

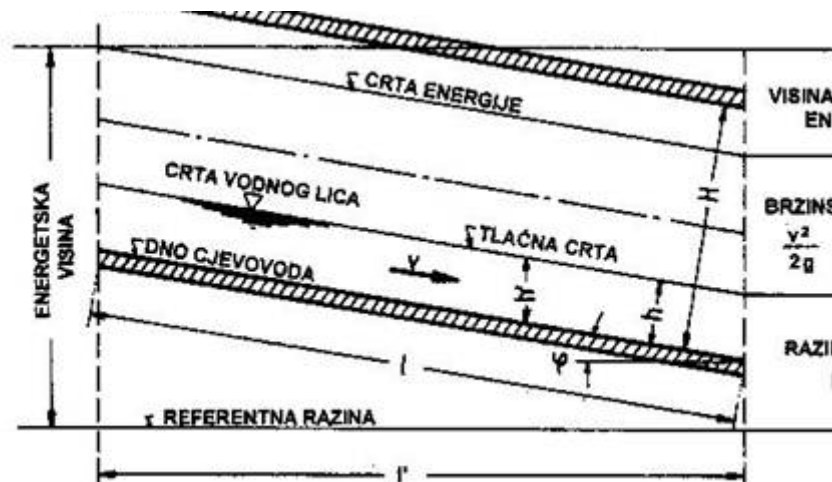


Hidraulički proračun kanalizacijske mreže

- n Kanalizacijska mreža mora biti dimenzionisana tako da u svakom trenutku omogućava nesmetanu odvodnju otpadnih voda.
- n Hidrauličko dimenzionisanje kanalizacijske mreže sprovodi se na maksimalnu satnu količinu otpadnih voda po pripadajućim dionicama mreže.
- n Režim tečenja u kanalizacijskoj mreži može biti:
 - tečenje sa slobodnim vodnim licem
 - tečenje pod pritiskom

Hidraulički proračun tečenja sa slobodnim vodnim licem

- n U kanalizacijskoj mreži tečenje je pretežno sa slobodnim vodnim licem.
- n Tečenje je najčešće turbulentno i nestacionarno, ali se proračun radi pojednostavljenja sprovodi kao turbulentno, jednoliko, stacionarno tečenje.



Grafički prikaz jednolikoga tečenja u okrugloj kanalizacijskoj cijevi

- n Jednačina srednje brzine toka v otpadne vode je:

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

- n Za okrugle cijevi (stvarnog promjera D) s ispunjenim profilom, proticajna površina A je:

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

- n Gubitak energije (energetski gubitak visine) u cijevi kružnog presjeka računa se prema Darcy-Weisbachovom izrazu:

$$\Delta H_{tr} = \lambda \frac{\Delta L}{4R} \frac{v^2}{2g}$$

- gdje je:

λ - koeficijent otpora trenja

ΔH_{tr} - gubici uslijed otpora trenja (m) (linijski gubici)

R – hidraulički radijus (m) ($R = \text{protočni presjek} / \text{okvašeni obim}$)

ΔL - dužina cijevi između dva računaska presjeka (m)

- n Pad energijske linije zbog trenja po dužini cijevi L (m) (za stacionarno strujanje) glasi:

$$I_E = I_0 = I = \frac{\Delta H}{\Delta L} = \frac{\Delta H_{tr}}{\Delta L} = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g}$$

- n Uz linijske gubitke treba uzeti u obzir i lokalne gubitke (preko koeficijenta lokalnih gubitaka ξ) te se oni mogu prikazati u kanalizaciji (u djelimično ispunjenim kanalima) zajedno preko koeficijenta ukupnih gubitaka λ_{uk} :

$$\lambda_{uk} = \lambda + \frac{4R}{\Delta L} \sum \xi$$

- n Tada se protok otpadne vode može iskazati preko izraza:

$$Q = A \sqrt{\frac{1}{\lambda_{uk}}} \sqrt{RI_E 8g}$$

$$Q = Av = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{1}{\lambda_{uk}}} \sqrt{DI_E 2g} \quad (*)$$

- n Za proračune tečenja u otvorenim kanalima preporučuje se računati prema Chezyjevoj jednadžbi s Maninngovim koeficijentom hrapavosti n gdje je brzina toka:

$$v = C \sqrt{RI_E} \quad \left(C = \frac{1}{n} R^{1/6} \right) \quad v = \frac{1}{n} R^{2/3} I_E^{1/2}$$

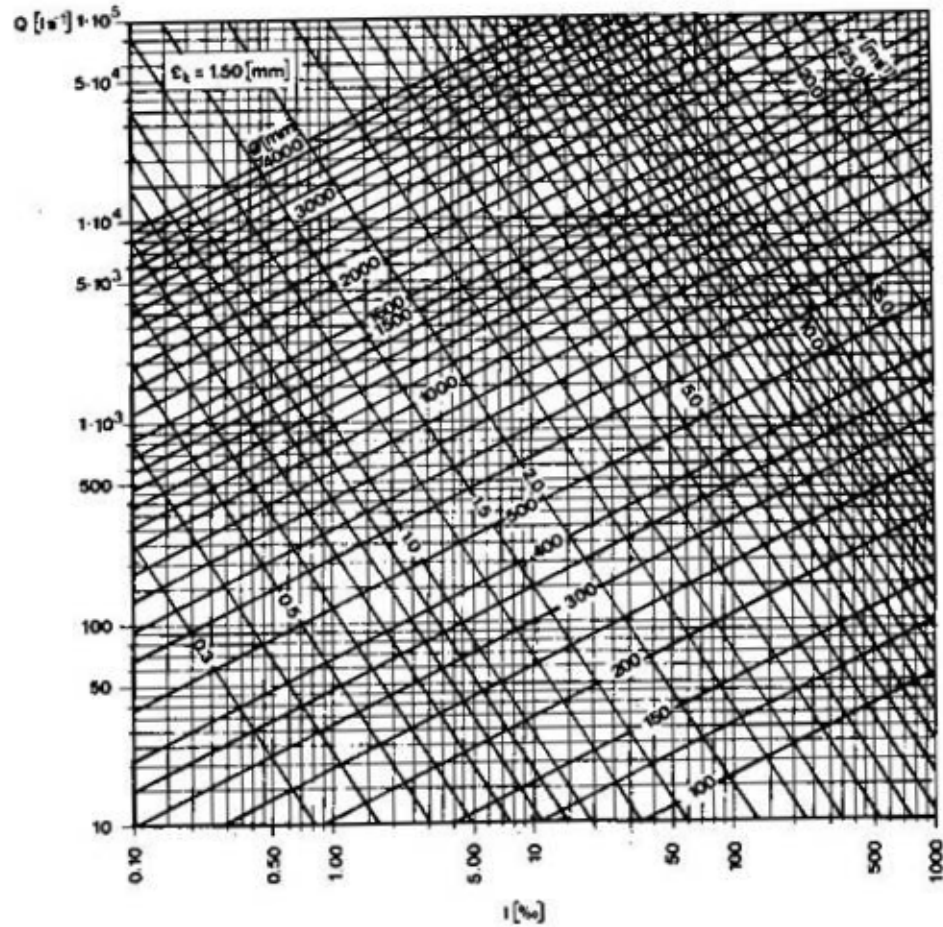
Karakter površine	Stanje površine dobro	Stanje površine obično	Stanje površine loše
Betonski kanali cementna glazura	0,012	0,013	0,015
Betonski kanali dobra oplata	0,0125	0,0135	0,0155
Betonski kanali gruba betonska obloga	0,020	0,022	0,025
Zemljani kanali čvrsti materijali	0,020	0,023	0,025
Zemljani kanali obični čisti kanali	0,022	0,024	0,0275
Kanali u stijeni	0,030	0,033	0,035
Zidani kanali lomljeni zidani kamen	0,030	0,033	0,035
Zidani kanali tesani kamen	0,014	0,015	0,017
Zidani kanali opeka	0,012	0,013	0,015

Vrijednosti Maninngovog koeficijenta hrapavosti n

- n Veza između Chezyjevog i Darcy-Weisbachovog koeficijenta otpora tečenju glasi:

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

Nomogram za okrugli oblik cijevi



Tablice za kružni i jajoliki oblik cijevi



$\epsilon_x = 1.50$ [mm]		Q [l s ⁻¹], v [m s ⁻¹]							
f [%]									
1.95		2.00		2.05		2.10		[mm]	
Q	v	Q	v	Q	v	Q	v		
○									
2.3	0.29	2.3	0.29	2.3	0.30	2.4	0.30	100	
4.1	0.34	4.2	0.34	4.3	0.35	4.3	0.35	125	
6.8	0.38	6.8	0.39	6.9	0.39	7.0	0.40	150	
14.6	0.46	14.8	0.47	15.0	0.48	15.2	0.48	200	
26.5	0.54	26.8	0.55	27.1	0.55	27.5	0.56	250	
43.0	0.61	43.5	0.62	44.1	0.62	44.6	0.63	300	
64.7	0.67	65.6	0.68	66.4	0.69	67.2	0.70	350	
92.3	0.73	93.5	0.74	94.6	0.75	95.8	0.76	400	
126	0.79	128	0.80	129	0.81	131	0.82	450	
167	0.85	169	0.86	171	0.87	173	0.88	500	
270	0.95	273	0.97	277	0.98	280	0.99	600	
405	1.05	410	1.07	416	1.08	421	1.09	700	
576	1.15	584	1.16	591	1.18	598	1.19	800	
786	1.24	796	1.25	806	1.27	816	1.28	900	
1 037	1.32	1 050	1.34	1 064	1.35	1 076	1.37	1 000	
1 333	1.40	1 350	1.42	1 367	1.44	1 383	1.46	1 100	
1 675	1.48	1 697	1.50	1 718	1.52	1 739	1.54	1 200	
2 067	1.56	2 094	1.58	2 120	1.60	2 146	1.62	1 300	
2 511	1.63	2 543	1.65	2 575	1.67	2 606	1.69	1 400	
3 010	1.70	3 048	1.72	3 086	1.75	3 124	1.77	1 500	
3 565	1.77	3 611	1.80	3 656	1.82	3 700	1.84	1 600	
4 855	1.91	4 917	1.93	4 979	1.96	5 039	1.98	1 800	
6 399	2.04	6 481	2.06	6 562	2.09	6 641	2.11	2 000	
8 213	2.16	8 318	2.19	8 422	2.22	8 524	2.24	2 200	
10 314	2.28	10 446	2.31	10 576	2.34	10 705	2.37	2 400	
12 717	2.40	12 879	2.43	13 040	2.46	13 198	2.49	2 600	
15 437	2.51	15 634	2.54	15 829	2.57	16 021	2.60	2 800	
18 488	2.62	18 724	2.65	18 957	2.68	19 188	2.71	3 000	
◐									
268	0.93	271	0.94	275	0.96	278	0.97	500/750	
433	1.05	439	1.06	445	1.08	450	1.09	600/900	
651	1.16	659	1.17	667	1.19	676	1.20	700/1 050	
925	1.26	937	1.27	949	1.29	960	1.31	800/1 200	
1 261	1.36	1 278	1.37	1 293	1.39	1 309	1.41	900/1 350	
1 664	1.45	1 685	1.47	1 706	1.49	1 727	1.50	1 000/1 500	
2 686	1.62	2 721	1.65	2 755	1.67	2 788	1.69	1 200/1 800	
4 026	1.79	4 077	1.81	4 128	1.83	4 178	1.86	1 400/2 100	

Nomogram i tabelarni prikaz hidrauličkih parametara potpuno ispunjenih cijevi prema Colebrook-Whiteovoj formuli

- n S obzirom da u kanalizaciji cijevi nisu ispunjene do vrha hidraulički parametri računaju se prema funkcijama:

$$\frac{v_d}{v_p} = f_1\left(\frac{h_d}{h_p}\right) \quad \frac{Q_d}{Q_p} = f_2\left(\frac{h_d}{h_p}\right)$$

d – djelimično
ispunjena cijev

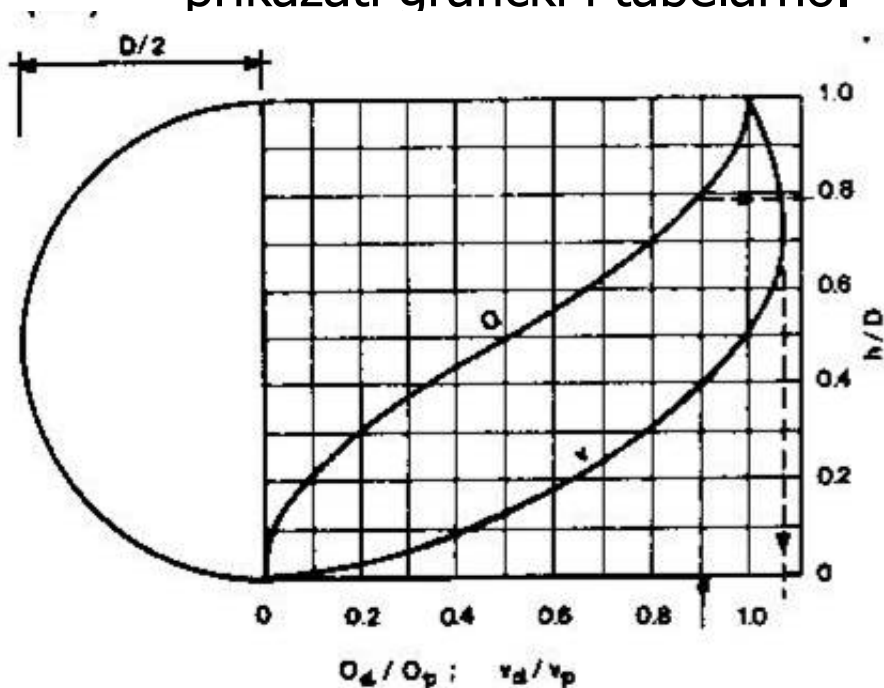
p – potpuno
ispunjena cijev

- n odnosno aproksimacijama:

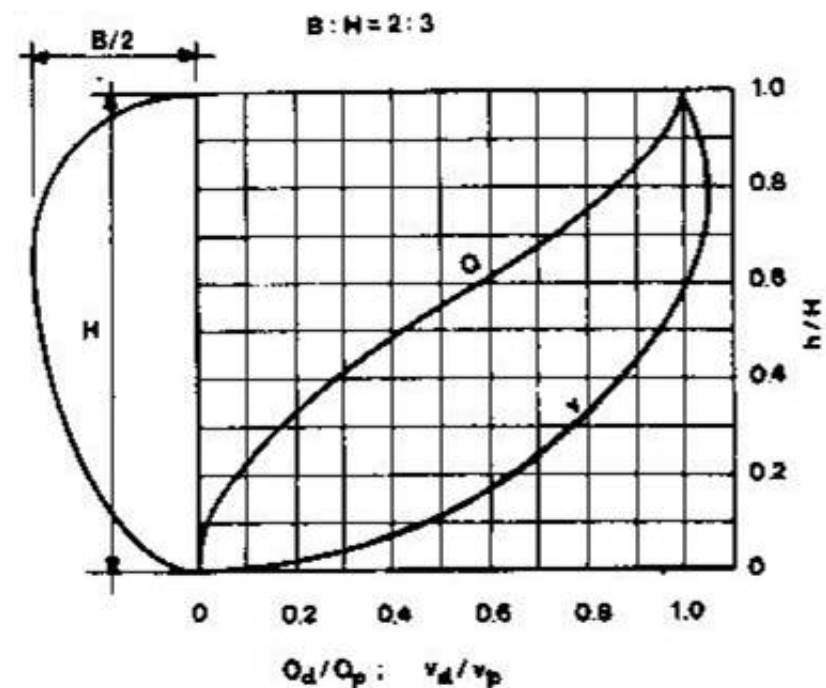
$$\frac{v_d}{v_p} = \left(\frac{R_d}{R_p}\right)^{5/8} \quad \frac{Q_d}{Q_p} = \frac{A_d}{A_p} \left(\frac{R_d}{R_p}\right)^{5/8} \quad (\#)$$

$$h_p = D$$

- n Navedeni izrazi izvedeni su za cijevi okruglog presjeka, ali se s dovoljnom tačnošću mogu koristiti za proračun drugih oblika profila.
- n Odnosi hidrauličkih parametara kanalizacionih cijevi mogu se prikazati grafički i tabelarno.



Okrugli oblik



Jajoliki oblik

Grafički prikaz odnosa hidrauličkih parametara kanalizacionih cijevi za proračun djelomično ispunjenih profila

$\frac{Q_c}{Q_p}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{v_c}{v_p}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{O}{D}$
0.001	0.023	0.17	0.00462	0.2998	0.0152	0.3045
0.002	0.032	0.21	0.00756	0.3520	0.0210	0.3597
0.003	0.038	0.24	0.00976	0.3824	0.0249	0.3924
0.004	0.044	0.26	0.01214	0.4102	0.0287	0.4227
0.005	0.049	0.28	0.01425	0.4317	0.0319	0.4464
0.006	0.053	0.29	0.01601	0.4481	0.0345	0.4646
0.007	0.057	0.30	0.01783	0.4637	0.0370	0.4822
0.008	0.061	0.32	0.01972	0.4787	0.0395	0.4991
0.009	0.065	0.33	0.02166	0.4931	0.0420	0.5156
0.010	0.068	0.34	0.02315	0.5035	0.0439	0.5276
0.011	0.071	0.35	0.02468	0.5136	0.0458	0.5394
0.012	0.074	0.36	0.02624	0.5235	0.0476	0.5510
0.013	0.077	0.36	0.02782	0.5332	0.0495	0.5624
0.014	0.080	0.37	0.02944	0.5426	0.0513	0.5735
0.015	0.083	0.38	0.03108	0.5518	0.0532	0.5845
0.016	0.086	0.39	0.03275	0.5607	0.0550	0.5953
0.017	0.088	0.39	0.03387	0.5666	0.0562	0.6024
0.018	0.091	0.40	0.03559	0.5752	0.0581	0.6129
0.019	0.093	0.41	0.03674	0.5809	0.0593	0.6198
0.020	0.095	0.41	0.03791	0.5864	0.0605	0.6266
0.022	0.100	0.42	0.04088	0.6000	0.0635	0.6435
0.024	0.104	0.43	0.04330	0.6105	0.0659	0.6576
0.026	0.108	0.45	0.04576	0.6208	0.0683	0.6697
0.028	0.112	0.45	0.04826	0.6307	0.0707	0.6825
0.030	0.116	0.46	0.05080	0.6404	0.0731	0.6951
0.032	0.120	0.47	0.05339	0.6499	0.0755	0.7075
0.034	0.123	0.48	0.05535	0.6569	0.0772	0.7167
0.036	0.127	0.49	0.05799	0.6659	0.0796	0.7288
0.038	0.130	0.50	0.06000	0.6726	0.0813	0.7377
0.040	0.134	0.50	0.06271	0.6813	0.0837	0.7495
0.045	0.141	0.52	0.06753	0.6960	0.0877	0.7699

$\frac{Q_c}{Q_p}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{v_c}{v_p}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{O}{D}$
0.410	0.445	0.95	0.33781	0.9939	0.2313	1.4606
0.420	0.451	0.96	0.34378	0.9952	0.2334	1.4726
0.430	0.458	0.96	0.35075	0.9965	0.2359	1.4867
0.440	0.464	0.97	0.35673	0.9974	0.2380	1.4987
0.450	0.470	0.97	0.36272	0.9982	0.2401	1.5108
0.460	0.476	0.98	0.36871	0.9988	0.2420	1.5228
0.470	0.482	0.99	0.37470	0.9994	0.2441	1.5348
0.480	0.488	0.99	0.38070	0.9997	0.2461	1.5468
0.490	0.494	1.00	0.38670	0.9999	0.2481	1.5588
0.500	0.500	1.00	0.39270	1.0000	0.2500	1.5708
0.510	0.506	1.00	0.39870	0.9999	0.2519	1.5828
0.520	0.512	1.01	0.40470	0.9997	0.2538	1.5948
0.530	0.519	1.01	0.41169	0.9993	0.2559	1.6088
0.540	0.525	1.02	0.41769	0.9987	0.2577	1.6208
0.550	0.531	1.02	0.42368	0.9981	0.2595	1.6328
0.560	0.537	1.02	0.42967	0.9973	0.2612	1.6449
0.570	0.543	1.03	0.43565	0.9963	0.2629	1.6569
0.580	0.550	1.03	0.44262	0.9950	0.2649	1.6710
0.590	0.556	1.03	0.44858	0.9937	0.2665	1.6830
0.600	0.562	1.04	0.45454	0.9923	0.2681	1.6951
0.610	0.568	1.04	0.46049	0.9907	0.2697	1.7072
0.620	0.575	1.04	0.46642	0.9887	0.2715	1.7214
0.630	0.581	1.05	0.47334	0.9868	0.2731	1.7335
0.640	0.587	1.05	0.47926	0.9847	0.2745	1.7457
0.650	0.594	1.05	0.48614	0.9822	0.2762	1.7599
0.660	0.600	1.05	0.49203	0.9798	0.2776	1.7722
0.670	0.607	1.06	0.49888	0.9768	0.2793	1.7865
0.680	0.613	1.06	0.50473	0.9741	0.2806	1.7988
0.690	0.620	1.06	0.51154	0.9708	0.2821	1.8132
0.700	0.626	1.06	0.51735	0.9677	0.2834	1.8255
0.710	0.633	1.06	0.52411	0.9640	0.2848	1.8400

Tabelarni prikaz odnosa hidrauličkih parametara kanalizacijskih cijevi (okruglog profila) za proračun djelimično ispunjenih profila



Ograničenja projektnih parametara kanalizacijske mreže

- n Pri dimenzioniranju kanalizacijske mreže treba voditi računa o slijedećim ograničenjima:
 - ograničenje brzina
 - ograničenje uzdužnih padova
 - ograničenje minimalnih profila
 - ograničenje visine punjenja kanala
 - ograničenje dubine ugradnje kanala




Ograničenje brzina

- n U kanalizacijskoj mreži nisu poželjne niti vrlo male niti vrlo velike brzine. Male, zbog taloženja i mogućnosti začepljenja, a velike zbog erozije i abrazije cijevi djelovanjem suspenzija u vodi.
- n Brzina toka je u funkciji hrapavosti, pada i hidrauličkog radijusa.
- n Za istu vrstu cijevi i isti pad, brzina je jedino u funkciji hidrauličkog radijusa (tj. oblika i dimenzija kanala).
- n **MINIMALNE BRZINE:**
Mogućnost začepljenja kanalizacijskih cijevi i taloženja suspenzija u njima proizlazi iz sastava vode, a zavisi od profila kolektora i brzine tečenja vode u njemu, stoga se ograničavaju minimalni profili cijevi, minimalna brzina i minimalni pad.

- n Za proračun kritične brzine v_{krit} (brzine toka prije nego dođe do taloženja) koristi se Fedorova formula:

$$v_{krit} = 1,57^n \sqrt{R}$$

$$(n = 3,5 + 0,5R)$$

Najmanje dozvoljene brzine
u okruglim kanalima 

Promjer D [mm]	Najmanja brzina v_{min} [m s ⁻¹]	Promjer D [mm]	Najmanja brzina v_{min} [m s ⁻¹]
250	0.72	800	1.00
300	0.75	900	1.04
350	0.79	1 000	1.07
400	0.82	1 100	1.10
450	0.85	1 200	1.13
500	0.88	1 300	1.16
600	0.92	1 400	1.18
700	0.97	1 500	1.20

- n Dozvoljavaju se slijedeće najmanje brzine:
- za kanalizaciju sanitarnih otpadnih voda:
 $v_{min} = 0,5$ m/s
 - za mješovitu kanalizaciju:
 $v_{min} = 0,6$ m/s (za ispunjenje od 50% na više)
 - za atmosfersku kanalizaciju:
 $v_{min} = 0,9$ m/s (zbog taloženja pijeska koji se nalazi u atmosferskoj vodi)

§ MAKSIMALNE BRZINE

Velike brzine uzrokuju eroziju i abraziju cijevi djelovanjem suspenzija u vodi.

Kod mješovite i atmosferske kanalizacije mogu se dozvoliti nešto **veće** brzine nego kod sanitarne kanalizacije.

Maksimalne brzine razlikuju se za kanale različitog materijala.

Vrsta cijevi	Najveća brzina v_{max} [m s ⁻¹]
Betonske cijevi	3.0
Armiranobetonske cijevi	4.0
Azbestcementne cijevi	4.5
Plastične cijevi	5.0
Čelične cijevi	8.0

Najveće dozvoljene brzine u kanalima



Ograničenje uzdužnih padova

- n Uzdužni padovi su zavisni od brzine stoga se uz ograničenja brzina može govoriti i o ograničenju padova.
- n Padovi su u funkciji hidrauličkog radijusa i hrapavosti stoga ako ti podaci nisu poznati može se govoriti samo o orijentacionim veličinama dok se usvojena vrijednost treba uvijek provjeriti preko brzine.

n MINIMALNI UZDUŽNI PADOVI

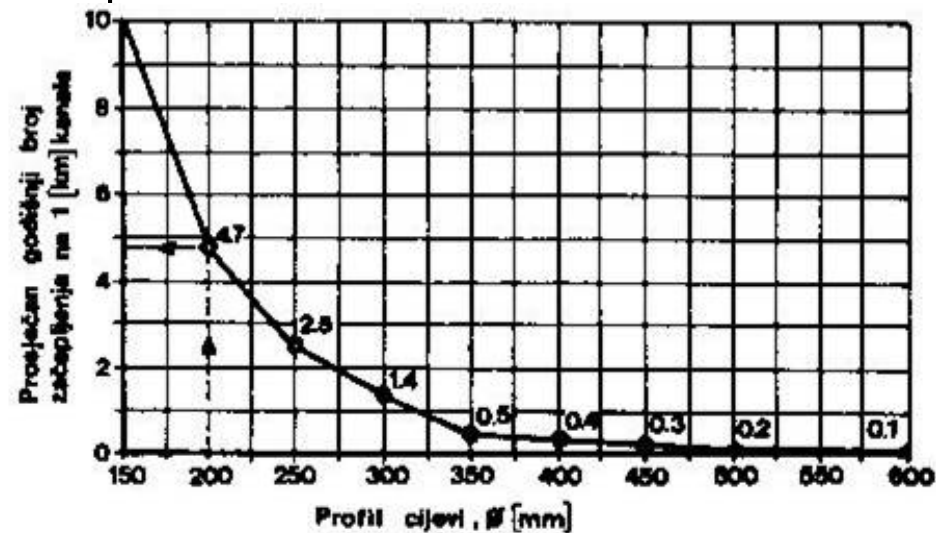
- n Određuju se iz izraza: $I_{min} = 1/D$
gdje je: I_{min} – minimalni uzdužni pad kanala u %
 D – unutrašnji promjer kanalizacione cijevi u

mm n MAKSIMALNI UZDUŽNI PADOVI

- n Određuju se iz izraza: $I_{max} = 1/D$
gdje je: I_{max} – maksimalni uzdužni pad kanala u %
 D – unutrašnji promjer kanalizacione cijevi u cm

Ograničenje minimalnih profila

- n Zbog otpadnih predmeta koji mogu uzrokovati začepljenje kanala, zbog taloženja otpadnih materija na dno kanala, zbog znatnog hidrauličkog opterećenja koje se može javiti na počecima dionica i zbog olakšanja čišćenja kanala ograničava se korištenje minimalnih profila kanala nezavisno od zadovoljenja minimalne brzine toka i ispunjenosti profila.



Prosječan godišnji broj začepljenja kanala u funkciji njegovog profila

- n U kanalizacijskoj mreži treba koristiti sljedeće minimalne profile cijevi:
 - za kanalizaciju sanitarnih otpadnih voda - 250 mm (bolje 300 mm)
 - za mješovitu i atmosfersku kanalizaciju - 300 mm (bolje 400 mm)

Ograničenje visine punjenja kanala

n Gravitacijsko tečenje sa slobodnim vodnim licem je u kanalizaciji neophodno da bi se osiguralo:

- ispravno izvođenje kućnih priključaka
- odnošenje plivajućih materija
- ventilaciju kanala
- osigurao prostor za nepredviđeni dotok tuđih (procjednih) voda

n S obzirom da u sušnom razdoblju kanalima mješovite kanalizacije teče samo sanitarna otpadna voda, a u kanalima atmosferske nema vode kod njih se dozvoljava potpuno

punjenje. **Preporučene vrijednosti visine punjenja okruglih kanala** (za ostale oblike kanala umjesto promjera kanala D koristi se visina kanala H)

Promjer kanala D [mm]	Visina punjenja h_{vp} [mm]
250 do 300	$0.60 D$
350 do 450	$0.70 D$
500 do 900	$0.75 D$
> 900	$0.80 D$





Ograničenje dubine ugradnje kanala

- n Dubina ugradnje kanala zavisi o:
 - klimatskim uslovima (mogućnost smrzavanja)
 - geomehaničkim osobinama tla
 - dubini podzemne vode
 - iznosu vanjskog opterećenja
 - dubini priključaka
 - položaju ostalih instalacija
 - veličini profila kanala
 - materijalu i načinu izvedbe kanala
- n **MINIMALNA DUBINA UGRADNJE KANALA**
 - iznosi 1,5 m mjereno od dna rova, 1,0 m mjereno od tjemena kanala
- n **MAKSIMALNA DUBINA UGRADNJE KANALA**
 - iznosi 6,0 (iznimno 7,0 m)
 - isključivo stvar ekonomskih proračuna
 - za kraće dionice i posebne situacije dozvoljavaju se i veće dubine ugradnje