

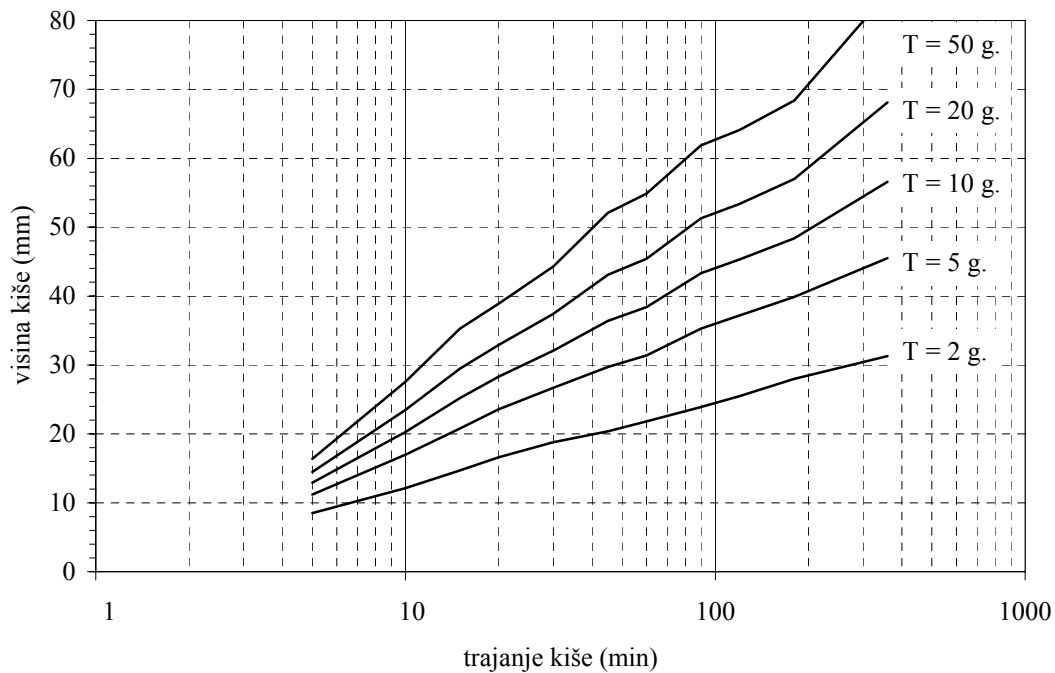
PRIMERI ZADATAKA IZ RACIONALNE METODE

ZADATAK 1

Za jedan urbani sliv površine 25.5 ha utvrđeno je da ima sledeću strukturu površina:

Vrsta površine	Procenat u ukupnoj površini sliva	Koeficijent oticaja
Zgrade i objekti	20	0.8
Ulice i drugi asfaltirani tereni	18	0.7
Propusne površine	62	0.15

1. Odrediti prosečan koeficijent oticaja za razmatrani sliv.
2. Primenom racionalne metode odrediti maksimalne proticaje i zapremine oticaja usled računskih kiša povratnog perioda 2 godine trajanja 20, 30 i 60 minuta. Zavisnost HTP za najbližu kišomernu stanicu data je na donjoj slici. Vreme koncentracije za ovaj sliv procenjeno je na 30 minuta.



Rešenje

1. Prosečan koeficijent oticaja na razmatranom slivu određuje se kao ponderisana vrednost koeficijenata oticaja sa pojedinih tipova površina u odnosu na učešće tog tipa površina u ukupnoj površini:

$$\bar{K} = \sum K_i \cdot \frac{A_i}{A} = 0.8 \cdot 0.2 + 0.7 \cdot 0.18 + 0.15 \cdot 0.62 = 0.379$$

2. U donjoj tabeli prikazane su visine i intenziteti računskih kiša povratnog perioda 2 godine trajanja 20, 30 i 60 minuta. Takođe su prikazane i maksimalne ordinate odgovarajućih hidrograma oticaja po racionalnoj metodi, koje su za $t_k \geq t_c$ jednake:

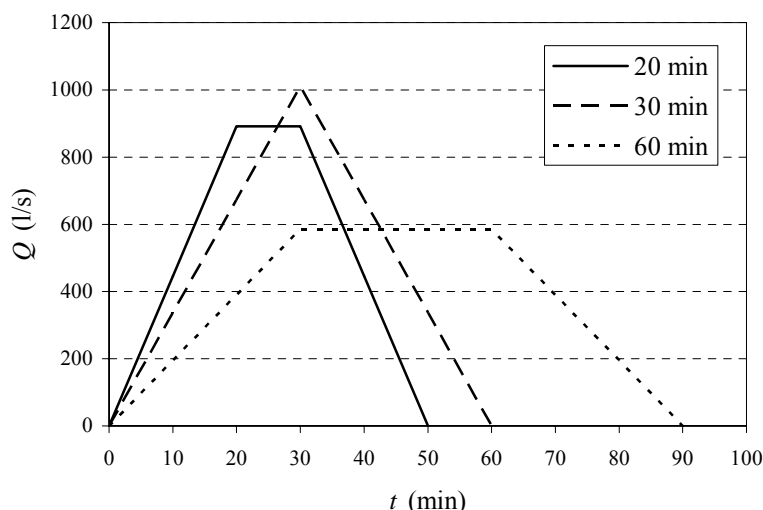
$$Q = K \cdot i \cdot A$$

dok je u slučaju $t_k < t_c$:

$$Q = K \cdot i \cdot A \cdot \frac{t_k}{t_c}$$

Zapremina otekle vode određena je kao površina ispod hidrograma oticaja. Na slici su prikazani hidrogrami oticaja usled ove tri računске kiše.

Trajanje kiše (min)	20	30	60
Visina kiše (mm)	16.6	18.8	21.8
Intenzitet kiše (mm/min)	0.83	0.627	0.363
Intenzitet kiše (l/s/ha)	138.3	104.4	60.55
Maks. protok (l/s)	891	1009	585
Zapremina oticaja (m ³)	1604	1816	2106



ZADATAK 2

Na jednom gradskom slivu površine 9 km² utvrđeno je da ima 55% nepropusnih površina sa koeficijentom oticaja 0.8 i 45% propusnih (neurbanizovanih) površina sa koeficijentom oticaja 0.4. Vreme koncentracije do izlaza iz sliva procenjeno je na 120 minuta (2 časa).

Ukupna visina 6-časovne kiše povratnog perioda 2 godine na obližnjoj kišomernoj stanici iznosi 35 mm. Obradom osmotrenih epizoda utvrđen je bezdimenzionalni oblik sumarne linije 6-časovnih kiša dat u donjoj tabeli.

t / t_k (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
P / P_{uk} (%)	0	8	17	23	28	32	38	46	58	73	100

1. Odrediti vrednosti i nacrtati sumarnu liniju 6-časovne kiše povratnog perioda 2 godine prema datom bezdimenzionalnom obliku.
2. Nacrtati hijetograme ukupnih i efektivnih padavina.
3. Primenom racionalne metode odrediti elemente složenog hidrograma oticaja od 6-časovne kiše povratnog perioda 2 godine na izlaznom profilu sliva.

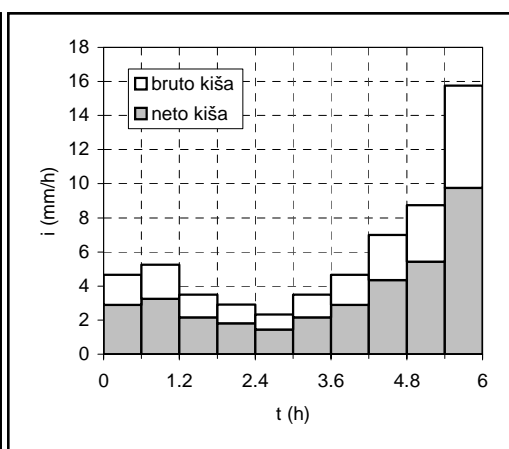
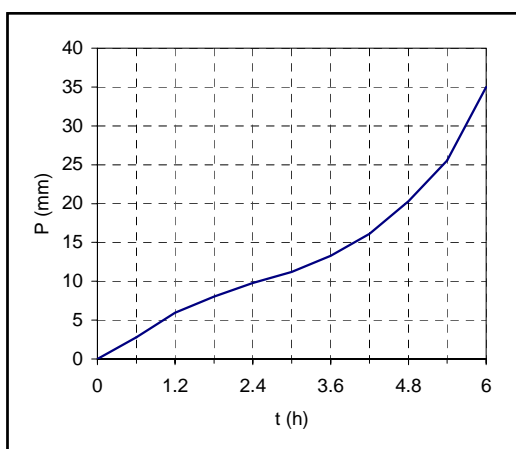
Rešenje

1. i 2. Prosečan koeficijent oticaja za sliv iznosi:

$$K = \frac{K_1 A_1 + K_2 A_2}{A} = K_1 \frac{A_1}{A} + K_2 \frac{A_2}{A} = 0.8 \cdot 0.55 + 0.4 \cdot 0.45 = 0.62$$

Proračun sumarne linije i hijetograma bruto i neto kiše prikazan je u donjoj tabeli.

t/t_k (%)	P/P_{uk} (%)	t (h)	P (mm)	ΔP (mm)	i (mm/h)	i_e (mm/min)
0	0	0	0			
10	8	0.6	2.8	2.8	4.667	0.0482
20	17	1.2	5.95	3.15	5.250	0.0543
30	23	1.8	8.05	2.1	3.500	0.0362
40	28	2.4	9.8	1.75	2.917	0.0301
50	32	3.0	11.2	1.4	2.333	0.0241
60	38	3.6	13.3	2.1	3.500	0.0362
70	46	4.2	16.1	2.8	4.667	0.0482
80	58	4.8	20.3	4.2	7.000	0.0723
90	73	5.4	25.55	5.25	8.750	0.0904
100	100	6.0	35	9.45	15.750	0.1628



3. Složeni hidrogram oticaja usled gornje kiše pomoću racionalne metode

S obzirom da vreme koncentracije sliva iznosi 2h, a trajanje kiše 6h, kiša se prerađuje na vremenske intervale od 2h:

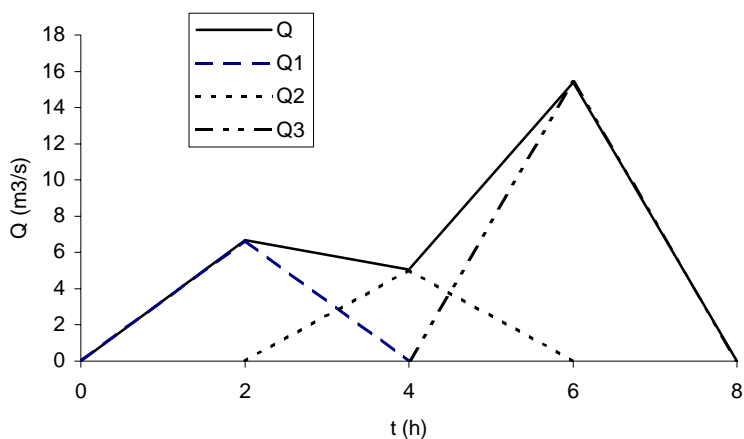
t (h)	P (mm)	ΔP (mm)	i (mm/h)	i_e (mm/h)
0	0			
2	8.633	8.633	4.317	2.676
4	15.167	6.533	3.267	2.025
6	35	19.833	9.917	6.148

Prema racionalnoj metodi za slučaj $t_k = t_c$, elementarni hidrogram oticaja ima trougaoni oblik sa vremenom podizanja i vremenom opadanja jednakim vremenu koncentracije t_c i maksimalnom ordinatom jednakom:

$$Q_{\max} = K \cdot i \cdot A = i_e \cdot A$$

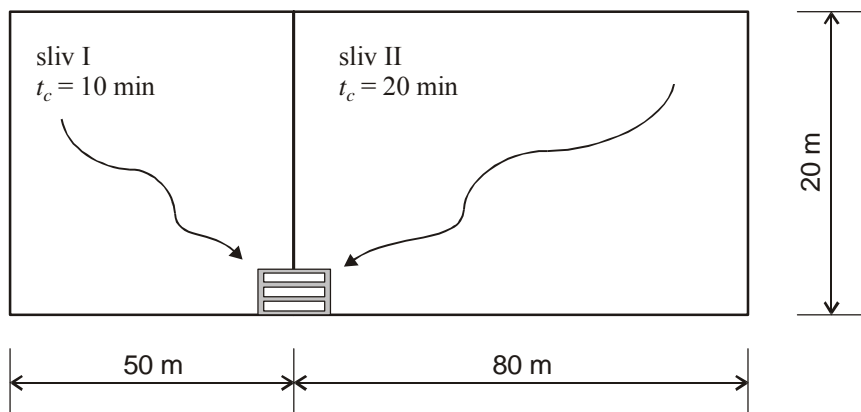
Složeni hidrogram usled kiše koja se sastoji od tri bloka trajanja po 2h dobija se superpozicijom elementarnih hidrograma od pojedinih blokova kiše.

t (h)	Q_1 (m ³ /s)	Q_2 (m ³ /s)	Q_3 (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
0	0	0	0	0
2	6.691	0	0	6.691
4	0	5.063	0	5.063
6	0	0	15.371	15.371
8	0	0	0	0



ZADATAK 3

Slivnik prihvata vodu sa dve saobraćajne površine (videti sliku). Odrediti hidrograme oticaja sa sliva I, sa sliva II kao i zbirni hidrogram oticaja sa obe površine (dotok u slivnik) usled kiše trajanja 15 minuta ukupne visine 15 mm. Pretpostaviti da je koeficijent oticaja jednak 1.



Rešenje

Prosečni intenzitet pale kiše iznosi:

$$i = \frac{P}{t_k} = \frac{15}{15} = 1 \text{ mm/min} = 166.7 \text{ l/s/ha}$$

Površine dva sliva su jednake:

$$A_I = 50 \cdot 20 = 1000 \text{ m}^2 = 0.1 \text{ ha}$$

$$A_{II} = 80 \cdot 20 = 1600 \text{ m}^2 = 0.16 \text{ ha}$$

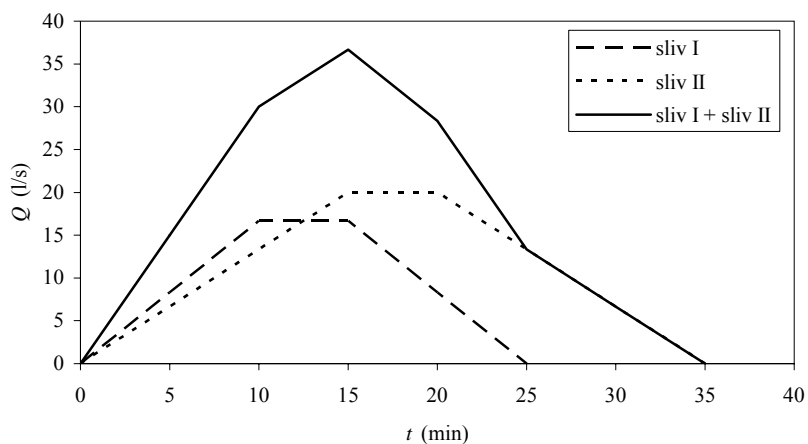
Hidrogram oticaja sa sliva I, čije je vreme koncentracije manje od trajanja kiše, ima oblik trapeza sa vremenom porasta i opadanja jednakom vremenu koncentracije (hidrogram I na slici dole) sa maksimalnom ordinatom:

$$Q = K \cdot i \cdot A_I = 1 \cdot 166.7 \cdot 0.1 = 16.67 \text{ l/s}$$

Vreme koncentracije sliva II je duže od trajanja kiše, pa hidrogram oticaja ima oblik trapeza sa vremenom porasta i opadanja jednakom trajanju kiše (hidrogram II na slici dole) i sa maksimalnom ordinatom:

$$Q = K \cdot i \cdot A_{II} \cdot \frac{t_k}{t_{c,II}} = 1 \cdot 166.7 \cdot 0.16 \cdot \frac{15}{20} = 20 \text{ l/s}$$

Zbirni hidrogram sa obe površine dobija se superpozicijom hidrograma oticaja sa površina I i II (na slici dole označen sa I+II). Tabelarni prikaz ordinata ovog hidrograma date su u donjoj tabeli.



Tabelarni proračun zbornog hidrograma.

t (min)	0	5	10	15	20	25	30	35
Q_I (l/s)	0	8.33	16.67	16.67	8.33	0	0	0
Q_{II} (l/s)	0	6.67	13.33	20	20	13.33	6.67	0
Q_{I+II} (l/s)	0	15	30	36.67	28.33	13.33	6.67	0

ZADATAK 4

Na slici je prikazan jedan hipotetički sliv koji se sastoji od tri podsliva (stambena bloka) i jednostavne mreže od tri kišna kolektora. Podaci o podslivovima i kolektorima su dati u tabelama 1 i 2. Za ovu lokaciju postoje zavisnosti ITP koje se mogu prikazati u analitičkom obliku kao $i = 35.3 T^{0.175} / (t_k + 27)$, gde se trajanje kiše unosi u minutima, a intenzitet se dobija u mm/min.

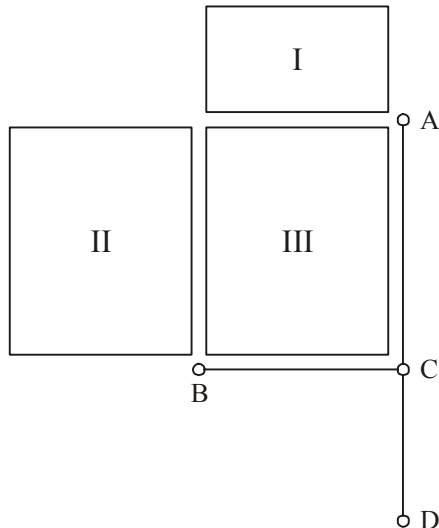


Tabela 1. Podaci o podslivovima.

Podsliv	Površina (ha)	Vreme koncentracije (min)	Koeficijent oticaja
I	0.84	5	0.7
II	1.8	10	0.6
III	1.8	10	0.7

Tabela 2. Podaci o kolektorima.

Kolektor	Dužina (m)	Nagib (%)
AC	150	2.3
BC	120	1.6
CD	100	1.4

1. Primenom racionalne teorije odrediti hidrograme oticaja sa podsliva II od kiša povratnog perioda 5 godina i trajanja 5, 10 i 15 minuta. Nacrtati dobijene hidrograme. Zaključiti koji je protok merodavan za dimenzionisanje kišnog kolektora BC i odrediti njegov prečnik.
2. Odrediti hidrogram oticaja sa podsliva I i dimenzionisati kolektor AC.
3. Odrediti merodavno trajanje kiše za kolektor CD, sračunati merodavni protok i dimenzionisati kolektor.

Za sve kolektore pretpostaviti da su betonske cevi sa hrapavošću $n = 0.013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

Rešenje

1. Hidrogrami oticaja sa podsliva II i dimenzionisanje kolektora BC

Proračun je sproveden u donjoj tabeli za sva zadata trajanja kiše. Intenziteti kiša su određeni iz zadate jednačine za zavisnost ITP, za povratni period od 5 godina. Zatim su određene maksimalne ordinate hidrograma oticaja prema racionalnoj formuli:

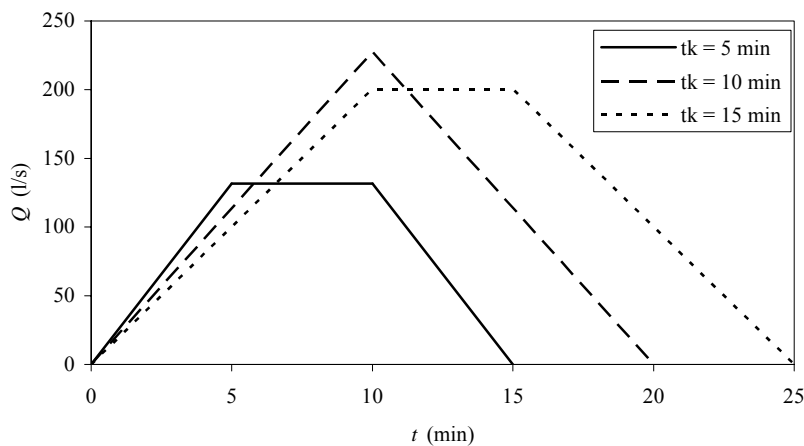
$$Q_{\max} = K \cdot i \cdot A$$

kada je $t_k > t_c$ i $t_k = t_c$, odnosno

$$Q_{\max} = K \cdot i \cdot A \frac{t_k}{t_c}$$

kada je $t_k < t_c$.

t_k (min)		i (mm/min)	i (l/s/ha)	Q_m (l/s)
5	$t_k < t_c$	1.462	243.7	132
10	$t_k = t_c$	1.264	210.7	228
15	$t_k > t_c$	1.114	185.6	201



Za dimenzionisanje kolektora BC kojim se odvođe kišne vode sa podsliva II, merodavan je slučaj $t_k = t_c$ u kome se postiže najveći protok od 228 l/s. Potrebni prečnik kolektora određuje se iz pretpostavke da se u kolektoru ostvaruje tečenje sa slobodnom površinom u punom profilu, pa se koristi Manningova jednačina:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{I_d}$$

Za kružni poprečni presek, $A = D^2 \pi / 4$ i $R = D / 4$, tako da sledi:

$$Q = \frac{1}{n} \frac{D^{8/3} \pi}{4^{5/3}} \sqrt{I_d}$$

odakle se prečnik određuje kao:

$$D = \left(\frac{nQ}{\sqrt{I_d}} \frac{4^{5/3}}{\pi} \right)^{3/8}$$

Za cev BC, sa nagibom od 1.6‰ i hrapavošću 0.013, potreban prečnik iznosi:

$$D = \left(\frac{0.013 \cdot 0.228}{\sqrt{0.016}} \frac{4^{5/3}}{\pi} \right)^{3/8} = 379 \text{ mm}$$

Usvaja se prvi veći komercijalni prečnik:

$$D_{BC} = 400 \text{ mm}$$

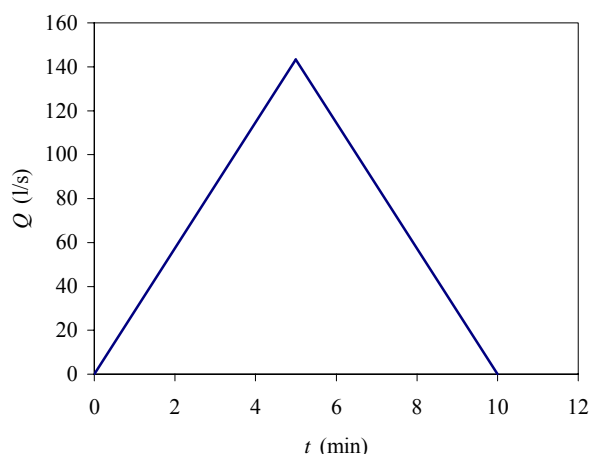
2. Hidrogram oticaja sa podsliva I i dimenzionisanje kolektora AC

Merodavni protok na koji se dimenzioniše kolektor AC je maksimalni protok usled kiše čije je trajanje jednako vremenu koncentracije posliva I, tj. 5 minuta. Intenzitet 5-godišnje kiše trajanja 5 minuta iznosi:

$$i = \frac{35.3T^{0.175}}{t_k + 27} = \frac{35.3 \cdot 5^{0.175}}{5 + 27} = 1.462 \text{ mm/min} = 243.7 \text{ l/s/ha}$$

Maksimalna ordinata hidrograma oticaja (prikazanog na slici dole) iznosi:

$$Q_{\max} = 0.7 \cdot 243.7 \cdot 0.84 = 143 \text{ l/s}$$



Potreban prečnik cevi AC iznosi:

$$D = \left(\frac{nQ}{\sqrt{I_d}} \frac{4^{5/3}}{\pi} \right)^{3/8} = \left(\frac{0.013 \cdot 0.143}{\sqrt{0.023}} \frac{4^{5/3}}{\pi} \right)^{3/8} = 297 \text{ mm}$$

Usvaja se:

$$D_{AC} = 300 \text{ mm}$$

3. Dimenzionisanje kolektora CD

Kolektor CD treba da drenira ceo sliv. Površina sliva je tada zbir površina svih podslivova. Koeffcijent oticaja se računa kao prosečni koeffcijent na celom slivu, tj. ponderisano u odnosu na površine podslivova:

$$K_{sr} = \frac{K_I A_I + K_{II} A_{II} + K_{III} A_{III}}{A} = \frac{0.7 \cdot 0.84 + 0.6 \cdot 1.8 + 0.7 \cdot 1.8}{4.44} = 0.66$$

Merodavno trajanje kiše jednako je vremenu koncentracije do tačke C, a to je najduže vreme putovanja vode do tačke C. Posmatraju se vremena putovanja na tri različita puta:

- 1) od najudaljenije tačke podsliva I do tačke A (što je $t_{c,I}$) i vreme tečenja kroz kolektor AC (t_{AC}),
- 2) od najudaljenije tačke podsliva II do tačke B (što je $t_{c,II}$) i vreme tečenja kroz kolektor BC (t_{BC}),
- 3) od najudaljenije tačke podsliva III do tačke C (što je $t_{c,III}$).

Vreme putovanja kroz kolektore AC i BC računa se na osnovu brzine tečenja i dužine kolektora:

$$t_{kol} = \frac{L_{kol}}{v_{kol}}$$

Brzina tečenja u kolektori određuje se na osnovu merodavnih protoka za te kolektore i njihovih poprečnih preseka, računato sa usvojenim prečnicima:

$$v_{kol} = \frac{Q_{kol,mer}}{A_{kol}} = \frac{Q_{kol,mer}}{D_{usv}^2 \pi / 4}$$

Na taj način imamo:

$$v_{AC} = \frac{0.143}{0.3^2 \pi / 4} = 2.03 \text{ m/s}, \quad t_{AC} = \frac{150}{2.03} = 74 \text{ s} = 1.23 \text{ min}$$

$$v_{BC} = \frac{0.228}{0.4^2 \pi / 4} = 1.81 \text{ m/s}, \quad t_{BC} = \frac{120}{1.81} = 66 \text{ s} = 1.1 \text{ min}$$

Vreme koncentracije do tačke C tada iznosi:

$$t_{c,C} = \max \left\{ \begin{array}{l} t_{c,I} + t_{AC} \\ t_{c,II} + t_{BC} \\ t_{c,III} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 5 + 1.23 \\ 10 + 1.1 \\ 10 \end{array} \right\} = 11.1 \text{ min}$$

Merodavno trajanje kiše jednako je ovom vremenu koncentracije, a odgovarajući intenzitet za povratni period od 5 godina iznosi:

$$i = \frac{35.3T^{0.175}}{t_k + 27} = \frac{35.3 \cdot 5^{0.175}}{11.1 + 27} = 1.228 \text{ mm/min} = 204.6 \text{ l/s/ha}$$

dok je merodavni protok:

$$Q = K_{sr} i A = 0.66 \cdot 204.6 \cdot 4.44 = 599 \text{ l/s}$$

Potreban prečnik kolektora CD iznosi:

$$D = \left(\frac{nQ}{\sqrt{I_d} \pi} 4^{5/3} \right)^{3/8} = \left(\frac{0.013 \cdot 0.599}{\sqrt{0.014}} \frac{4^{5/3}}{\pi} \right)^{3/8} = 558 \text{ mm}$$

Usvaja se:

$$D_{CD} = 600 \text{ mm}$$