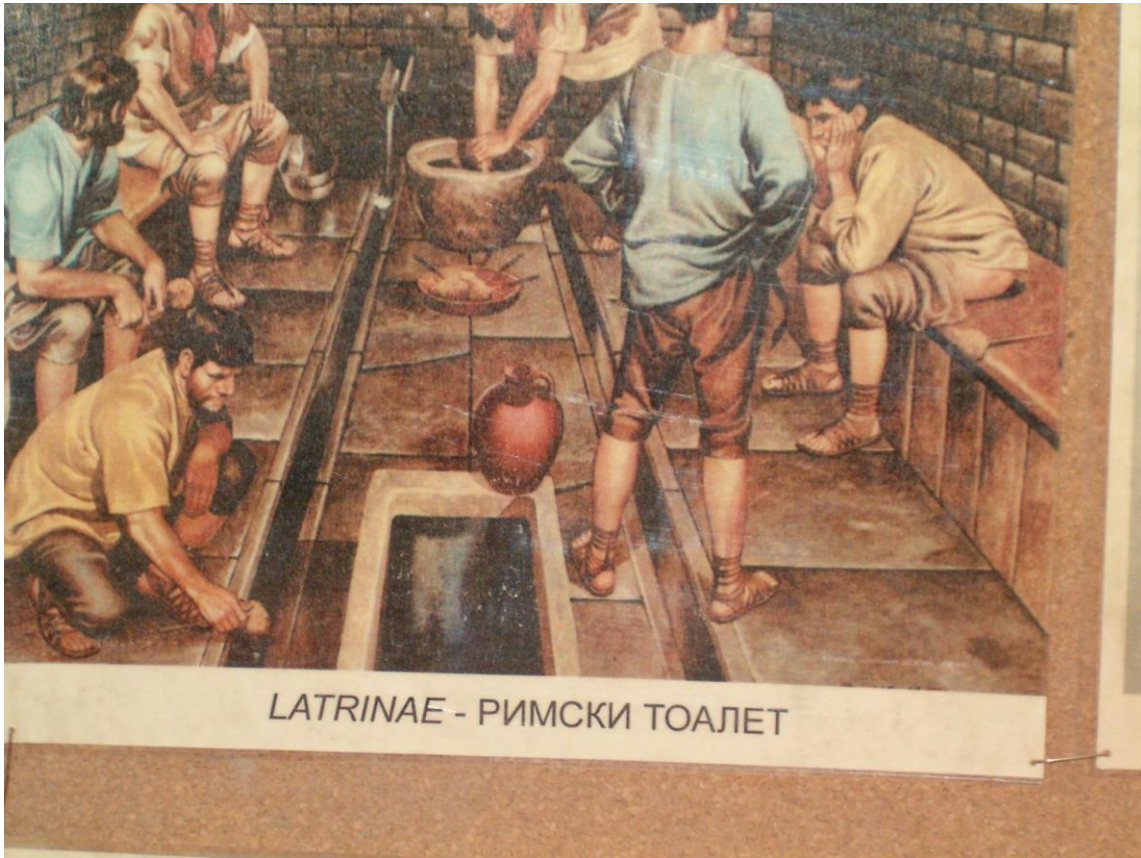


## Kanalisanje naselja

U svakoj kući u koju je uvedena voda, bilo iz sopstvenog ili iz zajedničkog vodovoda, od čiste vode koja se u njoj koristi nastaje najčešće odmah, ili sa izvesnim zakašnjenjem, ista količina upotrebene vode. Ova upotrebena voda sadrži različite mineralne i prljave organske materije, koje su najčešće škodljive a ponekad i opasne. One se moraju odmah odstraniti iz kuće, i to najbolje kroz sistem zatvorenih kanala.



SLIKA – Javni toalet u Efesu II vek n.e.



LATRINAE - РИМСКИ ТОАЛЕТ

Iz usamljenih kuća ove vode se mogu odvesti u podzemlje i na taj način učiniti neškodljivim. U naseljima je ovakvo odvođenje nepodesno jer se na taj način mogu zagaditi podzemne vode, a samim tim i bunari. Zbog toga je najpodesniji, iako ne uvek najjeftiniji, način odvođenje domaćih upotrebljenih voda sistemom podzemnih zatvorenih kanala, koji su tako projektovani i izvedeni da se u njima ne taloži suspendovani materijal, koga u upotrebljenoj vodi ima u velikim količinama.

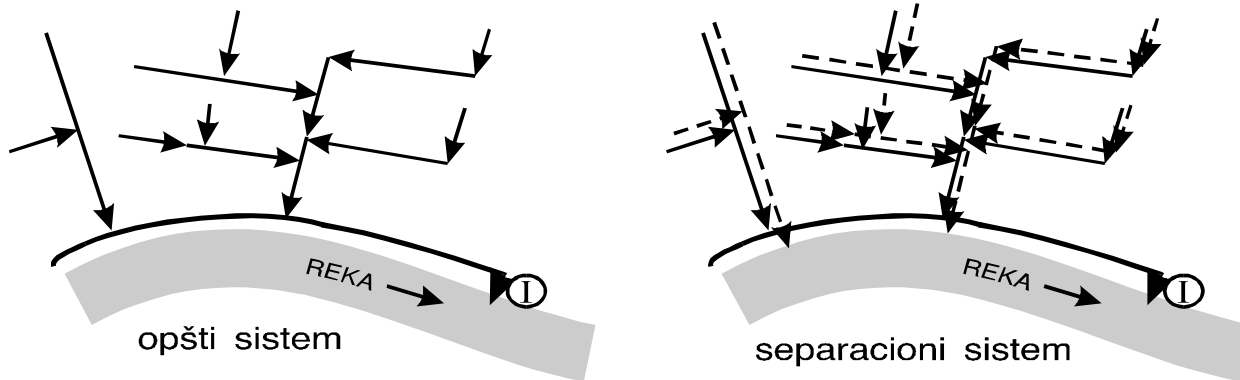
U naseljima često velike nevolje čini i atmosferska voda. Kiša koja pada na krovove i druge površine pokrivene vodonepropustljivim materijalima sliva se u znatno većim količinama nego van naselja, gde se veliki deo vode zadržava na rastinju ili upija u zemlju. Iz ovih razloga se i kišnica sa saobraćajnih i popločanih površina mora odvoditi kanalima van naselja.

Industrija takođe troši velike količine vode čiji se najveći deo ispušta kao upotrebljena voda i koja često može biti veoma škodljiva. Industrijske upotrebljene vode se u najvećem broju slučajeva ne smeju upuštati u podzemlje, čak se često ne smeju uvoditi ni u gradsku kanalizaciju bez prethodne prerade.

Stoga se u velikim naseljima, kao i u savremenim malim naseljima sa većom gustinom naseljenosti, sve atmosferske, domaće i industrijske upotrebljene vode, a ponekad i podzemne vode koje ugrožavaju naselje, odvođe odgovarajućim mrežama kanala.

Ako se sve ove vode odvede jedinstvenom kanalskom mrežom iz svih delova grada onda se kaže da je kanalska mreža izgrađena po opštem sistemu. Ovaj sistem je najprostiji a ponekad i najjeftiniji.

Ako se pojedine vrste otpadnih voda odvede posebnim kanalskim mrežama kaže se da je kanalizacija izgrađena po separacionom sistemu. U separacionom sistemu najčešće se jednom mrežom kanala odvodi kišnica i voda od pranja ulica, a drugom se odvede upotrebijene vode. U velikim industrijskim zonama može postojati i treća mreža kanala, kojima se upotrebijene vode iz tehnološkog procesa odvede na prečišćavanje a zatim u gradsku kanalizacionu mrežu.



Bez obzira koji se od ova dva sistema primenjuje, fekalni kanali moraju postojati u svim delovima naselja gde se kanalizacija planira. Kišne vode se ne moraju priključiti u kanalizaciju u svim delovima naselja. U ulicama sa malim obimom saobraćaja i sa dovoljno velikim nagibom koji gravitira nekom pogodnom prirodnom odvodniku, kišnica se može pustiti da slobodno otiče. U drugim slučajevima ona se može prihvatiti na podesnim mestima u zatvorene kanale i njima sprovesti kroz one delove grada gde bi mogla naneti štetu. U malim naseljima neracionalno je graditi kišnu kanalizaciju. Tada se gradi samo kanalizacija za upotrebljenu vodu a kišnica se odvodi plitkim rigolama pored trotoara.

Sistemi kod kojih se neka od otpadnih voda iz pojedinih delova grada ne odvodi u javnu kanalizaciju nazivaju se nepotpuni sistemi. Nepotpuni sistemi razlikuju se od poluseparacionih sistema kod kojih se fekalne vode, voda od pranja ulica i prvi naleti kišne vode odvede jednom mrežom kanala a ostatak kišne vode drugom.

Za industrijske upotrebljene vode, mreža se sprovodi kroz industrijske zone da bi se zatim, ponekad pod posebnim, veoma složenim uslovima, uvela u gradsku kanalizaciju.

## Opšte šeme sistema za kanalisanje naselja

Građevine koje predstavljaju delove sistema za odvođenje otpadnih voda mogu se podeliti u četiri grupe

- (A) Mreža kanala za sakupljanje upotrebljenih i atmosferskih voda. Sem samih kanala<sup>3</sup> ovde spadaju i drugi specijalni objekti kao što su prelive za rasterećivanje mreže ili retenzioni baseni za smanjivanje oscilacija proticaja vode kroz kanale, kaskade i drugo.
- (B) Kolektori<sup>4</sup> za odvođenje vode od naselja do ispusta, zajedno sa kaskadama ili crpnim stanicama ako su potrebne.
- (C) Postrojenja za prečišćavanje otpadne vode pre upuštanja u recipijent<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Kanalom se ovde podrazumevaju kanalizacione cevi manjih profila, takozvana sekundarna mreža, ali kada je u pitanju kišna voda može se raditi i o otvorenim kanalima.

<sup>4</sup> Kolektorima se obično nazivaju kanali većeg profila, različitog poprečnog preseka. Kolektori su elementi primarne kanalizacione mreže.

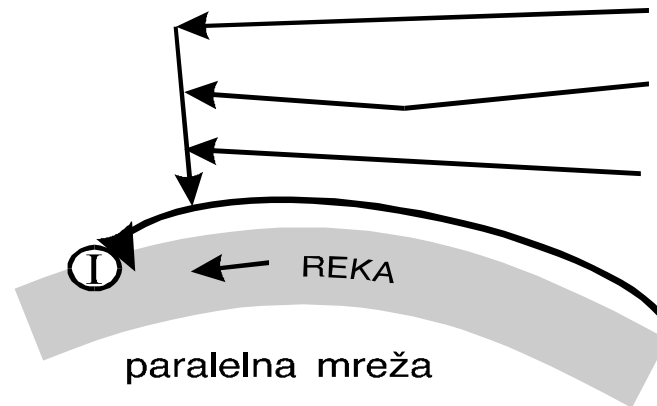
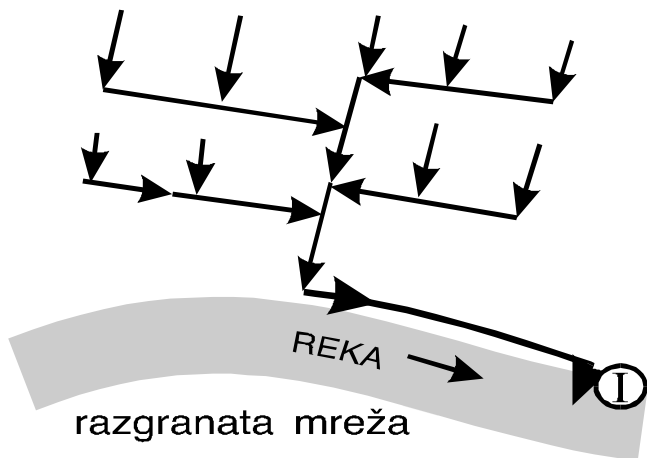
<sup>5</sup> Recipijent ili prijemnik otpadne vode može biti reka dovoljnog kapaciteta, jezero, more, podzemlje

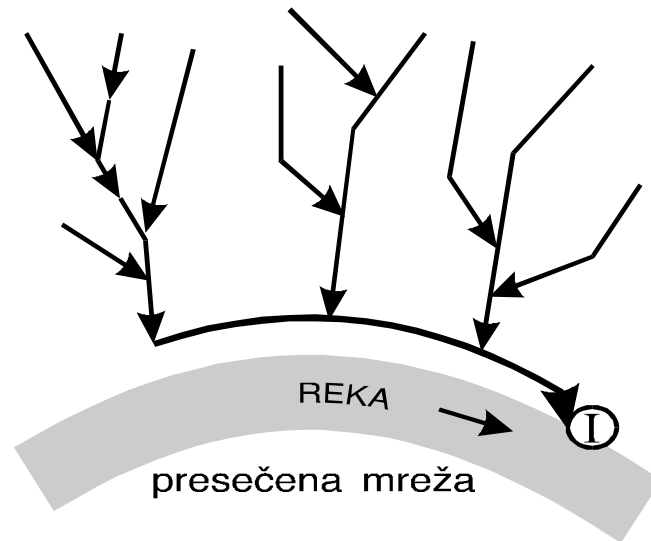
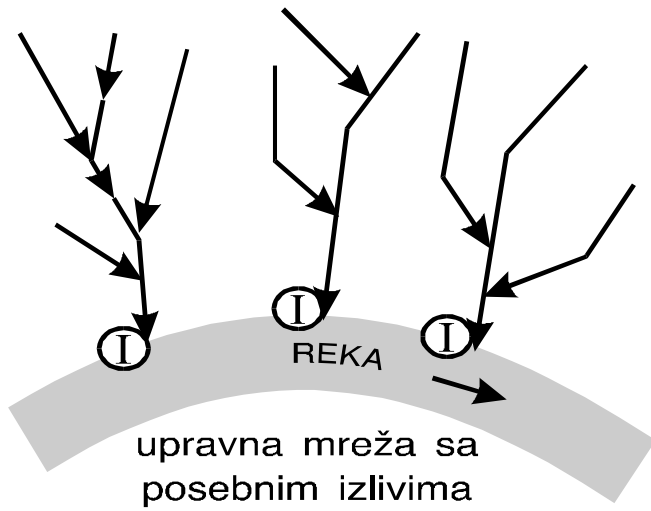


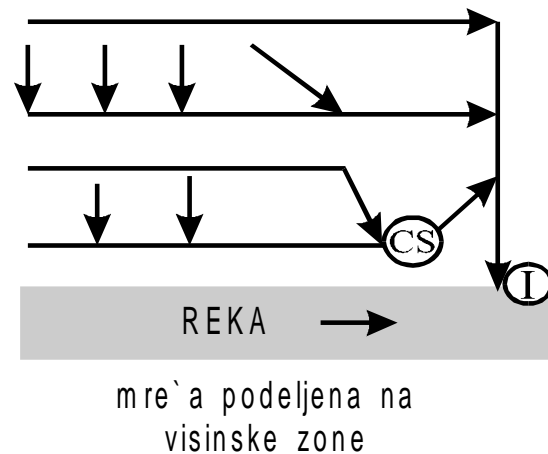
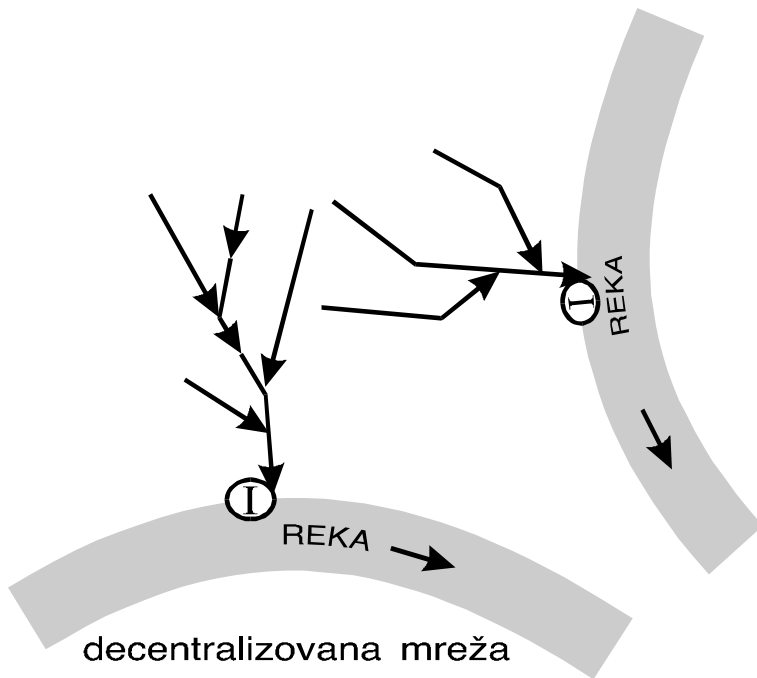
Slika Postrojenje za prečišćavanje otpadne vode

- (D) Ispusti - objekti za ispuštanje kanalskog sadržaja posle prečišćavanja u prirodni recipijent.

Na sledećim slikama date su uobičajene osnovne šeme kanalisanja naselja sa dispozicijom ispusta.







Najvažnija tačka u kanalizacionoj mreži jeste ispust u odvodnik. Zbog toga je prvi posao u projektovanju nove kanalizacije jednog naselja izbor odvodnika i mesta ispuštanja otpadne vode u njega. Za odvodnik se bira onaj vodotok koji ima veliku masu čiste vode te će se u njemu

najmanje osetiti rđave posledice zagađenja. Drugi uslov za izbor odvodnika proističe iz uticaja odvodnika na kanalsku mrežu, odnosno nivoa vode u njemu, jer se ne sme dopustiti povraćaj vode iz odvodnika u kanalizacionu mrežu pri visokim vodostajima.

Kanalska mreža se projektuje i gradi tako da profil kanala bude samo delimično ispunjen, odnosno da voda kroz njih protiče sa slobodnim ogledalom a da iznad vode nesmetano struje gasovi koji se razvijaju iz kanalske vode i vazduh, tako da se voda što duže zadrži u svežem stanju. Zbog toga će biti izabran onaj odvodnik u kome su promene nivoa male i čiji je najviši vodostaj najniži u odnosu na površinu koja se odvodnjava. Takav odvodnik će dopustiti da se kanalima daju najveći nagibi dna i vezano s tim najmanji prečnici.

Visok nivo vode u jedinom raspoloživom odvodniku može da izazove uspor u kanalima pa čak i povraćaj vode i plavljenje naselja. Zbog toga se u nekim slučajevima kanalski sadržaj mora ispuštati u odvodnik preko crpne stanice. Ponekad su neki delovi naselja dovoljno visoko u odnosu na odvodnik pa ne postoji opasnost od plavljenja dok drugi nisu. U tom slučaju vrši se podela na visinske zone, tako što se iz više zone voda upušta gravitaciono a iz niže preko crpne stanice.

Udaljenost mesta ispuštanja takođe je od značaja, što iz ekonomskih razloga, što zbog toga jer voda koja predugo putuje može izmeniti svoje hemijske osobine u negativnom smislu.

Ako postoji mogućnost izbora između više odvodnika, osim ranije navedenih kriterijuma, potrebno je voditi računa i o tome da se u izabranom odvodniku u daljoj budućnosti neće javiti takve promene koje će otežavati uslove za ispuštanje otpadne vode (planirana gradnja akumulacije uzvodno ili nizvodno od ispusta i sl.).

Ukoliko je recipijent reka, uobičajeno je da kanalizacioni ispust gradi nizvodno od naselja, čime se praktično i upotrebljene vode odvode nizvodno od naselja<sup>6</sup>.

## **Izbor sistema za kanalisanje**

Izbor sistema za kanalisanje vrši se prema sanitarnim potrebama i zahtevima kao i prema tehničkim i ekonomskim mogućnostima a na osnovu svestranog proučavanja uslova kao što su

- ⇒ Količina domaćih i industrijskih upotrebljenih voda i količina kišne i podzemne vode, karakter i stepen njihove izgrađenosti;

---

<sup>6</sup> U Nemačkoj je, nasuprot tome, na snazi propis po kome se ispusti kanalizacije moraju postavljati uzvodno od naselja. Namera zakonodavca je bila da natera lokalne zajednice da grade postrojenja za prečišćavanje, jer bi u protivnom zagađivali sopstveno područje. Naime, ukoliko se neprečišćena otpadna voda ispušta nizvodno od naselja, ona se posrednim putem “distibuira” svim nizvodnim naseljima.

- ⇒ Mogućnost zajedničkog odvođenja i prečišćavanja industrijskih i domaćih upotrebljenih voda;
- ⇒ Moć prirodnog prečišćavanja u prirodnom odvodniku;
- ⇒ Sanitarni zahtevi i potreban stepen prečišćavanja otpadnih voda pre upuštanja u odvodnik;
- ⇒ Reljef terena;
- ⇒ Položaj instalacije za prečišćavanje;
- ⇒ Karakter naselja, širina ulica i vrsta njihovog pokrivača.

Ne može se reći da je bilo koji sistem u opštem slučaju bolji, već za svaki pojedinačan slučaj treba tražiti najracionalnije rešenje. Treba proceniti koristi i štete od primene bilo kog od navedenih sistema pa se odlučiti za onaj od koga su koristi najveće a štete najmanje.

U narenom tekstu navedene su prednosti i mane opšteg i separacionog sistema.

## (A) Opšti sistem

Povoljne osobine opšteg sistema kanalizacije su

- ⊕ Sve otpadne vode odlaze po pravilu nizvodno od naselja i tamo se, ako je to potrebno, prečišćavaju;
- ⊕ I kad postoje prelivi, prve, najzagađenije količine kišne vode odlaze zajedno sa upotrebljenim vodama;
- ⊕ Ako se kišnica u nekim krajevima grada može zagaditi (na primer u industrijskim zonama) ona se mora, sa prečišćavanjem, ispuštati zajedno sa upotrebljenim vodama;
- ⊕ Jedinstvena mreža kanala je prostija i jeftinija za gradnju i održavanje;
- ⊕ Povećanje specifične potrošnje vode (l/st/dn) ne utiče na rad mreže jer su ove količine neznatne u odnosu na količinu kišnice prema kojoj se mreža dimenzioniše

Nepovoljne osobine opšteg sistema kanalizacije su

- ⊘ Usled uspora može doći do izlivanja fekalnih voda na ulice;
- ⊘ Zagađivanje odvodnika kišnicom pomešanom sa upotrebljenom vodom pre prelivanja;

- ∅ Veliki profili kanala, što je skupo za građenje, koji se koriste samo ponekad, dok za vreme suše mali proticaji mogu izazvati taloženje;
- ∅ Otežan rad postrojenja za prečišćavanje zbog promenljivog proticaja i naglog snižavanja temperature u proleće i jesen, što je najznačajnije kod biološkog prečišćavanja;
- ∅ Kišnica mora ponekad da se odvodi nizvodno od naselja;
- ∅ Zahteva odmah investicije za odvođenje kišne vode;
- ∅ Potrebno je prečišćavanje i kišnice ako reka presušuje.

## (B) Separacioni sistem

Povoljne osobine separacionog sistema su

- ⊕ Postepeno odvođenje - najpre se odvede najzagađenije, upotrebljene vode;
- ⊕ Ako reka presušuje kišnica se ne mora prečišćavati;
- ⊕ Preopterećenje kišnih kanala ne izaziva izlivanje upotrebljenih voda na ulice;
- ⊕ Manja početna ulaganja nego za opšti sistem jer je moguće prvo izgraditi fekalnu a tek kasnije kišnu kanalizaciju;
- ⊕ Mreži za kišnu vodu mogu se dati veći nagibi jer ima više ispusta pa time i manje dimenzije;

- ⊕ U slučaju kišne kanalizacije sa više ispusta racionalno je izgraditi fekalnu kanalizaciju sa samo jednim ispustom nizvodno od naselja i eventualnim prečišćavanjem

Nepovoljne osobine separacionog sistema su

- ∅ Kišnica se upušta u odvodnik bez prečišćavanja pa tako i prve, najzagađenije, količine kao i voda od pranja ulica;
- ∅ Građenje i eksploatacija dva sistema kanala, dvostruki kućni spojevi, duplo više silaza, ukrštanja;....

Kod nepotpunog opšteg sistema važe iste dobre i loše osobine opšteg sistema, a kod nepotpunog separacionog - separacionog sistema.

## **Količine vode u kanalizacionoj mreži**

Količina vode koja se odvodi kanalima zavisi od veličine područja koje je opremljeno kanalizacijom i njegovih hidroloških karakteristika, od broja stanovnika priključenih na kanalizaciju, od njihove specifične potrošnje vode i od sistema kanalisanja. Pri tome se uzimaju u obzir sve ranije navedene vrste otpadnih voda.

## **Kućne upotrebene vode**

Gotovo sva količina čiste vode koja se potroši u domaćinstvu pretvara se, sa manjim ili većim zakašnjenjem, u upotrebenu vodu. Prema tome za količinu kućne upotrebene vode važi isto što i za potrošnju čiste vode. Po nekim autorima, međutim, računa se sa količinama 20 do 30% manjim od količine vode potrošene iz vodovoda, što se objašnjava činjenicom da voda od zalivanja parkova ponire u zemlju, da su u potrošnju čiste vode uračunati i gubici iz mreže i slično. Ovo je opravdano jedino kada se radi o separacionom sistemu.

Količina upotrebene vode zavisi između ostalog i od opremljenosti kuća vodovodnim instalacijama. Orijehtacione vrednosti količina upotrebene vode u zavisnosti od opremljenosti vodovodnim instalacijama u stanovima date u sledećoj tabeli:

Opremljenost zgrada	Srednja potrošnja (l/st/dn)	Najveća potrošnja (l/st/dn)
Zgrade sa vodovodom i kanalizacijom ali bez kada	60 - 80	70 - 100
Zgrade sa vodovodom i kanalizacijom sa kadama i individualnom toplom vodom (bojleri)	90 - 120	110 - 150
Zgrade sa vodovodom i kanalizacijom sa kadama i centralizovanim zagrevanjem vode	150 - 200	175 - 225

Upotrebljena voda ne teče kroz kanale neprekidno i u nepromenljivoj količini. Proticaj se menja slično kao kod vodovoda, međutim vrhovi proticaja kod kanalizacione mreže su manji nego kod vodovoda usled dejstva akumuliranja vode u kanalima u kojima treba da se poveća visina punjenja da bi proticajni kapacitet porastao, kao i usled zakašnjenja. U našim uslovima može se koristiti isti koeficijent dnevne neravnomernosti kao za vodovod,  $K_{\max}^{dn} = 1.5$ , ali se mora voditi računa da ovaj koeficijent zavisi od veličine i karaktera naselja i ne sme se nekritično primenjivati. Kada se ne raspolaže podacima o  $K_{\max}^{dn}$  i  $K_{\max}^{cas}$ , za prosečne slučajeve se mogu koristiti podaci iz naredne tabele u kome su dati opšti koeficijenti neravnomernosti proticaja upotrebljenih voda u naselju gde je

$$K_{opsti} = K_{\max}^{dx} \times K_{\max}^{cas}$$

u zavisnosti od ostvarenih proticaja:

Proticaj (l/s)	$K_{opsti}$
5	2.2
10	2.1
15	2.0
30	1.9
50	1.8
90	1.7
180	1.6
350	1.5
500	1.4
800	1.35
1250	1.3
1900	1.25
>1900	1.2

## **Industrijske upotrebljene vode**

Količine vode koje ispušta industrija približno odgovaraju količinama čiste vode koje se tamo troše. Pri tome treba imati u vidu da industrija koristi ponekad i vodu iz posebnih izvorišta ili tehnološku vodu a sva ta količina se može naći u kanalizacionom sistem.

Proticaje je najsigurnije meriti na licu mesta jer su orijentacioni podaci iz literature nesigurni<sup>7</sup>.

## **Atmosferske vode**

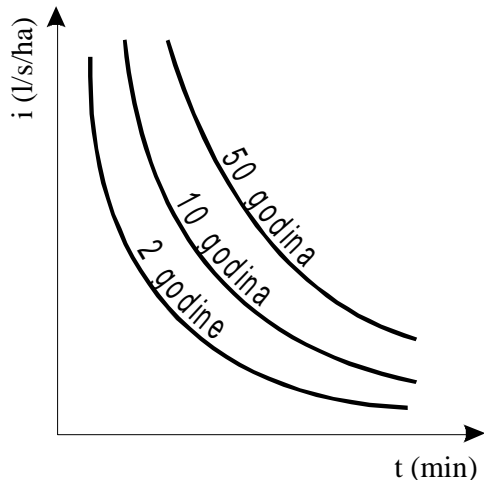
Proticaji u kanalima koji potiču od atmosferske vode veoma su promenljivi u toku godine. U toku suše proticaj atmosferske vode je jednak nuli, dok za vreme kiše on može naglo da naraste toliko da premaši zapreminu ostalih otpadnih voda i do sto puta.

Kiše se karakterišu trajanjem, intenzitetom, učestanošću, a pored toga još i rasporedom intenziteta u toku trajanja i po površini koju zahvataju, pravcem kretanja i dobom godine u kome se javljaju. Prve tri karakteristike su od najvećeg značaja i o njima se najčešće vodi računa.

---

<sup>7</sup> Podaci koji se u literaturi mogu naći relativno su stari i ne uvažavaju različite tehnologije sa različitom potrošnjom čiste vode u tehnološkom procesu po jedinici proizvoda.

Po trajanju kiše mogu biti različite, od nekoliko minuta do nekoliko časova. Između trajanja i intenziteta, jačine (l/s/ha) kiše, ne postoji funkcionalna zavisnost. Kiše istog trajanja mogu imati veoma različite jačine. Zapaža se međutim da se kiše podjednakog trajanja a različitih intenziteta javljaju sa više-manje pravilnom učestanošću. Kiše većeg intenziteta javljaju se pri tom ređe nego kiše slabijeg intenziteta. Obradom velikog broja podataka o padavinama dolazi se do statističke zavisnosti između trajanja, jačine i učestanosti kiše, koje se mogu prikazati bilo u vidu dijagrama bilo u vidu jednačina.



Ako se prikazu kao krive sa učestanošću kao parametrom, onda se ove krive nazivaju redovi podjednako ekonomičnih računskih kiša. Iz celog niza kiša koje su se javile u posmatranom vremenskom periodu, za projektovanje mreže se odabira samo jedna merodavna kiša za određivanje kapaciteta kanala. Kao merodavna kiša bira se neka slabija kiša koja se češće javlja s tim što se dozvoljava da se kišnica pri jačim kišama zadržava na terenu izvesno vreme. Da bi se našao ekonomski optimum potrebno je da se odredi zbir godišnjih troškova kanalske mreže dimenzionisanih prema određenoj kiši i matematički očekivanog gubitka usled šteta koje mogu izazvati kiše jače od merodavne.

Za Beograd je merodavna desetominutna kiša, sa povratnim periodom od 2 godine, čiji je intenzitet  $i=145$  l/s/ha.

Savremene metode proračuna oticanja kišne vode, metode hidrograma, zahtevaju poznavanje celog toka kiše, odnosno rasporeda jačine kiše u toku vremena.

Sva količina vode koja padne na površinu naselja ne otiče u kanalizaciju već jedan deo isparava i ponire. Koeficijent oticaja  $\Psi$  predstavlja razmeru između količine vode koja dopire u kanale i one koja pada na površinu terena. Njegova se vrednost menja u toku kiše, ona zavisi i od toga da li je zemljište već zasićeno vodom ili ne, međutim o ovome se u proračunima obično ne vodi računa.

Za naselja sa različitim namenama površina ili tipova gradnje mora se sračunati srednji koeficijent oticaja polazeći od površina različitih namena ili tipova gradnje  $F_i$  sa poznatim koeficijentima oticaja  $\Psi_i$ . Tada se srednji koeficijent oticaja dobija kao

$$\Psi_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n \Psi_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

gde su:

- $F_i$  površine sa različitim koeficijentima oticaja
- $\Psi_i$  koeficijent oticaja površine  $F_i$

U narednoj tabeli date su srednje vrednosti koeficijenata oticaja za različite površine odnosno različite tipove naselja:

Vrsta površine - tip gradnje	Koeficijent oticaja $\Psi$
Krovovi pokriveni limom i škrljcem	0.95
Krovovi sa crepom ili lepenkom	0.90
Krovovi pokriveni cementom	0.50-0.70
Asfaltirane površine	0.85-0.90
Zalivena kaldrma	0.80-0.85
Pravilna prizma, nezalivena	0.50-0.70
Turska kaldrma	0.40-0.50
Makadam bez penetracije	0.25-0.45
Pošljunčene staze	0.15-0.30
Bašte, livade, njve	0.05-0.25
Šume	0.01-0.02
Vrlo gusta gradnja	0.70-0.90
Zatvoreni tip gradnje	0.50-0.70
Otvoreni tip gradnje	0.30-0.50
Individualna gradnja sa baštama	0.20-0.30
Neizgrađeno zemljište, sportski tereni	0.10-0.20
Parkovi	0.10

Prema tome količina kišne vode koja u jedinici vremena dospe u kanal računa se kao

$$Q_k = \Psi i F \quad [l/s]$$

gde su:

- $\Psi$  koeficijent oticaja odgovarajuće slivne površine
- $i$  (l/s/ha) intenzitet merodavne kiše
- $F$  (ha) slivna površina koja gravitira kanalu

Savremene metode proračuna kišne vode, kakva je na primer takozvana racionalna metoda, u obzir uzimaju i vreme prolaska kišne vode kroz kanale do odvodnika, odnosno činjenicu da se ukupan proticaj iz gornje formule ne nađe u kanalu istog trenutka kada je kiša počela. Time se, zavisno od trajanja merodavne kiše i dužine sliva, eventualno mogu dobiti i manji prečnici kanala nego ako se količina kišne vode računa standardnom metodom.

Još preciznije od gornjeg izraza, količina kišne vode u kanalu određuje se kao

$$Q_k = \Psi i F \varphi \eta$$

gde se pojavljuju još dva nova koeficijenta:

- $\varphi$  koeficijent kašnjenja
- $\eta$  koeficijent neravnomernosti padavina.

Koeficijent kašnjenja  $\varphi$  značajan je kod projektovanja složenih kanalizacionih sistema sa dugim glavnim kolektorima. Kao što je ranije pomenuto, za projektovanje kanalizacije se usvajaju kao merodavne kiše neke kiše koje se često javljaju, imaju veliki intenzitet i relativno kratko trajanje. Tako se može dogoditi da vreme putovanja vode kroz kanalizacionu mrežu duže od trajanja same kiše, odnosno da dođe do kašnjenja dotoka, posebno sa udaljenih uzvodnih deonica.

Koeficijent kašnjenja se određuje na različite načine. Ovde će biti prezentirana jednostavna empirijska formula Imfofa za određivanje koeficijenta kašnjenja:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{F}}$$

gde je

- $F$  površina sliva
- $n$  bezdimenzioni koeficijent koji zavisi od karakteristika sliva i postojeće kanalizacione mreže

U narednoj tabeli date su karakteristike slivova i odgovarajućikoefficienti  $n$  :

Karakteristike sliva	Koeficijent $n$
Kanali sa velikim uzdužnim padovima i koncentrisano slivno područje sa kojeg voda brzo otiče.	8
Srednji uzdužni padovi od 5-10% i slivovi koji nisu izražajnije razvijeni.	6
Kanali sa malim uzdužnim padom i izražajnije razvijena slivna područja.	5
Kanali sa malim uzdužnim padom i slivovi kod kojih je izraženija dužina od širine.	4

Koeficijent kašnjenja ima smisla uzimati u obzir za slivove sa površinom većom od dva hektara. Za manje slivove uzima se  $\varphi = 1$ .

Količine vode koje se mogu naći u kanalizaciji usled naglog topljenja snega mogu se uporediti po veličini sa jakim kišama, te se i one, zavisno od podneblja, moraju uzeti u obzir.

## Osobine strujanja kroz kanalizaciju

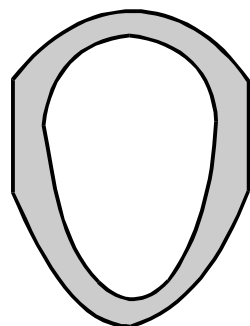
Voda kroz kanalizacione cevi protiče sa slobodnom površinom, odnosno kanali su samo delimično ispunjeni vodom. Na ovaj način najjednostavnije je rešeno priključivanje kućne kanalizacije na spoljnu mrežu. Promene brzine strujanja u kanalima, izazvane promenama proticaja, znatno su manje nego kada bi strujanje bilo pod pritiskom. Zatim, bolje su obezbeđeni uslovi pronosjenja suspendovanih čestica koje se nalaze u otpadnoj vodi. Strujanjem vazduha iznad otpadne vode obezbeđeno je izbacivanje iz kanalizacione mreže raznih gasova koji se izdvajaju iz otpadne vode a voda se osvežava dovođenjem novih količina svežeg vazduha, naročito kiseonika, u dodiru sa njom.

Najčeće primenjeni oblici profila kanala su kružni, kružni sa kinetom, jajasti i spljošteni.

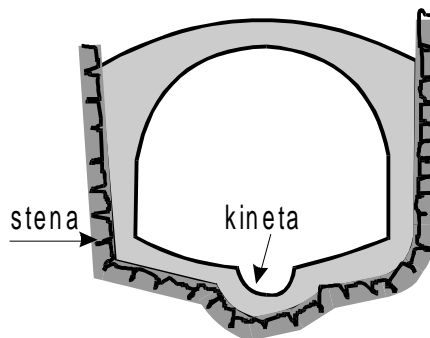
Kružni kanali se najčešće grade do prečnika  $\varnothing$  500 mm. Veći kružni kanali, preko 1.5 m u prečniku, u kanalizaciji po opštem sistemu, mogu se graditi kao kružni, sa kinetom i bankinama. Za vreme suše voda teče kinetom dok bankine služe za prolaz radnika koji održavaju mrežu. Za vreme kiše voda ispunjava ceo kanal.

Za pećnike preko  $\varnothing$  500 mm koriste se jajasti profili. Prednost jajastih profila je velika visina koja omogućava prolaz radnika. Za vreme malih proticaja visina vode u kanalu je veća nego kod

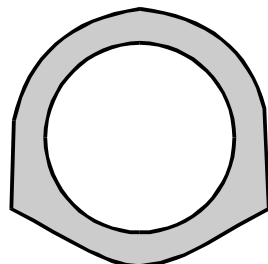
odgovarajućih kružnih kanala što obezbeđuje bolji pronos suspendovanog materijala. Širina rova za polaganje je manja nego kod odgovarajućih kružnih kanala što smanjuje troškove kopanja a opterećenje cevi zemljom kojom je zatrpana je manje.



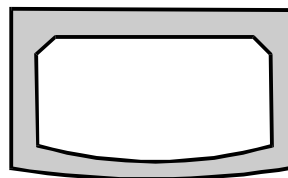
jajasti profil



potkovičasti profil



kružni profil



pravougaoni profil

Spljošteni kanali se koriste za vrlo velike kanale, koji bi zahtevali veliko ukopavanje kad bi bili kružni što je posebno značajno u ravničarskim predelima. Spljošteni kanal može imati i kinetu, čime se isključuje njegova nepovoljnost pri tečenju malih količina vode sa malim nagibima.





Slika Jajasti i spljošteni profil kolektora

Otvorenim kanalima može se odvoditi kišnica u separacionom sistemu u malim naseljima ili sporednim ulicama, kao i prečišćena upotrebljena voda od postrojenja za prečišćavanje do odvodnika.

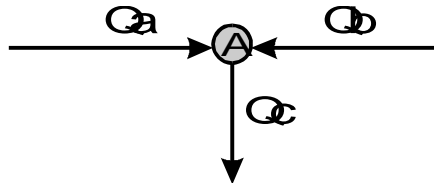
## Hidraulički proračun kanalizacione mreže

Hidraulički proračun kanalizacione mreže polazi od pretpostavke da je strujanje u kanalima jednoliko. Ova pretpostavka zasnovana je na činjenici da su promene brzine vode u kanalima dovoljno spore. Polazi se ponovo od jednačina kontinuiteta i Bernulijeve jednačine.

Jednačina kontinuiteta u najopštijem obliku glasi

$$\sum Q = 0$$

i primenjuje se na sličan način kao kod vodovodne mreže.



U čvor A uzvodnim kanalima a i b dotiču proticaji  $Q_a$  i  $Q_b$ . Prema tome količina vode koja otiče nizvodnim kanalom c iznosi:

$$Q_c = Q_a + Q_b$$

Ako se duž kanala skuplja voda od korisnika smatra se da je doticanje ravnomerno raspoređeno na celu njegovu dužinu. Pretpostavimo da duž nekog kanala dužine  $L$  dotiče ravnomerno količina vode  $q$  ( $l/s/m$ ). Proticaj na uzvodnom kraju kanala  $Q_{uzv}$  biće jednak zbiru proticaja koji u kanal dotiču sa uzvodnih deonica. U nizvodnom čvoru iz ovog kanala će se izlivati količina vode  $Q_{nizv}$  koja iznosi:

$$Q_{nizv} = Q_{uzv} + qL$$

Dimenzije kanala računaju se prema proticaju u nizvodnom profilu  $Q_{nizv}$ .

Zavisnost između proticaja  $Q$ , srednje brzine  $v$  i okvašenog preseka<sup>8</sup>  $A$  izražava se jednačinom kontinuiteta u obliku:

$$Q = v A$$

---

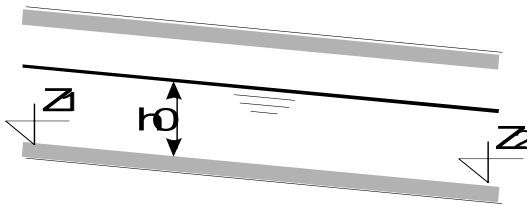
<sup>8</sup> Potrebno je podsetiti da okvašena površina nije isto što i površina poprečnog preseka cevi pošto u kanalizaciji voda samo delimično ispunjava profil.

Bernulijeva jednačina u opštem obliku glasi:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h$$

U tokovima sa slobodnom površinom član  $\frac{p}{\gamma}$  predstavlja dubinu vode pa će biti:

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h$$



Kako se u proračunu kanalizacije pretpostavlja se da je tečenje jednoliko odnosno da je  $h_1 = h_2 = h_0$  (normalna dubina) i  $v_1 = v_2 = v$  Bernulijeva jednačina se uprošćava i dobija se:

$$z_1 + h_0 = z_2 + h_0 + \Delta h$$

Za izračunavanje izgubljene visine  $\Delta h$ , odnosno otpora duž posmatrane deonice postoji niz obrazaca. Opšti obrazac je Šezijev obrazac za srednju brzinu

$$v = C\sqrt{RI}$$

gde je:

- $v$  srednja brzina
- $R$  hidraulički radijus
- $I$  nagib dna kanala
- $C$  koeficijent koji se može izračunati na razne načine

Zajedno sa  $Q = vA$  ovaj obrazac daje vezu između proticaja  $Q$ , kvaliteta zidova i stanja cevi (koeficijent  $C$ ), geometrijskih karakteristika okvašenog poprečnog profila ( $R$  i  $A$ ) i nagiba dna kanala  $I$ .

Za izračunavanje koeficijenta  $C$  koriste se različiti obrasci, kao na primer:

(A) **Mala Kuterova formula**

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

gde je  $m$  koeficijent rapavosti kanala. Obično se uzima  $m = 0.35$ .

(B) **Manningova formula**

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

gde je  $n$  Manningov koeficijent rapavosti, obično  $n = 0.013 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ .

Najčešće kanali u kanalizacionoj mreži nisu ispunjeni do vrha. Zbog toga je potrebno raspolagati postupkom za izračunavanje brzina strujanja i proticaja u delimično ispunjenom profilu, u zavisnosti od visine punjenja kanala. Sa  $v$ ,  $Q$  i  $h$  ćemo označiti vrednosti pri delimičnom punjenju a sa  $v_{pp}$ ,  $Q_{pp}$  i  $h_{pp}$  vrednosti koje odgovaraju kanalu ispunjenom do vrha. Odredićemo

bezdimenzione vrednosti  $\frac{v}{v_{pp}}$ ,  $\frac{Q}{Q_{pp}}$  u zavisnosti od  $\frac{h}{h_{pp}}$ .

Šezijeva formula za delimično ispunjeni kanal (stvarno tečenje) glasi

$$v = C \sqrt{RI}$$

odnosno za kanal ispunjen do vrha (hipotetičko tečenje):

$$v_{pp} = C_{pp} \sqrt{R_{pp} I}$$

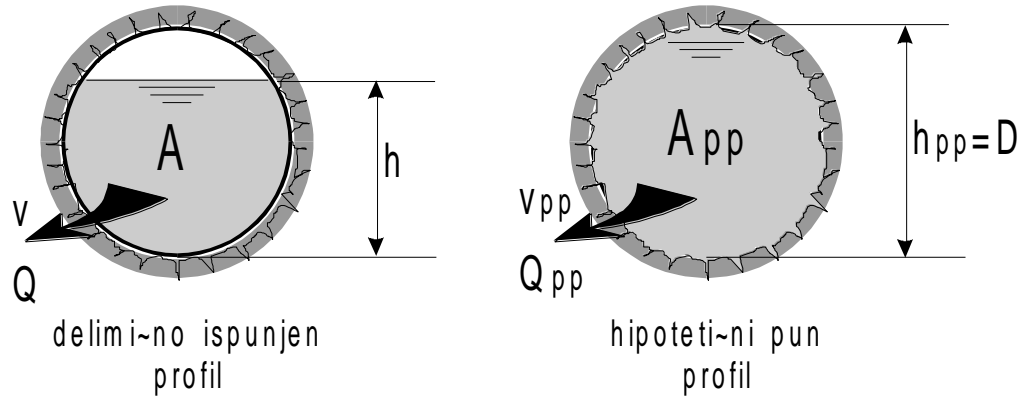
odakle je:

$$\frac{v}{v_{pp}} = \frac{C}{C_{pp}} \sqrt{\frac{R}{R_{pp}}}$$

Funkcija  $\frac{Q}{Q_{pp}}$  ima oblik:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{AC}{A_{pp} C_{pp}} \sqrt{\frac{R}{R_{pp}}}$$

gde funkcija  $\frac{A}{A_{pp}}$  zavisi samo od oblika profila.

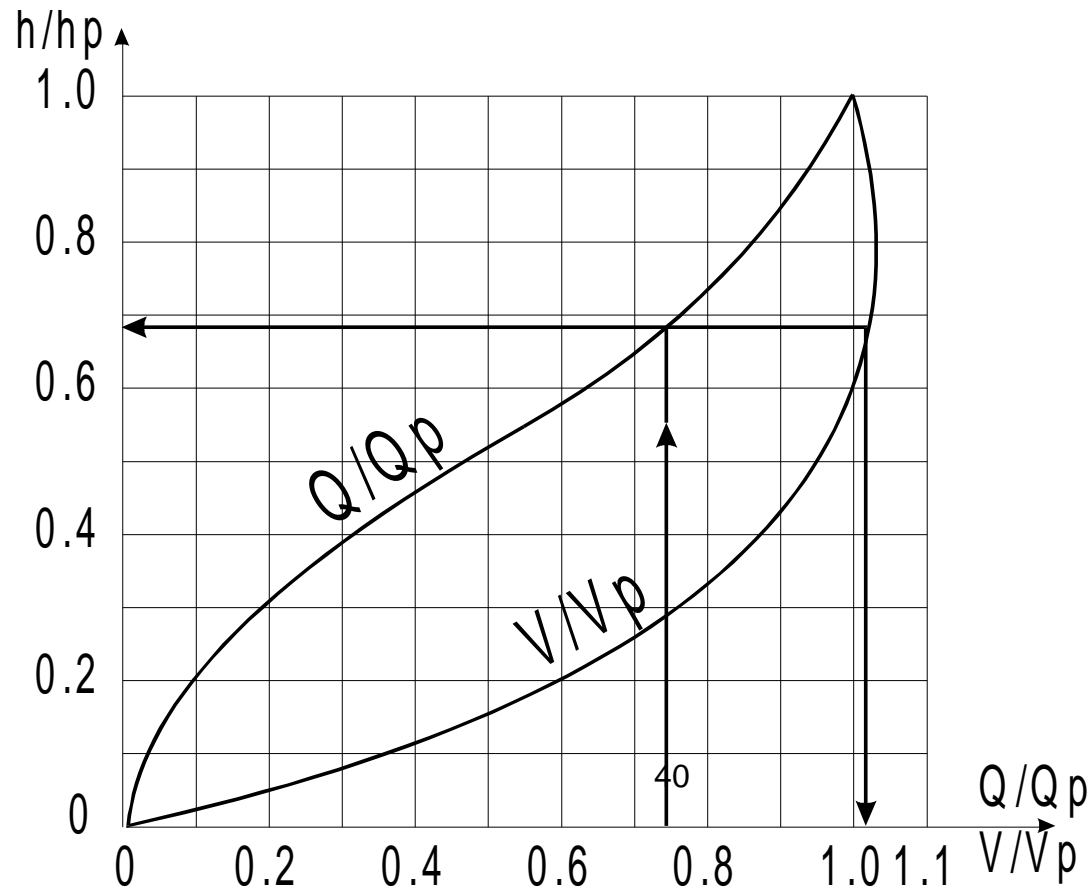


Slika 83.

Poznajući geometrijski oblik preseka mogu se naći vrednosti  $\frac{R}{R_{pp}}$  a otuda i  $\frac{C}{C_{pp}}$  kad se usvoji obrazac za koeficijent C. Na primer za Manningovu formulu biće

$$\frac{C}{C_{pp}} = \left( \frac{R}{R_{pp}} \right)^{1/6}$$

Na slici je prikazan dijagram  $\frac{v}{v_{pp}}$  i  $\frac{Q}{Q_{pp}}$  u zavisnosti od  $\frac{h}{h_{pp}}$  za kružni profil. Ovakvi dijagrami za druge poprečne preseke imaju principijelno isti oblik.



## **Najmanje dimenzije kanala i najmanji i najveći dopušteni nagibi dna kanala, dubina ukopavanja, stepen punjenja kanala**

U početnim granama mreže računski proticaj je veoma mali pa bi se prema hidrauličkom proračunu dobili mali prečnici kanala. Međutim, kako upotrebljene vode često nose i krupnije predmete, koji bi se u uskim cevima mogli zaglaviti, kako se ponekad na dnu kanala zadržava talog koji smanjuje poprečni profil, kako u početnim deonicama može doći do preopterećenja koje nije moglo biti obuhvaćeno proračunom i najzad da bi se čišćenje kanala moglo lakše izvesti - propisuju se minimalni dozvoljeni prečnici kanala.

Za glavni odvodni horizontalni kanal u kućnoj kanalizaciji propisan je  $D_{\min} = 150\text{mm}$ . Najmanji nagib za ove kanale propisan je  $I_{\min}=1.5\%$  a najveći  $I_{\max}=6\%$

Za uličnu kanalizaciju izuzetno se može usvojiti  $D_{\min}=150\text{ mm}$  dok je normalno najmanji dopušteni prečnik uličnog kanala  $\varnothing 200$  ili  $\varnothing 250\text{ mm}$ . U velikim gradovima može biti i veći, zavisno od gustine naseljenosti i sistema kanalsanja. Minimalne dozvoljene prečnike u gradu obično propisuje zadužena komunalna radna organizacija i oni su sastavni deo uslova za projektovanje.

U Beogradu su propisani minimalni prečnici:

- Ø250 mm za fekalne kanale
- Ø300 ili Ø350 mm za kišne kanale i kanale opšteg sistema, u zavisnosti od dela grada

Najmanji i najveći dopušteni nagib dna propisuje se obzirom na brzinu koja od njega zavisi. Najmanja brzina strujanja vode treba da bude 0.4 m/s pri punjenju kanala od 2 do 3 cm, ili 0.8 m/s kad je kanal pun do vrha. Smatra se da su ove brzine dovoljne da se čvrste čestice održe u suspenziji.

U ravničarskim naseljima ponekad je teško obezbediti minimalne brzine bez suviše velikog ukopavanja kanala ili većeg broja crpnih stanica.

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<sup>9</sup>. Ako se velika brzina javlja samo povremeno, odnosno kad se kanal puni do vrha samo povremeno (opšti sistem i kišna kanalizacija), najveća brzina može biti do 5

---

<sup>9</sup> Prema uslovu da fekalni kanali mogu imati punjenje najviše 50-70% a kišni i kanali opšteg sistema i 100%, ali samo povremeno, kada pada kiša, očigledno je da projektant novog kanala neće projektovati kanal “skoro uvek pun”. Tako je i gore navedena maksimalna brzina od 3 m/s merodavna samo za hidrauličku proveru starih fekalnih kanala na koji je vremenom priključen mnogo veći broj potrošača od projektovanog, te su oni sada “skoro uvek puni”.

m/s. Smatra se da ako voda teče stalno kroz kanal brzinom od 3 m/s neće doći do štetnog abanja kanala.

Najmanjoj dopuštenoj radnoj brzini  $v_{\min}$  odgovara neki dopušteni nagib dna  $I_{\min}$ . Isto važi i za maksimalni dopušteni nagib. Minimalni i maksimalni padovi se računaju po obrascu:

$$I_{\min}^{\max} = \frac{B}{R^{1.25}}$$

gde je:

- $R$  hidraulički radijus kanala. Podsećamo, za kružne kanale  $R = \frac{D}{4}$
- $B$  koeficijent koji zavisi od apsolutne rapavosti kanala  $k$  i brzine

Za usvojene vrednosti minimalnih i maksimalnih brzina, ako je hidraulički radijus zadat u metrima, daju se vrednosti koeficijenta  $B$  za obračun graničnih nagiba. Kao rezultat gornje relacije dobija se minimalni/maksimalni pad dna kanala u promilima.

Očigledno, najmanji i najveći dozvoljeni nagib kanala je manji ukoliko je profil kanala veći.

Apsolutna rapavost	Koeficijent B		
	$v_{\min} = 0.8 m/s$	$v_{\max} = 3 m/s$	$v_{\max} = 5 m/s$
k=0.4 mm	0.098	1.34	3.69
k=1.5 mm	0.132	1.84	5.12

Za izvođenje ulične mreže i za izradu kućnih priključaka najpogodnije je da nagib dna kanala odgovara nagibu terena što je moguće kada je

$$I_{\min} < I_{\text{terena}} < I_{\text{mix}}$$

Tada je dubina ukopavanja svuda ista i može da odgovara najmanjoj dubini koja je neophodna za pravilan rad kanalizacije.

U slučaju kada je nagib terena (ulice) manji od najmanjeg dopuštenog nagiba dna

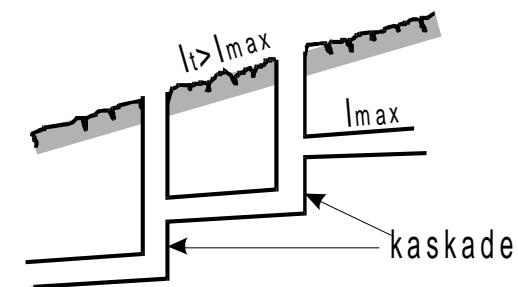
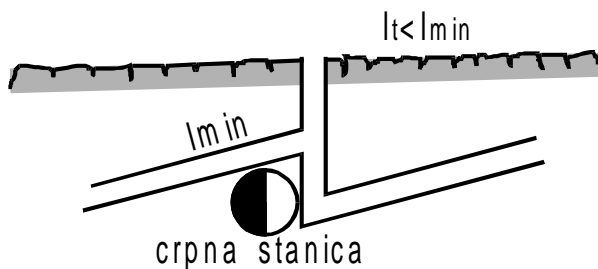
$$I_{\text{terena}} < I_{\min}$$

kanal se postepeno sve dublje ukopava. U zavisnosti od geoloških i hidrogeoloških uslova i od troškova građenja postavlja se najveće dozvoljeno ukopavanje kanalizacije. Ako bi dubina ukopavanja prešla ovu vrednost potrebno je postaviti crpne stanice.

U slučajevima kada je nagib terena veći od najvećeg dozvoljenog nagiba kanala

$$I_{terena} > I_{mix}$$

višak pada savlađuje se kaskadama.



Najmanja dubina ukopavanja propisuje se iz razloga:

- ⇒ zaštite cevi od mraza, najmanje 0.8 m do 1.1 m
- ⇒ zaštite od saobraćajnog opterećenja, 1.0 do 1.5 m
- ⇒ mogućnosti priključenja kućne kanalizacije što iznosi oko 1.0 do 1.5 od najnižeg izlivnog mesta u podrumu zgrade koja se priključuje.

Ovaj poslednji uslov za minimalnu dubinu se u pojedinim slučajevima dobija računski, birajući karakterističnu zgradu za posmatrano naselje. Najmanju dubinu ukopavanja ne treba računati prema nekoj kući koja se nalazi u izuzetno povoljnom ili izuzetno nepovoljnom slučaju.

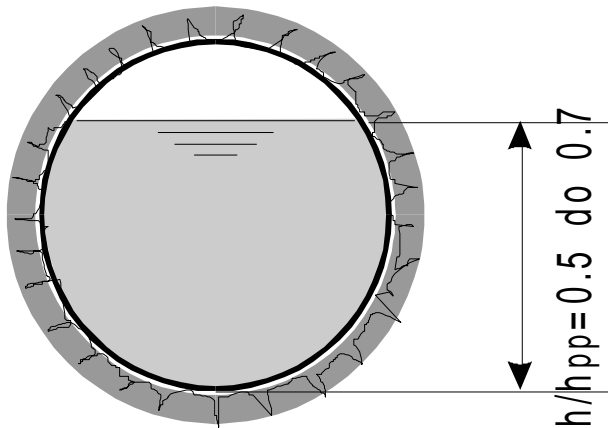
Najveća dubina ukopavanja zavisi od geoloških, hidrogeoloških i geomehaničkih uslova kao i od nosivosti cevi koje se ugrađuju. Dubina kanala koja se izvodi u otvorenom iskopu obično nije veća od 6 do 7 m. Preko te dubine prelazi se na tunnelsku gradnju. U slabom zemljištu, posebno kad je visok nivo podzemne vode i 4 m može biti gornja granica.



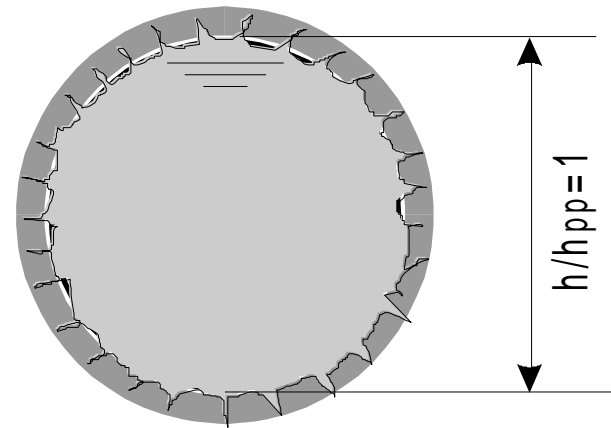
Slika Izgradnja kolektora Duboki potok u otvorenom iskopu

Stepen punjenja kanala u kanalskoj mreži po separacionom sistemu, u kanalima za upotrebljenu vodu, treba da bude najviše 50 do 70%. Ostatak visine kanala ostaje prazan za strujanje vazduha, za rezervu za slučaj naglog, nepredviđenog, nadolaska vode i slično. Kanali za atmosfersku vodu mogu biti puni do vrha.

U kanalskoj mreži građenoj po opštem sistemu kanali se mogu ispunjavati do vrha za vreme kiše koja ima odabrani računski intenzitet. U svim drugim slučajevima kanali neće biti puni a za vreme suše punjenje će biti uslovljeno proticajem upotrebijene vode i biće malo.



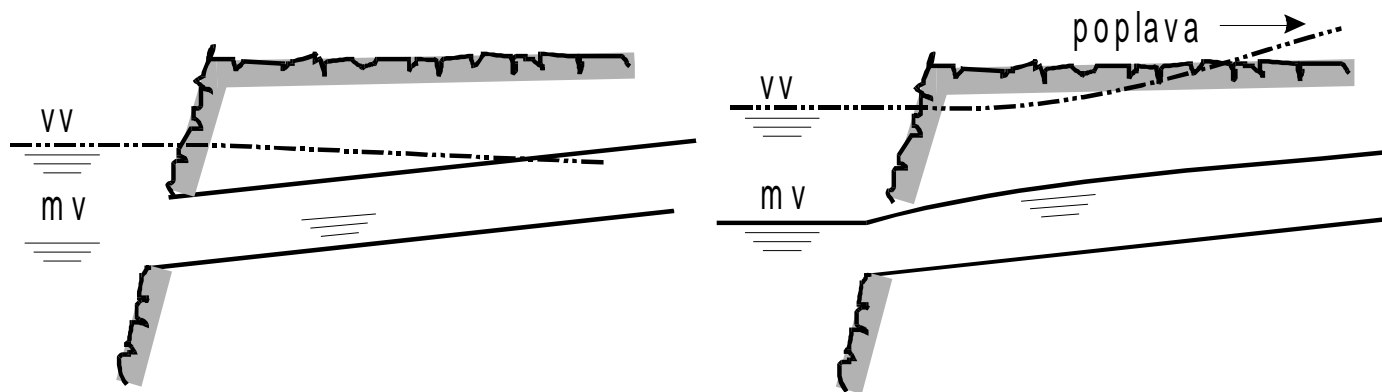
fekalni kanal



kišni i kanal  
opšteg sistema

U slučajevima kad je nivo velike vode u odvodniku visok u odnosu na površinu terena i kad izaziva uspor u kanalima, ni kišni kanali se ne smeju projektovati tako da budu ispunjeni do vrha.

Isto to važi i za kanalizaciju opšteg sistema. Slika pokazuje kako kanal projektovan da teče punim profilom može izazvati poplavu a drugi ne. Drugo rešenje za ovaj slučaj je da kanal bude projektovan tako da bude ispunjen do vrha pri merodavnoj kiši a da se kod ispusta postavi crpna stanica. U konkretnom slučaju treba ispitatai ekonomsku opravdanost jednog i drugog rešenja i na osnovu toga doneti odluku. U ovakvim slučajevima korisno je ispitati verovatnoću istovremene pojave visokih vodostaja i jakih kiša.



## Algoritam hidrauličkog proračuna kanalizacione mreže

Nakon izloženih osnova tečenja u kanalizacionoj mreži, u narednom tekstu će biti učinjen pokušaj da se da orijentacioni algoritam hidrauličkog proračuna kanalizacione mreže. Pretpostavlja se da se kanalizacija projektuje po opštem sistemu te će se u kanalima naći i fekalna i atmosferska voda<sup>10</sup>.

Takođe se pretpostavlja da su prethodno obavljani svi poslovi koji daju ulazne veličine u hidraulički proračun:

- Poznat je broj korisnika fekalne kanalizacije
- Određene su trase budućih cevovoda i poznate njihove dužine
- Poznata je nivelacija terena na trasama cevovoda
- Poznati su smerovi tečenja vode u cevima
- Poznat je koeficijent oticaja na slivnom području

---

<sup>10</sup> Ukoliko se kanalizacija projektuje po separacionom sistemu, postupak je principijelno isti, ali se radi dva hidraulička proračuna, svaki za odgovarajuću količinu vode.

- Načinjena je karta slivnih površina odnosno poznate su slivne površine pojedinačnih kanala

Korak 1 Odrediti ukupnu količinu fekalne vode  $\overline{Q}_f$  na osnovu broja potrošača i merodavne potrošnje

$$\overline{Q}_f = \frac{\text{Broj potrosaca} \times Q_{\max}^{cas}}{86400} [l/s]$$

Korak 2 Odrediti specifičnu potrošnju po dužnom metru kanalizacione mreže kao  $q^* = \frac{\overline{Q}_f}{\sum L} [l/s/m]$ .

Korak 3 Odrediti specifičnu količinu fekalne vode  $q_i$  svakog pojedinačnog kanala  $i$  kao  $q_i = q^* L_i [l/s]$

Korak 4 Vodeći računa o smerovima tečenja vode u kanalima, pomoću jednačine kontinuiteta odrediti stvarne proticaje fekalne vode u kanalima. Pri tome za svaki čvor dakle važi

$$\sum Q = 0$$

dok je proticaj u nizvodnom profilu svakog kanala  $i$

$$Q_i^{niz} = Q_i^{uz} + q_i [l/s]$$

Za dimenzionisanje svakog kanala  $i$  merodavan je proticaj u njegovom nizvodnom profilu  $Q_i^{niz} = Q_i^f$ , obzirom da je veći.

Korak 5 Odrediti specifičnu količinu kišne vode  $q_i^k [l/s]$  svakog pojedinačnog kanala kao  $q_i = \Psi i F_i$  gde su:

- $\Psi$  koeficijent oticaja slivne površine kanala
- $i [l/s/ha]$  merodavna kiša
- $F_i [ha]$  slivna površina kanala  $i$

Korak 6 Vodeći računa o smerovima tečenja vode u kanalima, pomoću jednačine kontinuiteta odrediti stvarne proticaje kišne vode po kanalima, na isti način kao i kod fekalne vode. Za dimenzionisanje kanala  $i$  merodavan je ponovo proticaj u njegovom nizvodnom profilu  $Q_i^{niz} = Q_i^k$

Korak 7 Odrediti ukupne količine fekalne i kišne vode po svakom kanalu  $i : Q_i = Q_i^f + Q_i^k$

Korak 8 Prelazi se na dimenzionisanje kanala. Dimenzionisanje se vrši deonica po deonica, odnosno cev po cev. Podseća se da dimenzionisanje kanalizacione mreže podrazumeva određivanje dva parametra i to prečnika kanala  $D$  i pada dna kanala  $I$ . Kako je najpogodnije kanal voditi paralelno sa terenom u prvoj iteraciji

Korak 9      pretpostaviti da je pad dna kanala I jednak padu terena odgovarajuće deonice.  
Pretpostaviti prečnik kanala  $D$ . Za pretpostavljeni pad  $I$  i prečnik  $D$  izračunati (hipotetički) proticaj punog profila  $Q_{pp}$  i odgovarajuću brzinu u punom profilu  $V_{pp}$ , koristeći Šezi-Manningovu formulu:

$$Q_{pp} = \frac{1}{n} A_{pp} R_{pp}^{2/3} \sqrt{I} \qquad v_{pp} = \frac{1}{n} R_{pp}^{2/3} \sqrt{I}$$

Korak 10      Ukoliko je  $Q_{pp} \geq Q$  može se smatrati da je prečnik dobro odabran i ide se na Korak 11.

Ukoliko je  $Q_{pp} < Q$  to znači da kanal prečnika  $D$  ne može da propusti stvarni proticaj  $Q$ . Vraća se na Korak 9 i bira veći prečnik kanala.

Ukoliko se eventualno pokaže da je proticaj punog profila mnogo veći od stvarnog proticaja  $Q_{pp} \gg Q$  potrebno je ispitati mogućnost smanjenja pretpostavljenog prečnika cevi<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Pri izboru prečnika voditi računa o minimalnim dozvoljenim prečnicima cevovoda. Takođe se napominje da minimalni odabrani prečnik, osim propisanih, determinišu i prečnici kanala koji se u njega ulivaju. Nemože se dopustiti da se kanal većeg prečnika uliva u kanal manjeg prečnika!

Korak 11 Na osnovu odnosa  $\frac{Q}{Q_{pp}}$  iz dijagrama se očitavaju vrednosti  $C_1 = \frac{v}{v_{pp}}$  i  $C_2 = \frac{h}{h_{pp}}$ .  
Zatim se određuju stvarna brzina u kanalu  $v$  i punjenje kanala  $h$

$$v = C_1 v_{pp} \qquad h = C_2 h_{pp}$$

Korak 12 Ako je stvarna brzina veća od maksimalne dopuštene brzine:

$$v > v_{\max} \qquad \Rightarrow \qquad I > I_{\max}$$

pa se usvaja maksimalni dopušteni pad kanala izračunat po obrascu

$$I_{\max} = \frac{B}{R^{1.25}}$$

i vraća na Korak 9. Napominje se da je ovde prečnik već usvojen, preostaje izračunavanje  $Q_{pp}, v_{pp}$  u Koraku 9.

Ako je stvarna brzina manja od minimalne dopuštene brzine:

$$v < v_{\min} \qquad \Rightarrow \qquad I < I_{\min}$$

pa se usvaja minimalni dopušteni pad kanala izračunat po obrascu

$$I_{\min} = \frac{B}{R^{1.25}}$$

i vraća na Korak 9.

Ukoliko je stvarna brzina u dopuštenim tolerancijama  $v_{\min} < v < v_{\max}$  može se smatrati da je deonica uspešno dimenzionisana i prelazi se na sledeću deonicu.

U ovom koraku takođe treba obratiti pažnju i na punjenje kanala. Podseća se da kanali opšteg sistema i kišni kanali dopuštaju povremeno punjenje  $\frac{h}{h_{pp}} = 1$ . Kada se

projektuje fekalna kanalizacija onda je dopušteno punjenje  $\frac{h}{h_{pp}} = 0.5 \div 0.7$ . Ukoliko

je punjenje kanala veće od dopuštenog, bez obzira na dopuštene brzine, vraća se na Korak 9 i povećava prečnik kanala.

Korak 13 Pošto su sve deonice dimenzionisane određuju se kote dna kanala. Pri ovome se

vodi računa o minimalnim dozvoljenim dubinama ukopavanja<sup>12</sup>. Podseća se da se deonice kod kojih je pad manji od pada terena postepeno sve više ukopavaju tako da se može pojaviti potreba za pumpanjem. Nasuprot tome, na deonicama na kojima je pad kanala manji od pada terena, uzvodnu dubinu ukopavanja treba smanjiti projektovanjem kaskada.

---

<sup>12</sup> Obratiti pažnju da ukopavanje u nizvodnom profilu svake cevi/deonice diktira ukopavanje uzvodnog profila njene nizvodne cevi. Uzvodni profil kanala mora biti jednako ili više ukopan (kaskada) od svih nizvodnih profila cevi koje se u nju ulivaju.

## **Materijali za izradu kanalizacione mreže**

Materijal od koga se gradi ulična kanalizaciona mreža mora da bude čvrst, trajan i vodonepropustljiv. Kanali moraju biti jeftini, imati glatku unutrašnju površinu, da budu otporni na koroziju i tako projektovani da se mogu brzo graditi.

Čvrstoća kanala treba da obezbedi kanal od spoljašnjih opterećenja, stalnih, od zemlje i drugog mrtvog tereta, ili promenljivih, od saobraćaja, kao i od unutrašnjeg pritiska koji se može javiti na primer pri zagušenju kanala ili pri intenzivnim kišama. Da bi kanali bili trajni treba da budu otporni na abanje, koje nastaje od nanosa koji voda vuče po dnu, kao i na koroziju. Npropustljivost na vodu obezbeđuje odsustvo proceđivanja vode iz zemljišta u kanal i obrnuto. Podzemna voda beskorisno zauzima profil kanala predviđen za odvođenje drugih voda a u slučaju da su se u zidu kanala pojavile pukotine može da dovede i do zatrpavanja kanala. Obratno strujanje izaziva zagađivanje podzemne vode kao i podizanje njenog nivoa. Glatka unutrašnja površina je neophodna radi boljeg pronošnja vučenog nanosa, manje mogućnosti zadržavanja plivajućih predmeta i masti a samim tim i manjih hidrauličkih otpora.

Navedene uslove zadovoljavaju cevi od keramike, plastične, betonski i armirano betonski kanali izrađeni na licu mesta, obloženi iznutra, delimično ili potpuno, keramičkim pločicama, korubama ili klinkerom. U specijalnim slučajevima mogu se primeniti i cevi od livenog gvožđa ili čelika.

## Keramičke cevi

Osnovne tehničko - tehnološke karakteristike keramičkih cevi su:

- Izvanredne hidrauličke karakteristike, obzirom na glazuru
- Velika otpornost na koroziju i abanje
- Dug životni vek
- Visoka otpornost na razne vrste hemijskih uticaja

Obzirom na navedene osobine, keramičke cevi mogu se koristiti za transport vode najrazličitijeg hemijskog sadržaja, od neutralnih do agresivnih. Limitirajući faktor za primenu keramičkih cevi je relativno slaba otpornost na unutrašnji pritisak vode, tako da se mogu koristiti samo ukoliko je tečenje u cevima sa slobodnom površinom ili kada se u njima samo povremeno očekuje tečenje pod malim pritiskom.

Keramičke cevi se prave od mešavine različitih vrsta gline. Homogenizovana, plastična ( $\approx 20\%$  vode) mešavina gline se u cevi oblikuje vakum presama koje zatim odlaze na sušenje. Nakon sušenja keramičke cevi se glaziraju, potapanjem osušenih cevi u bazene sa tečnom glazurom.

Glaziranjem se cevi oblažu tankom staklastom skramom koja povećava površinsku tvrdoću cevi, hidraulička svojstva, hemijsku i termičku stabilnost cevi. Na kraju se glazirane cevi peku u tunnelskim pećima na temperaturi od  $1260^{\circ}\text{C}$  čime dobijaju definitivan željeni kvalitet.

Keramičke cevi rade se kružnog poprečnog preseka, normiranih prečnika obično do  $\varnothing 500$  mm. Ima ih i do  $\varnothing 1200$  mm ali su veoma skupe i koriste se u izuzetnim prilikama. Dužina im je 1 m. Spajaju se na naglavak sa kudeljom natopljenom bitumenom i asfaltnim mastiksom koji se u vrućem stanju sipa u naglavak isto kao olovo kod vodovodnih cevi. U poslednje vreme primenjuje se i zaptivanje različitim gumenim ili plastičnim prstenovima, što poboljšava spoj i skraćuje vreme izrade.

Keramičke cevi su najbolji materijal za izradu kanalizacione mreže. One izdržavaju linijsko opterećenje od 24.000 N/m ( $\varnothing 250$  mm) do 30.000 N/m ( $\varnothing 450$  mm i više) i unutrašnji pritisak vode od 3 do  $4 \times 10^5$  Pa. Spojevi ne izdržavaju ovoliki pritisak pa se zato gotovi kanali ispituju na unutrašnji pritisak od  $0.3 \times 10^5$  Pa u trajanju od 10 do 15 minuta.

Keramičke cevi su krte i sa njima na gradilištu treba vrlo pažljivo postupati. Za keramičke cevi izrađuje je niz različitih fazonskih delova, račve, kolena, redukcije,..., sa i bez otvora za reviziju.

## **Betonske i armirano betonske cevi i kanali**

U pogledu proizvodnje ovih cevi i rukovanja na gradilištu važi sve isto kao i kad se radi o vodovodnim cevima od betona.

Izrađuju se kružnih i jajastih profila, sa spojem na naglavak. Naglavci se zaptivaju na sličan način kao i naglavci keramičkih cevi.

Betonske cevi nisu otporne prema agresivnom dejstvu izvesnih sastojaka otpadnih voda. Zbog toga se one iznutra izoluju bitumenskim ili epoksi premazom. Ova izolacija nije sigurna jer strada usled abanja. Ako je zemljište agresivno prema betonu, slična izolacija izvodi se i spolja.

Za betonske cevi ne izrađuju se fasonski delovi nego se za krivine, spajanje kanala i drugo grade posebne betonske građevine. Zbog velike težine, betonske cevi se izrađuju u dužinama od 1 do 2 m i prečnika do 1 m.

Davanjem određenih dimenzija ovim cevima postiže se ista propisana otpornost koju imaju keramičke cevi, ili veća od nje. Nosivost betonskih i armirano-betonskih cevi na linijsko spoljašnje opterećenje za neke dimenzije data je u narednoj tabeli.

Beton, nabijeni i armirani, dopušta da se na najprostiji način izrađuju različiti konstruktivni oblici - temelji, zidovi, svodovi, spojevi kanala i slično, kao i da se dimenzije tih objekata u potpunosti prilagode uticaju spoljašnjih sila.

Za preporuku je da se unutrašnje površine kanala budu potpuno glatke. Ako unutrašnja oplata nije dovoljno glatka, unutrašnje površine se malterišu glatkim cementnim premazom. Radi zaštite betonskih površina profila izloženih abanju, kinete kanala se oblažu tvrdim keramičkim pločicama, klinkerom, ili keramičkim korubama u cementnom malteru.

Ako postoji opasnost od korozije betona ceo profil se oblaže keramičkim pločicama ili korubama pri čemu kao vezivo služi specijalni kit otporan na koroziju.

U betonske kanale je najbolje odmah prilikom građenja u zid ugraditi komade cevi za kućne priključke, da se ne bi naknadno morao razbijati zid.

Oblici i dimenzije velikih betonskih i armirano betonskih kanala određuju se prema hidrauličkom proračunu, mesnim prilikama, opterećenjima, načinu fundiranja i načinu izrade.

## Cevi od plastične mase

Kao kanalizacione cevi koriste se i cevi od polivinilhlorida (PVC) i poliestera. Cevi od PVC-a su po načinu proizvodnje, obliku i načinu spajanja iste kao vodovodne.

Cevi od poliestera proizvode se od staklenih vlakana i poliesterske smole, kao nezavisne cevi ili kao unutrašnja oplata za betonske cevi livene na licu mesta. Kao dodatak se nekad primenjuje kvarcni pesak koji povećava mehaničku otpornost ovih cevi (Tesal cevi). Poliesterske cevi se spajaju lepljenjem pomoću iste mase, na naglavak sa gumenim prstenom ili pomoću spojnice. Od poliestera se izrađuju i cevi jajastog ili drugog poprečnog preseka. Izrada ovih cevi ista je kao i kad se primenjuju za vodovod.

Plastične mase su otporne prema velikom broju agresivnih tečnosti i gasova i zbog toga su posebno podobne za građenje industrijskih kanalizacionih sistema. Pogodne su za nestabilno, muljevito zemljište, kao i za duboko ukopane kanale pod teškim terenskim uslovima. Mogu se koristiti i kao unutrašnja oplata i obloga betonskih kolektora na mestima gde je njihova potpuna vodonepropustljivost zbog blizine izvorišta vode za piće neophodna.

Fasonski komadi se izrađuju od delova pravih cevi lepljenjem, a kod cevi od poliestera i namotavanjem mase preko odgovarajućih kalupa.

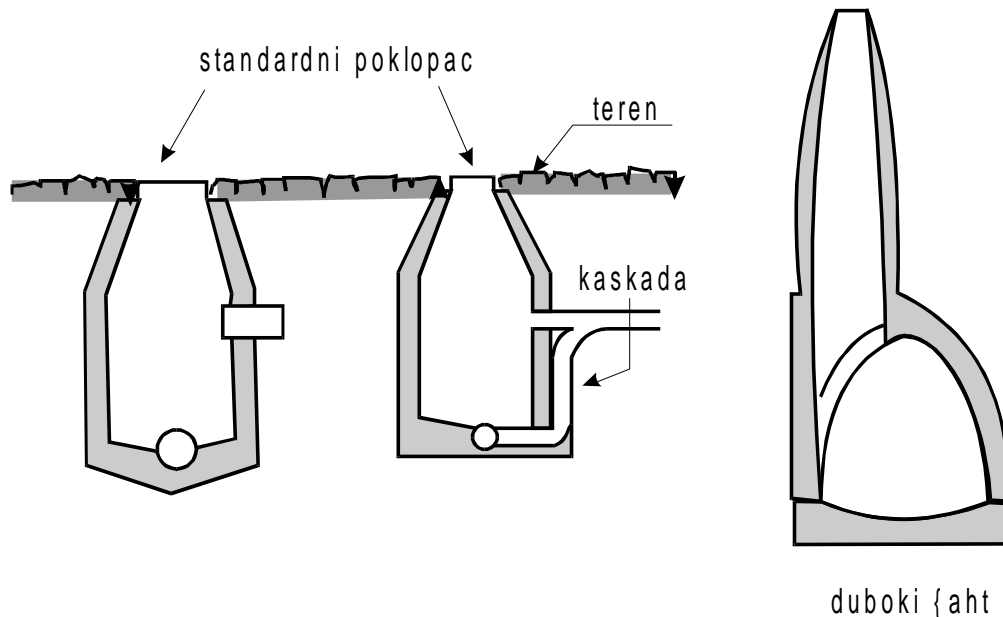
Za izbor debljine zida plastičnih cevi, odnosno za proveru mogućnosti ugrađivanja u datim uslovima, uzima se u obzir krutost zidova cevi i napona na savijanje.

## **Objekti na kanalizacionoj mreži**

Osim kanalizacionih cevi, kanalizaciona mreža sadrži i razne druge objekte. Ovi objekti izvode se jednovremeno sa samim kanalima. Pomenućemo samo neke od njih: revizione silaze, kaskade, prelive, crpne stanice i ispuste u odvodnik.

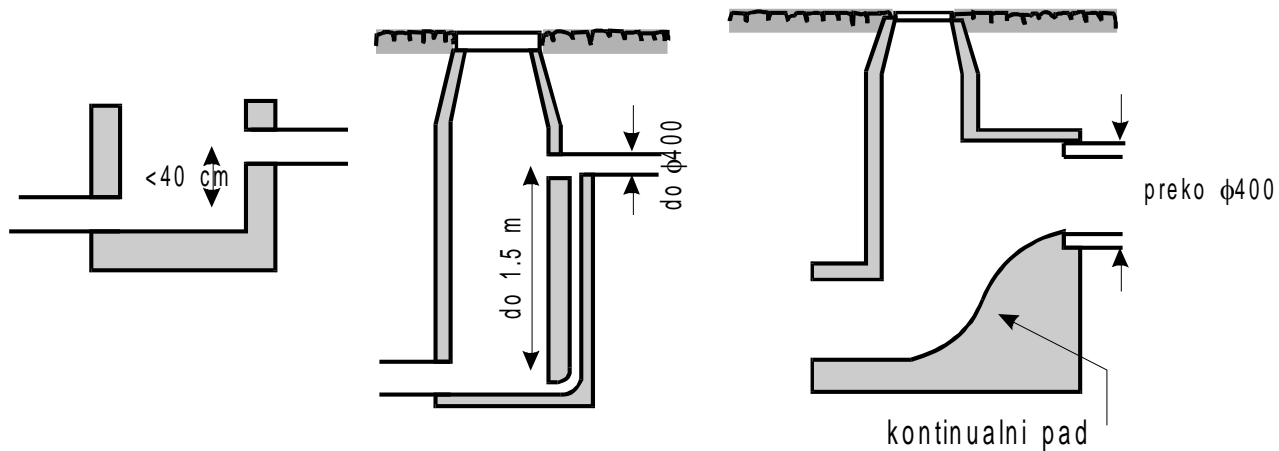
Revizioni silazi (šahtovi) služe za prilaz kanalizacionim cevima sa površine terena. Iz revizionih silaza se vrši inspekcija, popravka i čišćenje cevi. Izrađuju se od nearmiranog i armiranog betona, bilo livenjem na licu mesta bilo od montažnih elemenata. Pokrivaju se standardnim liveno-gvozdanim poklopcima.

Revizioni silazi postavljaju se na pravim deonicama, na propisanim rastojanjima od približno 160 D. Ovim se omogućava inspekcija kanala između silaza i njihovo čišćenje. Takođe se obavezno



postavljaju na spojevima kanala, prelomima trase i nivelete kanala i na promeni poprečnog preseka kanala. Revizioni silazi na cevnim kanalima postavljaju se u osovini cevi, dok kod prohodnih kanala većeg prečnika mogu biti postavljeni i pored kanala. Cevi su u silazima otvorene, da bi se omogućio ulazak vazduha u kanalizaciju.

Kaskade se ugrađuju na deonicama na kojima je pad kanala manji od najvećeg dopuštenog pada, da bi se smanjilo ukopavanje cevi. Takođe se ugrađuju na spojevima plitko ukopanih kanala sa kanalima ukopanim na veću dubinu.



U zavisnosti od poprečnog preseka kanala koji se spajaju kaskadom kao i od denivelacije kojom se kaskada savlađuje, kaskade imaju različite oblike. Kod malih poprečnih profila i denivelacije do 40 cm zapravo se i ne može govoriti o kaskadi kao o nekakvom posebnom objektu - voda iz uzvodne cevi slobodno pada na dno šahta i uliva se u nizvodnu cev. Za profile do  $\phi 400 \text{ mm}$  i denivelacije do 1.5 m ulivanje uzvodne deonice se može izvesti preko vertikalne cevi u zidu šahta.

Za denivelacije više od 40 cm kaskade se izvode sa kontinualnim padom vode. Kod jako velikih profila ( $D > 1$  m) osim obezbeđivanja kontinualnog pada dno šahta je dublje od nizvodne cevi, tako da voda iz nizvodne deonice pada na “vodeni jastuk” i umiruje se pre ulivanja u nizvodnu cev.

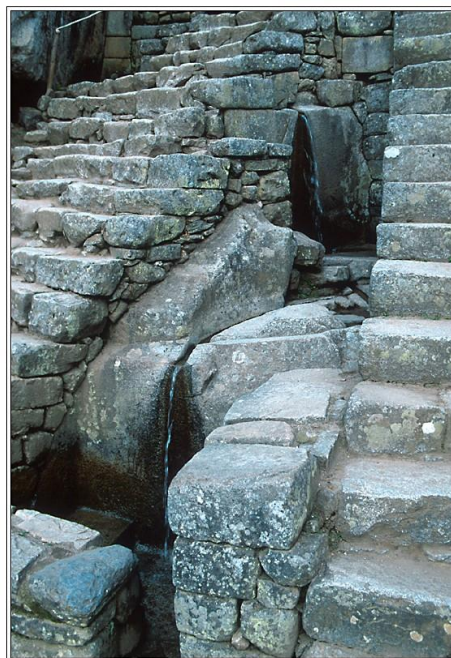
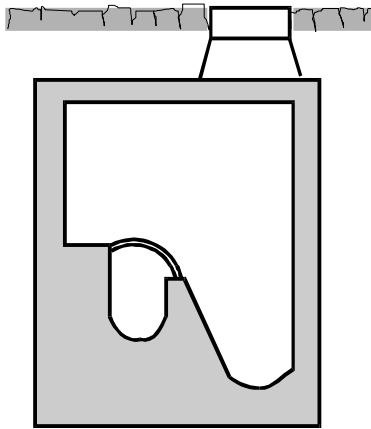


photo © 2003 Branislav L. Slantchev

## Slika Kaskade iz rimskog perioda



Prelivi za kišnu vodu postavljaju se u kanalizaciji građenoj po opštem sistemu. Ako uslovi zaštite prirodnog recipijenta to dopuštaju, ne vodi se sva kišna voda do glavnog ispusta već se kišna voda najkraćim trasama odvodi do recipijenta. Ovime se postižu uštede na dimenzijama glavnog kolektora i pumpanja vode (ako ga ima). Naime, u kanalu opšteg sistema, kada kiša tek počne da pada, prve količine kišnice mešaju se sa fekalnom vodom koja kanalom teče neprestano. Ova voda je još uvek suviše zaprljana da bi se mogla direktno ispuštati u vodotok.

Međutim, kako se kanal puni sve više razblaženje prljave fekalne vode kišnom je sve veće<sup>13</sup> da bi u jednom trenutku stepen razblaženosti bio takav da je ovakvu vodu moguće ispuštiti u recipijent bez prečišćavanja. Ako se na visini punjenja kanala koja odgovara potrebnom stepenu razblaženja postavi prelivna građevina sve količine vode razblažene preko zadanog stepena mogu se preko preliva sprovesti kišnim kanalom najbližim putem do recipijenta, mnogo pre glavnog ispusta. Potreban stepen razblaživanja kreće se od 2 do 20 puta i najčešće je veći od 10 puta. Sa

---

<sup>13</sup> Podseća se da u kanalu opšteg sistema količina kišne vode može biti i do 100 puta veća od odgovarajuće količine fekalne vode.

svaki pojedinačni slučaj stepen razblaženja se određuje prema lokalnim uslovima i položaju projektovanog preliva.

Odluka o izgradnji prelivnih građevina donosi se na osnovu tehno-ekonomske analize, koja mora da pokaže uštede bilo u investicionoj vrednosti kolektorske mreže bilo u troškovima održavanja.

Crpne stanice se u kanalizaciji primenjuju za izdizanje vode iz dublje ukopanih kanala u pliće ukopane kanale<sup>14</sup>, za izdizanje vode na postrojenje za prečišćavanje ili upuštanje u recipijent, kao i na samom postrojenju za prečišćavanje za prepumpavanje vode ili mulja. Crpne stanice koje se koriste u kanalizaciji moraju imati rešetku na dovodu vode, na kojoj će se zadržavati krupniji čvrsti predmeti koji se mogu naći u kanalskom sadržaju. Takođe moraju imati otvore za čišćenje.

Ispusti u odvodnik grade se tako da se ispuštena voda brzo i dobro meša sa vodom u odvodniku. Sama građevina mora da bude obezbeđena od potkopavanja talasima, što se postiže izradom obaloutvrde uzvodno i nizvodno od ispusta. Ispustni kanal postavlja se na kotama koje obezbeđuju da za vreme velikih voda u vodotoku ne dolazi do uspora u kanalu. Ovo je ponekad teško postići pa se moraju tolerisati “kontrolisani uspori” pri kojima ipak ne dolazi do uspora u uzvodnim sekundarnim kanalima a još manje na kućnim spojevima.

---

<sup>14</sup> Podseća se da se, kada je pad dna kanala veći od pada terena, kanal sve više ukopava u nizvodnom pravcu. Kada dubina ukopavanja pređe dozvoljenu granicu, voda se mora prepumpati u plići kanal.

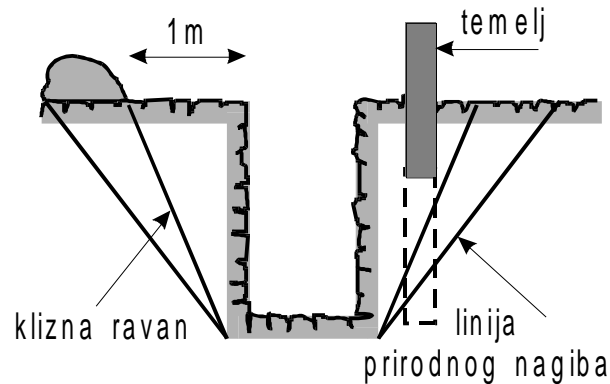
## Izvođenje radova na kanalizacionoj mreži

Obzirom na znatno veću dubinu na koju se polažu kanalizacione cevi, u odnosu na vodovodne, kao i na činjenicu da kanalizacione cevi imaju srazmerno tanje zidove a time i manju mehaničku otpornost, potrebno je i znatno bolje i detaljnije poznavanje tla u koje se cevi polažu. Kada se radi o podzemnoj vodi, treba prikupiti i podatke o njenom hemijskom sastavu, obzirom na njenu eventualnu agresivnost koju bi mogla pokazati prema materijalu od koga će se graditi kanali.



Rovovi za kanale se mogu kopati sa zidovima pod uglom prirodnog nagiba za dato zemljište. Tako se može raditi van naselja, ako dubina rova nije suviše velika. U naseljima za takav način rada nema dovoljno prostora. Tada se rovovi kopaju sa vertikalnim zidovima i podgradom. Širina gradilišta i raspored iskopane zemlje kao i način podgrađivanja ista je kao i kod izgradnje vodovoda. Širina rova treba da je što manja, radi smanjivanja troškova za zemljane radove. Ako se u rov polažu gotove cevi, širina rova treba da bude jednaka prečniku cevi uvećanom za 0.7 m. Ako se cevi oblažu spolja, ili se kanal betonira na licu mesta, širina rova je jednaka širini obloge spolja uvećanoj za 0.6 m.

Prilikom kopanja rova za kanale u blizini kuća i paralelno sa njihovim zidovima treba obratiti pažnju da se ne poremeti stabilnost zidova, što može ugroziti i rov a docnije i kanal.



Na slici je prikazano kako treba spustiti temelj kuće da on ne bi ugrozio podgradu rova. Temelj se mora spustiti ispod linije prirodnog nagiba zemljišta a još bolje do dna rova. Ako je moguće, rov treba postaviti na veće rastojanje od temelja, tako da stopa temelja bude izvan linije prirodnog nagiba zemljišta.

Kako se kanali grade na većim dubinama od vodovodnih cevi, veća je i verovatnoća pojave podzemne vode, tako da se u toku gradnje mora obezbediti odvodnjavanje rova. Odvodnjavanje se vrši izgradnjom bunara, sasvim sličnih bunarima za snabdevanje vodom, iz kojih se voda crpi. Za ispravan rad na izvođenju kanalizacione mreže neophodno je nivo podzemne vode spustiti 0.5 m ispod dna rova, i to na mestu koje je najugroženije.

Čim se rov iskopa na dužini jedne deonice pristupa se izradi kanala. Pre izrade kanala neophodno je geodetskim merenjima ispitati da li je nagib dna rova izveden tačno prema projektu. Posle polaganja cevi nagib se ponovo proverava. Potrebno je naglasiti da, za razliku od izgradnje vodovoda, geodetskim merenjima nagiba dna kanala i cevi mora da se posveti posebna pažnja, pošto od nagiba zavisi brzina tečenja kroz kanal i ostale hidrauličke veličine. Danas se za kontrolu ispravnosti primenjuju laserski instrumenti.

Pre nego što se pređe na zatrpavanje rova u koje su položeni, cevni kanali se moraju ispitati na unutrašnji pritisak. Kad su naglavci u celoj jednoj deonici između dva revizona silaza zaptiveni treba još nezatrpane cevi ispitati na nepropustljivost spojeva.

Kanali od keramičkih cevi sa spojevima zaptivenim kudeljom i asfaltnim mastiksom ispituju se na mali pritisak. Naglavci koji propuštaju vodu moraju se očistiti od zaptivnog materijala i spoj se

mora ponovo izgraditi. Cevni kanali sa boljim spojevima ispituju se na veći pritisak, pa i do  $5 \times 10^5$  Pa. Ispitivanje se može izvršiti i pomoću vazduha pod pritiskom.

Zatrpavanje rova je neobično važno za sigurnost cevi i treba ga veoma pažljivo izvesti. Da bi se posle zatrpavanja rova postigli uslovi što sličniji prirodnim, rov se zatrpava samo zemljom jednolikih osobina, koju voda ne može da ispere ili rastvori, najbolje pesak ili sitan šljunak. Zatrpavanje se vrši u slojevima od 12 do 15 cm do visine od 30 cm iznad temena cevi. Posle toga se može nanositi u slojevima od 20 do 30 cm. Svaki sloj potrebno je što je moguće bolje i ravnomernije nabiti. Neravnomerna zbijenost može izazvati nejednako opterećenje, pa čak i pomeranje i lom cevi.

Skidanje podgrade iz rova mora se preduzeti sa velikom pažnjom, zbog labilne ravnoteže masa zemlje iznad kliznih ravni, čije se rušenje mora sprečiti. Deo rova sa kojeg je skinuta podgrada, daska po daska, mora se odmah zatrpati. Zamlja za zatrpavanje ne sme da se navlači već mora da se ubacuje lopatom. Podrazumeva se da zemlja za zatrpavanje ne sme sadržavati nikakve grube primese, kamenje i slično.

Kad se kanali izvode ispod nivoa podzemne vode, u sitnom, nekoherentnom materijalu, treba posebnu pažnju posvetiti njihovoj stabilnosti i trajnosti. Oni se polažu na betonsku posteljicu, a dobro je da spolja budu izolovani bituminiziranim jutom i zatrpani masnom glinom do visine od

0.2 m iznad temena. Veliki i teški betonski profili, kada se grade u zemljištu sa malom nosivošću, na primer u živom pesku, izvode se na šipovima. Mnoge od ovih i drugih teškoća mogu se izbeći primenom plastičnih cevi. Kad se cevi polažu ispod nivoa podzemne vode i kad je visina njihovog punjenja mala, može se desiti da nisu u stanju da se suprotstave sili potiska. Tada se povećava njihova težina oblaganjem betonom. Oblaganje betonom, delimično ili potpuno, primenjuje se i radi povećavanja njihove otpornosti prema spoljašnjem opterećenju.

## **Položaj instalacija u poprečnom preseku saobraćajnica**

Precizne trase i položaj instalacija u poprečnom preseku saobraćajnice određuje se sinhronplanom koji se izrađuje u okviru urbanističkog plana naselja. Osnova za izradu sinhron plana su idejni projekti svih podzemnih i nadzemnih instalacija, projekti saobraćajnica, vodovoda, kanalizacije, mreže daljinskog grejanja, elektro-energetske mreže i javnog osvetljenja, telefonske mreže i kablovske televizije, kao i projekat javnog zelenila. Sinhron plan je rezultat dogovora svih korisnika podzemnog prostora o međusobnom položaju i rastojanjima pojedinih instalacija. Ni o kakvim čvrstim pravilima se ne može govoriti, već se samo mogu navesti neke uobičajene situacije:

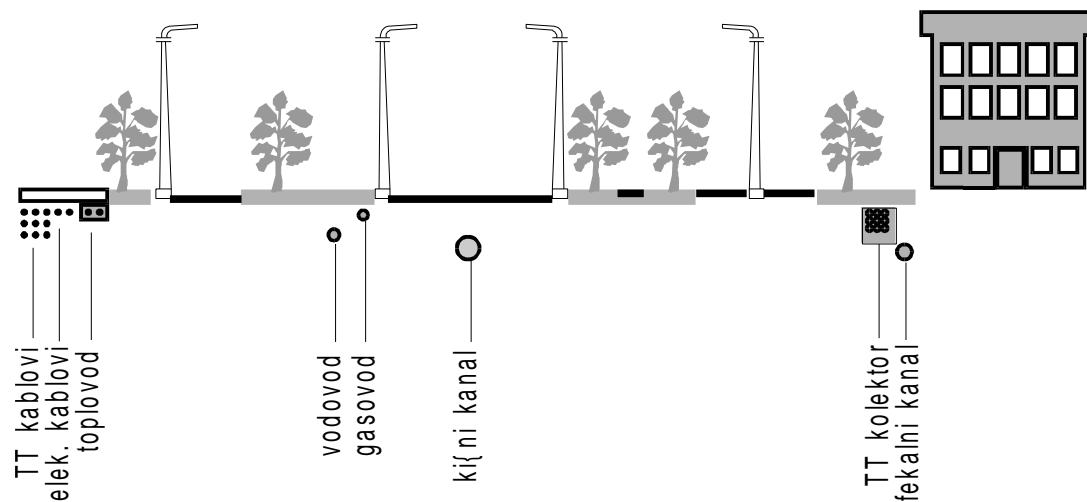


- Kanalizacione cevi najčešće se postavljaju u osivini saobraćajnice, jedna pored druge. Pri tome, ako se radi o separacionom sistemu, fekalni kanal je dublje ukopan od kišnog, što je uostalom diktirano i uslovima pod kojima se izvodi kućni priključak fekalne kanalizacije.
- U nekim slučajevima kišni i fekalni kanal mogu se naći na potpuno istoj trasi. I u ovom slučaju se fekalni kanal nalazi ispod kišnog. Moguće je da oni budu izvedeni i kao jedinstvena građevina, takozvani dvojni kolektori.

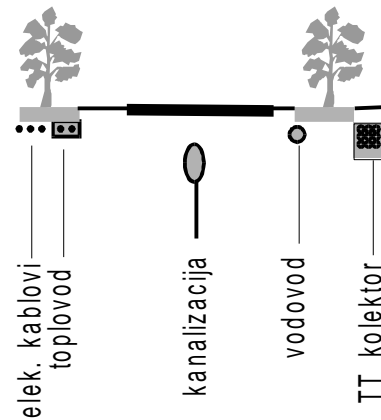
- Vodovodne cevi manjih profila najčešće se postavljaju u jednom od trotoara, ili zelenim površinama pored njega, čime se obezbeđuju od dinamičkog saobraćajnog opterećenja. Na ovaj način se takođe postiže da se eventualno raskopavanje i popravke vodovodnih cevi izvodi bez zatvaranja saobraćaja u ulici.
- Ukoliko se polažu u trotoarima, vodovodne cevi moraju biti na propisanom rastojanju od kuća. Ovo rastojanje zavisi od prečnika cevovoda i pritiska koji u njemu vlada.
- Primarni cevovodi većeg profila najčešće zahtevaju više prostora koji se ne može obezbediti ispod trotoara te se mogu polagati i ispod kolovoza. Tada se obavezno radi i njihov statički proračun na dinamičko opterećenje.
- Takođe se propisuje neophodno horizontalno i vertikalno rastojanje između vodovodnih i kanalizacionih cevi.
- Elektroenergetski i telefonski kablovi najčešće se postavljaju u trotoarima, ali se izbegava da budu sa iste strane ulice, zbog mogućih međusobnih elektromagnetskih smetnji. Ukoliko je to nemoguće izvesti, propisuje se rastojanje između njih.
- Toplovodi se sastoje od dve cevi (dovod tople vode i odvog ohlađene) u betonskoj kaseti ispunjenoj izolacijom. Samim tim oni zahtevaju više prostora koji je često nemoguće obezbediti u trotoaru pa se često vode zelenim ili slobodnim površinama uz saobraćajnicu.

- U izuzetno širokim saobraćajnicama, sa većim brojem kolovoznih traka, može se pojaviti potreba da se sve instalacije vode dvostruko, sa svake strane ulice. Ovim se izbegavaju predugački kućni priključci.
- Ukoliko u saobraćajnici postoji drvored, potrebno je obratiti pažnju da se instalacije postave na dovoljnom rastojanju kako ne bi bile ugrožene od korenja drveća.

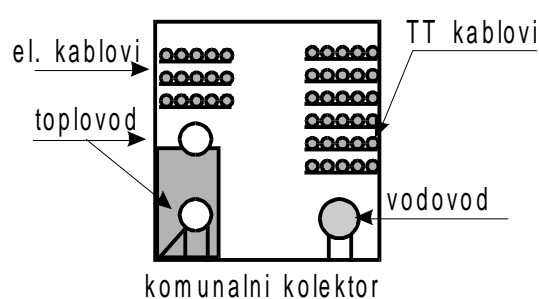
Na narednim slikama dati su neki mogući rasporedi podzemnih instalacija u saobraćajnici se više kolovoznih traka



i saobraćajnici sa dve kolovozne trake



Na kraju će se pomenuti i jedan savremen način vođenja podzemnih instalacija u velikim gradovima - postavljanje svih instalacija u jedan zajednički tunel, komunalni kolektor.



Komunalni kolektor<sup>15</sup> je prohodan tunel u kome su postavljene sve podzemne instalacije na različitim “policama”. Ovim načinom se postiže da se instalacije smeste na malom prostoru a da tom prilikom stalno budu na raspolaganju za inspekciju i eventualne popravke bez raskopavanja ulice.

Potrebno je napomenuti da se u komunalni kolektor ne smeju smeštati jedino gasne instalacije, zbog opasnosti od eksplozije i opasnosti od trovanja radnika koji rade na održavanju komunalnog kolektora.

<sup>15</sup> Prilikom rekonstrukcije Knez Mihajlove ulice u Beogradu izgrađen je i komunalni kolektor u koji su smeštene podzemne instalacije.