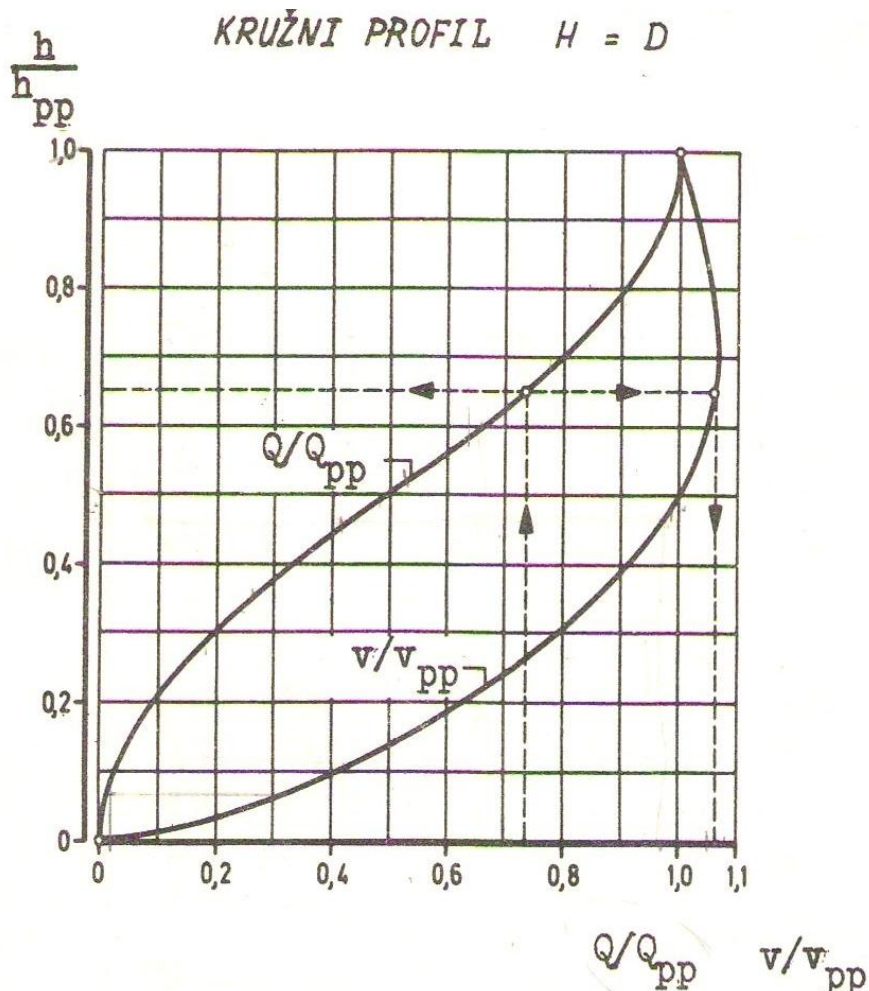


Tablica 3.1 Q_{pp} i v_{pp} za različite promjere cijevi (DN) i padove cijevi (I_c)

[illegible]

Slika 3.1 Dijagram odnosa protoka, brzina i ispunjenosti

Zadatak 3.1

Na dionici gravitacijskog cjevovoda DN ID 500 mm gdje je teren potpuno ravan, uz poštivanje minimalnog dopuštenog uzdužnog pada nivelete cijevi $I_{\min}$, potrebno je odrediti najmanji i najveći dozvoljeni protok za koje ta dionica cjevovoda može odgovarati. Kanalizacijski sustav je razdjelni, a analizirana dionica služi za distribuciju komunalne otpadne vode.

Rješenje

Proračun minimalnog dozvoljenog uzdužnog pada nivelete cijevi:

$$I_{\min} = \frac{0,11}{\frac{4}{R^3}} = \frac{0,11}{\left(\frac{0,5}{4}\right)^3} = \frac{0,11}{0,125^3} = 1,76 ‰ \approx 2,0 ‰$$
$$I_{\min} = \frac{1}{\text{DN ID [m]}} = \frac{1}{0,5} = 2,0 ‰$$

U daljnjem proračunu usvojen je pad nivelete cijevi $I_c = 2 ‰$.

Proračun protoka punog profila Q_{pp} i brzine punog profila v_{pp} :

Iz Tablice 3.1 su za usvojeni pad cijevi $I_c = 2,0 ‰$ i zadan promjer cjevovoda DN ID 500 mm očitane vrijednosti $Q_{pp} = 169 \text{ l/s}$ i $v_{pp} = 0,86 \text{ m/s}$.

Proračun maksimalnog dozvoljenog protoka:

Vrijednost maksimalnog dozvoljenog protoka za cijev DN ID 500 određena je na temelju maksimalno dozvoljene ispunjenosti cijevi.

Za usvojenu vrijednost $\left(\frac{H}{H_{pp}}\right)_{\text{max.doz.}} = 0,6$ sa Slike 3.1 očitane su je vrijednosti $\frac{Q}{Q_{pp}} = 0,68$ i $\frac{v}{v_{pp}} =$

1,05. Prema tome, maksimalan protok i pripadna brzina tečenja iznose:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = 0,68 \rightarrow Q = Q_{\max} = Q_{pp} \cdot 0,68 = 169 \cdot 0,68 = 114,92 \text{ l/s}$$
$$\frac{v}{v_{pp}} = 1,05 \rightarrow v = v_{\max} = v_{pp} \cdot 1,05 = 0,86 \cdot 1,05 = 0,90 \text{ m/s}$$

Proračun minimalnog dozvoljenog protoka:

Vrijednost minimalnog dozvoljenog protoka za cijev DN ID 500 određena je na temelju kriterija minimalno dozvoljene brzine tečenja u cjevovodu. Usvojena je minimalna vrijednost brzine od $v_{\min} = 0,3 \text{ m/s}$. Prema tome, minimalan protok i pripadna ispunjenost iznose:

$$\frac{v_{\min}}{v_{pp}} = \frac{0,3}{0,9} = 0,33 \rightarrow \frac{Q_{\min}}{Q_{pp}} = 0,02 \rightarrow Q_{\min} = 3,4 \text{ l/s}$$
$$\frac{H}{H_{pp}} = 0,08 \rightarrow H = H_{\min} = 0,08 \cdot 500 = 40 \text{ mm}$$

Zadatak 3.2

Potrebno je dimenzionirati kanalizacijski cjevovod i odrediti nagib dna cijevi ako je nagib terena $I_t = 130 \text{ ‰}$, a protok mjerodavan za dimenzioniranje $Q_{mj} = 300 \text{ l/s}$. Odrediti ispunjenost i stvarnu brzinu tečenja u cjevovodu. Kanalizacijska cijev je za komunalnu otpadnu vodu. Potrebno je odabrati profil cijevi tako da mjerodavan protok pri dimenzioniranju ispunjava oko 50 % presjeka cijevi, a maksimalna brzina ne prelazi $v_{\max} = 5 \text{ m/s}$. Za Manningov koeficijent hrapavosti usvojiti vrijednost $n = 0,013$.

Rješenje

S obzirom na to da je potrebno odabrati profil cjevovoda gdje mjerodavan protok ispunjava 50 % ukupnog profila, rješenje (profil) se iz Manningove jednadžbe ne može dobiti eksplicitno. Drugim riječima, s obzirom na nepoznanice promjera (DN ID, H_{pp}) i visine vode u cijevi (H), radi se o implicitnom obliku jednadžbe i ona se rješava iteracijski. Također, svaki profil cijevi ima svoj maksimalan i minimalan dozvoljeni pad pa i to predstavlja nepoznanicu u Manningovoj jednadžbi.

Prema tome, za pretpostavljeni promjer cjevovoda DN ID, odredit će se protok punog profila. Odgovarajući profil odredit će se iz uvjeta da mjerodavan protok ne ispunjava više od 50 % profila.

1. Pretpostavka DN ID 300

Proračun minimalnog i maksimalnog dozvoljenog pada cijevi:

$$I_{\min} = \frac{0,11}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{0,11}{0,075^{\frac{4}{3}}} = 3,48 \text{ ‰}$$

$$I_{\max} = \frac{4,2}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{4,2}{0,075^{\frac{4}{3}}} = 132 \text{ ‰}$$

S obzirom na to da je pad terena u granicama minimalnog i maksimalnog dozvoljenog pada cijevi, usvojiti će se pad nivelete cijevi jednak padu terena $I_c = I_t$.

Protok punog profila tada iznosi:

$$Q_{pp} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot A = \frac{1}{0,013} \cdot 0,075^{\frac{2}{3}} \cdot 0,13^{\frac{1}{2}} \cdot 0,07 = 348 \text{ l/s}$$

Prema tome, ispunjenost cijevi iznosi:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{300}{348} = 0,86 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,75 > \left(\frac{H}{H_{pp}} \right)_{\max.\text{doz.}} = 0,5$$

S obzirom na to da mjerodavan protok ispunjava 75 % profila cijevi, DN ID 300 se ne smatra prikladnim za distribuciju otpadne vode u ovom slučaju.

2. Pretpostavka DN ID 400

Proračun minimalnog i maksimalnog dozvoljenog pada cijevi:

$$I_{\min} = \frac{0,11}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{0,11}{0,13^{\frac{4}{3}}} = 2,37 \text{ ‰}$$

$$I_{\max} = \frac{4,2}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{4,2}{0,13^{\frac{4}{3}}} = 90,49 \text{ ‰}$$

S obzirom na to da je pad terena veći od maksimalnog dozvoljenog pada cijevi, usvojit će se pad nivelete cijevi $I_c = 90 \text{ ‰}$.

Protok punog profila tada iznosi:

$$Q_{pp} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot A = \frac{1}{0,013} \cdot 0,1^{\frac{2}{3}} \cdot 0,09^{\frac{1}{2}} \cdot 0,13 = 646 \text{ l/s}$$

Prema tome, ispunjenost cijevi iznosi:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{300}{646} = 0,46 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,46 < \left(\frac{H}{H_{pp}} \right)_{\text{max.doz.}} = 0,5$$

S obzirom na to da mjerodavan protok ispunjava manje od 50 % profila cijevi, DN ID 400 se smatra prikladnim za distribuciju otpadne vode u ovom slučaju.

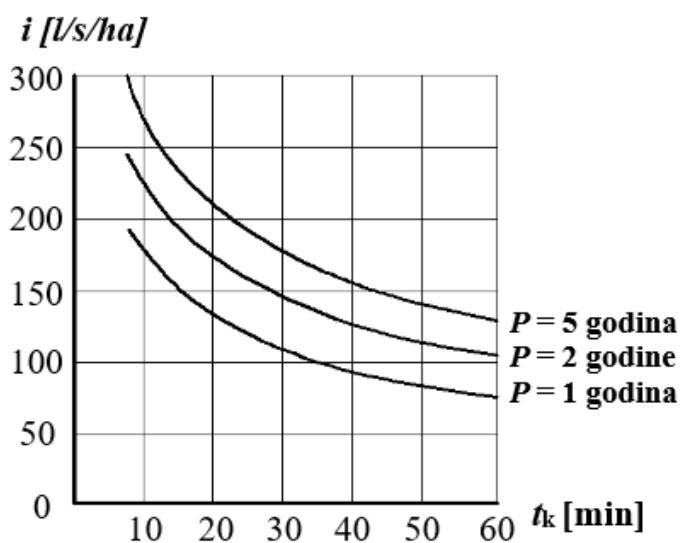
Zadatak 3.3

Za mješovitu kanalizaciju s površinom sliva $A = 100 \text{ ha}$, dužinom sliva $L = 2000 \text{ m}$ i prosječnim nagibom terena $I_t = 10 \text{ ‰}$, potrebno je odrediti:

1. Mjerodavne protoke u promatranom profilu:
 - protok komunalne otpadne vode,
 - protok oborinske vode (za mjerodavnu kišu),
 - ukupan protok za dimenzioniranje kanalizacijskog kolektora.
2. Dimenzije cijevi, stupanj ispunjenosti i stvarnu brzinu tečenja.

Podaci potrebni za proračun:

- gustoća naseljenosti: 100 stanovnik/ha,
- specifična potrošnja vode: 130 l/stanovnik/dan,
- povratni period oborine: $P = 2$ godine,
- srednji koeficijent otjecanja: $C = 0,28$,
- vrijeme ulaska oborinske vode u sustav (prvi slivnik) - površinsko tečenje: $t_1 = 10 \text{ min}$,
- ITP krivulja prikazana je na Slici 3.2.



Slika 3.2 ITP krivulja

Rješenje

Proračun suhog protoka odnosno komunalne vode:

$$Q_{sr,d,kom} = N \cdot q_{sp}$$

$$Q_{sr,d,kom} = 100 \text{ stanovnik/ha} \cdot 100 \text{ ha} \cdot 130 \text{ l/stanovnik/dan} = 15 \text{ l/s}$$

$$K = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{15}} = 2,15$$

$$Q_{max,h} = 15 \text{ l/s} \cdot 2,15 = Q_{kom} = 32 \text{ l/s}$$

Proračun mjerodavne količine oborinske vode:

Proračun vremena otjecanja po dionici:

Pretpostavljena je brzina tečenja po dionici budućeg kolektora od $v_{pretp.} = 2 \text{ m/s}$.

$$t_2 = \frac{L}{v_{pretp.}} = \frac{2000}{2} = 1000 \text{ s} = 16,7 \text{ min}$$

Vrijeme koncentracije t_c :

$$t_c = t_1 + t_2 = 10 + 16,7 = 26,7 \text{ min}$$

Intenzitet mjerodavne oborine:

$$i(2; 26,7) = 155 \text{ l/s/ha}$$

Mjerodavan protok oborinske vode:

$$Q_{mj.ob.} = Q_{max} = C \cdot i \cdot A = 0,28 \cdot 155 \text{ l/s/ha} \cdot 100 \text{ ha} = 4340 \text{ l/s}$$

Ukupan protok mjerodavan za dimenzioniranje iznosi:

$$Q_{mj} = Q_{mj.ob.} + Q_{kom} = 4340 + 32 = 4372 \text{ l/s}$$

S obzirom na to da pad terena iznosi $I_t = 10 \text{ ‰}$, pretpostavljeno je da će pad nivelete cijevi pratiti pad terena ($I_c = 10 \text{ ‰}$). Prema tome, iz Tablice 3.1 odabran je promjer kolektora DN ID 1300, za koji protok i brzina punog profila iznose: $Q_{pp} = 4693 \text{ l/s}$, $v_{pp} = 3,57 \text{ m/s}$.

Provjera ispunjenosti i stvarne brzine za vrijeme kiše:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{4372}{4693} = 0,93$$

$$\frac{H}{H_{pp}} = 0,85 \rightarrow H = 0,85 \cdot H_{pp} = 1105 \text{ mm}$$

$$\frac{v}{v_{pp}} = 1,04 \rightarrow v = 1,04 \cdot v_{pp} = 3,71 \text{ m/s}$$

S obzirom na to da je pretpostavljena brzina prilikom proračuna t_2 iznosila $v_{pretp.} = 2 \text{ m/s}$, a dobivena stvarna brzina tečenja iznosi $v_{stv} = 3,74 \text{ m/s}$, proračun treba provesti ponovno s novom pretpostavljenom brzinom. Ponovljeni proračun je sada prikazan u Tablici 3.2.

Tablica 3.2 Proračun protoka oborinske vode i mjerodavnog protoka za dimenzioniranje

$v_{pretp.}$ [m/s]	t_2 [min]	t_c [min]	$i(P; t_c)$ [l/s/ha]	$Q_{mj.ob.}$ [l/s]	Q_{mj} [l/s]
3,7	9	19	175	4900	4932

Sada je iz Tablice 3.2 za mjerodavan protok $Q_{mj} = 4932 \text{ l/s}$ odabran profil kolektora DN ID 1300, ali s padom nivelete $I_c = 12 \text{ ‰}$. Protok i brzina punog profila iznose: $Q_{pp} = 5142 \text{ l/s}$, $v_{pp} = 3,87 \text{ m/s}$.

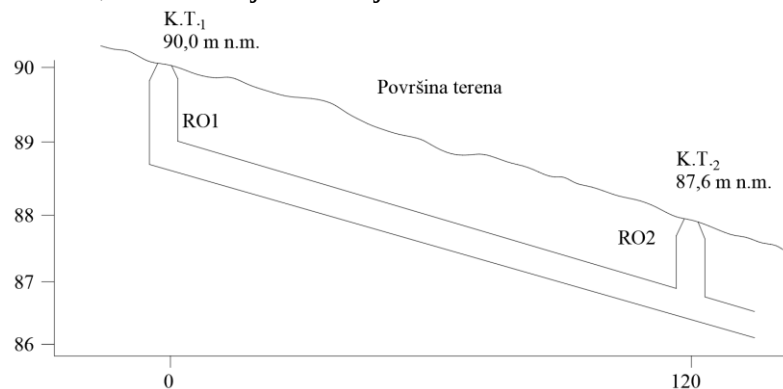
Provjera ispunjenosti i stvarne brzine za vrijeme kiše:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{4932}{5142} = 0,96 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,86 \rightarrow \frac{v}{v_{pp}} = 1,05 \rightarrow v = 1,04 \cdot v_{pp} = 4,0 \text{ m/s}$$

S obzirom na to da su dobivena i pretpostavljena brzina tečenja vrlo slične, za analiziranu dionicu **usvaja se promjer DN ID 1300 s padom nivelete $I_c = 12 \text{ ‰}$.**

Zadatak 3.4

Projektira se dionica cjevovoda kanalizacije mješovitog tipa duljine 120 m na protok od 100 l/s. Nadmorska visina terena na uzvodnom revizijskom oknu (RO1) iznosi 90,0 m n.m., a na nizvodnom oknu (RO2) 87,6 m n.m., kako je prikazano na Slici 3.3. Potrebno je odrediti odgovarajući promjer cijevi i pad cjevovoda te odrediti kote dna cijevi u uzvodnom i nizvodnom oknu. Pretpostavlja se minimalan nadsloj tla od 1,0 m iznad tjemena cijevi.



Slika 3.3 Uzdužni prikaz terena, okana i cjevovoda

Rješenje

Pad terena iznosi:

$$I_t = \frac{\Delta H}{L} = \frac{90 - 87,6}{120} = 0,02 = 20 \text{ ‰}$$

Ukoliko bi se cjevovod ugradio paralelno s terenom ($I_t = I_c$), potreban profil cjevovoda iznosi DN 300. Iz Tablice 1 može se odrediti protok punog profila $Q_{pp} = 139 \text{ l/s}$ i brzina punog profila $v_{pp} = 1,96 \text{ m/s}$. Ispunjenost i stvarna brzina tečenja tada iznose:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{100}{139} = 0,72 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,62 \rightarrow \frac{v}{v_{pp}} = 1,05 \rightarrow v = 1,96 \cdot v_{pp} = 2,06 \text{ m/s}$$

Kota dna cijevi (kota nivelete) na uzvodnom oknu iznosi:

$$K.N._1 = K.T._1 - h_{\text{nadsloj}} - DN = 90 \text{ m n.m.} - 1 \text{ m} - 0,3 \text{ m} = 88,7 \text{ m n.m.}$$

Kota dna cijevi na nizvodnom oknu iznosi:

$$K.N._2 = K.N._1 - \Delta h = 88,7 \text{ m n.m.} - (I_c \cdot L) = 88,7 \text{ m n.m.} - 2,4 \text{ m} = 86,3 \text{ m n.m.}$$

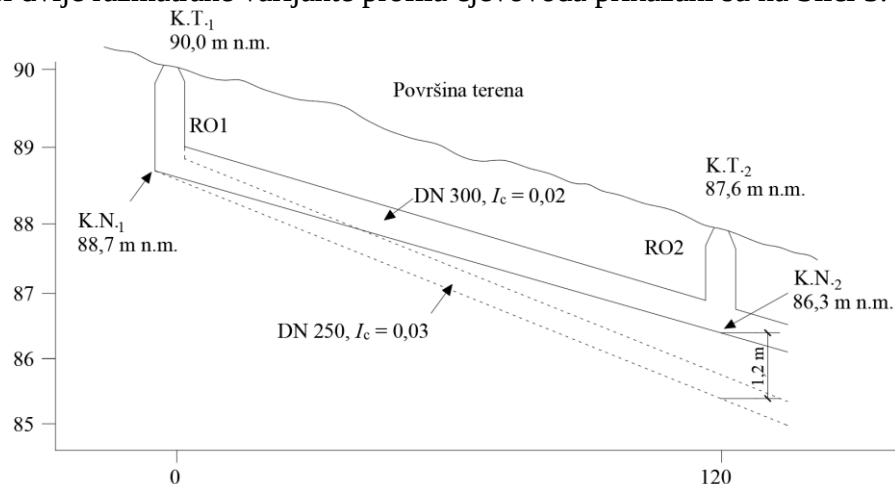
Alternativno, provjerit će se uvjeti ugradnje ukoliko se pretpostavi profil cjevovoda DN 250. Iz Tablice 1 može se očitati vrijednost protoka punog profila $Q_{pp} = 85,5 \text{ l/s}$ za DN 250 i $I_c = 20 \text{ ‰}$. Prema tome, kako bi se propustio mjerodavan protok od 100 l/s potrebno je povećati pad cijevi. Pad pri kojem je to moguće ostvariti iznosi $I_c = 30 \text{ ‰}$ ($Q_{pp} = 105 \text{ l/s}$). Ovakvo rješenje zahtijeva veću dubinu iskopa i veći nadsloj od opcije s DN 300.

Visinska razlika između kote dna cijevi na početku i kraju dionice tada iznosi:

$$\Delta h = I_c \cdot L = \frac{30}{1000} \cdot 120 \text{ m} = 3,6 \text{ m}$$

što predstavlja dodatni nadsloj od 1,2 m (3,6 m – 2,4 m) u odnosu na varijantu s DN 300.

Visinski odnosi dvije razmatrane varijante profila cjevovoda prikazani su na Slici 3.4.



Slika 3.4 Usporedni prikaz dvaju analiziranih varijanti

Zadatak 3.5

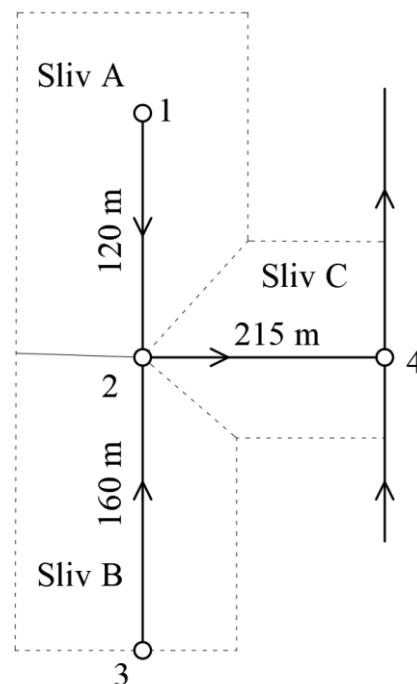
Potrebno je dimenzionirati kolektore mješovite kanalizacije. Prosječni padovi terena prikazani su u Tablici 3.3 (padovi su u smjeru planiranog polaganja kolektora). Proračun oborinske vode izvršiti pomoću racionalne teorije. Usvojiti vrijeme ulaska kiše $t_1 = 10$ minuta i povratno razdoblje $P = 2$ godine. Koristiti ITP krivulju iz Zadatka 3.3. Koeficijenti otjecanja prikazani su u Tablici 3.4. Specifična potrošnja vode u naselju iznosi 130 l/stanovnik/dan.

Tablica 3.3 Broj stanovnika i površina sliva

Sliv	A	B	C
Broj stanovnika	250	180	300
Površina [ha]	0,8	0,9	1,5
Pad terena I_t [%]	3	5	7

Tablica 3.4 Koeficijenti otjecanja i pripadajuće površine

Sliv	Koeficijent otjecanja C	Postotak površine (%)
A	0,5	40
	0,9	60
B	0,6	35
	0,95	65
C	0,5	55
	0,8	45



Slika 3.5 Shema sustava odvodnje

Rješenje

Prvenstveno je proveden proračun mjerodavnih količina komunalne otpadne vode (Tablica 3.5).

Tablica 3.5 Proračun komunalne otpadne vode $Q_{\max, \text{dn}, \text{kom}}$ po dionicama

Dionica	Pripadni slivovi	Broj stanovnika N	$Q_{\text{sr}, \text{dn}, \text{kom}}$ [l/s]	K	$Q_{\max, \text{dn}, \text{kom}}$ [l/s]
1-2	A	250	0,4	3	1,2
3-2	B	180	0,3	3	0,9
2-4	A, B, C	730	1,1	3	3,3

Proračun mjerodavnog intenziteta oborinske vode proveden je i prikazan u Tablici 3.6. Vrijeme ulaska t_1 je zadano, a potrebno je izračunati vrijeme otjecanja po dionici kolektora t_2 . Za određivanje vremena otjecanja potrebno je pretpostaviti brzinu otjecanja ($v_{\text{pretp.}}$), a kasnije u postupku dimenzioniranja tu brzinu provjeriti ($v_{\text{stv.}}$). Ukoliko se stvarna brzina $v_{\text{stv.}}$ i pretpostavljena brzina $v_{\text{pretp.}}$ razlikuju proračun je potrebno ponoviti. Odgovarajuća točnost usvaja se ukoliko se brzine razlikuju do 0,5 m/s. Proračun količina oborinske vode, mjerodavnog protoka za dimenzioniranje i postupak dimenzioniranja kolektora provedeni su u Tablicama 3.7 – 3.9.

Tablica 3.6 Proračun mjerodavnog intenziteta i oborinske vode po dionicama

Dionica	I_t [%]	t_1 [min]	L_i [m]	$v_{\text{pretp.}}$ [m/s]	t_2 [min]	t_c [min]	i [l/s/ha]
1-2	3	10	120	2,4	0,83	10,83	220
3-2	5	10	160	3	0,88	10,88	220
2-4	7	10,88	215	5	0,72	11,6	210

Tablica 3.7 Proračun mjerodavnog protoka $Q_{\text{mj}, \text{ob}}$ oborinske vode po dionicama

Dionica	A [ha]	i [l/s/ha]	C [-]	Q_{ob} [l/s]
1-2	0,8	220	0,74	130
3-2	0,9	220	0,83	164
2-4	3,2	210	0,716	481

Tablica 3.8 Mjerodavan protok Q_{mj} za dimenzioniranje mješovite kanalizacije po dionicama

Dionica	$Q_{\max, \text{dn}, \text{kom}}$ [l/s]	$Q_{\text{mj}, \text{ob}}$ [l/s]	Q_{mj} [l/s]
1-2	1,2	130	131
3-2	0,9	164	165
2-4	3,3	481	484

Proračun koeficijenta otjecanja C :

$$\bar{C}_{1-2} = \bar{C}_A = (0,4 \cdot 0,5) + (0,6 \cdot 0,9) = 0,74$$

$$\bar{C}_{3-2} = \bar{C}_B = (0,35 \cdot 0,6) + (0,65 \cdot 0,95) = 0,83$$

$$\bar{C}_C = (0,55 \cdot 0,5) + (0,45 \cdot 0,8) = 0,635$$

$$\bar{C}_{4-2} = \frac{\bar{C}_A \cdot A_A + \bar{C}_B \cdot A_B + \bar{C}_C \cdot A_C}{A_{\text{sliv}}} = 0,716$$

Dimenzioniranje cijevi provedeno je s obzirom na dobivene mjerodavne količine otpadne vode Q_{mj} (Tablica 3.8) i pretpostavku da će se cijevi polagati paralelno s terenom (gdje god je moguće). Pošto padovi terena iznose od 30 do 70 ‰, u ovom slučaju treba obratiti pozornost na maksimalno dozvoljene padove cijevi $I_{\max, \text{doz.}}$.

Tablica 3.9 Dimenzioniranje kolektora i provjera stvarne brzine tečenja

Dionica	DN ID [mm]	$I_{\max, \text{doz.}}$ [‰]	$I_c = I_t$ [%]	Q_{pp} [l/s]	v_{pp} [m/s]	Q_{mj}/Q_{pp}	v_{stv}/v_{pp}	v_{stv} [m/s]	$v_{pretp.}$ [m/s]
1-2	300	132	30	170	2,41	0,77	1,06	2,55	2,4
3-2	300	132	50	220	3,11	0,75	1,06	3,3	3
2-4	400	90	70	550	4,38	0,87	1,05	4,6	5

S obzirom na to da su stvarne brzina tečenja po kolektorima približno jednake pretpostavljenima ($v_{stv} \approx v_{pretp.}$), usvajaju se gore navedene dimenzije kanalizacijskih kolektora. Proračun protoka i brzine punog profila za dionicu 2-4 proveden je Manningovom jednadžbom (uz usvojen $n = 0,013$).

Zadatak 3.6

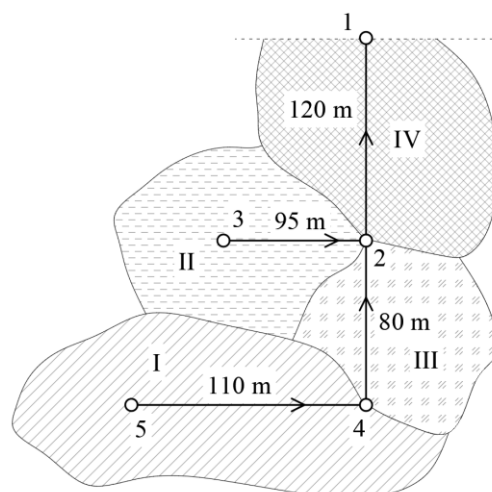
Za sustav cjevovoda sa Slike 3.6 potrebno je izračunati najveći protok oborinske vode u nizvodnim profilima svih dionica. Potrebno je nizvodne profile dimenzionirati na dobiveni protok te usvojiti isti profil cijevi za cijelu promatranu dionicu. Odrediti ispunjenost i stvarnu brzinu toka. Pad terena usvojiti prema podacima iz Tablice 3.10. Usvojiti vrijeme ulaska u sustav od $t_1 = 10$ min, koeficijent otjecanja $C = 0.55$ i kišu čija vjerojatnost pojavljivanja iznosi $p = 20$ %. Koristiti ITP krivulju iz Zadatka 3.3. Gdje je moguće, pretpostaviti da će cijevi biti ugrađene paralelno s terenom. Promatrani sliv završava u čvoru 1 gdje je predviđen spoja na postojeći cjevovod K1.

Tablica 3.10 Nadmorske visine

Čvor	Nadmorska visina [m n.m.]
1	96
2	97,2
3	111,45
4	98
5	103,5

Tablica 3.11 Površine slivova

Sliv	Površina [m ²]
I	9 000
II	6 000
III	5 000
IV	7 000

**Slika 3.6** Shema sustava oborinske odvodnje naselja

Rješenje

S obzirom na to da su zadane nadmorske visine u čvorovima koji predstavljaju početak i kraj budućih dionica, prvenstveno su određeni padovi terena I_t (Tablica 3.12).

Tablica 3.12 Proračun padova terena I_t

Dionica	Nadmorska visina [m n.m.]		Δh [m]	L [m]	I_t [‰]
	Početna točka	Krajnja točka			
5-4	103,5	98	5,5	110	50
4-2	98	97,2	0,8	80	10
3-2	111,45	97,2	14,25	95	150
2-1	97,2	96	1,2	120	10

Povratni period mjerodavne kiše iznosi $P = 5$ godina, s obzirom na zadanu vjerojatnost pojavljivanja kiše $p = 20 \%$.

Proračun mjerodavnog intenziteta, mjerodavnog protoka i dimenzioniranje kolektora provedeno je i prikazano u Tablicama 3.13 – 3.15.

Tablica 3.13 Proračun mjerodavnog intenziteta i oborinske vode po dionicama

Dionica	I_t [%]	t_1 [min]	L_i [m]	$v_{\text{pretp.}}$ [m/s]	t_2 [min]	t_c [min]	i [l/s/ha]
5-4	50	10	110	3	0,6	10,6	270
4-2	10	10,6	80	1,6	0,83	11,43	250
3-2	150	10	95	4	0,39	10,39	270
2-1	10	11,43	120	2	1	12,43	240

Tablica 3.14 Proračun mjerodavnog protoka $Q_{\text{mj.ob}} = Q_{\text{max}}$ oborinske vode po dionicama

Dionica	A [ha]	i [l/s/ha]	C [-]	Q_{ob} [l/s]
5-4	0,9	270	0,55	134
4-2	1,4	250	0,55	164
3-2	0,5	270	0,55	74
2-1	2,7	240	0,55	356

Tablica 3.15 Dimenzioniranje kolektora i provjera stvarne brzine tečenja

Dionica	$DN\ ID$ [mm]	$I_{\text{max,doz.}}$ [‰]	I_t [%]	I_c [%]	Q_{pp} [l/s]	v_{pp} [m/s]	$Q_{\text{mj}}/Q_{\text{pp}}$	$v_{\text{stv}}/v_{\text{pp}}$	v_{stv} [m/s]	$v_{\text{pretp.}}$ [m/s]
5-4	300	132	50	50	220	3,11	0,61	1,04	3,2	3
4-2	400	90	10	10	210	1,67	0,78	1,06	1,7	1,6
3-2	300	132	150	132	351	4,97	0,21	0,82	4,1	4
2-1	500	67,2	10	10	378	1,93	0,94	1,04	2,0	2

Proračun protoka i brzine punog profila za dionicu 3-2 proveden je Manningovom jednadžbom (uz usvojen $n = 0,013$). S obzirom na to da su stvarne brzine tečenja po kolektorima približno jednake pretpostavljenima ($v_{\text{stv}} \approx v_{\text{pretp.}}$), usvajaju se gore navedene dimenzije kanalizacijskih kolektora.

Zadatak 3.7

Potrebno je konstruirati uzdužni profil gravitacijskog cjevovoda za dva karakteristična profila terena. Dionica je podijeljena na četiri pod dionice na kojima se javlja potreba za postupnim povećanjem promjera od DN 300 do DN 800. Na nacrtu je potrebno prikazati sve nužne infrastrukturne objekte (npr. spojno okno, kaskadno okno, crpnu stanicu).

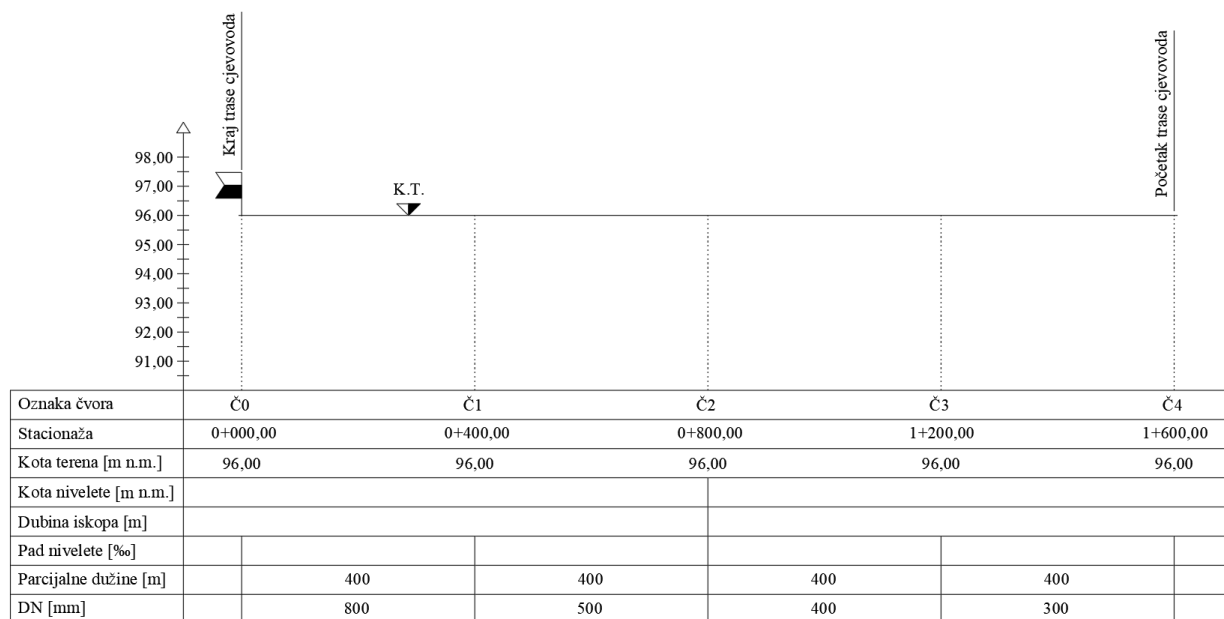
Rješenje

U Tablici 3.16 prikazane se vrijednosti minimalnih i maksimalnih dozvoljenih padova nivelete cijevi.

Tablica 3.16 Minimalni i maksimalni dozvoljeni padovi nivelete cijevi

DN	$I_{\min}$ [‰]	$I_{\max}$ [‰]
300	3,5	132
400	2,4	90
500	1,8	67
800	0,9	36

a) ravan teren $I_t = 0$



Slika 3.7 Uzdužni profil terena

S obzirom na to da je teren na promatranoj dionici ravan, cijevi će se polagati s minimalnim dozvoljenim padom $I_{\min}$ (Tablica 3.16). Proračun kota nivelete cijevi ($K.N.$) i dubine iskopa ($D.I.$) u pojedinom čvoru te visinske razlike početka i kraja dionice (Δh) prikazani su u nastavku. Visina nadsloja (udaljenost od kote terena do gornje stjenke cijevi) označena je s h_n , a debljina posteljice s $d_p = 10$ cm. Ukupna dužina dionice iznosi 1,6 km, s dužinama pod dionica od 400 m. Usvojiti maksimalnu dubinu iskopa od $D.I._{\max} = 4$ m.

$$K.N. \check{C}4 = K.T. \check{C}4 - (h_n + DN) = 96,00 - (1 + 0,4) = 94,6 \text{ m n.m.}$$

$$D.I. \check{C}4 = K.T. \check{C}4 - K.N. \check{C}4 + d_p = 96,00 - 94,60 + 0,1 = 1,5 \text{ m}$$

$$K.N. \check{C}3 = K.N. \check{C}4 - \Delta h_{4-3} = K.N. \check{C}4 - (I_c \cdot L) = 94,60 - \left(\frac{3,5}{1000} \cdot 400\right) = 93,20 \text{ m n.m.}$$

$$D.I. \check{C}3 = K.T. \check{C}3 - K.N. \check{C}3 + d_p = 2,9 \text{ m}$$

Spoj cjevovoda DN 400 i DN 300 u čvoru Č3 izvršit će se uz održanje iste kote nivelete cijevi na ulazu i izlazu iz okna. S obzirom na to da je teren ravan, a nizvodno se cijev ugrađuje sve dublje, nema potrebe za dodatnim spuštanjem dna izlazne cijevi (DN 400).

$$K.N.Č2 = K.N.Č3 - \Delta h_{3-2} = 93,20 - \left(\frac{2,4}{1000} \cdot 400 \right) = 92,24 \text{ m n. m.}$$

$$D.I.Č2 = K.T.Č2 - K.N.Č2 + d_p = 3,86 \text{ m}$$

S obzirom na to da dubina iskopa u čvoru Č2 iznosi 3,86 m, ovdje je predviđena crpna stanica. Uz pomoć crpke otpadna voda se podiže na višu kotu, a cijev se polaže na minimalnu dubinu iskopa.

$$K.N.Č2(n) = K.T.Č2 - (h_n + DN) = 96,00 - (1 + 0,5) = 94,50 \text{ m n. m. (kota nizvodno)}$$

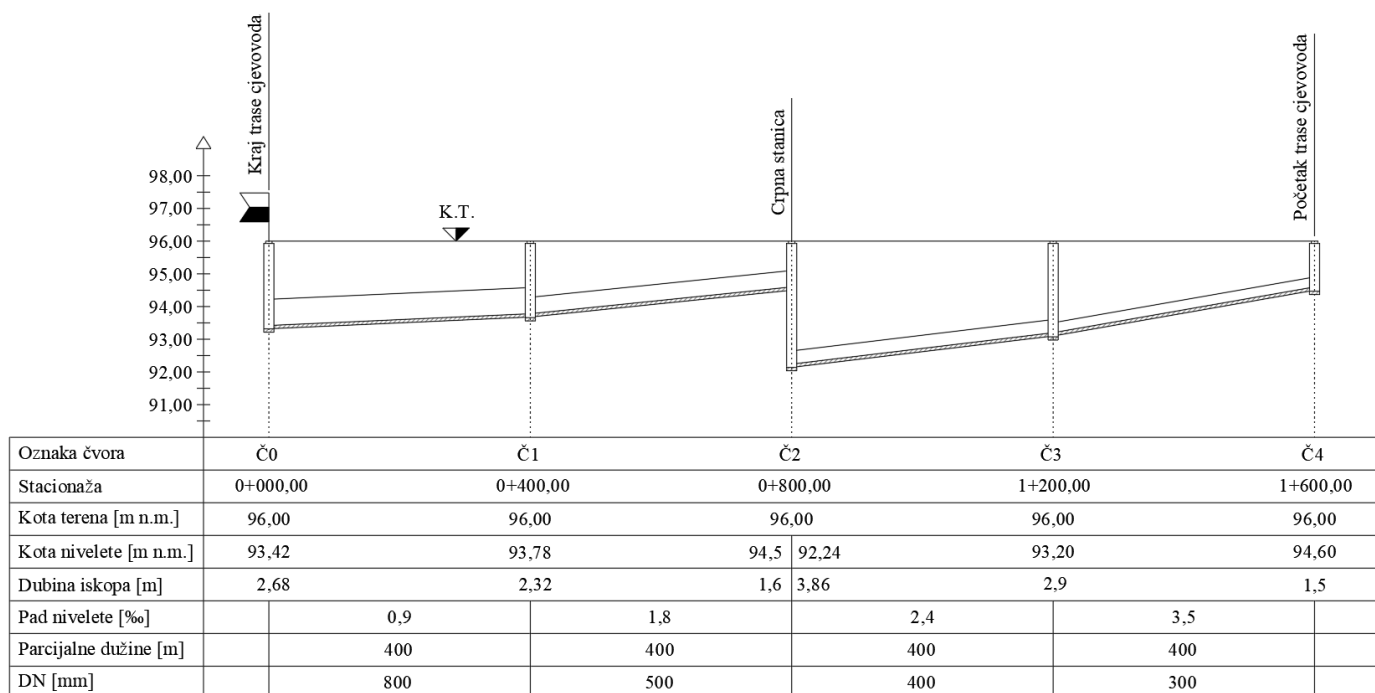
$$D.I.Č2(n) = K.T.Č2 - K.N.Č2(n) + d_p = 1,6 \text{ m}$$

$$K.N.Č1 = K.N.Č2(n) - (I_c \cdot L) = 94,50 - \left(\frac{1,8}{1000} \cdot 400 \right) = 93,78 \text{ m n. m.}$$

$$D.I.Č1 = K.T.Č1 - K.N.Č1 + d_p = 2,32 \text{ m}$$

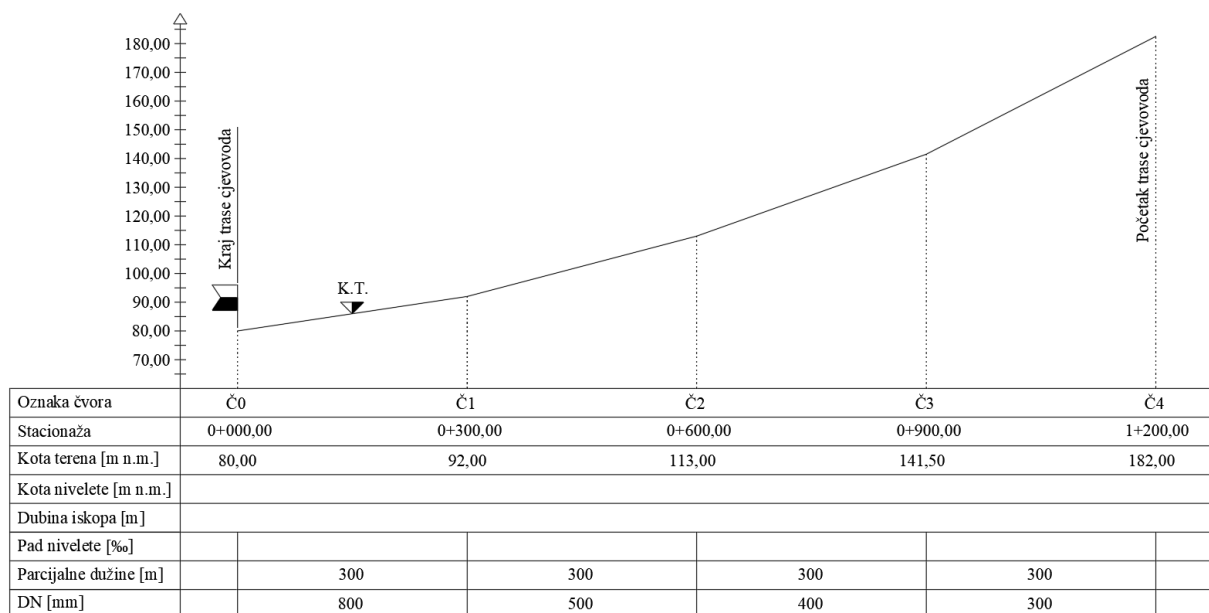
$$K.N.Č0 = K.N.Č1 - (I_c \cdot L) = 93,78 - \left(\frac{0,9}{1000} \cdot 400 \right) = 93,42 \text{ m n. m.}$$

$$D.I.Č0 = K.T.Č0 - K.N.Č0 + d_p = 2,68 \text{ m}$$



Slika 3.8 Uzdužni profil kanalizacijskog kolektora

b) strm teren s promjenjivim padom



Slika 3.9 Uzdužni profil terena

Tablica 3.17 Padovi terena po dionicama za slučaj pod b)

Dionica	Pad terena [‰]
Č4-Č3	135
Č3-Č2	95
Č2-Č1	70
Č1-Č0	40

S obzirom na to da je teren na promatranoj dionici vrlo strm, cijevi će se polagati s maksimalnim dozvoljenim padom $I_{\max}$ (Tablica 3.16). Ukupna dužina dionice iznosi 1,2 km, s dužinama pod dionica od 300 m. Zbog toga što je pad terena veći od maksimalnog dozvoljenog pada cijevi, cijev će se nizvodno polagati sve pliće. Drugim riječima, na kraju pod dionice dubina iskopa bit će manja nego na početku. Iz tog je razloga na trasi potrebno predvidjeti, tzv. kaskadna okna, pomoću kojih je moguće spustiti niveletu cijevi na nižu kotu kako se cijev ne bi ukapala previše plitko. Podatak Δh_k uz kaskadno okno odnosi se na razliku kota nivelete na ulazu i izlazu iz okna. Prema tome, proračun nivelete cijevi i dubine iskopa ovdje će se računati od čvora Č0 prema uzvodnim čvorovima.

$$K.N. \check{C}0 = K.T. \check{C}0 - (h_n + DN) = 80,00 - (1 + 0,8) = 78,20 \text{ m n. m.}$$

$$D.I. \check{C}0 = K.T. \check{C}0 - K.N. \check{C}0 + d_p = 1,9 \text{ m}$$

$$K.N. \check{C}1(n) = K.N. \check{C}0 + (I_c \cdot L) = 78,20 + \left(\frac{36}{1000} \cdot 300\right) = 89,00 \text{ m n. m.}$$

$$D.I. \check{C}1(n) = K.T. \check{C}1 - K.N. \check{C}1(n) + d_p = 92,00 - 89,00 + 0,1 = 3,1 \text{ m}$$

$$K.N. \check{C}1(u) = K.T. \check{C}1 - (h_n + DN) = 92,00 - (1 + 0,5) = 90,50 \text{ m n. m.}$$

$$D.I. \check{C}1(u) = K.T. \check{C}1 - K.N. \check{C}1(u) + d_p = 1,6 \text{ m}$$

$$K.N. \check{C}2(n) = K.N. \check{C}1(u) + (I_c \cdot L) = 90,50 + \left(\frac{67}{1000} \cdot 300\right) = 110,60 \text{ m n. m.}$$

$$D.I. \check{C}2(n) = K.T. \check{C}2 - K.N. \check{C}2(n) + d_p = 113,00 - 110,60 + 0,1 = 2,5 \text{ m}$$

$$K.N. \check{C}2(u) = K.T. \check{C}2 - (h_n + DN) = 113,00 - (1 + 0,4) = 111,60 \text{ m n. m.}$$

$$D.I. \check{C}2(u) = K.T. \check{C}2 - K.N. \check{C}2(u) + d_p = 1,5 \text{ m}$$

$$K.N. \check{C}3(n) = K.N. \check{C}2(n) + (I_c \cdot L) = 111,60 + \left(\frac{90}{1000} \cdot 300\right) = 138,60 \text{ m n. m.}$$

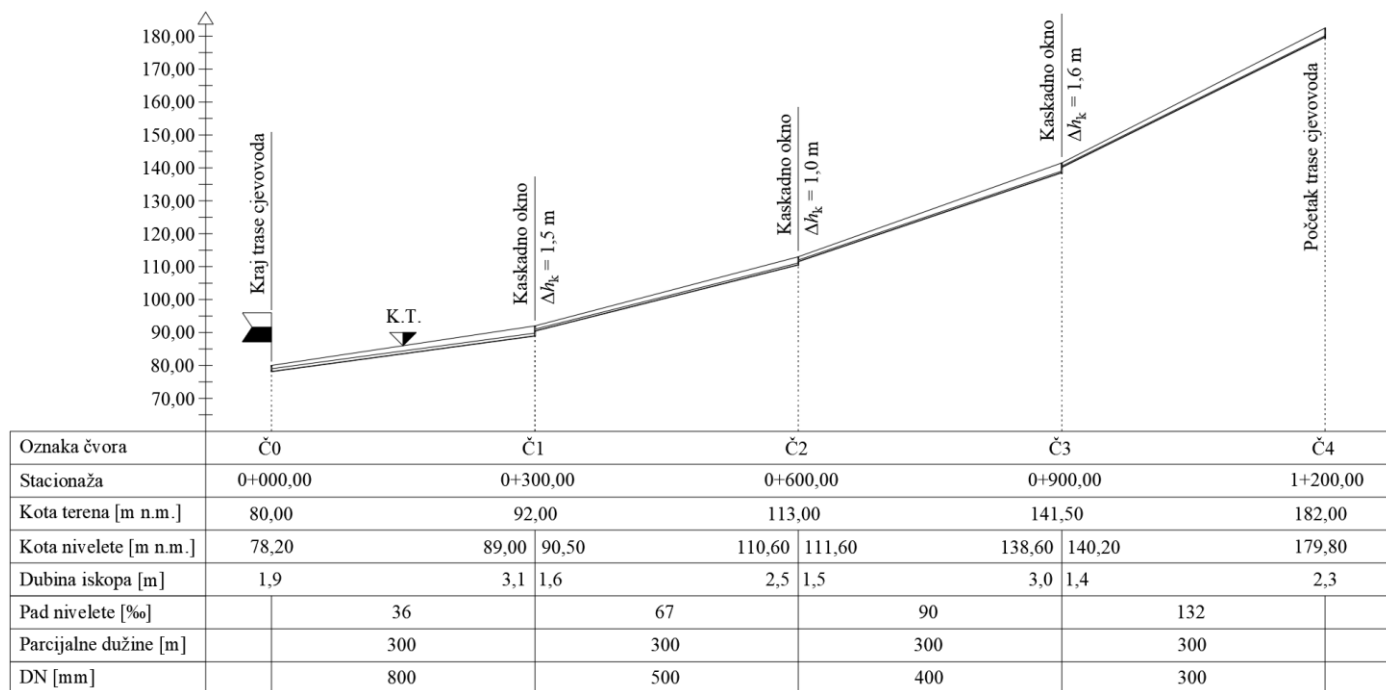
$$D.I. \check{C}3(n) = K.T. \check{C}3 - K.N. \check{C}3(n) + d_p = 141,50 - 138,60 + 0,1 = 3,0 \text{ m}$$

$$K.N.\check{C}3(u) = K.T.\check{C}3 - (h_n + DN) = 141,50 - (1 + 0,3) = 140,20 \text{ m n. m.}$$

$$D.I.\check{C}3(u) = K.T.\check{C}3 - K.N.\check{C}3(u) + d_p = 1,4 \text{ m}$$

$$K.N.\check{C}4 = K.N.\check{C}3(u) + (I_c \cdot L) = 140,20 + \left(\frac{132}{1000} \cdot 300\right) = 179,80 \text{ m n. m.}$$

$$D.I.\check{C}4 = K.T.\check{C}4 - K.N.\check{C}4 + d_p = 182,00 - 179,80 + 0,1 = 2,3 \text{ m}$$



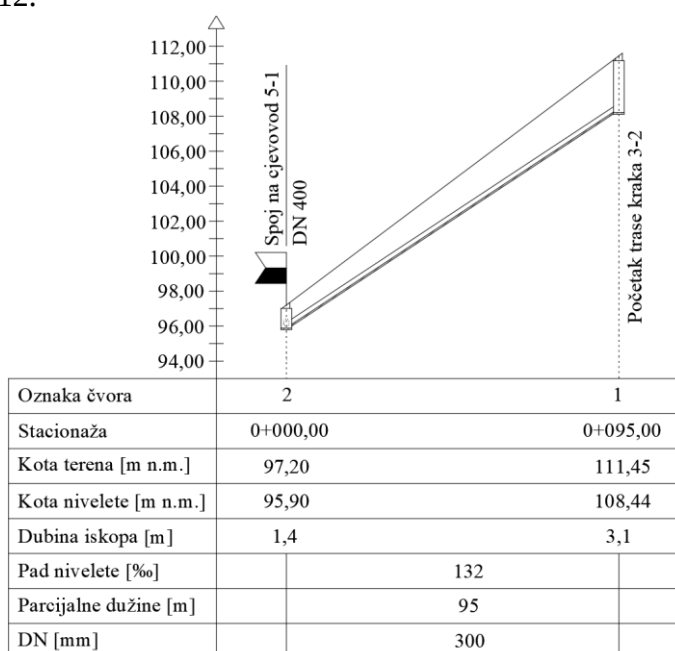
Slika 3.10 Uzdužni profil terena

Zadatak 3.8

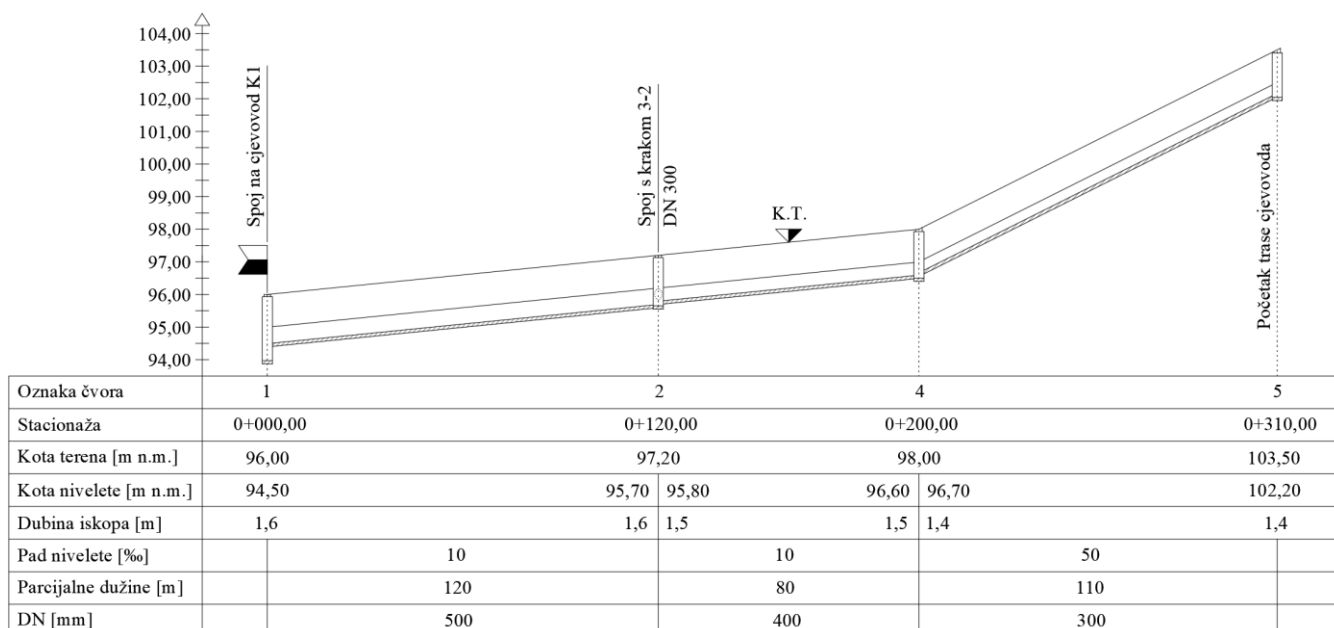
Potrebno je konstruirati uzdužne profile kanalizacijskih cjevovoda iz Zadatka 3.6. Na uzdužnom profilu naznačiti čvorove, stacionaže, kote terena, kote nivelete, dubine iskopa, parcijalne dužine, pad nivelete i profil cjevovoda.

Rješenje

U Tablici 3.15 prikazani su odabrani nazivni promjeri cijevi (DN) i padovi cijevi (I_c). Prema tome su konstruirani uzdužni profili za cjevovod od čvora 5 do čvora 1 (cjevovod 5-1) i od čvora 3 do čvora 2 (krak 3-2). Cjevovod 5-1 u cijelosti je položen paralelno s terenom. Krak 3-2 položen je s padom manjim od postojećeg pada terena, s obzirom na maksimalan dozvoljen pad cijevi DN 300. Prema tome, na toj dionici dubina iskopa je veća na početku u odnosu na kraj trase. Uzdužni profili prikazani su na Slikama 3.11 i 3.12.



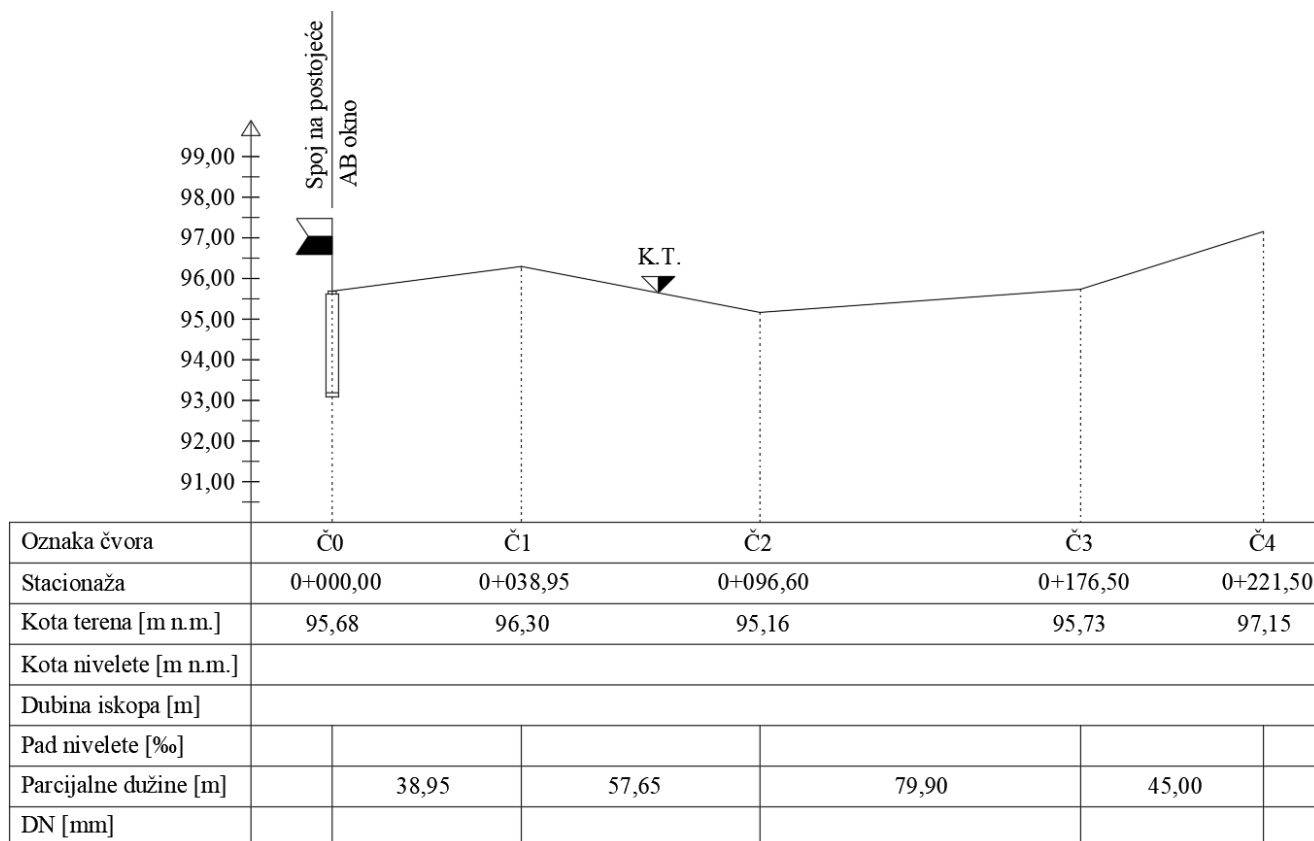
Slika 3.11 Uzdužni profil kraka 3-2



Slika 3.12 Uzdužni profil cjevovoda 5-1

Zadatak 3.9

Na temelju poznatog uzdužnog profila terena, potrebno je projektirati polaganje kanalizacijskog kolektora K0. Kolektor je za sanitarno-fekalnu otpadnu vodu. Cjevovod od čvora Č4 do čvora Č2 potrebno je dimenzionirati na protok od 30 l/s, a od čvora Č2 do čvora Č0 na protok od 90 l/s. U čvoru Č0 nalazi se postojeće spojno AB okno čiji je dno na dubini od 2,5 m u odnosu na površinu terena. Potrebno je definirati kotu niveletu cjevovoda, padove nivelete i dubine polaganja cjevovoda.



Slika 3.13 Uzdužni profil terena

Rješenje

Dimenzije cijevi određene uz pomoć Tablice 3.1, a prema zadanim protocima i padovima terena po pojedinim dionicama (Tablica 3.18).

Tablica 3.18 Padovi terena po dionicama

Dionica	Protok [l/s]	Pad terena [‰]
Č4-Č3	30	32
Č3-Č2	30	7
Č2-Č1	90	Kontra pad
Č1-Č0	90	16

Na dionici od čvora Č4 do čvora Č3 pad terena iznosi 32 ‰. S obzirom na to je takav pad u granicama minimalnog i maksimalnog dozvoljenog pada cijevi te da mjerodavan protok na toj dionici iznosi 30 l/s iz Tablice 3.1 usvojena je cijev nazivnog promjera DN 250 ($Q_{pp} = 108$ l/s). Provjera ispunjenosti za tu dionicu dana je u nastavku:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{30}{108} = 0,28 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,38 < \left(\frac{H}{H_{pp}} \right)_{\text{max.doz.}} = 0,5$$

Na dionici od čvora Č3 do čvora Č2 pad terena iznosi 7 ‰. Na dionici je usvojena cijev nazivnog promjera DN 250 te je pretpostavljeno da će se polagati paralelno s terenom $I_c = 7 ‰$. Za takve uvjete iz Tablice 3.1 je očitán protok punog profila $Q_{pp} = 50,4 \text{ l/s}$ te je u nastavku provjeren kriterij maksimalne dozvoljene ispunjenosti:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{30}{50,4} = 0,59 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,56 < \left(\frac{H}{H_{pp}} \right)_{\max.\text{doz.}} \cong 0,5$$

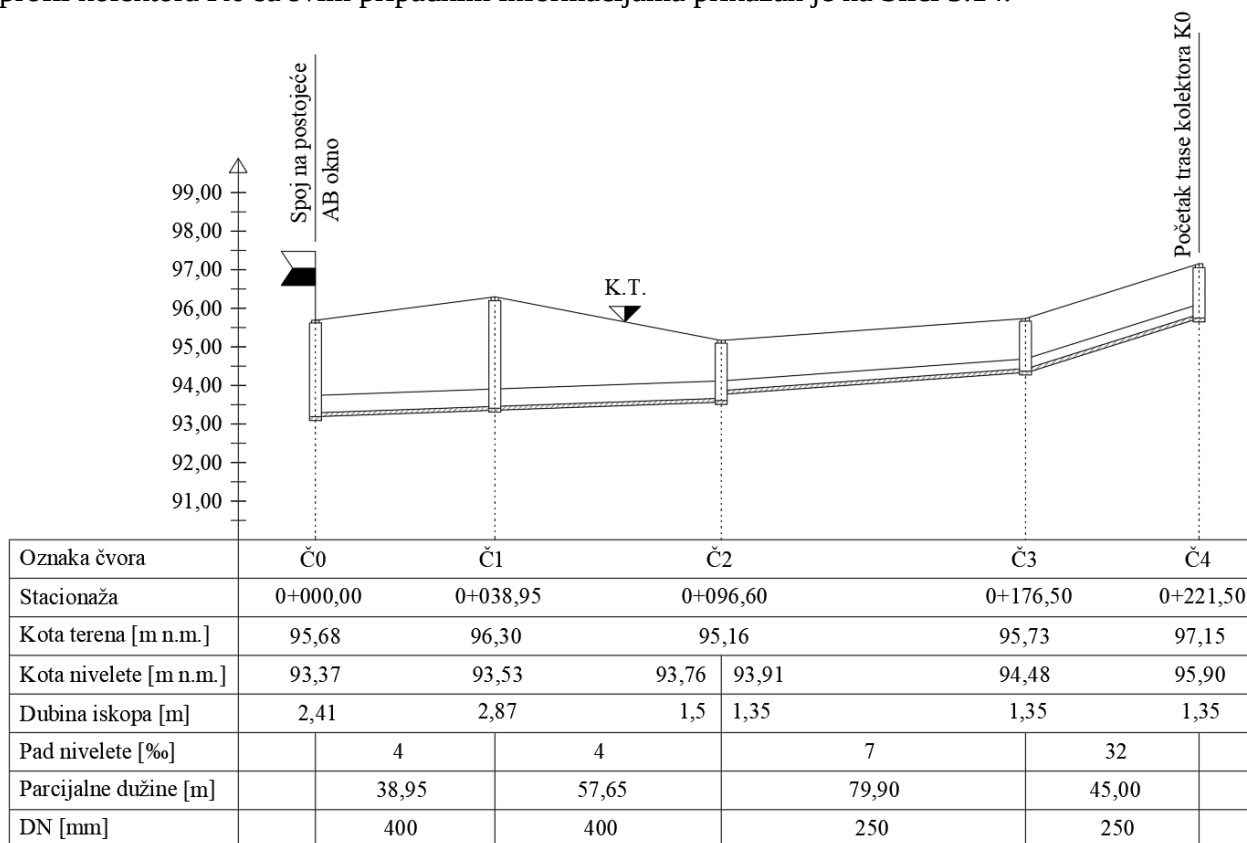
S obzirom na to da je ispunjenost cijevi približno jednaka maksimalno dozvoljenoj, usvojít će se profil DN 250.

Na dionici od čvora Č2 do čvora Č1 teren je u kontra padu. Mjerodavan protok iznosi 90 l/s. Pretpostavit će se cijev većeg promjera od prethodne dvije dionice. Prema Tablici 3.1 cijev profila DN 300 bila bi prikladna tek s padom od 20 ‰ ($Q_{pp} = 139 \text{ l/s}$). S obzirom na to da bi se tako dobile velike dubine iskopa i bez pomoći crpke se ne bi moglo priključiti na postojeće AB okno, usvojít će se promjer DN 400. Minimalan dozvoljeni pad za DN 400 iznosi približno 2,5 ‰. Kriterij maksimalne dozvoljene ispunjenosti moguće je zadovoljiti s padom $I_c = 4 ‰$ ($Q_{pp} = 133 \text{ l/s}$):

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{90}{133} = 0,67 \rightarrow \frac{H}{H_{pp}} = 0,6 < \left(\frac{H}{H_{pp}} \right)_{\max.\text{doz.}} = 0,6$$

Na dionici od čvora Č1 do čvora Č0 pad terena iznosi 16 ‰. Iako je pad terena u granicama dozvoljenog pada za cijevi DN 400, u ovom slučaju nema potrebne i tehnički nije optimalno polagati cjevovod paralelno s terenom. S obzirom na to da se dno okna u čvoru Č0 nalazi na dubini od 2,5 m na ovoj je dionici moguće položiti cjevovod s manjim padom. Na postojeće se okno moguće priključiti duž cijele visine okna, uz uvjet da se poštuje minimalna visine nadsloja iznad tjemena cijevi od 1 m. Usvojen je pad cijevi $I_c = 4 ‰$, drugim riječima, cijev se nastavlja polagati u pravcu s obzirom na prethodnu dionicu.

Ovakvim rješenjem izbjegnuta je potrebna za postavljanjem crpki na sustav, a zadovoljeni su svi projektni zahtjevi po pitanju dozvoljenih padova, ispunjenosti i dubina polaganja cijevi. Uzdužni profil kolektora K0 sa svim pripadnim informacijama prikazan je na Slici 3.14.



Slika 3.14 Uzdužni profil kolektora K0

Zadatak 3.10

Potrebno je projektirati uzdužni profil kolektora K1 (DN 400), dužine 350 m, ako nagib terena iznosi 12 ‰. Minimalna dubina iskopa treba iznositi 1,5 m, a maksimalna 4,2 m. Na uzdužnom presjeku potrebno je naznačiti objekte, stacionaže na kojima se nalaze, dubinu iskopa, pad nivelete te kote nivelete i terena u karakterističnim točkama. Stacionaža 0+000 je na koti terena 75 m n.m. Cijevi polagati u smjeru pada terena.

Rješenje

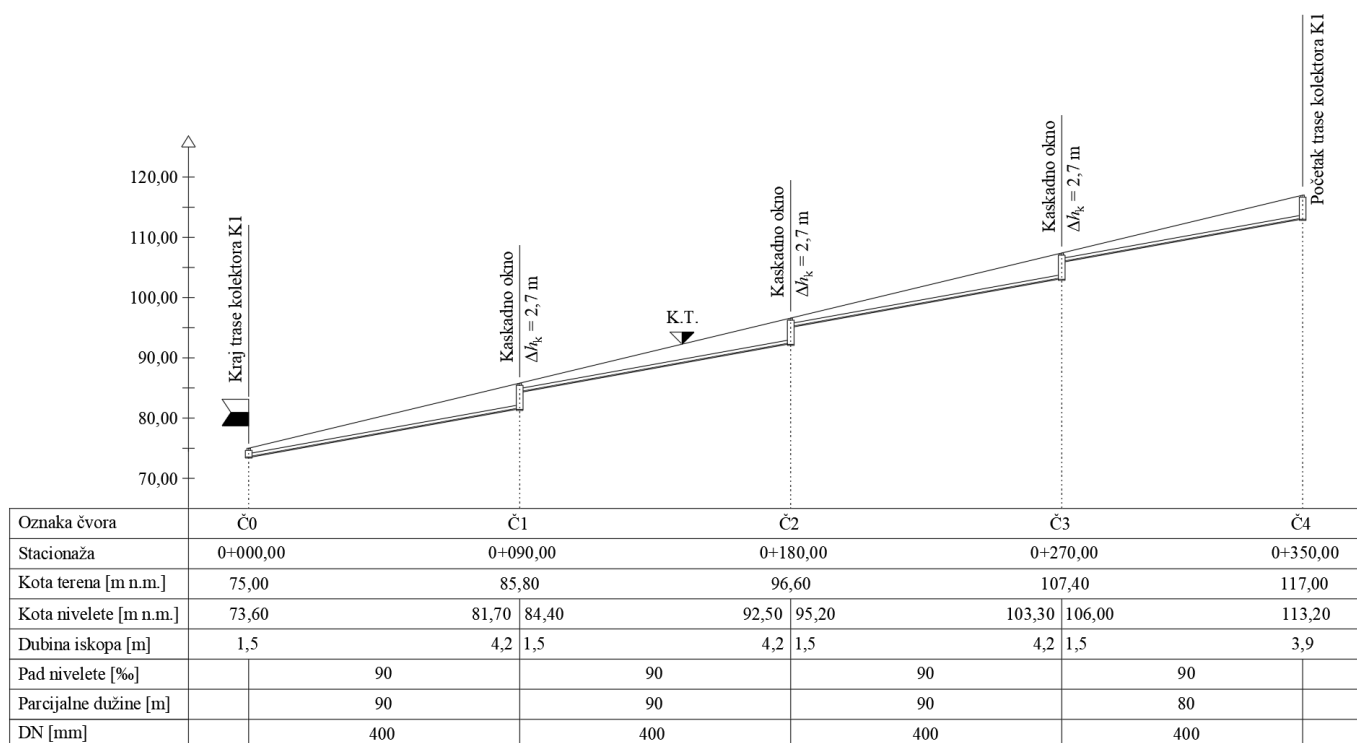
S obzirom na to da je pad terena ($I_t = 120 ‰$) veći od maksimalnog dozvoljenog pada za cijev DN 400 ($I_{\max} = 90 ‰$), nizvodno će dubina iskopa biti sve plića. Prema tome, na trasi je potrebno predvidjeti kaskadna okna. Razmak između kaskadnih okana i visinska razlika odredit će se iz razlike padova terena i cijevi (ΔI) te uvjeta minimalne i maksimalne dozvoljene dubine iskopa ($\Delta h_{d.i.}$).

$$\Delta L = \frac{\Delta h_{d.i.}}{\Delta I} = \frac{D \cdot I_{\max} - D \cdot I_{\min}}{I_t - I_c} = \frac{4,2 - 1,5}{(120 - 90)/1000} = \frac{2,7}{0,03} = 90 \text{ m}$$

Kaskadna okna potrebno je postaviti na razmaku od 90 m. Kota nivelete u krajnjem čvoru (stacionaža 0+000,00) bit će na visini od 73,60 m n.m. što odgovara minimalnoj dozvoljenoj visini nadsloja od 1 m i dubini iskopa od 1,5 m. Od čvora Č0 prema uzvodno određene su stacionaže smještaja ostalih kaskadnih okana. Ukupno su na dionici potrebna 3 kaskadna okna s razlikom ulaza i izlaza u okno od $\Delta h_k = 2,7 \text{ m}$. Posljednja dionica je kraća i iznosi 80 m, a dubina iskopa na početku trase iznosi 3,9 m:

$$K.N.Č4 = K.N.Č3(u) + (I_c \cdot L) = 106,00 + \left(\frac{90}{1000} \cdot 80\right) = 113,20 \text{ m n.m.}$$

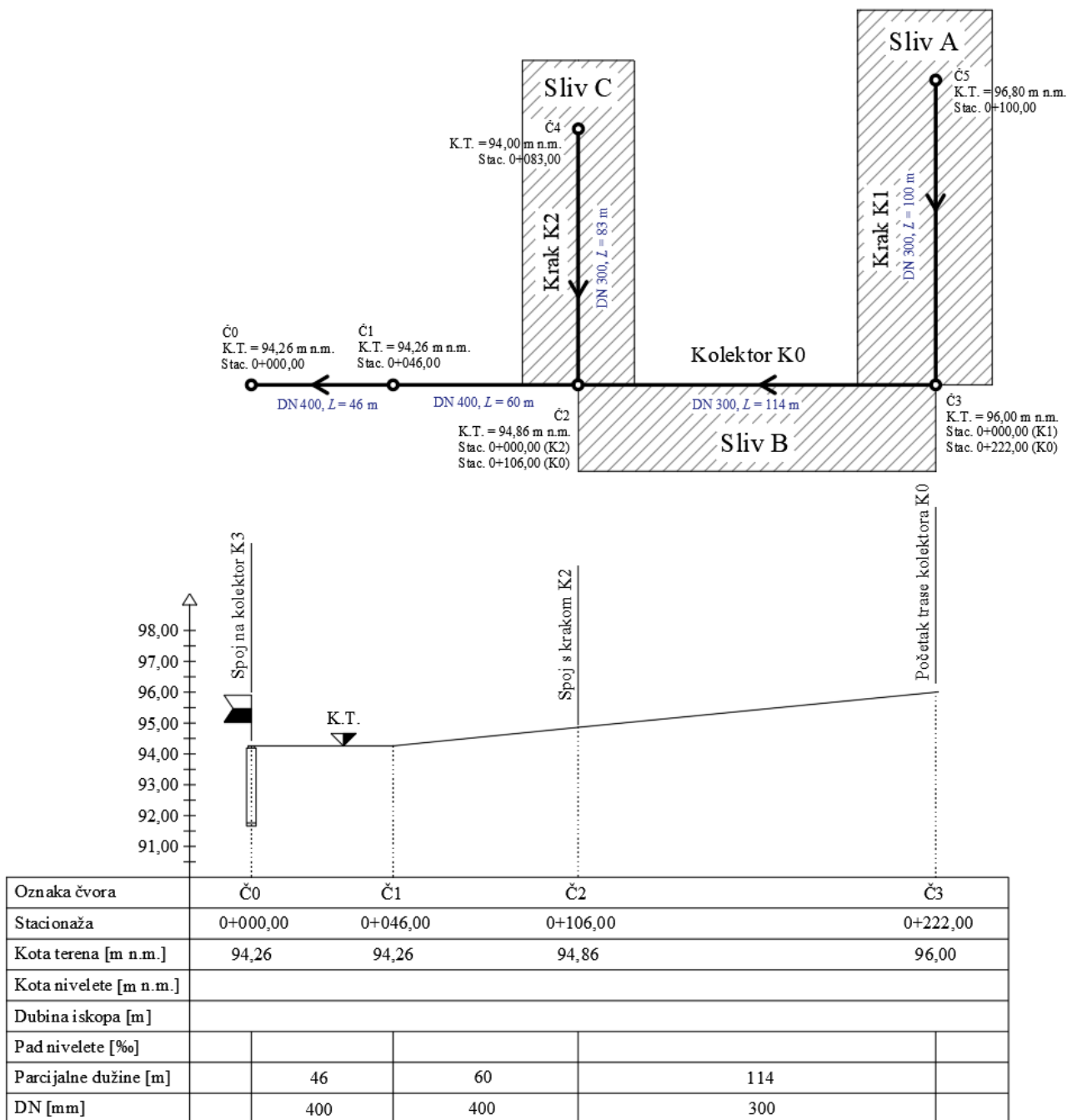
$$D.I.Č4 = K.T.Č4 - K.N.Č4 + d_p = 117,00 - 113,20 + 0,1 = 3,9 \text{ m}$$



Slika 3.15 Uzdužni profil kolektora K1

Zadatak 3.11

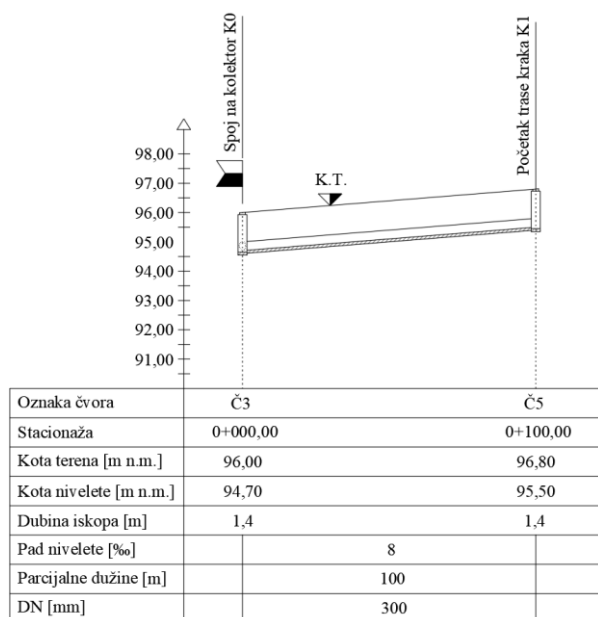
Potrebno je konstruirati uzdužne profile kolektora K0 i krakova K1 i K2. Na Slici 3.16 prikazana je situacija analiziranog područja s naznačenim profilima cijevi, dužinama dionica i kotama terena. Također, prikazan je i uzdužni profil terena od čvora Č3 do čvora Č0.



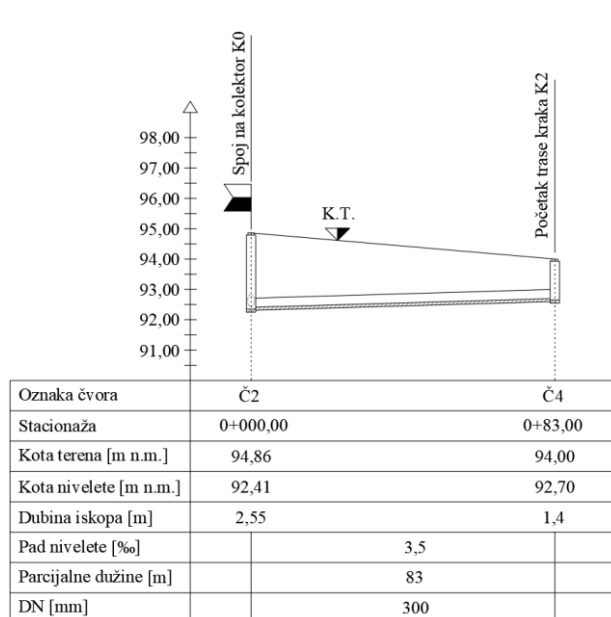
Slika 3.16 Situacija i uzdužni profil terena na mjestu kolektora K0

Rješenje

Na Slikama 3.17 i 3.18 prikazani su uzdužni profili krakova K1 i K2. Pad terena na dionici od čvora Č5 do čvora Č3 (krak K1) iznosi 8 ‰. Prema tome, predviđeno je da će se cjevovod kraka K1 polagati paralelno s terenom ($I_c = 8 ‰$) s konstantnom dubinom iskopa od 1,4 m. Pošto se na dionici kraka K2 javlja kontra pad terena, predviđeno je da će cjevovod kraka K2 polagati s minimalnim padom od $I_c = 3,5 ‰$. Kote nivelete cjevovoda prikazane su na Slikama 3.17 i 3.18.

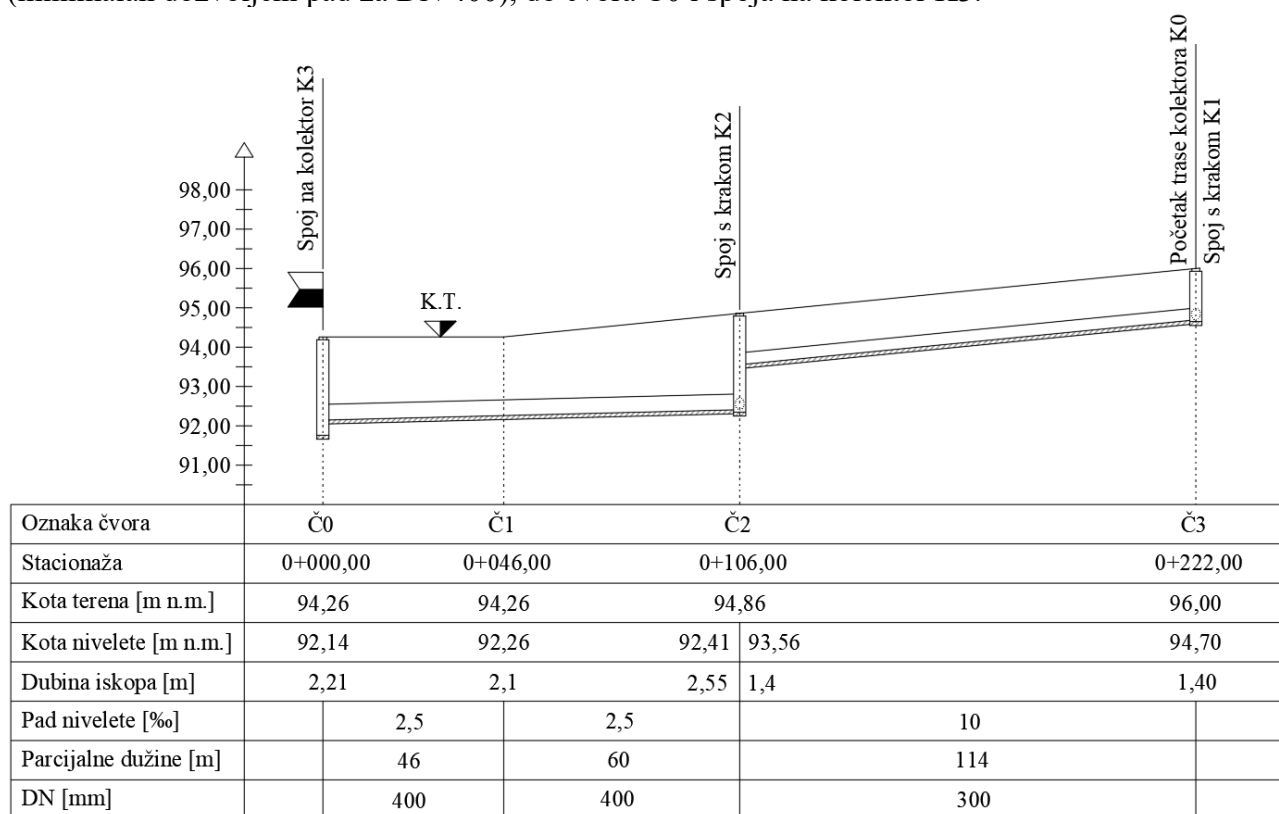


Slika 3.17 Uzdužni profil kraka K1



Slika 3.18 Uzdužni profil kraka K2

Pad terena od čvora Č3 do čvora Č1 iznosi 10 ‰ te je kolektor K0 moguće polagati paralelno s terenom. Tako je projektiran cjevovod od čvora Č3 do čvora Č2. U čvoru Č2 javlja se spoj s krakom K2. Dubina nivelete kraka K2 na čvoru Č2 iznosi 2,45 m ($D.I. = 2,55$ m) pa će prema tome ta dubina odrediti dubinu spojnog okna u čvoru Č2 i nizvodne dubine iskopa na kolektoru K0. Kota nivelete cijevi DN 400 na izlazu iz spojnog okna zadržana je na istoj visini kao i niveleta ulazne cijevi kraka K2 ($K.N. = 92,41$ m n.m.). S obzirom na to da nizvodno do čvora Č1 ima dovoljno visine nadsloja na raspolaganju, predviđeno je polagati cjevovod u pravcu, s konstantnim padom od 2,5 ‰ (minimalan dozvoljeni pad za DN 400), do čvora Č0 i spoja na kolektor K3.



Slika 3.19 Uzdužni profil kolektora K0