmerah (Podobnik, Ponikvar, 2009). Novejši zadrževalniki imajo pri izpustu plitvo močvirje, ki omogoča bolj učinkovito odstranjevanje onesnažil (Mays, 2001).

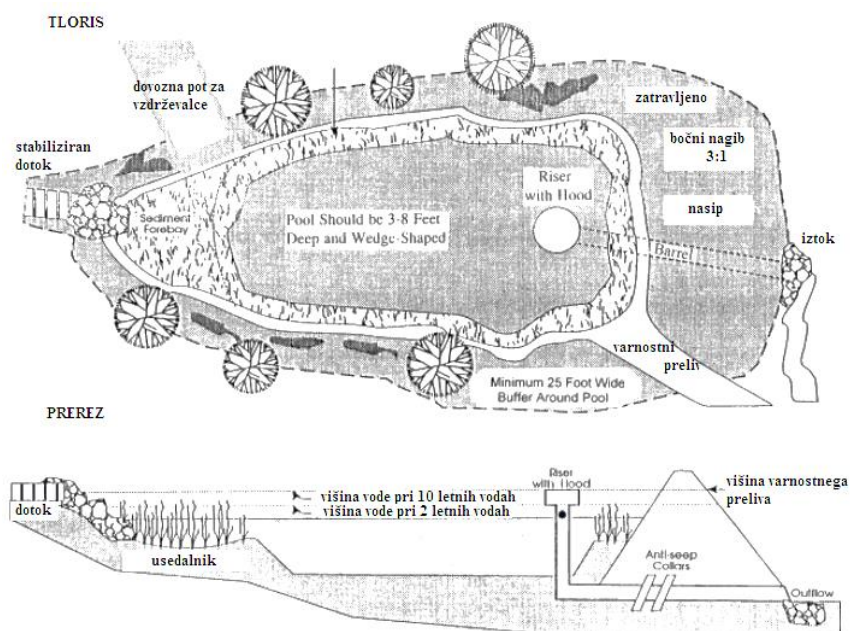


Slika 20: Shema suhega zadrževalnika (Paine, Osman Akan, 2001)

Mokri zadrževalniki zadržujejo in čistijo padavinsko vodo znotraj stalnega volumna vode (Slika 21). Poleg funkcije zadrževanja visokih voda imajo še estetsko, rekreacijsko (jadranje, ribolov) ter okoljsko (vračanje habitat v urbano okolje) vrednost (Butler, Davies, 2011). Takšni objekti (ribniki, bajerji ...) lahko imajo precej kratko življenjsko dobo, če niso zavarovani s sedimentacijskim bazenom, kjer tok vode najprej odloži vse prinesene grobe delce, ki bi sicer v kratkem obdobju lahko zapolnili bazen (Vahtar, Kompare, 1998). Tako zapolnjevanje zmanjšuje koristni volumen zadrževalnika, hkrati pa ogroža stabilnost objekta, saj lahko onemogoči delovanje talnih izpustov. Dotok plavin je zato potrebno predvideti že pri načrtovanju objektov (Steinman, Banovec, 2008).

Pred gradnjo zadrževalnika so potrebne obsežne preliminarne študije, saj je taka gradnja velik poseg v naravni prostor (največkrat krčimo gozdove, uničimo habitat za gozdne živali), zahteva visoka finančna sredstva ter stalno vzdrževanje. Ob napakah pa lahko zadrževalniki zaradi zamašitve iztoka prispevajo celo k povišanju poplavne konice in erozije na dolvodnih območjih (Paine, Osman Akan, 2001).

V Sloveniji je 28 mokrih in 9 suhih zadrževalnikov. Najbolj znan je zadrževalnik Vogršček v Vipavski dolini, zgrajen z namenom zadrževanja vode iz potoka Vogršček za potrebe namakanja kmetijskih zemljišč in zadrževanja visokovodnega vala.



Slika 21: Shema mokrega zadrževalnika (Paine, Osman Akan, 2001)

Za zadrževanje padavinskih voda ob močnejših nalivih se izkoriščajo tudi neposeljene depresije na konfiguracijah terena (parki, stadioni, igrišča, cestišča, parkirišča), a le do višine, ki ni škodljiva zdravju (na cestiščih do višine 10 cm) (Panjan, 2005).

3.7 Mokrišče

Mokrišča so naravno ali umetno oblikovana plitka ravna ali blago nagnjena (nekje do 5 % naklona) območja, ki so zasičena z vodo in poraščena z izbranimi vodnimi rastlinami (Butler, Davies, 2011). Ramsarska konvencija (podpisana z namenom varstva mokrišč) pravi, da so to *območja močvirij, nizkih barij, šotišč ali vode*, naravnega ali umetnega nastanka; *so stalna ali občasna, s stoječo ali tekočo vodo. Voda je sladka, polslana ali slana, vključno z območji obalnega morja, kjer voda ob osekah ne presega globine šest metrov*. Pokrivajo okoli 10 % zemeljskega površja; na slovenskem območju jih je poleg treh mednarodno pomembnih (Cerkniško jezero (površine 7 250 ha), Sečoveljske soline (površine 650 ha) in Škocjanske jame (površine 305 ha)) še nekaj čez 3500. Kar 83 % vseh lokacij in 61 % površine teh mokrišč je antropogenega nastanka (Bat, Beltram, Cegnar idr., 2003).

Z obliko naravnega vodnega zbiralnika lahko bistveno zmanjšajo padavinski odtok (Butler, Davies, 2011). Sposobna so sprejeti velike količine vode, ki jo nato počasi sproščajo. Rečna mokrišča z izbrano vegetacijo zmanjšujejo hitrost vode in umirijo vodni val. Raziskave kažejo, da je sposobnost zadrževanja 15.000 m³/ha. Na Cerkniško polje se lahko v enem dnevu nateče do 10 milijonov m³ vode, redne poplave, ki obsegajo 20 km² (53 % kraškega polja), pa zadržijo celo 28 milijonov m³ vode. Jezero se napolni v nekaj dneh, izprazni pa v nekaj tednih (Bat, Beltram, Cegnar idr., 2003).

Mokrišča imajo sicer s svojo pestrostjo, dinamičnostjo in bogastvom življenjskih oblik več funkcij (Beltram, 2000):

- *vzdrževanje hidrološkega režima* (zmanjševanje poplavnega vala, ohranjanje vodnih zalog, bogatenje podtalnice, utrjevanje brežin, omogočanje vodnega transporta),
- *vzdrževanje kakovosti vode* (zmanjševanje onesnaževanja, zaustavljanje usedlin, zadrževanje toksičnih in hranilnih snovi),
- *pretok hranilnih snovi* (razgradnja snovi, proizvodnja hranilnih snovi in biomase, poraba hranilnih snovi),
- *življenjski prostor* (omogoča življenje rastlinskim in živalskim vrstam),
- *gospodarska in javna raba* (za proizvodnjo in potrošnjo, za rekreacijo, kot naravna dediščina).

Mokrišče naj bi po svoji površini variiralo v globini vode: praviloma naj ta ne bi bila večja od 1 metra na več kot 20 % površine, več kot 50 % površine pa naj ne bi preseglo 0,50 metra globine. Blag tok vode naj bi bil vedno prisoten (hitrost manjša od 0,1 m/s). Vzpostavitev mokrišča je enostavna in poceni, vzdrževanje (zasajanje rastlin, njihova odstranitev) pa nujno (Butler, Davies, 2011).

3.8 Rastlinska čistilna naprava

Rastlinske čistilne naprave (RČN) so vse bolj pogoste (predvsem zaradi evropske direktive o obvezni priključitvi na kanalizacijsko omrežje ali opremi parcele z malo komunalno čistilno napravo). Delujejo na istem principu kot naravna močvirja, prispevajo k lepšemu izgledu krajine in nadomeščajo kanalizacijske sisteme.

RČN se za čiščenje primarnega odtoka iz greznic uporabljajo predvsem na območjih razpršene poselitve (Panjan, 2005), pa tudi za čiščenje sekundarnega iztoka iz lagun, za terciarno čiščenje, za čiščenje odpadnih voda s cestišč in za čiščenje izcednih voda odlagališč komunalnih odpadkov. Slika 22 prikazuje RČN za čiščenje odpadnih voda s planinske koče.

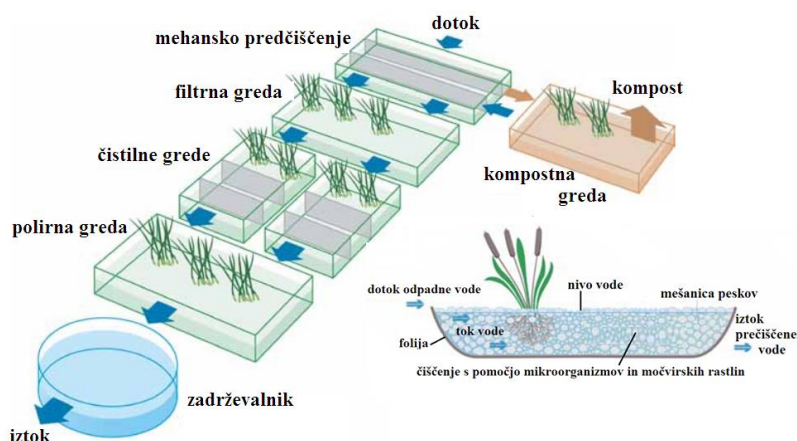


Slika 22: RČN za čiščenje odpadne vode na planini Razor (Vir: Avtorica)

Glavne prednosti RČN (Ameršek, 2011):

- za delovanje običajno ne potrebuje električne energije (gravitacijsko pretakanje vode) in ostalih mehanskih delov,
- cenovno dostopna, poceni obratovanje, vzdrževanje ni potrebno,
- je okolju prijazna (omogoča terciarno čiščenje odpadnih voda),
- odstranjuje patogene mikroorganizme,
- zaradi rasti rastlin omogoča vezavo toplogrednih plinov (ogljikov dioksid).

Odpadna voda se, medtem ko se zadržuje in potuje po prekatih, s pomočjo bioloških in kemijskih procesov (temeljijo na rastlinah, substratih in mikroorganizmih) očisti. Voda vstopi v primarni usedalnik (usedanje grobih delcev), nato preko peščenih filtrov (začetki razgradnje) do zaporedno nameščenih gred (filtrne, čistilne, polirne). V njih je nameščen substrat iz pranega drobljenca in rečnega proda (vse do debeline 64 milimetrov), dopolnjen s šoto, različnimi prstmi in posajen z močvirnatimi rastlinami (navadni trs, šaši, rogoz, ločje, perunika ...), ki za svojo rast porabijo presežek hranil. Podpovršinski tok vode za razliko od drugih oblik čistilne naprave ne povzroča smradu. Za učinkovito delovanje RČN potrebujemo za 1 PE približno 2,5 m² površine (Ameršek, 2011). Prečiščena voda se shrani v zadrževalniku (Slika 23), nadalje pa se lahko uporabi za namakanje kmetijskih površin, zalivanje, celo za gašenje požarov.

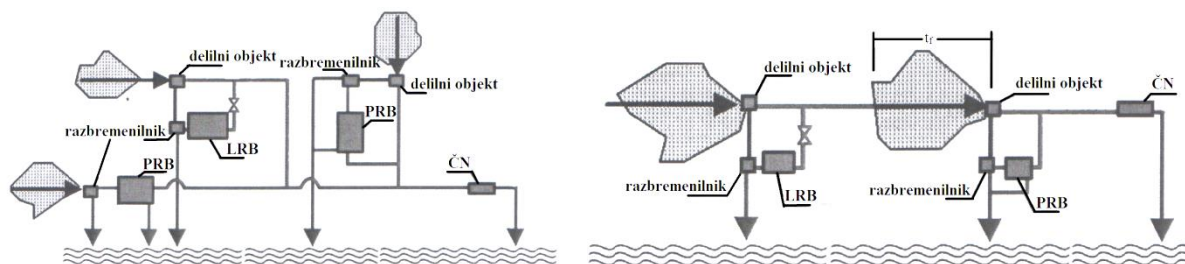


Slika 23: Shema delovanja RČN (Ameršek, 2011)

3.9 Zadrževalni in razbremenilni sistemi

Zadrževalne in razbremenilne bazene lahko namestimo na glavno ali stransko vejo. Dotok na ČN gre pri sistemih na glavni veji skozi bazen, pri tistih na stranski veji pa je speljan mimo bazena. Bazen namestimo na glavno vejo, kadar je višinska razlika med vtokom in iztokom dovoljšna ali zaradi stiske s prostorom. Ureditev v stranski veji sicer zahteva več cevi in dodatni delilni objekt, zagotavlja pa razbremenjevanje manj onesnažene vode (ATV-A 128E, 1992). Tudi bazenom na glavni veji lahko namestimo obtok sušnega pretoka (odcepi se pred bazenom). V deževnem obdobju se bazen polni preko delilnega objekta. Iztok je med polnjenjem odprt. Nameščamo jih na majhna prispevna območja z enim samim bazenom ali pri zaporedno vezanih bazenih kot zadnji bazen pred ČN (Adamczyk, 1982).

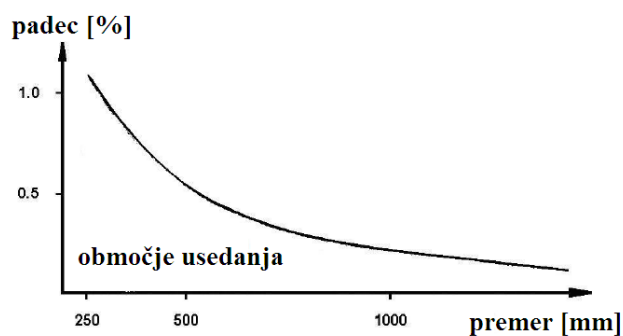
Večja območja je v MKS smotrno razčleniti na podobmočja, na koncu vsakega pa namestiti svoj bazen. Teh je lahko s stališča vzdrževanja in kontroliranja razmeroma malo, vendar ima vsaka razčlenitev več prednosti. Bazene lahko med seboj povežemo vzporedno ali zaporedno. Pri *vzporedni vezavi* lahko bazene, glede na terenske razmere, namestimo na stransko ali glavno vejo (z ali brez obtoka). Investicijski stroški so zaradi dodatnega zbirnega kanala višji (Adamczyk, 1982). Dimenzioniranje je preprosto, bazeni niso medsebojno odvisni, vsa mešana odpadna voda pa doseže ČN (Slika 24). Vzporedno priključevanje bazenov ni vedno mogoče (ATV-A 128E, 1992).



Slika 24: Vzoredna (levo) in zaporedna (desno) vezava bazenov (Maleiner, 2005 b)

Pri *zaporedni vezavi* se mešana odpadna voda iz gorvodno ležečih bazenov, namenjena do ČN, dolvodno ponovno meša s padavinsko vodo (nevarnost razbremenjevanja). Premeri dušilk zato v smeri toka naraščajo. Lego bazena lahko izberemo le za zadnji bazen pred ČN, ostali bazeni ležijo na stranskem vodu (Adamczyk, 1982).

Pri lociranju sistemov moramo upoštevati tako ekonomski kot vodnogospodarski vidik, razbremenjevanje sušnih odtokov mora biti preprečeno (zagotoviti moramo vsaj 15 l/(s*ha) pretoka). Bazene umeščamo na konec odsekov oz. podobmočij prispevnih površin, ki izkazujejo večje usedanje v kanalih (padec kanala pod krivuljo (Slika 25)). Usedanje se z manjšanjem hitrosti ter v času sušnega odtoka povečuje (ATV-A 128E, 1992).



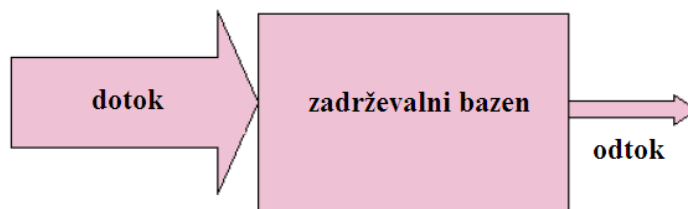
Slika 25: Graf za določitev območja usedanja (ATV-A 128E, 1992)

Zaradi pomanjkanja domačih in evropskih standardov se za dimenzioniranje največkrat uporabljajo smernice nemškega združenja za vodo, odpadno vodo in odpadke DWA e.V. (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) ATV (Abwassertechnische Vereinigung-Arbeitsblatt).

3.9.1 Zadrževalni sistemi

3.9.1.1 Zadrževalni bazeni

Zadrževalni bazeni so v urbanih okoljih največkrat prekriti betonski objekti, v ruralnih pa odprti v zemeljski izvedbi (Panjan, 2005). Taki bazeni ne omogočajo prelivanja (ni količinskih sprememb), s skladiščenjem vode pa razbremenijo omrežje (Slika 26). Pretežni del padavinskega dotoka se v njih do prenehanja oz. zmanjšanja padavin zadrži, nato pa kontrolirano, v količinah, ki jih kanalizacijsko omrežje prenese, spušča naprej v omrežje. Odtočne konice se tako zmanjšajo, kar se zrcali v zmanjšanju potrebnih premerov kanalov omrežja za zadrževalnim bazenom. Njegova potrebna prostornina je razlika med dotočnimi in odtočnimi vsotnimi krivuljami. Pri konstruiranju je potrebno preprečiti odlaganje usedlin. Nameščamo jih na odsekih kanalizacijskih sistemov, kjer razbremenjevanje ni možno (Maleiner, 2005 b).



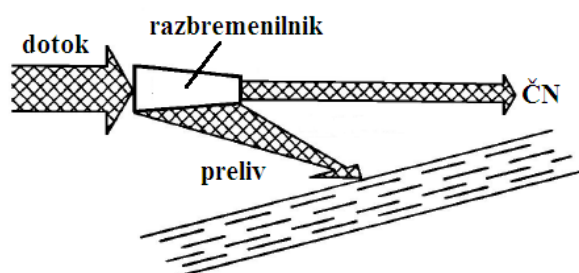
Slika 26: Prikaz delovanja zadrževalnega bazena (Maleiner, 2005 b)

3.9.1.2 Zadrževalni bazeni za čiščenje deževnice

Bazeni za čiščenje deževnice se v LKS uporabljajo za čiščenje padavinske vode. Takšni bazeni so zaradi pričakovanega izostanka emisij lahko odprti. Ločimo bazene brez stalne zaježitve in tiste s stalno zaježitvijo (Maleiner, 2005 b). Ko se bazeni izpraznijo, jih očistimo in pregledamo. V sušnem obdobju so prazni (Panjan, 2005).

3.9.2 Razbremenilni sistemi

Prek razbremenilnikov v MKS odvajamo del padavinske vode v odvodnik, del pa naprej do čistilne naprave (Slika 27) (Kolar, 1983). Njihova glavna naloga je ločitev manj onesnažene padavinske vode od močno onesnažene. Le pravilno dimenzioniran razbremenilnik zagotavlja dovoljšno zaščito odvodnika, ČN pa tako niso obremenjene z zelo razredčeno vodo. Zaradi zmanjšane količine odtoka so cevi v omrežju manjše (manjši investicijski stroški) (Maleiner, 2005 a).



Slika 27: Princip delovanja razbremenilnika (ATV-A 128E, 1992)

Pričetek delovanja razbremenilnika opišemo s pojmom *razredčenje* n – razmerje med celotnim dotokom Q_d in sušnim odtokom Q_s , ki nam služi kot orientacijska vrednost. Splošno naj bi veljalo $n = 7$ do 9 , pred ČN $n = 4$. Odtok v MKS, pri katerem začne razbremenilnik delovati, označimo s Q_{krit} (odtok, pri katerem je dotok na ČN presežen) (Panjan, 2005):

$$Q_{krit} = Q_s + n * Q_s = (1 + n) * Q_s \quad (1)$$

$$Q_p = Q_d - Q_{krit} \quad (2)$$

kjer je:

Q_{krit} odtok, pri katerem začne razbremenilnik delovati [m^3/s],

Q_s sušni odtok [m^3/s],

Q_p prelita količina odtoka [m^3/s],

Q_d dotok [m^3/s].

Vrednost Q_{krit} določimo iz jakosti padavinskega odtoka na enoto površine q'_{krit} , prispevne površine in koeficienta odtoka. Vrednost q'_{krit} določimo s pomočjo črt trajanja dežja; če podatki za konkretno situacijo niso na voljo, pa jo ocenimo iz diagrama starih predpisov ATV (Kolar, 1983).

Ločimo razbremenilnike z *bočnim in s pravokotnim robom* ter tiste z *delilno ploščo*. Pri prvih se voda preliva bočno, odtok pa v trenutku, ko razbremenilnik začne delovati, že odteka pod tlakom (v ta namen vgrajene dušilke so cevne, vrtnične ali zasunske). Razbremenilnik z delilno ploščo vodo odvaja

z odcepom (ponorom), ki je urejen v dnu profila. Prekrit je s kovinsko ploščo z odprtino (Panjan, 2005). Vedno bolj pa so prisotni moderni načini prelivanja z nategami, loputami, potopnimi stenami, grabljami, siti ter povratnimi loputami (Maleiner, 2005 a).

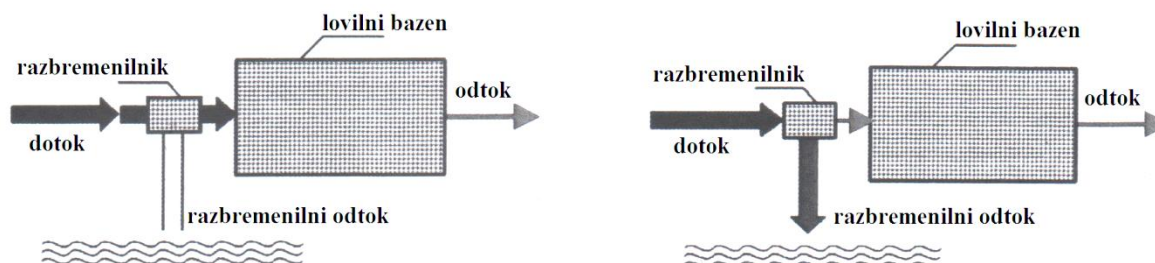
3.9.2.1 Lovilni razbremenilni bazen (deževni zadrževalni bazen)

Lovilne razbremenilne bazene (LRB) nameščamo na območjih z majhnimi prispevnimi površinami in kratkimi dotočnimi časi (ATV-A 128E, 1992). Njihova naloga je, da zadržijo prvi val onesnaženja. S tem preprečimo onesnaževanje odvodnika z močno onesnaženo prelito vodo (Panjan, 2005).

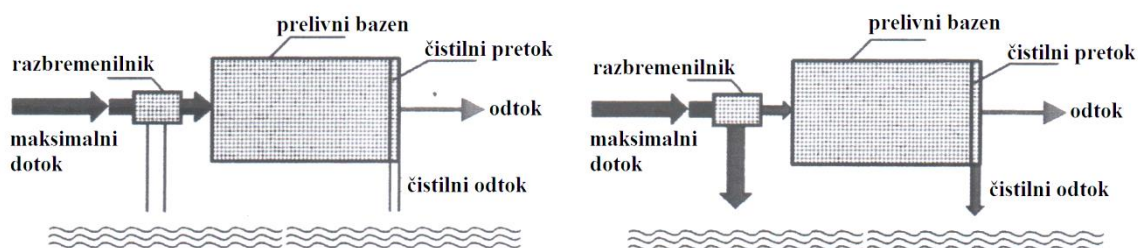
V poštev pridejo (Panjan, 1999):

- pri predhodno nerazbremenjenem omrežju; kadar čas dotoka pri računski obremenitvi znaša manj kot 15 minut,
- pri predhodno razbremenjenem omrežju; če razbremenjevanje nastopi pri obremenitvi nad 30 l/(s*ha) ,
- pri zaporedno vezanih bazenih pod določenimi pogoji.

Organske snovi se med sušnimi obdobji usedajo in nabirajo v položnih odsekih kanalov, prvi val padavin pa jih ponese naprej po sistemu. Raziskave so že konec šestdesetih let pokazale, da je lahko njegova onesnaženost tudi do petdesetkrat večja od onesnaženosti sušnega pretoka. Zato je pomembno, da razbremenitev prvega vala z visokimi koncentracijami onesnaženja onemogočimo. Skladiščenje vala (Slika 28, levo) poteka v t.i. lovilnem razbremenilnem bazenu. Kot je razvidno s slike 28 (desno), se po napolnitvi bazena manj onesnaženi dotok razbremeni preko pred bazenom ležečega razbremenilnika. Celotna vsebina bazena pa se odvede v čistilno napravo, kjer se mehansko in biološko očisti (Maleiner, 2005 b).

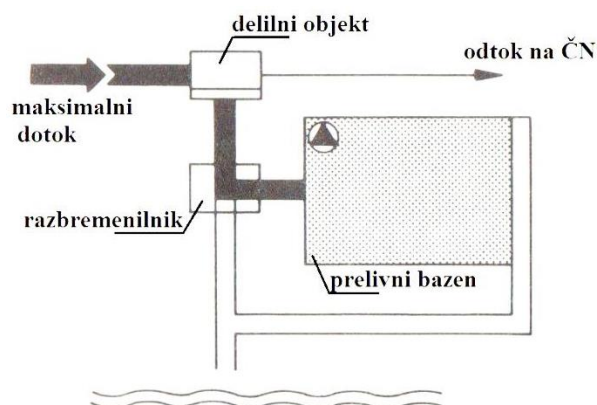


Slika 28: Prikaz delovanja med polnjenjem (levo) in po napolnjenju LRB (desno) (Maleiner, 2005 b)



Slika 30: Prikaz delovanja med polnjenjem (levo) in po napolnitvi PRB (desno) (Maleiner, 2005 b)

Če izvzamemo ekonomski vidik, je PRB smotrneje nameščati v stranske priključke, kjer se dotok na ČN vodi mimo bazena (Slika 31). Močno onesnažena mešana odpadna voda se tako na začetku in koncu padavin vodi direktno na ČN, s čemer je njeno razbremenjevanje v odvodnik onemogočeno.



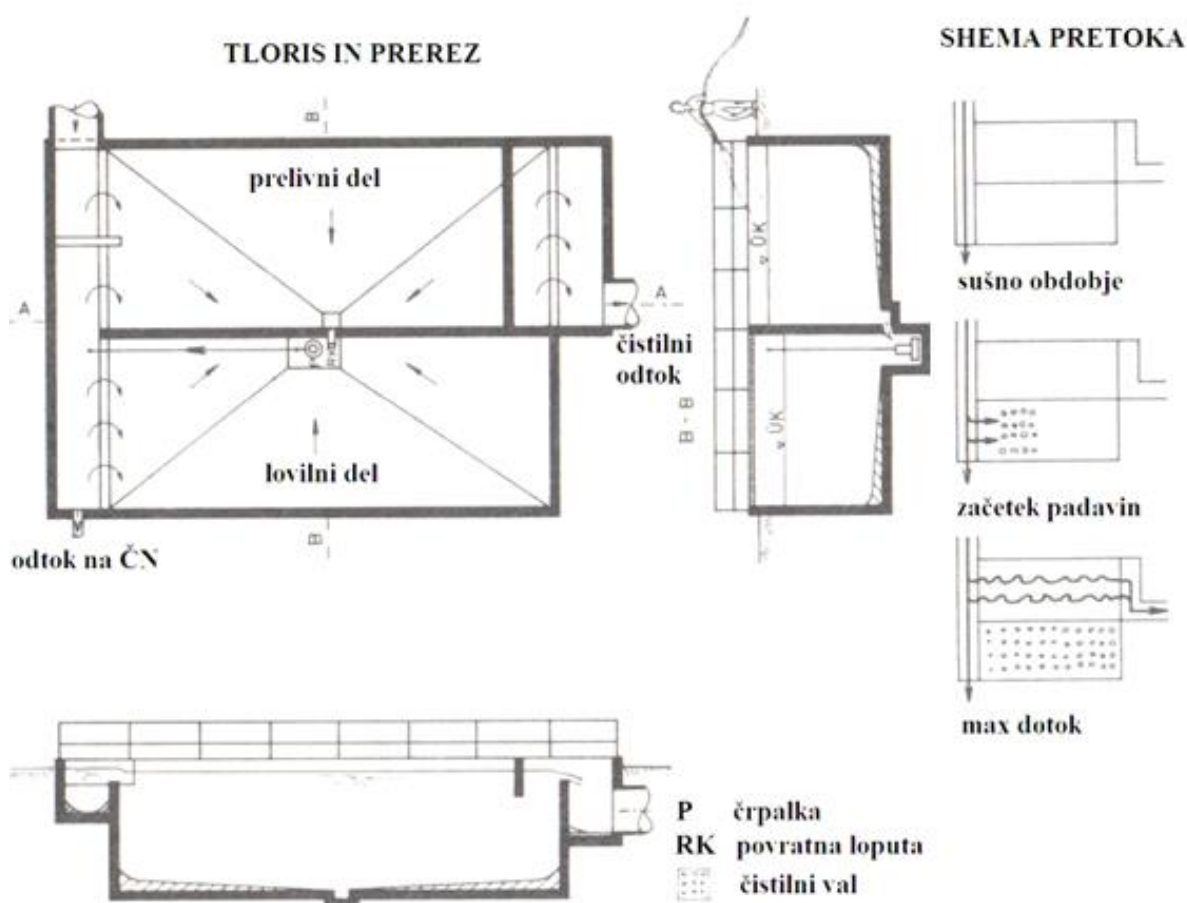
Slika 31: Prikaz delovanja PRB v stranskem priključku med polnjenjem (Adamczyk, 1982)

Naloga razbremenilnika pred PRB je omejevanje maksimalnega pretoka skozi bazen, usedlemu blatu pa onemogoča ponovno dviganje (vrtinčenje) in prelivanje čez preliv (Adamczyk, 1982). Krona preliva razbremenilnika mora biti vsaj za vrednost prelivne višine preko čistilnega preliva pri kritičnem dotoku v poln bazen nad krono čistilnega preliva v PRB. Zaradi poenostavitve se gradnja razbremenilnika ne priporoča, da preprečimo vrtinčenje pa moramo pri dimenzioniranju bazena zadostiti naslednjemu pogoju (Panjan, 1999):

- pri obremenitvi $30 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ hitrost toka v bazenu ne sme presegati vrednosti $0,05 \text{ m/s}$.

3.9.2.3 Kombinirani razbremenilni bazen

Kombinirani razbremenilni bazeni (KRB) so sestavljeni iz lovilnega in prelivnega razbremenilnega bazena. Gradimo jih na območjih za katera so značilni čistilni valovi z daljšimi dotočnimi časi (iz sosednjih območij) ter dotoki z enakomernejšo koncentracijo onesnažil. Odpadna voda se najprej shrani v *zadrževalni del*; ko je le-ta poln, pa odteka v *čistilnega*, kjer se mehansko očisti in preko čistilnega preliva odvede v odvodnik. Čiščenje v KRB je manj kakovostno kot v samostojnem bazenu. Odvisno od krajevnih razmer lahko bazena zgradimo enega poleg drugega oz. drugega nad drugim (v tem primeru je spodaj LRB). Investicijski in obratovalni stroški so višji kot pri ločenih bazenih (ATV-A 128E, 1992). Slika 32 prikazuje konstrukcijo odprtega KRB (bazena eden poleg drugega); čiščenje njegovega dna poteka ročno.

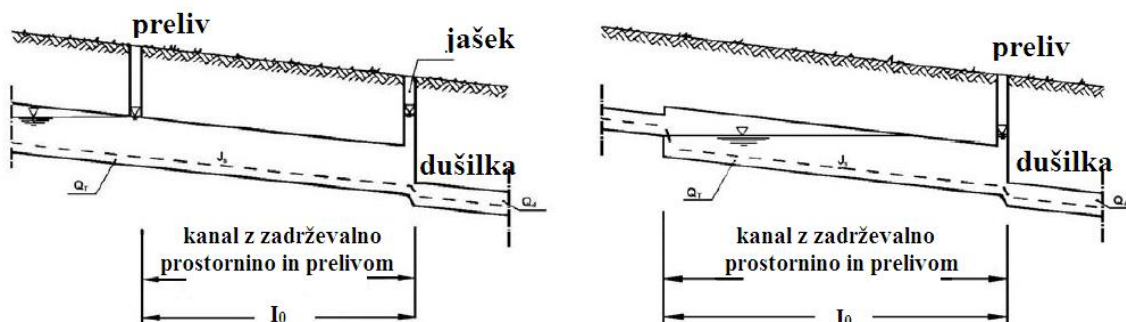


Slika 32: KRB, bazena eden poleg drugega (Adamczyk, 1982)

Dejstvo, da lahko razmerje med zadrževalnim in čistilnim delom izberemo, je prednost KRB. Kadar pričakujemo izplakovalne sunke umazanije, znaša volumen zadrževalnega dela $2/3$, pretočnega $1/3$ celotnega volumna, ter obratno, kadar takih sunkov ni pričakovati (Panjan, 1999).

3.9.2.4 Kanali z zadrževalno prostornino in prelivom²

Standard ATV-A 128E opredeljuje dve različici kanala z zadrževalno prostornino in prelivom. Kanali s prelivom zgoraj (Slika 33, levo) delujejo na principu deževnega zadrževalnega bazena (zadržijo prvi val padavinske vode), tisti s prelivom spodaj (Slika 33, desno) pa na principu deževnega prelivnega bazena. Le-ti so manjkrat uporabljeni kot tisti s prelivom zgoraj, saj so ob močnejših nalivih podvrženi nevarnosti mešanja in spodrivanja močno onesnažene vode s kasneje dotekajočo manj onesnaženo (zato potrebujejo večji volumen).



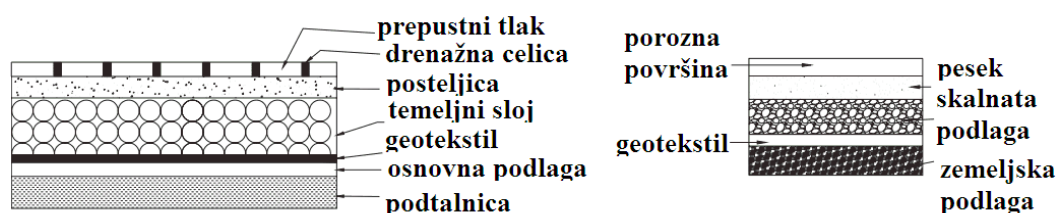
Slika 33: Kanal z zadrževalno prostornino in prelivom zgoraj (levo) in prelivom spodaj (desno) (ATV-A 128E, 1992)

Delovanje kanalov je ob upoštevanju standarda primerljivo z ostalimi sistemi razbremenjevanja mešanih kanalizacijskih sistemov. Prednosti kanalov sta gravitacijsko praznjenje in dejstvo, da ne potrebujejo dodatnih elementov za funkcioniranje, pomanjkljivosti pa nesposobnost odstranjevanja usedline ter mehanskega čiščenja prelite vode. Uporabimo jih lahko torej zgolj ob zadostni vlečni sili, ki omogoči odstranitev usedlin, ali ob prisotnosti ustreznih dodatnih naprav za praznjenje.

² Povzeto po: ATV-A 128E, 1992.

3.10 Prepustne tlakovane površine

Prepustne površine s povečanjem deleža infiltracije pozitivno vplivajo na količino padavinskega odtoka, poleg tega pa pripomorejo še k bogatenju podtalnice in preprečevanju onesnaženja. Take površine so primerne za manj obremenjena stanovanjska, trgovska in industrijska območja. Največkrat so uporabljene pri površinah za dostop vozil (zasebni dostop do hiše, nadvozi, urgentne poti), pri stabiliziranju bregov, na parkiriščih, stezah za pešce ter kolesarje in na golf igriščih. Kadar obstaja možnost onesnaženja podtalnice s padavinskim odtokom v konstrukcijo prepustne površine vključimo plast neprepustne membrane, ki vodo naknadno odvede v kanalizacijski sistem (Scholz, Grabowiecki, 2007). Površina omogoča infiltracijo zaradi svoje poroznosti ali pa prepustnosti. Pri prepustnih površinah sam material ni porozen (ne prepušča), a sistem tlakovanja dopušča vodi, da gre mimo tlakov (Slika 34, levo). Posamezni deli tlakovanja so lahko tesno sestavljeni (voda gre skozi ozke razpoke med njimi) ali pa je tak sistem sestavljen iz praznih prostorov (plastična ploskovna mreža), ki so zapolnjeni s travo, z zemljo ali pa z gramozom. Porozne površine (Slika 34, desno) dopuščajo vodi, da pronica skozi pore v samem materialu (Butler, Davies, 2011). Porozna asfalt in makadam se razen v večji poroznosti ne razlikujeta od klasičnega. Že tri leta po vgraditvi pa so take površine nagnjene k zamašitvi por, kar občutno zmanjša poroznost. Utrditev sedimenta s pomočjo prometa v pore pred izpiranjem ter porušitev por zaradi prevelike obremenitve sta glavna povzročitelja zamašitve, zaradi katere so porozne površine nepraktične in drage (Scholz, Grabowiecki, 2007).



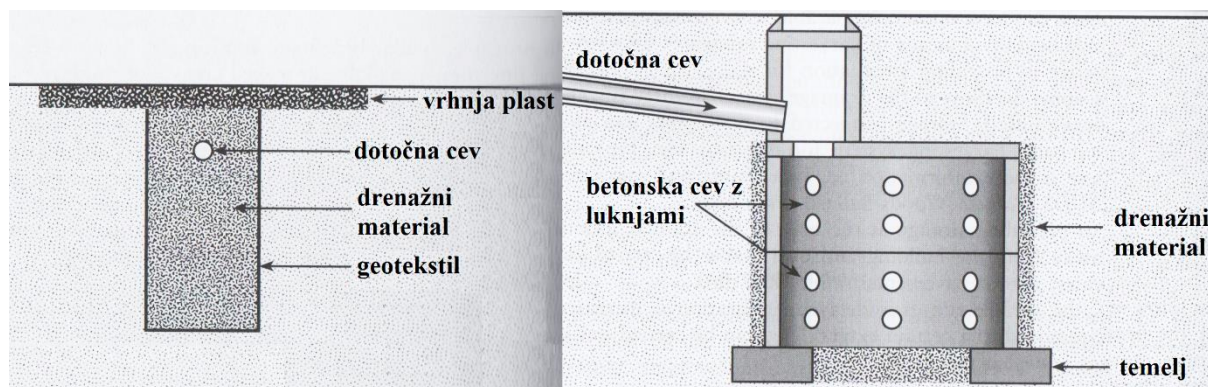
Slika 34: Tipični prerezi prepustnih površin; prepusten sistem (levo) in porozen sistem (desno) (Scholz, Grabowiecki, 2007)

Stopnja infiltracije skozi (predvsem novejša) prepustne površine je visoka, celo več kot 1000 mm/h. Študije kažejo, da se tekom življenjske dobe takih površin ta stopnja zniža na do 10 % začetne vrednosti. Da bi tako blokado prepuščanja onemogočili, se priporoča čiščenje površin na vsaka tri leta. Mehanizem prepustnih površin pospešuje filtracijo, sedimentacijo, adsorpcijo in kemično/biološko čiščenje, kar ugodno vpliva na kvaliteto vode. Terenski in laboratorijski testi pa prav tako izkazujejo odličen učinek pri zadrževanju in degradaciji olj (Butler, Davies, 2011).

3.11 Ponikovalnice

Odstotek infiltracije je na urbanih, spremenjenih območjih v primerjavi z neokrnjenimi manjši. Na to vpliva vse večje število neprepustnih površin (strehe, parkirišča ...), zbitost zemlje ter prisotnost kanalizacijskega sistema, ki teži k čim hitrejšemu odvodu padavinske vode (le-ta tako nima dovolj časa za infiltriranje). Pravilno locirani, dimenzionirani in vzdrževani ponikovalni objekti so pomemben člen pri spopadanju s padavinskim odtokom; dejstvo, da ne zapolnijo prostora na tleh oziroma strehi, pa je še dodatna prednost za njihovo uporabo v že tako preobremenjenem urbanem prostoru. Podzemnemu ponikovanju in zadrževanju se zato posveča vedno več pozornosti. Proces infiltracije ugodno vpliva na več komponent vodnega kroga: omogoča odstranitev nekaterih polutantov, zmanjša količino padavinskega odtoka ter obogati podtalnico, taka ureditev pa je tudi stroškovno ugodna. Učinkovitost objektov za ponikanje močno zavisi od lastnosti zemljine. Uporabimo jih lahko na vseh območjih, ki imajo neposredno pod površjem prepustne sloje zemljine – gramoz, pesek, kreda ... Ponikovalni sistemi so večkrat del t. i. sistema *treatment train*, kjer se v podzemne objekte odvede le odvečna voda, ki se ni izgubila v padavinskih koritih, poglobljenih zelenih pasovih ... Vse vrste ponikovalnic morajo biti locirane dovolj daleč od zajetij pitne vode, temeljev objektov, mej ter smetišč (City of Portland, Oregon). Nivo podtalnice mora biti na takih območjih dovolj nizek, da omogoča prost tok vode v vseh letnih časih (vsaj 1 meter pod temeljem ponikovalnega objekta) (Butler, Davies, 2011).

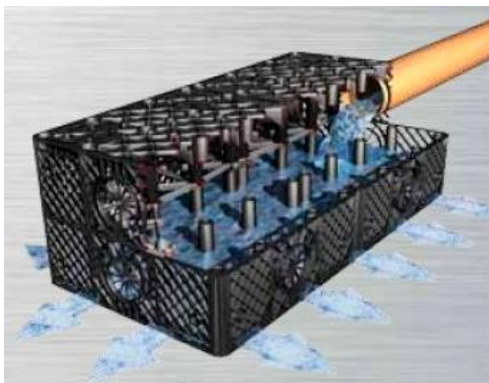
Ponikovalni jarek (Slika 35, levo) je zaradi svoje oblike učinkovit način ponikovanja. Linearna kotanja, obdana s filtrnim materialom, je zapolnjena s kamenjem ali peskom, njena površina pa je lahko prekrita s travo, kamni ali z rešetko. Drevesa s svojimi globokimi koreninami niso priporočljiva, saj lahko sistem poškodujejo. Padavinska voda z neprepustnih površin (streh, parkirišč ...) v jarek priteče skozi dotočno cev. Taki objekti so primerni za lokacije z največ 20 % naklonom (Butler, Davies, 2011).



Slika 35: Shema ponikovalnega jarka (levo) ter ponikovalnega jaška (desno) (Butler, Davies, 2011)

Ponikovalni jašek (Slika 35, desno) je podzemni objekt (perforirana cev), ki zbira odtok in omogoča njegovo infiltriranje. Izdelani so iz betona ali plastike, med seboj pa se razlikujejo tudi po globini in višini. Obvezno vzdrževanje obsega kontroliranje cevi (stabilnost, pravilno delovanje), kontrolo erozije, odstranitev naplavin, čiščenje dotočnih cevi. Življenjska doba je 30 let (City of Portland, Oregon).

Nagel razvoj ponikovalnih naprav se zrcali v montažnih modulnih podzemnih zadrževalnih ponikovalnih napravah, ki so dostopne na tržišču. V jamo nadomestimo poljubno število med seboj povezanih plastičnih zabojev, ki jih nato zasujemo. Tako ustvarimo votel prostor, ureditev nad njim pa poteka nemoteno (lahko uredimo parkirišče, cesto, zelene površine ...). Glede na to, s kakšnim materialom se celice ovijejo, sta možni dve različici ponikovalnih polj. V ponikovalnih poljih, ovitih z *geotekstilom* (prepušča vodo, ne pa pesek), se bo voda zbrala, nato pa postopoma odtekala v okoliško zemljinjo (nekako tako, kot je odtekala pred posegom v okolje) (Slika 36).



Slika 36: Princip delovanja ponikovalnega bloka (Čendak, Hoekstra, 2009, cit. po Graf)

V poljih, ovitih s *folijo* (ne prepušča peska, niti vode), pa bo nastal podzemni zadrževalni bazen. Vodo lahko iz njega črpamo za nadaljnjo primerno uporabo ali pa jo kontrolirano spuščamo v kanale (ko leti niso več obremenjeni). Pri izdelavi ponikovalnih polj predstavlja velik problem uporaba recikliranih materialov. Njihovo kvaliteto je izredno težko kontrolirati, trdnost celic pa je poleg življenjske dobe in možnosti pregledovanja in čiščenja ključni podatek. Evropskih standardov na tem področju še ni (Čendak, Hoekstra, 2009).

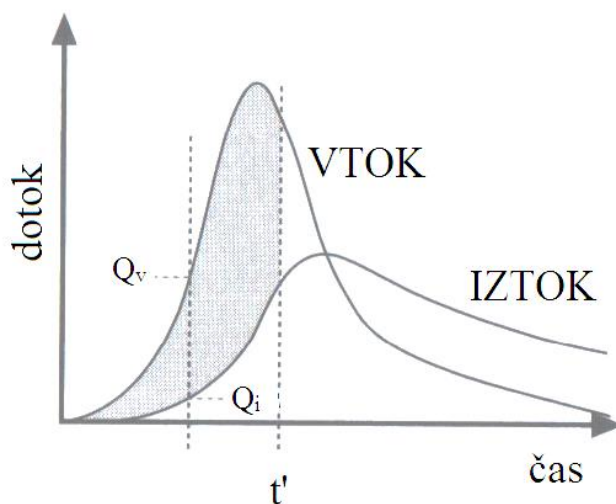
4 PRIMERJAVA KOLIČIN ODTOKA Z ZADRŽEVANJEM ALI BREZ

4.1 Definicija prispevnih območij

Kot že rečeno, se vse večji delež neprepustnih površin odraža v povečani količini padavinskega odtoka ter višjih konicah odtoka. Zadrževalniki te konice znižajo ter zakasnjijo njihov nastop (konica grafa se premakne desno). Na sliki 19 (poglavje 3.6) smo že predstavili hidrograma vtoka in iztoka ter delovanje zadrževalnih sistemov razdelili na dve fazi: *čas polnjenja* (dotok večji od iztoka) ter *čas praznjenja* (dotok manjši od iztoka), ki ju ločuje konica iztoka. Količina zadržane vode v prvi fazi je enaka količini izpuščene vode v drugi fazi. Splošno je potreben zadrževalni volumen V_d časovni integral razlike med dotočnim in iztočnim grafom:

$$V_d = \int (Q_v - Q_i) dt \quad (3)$$

Odnos med vtokom in iztokom je podrobneje prikazan na sliki 37, s katere je razvidno, da se praznjenje prične, ko iztok preseže vtok. Razlika med vtočno in iztočno ordinato v vsakem trenutku pove, za koliko se zadržana količina poveča ($Q_v > Q_i$) oz. zmanjša ($Q_v < Q_i$). Količino vode, ki se do nekega trenutka t' zadrži, pa predstavlja osenčena površina (Butler, Davies, 2011).



Slika 37: Vtočni in iztočni hidrogram (Butler, Davies, 2011)

Za pravilno dimenzioniranje zadrževalnikov potrebujemo čim bolj točne podatke o časovni porazdelitvi odtoka, njegovi konici ter volumnu. Za namen tega diplomskega dela bomo vtočne hidrograme prevzeli iz modela padavine – odtok, ki bo temeljil na racionalni metodi. *Racionalna metoda* (RM) temelji na enačbi, ki maksimalno vrednost padavinskega odtoka določa kot zmnožek brezdimenzionalnega odtočnega koeficienta, intenzivnosti padavin in velikosti prispevne površine.

Racionalna metoda je kot poenostavljena metoda za določanje največjih odtokov različnih povratnih dob zaradi svoje preprostosti pogosto kritizirana, a vseeno največkrat uporabljena. Njen rezultat je zgolj vrednost maksimalnega padavinskega odtoka (ne pa tudi časovna razporeditev), primerna pa je za prispevna območja pravilnih oblik in manjše površine. Strokovnjaki omejujejo velikost površine na 80 ha. Priporočeno je, da je ta vrednost pri urbanem, bolj kompleksnem območju nižja, za ruralno območje pa je lahko tudi presežena (Thompson, 2006). Odtok določimo po enačbi (Guo, 1999):

$$Q_d = \alpha * C * I * A \quad (4)$$

kjer je:

- Q_d največji odtok [m^3/s , l/s],
 α pretvorbeni koeficient za enote,
 C koeficient odtoka [-],
 I intenziteta padavin za določeno povratno dobo in trajanje [mm/h, l/(s*ha)],
 A prispevno območje [km^2 , ha].

Ko uporabljamo enote m^3/s , mm/h in km^2 ima pretvorbeni koeficient za enote vrednost 0,278; v diplomskem delu bomo računali z l/s, l/(s*ha) ter ha, zato bo imela α vrednost 1.

Metoda temelji na naslednjih predpostavkah in omejitvah (Thompson, Fang, Om Bahadur, 2003):

- intenziteta padavin se znotraj prispevnega območja ne spreminja,
- intenziteta padavin se s časom ne spreminja,
- povratna doba določene intenzitete padavin je enaka povratni dobi največjega pretoka (10-letne padavine dajo 10-letni pretok),

- trajanje intenzitete padavin je enako času koncentracije, saj takrat nastopi največji odtok (če je trajanje padavin manjše od časa koncentracije, največji odtok zaradi dejstva, da celotno prispevno območje še ne sodeluje, ni dosežen),
- koeficient odtoka je stalen, se ne spreminja glede na letni čas, višino ali intenziteto padavin.

Prednost RM je prav gotovo njena preprostost (kar lahko sklepamo že iz njenega imena) – vse potrebne podatke dobimo v prosto dostopnih bazah ali s pomočjo preprostega računa. Pomembno je, da smo pri določevanju vhodnih podatkov natančni, saj ima vsako odstopanje velik vpliv na končni rezultat.

4.2 Odtočni koeficienti

Odtočni koeficient odraža razmerje med količino padavinskega odtoka in celotno količino padavin. Odtok je 100 % iz popolnoma neprepustnih površin, kjer izgub (infiltracija itd.) ni, ter 0 % iz popolnoma prepustnih površin. Ker v diplomskem delu obravnavamo nemerjena prispevna območja, si bomo pri določevanju koeficienta pomagali s preglednico 2. Vrednost odtočnega koeficienta znotraj prispevnega območja zaradi različnih površin variira. Vrednosti delnih odtočnih koeficientov bomo glede na vrsto rabe tal, vrste zemljine, naklona in povratne dobe odčitali, koeficient odtoka celotne prispevne površine pa izračunali po spodnji enačbi (Thompson, Fang, Om Bahadur, 2003):

$$C = \frac{\sum(C_i * A_i)}{A} \quad (5)$$

kjer je:

C koeficient odtoka celotnega prispevnega območja [-],

C_i delni koeficient odtoka na delu i [-],

A_i površina dela i prispevnega območja [ha],

A površina prispevnega območja [ha].

Preglednica 2: Vrednosti odtočnih koeficientov (Kestnar, 2012, cit. po Chow in sod., 1988)

Površina	Povratna doba (leta)						
	2	5	10	25	50	100	500
Razvita							
Asfalt	0,73	0,77	0,81	0,86	0,9	0,95	1
Beton/streha	0,75	0,8	0,83	0,88	0,92	0,97	1
Travnate površine							
Slaba pokritost							
Ravno, 0–2 %	0,32	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,58
Povprečno, 2–7 %	0,37	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Strmo, več kot 7 %	0,4	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Povprečna pokritost							
Ravno, 0–2 %	0,25	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41	0,53
Povprečno, 2–7 %	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Strmo, več kot 7 %	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53	0,6
Dobra pokritost							
Ravno, 0–2 %	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Povprečno, 2–7 %	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Strmo, več kot 7 %	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	0,58
Nerazvita							
Obdelovalne površine							
Ravno, 0–2 %	0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,57
Povprečno, 2–7 %	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,49	0,6
Strmo, več kot 7 %	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,53	0,61
Pašniki							
Ravno, 0–2 %	0,252	0,28	0,3	0,34	0,37	0,41	0,53
Povprečno, 2–7 %	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Strmo, več kot 7 %	0,37	0,4	0,42	0,46	0,49	0,53	0,6
Gozdna površina							
Ravno, 0–2 %	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Povprečno, 2–7 %	0,31	0,34	0,36	0,4	0,43	0,47	0,56
Strmo, več kot 7 %	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

4.3 Čas koncentracije

Čas koncentracije je splošno čas, ki ga potrebuje vodni delec iz najbolj oddaljene točke prispevnega območja, da prispe do iztočne točke. Šele od takrat dalje celotno prispevno območje prispeva h količini odtoka. Čas koncentracije naj sicer ne bi bil krajši od 5 minut ter ne daljši od 300 minut (Thompson, 2006). Tako kot poznamo več definicij, poznamo tudi več empiričnih metod za izračun časa koncentracije.

V diplomskem delu bomo čas koncentracije t_c za stanje pred posegom izračunali po spodnji Federal Aviation Administration (FAA) enačbi, ki je bila prvotno namenjena za uporabo na letališčih, sedaj pa

je v splošni uporabi predvsem za manjša prispevna območja s prevladujočim površinskih tokom (Kestnar, 2012); ker pa upošteva padec terena, je primerna tudi za izračune v diplomskem delu:

$$t_c = 22,73 * (1,1 - C) * L^{1/2} * S^{-1/3} \quad (6)$$

kjer je:

- t_c čas koncentracije [min],
- C odtočni koeficient po RM [-] (preglednica 3),
- L najdaljša pot vodnega delca [km],
- S povprečni naklon [m/m].

Preglednica 3: Vrednosti odtočnih koeficientov po RM (Kestnar, 2012, cit. po McCuen, 2004)

Raba tal	Koeficient odtoka po RM (C)
Poslovna območja: center	0,70–0,95
Poslovna območja: obrobje	0,50–0,70
Stanovanjska območja: enodružinske hiše	0,30–0,50
Stanovanjska območja: večdružinske hiše	0,40–0,60
Stanovanjska območja: bloki	0,60–0,75
Predmestje	0,25–0,40
Težka industrija	0,60–0,90
Lahka industrija	0,50–0,80
Parki in pokopališča	0,10–0,25
Kmetijske površine	0,10–0,30
Strehe, ceste, parkirišča	0,75–0,95
Peščene zemljine: naklon do 2 %	0,05–0,10
Peščene zemljine: naklon 2–7 %	0,10–0,15
Peščene zemljine: naklon nad 7 %	0,15–0,20
Grobe zemljine: naklon do 2 %	0,13–0,17
Grobe zemljine: naklon 2–7 %	0,18–0,22
Grobe zemljine: naklon nad 7 %	0,25–0,35

Predpostavili smo torej, da je pred posegom v okolje prevladujoč površinski odtok. Po posegu pa na območjih prevladuje kanalizirano odvodnjavanje, zato bomo čas koncentracije t_c izračunali po eni izmed bolj pogosto uporabljeni metodi za izračun časa koncentracije po Kirpichu (Thompson, Fang, Om Bahadur, 2003):

$$t_c = 0,0078 * (3,28 * L)^{0,77} * \left(\frac{\Delta H}{L}\right)^{-0,385} \quad (7)$$

kjer je:

t_c čas koncentracije [min],

L dolžina kanaliziranega toka [m],

ΔH višinska razlika med najvišjo in najnižjo točko kanaliziranega toka z dolžino L [m].

4.4 Intenziteta padavin

Intenziteto padavin odčitamo iz t. i. ITP krivulj, ki grafično prikazujejo odvisnost intenzitete od trajanja padavin ter povratne dobe. Intenziteta padavin je torej funkcija trajanja padavin in povratne dobe dogodka:

$$I = f(T, t_d) \quad (8)$$

kjer je:

I intenziteta padavin [mm/h],

T povratna doba [leta],

t_d trajanje padavin [min].

Eksponentne krivulje za različne povratne dobe prikažemo na istem grafu (Slika 38), iz katerega je razvidno, da sta intenziteta padavin in trajanje obratno sorazmerna, povratna doba in intenziteta pa premo sorazmerna. Z drugimi besedami: dlje ko padavinski dogodek traja, manjša je njegova intenziteta; večja ko je njegova povratna doba (manjša verjetnost pojava dogodka), višja je njegova intenziteta. Povratna doba je inverzna funkcija verjetnosti nekega dogodka. Dogodek z določeno intenziteto ima povratno dobo T let, če je ta intenziteta dosežena oz. presežena v povprečju vsakih T let (Butler, Davies, 2011). Matematično ITP krivuljo predstavlja spodnja enačba (Guo, 1999):

$$I = \frac{a}{(b + t_d)^n} \quad (9)$$

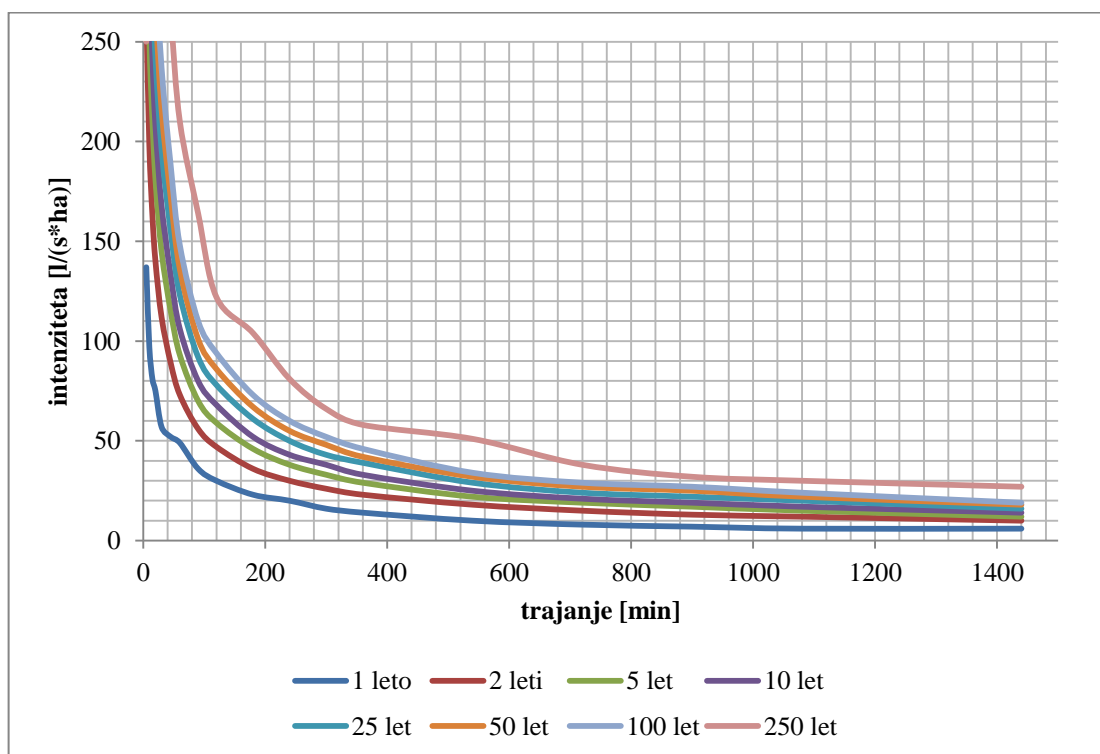
kjer so:

a, b, n konstante, določene za konkretno območje.

Za obravnavana območja konstante niso znane, zato smo podatke o intenziteti padavin za značilne povratne dobe 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 in 250 let pridobili iz dokumenta Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi, ki ga je izdala Agencija republike Slovenije za okolje. ARSO je na območju Slovenije zadolžen za statistično analizo padavin. Te analize nalivov za dimenzioniranje KS niso zadovoljive, ker ne vsebujejo delnih nalivov iz dolgotrajnejših deževij oz. nalivov. Za prispevna območja 1 in 3 smo uporabili podatke padavinske postaje Črni Vrh nad Polhovim Gradcem, za območje 2 pa Nova Gorica (Preglednica 4-5, Slika 38-39). ITP krivulje večkrat prikažemo na dvojni logaritemski skali, kar nam omogoča večjo natančnost pri odčitavanju (Slika 39).

Preglednica 4: Podatki za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem za obdobje 1976–2008 za padavinsko postajo Črni Vrh nad Polhovim Gradcem (Povratne dobe ..., 2009)

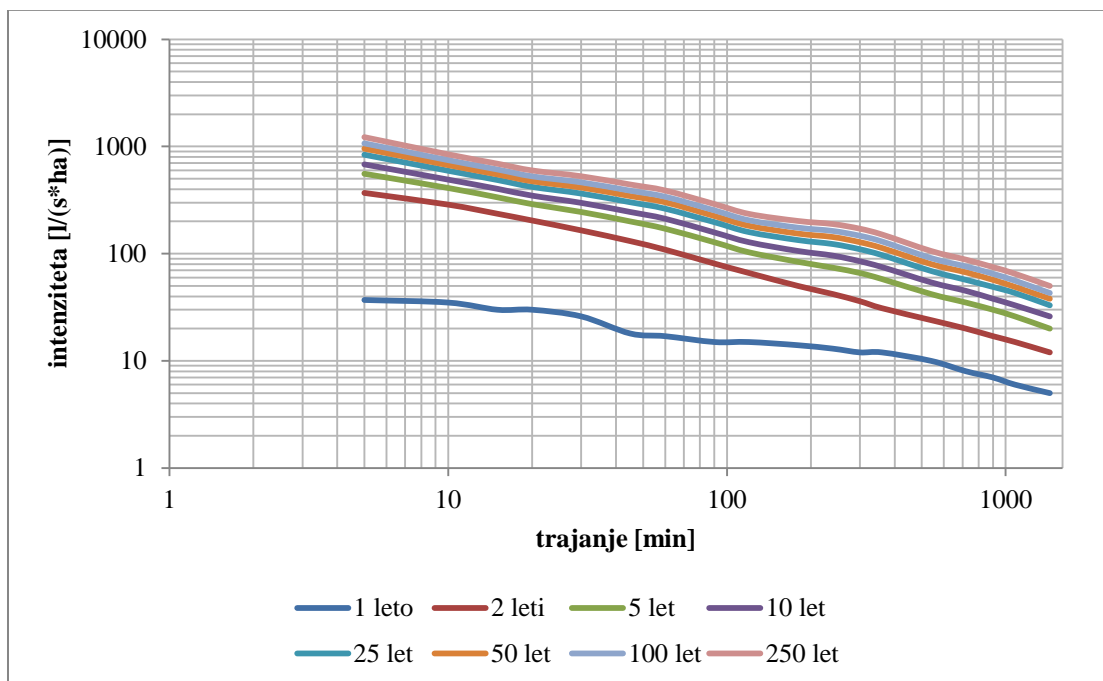
Trajanje padavin t_c [min]	Višina padavin h [mm]							
	1	2	5	10	25	50	100	250
5	4	8	11	12	15	16	18	20
10	6	12	15	17	20	22	24	27
15	7	15	19	22	25	28	31	34
20	9	17	22	25	29	32	35	39
30	10	20	26	30	35	39	43	48
45	14	24	31	36	42	46	51	57
60	18	26	33	38	44	49	53	59
90	19	30	38	43	50	54	59	66
120	22	34	43	49	56	62	68	75
180	24	39	50	57	66	72	79	87
240	29	43	55	62	72	79	86	95
300	29	47	59	68	78	86	94	104
360	30	50	63	72	83	92	100	111
540	33	57	72	81	93	102	111	123
720	36	65	81	91	105	115	124	137
900	37	72	92	105	121	133	145	161
1080	41	77	98	112	129	143	156	173
1440	51	83	106	121	140	154	167	186



Slika 38: ITP krivulje za padavinsko postajo Črni Vrh nad Polhovim Gradcem

Preglednica 5: Podatki za višino padavin z določeno povratno dobo in trajanjem za obdobje 1970–1991 ter 1999–2001 za padavinsko postajo Nova Gorica (Povratne dobe ..., 2009)

Trajanje padavin t_c [min]	Višina padavin h [mm]							
	1	2	5	10	25	50	100	250
5	1	11	17	20	25	29	32	37
10	2	17	25	29	36	40	45	51
15	3	21	30	36	44	49	55	62
20	4	24	35	42	50	57	63	72
30	5	30	44	54	66	74	83	95
45	5	35	54	66	82	93	104	119
60	6	39	62	76	95	109	122	140
90	8	44	69	85	106	122	137	157
120	11	48	74	92	114	131	148	169
180	15	54	90	114	144	167	189	218
240	19	60	107	138	177	206	235	273
300	22	65	118	154	198	231	264	307
360	26	68	125	162	210	245	280	326
540	31	76	135	173	222	259	295	342
720	34	85	150	193	248	288	328	381
900	36	91	160	206	263	306	348	404
1080	40	97	168	216	276	321	365	423
1440	47	103	175	223	284	329	374	433



Slika 39: ITP krivulje v dvojnem logaritemskem merilu za padavinsko postajo Nova Gorica

Račun po RM splošno sledi naslednjim korakom (Walesh, 1989):

- ocenimo čas koncentracije za obravnavano prispevno območje,
- ocenimo skupni odtočni koeficient,
- izberemo povratno dobo ter za čas koncentracije (trajanje padavin) odčitamo intenziteto padavin,
- po enačbi (4) izračunamo največji padavinski odtok.

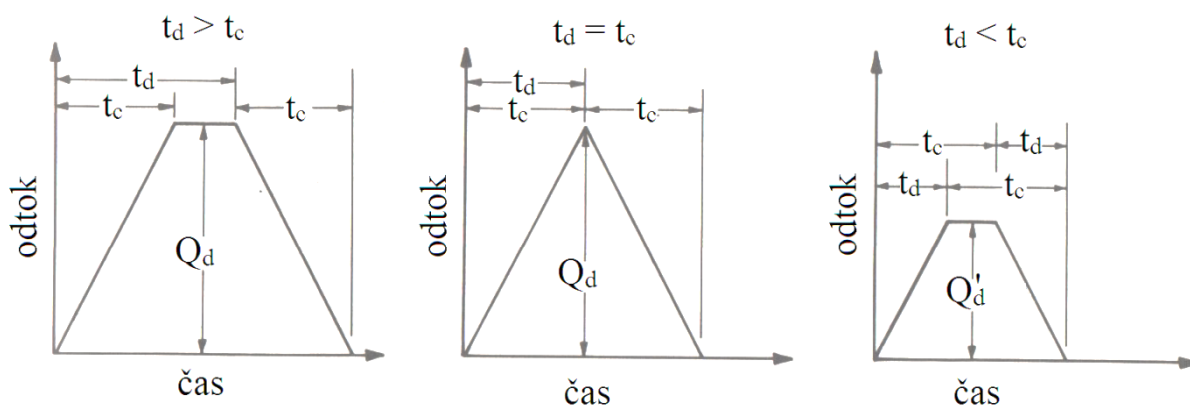
Celoten hidrogram odtoka nam da *modificirana racionalna metoda* (MRM), ki je nadgradnja RM. Uporablja se jo za določanje potrebnih volumnov zadrževalnikov za določeno povratno dobo in iztočno hitrost. Za izračun največjega odtoka uporabimo enačbo RM. Poleg tistih, ki veljajo za RM, temelji še na naslednjih predpostavkah:

- trajanje padavin je enako trajanju intenzitete padavin (odtoka, ki se pojavi zaradi padavin pred oz. po tem času v računu ne upoštevamo),
- hidrogram odtoka ustreza trikotni ali trapezni obliki.

Hidrogram odtoka je funkcija časa koncentracije t_c in časa trajanja padavin t_d (torej časa trajanja določene intenzitete padavin). Glede na razmerje med njima poznamo naslednje tri tipe hidrogramov (Walesh, 1989):

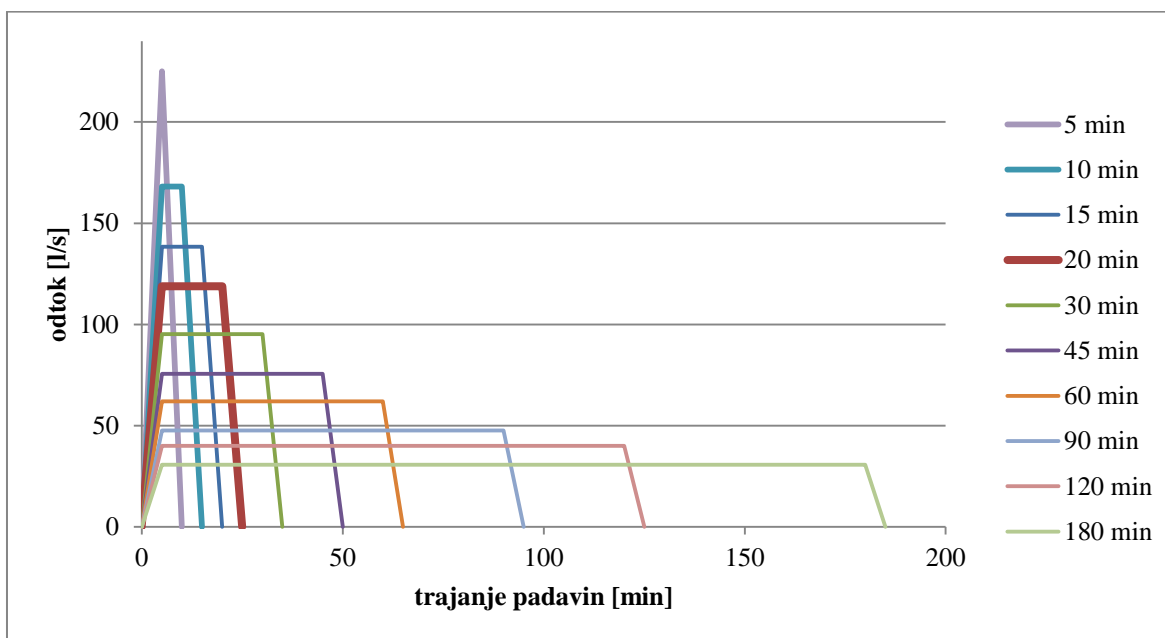
- $t_d > t_c$; hidrogram ima obliko trapeza z največjo vrednostjo $Q_d = \alpha * C * I * A$, ki nastopi ob času koncentracije in traja do konca padavin. Naraščanje in padanje odtoka je linearno z dolžino t_c ,
- $t_d = t_c$; hidrogram ima obliko trikotnika z največjo vrednostjo $Q_d = \alpha * C * I * A$, linearno naraščanje in padanje ima dolžino $t_c (= t_d)$,
- $t_d < t_c$; hidrogram ima obliko trapeza z reducirano vrednostjo konice $Q'_d = \alpha * C * I * A * \frac{t_d}{t_c}$ (saj celotno prispevno območje pri odtoku še ne sodeluje). Naraščanje in padanje odtoka je linearno z dolžino t_d .

Slika 40 prikazuje možne oblike hidrogramov, dobljene po MRM.



Slika 40: Tipi odtočnih hidrogramov po MRM (Walesh, 1989)

Hidrograme za isto območje za izbrano povratno dobo z različnimi trajanji padavin lahko prikažemo na istem grafu. Slika 41 prikazuje hidrograme za prvo obravnavano območje (poglavje 4.6.1), s katerega je razvidna obratna sorazmernost trajanja padavin in intenzitete padavin (posledično konice odtoka).



Slika 41: Hidrogrami dobjeni po MRM, za območje 1

MRM predpostavlja konstanten iztok. Največji dovoljeni iztok lahko določimo tako, da (Butler, Davies, 2011):

- ne presega vrednosti največjega odtoka pred posegom v okolje,
- ne presega vrednosti glede na značilnosti terena,
- ne presega kapacitete dolvodnega KS.

Račun po MRM sledi naslednjim korakom (Walesh, 1989):

- določimo vrednosti vhodnih podatkov (prispevna površina, odtočni koeficient, čas koncentracije, največji dovoljeni iztok iz zadrževalnika),
- narišemo hidrograme za izbrano povratno dobo za trajanje padavin od t_c dalje,
- hidrogram odtoka opremimo z grafom iztoka,
- določimo največji potrebni volumen (računsko, grafično).

MRM je preprosta metoda, pri uporabi katere pa je potrebna previdnost. Dobljeni rezultat lahko zaradi neupoštevanja padavin in odtoka pred in po povprečnemu trajanju intenzitete padavin močno podceni potreben zadrževalni volumen. Primerna za manjša prispevna območja.

4.5 FAA postopek za določanje zadrževalnega volumna

Izračuni, ki sledijo, temeljijo na zgoraj opisanih metodah. Največja obravnavana prispevna površina v diplomski nalogi je manjša od 10 ha, zato je uporaba RM za izračun največjega odtoka ustrezna. Izračun največjega potrebnega zadrževalnega volumna in primerjava količin bo temeljila na t. i. *FAA*³ postopku za določanje potrebnega zadrževalnega volumna, ki ga James C. Y. Guo opisuje v članku Detention Basin Sizing for Small Urban Catchments v reviji Journal of Water Resources Planning and Management. FAA postopek je enostavna metoda, ki upošteva variiranje koeficienta iztoka m glede na trajanje padavin. Njen rezultat je tako identičen tistemu, ki ga dobimo, če potrebni volumen določimo grafično s pomočjo hidrogramov.

Poleg vhodnih podatkov, ki jih rabimo za izračun največjega odtoka po RM (velikost prispevnega območja, odtočni koeficient, intenziteta padavin), rabimo še podatek o iztočnih količinah. Ker so se vsa območja v preteklih letih razvila in pozidala, bomo največji dovoljeni iztok iz zadrževalnika določili iz pogoja, da ne sme preseči največje vrednosti odtoka iz prispevne površine pred posegom.

FAA metoda predpostavlja trikotni iztočni graf, največja vrednost Q_a nastopi ob času t_a (Slika 42). Povprečni iztok je del največjega dovoljenega iztoka (Guo, 1999):

$$Q_m = m * Q_a \quad (10)$$

kjer je:

Q_m povprečni iztok [l/s],

m koeficient iztoka [-],

Q_a največji dovoljen iztok [l/s].

Potrebni zadrževalni volumen bomo kot razliko med volumnom vode, ki v zadrževalnik priteče in tistim, ki odteče, izračunali po naslednjih enačbah (Guo, 1999):

$$V_v = \alpha * C * I * A * 60 * t_d = 60 * Q_a * t_d \quad (11)$$

³ Federal Aviation Administration

$$V_i = Q_m * 60 * t_d = 60 * m * Q_a * t_d \quad (12)$$

$$V_d = V_v - V_i = (\alpha * C * I * A * t_d - Q_m * t_d) * 60 = (Q_d * t_d - Q_m * t_d) * 60 \quad (13)$$

kjer je:

t_c čas koncentracije [min],

t_d čas trajanja padavin [min],

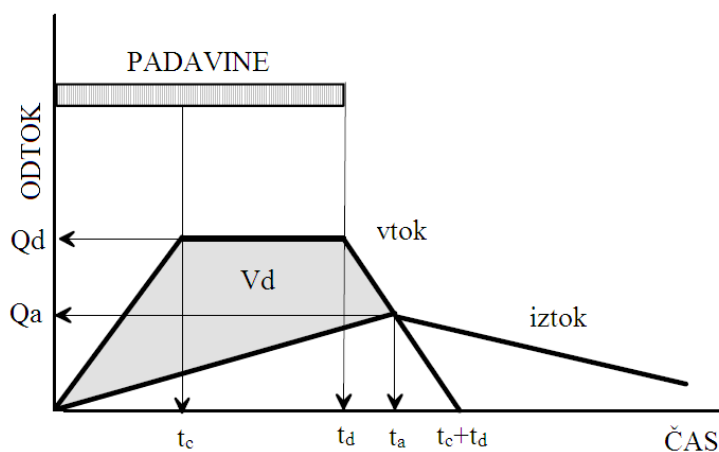
V_v vtočni volumen [m³],

V_i iztočni volumen [m³],

V_d potrebni zadrževalni volumen [m³].

Potrebni zadrževalni volumen za posamezen padavinski dogodek predstavlja osenčena površina V_d na sliki 42. Velja (Guo, 1999):

$$V_d = 60 * \left(Q_d * t_d - \frac{Q_a}{2} * (t_d + t_c) \right) \quad \text{za } t_d \geq t_c \quad (14)$$



Slika 42: Grafična določitev potrebnega zadrževalnega volumna (Guo, 1999)

Ko enačbi (13) in (14) izenačimo, dobimo izraz za določitev vrednosti koeficienta iztoka m (Guo, 1999):

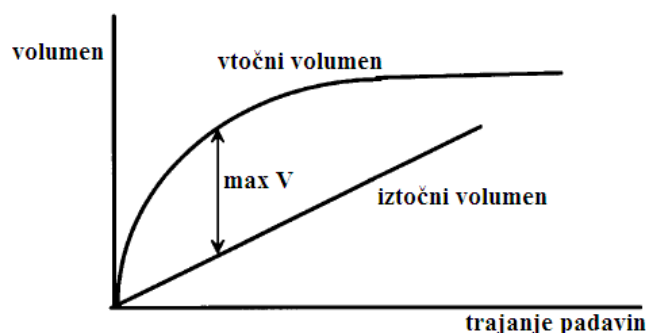
$$m = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{t_c}{t_d}\right), \quad (15)$$

s katerega je razvidno, da m ni konstanta, ampak se spreminja s trajanjem padavinskega dogodka. Do trenutka, ko je trajanje padavin manjše oz. enako času koncentracije ($t_d \leq t_c$), ima vrednost 1, nato pada do vrednosti 0,5 (nastopi ko $t_d \gg t_c$). Potrebni zadrževalni volumen izračunamo za izbrano povratno dobo za različna trajanja intenzitete padavin. Guo (1999) predlaga začetek računa pri 5-minutnem trajanju padavin, nato z enakim intervalom, dokler vrednost V_d ne začne padati.

Izračune v diplomskem delu bomo naredili za 2-letno povratno dobo od trenutka, ko $t_d > t_c$ do 180 minut (razpoložljivost podatkov (Preglednici 4 in 5)). Potrebni zadrževalni volumen sorazmerno s t_d narašča do največje vrednosti, nato začne padati. Največjo vrednost V_d doseže pri robnih pogojih $I = I_m$ ter $t_d = t_m$, ko velja:

$$V_d = 60 * \left(\alpha * C * I_m * A - \frac{Q_a}{2} * \left(1 + \frac{t_c}{t_m}\right) \right) \quad (16)$$

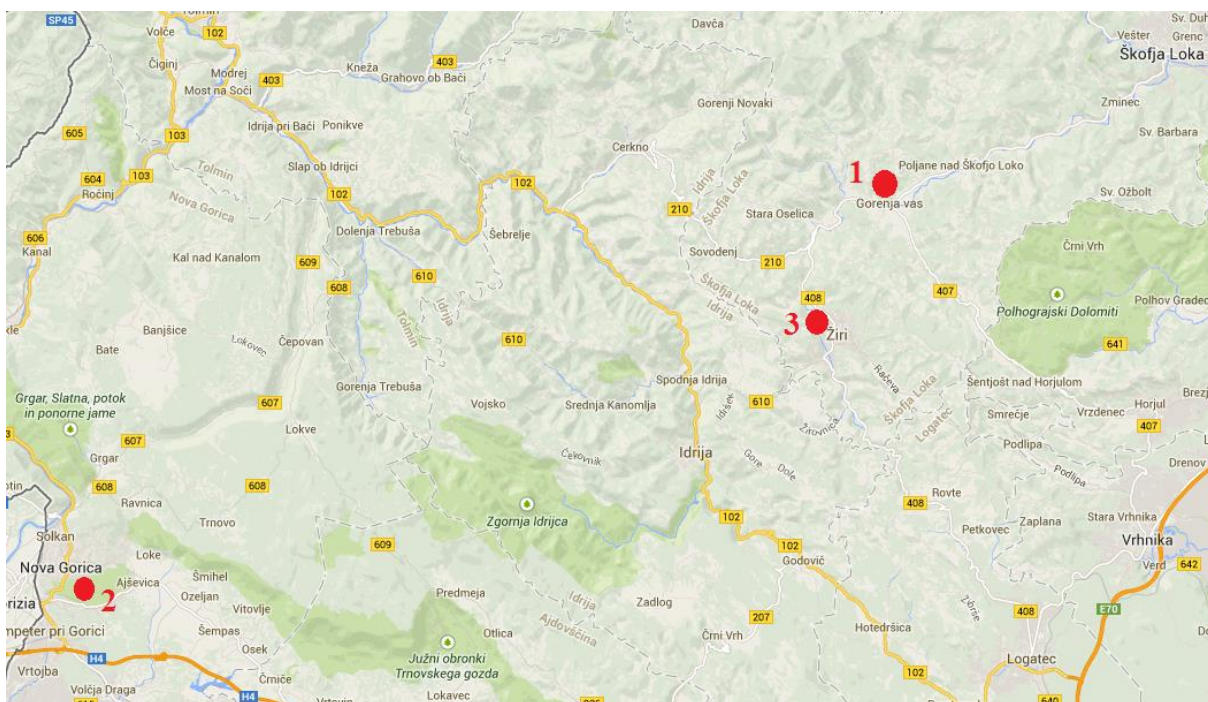
Grafično V_d predstavlja največja vertikalna razlika med krivuljama iztoka in vtoka v zadrževalnik (Slika 43). Količine padavinskega odtoka brez zadržanja bomo s tistimi z zadržanjem primerjali za primer, ki da največji potrební volumen.



Slika 43: Krivulji iztoka in vtoka v zadrževalnik (Guo, 2001)

4.6 Konkretna prispevna območja

Primerjavo količin odtoka brez zadrževanja s tistimi z zadrževanjem smo naredili na treh konkretnih primerih (Slika 44). Prispevno območje 1 leži v občini Gorenja vas, 2 v mestni občini Nova Gorica, 3 v občini Žiri. Poleg lokacije se med seboj razlikujejo še po velikosti, rabi območja, odtočnem koeficientu in naklonu terena. Vsem je skupno, da so se v zadnjih letih urbanizirala, nova pozidava pa vpliva na povečane količine tako padavinske kot tudi komunalne odpadne vode. Da padavinska voda ne bi dodatno obremenjevala kanalizacijskih sistemov, ki morajo že tako sprejeti povečan odtok odpadne vode v sušnem obdobju, smo na vsakem območju predvideli zadrževalnik, v katerem bi se padavinski odtok zajel.



Slika 44: Lokacija obravnavanih prispevnih območij

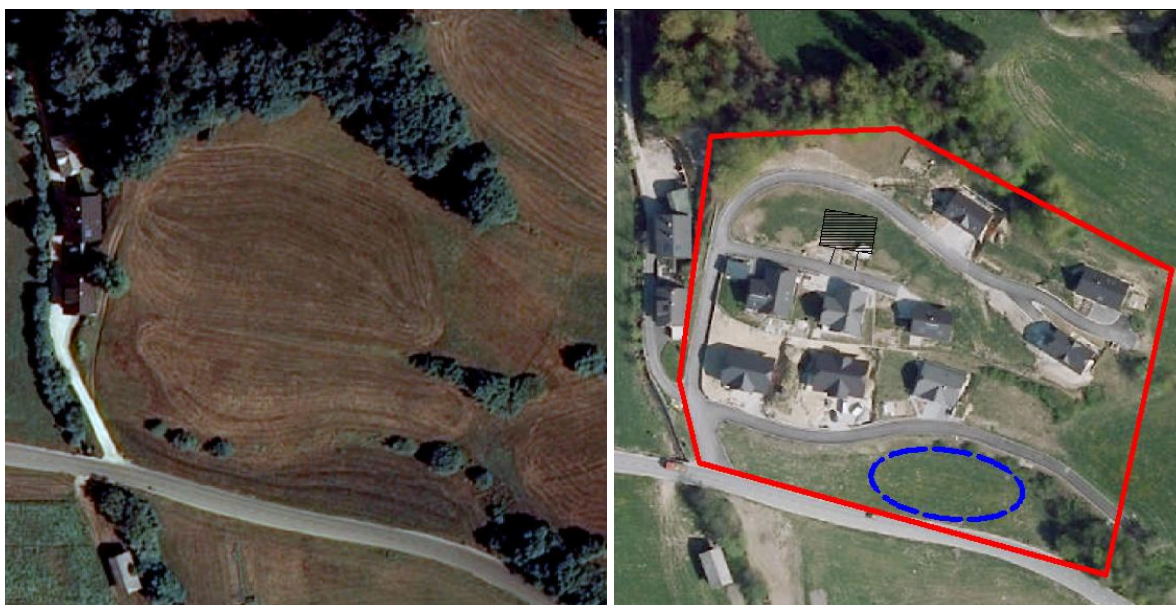
Pri izračunih smo sledili korakom FAA metode (poglavje 4.5), izračuni so del priloge. Največji dovoljeni iztok iz zadrževalnika smo pogojili z vrednostjo največjega odtoka pred razvojem prispevnega območja za trajanje padavin, večje od časa koncentracije. Iztok iz zadrževalnika je kontroliran in torej ne preseže prejšnje vrednosti odtoka. Obravnavani območji 1 in 3 se nahajata v neposredni bližini Poljanščice, zato iztok izvedemo direktno v strugo. V tretjem primeru pa iztok kontrolirano spuščamo nadalje v KS. Prispevna območja so majhna, zato računamo s povratno dobo 2 leti.



Slika 45: Lokacija zadrževalnikov 1 in 3 glede na Poljanščico

4.6.1 Prispevno območje 1 (Gorenja vas)

Prispevno območje 1 v neposredni bližini Gorenje vasi je bilo še do nedavnega kmetijsko zemljišče (Slika 46, levo). Sedaj je na 1,8 ha velikem območju Vršajn 10 stanovanjskih hiš s pripadajočimi parcelami in prometno ureditvijo, ki kaže, da sta v spodnjem delu območja načrtovani še 2 parceli. Na DOF 2009–2011 manjkajoča stanovanjska hiša je dodatno vrisana na sliki 46, desno, na kateri je označena tudi lokacija zadrževalnika (spodaj, ob glavni cesti Hotavlje–Gorenja vas).



Slika 46: Prispevno območje 1 pred (levo) in po urbanizaciji (desno)

Odtočni koeficient C se je z vrednosti 0,37 pred razvojem, ko je bilo zemljišče v kmetijski rabi, povzpelo na 0,47. Sprememba odtočnega koeficienta ni velika, saj velik del območja med stanovanjskimi hišami še vedno predstavlja zelenica. Čas koncentracije t_c smo za stanje pred posegom izračunali po enačbi (6) ter za stanje po posegu po enačbi (7):

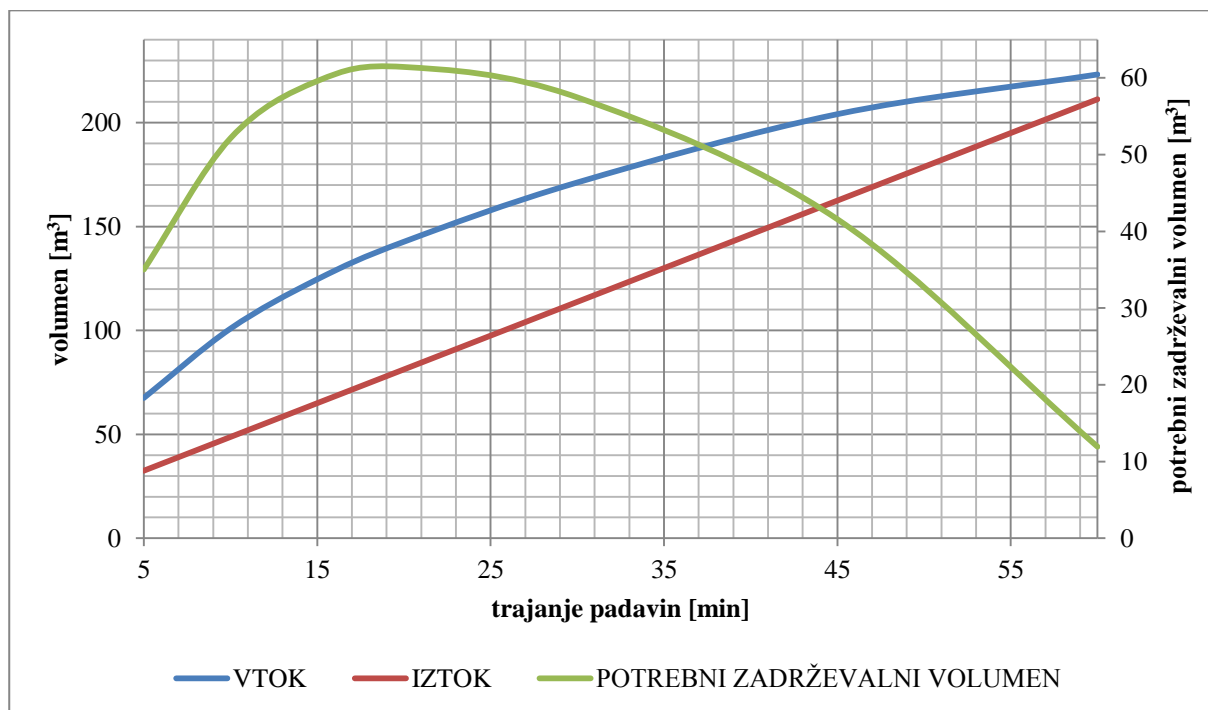
$$t_c = 22,73 * (1,1 - 0,2) * 0,14118^{1/2} * 0,141^{-1/3} = 14,74 \text{ min} \quad (17)$$

$$t_c = 0,0078 * (3,28 * 259)^{0,77} * \left(\frac{32}{259}\right)^{-0,385} = 3,14 \text{ min} \quad (18)$$

V računu uporabimo t_c 5 minut, saj je to najmanjša dopustna vrednost. Največji dovoljen iztok iz zadrževalnika Q_d smo po enačbi (4) določili kot odtok z območja v razmerah pred urbanizacijo za t_d 15 minut:

$$Q_d = 0,37 * 163 * 1,8 = 108,35 \text{ l/s} \quad (19)$$

Po enačbi (13) smo za t_d od 5 min do 180 min izračunali razlike med vtočnimi in iztočnimi količinami. Zadrževanje je potrebno do padavinskega dogodka s trajanjem 60 minut (Slika 47). Izračuni so predstavljeni v prilogi A1. Potrebni volumen V_d lahko kot največjo vertikalno razliko med vtočno in iztočno krivuljo (ko je dotok večji od iztoka) grafično odčitamo iz slike 47.



Slika 47: Vtočni, iztočni in potrebni zadrževalni volumen za prispevno območje 1

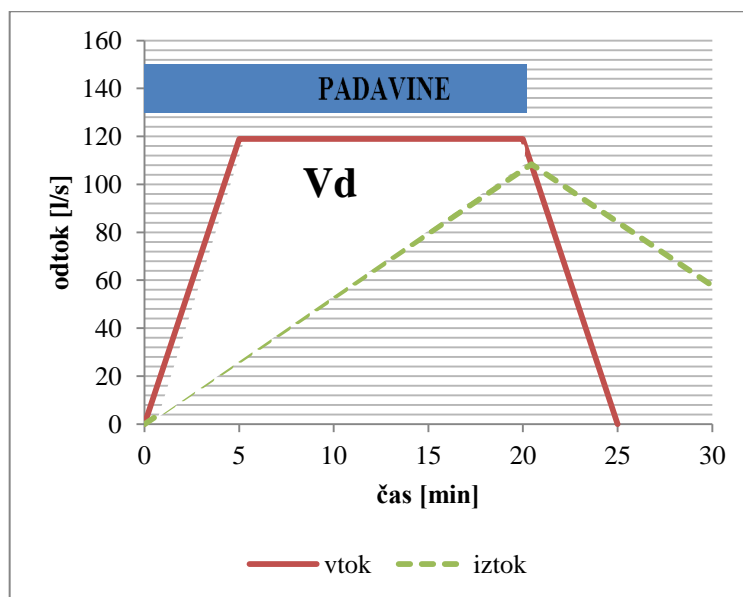
Največji potrebni volumen zadrževalnika pripada padavinskemu dogodku s povratno dobo 2 leti, trajanjem t_d 20 minut in pripadajočo intenziteto I 140 l/(s*ha), pri čemer velja:

$$V_v = 0,47 * 140 * 1,79 * 60 * 20 = 142.700 \text{ l} = 142,7 \text{ m}^3 \quad (20)$$

$$V_i = 60 * 0,63 * 108,35 * 20 = 81.260 \text{ l} = 81,26 \text{ m}^3 \quad (21)$$

$$V_d = V_v - V_i = 142,7 - 81,26 = 61,43 \text{ m}^3 \quad (22)$$

Slika 48 prikazuje hidrogram vtoka in iztoka za padavine s trajanjem 20 min. Graf ustreza obliki hidrograma 1 (Slika 40), saj je $t_d = 20 \text{ min} > t_c = 5 \text{ min}$. Potrebni zadrževalni volumen predstavlja osenčena površina med vtočno in iztočno krivuljo (dokler $Q_v > Q_i$). Ko $Q_v < Q_i$ se začne praznjenje. Največji dotok Q_d 118,9 l/s nastopi v 5 minuti dogodka ter traja do konca trajanja padavin. Pripadajoči največji dovoljeni iztok Q_a je zgolj 10,55 l/s manjši od največjega dotoka. Prispevno območje je majhno, nova raba pa odtočni koeficient ni bistveno spremenila, zato se tudi vrednosti padavinskega odtoka niso bistveno povišale.



Slika 48: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (prispevno območje 1)

4.6.2 Prispevno območje 2 (Nova Gorica)

Prispevno območje 2 je locirano znotraj mestnega središča Nove Gorice, na katerem se je pred leti zgradilo nakupovalno središče. Slika 49, levo, prikazuje stanje pred posegom, desno pa je razvidno trenutno stanje. Večino 6,1 ha velikega območja pokriva nakupovalni center, pretežni del ostale površine pa pripadajoča parkirišča. Odočni koeficient C se je povečal kar za polovico prvotne vrednosti – z 0,42 na 0,63.



Slika 49: Prispevno območje 2 pred (levo) in po urbanizaciji (desno)

Čas koncentracije t_c smo izračunali po enačbi (6) za stanje pred, ter po enačbi (7) po posegu:

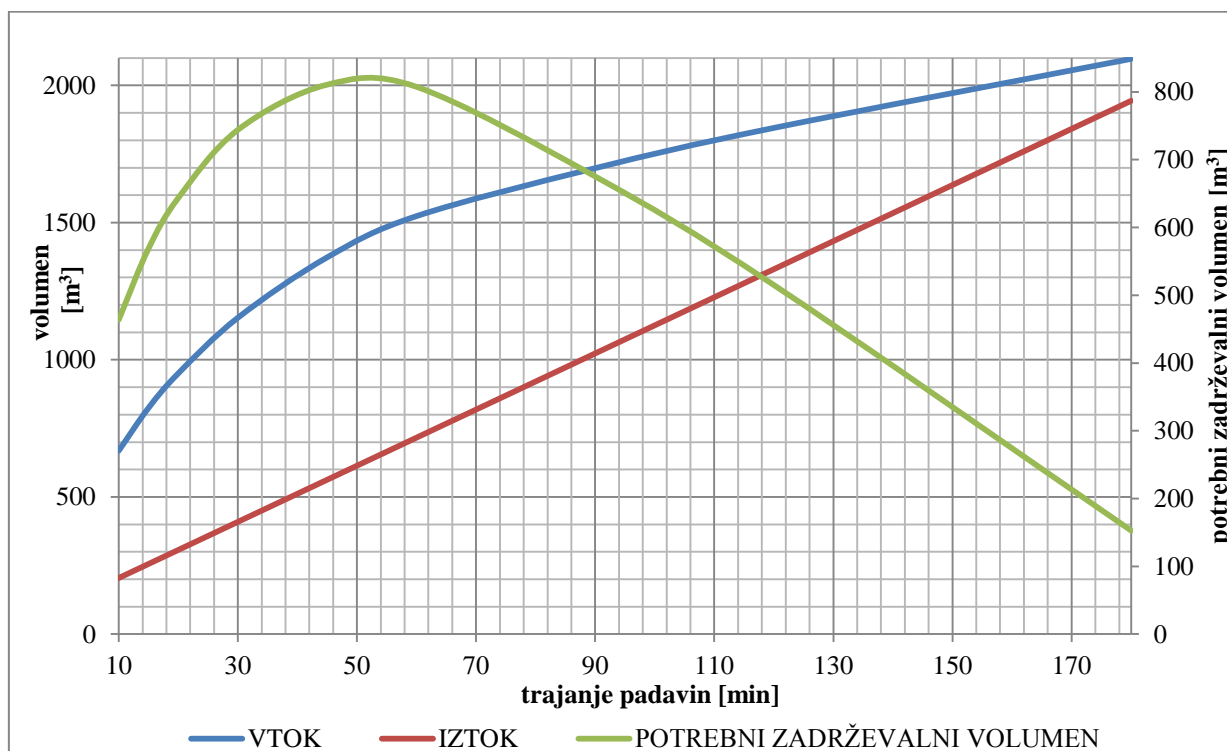
$$t_c = 22,73 * (1,1 - 0,33) * 0,416^{1/2} * 0,016827^{-1/3} = 44,22 \text{ min} \quad (23)$$

$$t_c = 0,0078 * (3,28 * 470)^{0,77} * \left(\frac{9,3}{470}\right)^{-0,385} = 10 \text{ min} \quad (24)$$

Največji dovoljen iztok iz zadrževalnika Q_a pogojujejo prejšnji pogoji – po enačbi (4) smo ga določili kot odtok z območja v razmerah pred urbanizacijo za t_d 45 minut:

$$Q_a = 0,42 * 131 * 6,13 = 341,04 \text{ l/s} \quad (25)$$

Vtočne in iztočne količine smo izračunali za padavine s t_d od 10 do 180 minut (izračuni so prikazani v prilogi A2). Potrebni volumen narašča do padavinskega dogodka s t_d 45 minut, ko doseže svojo največjo vrednost, nato pada (Slika 50).



Slika 50: Vtočni, iztočni in potrebni zadrževalni volumen za prispevno območje 2

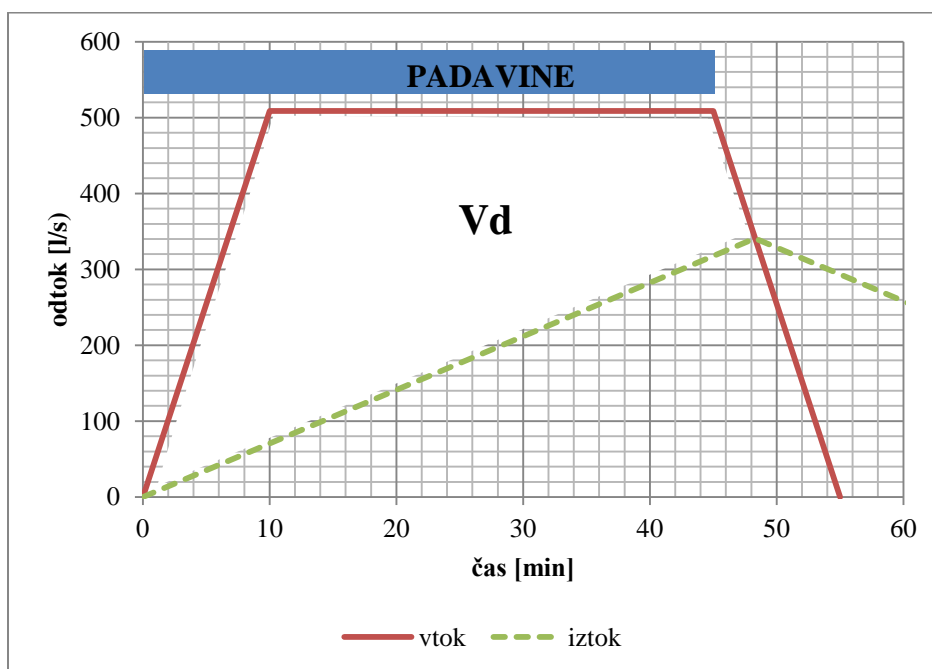
Največji potrebni volumen zadrževalnika pripada padavinskemu dogodku s povratno dobo 2 leti, trajanjem t_d 45 minut in pripadajočo intenziteto I 131 l/(s*ha), pri čemer velja:

$$V_v = 0,63 * 131 * 6,13 * 60 * 45 = 1.373.380 \text{ l} = 1373,38 \text{ m}^3 \quad (26)$$

$$V_i = 60 * 0,61 * 341,04 * 45 = 562.720 \text{ l} = 562,72 \text{ m}^3 \quad (27)$$

$$V_d = V_v - V_i = 1373,38 - 562,72 = 810,66 \text{ m}^3 \quad (28)$$

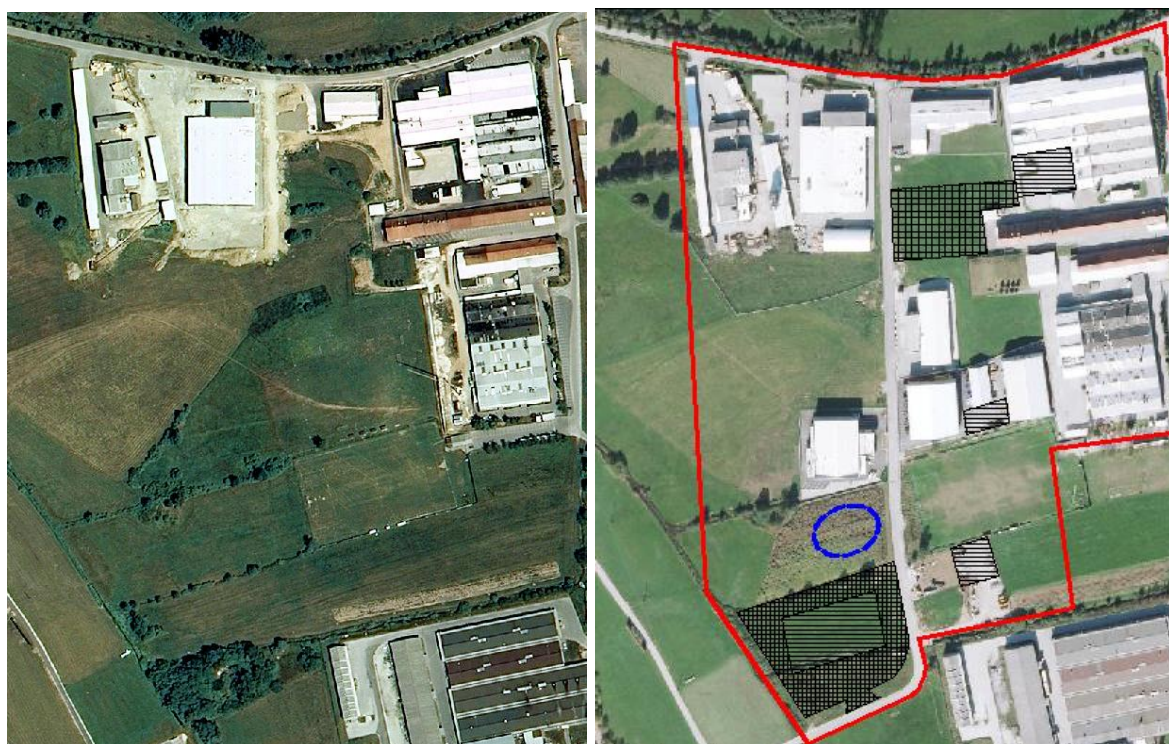
Slika 51 prikazuje hidrogram vtoka in iztoka za padavine s trajanjem 45 min. Graf ustreza obliki hidrograma 1 (Slika 40), saj je $t_d = 45 \text{ min} > t_c = 10 \text{ min}$. Največji dotok je Q_d 508,66 l/s je dosežen pri času koncentracije t_c 10 min in traja do konca padavin. Dotok do dosežene največje vrednosti narašča linearno. Pripadajoči še dovoljeni iztok iz zadrževalnika Q_a ima vrednost 341,04 l/s (Slika 50). Konica padavinskega odtoka se z zadrževanjem zmanjša skoraj za tretjino (razlika je 167,62 l/s).



Slika 51: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (prispevno območje 2)

4.6.3 Prispevno območje 3 (Žiri)

Prispevno območje 3 je del razvijajoče se industrijske cone v Žireh s površino 13,3 ha. Slika 52, levo, prikazuje stanje leta 2006, desno trenutno stanje. DOF 2009–2011 je dopolnjen z manjkajočim parkiriščem in razširitvijo proizvodnih hal na zgornjem ter stanovanjsko hišo in poslovnim objektom na spodnjem delu. Območje industrijske cone je ravno, po območju potekajo odprti zemeljski kanali, ki zbirajo padavinsko vodo. Predpostavimo, da se vsa padavinska voda, ki pade na zelenico, tam zadrži in ponikne. Količine tako računamo za 7,8 ha veliko območje, ki ga sedaj pokrivajo ceste in stavbe, odtok, s katerega se steka v zadrževalnik (od tega so 3 ha pozidani na novo).



Slika 52: Prispevno območje 3 pred (levo) in po urbanizaciji (desno)

Odtočni koeficient C se je zaradi dodatne pozidave z vrednosti 0,55 povzpel na 0,74. Čas koncentracije t_c smo za stanje pred posegom izračunali po enačbi (6) ter po enačbi (7) za stanje po posegu:

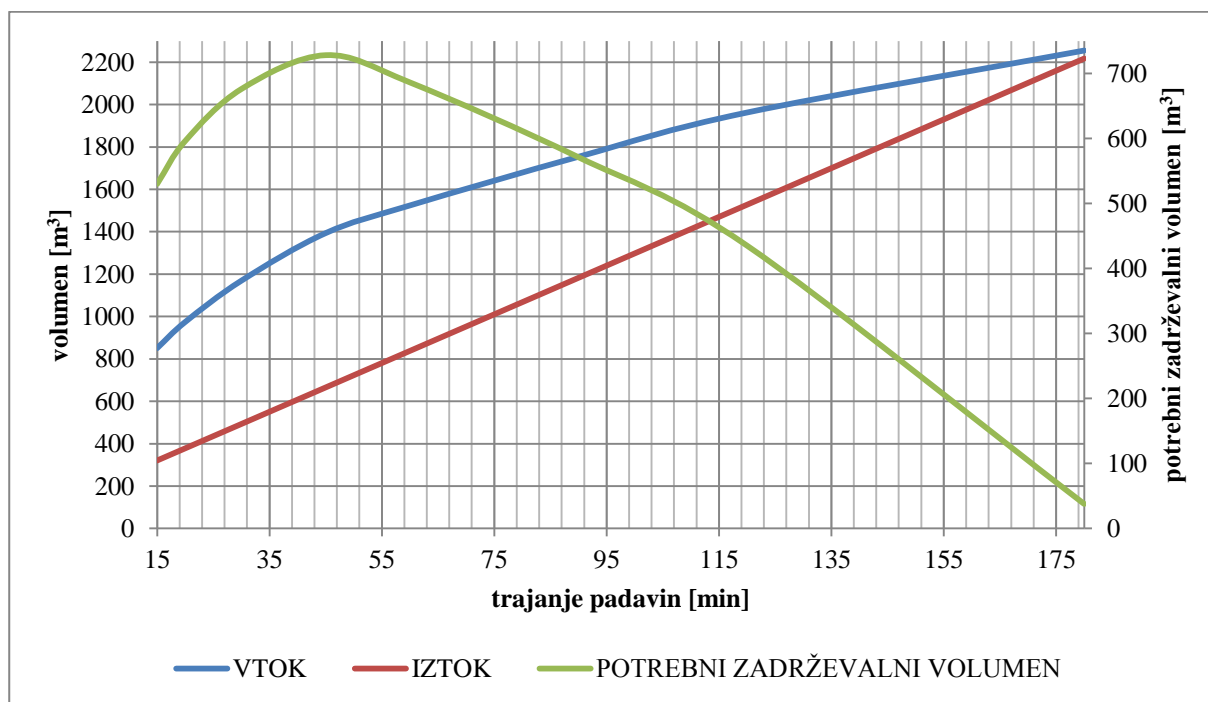
$$t_c = 22,73 * (1,1 - 0,47) * 0,3642^{1/2} * 0,01^{-1/3} = 39,85 \text{ min} \quad (29)$$

$$t_c = 0,0078 * (3,28 * 530)^{0,77} * \left(\frac{7}{530}\right)^{-0,385} = 12,9 \text{ min} \quad (30)$$

Največji dovoljen iztok iz zadrževalnika Q_a smo po enačbi (4) določili kot odtok z območja v razmerah pred urbanizacijo za t_d 45 minut:

$$Q_a = 0,55 * 89 * 7,85 = 383,15 \text{ l/s} \quad (31)$$

Vtočne in iztočne količine smo izračunali za padavine s t_d od 15 do 180 minut (izračuni so prikazani v prilogi A3). Potrebni volumen narašča do padavinskega dogodka s t_d 45 minut, ko doseže svojo največjo vrednost, nato pada (Slika 53). Zadrževanje je potrebno do padavinskega dogodka s trajanjem 180 minut.



Slika 53: Vtočni, iztočni in potrebni zadrževalni volumen za prispevno območje 3

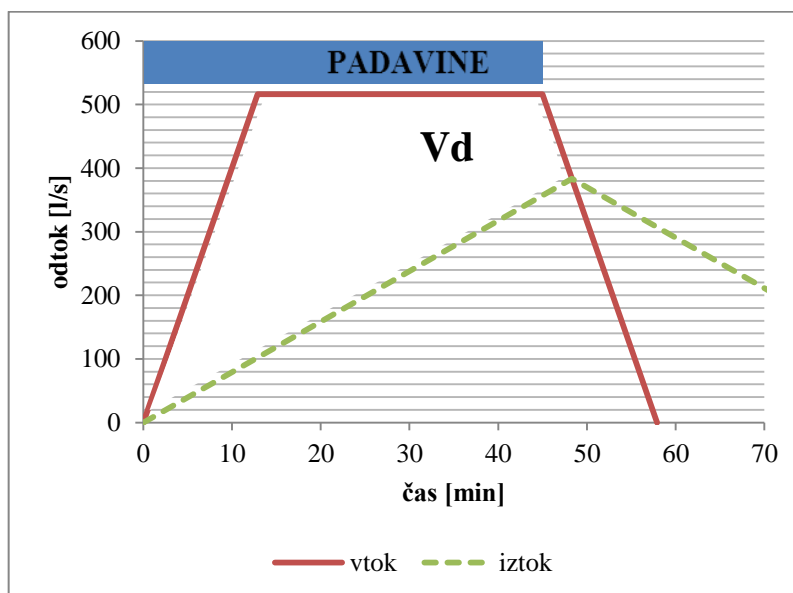
Največji potrebni volumen zadrževalnika pripada padavinskemu dogodku s povratno dobo 2 leti, trajanjem t_d 45 minut in pripadajočo intenziteto I 89 l/(s*ha), pri čemer velja:

$$V_p = 0,74 * 89 * 7,85 * 60 * 45 = 1.393.730 \text{ l} = 1393,73 \text{ m}^3 \quad (32)$$

$$V_i = 60 * 0,64 * 383,15 * 45 = 665.540 \text{ l} = 665,54 \text{ m}^3 \quad (33)$$

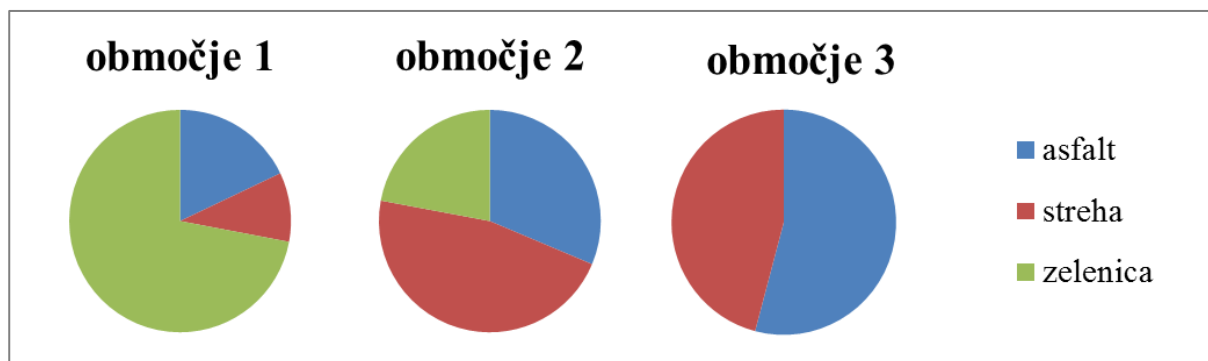
$$V_d = V_v - V_i = 1393,73 - 665,54 = 728,19 \text{ m}^3 \quad (34)$$

Slika 54 prikazuje hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika za padavine s trajanjem 45 min. Graf ustreza obliki hidrograma 1 (Slika 40), saj je $t_d = 45 \text{ min} > t_c = 12,9 \text{ min}$. Potrebni zadrževalni volumen predstavlja osenčena površina med vtočno in iztočno krivuljo (dokler $Q_v > Q_i$). Ko $Q_v < Q_i$ se začne praznjenje. Največji dotok Q_d 516,2 l/s nastopi, ko sta čas koncentracije in čas padavin izenačena ter traja do konca trajanja padavin. Pripadajoči največji dovoljeni iztok Q_a je za 133,05 l/s manjši od največjega dotoka.



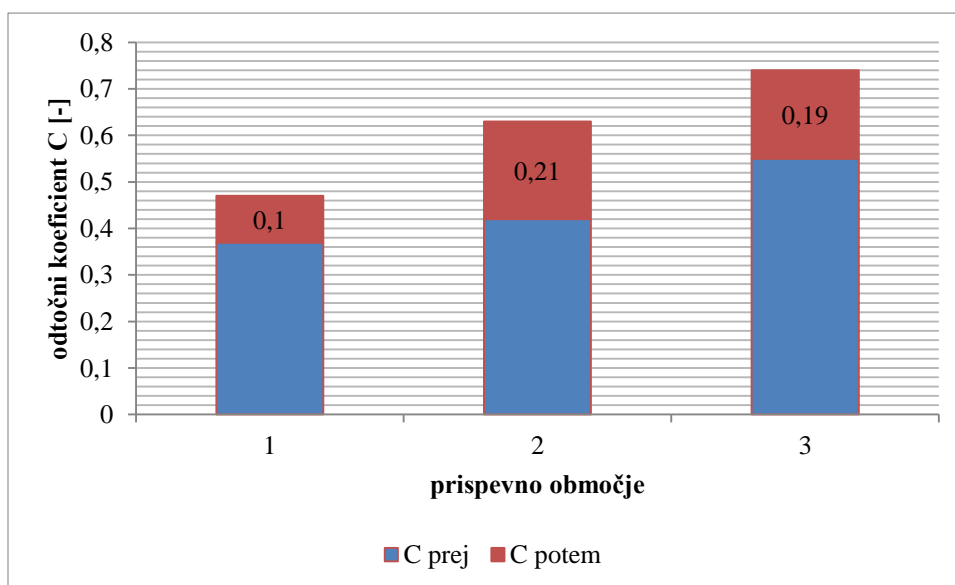
Slika 54: Hidrogram vtoka in iztoka iz zadrževalnika (prispevno območje 3)

Vsa obravnavana območja so se v zadnjem času razvila – območje 1 je iz kmetijskega nastalo območje enodružinskih hiš, na območju 2 je zraslo nakupovalno središče, območje 3 se polni z industrijskimi objekti. Slika 55 prikazuje razmerje različnih pokritosti tal na območju. Odtočni koeficient je najmanjši na območju 1 z največjim deležem zelenic ter največji na območju 3, ki je popolnoma prekrit s slabo prepustnim asfaltom in strehami.



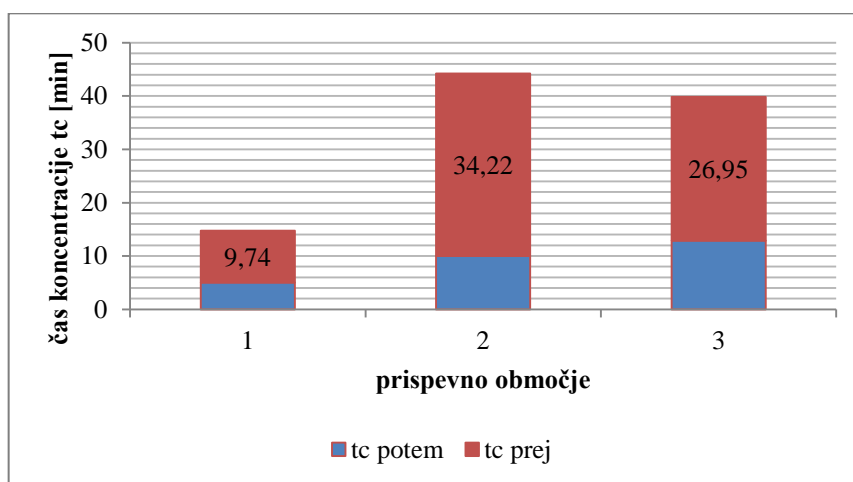
Slika 55: Pokritost prispevnih območij

Spremenjena raba območja poveča vrednosti odtočnega koeficienta. Le-ta se je najbolj občutno spremenil na prispevnem območju 2 – za vrednost 0,21. Na območju 1 ima vrednost 0,47, na območju 2 0,63, na območju 3 0,74. Povečan odtočni koeficient vpliva na količine padavinskega odtoka.



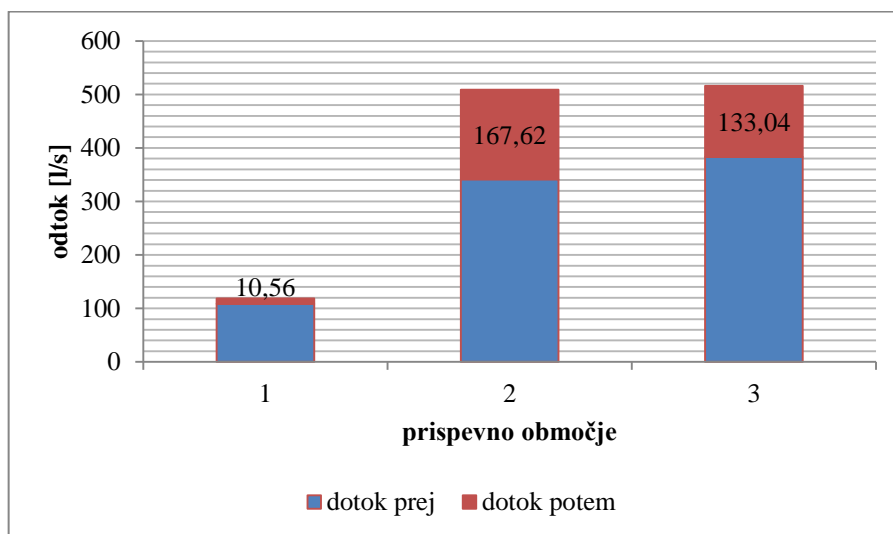
Slika 56: Primerjava vrednosti odtočnega koeficienta

Čas koncentracije se zaradi urbanizacije zmanjša. Razlika je največja na obravnavanem območju 2. Čas koncentracije v sedanjih razmerah je na območju 1 3,14 minut, na območju 2 10 minut ter na območju 3 12,9 minut. S slike 57 je lepo razvidno, koliko hitreje območje, ki je kanalizirano, zajame odtok in ga usmeri v določeno točko.



Slika 57: Primerjava časa koncentracij

Količina padavinskega odtoka 'prej' je enaka dovoljenemu iztoku iz zadrževalnika. Odtok ima na območju 1 vrednost 118,9 l/s, na območju 2 508,66 l/s, na območju 3 pa 516,2 l/s. Odtok skladno z enačbo (4) narašča s površino in z odtočnim koeficientom.



Slika 58: Primerjava količin odtoka pred in po urbanizaciji

4.7 Preliminarna ocena stroškov izgradnje

Na obravnavanih območjih smo torej predvideli zajetje povečanega padavinskega odtoka v suhih zadrževalnikih. Ocena stroškov izgradnje na podlagi aproksimativnega izračuna dimenzij in popisa del izgradnje zadrževalnika je predstavljena v prilogi B. Ocena stroškov izgradnje suhega zadrževalnika na posameznem območju zajema odkup zemljišč, zemeljska dela (ureditev nasipa, varnostnega preliva, dotoka, iztoka), ves material in delo. Cene za posamezne količine so privzete iz že izdelanih diplomskih nalog ali informacij izvajalcev del ter so obračunane brez DDV-ja.

Zadrževanje padavinske vode v zadrževalnikih je ob pravilni izvedbi zagotovo eden izmed ustrežnejših ukrepov, saj tako povečane količine ne vplivajo na razmere dolvodno od območja. Če zadrževanje in kontrolirano počasno izpuščanje ni načrtovano, vodi to v potrebo po večjih kapacitetah kanalizacijskega sistema. V tem primeru pa poleg stroškov menjave cevi nastanejo še stroški, ki se dodatno pojavijo, ko dela potekajo znotraj strjenih naselji, ko pride do križanj z vodovodnimi cevmi, ostalimi instalacijami ali eventuelno do zapor prometa. Zaradi večjega dotoka na ČN pa je ob prekoračitvi razpoložljivih kapacitet potrebna še njena razširitev. Ureditev suhih zadrževalnikov je tako smotrna tudi z investicijskega vidika.

Preglednica 6: Ocena stroškov izgradnje suhega zadrževalnika

Območje	V_d zadrževalnika	Izgradnja zadrževalnika
1 - Gorenja vas	61 m ³	16.345 €
2 - Nova Gorica	810 m ³	41.798 €
3 - Žiri	728 m ³	46.963 €

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem opisala vrsto različnih ukrepov za uravnavanje padavinskega odtoka. Nekaj izmed teh, kot so drevesa, zelene strehe, poglobljeni zeleni pasovi in prepustne tlakovane površine, zmanjšajo padavinski odtok direktno na mestu njegovega nastanka. Odtok z običajne strehe in odvečno vodo iz zelene strehe se lahko zajame v zbiralnikih deževnice ali pa odvede v padavinsko korito. Brez večjih vidnih konstrukcijskih posegov v naravo, ki so značilni za rečne zadrževalnike, lahko uredimo zbiranje padavinske vode v manjših lokalnih suhih in mokrih zadrževalnikih ter mokriščih, zmanjšano naravno ponikovanje zaradi utrjenih površin pa lahko povečamo s podzemnimi ponikovalnicami. Ko se padavinski odtok enkrat že zbere v kanalizacijskem omrežju in v primeru močnih nalivov preseže njegovo kapaciteto, del najbolj onesnaženega padavinskega odtoka zajamemo v zadrževalnih bazenih ali zadrževalnih bazenih za čiščenje deževnice, po koncu padavin pa ga kontrolirano spuščamo naprej po kanalih, neonesnaženi del pa prelijemo v vodotoke. Poudariti je potrebno, da je za učinkovitost opisanih ukrepov pomembna tudi pravilna izvedba ter vzdrževanje. Interdisciplinarna obravnava in kombiniranje različnih ukrepov pa da vidne rezultate za manjše onesnaževanje vodnega okolja in s tem zaščito voda.

V drugem delu diplomske naloge sem na konkretnih primerih na območju porečja Poljanščice za naselja Gorenja vas in Žiri, ter na območju porečja Soče za Novo Gorico primerjala količine odtoka brez zadrževanja in z lokalnim zadrževanjem. V ta namen sem najprej podrobno opisala racionalno metodo, na kateri temelji nadalje uporabljena modificirana racionalna metoda. Vse potrebne podatke za izračun sem pridobila iz spletnih evidenc in terenskega ogleda.

Kot že večkrat poudarjeno, se količina padavinskega odtoka večja sočasno z urbanim razvojem območja. Za primerjavo količin sem si torej izbrala območja sicer različnih velikosti, katerim pa je skupno, da so se v zadnjem času razvila. Na območju 1 v bližini Gorenje vasi, ki je bilo prej v kmetijski rabi, sedaj pa je v stanovanjski, se je prejšnji koeficient odtoka povečal za 0,10 na vrednost 0,47. Koeficient odtoka se je najbolj spremenil na območju 2, na katerem stoji novogoriško nakupovalno središče (prej sta na območju stala le manjša poslovna objekta ter enodružinska hiša) – razlika 0,21 določa sedanjo vrednost 0,63. Vrednost odtočnega koeficienta na industrijskem območju 3 na robu Žirov je 0,74 (razlika 0,19). Na vseh območjih sem predvidela zadržanje količine padavinske vode, ki je posledica spremenjenih razmer (obremenitev kanalizacijskega sistema s padavinsko vodo se tako ne spremeni). Potrebne zadrževalne volumne sem izračunala po t. i. FAA metodi. V prvem primeru potrebujemo 61 m³, v drugem 810 m³, v tretjem pa 728 m³ velik zadrževalnik.

Zadrževanje v prvem primeru konico padavinskega odtoka zniža le za 9 %. Količina padavinskega odtoka se torej ni bistveno spremenila. Lastniki enodružinskih hiš na območju pa lahko tudi sami pripomorejo k manjši spremembi. Deževnico s streh lahko zajamejo in uporabijo za ustrezne dejavnosti, tlakovane površine okoli hiš pa izvedejo v sistemu, ki omogoča ponikovanje.

V drugem in tretjem primeru ima zadrževanje bolj očitni vpliv na konici padavinskega odtoka. Na območju 2 se le-ta zniža za 33 %, na območju 3 za 26 %. To tudi pomeni, da bi bil dolvodni kanalizacijski sistem brez zadrževanja obremenjen s trikratnim odtokom kot pred razvojem območja. V obeh primerih pokritost s cestami in strehami skoraj po celotnem območju pomeni hitro odtekanje padavin, kar kmalu vodi v preobremenjenost kanalov.

Z ustreznim lociranjem in izvedbo zadrževalnikov omilimo ali celo izničimo povečane količine padavinskega odtoka, ki so posledica spremenjenih razmer. Konice padavinskega odtoka se znižajo, zaradi kontroliranega iztoka v kanale pa se odtok razporedi na daljše časovno obdobje. Iz preliminarne ocene stroškov pa se vidi, da le-ti s primerjavo povečanja premerov KS niso veliki.

VIRI

Adamczyk, F., Annen, G., Bielecki, R. idr. 1982. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Band II: Entwurf und Bau von Kanalisationen und Abwasserpumpwerken. 3. izpopolnjena izdaja. Berlin, München, Wilhelm Ernst & Sohn: 563 str.

Ameršek, I., Mezek, T. 2011. Rastlinska čistilna naprava. Planinski vestnik 116, 7: 10–12.

ARSO. 2006. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971–2000). Ljubljana, ARSO: 27 str.
<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/> (Pridobljeno 3. 9. 2013.)

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

Bat, M., Beltram, G., Cegnar, T. idr. 2003. Vodno bogastvo Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, ARSO: 131 str.

Beltram, G. 2000. Mokrišča: prezirano bogastvo narave. Proteus 62, 5: 208–216.

Butler, D., Davies J.W. 2011. Urban Drainage. 3. izdaja. London, New York, Spon Press: 625 str.

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. 1999. Vodne ujme – varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 186 str.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 309 str.

Cantor, S. L. 2008. Green Roofs in Sustainable Landscape Design. New York, London, W. W. Norton & Comp.: 352 str.

City of Portland, Oregon. 2004. Stormwater Solutions Handbook. Portland Oregon, Environmental services city of Portland: 54 str.
<http://www.portlandoregon.gov/bes/43110> (Pridobljeno 6. 6. 2013.)

Čendak, B., Hoekstra, H. 2009. Sodobne ponikovalnice. Življenje in tehnika 60, 11: 28–33.

Dunnett, N., Clayden, A. 2007. Rain Gradens. Portland, Timber Press, Inc.: 188 str.

Guo, J. C. Y. 1999. Detention Basin Sizing for Small Urban Catchments. Journal of Water Resources Planning and Management 125, 6: 380–384.

Guo, J. C. Y. 2001. Design of off-line detention systems. V: Mays, L. W. (ur.). Stormwater collection systems design handbook. New York idr., McGraw-Hill: poglavje 8.

Kestnar, K. 2012. Določanje največjih pretokov na nemerjenih porečjih. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba K. Kestnar): 50 str.

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.

Kralj Marhold, P. 2006. Čiščenje padavinske odpadne vode in meritve ogljikovodikov na primeru lovilca olj. *Ekolist* 2: 30–34.

Kunič, R. 2009. Ozelenitev v urbanih okoljih in ozelenjene brežine. *Gradbenik* 13, 6: 12–13.

Maleiner, F. 2005 a. Dimenzioniranje kanalizacijskih razbremenilnih naprav po nemških ATV smernicah (1). *Gradbeni vestnik* 54, 11: 262–272.

Maleiner, F. 2005 b. Razbremenjevanje padavinskih odtokov po nemških ATV smernicah. *Gradbeni vestnik* 54, 7: 155–161.

Mays, L. W. 2001. Introduction. V: Mays, L. W. (ur.). *Stormwater collection system design handbook*. New York idr., McGraw-Hill: poglavje 1.

Mentens, J., Raes, D., Hermy, M. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and Urban Planning* 77: 217–226.
<http://www.floradak.be/downloads/eng.pdf> (Pridobljeno 28. 5. 2013.)

Paine, J. N., Osman Akan, A. 2001. Design of detention systems. V: Mays, L. W. (ur.). *Stormwater collection systems design handbook*. New York idr., McGraw-Hill: poglavje 7.

Panjan, J. 1999. Odvodnjavanje onesnaženih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 91 str.

Panjan, J. 2005. Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 289 str.

Petrucci, G., Deroubaix J., de Gouvello, B. idr. 2012. Rainwater harvesting to control stormwater runoff in suburban areas. An experimental case study. *Urban Water Journal* Vol. 9(1): 45–55.
http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/69/85/64/PDF/urban_water_HAL.pdf (Pridobljeno 17. 6. 2013.)

Podobnik, I., Ponikvar, J. 2009. Pregled stanja zadrževalnikov na območju povodja reke Soče – Vogršček, Pikolud, Pikol. V: Mišičev vodarski dan, 26. november 2009, Maribor. Zbornik referatov.

Maribor: Vodnogospodarski biro: 33–39.

<http://mvd20.com/LETO2009/R6.pdf> (Pridobljeno 6. 6. 2013.)

Rosenow, J. E. 2010. How Trees Can Retain Stormwater Runoff . Portland, Arbor Day Foundation: 8 str.

http://www.northlandnemo.org/images/800TreeCityUSABulletin_55.pdf (Pridobljeno 20. 8. 2013.)

Povratne dobe za ekstremne padavine po Gumbelovi metodi. 2009. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO: 67 str.

http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/precip-return-periods_2008.pdf (Pridobljeno 28. 11. 2013.)

Scholz, M., Grabowiecki, P. 2007. Review of permeable pavement systems. Building and Environment 42: 3830–3836.

http://www.jtc.sala.ubc.ca/reports/Review_of_Permeable_Pavement_Systems.pdf (Pridobljeno 11. 6. 2013.)

Steinman, F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG, Hidrotehnična smer, Katedra za mehaniko tekočin: 147 str.

Thompson, D., Fang, X., Om Bahadur, G. C. 2003. Synthesis of TxDOT storm drain design. Lubbock, Center for Multidisciplinary Research in Transportation, Department of Civil Engineering, Texas Tech University: 157 str.

<http://www.depts.ttu.edu/techmrtweb/Reports/Complete%20Reports/0-4553-1%20combined.pdf> (Pridobljeno 5. 11. 2013.)

Thompson, B. D. 2006. The Rational Method. Civil Engineering Department, Texas Tech University: 7 str.

<http://www.drdbthompson.net/writings/rational.pdf> (Pridobljeno 5. 11. 2013.)

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

Vahtar, M., Kompare, B. 1998. Odvajane vode v urbanih okoljih: tehnični problem za vodarje in oblikovalski izziv za krajinske arhitekte. V: Mlakar, A. (ur.), Simoneti, M. (ur.), Matjašec, D. (ur.). Voda : raba, varovanje, oblikovanje : zbornik 5. letnega strokovnega srečanja Društva krajinskih arhitektov Slovenije, november 1998: 62–72.

Walesh, S. G. 1989. Urban Surface Water Management. New York idr., John Wiley & Sons: 518 str.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: IZRAČUNI PO FAA METODI

Priloga A1: Izračuni po FAA metodi za območje 1

Priloga A2: Izračuni po FAA metodi za območje 2

Priloga A3: Izračuni po FAA metodi za območje 3

PRILOGA B: PRELIMINARNA OCENA STROŠKOV IZGRADNJE ZADRŽEVALNIKA

Priloga B1: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 1

Priloga B2: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 2

Priloga B3: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 3

PRILOGA C: GRAFIČNE PRILOGE

Priloga C1: Idejna zasnova zadrževalnika 1

Priloga C2: Idejna zasnova zadrževalnika 2

Priloga C3: Idejna zasnova zadrževalnika 3

PRILOGA A: IZRAČUNI PO FAA METODI

Priloga A1: Izračuni po FAA metodi za območje 1

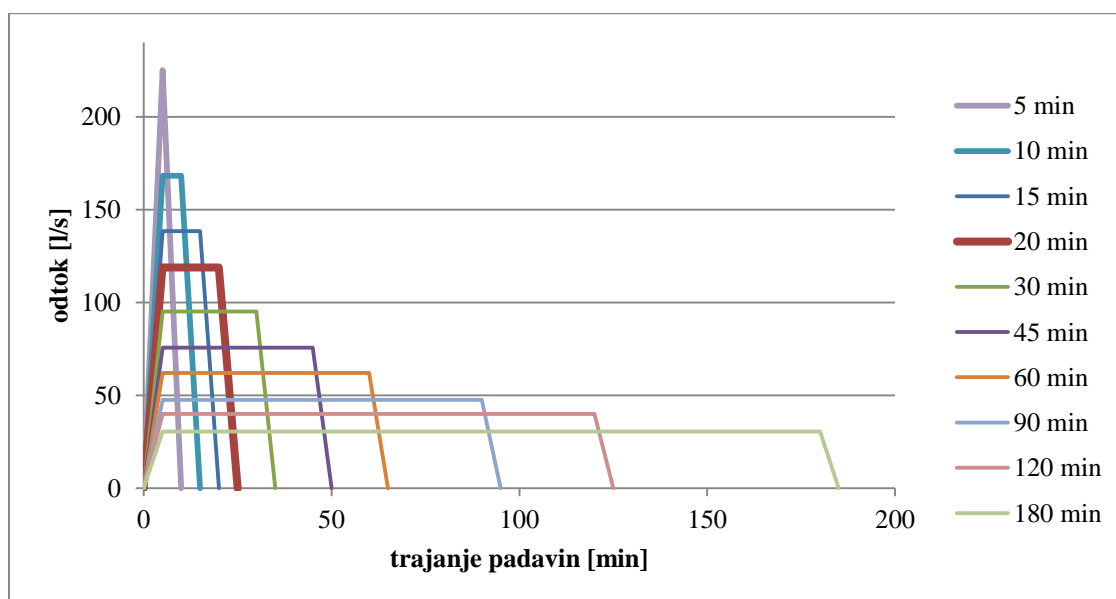
Priloga A2: Izračuni po FAA metodi za območje 2

Priloga A3: Izračuni po FAA metodi za območje 3

Priloga A1: Izračuni po FAA metodi za območje 1

PODATKI							
območje=		GORENJA VAS		$C_{prej} =$	0,37	$t_{c_{prej}} =$	14,74 min
površina =		1,80 ha		$C =$	0,47	$t_{c_{zdaj}} =$	5,00 min
max dovoljeni iztok = 108,35 l/s				povratna doba = 2,00 leti			
DOLOČITEV MAX ZADRŽEVALNEGA VOLUMNA							
trajanje padavin t_d [min]	intenziteta padavin I [l/(s*ha)]	največji dotok Q_d [l/s]	vtočni volumen V_v [m ³]	koeficient m [-]	povprečni iztok Q_m [l/s]	iztočni volumen V_i [m ³]	zadrževalni volumen V_d [m ³]
5	265	225,09	67,53	1,00	108,35	32,51	35,02
10	198	168,18	100,91	0,75	81,26	48,76	52,15
15	163	138,45	124,61	0,67	72,24	65,01	59,59
20	140	118,91	142,70	0,63	67,72	81,26	61,43
30	112	95,13	171,24	0,58	63,21	113,77	57,47
45	89	75,60	204,11	0,56	60,20	162,53	41,58
60	73	62,01	223,22	0,54	58,69	211,29	11,93
90	56	47,57	256,86	0,53	57,19	308,81	-51,95
120	47	39,92	287,43	0,52	56,43	406,32	-118,89
180	36	30,58	330,24	0,51	55,68	601,36	-271,12

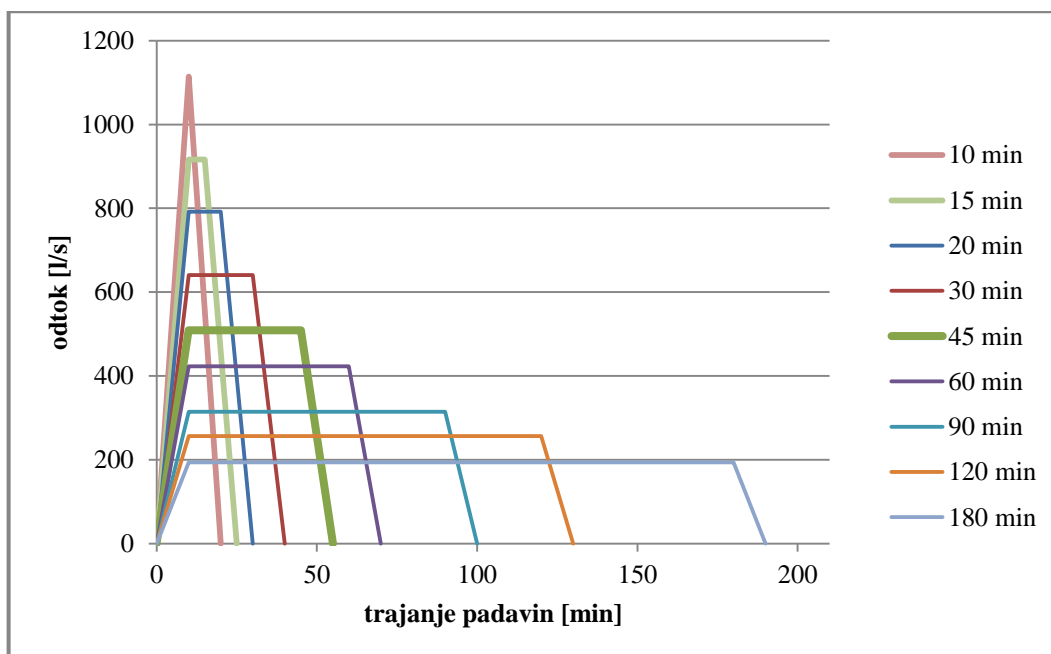
Hidrogrami za različna trajanja padavin:



Priloga A2: Izračuni po FAA metodi za območje 2

PODATKI							
območje= NOVA GORICA		C_{prej} = 0,42	$t_{c_{prej}}$ = 44,22 min				
površina= 6,13 ha		C = 0,63	$t_{c_{zdaj}}$ = 10,00 min				
max dovoljeni iztok= 341,04 l/s		povratna doba= 2,00 leti					
DOLOČITEV MAX ZADRŽEVALNEGA VOLUMNA							
trajanje padavin t_d [min]	intenziteta padavin I [l/(s*ha)]	največji dotok Q_d [l/s]	vtočni volumen V_v [m ³]	koeficient m [-]	povprečni iztok Q_m [l/s]	iztočni volumen V_i [m ³]	zadrževalni volumen V_d [m ³]
10	287	1114,39	668,63	1,00	341,04	204,63	464,01
15	236	916,36	824,73	0,83	284,20	255,78	568,94
20	204	792,11	950,53	0,75	255,78	306,94	643,59
30	165	640,68	1153,22	0,67	227,36	409,25	743,97
45	131	508,66	1373,38	0,61	208,42	562,72	810,66
60	109	423,23	1523,65	0,58	198,94	716,19	807,45
90	81	314,51	1698,38	0,56	189,47	1023,13	675,25
120	66	256,27	1845,15	0,54	184,73	1330,07	515,08
180	50	194,14	2096,76	0,53	180,00	1943,95	152,81

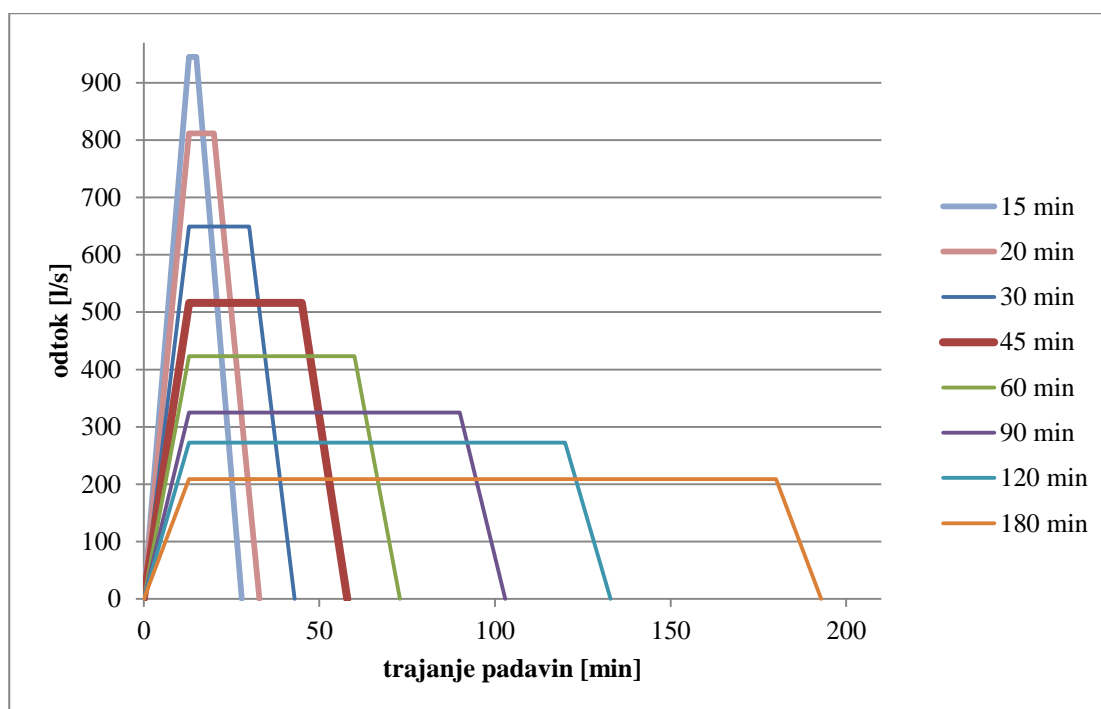
Hidrogrami za različna trajanja padavin:



Priloga A3: Izračuni po FAA metodi za območje 3

PODATKI							
območje=		ŽIRI		$c_{prej} =$	0,55	$t_{c_{prej}} =$	39,85 min
površina=		7,85 ha		$C =$	0,74	$t_{c_{zdaj}} =$	12,90 min
max dovoljeni iztok=				383,15 l/s			
				povratna doba=			
				2,00 leti			
DOLOČITEV MAX ZADRŽEVALNEGA VOLUMNA							
trajanje padavin t_d [min]	intenziteta padavin I [l/(s*ha)]	največji dotok Q_d [l/s]	vtočni volumen V_v [m ³]	koeficient m [-]	povprečni iztok Q_m [m ³ /s]	iztočni volumen V_i [m ³]	zadrževalni volumen V_d [m ³]
15,00	163	945,39	850,85	0,93	356,33	320,70	530,15
20,00	140	811,99	974,39	0,82	315,14	378,17	596,22
30	112	649,59	1169,27	0,72	273,95	493,12	676,15
45	89	516,20	1393,73	0,64	246,49	665,54	728,19
60	73	423,40	1524,23	0,61	232,77	837,95	686,27
90	56	324,80	1753,90	0,57	219,04	1182,79	571,11
120	47	272,60	1962,70	0,55	212,17	1527,63	435,07
180	36	208,80	2255,02	0,54	205,31	2217,30	37,72

Hidrogrami za različna trajanja padavin:



PRILOGA B: PRELIMINARNA OCENA STROŠKOV IZGRADNJE ZADRŽEVALNIKA

Priloga B1: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 1

Priloga B2: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 2

Priloga B3: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 3

Priloga B1: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 1

opis del	enota	količina	€/enoto	znesek [€]
PREDDELA				
1 odkup zemljišč	m ²	180	5,5	990
2 geodetska zakoličba osi kanalizacije in zadrževalnika	m	179,00	1,25	223,75
3 pridobitev dovoljenja za cestno zaporo in za ureditev začasnih obvozov v času gradnje	ocena			420,00
4 zavarovanje gradbišča med gradnjo z zaščitno gradbiščno ograjo, ki se po končanih delih odstrani	kom	1,00	1500,00	1500,00
ZEMELJSKA DELA				
5 strojni odziv humusa debeline 20 cm na rob gradbene jame	m ³	78,54	1,30	102,10
6 strojni izkop gradbene jame v terenu III. kategorije do globine 2,5 m z nalaganjem in odvozom materiala na trajno deponijo v oddaljenosti do 5 km, razgrinjanje materiala na trajni deponiji	m ³	93,00	6,90	642,05
7 strojni izkop kanalskega jarka širine do 2,0 m, globine do 3 m, s pravilnim odsekovanjem stranic in odlaganjem izkopanega materiala 1,0 m od roba jarka (III. kategorija)	m ³	391,50	4,50	1761,75
8 rušenje asfaltnega cestišča s pravilnim odrezom robov, nakladanjem na transportno sredstvo in odvozom na trajno deponijo do 25 km, vključno s takso na deponiranje	m ²	9,00	6,50	58,50
9 ročna izravnava ter utrjevanje dna jarka s točnostjo +/- 3 cm po celotni širini jarka v predvidenem nagibu	m ²	202,50	0,47	95,18
10 planiranje in utrjevanje dna zadrževalnika	m ²	9,00	1,30	11,70
11 urejanje nasipa z razgrinjanjem	m ³	30,00	15,00	450,00

in komprimiranjem

12	zasip jarka s premetom deponiranega materiala ob jarku, skupaj z lahkim utrjevanjem v plasteh po 20 cm (365 m ³)				
	strojno zasipavanje 99,5%	m ³	363,18	4,50	1634,29
	ročno zasipavanje 0,5%	m ³	1,83	20,20	36,87
13	nalaganje in odvoz viška materiala na trajno deponijo v oddaljenosti do 5 km, razgrinjanje materiala na trajni deponiji	m ³	26,50	4,70	124,55
14	zavarovanje brežin zadrževalnika na mestu varnostnega preлива s kamnito zložbo premera 0,3-0,5m	m ²	26,00	25,00	650,00
15	obdelava ob vtoku v zadrževalnik s kamnito zložbo	m ²	4,00	20,00	80,00
16	ureditev zbirnega kanala ob nasipu širine 0,2 m	m	10,00	7,50	75,00
17	humusiranje	m ²	52,54	5,50	288,97
18	zatravitev z ustrezno travno mešanico na pripravljeno humusirano podlago	m ²	52,54	1,80	94,57
19	ponovno asfaltiranje porušenega vozišča debeline 6 + 3 cm, vključno z izdelavo spodnjega ustroja, po navodilih in nadzoru strani upravljalca ceste	m ²	9,00	22,00	198,00
KANALIZACIJSKA DELA					
20	nabava in vgraditev peščene posteljice DN/10 +10 cm z obsipom	m ³	13,50	22,00	297,00
21	dobava in vgraditev kanalizacijskih AB cevi DN 500, vključno z gumi tesnili	m	135,00	25,00	3375,00
22	dobava in vgraditev AB cevi DN 200 za dušenje iztoka	m	8,00	15,00	120,00

23	dobava in montaža protipovratne zaklopke	kom	1,00	175,50	175,50
24	revizijski jašek- AB DN 800 na koncu dušilke	kom	1,00	114,91	114,91
25	dobava in montaža rešetkastega pokrova za revizijski jašek, 80cm/80cm	kom	1,00	171,00	171,00
ZAKLJUČNA DELA					
26	pospravljanje in čiščenje gradbišča po končanih delih	m ²	130,00	2,00	260,00
NEPREDVIDENA DELA		10% celotne vrednosti		1395,07	
PROJEKTANTSKI IN GEOMEHANSKI NADZOR		ocena		1000	
SKUPAJ =				16.345,75 €	

Priloga B2: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 2

opis del	enota	količina	€/enoto	znesek [€]
PREDDELA				
1 odkup zemljišč	m ²	870	10	8700
2 geodetska zakoličba osi kanalizacije in zadrževalnika	m	258,00	1,25	322,50
3 zavarovanje gradbišča med gradnjo z zaščitno gradbiščno ograjo, ki se po končanih delih odstrani	kom	1,00	1500,00	1500,00
ZEMELJSKA DELA				
4 strojni odziv humusa debeline 20 cm na rob gradbene jame	m ³	221,28	1,30	287,66
5 strojni izkop gradbene jame v terenu III. kategorije do globine 2,5 m z odvozom nalaganjem in odvozom materiala na trajno deponijo v oddaljenosti do 5 km, razgrinjanje materiala na trajni deponiji	m ³	974,00	6,90	6724,27
6 strojni izkop kanalskega jarka širine do 2,0 m, globine do 3 m, s pravilnim odsekovanjem stranic in odlaganjem izkopenega materiala 1,0 m od roba jarka (III. kategorija)	m ³	426,60	4,50	1919,70
7 ročna izravnava ter utrjevanje dna jarka s točnostjo +/- 3 cm po celotni širini jarka v predvidenem nagibu	m ²	237,00	0,47	111,39
8 planiranje in utrjevanje dna zadrževalnika	m ²	256,00	1,30	332,80
9 urejanje nasipa z razgrinjanjem in komprimiranjem	m ³	160,00	15,00	2400,00
10 zasip jarka s premetom deponiranega materiala ob jarku, skupaj z lahkim utrjevanjem v plasteh po 20 cm (372 m ³) strojno zasipavanje 99,5%	m ³	370,14	4,50	1665,63

	ročno zasipavanje 0,5%	m ³	1,86	20,20	37,57
11	nalaganje in odvoz viška materiala na trajno deponijo v oddaljenosti do 5 km, razgrinjanje materiala na trajni deponiji	m ³	54,60	4,70	256,62
12	zavarovanje brežin zadrževalnika na mestu varnostnega preliva s kamnito zložbo premera 0,3-0,5m	m ²	147,20	25,00	3680,00
13	obdelava ob vtoku v zadrževalnik s kamnito zložbo	m ²	4,00	20,00	80,00
14	ureditev zbirnega kanala ob nasipu širine 0,2 m	m	20,00	7,50	150,00
15	humusiranje	m ²	74,08	5,50	407,44
16	zatravitev z ustrezno travno mešanico na na pripravljeno humusirano podlago	m ²	74,08	1,80	133,34
KANALIZACIJSKA DELA					
17	nabava in vgraditev peščene posteljice DN/10 +10 cm z obsipom	m ³	15,80	22,00	347,60
18	dobava in vgraditev kanalizacijskih AB cevi DN 800, vključno z gumi tesnili	m	50,00	53,85	2692,50
19	dobava in vgraditev kanalizacijskih AB cevi DN 600, vključno z gumi tesnili	m	100,00	33,99	3399,00
20	dobava in vgraditev AB cevi DN 200 za dušenje iztoka	m	8,00	15,00	120,00
21	dobava in montaža protipovratne zaklopke	kom	1,00	175,50	175,50
22	revizijski jašek- AB DN 800 na koncu dušilke	kom	1,00	114,91	114,91
23	dobava in montaža rešetkastega	kom	1,00	171,00	171,00

pokrova za revizijski jašek, 80cm/80cm

ZAKLJUČNA DELA

24	pospravljanje in čiščenje gradbišča po končanih delih	m ²	680,00	2,00	1360,00
----	---	----------------	--------	------	---------

	NEPREDVIDENA DELA		10% celotne vrednosti		3708,94
--	-------------------	--	-----------------------	--	---------

	PROJEKTANTSKI IN GEOMEHANSKI NADZOR	ocena			1000
--	-------------------------------------	-------	--	--	------

			SKUPAJ =		41.798,38 €
--	--	--	-----------------	--	--------------------

Priloga B3: Preliminarna ocena stroškov izgradnje zadrževalnika na območju 3

opis del	enota	količina	€/enoto	znesek [€]
PREDDELA				
1 odkup zemljišč	m ²	755	10	7550
2 geodetska zakoličba osi kanalizacije in zadrževalnika	m	378,00	1,25	472,50
3 zavarovanje gradbišča med gradnjo z zaščitno gradbiščno ograjo, ki se po končanih delih odstrani	kom	1,00	1500,00	1500,00
ZEMELJSKA DELA				
4 strojni odriv humusa debeline 20 cm na rob gradbene jame	m ³	240,40	1,30	312,52
5 strojni izkop gradbene jame v terenu III. kategorije do globine 2,5 m z odvozom nalaganjem in odvozom materiala na trajno deponijo v oddaljenosti do 5 km, razgrinjanje materiala na trajni deponiji	m ³	800,00	6,90	5523,01
6 strojni izkop kanalskega jarka širine do 2,0 m, globine do 3 m, s pravilnim odsekovanjem stranic in odlaganjem izkopanega materiala 1,0 m od roba jarka (III. kategorija)	m ³	804,60	4,50	3620,70
7 ročna izravnava ter utrjevanje dna jarka s točnostjo +/- 3 cm po celotni širini jarka v predvidenem nagibu	m ²	447,00	0,47	210,09
8 planiranje in utrjevanje dna zadrževalnika	m ²	196,00	1,30	254,80
9 urejanje nasipa z razgrinjanjem in komprimiranjem	m ³	140,00	15,00	2100,00
10 zasip jarka s premetom deponiranega materiala ob jarku, skupaj z lahkim utrjevanjem v plasteh po 20 cm (722 m ³) strojno zasipavanje 99,5%	m ³	718,39	4,50	3232,76

	ročno zasipavanje 0,5%	m ³	3,61	20,20	72,92
11	nalaganje in odvoz viška materiala na trajno deponijo v oddaljenosti do 5 km, razgrinjanje materiala na trajni deponiji	m ³	82,15	4,70	386,11
12	zavarovanje brežin zadrževalnika na mestu varnostnega preлива s kamnito zložbo premera 0,3-0,5m	m ²	128,80	25,00	3220,00
13	obdelava ob vtoku v zadrževalnik s kamnito zložbo	m ²	4,00	20,00	80,00
14	ureditev zbirnega kanala ob nasipu širine 0,2 m	m	15,00	7,50	112,50
15	humusiranje	m ²	111,60	5,50	613,80
16	zatravitev z ustrezno travno mešanico na pripravljeno humusirano podlago	m ²	111,60	1,80	200,88
KANALIZACIJSKA DELA					
17	nabava in vgraditev peščene posteljice DN/10 +10 cm z obsipom	m ³	39,80	22,00	875,60
18	dobava in vgraditev kanalizacijskih AB cevi DN 600, vključno z gumi tesnili	m	290,00	33,99	9857,10
19	dobava in vgraditev AB cevi DN 200 za dušenje iztoka	m	8,00	15,00	120,00
20	dobava in montaža protipovratne zaklopke	kom	1,00	175,50	175,50
21	revizijski jašek- AB DN 800 na koncu dušilke	kom	1,00	114,91	114,91
22	dobava in montaža rešetkastega pokrova za revizijski jašek, 80cm/80cm	kom	1,00	171,00	171,00
ZAKLJUČNA DELA					
23	pospravljanje in čiščenje gradbišča po končanih delih	m ²	504,00	2,00	1008,00

NEPREDVIDENA DELA	10% celotne vrednosti	4178,47
PROJEKTANTSKI IN GEOMEHANSKI NADZOR	ocena	1000
	SKUPAJ =	46.963,16 €

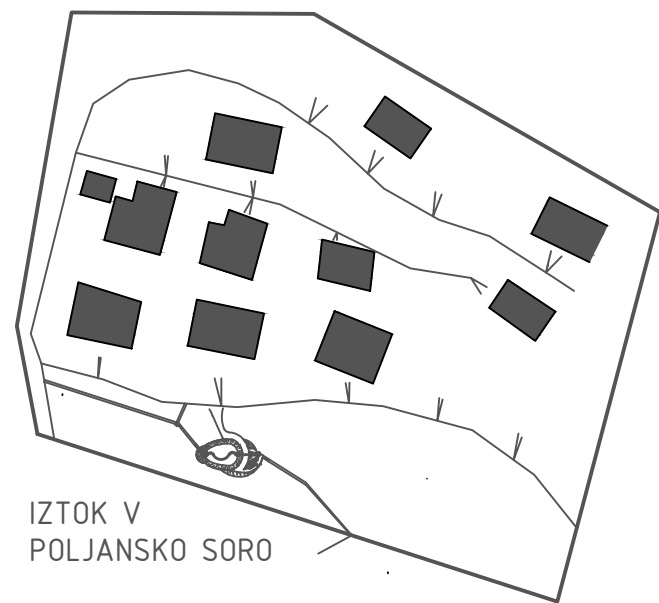
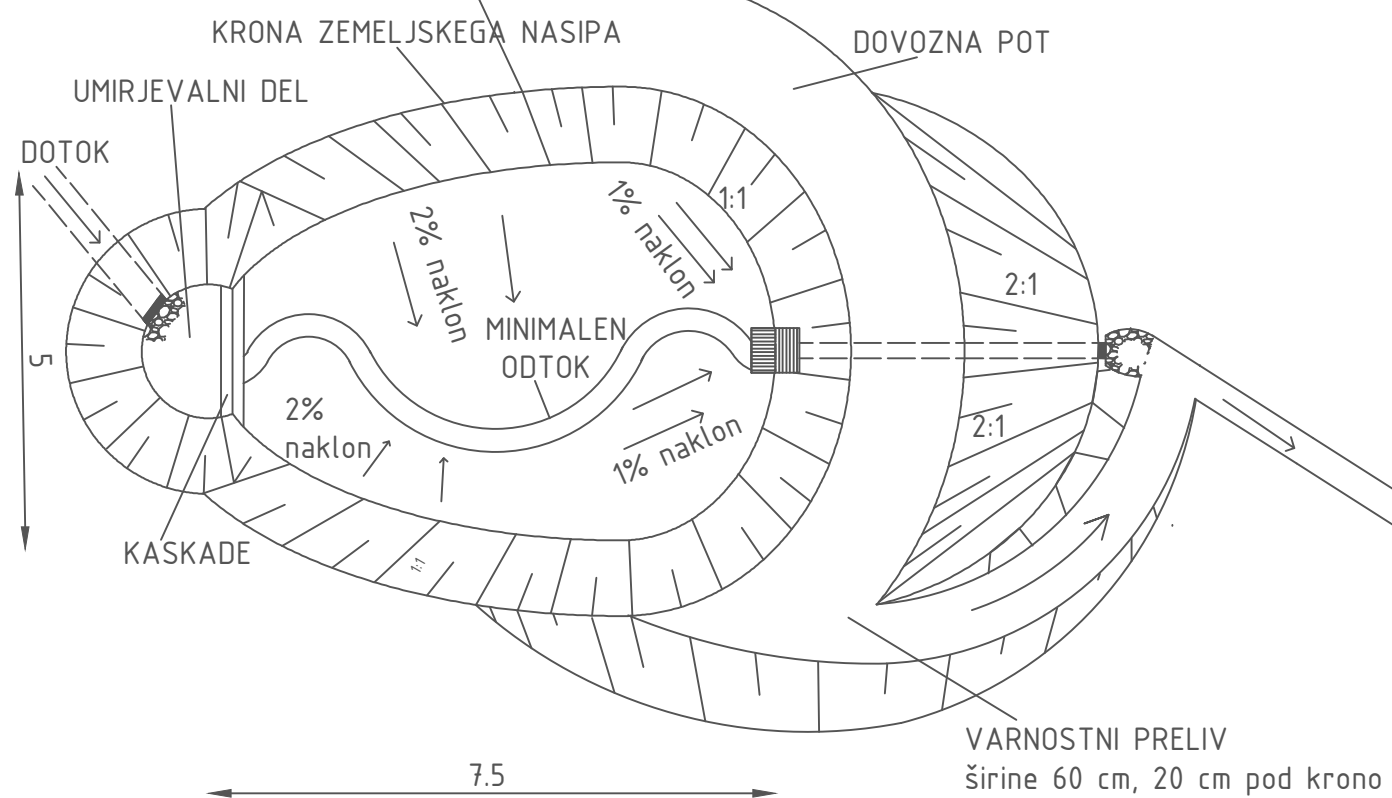
PRILOGA C: GRAFIČNE PRILOGE

Priloga C1: Idejna zasnova zadrževalnika 1

Priloga C2: Idejna zasnova zadrževalnika 2

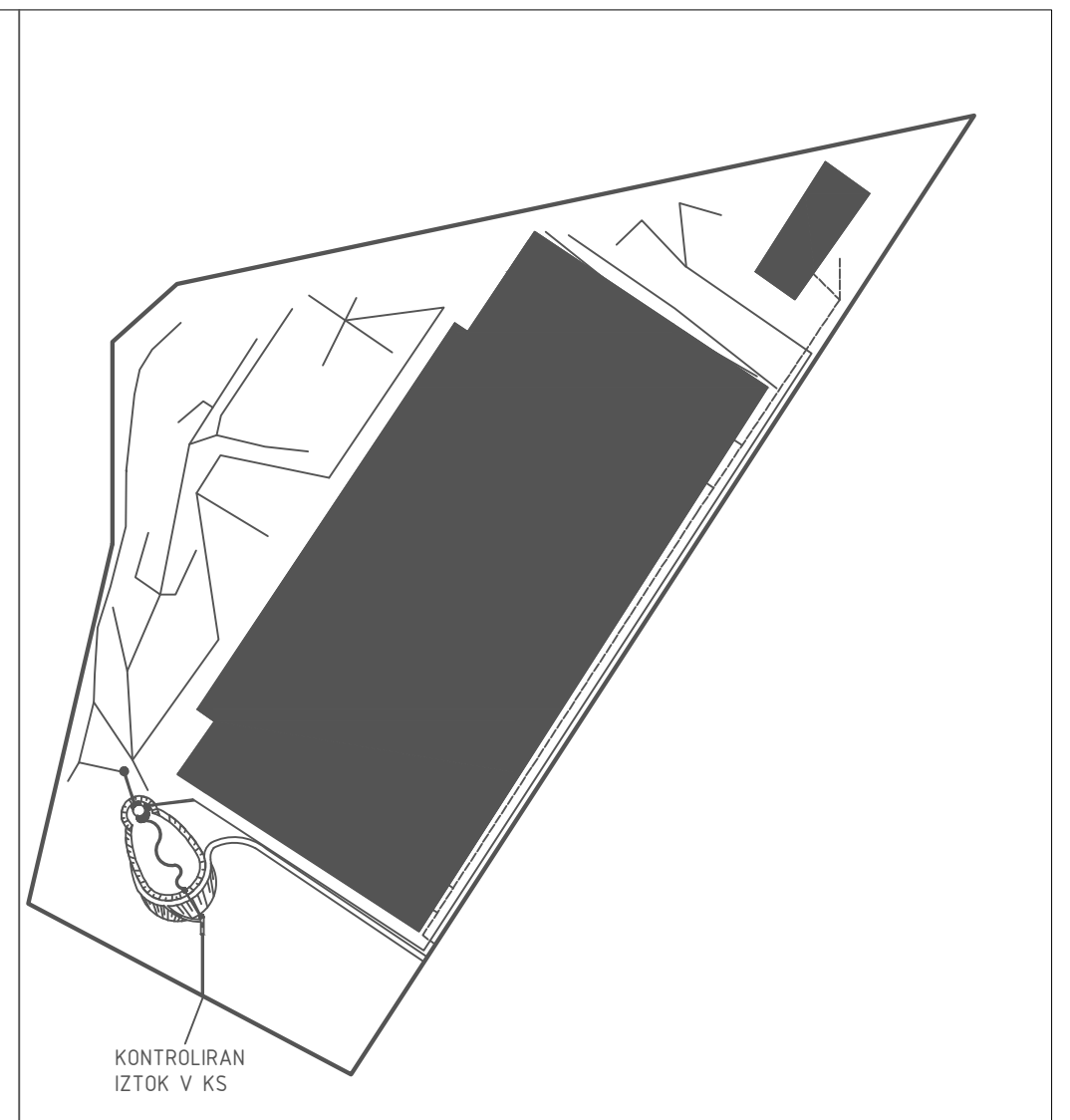
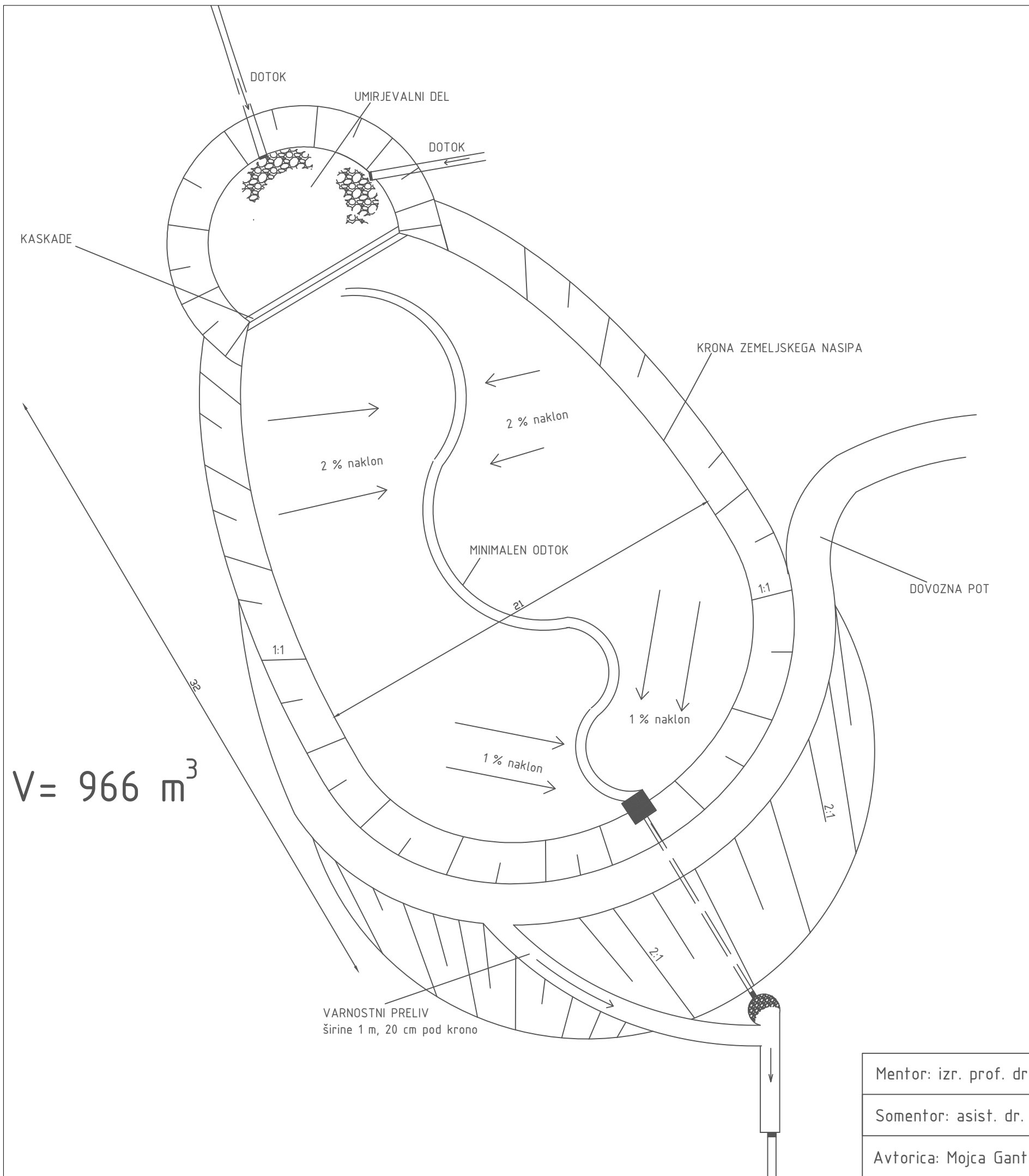
Priloga C3: Idejna zasnova zadrževalnika 3

$V = 70\text{m}^3$



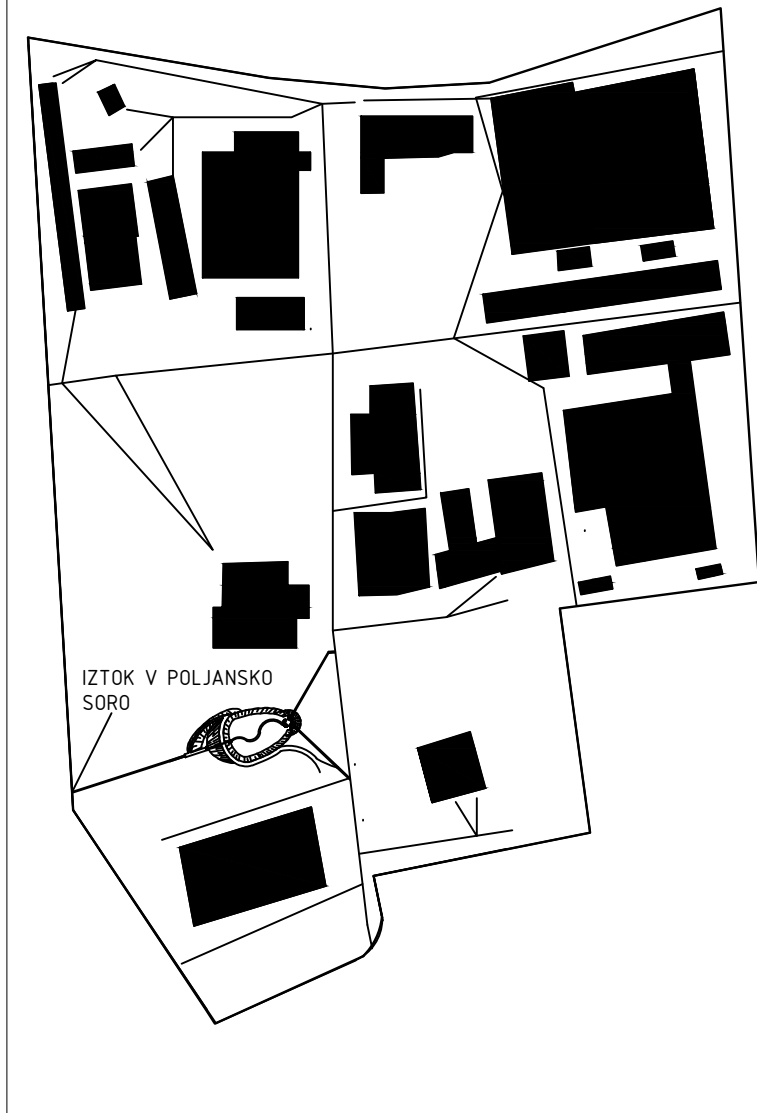
IZTOK V
POLJANSKO SORO

Mentor: izr. prof. dr. Jože Panjan	NASLOV: Metode zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju	merilo: 1:100
Somentor: asist. dr. Mario Krzyk		datum: marec 2014
Avtorica: Mojca Gantar	VSEBINA: Idejna zasnova zadrževalnika 1	št. lista: PRILOGA C1

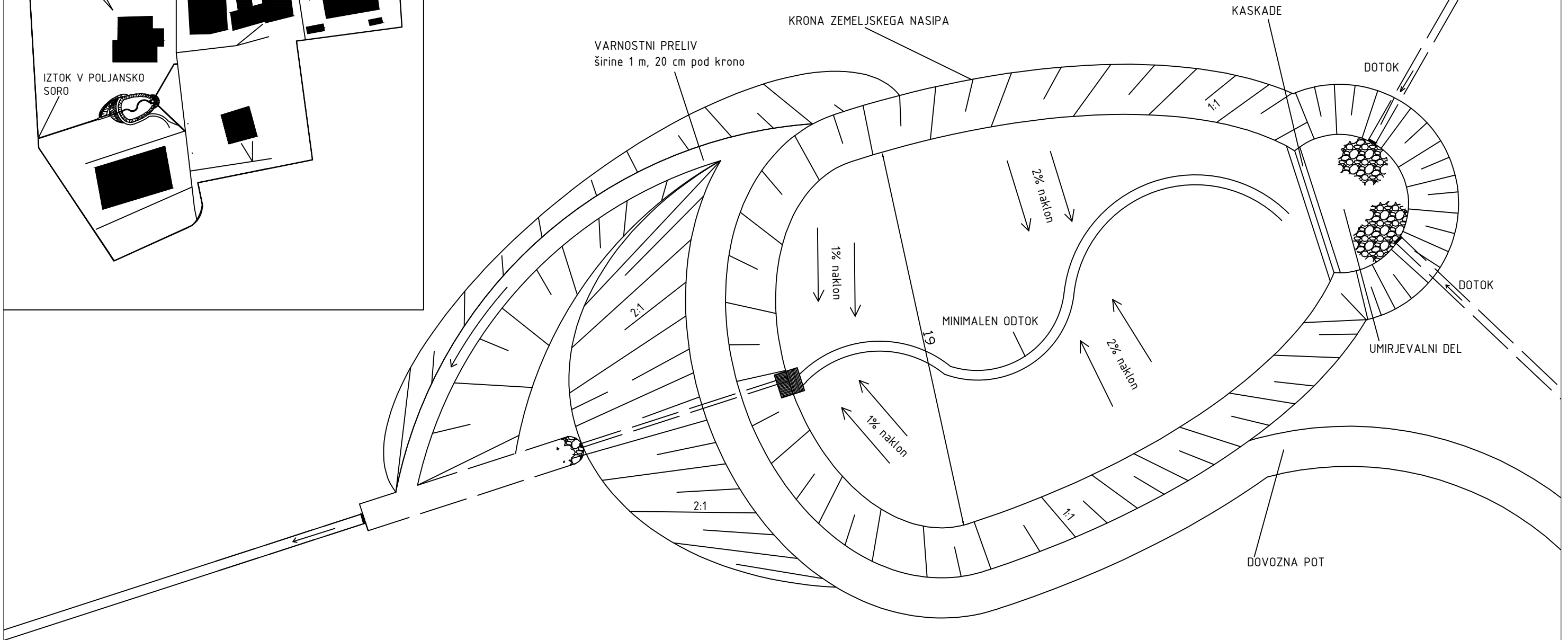


$V = 966 \text{ m}^3$

Mentor: izr. prof. dr. Jože Panjan	NASLOV: Metode zmanjševanja padavinskega	merilo 1:200
Somentor: asist. dr. Mario Krzyk	odtoka v urbanem okolju	datum marec 2014
Avtorica: Mojca Gantar	VSEBINA: Idejna zasnova zadrževalnika 2	št. lista PRILOGA C2



$V = 800 \text{ m}^3$



Mentor: izr. prof. dr. Jože Panjan	NASLOV: Metode zmanjševanja padavinskega odtoka v urbanem okolju	merilo: 1:200
Somentor: asist. dr. Mario Krzyk		datum: marec 2014
Avtorica: Mojca Gantar	VSEBINA: Idejna zasnova zadrževalnika 3	št. lista: PRILOGA C3