

### **3 SNABDEVANJE VODOM I KANALISANJE NASELJA**

Snabdevanje stanovništva vodom smatra se danas primarnom granom vodoprivrede - u raspodeli vode u nekom slivnom području najpre se mora obezbediti voda za stanovništvo pa tek onda za ostale potrebe. U ovoj vodoprivrednoj grani poseban značaj se pridaje kvalitetu vode jer on neposredno utiče na zdravlje potrošača, na kvalitet industrijskih proizvoda, na ekonomičnost rada u domaćinstvu i industriji. Zatim je značajna količina sirove vode kojom se raspolaže kako bi se obezbedilo redovno snabdevanje potrebnim količinama vode. Najzad, značajan je i visinski potencijal vode jer od njega zavisi način i ekonomičnost transporta vode do potrošača.

Što se tiče kanalisanja vode, tj odvođenja otpadnih voda, tu se radi o znatnim količinama vode sa malim visinskim potencijalom kao i o transportu otpadnih materija tako da se o kvalitetu vode mora voditi računa sa aspekta zaštite prirodnog odvodnika kao i građevina samog sistema za odvođenje.

Prvi istorijski spomenici koji pokazuju značaj koji se pridavao snabdevanju vodom i odvođenju upotrebljene vode datiraju iz bronzanog doba. U staroj mikenskoj tvrđavi postoje tragovi vodovodnog sistema, uređenih kupatila, centralnog grejanja i kanalizacije. Drugi slični spomenici iz starog veka

---

sreću se u Vavilonu, Persiji, Grčkoj. U Rimu se i danas koristi kanal dimenzija 5x4 m zidan od kamena u malteru građen u doba rimskog carstva. Sačuvani su i zakonski propisi iz stare Grčke i Rima kojim je regulisana upotreba vode iz javnih vodovoda. U srednjem veku na ove probleme se nije obraćala prevelika pažnja. Tek ponovnim naglim razvojem gradova i većih naselja dolazi do bržeg razvoja tehnike za snabdevanje vodom i kanalisanje naselja.



Za transport vode korišćeni su kanali sa slobodnom površinom, zidani od kamena i opeke u krečnom malteru, ili cevi od pečene zemlje, dubljenog drveta ili olovne cevi. Svi ovi provodnici, bilo zbog samog materijala, bilo zbog načina spajanja, nisu bili u stanju da izdrže pritiske koji su se javljali pri prelasku

dolina ili za dovođenje vode pod pritiskom do svakog potrošača u kućama. Tri epohalna pronalaska potpuno su izmijenila dotadašnju tehniku snabdevanja vodom i omogućila njen brz razvoj:

- cevi od livenog gvožđa koje mogu da izdrže unutrašnji pritisak (kraj 17.veka)
- parna mašina kao pogonski motor za klipne crpke (kraj 18.veka)
- početak bakteriološkog ispitivanja vode (prva polovina 19.veka)

U tehnici kanalisanja naselja nema drugih krupnih pronalazaka jer se voda i danas, kao i pre više hiljada godina, najčešće odvodi gravitaciono, sa viših kota na niže.



The Shadoof





Ancient stone pipe from reservoir at Knossos, Crete (Minoan 2600 to 1000 BC)



Kamiros, Rhodes (ancient Greece, 7<sup>th</sup> century BC)



Ancient clay pipe at Kamiros, Rhodes (ancient Greece, 7<sup>th</sup> century BC)



Ancient temple site at top of hill that had roof runoff cistern, Kamiros, Rhodes (ancient Greece, 7<sup>th</sup> century BC)

## 3.1 Snabdevanje naselja vodom

### 3.1.1 Uslovi kvaliteta vode za piće

Da bi se voda koristila za ljudsku upotrebu mora prethodno da zadovolji veoma stroge uslove fizičkog, hemijskog i mikrobiološkog kvaliteta.

Pod fizičkim osobinama vode koje se kontrolišu podrazumevaju se temperatura vode, mutnoća, boja miris, ukus,....

*Temperatura* se ne propisuje striktno ali brze promene temperature podzemne vode ukazuju na mešanje podzemne vode sa površinskom, odnosno blisku vezu sa površinskom vodom. Temperatura utiče na pitkost i efikasnost procesa prečišćavanja vode. Promene temperature izazivaju dilataciju cevi što može dovesti i do kvarova.

*Mutnoću* izazivaju suspendovane čestice u vodi koje mogu biti mineralnog ili organskog porekla. Mutnoću mogu izazvati i sasvim bezopasne materije ali i neki mikroskopski organizmi među kojima mogu biti i uzročnici raznih bolesti.

**Boja** potiče od rastvorenih mineralnih ili organskih materija. Boja ima sličan značaj kao i mutnoća ali treba imati u vidu da i sasvim bistra i bezbojna voda može sadržati neke vrlo škodljive sastojke.

**Miris** pokazuje prisustvo izvesnih prljavih, škodljivih ili sumnjivih susstanci u vodi.

**Ukus.** Ispravna voda za piće nema ukusa. Pojava ukusa u vodi ukazuje na mogućnost zagađenosti.

**Ukupan suvi ostatak** dobija se sušenjem na  $105^{\circ}\text{C}$  i u većini slučajeva predstavlja skoro isključivo koncentraciju rastvorenih mineralnih materija.

**Specifična elektrolitička provodljivost** potiče od jona na koje su razložene materije rastvorene u vodi i dovodi se u vezu sa ukupnim sadržajem rastvorenih materija.

**PH vrednost** pokazuje koncentraciju slobodnih vodonikovih jona, odnosno stepen kiselosti ili alkalnosti. Čovečijem organizmu najviše odgovara vrednost oko neutralne tačke.

**Hemijskih parametara** ima više nego hemijskih elemenata pa se ovi parametri mogu svrstati prema fiziološkom svojstvu pojedinih sastojaka.

**Otrovi** čak i u malim količinama izazivaju teške posledice pa i smrt. U pijaćoj vodi to su na primer olovo, cink, bakar, fluorid, arsen, fenoli, cijanidi, živa itd. te se stoga njihova koncentracija mora ograničiti.

Izvesne materije, na primer magnezijum sulfat iz morske vode može izazvati neprijatnosti, ali bez težih posledica.

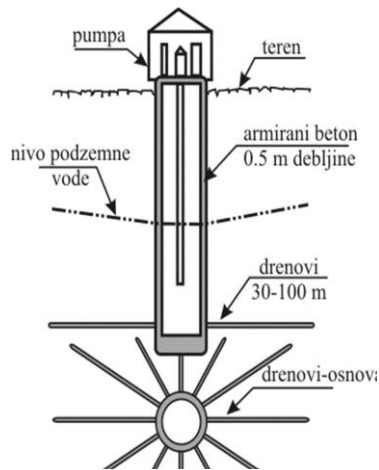
Većina **mineralnih sastojaka** u vodi nemaju naročitih fizioloških efekata ali se ipak koncentracije nekih od njih ograničavaju jer ukazuju na mogućnost drugih zagađenja, umanjuju pitkost vode dajući joj ukus ili boju i slično.

**Mikrobiološke osobine** podrazumevaju prisustvo i koncentraciju bakterija, virusa, crevnih i hepatičnih parazita, algi i drugih mikroorganizama. Posebna pažnja poklanja se patogenim organizmima (oni koji izazivaju bolesti) i to ispitivanjem da li u vodi ima indikatora fekalnog zagađenja. Kao indikator fekalnog zagađenja uzimaju se bakterije koje pripadaju koliformnoj grupi od kojih je najvažnija Escherichia coli koja je izvesno fekalnog porekla.



### 3.1.2 Opšte šeme za snabdevanje grada vodom

Različiti objekti koji čine delove vodovodnog sistema mogu se podeliti na pet grupa



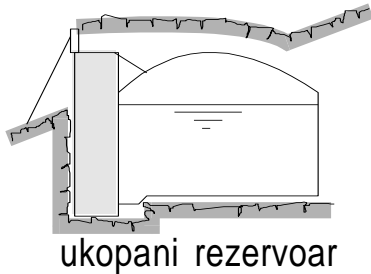
(A) *Objekti za zahvatanje vode* - zahvatne građevine na rekama, jezerima, veštačkim ili prirodnim, prirodnim izvorima, zatim galerije, bunari za zahvatanje podzemne vode, sabirne površine i cisterne za kišnicu i slično.

(B) *Postrojenja za prečišćavanje vode* - ukoliko voda na izabranom izvoru ne odgovara uslovima kvaliteta, što je gotovo uvek i slučaj, njen se kvalitet mora popraviti na naročitim instalacijama koje moraju biti smeštene između izvorišta i potrošača. Tehnološki proces u svakom postrojenju za prečišćavanje projektuje se prema sadržaju i kvalitetu sirove vode koja se prečišćava, kao i standardima koje treba da zadovolji čista voda.

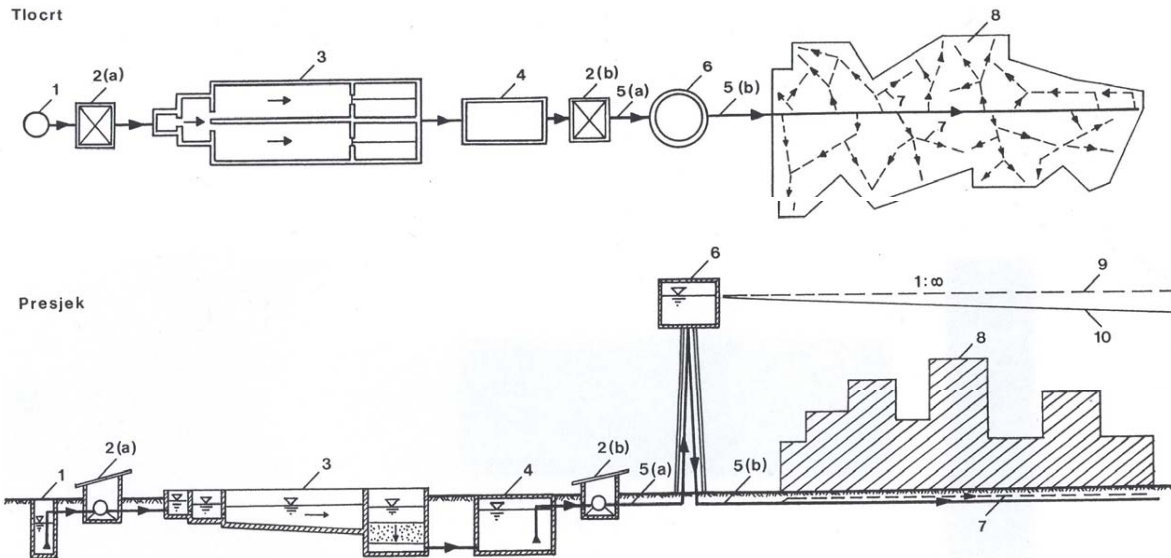
(C) *Objekti za dovođenje vode* od postrojenja za prečišćavanje do grada, zajedno sa komorama za prekid pritiska ili crpnim stanicama ukoliko su ove potrebne.

(D) *Distributivna mreža* - cevna mreža za razvođenje vode do svakog potrošača.

(E) *Rezervoari* - objekti za sakupljanje i čuvanje čiste vode, za izravnavanje razlika između doticaja vode i potrošnje. Na skici je pokazan jedan mogući oblik ukopanog rezervoara. Osim ukopanih postoje i polukopani i nadzemni rezervoari (vodotornjevi). Svaki rezervoar je objekat za sebe koji se projektuje prema lokalnim uslovima, te nikakva generalizacija nije moguća.



U zavisnosti od položaja izvorišta u odnosu na mesto potrošnje i same konfiguracije terena date su neke osnovne šeme vodovodnih sistema.



**(A) Gravitacioni vodovod**



transporta čiste vode do potrošača.

Izvorište čiste vode nalazi se na višim kotama od naselja. Za distribuciju do potrošača koristi se slobodan pad vode. Potrebno je napomenuti da su ovakve situacije retke, odnosno izvorište vode se retko nalazi na višim kotama od centra potrošnje. Ovo međutim predstavlja najekonomičniji vid

**(B) Vodovod sa veštačkim izdizanjem bez rezervoara**



Snabdevano područje je na višim kotama od izvorišta a izgradnja rezervoara nije moguća ili nije ekonomična, obzirom da se preko crpne stanice snabdeva mali broj potrošača.

### **(C) Vodovod sa veštačkim izdizanjem preko rezervoara**

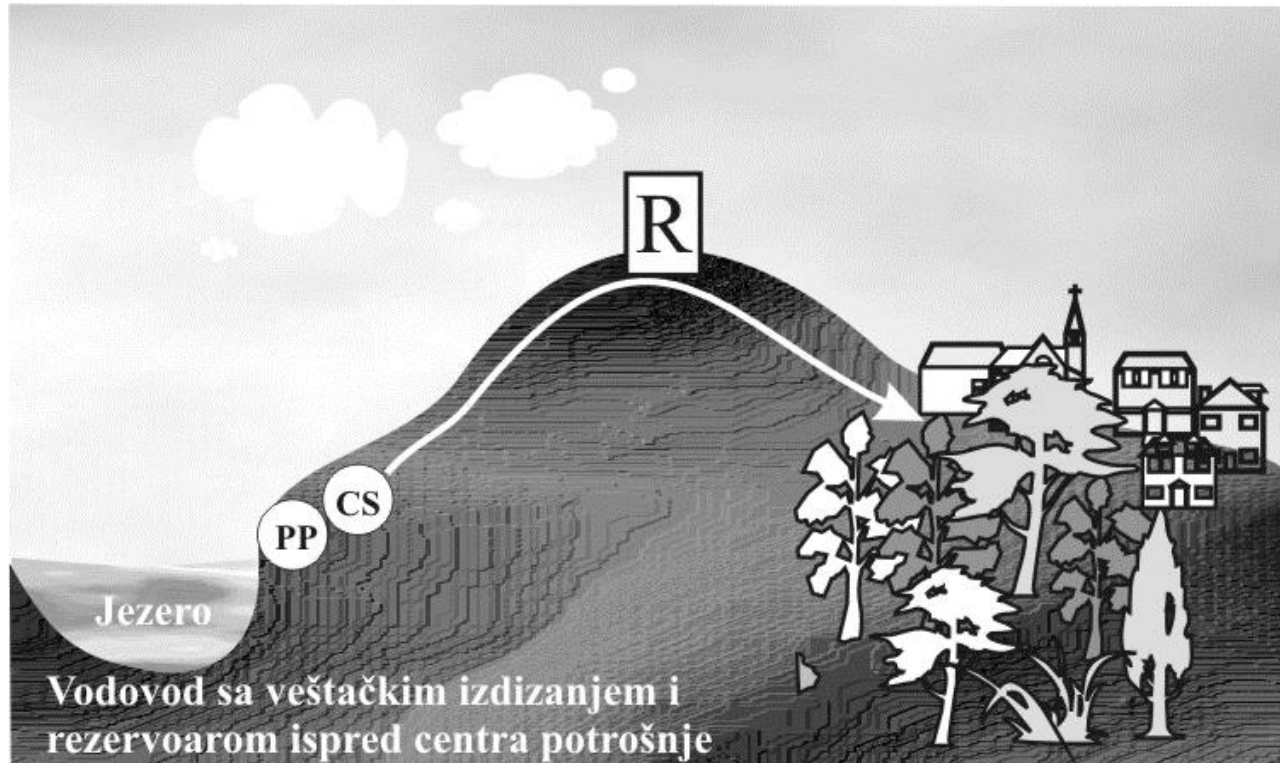
Ukoliko se crpnom stanicom snabdeva značajan broj potrošača grade se rezervoari. Njihova uloga u sistemu je dvojaka:

- U slučaju ispada iz pogona crpne stanice, potrošači još neko vreme mogu da se snabdevaju vodom iz rezervoara.
- U špicevima potrošnje, potrošači se delimično snabdevaju preko crpne stanice a delimično iz rezervoara. To znači da crpna stanica može da funkcioniše ravnomerno tokom dana, sa nekim usrednjenim kapacitetom. Noću, kada je potrošnja vode mala, viškom vode koju crpna stanica pumpa puni se rezervoar. U trenutcima najveće potrošnje “deficit” se dopunjuje iz rezervoara.

U zavisnosti od konfiguracije terena to mogu biti rezervoari iza centra potrošnje, takozvani kontrarezervoari. Rezervoar se nalazi na višim kotama od područja koje snabdeva. Njegov visinski položaj treba da obezbedi dovoljan pritisak i u najbližim kućama, onima sa najmanjom visinskom razlikom između nivoa vode u rezervoaru i kota terena na kojima se objekti nalaze i to za slučaj gravitacionog tečenja, odnosno za slučaj snabdevanja iz rezervoara kada pumpa ne radi.



Kada to konfiguracija terena zahteva, rezervoar se može naći i ispred centra potrošnje:



Veliki vodovodni sistemi obično se sastoje od većeg broja izvorišta, crpnih stanica i rezervoara i predstavljaju složenu kombinaciju navedenih tipova.

Takođe, radi uštede energije, kod naselja sa većim visinskim razlikama, prepumpavanje se ne vrši kontinuirano već postepeno. Područje grada podeli se na dve ili više visinskih zona. Kompletna voda pumpa se sa izvorišta u rezervoar prve zone koji se postavlja na kotama nešto višim od granice prve i druge zone. Ovaj rezervoar napaja potrošače na nižim kotama - potrošače prve zone i snabdeva vodom crpke druge zone koje su obično u okviru istog postrojenja. Ove crpke snabdevaju vodom rezervoar druge zone, iz koga vodu dobijaju potrošači druge zone i crpke treće itd. Na ovaj način se izbegava skupo i neracionalno pumpanje ukupne količine vode na veliku visinu. Ukupna količina vode pumpa se samo do rezervoara druge zone. U drugu zonu pumpa se samo količina potrebna drugoj i višim zonam itd.

Odluka o podeli nekog naselja na visinske zone, prilikom planiranja izgradnje njegovog vodovodnog sistema, donosi se na osnovu tehno-ekonomske analize koja treba da pokaže da li je isplativije graditi više crpnih stanica i rezervoara manjeg kapaciteta ili jedna crpna stanica i rezervoar velikog kapaciteta. U analize ulaze i investicioni i eksploatacioni troškovi predloženih alternativa.





*Beograd je podeljen na četiri visinske zone:*

- *I zonu obuhvataju područja sa nadmorskim visinama od 75 mnm do 125 mnm*
- *II zonu obuhvataju područja sa nadmorskim visinama od 125 mnm do 175 mnm*
- *III zonu obuhvataju područja sa nadmorskim visinama od 175 mnm do 225 mnm*
- *IV zonu obuhvataju područja sa nadmorskim visinama preko 225 mnm*

### **3.1.3 Potrebne količine vode**

Potrošnja vode zavisi od mnogih konstantnih i promenljivih činilaca kao što su:

**Klimatski uslovi** - u područjima sa suvom i toplom klimom potrebe za vodom su veće nego u područjima sa vlažnom i hladnom klimom. Potrebno je međutim napomenuti da neka područja sa ekstremno toplom klimom zapravo nemaju na raspolaganju dovoljno vode za zadovoljenje svojih potreba, tako da iako su njihove potrebe objektivno veće, potrošnja vode može biti manja.

**Broj potrošača i specifična dnevna potrošnja po stanovniku**, u smislu da što je veći broj potrošača u naselju i specifična potrošnja svakoga od njih veća i ukupna potrošnja naselja biće veća. Takođe je uočeno da, što je grad veći specifična potrošnja po glavi stanovnika ima tendenciju da raste. Ovo se

objašnjava činjenicom da veći gradovi imaju više industrije i komercijalnih delatnosti, zelenih površina za zalivanje a najverovatnije i gubitaka u mreži.

**Karakteristike populacije.** Životni standard i mentalitet potrošača utiče na potrošnju vode u naseljima. Očigledno, potrošnja vode u gradovima u razvijenim zemljama veća je od potrošnje u odgovarajućim gradovima nerazvijenog sveta. Ove razlike nisu uočljive samo između razvijenog i nerazvijenog sveta već i u okvirima jednog te istog grada. Veću potrošnju imaju na primer luksuzni rezidencijalni delovi grada od slamova u kojima nije izgrađena ni kanalizacija.

**Priraštaj broja potrošača** ima veliki uticaj pri projektovanju potrošnje vode u gradovima. Tako na primer veliki gradovi u Latinskoj Americi i Africi, koji se susreću sa stalnim enormnim povećanjem broja stanovnika, moraju računati i sa odgovarajućim povećanjem potrošnje vode. Nasuprot tome, stari evropski i severnoamerički gradovi polako “gube” stanovništvo, odnosno u njima ne treba očekivati povećanje potrošnje vode.

**Politika cena** vode može biti od uticaja na potrošnju vode stanovništva. Generalno se može reći da gotovo nigde u svetu građani ne plaćaju realnu cenu proizvodnje i distribucije vode, već se radi o javnom dobru koje delimično dotira država. Međutim u mnogim slučajevima gradske vlasti pokušavaju (i uspevaju) da utiču na smanjenje potrošnje vode politikom cena, bilo da se radi o

opštem povećanju cene vode, bilo da se radi uvođenju blok tarifa. Blok tarifa podrazumeva “kaznene”, ekstremno visoke cene vode za sve potrošene količine veće od nekih prosečnih.

*Održavanje i funkcionisanje gradske kanalizacije* takođe utiče na potrošnju vode. Na primer, naselja koja nemaju izgrađenu kanalizaciju imaju vrlo malu potrošnju vode jer su obično opremljena jedino uličnim česmama.

*Gradske potrebe za polivanjem ulica i gašenjem požara* moraju se uzeti u obzir pri određivanju potrošnje vode. Gradske ulice se naravno ne moraju prati pijaćom vodom, već je moguće koristiti tehničku vodu.

*Broj, vrste i tehnologije u industrijskim objektima* u veoma velikoj meri utiču na ukupnu potrošnju vode jednog grada.

Za neki novi vodovod najbolje je buduću potrošnju proceniti na osnovu iskustava gradova koji imaju sličnu urbanističku strukturu, geografski položaj, privredne, socijalne i ekonomske uslove.

Često se potrošnja vode u naseljima izražava jednim brojem koji predstavlja količnik između srednje dnevne zapremine potrošene vode u kalendarskoj godini i ukupnog broja stanovnika u naselju u toj godini. Ovaj količnik obuhvata svu količinu podeljene vode uključujući i gubitke iz mreže. On se

izražava u litrima po stanovniku na dan (l/stan/dn) a naziva se i srednja dnevna potrošnja vode ili specifična potrošnja.

U narednoj tabeli date su orijentacione vrednosti specifične potrošnje u zavisnosti od veličine naselja

Broj stanovnika	Q (l/st/dn)
do 10.000	150
20.000	165
50.000	180
100.000	210
200.000	270
300.000	325
400.000	330
600.000	450
800.000	525
1.000.000	600
1.500.000	675
2.000.000	750

Godišnja potrošnja vode po pravilu se povećava usled povećanja broja stanovnika, povećanja njihovog standarda i razvoja industrije. Objekti vodovoda grade se tako da zadovolje potrebe koje se očekuju u budućnosti tj. na kraju projekcionog perioda. Broj stanovnika na kraju projekcionog perioda obično je dat urbanističkim planom i rezultat je demografskih studija. Broj stanovnika u budućnosti može se približno izračunati pomoću obrasca

$$N_2 = N_1 \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^n$$

gde je

- $N_2$  broj stanovnika koji se očekuje u naselju posle  $n$  godina
- $N_1$  postojeći broj stanovnika
- $p$  stopa godišnjeg priraštaja stanovništva u %

Napominje se da je uobičajeni projekcioni period na koji se projektuje vodovodna mreža oko 50 godina, odnosno računa se da objekti treba da budu u funkciji makar toliko.

Statistički podaci pokazuju velike promene potrošnje vode u toku vremena koje nastaju i usled promene temperature vazduha, usled sezonskih poslova u poljoprivredi pa i od načina života u naselju. Menja se ukupna godišnja potrošnja vode, menja se od meseca do meseca usled sezonskih

promena, u toku sedmice zapažaju se razlike u potrošnji od dana do dana i najzad ni u toku dana i sata potrošnja vode nije konstantna.

Ako se za jedinicu uzme srednja potrošnja za jedan mesec, sezonske promene potrošnje vode idu od 0.5 srednje potrošnje u zimskim mesecima do 1.5 u letnjim. Ove vrednosti nazivaju se koeficijenti godišnje neravnomernosti i iznose dakle  $K_{\min}^{god} = 0.5$  i  $K_{\max}^{god} = 1.5$ .

Ako specifičnu potrošnju obeležimo sa  $q_s$  (l / st / dn), kapacitet izvorišta se dobija kao

$$Q_{sr}^{dn} = \frac{\text{Broj stanovnika} \times q_s}{86400} \quad (l / s)$$

gde je 86400 broj sekundi u jednom danu (24x60x60=86400)

Potrošnja vode menja se u toku dana iz sata u sat. Najveća potrošnja vode u jednom danu otprilike je 1.2 do 1.7 puta veća od srednje dnevne. Uvodi se dakle koeficijent dnevne neravnomernosti  $K_{\max}^{dn}$ . Prema tome maksimalna dnevna potrošnja u l/s iznosi

$$Q_{\max}^{dn} = K_{\max}^{dn} Q_{sr}^{dn}$$

Maksimalna dnevna potrošnja koristi se za dimenzionisanje zahvata vode, postrojenja za prečišćavanje vode i primarnih vodova i objekata vodovodne mreže.

Promene potrošnje vode se događaju i u toku svakog časa, iz momenta u momenat. U velikim gradovima ovaj takozvani časovni maksimum iznosi 1.2 do 2.5 u odnosu na srednju potrošnju u jednom satu, dakle koeficijent časovne neravnomernosti iznosi  $K_{\max}^{cas} = 1.2 - 2.5$ .

Maksimalna časovna potrošnja je onda

$$Q_{\max}^{cas} = K_{\max}^{cas} Q_{\max}^{dn} = K_{\max}^{cas} K_{\max}^{dn} Q_{sr}^{dn}$$

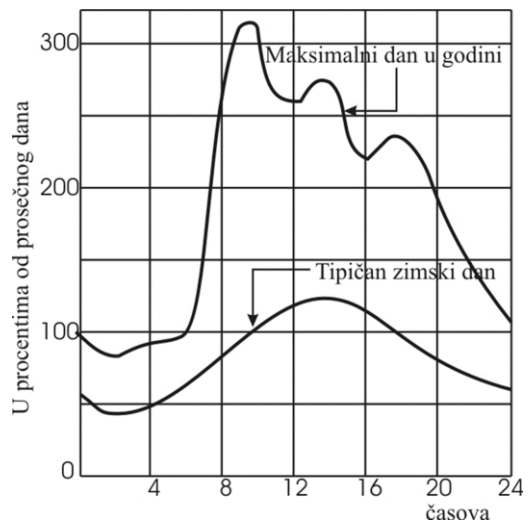
i služi za dimenzionisanje distributivne (sekundarne) mreže.

U narednoj tabeli date su orijentacione vrednosti koeficijenata dnevne i časovne neravnomernosti u zavisnosti od tipa naselja:



Tip naselja	$K_{\max}^{dn}$	$K_{\max}^{cas}$
Banje, letovališta	1.7	2.5
Sela i gradovi do 10.000 stanovnika	1.6	2.0
Gradovi do 25.000 stanovnika bez industrije	1.5	1.7
Gradovi do 25.000 stanovnika sa industrijom	1.4	1.4
Gradovi od 50.000 do 100.000 stanovnika	1.3	1.3
Gradovi preko 100.000 stanovnika	1.25	1.2

Na narednoj slici prikazane su dnevne neravnomernosti potrošnje vode izmerene u gradu Palo Alto u Kaliforniji:



### 3.1.4 Transport vode do naselja i raspodela vode do naselja

Za transport vode do naselja služi glavna dovodna cev i prateći objekti (crpne stanice i sl.). Generalno se može reći da se glavni dovodi vode dimenzionišu prema  $Q_{\max}^{dn}$ , odnosno maksimalnoj dnevnoj potrošnji. Razlog za ovo možemo tražiti u činjenici da za razliku od dnevnih neravnomernosti, špiceva potrošnje koji se u jednom gradu javljaju u određena doba dana (na primer pre polaska stanovnika na posao, u vreme pripreme ručka,...), pojave časovnih ravnomernosti nisu predvidljive. One nastaju superponiranjem slučajnih “otvaranja i zatvaranja slavina” od strane potrošača. Kako je na jednu primarnu cev priključeno više sekundarnih cevi, u kojima se ovi slučajni, časovni špicevi potrošnje javljaju u različitim trenucima, oni neće izazivati potrebu za dodatnim kapacitetom u primarnom dovodu vode.

Prilikom određivanja prečnika cevovoda najčešće se javlja slučaj da je poznat tj. zadat proticaj koji ona treba da propusti dok su nepoznate sve ostale veličine od kojih on zavisi. Ovaj zadatak ima bezbroj rešenja pa se zato dodaju dopunski uslovi:

1. Zadat je pritisak na krajevima cevi na primer nivo vode na izvoru i rezervoaru, nivo na izvoru i potreban pritisak na kraju cevi.

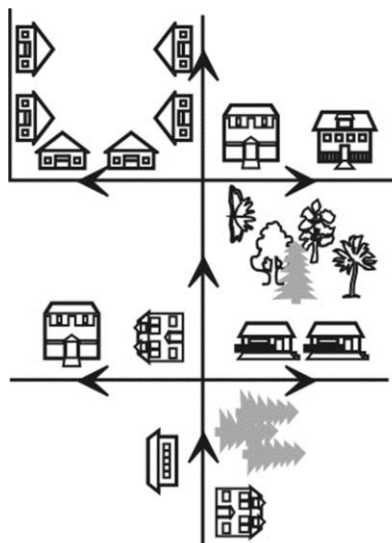
2. Propisuje se maksimalna dopuštena brzina u cevovodu naročito za dugačke cevovode pod pritiskom, da bi se izbegao veliki udar pritiska kad se isključe pumpe ili veliki potrošači. Ona se može približno izračunati po obrascu

$$V_{\max} \leq 1.5\sqrt{D + 0.05} \quad (m / s)$$

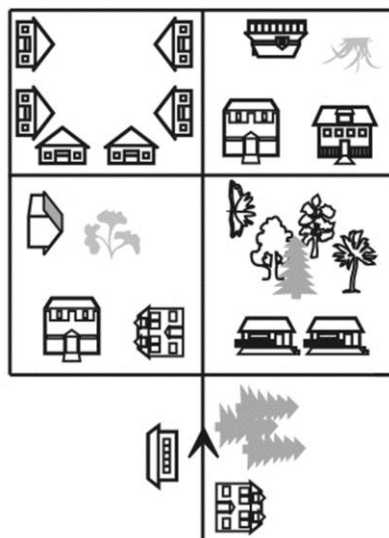
gde je  $D$  prečnik cevi u metrima.

3. Izbor optimalnog prečnika prema ekonomskim merilima

Raspodela vode u naselju vrši se distributivnom, sekundarnom vodovodnom mrežom na koju se povezuje kućna instalacija. U uličnoj i kućnoj mreži voda je uvek pod pritiskom pre svega jer je to tehnički najpogodniji način - cevi se polažu u zemlju i u zidove u bilo kakvom podesnom položaju bez obzira na pravac toka. Drugo, voda se tako jedinstvenom mrežom dovodi do svih potrošača bez obzira na njihov visinski položaj i treće, tako je najmanja mogućnost naknadnog zagađenja vode.



Granata mreža



Prstenasta mreža

Razvodna mreža može biti granata ili prstenasta. Kod granate mreže se svakim ogranakom nezavisno sprovodi voda od glavnog dovoda do potrošača i on se završava slepo. Kod prstenaste mreže krajevi pojedinih ogranaka međusobno su vezani. Ovaj tip je bolji od prvog jer omogućuje neprekidnu cirkulaciju vode kroz sve delove mreže čime se izbegava da se voda na slepim krajevima ustoji. U

njemu je ravnomerniji raspored pritisaka u mreži a mogućnost snabdevanja svakog potrošača sa dva kraja umanjuje nezgode u slučaju kvarova.

Prečnik svakog ogranka mreže određuje se prema proticaju u njemu u času najveće potrošnje  $Q_{\max}^{cas}$ . Kao dopunski se javljaju ranije navedeni uslovi. U pogledu pritisaka distributivna mreža treba da je tako projektovana da na najnepovoljnijem mestu (najudaljenijem od izvorišta, rezervoara, na najvišoj koti,...) u mreži vlada dovoljan pritisak za sve potrebe. Orijentacione vrednosti visine pritiska potrebnog za normalan rad izliva u zgradama date su u tabeli.

Spratnost objekta	Potrebna visina pritiska (mvs)
prizemne kuće	10
1 sprat	15
2 sprata	16 - 20
3 sprata	21 - 25
4 sprata	26 - 30
5 spratova	31 - 35

6 spratova	36 - 40
7 spratova	41 - 50
za javne česme	5

U vodovodima gde se gašenje požara izvodi neposrednim priključivanjem na uličnu mrežu visinama iz tabele treba dodati još 25 mvs.

Da bi vodovodna mreža zadovoljila ove zahteve propisuju se minimalni prečnici cevovoda. U vodovodima naselja do 20000 stanovnika najmanji prečnik ogranka na kome se nalazi požarni hidrant iznosi  $\varnothing 80$  mm a ostalih ogranaka  $\varnothing 50$  mm. U velikim gradovima najmanji dozvoljeni prečnik može biti propisan na  $\varnothing 150$ mm ili  $\varnothing 200$  mm.

### 3.1.5 Hidraulički proračun vodovodne mreže

Hidraulički proračun vodovodne mreže služi za dimenzionisanje vodovodne mreže pri merodavnoj potrošnji vode. Za određivanje minimalnih pritisaka koji se javljaju u mreži potrebno je proučiti stanje pri maksimalnoj potrošnji jer se tada javljaju najveći otpori. Međutim, da bi se do detalja proučio rad mreže potrebno je izvršiti proračun i za druga stanja potrošnje vode.

Vodovodna mreža se može opisati kao skup cevi koje su međusobno povezane u nizu tačaka - čvorova. Nepoznate veličine koje treba odrediti u hidrauličkom proračunu jesu proticaji u cevima i piježometarske kote u čvorovima.

Bez obzira da li se radi o granatoj ili prstenastoj mreži, pri proračunu se polazi od istih osnovnih hidrauličkih jednačina

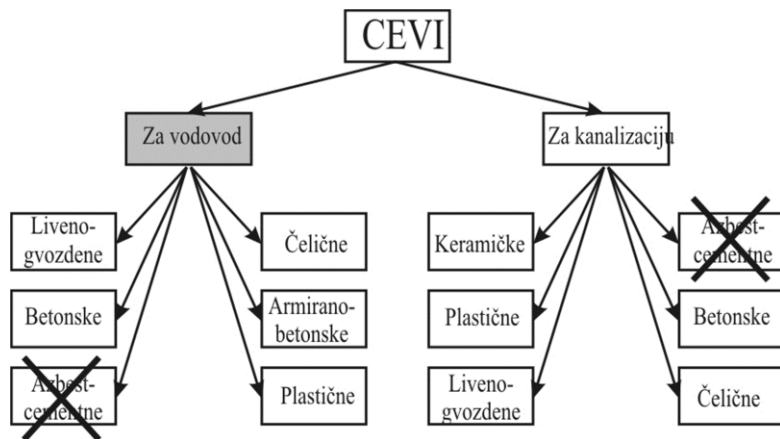
- Jednačina kontinuiteta
- Dinamičkih jednačina

pisanih u odgovarajućim formama.



### **3.1.6 Materijali za izradu vodovodne mreže**

Sa ubrzanom urbanizacijom naselja raste i potreba za razvojem komunalne infrastrukture u okviru koje su najznačajniji mreže i objekti za snabdevanje vodom i kanalisanje naslja. Razvoj vodovodnog i kanalizacionog sistema predstavlja veoma značajnu i dugotrajnu investicionu aktivnost, koju po pravilu snosi društvo pa se osim tehničkih aspekata u prvi plan moraju staviti i ekonomski aspekti ovog problema. S toga se razvojem novih tehnologija u izradi cevnih materijala, što je i osnovni materijal za izradu vodovodne i kanalizacione mreže, teži sve savršenijim materijalima u tehn-ekonomskom smislu.



Prilikom donošenja odluke o primeni predloženog cevnog materijala treba voditi računa o njegovim

- hidrauličkim karakteristikama
- mehaničkim karakteristikama
- otpornosti na hemijske uticaje
- vodonepropustljivosti
- nepromenljivosti osobina u vremenu

Podela cevovoda na prethodnoj slici učinjena je pre svega prema primeni a zatim prema upotrebljenim materijalima.

Imajući u vidu činjenicu da u vodovodnim cevima, sa izuzetkom gravitacionih vodovoda, voda teče pod određenim pritiskom, osnovno mehaničko svojstvo koje se od vodovodnih cevi zahteva jeste sposobnost da se ovom unutrašnjem pritisku vode suprotstave. Dalje, materijal od koga se vodovodne cevi prave mora biti otporan na hemijske uticaje, kako vode tako i sredine u koju se cev polaže a sa druge strane ni on sam ne sme uticati na pogoršavanje kvaliteta vode. Na cevovod ne smeju imati uticaja promene temperature vode. Vodovodne cevi moraju biti izrađene od postojanog materijala.



*Vodovodne cevi od pečene zemlje, Efes, II v.n.e.*

Sve ove osobine, u većoj ili manjoj meri zadovoljavaju cevovodi koji se prave od livenog gvožđa, čelika, betona i armiranog betona i plastičnih masa. Potrebno je napomenuti da se sem cevovoda za izradu vodovodne mreže koriste i tzv. fasonski komadi - račve, kolena, i drugo, kao i armature - zatvarači i ventili, tako da i oni moraju zadovoljiti iste uslove kao i materijali za izradu samih cevi.

## Liveo-gvozdene cevi

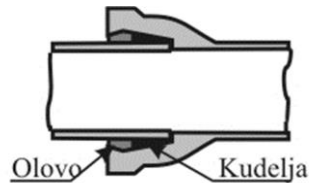
Gvozdene se cevi se liju po standardima i normama koje diktiraju kvalitet liva, postupak za ispitivanje gotovih proizvoda, dimenzije i radni pritisak. Ove cevi su veoma otporne na agresivne hemijske uticaje, kako vode tako i zemljišta u koje se cevi polažu. Međutim, radi veće sigurnosti cevi se spolja i iznutra izoluju specijalnim asfaltnim premazom koji mora da zadovolji određene standarde, odnosno ne sme da ugrozi kvalitet vode. Liveo-gvozdene cevi su krte i samim tim neotporne na udare te se stoga sa njima prilikom ugradnje mora veoma pažljivo postupati. Rade se u dužinama do 5 m.

Prema načinu izrade mogu se podeliti na centrifugalno livene cevi - cevi livene u specijalnim livačkim centrifugama i gravitaciono livene cevi, odnosno cevi livene u uspravnim livačkim kalupima od peska. U sivom livenom gvožđu, zavisno od toga da li se cevi liju gravitaciono ili centrifugalno, grafit se pojavljuje u krupnijim odnosno sitnijim listićima. U novije vreme, u svetu se za centrifugalno livenje cevi koristi takozvano nodularno ili duktilno liveo gvožđe kod koga se grafit pojavljuje u grudvicama i koje ima bolje mehaničke osobine i još je manje osetljivo na koroziju. Cevi od nodularnog livenog gvožđa mogu imati manju debljinu te su s toga lakše za transport i ugradnju. Postupak izrade ovih cevi razlikuje se samo u metalurškom smislu, kod pripreme samog gvožđa, a dalje je postupak isti kao kod uobičajenog centrifugalnog livenja. Proizvođač je dužan da vrši stalna ispitivanja sirovina i gotovih odlivaka od kojih je svakako najvažnije ispitivanje na hidraulički pritisak vode. Najmanji pritisci vode koje cevi moraju izdržati prikazani su u tabeli. U odnosu na radni pritisak koji trpe centrifugalno livene

cevi podeljene su u klase LA, A i B na koje je projektant dužan da se pozove pri izboru cevnog materijala.

Vrsta cevi	Klasa	Ø (mm)	Pritisak 10 <sup>5</sup> Pa		
			probni		radni
			u fabrici	na terenu	
gravit. livene			16.0	12.5	10.0
centri- fugalno livene cevi	LA	do 600	20.0	15.0	10.0
		700- 1000	15.0		7.5
	A	do 600	25.0	18.0	12.5
		700- 1000	20.0		10.0
	B	do 600	30.0	21.0	15.0
		700- 1000	25.0		12.5

Liveno gvozdene cevi mogu se spajati na dva osnovna načina - spojem na naglavak i spojem na obod.

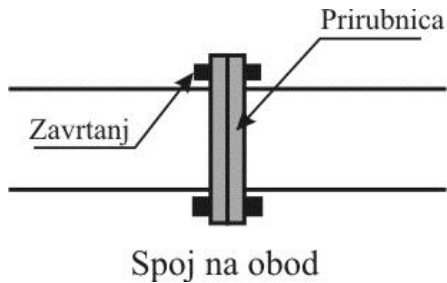


Spoj na naglavak sa kudeljom i olovom

Spoj na naglavak podrazumeva da se na jednom kraju cevi izrađuje proširenje, naglavak ili muf. U njega ulazi gladak kraj druge cevi - rep. Spojevi na naglavak razlikuju se po vrsti zaptivanja prostora između naglavka i repa. Najčešće se primenjuju spoj sa kudeljom i olovom i spoj sa gumenim prstenom.

Spoj sa kudeljom i olovom je krut, što onemogućava da se cevi spajaju pod uglom većim od  $1^{\circ}$ . Takođe je potrebno napomenuti da je ovaj spoj neotporan na veće promene temperature vode jer se usled dilatacija cevi izazvanih promenama temperature olovni prsten u naglavku pomera u naglavku te zaptivenost spoja popušta.

Spoj sa gumenim prstenom je pokretljiviji te se cevi sa takvim spojem mogu polagati u slabijem zemljištu ili na objektima kod kojih se očekuju deformacije. Mogu se primeniti i kada se očekuje znatnija promena temperatura vode. Liveno-gvozdene cevi se mogu spajati na naglavak sa gumenim prstenom pod uglovima do  $3^{\circ}$ .



Liveño - gvozdene cevi koje se spajaju na obod završavaju se sa oba kraja prirubnicama (flanšama) između kojih se postavlja zaptivka od gume a zatim se prirubnice pritežu jedna uz drugu zavrtnjima. Ovaj spoj je veoma krut i podložan koroziji pa se stoga koristi samo kod nadzemnih instalacija. Prednost ovog spoja je lakoća izrade i mogućnost demontaže delova bez poremećaja veće dužine cevovoda.

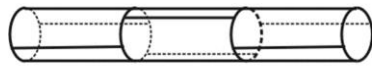
Za spajanje liveño-gvozdenih cevovoda pod uglom kao i za račvanje koriste se posebni fasonski komadi - lukovi, kolena, račve itd. koji se takođe izrađuju od sivog liva i čije su dimenzije normirane. Spojevi cevovoda i fasonskih komada izvode se na sličan način kao i spojevi između cevi.





## Čelične cevi

Za izradu čeličnih cevi koristi se čelični lim koji se uzdužno, porečno ili spiralno zavaruje. Mogu biti i bezšavne, koje se dobijaju valjanjem.



Poprečno zavarene čelične cevi



Spiralno zavarene čelične cevi

Čelične cevi su otpornije na pritisak vode od liveno-gvozdernih ali su zato neuporedivo neotpornije prema agresivnim dejstvima vode i

zemljišta pa se zato kod primene u vodovodu moraju veoma pažljivo izolovati. Izolacija se radi obično na bazi različitih premaza od bitumena s tim što se kod unutrašnje izolacije mora voditi računa da se ne ugrozi kvalitet vode. Završni sloj je premaz od kreča ili kameno brašno što služi kao toplotna izolacija bitumena prilikom transporta ili skladištenja cevi. Takođe se primenjuje i katodna zaštita<sup>5</sup> kao zaštita čeličnih cevi od korozije u zemlji.

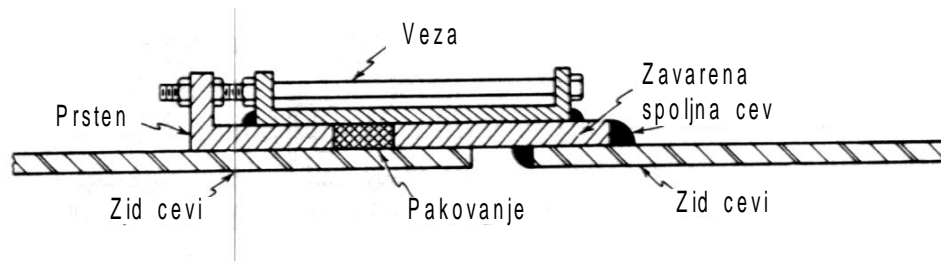
---

<sup>5</sup> Katodna zaštita cevovoda izvodi se trajnim dovođenjem površine cevi pod određeni (mali) električni napon u odnosu na sredinu u kojoj je cev položena, koji onemogućava jone koji izazivaju koroziju da se približe površini cevi.

Čelične cevi se rade u dužinama od 4-8 m i prečnika  $\varnothing 150-1000$  mm za različite pritiske. Mogu trpeti pritiske od  $50-80 \times 10^5$  Pa. Potrebno je napomenuti da su ove cevi zbog malih debljina zidova veoma osetljive na spoljašnja opteređenja što iziskuje statički proračun. Sa druge strane nisu krte kao liveno-gvozdene cevi pa samim tim ni osetljive na udar.

Cevi od čelika se spajaju zavarivanjem. Posle zavarivanja cevi obavezno treba popraviti oštećenu izolaciju. Ukoliko je potrebno obezbediti laku demontažu, mogu se spajati i na obod. Fasonski komadi se proizvode u standardnim oblicima (lukovi) ali se češće izrađuju krojenjem od pravih cevi i zavarivanjem.

Čelične cevi koje će u eksploataciji biti izložene značajnim promenama temperature ne spajaju se zavarivanjem već dilatacionim spojnicama. Na narednoj slici prikazan je spoj čeličnih cevi dilatacionom spojnicom.

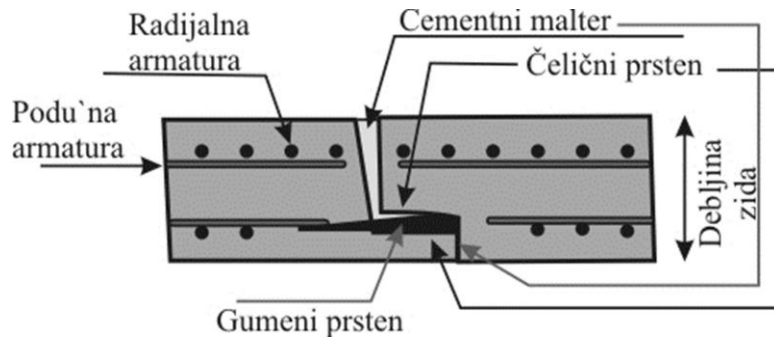


## **Betonske i armirano betonske cevi**

Cevi od nearmiranog betona usled slabe otpornosti na savijanje i kidanje nisu u stanju da trpe pritisak pa stoga nisu preporučljive za korišćenje u vodovodu. Njihova primena se ograničava na cevovode sirove vode, koji rade pod malim pritiskom, ili kao obloga tunela kroz tlo u kojem se ne očekuje sleganje i velika neravnomernost pritiska.

Za razliku od njih armirano betonske cevi mogu imati primenu svuda gde i liveno gvozdene cevi. Armirano betonski cevovodi izvode se na licu mesta, u rovu, ili mnogo češće u fabrikama betona. Prefabrikovane cevi mogu se izrađivati perivibriranjem u uspravnim kalupima, centrifugiranjem ili u vibro-presama gde se vibriranjem i pritiskom postiže velika kompaktnost betona uz minimalan utrošak vode. Ovaj poslednji način je najbolji i najnoviji. Radni pritisak koji su armirano betonske cevi u stanju da izdrže zavisi od debljine zidova i količine armature.

Postoje i prednapregnute armirano betonske cevi, što se može izvesti i na taj način da se oko gotove cevi klasično armirane spiralno obmotava zategnuta žica za prednaprezanje koja se spolja štiti slojem betona nabačenog pištoljem.



Spoj armirano betonskih cevi može biti na naglavak. Prostor između naglavka i repa ispunja-va se cementnim malterom, što nije dobro jer ovaj spoj vremenom popušta, ili olovnom vunom, što je nešto bolje, ili u novije vreme gumenim prstenom. Armirano betonska cev može se sastojati iz čelične košuljice sa obe strane zaštićene armirano betonskom

oblogom. U tom slučaju spajaju se zavarivanjem ili spojem na obod a taj spoj se kasnije zaštiti slojem betona.

Armirano betonske cevi koriste se uglavnom kao magistralni cevovodi na koje se priključuju samo primarni razvodni cevovodi.

## Plastične cevi



Plastične cevi se prave od poli-vinilhlorida (PVC), mekog i tvrdog polietilena (PE) istiskivanjem istopljene mase kroz prstenasti otvor određenog prečnika i hlađenjem u vodi. Moгу se izrađivati i od poliestera armiranog staklenim vlaknima (Tesar cevi) i to obmotavanjem mase oko kalupa pre polimerizacije ili centrifugiranjem.

Plastične cevi imaju malu specifičnu težinu, što olakšava montažu cevovoda, veliku otpornost na koroziju, male hidrauličke otpore i lake su za obradu. Obzirom na laku montažu iziskuju manju širinu rova u odnosu na cevi od drugih materijala odgovarajućeg prečnika, odnosno manji obim zemljanih radova.

PVC cevi se izrađuju u dve klase - klase A za radni pritisak od  $10 \times 10^5$  Pa i klase B za radni pritisak  $6 \times 10^5$  Pa i to za temperaturu od  $20^0$  C. Za više temperature radni pritisak se smanjuje. Izrađuju se u dužinama od 6 i 12 m sa prečnicima od  $\varnothing 50$  do  $\varnothing 300$  mm. Spajaju se na naglavak zaptiven gumenim prstenom ili na naglavak sa lepljenjem ili zavarivanjem.

Polietilenske cevi se izrađuju za tri standardna radna pritiska - 2.5, 6 i  $10 \times 10^5$  Pa. Cevi od mekog polietilena rade se u prečnicima od  $\varnothing 10$  do  $\varnothing 110$  mm, a od tvrdog polietilena od  $\varnothing 40$  do 355 mm. U prečnicima do  $\varnothing 110$  mm prave se u velikim dužinama (200 do 400 m, zavisno od prečnika) i isporučuju se namotane na koture. Ako su većeg prečnika isporučuju se u pravim komadima do dužine od 20 m. Spajaju se varenjem ili različitim plastičnim spojnicama sa gumenim prstenovima.

### **Azbest cementne cevi**

Obzirom na ustanovljena kancerogena dejstva azbesta, azbest cementne cevi se više ne proizvode niti se smeju upotrebljavati kao cevni materijal u izgradnji vodovodne mreže. Ovde se pominju stoga jer su do pre desetak godina bile u upotrebi, te ima još uvek mnogo azbest-cementnih cevi u funkciji. Njih je potrebno postepeno zameniti cevima od drugih materijala.

## Vodovodne armature

Pod vodovodnim armaturama podrazumevaju se predmeti različite nameme i izrade koji služe funkcionisanju vodovodne mreže.

To su pre sveda zatvarači (zasuni, šiberi) koji u vodovodnoj mreži i objektima služe za prekid strujanja vode u cevima, potpuno ili delimično, odnosno za regulaciju proticaja od nule do maksimuma. Za vodovode pod pritiskom izrađuju se uglavnom od livenog gvozdā sa delovima od mesinga.



Požarni hidranti su takođe jedna vrsta zatvarača posebnog oblika koji služe za izlivanje vode na određenim tačkama u mreži. Oni služe za gašenje požara, pranje ulica, zalivanje zelenila, ispuštanje vazduha iz mreže, ispuštanje vode iz mreže prilikom njenog pranja i dezinfekcije. Mogu biti nadzemni ili podzemni. Postavljaju se na propisanim odstojanjima na uličnoj mreži.

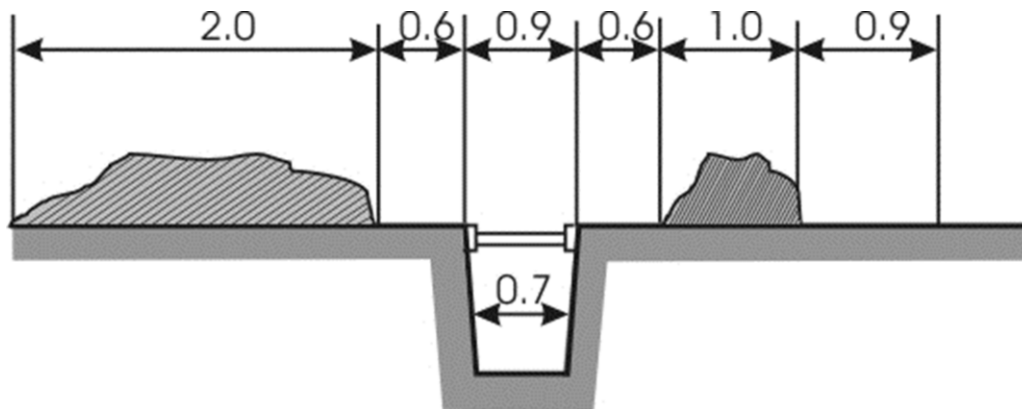
Vazdušni ventili služe za ispuštanje vazduha iz mreže pri punjenju u normalnom radu i za upuštanje vazduha pri pražnjenju cevovoda.

Tu su zatim ogrlice sa ventilom za kućne spojeve, ulične česme itd.

### 3.1.7 Izvođenje vodovodne mreže

Trasa cevi prenosi se iz situacionog plana na teren. Na svakih 20 do 50 m pobija se u zemlju kočić, čiji vrh odgovara koti terena iz podužnog profila, koji služi za kontrolisanje pravilnosti izvođenja rova.

Širina rova zavisi od njegove dubine i prečnika cevi kao i vrste spojeva. Za cevi od livenog gvožđa do prečnika  $\varnothing 250$  mm širina rova treba da je 0.7 m. Za cevi većeg prečnika širina rova treba da bude jednaka spoljašnjem prečniku uvećanom za 0.4 m. Za betonske cevi sa naglancima preporučuje se širina rova  $(1.2 D_2 + 0.6)$  m gde je  $D_2$  spoljašnji prečnik cevi a za plastične cevi  $(D + 0.4)$  m gde je  $D$  unutrašnji prečnik cevi.





Prilikom kopanja rova prvi slojevi humusa, ili ako se radi na ulici asfalt, kamen, beton, odbacuju se na jednu stranu a zemlja iz dubine na drugu stranu. Levo i desno od rova mora se ostaviti prolaz od najmanje 0.6 m, čime se postiže i to da se iskopana zemlja ne oburvava u rov. Na ovaj prolaz sa jedne strane rova postavljaju se cevi pre spuštanja u rov. U zemljištu koje se dobro drži mogu se postaviti po ivici rova razuprte daske koje sprečavaju odronjavanje ivica rava.

Ako se zemljište ne drži samo, ali je ipak čvrsto, potrebna je podgrada čije daske ne moraju da leže sasvim jedna uz drugu. U zemljištima u kojima postoji opasnost od oburvavanja, ili ako se sastoje od finog peska, podgrada se mora izgraditi od sasvim pripijenih dasaka.

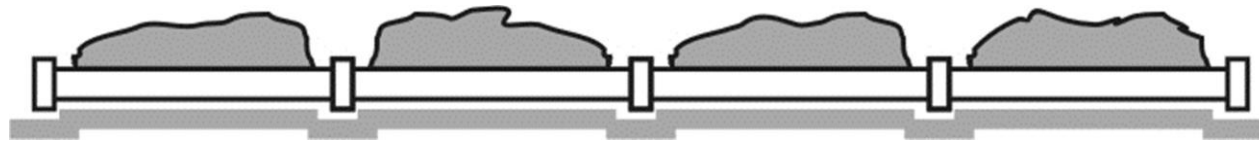
U živom pesku, ili kada voda nailazi u приметnim količinama a zemljište je nevezano, treba izgraditi vertikalnu oplatu a ponekad i priboje. Kada je rov dublji od 2 m u njemu se izgradi platforma na koju se izbacuje zemlja sa dna a sa nje na površinu terena. Za crpenje vode iz rova pored njega se izgradi posebna jama za crpenje vode. Crpka može biti ručna, za količine vode do 24 m<sup>3</sup>/h, ili motorna.

Iskop rova može biti ručni ili mašinski - rovokopačem, kada je potrebna veća širina gradilišta. Potrebne širine gradilišta za mašinski iskop date su u sledećoj tabeli.

Prečnik cevi (mm)	Dubina rova	
	do 2.5 m	preko 2.5 m
200	12	14
400	14	16
800	16	18
>800	>18	>20

Kontrola planiranja rova vrši se krstovima, između pobodenih profila, ili vaservagom. U čvrstom zemljištu cevi od livenog gvožđa se polažu neposredno na dno rova. U stenovitom zemljištu se polažu na sloj peska radi ravnomernog naleganja. U slabom zemljištu sve cevi se polažu na podlogu od šljunka i peska ili od mršavog betona. Ako postoji opasnost od ispiranja podloge tekućom vodom ili ako je zemljište sasvim slabo, cevi se postavljaju na šipove. U svakom slučaju, ma kako da je obrađeno dno rova, u njemu se ostavljaju udubljenja za izradu spojeva. Pravilnost polaganja cevi kontroliše se postavljanjem krstova na teme cevi ili vaservagom.

Cevi od livenog gvožđa i druge cevi mogu se zatrpavati zemljom iskopanom iz rova iz koje je povađeno kamenje. Takođe iz zemlje treba izbaciti korenje jer ono ometa nabijanje a kad istruli ostaju šupljine koje mogu dovesti do naknadnog sleganja zemlje u rovu.



Čim se na dužini od 200 do 500 m izrade spojevi i eventualno postave potrebna projektom predviđena betonska osiguranja na lukovima i račvama (anker blokovi), pristupa se delimičnom zatrpavanju cevi. Cilj ovog zatrpavanja je da se cevi zaštite od zagrevanja odnosno da se spreči deformisanje izgrađene deonice kao i da se obezbede od eventualnog oštećenja. Pri tome se spojevi ostavljaju nezatrpáni.

Zatim se pristupa ispiti-vanju na hidraulički priti-sak. Krajevi deonice, koja ima čitavom dužinom pad u jednom pravcu, sa visin-skom razlikom krajeva od najviše 30 m, zatvore se. Na nižem kraju postavi se crp-ka za punjenje cevi a na višem cev za ispuštanje vazduha sa slavinom. Cevi se pune čistom vodom, spo-ro, da se u njima ne bi zadržavao vazduh. Približne vrednosti proticaja kojima treba puniti deonice cevo-voda za ispitivanje date su u tabeli.

Prečnik cevi (mm)	Proticaj punjenja (l/s)
40	0.1
80	0.2
100	0.3
200	1.5
300	3.0
600	14.0

Cevi od livenog gvožđa i čelika se prvo stavljaju pod radni pritisak da bi se iz njih isterao zaostali vazduh. Zatim se pritisak postepeno povećava na probni pritisak i pod njim se drže najmanje

Prečnik cevi (mm)	Časova
<150	0.5
150-350	6.0
450-700	12.0
>700	24.0

Za to vreme se posmatra i beleži svakog sata pritisak na manometru, temperatura vode (od koje zavisi i pritisak) i stanje spojeva. Ako spojevi propuštaju vodu pritisak se spušta a spojevi popravljaju. Zatim se proba ponovo vrši. Ako pritisak nije opao, uzimajući i uticaj temperature, ispitivana deonica se prima kao ispravna. Cevi od armiranog betona ispituju se na pritisak za 50% veći od nominalnog ali ne za više od  $5 \times 10^5$  Pa, dok je kod plastičnih cevi probni pritisak veći za 30% od nominalnog. Ispitivanju izvedenih deonica prisustvuje obavezno nadzorni organ koji zajedno sa ovlašćenim predstavnikom izvođača potpisuje zapisnik. Posle proba na pritisak rov se zatrpava u slojevima od 30 cm uz nabijanje ručnim nabijačima sa površinom  $300 \text{ cm}^2$  i sa masom najmanje 6 kg. Zemlja se mora nabiti dobro ispod cevi i oko njih, da se izbegne sleganje. Zemlja za nabijanje oko cevi, ako se za ovo ne koristi pesak, treba da se proseje kroz sito. Ako je u pitanju neki duži cevovod, na kraju izrade celog cevovoda vrši se skupna proba, radi kontrole spojeva između ispitivanih kratkih deonica.

### 3.1.8 Ispiranje i dezinfekcija cevovoda

Cevovodi se ispiraju od nečistoće koja u njih upadne u vreme građenja. Za ispiranje se koriste ispusti, pa se ispiraju delovi između dva ispusta s tim da, ako je to moguće, pri ispiranju voda teče nizbrdo. Potrebno je da se u cevi ostvari brzina od najmanje 1.5 m/s. Ispiranje se produžava sve dok na ispust ne poteče bistra voda. Obično je za ispiranje potrebno 2 do 5 puta veća količina vode od one kojom se deonica može napuniti. Za ispiranje se koristi samo sasvim čista voda. Za dezinfekciju se najčešće koristi rastvor kalcijum-hipohlorita čija je koncentracija 150g slobodnog aktivnog hlora po m<sup>3</sup>. Prilikom dezinfekcije, koncentracija slobodnog aktivnog hlora treba da je između 30 i 50 g/m<sup>3</sup> vode u objektu koji se dezinfikuje. Rastvor hlora u mreži, sa koncentracijom od 30 do 50 g/m<sup>3</sup>, treba da stoji 6 do 12 časova, obično noću. Ovakav postupak se primenjuje i prilikom popravke nekog dela vodovodne mreže ili nekog drugog vodovodnog objekta.