

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:

Červek, J., 2014. Odvod padavin z javnih cest-dimenzioniranje objektov po slovenskih in ameriških priporočilih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F.): 87 str.

Datum arhiviranja: 01-07-2014

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:

Červek, J., 2014. Odvod padavin z javnih cest-dimenzioniranje objektov po slovenskih in ameriških priporočilih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F.): 87 pp.

Archiving Date: 01-07-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidat:

**JURE ČERVEK**

**ODVOD PADAVIN Z JAVNIH CEST-  
DIMENZIONIRANJE OBJEKTOV PO SLOVENSKIH IN  
AMERIŠKIH PRIPOROČILIH**

Diplomska naloga št.: 3392/HS

**STORMWATER MANAGEMENT ON PUBLIC ROADS-  
THE DESIGN OF FACILITIES ON THE BASIS OF  
SLOVENIAN AND AMERICAN RECOMMENDATIONS**

Graduation thesis No.: 3392/HS

**Mentor:**

prof. dr. Franc Steinman

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Član komisije:**

izr. prof. dr. Franc Saje

izr. prof. dr. Jana Šelih

Ljubljana, 17. 06. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

## **IZJAVE**

Podpisani Jure Červek izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Odvod padavin z javnih cest - dimenzioniranje objektov po slovenskih in ameriških priporočilih«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11. 5. 2014

Jure Červek

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

- UDK:** 625.77:625.745.2:628.2(497.4)(73)(043.2)
- Avtor:** Jure Červek
- Mentor:** prof. dr. Franc Steinman
- Naslov:** Odvod padavin z javnih cest - dimenzioniranje objektov po slovenskih in ameriških priporočilih
- Tip dokumenta:** Dipl. nal.–UNI
- Obseg in oprema:** str. 87, pregl. 21, sl. 41, graf. 1, en. 76, pril. 9
- Ključne besede:** avtocesta, odvodnjavanje cest, padavinska voda, zadrževanje padavinskega odtoka, čiščenje padavinske vode

### **Izvleček**

Predstavljeni so osnovni pojmi, s katerimi se srečujemo pri dimenzioniranju objektov za ravnanje s padavinsko vodo z avtocest. Podan je povzetek slovenske in ameriške zakonodaje s tega področja. V nadaljevanju sledi pregled objektov za ravnanje s padavinskimi vodami, kakor jih svetujejo priročniki v Združenih državah Amerike, ter slovenski priročnik »Navodila projektantom za izdelavo tehnične dokumentacije – odvodnjavanje meteornih voda iz avtocestnih površin«. Predstavljena so teoretična izhodišča in enačbe za dimenzioniranje čistilnih in zadrževalnih objektov po slovenskih in ameriških priročnikih. V drugem delu so najprej zbrani vsi podatki, ki so uporabljeni pri nadaljnjem hidravličnem dimenzioniranju objektov. Izračuni so narejeni v programu Excel, na koncu pa so primerjani rezultati hidravličnega izračuna, ki so predstavljeni tekstovno in v preglednicah. Primerjave so narejene med Slovenijo in ZDA ter tudi med rezultati pri različnih podatkih v Sloveniji.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

- UDC:** 625.77:625.745.2:628.2(497.4)(73)(043.2)
- Author:** Jure Červek
- Supervisor:** assoc. Prof. Franc Steinman, Ph.D.
- Title:** Stormwater Management on Public Roads – The Design of Facilities on the Basis of Slovenian and American Recommendations
- Document type:** Graduation Thesis –University studies
- Scope and tools:** p. 87, tab. 21, fig. 41, graph. 1, eq. 76, ann. 9
- Keywords:** highway, drainage of roads, stormwater, detention of rainfall runoff, stormwater treatment

### **Abstract**

The first part of the diploma thesis presents basic concepts we come across when dimensioning the works for meteoric water treatment on public roads. A summary of the Slovenian and American legislation related to this field has been provided. Moreover, a review of the works for wastewater management is provided according to reference books of the United States of America and the Slovenian manual »*Project Engineering Manual for the Composition of Technical Documentation – Meteoric Water Drainage on Public Roads*«. Theoretical principles and the equations for wastewater treatment plant are presented according to Slovene and American manuals. The second part of the thesis contains the data which have been used with the ongoing hydraulic dimensioning of the works. The calculations have been made in the *Excel* programme. The conclusion includes a comparison of the results of the hydraulic calculation presented textual and in tables. The comparison has been made between Slovenia and USA as well as between the results of various data collected in Slovenia.

## **ZAHVALA**

Rad bi se zahvalil mentorju prof. dr. Francu Steinmanu za vso strokovno pomoč in podporo ter potrpežljivost pri pisanju naloge.

Iskrena zahvala gre tudi vsem sošolcem in prijateljem, ki so mi stali ob strani v času študija ter mi polepšali študijske dni.

Hvala družini za vso podporo med študijem, Nuši Ružič za opravljeno lektoriranje ter mag. Antonu Kožarju za moralno podporo med pisanjem diplomske naloge.

## KAZALO VSEBINE

	IZJAVE	II
	BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
	BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
	ZAHVALA	V
1	UVOD.....	I
1.1	Vsebina, namen in cilji diplomske naloge.....	2
2	STANJE TEHNIKE, PREDPISI IN SMERNICE .....	3
2.1	Pomembni izrazi.....	3
2.2	Predpisi in pravila stroke.....	5
2.2.1	Slovenija .....	5
2.2.2	Združene države Amerike .....	8
2.2.2.1	Splošno.....	8
2.2.2.1	Zvezna država Washington.....	9
2.2.2.3	Smernice v Priročniku za odtoke vode z avtocest (Highway Runoff Manual, HRM) v zvezni državi Washington.....	12
2.3	Padavinska voda.....	15
2.3.1	Razdelitev padavinske vode.....	16
2.3.2	Ukrepi za zadrževanje padavinskega odтока.....	16
2.3.3	Izvor in vrste onesnaževanja padavinskega odтока .....	17
2.4	Teoretična izhodišča za račun odтока.....	19
2.4.1	Odtok (Q).....	19
2.4.2	Parametri v enačbi za odtok.....	20
2.4.2.1	Prispevna površina (A) .....	20
2.4.2.2	Čas koncentracije (t) .....	20
2.4.2.3	Povratna doba (p) .....	20
2.4.2.4	Jakost padavin (q).....	21
2.4.2.5	Koeficient odтока ( $\psi$ ) .....	22
2.5	Teoretična izhodišča in enačbe za hidravlično dimenzioniranje naprav za ravnanje s PV s cest.....	23
2.5.1	Naprave za ravnanje s PV s cest – Slovenska priporočila .....	23
2.5.2	Predpostavke in enačbe za dimenzioniranje po slovenskih Navodilih projektantom.....	24
2.5.2.1	Usedalnik – lovilec olj .....	25



2.5.2.2 Zadrževalnik.....	31
2.5.2.3 Grobi filter.....	33
2.5.2.4 Infiltracijsko polje – počasni biološki filter.....	35
2.5.2.5 Zadrževalnik s funkcijo lovilca olj in usedalnika z infiltracijskim poljem v ravninskem svetu	37
2.5.2.6 Zadrževalnik s precejalnikom.....	38
2.5.2.7 Rastlinska čistilna naprava (RČN).....	39
2.5.3 Naprave za ravnanje s PV s cest – Po priporočilih v ZDA (Washingtonu) .....	40
2.5.3.1 Naprave za čiščenje PV s cest .....	41
2.5.3.2 Naprave za zadrževanje odтока PV s cest.....	50
2.5.4 Predpostavke in enačbe za dimenzioniranje po priročnikih v Washingtonu .....	51
2.5.4.1 Lovilec olj (API separator).....	51
2.5.4.2 Zadrževalnik (Detention pond).....	54
2.5.4.3 Peščeni filter (Sand filter) .....	61
2.5.4.4 Ponikovalnik (Infiltration pond).....	66
<b>3 AVTOCESTE, PADAVINE IN PADAVINSKI ODTOK.....</b>	<b>68</b>
3.1 Avtocestno omrežje.....	68
3.1.1 Slovenija .....	68
3.1.1.1 Opis obravnavanega avtocestnega odseka .....	70
3.1.2 ZDA.....	70
3.2 Tla ter avtoceste in vodonosniki v Sloveniji .....	71
3.2.1 Opis tal pod obravnavanim AC odsekom .....	72
3.3 Padavine in padavinski odtok.....	73
3.3.1 Padavine v Sloveniji.....	73
3.3.1.1 Opis padavin, merodajnih za dimenzioniranje objektov na obravnavanem AC odseku .....	73
3.3.2 Padavine v ZDA .....	75
3.4 Sprejemniki PV s cest in izbira naprav za ravnanje s PV .....	75
3.4.1 Slovenska Navodila projektantom .....	75
3.4.2 ZDA – SWMMEW (2004).....	78
3.4.3 Opis izbire objektov za ravnanje s PV z obravnavanega odseka AC.....	80
<b>4 HIDRAVLICNI IZRAČUN IN DIMENZIONIRANJE OBJEKTOV PADAVINSKE</b>	
<b>ODPADNE VODE ZA PREDPOSTAVLJENI ODSEK AVTOCESTE .....</b>	<b>81</b>
4.1 Priprava vhodnih podatkov .....	81
4.2 Izračuni in rezultati.....	81
4.3 Primerjava rezultatov .....	83

5	ZAKLJUČEK .....	86
	VIRI.....	88

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Zastoj na primorski avtocesti	1
Slika 2:	Hidravlična shema usedalnika – lovilca olj (Rismal, 2004, str. 41)	26
Slika 3:	Shema zadrževalnega bazena s prelivom visokih voda (Rismal, 2004, str. 27)	31
Slika 4:	Shema grobega filtra (Rismal, 2004, str. 28)	34
Slika 5:	Shema infiltracijskega polja (Rismal, 2004, str. 29)	35
Slika 6:	Zadrževalnik s funkcijo lovilca olj in usedalnika z infiltracijskim poljem (Rismal, 2004, str. 33)	37
Slika 7:	Skica zadrževalnika s precejalnim dnom (Rismal, 2004, str. 36)	38
Slika 8:	Bioponikovalnik (HRM, 2011, str. 5-118)	41
Slika 9:	Ponikovalnik (HRM, 2011, str. 5-123)	42
Slika 10:	Ponikovalni jarek (HRM, 2011, str. 5-130)	42
Slika 11:	Ponikovalni rezervoar (HRM, 2011, str. 5-140)	43
Slika 12:	Poraščena filtrska brežina (HRM, 2011, str. 5-29)	43
Slika 13:	Biofiltracijski kanal (HRM, 2011, str. 5-40)	44
Slika 14:	Vlažen biofiltracijski kanal (HRM, 2011, str. 5-58)	44
Slika 15:	Biofiltracijski kanal z neprekinjenim dotokom (HRM, 2011, str. 5-81)	45
Slika 16:	Kombinirani filter (HRM, 2011, str. 5-85)	45
Slika 17:	Biozadrževalno območje (HRM, 2011, str. 5-80)	46
Slika 18:	Mokri usedalnik (HRM, 2011, str. 5-82)	47
Slika 19:	Kombinirani mokri zadrževalnik/usedalnik (HRM, 2011, str. 5-84)	47
Slika 20:	Mokrišče z zadrževalnikom (HRM, 2011, str. 5-112)	48
Slika 21:	Umetno Mokrišče za čiščenje PV s cest (HRM, 2011, str. 5-100)	48
Slika 22:	Zadrževalna bariera (HRM, 2011, str. 5-115)	49
Slika 23:	Suhi vodnjak (HRM, 2011, str. 5-145)	50
Slika 24:	Zadrževalnik (HRM, 2011, str. 5-178)	51
Slika 25:	Shema lovilca olj (SWDM, 2009, str. 6-155)	54
Slika 26:	Skica za pomoč pri dimenzioniranju zadrževalnega bazena v obliki prisekanega stožca (sivo je obarvan volumen zadrževalnika)	56

Slika 27:	Skica za pomoč pri dimenzioniranju zadrževalnega bazena v obliki prisekane štiristrane piramide (UDDM, 2009, str. 8-14)	57
Slika 28:	Iztočni objekt za kontrolo iztoka (SWDM, 2009, str. 5-40)	58
Slika 29:	Dimenzioniranje odprtin	58
Slika 30:	Skica izrednega – sekundarnega preлива (SWDM, 2009, str. 5-30)	59
Slika 31:	Shema tipičnega zadrževalnika poljubne oblike (SWDM, 2009, str. 5-26)	60
Slika 32:	Prerez skozi iztočni objekt (SWDM, 2009, str. 5-27)	60
Slika 33:	Razporejevalnik dotoka (SWDM, 2009, str. 6-36)	64
Slika 34:	Skica peščenega filtra poljubne oblike (SWDM, 2009, str. 6-119)	65
Slika 35:	Skica ponikovalnika z usedalnikom in prelivnimi ter iztočnimi objekti (SWDM, 2009, str. 5-67 )	67
Slika 36:	Avtocestno omrežje v Sloveniji leta 2012	69
Slika 37:	Načrtovana 3., 3.a in 4. razvojna os v RS (Ficko, 2010, str. 225 )	69
Slika 38:	Avtocestno omrežje v ZDA	71
Slika 39:	Hidrogeološka karta Slovenije	72
Slika 40:	Povprečna letna količina padavin v Sloveniji za obdobje 1971-2000	73
Slika 41:	Povprečna letna količina padavin v ZDA za obdobje 1971–2000	75

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Delitev in kategorizacija javnih cest	4
Preglednica 2:	Prikaz cest, ki zagotavljajo posamezno prometno funkcijo	4
Preglednica 3:	Delitev cest po prometni funkciji v ZDA	5
Preglednica 4:	Mejne vrednosti za odpadno padavinsko vodo s cest za Slovenijo (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest, 2005, str. 5)	7
Preglednica 5:	Maksimalne dovoljene vrednosti parametrov v padavinski odpadni vodi s cest za Washington (WSDOT NPDES, 2009, str. 57)	10
Preglednica 6:	Maksimalne dovoljene vrednosti parametrov v sedimentih padavinske odpadne vode s cest za Washington (WSDOT NPDES, 2009, str. 58)	11
Preglednica 7:	Prikaz izvora onesnaževal padavinske vode s cest (Dawson, (ur.), 2008, str. 110)	17
Preglednica 8:	Poroznosti grobega filtra (Rismal, 2004, str. 28)	34
Preglednica 9:	Specifikacije filtrskega peska (SWDM, 2009, str. 6-113)	61
Preglednica 10:	Tipski prečni profil avtoceste v Sloveniji (Pravilnik o projektiranju cest, 2005)	70
Preglednica 11:	Padavinski podatki v l/(s.ha) za Ljubljano (Sketelj, 1972, cit. po Kompare, 1996, str. 17)	74
Preglednica 12:	Izbira naprav, ko so sprejemnik tekoče vode (Rismal, 2004, str. 16)	76
Preglednica 13:	Izbira naprav, ko so sprejemnik stoječe vode: jezera, akumulacije, ribniki (Rismal, 2004, 17)	76
Preglednica 14:	Izbira naprav, ko je sprejemnik podtalnica (Rismal, 2004, 17)	77
Preglednica 15:	Izbira naprav, ko so sprejemnik kraška tla (Rismal, 2004, 18)	77
Preglednica 16:	Vhodni podatki	81
Preglednica 17:	Preglednica s površinami in prostorninami za usedalnik	83
Preglednica 18:	Preglednica s površinami in prostorninami za zadrževalnik	84
Preglednica 19:	Preglednica s površinami in prostorninami za grobi filter - SLO	85
Preglednica 20:	Preglednica s površinami in prostorninami za peščeni filter - ZDA	85
Preglednica 21:	Preglednica s površinami in prostorninami za ponikovalnik	85

## **KAZALO GRAFOV**

Graf 1: Določitev faktorja turbulence (SWDM, 2009)

53

## UPORABLJENE KRATICE, OKRAJŠAVE IN PRETVORBA ENOT

Kratica	Slovenski izraz	Angleški izraz
AC	Avtocesta	Highway
BMP	Najboljše prakse ravnanja	Best Management Practices
CWA	Zakon o čisti vodi	Clean Water Act
EOV	Enota osebnih vozil	/
FHWA	Zvezna agencija za avtoceste	Federal Highway Administration
HM	Priročnik za hidravliko	Hdraulycs Manual
HRM	Priročnik za odtoke vode z avtocest	Highway Runoff Manual
NHS	Nacionalni sistem avtocest	National Highway System
NPDES	Nacionalni program omejitve onesnaženih odtokov	National Pollutant Discharge and Elimination System
PGIS	Neprepustne površine na katerih nastaja onesnaženje	Pollution Generating Impervious Surface
PLDP	Povprečni letni dnevni promet	/
PV	Padavinska voda	/
RČN	Rastlinska čistilna naprava	/
SWDM	Priročnik za dimenzioniranje odvodnje površinske vode	Surface Water Design Manual
SWMMEW	Priročnik za ravnanje s padavinskimi vodami v vzhodnem Washingtonu	Stormwater Management Manual for Eastern Washington
SWMMWW	Priročnik za ravnanje s padavinskimi vodami v zahodnem Washingtonu	Stormwater Management Manual for Western Washington
TMDL	Največja dnevna obremenitev	Total Maximum Daily Load
TPP	Tipski prečni profil	/
UDDM	Priročnik za dimenzioniranje urbane odvodnje	Urban Drainage Design Manual
UIC	Podzemni ponikovalni objekti	Underground Injection control facilities
WSDOT	Washingtonsko ministrstvo za promet	Washington State Department of Transportation

### OKRAJŠAVE:

**Navodila projektantom** - Navodila projektantom za izdelavo tehnične dokumentacije – odvodnjavanje meteornih voda iz avtocestnih površin

#### AMERIŠKE IN SLOVENSKE ENOTE

Slovenske enote		Ameriške enote	
Vrednost	Oznaka	Vrednost	Oznake
1	m	3,28	ft
1	m	39,37	inch
1	m/s	3,28	ft/s
1	ha	2,47	acre

Vse količine, ki so vzete iz ameriških priročnikov, so v diplomski nalogi uporabljene v njihovih enotah. Prav tako so v njihovih enotah narejeni izračuni. Rezultati so nato preračunani v SI enote.



## 1 UVOD

Voda je osnovni vir življenja, nujno potreben in nenadomestljiv za vsa živa bitja na Zemlji, a le pod pogojem, da ni onesnažena. Umazana voda, ki vsebuje snovi, nastale in odvržene zaradi človeških dejavnosti, ne zadostuje zahtevam živih bitij in ni primerna za naravne procese, v katerih mora sodelovati.

Človeštvo v dobi industrijske revolucije ni razmišljalo o tem, kakšno škodo povzroča, v želji po napredku in razvoju, naravi in s tem tudi vodi. Če pa se ozremo na sedanje stanje na tem področju, lahko z velikim veseljem ugotovimo, da je prišlo do ozaveščanja in da se je v zadnjih desetletjih na tem področju veliko premaknilo, predvsem v razvitejših delih Sveta. Prav je tako, saj kljub temu, da voda ima samočistilno sposobnost, človeštvo ne more tega izkoriščati v nedogled in za prevelike količine nevarnih snovi.

Na Svetu je zelo veliko držav, kjer ni zadostnih količin čiste, pitne vode. Slovenija je bogata z vodami. Lahko rečemo, da imamo srečo, kajti iz večine vodovodov teče voda, ki je pitna. Marsikje se še najde tudi naraven izvir vode, po pitju katere ne bomo pristali v bolnišnici. To moramo varovati kot punčico svojega očesa, saj lahko pride čas, ko se bodo sedanje aktualne vojne za nafto spreobrile v vojne za pitno vodo.

Poleg industrije in kmetijstva so pomembni onesnaževalci vode tudi prometnice. Nekomu se morda to zdi nekoliko nenavadno, pa vendar je še kako resnično. Spomnim se namreč prijateljevega začudenja nad dejstvom, da vodo, ki teče s ceste, odvajamo načrtovano in premišljeno. Pričujoča diplomska naloga se ukvarja ravno s problematiko odvodnjavanja javnih cest, s poudarkom na dimenzioniranju objektov, kjer se nato delno odvija čiščenje PV.



**Slika 1:** Zastoj na primorski avtocesti

## **1.1 Vsebina, namen in cilji diplomske naloge**

V prvi vrsti bi rad skozi to nalogo spoznal postopke in ozadje odvodnje, predvsem pa ravnanja s PV s cest. Zanima me, kako je to urejeno v Sloveniji, glede na to, da še ni minilo veliko let od pospešene gradnje slovenskih avtocest.

Ali je dovolj primerne literature in jasnih navodil s tega področja v slovenskem jeziku? Je morda tuja literatura primernejša za uporabo v Sloveniji, kakor ta, ki se uporablja sedaj? Kakšni so postopki in predpostavke pri načrtovanju tako kompleksnega projekta, kot je načrtovanje odvodnje, in ravnanja s PV s cest?

Vse to so vprašanja, ki se mi porajajo in na katera bom skušal v tej diplomski nalogi najti čim boljše odgovore, tako da bom pregledal slovensko in ameriško zakonodajo ter priporočila s tega področja, nazadnje pa še po priporočilih iz obeh držav tudi dimenzioniral osnovne parametre objektov za ravnanje s PV s cest ter jih med seboj primerjal.

Upam, da bo moj izdelek navdušil še koga za to področje in vsaj malo osvetlil to perečo, a širši javnosti slabo znano temo.

## 2 STANJE TEHNIKE, PREDPISI IN SMERNICE

### 2.1 Pomembni izrazi

Da lahko v stroki pri gradnji, vzdrževanju in upravljanju cest vsi sodelujoči nemoteno komunicirajo in se pri tem seveda tudi razumejo, je potrebno jasno definirati posamezne pojme. Vsekakor morajo tudi načrtovalci odvodnjavanja in čiščenja odpadne padavinske vode s cest poznati posamezne elemente cest, kategorizacijo cest, njihovo delitev ipd.

V Sloveniji poznamo dva dokumenta, ki obravnavata tudi posamezne izraze, ki se pojavljajo v prometni stroki. To sta Zakon o cestah (ZCes-1) in Pravilnik o projektiranju cest. V Zakonu o cestah so pojmi, pomembni za to diplomsko nalogo, v 2. členu takole definirani (ZCes-1, 2010):

- Avtocesta je državna cesta, ki je namenjena daljinskemu prometu motornih vozil in je označena s predpisano prometno signalizacijo, njen sestavni del so tudi priključki nanjo in servisne prometne površine;
- Brežina ceste je zgrajena nagnjena površina zemljišča ob cestišču do izteka v ravno površino;
- Cesta je površina, omejena z mejo cestnega sveta, ki jo lahko uporabljajo vsi ali pa le določeni udeleženci v prometu pod pogoji, določenimi z zakonom in drugimi predpisi;
- Cestni svet je zemljišče, katerega mejo, na podlagi predpisov o projektiranju javnih cest, določajo linije med skrajnimi točkami prečnega in vzdolžnega profila cestnega telesa, vključno z napravami za odvodnjavanje. Meja cestnega sveta poteka največ 2 m od linij skrajnih točk, vključno z napravami za odvodnjavanje, pri avtocestah največ 2 m od varovalne ograje, pri predorih pa največ 5 m od stika predorske cevi z brežino, merjeno pravokotno na os ceste;
- Cestno telo je del javne ceste, ki ga sestavlja cestišče z nasipi in vkopi;
- Cestišče je del javne ceste, ki ga sestavljajo vozišče, odstavní in ločilni pasovi, kolesarske steze, pločniki, bankine, naprave za odvodnjavanje, če so tik ob vozišču, ter zračni prostor v višini 7 m, merjeno od točke na osi vozišča;
- Naprave za odvodnjavanje javne ceste so naprave za zbiranje, odvajanje oziroma preusmerjanje površinske in talne vode (odvodni jarki, koritnice, mulde, plitve in globoke drenaže, jaški, prepusti, kanalizacijski vodi in naprave, vodnjaki, ponikalnice in podobno);
- Vozišče je del cestišča, ki ima eno ali več smernih vozišč, namenjeno je prometu vozil, pod pogoji, določenimi s predpisi o pravilih cestnega prometa, pa tudi pešcem in drugim udeležencem cestnega prometa, če s prometno signalizacijo ni določeno drugače.

V istem zakonu sta v 39. členu predpisani tudi delitev in kategorizacija javnih cest.

### Preglednica 1: Delitev in kategorizacija javnih cest

Delitev glede na uporabo	Delitev glede na potek v prostoru	Javne ceste	Delitev po lastništvu	Kategorizacija državnih in občinskih cest
za motorna vozila	v naselju		državne	avtoceste (AC)
za druge vrste prometa	izven naselja			hitre ceste (HC)
				glavne ceste I., II. in III. reda (GC)
		regionalne ceste I., II. in III. reda (RC)		
za kolesarje		državne kolesarske poti		
		občinske	lokalne ceste (LC)	
			javne poti (JP)	
			občinske kolesarske poti	

V pravilniku o projektiranju cest (2005) so ceste razvrščene glede na njihovo prometno funkcijo:

- Daljinske ceste (DC) se navezujejo na ostale daljinske ceste v državi in v tujini ter medsebojno povezujejo regionalna središča z višjim prometnim nivojem storitev; priključevanja ali križanja z ostalimi cestami ali z železniško progo so izven nivojska.
- Povezovalne ceste (PC) se navezujejo na daljinsko cesto (DC) ter medsebojno povezujejo regionalna središča z naselji in mestnimi predeli.
- Zbirne ceste (ZC) povezujejo povezovalne ceste (PC) z občinskim središči, manjša naselja ali mestne četrti in zagotavljajo povezave z dostopnimi cestami.
- Dostopne ceste (DP) povezujejo manjša naselja in primestna naselja z občinskimi ali mestnimi središči in zagotavljajo povezave z zbirnimi cestami (ZC).

Nadalje pravilnik določi vrste cest, ki zagotavljajo posamezno prometno funkcijo.

### Preglednica 2: prikaz cest, ki zagotavljajo posamezno prometno funkcijo

Funkcija ceste	Vrsta ceste
daljinske c.	avtoceste, hitre ceste, glavne ceste
povezovalne c.	glavne ceste, regionalne ceste
zbirne c.	regionalne ceste, lokalne ceste
dostopne c.	lokalne ceste, javne poti

Avtoceste in hitre ceste, katerih odvodnjavanje je predmet te diplomske naloge, so torej po prometni funkciji daljinske ceste.

V ZDA se uporablja izraz »highway«, ki, gledano z vidika njihove zakonodaje, včasih pomeni katerokoli javno pot, ki je namenjena potovanju (glavne avtoceste, ceste, pešpoti, steze, kolovozi, tudi

plovne poti ...), kljub temu pa v nekem uporabno praktičnem smislu izraz »highway« predstavlja večjo, pomembnejšo in dobro zgrajeno cesto, ki lahko prenaša velike prometne obremenitve.<sup>1</sup>

Federal highway administration (FHWA) (Zvezna uprava za avtoceste) je v ZDA definirala delitev cest in kriterije, na podlagi katerih se ceste razdelijo v različne skupine po prometnih funkcijah.

**Preglednica 3: Delitev cest po prometni funkciji v ZDA**

Vse ceste (All roads)				
arterial			non-arterial	
glavne prometne žile (principal arterial)			zbirne (collector)	
manjše prometne žile (minor arterial)			lokalne (local)	
popolnoma nadzorovane (full control)		delno ali nenadzorovane (partial/uncontrolled)	glavne zbirne (major collector)	manjše zbirne (minor collector)
meddržavne (interstate)	ostale avtoceste in hitre ceste (other freeways & expressways)	druge (other)		

## 2.2 Predpisi in pravila stroke

### 2.2.1 Slovenija

Slovenija se kot članica Evropske unije (EU) mora držati njenih priporočil in navodil. Direktiva je nekakšen predpis EU, ki določa cilje; kako se bodo ti cilji uresničevali v posamezni državi članici pa je odvisno od nje same. Vsaka država članica, kot tudi Slovenija, mora direktive, prenesti v svojo zakonodajo in jo prilagoditi zahtevam direktive. Šele takrat veljajo predpisi direktive za državljane posamezne članice. Nekaj takih evropskih predpisov direktiv (npr. Direktiva o vodah ipd.) so bile prenesene v Slovenski pravni red skozi različne zakone, kot je recimo Zakon o vodah idr. Ti zakoni so podlaga uredbam, ki jih je, med drugim, potrebno upoštevati pri načrtovanju odvodnjavanja in čiščenja odpadne vode z avtocest.

Primerno se mi zdi omeniti tri podzakonske akte, ki pri nas urejajo odvodnjavanje in čiščenje odpadnih voda s cest:

<sup>1</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Highway> (pridobljeno 15. 11. 2013)

1. Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (na podlagi Zakona o varstvu okolja),
2. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (na podlagi Zakona o varstvu okolja),
3. Pravilnik o projektiranju cest (na podlagi Zakona o cestah).

Prva se področja odvodnje cest dotakne v 17. členu - ukrepi za padavinsko odpadno vodo, kjer v drugem odstavku pravi: »Padavinsko odpadno vodo, ki odteka z utrjenih, tlakovanih ali z drugim materialom prekritih površin objektov in je onesnažena z usedljivimi snovmi, mora upravljavec teh objektov zajeti in mehansko obdelati v: ... usedalniku in lovilniku olj ali čistilni napravi padavinske odpadne vode, če padavinsko odpadno vodo odvaja neposredno ali posredno v vode ter gre za: ... javne ceste in tako določa predpis, ki ureja emisijo snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest.« (Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo, 2012, str. 15). Nadalje v tretjem odstavku istega člena uredba narekuje: »Upravljavec javne ceste, določen v skladu s predpisi, ki urejajo javne ceste, mora zagotoviti gradnjo zadrževalnih objektov, ki so dimenzionirani na sposobnost zadrževanja padavinskih odpadnih voda, ki se odvajajo v javno kanalizacijo, na dopusten iztok v komunalno ali skupno čistilno napravo.« (Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo, 2012, str. 15). V tem odstavku predpis omenja odvod odpadne padavinske vode v javno kanalizacijo, vendar v slovenskih Navodilih projektantom ta možnost ni omenjena. To ni nič nenavadnega, predpis namreč govori o vseh javnih cestah, medtem ko so Navodila projektantom bila narejena izključno za namene projektiranja avtocest. V Sloveniji torej vode iz avtocest ne odvajamo v javno kanalizacijo, jo pa tja lahko odvajamo iz ostalih javnih cest, še posebej je to neizogibno na urbaniziranih območjih.

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (2005) se pa nekoliko podrobneje dotika obravnavane tematike. Predpisano je, da mora biti zagotovljeno zajetje ločeno od zalednih vod, ki nastajajo na območju javne ceste, v zadrževalniku padavinske odpadne vode, za naslednje primere (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest, 2005, str. 2):

- javne ceste, ki prečkajo medzrnske in razpoklinske vodonosnike, če je dnevno povprečje pretoka vozil večje od 12.000 EOVD/dan,
- javne ceste, ki prečkajo kraške vodonosnike, če je dnevno povprečje pretoka vozil večje od 6.000 EOVD/dan,
- javne ceste, ki prečkajo območja kamnin s povprečno propustnostjo za vodo manj kot  $10^{-6}$  m/s, če je dnevno povprečje pretoka vozil večje od 40.000 EOVD/dan, ali
- javne ceste, s katere se padavinska odpadna voda odvaja neposredno v vodotok ali v morje, če je dnevno povprečje pretoka vozil večje od 12.000 EOVD/dan.

EOV pomeni ekvivalent osebnih vozil oz. dnevni povprečni pretok motornih vozil in ga izračunamo po naslednji enačbi (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode z javnih cest, 2005):

$$EOV = V(1) + N(2) \cdot V(2) + N(3) \cdot V(3) \quad (1)$$

$V(1)$  ... dnevni povprečni pretok osebnih motornih vozil

$V(2)$  ... dnevni povprečni pretok motornih vozil s skupno maso med 3,5 t in 7,5 t

$N(2)$  ... utež za tovorna motorna vozila s skupno maso med 3,5 t in 7,5 t ( $N(2) = 2$ )

$V(3)$  ... dnevni povprečni pretok motornih vozil s skupno maso nad 7,5 t

$N(3)$  ... utež za tovorna motorna vozila s skupno maso nad 7,5 t ( $N(2) = 3,5$ )

Naj na tem mestu omenim, da EOV ni enako kot PLDP, ki predstavlja povprečni letni dnevni promet. Za Slovenijo velja  $EOV = 1,18 \cdot PLDP$ .<sup>2</sup>

Potrebno je izvajati meritve na iztoku iz zadrževalnika in če vrednosti onesnaževal presegajo vrednosti, prikazane v preglednici 5, se morajo izgraditi čistilne naprave, ki se dimenzionirajo na kritični naliv (intenzivnost  $q_{krit} = 15$  l/s.ha in čas trajanja je 15 min).

Zajetje in čiščenje odpadne vode je potrebno zagotoviti, za padavinsko odpadno vodo s cestišč, ki prečkajo vodovarstveno območje, v skladu s predpisi za to območje. Padavinska voda iz čistilnih objektov se ne sme odvajati neposredno v podzemne vode, v vode, ki niso vodotoki, v vode na ožjem in najožjem vodovarstvenem območju zajetja pitne vode iz površinskih voda in v vode na najožjih vodovarstvenih območjih zajetja pitne vode iz podzemnih voda (Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v javno kanalizacijo in vode, 2012).

**Preglednica 4: Mejne vrednosti za odpadno padavinsko vodo s cest za Slovenijo (Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest, 2005, str. 5)**

Parameter	Izražen kot	Enota	Mejne vrednosti	
			za odvajanje posredno ali neposredno v vode	za odvajanje v javno kanalizacijo
<b>I. Splošni parametri</b>				
1. Neraztopljen snovi		mg/l	80/160 ( a )	( b )
2. Usedljive snovi		ml/l	0,5/10 ( a )	10
<b>II. Anorganski parametri</b>				
3. Kadmij *	Cd	mg/l	0,1	0,1

Se nadaljuje ...

<sup>2</sup> [http://arhiv.mm.gov.si/mop/javno/dc\\_med\\_acA1sk\\_meja\\_ra/sv/3%20-%20Gradbeno-tehnicni%20elaborat/V-25%20Hidrogeolo%C5%A1ko%20poro%C4%8Dilo/PORO%C4%8CULO-hidro.pdf](http://arhiv.mm.gov.si/mop/javno/dc_med_acA1sk_meja_ra/sv/3%20-%20Gradbeno-tehnicni%20elaborat/V-25%20Hidrogeolo%C5%A1ko%20poro%C4%8Dilo/PORO%C4%8CULO-hidro.pdf) (Pridobljeno 18. 12. 2013)

...nadaljevanje preglednice 4

4. Baker *	Cu	mg/l	0,5	0,5
5. Cink *	Zn	mg/l	2	2
6. Celotni krom *	Cr	mg/l	0,5	0,5
7. Nikelj *	Ni	mg/l	0,5	0,5
<b>IV. Organski parametri</b>				
8. Celotni ogljikovodiki * (mineralna olja)		mg/l	10/50 ( a )	20
9. Lahkohlapni aromatski ogljikovodiki * - BTX ( c )		mg/l	0,1	1
10. Adsorbiljivi organski halogeni * - AOX	Cl	mg/l	0,5	0,5
11. Fenoli *	C <sub>6</sub> H 5OH	mg/l	0,1	10
12. PAH * ( d )		mg/l	0,00006	-

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

Oznake:

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

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

( c ) ... vsota benzena, toluena in ksilena,

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

Za merjenje emisij snovi na iztoku iz zadrževalnika in čistilne naprave je predpisano, koliko meritev je potrebno opraviti in v katerem delu leta se opravijo meritve, glede na velikost prispevne površine. Meritve se izvajajo v skladu z letnim programom, izdanim s strani ministrstva za promet in potrjenim s strani ministrstva za okolje. Program predvideva mesta, način, pogostost vzorčenja, obseg analiz itd.

Pravilnik o projektiranju cest (2005) posveča pozornost odvodnjavanju cest v 43. členu, kjer pravi, da je dimenzioniranje elementov odvodnjavanja odvisno od tega, kakšen naliv se upošteva v hidravličnem računu. Za daljinske ceste pri projektni hitrosti 80–130 km/h se upošteva jakost naliva 350 l/s.ha s povratno dobo 25 let.

## 2.2.2 Združene države Amerike

### 2.2.2.1 Splošno

V ZDA je zakonodaja s tega področja precej bolj obdelana, kakor v Sloveniji. Če pogledamo ZDA kot celoto, se pravi kot skupek 50 zveznih držav, lahko to za lažjo predstavo obravnavamo podobno kot EU. Področja odvodnjavanja se v ZDA na zvezni ravni (se pravi na ravni celotne ZDA) v prvi vrsti



loteva zvezni zakon o čisti vodi (Clean Water Act, CWA). Ta zakon je nastal že daljnega leta 1948, vendar je doživel korenite spremembe v letu 1972, takrat je postal pravzaprav »... prvi strog zakon, ki prepoveduje onesnažene odtoke v površinske vode brez dovoljenja.« (Urban Stormwater Management in the United States, 2008, str. 40). Poglavitni cilj tega zakona je preprečiti onesnažene odtoke v površinske vode. To velja za vse onesnažene odtoke, tako s cest, kot z ostalih površin, kjer pride do onesnaženja padavinske vode (urbanizirana področja, gradbišča, industrijske površine, itd.). Ta zakon, podobno kot direktive v EU, ne določa nekih specifičnih ukrepov, ki bi jih zvezne države morale izvajati na svojem ozemlju, in način, kako bodo države to dosegle, je odvisen od njih samih. Zakon iz leta 1972 je seveda upošteval razmere, ki so bile takrat aktualne, zato so ga do danes večkrat dopolnili, sodobnim razmeram primerno.

Agencija za zaščito okolja (Environmental Protection Agency, EPA) je na podlagi CWA vključila padavinske odtoke v nacionalni program odstranitve onesnaženih odtokov (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES). Če se osredotočimo na temo te diplomske naloge, morajo po NPDES programu upravljavci cest dobiti ustrezno dovoljenje za izpust odpadne padavinske vode. Ker je »... padavinski odtok spremenljiv in specifičen glede na njegovo kakovost in količino ...« (Urban Stormwater Management in the United States, 2008, str. 43), ni predpisanih omejitev na zvezni ravni. Vlada je sicer naročila, naj EPA pripravi primere dobre prakse pri tej problematiki, a so ugotovili, da je pri vsakem problemu neka specifika, zato EPA sicer izdaja nekakšna priporočila in omejitve, vendar pa pušča pri urejanju padavinskega odtoka posamezni državi dokaj proste roke. Dovoljenje za izpuste izda vsaka zvezna država svoje in so v njem predpisane minimalne zahteve, vendar pa niso določene kar na splošno, ampak se nanašajo na vsako vodno telo - odvodnik padavinske vode posebej.

Vsaka zvezna država ima določene standarde kvalitete voda (Water quality standards) za površinske vode, za podzemne vode itd. V teh standardih je določeno, kakšne so lahko maksimalne vsebnosti nevarnih snovi.

### **2.2.2.1 Zvezna država Washington**

Za lažje razumevanje razmeroma zapletene, a dokaj stroge in natančne ameriške zakonodaje bom predstavil primer zvezne države Washington. Revised Code of Washington (RCW) je zbirka vseh trenutno veljavnih zakonov. Tam najdemo v poglavju 90.48 RCW zakon o omejevanju onesnaženja voda (Water pollution control act), ki velja seveda samo v zvezni državi Washington. Na podlagi tega zakona ter zakona o čisti vodi (CWA) je ministrstvo za okolje zvezne države Washington podelilo ministrstvu za promet zvezne države Washington (Washington State Department of Transportation, WSDOT) Dovoljenje za nacionalni program odstranitve onesnaženih pretokov za komunalne padavinske vode (v nadaljevanju Dovoljenje) (National pollutant discharge and elimination system

and state waste discharge permit for municipal stormwater, WSDOT NPDES). »To Dovoljenje ureja odvajanje meteorne odpadne vode z državnih cest in iz sorodnih naprav ter prispeva k ureditvi izpustov iz ločenih meteornih kanalizacij, ki so v lasti ali upravljanju Washingtonskega ministrstva za promet.« (WSDOT NPDES, 2009, str. 5).

Zapisano je, da »... Dovoljenje ne dopušča izpustov, ki bi kršili standarde za kvaliteto površinske vode, standarde za kvaliteto podzemnih voda ali standarde za ravnanje s sedimenti.« (WSDOT NPDES, 2009, str. 6). Te standarde najdemo v Washington Administrative Code (WAC), kjer so zbrana vsa pravila in predpisi posameznih agencij (poglavje 173-201A WAC (Water quality standards for surface waters of the state of Washington), v poglavju 173-200 WAC (Water quality standards for groundwaters waters of the state of Washington) in v poglavju 173-204 WAC (Sediment Management Standards).

V standardih za kvaliteto površinskih voda najdemo omejitve toksičnih snovi v vodah, ki pa niso podane splošno numerično, ampak v obliki enačb, da se potem vrednosti izračunajo za določeno vodno telo, medtem ko so recimo za kvaliteto podzemnih voda omejitve podane v numerični obliki, je pa hkrati prikazana tudi enačba, s katero so te kriterije določili.

WSDOT NPDES v nadaljevanju narekuje, da mora biti zagotovljena skladnost z Maksimalnimi dnevnimi obremenitvami (Total Maximum Daily Load, TMDL), odobrenimi s strani agencije EPA. TMDL »je izračun največje količine onesnažila, ki ga lahko vodno telo sprejema in še vedno zadovolji standardom za kvaliteto vode ...« (WSDOT NPDES, 2009, str. 37). TMDL določi zvezna država za vsako vodno telo posebej (za nekatere vode) in ga odobri EPA. V primeru, da država tega ne stori, za to poskrbi v celoti EPA.

WSDOT NPDES določa tudi, da mora WSDOT opravljati meritve na svojih sistemih za odvajanje, kakšne morajo biti te meritve (kje, koliko krat, katere metode, ...), katere snovi je potrebno spremljati in katere metode pri tem uporabljati. Predpisane so meritve tako za odtok iz naprav, kot tudi za sedimente. Preglednici 6 in 7 prikazujeta, za katere snovi se opravljajo meritve in kakšne so maksimalne dovoljene vrednosti.

**Preglednica 5: Maksimalne dovoljene vrednosti parametrov v padavinski odpadni vodi s cest za Washington (WSDOT NPDES, 2009, str. 57)**

Analizirana snov	Maksimalna dovoljena vsebnost v vzorcu vode
Skupne suspendirane trdne snovi	1,0 mg/l
Kloridi	0,2 mg/l
Porazdelitev velikosti delcev	NA

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 5

pH	0,2 enoti
Trdota (CaCO <sub>3</sub> )	1,0 mg/l
Metilen modro aktivirane snovi (MBAS)	0,025 mg/l
Fekalne koliformne bakterije	2 min., 2E6 max
Celotni fosfor	0,01 mg P/l
Ortofosfati	0,01 mg P/l
Celotni kjeldalov dušik	0,5 mg/l
Nitrati/nitriti	0,01 mg/l
Celotni nadomestljivi cink	5,0 µg/l
Raztopljeni cink	1,0 µg/l
Celotni nadomestljivi svinec	0,1 µg/l
Raztopljeni svinec	0,1 µg/l
Celotni nadomestljivi baker	0,1 µg/l
Raztopljeni baker	0,1 µg/l
Celotni nadomestljivi kadmij	0,2 µg/l
Raztopljeni kadmij	0,1 µg/l
PAH	0,1 µg/l
Ftalati	0,1 µg/l
Herbicidi	0,01–1,0 µg/l
Skupni naftni ogljikovodiki	0,25–0,50 mg/l

**Preglednica 6: Maksimalne dovoljene vrednosti parametrov v sedimentih padavinske odpadne vodi s cest za Washington (WSDOT NPDES, 2009, str. 58)**

Analizirana snov	Maksimalna dovoljena vsebnost v vzorcu vode
Skupne trdne snovi (%)	NA
Skupne hlapljive trdne snovi	0,10%
Skupni organski ogljik	0,10%
Velikost delcev	NA
Celotni nadomestljivi cink	5,0 µg/l
Celotni nadomestljivi svinec	0,1 µg/l
Celotni nadomestljivi baker	0,1 µg/l
Celotni nadomestljivi kadmij	0,2 µg/l
PAH	70 µg/kg suhe snovi
Ftalati	70 µg/kg suhe snovi
Fenoli	70 µg/kg suhe snovi
NWTPH-Dx **	25,0–100,0 mg/kg

\*\*NWTPH-Dx: »Northwest Total Petroleum Hydrocarbon Analytical Method« (Severnozahodna analitična metoda skupnih naftnih ogljikovodikov). Kvalitativna in kvantitativna metoda za delno hlapne naftne derivate, kot so goriva, kerozin, dizelska olja, hidravlične tekočine, mineralna olja, mazalna olja in kurilna olja.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.deq.state.or.us/lq/tanks/lust/nwpetroleum.htm> (Pridobljeno 23. 12. 2013.)

### **2.2.2.3 Smernice v Priročniku za odtoke vode z avtocest (*Highway Runoff Manual, HRM*) v zvezni državi Washington**

Osnovni priročnik za načrtovanje odvodnje in ravnanja s padavinskimi vodami s cest je, v zvezni državi Washington, Priročnik za odtoke vode z avtocest (*Highway Runoff Manual, HRM*). To je obsežna literatura, ki jo je izdalo Washingtonsko ministrstvo za promet, in vsebuje vse ključne zahteve ter priporočila v skladu z zakonodajo. V tem priročniku se nekoliko razlikujejo priporočila in zahteve za vzhodni in zahodni Washington. Kjer se navodila razlikujejo se bom omejil na vzhodni Washington.

V poglavju 3 tega priročnika je podanih 9 minimalnih zahtev, ki se uporabljajo pri načrtovanju odvodnje in pri ravnanju s PV s cest. »Izjemno pomembno je, da si vzamemo čas za popolno razumevanje teh 9 minimalnih zahtev, ko sprejemamo odločitve v zvezi z ravnanjem s PV« (*HRM, 2011, str. 3-1*). Minimalne zahteve so sledeče:

1. Načrtovanje ravnanja s PV
2. Preventiva pri onesnaževanju vode na gradbiščih
3. Omejevanje izvora onesnažil
4. Zagotavljanje naravnih vzorcev odvodnjavanja
5. Čiščenje odtoka
6. Omejevanje/zadrževanje odtoka
7. Zaščita močvirij
8. Vključevanje vzdrževanja/planiranja povodij v načrte ravnanja s PV
9. Vzdrževanje in upravljanje

Od projekta je odvisno, ali je potrebno zadostiti vsem minimalnim zahtevam ali samo nekaterim izmed naštetih. Najobsežnejši zahtevi sta 5 in 6, ki sta tudi pomembnejši v zvezi s to diplomsko nalogo, zato bom ti dve zahtevi predstavil nekoliko podrobneje, ostale pa bom samo na kratko opisal v nadaljevanju. (*Opisi so povzeti po HRM, 2011*)

#### **1. Načrtovanje ravnanja s PV**

Govori o tem, da je pomembno zagotavljanje preventive pri onesnaževanju vode že na gradbiščih in je potrebno načrtovati tudi permanentno ravnanje s PV - to so tiste, ki bodo nastajale skozi celotno življenjsko dobo ceste.

#### **2. Preventiva pri onesnaževanju vode na gradbiščih**

Zagotoviti je potrebno začasen nadzor nad erozijo in sedimenti (TESC plan) ter načrtovati preprečevanje razlitij nevarnih snovi in ukrepe v primeru razlitij teh snovi (SPCC plan).

### 3. Omejevanje izvora onesnažil

Ta zahteva pravi, da je potrebno uporabiti vse znane in razpoložljive metode najboljšega upravljanja za omejevanje izvora onesnažil (source control BMPs) ter jih dimenzionirati v skladu s priročnikom HRM. Te metode so namenjene preprečevanju stika onesnažil z vodo.

### 4. Zagotavljanje naravnega odvodnjavanja

Kjer je le možno, je potrebno zagotavljati naravne vzorce odvodnje, odtok padavinskih voda ne sme povzročati dolvodne erozije, iztok iz naprav mora biti primerno urejen, po potrebi opremljen s sistemi za disipacijo energije.

### 5. Čiščenje odtoka

Čiščenje odtoka mora biti zagotovljeno za:

- Vse nove neprepustne površine (pri novih projektih), kjer nastaja onesnaževanje (pollution generating impervious surface, PGIS) in so večje od 5.000 ft<sup>2</sup>.
- Vse nove neprepustne površine (PGIS) (pri projektih, kjer so že obstoječe neprepustne površine), večje od 5.000 ft<sup>2</sup>, pri čemer morajo nove površine predstavljati več kot 50 % obstoječih površin. Če nove površine ne predstavljajo več kot 50 % obstoječih, a je efektivna površina<sup>4</sup> večja od 5.000 ft<sup>2</sup>, moramo prav tako zadostiti minimalni zahtevi št. 5.

Obstajajo tudi izjeme, ki pa imajo manjšo težo kot zahteve TMDL oz. zahteve v projektih, povezanih s TMDL. Čiščenje padavinske vode ni potrebno, če so površine namenjene zgolj pešcem in kolesarjem, torej so ločene od motornega prometa, se pravi, so to površine, kjer se onesnaženje iz vozil ne generira. Enako je pri projektih obnove cest, kjer se izvajajo preplastitve obstoječih neprepustnih površin, pri čemer imajo nove površine enako prepustnost/neprepustnost (seveda se smatra, da so bili potrebni objekti že narejeni s prvotno cesto). Čiščenja so izvzeti tudi odtoki, ki so speljani v podzemne ponikovalne naprave (underground injection control facilities, UIC), v primerih, da te naprave zagotavljajo zadostno čistilno sposobnost.

Osnovno čiščenje se zagotovi za območja, kjer odvodnjavamo na mestu v naravno okolje in odtok PV presega dovoljene vrednosti.

Odstranjevanje kovin iz PV je potrebno zagotoviti v primerih kot pri osnovnem čiščenju, pri cestah znotraj urbanih območij s PLDP  $\geq 7.500$ , pri cestah zunaj urbanih območij s PLDP  $\geq 1.500$  ter pri območjih, kjer je to zahtevano v planih TMDL.

---

<sup>4</sup> Pojem efektivna površina je podrobno razložen v HRM, kjer so tudi podane formule za izračun. Na kratko bi rekli, da je to celotna površina, s katere zberemo vodo in jo odvedemo v nek objekt. V izogib preobsežnosti te diplomske naloge, ne bom podajal natančne razlage tega pojma, saj ne igra večje vloge.

Odstranjevanje olj in maščob zagotavljamo v situacijah kot osnovno čiščenje, v križiščih cest s PLDP  $\geq 1.500$  s cestami s PLDP  $\geq 2.500$ , počivališčih z več kot 300 vozili na dan, pri objektih, kjer poteka vzdrževanje ali parkiranje več kot 25-ih vozil, ki so težja od 10 ton, ter v vzhodnem Washingtonu pri cestah s PLDP  $> 30.000$ .

Odstranjevanje fosforja zagotovimo enako kot pri osnovnem čiščenju ter na območjih, kjer je to zahtevano.

V priročniku HRM (2011) je podan seznam, kjer so navedena vodna telesa, za katere je dovolj zagotoviti samo osnovno čiščenje, brez ostalih faz. Kriterij za uvrstitev na ta seznam je pri rekah srednji letni pretok večji od  $1000 \text{ ft}^3/\text{s}$  in pri jezerih površina večja od 300 acre.

## **6. Omejevanje/zadrževanje odtoka**

Tej zahtevi moramo zadostiti v primerih, ko imamo opravka z odtokom v površinske vode, da preprečimo morebitno erozijo dolvodno v strugah rek ali potokov ter da s prevelikimi pretoki ne podremo naravnih ravnovesij ali povzročimo poplav dolvodno.

Tudi pri tej zahtevi so prisotne izjeme – ni vedno potrebno zadrževati odtoka pri odvajanju PV v površinske vode (denimo pri izpustih v nekatera mokrišča, v reke in jezera, ki so podana v tabeli v HRM ...).

Zadrževanje odtoka mora biti zagotovljeno za:

- Vse nove neprepustne površine (pri novih projektih), kjer nastaja onesnaževanje (PGIS - pollution-generating impervious surface) in so večje od  $5.000 \text{ ft}^2$ .
- Vse nove neprepustne površine (PGIS) (pri projektih, kjer so že obstoječe neprepustne površine), večje od  $5.000 \text{ ft}^2$ , pri čemer morajo nove površine predstavljati več kot 50 % starih površin. Če nove površine ne predstavljajo več kot 50 % starih, a je efektivna površina večja od  $10.000 \text{ ft}^2$ , moramo prav tako zadostiti minimalni zahtevi št. 6

## **7. Zaščita mokrišč**

Pri odvodnji v mokrišča je potrebno zagotoviti pogoje, ki jih mokrišče potrebuje za biološko ravnovesje. Naravnih mokrišč ne uporabljamo za čiščenje odtoka, niti naprav za čiščenje in zadrževanje odtoka ne gradimo v naravna mokrišča. Za postopke dimenzioniranja odvodnje v mokrišča se uporablja HRM (2011).

## **8. Vključevanje vzdrževanja/planiranja povodij v načrte ravnanja s PV**

Cilj te zahteve je, da se z interakcijo teh dveh »panog« (urejanja, načrtovanja povodij in ravnanja s PV) zagotovi celovite ukrepe za zaščito vodnih virov, torej, da ti dve področji ne izključujeta druga drugo, temveč se pri načrtovanju odvodnje PV s cest upošteva načrte urejanja povodij in obratno.

## **9. Vzdrževanje in upravljanje**

Že v samem načrtovanju in projektiranju naprav za odvodnjo PV je potrebno predvideti tudi vzdrževanje in ravnanje s temi napravami v času njihovega delovanja, da bodo primerno služile svojemu namenu.

### **2.3 Padavinska voda**

Voda, ki pade na zemeljsko površje, tam deloma izhlapi, nekaj je ponikne v zemljo, ostalo pa odteče po površju. Slednje imenujemo padavinski odtok. Količina vode, ki se pri nekih padavinah pojavi v padavinskem odtoku, je odvisna od več dejavnikov: predhodne namočenosti površja, obraščenosti, nagnjenosti, zatesnitve, ... Zadnji izmed omenjenih dejavnikov se neposredno dotika problematike, obravnavane v pričujoči nalogi. Ceste so namreč neprepustne površine in kot take zelo problematične za površinski odtok. Pretežni volumen vode, ki pade na tako območje, bo odtekel po površju, le majhen del ga bo izhlapel, zanemarljivo malo ga bo pronicalo v tla. To pomeni, da bo glavnina PV zelo hitro odtekla po površju ceste in v primeru, ko je odvodnik manjši vodotok, lahko obilnejše padavine predstavljajo resno obremenitev (z vidika onesnaženja ter tudi z vidika prostornine pritekne vode) tega vodotoka ali celo poplave dolvodno. Nasprotno se na takih območjih, če so le ta večjih razsežnosti, lahko pojavlja problem zniževanja gladine podtalnice, saj voda, ki bi morala na nekem območju ponikniti, namesto tega odteče po odvodnem sistemu. Poleg odvodnjavanja cest je tako potrebo zagotoviti tudi očiščenje in zadrževanje PV na mestu nastanka.

Za ilustracijo si oglejmo 1 km dolg odsek avtoceste v Sloveniji. Zanima nas, kolikšen je volumen vode, ki v enem letu odteče s takega odseka. Če za vhodni podatek vzamemo povprečne letne padavine (~1500 mm) in vemo, da je asfaltirano območje avtoceste široko 21 m (Pravilnik o projektiranju cest, 2005), dobimo rezultat, ki znaša 31.500 m<sup>3</sup>. Če preračunamo na celotno Slovenijo (približno 750 km avtocest in hitrih cest), dobimo vrtoglavo številko 23.625.000 m<sup>3</sup> vode letno. Vsaj toliko vode je potrebno očistiti, velik del tega tudi zadržati na mestu nastanka oz. upočasniti odtok. Naj omenim, da v tem preprostem računu nisem upošteval, da načrtovano ne odvajamo le vode z asfaltiranega dela, temveč tudi iz njegove okolice.

### 2.3.1 Razdelitev padavinske vode

Pri avtocestah nam problema ne predstavlja le asfaltirana površina same avtoceste, ampak so problematične tudi ostale površine: obcestni svet, asfaltirana počivališča, dovozne ceste, vkopi, nasipi, ... Za lažje razumevanje problematike in njenega reševanja je bila vpeljana naslednja razdelitev padavinske vode, glede na način nastanka padavinskega odtoka (Brenčič et al., 2004):

- Lastne vode padejo na utrjene površine javnih cest. Glede na lokalne danosti, prometne obremenitve in predpisane kriterije je urejeno zbiranje, odvodnjavanje in po potrebi obdelava vode.
- Zaledne vode padejo na neutrjene površine javnih cest, razpršeno se stekajo proti cestnemu telesu. Niso v stiku z vodami cestišča. Zato se zbirajo in odvajajo ločeno od lastnih voda.
- Tuje vode nastajajo drugje in so v posrednem stiku s cestnim svetom, saj odtekajo z gorvodnih področij in je za njih urejeno križanje s cestnim telesom.

Tujim in zalednim vodam v tej diplomski nalogi ne bom posvečal pozornosti, obravnavane so samo lastne vode. Za lažje razumevanje glej prilogo A.

### 2.3.2 Ukrepi za zadrževanje padavinskega odtoka

Glavni ukrepi za zadrževanje padavinske vode na mestu nastanka so (Kompore, 1991, cit. po Steinman, 1996):

- Ustrezna raba zemljišč, ustrezna poraščenost, tako, da zmanjšuje odtok,
- zadrževanje ali umetno ponikanje vode na območjih s posegi, ki zatesnjujejo površine, in ni možno ponikanje v prvotni smeri,
- linijski objekti – začasni zadrževalni objekti, kjer je to možno,
- zadrževanje v akumulacijah za zmanjšanje poplavnih območij, regulacije v območjih premostitev, v naseljih itd.

Prva izmed zgornjih alinej v primeru odvajanja vode z javnih cest (v primerih, kjer imamo opravka z lastnimi vodami) ne pride v poštev. Lahko pa tak ukrep uporabljamo deloma pri zalednih vodah, tako da brežine, denimo pri vkopih ali nasipih, ustrezno uredimo (z vegetacijo) in s tem zmanjšamo odtekanje padavinske vode. Pri odvodnji lastnih voda s cest uporabljamo objekte za zadrževanje, za ponikanje (infiltracijo), izhlapevanje ipd.



### 2.3.3 Izvor in vrste onesnaževanja padavinskega odtoka

V osnovi lahko onesnaževanje iz avtocest razdelimo na onesnaževanje s padavinskim izpiranjem cestišč – permanentno in onesnaževanje zaradi možnih katastrofalnih razlitij polutantov (Rismal, 2004).

Permanentno onesnaževanje padavinskega odtoka s cest prihaja iz več virov: prometa in tovora, tlakovanja in nasipnih materialov, cestne opreme, vzdrževanja in upravljanja cest in iz zunanjih virov (Dawson (ur.), 2008). Najpomembnejši onesnaževalec padavinske vode je gotovo promet - od tod namreč izvirajo izpušni plini, delci od obrusa pnevmatik, delci od obrusa zavornih ploščic, olja in maziva, detergenti, težke kovine iz naslova korozije karoserije, ogljikovodiki iz goriva itd. Neprijazne okolju so prav gotovo snovi, ki izvirajo iz obrusa asfalta ali betonskih površin, ali snovi, ki se izpirajo iz materialov, ki so sestavni del nasipov. Cestna oprema (prometni znaki, semaforji, zaščitne ograje...), ki je večinoma iz galvaniziranega jekla, predstavlja vir onesnaževanja, ko se prične korozija posameznih delov. Vzdrževanje cest predstavlja nevarnost pozimi, ko se izvaja soljenje cest za preprečevanje poledice in tudi poleti (košnje, barvanje črt, ...). Zunanje onesnaževalce predstavljajo predvsem bližnja območja, od koder z vetrom ali vodo pridejo trdni delci, listje, suha trava, odpadki, saje z industrije in streh, ...

**Preglednica 7: Prikaz izvora onesnaževal padavinske vode s cest (Dawson, (ur.), 2008, str. 110)**

Vir	Tip onesnaževalca	Skupne težke kovine	Elementi platinjske skupine	Natrij	Ogljikovodiki (PAH, PCB)	Hranila	Detergenti	Organske snovi	Trdni delci	Micro organizmi
Promet in tovor	Karoserija	X			X		X		X	
	Pnevmatike	X			X				X	
	Zavorne obloge	X							X	
	Katalizatorji		X							
	Gorivo, aditivi	X			X		X	X	X	
	Maziva	X			X					
	Tovor	X			X	X				X
	Razlitje	X			X	X		X	X	
Tlakovanje & nasipni materiali	Agregat	X							X	
	Bitumen				X			X	X	
	Sekundarni (alternativni) materiali	X		X	X			X	X	
Cestna oprema	Zaščitne ograje, signalizacija	X							X	
	Cestne označbe							X	X	

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 7

Vzdrževanje & vzdrževanje	Zimsko vzdrževanje			X			X	X	X	
	Poletno vzdrževanje			X		X	X	X	X	
	Barvanje	X							X	
	Nadzorovanje vegetacije				X			X		
	Kupi odrinjenega snega	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zunanji viri	Odpadki	X		X		X		X	X	X
	Iztrebki			X		X		X	X	X
	Onesnaževanje zraka na daljše razdalje*	X	X	X	X	X		X	X	X

\* npr. izpušni plini (saje) zaradi kurjenja, industrije, ki se usedajo na razne površine, voda jih pa nato odplakne

Podobno razdelitev onesnaževal, kot je prikazana v preglednici 4, je definiral Brenčič (2004) v referatu »Razvrstitev onesnaževal, ki izvirajo s cest«, na Slovenskem kongresu o cestah in prometu v Portorožu. Razdelil jih je na emisije, ki nastajajo zaradi prometa (goriva, mehanska obraba, redistribucija, raztrosi in razlitja) in emisije zaradi vzdrževanja in obrabe cest (obrabna cest, vzdrževanje cestnih površin, vzdrževanje obcestnega prostora, obraba cestne opreme). Glede na izvor je razdelil onesnaževala na lastna primarna (posledica delovanja vozila in interakcije vozilo – cestišče) in lastna sekundarna (posledica fizikalno-kemijskih sprememb primarnih) ter tuja prinesena (snovi se na vozila odložijo drugje in ta jih nato prinesejo na cestišče) in tuja odložena (tista iz bližine obcestnega sveta, saje zaradi industrije, trava, listje, prah, ...).

Skozi leta so bile, tako doma kot po svetu, narejene številne raziskave, s katerimi so skušali čim bolj natančno ugotoviti, katere snovi in v kakšnih količinah se pojavljajo v padavinski (odpadni) vodi. Pregledal sem kar nekaj literature in skušal primerjati različne rezultate meritev v Sloveniji in ZDA, a sem ugotovil, da takšne primerjave niso mogoče, saj so rezultati takih meritev v prvi vrsti odvisni od količine prometa na obravnavani avtocesti oz. povprečnega letnega dnevnega prometa (PLDP), pa tudi od vrste asfalta, dejavnosti v okolici avtoceste, količine in pogostosti padavin itd. To pomeni, da lahko na različnih krajih pridemo do zelo neenakih vrednosti. Ne glede na razlike v numeričnih vrednostih meritev pa lahko pod črto ugotovimo, da so najpogostejša onesnaževala, ki jih najdemo v odtoku vode z avtocest, »suspendirani delci, onesnaževala, izražena s porabo kisika (BPK, KPK), hranila (fosfor, dušik), težke kovine, ogljikovodiki in bakterije.« (Zupančič et al., 2000, str. 58).

V študiji USEPA iz leta 1977 je bilo ugotovljeno, da »... je onesnaževanje 1 vozila/km avtoceste ocenjeno na 0,2 g izpušnih plinov/vozilo/km in 0,125 g gume/vozilo/km.« (Rismal, 1996, str. 35). Rismal (1996) pravi, da emisije vozil povzročijo sicer manj kot 5 % onesnaženja v prometu, vendar pa to onesnaženje, zaradi svoje toksičnosti, še zdaleč ni zanemarljivo.

Glavna onesnažila, ki prihajajo z avtocest v Sloveniji, so bila razdeljena na anorganska in organska (Pintar et al., 1998, cit. po Zupančič et al., 2000):

#### **Anorganska onesnaževala:**

- Svinec – dodatek osvinčenih bencinov (izpušni plini),
- nikelj, vanadij – dodatek v dizelskih gorivih (izpušni plini),
- kadmij, cink, baker, železo, krom – dodatek v avtomobilskih gumah (obraba avtoplaščev),
- mangan, krom, nikelj, železo – zavorne obloge (obraba zavornih oblog),
- molibden, brom, antimon – dodatek v motorna olja.

#### **Organska onesnaževala:**

- težkohlapne lipofilne snovi (mineralna olja in maščobe) (TLS) – mazalna in zaščitna olja v avtomobilih,
- poliaromatski ogljikovodiki (PAH) – nepopolno izgorevanje različnih goriv, atmosferski depozit ter obraba zgornjega sloja asfalta.

## **2.4 Teoretična izhodišča za račun odtoka**

### **2.4.1 Odtok (Q)**

Za račun odtoka z izbrane površine se je v svetu uveljavilo več različnih metod. Ena izmed njih je racionalna metoda, ki je zelo enostavna. Colyer in Pethick sta leta 1976 ugotovila, da je v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja to metodo uporabljalo kar 90 % vseh projektantov v Veliki Britaniji in ZDA (Kompere, 1991). V Sloveniji racionalno formulo še danes uporabljamo za izračun odtoka, v vzhodnem Washingtonu jo uporabljajo za račun odtoka pri dimenzioniranju nekaterih objektov za ravnanje s PV. Uporabna je predvsem pri izračunih za površine, ki so manjše od 40 ha (100 akrov) in so pretežno neprepustne (HM, 2010).

Kompere (1991) prikazuje osnovno formulo:

$$Q = i_d \times A \times \psi \tag{2}$$

$Q$  ... maksimalni odtok [l/s]

$i_d$  ... intenziteta (jakost) padavin [l/s.ha]

$A$  ... površina povodja [ha]

$\psi$  ... odtočni koeficient [/]

V Sloveniji intenzitete večinoma označujemo s  $q$ , zato bom v nadaljevanju tudi sam uporabljal aktualno označevanje. V Washingtonu, v priročniku HM (2010), uporabljajo za odtočni koeficient oznako »C« in za intenziteto oznako »I«.

Pri uporabi te enačbe moramo upoštevati naslednje predpostavke (W. Mays, 2001):

- Intenziteta ( $q$ ) je stalna po prostoru in času, ki je enak času koncentracije.
- Čas koncentracije je konstanten in ga je preprosto določiti.
- Povratna doba koničnega odtoka je enaka povratni dobi padavin, ki ta odtok povzročijo (5-letne padavine povzročijo 5-letni odtok).
- Kljub naravni časovni in prostorski neenakomerni razporeditvi padavin je mogoče odtok zanesljivo določiti.
- Koeficient odtoka je nespremenjen, ne glede na letni čas ali intenziteto predhodnih padavin.

## 2.4.2 Parametri v enačbi za odtok

### 2.4.2.1 Prispevna površina ( $A$ )

Prispevna površina predstavlja celotno območje, s katerega bomo odvajali padavinske vode. V enačbi za odtok uporabimo površino v hektarjih [ha] (v ZDA uporabljajo akre - angleška mera za površino). Določimo jo poljubno, odvisno od tega, kako smo omejeni s prostorom, to se pravi, kakšno območje imamo na voljo za postavitev objektov za ravnanje s PV. V primeru, ko uporabimo za račun odtoka racionalno formulo, naj bo prispevna površina manjša od 40 ha, kakor sem že navedel v prejšnjem poglavju. Ločimo prepustne in neprepustne površine (racionalna formula dá natančnejše rezultate, če imamo opravka s pretežno neprepustnimi površinami).

### 2.4.2.2 Čas koncentracije ( $t$ )

Čas koncentracije je čas, ki je potreben, da vodna kaplja pripotuje od najbolj oddaljene točke povodja do obravnavane točke v povodju (HM, 2010). Kot smo že ugotovili, racionalna metoda predvideva, da je čas koncentracije ( $t$ ) enak času trajanja padavin ( $T$ ) – enačba 3.

$$t = T \tag{3}$$

### 2.4.2.3 Povratna doba ( $p$ )

Povratna doba padavin nam pove, na koliko let se v povprečju pojavijo neke padavine; merimo jo v letih. Torej, padavine s povratno dobo  $p$  se bodo pojavile povprečno 1 krat na  $p$  let. Povratna doba je obratna vrednost verjetnosti pojava padavin ( $n$ ) - enačba 4.

$$p = \frac{1}{n} \quad (4)$$

Za lažje razumevanje si oglejmo primer:

Verjetnost pojava nekega padavinskega dogodka je 0,5. To pomeni, da je 50 % možnosti, da se bo ta padavinski dogodek pojavil v enem letu. Po enačbi 4 znaša povratna doba padavin s to verjetnostjo 2. Ugotovimo torej, da se ta padavinski dogodek pojavi povprečno na dve leti.

Povratne dobe navadno niso zakonsko predpisane vrednosti. Vrednosti so priporočene s strani stroke, glede na ekonomičnost in potencialno škodo, ki jo lahko naredi nek padavinski dogodek.

#### 2.4.2.4 Jakost padavin ( $q$ )

Jakost padavin je količina padavin na enoto časa in površine [l/s.ha]. Jakost, ki jo uporabimo v računih za dimenzioniranje elementov odvodnje cest, imenujemo karakteristični naliv. Naliv ima predpisano povratno dobo ( $p$ ) in čas trajanja ( $T$ ), ki je enak času koncentracije ( $t$ ). V Pravilniku o projektiranju cest (2005) so za odvodnjavanje predpisane vrednosti karakterističnega naliva za trajanje  $T = 15$  min. HM (2010) pravi, da za čas trajanja naliva ne smemo vzeti manj kot 5 min, to bi namreč dalo nerealistične rezultate.

$$I = \frac{m}{t^n} \quad (5)$$

$I$  ... intenziteta dežja [in/h]

$t$  ... čas koncentracije [min]

$m, n$  ... brez dimenzijska koeficienta

Koeficienta  $m$  in  $n$  sta v tabelah podana za padavine v različnih krajih ZDA z 2-, 5-, 10-, 25-, 50- in 100-letno povratno dobo, za trajanja od 5 do 1440 min. Za kraje, ki niso podani v tabeli, se naredi interpolacija z upoštevanjem vrednosti treh sosednjih krajev.

Enačba 5 je identična enačbi 6, ki jo izpeljal Sketelj (1972), ki je obdelal 8 dežemernih postaj. Za vsako je izdelal grafikon GEN (gospodarsko enakovredni nalivi), iz katerega je izpeljal tabelo in enačbo 6 (Kompore 1996).

$$q' = \frac{c}{t^\alpha} \quad (6)$$

$q'$  ... intenziteta dežja [l/s.ha]

$t$  ... čas koncentracije[ $\text{min}$ ]

$C, \alpha$  ... brez dimenzijska koeficienta

»Ker v Sloveniji nimamo podatkov za deževja s povratno dobo večjo od 10 let, se naj uporablja za take primere nemške predpise (Reinholdovo formulo).« (Panjan, 1996, str. 52). Z Reinholdovo formulo (enačba 7) lahko določimo naliv za vse povratne dobe pri poljubnem trajanju padavin, samo če poznamo trajanje 15-minutnega naliva pri povratni dobi 1 leto (Kompere 1996).

$$q = q_{15,n=1} \times \frac{38}{t+9} \times (n^{-0,25} - 0,369) \quad (7)$$

Kompere (1996) ugotavlja, da je enačba 7 neprimerna za Slovenijo, saj je preveč splošna in ne daje dovolj natančnih rezultatov, zato je predlagal svojo enačbo, imenovano »Kompere4« (enačba 8), kljub temu pa še vedno uporabljamo Reinholdovo formulo.

$$q = q_{15,n=1} \times 7,95 \frac{t^{-0,365} + n^{-0,206} - 0,312}{t^{0,699} + n^{0,727} + 0,667} \quad (8)$$

#### 2.4.2.5 Koeficient odtoka ( $\psi$ )

V HM (2010, str. 2–8) je koeficient odtoka definiran kot »... odstotek padavin, ki postanejo površinski odtok.« Priročnik predvideva tudi, da je ta koeficient konstanten za celotno obravnavano povodje, čeprav v realnosti temu ni tako. Spodaj so prikazani koeficienti odtoka za nekatere površine pri 10-letni povratni dobi. Opazimo, da tudi količina padavin vpliva na odtok, saj, pri recimo rahlih padavinah, lahko ponikne več vode, kot če so padavine močnejše. Sicer to ni toliko pomembno za to nalogo, saj je tu obravnavana odvodnja samo iz neprepustnih površin ceste. Če računamo odtoke pri večjih povratnih dobah, koeficiente primerno povečamo, vendar ne čez vrednost 0,95.

Koeficienti odtoka pri 10-letni povratni dobi (HM, 2010):

- |                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 1. Tlakovane površine, strehe | 0,9 |
| 2. Zemeljske brežine          | 0,5 |
| 3. Gramozna cesta             | 0,5 |

V Sloveniji se »Pri računu padavinskega odtoka iz utrjenih površin avtoceste uporabi koeficient odtoka  $\psi = 0,9$ . Za ostale neutrjene prispevne površine avtoceste se določijo koeficienti v odvisnosti od naklona in obdelave teh površin.« (Rismal, 2004, str. 9)

## **2.5 Teoretična izhodišča in enačbe za hidravlično dimenzioniranje naprav za ravnanje s PV s cest**

### **2.5.1 Naprave za ravnanje s PV s cest – Slovenska priporočila**

V Navodilih projektantom so predvideni naslednji objekti za ravnanje s PV:

#### **A. Usedalnik – lovilec olj**

Ti objekti so namenjeni lovljenju olj in maščob ter za usedanje nesnage, prav tako služijo tudi lovljenju onesnažil v primeru katastrofalnih razlitij (Rismal, 2004).

Po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo je lovilec olj »naprava za čiščenje odpadne vode z izločanjem lahkih tekočin.« (Ur.l. RS, št. 47/2005, člen 4, točka 58)

#### **B. Zadrževalnik**

Naloga zadrževalnikov je, da zadržujejo in zmanjšujejo odtoke v sprejemnike, obenem lahko služijo tudi za ponikanje odtoka ter, v primerih slabo prepustnih krovnih plasti zemljine ( $k < 10^{-5}$  m/s), zadržujejo onesnaženja pri razlitjih. (Rismal, 2004)

Po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih vod v vode in javno kanalizacijo je zadrževalnik »objekt ali več objektov za izravnavanje sunkovitih in povečanih odtokov odpadne vode posredno ali neposredno v vode, čistilno napravo ali v javno kanalizacijo.« (Ur.l. RS, št. 47/2005, člen 4, točka 58)

#### **C. Grobi filter (Rismal, 2004)**

Ko imamo opravka s čiščenjem s počasnimi biološkimi filtri, za boljše delovanje le-teh, pri izpustih v podtalnico, občutljive vodotoke z majhnimi pretoki, stoječe vode, jezera ali akumulacije, namestimo med zadrževalnikom in počasnim biološkim filtrom še grobi filter. Njegova naloga je, da še dodatno zadrži suspendirane snovi, ki so v vodi pritekajoči iz zadrževalnika. V primerih, ko uporabimo grobi filter, je potrebno redkeje čistiti počasne biološke filtre.

#### **D. Infiltracijsko polje – počasni biološki filter (Rismal, 2004)**

Njegova naloga je, da še dodatno odstranjuje suspendirane snovi v PV, pri čemer se izkoriščajo dobre lastnosti takih filtrov:

- a. Adsorpcijske
- b. Oksidacijske
- c. Dezinfekcijske
- d. Filtracijske

Te lastnosti lahko še povečamo, če dodamo plast aktivnega oglja, prekritega s filtrsko tkanino, ki jo obtežimo z grobim prodcem.

#### **Alternativne rešitve:**

##### **A. Zadrževalnik s funkcijo lovilca olj in usedalnika z infiltracijskim poljem v ravninskem svetu (Rismal, 2004)**

Pri tem objektu gre za združene funkcije usedanja, lovljenja olj in zadrževanja, kar se uporablja predvsem v ravninskem svetu, ob primernih pogojih. Objekt mora biti zgrajen vodotesno. Za ponikanje uporabimo filter. Ponikovalnik - počasni biološki filter ni povezan z dušilko, temveč preko večje cevi z zadrževalnikom. Pritok vode na počasni filter tako ni enakomeren, torej tudi hitrost ponikanja ni konstantna.

##### **B. Zadrževalnik s precejalnikom (filtrskim dnom) (Rismal, 2004)**

V tem primeru je v enem objektu združeno zadrževanje in čiščenje PV. Pred tak objekt mora biti nameščena naprava za lovljenje in usedanje nesnage ter zadrževanje katastrofalnih razlitij (usedalnik – lovalec olj). Dobra stran take rešitve je, da se dušilka (obvezna na iztoku iz drenaže precejalnika) težje zamaši (zaradi dobro prečiščene vode).

#### **Alternativne rešitve, ki niso del Rismalovih Navodil projektantom:**

##### **A. Rastlinska čistilna naprava (RČN)**

RČN je objekt, ki združuje usedanje, lovljenje olj, grobi filter in rastlinski filter ter biološko in kemično očisti PV s cest (Bulc et. al., 2002).

#### **2.5.2 Predpostavke in enačbe za dimenzioniranje po slovenskih Navodilih projektantom**

Sledeče enačbe, predpostavke in razlage so povzete po Navodilih projektantom (Rismal, 2004).



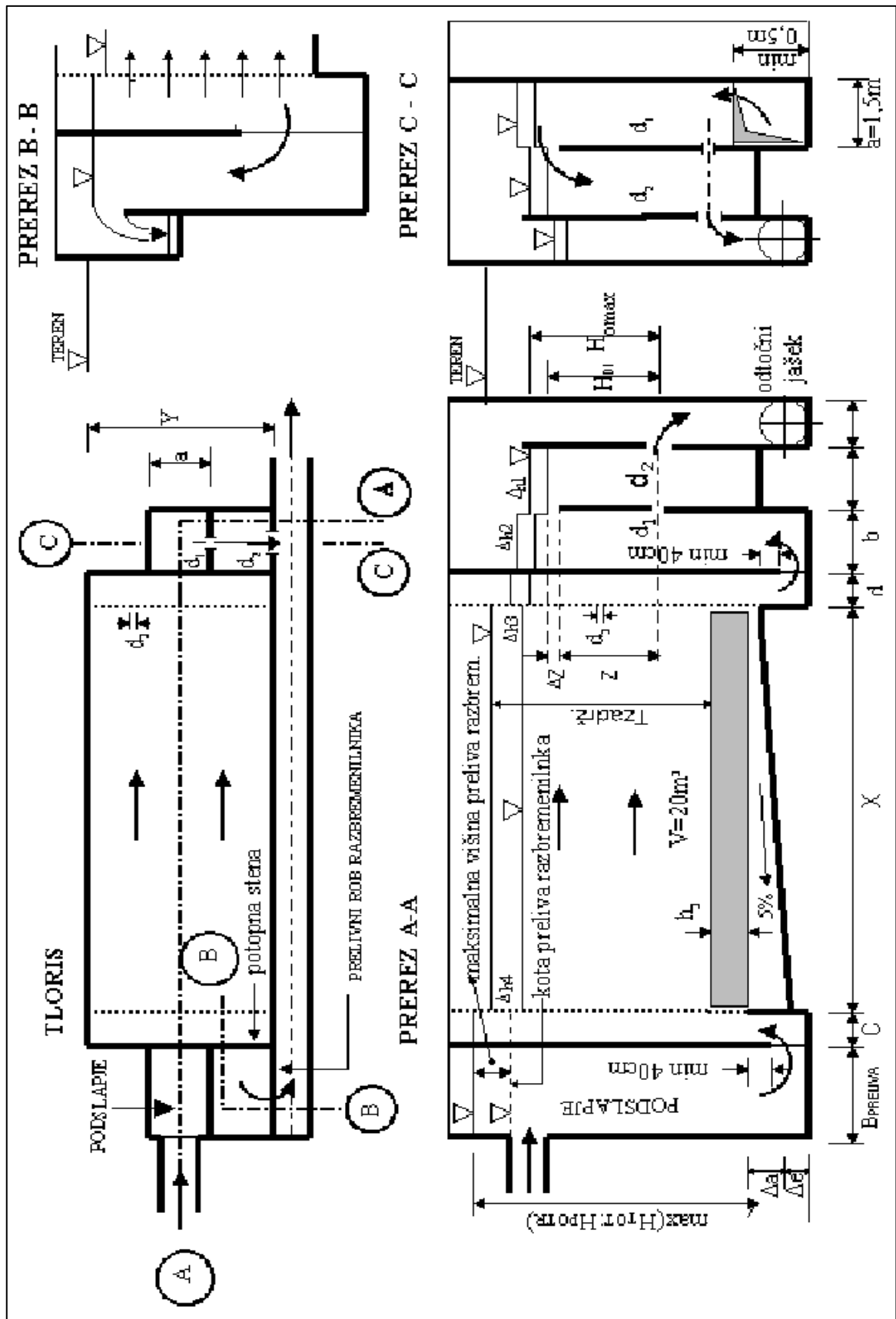
### 2.5.2.1 Usedalnik – lovilec olj

#### **Predpostavke:**

- Dimenzioniramo ga na naliv  $q_{krit} = 15 \text{ l/(s.ha)}$  in površinsko obremenitev  $v_u = 10 \text{ m/h}$ . Če so recipienti naravno jezero, akumulacija za pitno vodo ali ribogojne vode, ga dimenzioniramo na naliv  $q_{krit} = 30 \text{ l/(s.ha)}$  in po potrebi na nižjo površinsko obremenitev; če pa gre za specifične pogoje in zahteve, pa merodajni naliv in hitrost usedanja določijo pristojni upravni organi.
- Minimalna globina vode ne sme biti manjša od 3 m.
- Minimalna prostornina mora znašati vsaj  $20 \text{ m}^3$ .
- Potrebna prostornina za zadrževanje olja je  $20 \text{ m}^3$  (ali  $30\text{--}40 \text{ m}^3$  v posebnih primerih).
- Za usedline mora biti vsaj  $5 \text{ m}^3$  prostornine.
- Odprtine ne smejo biti manjše od 10 cm (nevarnost zamašitve).
- Zadrževalni čas vode ne sme biti manjši od  $T_{zadr} = 0,25 \text{ h}$ .
- Trajanje samodejnega praznjenja mora biti najmanj 4 h.
- Zanimarimo hidravlične izgube (zaradi majhnih hitrosti toka vode).

#### **Gradbena izvedba:**

- Pred iztokom mora biti izveden sifon (zaradi preprečevanja iztoka plavajočih snovi).  
Cev za vtok v usedalnik – lovilec olj je taka, da zadošča odtoku iz avtoceste. V Navodilih projektantom je za dimenzioniranje odtočnih cevi za odtok vode z avtocest predpisan naliv s povratno dobo 20 ali 50 let (določita investitor in projektant) in trajanjem, kakor je določeno za dimenzioniranje kanalizacije, to je 15 min (Krajnc, 2009).
- Pred dotokom v usedalnik – lovilec olj mora biti izvedeno podslapje, kjer se razprši vodna energija, obenem pa se voda prezrači, kar pospešuje izločanje olja in maščob v usedalniku.
- Prelivni rob razbremenilnika je na takšni višini, da se razbremenjevanje začne potem, ko je usedalnik – lovilec olj do prelivnega roba razbremenilnika zapolnjen z vodo.
- Potopna stena preprečuje, tudi pri največjih dotokih, iztok plavajočih snovi.
- Praznjenje poteka skozi odprtino  $d_1$ , katere os se mora nahajati na globini  $H_{zadr}$ , vedno pa mora biti nad gladino prostornine  $20 \text{ m}^3$  – volumen za nevarna razlitja.
- Dušilka  $d_2$  mora biti nad maksimalno gladino vode v sprejemniku, predpisano s povratno dobo, če temu ni tako, namestimo črpalko v jašek pred dušilko  $d_2$ .
- vse odprtine ( $d_1$  in  $d_2$ ) se izvedejo iz nerjaveče pločevine.



Slika 2: Hidravlična shema usadalnika – lovilca olj (Rismal, 2004, str. 41)

## Dimenzioniranje:

### 1. Pretoki

Dotok v usedalnik:

$$Q_D = q \cdot \psi \cdot A \quad [m^3/s] \quad (9)$$

$q$  ... intenziteta naliva [l/(s.ha)]

$\psi$  ... koeficient odtoka

$A$  ... prispevna površina [ha]

Merodajni dotok (po razbremenitvi):

$$Q_{krit} = \psi \cdot q_{krit} \cdot A = \psi \cdot 15 \frac{l}{s.ha} \cdot A \quad [m^3/s] \quad (10)$$

$q_{krit}$  ... intenziteta kritičnega naliva

$\psi$  ... koeficient odtoka

$A$  ... prispevna površina [ha]

Maksimalna dopustna obremenitev:

$$Q_{krit\ max} = F \cdot Q_{krit} = 1,2 \cdot Q_{krit} \quad [m^3/s] \quad (11)$$

$F$  ... faktor maksimalne dopustne površinske obremenitve usedalnika – lovilca olj

Razbremenitev:

$$\Delta Q_R = Q_D - Q_{krit\ max} \quad [m^3/s] \quad (12)$$

Maksimalna možna prelivna količina:

$$\Delta Q_{Rmax} = Q_{Dmax} - Q_{krit\ max} \quad [m^3/s] \quad (13)$$

$Q_{Dmax}$  ... maksimalen odtok z avtoceste – hidravlična kapaciteta dotočne cevi

### 2. Geometrija

Efektivna prostornina za usedanje:

$$V_{zadrz} = H_{zadrz} \cdot X \cdot Y \quad [m^3] \quad (14)$$

$X$  ... dolžina objekta [m]

$Y$  ... širina objekta [m]

$H_{zadrz}$  ... globina za predviden čas zadrževanja vode [m]

$$Y = \sqrt{\frac{Q_{krit\ max} \cdot 3600}{F_{xy} \cdot v_u}} \quad [m] \quad (15)$$

$F_{xy}$  ... razmerje med dolžino in širino objekta ( $F_{xy} = 3$ )

$v_u$  ... dopustna hidravlična površinska obremenitev usedalnika ( $v_u = 10$  m/s)

$$X = \sqrt{\frac{F_{xy} \cdot Q_{krit\ max} \cdot 3600}{v_u}} \quad [m] \quad (16)$$

$$X = Y \cdot F_{xy} \quad (17)$$

Globina za predviden čas zadrževanja:

$$H_{zadrz} = T_{zadrz} \cdot v_u = \frac{Q_{krit\ max} \cdot T_{zadrz} \cdot 3600}{X \cdot Y} = 0,25 \cdot 10 = 2,5 \text{ m} \quad (18)$$

$T_{zadrz}$  ... zadrževalni čas vode v usedalniku – lovilcu olj ( $T_{zadrz} = 0,25$  h)

Potrebna prostornina objekta:

$$V_{potr} = H_{potr} \cdot X \cdot Y \quad [m^3] \quad (19)$$

$X$  ... dolžina objekta [m]

$Y$  ... širina objekta [m]

$H_{zadrz}$  ... globina za predviden čas zadrževanja vode [m]

Maksimalna globina vode:

$$H_{potr} = \Delta a + \Delta e + H_{zadrz} + h_3 \quad [m] \quad (20)$$

$$\Delta a = \tau_d \cdot X \quad [m] \quad (21)$$

$$h_3 = \frac{V_{olja}}{[Y \cdot (c+d+X)]} = \frac{20 \text{ m}^3}{[Y \cdot (3+X)]} \quad [m] \quad (22)$$

$h_3$  ... višina, rezervirana za zadrževanje izločene plavajoče snovi [m]

$V_{olja}$  ... volumen za zadrževanje nevarnih razlitij [m<sup>3</sup>]

$c$  ... glej sliko 2,  $c = 2,00$  m

$d$  ... glej sliko 2,  $d = 1,00$  m

$\Delta a, \Delta e$  ... glej sliko 2 [m]

$I_d$  ... naklon dna ( $I_d = 0,05$ )

Za  $\Delta e$  vrednost v Navodilih projektantom ni predpisana.

### 3. Prelivni rob in maksimalna gladina vode nad prelivom razbremenilnika

Višinska razlika med prelivnim robom razbremenilnika in osjo dušilke  $d_2$ :

$$\sum H_{uskrit} = H_{01} + \Delta h_1 + \Delta h_2 + 2 \cdot \Delta h_3 \quad [m] \quad (23)$$

$$\sum H_{usmax} = H_{0max} + \Delta h_{1max} + \Delta h_{2max} + 2 \cdot \Delta h_{3max} \quad [m] \quad (24)$$

$\sum H_{uskrit}$  ... višinska razlika med prelivnim robom razbremenilnika in osjo dušilke  $d_2$  [m]

$\sum H_{usmax}$  ... višinska razlika med koto maksimalne vodne gladine na razbremenilniku in koto osi dušilke  $d_2$  [m]

Dopustna višina prelivajoče se vode na razbremenilniku:

$$\Delta h_{prdop} = \sum H_{usmax} - \sum H_{uskrit} = H_{0max} - H_{01} \quad [m] \quad (25)$$

$$\Delta h_{prdop} = \left(1 - \frac{1}{F}\right) \cdot v_u \cdot T_{zadrž} = \left(1 - \frac{1}{1,2}\right) \cdot 10 \cdot 0,25 = 0,417 \text{ m}$$

Dolžina prelivnega robu na razbremenilniku:

$$B_{prel} = \frac{\Delta Q_R}{m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (\Delta h_{prdop})^{3/2}}} \quad [m] \quad (26)$$

$m$  ... koeficient hidravličnih izgub pri prelivu razbremenilnika;  $m = 0,4$

$g$  ... težnostni pospešek ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

#### 4. Dušilka

Premer dušilke:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{krit,max}}{\mu \cdot \pi} \sqrt{\frac{(F^2 - 1)}{2g \cdot \Delta h_{prdop}}} \quad [m] \quad (27)$$

$$H_{01} = \frac{1}{2g} \cdot \left[ \frac{4 \cdot Q_{krit}}{\mu \cdot \pi \cdot d_2^2} \right]^2 \quad [m] \quad (28)$$

$$H_{0max} = \frac{1}{2g} \cdot \left[ \frac{4 \cdot F \cdot Q_{krit}}{\mu \cdot \pi \cdot d_2^2} \right]^2 \quad [m] \quad (29)$$

$\mu$ ... koeficient hidravličnih izgub pri odprtinah,  $\mu = 0,6$

Če vstavimo enačbo 27 v enačbi 28 in 29 dobimo:

$$H_{01} = \frac{\Delta h_{prdop}}{F^2 - 1} = 0,947 \text{ m}$$

$$H_{0max} = \frac{F^2 \cdot \Delta h_{prdop}}{F^2 - 1} = 1,364 \text{ m}$$

Iz tega sledi, da sta vrednosti  $H_{01}$  in  $H_{0max}$ , ob predpostavkah iz začetka poglavja, konstantni – neodvisni od  $Q_{krit}$ .

#### 5. Čas samodejnega praznjenja

Čas praznjenja usedalnika preko odprtine  $d_1$ :

$$T_{praz} = \frac{2 \cdot Z \cdot Y \cdot (c + d + X)}{3600 \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z}} \quad [h] \quad (30)$$

$$Z = H_{01} - \Delta Z \quad [m] \quad (31)$$

$\Delta Z = 0,30 \text{ m}$ , za  $A \leq 20 \text{ ha}$

za  $A > 20 \text{ ha}$  poenostavimo:

$$\Delta h_1 = \frac{\alpha}{2g} \left( \frac{Q_{krit}}{b \cdot \Delta Z} \right)^2 \leq 0,02 \text{ m} \quad (32)$$

$$\Delta Z = \frac{Q_{krit}}{b \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta h_1}{\alpha}}} \quad (33)$$

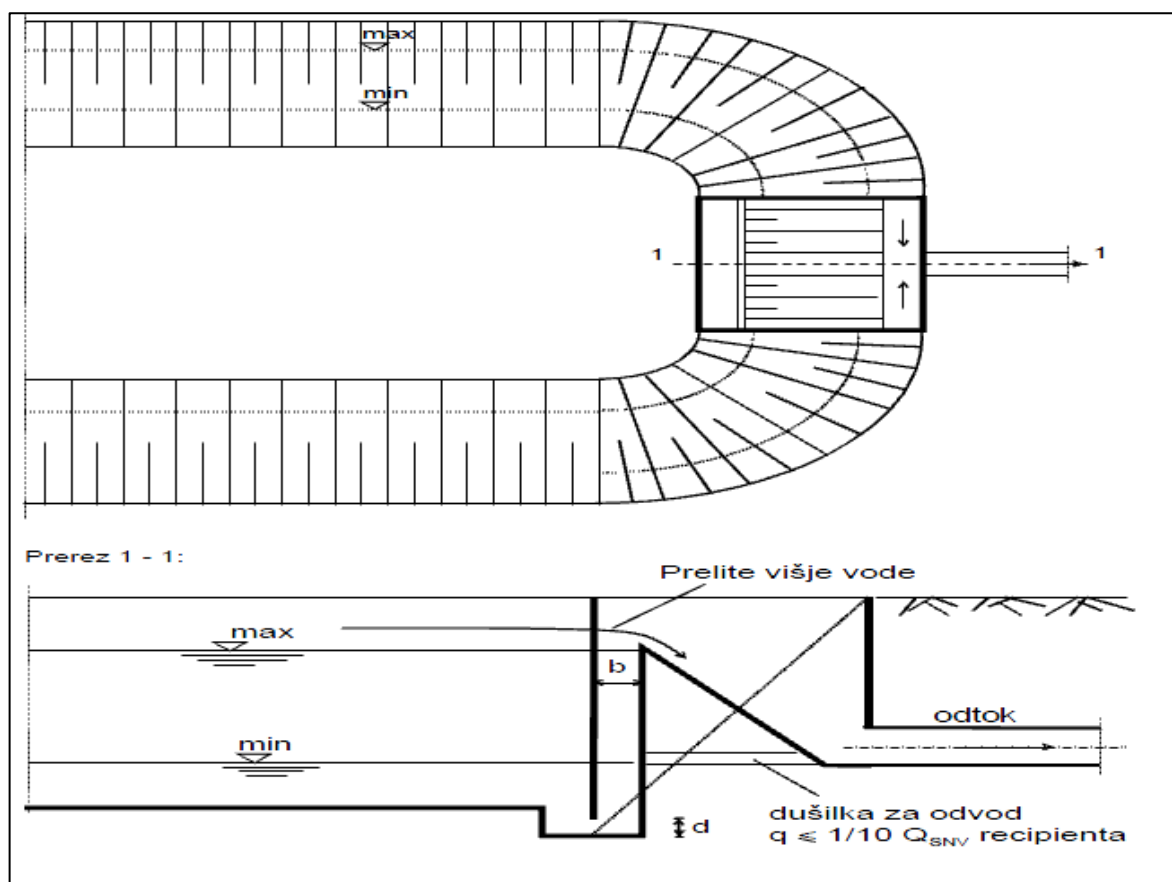
$\alpha$ ... koeficient, odvisen od  $Q$ ;  $\alpha = 1,0$

$b$ ... širina komore pred odprtino  $d_1$ ;  $b = 1,5 \text{ m}$

### 2.5.2.2 Zadrževalnik

#### Predpostavke:

- Dimenzioniramo na povratne dobe padavin 1 leto.
- Dimenzioniramo ga na dopustni iztok v sprejemnik  $Q_{0max}$ .
- Volumen zadrževalnika ne sme biti manjši od volumna usedalnika – lovilca olj.
- Če je sprejemnik vodotok, mora veljati  $Q_{0max} < 1/10 Q_{snv}$ , pri čemer je  $Q_{snv}$  srednja nizka voda sprejemnika.
- Če je prepustnost zemljine  $k \leq 10^{-5}$  m/s, vodotesna obloga ni potrebna.
- Zadrževalni bazen načrtujemo v naslednjih primerih:
  - sprejemnik je podtalnica,
  - sprejemnik je kraška podtalnica,
  - sprejemnik je stoječa voda,
  - sprejemnik je vodotok in je  $Q_{krit} \geq 1/10 Q_{snv}$ .
- Zadrževalnik ima lahko hkrati funkcijo ponikovalnika.
- V primeru neprepustne zemljine je lahko hkrati tudi usedalnik – lovilec olj (v tem primeru mora biti zgrajen vodotesno).



**Slika 3:** Shema zadrževalnega bazena s prelivom visokih voda (Rismal, 2004, str. 27)

### Gradbena izvedba:

- V menihu zadrževalnika predvidimo preliv za nalive z 10-letno povratno dobo ali na maksimalni pretok dotočne cevi.
- V kroni nasipa mora biti utrjen del za prelivanje 100-letnega pretoka.
- Krona nasipa in brežine morajo biti ustrezno utrjene, tako da maksimalni dotoki vode ne poškodujejo omenjenih delov.
- Lahko je v zemeljski ali betonski izvedbi.
- Je poljubne oblike.

### Dimenzioniranje:

#### 1. Volumen zadrževalnika

$$V_z = \frac{T \cdot q_{T(n)} \cdot A \cdot \psi \cdot 60 - Q_{0m} \cdot (T+t) \cdot 60}{1000} \quad [m^3] \quad (34)$$

$T$ ... trajanje merodajnega naliva [min]

$q_{T(n)}$ ... intenziteta merodajnega  $T$  minutnega naliva s povratno dobo  $p$ ;  $n = 1/p$  [l/(s.ha)]

60... pretvornik iz minut v sekunde

1000... pretvornik iz litrov v  $m^3$

$Q_{0m}$ ... iztok iz zadrževalnika [l/s]

$t$ ... čas koncentracije [min]

Enačba 34 nam pove, da je volumen zadrževalnega bazena enak razliki volumnov pritekla vode in odtekle vode v času merodajnega naliva ( $T$ ). Naliv, na katerega dimenzioniramo ( $q_{T(n)}$ ), izračunamo po enačbi 7. Ker je oblika zadrževalnega bazena poljubna, izberemo geometrijo tako, da bo zadoščeno izračunanemu volumnu ( $V$ ).

$$Q_{0m} = \frac{2}{3} \cdot Q_{max} \quad [l/s] \quad (35)$$

$Q_{max}$ ... maksimalni dopustni iztok iz zadrževalnika (odvisno od sprejemnika) [l/s]

Enačbo 35 uporabimo, ko so sprejemnik tekoče vode, lahko pa uredimo odtekanje vode iz zadrževalnika skozi dno v zemljo – s ponikanjem. V tem primeru je iztok iz zadrževalnika enak infiltracijski kapaciteti dna zadrževalnika, ki jo izračunamo po enačbi 36.



$$Q_{0m} = \frac{k}{2} \cdot A_{inf} \quad [m^3/s] \quad (36)$$

$k$ ... koeficient prepustnosti zemljine na dnu zadrževalnega bazena [m/s]

$A_{inf}$  ... infiltracijska površina dna zadrževalnega bazena [m<sup>2</sup>]

## 2. Preliv v kroni zadrževalnika

Iz enačb 2 in 7 izračunamo odtok iz avtoceste s povratno dobo 10 let ( $Q_{10}$ ).

Če je  $Q_{10} \leq Q_{dotočne\ cevi}$ , to pomeni, da po kanalu lahko pritečejo tudi večji pretoki, kot je 10-letni, zato v tem primeru moramo zagotoviti kontroliran preliv, ki bo prevajal pretok  $Q_{dotočne\ cevi} - Q_{10}$ .

Dolžino preliva v kroni nasipa zadrževalnika določimo po enačbi 37.

$$l = \frac{Q_{10}}{m \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h^{3/2}}} \quad [m] \quad (37)$$

$\Delta h$ ... dovoljena višina prelivajoče se vode [m]

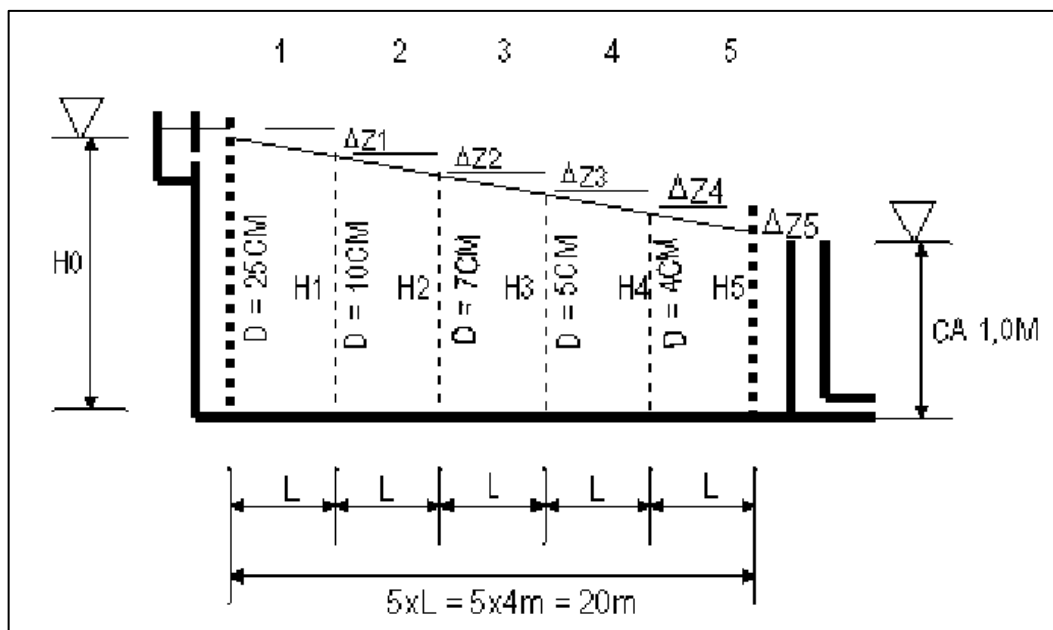
### 2.5.2.3 Grobi filter

#### Predpostavke:

- Efektivna poroznost posameznih delov filtra je podana v preglednici 8, podana je tudi poroznost, pri kateri je filter potrebno očistiti.
- Filter je potrebno izprazniti in prod oprati, ko pride do zapolnitve filtra.
- Z vodo od pranja filtra ter usedlinami ravnamo okolju prijazno – vodo očistimo, usedline pa odložimo na primerno mesto, če nevarne snovi presegajo dovoljene meje.

#### Gradbena izvedba:

- Nameščamo jih za zadrževalnim bazenom.
- 5 prekatov, zapolnjenih s prodcm dimenzij od 25–4 cm.
- Dolžina posameznega prekata vsaj  $L = 4,00$  m.



Slika 4: Shema grobega filtra (Rismal, 2004, str. 28)

Preglednica 8: Poroznosti grobega filtra (Rismal, 2004, str. 28)

Odsek filtra	1	2	3	4	5
Začetna poroznost "n"	0,06	0,10	0,12	0,14	0,16
Končna poroznost filtra "n"	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10

## Dimenzioniranje

Hitrost filtracije:

$$v_f = \frac{Q_z}{\xi \cdot H_n} \quad [m/s] \quad (38)$$

$Q_z$ ... dotok iz zadrževalnika [ $m^3/s$ ]

$H_n$ ... višina n-tega odseka filtra;  $n= 1, 2, 3, 4, 5$  [m]

$\xi$ ... širina grobega filtra [m] (predpostavimo)

Višina objekta pri vtoku vode:

$$H_0 = H_5 + \Delta Z_5 + \Delta Z_4 + \Delta Z_3 + \Delta Z_2 + \Delta Z_1 \quad [m] \quad (39)$$

$\Delta Z_n$ ... hidravlične izgube v n-tem odseku;  $n= 1, 2, 3, 4, 5$  [m]

$$\Delta Z_n = 3,03 \cdot \frac{v_F^2 \cdot L}{D_n \cdot n^2} + 2,764 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{v_F \cdot L}{D_n^2} \cdot \frac{(1-n)^{1,5}}{n^{2,5}} \quad [m] \quad (40)$$

$D_n$ ... premer zrna v n-tem odseku;  $n= 1, 2, 3, 4, 5$  [m]

$n$ ... poroznost n-tega odseka filtra;  $n= 1, 2, 3, 4, 5$

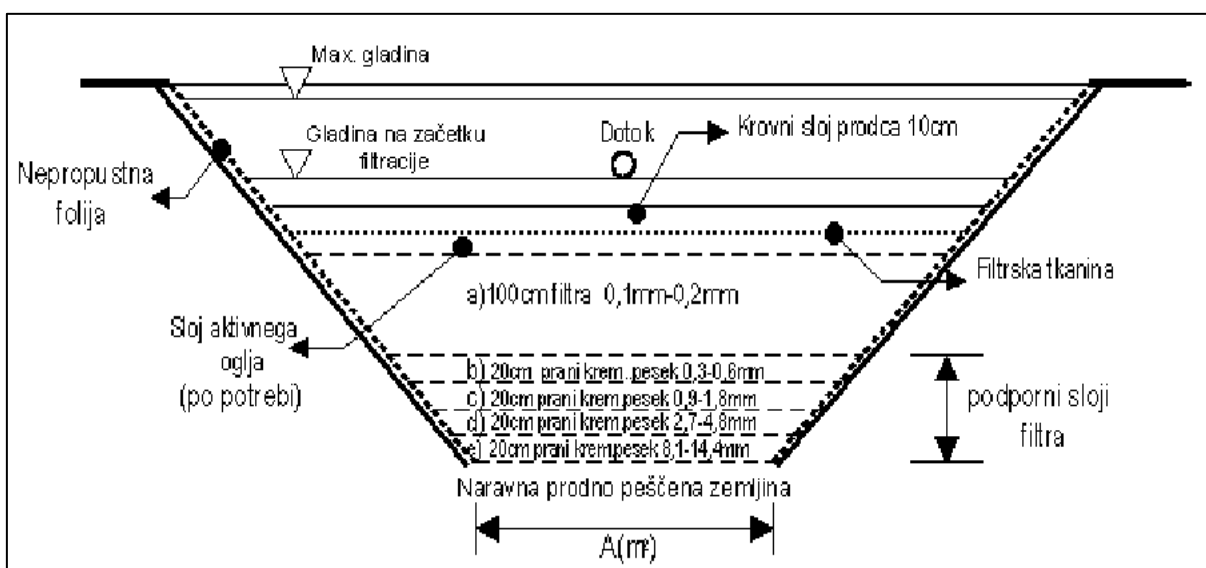
#### 2.5.2.4 Infiltracijsko polje – počasni biološki filter

##### Predpostavke:

- Ponikanje v I. in II. zaščitnem pasu vodovodnih črpališč ni dovoljeno.
- Pred tem objektom namestimo usedalnik in zadrževalnik – tako zmanjšamo potrebno površino in stroške gradnje in obratovanja.
- Dopustna hidravlična obremenitev:  $0,02 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ – $0,1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ .
- Ko infiltracijska kapaciteta upade, namestimo novo krovno plast prodca in novo tkanino. Obenem posnamemo 2–3 cm finega peska (ko pridemo na debelino 60 cm, ga namestimo nazaj do prvotne debeline).
- Po deževju se mora objekt izprazniti, tako se prezračijo posamezne plasti. Če zaradi previsoke podtalnice to ni mogoče, vodo prečrpavamo.

##### Gradbena izvedba:

- Stene so lahko vertikalne ali v naklonu.
- Lahko je v betonski ali zemeljski izvedbi.
- Pri zemeljski izvedbi brežine obložimo s filtrsko tkanino in neprepustno folijo.
- Filtrska tkanino prekrijemo s plastjo prodca – zaščita pred vetrom in prahom.



Slika 5: Shema infiltracijskega polja (Rismal, 2004, str. 29)

### **Dimenzioniranje:**

#### Plasti v infiltracijskem polju (za lažjo predstavo - slika 5):

1. 20 cm prodca (12–25 mm)
2. Filtrska tkanina
3. Sloj aktivnega oglja
4. 70–100 cm pranege kremenčevega peska (0,1–0,2 mm)
5. Podporni sloj:
  - a. 20 cm pranege kremenčevega peska (0,3–0,6 mm)
  - b. 20 cm pranege kremenčevega peska (0,9–1,8 mm)
  - c. 20 cm pranege kremenčevega peska (2,7–4,8 mm)
  - d. 20 cm pranege kremenčevega peska (8,1–14,4 mm)
6. Osnovni teren

#### Površina infiltracijskega polja – na stiku podpornega sloja z naravno podlago:

$$A_{inf} = \frac{Q_{dot}}{k_{inf}} [m^2] \quad (41)$$

$Q_{dot}$ ... dotok na infiltracijsko polje [ $m^3/s$ ]

$k_{inf}$ ... koeficient prepustnosti infiltracijskega polja [m/s]

#### Sprejemljivost vodonosnika za načrtovano količino vode:

$$Q_v = \frac{k \cdot A_{inf} \cdot (h+u)}{2 \cdot h} [m^3/s] \quad (42)$$

$h$ ... višina vode v filtru nad naravno peščeno prodno podlago [m]

$k$ ... koeficient prepustnosti vodonosnega sloja [m/s]

$u$ ... razlika med gladino podtalnice in dnom filtra [m]

Če je  $Q_v \geq Q_{dot}$ , lahko vodonosnik sprejme celotno količino vode, ki ponika.

### 2.5.2.5 Zadrževalnik s funkcijo lovilca olj in usedalnika z infiltracijskim poljem v ravninskem svetu

#### Predpostavke:

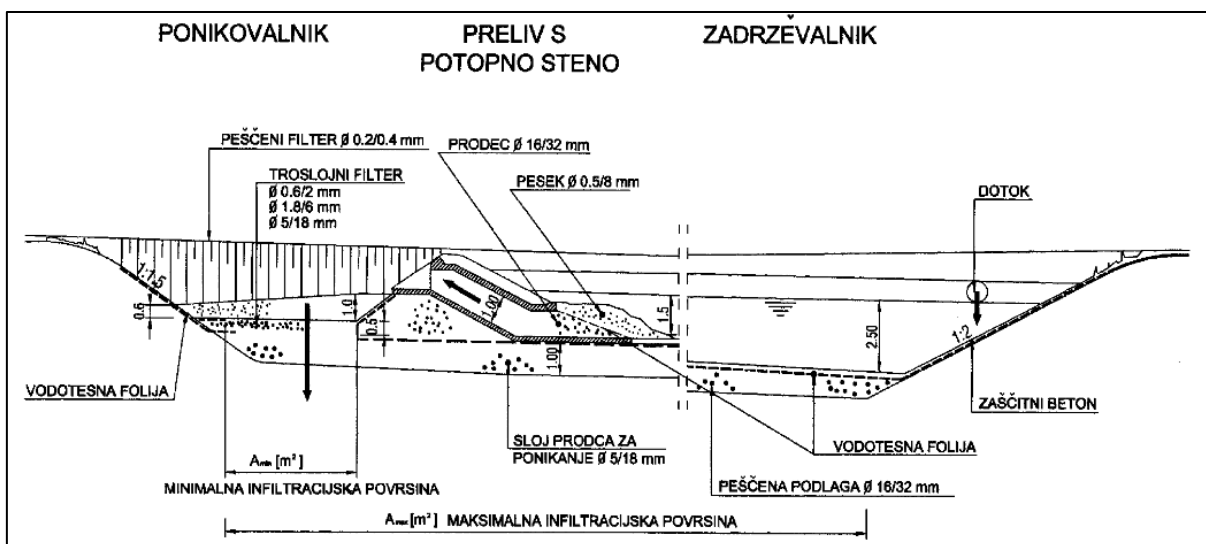
- V ta objekt je speljan ves padavinski odtok iz AC.

#### Gradbena izvedba:

- Objekt iz treh delov: zadrževalnika, preliva s potopno steno ter grobim peščenim filtrom in ponikovalnika.
- Zgrajen mora biti vodotesno.
- Dno ponikovalnika mora biti v stiku s prepustno plastjo vodonosnika.
- Globina se prilagodi potrebni prostornini.
- Stene ponikovalnika morajo biti obložene z neprepustno folijo, ki je na brežinah zaščitena z betonom.
- Pod folijo 10 cm plast finega peska.
- Pod plastjo finega peska je 80 cm plast proda (5–18 mm), namenjena za ponikanje (pod celotnim objektom).
- Voda iz zadrževalnika teče v ponikovalnik preko grobega filtra (16–32 mm).

Zgoraj opisane gradbene zahteve so za lažjo predstavbo prikazane na sliki 6.

Objekt dimenzioniramo s pomočjo enačb, ki so navedene pri ostalih rešitvah; v Navodilih projektantom ni prikazanih posebnih enačb za tak objekt.



Slika 6: Zadrževalnik s funkcijo lovilca olj in usedalnika z infiltracijskim poljem (Rismal, 2004, str. 33)

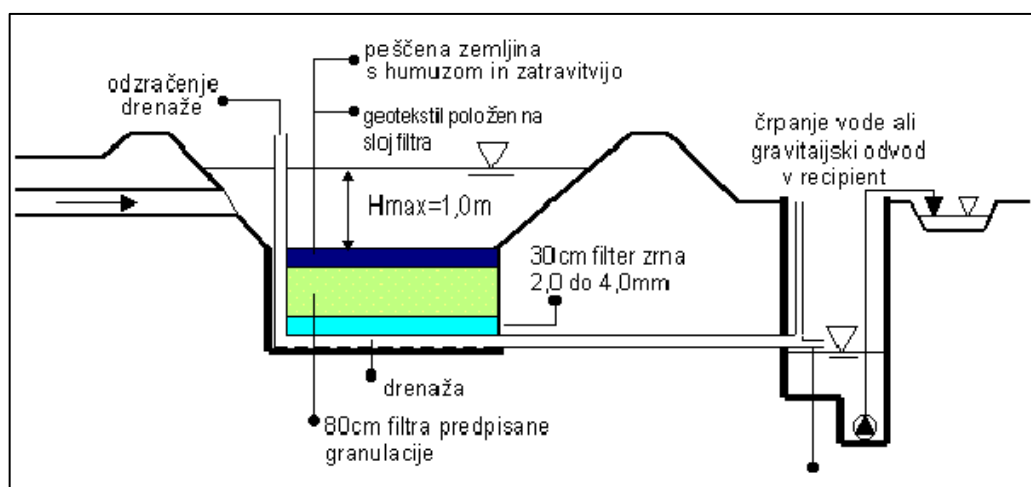
### 2.5.2.6 Zadrževalnik s precejalnikom

#### Predpostavke:

- S tega objekta lahko vodo odvajamo v podtalnico ali kak drug sprejemnik.
- Dopustna hidravlična obremenitev precejalnika je  $0,015 \text{ l/(s.m}^2\text{)}$  (dušilka pred iztokom v recipient).
- Čiščenje predvidoma na vsakih 5 let.

#### Gradbena izvedba:

- Pred zadrževalnikom s precejalnikom objektom mora biti zgrajen usedalnik – lovilec olj.
- V zemeljski ali betonski izvedbi.
- Če sprejemnik ni podtalnica in je prepustnost zemljine več kot  $10^{-8} \text{ m/s}$ , morajo biti stene in dno obloženi z neprepustno folijo, na katero se položijo drenažne cevi.
- Drenažne cevi se združijo v eno odtočno cev, opremljeno z dušilko.
- Vsaka drenažna cev, in tudi odtočna cev, mora biti opremljena z oddušnikom.
- Nad drenažnimi se izvede vsaj 70 cm debela filtrska plast peska:
  - težnostni delež zrn, ki so večja od 2 mm < 10 %,
  - težnostni delež finega peska ~ 25 %,
  - težnostni delež srednjega peska ~ 50 %,
  - težnostni delež grobega peska < 25 %,
  - v pesku vsaj 5 % karbonatnih zrn.
- Na plasti peska se nasuje humus, ki se ga zatravi.



Slika 7: Skica zadrževalnika s precejalnim dnom (Rismal, 2004, str. 36)

## Dimenzioniranje

### Volumen:

$$V = \frac{\left[ \sqrt{38 \cdot (n^{-0,25} - 0,369) \cdot q_{15} \cdot 9 \cdot A \cdot \psi - 9 \cdot \sqrt{q_{0m}}} \right] \cdot \left[ 38 \cdot (n^{-0,25} - 0,369) \cdot q_{15} \cdot A \cdot \psi \right]}{\sqrt{38 \cdot (n^{-0,25} - 0,369) \cdot q_{15} \cdot 9 \cdot A \cdot \psi}} -$$
$$- \left[ \sqrt{38 \cdot (n^{-0,25} - 0,369) \cdot q_{15} \cdot q_{0m} \cdot 9 \cdot A \cdot \psi} - q_{0m} \cdot (9 - t_c) \right] \cdot 10^{-3} \cdot 60 \text{ [m}^3\text{]} \quad (43)$$

A... prispevna površina avtoceste [m<sup>2</sup>]

### Maksimalni iztok iz zadrževalnika:

$$Q_{0m} = \frac{2}{3} \cdot Q_d \text{ [l/s]} \quad (44)$$

Q<sub>d</sub>... maksimalna dopustna kapaciteta dušilke [m<sup>3</sup>/s]

Maksimalna dopustna hidravlična obremenitev površine precejalnika  $v \leq 0,015 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2\text{)}$

### Zmogljivost dušilke:

$$Q_d \leq v \cdot A_p \text{ [l/s]} \quad (45)$$

A<sub>p</sub>... površina dna precejalnika [m<sup>2</sup>]

Dva omejitvena pogoja:

1. Maksimalna letna hidravlična obremenitev površine dna precejalnika – H<sub>dopletno</sub>:

$$H_{dopletno} = \frac{A \text{ [ha]} \cdot h_p \cdot \left[ \frac{mm}{\text{leto}} \right] \cdot \psi \cdot 10}{A_p \text{ [m}^2\text{]}} \leq 40 \text{ [m/leto]} \quad (46)$$

2. Maksimalna globina vode – h<sub>vmax</sub>:

$$h_{vmax} \leq 1,00 \text{ [m]} \quad (47)$$

### 2.5.2.7 Rastlinska čistilna naprava (RČN)

T. Bulc in D. Vrhovšek v svojem referatu Rastlinska čistilna naprava kot zaščita okolja pred vplivi avtocest (1998), navajata RČN kot možen način čiščenja PV s cest. RČN ob čiščenju deloma opravlja tudi vlogo zadrževalnika in tako je volumen zadrževalnika lahko manjši.

RČN svoje naloge opravlja s pomočjo substrata, rastlin in mikroorganizmov, ki se v takem objektu radi naselijo prav zaradi prisotnosti rastlin, ki zagotavljajo dovolj kisika. Rastline lahko vežejo nekatere težke kovine, ki so prisotne v PV s cest, substrat deluje kot filter, absorbent, pomembno vlogo pa ima tudi pri sedimentaciji in ionski izmenjavi, mikroorganizmi pa sodelujejo predvsem pri procesih razgradnje dušikovih spojin.

RČN namestimo za zadrževalnikom. Tam se usede večina plavajočih delcev, nato pa gravitacijsko voda odteče skozi RČN, kjer se dodatno očisti, preden jo odvedemo po sprejemniku.

V RČN čistimo le kritični odtok, torej najbolj onesnažen odtok, saj tako objekta hidravlično ne preobremenimo.

Taki objekti so lahko zgrajeni dokaj razgibano, da se tako estetsko vključujejo v okolje, zato veljajo za sonaravno rešitev pri čiščenju PV s cest.

### 2.5.3 Naprave za ravnanje s PV s cest – Po priporočilih v ZDA (Washingtonu)

V Washingtonu se za dimenzioniranje naprav za ravnanje s PV s cest uporablja Priročnik za odtoke vode z avtocest (Highway Runoff Manual, HRM, 2011), ki ga je izdal WSDOT, Priročnik za ravnanje s padavinskimi vodami v vzhodnem Washingtonu (Stormwater Management Manual for Eastern Washington, SWMMEW, 2004) in Priročnik za ravnanje s padavinskimi vodami v zahodnem Washingtonu (Stormwater Management Manual for Western Washington, SWMMWW, 2004), ki ju je izdalo washingtonsko ministrstvo za okolje. Posamezna okrožja so izdala tudi svoje priročnike, kot je npr. Priročnik za dimenzioniranje odvodnje površinske vode (Surface Water Design Manual, SWDM, 2009) (okrožje King County). Tudi na zvezni ravni je bilo izdanih več priročnikov na to temo, v tej diplomski nalogi je uporabljen Priročnik za dimenzioniranje urbane odvodnje (Urban Drainage Design Manual, UDDM, 2009).

V priročniku HRM zvezne države Washington Ministrstvo za promet podaja primere najboljših praks ravnanja (Best Management practices, BMP). Najboljše prakse ravnanja s PV so »... fizične, strukturne in vodstvene prakse, ki preprečujejo ali zmanjšujejo (če so uporabljene samostojno ali v kombinaciji) škodljive učinke meteorne vode, kot so onesnaževanje vode, degradacije kanalov, poškodbe objektov in poplave.« (HRM, 2011). Te primere najboljših praks ravnanja lahko razdelimo po treh osnovnih funkcijah:

- **Za omejevanje izvora:** preprečujejo ali zmanjšujejo vnose onesnažil v padavinsko vodo,
- **za omejevanje pretoka:** kompenzirajo in zmanjšujejo prevelike odtoke z neprepustnih površin,



- **za čiščenje odtoka:** prestrežejo in zmanjšujejo fizikalne, kemijske in biološke obremenitve z onesnažili, ustvarjene zaradi uporabe avtoceste.

Obstaja možnost, da ista naprava lahko opravlja več funkcij hkrati (čiščenje in zadrževanje).

### **2.5.3.1 Naprave za čiščenje PV s cest**

»Uporabljajo različne mehanizme, vključujoč usedanje, filtriranje, rastlinsko absorpcijo, ionsko izmenjavo, adsorbcijo in bakterijski razkroj.« (HRM, 2011, str. 5-3)

Delimo jih v naslednje skupine:

#### **A. Ponikovalniki (HRM, 2011):**

So najbolj primerne naprave za odstranjevanje onesnažil, poleg tega pa so zelo priročne tudi za zadrževanje odtoka. Za večjo učinkovitost ponikovalnikov vodo predhodno očistimo v usedalnikih.

##### **a. Bioponikovalnik (Bioinfiltration pond)**

Za odstranitev onesnažil iz PV s cest je uporabljena vegetacija (trava ali drugo rastlinje), v kombinaciji z zemljino, skozi katero voda pronica v tla, pri tem pa je za odstranjevanje onesnažil iz vode uporabljena filtracija, sorpcija zemljine in koreninsko črpanje. Namenjen za odstranjevanje olja, suspendiranih delcev in raztopljenih kovin.



Slika 8: **Bioponikovalnik (HRM, 2011, str. 5-118)**

##### **b. Ponikovalnik (Infiltration pond)**

Uporablja se za začasno skladiščenje in ponikanje v zemljo. Pri tem se pretok prečisti s filtriranjem. Lahko je uporaben tudi kot objekt za zadrževanje pretokov. Odstranjuje fosfor, suspendirane delce in raztopljene kovine.



**Slika 9: Ponikovalnik (HRM, 2011, str. 5-123)**

**c. Ponikovalni jarek (Infiltration trench)**

Je daljši in ozek jarek, napolnjen s kamenjem, ki s filtracijo PV s cest prečisti, namenjen pa je lahko tudi začasnemu zadrževanju. Očiščena voda kasneje ponikne v zemljo. (Ta objekt je nekaj podobnega kot v Sloveniji grobi filter.) Odstranjuje fosfor, suspendirane delce in raztopljene kovine.



**Slika 10: Ponikovalni jarek (HRM, 2011, str. 5-130)**

**d. Ponikovalni rezervoar (Infiltration vault)**

Podzemni rezervoar brez dna za ponikanje v zemljo in začasno zadrževanje vode. Odstranjuje fosfor, suspendirane delce in raztopljene kovine.



**Slika 11:** Ponikovalni rezervoar (HRM, 2011, str. 5-140)

## **B. Biofiltri (HRM, 2011):**

So naprave, ki s filtriranjem očistijo PV s cest. Filtri so lahko rastlinski ali kamninski.

### **a. Poraščena filtrska brežina (Vegatated filter strip)**

Je nagnjena, gosto poraščena površina, ki upočasni odtok ter ujame onesnažila iz vode. Z njo odstranjujemo olja, suspendirane delce in raztopljene kovine.



**Slika 12:** Poraščena filtrska brežina (HRM, 2011, str. 5-29)

### **b. Biofiltracijski kanal (Biofiltration swale)**

Poraščen kanal, ki odstranjuje suspendirane delce in raztopljene kovine. V teh kanalih je počasen, plitev tok, zaradi česar je možno tudi zadrževanje listja, zemlje, rastlin, ...



**Slika 13:** Biofiltracijski kanal (HRM, 2011, str. 5-40)

**c. Vlažen biofiltracijski kanal (Wet biofiltration swale)**

Je različica objekta pod alinejo b., ki je namenjen za območja z visokimi vodostaji ali z nasičenimi tlemi; poraščen je z vodnimi rastlinami. Odstranjuje suspendirane delce.



**Slika 14:** Vlažen biofiltracijski kanal (HRM, 2011, str. 5-58)

**d. Biofiltracijski kanal z neprekinjenim dotokom (Continuous inflow biofiltration swale)**

Je različica objekta pod alinejo b., odstranjuje suspendirane delce. Voda doteka s strani, po celotni dolžini kanala, ki je povečana, da se doseže enakovreden povprečni hidravlični čas.



**Slika 15:** Biofiltracijski kanal z neprekinjenim dotokom (HRM, 2011, str. 5-81)

**e. Kombinirani filter (Media filter drain)**

Jarek, zasut s filtrsko snovjo (kompost), po katerem teče voda in se pri tem filtrira. Namenjen za odstranjevanje fosforja, suspendiranih delcev in raztopljenih kovin.



**Slika 16:** Kombinirani filter (HRM, 2011, str. 5-85)

**f. Biozadrževalno območje (Bioretention area)**

Plitva depresija, navadno poraščena, ki filtrira ter zadržuje PV s cest. Odstranjuje suspendirane delce ter raztopljene kovine.



**Slika 17:** Biozadrževalno območje (HRM, 2011, str. 5-80)

#### **C. Peščeni filter (Sand filter) (SMMEW, 2004)**

Ta objekt je nekaj podobnega kot ponikovalnik, le da tam ponika voda skozi naravno, obstoječo zemljino, v tem primeru pa skozi umetno izvedeno peščeno filtrsko plast. Kot že samo ime pove, objekt uporablja predvsem filtriranje, da očisti onesnažila iz vode. Poznamo dve obliki: osnovno, kjer je cilj odstraniti 80 % suspendiranih delcev in povečano obliko, ki je 1,6 krat večja od osnovne in je poleg odstranjevanja suspendiranih delcev namenjena tudi za odstranjevanje fosforja.

#### **D. Mokri Bazeni (HRM, 2011)**

V mokrih bazenih se stalno nahaja voda. Namenjeni so predvsem usedanju delcev, lahko pa se uporabljajo tudi za odstranjevanje dušikovih spojin ter raztopljenih kovin. Če so v zemeljski izvedbi, prisotnost rastlin in bakterij zagotavlja še dodatno čiščenje. Učinek se poveča, če zgradimo več ločenih komor. Taki objekti lahko služijo tudi za zadrževanje vode.

##### **a. Mokri usedalnik (Wet pond)**

Usedalnik s stalno prisotno vodo, ki je namenjen za odstranjevanje fosforja in suspendiranih delcev.



**Slika 18:** Mokri usedalnik (HRM, 2011, str. 5-82)

**b. Mokri zadrževalnik z usedalnikom (Combined wet/detention pond)**

Kombinacija zadrževalnika in usedalnika, ki ima bazen s stalno prisotno vodo, ter odstranjuje fosfor in suspendirane delce.



**Slika 19:** Kombinirani mokri zadrževalnik/usedalnik (HRM, 2011, str. 5-84)

**c. Mokrišče z zadrževalnikom (Combined stormwater treatment wetland/detention pond)**

Mokrišče, namenjeno čiščenju raztopljenih kovin in plavajočih delcev; z njegovo pomočjo PV s cest tudi zadržujemo.



**Slika 20:** Mokrišče z zadrževalnikom (HRM, 2011, str. 5-112)

**d. Umetno mokrišče za čiščenje PV s cest (Constructed stormwater treatment wetland)**

Umetno zgrajeno plitvo mokrišče. Prečiščuje vodo s filtriranjem, usedanjem ter z biološkimi procesi, povezanimi z vodnimi rastlinami. Odstranjuje suspendirane delce ter raztopljene kovine.



**Slika 21:** Umetno Mokrišče za čiščenje PV s cest (HRM, 2011, str. 5-100)



## E. Odstranjevanje olj

Naprave, ki imajo več funkcij in so zato že prej opisane, so tukaj samo naštete.

### a. Zadrževalna bariera (Oil treatment boom) (HRM, 2011)

Hidrofobna, vremensko odporna apsorpcijska bariera za odstranjevanje ogljikovodikov. Napeta je po celotni širini objekta, diagonalno, da se poveča dolžina stika z vodo in tako dosežemo večjo učinkovitost.



**Slika 22:** Zadrževalna bariera (HRM, 2011, str. 5-115)

### b. Bioponikovalni bazen (Bioinfiltration pond) (HRM, 2011)

### c. Poraščeno filtrsko pobočje (Vegatated filter strip) (HRM, 2011)

### d. API lovilec olj (SMMEW, 2004)

Lovilec olj, ki ločuje olje od vode s pomočjo potopnih sten in je zasnovan na Ameriškem inštitutu za nafto (American Petroleum Institute – API).

### e. Koalescentni lovilec olj (CP) (SMMEW, 2004)

Za ločevanje olja od vode uporablja gravitacijo.

## F. Odstranjevanje fosforja (HRM, 2011)

Naprave, ki imajo več funkcij in so zato že prej opisane, so tukaj samo naštete.

### a. Mokri usedalnik (Wet pond)

### b. Kombinirani filter (Media filter drain)

### c. Povečan peščeni filter (Large sand filter)

Objekt je v osnovi enak kot osnovni peščeni filter, le da je večji. Tak objekt je namenjen odstranjevanju fosforja; cilj je odstranitev vsaj 50 % vseh spojin, ki vsebujejo fosfor.

### 2.5.3.2 Naprave za zadrževanje odтока PV s cest

Naprave, ki imajo več funkcij in so zato že prej opisane, so v tem poglavju samo našteje.

#### A. Ponikovalniki (HRM, 2011):

- a. **Bioponikovalnik (Bioinfiltration pond)**
- b. **Ponikovalnik (Infiltration pond)**
- c. **Ponikovalni jarek (Infiltration trench)**
- d. **Ponikovalni rezervoar (Infiltration vault)**
- e. **Suhi vodnjak (Drywell)**

Vodnjak iz luknjaste betonske cevi, vkopan v zemljo. Voda na ta način pronica v tla.



Slika 23: Suhi vodnjak (HRM, 2011, str. 5-145)

#### B. Filtri (HRM, 2011):

- a. **Biozadrževalno območje (Bioretention area)**
- b. **Peščeni filter (Sand filter)**

#### C. Zadrževalniki (HRM, 2011):

- a. **Kombinirani mokri zadrževalnik z usedalnikom (Combined wet/detention pond)**
- b. **Zadrževalnik (Detention pond) (HRM, 2011)**

Odprt bazen, ki zmanjšuje odток vode.



**Slika 24:** Zadrževalnik (HRM, 2011, str. 5-178)

#### **2.5.4 Predpostavke in enačbe za dimenzioniranje po priročnikih v Washingtonu**

V ameriških priročnikih je zbranih veliko več objektov in njihovih različic kakor v slovenskih. Da obseg diplomske naloge ne bo prevelik, bom enačbe in postopke dimenzioniranja predstavil za nekatere pomembnejše oz. za tiste, ki so tudi v slovenskih navodilih (zaradi primerjave).

Postopki dimenzioniranja, predpostavke in enačbe so povzeti po HRM (2011), SMMEW (2004), SWDM (2009) in po Stormwater Collection Systems design handbook (2001), nekatere enačbe za pomoč pri dimenzioniranju ali kontrole sem določil sam.

##### **2.5.4.1 Lovilec olj (API separator)**

###### **Gradbena izvedba:**

- Sestavljen je iz treh komor: začetne komore, komore za ločevanje in končne komore.
- Dolžina začetne komore je 1/3 do 1/2 celotne dolžine lovilca olj.
- V končni komori namestimo po potrebi absorpcijske blazinice za olje.
- Vtok je navzdol obrnjeno 90° koleno, vsaj 2 ft nad dnom.
- Iztok mora biti »T« cev, potopljena 1 ft pod gladino vode (glej shemo).
- Na iztočni cevi mora biti nameščen ventil za zapiranje.
- Potopna stena za ločevanje olja je pritrjena na »stropu« lovilca približno 1/4 L pred iztokom. Pod gladino vode je potopljena več kot polovico globine vode, pri čemer mora biti med koncem stene in dnom vsaj 1 ft odprtine.
- Vsaj 1 ft pred potopno steno za zadrževanje olja mora biti spodnja navpična stena za zadrževanje usedlin. Visoka mora biti 24 inch.
- Razmerje dolžin potopnih sten (potopljenih delov) proti globini vode znaša za zgornje stene 0,85 in za spodnje 0,15.

### **Predpostavke:**

- Za neraztopljene in plavajoče snovi je potrebno zagotoviti 20 ft<sup>2</sup> površine predhodne komore v lovilcu na 10.000 ft<sup>2</sup> odvodnjavane površine.
- Vedno uredimo obtok večjih pretokov od merodajnega, t.i. projektnega pretoka.
- Razmerje dolžin potopnih sten proti globini vode znaša za zgornje stene 0,85 in za spodnje 0,15.
- Odvodnjavana površina je večja od 2 acre.
- Lovilec olj je potrebno pregledovati mesečno od 1. oktobra do 30. junija (v »mokri« sezoni) in takoj po večji nevihti (višina padavin 25 mm v 24-ih urah). V območjih s poletnimi nevihtami je potrebno pregledati lovilce pred sezono teh neviht in enkrat med sezono.
- Do 15. oktobra je potrebno očistiti olje in usedline, ki so se nabrale v »suhi« sezoni, čiščenje je potrebno po vsakem razlitju in po merodajni nevihti iz prejšnje alineje.
- Po čiščenju se lovilce napolni s čisto vodo, preden se ga preda nazaj v obratovanje.
- Akumulirano olje se odstranjuje, ko doseže debelino 1 inch.
- Usedline se odstranjujejo, ko dosežejo debelino 6 inch.
- Absorpcijske blazinice zamenjamo, ko je njihova kapaciteta dosežena.

### **Dimenzioniranje:**

V Washingtonu dimenzionirajo lovilce olj glede na to, koliko časa je potrebno, da se kapljica olja dvigne na površino vode v lovilcu. Izhodišče je ugotovitev, da mora biti čas dvigovanja vodne kapljice na površino vode enak hidravličnemu zadrževalnemu času lovilca olj.

Površina vodnega dela prečnega prereza v lovilcu olj:

$$A_l = \frac{Q_l}{v_h} \quad [ft^2] \quad (48)$$

$Q_l$  ... merodajni pretok skozi lovilce olj [ft<sup>3</sup>/s]

$v_h$  ... horizontalna hitrost vode [f/s]

$$v_h = 15 \cdot v_t = 15 \cdot 0,033 = 0,495 \text{ ft/min} = 0,008 \text{ ft/s} \quad (49)$$

$v_t$  ... hitrosti dvigovanja kapljice olja v vodi;  $v_t = 0,033$  ft/min

Maksimalna globina vode v lovilcu olj:

$$H = \frac{A_l}{W} \quad [ft] \quad (50)$$

$W$  ... širina lovilca olj [ft]

$$0,3 \leq \frac{H}{W} \leq 0,5 \quad (51)$$

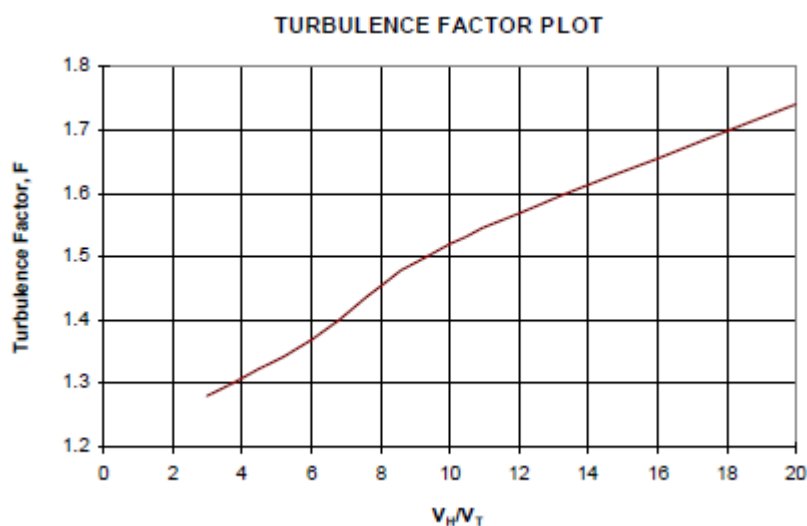
Dolžina lovilca olj – L:

$$L = F \cdot H \cdot \frac{V_h}{v_t} \quad [ft] \quad (52)$$

$F$  ... faktor turbulence (graf 1)

$$\frac{V_h}{v_t} = 15 \quad (53)$$

Iz grafa 1 določimo, ob pogoju 53, faktor turbulence,  $F = 1,65$ .



**Graf 1:** Določitev faktorja turbulence (SWDM, 2009)

Volumen lovilca olj –  $V_u$ :

$$V_u = L \cdot H \cdot W \quad [ft^3] \quad (54)$$

Zadoščeno mora biti pogojem:

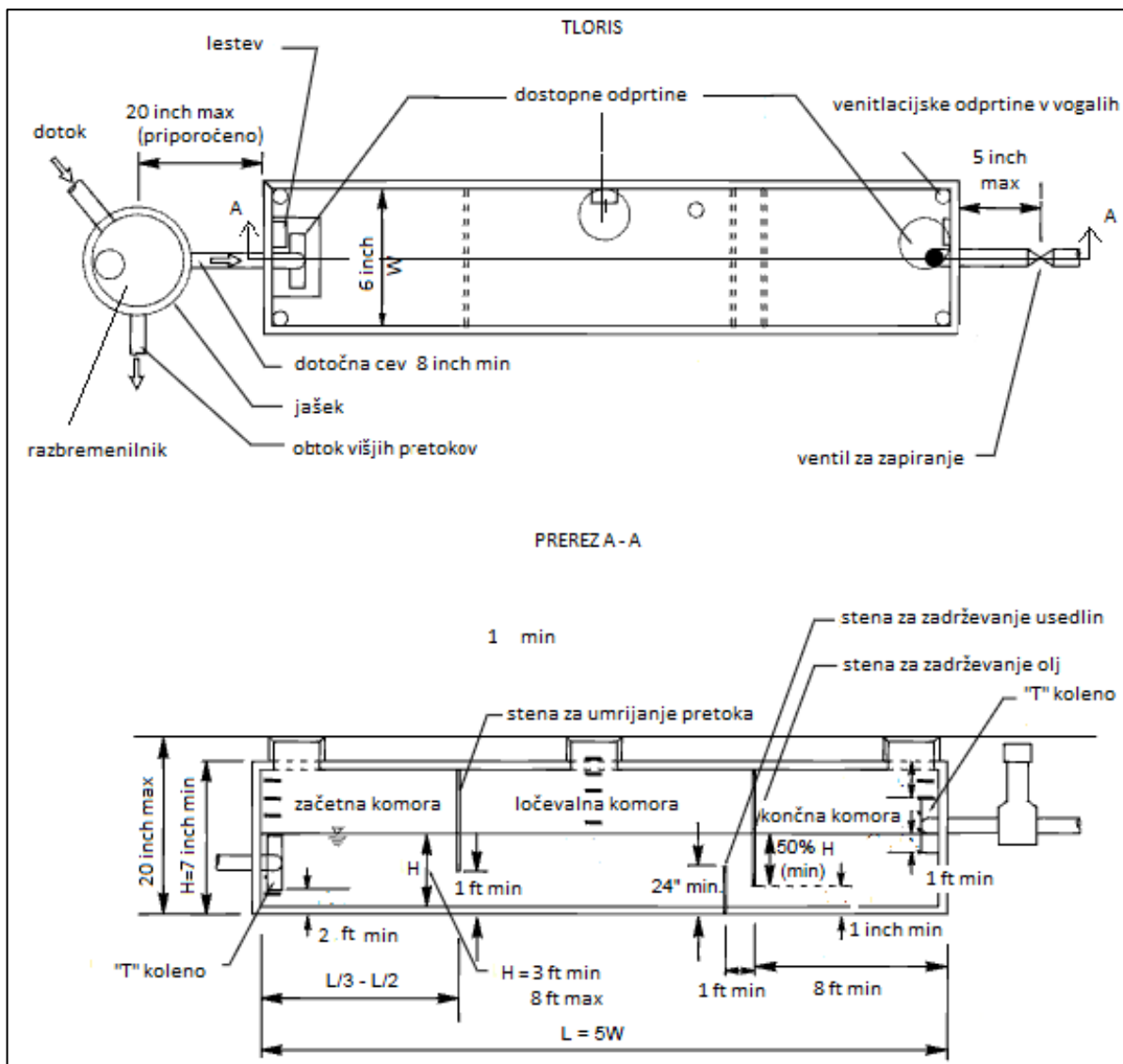
$$L \geq 5 \cdot W \quad (55)$$

$$A_h = \frac{1,65 \cdot Q_l}{0,00055} \leq L \cdot W \quad (56)$$

Dolžina začetne komore –  $L_{zk}$ :

$$L_{zk} = \frac{L}{3} [ft] \quad (57)$$

Površina začetne komore mora biti 20 ft<sup>2</sup> na 1.000 ft<sup>2</sup> odvodnjavane površine. Če ni, jo po potrebi podaljšamo, brez da bi povečali celotno dolžino lovilca olj.



Slika 25: Shema lovilca olj (SWDM, 2009, str. 6-155)

#### 2.5.4.2 Zadrževalnik – detention pond

**Gradbene zahteve:**

- Izvedemo minimalno 1 ft varnostnega nadvišanja.

- Ravno dno izvedemo vsaj 0,5 ft pod nivojem vtoka in iztoka, da zagotovimo prostor za usedanje sedimentov.
- Geometrijske omejitve:
  - notranja stena maksimalni naklon 3H : 1V (H – horizontalno, V – vertikalno),
  - zunanja stena maksimalni naklon 2H : 1V.
- Stene so lahko tudi vertikalne, vendar samo v betonski izvedbi, z ograjo na vrhu, a se priporoča, da je vsaj 25 % obsega v zemeljski izvedbi z geometrijskimi omejitvami iz prejšnje alineje.
- Odtok kontroliramo z odtočnim objektom, ki ima urejen preliv za odtoke s 100-letno povratno dobo.
- Uredimo tudi izredni preliv za dotoke s 100-letno povratno dobo, za primere zamašitve ali nedelovanja odtočnega objekta.

#### **Predpostavke:**

- Dimenzioniramo jih tako, da celotni pretok teče skozi objekt.
- Gradimo jih tam, kjer je prostorsko mogoče ter ni možnosti ponikanja vode (v navezavi na slovenska Navodila projektantom, bi to bilo v primerih, ko so sprejemniki površinske vode). Če je možnost ponikanja, vedno izvedemo ponikovalni bazen.
- Po padavinskem dogodku mora voda iz objekta odteči, da je volumen v objektu na voljo za zadrževanje naslednjega padavinskega odtoka.
- Volumen dimenzioniramo na padavine s povratno dobo 2 leti.
- Dotočno cev dimenzioniramo na pretok, za katerega uredimo odvodnjavanje ceste.

#### **Dimenzioniranje:**

##### Volumen in dimenzije zadrževalnika:

$$V_z = Q_d \cdot T - Q_o \cdot \left(\frac{T+t}{2}\right) \quad [ft^3] \quad (58)$$

$T$ ... trajanje merodajnega naliva [s]

$Q_o$ ... odtok iz zadrževalnika [ $ft^3/s$ ]

$t$ ... čas koncentracije [s]

$Q_d$ ... dotok v zadrževalnika [ $ft^3/s$ ] (računamo po enačbi 2)

Iz dobljenega volumna lahko izračunamo dimenzije objekta, kar je lahko enostavno ob predpostavki, da je objekt pravilnih oblik, recimo prisekan stožec ali prisekana štiristrana piramida.

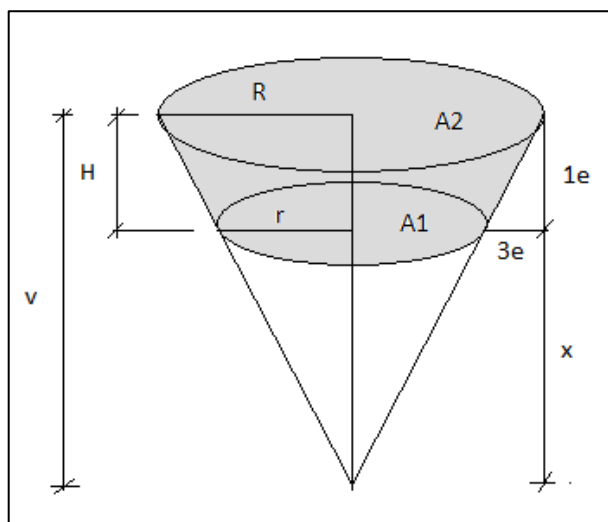
V primeru, da je geometrijska oblika zadrževalnika presekan stožec, bi postopali tako, da izberemo površino vodne gladine ( $A_2$ ) ob maksimalni globini vode ( $H$ ). Iz enačbe za ploščino kroga lahko izračunamo  $R$ . Iz enačbe 60 dobimo višino celotnega stožca –  $v$ . Nato lahko iz enačbe 59 izračunamo še  $r$  in nato  $A_1$  (iz enačbe za ploščino kroga). Dobljene dimenzije po potrebi optimiziramo (spreminjamo  $A_2$ ), da dobimo realno obliko zadrževalnika. Izračunamo še globino vode ( $H$ ) po enačbi 61. Za lažjo predstavbo glej sliko 26.

$$V_z = \frac{\pi \cdot v}{3} \cdot (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad [ft^3]^5 \quad (59)$$

$$v = 3 \cdot R \quad [ft] \quad (60)$$

$$H = v - x \quad [ft] \quad (61)$$

$$x = 3 \cdot r \quad [ft] \quad (62)$$



**Slika 26:** Skica za pomoč pri dimenzioniranju zadrževalnega bazena v obliki presekanega stožca (sivo je obarvan volumen zadrževalnika)

Če pa je geometrijska oblika zadrževalnika presekana štiristrana piramida (trapezoidna oblika), pa priročnik Urban Drainage Design Manual – UDDM (2009) podaja enačbo 63, s katero izračunamo volumen presekanе štiristrane piramide.

$$V_z = L \cdot W \cdot H + (L + W) \cdot Z \cdot H^2 + \frac{4}{3} \cdot Z^2 H^3 \quad [ft^3] \quad (63)$$

$Z$ ... naklon stene;  $Z = 3$  (pri  $V:H = 1:3$ )

$L$ ... dolžina dna zadrževalnika [ft]

<sup>5</sup> [http://si.openprof.com/wb/sto%C5%BEec#Prostornina\\_prisekanega\\_sto%C5%BEca](http://si.openprof.com/wb/sto%C5%BEec#Prostornina_prisekanega_sto%C5%BEca) (Pridobljeno 14. 4. 2014)

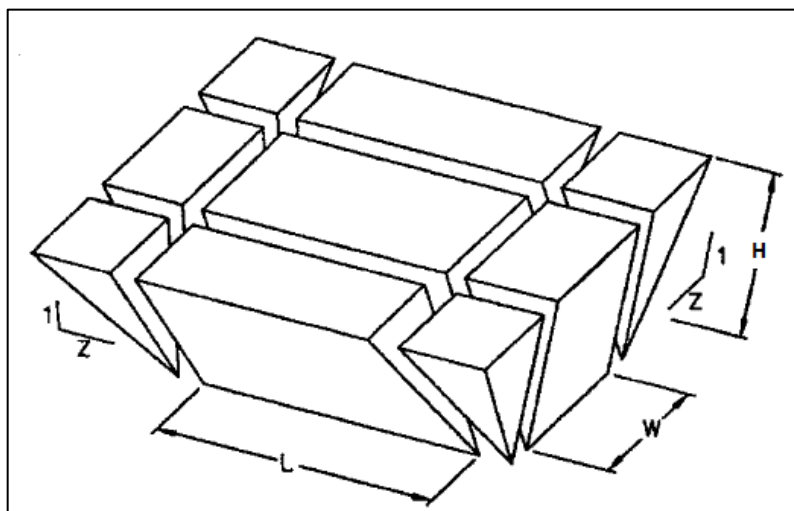


$W$ ... širina dna zadrževalnika [ft]

Izberemo globino vode ( $H$ ) in ob predpostavki 64, z enačbo 65 izračunamo dolžino, nazadnje še iz enačbe 63 lahko izračunamo širino. Dobljeni širina in dolžina sta meri na dnu zadrževalnika (slika 27).

$$r = \frac{W}{L} = \frac{1}{2} \quad (64)$$

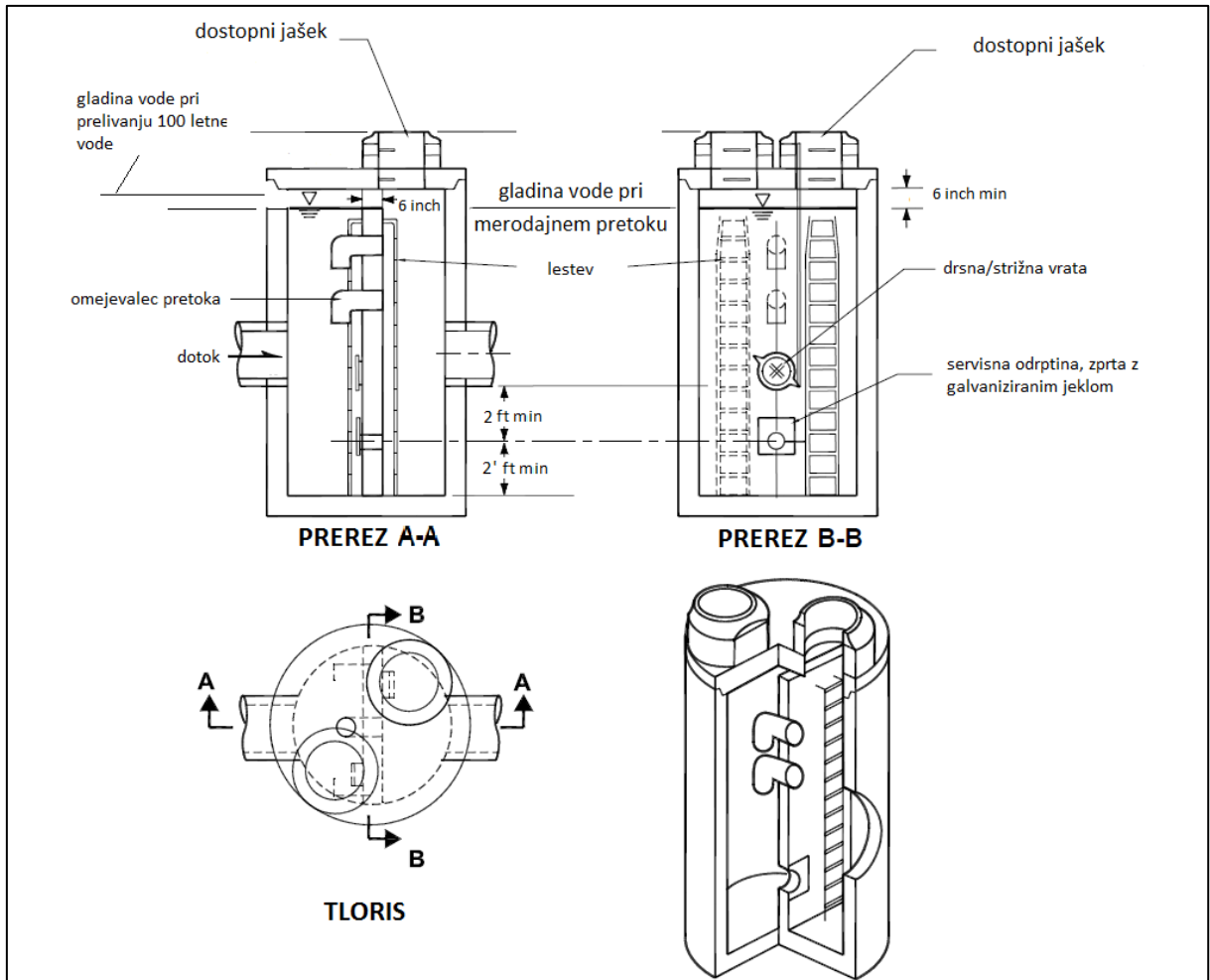
$$L = \frac{-Z \cdot H \cdot (r+1) + \sqrt{(Z \cdot H)^2 \cdot (r+1)^2 - 5,33 \cdot (Z \cdot H)^2 \cdot r + \frac{4 \cdot r \cdot V_z}{H}}}{2 \cdot r} \quad [ft] \quad (65)$$



**Slika 27:** Skica za pomoč pri dimenzioniranju zadrževalnega bazena v obliki presekanе štiristrane piramide (UDDM, 2009, str. 8-14)

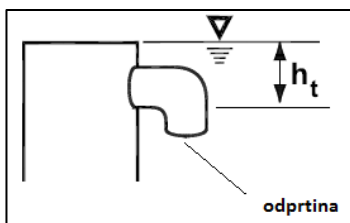
Iztočni objekt za kontrolo odtokov s primarnim prelivom za 100 letne vode:

Taki objekti so jaški, ki imajo dotočno in iztočno odprtino, ki morata prevajati 100-letne pretoke. V sredini jaška je stena, ki se konča pod vrhom jaška, v ravnini vodne gladine pri merodajnem pretoku. Prostor nad steno je namenjen prelivanju visokih voda. V sami steni je ena ali več odprtin, ki prevajajo pretok, sprejemljiv za sprejemnik. (glej sliko 28)



Slika 28: Iztočni objekt za kontrolo iztoka (SWDM, 2009, str. 5-40)

Dimenzioniranje odprtin:



$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_t} \quad [ft^3] \quad (66)$$

$\mu$ ... koeficient iztoka;  $\mu = 0,62$   
 $h_t$  ... višina vode nad odprtino [ft]  
 $g$ ... težnostni pospešek;  $g = 32,2 \text{ ft/s}^2$

Slika 29: Dimenzioniranje odprtin

Dotočno in iztočno cev dimenzioniramo po enačbi 65.

Če je odprtin več, skupni pretok dobimo tako, da seštejemo pretoke v posameznih odprtinah.

Izredni - sekundarni preliv za odtok s 100-letno povratno dobo:

Dimenzioniramo ga za primere, če pride do zamašitve primarnega preliva, ali kakršnih koli drugih težav na primarnem prelivu.

Kota prelivnega polja mora biti na višini gladine prelivanja vode čez primarni preliv.

Pretok čez preliv:

$$Q_{100} = C \cdot \sqrt{(2 \cdot g)} \cdot \left[ \frac{2}{3} \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15} \cdot (\tan\theta) \cdot H^{\frac{5}{2}} \right] \quad [ft^3] \quad (67)$$

$C$  ... koeficient pretoka;  $C = 0,6$

$g$  ... težnostni pospešek;  $g = 32,2 \text{ ft/s}^2$

$L$  ... dolžina preliva [ft]

$H$  ... višina prelivajoče se vode [ft]

$\theta$  ... kot nagiba brežin preliva (glej sliko);  $\tan\theta = 3$  za brežine 3 : 1

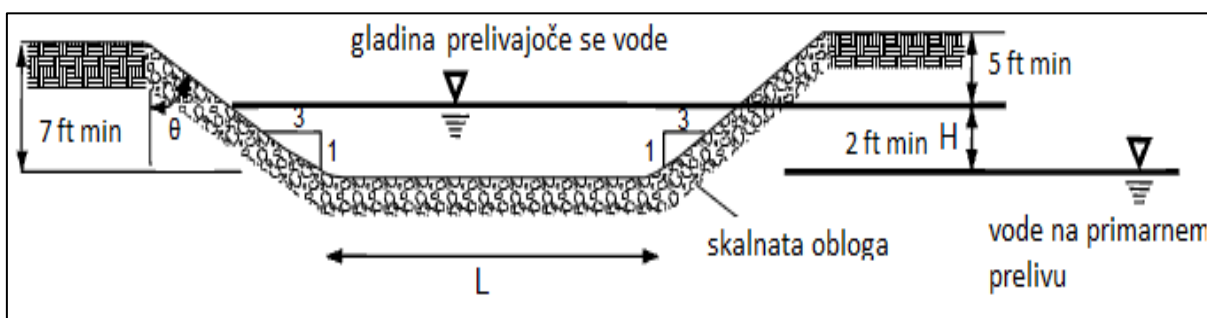
Po vstavitvi koeficienta pretoka in vrednosti  $\tan\theta$  in preureditvi enačbe 67, dobimo enačbo 68 za račun prelivne dolžine.

$$L = \left[ \frac{Q_{100}}{3,21 \cdot H^{3/2}} \right] - 2,4 \cdot H \quad [ft] \quad (68)$$

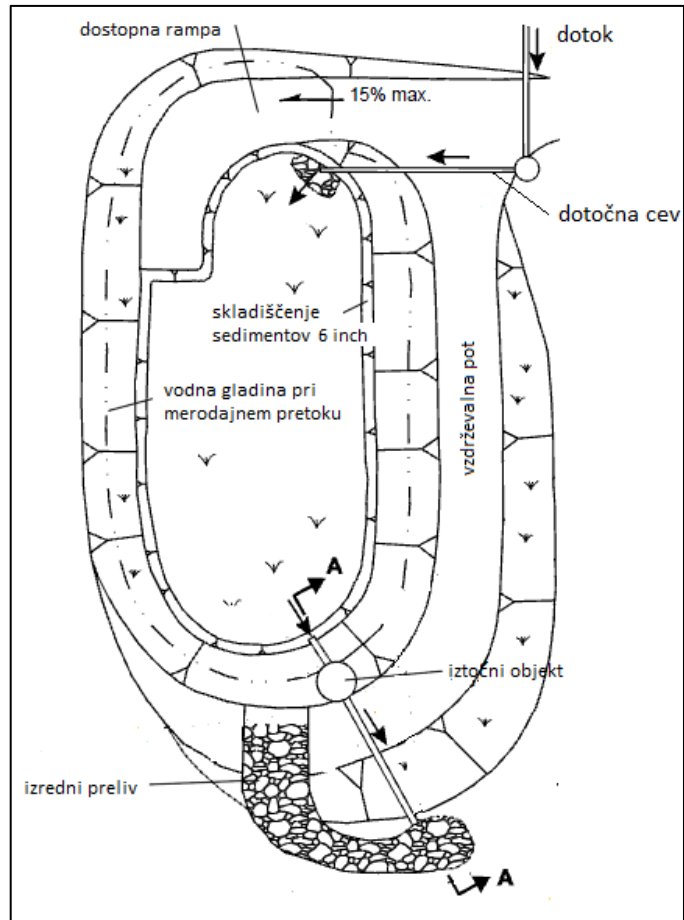
Omejitve:

$$H \geq 0,2 \text{ ft} \quad (69)$$

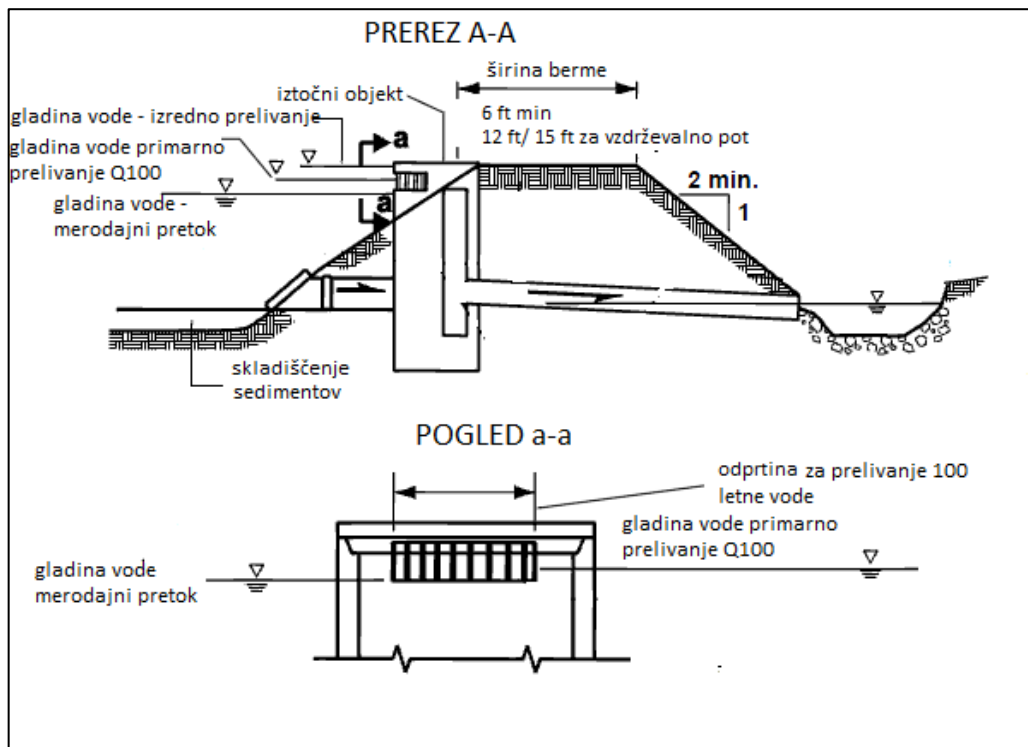
$$L \geq 6 \text{ ft} \quad (70)$$



**Slika 30:** skica izrednega – sekundarnega preliva (SWDM, 2009, str. 5-30)



Slika 31: Shema tipičnega zadrževalnika poljubne oblike (SWDM, 2009, str. 5-26)



Slika 32: Prerez skozi iztočni objekt (SWDM, 2009, str. 5-27)

### 2.5.4.3 Peščeni filter – Sand filter

#### Gradbene zahteve:

- Peščena plast mora biti debela minimalno 1.5 ft.
- Globina vode nad peščeno plastjo je maksimalno 6 ft.
- Vzdolž ene strani filtra moramo namestiti razporejevalnik dotoka, v katerega je speljana dotočna cev. Razporejevalnik dotoka preprečuje erozijo peska v filtru ter usmerja tok na sam filter.
- Razporejevalnik dotoka mora biti nameščen na daljši stranici (če je razmerje stranic enako ali večje od 2 : 1) ter mora zasedati vsaj 20 % dolžine oboda peščenega filtra.
- Filter je sestavljen je iz štirih plasti:
  - trava,
  - peščena plast,
  - geotekstil,
  - drenažni sistem.
- Filtrski pesek: glej preglednico 9.

**Preglednica 9: Specifikacije filtrskega peska (SWDM, 2009, str. 6-113)**

Velikost sita (ZDA)	Presejek v %
No. 4 (0,187 in)	95–100
No. 8 (0,093 in)	70–100
No. 16 (0,046 in)	40–90
No. 30 (0,024 in)	25–75
No. 50 (0,012 in)	2–25
No. 100 (0,006 in)	manj kot 4
No. 200 (0,003 in)	manj kot 2

- Za drenažni sistem je več možnosti:
- centralni kolektor s stranskimi priključki v 8 inch debeli prodnati plasti,
- geotekstilni drenažni trak v 8 inch debeli prodnati plasti,
- vzdolžne cevi v 8 inch debeli prodnati plasti s kolektorjem na iztočni strani objekta.
- Maksimalna pravokotna razdalja med stranskimi cevmi naj znaša 15 ft.
- Padeč cevi je minimalno 0,5 %.
- Iztok mora biti nad najvišjim nivojem podtalnice.
- Neprepustno pokrite čistilne odprtine izvedemo na vseh koncih cevi in morajo segati iz filtra.
- Geotekstil namestimo tudi med peskom in drenažno plastjo.
- Za drenažo uporabimo vsaj  $\Phi$  6 inch perforirano PVC cev.

- Drenažna skalna plast naj sestoji iz 1,5–1,75 inch opranega proda (brez glinenih ali ostalih organskih primesi).
- Površino filtra lahko zatravimo z nekaterimi travnimi vrstami.
- Če je objekt samostojna enota za čiščenje (brez usedalnika in zadrževalnega bazena predhodno), se izvede pred čiščenje (za odstranitev olj in suspendiranih delcev).
- Ko plast sedimentov in naplavin v objektu za pred čiščenje preseže 12 inch, je potrebno te naprave očistiti.
- Ko plast usedlin in naplavin na filtru doseže 0,5 inch, je filter potrebno čistiti.
- Ko voda skozi filter odteka počasi, t.j. gladina upada počasneje kot 0,5 inch na uro, je potrebno čiščenje filtra (iz izkušenj na 4–10 let):
  - Odstranimo, kar se je ujelo v travnato plast (suha trava, listje, slama ...),
  - Prezračimo filter.
  - Zamenjamo zgornjih 4–6 inch peska ter travo.
- Prehitro upadanje gladine v objektu (več kot 12 inch na uro) pomeni nepravilno delovanje. Pregledati je potrebno cevi in nasipe (če je morda prišlo do puščanja).
- Dno objekta je lahko glineno, betonsko ali izvedeno z geomembrano, mora biti neprepustno za vodo.
- Če se na peščeni površini izoblikujejo žlebiči, je potrebno pregledati razporejevalnik dotoka, ali pa vzrok iskati v kompaktnosti peska.
- Stene morajo biti v naklonu manjšem ali enakem 3 : 1.
- Nad kolektorjem mora biti vedno 8 inch debeline drenažne plasti.

#### **Predpostavke:**

- Filtri se lahko hitro zamašijo, zato je potrebno pred filtriranjem zagotoviti usedalnik in lovilec olj. Lahko tudi kombiniran zadrževalnik, ki opravlja tudi funkcijo usedanja in čiščenja. Če je predviden samo filter, potem v okviru takega objekta zgradimo še usedalnik z lovilcem olj.
- Voda se filtrira vertikalno, pod filtrom se zbira v drenažnih ceveh in odteka v sprejemnik.
- V območjih z visoko podtalnico, kjer talna voda lahko poplavi filter, ne uporabljamo teh objektov.
- Iz filtra odteka voda izključno gravitacijsko, nikoli s prečrpavanjem. Če odpove črpalka, lahko pride do anoksičnosti (škodljivo za bakterije, ki nastanejo v takem filtru in še dodatno biološko očistijo vodo) ter sprostitve onesnažil.
- Lahko ga dimenzioniramo na padavine z 2-letno povratno dobo za trajanje naliva 15 min, v tem primeru ostalo odvedemo mimo filtra. Take filtre lahko namestimo gorvodno ali dolvodno od zadrževalnih naprav. Druga možnost pa je, da vso vodo dovedemo na filtre, a potem

moramo izvesti prelive visokih voda, kot je to predvideno za zadrževalnik. V tem primeru se filter nahaja vedno dolvodno od zadrževalne naprave.

- Ko plast sedimentov in naplavin v morebitnem objektu za predčiščenje preseže 12 inch, je potrebno te naprave očistiti.
- Ko plast usedlin in naplavin na filtru doseže 0,5 inch, je filter potrebno čistiti.
- Ko voda skozi filter odteka počasi, t.j. gladina upada počasneje kot 0,5 inch na uro, je potrebno čiščenje filtra (iz izkušenj na 4–10 let):
  - Odstranimo, kar se je ujelo v travnato plast (suha trava, listje, slama ...),
  - Prezračimo filter.
  - Zamenjamo zgornjih 4–6 inch peska ter travo.
- Prehitro upadanje gladine v objektu (več kot 12 inch na uro) pomeni nepravilno delovanje. Pregledati je potrebno cevi in nasipe (če je morda prišlo do puščanja).
- Če se na peščeni površini izoblikujejo žlebiči, je potrebno pregledati razporejevalnik dotoka, ali pa vzrok iskati v kompaktnosti peska.
- Filter se mora izprazniti v 24 urah.
- Maksimalna gladina vode nad peščenim filtrom znaša 6 ft.

### **Dimenzioniranje:**

Predstavljam bom poenostavljeno metodo za relativno hitro določitev dimenzij peščenega filtra. Obstajajo še druge metode, bolj zapletene, pri katerih se uporabljajo različni računalniški programi. Poenostavljena metoda se uporablja za dimenzioniranje peščenih filtrov, pri katerih je urejeno razbremenjevanje. Dimenzioniramo ga na merodajni pretok, ostalo odvedemo mimo filtra v sprejemnik (ali zadrževalni bazen, če je filter nameščen gorvodno).

Ta metoda temelji na predpostavki, da pritekajoča voda takoj odteče skozi filter, torej nad filtrom ni zadrževane vode. Ker pri tem seveda dobimo veliko večjo površino filtra, kot če bi vodo zadrževali, je vpeljan prilagoditveni faktor, s katerim pomnožimo dobljeno površino, in znaša 0,7. S tem faktorjem kompenziramo predpostavko o takojšnjem odtekanju vode. Za nek pretok bi torej potrebovali neko površino, če voda sproti odteka, ker pa se bo del vode zadrževal, bo pretok skozi filter manjši kot tisti na dotoku (predpostavilo se je, da za faktor 0,7 in temu se prilagodijo dimenzije peščenega filtra).

Kot izhodišče uporabimo Darcyjev zakon (enačba 70) za pretok ( $Q_f$ ) skozi peščeni filter.

$$Q_f = K \cdot i \cdot A_f [ft^3/s] \quad (71)$$

$K$ ... hidravlična prepustnost;  $K = 2,0 \text{ ft/dan} = 1,0 \text{ inch/uro}$

$i$ ... hidravlični gradient [ft/ft]

$A_f$ ... površina filtra [ft<sup>2</sup>]

$$i = \frac{h+l}{l} [ft/ft] \quad (72)$$

$$h = \frac{H}{2} [ft] \quad (73)$$

$H$ ... maksimalna globina vode nad peščenim filtrom [ft] (izberemo)

$l$ ... debelina peščene plasti;  $l = 1,5$  ft

Izračunamo volumen dotoka v peščeni filter:

$$V_d = Q_d \cdot T [ft^3] \quad (74)$$

$T$ ... čas trajanja padavin [s]

$Q_d$ ... merodajni dotok [ $ft^3/s$ ]

potrebni pretok skozi filter:

$$Q_f = \frac{V_d \cdot R}{t} [ft^3/s] \quad (75)$$

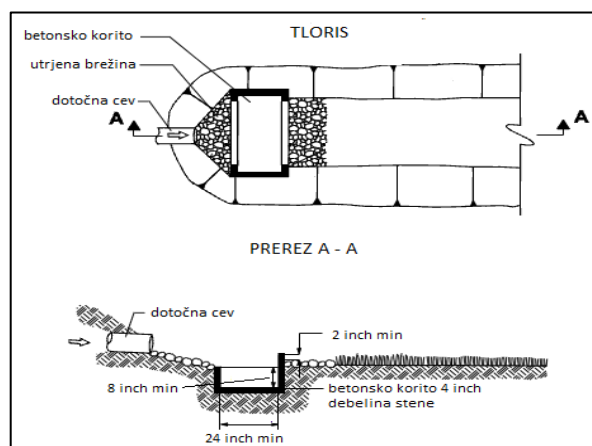
$R$ ... prilagoditveni faktor;  $R = 0,7$

$t$ ... čas praznjenja objekta;  $t = 24 \text{ h} = 86400 \text{ s}$

Iz enačb 71, 72 in 74 dobimo:

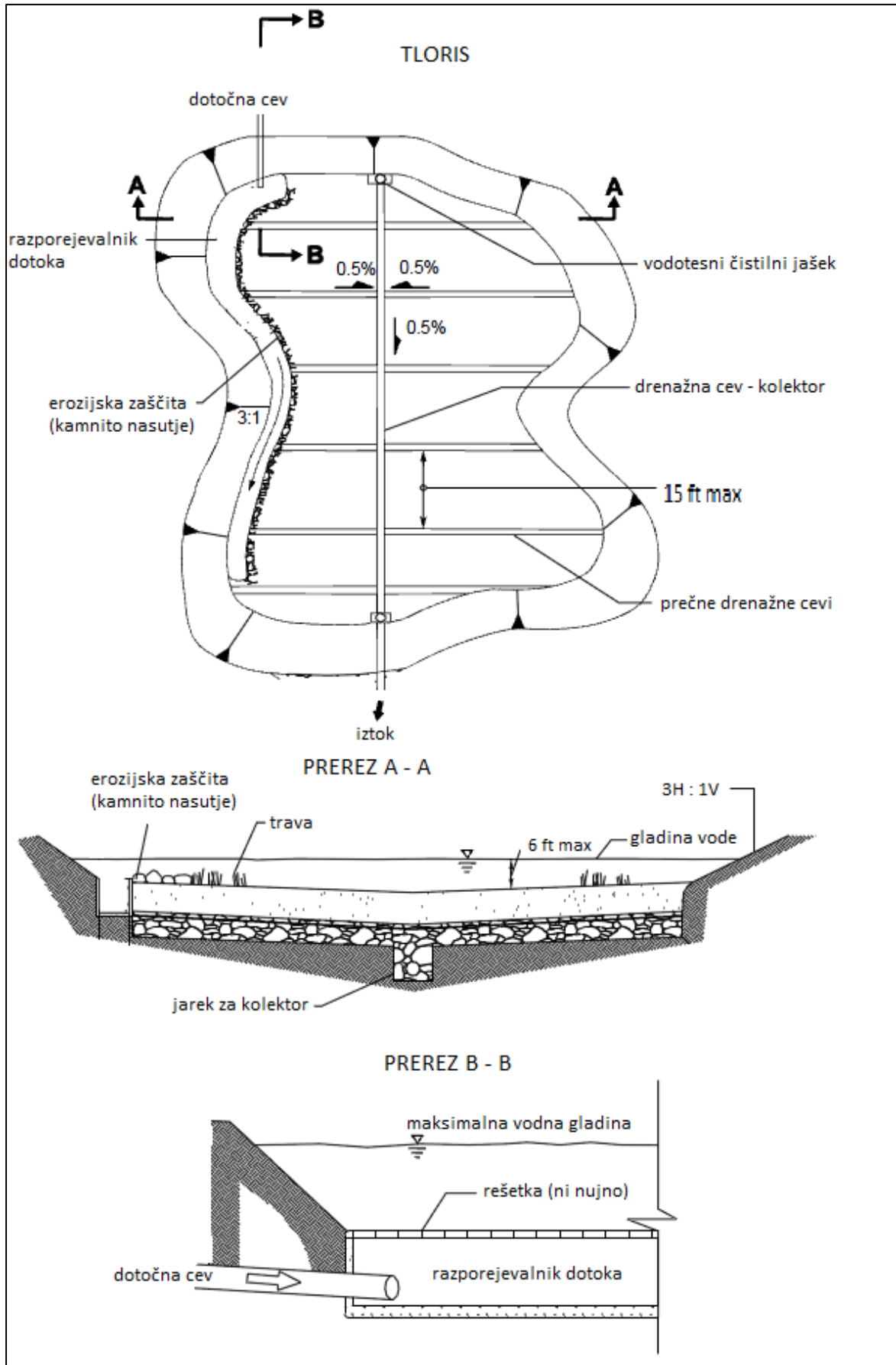
$$A_f = \frac{V_d \cdot R \cdot l}{K \cdot (h+l) \cdot t} [ft/ft] \quad (76)$$

Izračunamo lahko še dimenzije in potrebni volumen objekta. Uporabimo enačbe za stožec ali piramido, enako kot pri zadrževalnem bazenu, odvisno od želene oblike. Objekt je lahko tudi poljubne oblike.



Slika 33: Razporejevalnik dotoka (SWDM, 2009, str. 6-36)





**Slika 34:** Skica peščenega filtra poljubne oblike (SWDM, 2009, str. 6-119)

#### **2.5.4.4 Ponikovalnik– Infiltration pond**

##### **Gradbene zahteve:**

- Naklon notranjih brežin 3H : 1V.
- Naklon zunanjih brežin 2H : 1V.
- Varnostno nadvišanje vsaj 1 ft.
- Dno ponikovalnika mora biti vsaj 3 ft nad najvišjo gladino podtalnice.
- Objekt mora biti vkopan vsaj 1 ft v teren.
- Če je objekt zasnovan kot samostojna enota, je potrebno izvesti pred čiščenje z usedanjem in lovljenjem olj.
- Objekt je lahko poljubne oblike, lahko je okrogel (volumen je enak volumnu prisekanega stožca), lahko pa je pravokoten (volumen je enak volumnu prisekane piramide).
- Razmerje dolžine proti širini naj bo 2 : 1.

##### **Predpostavke:**

- Priporočena višina vode pri merodajnem dotoku je 3 ft, ne sme pa presegati 6 ft.
- Če je objekt zasnovan kot samostojna enota, zagotovimo prelive za 100-letne vode (primarnega in izrednega, kot je to predvideno pri zadrževalniku).
- Če je objekt dolvodno od zadrževalnika, odvedemo visoke vode že v zadrževalniku in ponikovalnik dimenzioniramo na iztok iz zadrževalnika oz. iztok iz zadrževalnika dimenzioniramo na sposobnost ponikanja v ponikovalniku.
- Ponikovalnik dimenzioniramo enako kot zadrževalnik, razlika je v tem, da pri zadrževalniku imamo nek dovoljen iztok, pri ponikovalniku pa je iztok odvisen od sposobnosti ponikanja vode v zemljino.

##### **Dimenzioniranje:**

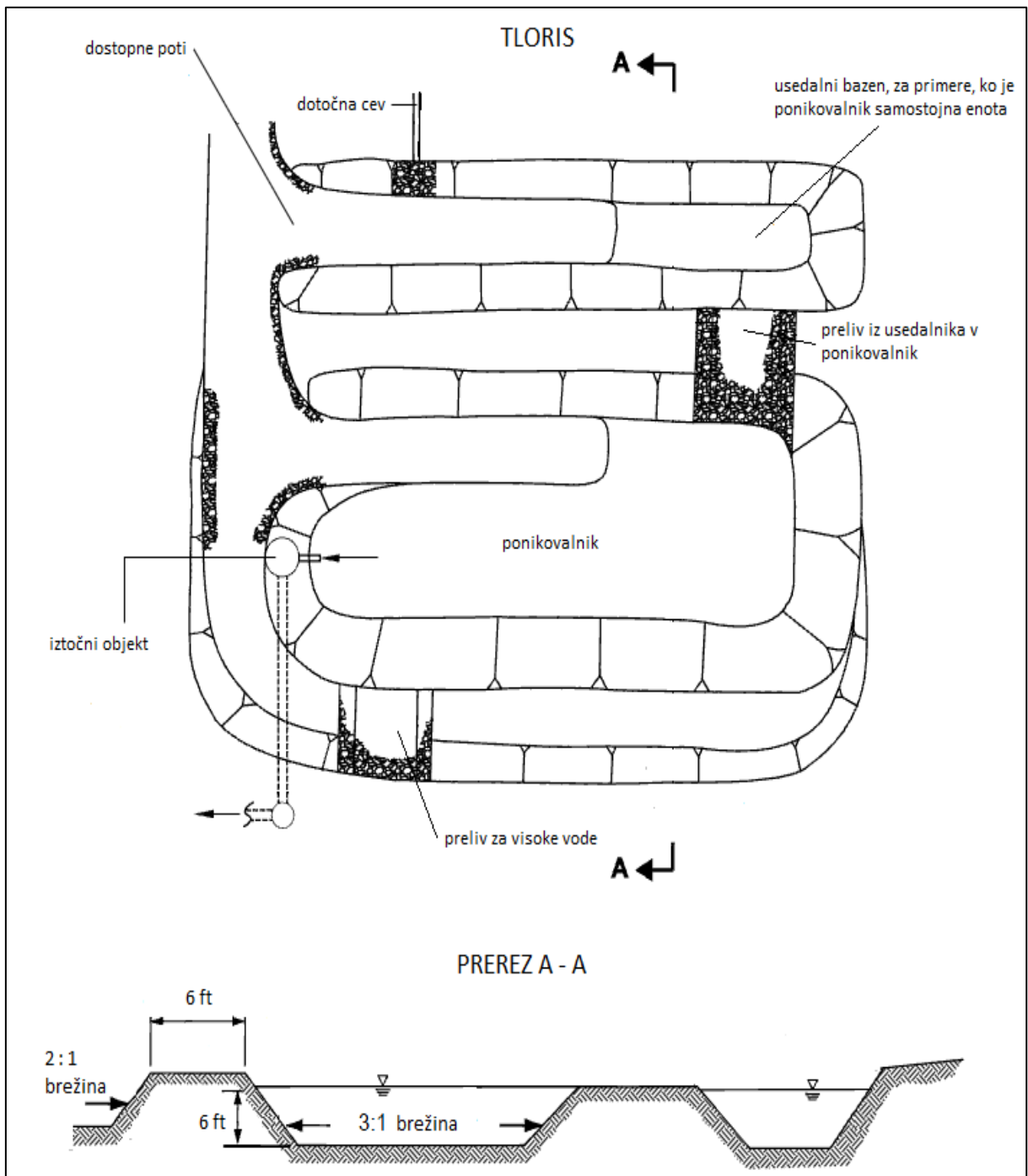
Sposobnost ponikanja vode v zemljino ( $Q_{inf}$ ) računamo po enačbi 70, kjer za debelino plasti, skozi katero ponika voda ( $l$ ), vzamemo razdaljo med dnom ponikovalnika in gladino podtalnice. Volumen objekta ( $V_p$ ) izračunamo kot razliko volumna pritoka in razliko volumna odtoka.

Dimenzije določimo po enačbah 58 do 61, če je objekt tlorisno okrogel, ali pa po enačbah 62 do 64, v primeru, da je objekt tlorisno pravokoten.

Višino vode v ponikovalniku ( $H$ ) izberemo glede na zahteve iz prve alineje v zgornjih predpostavkah.

Morebitni iztočni objekt načrtujemo enako kot pri zadrževalniku (slika 28), izredni preliv za visoke vode pa dimenzioniramo po enačbah od 66 do 69, prav tako s pomočjo istih enačb dimenzioniramo preliv med usedalnim delom objekta ter ponikovalnim delom.

Na sliki 35 je prikazana skica ponikovalnika poljubne oblike za primer, ko nastopa sam v procesu čiščenja PV s cest, torej z vključenimi prelivnimi objekti za visoke vode in objekti za pred čiščenje.



**Slika 35:** Skica ponikovalnika z usedalnikom in prelivnimi ter iztočnimi objekti (SWDM, 2009, str. 5-67)

### **3 AVTOCESTE, PADAVINE IN PADAVINSKI ODTOK**

#### **3.1 Avtocestno omrežje**

Dobra infrastruktura, kamor spada tudi avtocestno omrežje, je temelj gospodarskega razvoja za vsako državo. Avtoceste zagotavljajo hiter in učinkovit pretok prometa, tako osebnega kot tudi tovornega. Povezujejo gospodarska in ekonomska središča držav ter cestni tovorni promet umikajo v stran od umirjenih podeželskih naselij in prometno slabše pretočnih lokalnih in regionalnih cest. Nepogrešljive so v višku turističnih sezon, ko se odvijajo množični premiki, predvsem osebnih vozil, v turistična središča.

Programi načrtovanja, izgradnje in vzdrževanja avtocest so tako za vsako državo zelo pomembni in predstavljajo znaten del državnega proračuna. Pri takih projektih je potrebno računati na ogromno dejavnikov, tudi okoljskih, in premišljeno umestiti objekte v prostor, ker po končani izgradnji poti nazaj več ni.

##### **3.1.1 Slovenija**

Prvi odsek štiripasovne avtoceste v Sloveniji (AC Vrhnika–Postojna) je bil predan svojemu namenu leta 1972. Po letu 1972, je bilo zgrajenih še nekaj dodatnih odsekov avtocest, do leta 1994 skupno 193,3 km štiripasovnih in 59,1 km dvopasovnih avtocest. Leta 1995 je državni zbor RS sprejel Nacionalni program izgradnje avtocest (NPIA), v katerem je bil postavljen plan nadaljnje gradnje. NPIA je bil dopolnjen v letih 1998 in 2004 in do danes je bilo izgrajenih še dodatnih 528 km avtocest in hitrih cest.<sup>6</sup>

Trenutno je v državi 6 avtocest (A1–A6) in 7 hitrih cest (H1–H7). Nekatere izmed njih so pomemben del V. evropskega prometnega koridorja (EPK) (v smeri vzhod–zahod; Benetke–Trst– Koper–Ljubljana–Maribor–Pince–Budimpešta–Uzhhorod–Lvov–Kijev) ali X. EPK (v smeri sever–jug; preko Salzburga–Karavank–Ljubljane–Zagreba–Beograda–Niša–Skopja do Soluna).<sup>7</sup> V planu za gradnjo je še nekaj odsekov proti hrvaški meji, ki pa še niti niso umeščeni v prostor, saj primanjkuje finančnih sredstev, zaradi aktualne gospodarske krize. Načrtovane so še tri nove razvojne osi (na sliki 37 označene z modro neprekinjeno črto), v prihodnosti pa bi morali začeti razmišljati tudi o širjenju in posodobitvi obstoječih avtocest, saj se promet stalno povečuje (Ficko, 2010).

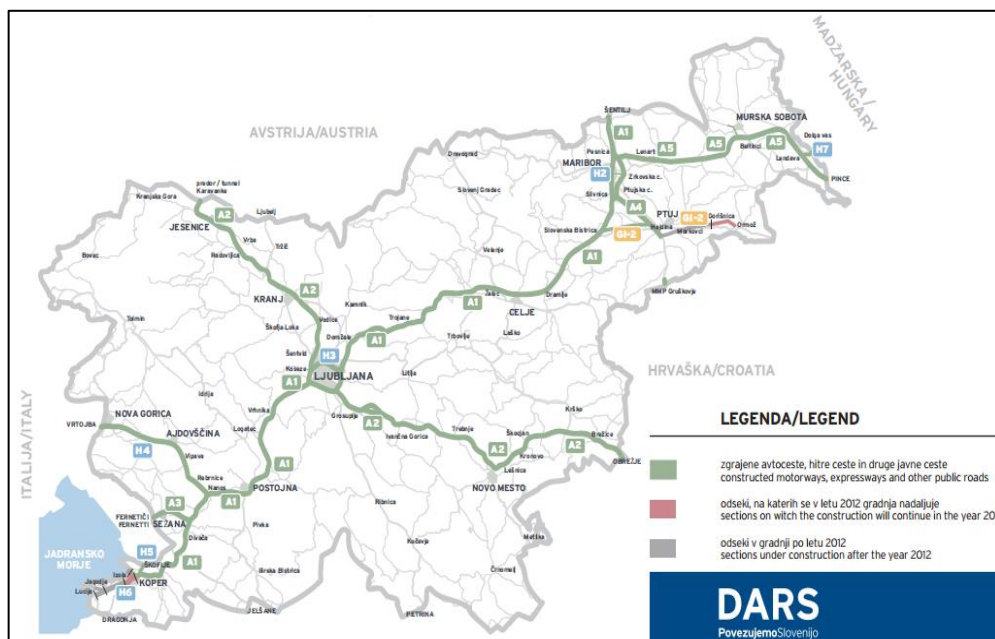
Ugotavljam torej, da v Sloveniji še zdaleč nismo zaključili z gradnjo avtocestnega omrežja, nekateri odseki, ki so širše mednarodno pomembni, še niso povsem dokončani, »kar nas v Evropski uniji

---

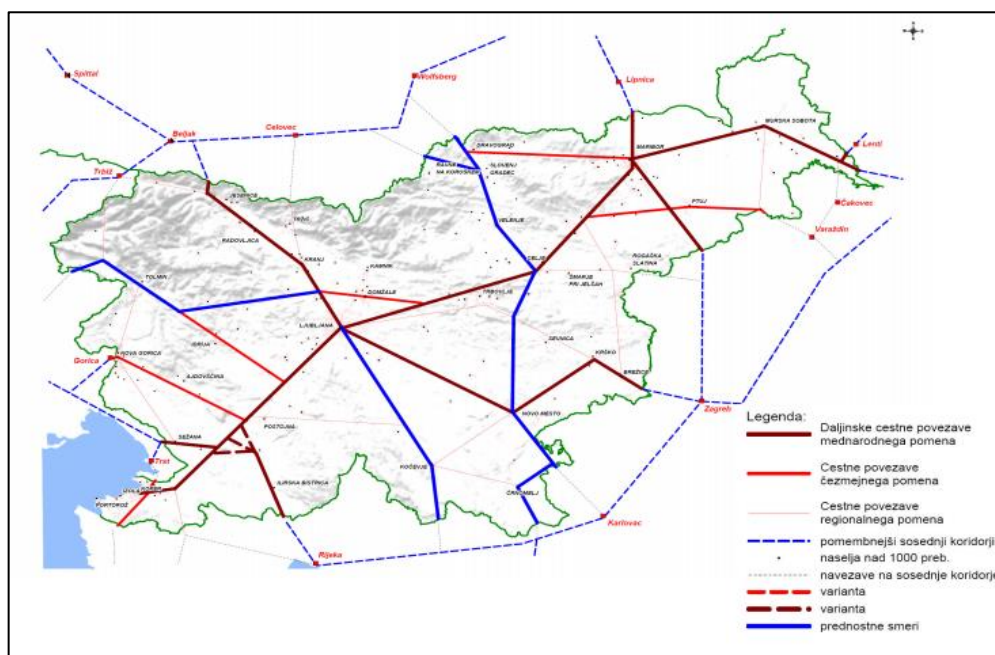
<sup>6</sup> [http://www.dars.si/Dokumenti/O\\_avtocestah/Nacionalni\\_program\\_izgradnje\\_avtocest/Zgrajene\\_AC\\_in\\_HC\\_30.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Nacionalni_program_izgradnje_avtocest/Zgrajene_AC_in_HC_30.aspx) (pridobljeno 15. 11. 2013)

<sup>7</sup> [http://sl.wikipedia.org/wiki/Slovensko\\_avtocestno\\_omre%C5%BEje](http://sl.wikipedia.org/wiki/Slovensko_avtocestno_omre%C5%BEje) (pridobljeno 15. 11. 2013)

predstavlja v dokaj čudni luči ...» (Ficko, 2010, str. 224). Glede na to dejstvo se bo na področju odvodnjavanja cest dalo še marsikaj postoriti, v smislu izboljšanja tehničnih predpisov in priporočil.



Slika 36: Avtocestno omrežje v Sloveniji leta 2012<sup>8</sup>



Slika 37: Načrtovana 3., 3.a in 4. razvojna os v RS (Ficko, 2010, str. 225 )

V Sloveniji uporabljamo za avtoceste dva različna prereza – tipska prečna profila (TPP), glede na projektno hitrost vozil, kot je prikazano v preglednici 10 (vozišče je vozni pas + 0,5 metrski robni pas). TPP 27 je širok 27 m, TPP 26 pa 26 m.

<sup>8</sup> [http://www.dars.si/Dokumenti/3\\_cestninski\\_sistem/AC%20sistem%202012.pdf](http://www.dars.si/Dokumenti/3_cestninski_sistem/AC%20sistem%202012.pdf) (Pridobljeno 15. 11. 2013)

### Preglednica 10: Tipski prečni profil avtoceste v Sloveniji (Pravilnik o projektiranju cest, 2005)

projektna hitrost	Vozni pasovi	Robni pasovi	Širina vozišča *	Širina sr. pasu	Širina bankine	TPP
130 km/h	4 x 3,75 m	2 x 0,50 m 2 x 2,50 m	2 x 10,50 m	4,00 m	2 x 1,00 m	27,00
110 km/h	4 x 3,50 m	2 x 0,50 m 2 x 2,50 m	2 x 10,00 m	4,00 m	2 x 1,00 m	26,00

\* širina vozišča = robni pas (0,5 m) + 2 x vozni pas (3,75 m ali 3,5 m)

#### 3.1.1.1 Opis obravnavanega avtocestnega odseka

Ker je v Sloveniji priporočeno odvodnjavanje na mestu nastanka, bo za hidravlično dimenzioniranje objektov za ravnanje s PV s cest bo uporabljen relativno kratek fiktivni odsek avtoceste, dolžine  $L_A = 5$  km, s prečnim profilom **TPP 27,00**. Prometna obremenitev odseka (PLDP) znaša **40.000 vozil/dan**.

#### 3.1.2 ZDA

Nacionalni cestni sistem (National highway system NHS), je sistem cest v Združenih državah, ki so pomembne za mobilnost, obrambo in gospodarstvo. Sestavljen je iz meddržavnega avtocestnega omrežja in ostalih cest, ki povezujejo pristanišča, letališča, železniške in tovarne terminale, plinske terminale, železniške postaje in ostale pomembne transportne objekte.

V ZDA so začeli avtocestni sistem načrtovati in graditi že leta 1921, ko je bil sprejet »Federal Aid Highway Act of 1921«, katerega namen je bil razvoj in financiranje večjega cestnega omrežja. Do leta 1923 so dokončali vse ceste, načrtovane v tem zakonu. V letu 1956 je bil sprejet »Federal Aid Highway Act of 1956«, v času predsedovanja Dwighta D. Eisenhowerja. Zakon je predvideval, da bo v desetih letih zgrajenih 66.000 km meddržavnih avtocest, za kar so namenili 25 milijard dolarjev, in je takrat bil največji javni projekt v ZDA. Danes ta meddržavni sistem avtocest imenujejo Eisenhowerjev meddržavni avtocestni sistem (Eisenhower interstate highway system). Z Zakonom o uvedbi nacionalnega cestnega sistema iz leta 1995 (National Highway System Designation Act of 1995), pod predsednikom Billom Clintonom, so v ZDA poimenovali okrog 260.000 km cest, vključno z meddržavnim avtocestnim sistemom, v Nacionalni cestni sistem (NHS).<sup>9, 10, 11</sup>

Danes je NHS največji cestni sistem na svetu in je razdeljen na<sup>12</sup>:

- Meddržavni (Interstate): Eisenhowerjev sistem, ki povezuje posamezne države in ohranja svojo identiteto znotraj NHS;

<sup>9</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/National\\_Highway\\_System\\_\(United\\_States\)](http://en.wikipedia.org/wiki/National_Highway_System_(United_States)) (pridobljeno 2. 12. 2013)

<sup>10</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Federal\\_Aid\\_Highway\\_Act\\_of\\_1956](http://en.wikipedia.org/wiki/Federal_Aid_Highway_Act_of_1956) (pridobljeno 2. 12. 2013)

<sup>11</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Federal\\_Aid\\_Highway\\_Act\\_of\\_1921\\_\(Phipps\\_Act\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Federal_Aid_Highway_Act_of_1921_(Phipps_Act)) (pridobljeno 2. 12. 2013)

<sup>12</sup> [http://www.fhwa.dot.gov/planning/national\\_highway\\_system/](http://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/) (pridobljeno 2. 12. 2013)

- Ostale glavne žile (Other principal arterial): ceste, ki omogočajo povezave med pomembnejšimi letališči, pristanišči, objekti za javni prevoz, ...
- Strateški cestni sistem (Strategic highway system (STRAHNET)): to je mreža cest, pomembna za obrambno politiko ZDA, in stalno zagotavlja dostope za obrambne namene;
- Glavne strateške cestne povezave (Major Strategic Highway Network Connectors): zagotavljajo povezave med glavnimi vojaškimi objekti in cestami iz prejšnje alineje;
- Intermodalne povezave (Intermodal connectors): te ceste zagotavljajo povezavo med glavnimi intermodalnimi objekti in štirimi podsistemi, ki sestavljajo NHS.

V skladu z dejstvom, da so ZDA nekajkrat večje od Slovenije, je seveda tam neprimerljivo večji avtocestni sistem. Vsekakor je tudi bolj dodelan in sodobnejši, temu primerno pa so tehnološko raziskana tudi ostala področja, ki se navezujejo na gradnjo avtocest, kot je denimo predmet te diplomske naloge – ravnanje s PV s cestnih površin.



Slika 38: Avtocestno omrežje v ZDA<sup>13</sup>

### 3.2 Tla ter avtoceste in vodonosniki v Sloveniji

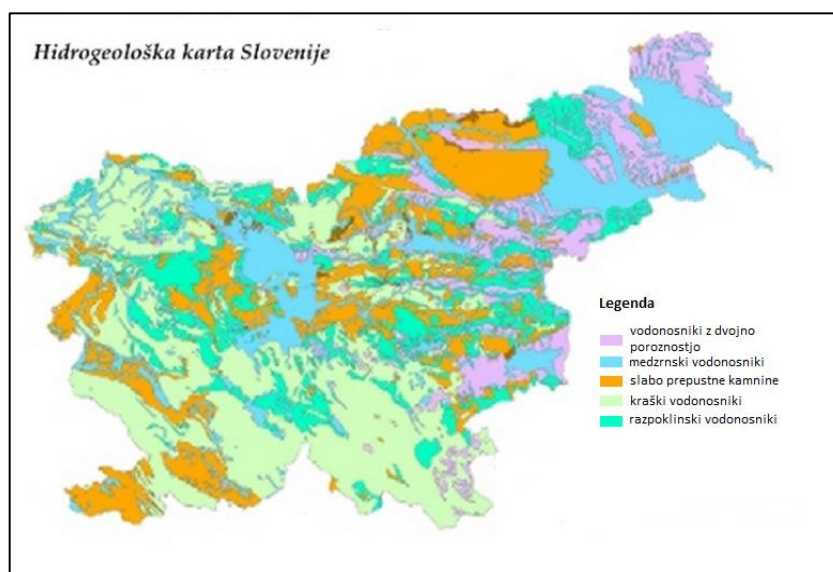
Slovenija je zelo z vodo bogata dežela, ki večino svojih vodovodov napaja iz podzemnih voda. Te se nahajajo v različnih vodonosnikih, kot je prikazano na sliki 39. Če to primerjamo s sliko 36 v poglavju 2.2.1, kjer je prikazano avtocestno omrežje v Sloveniji, lahko že na prvi pogled opazimo, da so avtoceste kar tesno povezane z »omrežjem« vodonosnikov. Vse večje medzrnske vodonosnike, ki pokrivajo kar 22 % države (Brenčič et al., 2002), kjer so največje zaloge pitne vode, in ki se nahajajo na območjih večjih mest ter ta mesta napajajo s pitno vodo, prečkajo avtoceste. To dejstvo je zelo pomembno pri odločitvah o načinih odvodnjavanja in čiščenja odpadne padavinske vode s cest.

<sup>13</sup> <http://www.fhwa.dot.gov/planning/images/nhs.pdf> (Pridobljeno 2. 12. 2013)

Zaščitena območja na mestih zajema podtalnice za oskrbo z vodo delimo na (Rismal, 2004):

- I. ožji zaščitni pas,
- II. zaščitni pas,
- III. zaščitni – vplivni pas.

Za te zaščitne pasove v Navodilih projektantom ni napotkov, Rismal (2004) pravi, da moramo za take primere posebej izdelati analize in načrtovati zaščito podtalnice.



Slika 39: Hidrogeološka karta Slovenije<sup>14</sup>

Za prikaz povezanosti cest in vodonosnikov sta bila vpeljana dva parametra. Prvi ( $C_r^{aq}$ ) predstavlja razmerje prečkanja in je definiran kot količnik dolžine ceste neke kategorije  $r$ , ki prečka vodonosnik  $aq$ , in dolžino vseh cest te kategorije v državi. Drugi parameter ( $P_r^{aq}$ ) pomeni razmerje potencialne obremenjenosti vodonosnika, ki ga izračunamo kot količnik razmerja prečkanja  $C_r^{aq}$  in deleža površine vodonosnika  $aq$  glede na površino države. S pomočjo teh parametrov je bilo ugotovljeno, da 51 % avtocest in 43 % hitrih cest prečka medzrnske vodonosnike, njihova potencialna obremenjenost pa znaša za avtoceste 2,30 in za hitre ceste 1,97, kar je precej več kot pri ostalih vodonosnikih (Brenčič et al., 2002). Ti podatki so sicer stari nekaj več kot deset let in je v tem času bilo dograjenih še kar nekaj avtocest, a če pogledamo, kje so bile dograjene avtoceste, ugotovimo, da se te številke najverjetneje niso spremenile v prid medzrnskim vodonosnikom.

### 3.2.1 Opis tal pod obravnavanim AC odsekom

Obravnavani AC odsek prečka medzrnski vodonosnik s krovno plastjo debeline **1,00 m** in prepustnosti  **$2 \times 10^{-5}$  m/s**. Plast vodonosnega sloja je debela **40 m** (višina od kamnite podlage do spodnje kote

<sup>14</sup> [http://www.geo-zs.si/UserFiles/677/File/portal\\_podatki\\_slike/hidrogeo\\_95.jpg](http://www.geo-zs.si/UserFiles/677/File/portal_podatki_slike/hidrogeo_95.jpg) (pridobljeno 2. 12. 2013)

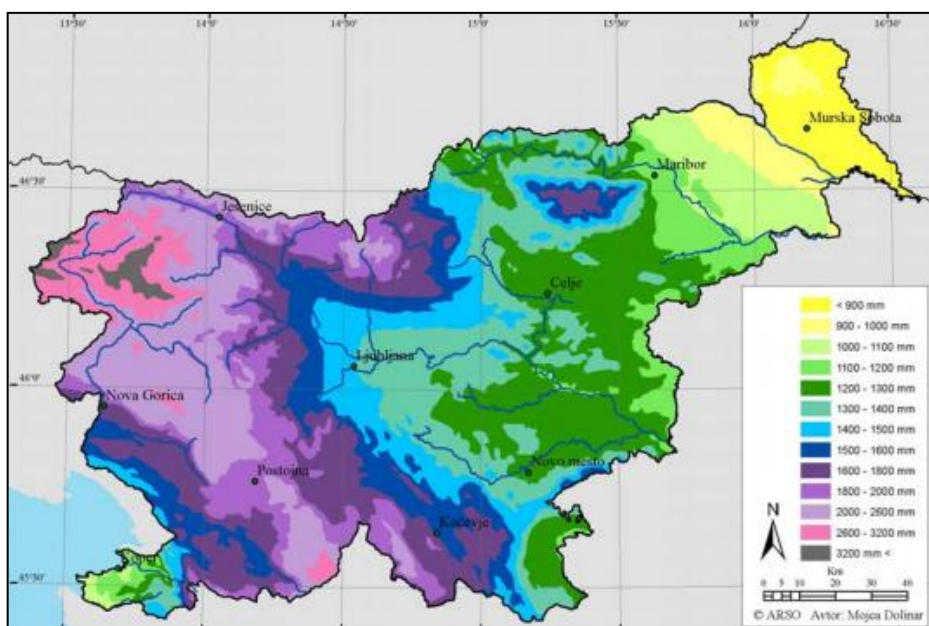


krovnega sloja), njen koeficient prepustnosti pa znaša  $2,5 \times 10^{-4}$  m/s. Maksimalna gladina podtalnice (višina nad kamnito osnovo) je **36 m**, minimalna pa **33 m**, to pomeni, da je maksimalni nivo podtalnice **5 m** pod koto tal, minimalni nivo pa **8 m** pod nivojem tal. AC odsek ne prečka nobenega izmed vodovarstvenih pasov.

### 3.3 Padavine in padavinski odtok

#### 3.3.1 Padavine v Sloveniji

Kljub svoji majhnosti je Slovenija reliefno zelo raznolika država, njene nadmorske višine se gibljejo vse od 0 m pa do slabih 2.900 m. Na SZ in S delu je država gorata, manjši del, na SV, je ravninski. Posledica reliefne razgibanosti države so zelo neenakomerne padavine. Povprečna letna količina padavin znaša 1.567 mm<sup>15</sup>, vendar pa ta podatek zelo malo pove o padavinah v Sloveniji, ravno zaradi neenakomernosti padavin. Največkrat se padavinski dogodki zgodijo, ko se vlažne in tople zračne mase gibljejo iz smeri JZ. Ob gorskih pregradah Alpskega in Dinarskega sveta se naglo dvigajo in tam nastajajo obilne padavine (ponekod tudi okrog 3.000 mm), proti vzhodu količina padavin naglo pada in tako na območju Prekmurja letno pade ponekod tudi manj kot 900 mm padavin.



Slika 40: Povprečna letna količina padavin v Sloveniji za obdobje 1971-2000<sup>16</sup>

##### 3.3.1.1 Opis padavin, merodajnih za dimenzioniranje objektov na obravnavanem AC odseku

Za potrebe dimenzioniranja naprav za odvodnjavanje ter ravnanje s PV imamo v zakonih predpisane merodajne nalive: za elemente odvodnjavanja upoštevamo merodajni naliv **350 l/(s.ha)** (15 min naliv s

<sup>15</sup> [http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/bilanca6190\\_2\\_BESEDILO.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/bilanca6190_2_BESEDILO.pdf)  
(Pridobljeno 3. 12. 2013.)

<sup>16</sup> [http://www.arso.gov.si/vreme/podnebe/podnebne\\_razmere\\_Slo71\\_00.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebe/podnebne_razmere_Slo71_00.pdf) (Pridobljeno 3. 12. 2013)

povratno dobo 25 let), usedalnik-lovilec olj pa dimenzioniramo na kritični naliv **15 l/(s.ha)**, ostalo odvedemo mimo objekta. Zadrževalnik dimenzioniramo na nalive s povratno dobo 1 leta, za čas trajanja naliva 15 min - v tem primeru lahko uporabimo podatke o padavinah iz preglednice 11, ki jih je za Ljubljano določil Sketelj (Kompere, 1996), ali pa po Reinholdovi formuli (enačba 7) izračunamo potrebne nalive iz merodajnega naliva.

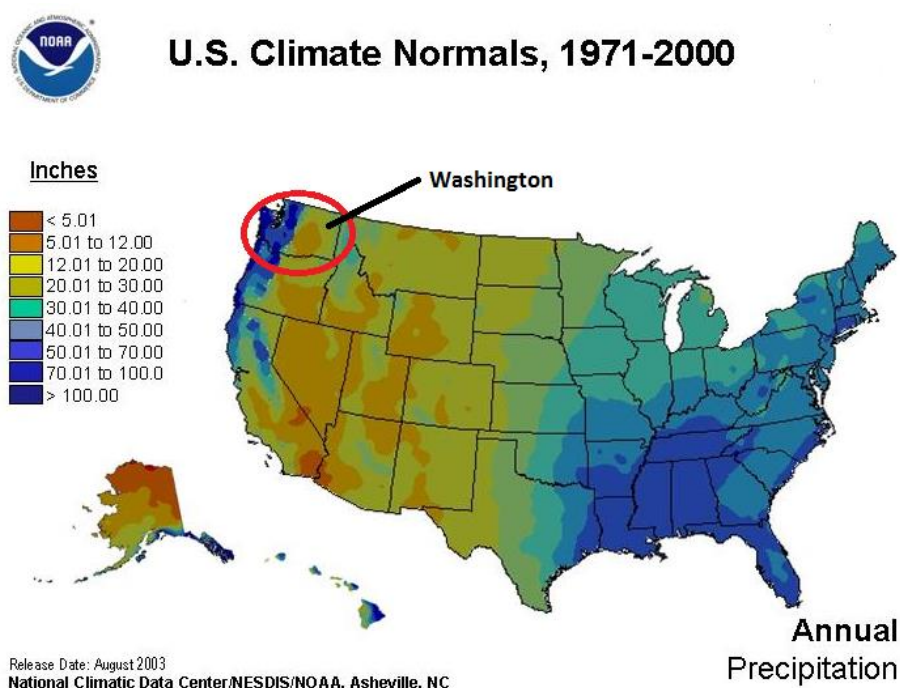
**Preglednica 11: Padavinski podatki v l/(s.ha) za Ljubljano (Sketelj, 1972, cit. po Kompere, 1996, str. 17)**

t - čas padavin [min]	n - pogostost padavin [1/leto]							
	0,1	0,2	0,5	0,67	1	2	4	6
5	590,00	528,60	404,50	375,00	327,40	259,30	201,70	154,90
10	383,30	333,30	253,10	233,50	211,60	173,20	133,10	109,20
15	281,20	246,20	191,60	177,00	160,60	131,80	101,70	84,20
20	225,60	198,60	157,20	145,40	132,10	108,60	84,10	70,00
30	165,60	146,70	119,00	110,20	100,20	82,70	64,30	54,00
40	132,90	118,30	97,60	90,80	82,40	68,00	53,20	44,80
50	111,90	100,10	83,80	77,70	70,90	58,70	45,80	38,90
60	97,20	87,40	73,90	68,70	62,50	51,90	40,60	34,40
90	71,40	64,50	56,00	52,10	47,60	39,50	31,00	26,70
120	57,40	52,00	45,90	42,80	39,00	32,50	25,60	21,20
150	48,40	44,00	39,40	36,70	33,60	28,00	22,10	17,50
180	42,10	38,40	34,80	32,40	29,60	24,80	19,60	15,10
210	37,40	34,20	31,30	29,20	26,70	22,30	17,70	13,20
240	33,80	31,00	28,50	26,60	24,40	20,40		
300	31,40	28,00	24,50	22,80	20,90	17,60		
360	29,60	25,80	21,60	20,20	18,50			
420	28,20	24,00	19,40	18,20	16,60			
480	27,00	22,60	17,70	16,60	15,00			
540	26,00	21,40	16,40	15,30				
600	25,10	20,40	15,20	14,20				

V 4. poglavju bodo objekti dimenzionirani za dva primera: 1. za merodajni naliv iz Navodil projektantom ter 2. za naliv izbran v preglednici 11.

### 3.3.2 Padavine v ZDA

ZDA so veliko večja država od Slovenije, zato reliefna in padavinska raznolikost s tega vidika ni tako zanimiva. Slika 6 prikazuje povprečne letne padavine v ZDA za obdobje 1971–2000, za enako obdobje prikazuje povprečne letne padavine slika 5 za Slovenijo. V ZDA je razlika med minimalno in maksimalno namočenimi območji še nekoliko večja kot v Sloveniji. Kot je razvidno iz spodnje karte povprečnih padavin za ZDA, je v nekaterih območjih letno manj kot 130 mm (5,1 inch) padavin, spet na drugih je več kot 2540 mm (100 inch). Nekatera območja na skrajnem SZ države, ki so na sliki 6 označena s črno barvo, dosegajo celo do okrog 5000 mm (~200 inch) padavin letno. Če analiziram posamezne zvezne države, lahko ugotovim, da so nekatere zelo enakomerno namočene, medtem ko najdemo tudi take, v katerih padavine gredo iz enega ekstrema v drugega (npr. Washington).



Slika 41: Povprečna letna količina padavin v ZDA za obdobje 1971–2000<sup>17</sup>

### 3.4 Sprejemniki PV s cest in izbira naprav za ravnanje s PV

#### 3.4.1 Slovenska Navodila projektantom

V Navodilih projektantom (Rismal, 2004) je, glede na vrsto sprejemnika, določeno, katere naprave je potrebno uporabiti.

<sup>17</sup> <http://www.ncdc.noaa.gov/img/climate/normal/assessmap/prcp64.jpg> (Pridobljeno 4. 12. 2013)

**Preglednica 12: Izbira naprav, ko so sprejemnik tekoče vode (Rismal, 2004, str. 16)**

Koeficient prepustnosti zemljine $k$ [m/s]	$q_{krit}$ [l/(s.ha)]	$Q_{krit} \geq 1/10 Q_{SNV}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{krit} \leq 1/10 Q_{SNV}$ [m <sup>3</sup> /s]
$k \leq 10^{-5}$	15	zadrževalnik (z usedalnikom in lovilecem olj) + ČN*	usedalnik - lovilec olj
$k \geq 10^{-5}$	15	neprepusten zadrževalnik (z usedalnikom in lovilecem olj) + ČN*	neprepusten usedalnik - lovilec olj






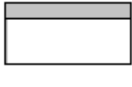
\* Čistilna naprava je ena izmed možnosti, ki so navedene v poglavjih 2.5.2.3 ali v 2.5.2.5 do 2.5.2.7; RČN iz poglavja 2.5.2.7 sicer ni omenjena v Navodilih projektantom (Rismal, 2004)

**Preglednica 13: izbira naprav, ko so sprejemnik stoječe vode: jezera, akumulacije, ribniki (Rismal, 2004, 17)**

Koeficient prepustnosti zemljine $k$ [m/s]	$q_{krit}$ [l/(s.ha)]	Izbira objekta
$k \leq 10^{-5}$	določimo na osnovi samočistilne sposobnosti sprejemnika	zadrževalnik + grobi filter + ČN*
$k \geq 10^{-5}$	določimo na osnovi samočistilne sposobnosti sprejemnika	neprepusten zadrževalnik + grobi filter + ČN*

\* Čistilna naprava je ena izmed možnosti, ki so navedene v poglavjih 2.5.2.3 ali v 2.5.2.5 do 2.5.2.7; RČN iz poglavja 2.5.2.7 sicer ni omenjena v Navodilih projektantom (Rismal, 2004)




**Preglednica 14: Izbira naprav, ko je sprejemnik podtalnica (Rismal, 2004, 17)**

Zemljina - debeline plasti	Koefficient prepustnosti zemljine $k$ [m/s]	
	$k \leq 10^{-5}$	$k \geq 10^{-5}$
 $\geq 2$ m $\leq 5$ m	Disperzno **	Disperzno **
 $\geq 2$ m $\geq 5$ m	Disperzno **	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + počasni biološki filter
 0,5 - 2 m $\leq 5$ m	Disperzno **	Disperzno **
 0,5 - 2 m $\geq 5$ m	usedalnik + vodotesni zadrževalnik	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter
 * $\leq 7$ m	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter
 * $\geq 7$ m	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter

\* krovna plast je le humus

\*\* Disperzno odvodnjavanje AC pomeni, da se padavinski odtok iz požiralnikov na AC spelje v obcestni jarek in v zadrževalnik odtoka z menihom, ki mora biti na koncu jarka. Odtok iz meniha se spelje v teren disperzno, vendar kontrolirano tako, da ne more povzročiti škode (v obstoječe depresije, če niso obdelane ali podobno).

**Preglednica 15: Izbira naprav, ko so sprejemnik kraška tla (Rismal, 2004, 18)**

Zemljina - debeline krovne plasti	Koefficient prepustnosti zemljine $k$ [m/s]	
	$k \leq 10^{-5}$	$k \geq 10^{-5}$
 $\geq 1$ m	Disperzno *	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter
 0,5 - 1 m	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter
 brez krovne zemljine	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter	usedalnik + vodotesni zadrževalnik + grobi filter + počasni biološki filter

\* Disperzno odvodnjavanje AC pomeni, da se padavinski odtok iz požiralnikov na AC spelje v obcestni jarek in v zadrževalnik odtoka z menihom, ki mora biti na koncu jarka. Odtok iz meniha se spelje v teren disperzno, vendar kontrolirano tako, da ne more povzročiti škode (v obstoječe depresije, če niso obdelane ali podobno).

### 3.4.2 ZDA – SWMMEW (2004)

V Washingtonu je ministrstvo za okolje izdalo Priročnik za ravnanje s padavinskimi vodami v vzhodnem Washingtonu (SWMMEW), kjer pri izbiri načinov čiščenja padavinske vode moramo najprej določiti lokacijo odtoka očiščene vode. Za možne načine odvodnje očiščene vode SWMMEW (2004) navaja:

- a. **Izparevanje ali razpršeno odvodnjavanje**
- b. **Odvod v kombinirane kanalizacijske sisteme**
- c. **Odvod v površinske vode**
- d. **Površinska infiltracija**
- e. **Podpovršinska infiltracija**

S prvo alinejo se ne bom ukvarjal podrobno, osredotočil se bom na naprave za nadzor in čiščenje odtoka. SWMMEW (2004) narekuje, da tovrstne naprave izberemo korak po koraku, ozirajoč se na naslednje:

- Določimo vrsto sprejemnika/način odvodnje v sprejemnik,
- če bodo sprejemnik površinske vode, izberemo vodno telo in z analizo določimo onesnažila, ki so lahko problematična za to vodno telo,
- preverimo, če je potrebna naprava za kontrolo/odstranjevanje olja,
- preverimo, če je potrebna naprava za kontrolo/odstranjevanje fosforja,
- preverimo, če je potrebna naprava za odstranjevanje kovin,
- izberemo osnovno čiščenje.

V nadaljevanju prikazujem postopek izbire potrebnih objektov za ravnanje s PV. V prvem koraku, pri določitvi sprejemnika oziroma načina odvodnje v sprejemnik, imamo 5 različnih možnosti:

- A. Izhlapovanje oz. razpršeno odvajanje na mestu nastanka,
- B. kombinirani kanalizacijski sistemi,
- C. površinske vode (direktno ali preko odvodnih sistemov),
- D. površinsko ponikanje,
- E. podpovršinsko ponikanje.

V nadaljevanju je opisano katere naprave potrebujemo za navedene primere:

- A. PV bo izhlapevala ali pa jo bomo razpršeno odvajali na mestu nastanka**

Ne potrebujemo nobenih naprav.

## **B. Kombiniran kanalizacijski sistem**

Postopamo v skladu z lokalnimi pravili za priključitev na kanalizacijski sistem.

## **C. Površinske vode**

Kadar za sprejemnik izberemo površinske vode, določimo, katero vodno telo bo sprejemnik in kakšna je tam problematika v zvezi z onesnažili (torej v ZDA je potrebno vedeti, v katero, točno določeno vodno telo bo odtekala obdelana PV). Ko imamo te podatke, preverimo, če je za obravnavani primer potrebno odstranjevanje olja in maščob. V primeru, da je, izberemo primerno napravo. V nadaljevanju preverimo, ali moramo zagotoviti odstranjevanje fosforja. Če odstranitev fosforja ni potrebna, nadaljujemo z naslednjim korakom – ugotovimo, če je zahtevano odstranjevanje kovin iz PV.

Če imamo primer, da nista potrebni odstranitvi fosforja ali kovin, moramo izbrati le še napravo za osnovno čiščenje; če pa je že bila določena naprava za obdelavo s fosforjem ali kovinami onesnažene vode, pa smo načrtovanje potrebnih objektov že zaključili.

Kateri objekti so namenjeni posameznim procesom je navedeno v poglavju 2.5.3.1. Opazimo lahko, da se nekateri enaki objekti pojavljajo v več sklopih obdelave PV - kot sem že omenil v poglavju 2.5.3, lahko en objekt opravlja več funkcij. Jasno je, da če smo, recimo sestavljeni peščeni filter uporabili za odstranjevanje fosforja, se bodo v njem zadržale tudi kovine in v celem sistemu ne potrebujemo dveh sestavljenih peščenih filtrov (če moramo čistiti fosfor in kovine). Prav tako ne izbiramo osnovnih naprav še na koncu, če moramo odstranjevati fosfor ali kovine (ali celo oboje), kajti te naprave smo že uporabili.

## **D. Površinsko ponikanje**

Moramo uporabiti predčiščenje:

- Pred-usedalni bazen (pre-settling basin),
- katerakoli osnovna naprava, ki omogoča usedanje.

Za predčiščenjem načrtujemo napravo za ponikanje.

## **E. Podpovršinsko ponikanje**

Najprej določimo izvor onesnažil in v kolikšni meri bodo prisotna, nato geološko sestavo in globino do podtalne vode. Ugotovimo, če je obdelava PV potrebna. Če ni, izberemo enega izmed podpovršinskih ponikovalnih sistemov, tipičen je recimo vodnjak. Če pa je obdelava zahtevana, pa po potrebi dimenzioniramo lovilec olj in maščob ter naprave za obdelavo PV.

### **3.4.3 Opis izbire objektov za ravnanje s PV z obravnavanega odseka AC**

V Sloveniji izberemo objekte za ravnanje s PV s ceste s pomočjo tabel iz poglavja 3.4.1. Za obravnavani odsek AC, ki poteka po temeljnih tleh, kot so predstavljena v poglavju 3.2.1, je po Navodilih projektantom potrebno zgraditi:

- usedalnik - lovilec olj,
- vodotesni zadrževalnik,
- grobi filter,
- Počasni biološki filter – ponikovalnik.

Ti objekti bodo dimenzionirani še po priporočilih iz ZDA (lovilec olj (API), zadrževalnik, peščeni filter, ponikovalnik). Nato bo narejena primerjalna analiza izračunanih dimenzij.



## 4 HIDRAVLIČNI IZRAČUN IN DIMENZIONIRANJE OBJEKTOV PADAVINSKE ODPADNE VODE ZA PREDPOSTAVLJENI ODSEK AVTOCESTE

### 4.1 Priprava vhodnih podatkov

Vsi uporabljeni podatki so predstavljeni v poglavju 3. Pri prikazanih izračunih so podatki vedno pisani s pokončno pisavo. Kar je izračunano, je pisano ležeče. Morebitni kontrolni izračuni so obarvani z rdečo.

#### Preglednica 16: Vhodni podatki

<b>AVOCESTA</b>	<b>Podatki v slovenskih enotah</b>		<b>Podatki v ameriških enotah</b>		
Dolžina AC odseka	2.000,00	m	6.561,68	ft	
Širina utrjenega, afaltiranega dela	21,00	m	68,90	ft	
Širina neutrjenega dela	6,00	m	19,69	ft	
Koeficient odtoka utrjenega dela	0,90		0,90		
Koeficient odtoka neutrjenega dela	0,50		0,50		
Utrjena prispevna površina	4,20	ha	10,38	acre	
Neutrjena prispevna površina	1,20	ha	2,97	acre	
Skupna prispevna površina z upoštevanjem koef. odtoka	4,38	ha	10,83	acre	
<b>TLA</b>					
Debelina vodonosnega sloja	40,00	m	131,23	ft	
Debelina krovne plasti	1,00	m	3,28	ft	
Prepustnost vodonosnega sloja	0,00025	m/s	0,000820	ft/s	
Prepustnost krovne plasti	0,000020	m/s	0,0000656	ft/s	
Maksimalna gladina podtalnice	36,00	m	118,11	ft	
Minimalna gladina odtalnice	33,00	m	108,27	ft	
<b>PADAVINE</b>					
Naliv po pravilniku o projektiranju cest	$q_{15(0,04)}=$	350,00	l/(s.ha)	141,64	l/(s.acre)
Nalivi iz tabele s padavinskimi podatki	$q_{15(0,1)}=$	281,20	l/(s.ha)	113,80	l/(s.acre)

### 4.2 Izračuni in rezultati

Kadar je treba prikazati, da je izračunana vrednost pravilna je na desni strani je označeno, katera enačba je bila uporabljena ter z oznako »OK«, če je dobljen rezultat ustrezen glede na predpostavke in priporočila, ali z oznako »NI OK«, če se rezultat ne ujema s priporočenimi vrednostmi. Slednje oznake v izračunih (NI OK = ni ustrezno), prikazanih tukaj ni mogoče pogosto videti, saj sem izračune popravljal in izboljševal, dokler niso parametri dimenzioniranja bili takšni, da so dali ustrezne

rezultate. V primerih, ko je pripisana oznaka »NI OK«, se tudi po več iteracijah ni dalo priti do ustreznih rezultatov.

Temu morda lahko botruje dejstvo, da so vsi izračuni narejeni zaradi neupoštevanja energijskih izgub pri nekaterih elementih ali ob kakšnih drugih grobih predpostavkah.

Izračuni so za vse objekte narejeni za dva različna primera:

1. Merodajni naliv (15 minutni naliv s povratno dobo 1 leto) je vzet iz Pravilnika o projektiranju cest in znaša 350 l/(s.ha). Nalivi z drugačnimi povratnimi dobami, ki sem jih še potreboval, so preračunani po Reinholdovi formuli.
2. Merodajni nalivi so vzeti iz tabele s padavinskimi podatki za Ljubljano, ki jih je izvednotil Sketelj leta 1972 (Kompore, 1996). Največja povratna doba, ki jo najdemo v tej tabeli je 10 let, zato sem uporabil 15 minutni naliv z 10 letno povratno dobo. Nalivi z drugačnimi povratnimi dobami, ki sem jih še potreboval, so preračunani po Reinholdovi formuli.

Po slovenskih Navodilih projektantom so dimenzionirani:

- usedalnik-lovilec olj,
- zadrževalnik,
- grobi filter,
- ponikovalnik.

Enaki oz. podobni objekti so dimenzionirani po navodilih v ZDA:

- lovilec olj,
- zadrževalnik,
- peščeni filter,
- ponikovalnik – počasni biološki filter

Seveda je v ZDA popolnoma drugačen pristop glede izbire objektov, ki jih bomo uporabili, vendar pa nisem analiziral ozadja in razlogov za izbiro objektov po njihovih merilih. Objekte sem uporabil izključno za dimenzioniranje in primerjavo s slovenskimi priporočili.

Vse objekte sem dimenzioniral v programu Excel. Izračuni so prikazani v prilogah. Pri vsakem objektu so najprej predstavljeni podatki, potem izračuni in rezultati, zato je v nadaljevanju prikazana le primerjava rezultatov po slovenskih in ameriških izračunih. Primerjava je narejena za prostornine in površine objektov.

### 4.3 Primerjava rezultatov

Merodajna naliva sam izbral dva. V pravilniku o projektiranju cest je podan merodajni 15 min naliv s 25-letno povratno dobo, ki je, v primerjavi z enakim nalivom, preračunanim iz tabele s padavinskimi podatki za Ljubljano, nekoliko manjši.

Za usedalnik, računano po slovenskih priporočilih, dobimo za oba izbrana naliva identične rezultate, saj je za dimenzioniranje določen kritični naliv 15 l/(s.ha), na katerega dimenzioniramo ne glede na to, kakšen naliv smo izbrali za dimenzioniranje preostalih elementov odvodnje.. Do razlik pride v dimenzijah obtočnih objektov za viške vode. Tudi pri dimenzioniranju po ameriških navodilih sem uporabil isti kritični naliv za dimenzioniranje, torej je prav tako prišlo pri obeh nalivih do istih rezultatov, zato, v prilogi za usedalnik po ameriških priporočilih nisem prikazoval dveh enakih izračunov. V Navodilih projektantom je podana zahteva, da dušilke ne smejo biti manjšega premera od 10 cm, čas samodejnega praznjenja pa naj bi bil večji kot 4 ure. Na relativno majhni površini, ki sem jo izbral, sem dobil premajhne pretoke, da bi lahko zadostil temu pogoju, izračunan premer dušilke 1 je namreč samo 7 cm.

Usedalnik, dimenzioniran po Navodilih projektantom, ima veliko manjši volumen ter površino od ameriškega, pri enakih vhodnih podatkih. To kaže na to, da je koncept dimenzioniranja takega objekta v ZDA popolnoma drugačen. Objekt je tam zasnovan tako, da zadrži vodo na stalni višini – po končanih padavinah se objekt ne izprazni, to se zgodi samo ob vzdrževalnih delih. Razlike v rezultatih pa izhajajo tudi iz razlik v podnebjju. V vzhodnem Washingtonu je glede na količino padavin določen kritični naliv za dimenzioniranje usedalnika, to je 15 minutni naliv s povratno dobo pol leta. V Sloveniji pri izbranih nalivih tak naliv zanaša okrog 80 l/(s.ha), kar je več od predpisanega kritičnega naliva in bi zato ob uporabi tega podatka prišlo do še večjih dimenzij. Obravnavani odsek avtoceste je relativno kratek; če bi načrtovali usedalnik po ameriških priporočilih, za daljši odsek avtoceste, bi potrebovali objekt velikih dimenzij, kar zahteva primeren prostor, predstavlja pa tudi večji finančni zalogaj, zato ocenjujem, da so pri tem objektu za dimenzioniranje v Sloveniji učinkovitejša slovenska navodila. Da bi lahko uporabili ameriška priporočila za dimenzioniranje usedalnika v Sloveniji bi pri računanju morali izbrati nalive s primernimi povratnimi dobami, drugačnimi kot so trenutni predpisi.

**Preglednica 17: Preglednica s površinami in prostorninami za usedalnik**

Merodajni naliv		SLO		ZDA	
		Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]
Pravilnik o projektiranju cest	$q_{15(0,04)} = 350$ l/(s.ha)	281	71	7.498	1.668
Iz preglednice 11	$q_{15(0,1)} = 281,20$ l/(s.ha)	281	71	7.498	1.668

Pri zadrževalniku so razlike v rezultatih veliko manjše, kot pri usedalniku a še vedno so po ameriških priporočilih volumni in površina objekta večji, kakor tisti po slovenskih. To ni tako presenetljivo kot pri usedalniku, saj ameriška priporočila velevajo večji merodajni naliv za dimenzioniranje, torej je potrebno zadržati tudi več vode. Razlika v rezultatih ni sorazmerna razliki v podatkih. Volumen po ameriških podatkih je približno za 40% večji o tistega po slovenskih izračunih, podatka pa se razlikujeta za dobrih 20% (ameriški merodajni naliv je večji). En za določanje volumnov zadrževalnika v ZDA sicer izhaja iz enake ideje a je nekoliko drugačna kakor v Sloveniji. Pri izvedbi zadrževalnika je v ameriških priporočilih predvidenih več varnostnih ukrepov kot v Sloveniji, kar zagotovo podraži projekt, nisem pa ugotovil ali je zato tak zadrževalnik tudi bolj učinkovit.

**Preglednica 18: Preglednica s površinami in prostorninami za zadrževalnik**

Merodajni naliv		SLO		ZDA	
		Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]
Pravilnik o projektiranju cest	$q_{15(0,04)} = 350,00$ l/(s.ha)	1.077	639	1.470	948
Iz preglednice 11	$q_{15(0,1)} = 281,20$ l/(s.ha)	1.152	663	1.568	986

Za zadrževalnimi objekti nameščamo filtre. Ameriški filter bi po načinu delovanja ustrezal zadrževalniku s precejalnikom iz Navodil projektantom. Grobi filter pri nas in peščeni filter v Ameriki sta neprimerljiva, saj sta zasnovana popolnoma drugače. Jaz sem peščeni filter dimenzioniral tako, da ne opravlja funkcije zadrževanja vode, saj le-to že opravlja zadrževalnik. Na peščenem filtru se torej filtrira toliko vode, kot je priteka. Kljub temu, da se torej pritekla voda sproti filtrira, ima »ameriški« peščeni filter nek volumen, ki ga dobimo zaradi varnostnega nadvišanja. Zaradi sprotnega filtriranja je površina objekta primerno velika. Objekte sem dimenzioniral tako, da se filtrira samo voda, ki jo zadržujemo v zadrževalniku. V slovenskih Navodilih projektantom niso podane rešitve glede vode, ki se preliva čez visokovodni preliv zadrževalnika ali glede vode, ki je ne zadržimo v zadrževalniku in je speljana direktno na ponikovalnico. Zdi se mi, da je ta pojav lahko problematičen, saj bi večja količina vode na grobem filtru ta filter lahko poškodovala ali celo uničila, peščeni filter pa je zasnovan tako, da tak pojav ni problematičen in bi načeloma lahko filtrirali vso vodo, ki doteka z avtoceste.

**Preglednica 19: Preglednica s površinami in prostorninami za grobi filter - SLO**

Merodajni pretok - dotok na filter	SLO	
	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]
Q <sub>d</sub> =0,05 m <sup>3</sup> /s	481	200

**Preglednica 20: Preglednica s površinami in prostorninami za peščeni filter - ZDA**

Merodajni pretok - dotok na filter	Čas dotoka na filter [h]	ZDA	
		Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]
Q <sub>d</sub> =0,05 m <sup>3</sup> /s	8,17	407	1.266
	8,71	434	1.351

Pri ponikovalniku izračun po slovenskih priporočilih daje večje dimenzije kot po ameriških. Sicer je ta objekt v obeh državah lahko hkrati tudi zadrževalnik. V ZDA je hitrost ponikanja vezana na prepustnost podlage, in če je ta dovolj velika in le nismo prostorsko omejeni, lahko objekt dimenzioniramo tako, da vsa voda uspe sproti ponikati; v Sloveniji pa je hitrost ponikanja odvisna od prepustnosti filtrske plasti, saj je ponikovalnik hkrati počasni filter.

**Preglednica 21: Preglednica s površinami in prostorninami za ponikovalnik**

Merodajni naliv		SLO		ZDA	
		Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Površina [m <sup>2</sup> ]
Pravilnik o projektiranju cest	q <sub>15(0,04)</sub> = 350 l/(s.ha)	2.961	1.200	2.275	862
Iz preglednice 11	q <sub>15(0,1)</sub> = 281,20 l/(s.ha)	3.091	1.200	2.423	930

## 5 ZAKLJUČEK

V prvi vrsti ugotavljam, da so v ZDA zelo dosledni na zakonodajnem področju, imajo dovršene predpise in popolnoma ničesar ne prepuščajo naključju, medtem ko se mi zdi v Sloveniji zakonska podlaga z obravnavanega področja zelo siromašna in preveč posplošena. Američani so se, vsaj kar se tiče področja ravnanja s PV s cest, lotili zadeve zelo pragmatično. Pri nas bi se dalo še ogromno postoriti in tako izboljšati trenutno stanje že na področju zakonodaje. Vzrok za takšne razlike med primerjanima državama vidim predvsem v majhnosti Slovenije, ali pa obratno, v velikosti Amerike. Jasno je, da ima gospodarska velesila večje finančne zmožnosti, pa tudi več primerno usposobljenega kadra za snovanje in izvajanje zakonov in pravil, verjetno ne samo iz področja, ki se ga dotika moja diplomska naloga, ampak tudi iz drugih področij.

Podobno kot pri predpisih je tudi pri strokovni literaturi in priročnikih. V ZDA ima praktično vsako okrožje (posamezne zvezne države so razdeljene na več okrožij) svoja navodila in priročnike za dimenzioniranje odvodnih elementov vode s cest in objektov za čiščenje ter zadrževanje te vode. V teh priročnikih so do potankosti opisani objekti in opazil sem, da je poudarek predvsem na preventivi, umeščanju v prostor ter samem načrtovanju teh objektov, v smislu upravičenosti uporabe določenega objekta, manj pa na hidravličnem dimenzioniranju. Veliko je povedanega opisno in je inženirju prepuščeno odločanje o tem, kako bo delovanje objektov hidravlično rešeno; iz tega vidika je bilo moje delo nekoliko zahtevnejše.

Načrtovanje in izbira objektov na način kot je predstavljen v tej diplomski nalogi je seveda klasičen šolski primer. Zaradi učinkovite primerjave sem se lotil dimenzioniranja vseh osnovnih objektov: usedalnika, zadrževalnika, filtra, in ponikovalnika-počasnega biološkega filtra. Za pogoje, kot so zastavljeni v tej diplomski nalogi, bi v praksi lahko postopali nekoliko drugače, bolj ekonomično, dosegli pa bi enake učinke. Opazimo namreč lahko, da pri slovenskem načinu dimenzioniranja ponikovalnik-počasni biološki filter lahko opravlja tudi naloge zadrževalnika, zato je ta popolnoma odveč. Če bi torej tak projekt hoteli realizirati, bi združili ponikovalnik-počasni biološki filter in zadrževalnik v enem objektu, ter tako bistveno zmanjšali ekonomsko vrednost investicije, kar je v današnjih časih še kako pomembno. Na podoben način bi to storili tudi pri dimenzioniranju po ameriških priporočilih: filter in zadrževalnik bi bila združena v enem objektu.

Primerjava objektov oziroma dobljenih rezultatov ne more pokazati, kaj je boljše: ameriško ali slovensko. Priročniki v Ameriki so napisani za tamkajšnje pogoje (vreme, tla itd.), poleg tega sem nekatere izračune nekoliko poenostavil ali uporabil kakšno »slovensko« enačbo pri računih po ameriških priporočilih. Direktni prenos tamkajšnjih navodil v Slovenijo torej nikakor ni mogoč, zagotovo bi pa lahko po njihovih priročnikih marsikaj, ob manjših modifikacijah, povzeli. Združene

države Amerike so nam vsekakor lahko tudi zgled pragmatičnosti, saj pri načrtovanju nekih novih objektov za ravnanje s PV dajejo ogromen poudarek na izkušnjah pri izvedbi že obstoječih.

V Sloveniji so na voljo tako rekoč ena sama navodila, ki so relativno skopa glede na pomembnost obravnavane tematike. Poleg tega, da se mi navodila zdijo skromna, so tudi marsikje precej nedovršena in zapletena za uporabo. Nekatere enačbe bi lahko bile podane na veliko enostavnejši način, da bi tako projektanti lažje in bolj kakovostno zasnovali potrebne objekte. Postopek za račun volumna zadrževalnega bazena bi bilo mogoče predstaviti z manj enačbami in na bolj razumljiv način. Reinholdova enačba, ki je, nekako posredno, sicer v tej literaturi zapisana, ni omenjena z eno besedo. Prepričan sem, da bi, če bi ta enačba bila poimenovana po imenu in bi bilo zapisanih o njej nekaj besed, gotovo bil račun volumna zadrževalnika bolj jasen inženirju, ki vzame ta navodila v roke. Nasploh se mi zdi, da manjka omemba virov, iz katerih so Navodila projektantom črpala snov, tako bi lahko uporabniki take literature ob morebitnih nejasnostih pogledali v izvirne knjige in delo bi bilo veliko preprostejše.

Moj predlog bi bil, da v Sloveniji, kljub temu, da država ni v najboljši finančni situaciji, ob pomoči tujih priročnikov, pa naj bodo to ameriški ali iz kakšne evropske države, razvije lastne, preproste, a učinkovite priročnike za to področje. Zdi se mi, da je to nujno potrebno, saj, kakor sem že v uvodu zapisal, je voda pomemben naravni vir in zaenkrat v Sloveniji z njo razpolagamo v izobilju. Priznati pa moram, da sem nekoliko skeptičen, saj se mi zdi, da se prevečkrat intenzivno ukvarjamo z veliko manj pomembnimi stvarmi, na ostalo pa pozabljamo.

## VIRI

### Uporabljeni viri

Avtocestni sistem v Republiki Sloveniji. 2013.

[http://www.dars.si/Dokumenti/3\\_cestninski\\_sistem/AC%20sistem%202012.pdf](http://www.dars.si/Dokumenti/3_cestninski_sistem/AC%20sistem%202012.pdf) (Pridobljeno 15. 11. 2013.)

Brenčič, M. 2004. Razvrstitev onesnaževal, ki izvirajo s cest. V: 7. Slovenski kongres o cestah in prometu, zbornik referatov 2, Portorož, 20.–22. oktober 2004. Ljubljana, DRC: str. 537–541.

Brenčič, M., Kranjc, U., Ločniškar, A., Pavčič, M., Steinman, F. 2004. Odvodnja padavinskih voda s cest – predlog zakonske ureditve problematike. V: 7. Slovenski kongres o cestah in prometu, zbornik referatov 1, Portorož, 20. –22. oktober 2004. Ljubljana, DRC: str.433–440.

Brenčič, M., Rikanovič, R. 2002. Odnos med cestnim omrežjem in vodonosniki v Sloveniji. V: 6. Slovenski kongres o cestah in prometu, zbornik referatov 1, Portorož, 23. –25. oktober 2002. Ljubljana, DRC: str. 86–92.

Bulc, T., Vrhovšek, D., Kompare, B. 2002. Delovanje rastlinskega filtra za čiščenje padavinskega odtoka na avtocestnem odseku Arja vas - Celje. V: 6. Slovenski kongres o cestah in prometu, zbornik referatov 1, Portorož, 23. –25. oktober 2002. Ljubljana, DRC: str. 119–125.

Bulc, T., Vrhovšek, D., 1998. Rastlinska čistilna naprava kot zaščita okolja pred vplivi avtocest. V: 4. Slovenski kongres o cestah in prometu, zbornik referatov, Portorož, 26. –28. oktober 1998. Ljubljana, DRC: str. 268–272.

Dawson, A. (ur.). 2008. Water in Road Structures. Movement , Drainage & Effects. University of Nottingham, Springer: 436 str.

Federal Aid Highway Act of 1921. 2013.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Federal\\_Aid\\_Highway\\_Act\\_of\\_1921\\_\(Phipps\\_Act\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Federal_Aid_Highway_Act_of_1921_(Phipps_Act)) (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Federal Aid Highway Act of 1956. 2013.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Federal\\_Aid\\_Highway\\_Act\\_of\\_1956](http://en.wikipedia.org/wiki/Federal_Aid_Highway_Act_of_1956) (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Ficko, G. 2010. Trenutno stanje državnega cestnega omrežja v Republiki Sloveniji in vizija njegovega razvoja do leta 2025. V: 10. Slovenski kongres o cestah in prometu, zbornik referatov 1, Portorož, 20.–22. oktober 2010. Ljubljana, DRC: str. 220–235.

Hidrogeološka karta Slovenije. 2013.

[http://www.geo-zs.si/UserFiles/677/File/portal\\_podatki\\_slike/hidrogeo\\_95.jpg](http://www.geo-zs.si/UserFiles/677/File/portal_podatki_slike/hidrogeo_95.jpg) (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Hidrogeološko poročilo za primerjalno študijo variant za državno cesto med avtocesto A1 Šentilj Koper in mejo z Republiko Avstrijo. 2008.

[http://arhiv.mm.gov.si/mop/javno/dc\\_med\\_acA1sk\\_meja\\_ra/sv/3%20-%20Gradbeno-tehnicni%20elaborat/V-25%20Hidrogeolo%C5%A1ko%20poro%C4%8Dilo/PORO%C4%8CULO-hidro.pdf](http://arhiv.mm.gov.si/mop/javno/dc_med_acA1sk_meja_ra/sv/3%20-%20Gradbeno-tehnicni%20elaborat/V-25%20Hidrogeolo%C5%A1ko%20poro%C4%8Dilo/PORO%C4%8CULO-hidro.pdf) (Pridobljeno 18. 12. 2013.)

Highway.2013.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Highway> (Pridobljeno 15. 11. 2013.)



Highway Runoff Manual. 2011.

<http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M31-16/HighwayRunoff.pdf> (Pridobljeno 7. 11. 2013.)

Hydraulics Manual. 2010.

<http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M23-03/HydraulicsManual.pdf> (pridobljeno 12. 3. 2014.)

Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodij. Ljubljana, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD Gradbeništvo in geodezija, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 509 str.

Mays, W. L. (ur.). 2001. Stormwater Collection systems Design Handbook. Arizona, Department of Civil and Environmental Engineering, Arizona State University: 830 str.

National Highway System. 2013.

[http://www.fhwa.dot.gov/planning/national\\_highway\\_system/](http://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/) (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

National highway System. 2013.

[http://en.wikipedia.org/wiki/National\\_Highway\\_System\\_\(United\\_States\)](http://en.wikipedia.org/wiki/National_Highway_System_(United_States)) (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Padavine v ZDA. 2003.

<http://www.ncdc.noaa.gov/img/climate/normals/assessmap/prcp64.jpg> (Pridobljeno 4. 12. 2013.)

Podnebne razmere v Sloveniji. 2006.

[http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/podnebne\\_razmere\\_Slo71\\_00.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/podnebne_razmere_Slo71_00.pdf) (Pridobljeno 3. 12. 2013.)

Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. 1998.

[http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/bilanca6190\\_2\\_BESEDILO.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/bilanca6190_2_BESEDILO.pdf) (Pridobljeno 3. 12. 2013.)

Pravilnik o projektiranju cest. Uradni list RS, št. 91/2005.

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=58173> (Pridobljeno 4. 10. 2013.)

Prostornina prisekanega stožca. 2013.

[http://si.openprof.com/wb/sto%C5%BEec#Prostornina\\_prisekanega\\_sto%C5%BEca](http://si.openprof.com/wb/sto%C5%BEec#Prostornina_prisekanega_sto%C5%BEca) (Pridobljeno 14. 4. 2014.)

Revised Code of Washington. 2012.

<http://apps.leg.wa.gov/rcw/> (Pridobljeno 20. 12. 2013.)

Rismal, M. 1996. Avtoceste in zaščita voda. V: Voda in ceste, zbornik referatov, Novo mesto, 10. maj 1996. Novo mesto, DRC: str. 31–44.

Rismal, M. 2004. Navodila projektantom za izdelavo tehnične dokumentacije – odvodnjavanje meteornih voda iz avtocestnih površin. Tretja – dopolnjena izdaja. Ljubljana, DARS: 44 str.

Slovensko avtocestno omrežje. 2013.

[http://sl.wikipedia.org/wiki/Slovensko\\_avtocestno\\_omre%C5%BEje](http://sl.wikipedia.org/wiki/Slovensko_avtocestno_omre%C5%BEje) (Pridobljeno 15. 11. 2013.)

Steinman, F. 2010. Hidravlika. 2. Ponatis. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 294 str.

Steinman, F. 1996. Vodnogospodarski vidiki pri gradnji prometnic. V: Voda in ceste, zbornik referatov, Novo mesto, 10. maj 1996. Novo Mesto, DRC: str. 1–5.

Stormwater Management Manual for Eastern Washington. 2004.  
<https://fortress.wa.gov/ecy/publications/publications/0410076.pdf> (pridobljeno 22. 11. 2013.)

Surface Water Design Manual. 2009.  
<http://www.kingcounty.gov/environment/waterandland/stormwater/documents/surface-water-design-manual.aspx> (Pridobljeno 11. 4. 2014.)

The State of Washington Water Pollution Control Law. Chapter 90.48 Revised Code of Washington.  
<http://apps.leg.wa.gov/rcw/default.aspx?cite=90.48> (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Underground Storage Tanks Program. 2013.  
<http://www.deq.state.or.us/lq/tanks/lust/nwpetroleum.htm> (Pridobljeno 23. 12. 2013.)

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS, št. 64/2012.  
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=109650> (Pridobljeno 8. 11. 2013.)

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest. Uradni list RS, št. 47/2005.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200547&stevilka=1901> (Pridobljeno 25. 9. 2013.)

Urban Drainage Design Manual. 2009.  
<http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/010593.pdf> (Pridobljeno 6. 11. 2013.)

Washington State Department of Transportation, National pollutant discharge and elimination system and state waste discharge permit for municipal stormwater 2009. State of Washington Department of Ecology.  
<http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/stormwater/municipal/wsdot.html> (Pridobljeno 21. 11. 2013.)

Zakon o cestah (ZCes-1). Uradni list RS, št. 109/2010: 108 str.

Zgrajene avtoceste, hitre ceste ter druge javne ceste v okviru NPIA. 2013.  
[http://www.dars.si/Dokumenti/O\\_avtocestah/Nacionalni\\_program\\_izgradnje\\_avtocest/Zgrajene\\_AC\\_in\\_HC\\_30.aspx](http://www.dars.si/Dokumenti/O_avtocestah/Nacionalni_program_izgradnje_avtocest/Zgrajene_AC_in_HC_30.aspx) (Pridobljeno 15. 11. 2013.)

National Highway System. 2013.  
[http://www.fhwa.dot.gov/planning/national\\_highway\\_system/](http://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/) (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Zupančič, M., Bulc, T., Vrhovšek, D. 2000. Vloga in pomen različnih tipov zadrževalnikov in ponikovalnic pri zaščiti okolja in sestava vode, ki odteka z naših cest. V: projektiranje in gradnja sistemov za odvodnjavanje vozniških površin, zbornik referatov, Gornja Radgona, 12. april 2000. Ljubljana, Gornja Radgona, DRC in Društvo za ceste Maribor: str. 57–64.

### **Ostali viri**

Highway Functional Classification Concepts Criteria and Procedures. 2013.

[http://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/related/highway\\_functional\\_classifications/fca\\_uab.pdf](http://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/related/highway_functional_classifications/fca_uab.pdf) (Pridobljeno 15. 11. 2013.)

Kranjc, U. 2009. Sanitarna hidrotehnika v funkciji zaščite urbaniziranih območij, ogroženih zaradi poplav.

<http://mvd20.com/LETO2009/R12.pdf> (Pridobljeno 31. 3. 2014.)

Mesh. 2014.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Mesh\\_\(scale\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_(scale)) (Pridobljeno 17. 4. 2014.)

Sediment management Standards. 2013.

<http://apps.leg.wa.gov/wac/default.aspx?cite=173-204> (Pridobljeno 20. 12. 2013.)

Water Quality Standards for Surface Waters of the State of Washington. 2011.

<http://apps.leg.wa.gov/wac/default.aspx?cite=173-201A> (Pridobljeno 19. 12. 2013.)

Water Quality Standards for Groundwaters of the State of Washington. 1990.

<http://apps.leg.wa.gov/wac/default.aspx?cite=173-200> (Pridobljeno 19. 12. 2013.)

## **SEZNAM PRILOG**

Priloga A:	Usedalnik - lovilec olj; Slovenska priporočila	A1
Priloga B:	Zadrževalnik; Slovenska priporočila	B1
Priloga C:	Grobi filter; Slovenska priporočila	C1
Priloga D:	Ponikovalnik Slovenska priporočila	D1
Priloga E:	Lovilec olj; Ameriška priporočila	E1
Priloga F:	Zadrževalnik; Ameriška priporočila	F1
Priloga G:	Peščeni filter; Ameriška priporočila	G1
Priloga H:	Ponikovalnik; Ameriška priporočila	H1
Priloga I:	Shema – vrste padavinskega odtoka, monitoringa in odločanja, kdaj je padavinske vode potrebno očistiti (Brenčič, et. al., 2004, str. 440)	I1

## Priloga A: Usedalnik - lovilec olj; Slovenska priporočila

1. Merodajni naliv = 350 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Merodajni naliv	$q_{15(0,04)}=$	350,00	l/(s.ha)
Kritični naliv	$q_{krit}=$	15,00	l/(s.ha)
Prispevna površina	$A=$	10,95	ha
Površinska obremenitev	$v_u=$	10,00	m/h
Prostornina za zadrževanje olja	$V_{olja}=$	20,00	m <sup>3</sup>
Prostornina za usedline	$V_{usedlin}=$	5,00	m <sup>3</sup>
Zadrževalni čas vode	$T_{zadrž}=$	15,00	min
Faktor maksimalne dopustne površinske obremenitve	$F=$	1,20	
Razmerje med širino in dolžino	$F_{xy}=$	3,00	
Naklon dna	$\tau_d=$	0,05	
Koeficient preliva	$m=$	1,00	
Težnostni pospešek	$g=$	9,81	m/s <sup>2</sup>
Koeficient hidravličnih izgub pri odprtinah	$\mu=$	0,60	
Koeficient $\alpha$	$\alpha=$	1,00	
Širina komore pred odprtino $d_1$	$b=$	1,50	m
Čas samodejnega praznjenja	$T_{praz}=$	4,00	h
Širina obtočnega kanala (izbrano)	$B_{kanala}=$	1,20	m
Padec dna obtočnega kanala	$I_{kanala}=$	0,02	
Koeficient hrapavosti (beton)	$n_g=$	0,015	
Padec dotočne cevi	$I_{dotcevi}=$	0,010	
	$\pi=$	3,14	
	$c=$	2,00	m
	$d=$	1,00	m
	$\Delta e=$	0,50	m
	$\Delta h_1=$	0,02	m

IZRAČUNI					
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	Uporabljena enačba	Kontrola
Dotok z AC	$Q_D=$	3,83	$m^3/s$	9	
Razbremenjeni dotok	$Q_{krit}=$	0,16	$m^3/s$	10	
Maksimalna dopustna obremenitev	$Q_{krit, max}=$	0,20	$m^3/s$	11	
Razbremenitev	$\Delta Q_R=$	3,64	$m^3/s$	12	
<b>Geometrija objekta:</b>					
Globina za čas zadrževanja $T_{zadrž}$	$H_{zadrž}=$	2,50	m	18	
Dolžina objekta	$X=$	14,59	m	16	
Širina objekta	$Y=$	4,86	m	17	
Potrebni volumen za usedanje	$V_{zadrž}=$	177,39	$m^3$	14	
	$\Delta a=$	0,73	m	21	
Višina za zadrževanje izločene snovi	$h_3=$	0,23	m	22	
Potrebna globina vode	$H_{potr}=$	3,96	m	20	OK
Potrebni volumen objekta	$V_{potr}=$	281,22	$m^3$	19	
Površina objekta	$A_u=$	70,96	$m^2$		
Prostornina za usedline	$V_{usedlin}=$	25,88	$m^3$		OK
<b>Objekt za razbremenjevanje:</b>					
Dopustna višina prelivajoče se vode	$\Delta h_{pridop}=$	0,42	m	25	
Dolžina prelivnega robu	$B_{prel}=$	3,05	m	26	
Višina vode v obtočnem kanalu	$h_{obi}=$	0,69	m		
Presek obtočnega kanala	$S_{obi}=$	0,82	$m^2$		
Hitrost toka vode v obtočnem kanalu	$v_{obi}=$	4,41	m/s		
<b>Odtočna cev iz obtočnega kanala:</b>					
Presek cevi	$S_{cevi}=$	0,87	$m^2$		
Premer cevi	$d_{cevi}=$	1,05	m		
<b>Odprtine:</b>					
Premer $d_2$	$d_2=$	0,31	m	27	OK
	$H_{01}=$	0,95	m	28	
	$H_{0max}=$	1,36	m	29	
	$\Delta Z=$	0,17	m	33	
	$Z=$	0,77	m	31	
Premer $d_1$	$d_1=$	0,07	m	30	NI OK

**Rezultati:**

Višina us.	$H_{potr}=$	3,96	m
Širina us.	$Y=$	4,86	m
Dolžina us.	$X=$	14,59	m
Volumen us.	$V_u=$	281,22	$m^3$

Površina us.

 $A_u = 70,96 \text{ m}^2$ 

## 2. Merodajni naliv iz preglednice 11 = 281,20 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Merodajni naliv	$q_{15(0,1)} =$	281,20	l/(s.ha)
Kritični naliv	$q_{krit} =$	15,00	l/(s.ha)
Prispevna površina	$A =$	10,95	ha
Površinska obremenitev	$v_u =$	10,00	m/h
Prostornina za zadrževanje olja	$V_{olja} =$	20,00	m <sup>3</sup>
Prostornina za usedline	$V_{usedlin} =$	5,00	m <sup>3</sup>
Zadrževalni čas vode	$T_{zadrž} =$	15,00	min
Faktor maksimalne dopustne površinske obremenitve	$F =$	1,20	
Razmerje med širino in dolžino	$F_{xy} =$	3,00	
Naklon dna	$\tau_d =$	0,05	
Koeficient preliva	$m =$	1,00	
Težnostni pospešek	$g =$	9,81	m/s <sup>2</sup>
Koeficient hidravličnih izgub pri odprtinah	$\mu =$	0,60	
Koeficient $\alpha$	$\alpha =$	1,00	
Širina komore pred odprtino $d_1$	$b =$	1,50	m
Čas samodejnega praznjenja	$T_{praz} =$	4,00	h
Širina obtočnega kanala (izbrano)	$B_{kanala} =$	1,20	m
Padec dna obtočnega kanala	$I_{kanala} =$	0,02	
Koeficient hrapavosti (beton)	$n_g =$	0,015	
Padec dotočne cevi	$I_{dotcevi} =$	0,010	
	$\pi =$	3,14	
	$c =$	2,00	m
	$d =$	1,00	m
	$\Delta e =$	0,50	m
	$\Delta h_1 =$	0,02	m

IZRAČUNI					
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	Uporabljen a enačba	Kontrol a
15 min naliv s povratno dobo 1 leto	$q_{15(1)} =$	126,022	l/(s.ha)	7	

15 naliv s pov. dob. 25 let - merodajni naliv	$q_{15(0,04)}=$	372,545	l/(s.ha)		
Dotok z AC	$Q_D=$	4,079	m <sup>3</sup> /s	9	
Razbremenjeni dotok	$Q_{krit}=$	0,164	m <sup>3</sup> /s	10	
Maksimalna dopustna obremenitev	$Q_{krit, max}=$	0,197	m <sup>3</sup> /s	11	
Razbremenitev	$\Delta Q_R=$	3,882	m <sup>3</sup> /s	12	
<b>Geometrija objekta:</b>					
Globina za čas zadrževanja $T_{zadrz}$	$H_{zadrz}=$	2,500	m	18	
Dolžina objekta	$X=$	14,590	m	16	
Širina objekta	$Y=$	4,863	m	17	
Potrebni volumen za usedanje	$V_{zadrz}=$	177,390	m <sup>3</sup>	14	
	$\Delta a=$	0,729	m	21	
Višina za zadrževanje izločene snovi	$h_3=$	0,234	m	22	
Potrebna globina vode	$H_{potr}=$	3,963	m	20	OK
Potrebni volumen objekta	$V_{potr}=$	281,219	m <sup>3</sup>	19	
Površina objekta	$A_u=$	70,956	m <sup>2</sup>		
<b>Prostornina za usedline</b>	$V_{usedlin}=$	25,881	m		OK
<b>Objekt za razbremenjevanje:</b>					
Dopustna višina prelivajoče se vode	$\Delta h_{prdop}=$	0,417	m	25	
Dolžina prelivnega robu	$B_{prel}=$	3,259	m	26	
Višina vode v obtočnem kanalu	$h_{obt}=$	0,722	m		
Presek obtočnega kanala	$S_{obt}=$	0,866	m <sup>2</sup>		
Hitrost toka vode v obtočnem kanalu	$v_{obt}=$	4,481	m/s		
<b>Odtočna cev iz obtočnega kanala:</b>					
Presek cevi	$S_{cevi}=$	0,910	m <sup>2</sup>		
Premer cevi	$d_{cevi}=$	1,077	m		
<b>Odprtine:</b>					
Premer dušilke	$d_2=$	0,312	m	27	OK
	$H_{01}=$	0,947	m	28	
	$H_{0max}=$	1,364	m	29	
	$\Delta Z=$	0,175	m	33	
	$Z=$	0,772	m	31	
Premer $d_1$	$d_1=$	0,071	m	30	NI OK

**Rezultati:**

Višina us.	$H_{potr}=$	3,96	m
Širina us.	$Y=$	4,86	m
Dolžina us.	$X=$	14,59	m
Volumen us.	$V_u=$	281,22	m <sup>3</sup>
Površina us.	$A_u=$	70,96	m <sup>2</sup>



## Priloga B: Zadrževalnik; Slovenska priporočila

## 1. Merodajni naliv = 350 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Merodajni naliv	$q_{15(0,04)}=$	350,00	l/(s.ha)
Trajanje naliva	T=	15,00	min
Prispevna površina	A=	10,95	ha
Čas koncentracije	t=	15,00	min
Maksimalni dopustni iztok (izberem)	$Q_{\max}=$	0,05	m <sup>3</sup> /s
Koeficient preliva	m=	1,00	
Čas praznjenja	$T_{\text{praz}}\sim$	24,00	h
Razmerje med širino in dolžino na dnu	$F_{xy}=$	2,00	
Težnostni pospešek	g=	9,81	m/s <sup>2</sup>
Naklon notranje brežine	ver : hor=	0,50	
Višina prelivajoče se vode čez preliv	$\Delta h=$	0,50	m
Minimalna globina vode v zadrževalniku	h=	0,30	m
	$\pi=$	3,14	

IZRAČUNI					
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	Uporabljena enačba	Kontrola
Naliv za dimenzioniranje	$q_{15(1)}=$	118,396	l/(s.ha)	7	
Dotok za dimenzioniranje	$Q_{\text{krit}}=$	1,296	m <sup>3</sup> /s	2	
Pretok, ki gre direktno na ponikovalnik	$\Delta Q_z=$	2,536	m <sup>3</sup> /s		
<b>Geometrija - pravokotna tlorisna oblika:</b>					
Volumen objekta	V=	1,077	m <sup>3</sup>	34	
Dolžina objekta na dnu (izberem)	$X_d=$	20,000	m		
Širina objekta na dnu	$Y_d=$	10,000	m	64	
Dolžina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$X_z=$	30,765	m		
Širina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$Y_z=$	20,765	m		
Maksimalna višina vode	H=	2,691	m	65	
Površina objekta na dnu	$A_d=$	200,000	m <sup>2</sup>		
Površina objekta pri maksimalni gladini	$A_z=$	638,860	m <sup>2</sup>		
<b>Preliv:</b>					
Merodajni naliv za dimenzioniranje	$q_{15(0,1)}=$	264,183	l/(s.ha)	7	

Pretok čez preliv	$Q_{10} =$	2,893	$m^3/s$	2	
Dolžina preliva	$l =$	1,847	$m$		
<b>Dušilka:</b>					
Premer dušilke	$d =$	10,950	$cm$		
Koeficient iztoka	$\mu =$	0,775			
Višina vode nad dušilko	$h_d =$	2,391	$m$		
Dolžina dušilke	$L_d =$	2,391	$m$		
Prerez dušilke	$A_d =$	94,175	$cm^2$		
Razmerje $L_d/d$	$L_d/d =$	0,218			
Čas praznjenja	$T_{praz} =$	5,815492	$h$		OK

**Rezultati in optimizacija:**

Višina zadrž. = izračun + varn. nadv. (0,5 m)	$H_{potr} =$	3,19	$m$
Širina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode	$Y =$	20,77	$m$
Dolžina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode	$X =$	30,77	$m$
Volumen zadrž.	$V_z =$	1.076,79	$m^3$
Površina zadrž. Na mestu maksimalne gladine vode	$A_z =$	638,86	$m^2$

2. Merodajni naliv = 126,02/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Merodajni naliv	$q_{15(l)} =$	126,02	l/(s.ha)
Trajanje naliva	$T =$	15,00	min
Prispevna površina	$A =$	10,95	ha
Čas koncentracije	$t =$	15,00	min
Maksimalni dopustni iztok (izberem)	$Q_{max} =$	0,05	$m^3/s$
Koeficient preliva	$m =$	1,00	
Čas praznjenja	$T_{praz} \sim$	24,00	h
Razmerje med širino in dolžino na dnu	$F_{xy} =$	2,00	
Težnostni pospešek	$g =$	9,81	$m/s^2$
Naklon notranje brežine	ver : hor =	0,50	
Višina prelivajoče se vode čez preliv	$\Delta h =$	0,50	m
Minimalna globina vode v zadrževalniku	$h =$	0,30	m
	$\pi =$	3,14	

IZRAČUNI					
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	Uporabljena enačba	Kontrola
Naliv za dimenzioniranje	$q_{15(1)}=$	126,0219	l/(s.ha)	7	
Dotok za dimenzioniranje	$Q_{krit}=$	1,3799	m <sup>3</sup> /s	2	
Pretok, ki gre direktno na ponikovalnik	$\Delta Q_z=$	2,6994	m <sup>3</sup> /s		
<b>Geometrija - pravokotna tlorisna oblika:</b>					
Volumen objekta	$V_z=$	1.151,95	m <sup>3</sup>	34	
Dolžina objekta na dnu (izberem)	$X_d=$	20,0000	m		
Širina objekta na dnu	$Y_d=$	10,0000	m	64	
Dolžina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$X_z=$	31,2274	m		
Širina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$Y_z=$	21,2274	m		
Maksimalna višina vode	$H_{max}=$	2,8069	m	65	
Površina objekta na dnu	$A_d=$	200,0000	m <sup>2</sup>		
Površina objekta pri maksimalni gladini	$A_z=$	662,88	m <sup>2</sup>		
<b>Preliv:</b>					
Merodajni naliv za dimenzioniranje	$q_{15(0,1)}=$	281,2000	l/(s.ha)	7	
Pretok čez preliv	$Q_{10}=$	3,0791	m <sup>3</sup> /s	2	
Dolžina preliva	$l=$	1,9662	m		
<b>Dušilka:</b>					
Premer dušilke	$d=$	10,8219	cm		
Koeficient iztoka	$\mu=$	0,7751			
Višina vode nad dušilko	$h_d=$	2,5069	m		
Dolžina dušilke	$L_d=$	2,5069	m		
Prerez dušilke	$A_d=$	91,9806	cm <sup>2</sup>		
Razmerje $L_d/d$	$L_d/d=$	0,2316			
Čas praznjenja	$T_{praz}=$	6,3997	h	OK	

**Rezultati:**

Višina zadrž. = izračun + varn. nadv.

$H_{potr}= 3,31 \quad m$

Širina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode

$Y= 21,23 \quad m$

Dolžina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode

$X= 31,23 \quad m$

Volumen zadrž.

$V_z= 1.151,95 \quad m^3$

Površina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode

$A_z= 662,88 \quad m^2$

## PRILOGA C: Grobi filter; Slovenska priporočila

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Dotok na filter	$Q_{\text{dot}}=$	0,05	$\text{m}^3/\text{s}$
Izbrana širina filtra	$B=$	10,00	m
Višina filtra pri izotku (izberem)	$H_5=$	2,00	m
Debelina zrn v odsekih:			
Prvi odsek	$D_1=$	0,25	m
Drugi odsek	$D_2=$	0,10	m
Tretji odsek	$D_3=$	0,07	m
Četrti odsek	$D_4=$	0,05	m
Peti odsek	$D_5=$	0,04	m
Povprečne poroznosti filtra:			
Prvi odsek	$n_1=$	0,04	
Drugi odsek	$n_2=$	0,07	
Tretji odsek	$n_3=$	0,09	
Četrti odsek	$n_4=$	0,11	
Peti odsek	$n_5=$	0,13	
Dolžina enega odseka	$L=$	4,00	m

IZRAČUNI					
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	Uporabljena enačba	Kontrola
Hitrost filtracije	$v_f=$	0,00250000	m/s	38	
Hidravlične izgube na posameznih odsekih	$\Delta Z_1=$	0,202374	m	40	
	$\Delta Z_2=$	0,173713	m	40	
	$\Delta Z_3=$	0,153749	m	40	
	$\Delta Z_4=$	0,148338	m	40	
	$\Delta Z_5=$	0,135062	m	40	
Višina objekta pri vtoku vode	$H_0=$	2,813236	m	39	
Volumen objekta	$V=$	481,32	$\text{m}^3$		
Površina objekta	$A=$	200,00	$\text{m}^2$		

## Rezultati in optimizacija:

Širina filtra

 $Y= 10,00$ 

m

<i>Dolžina filtra</i>	<b><math>X = 20,00</math></b>	<b><math>m</math></b>
<i>Volumen filtra po Navodilih projektantom</i>	<b><math>V_f = 481,32</math></b>	<b><math>m^3</math></b>
<i>Površina filtra po Navodilih projektantom</i>	<b><math>A_f = 200,00</math></b>	<b><math>m^2</math></b>

**PRILOGA D: Ponikovalnik Slovenska priporočila**1. Merodajni naliv = 350 l/(s.ha)

<b>PODATKI</b>			
<b>Opis</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Vrednost</b>	<b>Enota</b>
Dotok iz grobega filtra	$Q_f=$	0,05	$m^3/s$
Dotok viška vode iz zadrževalnika	$\Delta Q_z=$	2,54	$m^3/s$
Prepustnost vodonosnega sloja	$k=$	0,00025	$m/s$
Višina vode v filtru nad naravno peščeno podlago - predpostavljeno	$h=$	4,00	$m$
Razdalja med gladino podtalnice in dnom filtra	$u=$	2,00	$m$
Prepustnost infiltracijskega polja (izberem glede na predpostavke)	$k_{inf}=$	0,07	$m/h$
Nagib brežin	$H : V=$	2,00	
Razmerje stranic	$L : B=$	2,00	
Debelina filtra	$D=$	2,00	$m$
Časi dotoka	$T1=$	15,00	$min$
	$T2=$	5,82	$h$

<b>IZRAČUNI</b>					
<b>Opis</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Vrednost</b>	<b>Enota</b>	<b>Uporabljena enačba</b>	<b>Kontrola</b>
Dotok na ponikovalnik	$Q_D=$	2,586	$m^3/s$		
Potrebna površina za sprotno ponikanje	$A_{inf}=$	132.997,793	$m^2$	41	
Zmožnost ponikanja v vodonosnik pri $A_{inf}$	$Q_v=$	24,937	$m^3/s$	42	<b>OK</b>
<i>Površina je ogromna, zato lahko objekt priredimo</i>					
<i>tako, da bo manjša površina, voda, ki ne bo ponikovala takoj, pa se bo zadrževala ta čas v objektu.</i>					
<i>Objekt bo tlorisno pravokoten.</i>					
Optimizirana površina	$A_{opt}=$	1.200,000	$m^2$		
Ponikanje skozi optimalno površino filtra	$Q_{pon}=$	0,023	$m^3/s$	41	
Dolžina objekta na dnu	$L=$	48,990	$m$		
Širina objekta na dnu	$B=$	24,495	$m$		
Potrebni volumen objekta	$V=$	2.960,749	$m^3$		
Maksimalna višina vode - potrebna globina	$H=$	1,920	$m$	63	
<i>Kontrola višin vode nad filtrom</i>					
<i>Predpostavljena višina</i>	$h_{pr}=$	2,000	$m$		
<i>Izračunana višina</i>	$H=$	1,920	$m$		<b>OK</b>

<i>Kontrola zmožnosti ponikanja v vodonosnik</i>	$Q_v= 0,225$	$m^3/s$	42	<i>OK</i>
--	--------------	---------	----	-----------

<b>Rezultati in optimizacija:</b>		
<i>Širina ponikovalnika</i>	$Y= 24,49$	$m$
<i>Dolžina ponikovalnika</i>	$X= 48,99$	$m$
<i>Volumen ponikovalnika</i>	$V_p= 2.960,75$	$m^3$
<i>Površina ponikovalnika na dnu</i>	$A_p= 1.200,00$	$m^2$

2. Merodajni naliv = 281,20 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Dotok iz grobega filtra	$Q_f=$	0,05	$m^3/s$
Dotok viška vode iz zadrževalnika	$\Delta Q_z=$	2,70	$m^3/s$
Prepustnost vodonosnega sloja	$k=$	0,00025	m/s
Maks. višina vode v filtru nad naravno peščeno podlago - predpostavljeno	$h=$	4,00	m
Razdalja med gladino podtalnice in dnom filtra	$u=$	2,00	m
Prepustnost infiltracijskega polja (izberem glede na predpostavke)	$k_{inf}=$	0,07	m/h
Nagib brezjin	$H : V=$	2,00	
Razmerje stranic	$L : B=$	2,00	
Debelina filtra	$D=$	2,00	m
Časi dotoka	$T1=$	15,00	min
	$T2=$	6,40	h

IZRAČUNI					
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	Uporabljena enačba	Kontrola
<i>Dotok na ponikovalnik</i>	$Q_D=$	2,749	$m^3/s$		
<i>Potrebna površina za sprotno ponikanje</i>	$A_{inf}=$	141.398,986	$m^2$	41	
<i>Zmožnost ponikanja v vodonosnik pri <math>A_{inf}</math></i>	$Q_v=$	26,512	$m^3/s$	42	<i>OK</i>
<i>Površina je ogromna, zato lahko objekt priredimo</i>					
<i>tako, da bo manjša površina, voda, ki ne bo ponikovala takoj, pa se bo zadrževala ta čas v objektu.</i>					

<i>Objekt bo tlorisno pravokoten.</i>					
<i>Optimizirana površina</i>	$A_{opt} =$	1.200,000	$m^2$		
<i>Ponikanje skozi optimalno površino filtra</i>	$Q_{pon} =$	0,023	$m^3/s$	41	
<i>Dolžina objekta na dnu</i>	$L =$	48,990	$m$		
<i>Širina objekta na dnu</i>	$B =$	24,495	$m$		
<i>Potrebni volumen objekta</i>	$V =$	3.090,928	$m^3$		
<i>Maksimalna višina vode - potrebna globina</i>	$H =$	1,987	$m$	63	
<i>Kontrola višin vode nad filtrom</i>					
<i>Predpostavljena višina</i>	$h_{pr} =$	2,00	$m$		
<i>Izračunana višina</i>	$H =$	1,987	$m$		OK
<i>Kontrola zmožnosti ponikanja v vodonosnik</i>	$Q_v =$	0,2250	$m^3/s$	42	OK

**Rezultati in optimizacija:**

<i>Širina ponikovalnika</i>	$Y =$	24,49	$m$
<i>Dolžina ponikovalnika</i>	$X =$	48,99	$m$
<i>Volumen ponikovalnika</i>	$V_p =$	3.090,93	$m^3$
<i>Površina ponikovalnika na dnu</i>	$A_p =$	1.200,00	$m^2$



**PRILOGA E: Lovilec olj; Ameriška priporočila**

- 1.
- Merodajni naliv = 350 l/(s.ha) (enako je tudi za naliv po podatkih)

PODATKI				
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota	
Merodajni naliv	$q_{15(0,04)}=$	141,64	l/(s.acre)	(350l/(s.ha))
Kritični naliv	$q_{krit}=$	6,07	l/(s.acre)	
Horizontalna hitrost vode	$v_h=$	0,008	ft/s	
Razmerje med globino vode in širino lovilca	$H : B=$	0,30		
Faktor turbulence	$F=$	1,65		
Razmerje med širino in dolžino	$L : B \geq$	5,00		
Razmerje med dolžino celega objekta in dolžino začetne komore	$L : L_{zk}=$	3,00		
Razdalja dno-kote terena - izberem	$H_{dna}=$	16,00	ft	
Globina vkopa	$H_{vkop}=$	1,00	ft	
Razmerje zgornja stena - globina vode	$l_{nst}=$	0,850		
Razmerje spodnja stena - globina vode	$l_{sp}=$	0,150		

IZRAČUNI							
Opis	Oznaka	Ameriške enote		Slovenske enote		Uporabljena enačba	Kontrola
		Vrednost	enota	vrednost	enota		
Dotok z AC	$Q_D=$	135,375	ft <sup>3</sup> /s	3,834	m <sup>3</sup> /s	9	
Razbremenjeni dotok	$Q_I=$	5,802	ft <sup>3</sup> /s	0,164	m <sup>3</sup> /s	10	
Razbremenitev	$\Delta Q_R=$	129,573	ft <sup>3</sup> /s	3,670	m <sup>3</sup> /s		
<b>Geometrija objekta:</b>							
Prečni prerez potopljenega dela lovilca	$A_I=$	725,222	ft <sup>2</sup>	67,400	m <sup>2</sup>	48	
Maksimalna globina vode	$H=$	14,750	ft	4,496	m	50	
Širina lovilca	$B=$	49,167	ft	14,986	m	51	
Dolžina lovilca	$L=$	365,066	ft	111,272	m	53	
Volumen lovilca	$V=$	264.753,823	ft <sup>3</sup>	7.497,984	m <sup>3</sup>		
Dolžina začetne komore	$L_{zk}=$	121,689	ft	37,091	m		
Površina objekta	$A_h=$	17.949,243	ft <sup>2</sup>	1.668,145	m <sup>2</sup>		
Končna komora	$L_{kk}=$	121,689	ft	37,091	m		
<b>Potopne stene:</b>							
Svetla višina ("strop"-vodna gladina)	$H_{sv}=$	0,250	ft	0,076	m		
Dolžina potopljenega dela prva zgornje potopne stene	$l_{1st}=$	12,538	ft	3,821	m		
Dolžina potopljenega dela druge	$l_{2st}=$	12,538	ft				

<i>zgornje potopne stene</i>				3,821	m		
<i>Spodnja potopna stena</i>	$l_{sp} =$	2,213	ft	0,674	m		OK
<i>Odprtina pod zgornjimi stenami</i>		2,213	ft	0,674	m		
<i>Kontrola zgornjih sten - višina odprtine pod steno</i>	$\geq$	1,000	ft	0,305	m		OK
<i>Kontrola višinespodnje stene</i>	$\geq$	2,000	ft	0,610	m		OK
<i>Kontrola horizontalne površine</i>	$A_h =$	17.405,327	ft <sup>2</sup>	1.617,595	m <sup>2</sup>		OK
<i>Kontrola začetne komoere</i>	$A_{zk} =$	5.983,081	ft <sup>2</sup>	556,048	m <sup>2</sup>		OK

**Rezultati:***Višina vode v lovilcu*

$H_{potr} = 4,50 \quad m$

*Širina lovilca*

$Y = 14,99 \quad m$

*Dolžina lovilca*

$X = 111,27 \quad m$

*Volumen lovilca*

$V_u = 7.497,98 \quad m^3$

*Površina lovilca*

$A_u = 1.668,15 \quad m^2$

**PRILOGA F: Zadrževalnik; Ameriška priporočila**

1. Merodajni naliv = 350 l/(s.ha)

<b>PODATKI</b>			
<b>Opis</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Vrednost</b>	<b>Enota</b>
Merodajni naliv	$q_{15(0,04)}=$	350,00	l/(s.ha) (141,64l/(s.acre))
Trajanje naliva	T=	15,00	min
Čas koncentracije	t=	15,00	min
Maksimalni dopustni iztok (izberem)	$Q_{max}=$	1,77	ft <sup>3</sup> /s
Koeficient preliva	C=	0,60	
Koeficient iztoka skozi dušilko	$\mu=$	0,62	
Čas praznjenja	$T_{praz}=$	24,00	h
Razmerje med širino in dolžino	$F_{xy}=$	2,00	
Težnostni pospešek	g=	32,20	ft/s <sup>2</sup>
Naklon notranje brežine	ver : hor=	0,33	
Višina prelivajoče se vode čez preliv	$\Delta h=$	1,64	ft
Minimalna globina vode v zadrževalniku	h=	0,50	ft
Varnostno nadvišanje	$h_{var}=$	1,00	ft
	$\pi=$	3,14	

IZRAČUNI							
		Ameriške enote		Slovenske enote			
Opis	Oznaka	Vrednost	enota	vrednost	enota	Uporabljena enačba	Kontrola
15 min naliv s povratno dobo 1 leto	$q_{15(1)}=$	47,914	l/(s.acre)	118,396	l/(s.ha)	7	
Naliv za dimenzioniranje	$q_{15(0,5)}=$	62,224	l/(s.acre)	153,756	l/(s.ha)	7	
Dotok za dimenzioniranje	$Q_z=$	59,449	ft <sup>3</sup> /s	1,684	m <sup>3</sup> /s	2	
Pretok, ki gre direktno na ponikovalnik	$\Delta Q_z=$	75,877	ft <sup>3</sup> /s	2,149	m <sup>3</sup> /s		
<b>Geometrija pravokotna tlorisna oblika:</b>							
Volumen objekta	$V=$	51.915,0	ft <sup>3</sup>	1.470,263	m <sup>3</sup>	58	
Dolžina objekta na dnu (izberem)	$X_d=$	60,000	ft	18,288	m		
Širina objekta na dnu	$Y_d=$	30,000	ft	9,144	m		
Dolžina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$X_z=$	117,097	ft	35,691	m		
Širina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$Y_z=$	87,097	ft	26,547	m		
Maksimalna višina vode	$H=$	9,516	ft	2,901	m	65	
Površina objekta na dnu	$A_d=$	1.800,000	ft <sup>2</sup>	167,286	m <sup>2</sup>		
Površina objekta na koti maksimalne gladine	$A_z=$	10.198,89	ft <sup>2</sup>	947,852	m <sup>2</sup>		
<b>Dušilka v iztočnem objektu:</b>							
Višina vode nad dušilko	$h_{duš}=$	9,016	ft	0,838	m		
Površina odprtine	$A_{duš}=$	0,118	ft <sup>2</sup>	0,011	m <sup>2</sup>		
Premer odprtine	$d_{duš}=$	0,388	ft	0,118	m		
<b>Sekundarni preliv:</b>							
Merodajni naliv za dimenzioniranje	$q_{15(0,01)}=$	211,909	l/(s.acre)	523,627	l/(s.ha)	7	
Pretok čez preliv	$Q_{100}=$	500,454	ft <sup>3</sup> /s	14,173	m <sup>3</sup> /s	2	
Dolžina preлива	$l=$	70,267	ft	21,417	m	68	OK

<i>Kontrole za preliv</i>	$H \geq$	0,200	ft				<i>OK</i>
	$L \geq$	0,600	ft				<i>OK</i>
<b><i>Preliv v iztočnem jašku (premer jaška):</i></b>							
<i>Dolžina pravokotnega preliva = premer jaška (glej sliko 27)</i>	$D_{jaška} =$	20,988	ft	6,397	m		
<i>Čas praznjenja:</i>	$T_{praz} =$	8,168	h				<i>OK</i>

**Rezultati in optimizacija:**

*Višina zadrž. = izračun + varn. nadv.*

$$H_{potr} = 3,21 \quad m$$

*Širina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode*

$$Y = 26,55 \quad m$$

*Dolžina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode*

$$X = 35,69 \quad m$$

*Volumen zadrž.*

$$V_z = 1.470,26 \quad m^3$$

*Površina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode*

$$A_z = 947,85 \quad m^2$$

2. Merodajni naliv = 126,02 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Merodajni naliv	$q_{15(1)}=$	126,02	l/(s.ha) (77,54l/(s.acre))
Trajanje naliva	$T=$	15,00	min
Čas koncentracije	$t=$	15,00	min
Maksimalni dopustni iztok (izberem)	$Q_{\max}=$	1,77	ft <sup>3</sup> /s
Koeficient preliva	$C=$	0,60	
Koeficient iztoka skozi dušilko	$\mu=$	0,62	
Čas praznjenja	$T_{\text{praz}}=$	24,00	h
Razmerje med širino in dolžino	$F_{xy}=$	2,00	
Težnostni pospešek	$g=$	32,20	ft/s <sup>2</sup>
Naklon notranje brežine	ver : hor=	0,33	
Višina prelivajoče se vode čez preliv	$\Delta h=$	1,64	ft
Minimalna globina vode v zadrževalniku	$h=$	0,50	ft
Varnostno nadvišanje	$h_{\text{var}}=$	1,00	ft
	$\pi=$	3,14	

IZRAČUNI							
		Ameriške enote		Slovenske enote			
Opis	Oznaka	Vrednost	enota	vrednost	enota	Uporabljena enačba	Kontrola
15 naliv s povratno dobo 25 let	$q_{15(0,04)}=$	150,767	l/(s.acre)	372,5447	l/(s.ha)	7	
Naliv za dimenzioniranje	$q_{15(0,5)}=$	66,232	l/(s.acre)	163,660	l/(s.ha)	7	
Dotok za dimenzioniranje	$Q_z=$	63,278	ft <sup>3</sup> /s	1,792	m <sup>3</sup> /s	2	
Pretok, ki gre direktno na ponikovalnik	$\Delta Q_z=$	80,764	ft <sup>3</sup> /s	2,287	m <sup>3</sup> /s		
<b>Geometrija pravokotna tlorisna oblika:</b>							
Volumen objekta	$V=$	55.361,36	ft <sup>3</sup>	1.567,866	m <sup>3</sup>	58	
Dolžina objekta na dnu (izberem)	$X_d=$	60,000	ft	18,288	m		
Širina objekta na dnu	$Y_d=$	30,000	ft	9,144	m		
Dolžina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$X_z=$	119,086	ft	36,297	m		
Širina objekta zgoraj (na koti maksimalne gladine vode)	$Y_z=$	89,086	ft	27,153	m		
Maksimalna višina vode	$H=$	9,848	ft	3,002	m	65	
Površina objekta na dnu	$A_d=$	1.800,000	ft <sup>2</sup>	167,286	m <sup>2</sup>		
Površina objekta na koti maksimalne gladine	$A_z=$	10.608,795	ft <sup>2</sup>	985,947	m <sup>2</sup>		
<b>Dušilka v iztočnem objektu:</b>							
Višina vode nad dušilko	$h_{duš}=$	9,348	ft	0,869	m		
Površina odprtine	$A_{duš}=$	0,116	ft <sup>2</sup>	0,011	m <sup>2</sup>		
Premer odprtine	$d_{duš}=$	0,384	ft	0,117	m		
<b>Sekundarni preliv:</b>							
Merodajni naliv za dimenzioniranje	$q_{15(0,01)}=$	292,924	l/(s.acre)	723,816	l/(s.ha)	7	
Pretok čez preliv	$Q_{100}=$	691,784	ft <sup>3</sup> /s	19,592	m <sup>3</sup> /s	2	
Dolžina preliva	$l=$	98,636	ft	30,064	m	68	OK
Kontrole za preliv	$H \geq$	0,200	ft				OK
	$L \geq$	0,600	ft				OK
<b>Preliv v iztočnem jašku (premer jaška):</b>							
Dolžina pravokotnega preliva = premer jaška (glej sliko)	$D_{jaška}=$	29,012	ft	8,843	m		

27)							
<i>Čas praznjenja:</i>	$T_{praz} =$	8,710	$h$				OK

**Rezultati in optimizacija:**

<i>Višina zadrž. = izračun + varn. nadv.</i>	$H_{potr} =$	3,31	$m$
<i>Širina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode</i>	$Y =$	27,15	$m$
<i>Dolžina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode</i>	$X =$	36,30	$m$
<i>Volumen zadrž.</i>	$V_z =$	1.567,87	$m^3$
<i>Površina zadrž. na mestu maksimalne gladine vode</i>	$A_z =$	985,95	$m^2$



**PRILOGA G: Peščeni filter; Ameriška priporočila**

1. Merodajni naliv = 350 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Dotok na filter	$Q_{\text{dot}}=$	1,77	ft <sup>3</sup> /s
Hidravlična prepustnost	K=	2,00	ft/dan
Maksimalna globina vode nad peščenim filtrom - varn. nadv.	H=	1,00	ft
Debelina peščene plasti	l=	1,50	ft
Čas trajanja dotoka	T=	8,17	h
Čas praznjenja	t=	24,00	h
Prilagoditveni faktor	R=	0,70	
Razmejure stranic	X : Y=	2,00	
Naklon brežin	H : V=	3,00	

IZRAČUNI							
Opis	Oznaka	Ameriške enote		Slovenske enote		Uporabljena enačba	Kontrola
		Vrednost	enota	vrednost	enota		
Hidravlični gradient	$i=$	1,333				72	
Volumen dotoka na peščeni filter	$V_d=$	51.914,993	ft <sup>3</sup>	1.470,263	m <sup>3</sup>	74	
Potrebni pretok skozi filter	$Q_f=$	0,421	ft <sup>3</sup> /s	0,012	m <sup>3</sup> /s	75	
Potrebna površina filtra	$A_f=$	13.627,686	ft <sup>2</sup>	1.266,514	m <sup>2</sup>	76	
Dolžina pešenega filtra	X=	165,092	ft	50,320	m		
Širina peščenega filtra	Y=	82,546	ft	25,160	m		
Volumen objekta	$V_f=$	14.382,600	ft <sup>3</sup>	407,324	m <sup>3</sup>	63	

**Rezultati in optimizacija:**

Širina filtra	Y= 25,16	m
Dolžina filtra	X= 50,32	m
Volumen filtra	V <sub>f</sub> = 407,32	m <sup>3</sup>
Površina filtra	A <sub>f</sub> = 1.266,51	m <sup>2</sup>

2. Merodajni naliv = 126,02 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Dotok na filter	$Q_{dot} =$	1,77	ft <sup>3</sup> /s
Hidravlična prepustnost	$K =$	2,00	ft/dan
Maksimalna globina vode nad peščenim filtrom (izbrano)	$H =$	1,00	ft
Debelina peščene plasti	$l =$	1,50	ft
Čas trajanja dotoka	$T =$	8,71	h
Čas praznjenja	$t =$	24,00	h
Prilagoditveni faktor	$R =$	0,70	
Razmejre stranic	$X : Y =$	2,00	
Naklon brežin	$H : V =$	3,00	

IZRAČUNI							
Opis	Oznaka	Ameriške enote		Slovenske enote		Uporabljena enačba	Kontrola
		Vrednost	enota	vrednost	enota		
<i>Hidravlični gradient</i>	$i =$	1,333				72	
<i>Volumen dotoka na peščeni filter</i>	$V_d =$	55.361,359	ft <sup>3</sup>	1.567,866	m <sup>3</sup>	74	
<i>Potrebni pretok skozi filter</i>	$Q_f =$	0,449	ft <sup>3</sup> /s	0,013	m <sup>3</sup> /s	75	
<i>Potrebna površina filtra</i>	$A_f =$	14.532,357	ft <sup>2</sup>	1.350,591	m <sup>2</sup>	76	
<i>Dolžina pešenega filtra</i>	$X =$	170,484	ft	51,963	m		
<i>Širina pešenega filtra</i>	$Y =$	85,242	ft	25,982	m		
<i>Volumen objekta</i>	$V_f =$	15.311,534	ft <sup>3</sup>	433,632	m <sup>3</sup>	63	

Rezultati in optimizacija:		
<i>Širina filtra</i>	$Y =$	25,98 m
<i>Dolžina filtra</i>	$X =$	51,96 m
<i>Volumen filtra po Navodilih projektantom</i>	$V_f =$	433,63 m <sup>3</sup>
<i>Površina filtra po Navodilih projektantom</i>	$A_f =$	1.350,59 m <sup>2</sup>

**PRILOGA H: Ponikovalnik; Ameriška priporočila**

1. Merodajni naliv = 350 l/(s.ha)

PODATKI			
Opis	Oznaka	Vrednost	Enota
Dotok iz peščenega filtra	$Q_f=$	1,77	ft <sup>3</sup> /s
Dotok viška vode iz zadrževalnika	$\Delta Q_z=$	75,88	ft <sup>3</sup> /s
Prepustnost vodonosnega sloja	$k=$	0,00082	ft/s
Višina vode v ponikovalniku	$h=$	6,00	ft
Nagib brežin	$H : V=$	3,00	
Razmerje stranic	$L : B=$	2,00	
Nivo podtalnice pod tlemi	$h_{pod}=$	16,40	ft
Varnostno nadvišanje	$h_{var}=$	1,00	ft
Globina ponikovalnika (dno na prepustni podlagi)	$H=$	3,00	ft
Časi dotoka	$T_1=$	15,00	min
	$T_2=$	8,17	h
čas praznjenja ponikovalnika	$T=$	24,00	h

IZRAČUNI							
Opis	Oznaka	Ameriške enote		Slovenske enote		Uporabljena enačba	Kontrola
		Vrednost	enota	vrednost	enota		
Hidravlični gradient	$i=$	1,224				72	
Volumen dotoka na ponikovalnik	$V_d=$	121793,4005	ft <sup>3</sup>	3.449,250	m <sup>3</sup>		
Potrebni pretok skozi ponikovalnik	$Q_f=$	1,410	ft <sup>3</sup> /s	0,040	m <sup>3</sup> /s	75	
Potrebna poršina ponikovalnika	$A_f=$	9.279,988	ft <sup>2</sup>	862,452	m <sup>2</sup>		
Dolžina ponikovalnika	$X=$	136,235	ft	41,524	m		
Širinaponikovalnika	$Y=$	68,118	ft	20,762	m		
Volumen objekta	$V_f=$	80.342,393	ft <sup>3</sup>	2.275,344	m <sup>3</sup>		

<b>Rezultati in optimizacija:</b>		
Širina ponikovalnika na dnu	$Y = 20,76$	$m$
Dolžina ponikovalnika na dnu	$X = 41,52$	$m$
Volumen ponikovalnika	$V_f = 2.275,34$	$m^3$
Površina ponikovalnika	$A_f = 862,45$	$m^2$

2. Merodajni naliv = 281,20 l/(s.ha)

<b>PODATKI</b>			
<b>Opis</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Vrednost</b>	<b>Enota</b>
Dotok iz peščenega filtra	$Q_f =$	1,77	ft <sup>3</sup> /s
Dotok viška vode iz zadrževalnika	$\Delta Q_z =$	80,76	ft <sup>3</sup> /s
Prepustnost vodonosnega sloja	$k =$	0,00082	ft/s
Višina vode v ponikovalniku	$h =$	6,00	ft
Nagib brežin	$H : V =$	3,00	
Razmerje stranic	$L : B =$	2,00	
Nivo podtalnice pod tlemi	$h_{pod} =$	16,40	ft
Varnostno nadvišanje	$h_{var} =$	1,00	ft
Globina ponikovalnika (dno na prepustni podlagi)	$H =$	3,00	ft
Časi dotoka	$T_1 =$	15,00	min
	$T_2 =$	8,17	h
čas praznjenja ponikovalnika	$T =$	24,00	h

IZRAČUNI							
		Ameriške enote		Slovenske enote			
Opis	Oznaka	Vrednost	enota	vrednost	enota	Uporabljena enačba	Kontrola
<i>Hidravlični gradient</i>	$i=$	1,224				72	
<i>Volumen dotoka na ponikovalnik</i>	$V_d=$	129.685,638	$ft^3$	3.672,774	$m^3$		
<i>Potrební pretok skozi ponikovalnik</i>	$Q_f=$	1,501	$ft^3/s$	0,043	$m^3/s$	75	
<i>Potrebna površina ponikovalnika</i>	$A_f=$	10.006,401	$ft^2$	929,963	$m^2$		
<i>Dolžina ponikovalnika</i>	$X=$	141,467	$ft$	43,119	$m$		
<i>Širina ponikovalnika</i>	$Y=$	70,733	$ft$	21,560	$m$		
<i>Volumen objekta</i>	$V_f=$	85.548,596	$ft^3$	2.422,787	$m^3$		

**Rezultati in optimizacija:**

<i>Širina ponikovalnika na dnu</i>	$Y=$	21,56	$m$
<i>Dolžina ponikovalnika na dnu</i>	$X=$	43,12	$m$
<i>Volumen ponikovalnika</i>	$V_f=$	2.422,79	$m^3$
<i>Površina ponikovalnika</i>	$A_f=$	929,96	$m^2$

**PRILOGA I: Shema – vrste padavinskega odtoka, monitoringa in odločanja, kdaj je padavinske vode potrebno očistiti (Brenčič, et. al., 2004, str. 440)**

