

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

8. KONSTRUKTIVNI ELEMENTI PUTEVA

8.3. SISTEM ZA ODVODNJAVANJE

BEOGRAD, 2011.

Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd

Izdanja:

Br.	Datum	Opis dopuna i promena
1	30.04.2012	Početno izdanje

SADRŽAJ

8.3.1	UVOD	1
8.3.2	KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE	1
8.3.2.1	POVRATNI PERIOD KIŠA	1
8.3.2.2	PRORAČUN MERODAVNIH PROTOKA	1
8.3.3	PRIKUPLJANJE KIŠNOG OTICAJA	2
8.3.3.1	PODUŽNI I POPREČNI PAD KOLOVOZA	2
8.3.3.2	TEČENJE UZ IVIČNJAK	2
8.3.3.3	VREME PUTOVANJA KIŠNOG OTICAJA DO SLIVNIKA T_0	3
8.3.3.4	SLIVNICI	4
8.3.3.4.1	Proračun efikasnosti slivnika	4
8.3.3.4.2	Određivanje rastojanja između slivnika	5
8.3.4	ODVOĐENJE VODE	7
8.3.4.1	ZATVOREN SISTEM	7
8.3.4.1.1	Minimalne dimenzije kanala	8
8.3.4.1.2	Maksimalni i minimalni nagibi kanala	9
8.3.4.1.3	Punjenje cevi – kanala pri merodavnom protoku	9
8.3.4.1.4	Minimalne i maksimalne dubine ukopavanja kanala	9
8.3.4.1.5	Raspodela ukupnog pada na pojedine deonice - kanale	10
8.3.4.2	OTVOREN SISTEM	10
8.3.4.2.1	Provera eroziona stabilnosti kanala	11
8.3.4.3	OBJEKTI NA SISTEMU ZA ODVODJENJE VODE	11
8.3.4.3.1	Cevni materijali	11
8.3.4.3.2	Revizioni silazi (okna)	12
8.3.4.3.3	Kaskade	13
8.3.4.3.4	Retenzije	14
8.3.4.3.5	Prečišćavanje vode	14
8.3.4.3.6	Ispust vode	16
8.3.5	PODPOVRŠINSKO ODVODNJAVANJE - DRENAŽE	17
8.3.5.1	OPIS	17
8.3.5.1.1	Drenažne cevi	17
8.3.5.1.2	Materijali za zasipanje	17
8.3.5.1.3	Drenažne trake	18

8.3.1 UVOD

Sistem za odvodnjavanje se gradi za potrebe kontrolisanog prikupljanja i odvođenja kišnog oticaja sa kolovoza, pri pojavi merodavnih padavina. Osnovni cilj je povećanje bezbednosti, imajući u vidu da se saobraćaj tokom padavina odvija otežano zbog formiranja sloja vode na kolovozu. Osnovni faktori koji utiču na zadržavanje vode na kolovozu i širinu plavljenja su: poprečni i podužni pad kolovoza, rastojanje između slivnika, intenzitet kiše i hrapavost kolovozne površine. Zadržavanje vode na kolovozu ima nepovoljan uticaj na bezbednost odvijanja saobraćaja jer dovodi do smanjenja vidljivosti, a može dovesti i do pojave hidroplaninga. Izbor geometrijskih elemenata trase i tipa kolovozne površine od presudnog značaja za odvodnjavanje puta, pa je o ovim problemima potrebno razmišljati već u fazi postavljanja trase puta.

Pored povećanja bezbednosti odvijanja saobraćaja u uslovima padavina, dodatni cilj je očuvanja životne sredine. To podrazumeva kontrolisano prikupljanje i odvodjenje zagadjenog kišnog oticaja i njegovo prečišćavanje do zahtevanog stepena, pre ispuštanja u recipijent.

8.3.2 KRITERIJUMI ZA PROJEKTOVANJE

8.3.2.1 Povratni period kiša

Sistem za odvodnjavanje se projektuje tako da se pri padavinama zahtevanog povratnog perioda ostvari širina plavljenja kolovoza koja je manja od dozvoljene.

Kod autoputeva i puteva na kojima je računaska brzina veća od 75 km/h, uzimaju se kiše povratnog period od 10 godina.

Za puteve nižeg ranga, usvaja se povratni period kiša od 5 godina.

Kod autoputeva, dopušteno je plavljenje samo zaustavne trake, pri merodavnim padavinama, dok se za puteve koji nemaju zaustavnu traku dopušta plavljenje polovine vozne trake. Naravno moguće je zadati kriterijume koji su između ova dva nivoa zaštite, imajući u vidu sledeće parametre: projektovanu računsku brzinu, očekivani obim saobraćaja i potrebna ulaganja u sistem za odvodnjavanje.

8.3.2.2 Proračun merodavnih protoka

Merodavan protok (Q) se računa za potrebe određivanja hidrauličkog opterećenja sistema ili dela sistema, radi projektovanja osnovnih geometrijskih elemenata objekata: nagib dna, geometrije poprečnog preseka, vrste obloge.

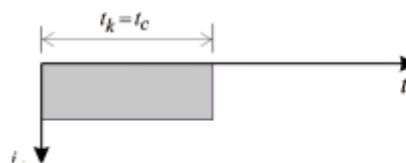
Merodavne količine voda – protoci u stalnim i povremenim tokovima koji se sprovede kroz propuste ispod puta računaju se različitim metodama koje su opisane u Delu 2.2-Hidrološke analize.

Za proračun merodavnih protoka vode sa kolovoza, mogu se koristiti različite metode (videti deo 2.2-Hidrološke analize). U praktičnim proračunima najčešće se koristi se Racionalna teorija, koja je detaljno opisana u delu 2.2, a ovde će se ponoviti samo osnovni koraci proračuna.

Pretpostavka na kojoj se temelji primena Racionalne teorije je da se merodavan protok ostvaruje kada je vreme koncentracije t_c jednako vremenu trajanja kiše t_k . Vreme koncentracije je jednako zbiru: vremena koje je potrebno da kišni oticaj dospe u mrežu za odvodnjavanje (t_o), vremena najdužeg putovanja kišnog oticaja kroz uzvodne deonice mreže (L/v_i) i vremena putovanja kroz deonicu za koju se računa merodavni protok:

$$t_c = (t_o + \sum_i \frac{L_i}{v_i}) + \frac{L}{v}$$

Proračun merodavnog protoka po Racionalnoj metodi je iterativan. Za proračun vremena koncentracije t_c , potrebno je u prvoj iteraciji pretpostaviti brzinu v u deonici za koju se računa merodavan protok.



Slika 8.3.1: Hidrogram oticaja po racionalnoj metodi za kišu konstantnog intenziteta trajanja jednakog vremenu koncentracije

Za sračunato vreme koncentracije t_c , računa se merodavan protok Q :

$$Q = i_e \cdot F$$

$$i_e = C \cdot i_k(t_k = t_c)$$

gde je F ukupna uzvodna površina sa koje kišni oticaj dospeva u predmetnu deonicu.

Na osnovu sračunatog protoka, usvajaju se osnovni - projektni elementi: geometrija poprečnog preseka i podužni nagib deonice, imajući pri tom u vidu hidraulička, geometrijska i inženjerska ograničenja koja će biti objašnjena u nastavku teksta. Potom se ponovo proračunava brzina tečenja v , i sprovodi se nova iteracija proračuna, sa popravljenim vremenom koncentracije (t_c), odnosno novim trajanjem i intenzitetom kiše ($t_k = t_c$).

8.3.3 PRIKUPLJANJE KIŠNOG OTICAJA

Sistem za odvodnjavanje se može podeliti na deo sistema koji služi za prikupljanje kišnog oticaja sa kolovoza, deo sistema kojim se prikupljeni oticaj odvodi do mesta izlivanja i izliv.

Kišni oticaj sa kolovoza se prikuplja tako što se voda poprečnim i podužnim padom kolovoza usmerava da teče uz ivičnjak do slivnika gde se, zavisno od prijemne sposobnosti i efikasnosti slivnika, deo proticaja prihvati i uvede u sistem za odvođenje kišnog oticaja (kolektori i/ili kanali) i vodi do mesta izlivanja.

8.3.3.1 Podužni i poprečni pad kolovoza

Očigledno je da su poprečni (S_x) i podužni pad kolovoza (S_p) od velikog značaja za prikupljanje kišnog oticaja. Zbog toga je neophodno da, pored ostalih, i uslovi odvodnjavanja budu kriterijum za definisanje ovih geometrijskih parametara trase.

Podužni pad se usvaja da bude najmanje 0.5%, a u izuzetnim slučajevima i na kraćim deonicama se može usvojiti da iznosi 0.3%.

Poprečni pad kolovoza se usvaja da iznosi najmanje 1.5% pa sve do 2.5%. Za put koji ima više traka u jednom smeru, za svaku narednu traku se poprečni pad povećava za 0.5 do 1%, sve do poprečnog nagiba od najviše 4%.

Potrebno je izbegavati da se kišni oticaj poprečnim padom usmerava prema razdelnom pojasu. Ako to nije moguće izbeći, neophodno je sistem za prikupljanje oticaja, koji se sastoji od rigola (ili kanaleta) i slivnika, projektovati tako da maksimalna širina plavljenja ne izlazi izvan razdelnog pojasa. Osim toga neophodno je projektovati i da svi elementi sistema za prikupljanje kišnog oticaja, budu u potpunosti unutar razdelnog pojasa, kako se ne bi ometao saobraćaj u unutrašnjim (brzim) trakama.

8.3.3.2 Tečenje uz ivičnjak

Kišni oticaj se podužnim i poprečnim padom kolovoza usmerava da kontrolisano teče uz ivičnjak.

Propusna sposobnost trougaonog poprečnog preseka (Slika 1., tip a) može se sračunati primenom Chezy-Manning-ove jednačine:

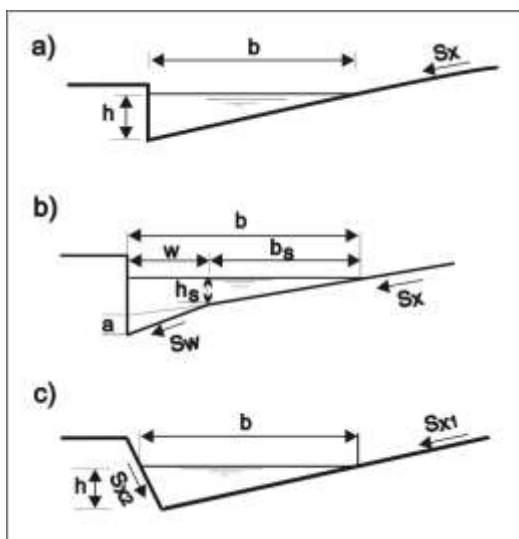
$$Q = \frac{0.315}{n \cdot S_x} h^{8/3} \sqrt{S_p}$$

gde su: S_x – poprečni pad kolovoza (m/m), S_p – podužni pad kolovoza (m/m), h - dubina vode uz ivičnjak (m), n - Manning-ov koeficijent hrapavosti za kolovozne površine ($m^{-1/3}s$) i Q – protok (m^3/s).

Širina plavljenja (b) se računa na osnovu sračunate dubine (h): $b=h/S_x$.

Kada trougaoni poprečni presek nije dovoljnog kapaciteta, najefikasniji način da se poveća njegova propusna sposobnost i smanji širina plavljenja je da se produbljivanjem poprečnog preseka uz sam ivičnjak formira rigol (slika 1., tip b). Uobičajene vrednosti za širinu produbljenog dela poprečnog preseka (w) su 30 do 60 cm, a dodatni nagib (a/w) se usvaja da iznosi 8 do 12%.

Projektovanjem rigola sa složenim poprečnim presekom povećava se propusna moć rigola ali i dubina toka vode koja dolazi do slivnika, a time i njegova efikasnost.



Slika 8.3.2: Tečenje uz ivičnjak

Propusna moć složenog poprečnog preseka se računa kao zbir propusne sposobnosti trougaonog dela poprečnog preseka širine b_s (Q_s), i dela poprečnog preseka širine w (Q_w):

$$Q = Q_w + Q_s$$

$$Q_s = \frac{0.315}{n \cdot S_x} h_s^{8/3} \sqrt{S_p}$$

$$Q_w = Q_s \frac{E_0}{1 - E_0}$$

gde je E_0 bezdimenzionalna veličina kojom se računa koji deo ukupnog protoka prolazi kroz produbljeni deo preseka ($E_0 = Q_w/Q$):

$$E_0 = \left[1 + \frac{S_w/S_x}{\left(1 + \frac{S_w/S_x}{b/w - 1}\right)^{8/3} - 1} \right]^{-1}$$

U prethodnoj jednačini S_w je poprečni pad na produbljenom delu poprečnog preseka:

$$S_w = S_x + a/w$$

Kada se kišni oticaj prikuplja u razdelnom pojasu, obično se projektuju kanalete (rigole) kod kojih obe strane trougla imaju poprečni nagib (slika 1., tip c). U tom slučaju se propusna moć ovog poprečnog preseka računa kao za trougaoni poprečni presek sa jednom vertikalnom stranom (tip a.), ali sa ekvivalentnim poprečnim nagibom:

$$S_x = \frac{S_{x1} S_{x2}}{S_{x1} + S_{x2}}$$

Manning-ov koeficijent hrapavosti (n) za kolovozne površine se kreće u opsegu od $0.012 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, za asfaltne površine sa glatkom teksturom do $0.016 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, za hrapav asfalt (tabelaran prikaz i detaljan opis Manning-ovog koeficijenta hrapavosti dat je u svesci 2.2 Hidrološka istraživanja). Za rigole sa malim podužnim padom u kojima se očekuje stvaranje taloga, preporučuje se da se za koeficijent n usvoji vrednost $0.020 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

8.3.3.3 Vreme putovanja kišnog oticaja do slivnika t_0

Vreme t_0 je zbir vremena putovanja kišnog oticaja po kolovozu do rigola (t_{01}) i vremena putovanja kišnog oticaja duž ivičnjaka do slivnika (t_{02}): $t_0 = t_{01} + t_{02}$.

Za proračun vremena t_{01} (min), koristi se sledeći izraz, zasnovan na modelu kinematskog talasa:

$$t_{01} = 1.36 \frac{B_s^{0.6} n^{0.6}}{i_e^{0.4} S^{0.3}}$$

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_p^2}$$

$$B_s = B \sqrt{1 + (S_p / S_x)^2}$$

gde je S - nagib u pravcu kretanja kišnog oticaja po kolovozu (m/m), B i B_s - širina kolovoza koji se odvodnjava i dužina puta kišnog oticaja do ivičnjaka (m), n - Manning-ov koeficijent hrapavosti kolovoza ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$), i_e - intenzitet efektivne kiše (mm/min).

Efektivna kiša se dobija kao proizvod intenziteta ukupne kiše (i_k) i koeficijenta oticaja (C): $i_e = C i_k$. Preporučena vrednost koeficijenta oticaja C za asfaltne površine je 0.9, a preporučene vrednosti koeficijenta C za ostale površine date su u delu 2.7 Hidrološka istraživanja.

Vreme toka uz ivičnjaka (t_{02}) zavisi od prosečne brzine toka (v_a) između dva poprečna preseka:

$$v_a = \frac{0.63}{n} (b_a \cdot S_x)^{2/3} \sqrt{S_p}$$

gde je b_a - prosečna širina kišnog oticaja između dva preseka (m), koja je merodavna za proračun brzine:

$$b_a = 0.65 \cdot b_2 \left[\frac{1 - (b_1/b_2)^{8/3}}{1 - (b_1/b_2)^2} \right]^{3/2}$$

gde su b_1 i b_2 širine plavljenja u uzvodnom i nizvodnom preseku, koje se mogu sračunati na osnovu protoka (odnosno dubine) u ovim presecima.

Nakon proračuna brzine, vreme putovanja kišnog oticaja uz ivičnjak je: $t_{02} = L_{12}/v_a$, gde je L_{12} rastojanje između preseka 1 i 2. Kada se računa rastojanje između slivnika, presek 1 je neposredno iza uzvodnog slivnika, a presek 2 neposredno ispred nizvodnog, tako da se za L_{12} uzima rastojanje između slivnika.

Proračun vremena t_0 se obavlja iterativno. Intenzitet kiše se usvaja zavisno od trajanja (t_k) koje se u prvoj iteraciji uzima da iznosi 2 minuta. Kada se primenom prethodnih jednačina izračuna vreme putovanja t_0 , to je istovremeno i novo trajanje kiše t_k i proračun se ponavlja.

Treba napomenuti da se prilikom određivanja rastojanja između slivnika računa stvarno vreme putovanja do slivnika t_0 , pri čemu se najčešće dobijaju vremena koncentracije koja su manja od 5 min. Ovo se može smatrati realnim za proračun rastojanja između slivnika. Međutim u narednom koraku dimenzionisanja sistema, a to je dimenzionisanje kolektora i kanala, potrebno je usvojiti $t_0=5\text{min.}$, kao minimalno vreme ulaska kišnog oticaja u najuzvodniji kolektor. Ovo se smatra opravdanim ako se ima u vidu da i slivnici i šahtovi imaju neku akumulacionu sposobnost, pa samim tim utiču na usporavanje početka oticaja.

8.3.3.4 Slivnici

Postoji nekoliko tipova slivnika koji su u standardnoj upotrebi za prikupljanje vode sa kolovoza:

1. Slivnici koji se postavljaju uz ivičnjak
 - a. otvori paralelni sa ivičnjakom
 - b. otvori upravni na ivičnjak
2. Slivnici sa otvorima u ivičnjaku
3. Kombinovani

8.3.3.4.1 Proračun efikasnosti slivnika

Prijemna moć slivnika (Q_i) zavisi od tipa slivnika, njegove geometrije i brzine kojom kišni oticaj, koji teče uz ivičnjak, nailazi na slivnik. Efikasnost slivnika E se definiše kao odnos između protoka koji slivnik prima i dotoka koji stiže do slivnika tečenjem uz ivičnjak: $E=Q_i/Q$.

Kod proračuna efikasnosti slivnika tipa 1, koji se najčešće primenjuju za odvodnjavanje puteva, potrebno je sračunati deo protoka koji frontalno nailazi na slivnik širine w (Q_w) i preostali, bočni deo protoka, koji se kreće paralelno sa unutrašnjom ivicom slivnika (Q_s):

$$Q_w = Q \cdot E_0$$

$$Q_s = Q - Q_w = (1 - E_0)Q$$

Proračun parametra E_0 je prethodno prikazan za slučaj tečenja uz ivičnjak složenog poprečnog preseka. Ukoliko se radi o kolovozu sa konstantnim poprečnim padom proračun ($S_w=S_x$), E_0 se računa primenom sledeće, jednostavnije jednačine:

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{b}\right)^{8/3}$$

Za proračun efikasnosti slivnika, potrebno je sračunati efikasnost prijema čeonog dela dotoka R_w :

$$R_w = \begin{cases} 1 - 0.295(v - v_0) & v \geq v_0 \\ 1 & v < v_0 \end{cases}$$

gde je v brzina toka Q koji stiže do slivnika, a v_0 maksimalna brzina, čijim se prevazilaženjem smanjuje efikasnost slivnika. Brzina v_0 , zavisi od tipa slivnika (1a ili 1b) i njegove dužine l .

Kod slivnika 1a, sa otvorima koji su paralelni sa ivičnjakom, kritična brzina se može odrediti primenom jednačina koje su date u tabeli 1, gde je d_0 centralno rastojanje između otvora.

Tabela 8.3.1. Proračun kritična brzine v_0 , za slivnike tipa 1.a

Tip	d_0 (mm)	v_0 (m/s)
P-50	50	$v_0 = 0.676 + 4.031/l - 2.13l^2 + 0.598l^3$
P-30	30	$v_0 = 0.537 + 3.117/l - 1.478l^2 + 0.358l^3$

Kod nas se najčešće koriste slivnici koji po geometriji najviše odgovaraju tipu P-50.

Slivnici tipa 1a, sa otvorima koji su paralelni sa ivičnjakom, imaju veću efikasnost od slivnika 1b, ali je njihov nedostatak u tome što nisu bezbedni za bicikliste.

Na putevima na kojima se mogu pojaviti i biciklisti kao učesnici u saobraćaju, koriste se slivnici 1b, koji imaju otvore upravne na ivičnjak.

Kritična brzina za ovaj tip slivnika može se grubo proceniti da iznosi: $v_0=2.0$ l, a zapravo bi bilo neophodno da proizvođači daju dijagrame na osnovu kojih bi se mogao sračunati ili usvojiti ovaj parametar.

Efikasnost slivnika u pogledu prijema bočnog dotoka R_s računa se primenom sledeće jednačine:

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0.0828v^{1.8}}{S_x L^{2.3}}}$$

Prijemna moć slivnika može se odrediti na osnovu koeficijenta R_w i R_s :

$$Q_i = E \cdot Q$$

$$E = R_w E_0 + R_s (1 - E_0)$$

8.3.3.4.2 Određivanje rastojanja između slivnika

Očigledno je da postoji deo protoka koji slivnik ne može da prihvati: $Q_b = Q - Q_i$.

Ovaj protok ne treba da bude veći od 30% od protoka neposredno ispred slivnika - Q , i što je najvažnije, slivnici treba da budu postavljeni na takvom rastojanju (L_s) da se ovaj protok ne povećava:

$$L_s = \frac{Q_i}{B \cdot i_k \cdot C}$$

gde je B - širina kolovoza sa koga se prikuplja kišni oticaj (m), i_k - intenzitet merodavnih padavina (m/s) i C - koeficijent oticaja (-).

Određivanje rastojanja između slivnika je očigledno iterativan postupak, jer intenzitet kiše zavisi od trajanja kiše, koje se opet menja zavisno od sračunatog vremena putovanja kišnog oticaja do slivnika (t_0).

Na mestima gde se geometrija trase menja (raskrsnice, petlje, promena poprečnog i podužnog pada), treba postaviti dodatne slivnike za prihvatanje protoka (Q_b) koji poslednji slivnik u nizu nije prihvatio.

Primer

U nastavku je dat primer proračuna rastojanja između slivnika, za slučaj prikupljanja kišnog oticaja sa kolovoza širine $B=11.5$ m, koji ima poprečni pad $S_x=2\%$ i podužni pad $S_p=3\%$.

Zavisnost intenziteta i trajanja kiše, za kiše povratnog perioda $T_p=10$ godina, data je sledećom jednačinom:

$$i_k = \frac{A}{(D + t_k)^B}$$

gde je t_k trajanje kiše (min), i_k intenzitet kiše (mm/min) i A , B i D parametri koji imaju vrednosti: $A=25,08$, $B=0,862$ i $D=8,65$.

Usvojeni su slivnici koji imaju širinu $w=0,5$ m i dužinu u pravcu toka $l=0,5$ m.

Koeficijent oticaja je $C=0,9$ i manjgov koeficijent hrapavosti za kolovoz: $n=0,012$ m^{-1/3}s.

Kriterijumi za projektovanje rastojanja između slivnika su sledeći: 1. Dozvoljena širina plavljenja b , ne sme biti veća od širine zaustavne trake koja iznosi 2.75m i 2. efikasnost slivnika (E) ne sme biti manja od 0,67, odnosno najmanje 2/3 dotoka neposredno ispred slivnika (Q) mora biti prihvaćen u slivnik.

Rešenje

Proračun je iterativan i sprovodi se tako što se za usvojeno (pretpostavljeno) rastojanje između slivnika (L_s), proverava ispunjenost navedenih uslova. U prvoj iteraciji se pretpostavljaju: vreme koncentracije t_0 i efikasnost slivnika E .

U primeru je prikazan proračun za rastojanje između slivnika $L_s=25$ m.

Pretpostavljeno vreme koncentracije u prvoj iteraciji je $t_0=2$ min i efikasnost slivnika $E=0,67$.

1. Prvi korak je proračun merodavnog intenziteta kiše ($t_k=t_0$):

$$i_k = \frac{A}{(D + t_k)^B} = 3.26 \text{ mm/min}$$

2. Na osnovu merodavne kiše, računa se protok koji dolazi u slivnik (Q_i), a iz efikasnosti E , računa se dotok neposredno ispred slivnika (Q), kao i deo koji prolazi slivnik (Q_b):

$$Q_i = B \cdot i_k \cdot C \cdot L_s = 14.1 \text{ l/s}$$

$$Q = Q_i / E = 21.0 \text{ l/s}$$

$$Q_b = Q - Q_i = 6.9 \text{ l/s}$$

3. U ovom koraku se računa novo vreme koncentracije t_0 , što podrazumeva prvo proračun vremena putovanja kišnog oticaja do ivičnjaka t_{01} :

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_p^2} = 0.036$$

$$B_s = B \sqrt{1 + (S_p / S_x)^2} = 20.7 \text{ m}$$

$$t_{o1} = 1.36 \frac{B_s^{0.6} n^{0.6}}{i_e^{0.4} S^{0.3}} = 1.04 \text{ min}$$

Zatim se računa vreme putovanja kišnog otcicaja uz ivičnjak, između dva slivnika (t_{o2}). Kako se brzina toka uz ivičnjak menja, zbog promene protoka, potrebno je sračunati prosečnu brzinu toka v_a , na osnovu prosečne širine toka b_a :

$$b_1 = \left(\frac{n Q_b S_x}{0.315 \sqrt{S_p}} \right)^{3/8} S_x^{-1} = 1.01 \text{ m}$$

$$b_2 = \left(\frac{n Q S_x}{0.315 \sqrt{S_p}} \right)^{3/8} S_x^{-1} = 1.54 \text{ m}$$

$$b_a = 0.65 \cdot b_2 \left[\frac{1 - (b_1 / b_2)^{8/3}}{1 - (b_1 / b_2)^2} \right]^{3/2} = 1.29 \text{ m}$$

$$v_a = \frac{0.63}{n} (b_a \cdot S_x)^{2/3} \sqrt{S_p} = 0.79 \text{ m/s}$$

$$t_{o2} = L_s / v_a = 0.52 \text{ min}$$

gde su b_1 i b_2 , početna i krajnja širina plavljenja koje se odnose na presek neposredno nakon uzvodnog slivnika (b_1) i neposredno ispred nizvodnog slivnika (b_2). Novo ukupno vreme koncentracije t_0 se računa kao zbir dva sračunata vremena: $t_0 = t_{o1} + t_{o2} = 1.56 \text{ min}$ i to je vreme koje će se koristiti u narednoj iteraciji proračuna.

4. Poslednji korak jedne iteracije proračuna je određivanje efikasnosti slivnika E . Za potrebe ovog proračuna potrebno je prvo sračunati deo protoka koji nailazi frontalno na slivnik Q_w i preostali deo koji se bočno uliva u slivnik Q_s . Q_w se računa na osnovu izraza za parametar E_0 , koji, za slučaj poprečnog preseka koji ima konstantan poprečni pad S_x , ima sledeći oblik:

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{w}{b_2}\right)^{8/3} = 0.65$$

$$Q_w = E_0 Q = 13.7 \text{ l/s}$$

$$Q_s = Q - Q_w = 7.3 \text{ l/s}$$

Da bi se odredila efikasnost slivnika u prihvatanju frontalnog dotoka (R_w), treba proveriti da li je brzina toka na ulazu u slivnik veća od kritične (v_0), u kom slučaju se dobija da je R_w manje od 1. Parametar v_0 je karakteristika slivnika i za potrebe ovog primera je usvojena uobičajena vrednost od 1 m/s.

$$v = \frac{0.63}{n} (b_2 \cdot S_x)^{2/3} \sqrt{S_p} = 0.89 \text{ m/s}$$

$$R_w = \begin{cases} 1 - 0.295(v - v_0) & v \geq v_0 \\ 1 & v < v_0 \end{cases} = 1$$

Za proračun efikasnosti slivnika u prihvatanju bočnog dotoka, koristi se parametar R_s :

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0.0828 v^{1.8}}{S_x L_s^{2.3}}} = 0.057$$

Na kraju ovog koraka računa se korigovani kapacitet slivnika Q_i i efikasnost slivnika E :

$$E = R_w E_0 + R_s (1 - E_0) = 0.67$$

$$Q_i = E \cdot Q = 14.1 \text{ l/s}$$

Sa ovako sračunatim parametrom E , ide se u novu iteraciju proračuna.

Ostale iteracije proračuna su prikazane u tabeli. Na kraju iterativnog proračuna, proverava se ispunjenost projektnih uslova:

- b_2 je maksimalna širina plavljenja, koja treba da bude manja od dozvoljene b ,
- efikasnost slivnika E mora biti veća od zahtevane.

Očigledno je da su oba uslova ispunjena, što znači da, usvojeno rastojanje između slivnika $L_s = 25 \text{ m}$, zadovoljava postavljene kriterijume.

Tabela 8.3.2. Proračun efikasnosti slivnika i širine plavljenja kolovoza

it	i_k mm/min	Q_i l/s	Q l/s	Q_b l/s	t_{o1} (min)	b_1 (m)	b_2 (m)	b_a (m)	v_a (m/s)	t_{o2} (min)	t_0 (min)	E_0	Q_w l/s	Q_s l/s	R_w	R_s	E
1	3.26	14.1	21.0	6.9	1.04	1.01	1.54	1.29	0.79	0.52	1.56	0.65	13.66	7.34	1.00	0.06	0.67
2	3.38	14.6	21.8	7.2	1.02	1.03	1.56	1.31	0.80	0.52	1.54	0.64	14.03	7.74	1.00	0.06	0.66
3	3.39	14.6	22.0	7.4	1.02	1.04	1.56	1.32	0.80	0.52	1.54	0.64	14.14	7.86	1.00	0.06	0.66

8.3.4 ODVOĐENJE VODE

Uloga slivnika je da prikupe vodu sa kolovoza, a mreža kolektora i/ili otvorenih kanala, ima ulogu da prikupljeni kišni oticaj sa kolovoza odvede do mesta izliva.

Odvođenje vode može biti zasnovano na:

- otvorenim kanalima,
- zatvorenim kolektorima ili
- kombinovan sistem.

Ova podela je zasnovana na načinu na koji se kišni oticaj vodi do izliva. Česta je terminološka zabuna, vezana za pojam otvorenih i zatvorenih sistema, jer se isti termini (otvoreni i zatvoreni sistemi) istovremeno odnose i na kontrolu potencijalno zagađenog kišnog oticaja sa kolovoza, gde se pod pojmom zatvoren sistem podrazumeva onaj sistem kod koga se ne dozvoljava mešanje kišnog oticaja sa kolovoza sa nezagađenim kišnim oticajem koji prema putu gravitira sa okolnog terena. Dakle pod otvorenim sistemom se, u smislu odvođenja kišnog oticaja, podrazumeva sistem u kome se kišni oticaj sa kolovoza odvodi otvorenim kanalima, a zatvoren sistem se sastoji od mreže kolektora. Jasno je da je najčešće slučaj da je, dobro projektovan zatvoren sistem u smislu odvođenja kišnog oticaja, istovremeno i zatvoren sistem u smislu mogućnosti kontrole i prečišćavanja zagađenja, jer se jednostavno može obezbediti da samo kišni oticaj sa kolovoza ulazi u kolektore, što je neophodno ukoliko je zahtev da se oticaj prečišćava pre izlivanja. Međutim i kod otvorenih sistema je moguće postići ovaj cilj, ali je potrebno projektovati poseban sistem za prikupljanje i odvođenje pribrežnih voda, kako bi se sprečilo mešanje zagađenog kišnog oticaja sa kolovoza i oticaja sa prirodnih slivnih površina koje gravitiraju ka trasi puta. Prednost otvorenog sistema je što, po pravilu zahteva manje investicije i što se, u uslovima kada se ne zahteva prečišćavanje kišnog oticaja, mogu koristiti isti kanali za prihvatanje celokupnog kišnog oticaja.

Sistem za odvodnjavanje mora imati dovoljan kapacitet da propusti merodavan protok, a dodatni uslovi koji se postavljaju odnose se na brzine toka (v_{min} i v_{max}) i ispunjenost proticajnog profila. Prethodni uslovi i ograničenja bi se mogli nazvati hidrauličkim.

Druga grupa ograničenja su geometrijska i odnose se na zahtevanu minimalnu i maksimalnu dubinu ukopavanja, visinski položaj izliva, ograničenja koja se odnose na

ukrštanje sa postojećom infrastrukturom (saobraćajnom infrastrukturom, vodotocima i kanalima, kanizacionim i vodovodnim cevima).

Osim navedenih, postoje i ograničenja iz projektantske prakse. Na primer kod zatvorenih sistema se zahteva da prečnik nizvodnog kolektora mora biti jednak ili veći od najvećeg uzvodnog prečnika.

8.3.4.1 Sistem zatvorenih kolektora

Za odvođenje vode sa puteva često se koriste zatvoreni kanali - kolektori, gde se celi proticajni profil nalazi u zatvorenoj konstrukciji koja je potpuno ukopana u zemlju. Kolektori se obavezno primjenjuju u mreži unutar urbanog područja.

Najčešće primenjivani oblik kolektora je kružnog poprečnog preseka, a mogu se koristiti i jajasti ili drugi oblici poprečnog preseka. U nastavku će se pažnja posvetiti kružnom poprečnom preseku kolektoru.

Voda teče kroz zatvorene kolektore gravitaciono, a tečenje u opsegu projektovanih protoka treba da bude sa slobodnom površinom. Sistemi za odvodnjavanje se gotovo uvek projektuju i grade kao granate mreže a smer tečenja vode u kolektorima je unapred određen konfiguracijom mreže i nagibima.

Ako se pretpostavi da je tečenje u kolektorima ustaljeno i jednoliko onda se tečenje opisuje Šezi-Maningovom jednačinom, koja za kružni poprečni presek ispunjen do vrha (tečenje u punom profilu) i za slučaj da je nagib dna kolektora jednak nagibu linije energije ima oblik:

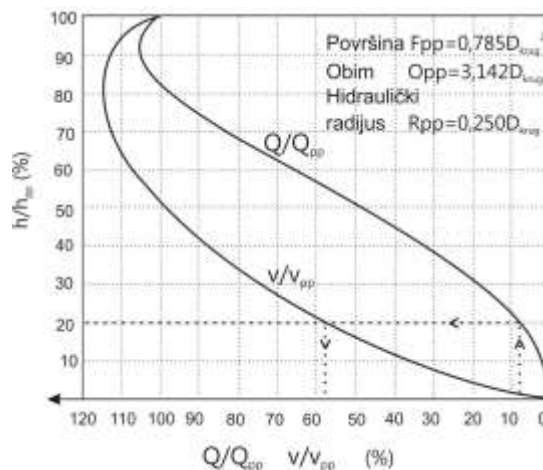
$$Q = \frac{0.312}{n} D^{8/3} \sqrt{S}$$

gde su: Q – merodavan protok (m^3/s), n – Manning-ov koeficijent hrapavosti ($m^{-1/3}s$), D – unutrašnji prečnik kolektora (m) i S – podužni nagib kolektora (m/m).

Manning-ov koeficijent hrapavosti se usvaja zavisno od izabranog materijala kolektora. U praktičnim proračunima računa se sa Maningovim koeficijentima u opsegu od 0.011 do 0.013 $m^{-1/3}s$, što odgovara apsolutnim hrapavostima zidova cevi-kanala u opsegu 0,55 do 1,5 mm. Vrednost koeficijenta 0,013 $m^{-1/3}s$ (odnosno hrapavost od 1,5 mm) se standardno koristi u

proračunima Minimalna apsolutna hrapavost koja se može koristiti u proračunima iznosi 0.4 mm i koristi se samo za nove kolektore manjeg prečnika od plastičnih materijala.

U narednoj tabeli se daje proticaj i brzina u punom profilu kolektora kružnog poprečnog preseka u zavisnosti od nagiba, uz pretpostavku ustaljenog i jednoliko tečenja. Najčešće kolektori nisu ispunjeni do vrha. Zbog toga je potrebno računati brzinu strujanja i proticaje u delimično ispunjenim profilima, u zavisnosti od punjenja. Označimo sa v i Q brzinu i proticaj u kolektoru pri delimičnom punjenju h , a sa Q_{pp} , v_{pp} i h_{pp} vrednosti koje odgovaraju kolektoru ispunjenom do vrha ($h_{pp}=D$). Zavisnost Q/Q_{pp} i v/v_{pp} od h/h_{pp} za kružni profil kanala data je na sledećem dijagramu.



Slika 8.3.3: Dijagram Q/Q_{pp} , h/h_{pp} i v/v_{pp} za kružni profil

Tabela 8.3.3. Proticaji i brzine u punom profilu kružnih kanala na različite nagibe (Manningov koeficijent od $0.013 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$, odnosno odgovara apsolutna hrapavost zidova cevi od 1.5 mm)

S	Prečnik cevi u cm													
	30		40		50		60		70		80		100	
	Q_{pp}	v_{pp}	Q_{pp}	v_{pp}	Q_{pp}	v_{pp}	Q_{pp}	v_{pp}	Q_{pp}	v_{pp}	Q_{pp}	v_{pp}	Q_{pp}	v_{pp}
(%)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(l/s)	(m/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)
0.5									204	0.53	290	0.58	523	0.67
1					119	0.61	193	0.68	289	0.75	412	0.82	741	0.94
1.5			80.8	0.64	146	0.74	236	0.84	355	0.92	505	1.0	909	1.16
2	43.5	0.62	93.5	0.74	169	0.86	273	0.97	410	1.07	584	1.16	1050	1.34
5	69.1	0.98	148	1.18	268	1.36	433	1.53	650	1.69	925	1.84	1664	2.12
10	98	1.39	210	1.67	378	1.93	613	2.17	921	2.39	1309	2.6	2355	3.0
12	107	1.52	230	1.83	415	2.11	672	2.38	1009	2.62	1435	2.85	2581	3.29
14	116	1.64	249	1.98	449	2.28	728	2.57	1090	2.83	1550	3.08	2788	3.55
16	124	1.75	266	2.12	480	2.44	776	2.75	1166	3.03	1657	3.3	2981	3.8
18	132	1.86	282	2.24	509	2.59	824	2.91	1237	3.21	1758	3.5	3162	4.03
20	139	1.96	297	2.37	537	2.73	868	3.07	1304	3.39	1853	3.69	3333	4.24
25	155	2.2	333	2.65	600	3.06	971	3.43	1458	3.79	2072	4.12	3727	4.75
30	170	2.41	364	2.9	657	3.35	1064	3.76	1597	4.15	2270	4.52	4084	5.2
40	196	2.78	421	3.35	759	3.87	1229	4.35	1845	4.79	2622	5.22		
50	220	3.11	471	3.75	849	4.32	1374	4.86						
60	237	3.35	510	4.06	924	4.71	1504	5.32						
70	256	3.62	551	4.38	999	5.09								
80	274	3.87	589	4.69										
100	306	4.33	658	5.24										

Pretpostavka o ustaljenom i jednolikom tečenju u stvarnosti nije ispunjena. Proračuni neustaljenog i nejednolikog tečenja u mreži mogu se vršiti primenom hidrauličko-hidroloških modela koji se zasnivaju na punim dinamičkim jednačinama tečenja. Ovi modeli se koriste onda kada je od posebnog interesa adekvatan proračun i analiza tečenja u cevima, uključujući tečenje pod pritiskom, pojave uspora pri visokim vodostajima na

mestima izliva kao i pojave izlivanja na teren usled nedovoljne propusne moći nizvodnih deonica.

8.3.4.1.1 Minimalne dimenzije kolektora

Minimalne dimenzije se propisuju zbog potrebe za inspekcijom, čišćenjem i održavanjem kolektora. Uobičajeno se propisuje minimalni prečnik (kružni profil) od

300, dok priključci slivnika na kanale mogu biti i manjih prečnika.

8.3.4.1.2 Maksimalni i minimalni nagibi kolektora

Najmanji i najveći dopušteni nagib dna kolektora propisuje kako bi se obezbedilo da su brzine strujanja u rasponu između minimalnih i maksimalno dopuštenih.

Minimalni nagibi se propisuju kako bi se obezbedila potrebna minimalna transportna sposobnost toka u cilju samoispiranja i sprečavanje istaložavanja materija u kolektorima.

Maksimalne brzine toka (odnosno maksimalni nagibi kolektora) se propisuju kako bi se sprečilo habanje i oštećenja objekata usled prevelikih brzina toka.

Postoji nekoliko načina određivanja minimalnih i maksimalnih nagiba kolektora, a najčešće se primenjuje metod ograničavanja brzine toka u punom profilu.

Najmanja brzina strujanja vode treba da bude 0.4 m/s pri dubini punjenja kanala od 2 do 3cm, ili 0.8 m/s kad je kanal pun do vrha (u izuzetnim prilikama mogu se dopustiti i nešto manje brzine, ali veće od 0.6 m/s). Smatra se da su ove brzine dovoljne da se čvrste čestice održe u suspenziji.

Najveća brzina se ograničava na 3 m/s u punom profilu, ako je kanal skoro uvek pun do vrha ili je dubina punjenja uvek velika. Smatra se da ako voda stalno teče kroz kolektor ovom brzinom neće nastupiti štetno habanje. Ako se velika brzina samo povremeno ostvaruje (najčešće je slučaj da se kolektor puni do vrha samo povremeno), najveća brzina može biti i veća - do 5 najviše 6 m/s.

Najmanjoj dopuštenoj brzini v_{min} odgovara najmanji dopušteni nagib dna kanala S_{min} . Slično, najvećoj dopuštenoj brzini v_{max} odgovara maksimalni dopušteni nagib dna kanala S_{max} . Iz Darsi-Vajsbahove formule, nagib linije energije S je:

$$S(\text{‰}) = 0,02 \left(k_b + \frac{60v}{v} \right)^{0,25} \cdot \frac{1}{R^{1,25}} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{A}{R^{1,25}}$$

Gde je k_b apolutna hrapavost zidova kolektora, v je kinematski koeficijent viskoznosti vode (m^2/s), g gravitaciono ubrzanje a R hidraulički radijus (koji je za pun kružni profil jednak $D/4$).

Sve veličine u gornjoj formuli se izražavaju u osnovnim jedinicama (m i s). Pretpostavlja se jednoliko i ustaljeno tečenje u kolektorima. Primenom prethodne jednačine, a za granične vrednosti brzina tečenja, dobijaju se granične vrednosti nagiba dna kolektora.

U narednoj tabeli su prikazane vrednosti koeficijenta A ($m^{1,25}$), kao i granične vrednosti nagiba kružnih kolektora, za minimalne i maksimalne dopuštene brzine tečenja. Usvojena je apsolutna hrapavosti cevi od 1.5mm i kinematski koeficijent viskoznosti vode $\nu = 1.31 \times 10^{-6} m^2/s$.

Tabela 8.3.4. Minimalni i maksimalni nagibi kružnih kolektora za različite usvojene minimalne i maksimalne brzine u punom profilu

	V_{min}		V_{max}	
	0.6 m/s	0.8 m/s	3 m/s	5 m/s
A ($m^{1,25}$)	0.0750	0.133	1.844	5.11
D (cm)	I_{min} (‰)	I_{min} (‰)	I_{max} (‰)	I_{max} (‰)
30	1.91	3.38	47.0	130.3
40	1.33	2.36	32.8	90.9
50	1.01	1.78	24.8	68.8
60	0.80	1.42	19.8	54.8
70	0.66	1.17	16.3	45.2
80	0.56	0.99	13.8	38.2
100	0.42	0.75	10.4	28.9

8.3.4.1.3 Punjenje cevi – kolektora pri merodavnom protoku

Dozvoljava se da pri merodavnom proticaju kolektor bude potpuno ispunjen vodom.

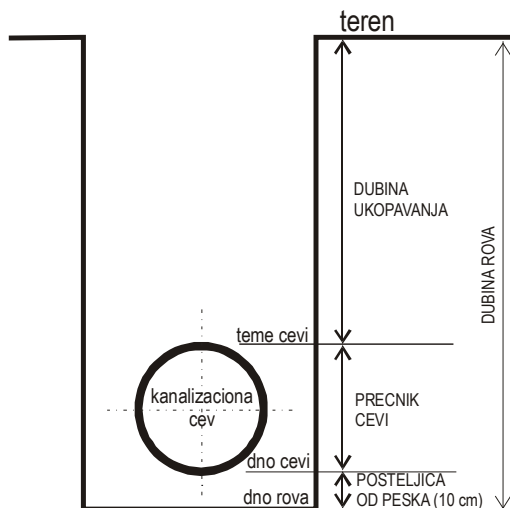
8.3.4.1.4 Minimalne i maksimalne dubine ukopavanja kolektora

Minimalna dubina ukopavanja (naredna slika) propisuje se tako da budu zadovoljeni svi ovi uslovi:

- Zaštita od smrzavanja – minimalna dubina 0.8 m do temena cevi u našim klimatskim uslovima.
- Zaštita od oštećenja usled saobraćajnog opterećenja: dubina ukopavanja cevi 1.0–1.5 m (potrebno je sračunati temeno opterećenje cevi usled saobraćajnog opterećenja u cilju izbora dubine ukopavanja i obodne krutosti cevi).

- Mogućnosti gravitacionog priključenja slivnika, uzvodnih kolektora i propusta.

Maksimalna dubina rova se ograničava zbog uslova iskopa i ona zavisi od karakteristika tla, visine podzemnih voda i tehnologije izgradnje. Uobičajeno se ona ograničava na oko 7 m (4-5 m u slučaju visokog nivoa podzemnih voda). Ako je iz nekih razloga potrebno da dubine rova budu veće, onda se ove deonice kolektora grade nekom od metoda tunnelske gradnje.



Slika 8.3.4: Shematski presek rova u koji se ugrađuje kolektor

8.3.4.1.5 Raspodela ukupnog pada na pojedine deonice - kanale

Prilikom dimenzionisanja kolektora usvajaju se dimenzije (prečnik) i nagibi kanala tako da budu zadovoljeni projektni uslovi navedeni gore pri merodavnim proticajima.

Za izvođenje kolektora najzgodnije je da nagib dna odgovara nagibu trase puta. Tada je dubina ukopavanja uvek ista i može odgovorati minimalnoj dubini ukopavanja čime se smanjuje iskop rova i samim tim cena izgradnje. Ovo je moguće postići ako je nagib trase veći od minimalnog dopuštenog nagiba kanala, a manji od maksimalnog dopuštenog nagiba kanala.

U slučaju kada je nagib terena manji od minimalnog dopuštenog nagiba kanala, kanal se postavlja sa minimalnim nagibom i u nizvodnom smeru se postepeno se sve više ukopava, što ima direktne posledice na broj mesta na kojima je potrebno predvideti izlive.

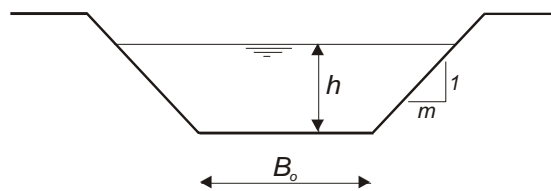
U slučajevima kada je nagib terena veći od maksimalno dozvoljenih kanal se postavlja sa

maksimalnim dopuštenim nagibom a višak pada se savlađuje kaskadama.

8.3.4.2 Sistem otvorenih kanala

Otvoreni kanali se postavljaju uz put i/ili unutar razdelnog pojasa kod autoputeva.

Elementi za projektovanje otvorenog kanala se odnose na usvojenu geometriju poprečnog preseka i pad. Kanali za odvodnjavanje su najčešće trapeznog poprečnog preseka, čija je geometrija definisana širinom u dnu (B_0) i usvojenim nagibom kosina (m). Početna širina kanala se najčešće usvaja da bude 30 do 50 cm, a nagib kosina je uslovljen karakteristikama zemljišta i usvaja se u opsegu od $m=1$ do 3. Za nagibe kosina preko 3, obično nije potrebna provera stabilnosti kosine.



Slika 8.3.5: Trapezni kanal

Dubina trapeznog kanala je, pored geometrijskih ograničenja koja zavise od trase puta i topografije terena, uslovljena i ograničenjem da kanal mora biti postavljen dovoljno nisko, da je u njega moguće slobodno izlivanje vode koja se prikuplja drenažnim sistemom koji se nalazi u kolovoznoj konstrukciji.

Propusna sposobnost kanala računa se primenom Chezy-Manning-ove jednačine uz pretpostavku o uniformnom tečenju:

$$Q = \frac{1}{n} h^{8/3} F(h) \sqrt{S}$$

$$F(h) = \frac{(B_0 / h + m)^{5/3}}{(B_0 / h + 2\sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$

gde je h dubina vode u kanalu pri kojoj se ostvaruje protok Q .

Uobičajeno je da se prilikom projektovanja kanala usvoji nagib (S), koji najčešće odgovara nagibu trase kolovoza (S_p), pa se iz prethodne jednačine iterativno računa dubina (h) kao jedina nepoznata:

Od merodavne dubine do vrha kanala ostavlja se nadvišenje od 15cm.

8.3.4.2.1 Provera erozije stabilnosti kanala

Nakon proračuna dubine, potrebna je provera erozije stabilnosti kanala. Tangencijalni napon po okvašenom obimu kanala se računa za uniformno tečenje, na osnovu uslova ravnoteže gravitacione sile i sile trenja:

$$\tau = \rho g R S$$

gde je R hidraulički radijus trapeznog kanala:

$$R = h \frac{B_0 / h + m}{B_0 / h + 2\sqrt{1 + m^2}}$$

Potrebno je obezbediti da sračunati tangencijalni napon bude manji od preporučenih vrednosti (τ_d) koje su prikazane u tabeli. Ako ovaj uslov nije ispunjen, menjaju se projektovani elementi kanala, što se najčešće svodi na promenu nagiba kanala ili obloge.

Tabela 8.3.5. Dozvoljeni naponi za neobložene i obložene kanale

Kategorija	Opis	N/m ²
Koheziono zemljište (indeks plastičnosti PI=10) (Preuzeto od USDA)	Peskovita glina	1.8-4.5
	Neorganska prašina	1.1-4.0
	Prašinast pesak	1.1-3.4
Koheziono zemljište (indeks plastičnosti PI≥20) (Preuzeto od USDA)	Peskovita glina	4.5
	Neorganska prašina	4.0
	Prašinast pesak	3.5
	Neorganska glina	6.6
Nevezana zemljišta ² (indeks plastičnosti PI<10) (Preuzeto od USDA)	Sitnozrni pesak D ₇₅ <1.3 mm	1.0
	Sitan šljunak D ₇₅ =7.5 mm	5.6
	Šljunak D ₇₅ =15 mm	11
Šljunak	Krupan šljunak D ₅₀ =25 mm	19
	Veoma krupan šljunak D ₅₀ =50 mm	38
Kameni nabačaj	D ₅₀ =0.15 m	113
	D ₅₀ =0.30 m	227

Proračun erozije stabilnosti se može formulisati i preko maksimalne brzine (V_{max}), kada se iz jednačine za tangencijalni napon

izrazi nagib kanala (S) i zameni u Chezy-Manning-ovu jednačinu:

$$V_{max} = \frac{1}{n} R^{1/6} \frac{\sqrt{\tau_d}}{\sqrt{\rho g}}$$

8.3.4.3 Objekti na sistemu za odvodjenje vode

8.3.4.3.1 Cevni materijali

Dimenzije i druge karakteristike fabrički izrađenih cevi (kanala) su definisane u brojnim standardima (ISO, EN, DIN, BS, JUS/SRPS, i dr.) i preporukama. Takođe, svaki proizvođač kanalizacionih cevi raspolaže prospektima proizvodnog asortimana gde se mogu naći potrebni podaci o proizvedenim tipovima cevi.

Betonski kanali

Betonski kanali se primenjuju kod kanalizacije sa tečenjem sa slobodnom površinom. Ova vrsta kanala se može izgraditi od fabrički izrađenih cevi ili kanala građenih na licu mesta. Kanali građeni na licu mesta uglavnom se koriste kod izgradnje većih profila nestandardnih dimenzija i oblika koji se ne proizvode fabrički.

Fabrički se standardno izrađuju cevi kružnog ili jajastog poprečnog preseka prečnika do 1200 mm. U slučaju armiranobetonskih kanala, moguća je i proizvodnja cevi većih prečnika, do 2000 mm. Dužina prefabrikovane cevi je najčešće 1 m (ređe se sreću dužine 2 m). Spojevi cevi se ostvaruju preko naglavka sa zaptivnom trakom.

Ako se u oticaju mogu pojaviti materije koje pokazuju agresivnost na beton u tim slučajevima potrebno izvršiti zaštitu unutrašnjih površina betonskih kanala antikoroziivnim sredstvom (npr. bitumenom, kiselootpornom keramikom, i dr.).

Nepovoljnost betonskih cevi se ogleda u relativno velikom broju spojeva i njihovoj nedovoljnoj sigurnosti na vodonepropusnost. Ovu vrstu kanala karakteriše i relativno velika hrapavost, što smanjuje njihovu popusnu moć.

Plastične cevi

Plastične cevi su danas najviše u upotrebi zbog relativno niske cene, jednostavnog rukovanja i ugradnje, otpornosti na hemijske uticaje i prihvatljivih mehaničkih osobina.

Najčešće se primenjuju cevi od sledećih materijala:

- PVC (polivinilhlorid) – cevi se standardno proizvode u prečnicima do 500 mm. Dužina komada je od 1 do 6 m, a spajanje cevi vrši se na naglavak sa zaptivnim prstenom od profilisane gume.
- HDPE (polietilen visoke gustine) – cevi se izrađuju kao glatke cevi ili rebraste (korugovane) cevi, pri čemu se prve koriste za manje prečnike (do oko 600 mm), a druge se koriste za izradu kanala većih prečnika. Dužina komada je 6 i 12 m, a spajanje cevi se vrši termičkim zavarivanjem.
- PP (polipropilen) je visokokvalitetna plastika i ove cevi se koriste kada je potrebno obezbediti veću trajnost ili otpornost na mehaničke uticaje. Spajanje cevi se vrši preko naglavka ili posebnih spojnice.
- Poliester – koriste se najčešće za kanale većih prečnika.

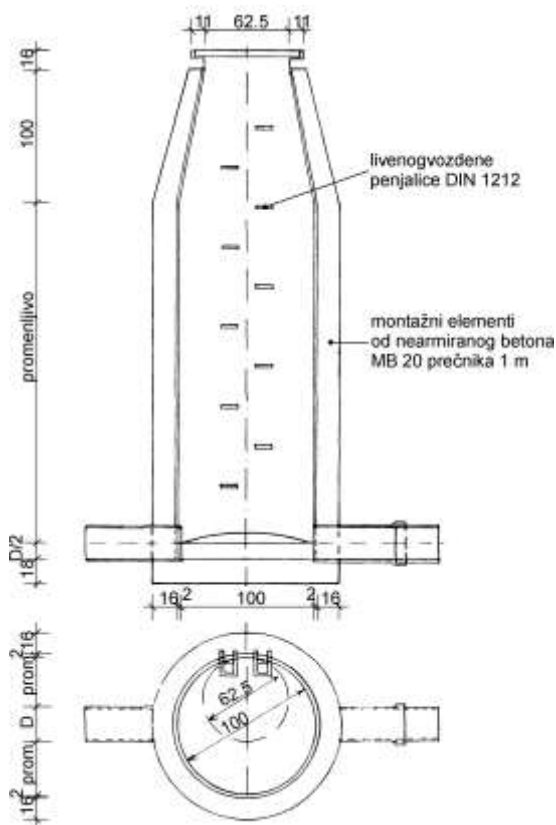
Čelične cevi

Ove vrsta cevi se retko primjenjuju, a njihova primena je neophodna u nekim specijalnim slučajevima, npr. kod veoma strmih terena gde bi primena cevi od drugih materijala zahtevala veliki broj kaskada, kod deonica u kojima se očekuju velika dinamička opterećenja, kod podvodnih kolektora, sifona, potisnih cevovoda crpnih stanica i dr. Čelične cevi se spajaju zavarivanjem, a antikorozionoj zaštiti se mora posvetiti velika pažnja kako bi se obezbedila dugovečnost cevi.

8.3.4.3.2 Revizioni silazi (okna)

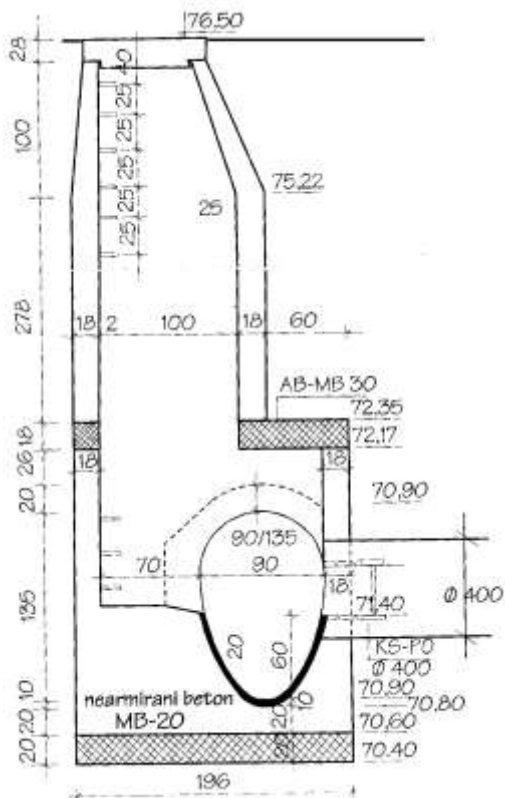
Zatvoreni sistem za odvođenje vode izvodi se kao mreža pravolinijskih deonica (kolektora). Na spoju dve pravolinijske deonice postavljaju se revizionna silazi (okna, šahtovi). Revizionna okna se postavljaju na početku deonice, na spoju deonica, na mestima promene nagiba, pravca ili prečnika cevi, a na pravolinijskim deonicama na rastojanjima do dužine od 160 prečnika kanala. Kod odvodnjavanje puteva se često projektuju kratke slivničke veze, pa rastojanje između šahtova odgovara rastojanju između slivnika. Maksimalni razmak između revizionnih okana se takođe može zadati i u odnosu na zahteve opreme za čišćenje i održavanje sistema. Osnovna uloga revizionnih silaza je da obezbede pristup kanalima zbog održavanja i popravki.

Tipski revizioni silaz od betonskih prstenova unutrašnjeg prečnika 1 m za kružne kanale-cevi prečnika do 500 mm je prikazan na narednoj slici. Na vrhu revizioni silaz se završava koničnim betonskim komadom koji sužava prečnik silaza na 62.5cm, i na njegovom vrhu se postavlja odgovarajući gvozdeni okvir sa poklopcem (laki poklopac ako je otvor postavljen u površini travnjaka ili trotoara, a teški poklopac ako je otvor postavljen u saobraćajnici). U unutrašnjosti silaza se montiraju gvozdene penjalice za pristup radnika na održavaju. Dno silaza se oblikuje mršavim betonom u obliku kinete kako bi se usmerilo tečenje otpadne vode. U novije vreme se primenjuju i prefabrikovani silazi od plastičnih materijala (polipropilen, polietilen).

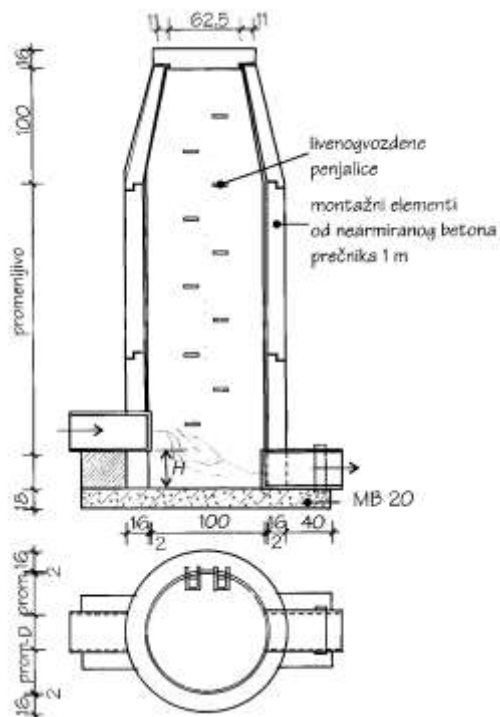


Slika 8.3.6: Tipski kružni revizioni silaz za kružne kolektore prečnika do 500mm

Kod cevi prečnika većeg od 600 mm primenjuju se revizioni silazi kvadratnog preseka u osnovi ili se prave posebne konstrukcije, kao što je prikazano na narednoj slici. Pristup u silaz, kao i u prethodnom slučaju ostvaruje se kroz otvor na vrhu i preko ugrađenih penjalica.



Slika 8.3.7: Vertikalni presek revizionog sliaza za kolektore većih prečnika



Slika 8.3.8: Vertikalni presek i osnova obične kaskada u revizionom oknu, primenjiva za denivelacije $H < 40$ cm

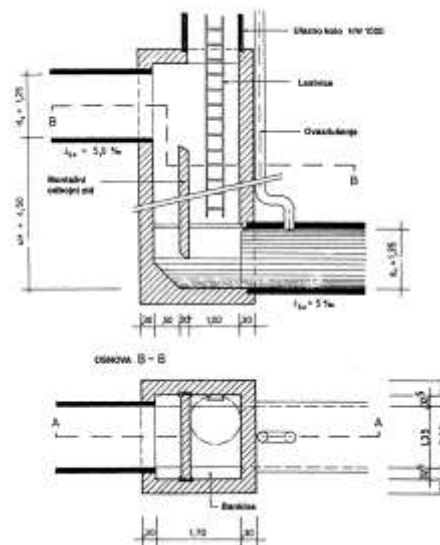
8.3.4.3.3 Kaskade

Kaskade služe za savlađivanje denivelacije. Oslobođena kinetička energija se pretvara u potencijalnu, zvučnu i toplotnu energiju. Pretvaranje energije treba da bude kontrolisano i sa što je moguće manje buke. Zavisno od visinske razlike ΔH koju treba savladati i prečnika kolektora D_u , primenjuju se sledeći tipovi kaskada:

1. Obična kaskada
 $\Delta H \leq 0,4$ m ; $D_u \leq 400$ mm
2. Kaskada sa vertikalnom cevi
 $\Delta H < \sim 3$ m ; $D_u \leq 400$ mm
3. Kaskada sa odbojnim zidom
 1 m $< \Delta H < 10$ m ; $D_u > 400$ mm
4. Vrtložna kaskada
 $\Delta H > 10$ m
5. Vertikalno okno sa pregradama
 $\Delta H > 10$ m
6. Kaskada kao preliv praktičnog profila
 1 m $< \Delta H < 10$ m

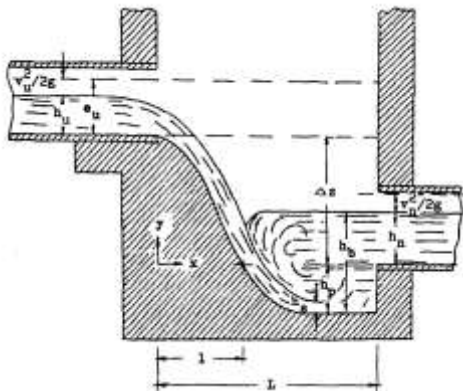
Obična kaskada se izvodi u standardnom revizionom oknu i prikazana je na narednoj slici.

U većim kaskadama ($D_u \geq 400$ mm) treba u oknu da se postavi odbojni zid, kao što je prikazano na narednoj slici. On ima zadatak da male količine pomešane vode (u opštem sistemu) i njome dovedene čvrste materije odvede najkraćim putem do donjeg nivoa kaskade. Takođe, odbojni zid omogućava i kontrolisanu disipaciju kinetičke energije.



Slika 8.3.9: Primer konstrukcije kaskade sa odbojnim zidom

Kaskada kao preliv praktičnog profila primenjuje se kad se u podužnom pravcu raspolaže sa više prostora pa se kaskada oblikuje kao preliv praktičnog profila. Oblik je prilagođen kretanju kosog hica, tako da ispod mlaza nema ni pritiska ni vakuuma pri merodavnom protoku. Uzvodni kanal treba na ulazu u kaskadu da ima pravougaoni presek, sa prelaznom deonicom uzvodno. Kaskada može biti sa bučnicom, a bez bučnice ako je hidraulički skok potopljen nivoom vode u nizvodnom kanalu.



Slika 8.3.10: Presek kroz kaskadu sa prelivom praktičnog profila i bučnicom

Za savlađivanje veoma velikih denivelacija ($H > 10\text{m}$) mogu se koristiti vrtložne kaskade ili vertikalna okna sa pregradama.

8.3.4.3.4 Retenzije

Retenzije za kišne vode treba predvideti kada zbog lokalnih specifičnosti (nedovoljna propusna moć nizvodnih propusta i tokova), ili zahteva nadležnih organa treba obezbediti ujednačenje protoka otekle vode (smanjenje maksimalnog protoka) i/ili poboljšanje kvaliteta vode. Izvode se najčešće u vidu otvorenih bazena a mesta za retenziranje vode treba identifikovati na početku procesa projektovanja, kako bi se na vreme obezbedilo potrebno zemljište za njihovu izgradnju.

Merodavne kiše za dimenzionisanje retenzija treba dobiti odgovarajućim hidrološkim analizama baziranim na proračunu transformacije poplavnog talase u retenziji, i uobičajeno se dimenzionišu za kiše dugog trajanja (najčešće 24 h, ponekad i duže). Za detalje proračuna videti svesku 2.2-Hidrološke analize. Nakon prestanka kiše potrebno je obezbediti postepeno i kontrolisano pražnjenje retenzije u prirodne vodoprijemnike uz poštovanje nizvodnih ograničenja.

Retenzioni bazeni se najčešće obrazuju kao bazeni u zemlji koji imaju odgovarajući protiverozionu zaštitu, uređuje za punjenje i pražnjenje retenzije sa uređajima da disipaciju energije dolaznog toka vode, uronjenu pregladu na izlazu za zadržavanje plivajućih materija (po potrebi), zaštitni pojas oko retenzije sa ogradom po potrebi, sigurnosni preliv sa odvodom za sprečavanje plavljenja okolnog zemljišta, i dr.

Oblik i način izrade retenzije treba prilagoditi lokalnim uslovima, s tim što ne treba dozvoliti nekontrolisano pražnjenje retenzije kroz procurivanje kroz dno u podzemlje, niti plavljenje okolnog zemljišta pri merodavnim kišama. Nagibi strana ne bi trebalo da su strmiji od 3:1, a maksimalna dubina retenzije ne bi trebalo da prelazi 8 m.

Naročitu pažnju treba posvetiti kontroli erozije i lakoći pristupa i uklanjanja mulja i otpadaka koji se zadržavaju u retenziji.

8.3.4.3.5 Prečišćavanje vode

Zagađivanje vode koja otiče sa kolovoza i okolnog zemljišta su prisutna, ali postoje velike oscilacije u registrovanim količinama i vremenskim rasporedom emisije zagađenja iz ovih izvora. Dosadašnja istraživanja ukazuju na prisustvo sledećih zagađenja u kišnom oticaju sa saobraćajnicama:

- organska zagađenja, iskazana kao petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika (BPK_5), prisutna su u niskim koncentracijama kod oticaja sa saobraćajnicama, ali njihova koncentracija može biti povišena ukoliko je površinski oticaj sa zelenih površina;
- suspendovane materije se smatraju najviše izraženim zagađenjem u kišnom oticaju jer mogu biti prisutne u značajnim koncentracijama;
- teški metali, kao što su bakar, olovo, kadmijum, nikl, hrom i cink su prisutni u kišnom oticaju sa saobraćajnicama u širokom opsegu koncentracija, njihova koncentracija pokazuje dobru korelaciju sa koncentracijom suspendovanih materija, a prvenstveno zavisi intenziteta saobraćaja;
- ulja i masti su povremeno prisutna u kišnom oticaju sa saobraćajnicama i njihovo prisustvo je pokazatelj akcidentnih zagađenja (curenje ulja i goriva iz motornih vozila, akcidentna izlivanja i sl.);

Ispitivanja su ukazala takođe i da koncentracija zagađenja u kišnom oticaju sa saobraćajnicama je često najveća na početku kiše (prvo spiranje – *first flush*). Kako dobar

deo zagađenja koje kišni oticaj spira sa terena potiče od čestica prisutnih u vazduhu koje se talože po površini terena, kvalitet kišnog oticaja može zavistiti i od vremenskog perioda između dve kišne epizode, ili ukupnog vremena bez kiše tokom razmatranog perioda.

Zahtevani kvalitet vode koje se ispušta sa kolovoza u vodoprijemnike zavisi od lokalnih uslova i vodoprijemnika. Ako se ispuštanje predviđa u javnu kanalizaciju potrebno je pribaviti uslove za ispuštanje od nadležnog Javnog komunalnog preduzeća koje upravlja javnom kanalizacijom. U svakom slučaju ispuštanja potrebno je pribaviti Vodne uslove od nadležnog vodoprivrednog organa (nadležno Ministarstvo odnosno Republička direkcija za vode, na teritoriji autonomne pokrajine nadležni organ autonomne pokrajine, na teritoriji grada Beograda nadležni organ Grada, ili nadležni organ jedinice lokalne samouprave). U skladu sa zahtevima u vodnim uslovima može se zahtevati uklanjanje suspendovanih ili nekih drugih materija iz vode, a u nekim slučajevima se ne mora zahtevati prečišćavanje.

Količina, odnosno zapremina, početnog površinskog oticaja koga treba prečistiti u praksi varira, a najčešće se primenjuje kriterijumi tretmana oticaj od početnih 13, najviše 25 mm kiše koje padnu na nepropusne površine. Takođe, novija istraživanja pokazuju da zahvatanje i prečišćavanje manjih kiša koje se češće javljaju može dati dobre ukupne efekte, uz niže investicije (npr. kiše koje se javljaju nekoliko puta godišnje). Kako se sistem za odvodnjavanje puta dimenzioniše obično na kiše većeg povratnog perioda, odnosno veće proticaje, potrebno sa uzvodne strane uređaja za prečišćavanje predvideti rasteretni preliv sa obilaznim vodom kao zaštitu uređaja za prečišćavanje od plavljanja. Alternativno, sa uzvodne strane se može predvideti retenzije i to u slučajevima gde se striktno zahteva visok stepen zaštite voda od zagađenja i tretman praktično celokupnog kišnog oticaja sa puta.

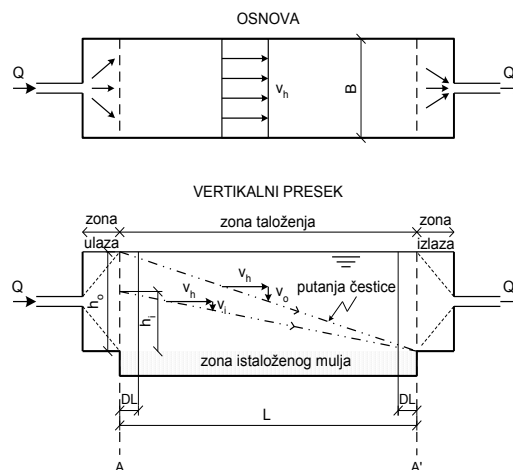
S obzirom na uobičajeni sastav kišnog oticaja sa sobračajnica, najčešće se primenjuju sledeći uređaji, samostalno ili u kombinaciji, ponekad zajedno sa retenzionim bazenima:

- taložnice za uklanjanje suspendovanih materija (a zajedno sa njima i većeg dela teških metala i drugih zagađenja)

- separatori ulja za uklanjanje nerastvorenih materija lakših od vode (različiti laki ugljovodnonici – masti i ulja)

Pored nevedenih uređaja za tretman kišnog oticaja, mogu se u pojedinim slučajevima primeniti i uređaji za prijem i tretman akcidentnih zagađenja (npr. prihvatni bazeni za izliveno zagađenje i sl.) koji se projektuju i izvode na osnovu zahteva nadležnih organa.

Za procenu efikasnosti taložnica koje se koriste za tretman kišnih voda koristi se teorija idealnog taloženja diskretnih čestica. Pod dejstvom gravitacije bilo koja čestica koja ima gustinu veću od 1000 kg/m^3 tonuće u mirnoj vodi ubrzano, sve dokle se otpor tonjenja ne izjednači sa efektivnom težinom delića.



Slika 7.3.11: Idealna pravougaona taložnica sa horizontalnim tokom

Usvajajući da se sve čestice talože diskretno (nezavisno jedna od druge) i da su one koje su stigle do dna uklonjene, brzina toka v_h , visina h_o i dužina taložnice L određuju brzinu tonjenja (taloženja) v_o čestice koje će biti u potpunosti uklonjene taloženjem, čak i ako su na ulazu u taložnicu bile na površini vode, (trajektorija v na prethodnoj slici). Brzina v_o je kritična brzina tonjenja, odnosno:

$$v_o = \frac{Q}{A}$$

gde je $A = BL$ površina vodenog ogledala (dna) taložnice.

Veličina Q/A poznata je kao površinsko opterećenje ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ili m/h), i ne zavisi od dubine taložnice. Ona određuje najmanju brzinu tonjenja v_o (kritična brzina tonjenja). Sve čestice čije brzine tonjenja su veće ili jednake v_o istaložiće se u taložnici.

Čestice sa brzinom tonjenja v_i manjom od kritične brzine v_o neće biti u potpunosti uklonjene taloženjem. U narednoj tabeli daju se orijentacione vrednosti brzine taloženja loptastih diskretnih čestica prečnika d gustine ρ_s u vodi temperature 10°C . Ove brzine mogu poslužiti kao orijentacione, dok se stvarne brzine taloženja mogu dobiti merenjima (ogled statičkog taloženja).

Tabela 8.3.6. Orijetacione brzine taloženja sfernih diskretnih čestica u mirnoj vodi na 10°C

d (mm)	ρ_s (10^3 kg/m^3)	v (m/s)	v (m/h)
10	2.65	0.734	2642.4
5	2.65	0.519	1868.4
1	2.65	0.175	630.0
0.5	2.65	0.091	327.6
0.1	2.65	0.009	32.4
0.05	2.65	0.002	7.2
0.01	2.65	8.9×10^{-5}	0.32
0.005	2.65	2.2×10^{-5}	0.079
0.001	2.65	8.99×10^{-7}	0.0032

U praksi, za uklanjanje peska iz vode koriste se taložnice sa površinskim opterećenjem, pri merodavnom protoku, od oko 20 m/h, a ako se želi uklanjanje sitnijih frakcija onda površinsko opterećenje treba da bude niže.

Prilikom projektovanja taložnice naročitu pažnju treba posvetiti lakoći pristupa i uklanjanja mulja i otpadaka koji se zadržavaju u taložnici.

Po sličnom principu kao taloženje odvija se i proces flotacije - izdvajanje na površini čestica ili kapljica (na primer ulja) lakših od vode. Ovaj princip je primenjen kod uređaja za uklanjanje ulja iz vode – separatorima ulja. Po analogiji sa teorijom diskretnog taloženja efikasnost, odnosno stepen uklanjanja kapljica je definisan površinskim opterećenjem koje je jednako kritičnoj brzini isplivavanja $v_o=Q/A$. Uobičajeno površinsko opterećenje separatora masti i ulja iznosi od 1×10^{-3} m/s do 3×10^{-6} m/s. Efikasnost uklanjanja ulja može se povećati ugradnjom materijala za koalescenciju ulja u separatoru (tzv. koalescentni filtri). Koalescencija je proces slepljivanja sitnih kapljica u veće, koje zatim brže isplivavaju na površinu. Efikasnost koalescentnih filtera mora biti dokumentovana odgovarajućim atestima.

Važno je naglasiti da se u opisnim separatorima mogu ukloniti samo slobodna ulja ili masti (ulja u obliku kapljica, odnosno

masti u obliku čestica). Ako se želi uklanjanje emulgovanih ili čak i rastvorenih ulja, potrebno je primeniti filtraciju vode kroz odgovarajuće ispune ili primeniti druge postupke tretmana.

8.3.4.3.6 Ispust vode

U zavisnosti od lokalnih uslova, sakupljene vode sa puta se mogu ispuštati u javnu kanalizaciju ili u prirodni vodoprijemnik (reka, kanal, jezero i sl.).

U slučaju da vodu treba izliti u javnu kanalizaciju, tehničku dokumentaciju treba uraditi u skladu sa prethodno pribavljenim uslovima nadležnog Javnog komunalnog preduzeća koje upravlja javnom kanalizacijom na koju će se priključiti sistem za odvodnjavanje puta. Ovi uslovi će detaljno definisati mesto priključenja, visinske kote i način na koji treba projektovati i izvesti objekat priključka na javnu kanalizaciju.

U slučaju da vodu treba izliti u prirodni vodoprijemnik (reka, kanal, jezero, i sl.) treba predvideti izlivnu građevinu čiji zadatak je da sakupljenu vodu ispusti što brže i što bolje izmeša sa vodom u vodoprijemniku. Građevina na ispustu mora da bude obezbeđena od potkopavanja i rušenja tako da je potrebno utvrditi obalu u okolini ispusta.

Ispust treba da bude tako postavljen da se onemogućuje uspor vode prilikom merodavnih visokih vodostaja u vodoprijemniku. Pojam merodavnih visokih vodostaja sa kojima treba računati je najčešće nedovoljno jasno definisan. Preporuka je da se ispust postavi na koti koja omogućava slobodno isticanje u recipient i to za slučaj pojave vodostaja povratnog perioda koji je isti kao povratni period na koji je dimenzionisan sistem za odvodnjavanje. Za slučaj pojave vodostaja u recipientu koji je većeg povratnog perioda, dozvoljava se pojava uspora, ali je potrebno hidrauličkim proračunom proveriti isticanje u tim uslovima i pokazati da sistem ima dovoljnu propusnu moć i u tim uslovima i da neće doći do zadržavanja vode na kolovozu.

Za potrebe definisanja rešenja ispusta neophodno je detaljno se upoznat sa lokalnim uslovima i pribaviti vodne uslove od nadležnog vodoprivrednog organa, gde mogu biti definisani detaljniji zahtevi koje treba ispuniti u konkretnom slučaju.

8.3.5 PODPOVRŠINSKO ODVODNJAVANJE - DRENAŽE

Podpovršinsko odvodnjavanje sa drenažama namenjeno je sprečavanju doticanja vode u trup puta i obezbeđuje odvodnjavanje i sniženje nivoa podzemne vode. Isto tako se ubrzava konsolidacija, stabilizacija i poboljšava nosivost jako stišljivog, malo propusnog i slabo nosivog koherentnog tla.

Podpovršinsko odvodnjavanje obezbeđuju drenaže i prateći objekti koji su povezani sa drenažama.

8.3.5.1 Opis

Za ovu vrstu odvodnjavanje se upotrebljavaju - plitke i duboke podužne i poprečne drenaže, i - vertikalne drenaže i drenažne bušotine.

Plitke i duboke podužne i poprečne drenaže mogu se ugraditi na

- planumu iskopa,
- nabijenoj glini,
- podložnom sloju iz cementnog betona.

Vertikalne drenaže i drenažne bušotine mogu biti

- bušene (sa ostranjivanjem jezgra) ili
- utisnute.

8.3.5.1.1 Drenažne cevi

Cevi za plitke i duboke podužne i poprečne drenaže mogu biti

- polimerne (savitljive i tvrde) ili
- iz cementnog betona.

Presek cevi za drenaže može biti kružni ili u obliku tunela. Cevi moraju biti perforirane.

Polimerne drenažne cevi za drenaže moraju odgovarati zahtevima za

- dimenzije: prečnik cevi i debljina zida,
- masu,
- raspored i površinu drenažnih otvora za vodu,
- krutost.

Kvalitet polimernih cevi i fazonskih komada za drenaže mora odgovarati zahtevima DIN 4262-1 Sistemi cevi za podzemno odvodnjavanje.

Za sve drenažne cevi i fazonske komade iz polimernih materijala, moraju se u tehničkoj dokumentaciji navesti sledeći podaci

- prečnik,

- zahtevani tip perforacije: TP (360o), LP (220o), MP (120o), UP (bez perforacije) i
- kategorija cevi u zavisnosti od zahtevane obodne krutosti: ND odnosno SD.

U tehničkoj dokumentaciji može se zahtevati i veća krutost od minimalno zahtevane u standardu (nestandardni zahtevi), ali za takve primere moraju se izraditi posebne cevi.

Za dreniranje tunela mogu se upotrebiti drenažne cevi tipa R2, C1 i C2. Tip drenažne cevi mora se odrediti u tehničkoj dokumentaciji.

8.3.5.1.2 Materijali za zasipanje

Smese kamenih zrna

Sastav smese kamenih zrna za zasipanje poprečnih, podužnih i vertikalnih drenaža, koje nisu obavljene sa geotekstiom, moraju odgovarati sledećim graničnim vrednostima:

$$12 < \frac{d_{15D}}{d_{15Z}} < 40$$

$$12 < \frac{d_{50D}}{d_{50Z}} < 52$$

gde je:

d_{15D} , d_{50D} prečnik zrna kod 15 % odnosno 50 % prosejavanja smesa kamenih zrna za zasipanje drenaže

d_{15Z} , d_{50Z} prečnik zrna kod 15 % odnosno 50 % proseavanja zemljanog materijala uz drenažu, kojem se želi sprečiti pristup u drenažu.

Ako je smesa kamenih zrna za zasipanje obavljena sa geotekstilom, onda se smesa kamenih zrna mora sastaviti tako da obezbeđuje koeficijent vdopropusnosti $k > 10^{-4}$ m/s. Uzorak za ispitivanje mora se pripremiti po modifikovanom Proctorovom postupku.

Stepen neravnomernosti granulacija $U = d_{60}/d_{10}$ mora biti veći od 8 kod neobavijenih smesa kamenih zrna. Kod obavijenih smesa U mora biti veći od 3, ako je smesa sastavljena iz više od tri frakcije, kod jednofrakcijske smese zrna (osnovna frakcija) vrednost stepena U prema dole nije ograničena.

Geotekstil

Geotekstil za obavljanje smesa kamenih zrna ili mešavina cementnog betona za dubinsko odvodnjavanje - drenaže, mora odgovarati zahtevima iz tabele 8.3.7.

Tabela 8.3.7: Minimalni zahtevi geotekstila za podpovršinsko odvodnjavanje

Osobine geotekstila	Jed. mere	Min. zahtevi	Postupak za ispitivanje
Mehaničke osobine			
- čvrstoća na zatezanje – poprečno, podužno	kN/m	> 14	EN ISO 10319
- izduženje pri lomu-kidanju	%	> 30	EN ISO 10319
- otpornost na dinamički proboj	mm	< 30	EN 918
- otpornost na proboj (CBR)	N	> 2000	EN ISO 12236
Hidrauličke osobine			
- karakteristična veličina pora	mm	0.05 $\leq O_{90} < 0.5$	EN ISO 12956
- indeks brzine toka	m/s	3×10^{-3}	EN ISO 11058
- koeficijent propusljivosti pri 20 kPa	m/s	>10 k_{zemlje}	E-DIN 60 500-4

Donja granična vrednost ne sme biti manja od zahtevane vrednosti iz tabele 8.3.7.

8.3.5.1.3 Drenažne trake

Uslovljeni minimalni zahtevi za osobine drenažnih traka moraju se uskladiti sa uslovima geotehničkog elaborata.

Izabrana drenažna traka mora biti opredeljena na osnovu sledećeg opšteg opisa:

- koncepta,
- vrste materijala i
- dimenzija.

U geotehničkom elaboratu moraju se definisati zahtevi za osobine drenažne trake navedeni u tabeli 8.3.8.

Pavilnost izbora drenažne trake za raspoloživu tehnologiju utiskivanja treba potvrditi na probnom polju. Donja granična vrednost ne sme biti manja od zahtevanih vrednosti iz tabele 8.3.8.

Tabela 8.3.8: Zahtevane osobine drenažnih traka

Osobine drenažnih traka	Jed. mere	Min. zahtevi	Postupak za ispitivanje
Mehaničke osobine jezgra			
-čvrstoća na zatezanje	N/cm	150	EN 527
-izduženje pri lomu-kidanju	%	25	
Odvodna sposobnost trake – podužno	m ³ /s	5×10^{-5}	EN ISO 12956
Mehaničke osobine ovoja - geosintetike			
- čvrstoća na zatezanje	N/cm	120	EN 29073
- izduženje pri lomu-kidanju	%	40	
Filtersko-drenažne osobine ovoja – geosintetike			
-efektivni otvor pora	μm	< 100	EN ISO 12956
- koeficijent propusnosti	m/s	1×10^{-3}	EN ISO 11058
- permitivnost	s ⁻¹	1.2	EN ISO 11058

Za drenažne trake treba upotrebiti puno ili šuplje jezgro sa rebrastim presekom iz polietilena male gustine.