

3 SNABDEVANJE VODOM I KANALISANJE NASELJA

Snabdevanje stanovništva vodom³ 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 kanaliziranja 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 kanaliziranje naselja.

³ Prilikom pisanja ovog poglavlja korišćeni su i neki delovi tekstova iz knjige M. Milojević, Snabdevanje vodom i kanaliziranje naselja, Naučna knjiga, Beograd, 1990.

Do prvog “organizovanog” snabdevanja Beograda vodom dolazi pre gotovo 2000 godina. U porušeni i spaljeni Singidunum 85.godine nove ere stiže Vespazijanova IV Flavijeva regija, čijih 6000 vojnika zavodi robovlasnički rad i organizuje gradnju vodovoda! Od Mokroluških izvora do Kalemegdana, izgrađen je Rimski vodovod: kanal visine od 1.4 do 1.6 m i širine od 0.7 do 0.8 m. Kanal je obložen tankom rimskom opekom i tašmajdanskim kamenom dok su u Kalemegdanskoj tvrđavi iskopani bunari za slučaj opsade. Njegovi arheološki ostaci mogu se naći i danas.

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 izmenila dotadašnju tehniku snabdevanja vodom i omogućila njen brz razvoj:

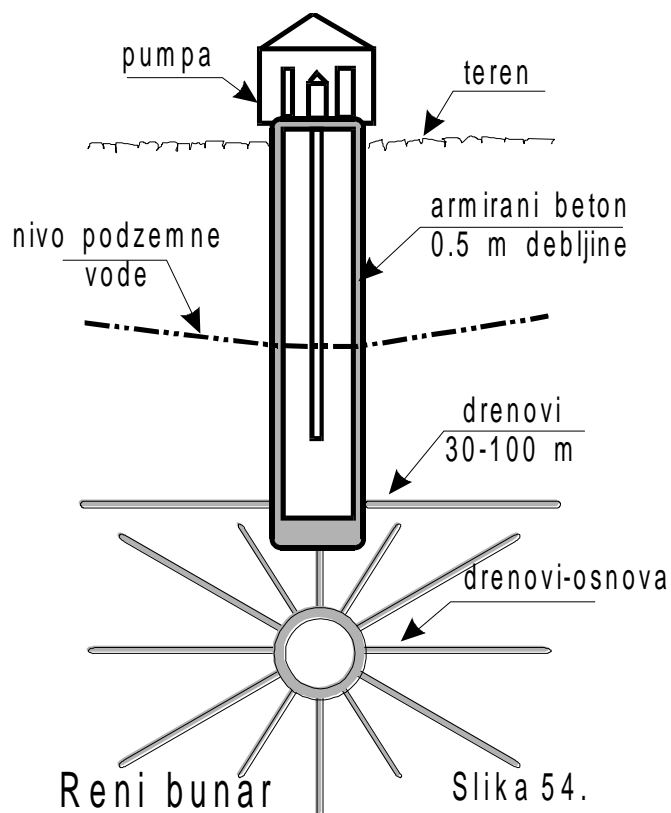
- cevi od livenog gvožđa koje mogu da izdrže unutrašnji pritisak (kraj 17.veka)
- parna mašina kao pogonski motor za klipne crpke (kraj 18.veka)
- početak bakteriološkog ispitivanja vode (prva polovina 19.veka)

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

3.1 SNABDEVANJE NASELJA VODOM

3.1.1 OPŠTE ŠEME ZA SNABDEVANJE GRADA VODOM

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

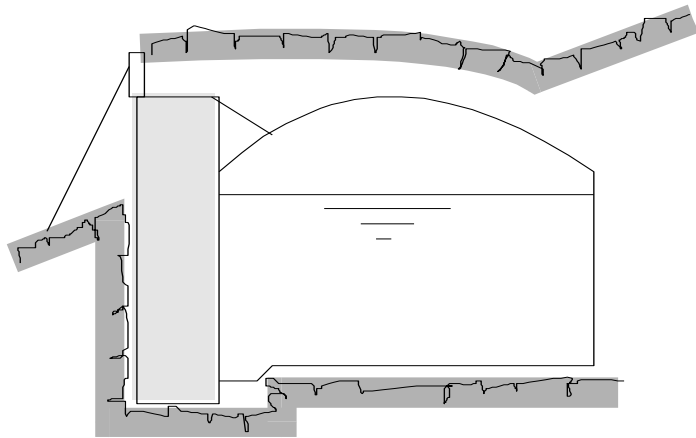


(A) Objekti za zahvatanje vode - zahvatne građevine na rekama, jezerima, veštačkim ili prirodnim, prirodnim izvorima, zatim galerije, bunari za zahvatanje podzemne vode, sabirne površine i cisterne za kišnicu i slično.

(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.

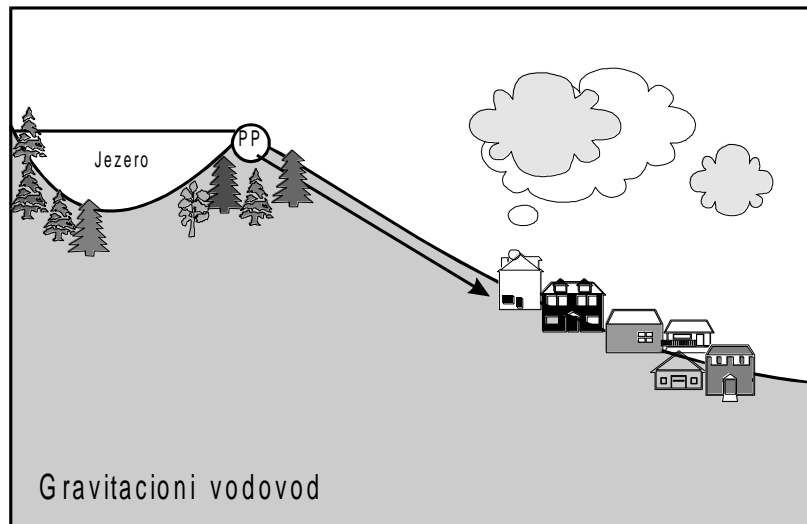


ukopani rezervoar

(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.

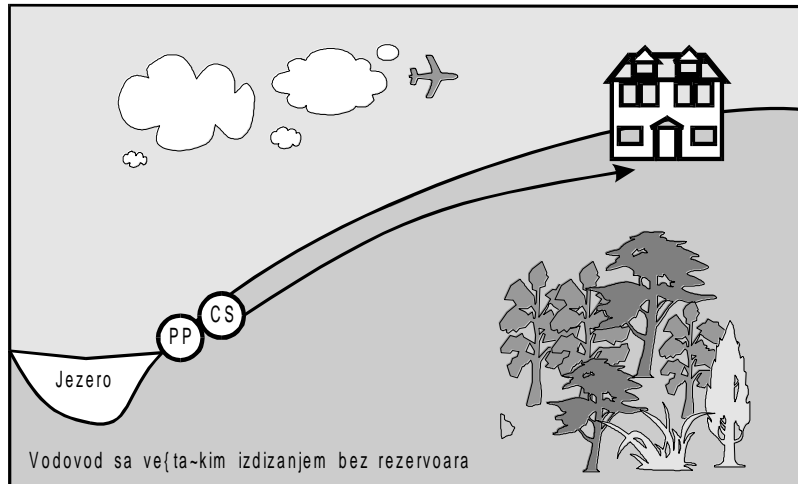
(A) Gravitacioni vodovod



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 potrošnje⁴. Ovo međutim predstavlja najekonomičniji vid transporta čiste vode do potrošača.

⁴ Šumadijski grad Aranđelovac snabdeva se vodom iz jezera na obližnjoj planini Bukulji. Jezero je na višim kotama od grada pa se radi o gravitacionom vodovodu.

(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.

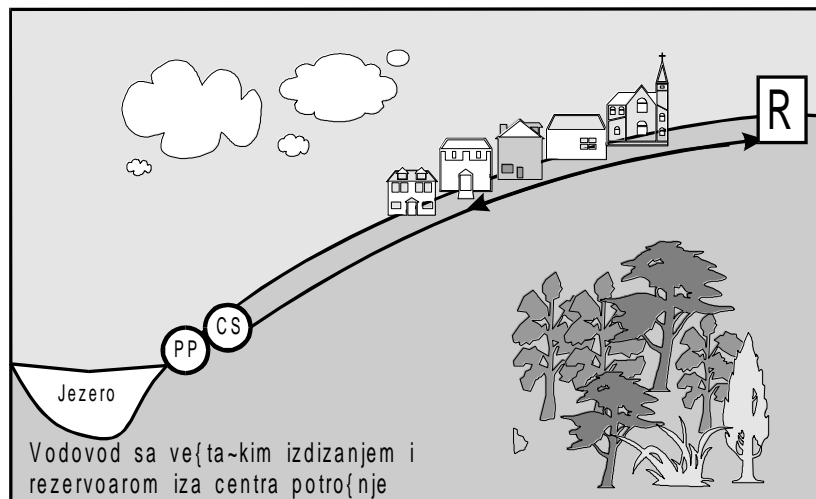
(C) Vodovod sa veštačkim izdizanjem preko rezervoara

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

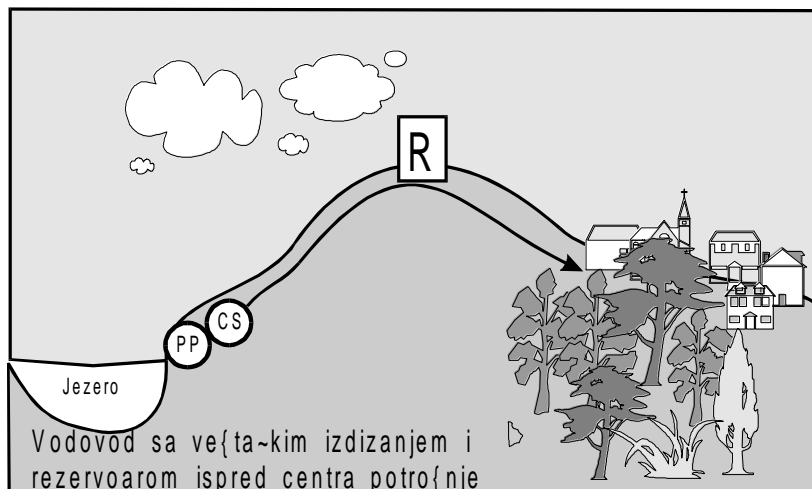
- U slučaju ispada iz pogona crpne stanice, potrošači još neko vreme mogu da se snabdevaju vodom iz rezervoara.

- 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.

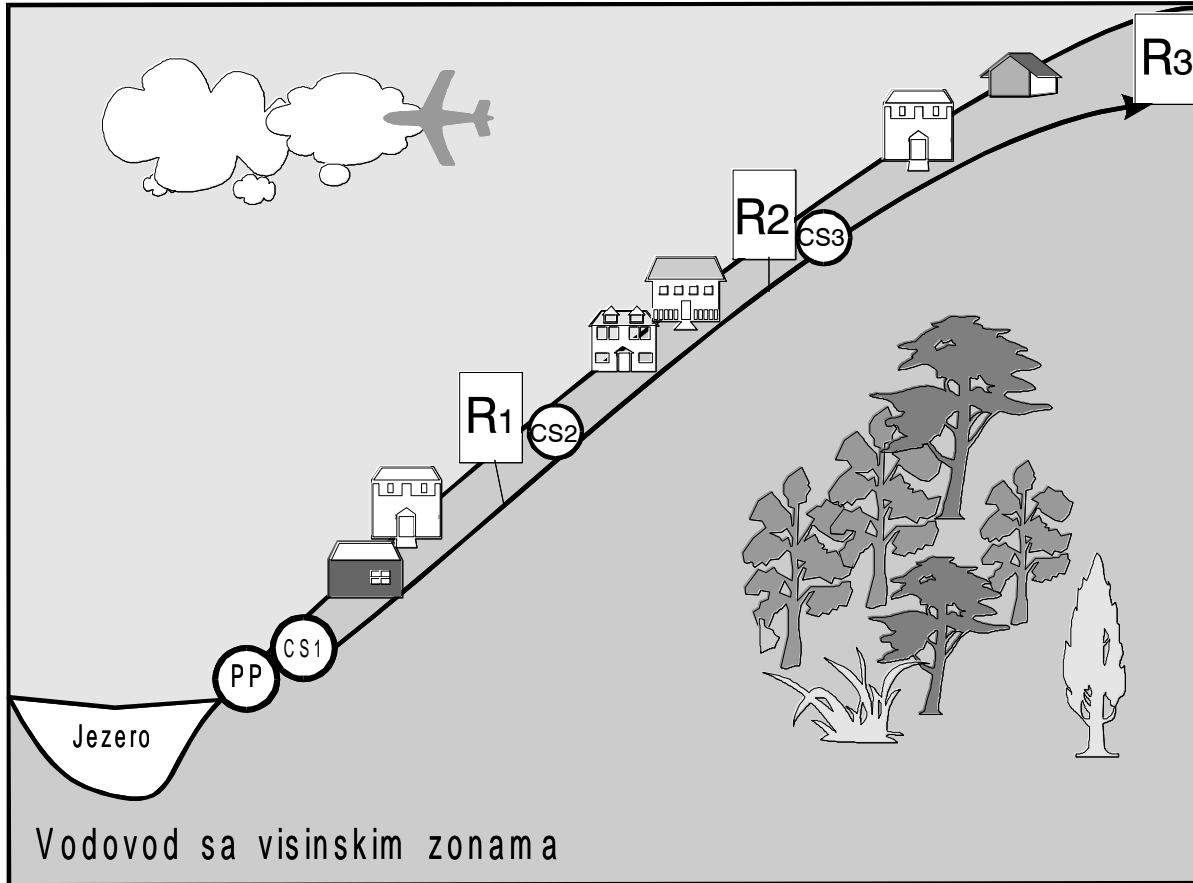
Također, radi uštede energije, kod naselja sa većim visinskim razlikama, prepumpavanje se ne vrši kontinuirano već postepeno. Područje grada podeli se na dve ili više visinskih zona. Kompletna voda pumpa se sa izvorišta u rezervoar prve zone koji se postavlja na kotama nešto višim od granice prve i druge 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



3.1.2 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 ($24 \times 60 \times 60 = 86400$)

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

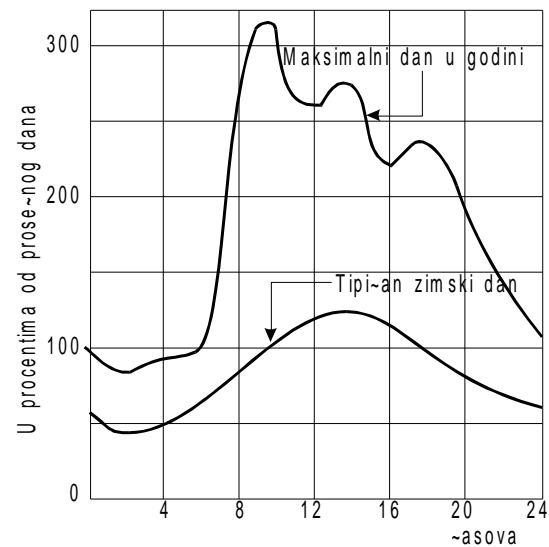
$$Q_{\max}^{cas} = K_{\max}^{cas} Q_{\max}^{dn} = K_{\max}^{cas} K_{\max}^{dn} Q_{sr}^{dn}$$

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. Zadati 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

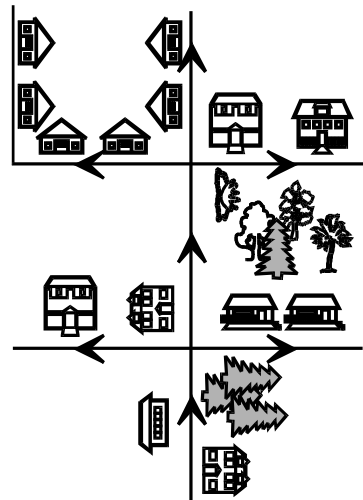
$$V_{\max} \leq 1.5\sqrt{D + 0.05} \quad (m / s)$$

gde je D prečnik cevi u metrima.

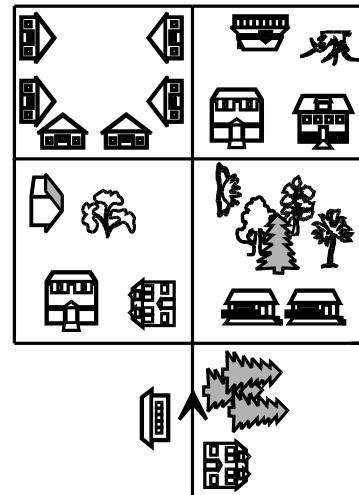
3. Izbor optimalnog prečnika prema ekonomskim merilima

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.

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.



Granata mreža



Prstenasta mreža

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 pritiska 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 ogranaka na kome se nalazi požarni hidrant iznosi $\Phi 80$ mm a ostalih ogranaka $\Phi 50$ mm. U velikim gradovima najmanji dozvoljeni prečnik može biti propisan na $\Phi 150$ mm ili $\Phi 200$ mm.