

PREDGOVOR

Normalno funkcionisanje jednog naselja nemoguće je bez postojanja odgovarajuće komunalne infrastrukture. Mijenjanjem uslova života i rada, rastom broja stanovnika, naročito u gradskim aglomeracijama, inovacija u tehnološkim proizvodnim procesima i dr., sve to uslovljava adekvatno stanje i permanentno proširenje i modernizaciju komunalnih sistema. Njih čine mreže gradskih puteva, vodovoda, kanalizacije, elektro mreže, gasovoda, toplovoda, hortikulturnih sadržaja, telekomunikacijskih objekata i dr. koji često zahtijevaju velika investiciona ulaganja, 30-35% pa i više od opštih investicionih ulaganja na području grada. Zbog toga je veoma važan zadatak građevinskih stručnjaka, ali i drugih specijalista (arhitekata, mašinaca, elektro stručnjaka, sanitaraca, ekologa i sl.) dobro poznavanje osnovnih znanja iz različitih komunalnih sistema, kako bi se postigli odgovarajući efekti pri njihovom planiranju, projektovanju, izgradnji i eksploataciji.

Značajan dio komunalne infrastrukture predstavljaju različite mreže instalacija koje čine elemente tzv. podzemnog urbanizma. Mreže se najčešće polažu ispod površine terena u pojedinačno pripremljene kanale koji leže u trupu gradskih ulica. Zbog sve većeg broja instalacija, kao i radi njihovog proširenja i rekonstrukcije, odnosno modernizacije, veoma je bitno racionalno korištenje prostora putnog profila, ali i primjena savremenih metoda građenja uključivo i korištenje posebnih konstrukcija za postavljanje više instalacija u zajedničke objekte tipa kolektora. Time se štedi kako u investicijama, tako još više u eksploatacionim troškovima.

Prezentirano štivo u datoj knjizi podijeljeno je na više specijalističkih poglavlja, računajući da se iz svakog poglavlja može proširiti znanje koristeći drugu odgovarajuću literaturu. To podrazumijeva uključivanje različitih specijalista u okviru realizacije cjelovitih projekata kao što su složeni sistemi komunalne infrastrukture koje najčešće koordinira specijalista građevinske struke.

Pisac knjige zahvaljuje svim učesnicima koji su bili uključeni u realizaciju datog djela, a posebno recenzentima, finansijerima (dat spisak na kraju knjige), te tehničkom obrađivaču teksta asistentu Damiru Hamustafiću.

Pisac

Sarajevo, 2007.

SADRŽAJ

PREDGOVOR	4
1. Uvod	5
1.1 Značaj komunalne infrastrukture	5
1.2 Klasifikacija komunalnih sistema	7
1.3 Planiranje komunalne infrastrukture	9
1.4 Podzemne mreže i kolektori	10
2. SAOBRAĆAJNA INFRASTRUKTURA	12
2.1 Gradska putna mreža	12
2.1.1 Ulice	13
2.1.2 Raskrsnice	20
2.1.3 Trotoari, biciklističke staze, ulični drvoredi	23
2.1.4 Parkirališta	25
2.1.5 Garaže	26
2.2 Gradska željeznica	27
2.3 Plovni putevi	28
2.3.1 Uslovi za plovidbu	29
2.3.2 Pristaništa	30
3. Komunalna hidrotehnika	34
3.1 Vodosnabdijevanje (snabdijevanje vodom)	34
3.1.1 Planiranje vodovoda	36
3.1.2 Izvorišta vode	42
3.1.3 Vodozahvati	46
3.2 Kondicioniranje vode	57
3.2.1 Metode kondicioniranja vode	57
3.2.2 Membranska tehnologija	64
3.3 Transport, distribucija i uskladištenje vode	65
3.3.1 Dovodi i distribuciona mreža	65
3.3.2 Hidraulički proračun vodovoda	68
3.3.3 Konstruisanje vodovodne mreže	72
3.3.4 Ispitivanje i dezinfekcija mreže	73
3.3.5 Rezervoari	74
3.3.6 Pumpne stanice	77
3.4 Kanalizacija	81
3.4.1 Zagađene vode i njihove karakteristike	81
3.4.2 Sistemi i šeme kanalizacije	84

3.5	Kanalizacione mreže	89
3.5.1	Trasiranje mreže	89
3.5.2	Hidraulički proračun kanalizacije	92
3.5.3	Specifičnosti građenja kanalizacije	95
3.5.4	Objekti na kanalizacionoj mreži	97
3.6	Prečišćavanje zagađenih voda	99
3.6.1	Mehaničko prečišćavanje	99
3.6.2	Biološko prečišćavanje	104
3.6.3	Obrada mulja	106
3.6.4	Postrojenja za prečišćavanje zagađenih voda	109
4.	JAVNA HIGIJENA	111
4.1	Čišćenje gradova	112
4.1.1	Sastav i svojstva gradskog otpada	112
4.1.2	Količine čvrstog otpada	116
4.2	Sakupljanje, pretovar i transport otpada	118
4.3	Tretman komunalnog otpada	121
4.3.1	Odlaganje otpada na smetljištima	121
4.3.2	Sanitarno deponovanje	122
4.3.3	Metode obrade otpada	122
4.4	Deponije	124
4.4.1	Procesi na deponiji	126
4.4.2	Zaštita okoliša	126
4.4.3	Izbor lokacije deponije	130
5.	ENERGETSKA INFRASTRUKTURA	132
5.1	Elektroenergetika	132
5.1.1	Gradske elektrečne mreže	133
5.1.2	Kablovske linije	134
5.1.3	Izvođenje elektroenergetskih vodova	136
5.2	Gasifikacija	137
5.2.1	Gasni sistemi	139
5.2.2	Trasiranje i hidraulički proračun gasovoda	140
5.2.3	Izgradnja gasne mreže i objekata	143
5.3	Toplifikacija	146
5.3.1	Toplovodni sistemi	147
5.3.2	Trasiranje i hidraulički proračun toplovoda	149
5.3.3	Izgradnja toplovodne mreže	153
6.	HORTIKULTURA	163
6.1	Planiranje zelenila	164
6.2	Sistemi zelenih površina	165
6.3	Parkovi	166

6.4	Drvoredi	168
7.	RASPORED KONSTRUKCIJA, MOGUĆNOSTI GRAĐENJA I EKSPLOATACIJE OBJEKATA KOMUNALNE INFRASTRUKTURE	170
7.1	Raspored podzemnih mreža na gradskom području	171
7.2	Konstrukcija kolektora	177
7.3	Specifičnosti građenja podzemnih mreža i kolektora	179
7.3.1	Izgradnja rovova	182
7.3.2	Bezrovovska izgradnja	191
7.4	Eksploatacija podzemnih mreža i kolektora	194
7.4.1	Vodovod i kanalizacija	194
7.4.2	Toplovodne i kablovske mreže	198
7.4.3	Gasna mreža	200
7.4.4	Cjevovodi i kablovi u kolektorskim objektima	202
7.5	Katastar podzemnih instalacija	202
	REZIME	204
	LITERATURA	205

PREDGOVOR

Normalno funkcionisanje jednog naselja nemoguće je bez postojanja odgovarajuće komunalne infrastrukture. Mijenjanjem uslova života i rada, rastom broja stanovnika, naročito u gradskim aglomeracijama, inovacija u tehnološkim proizvodnim procesima i dr., sve to uslovljava adekvatno stanje i permanentno proširenje i modernizaciju komunalnih sistema. Njih čine mreže gradskih puteva, vodovoda, kanalizacije, elektro mreže, gasovoda, toplovoda, hortikulturnih sadržaja, telekomunikacijskih objekata i dr., koji često zahtijevaju velika investiciona ulaganja, 30-35% pa i više od opštih investicionih ulaganja na području grada. Zbog toga je veoma važan zadatak građevinskih stručnjaka, ali i drugih specijalista (arhitekata, mašinaca, elektro stručnjaka, sanitaraca, ekologa i sl.) dobro poznavanje osnovnih postulata iz različitih komunalnih sistema, kako bi se postigli odgovarajući efekti pri njihovom planiranju, projektovanju, izgradnji i eksploataciji.

Značajan dio komunalne infrastrukture predstavljaju različite mreže instalacija koje čine elemente tzv. podzemnog urbanizma. Mreže se najčešće polažu ispod površine terena u pojedinačno pripremljene kanale koji leže u trupu gradskih ulica. Zbog sve većeg broja instalacija, kao i radi njihovog proširenja i rekonstrukcije, odnosno modernizacije, veoma je bitno racionalno korištenje prostora putnog profila, ali i primjena savremenih metoda građenja uključivo i korištenje posebnih konstrukcija za postavljanje više instalacija u zajedničke objekte tipa kolektora. Time se štedi kako u investicijama, tako još više u eksploatacionim troškovima.

Prezentirano štivo u datoj knjizi podijeljeno je na više specijalističkih poglavlja, računajući da se iz svakog poglavlja može proširiti znanje koristeći drugu odgovarajuću literaturu. To podrazumijeva, uključivanje različitih specijalista u okviru realizacije cjelovitih projekata kao što su, složeni sistemi komunalne infrastrukture koje najčešće koordinira specijalista građevinske struke.

Pisac knjige zahvaljuje svim učesnicima koji su bili uključeni u realizaciju datog djela, a posebno recenzentima, finansijerima (dat spisak na kraju knjige), te tehničkom obrađivaču teksta asistentu Damiru Hamustafiću.

Prof. dr Munir Jahić

KOMUNALNA INFRASTRUKTURA

Tuzla, decembar 2006.

1. UVOD

Za prostorno – funkcionalnu organizaciju naseljenog mjesta kao i njegovu egzistenciju temeljni značaj ima komunalna infrastruktura. Naime, komunalna infrastruktura kao fizička osnova grada služi svim djelatnostima i funkcionisanju grada u cjelini. Sa tehničkog aspekta izgrađene sisteme komunalne infrastrukture moguće je podijeliti na:

- saobraćajne,
- distributivne,
- komunikacione i
- informacione, te
- hortikulturne.

Saobraćajnu infrastrukturu čine ulice, putevi, željeznica, luke, kanali, aerodromi itd. U distributivne sisteme spadaju vodovod i kanalizacija (komunalna hidrotehnika), sistemi upravljanja čvrstim otpadom (javna higijena), električni vodovi, gasovodi i toplovodi (energetska infrastruktura).

Komunikacionu i informacionu infrastrukturu predstavljaju telefonske mreže, mreže pošta i kablovska televizija.

Za potrebe rekreacije i odmora u gradu formiraju se hortikulturni sistemi (uređene zelene površine), gradski parkovi i vrtovi, kulturno zabavni centri, šume na rubovima grada i sl.

1.1 Značaj komunalne infrastrukture

Sa prostornog aspekta, grad se može shvatiti kao dio određene teritorije sa urbanim sadržajem.

Urbani sadržaj čine građevinski objekti i uređene površine zemljišta opremljene komunalnim sistemima, što sve zajedno služi za potrebe stanovanja, rekreacije i odmora, te za potrebe proizvodnih i uslužnih djelatnosti kao i drugih djelatnosti koje su prisutne u gradu.

Građevinski objekti, kao uostalom i ukupan urbani sadržaj, realizuju se samo na uređenom građevinskom zemljištu koje je definisano odgovarajućim urbanističkim planom, tj. na zemljištu gdje je obezbijeđena komunalna infrastruktura. Iskorištavanje gradskog

građevinskog zemljišta, podrazumijeva stanovanje, rad i rekreaciju ljudi, kretanje ljudi, roba i informacija. Sve to, moguće je ostvariti uz postojanje kvalitetne komunalne infrastrukture koja čini sastavni dio ukupnog gradskog sadržaja, u kome se parmanentno odvijaju procesi proizvodne i uslužne djelatnosti. Prema tome, osnovna značajka komunalne infrastrukture je realizacija prostorno funkcionalne organizacije grada, koji na taj način djeluje kao fizička i organizacijska baza ukupnog urbanog sadržaja.

Grad kao prostorni sistem, funkcionalna je cjelina sastavljena od međusobno povezanih elemenata komunalne infrastrukture, koji su svaki za sebe sistem, odnosno podsistem. Komunalni sistemi imaju svoj sadržaj koji je povezan sastavnim elementima. Na taj način svaki se komunalni sistem može posmatrati i pojedinačno jer ima svoju strukturu, funkciju i razvoj.

Struktura je zbir elemenata i veza između njih. Funkcija se odvija cirkulacijom kroz postojeće veze. Razvoj je promjena u strukturi i funkcijama koje se dešavaju tokom vremena.

Obzirom na vezu sa svojom okolinom, komunalni sistemi mogu biti otvoreni, poluotvoreni i zatvoreni. Sam grad čini jedan otvoreni prostorni sistem.

Saobraćajna infrastruktura - služi za odvijanje raznih vrsta saobraćaja.

Tu su prije svega ulice, željezničke pruge i kanali. Za saobraćaj u gradu najveću važnost imaju ulice. Služe motornom i pješačkom saobraćaju. Osim toga, trupom ulica prolaze razne instalacije, elementi tzv. podzemnog urbanizma, kao što su vodovodna i kanalizaciona mreža, telefonska i elektro mreža, gasna i toplovodna mreža i dr.

Ustvari, ulice su okosnica gradskog tkiva, kostur grada, jer dijele njegovu strukturu na blokove različite veličine.

Komunalna hidrotehnika - vodosnadbijevanje i kanalizacija predstavljaju sisteme sanitarnog inženjerstva putem kojih se obezbjeđuju stanovništvu i industriji voda za piće i druge potrebe, te vrši sakupljanje i odvodnja zagađenih voda i njihovo prečišćavanje.

Javna higijena - također dio sanitarnog inženjerstva, putem koje se vrši upravljanje čvrstim otpadom, njegovo sakupljanje, transport i tretman, uključivo i korištenje sanitarnog deponovanja kao najjeftinijeg i ekološki prihvatljivog, načina neutralizacije organske materije iz čvrstog otpada.

Energetska infrastruktura – čine je sistemi za snabdijevanje električnom energijom, gasom i toplotom, tj. energentima koji imaju ogromnu ulogu za život čovjeka, za njegove proizvodne i uslužne djelatnosti.

Egzistencija savremenih gradova nezamisliva je bez elektro energije, koja je neophodna za industrijske, građevinske, komunalne i druge potrebe stanovništva. Snabdijevanje gasom gradskih područja svakim danom se povećava obzirom da se radi o najjeftinijem energentu kojeg podjednako koriste industrija i stanovništvo.

Toplotna energija i čist vazduh najdirektnije su vezani za pružanje najpovoljnijih ekoloških uslova za ljude i njihovu proizvodnju, naročito kod organizovanja centralizovanog snabdijevanja toplotom.

Hortikultura - sistemi uređenih zelenih površina, i s tim u vezi sportski i kulturno - zabavni objekti, predstavljaju jednu od temeljnih odrednica za rekreaciju i odmor gradskog stanovništva. Površine namijenjene odmoru i rekreaciji često se nazivaju slobodne površine u koje pored ostalog, spadaju zelene površine stambenih blokova i privatnih vrtova, gradski parkovi, šume na rubovima grada, javni gradski trgovi i dr.

1.2 Klasifikacija komunalnih sistema

Gradovi osim **funkcionalne** i **socijalne strukture** imaju i svoju **morfološku strukturu**. Između te tri komponente prostorne strukture postoji uzročno – posljednička ovisnost.

Pod pojmom morfološke strukture podrazumijeva se prostorni raspored i međusobni odnos morfoloških elemenata u gradskom prostoru. To su zgrade i drugi objekti, sistemi ulica i trgova, javne površine te ostali sistemi komunalne infrastrukture.

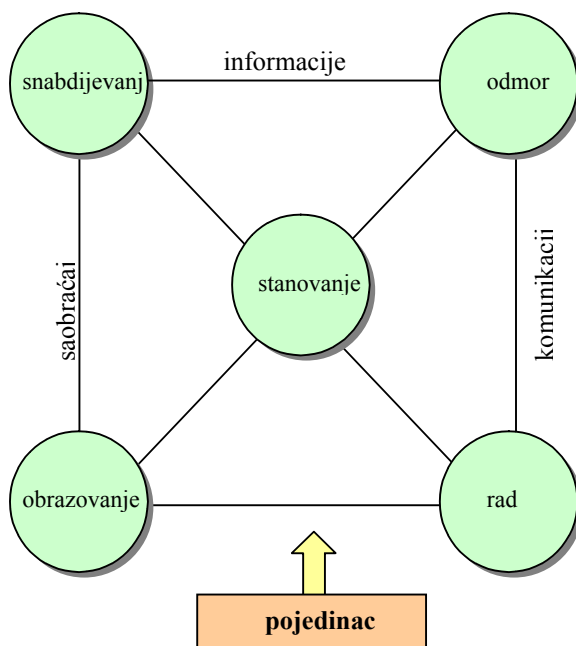
Morfološka struktura grada u mnogome ovisi o planu grada, načinu iskorištavanja građevinskog zemljišta, njegove opremljenosti komunalnim sistemima, razmještaju funkcionalnih zona grada i dr.

Plan grada sadrži četiri integralana elementa:

1. sistem ulica,
2. raspored parcela gradskog zemljišta,
3. raspored zgrada tj. urbanističko rješenje i
4. raspored objekata podzemnog urbanizma.

Shodno tome, grad kao prostorni sistem ima svoju raširenost, svoj areal ili teritorij [28]. Elementi takvog sistema imaju specifičnu lokaciju. Na

interakciju između njegovih elemenata utiču prostorne promjenljive varijable, kao što su udaljenost, raširenost, lokacija, smjer pružanja i dr. Svakako da je udaljenost najznačajnija varijabla. Nabrojani faktori utiču na klasifikaciju komunalnih sistema ovisno o osnovnim potrebama stanovništva grada [28]: stanovanje, rad, snabdijevanje, odmor, saobraćaj i komunikacije (sl.1.1):



Slika 1.1 Šema povezanosti osnovnih životnih funkcija čovjekove egzistencije u naseljenom mjestu

Općenito gradsku infrastrukturu moguće je podijeliti na:

- stambenu infrastrukturu i
- komunalnu infrastrukturu

Komunalnu infrastrukturu čine komunalni sistemi podijeljeni na:

- saobraćajnu mrežu,
- sistem vodosnabdijevanja,
- sistem kanalizacije,
- sistem javne higijene,
- energetske sistemi i
- sistemi hortikulturnog sadržaja.

Pod **sistemom** se podrazumijeva kompleks inženjerskih objekata, namijenjenih za ispunjenje strogo definisanih funkcija, a pod **šemom** – projektno rješenje prihvaćenog sistema, i to optimalna varijanta sa tehničko – ekonomskog aspekta. Šema prihvaćenog sistema može biti razrađena za jedan region, grupu naselja, jedan grad, dio grada i sl., ovisno o tome da li se radi o novom rješenju ili je u pitanju rekonstrukcija, proširenje ili modernizacija postojećeg stanja.

1.3 Planiranje komunalne infrastrukture

Planiranje komunalne infrakstutture odnosno pojedinih komunalnih sistema vrši se u okviru prostornih i urbanističkih planova.

Prostornim planiranjem, (kroz prostorni plan), vrši se uređenje ukupnog prostora sa nivoa države pa prema nižim prostornim jedinicama. Ustvari, radi se o optimalnom rasporedu ljudi, dobara i djelatnosti na određenoj teritoriji, radi postizanja maksimalnih efekata djelovanja, uz poštovanje načela održivog razvoja, pri korištenju prirodnih resursa, vode i tla.

Prostornim planiranjem predviđa se skladan razvoj ljudskog potencijala uzimanjem u obzir:

- urbanizaciju prostora gradskih, ruralih i seoskih područja,
- izgradnju krupnih saobraćajnih objekata (autoputeva, magistralnih cesta, željezničkih pruga, regulaciju rijeka, plovnih kanala, luka i aerodroma),
- izgradnju i modernizaciju industrijskih postrojenja, uključivo i hidroelektrana, termoelektrana, velikih trafostanica, terminala i sl.,
- izgradnju regionalnih sistema za vodosnabdijevanje, kanalisanje i prečišćavanje voda,
- izgradnju velikih jedinica za tretman čvrstog otpada (regionalne deponije, kompostane, spalione otpada, postrojenja za reciklažu i sl.)
- izgradnju agro-industrijskih kompleksa, uključivo i velikih hidrosistema, oplemenjivanje šumskih kompleksa i sl.,
- rezervaciju budućih izvorišta vode i njihovu zaštitu, uključivo i zaštitu okoliša,
- organizaciju i uređenje turističkih centara, nacionalnih parkova, spomenika prirode, sanaciju i restauraciju objekata istorijskog naslijeđa itd.

Kroz prostorno planiranje rješavaju se krupna pitanja komunalnih sistema koja se odnose na povezivanje gradske saobraćajne

infrastrukture sa vanjskom mrežom, rješavaju izvorišta vode, i energenata, definiraju lokacije postrojenja za prečišćavanje, lokacije transportnih vodova i mreža, lokacije tretmana otpada, rekreacionih područja i dr.

Urbanističkim planiranjem (kroz urbanistički plan), uređuje se gradsko područje, s tim da se na nivou idejnog rješenja, ali češće idejnog projekta, rješavaju svi komunalni sistemi bitni za normalno funkcionisanje naselja i racionalno iskorištavanje gradskog građevinskog zemljišta. To se podjednako odnosi na nadzemne objekte (stambene zgrade, pumpne stanice, željezničke i autobuske stanice, trafostanice, postrojenja za pripremu vode i prečišćavanje zagađenih voda, zelene površine, trgove, raskršća i sl.) a i objekte podzemnog urbanizma, vodove raznih instalacija, kolektore itd.

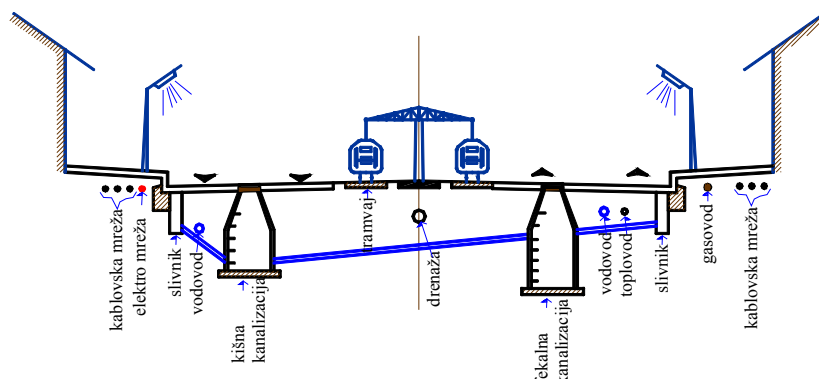
Može se zaključiti, da se kroz prostorne planove vrši razrada principijelnih pitanja pojedinih infrastrukturnih sistema, naročito lokacijskog i ekološkog karaktera, u znatno sitnijoj razmjeri (1:10000, 1:25000 i sl.), dok se kroz urbanističke planove definiraju u krupnijem mjerilu (1:2000, 1:5000) gotovo svi važniji elementi komunalnih sistema, uključivo i daje i procjena investiciono – eksploatacionih troškova za tretirani planski period.

1.4 Podzemne mreže i kolektori

Kod savremenih i velikih gradova značajan dio objekata komunalne infrastrukture nalazi se ukopano ispod površine terena, najčešće u trupu gradskih ulica, u zoni trotoara, zelenih površina a i slobodnih površina.

Objekte podzemnog urbanizma (sl. 1.2) čine različite vrste instalacija – mreža, i pratećih objekata koje se mogu klasificirati u tri grupe:

1. cjevovodi,
2. kablovske mreže i
3. kolektori (tuneli).



Slika 1.2 Šema poprečnog presjeka gradske magistrale sa elementima podzemnog urbanizma – različitim infrastrukturnim mrežama i pratećim objektima

U prvu grupu spadaju mreža vodovoda, kanalizacije (različiti sistemi), drenaže, toplovodi, gasovodi, a također i mreže specijalnog karaktera (različiti fluidi) kao što su sonovodi, naftovodi, parovodi i sl.

U drugu grupu spadaju elektro mreže visokog i niskog napona (za osvjjetljavanje, elektro transport) i mreže slabe struje (telefonija, telegrafija, kablovska mreža i sl.).

Treću grupu čine kolektori (tuneli) tj. objekti većeg poprečnog profila (za kišnu kanalizaciju, za smještaj većeg broja instalacija i dr.), često prohodni, naročito ispod magistralnih ulica i ispod većih raskršća.

Cjevovodi podzemnih mreža mogu biti:

- tranzitni (glavni),
- razvodni (sekundarni) i
- unutar kvartovski (dvorišni).

Tranzitna mreža opslužuje čitav grad ili njegove pojedine cjeline ili industrijske pogone. Prečnici cjevovoda tranzitnih mreža su veliki, veći od razvodnih.

Razvodna mreža opslužuje pojedine kvartove i grupe zgrada. Ona je gotovo obavezna u okviru podzemnog urbanizma kod svake ulice.

Unutar kvartovska mreža opslužuje pojedine objekte raspoređene unutar kvartova. Često se naziva i servisna mreža, jer se na njoj nalazi veliki broj priključaka za pojedine potrošače. Najčešće leži ispod slobodnih površina i u prilazima objektima.

Treba naglasiti, da je ova opšta klasifikacija mreža uslovna. Mreže konkretne funkcije (npr. kod vodovoda, kanalizacije i sl.) imaju svoju podjelu, kako je to vidljivo u pojedinim poglavljima koja slijede, gdje se govori o različitim infrastrukturnim sistemima.

2. SAOBRAĆAJNA INFRASTRUKTURA

Saobraćaj u gradu odvija se gradskim saobraćajnicama. Putevi i ulice su od najvećeg značajem. Za javni gradski saobraćaj veliku važnost imaju i željeznice.

Razlikuju se nadzemne (tramvaji) i podzemne (metroi) željeznice.

Nadzemne željeznice često mogu uzrokovati smetnje normalnom odvijanju saobraćaja, za razliku od podzemnih željeznica koje imaju veliku prednost, jer se njihovo kretanje odvija bez smetnji, pri čemu se postižu značajne brzine.

Za željeznice je vrlo važan položaj stanica i stajališta, uključivo i glavne stanice koja se koristi za spoljni željeznički saobraćaj. Kod toga su posebno značajne tzv. prolazne željezničke stanice (Doboj, Banja Luka), zbog svoje prohodnosti, za razliku od tzv. čeonih (Tuzla, Sarajevo i dr), gdje je manipulacija vučnih sredstava otežana. U većini slučajeva uz željezničke stanice lociraju se i autobuse, te terminali za prevoz putnika do vazdušnih luka (aerodroma).

Niz evropskih gradova posjeduje vodnu saobraćajnu infrastruktura (kod nas Brčko, B. Šamac, Neum i dr.) tipa regulisanih vodotoka i vještačkih kanala, morskih i jezerskih akvatorija i s tim u vezi odgovarajuća pristaništa, odnosno luke.

Osnovne prednosti vodnog saobraćaja su manje koštanje prevoza u odnosu na druge vrste saobraćaja i korištenje velikih prevoznih jedinica, naročito za tzv. kabastu robu (ugalj, nafta, žitarice i sl.).

2.1 Gradska putna mreža

Sistemom gradskih ulica i puteva koji obuhvataju 20-25% teritorije grada rješava se kompleks složenih zadataka koji definiraju osobenost i život grada. Neki od njih su:

- obezbjeđenje najkraćih i povoljnih smjerova za kretanje gradskog transporta i pješačkog saobraćaja među pojedinim dijelovima grada,
- organizacija evakuacije površinskih voda, naročito za vrijeme velikih pljuskova i topljenja snijega,
- razmještaj inženjerskih mreža, uključivo i drvoreda
- obezbjeđenje normalnog provjetravanja ili zaštite od vjetrova, u zavisnosti od klimatskih uslova,

- formiranje kompozicionih osovina i centara prostornog planiranja kao i razvoja gradskog sadržaja itd.

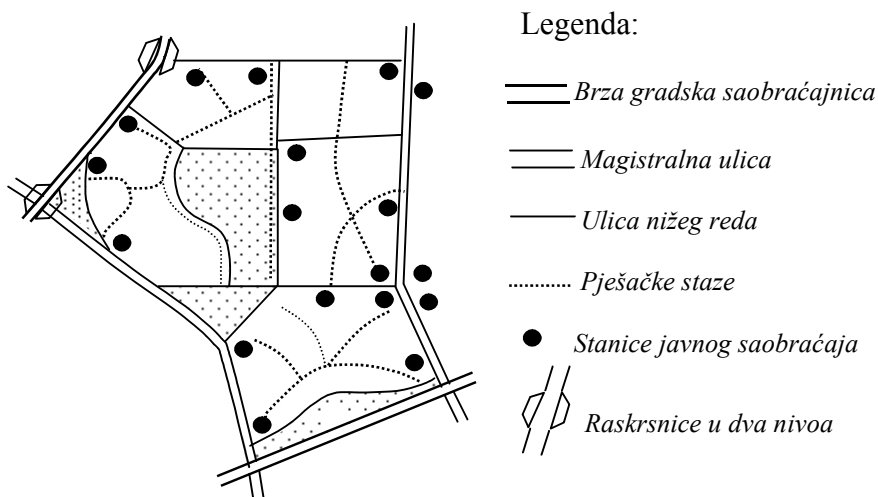
Rješenje tog kompleksa tehničkih i estetskih zadataka pri projektovanju mreže gradskih ulica ostvaruje se u organskoj povezanosti sa zoniranjem gradske teritorije, koja u velikoj mjeri pretpostavlja razvoj te mreže, zatim trgova, lociranje mostova, tunela, nadvožnjaka i podvožnjaka.

2.1.1 Ulice

Ulice se razlikuju po značaju, položaju, funkciji, vrsti, prostornom oblikovanju, tehničkim osobinama, specifičnostima terena i dr.

Uličnu mrežu po značaju čine saobraćajnice višeg reda (brze gradske saobraćajnice, magistrale, glavne ulice, sabirnice) te ulice nižeg reda (stambene, trgovačke aleje i dr.), slika 2.1.

Njihov položaj uslovljen je razmještajem gradskih funkcija i važnijih gradskih čvorova kao što su npr. centar grada, željeznička i autobuska stanica i sl.



Slika 2.1 Šema ulične mreže

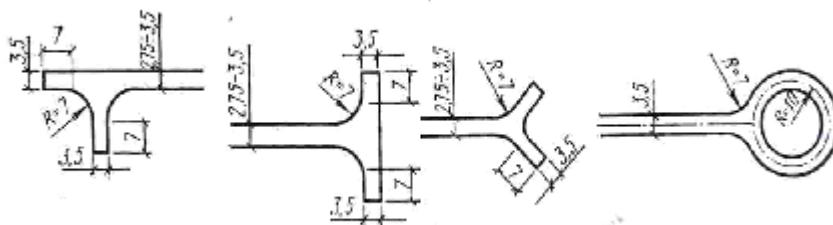
Po položaju u gradskom tkivu ulice mogu biti dijagonalne, transversalne, kružne, obilazne, paralelne, unutar blokova i slijepe.

Posebno su interesantne kružne ulice. Javljaju se kod starih gradova, ali i kod rekonstrukcije većih gradova. Mogu imati različiti značaj, kao kružni autoputevi, kružne ulice oko sitija i dr.

Obilazne ulice primjenjuju se kod manjih gradova, lječilišta, i sl.

Unutar blokova slijepe ulice opslužuju veće stambene cjeline. Dužina slijepih ulica ne treba da pređe 120m, s tim što se na kraju radi okretnica za vozila (sl.2.2).

Šema saobraćajnih tokova u principu može biti pravolinijska, radijalna, polucentrična i sl. Razvojem motornog saobraćaja, naročito u srednjim i velikim gradovima, grade se brze gradske saobraćajnice. One služe za transportnu povezanost pojedinih gradskih rejona i kao izlazno – ulazne saobraćajnice koje vrše distribuciju vozila na prigradsku automobilsku mrežu.



Slika 2.2 Neki oblici okretnica kod slijepih ulica

Gradske saobraćajnice, za razliku od ulica, nemaju neposrednu vezu sa izgrađenim dijelom. Po njima je isključen pješački saobraćaj. Njih je racionalno planirati po periferiji grada, zbog čega se ponekad zovu i zaobilaznice. Ako takva saobraćajnica prolazi predjelom stambene zone, onda saobraćajne trake treba da su od stambenih objekata udaljene najmanje 35.0m.

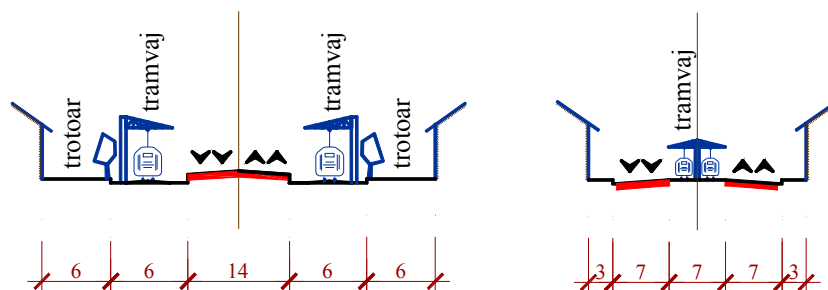
Izbor i dimenzije poprečnog profila

Značaj ulice izražava se poprečnim profilom ili regulacionom širinom. Ovom širinom određuje se položaj i širina kolovoza, širina pješačkih i biciklističkih staza, tramvajskog kolosijeka, drvoreda, travnjaka i drugih nadzemnih i podzemnih elemenata uličnog prostora. Poprečni profil ulice može da bude simetričan ili asimetričan, što zavisi od širine, namjene, konfiguracije terena i insolacije.

Magistrale imaju regulacionu širinu 30-40m, razdvojene saobraćajne trake i po pravilu sa drugim gradskim ulicama ukrštaju se u dva nivoa.

Kod velikih gradova one postepeno gube karakter gradskih ulica i postaju tehnički objekti za regulisanje saobraćaja.

Primjeri poprečnih presijeka magistralnih saobraćajnica vidljivi su sa slike 2.3 (dimenzije na slikama 2.3, 2.4 i 2.5 date u metrima).



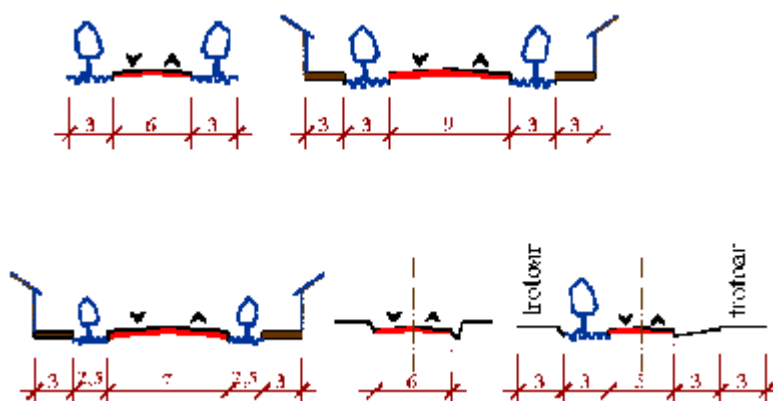
Slika 2.3 Poprečni profili magistralnih ulica

Sabirne ulice obično su sa prosječnom regulacionom širinom od 15.0m, (sl. 2.4) One povezuju mrežu poslovnih i stambenih ulica sa ulicama višeg reda i prikupljaju saobraćaj iz gradskih zona i uključuju ga u saobraćajnice višeg reda. Kod njih, izuzetno najmanja širina iznosi 12.0m.

Poslovne ulice služe lokalnim potrebama privrede, sa regulacionom širinom 8.0-12.0m.

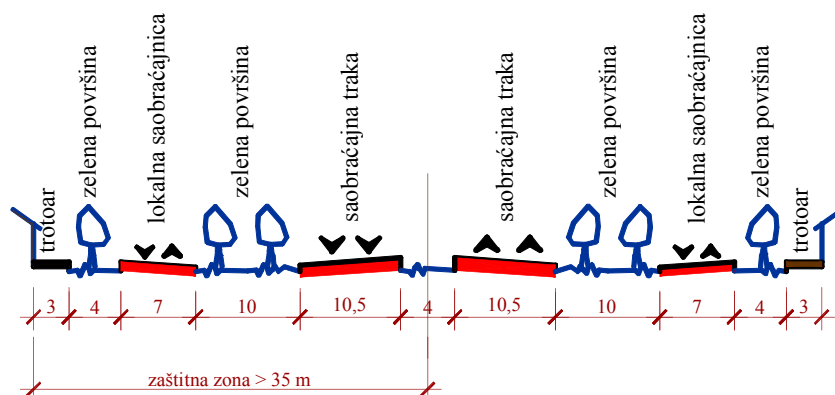
Stambene ulice namijenjene su lokalnim potrebama stanovanja sa širinom 7.0-12.0m.

Normalno, dati podaci o širinama ulica su orijentacioni, a zavise od urbanističkog rješenja i konkrentnih terenskih mogućnosti.



Slika 2.4 Poprečni profili sabirnih ulica i ulica nižeg reda

Poprečni profil brze gradske saobraćajnice (ili gradskog autoputa) vidljiv je sa slike 2.5. Brza saobraćajnica može biti u tunelu, estakadi ili usjeku. Ukrštanje sa drugim saobraćajnicama u pravilu je sa dva nivoa.



Slika 2.5 Poprečni profil brze saobraćajnice (gradskog autoputa)

Odnosi regulacione širine ulice, kolovoza i trotoara zavisi su od vrste i namjene ulice. Orjentaciono mogu se koristiti slijedeće relacije međusobnih odnosa širine kolovoza prema ulici od 3/5 do 1/2 njene regulacione širine, a trotoara od 1/5 do 1/4.

Kod ulica sa razvijenim saobraćajem, širina pješačkih staza i kolovoza su u relacijama:

$$\check{S}_p = \frac{\check{S}_R}{5}; \check{S}_K = \frac{3}{5} \check{S}_R \quad (2.1)$$

Kod saobraćaja sa manjom frekvencijom vozila ta relacija je:

$$\check{S}_p = \frac{\check{S}_R}{5}; \check{S}_K = \frac{\check{S}_R}{2} \quad (2.2)$$

$\check{S}_p$ – širina pješačkih staza
 $\check{S}_K$ – širina kolovoza
 $\check{S}_R$ – regulaciona širina ulice

Minimalna širina kolovoza (sl. 2.6) zavisi od broja vozila, odnosno važnosti ulice.

$$B = 2 \cdot m + c + d + b \quad (2.3)$$

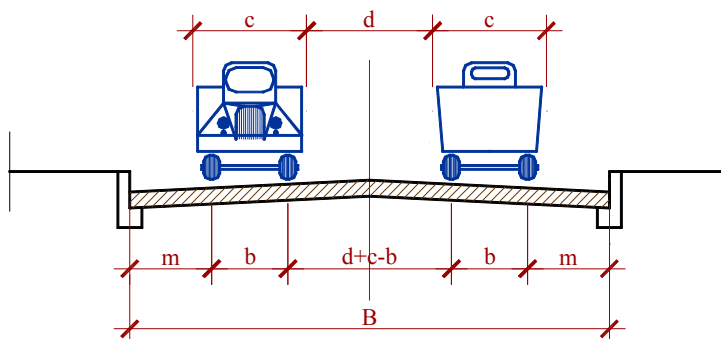
m - odstojanje spoljnog točka od ivičnjaka

c – širina vozila

d – zaštitni razmak (1.0m)

b – širina osovine među točkovima

Kod magistrala sa četiri trake širina jedne saobraćajne trake uzima se 3.50 – 3.75m, za glavne saobraćajnice sa četiri trake širina je 3.25-3.50m, a za saobraćajnice sa tri trake širina je 3.00-3.25m. [25].



Slika 2.6 Minimalna širina kolovoza

U ulicama nižeg reda, kao što su sabirne, širina kolovoza $B=7.0\text{m}$, poslovne ulice $B=6.0\text{m}$ i stambene ulice $B=5.0\text{m}$.

Velike arterije treba razdvojiti po saobraćajnim trakama kao kod autoputa.

Sve ulice moraju imati poprečni nagib (jednosmjerni ili dvosmjerni) radi evakuacije površinskih voda (atmosferskih i od pranja ulica). Veličina poprečnog nagiba zavisi od vrste kolovoza zastora i podužnog pada, i kreće se 1-3%. Kod gradskih ulica ne vrši se nadvišenje poprečnog profila u krivinama, kao što se to radi na putevima van gradskog područja.

Tehničke karakteristike ulica

Bitne karakteristike gradskih ulica pored poprečnog profila i padova čine uzdužni profili i padovi, poluprečnici horizontalnih i vertikalnih krivina (nagib nivelete u uzdužnom profilu), poluprečnici okretanja prilagođeni vozilima javnog gradskog saobraćaja, kamiona i dr., te kolovozna konstrukcija.

Uzdužni profili i padovi ulica limitirani su neophodnošću normalnog oticaja atmosferskih voda i bezbjednošću kretanja saobraćajnih sredstava. Padovi zavise od terenskih uslova, zatim od kategorije ulice, te vrste kolovoznog zastora (tabela 2.1).

Tabela 2.1. Zavisnost podužnih padova ulice od vrste kolovoznog zastora [25]

Vrsta kolovoznog zastora	Podužni pad (%)		
	najmanji	najveći	izuzetno
asfaltni	0.4	7	8
betonski	0.4	6	8
klinker	0.5	8	8
kaldrma	0.6	10	11

Podužni profili mogu biti konkavni, konveksni, konkavno – konveksni i neutralni.

Konkavni profil pruža povoljne estetske uslove sa aspekta pregleda i osvjetljenja prostora.

Konveksna niveleta nepovoljno utiče na uočavanje arhitektonskog okvira ulične perspektive. Ulice sa jednakim padom većih dužina i ulice približno sa horizontalnim padom, daju utisak krutosti objekata i djeluju monotono.

Općenito arhitektonsko – estetski izgled ulice zavisao je od podužnog pada ali i od poprečnog profila ulice.

Krivine ulica oblikuju se poluprečnicima, koji su ovisni od računске brzine kretanja vozila i poprečnog profila kolovoza (tabela 2.2).

Tabela 2.2 Najmanji poluprečnici krivina u ulicama [25]

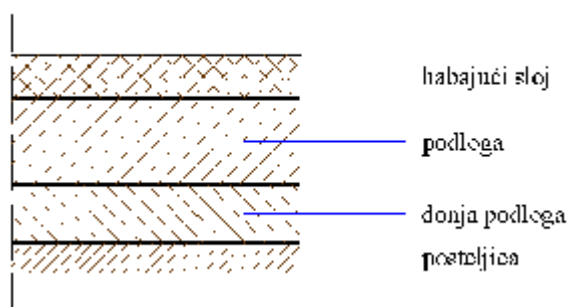
Vrsta ulice	Brzina (km/h)	Najmanji poluprečnik (m) s nagibom	
		jednosmjerni	dvosmjerni
magistrale	90	300	500
glavne saobraćajnice	80	250	400
saobraćajnice	70	200	300
sabirne ulice	50	100	160
poslovne ulice	40	65	100

Najmanji dozvoljeni poluprečnici okretanja vozila su za tramvaj $R=25\text{m}$, trolejbus $R=15\text{m}$, kamioni $R=10\text{m}$ i putnička vozila $R=6\text{m}$.

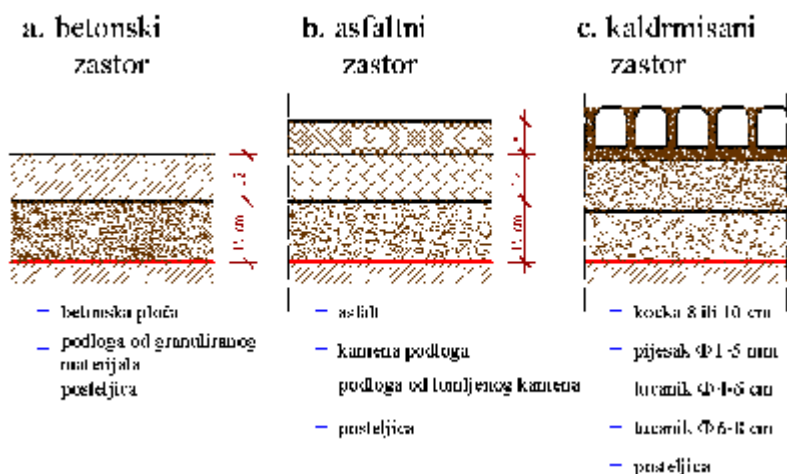
Što se tiče najmanjih poluprečnika krivina kolovoznih ivičnjaka na ukrštanjima, kreću se [26]:

- za magistrale, $R=20,0\text{m}$
- glavne saobraćajnice, $R=15,0\text{m}$
- saobraćajnice, $R=10,0\text{m}$
- sabirne ulice, $R=6,0\text{m}$
- poslovne ulice, $R=5,0\text{m}$
- stambene ulice, $R=5,0\text{m}$

Kolovozna konstrukcija na gradskim putevima i ulicama najčešće je sastavljena od nekoliko slojeva (sl. 2.7) koji svaki imaju specifičnu funkciju.

**Slika 2.7** Osnovni elementi kolovozne konstrukcije

Habajući sloj izводи se od asfaltno - betonskih, betonskih i kaldrmisanih zastora (sl. 2.8).



Slika 2.8 Vrste kolovoznih zastora na gradskim putevima i ulicama

Dimenzioniranje kolovozne konstrukcije vrši se na bazi geomehaničkog ispitivanja tla odnosno posteljice, koja nosi cjelokupno opterećenje od konstrukcije puta i saobraćaja na njemu.

Kolovozna konstrukcija treba da bude takva da buka od vozila bude što manja, i da što manje nastaje prašine.

Kod betonskih zastora kolovozna ploča je obično sastavljena iz dva dijela, gdje je gornji dio habajući. U gradovima ova konstrukcija se koristi na raskršćima gdje je intezivan saobraćaj, jer se bolje odupire silama kočenja vozila u odnosu na asfaltne kolovoze, koji puze.

Na slaboj posteljici se zahtijeva izrada donje podloge od zrnastog materijala (šljunak ili tucanik) radi bolje raspodjele opterećenja i zaštite od dejstva mraza. Kod težih konstrukcija, kod kojih je gornja površina od bitumenskog pokrivača, betonska ploča služi kao podloga i vrši samo raspodjelu opterećenja.

Kod bitumenskih (asfaltnih) kolovoza opterećenje se raspoređuje preko podloga kao nosećeg sloja, a gornja asfaltna površina prima saobraćajne uticaje i služi kao habajući sloj. Neke vrste posteljica naročito glinene, zahtijevaju donju podlogu od lomljenog kamena ili tucanika, odnosno od stabilizovanog tla, kako bi dalje vršile raspodjelu opterećenja i spriječile da glina ne ulazi u podlogu.

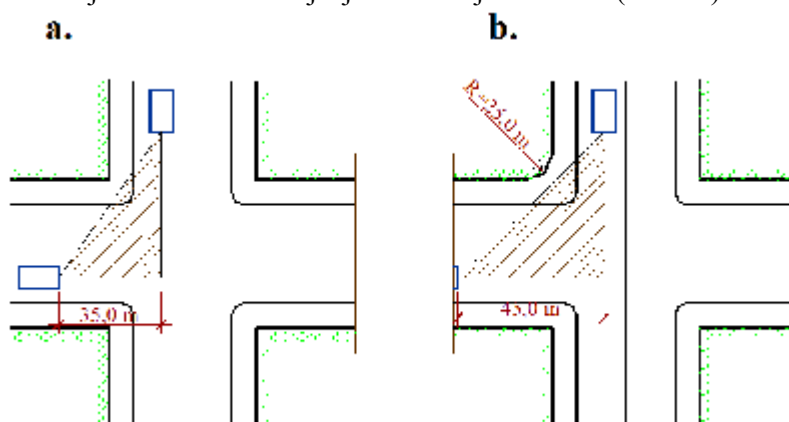
2.1.2 Raskrsnice

U gradskoj putnoj i uličnoj mreži raskrsnice predstavljaju čvorne tačke koje omogućavaju funkcionisanje sistema.

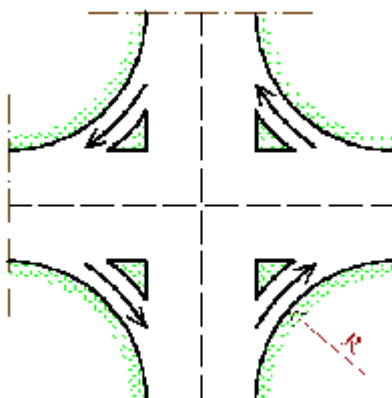
Njihov zadatak je da izvrše distribuciju učesnika na željene smjerove kretanja uz poštovanje osnovnih zahtjeva [2]:

- preglednost saobraćajnih tokova,
- izbjegavanje presjecanja saobraćajnih tokova,
- jasno diferenciranje saobraćajnih tokova po smjeru i po vrsti saobraćaja i
- bezbjednost i udobnost pješačkog saobraćaja.

Sredstva za ostvarivanje tih zahtjeva su proširenje mjesta ukrštanja ili zaobljavanja uglova, kako bi se postigla bolja preglednost (sl. 2.9), te formiranje ostrva za razdvajanje saobraćajnih tokova (sl. 2.10).



Slika 2.9 Preglednost na raskršću, putem obezbjeđenja trougla vidljivosti (a) i putem zaobljenja pravog ugla objekta (b)

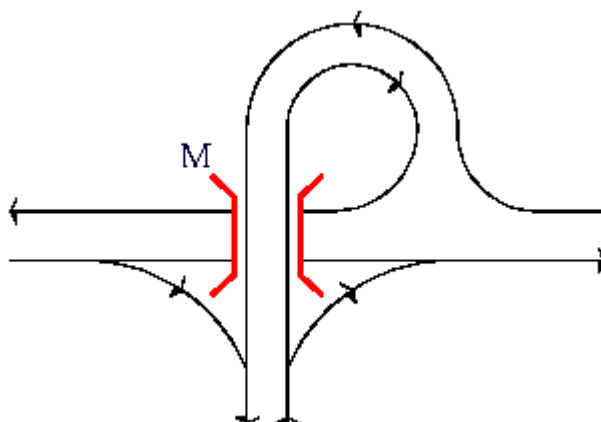


Slika 2.10 Raskršće sa simetričnim položajem ostrva za usmjeravanje vozila neposredno udesno

Na veoma opterećenim raskrsnicama vrši se regulisanje propuštanja saobraćajnih tokova:

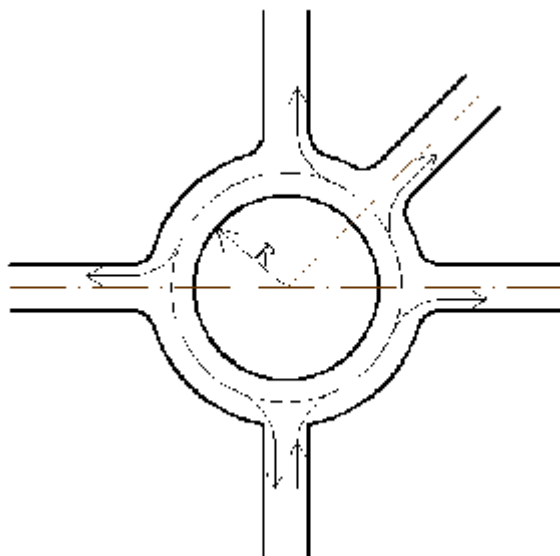
- putem saobraćajnih policajaca i
- putem signalnih uređaja (semafora).

Često se radi bolje prohodnosti saobraćaja praktikuje uvođenje jednosmjerne vožnje u poprečnim užim ulicama. Principijelno, građevinsko rješenje raskrsnica u zavisnosti od značenja priključnih ulica ili gradskih puteva, može da bude **površinsko** ili **denivelisano**. Kod površinskog usmjeravanja, kao u datim primjerima, saobraćajni tokovi se rješavaju u istoj ravni na zajedničkoj kolovoznoj površini, dok se kod denivelisanog podrazumjeva vertikalno razdvajanje saobraćajnih tokova čime se eliminišu tačke presjecanja na jednom ili oba putna pravca (sl. 2.11).



Slika 2.11 Raskršće tipa “trube” sa dva nivoa, jednim mostom (M), zauzetim prostorom (na autoputu ili gradskoj obilaznici $A \approx 3,0ha$) i kapacitetom rampi ≈ 4.500 vozila/h [18]

U gradskim raskršćima veoma je postalo popularno “staro” rješenje sa tzv. **rotorom** ili **kružnim ostrvom** (porijeklo iz Francuske, kod nas u Tuzli tzv. rondo), koje se podjednako koristi i na regionalnim i državnim putevima (sl. 2.12).



Slika 2.12 Raskrsnica tipa rotora (rondoa)

Kod ovog raskršća pravilo je da prednost ima ono vozilo koje je već u rotoru, a ne ono koje dolazi sa desne strane.

Rastojanje između raskrsnica zavisno je od značaja puta ili ulice. Tako npr., kod magistrala iznosi oko 1000m, kod glavnih saobraćajnica 400m, kod ostalih saobraćajnica 200m itd.

2.1.3 Trotoari, biciklističke staze, ulični drvoređi

Dio površine ulice između kolovoznog ivičnjaka i regulacione linije ulice pripada prostoru koji se može sastojati od više elemenata, kao što su pločnici za pješake, biciklističke staze i zelene ulične površine, sa drvoredom.

Pločnici ili **trotoari** za pješake su odvojene površine, odignute od kolovoza. Orjentaciono, širina trotoara uzima se 1,5-3.0m, a i više u centralnim dijelovima grada, ispred javnih objekata i sl. Trotoari mogu biti jednostrani ili dvostrani sa obe strane ulice.

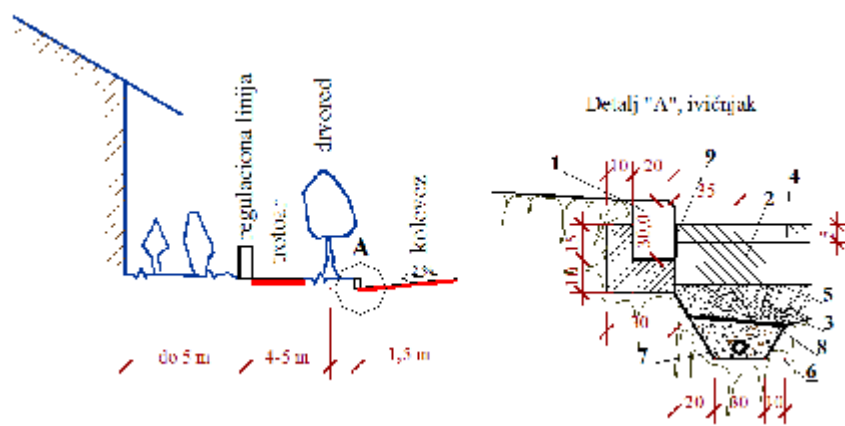
Podužni pad trotoara ne bi trebao da prelazi 8%. Kod većih padova treba ići sa rješenjem putem stepenica nagiba 1:3. Poslije svakih 10 – 15 stepenica ostavlja se prostor širine bar 1m za odmaranje. Dimenzije stepenica su takve, da je širina minimalno 38cm, a visina ne veća od 12cm.

Biciklističke trake su na zajedničkoj površini trotoara ili na posebnim trakama u sastavu ulice. Mogu se postaviti sa jedne ili obe strane ulice između trotoara i kolovoza, trotoara i travnjaka ili drvoreda. Po pravilu odvajaju se od kolovoza, trotoara i stalnih objekata zaštitnom trakom u vidu živice ili ivičnjaka. Za dvosmjerno kretanje bicikla najmanja širina je 2.30m, a za jednosmjerno 1.30m.

Zelene ulične površine čine travnjaci, drvoredi, slobodne grupe uličnog zelenila i cvjetne površine.

Travnjaci se postavljaju u trotoarskom prostoru sa najmanjom širinom trotoara 5.0m, odvojeni ivičnjacima u nivou terena. Ukoliko travnjak nadvisuje trotoar, ivičnjak može biti izdignut. Ograđivanje travnjaka u cilju zaštite, mora odgovarati opšte arhitektonskom oblikovanju ulice. Širina trake travnjaka treba da iznosi najmanje 2m.

Drvoredi, u zavisnosti od poprečnog profila ulica i vrste rastinja mogu biti jednoredni, dvoredni i višeredni. Drvoredi se postavljaju u trotoarskom prostoru (sl. 2.13), najmanje 1.5m od kolovoznog ivičnjaka, a od regulacione linije zgrada najmanje 4.0m. Minimalno rastojanje između pojedinih stabala u zavisnosti od vrste i uzrasta kreće se od 4-10m.



Slika 2.13 Položaj drvoreda u ulici i detalj ivičnjaka (1-ivičnjak; 2-betonski kolovoz; 3 – pijesak; 4-armaturna mreža; 5-plastična folija; 6-filtracioni šljunak; 7-drenažna cijev $\phi 100\text{mm}$; 8-filterska traka; 9-bitumenska brtva)

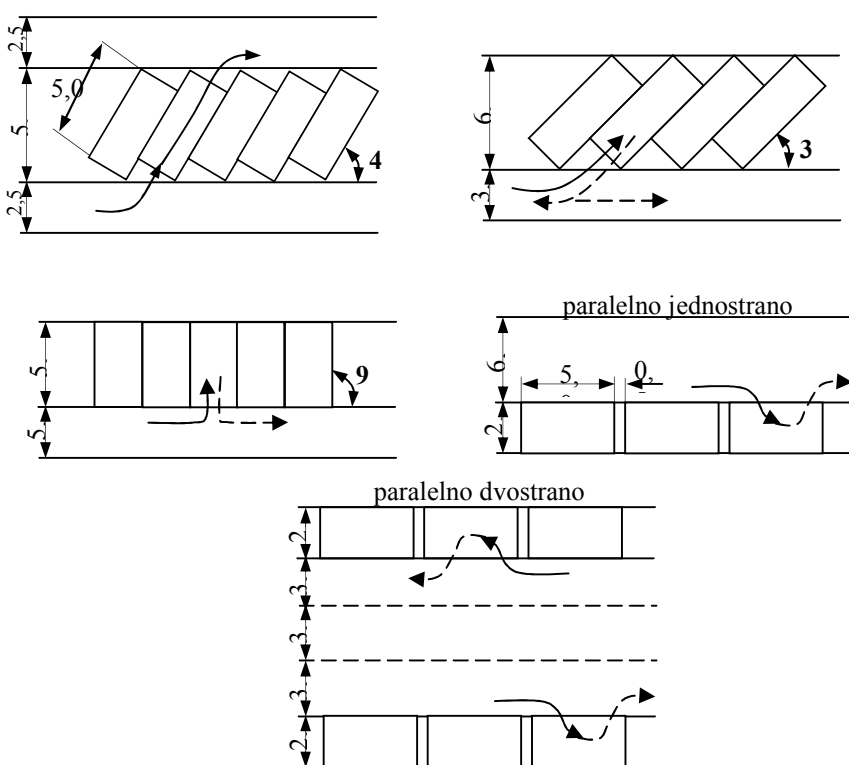
2.1.4. Parkirališta

Površine za parkiranje motornih vozila su često sastavni dio ulica ili su s njima kao posebne površine direktno vezane.

Prostori za parkiranje vozila, tj. za saobraćaj u mirovanju, su ili za stalno ili za povremeno korištenje.

Prostori za stalno korištenje mogu biti na javnom saobraćajnom prostoru ili na određenim površinama sa posebnim prilazima (stajališta autotaksija, parkiranje privatnih i službenih vozila, parkiranje oko društveno – privrednih zgrada i sl.)

Stajališta autotaksija predviđaju se ispred željezničke i autobusne stanice, pristaništa, aerodroma, administrativnih i javnih objekata i sl. Neki primjeri organizacije parkiranja vidljivi su sa sl. 2.14.



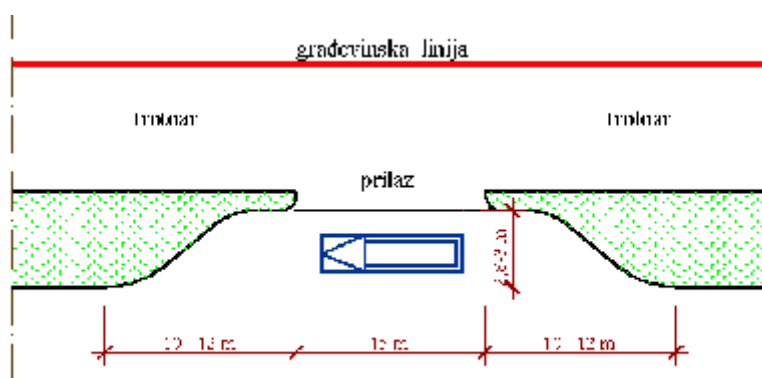
Slika 2.14 Primjeri parkirališta [25]

Normativi za potrebnu parking površinu su različiti, u zavisnosti kako je organizovano parkiranje. Tako npr., za automobile upravno parkirane treba 13.75m^2 , koso pod uglom 45° , 19.0m^2 , za autobuse upravno

parkiranje 48.0m^2 , a pod uglom 45° , 60.0m^2 , za kamione upravno parkiranje 40.0m^2 , a pod uglom 45° , 54.0m^2 itd.

Sličnu organizaciju zahtijevaju stajališta (stanice) javnog gradskog saobraćaja benzinske stanice i (sl. 2.15), što se rješava u sklopu saobraćajnice ali izvan glavnog prometa, najčešće odvojeno zelenom trakom.

Mada se radi o detalju, bitna je preporuka da se stajališta javnog gradskog saobraćaja planiraju ispred semafora, a ne iza njih (naročito kod tramvajskog saobraćaja) zbog uštede u potrošnji energije, ali i racionalnijeg odvijanja saobraćajnih tokova.



Slika 2.15 Šema stajališta (stanice) javnog gradskog saobraćaja

2.1.5 Garaže

Najvažniji princip pri rješavanju mirujućeg (pasivnog) saobraćaja sastoji se u sprječavanju da se on isključivo rješava korištenjem kolovoza ulica i gadskih puteva za saobraćaj u kretanju. To nalaže da se za parkiranje, naročito u velikim gradovima i njihovim centrima, treba da grade objekti tipa parking garaža, bilo kao samostalne građevine, bilo u okviru rekonstrukcije postojećih objekata, naročito podrumskih prostorija. Za tu svrhu posebno je važno utvrditi dijagnozu stanja i prognozu potreba parking prostora za budući vremenski period. Pri tome uobičajena su tri principa prognoziranja [19]:

a. prema broju stanovnika

Broj potrebnih mjesta za parkiranje u centralnom dijelu grada (City-a) uzima se da je oko 0,5-1% od broja stanovnika grada.

b. prema stepenu motorizacije

Za svakih 5-8 registrovanih putničkih vozila, uzima se jedno mjesto za parkiranje u centru grada. Na bazi ovog računa se tzv. City- faktor koji iznosi

$$P = \frac{S}{k \cdot d} \quad (2.4)$$

P – potreban broj mjesta za parkiranje u centru grada,

S – broj stanovnika grada,

k – mjesni koeficijent (5-8),

d – gustina motornih vozila, koja je jednaka broju stanovnika na jedno motorno vozilo

c. prema broju motornih vozila koja ulaze u toku dana u centar grada (City).

Prema ovom kriteriju broj mjesta za parkiranje je potrebno uzeti 7-9% od ovog vida saobraćaja. Svakoj velikoj višespratnoj garaži (obično se ide sa nekoliko spratova ispod i iznad terena) pripada rješenje odgovarajućeg prilaza, odnosno ulaz i izlaz iz garaže. Oni se predviđaju iz sporednih ulica, koje moraju da imaju pogodnu vezu sa glavnim saobraćajnicama.

Prosječno iskorištenje takvih garaža za vrijeme radnog vremena iznosi 60% [19].

U okviru garažnih objekata kretanje vozila može biti putem rampi ili korištenjem specijalnih liftova. Pri tome se mora voditi računa o maksimalnoj širini i dužini vozila, najmanjem poluprečniku krivina i rasporedu stubova, odnosno konstruktivnom rješenju garažnog objekta.

2.1 Gradska željeznica

U okviru rješavanja gradske saobraćajne infrastrukture željeznice (tramvaj i metro) imaju svoju funkcionalnu opravdanost i značaj, mada često u vezi ovog postoje i oprečna mišljenja.

U tehničkom pogledu tramvaj koristi željeznički kolosjek postavljen u poprečnom profilu ulice, te kontakt električnu mrežu postavljenu na stubovima iznad terena. Kod metroa je sve to postavljeno ispod terena u tunelske objekte, koji na određenom broju mjesta imaju stanice koje su sa površinom terena povezane liftovima ili pokretnim stepenicama.

Tramvaj se planira u pravolinijskim i krivolinijskim ulicama koje imaju mali broj ukrštanja, bočnih ulivanja ili presijecanja sa drugim tramvajskim linijama.

Gustu mrežu tramvajskih kolosijeka u najzbiženijem dijelu grada treba izbjegavati jer ona obrazuje tzv. “tramvajske parcele”, koje ometaju kretanje ostalih vrsta saobraćajnih sredstava. Drugim riječima, tramvaj zauzima velik dio gradskog prostora, na kome se često dešavaju saobraćajne nesreće a remeti i pješački saobraćaj.

Tramvajske stanice koje se postavljaju na međusobnom rastojanju 400 – 500m radi bezbjednosti putnika trebaju biti opremljene pješačkim ostrvima čija pozicija i raspored zavise između ostalog, i od položaja kolosijeka u odnosu na poprečni profil ulice. Širina ovih ostrva je 1,20 – 1,50m. Za jedan pravac potrebna širina tramvajskog prostora je 2,80m, a za oba pravca 5,60m. Normalno rastojanje tramvajskih šina je 1,435m. Najpovoljnije polaganje tramvajske pruge je sredinom ulice što omogućava nesmetano bočno kretanje ostalih saobraćajnih sredstava.

Što se tiče podzemnih željeznica ili metroa, najveći problem predstavljaju velika investiciona ulaganja, pogotovo ako su nepovoljni geološko – hidrogeološki i geomehanički uslovi terena. Ona se smanjuju ako se sa metroima, naročito na periferiji grada izlazi na površinu terena (slučaj u Beču). Kao što je već naglašeno, metro nema nikakvih ukrštanja sa drugim saobraćajnim linijama, što mu daje mogućnost ostvarenja većih komercijalnih brzina 50 – 60 km/h za razliku od tramvaja čija je brzina 12 – 18 km/h.

Metro se često gradi otvorenim načinom izvršenja građevinskih radova kad je u pitanju plitko ukopavanje. U tom slučaju za vrijeme izvođenja radova onemogućen je ukupni površinski saobraćaj, ako je trasa metroa neposredno ipod ulične površine.

Stanice metroa ili brzih gradskih željeznica su međusobno udaljenije nego kod tramvajske mreže, i iznose u prosjeku od 700 – 1500m. Gradske željeznice ponekad mogu da budu i “viseće” kad to zahtijevaju urbanistički i terenski uslovi, kao npr., u Njemačkom gradu Vupertalu. Podzemne željeznice, odnosno tunnelski objekti pored saobraćajnog značaja imaju i bezbjedonosnu funkciju naročito za vrijeme ratnih dejstava, a ujedno služe i za smještaj različitih instalacija podzemnog urbanizma. U velikim gradovima postale su nezamjenjiv način rješavanja problema javnog gradskog saobraćaja.

2.2 Plovni putevi

U gradovima koji su locirani na obalama mora Neum, jezera Jajce, akumulacija Tuzla i dr., većih rijeka B. Šamac i Brčko i vještačkih kanala, moguće je organizovati vodni saobraćaj korištenjem odgovarajućih plovih sredstava. Luke ili pristaništa služe za pretovar

ljudi, roba i pružanje drugih usluga na nivou vangradskog vodnog saobraćaja. Ta mjesta su važna ne samo zbog pristaništa i pretovarnih kapaciteta, nego su ujedno sastavni dio gradske saobraćajne infrastrukture.

Rijeke u prirodnom stanju i plovni kanali zahtijevaju određene tehničke aktivnosti radi održavanja nesmetane plovidbe, što nije slučaj kod mora, većih jezera, odnosno akumulacija, izuzev kod pristaništa.

Pri prevozu roba po moru, jezerima i plovnim rijekama nije potrebno nikakvo građenje puta, jer on već postoji u prirodnom stanju, tako da otpadaju troškovi amortizacije građenja puta. Pri prevozu robe i putnika regulisanim rijekama i vještačkim plovnim kanalima ovi troškovi dolaze u obzir i poskupljuju, u odgovarajućoj mjeri, prevoz koji je općenito jeftiniji ali sporiji od drugih vrsta prevoza. Vodni saobraćaj pogodan je naročito za kabastu i masivnu robu (nafta, žito, ugalj i sl.)

Troškovi vuče u saobraćajnoj hidrotehnici zavise od otpora kretanja plovila po vodnom putu. Otpor pri kretanju plovila zavisi od oblika i gaza broda, poprečnog presjeka plovnog puta i brzine kretanja plovila, i može se odrediti prema formuli [26]:

$$W = k \cdot a \left(\frac{n}{n-l} \right)^2 (v \pm c)^2 \quad (2.5)$$

W – otpor kretanja plovila (kg)

k – koeficijent uzima se 1,7 – 3,5

a – zaronjena površina poprečnog presjeka plovila

$n = \frac{A}{a}$; A – površina poprečnog presjeka korita plovnog puta

l – dužina plovila

v – brzina kretanja plovila

c – brzina toka vode (znak minus uzima se kod nizvodne plovidbe, a plus kod uzvodne)

Potrebna vučna snaga kod riječnih brodova iznosi prosječno 1kg za prevoz 1t bruto tereta, a odgovarajući troškovi zavise od vrste primjenjenog pogona.

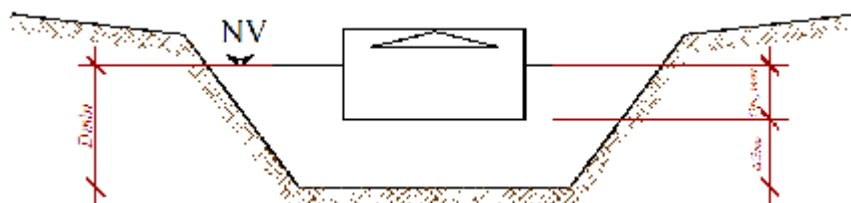
2.3.1 Uslovi za plovidbu

Da bi rijeka u prirodnom stanju bila racionalno iskorištena za saobraćaj, ona mora ispuniti **plovidbene uslove**. Osnovni je uslov da

najmanja plovna dubina (korisna dubina za eksploataciju) bude svugdje približno ista, i da odgovara maksimalnom gasu plovnog sredstva (G_{pl}) tj. prema formuli (sl. 2.16):

$$D_{min} = G_{pl}^{max} + \Delta G_{rez} \text{ (m)} \quad (2.6)$$

- D_{min} - najmanja plovna dubina
 D_{pl}^{max} - maksimalni dozvoljeni gas plovila
 ΔG_{rez} - neophodna rezerva od 0,1 – 0,3m



Slika 2.16 Uslovi za određivanje maksimalne plovne dubine

Minimalna plovna dubina za svaku rijeku (kanal) se propisuje, a prema njoj se određuje maksimalni gas plovila pod punim teretom tzv. “norma”. Na osnovu propisane minimalne dubine, širine i poluprečnika krivine, određuje se put kuda će se ploviti tj. plovidbeni profil. Ovaj profil se mora redovno održavati (uklanjati potopljene predmete, kamenje i sl.) kako bi se obezbijedile minimalne dubine za nesmetanu plovidbu.

Pristaništa

Pristanište je mjesto na obali vodnog puta gdje se vrši pretovar robe i ukrcavanje i iskrcavanje putnika.

Razlikuju se pristaništa na kanalu, jezeru (akumulaciji), rijeci i moru. U Bosni i Hercegovini su interesantna riječna i morska pristaništa (luke), kao što su Bosanski šamac, brčko i Neum.

Riječna pristaništa se dijele na:

- pristaništa na otvorenoj obali i to u različitim oblicima [8], te
- bazenska pristaništa.

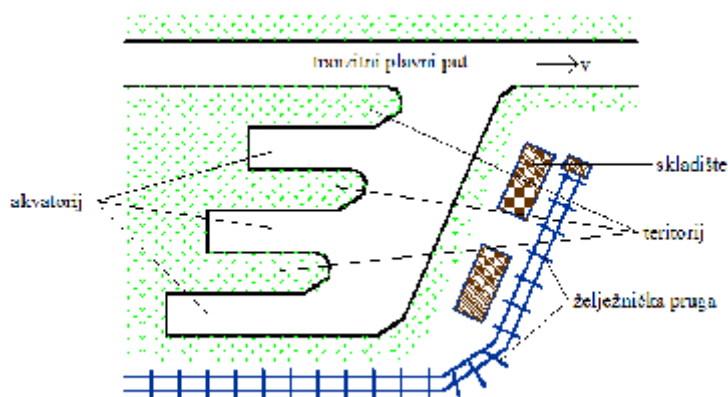
Ova pristaništa mogu biti opšta i specijalna.

Svako pristanište ima vodni dio ili akvatorij i kopneni dio ili teritorij [8].

Granica između ova dva dijela čini pristanišna obala koja se dijeli na:

1. operativnu (teretna i putnička) i
2. neoperativnu.

Akvatorija obuhvata (sl. 2.17) prilaze sa tranzitnog plovnog puta, spoljna i unutrašnja sidrišta, zaštitne građevine od vjetrova, leda, nanosa i sl.

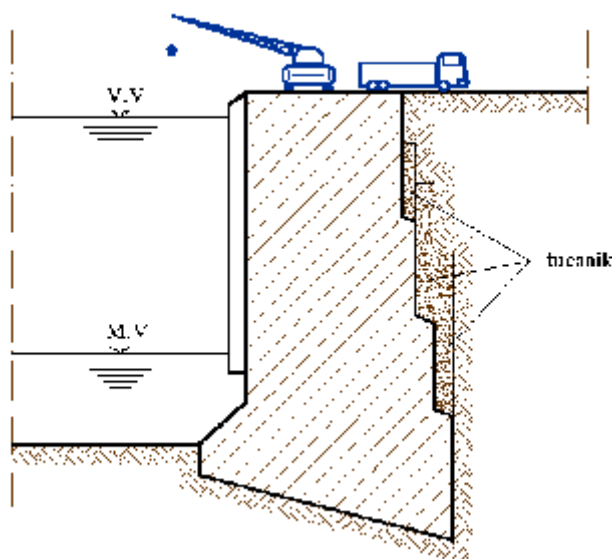


Slika 2.17 Riječno bazensko pristanište

Teritorija obuhvata pretovarne uređaje i postrojenja, prilazne željezničke kolosjake i puteve, skladišta i ostalu infrastrukturu. Slična je podjela i kod morskih pristaništa.

Obalni (kejski) zidovi

Prirodne riječne i morske obale najčešće nisu pogodne za pristajanje plovniha objekata, niti za obavljanje pretovarnih operacija. Zbog toga se u rejonu pristaništa operativna obala obrađuju u vidu obalnih ili kejskih zidova (sl. 2.18).



Slika 2.18 Izgled masivnog kejskog betonskog zida kod riječnog pristaništa

Uloga ovih zidova je višestruka, kao:

- obezbjeđuju potrebnu dubinu vode neposredno duž operative obale,
- omogućavaju uslove za stabilno fundiranje skladišta i prilaznih saobraćajnica te pretovarnih uređaja,
- obezbjeđuje obalu od rušenja usljed hidroloških promjena u akvatoriju i dr.

Po svom obliku u poprečnom presijeku obalni zidovi mogu da budu vertikalni, kosi (u nagibu 1:1,25) i mješoviti vertikalno – kosi. Kosi dio često se oblaže lomljenim ili vještačkim kamenom.

Zidovi se opremaju bitvama i halkama za vezivanje plovila.

Vertikalni zidovi sem od nabijenog betona (masivni potporni zidovi), mogu biti izgrađeni i od armirano – betonskih konstrukcija na visokom roštilju i na šipovima, te od konstrukcija željeznih ili armirano – betonskih talpi.

Projektovanje pristaništa

Za uspješno projektovanje, ali i kasnije izvođenje i održavanje pristaništa veoma je važno raspolagati odgovarajućim hidrološkim,

geološkim i geomehaničkim podlogama te podacima o klimatskim uslovima i karakteristikama plovnih sredstava koji će pristajati u datom pristaništu.

Posebno su važni hidrološki podaci i podloge akvatrojskog dijela o režimu vodostaja, strujama i njihovim brzinama (kod rijeka o stanju vučenog nanosa), stanju leda (kod rijeka) i dr.

Geološke i geomehaničke podloge, te podaci o režimu podzemnih voda bitni su za fundiranje skupih kejskih zidova, bitni do te mjere, da nekad mogu uticati na promjenu lokacije pristaništa ako za to neima uslova.

Pri projektovanju kejskih zidova veoma važno je kod njihovog dimenzionisanja korektno odrediti uticajne spoljne sile:

- sopstvena težina kejskih zidova,
- opterećenje od tereta koji se nalazi u području kejskog zida,
- vertikalno koncentrisano opterećenje (dizalica, vozna kompozicija, temelji, skladišta i dr.),
- horizontalni pritisak plovnih sredstava,
- aktivni i pasivni pritisak zemljišta na kejske zidove, plus pritisak podzemnih voda,
- hidrostatički pritisak vode akvatorija i
- pritisak leda gdje se on može pojaviti.

3. KOMUNALNA HIDROTEHNIKA

Komunalnu hidrotehniku čine **vodosnabdijevanje i kanalizacija**.

Kvalitetno snabdijevanje vodom za piće i proizvodnju životnih namirnica, kao i ostale potrebe, postiže se, samo putem centralizovanih vodovodnih sistema. Kanalizacijom se sakupljaju zagađene vode naseljenog mjesta, transportuju do mjesta dispozicije uz prethodno prečišćavanje. Objekti komunalne hidrotehnike mogu imati gradski ili regionalni značaj, u ovisnosti od terenskih, urbanističkih, vodoprivrednih i drugih uslova.

Zbog svoje skupoće i kompleksnosti objekti vodovodnog i kanalizacionog sistema, kao u ostalom i drugi infrastrukturni objekti, grade se radi zadovoljenja potreba za period ne kraći od 15, 20 pa i 30 godina.

3.1 Vodosnabdijevanje

Svaki moderni vodovodni sistem (vodovod) sa kojeg se snabdijevaju stanovnici naselja, kao i drugi potrošači vodom za piće sastoji se od više funkcionalnih elemenata (sl.3.1):

- izvoriste vode sa vodozahvatom (1),
- postrojenje za kondicioniranje vode (2),
- rezervoara (R_z), (3),
- pumpna stanica, (PS), (4)
- distributivni objekti (glavni dovod, glavni cjevovod, razvodna mreža).

Problem snabdijevanja vodom svakim danom je sve veći, kako zbog porasta potrošača, tako i zbog sve većeg zagađenja voda. Vodu za piće treba pripremiti odgovarajućim tehničko-tehnološkim postupkom, tj., izvršiti **kondicioniranje vode** što je jako skupo, a također mora se organizovati zaštita izvorišta vode, putem uspostavljanja **zaštitnih zona**.

Ako su izvorišta vode u prigradskim dijelovima, tad je jako složen zadatak njihove zaštite, kad se mora u rješavanje uključiti i organ vlasti. Zbog potrebe kondicioniranja vode, ali i transporta do potrošača u

vodovodu postoji jedna ili više pumpnih stanica, od čega i veći broj u samom naselju.

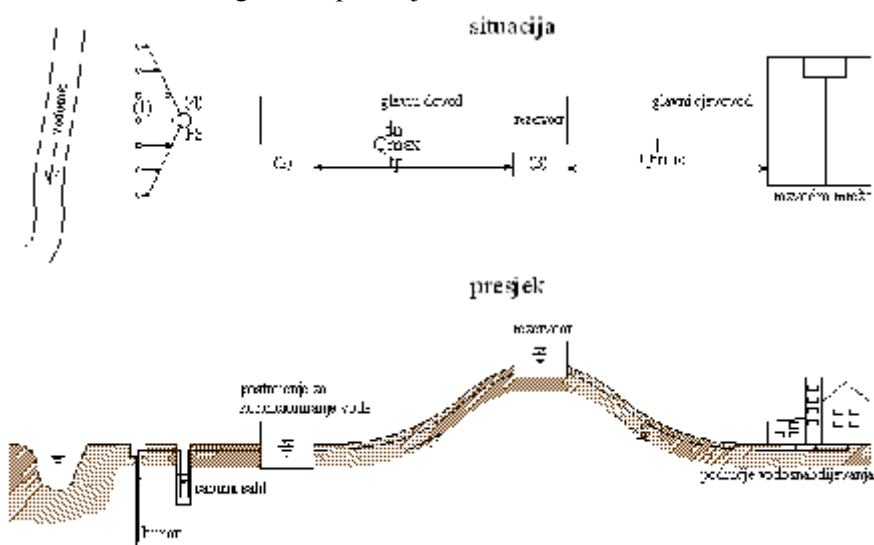
Radi neravnomjerne potrošnje vode, zatim radi obezbjeđenja dovoljnog pritiska (energetska ili piježometarska linija), te rezerve vode za gašenje požara i dr., vodovod ima veći broj rezervoara (ukopanih ili tornjeva za vodu).

Transport vode do potošača vrši se putem cjevne mreže koja je ukopana ispod površine terena i priključcima dovedena do svih korisnika.

Po načinu transporta vode od izvorišta do potrošača, vodovodi mogu biti:

- gravitacioni i
- vodovodi sa pumpanjem.

Centralizovani ili javni vodovodi ako teritorijalno pokrivaju prostor potrošača prečnika preko 10 km, često se nazivaju *grupni*, a ako je prečnik prostora potrošača preko 50 km onda su to *regionalni vodovodi* (vodovod koji pokriva više naselja - gradova). Ako vodovod povezuje više opština često se naziva *međuregionalni*. Sve ove podjele su uslovne, a zavise pored rečenog i od broja stanovnika koje opslužuju, administrativnih granica, položaja u slivu itd.



Slika 3.1 Šematski prikaz savremenog vodovodnog sistema

3.1.1 Planiranje vodovoda

Utvrdjivanje potreba za vodom nekog potrošača zahtijeva planiranje vodovodnog sistema. To podrazumijeva pripremnu fazu realizacije projekta vodosnabdijevanja, koja obuhvata definiranje tehničkih, ekonomskih, pravnih i drugih mjerodavnih činilaca bitnih za kvalitetno rješenje. Planiranje se ostvaruje razmatranjem većeg broja uticajnih faktora, kao što su:

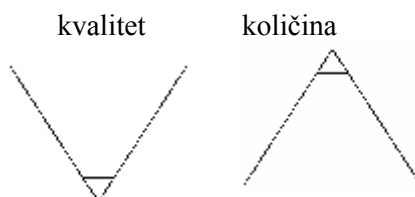
- sanitarno-higijenski, vodoprivredni, urbani, regionalni, komunalni i zaštita čovjekove okoline,
- rokovi izvršenja plana, obim izgradnje i globalno vrijeme dejstva sistema (planski period),
- potrošači koji će biti priključeni na sistem,
- potrebne količine vode i potreban kvalitet,
- pritisak u mreži i visinske zone,
- obim projektovanja i građenja i
- koštanje vodovoda (investicioni i eksploatacioni troškovi).

Potrošači vode

Potrošači vode mogu biti **opšti** i **posebni**. Opšte potrošače čine: domaćinstva (stanovništvo), zaposleni u privredi i javnim službama, javne i komunalne službe i sam vodovod. Posebne potrošače predstavljaju: veliki turistički objekti, industrija, građevinarstvo, poljoprivreda i drugi tzv. „krupni“ potrošači.

Odnos potrebne količine vode i zahtjeva za njen kvalitet po pojedinim potrošačima je obrnut, pa se ima :

- voda za piće
- kuhanje
- čišćenje
- zalijevanje bašta
- gašenje požara



Stanovnici u domaćinstvima spadaju u „sitne“ potrošače i vodu troše za piće, pranje, kuhanje, održavanje lične i stambene higijene, za zalijevanje vrtova i bašta i pranje automobila. U ruralnim naseljima i urbaniziranim seoskim područjima voda se koristi i za napajanje domaćih životinja, održavanje higijene gospodarskih objekata i sl.

Zaposleni u privredi i javnim službama vodu koriste za piće, kuhanje i održavanje higijene radnih prostorija i lične higijene (zaposleni u industriji, komunalnim organizacijama, zanatskim radionicama).

Broj stanovnika je najvažniji podatak za utvrđivanje potrebne količine vode za usvojeni planski period. Ako ne postoje podaci iz urbanističkog plana ili iz statističkog zavoda, onda se broj budućih stanovnika određuje računski [8].

Što se tiče ostalih potrošača, nužno je izvršiti (ako nema odgovarajućih podataka) snimanje i anketiranje, kako bi se dobili valjani podaci za planiranje. Treba uvažiti planove razvoja, naročito industrije i koristiti podatke iz urbanističkog plana grada.

Normativi potrošnje vode

Da bi se odredila potrebna količina vode za pojedine potrošače, koriste se norme potrošnje vode.

One podrazumijevaju da se za svaku vrstu potrošača odredi količina vode, uzimajući u obzir lokalne uslove, kao što su broj stanovnika, standard življenja, geografski položaj (klima) područja snabdijevanja, značaj potrošača, stanje razvijenosti privrede i javnih službi, uređenost naselja, ekonomska moć sredine itd.

Potrošnja vode u domaćinstvima podložna je stalnim promjenama u zavisnosti od standarda i sanitarno-tehničke uređenosti stana, pa norme potrošnje treba češće revidirati.

Potrebe u vodi izražavaju se **specifičnom potrošnjom** (q_0) i za različite veličine naselja mogu se uzeti prema tabeli 3.1.

Tabela 3.1 Specifična potrošnja vode q_0 [15]

Veličina naselja	q_0 [l/st/dan]
do 2000 stanovnika	110
2000-10.000 st.	140
10.000-50.000 st.	160
50.000-200.000 st.	180
preko 200.000 st.	200

Potrebne količine vode za industriju, gašenje požara, zanatstvo i dr., određuje se u zavisnosti od tehnološkog procesa, odnosno djelatnosti (jedinice proizvoda), te važećih normativa [15,7].

Vlastita potrošnja vodovoda i gubici vode

Svaki vodovod troši vodu za povremeno pranje rezervoara, vodozahvata, pumpnih stanica, najviše za pranje postrojenja za pripremu vode (kondicioniranje) za ispiranje vodovodne mreže i sl. Ova potrošnja iznosi 5-10% (prosjeak 7,5%) od ukupne dnevne potrošnje.

Gubici vode neminovna su pojava u okviru svakog vodovoda (prskanje cijevi, loše urađeni spojevi cijevi, propuštanje rezervoara, stara mreža i sl.) i iznose 5-8%. Treba računati u prosjeku sa 8-15% od godišnje isporučene vode potrošačima, kad je u pitanju novi ili rekonstruisani vodovod, a kod starih sistema to ide do 50% pa i više, što se mora postepeno sanirati.

Proračun mjerodavnih količina vode

Potrošnja vode iz jednog vodovodnog sistema tokom vremena je neujednačena. Stoga je veoma važan element u definiranju potrebne količine vode *kolebanje potrošnje* tokom godine, sezone (po godišnjim dobima), mjeseca, dana i sata.

Neravnomjernost potrošnje vode izražava se *koficijentima neravnomjernosti* različitim za svaki tip naselja.

U prosjeku može se uzeti da je:

k_d - *koficijent dnevne neravnomjernosti* 1,5 (1,3 – 2,0)

k_h - *koficijent satne neravnomjernosti* 1,7 (1,5 – 2,9)

Veću neravnomjernost u toku godine imaju manja mjesta sa manjim brojem stanovnika i industrije i većim kolebanjem sezonskih temperatura. Kod značajnijih vodovoda potrebno je posebno proučavanje neravnomjernosti potrošnje vode korištenjem matematske statistike.

Za dimenzioniranje objekata vodovoda i za određivanje godišnjih troškova rada sistema koriste se tri karakteristične vrijednosti:

1. Srednja dnevna potrošnja vode (Q_s^d) je količina vode koju prosječno, svakog dana tokom godine, potroši korisnik vodovoda.

Njena vrijednost se računa prema broju potrošača i prema odgovarajućoj specifičnoj potrošnji vode, tj. normi vode potrebnoj za svaku vrstu korisnika:

$$Q_s^d = q_1 \cdot S_1 + q_2 \cdot S_2 + \dots + q_n \cdot S_n \quad (m^3/d) \quad (3.1)$$

$q_1, q_2, \dots, q_n$ - srednja dnevna potreba vode (specifična potrošnja) odgovarajućeg potrošača (l/d)

$S_1, S_2, \dots, S_n$ - računski broj ekvivalentnih potrošača (npr. stanovnika)

Da bi se odredili godišnji izdaci rada vodovoda, odnosno koštanje ($1m^3$) isporučene vode, računa se srednja godišnja potrošnja vode (Q_g):

$$Q_g = 365 \cdot Q_s^d \quad (m^3/g) \quad (3.2)$$

Srednja dnevna potrošnja vode ujedno predstavlja i kapacitet vodovoda za krajnji računski period. Računski kapacitet uvijek je veći od stvarnog. Odnos stvarnog kapaciteta (Q_s) prema računskom (Q_s^d) predstavlja koeficijent korisnog dejstva vodovoda i kreće se od 0,75-0,85.

$$K_{dv} = \frac{Q_s}{Q_s^d} < 1 \quad (3.3)$$

2. Maksimalna dnevna potrošnja vode (Q_{max}^d) je količina vode koja se troši godišnje u danima maksimalnih potreba:

$$Q_{max}^d = Q_s^d \cdot k_d \quad (m^3/d) \quad (3.4)$$

Ovo je osnovna veličina za dimenzioniranje vodozahvata, glavnog dovoda, postrojenja za kondicioniranje vode, crpne stanice, potisnog cjevovoda i rezervoara.

3. Maksimalna satna potrošnja vode (Q_{max}^h) je količina vode koja se tokom dana troši najviše sat-dva. Ova se vrijednost koristi za dimenzioniranje glavnog cjevovoda od rezervoara do mjesta potrošnje, kao i distribucione mreže. Računa se po formuli:

$$Q_{max}^h = \frac{Q_{max}^d}{24} \cdot k_h \quad (m^3/h) \quad (3.5)$$

Pritisak u mreži i visinske zone

U distribucionoj mreži razlikuje se radni (slobodni) pritisak potreban za normalno snabdijevanje vodom objekata i pritisak vezan za gašenje požara.

Visina pritiska potrebnog za snabdijevanje pojedinih objekata vodom mora biti pri najvećoj potrošnji još uvijek za 6-8 m iznad najvišeg potrošačkog mjesta.

Veći radni pritisak od 6 bara (do najviše 8 bara) nije poželjan, jer se povećava opasnost od prskanja cijevi u mreži uslijed naglog zatvaranja zatvarača i hidranata, a povećavaju se i gubici vode.

Novi veliki sistemi, projektuju se svega sa 2 bara radnog pritiska. Naročito se teži da magistralni vodovi budu pod manjim pritiskom. Lokalno povećanje pritiska po objektima ostvaruje se savremenim kućnim uređajima.

Potreban pritisak za gašenje požara treba da je jednak visini, povećan za 2 bara, kad se uzima voda direktno sa požarnog hidranta, a minimalno 1 – 1,5 bar u slučaju korištenja vatrogasne auto cisterne koja ima svoje pumpe.

Da bi se izbjegao radni pritisak veći od 2, odnosno 4 ili 6 bara, područje snabdijevanja sa većim visinskim razlikama dijeli se na *visinske zone*, gdje svaka zona dobija svoj vlastiti rezervoar. Dijelovi naselja koje visinski rezervoar ne može stalno da snabdijeva dobijaju crpne uređaje za visoke zone.

Zahtjevi u pogledu kvaliteta vode

Osnovni pokazatelji koji određuju pogodnost neke vode su njen sastav i koncentracija sadržanih primjesa. Koncentracija sadržanih primjesa u vodi po SI sistemu izražava se sa *mol po kubnom metru* (mol/m^3 ili mol m^{-3}). Međutim, još uvijek je praksa da se ona izražava u *miligramima po litru* (mg/l).

U zavisnosti od potreba raznih korisnika, voda se klasificira prema njezinoj primjeni:

- voda za piće i proizvodnju životnih namirnica,
- voda za korištenje u poljoprivredi,
- voda za hlađenje i
- voda za tehničke svrhe.

1. Voda za piće i proizvodnju životnih namirnica ne smije biti štetna po zdravlje čovjeka. Mora da posjeduje dobre *organoleptičke osobine* i da je pogodna za životne aktivnosti.

Parametri kvaliteta vode su njene:

- ☐ fizičke,
- ☐ hemijske i
- ☐ mikrobiološke osobine.

Među **fizičke parametre** ubrajaju se temperatura, boja, mutnoća, ukus, miris, ukupan suhi ostatak, specifična elektrolitička provodljivost, pH vrijednost. Prvih pet parametara nazivaju se i *organoleptičke osobine* (opažaju se čulima).

Među **hemijske parametre** ubrajaju se različita hemijska jedinjenja i joni rastvoreni u vodi, uključivo i pesticidi, bojni otrovi i radiološke osobine vode.

Značajni **mikrobiološki parametri** su pojedini mikroorganizmi (bakterije, virusi, alge, gljive) i razni paraziti. Neki od ovih parametara veoma su značajni sa zdravstvenog aspekta, bilo što u povećanim koncentracijama postaju opasni po zdravlje, bilo što ukazuju na moguće zagađenje. Drugi su od značaja zbog teškoća koje mogu izazvati u eksploataciji vodovoda, pa se njihova koncentracija ograničava.

Zahtjevi u pogledu kvaliteta vode za piće regulišu se posebnim propisima u svakoj državi („Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće“, „Zakon o vodama“ i sl.), najčešće na bazi preporuka svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i domaćih zdravstveno-higijenskih organa ovlaštenih za tu aktivnost.

Opšti zahtjevi u vezi vode za piće su da voda mora biti bez mirisa i ukusa, bez mutnoće, sa pH vrijednošću od 6,8-8,5, temperature 7-12 °C itd.

Voda za piće ne smije sadržavati bakterije *Salmonela* vrste, *Šigela* vrste i *vibro kolere* ni druge patogene mikroorganizme, uključivo i koliformne bakterije fekalnog porijekla.

Ukupna tvrdoća vode treba da je u relacijama 8-12 njemačkih stepeni (srednje tvrda voda), ne smije biti agresivna (tj. važan je sadržaj rastvorenih gasova u vodi) mora biti bez otrovnih materija (olovo, cink, bakar, arsen, živa i dr.).

Azot, nitrati (NO_3), nitriti (NO_2) formiraju se u vodi, uglavnom, kao rezultat raspadanja bjelančevina koje dopijevaju u vodu sa zagađenim vodama. Prisustvo azotnih jedinjenja u vodi obično pokazuje prisustvo organskih materija.

Slobodni ili albuminoidni amonijak u vodi indikator je skorašnjeg zagađenja, izuzev ako su koncentracije male, ispod 0,1 mg/l.

Nitrati i nitriti u vodi pokazuju prilično davnašnji kontakt sa organskim materijama. Nitrati u vodi prouzrokuju dječiju bolest *Methemoglobinemia*, koja može biti i fatalna.

Gvožđe (željezo) je nepoželjno u vodi zbog kvarenja ukusa, a prouzrokuje mrlje na vešu prilikom pranja. Sulfati željeza prouzrokuju kiselost i korodivni su za metale. Slične nezgode čini i mangan ali nije štetan po zdravlje kao ni željezo.

U određenim dozama u vodi mikroelementi kao jod, fluor, bor, selen i dr. utiču na zdravlje čovjeka. Npr. odsustvo ili nedostatak joda u vodi ili hrani narušava normalan rad štitne žlijezde i dovodi do teškog oboljenja *endemske gušavosti*, a može izazvati *kretenizam*.

Male doze fluora u vodi do 0,7 mg/l izazivaju *karijes zuba*, a veća doza od 1,5 mg/l dovodi do razvoja *fluoroze* (pjegavost zubne gledi).

2. Vodu u poljoprivredi koriste različiti potrošači. Za napajanje stoke potrebno je da voda odgovara kvalitetu vode za piće, izuzev u pogledu boje, mutnoće i mirisa. Voda za navodnjavanje ne smije da sadrži soli iznad 1,5 gr/l, jer zasoljenost izaziva neplodnost tla, a veći sadržaj jona Na^+ štetno djeluje na bilje.

3. Voda za hlađenje obično se uzima ne prerađena, a treba da ima što je moguće nižu temperaturu, što manju tvrdoću, što manji sadržaj suspendovanih materija, da ne djeluje korozivno na uređaje.

4. Voda za tehničke svrhe može biti različita po kvalitetu npr., voda za proizvodnju pare treba da ima što manju ukupnu i stalnu tvrdoću, što manji sadržaj silicijeve kiseline itd. Tkaonice svile i bojadisaone zahtijevaju potpuno odsustvo željeza i organskih materija u vodi. Industrija kože traži mehku vodu, jer soli koje vodu čine tvrdom pogoršavaju korištenje materija za štavljenje. Voda za pivare ne smije sadržavati CaSO_4 , jer to sprečava vrenje slada i dr.

3.1.2 Izvorišta vode

Za potrebe vodosnabdijevanja koriste se svi oblici voda: atmosferske (kiša), podzemne i površinske vode. Osnovni pokazatelj vrijednosti izvorišta su **kvalitet i količina vode**. Ako izvorište u

prirodnom stanju ne odgovara zahtijevanom kvalitetu, voda se mora kondicionirati, ako je nema dovoljno formiraju se vještački uslovi za formiranje izvorišta bogatijeg vodom (podzemne ili površinske akumulacije).

Atmosferske vode (kišnica)

Kišne vode kao izvorišta za vodosnabdijevanje koriste se uglavnom u područjima koja su oskudna sa drugim oblicima voda. Van urbanih i industrijskih područja kišnica je „čista“ ali i bljutava za piće (zbog nedostatka soli i CO₂). Sadrži u sebi nešto prašine i rastvorenih gasova.

Podzemne vode

Zbog svog kvaliteta podzemne vode su najinteresantnije kao izvorišta vode. One su bakteriološki čiste, imaju bolji ukus od površinskih voda, zbog sadržaja različitih minerala i zbog postojane temperature tokom godine.

Međutim, i podzemne vode ponekad mogu sadržavati određene komponente zbog prirodnih geoloških razloga ili zbog nekog zagađenja izazvanog ljudskom djelatnošću, što uslovljava njihovo kondicioniranje. Stepem kondicioniranja kod toga je mnogo manji nego kod površinskih voda, što i po tom osnovu daje prednost podzemnim vodama, jer se štedi u troškovima prerade vode.

Za vodosnabdijevanje interesantne su podzemne vode samo iz zone saturacije i to, kako sa slobodnim nivoom, tako i arteške i subarteške, te prirodni izvori.

U podzemnim vodama često je visok sadržaj željeza i mangana, što uslovljava njihovo kondicioniranje, da bi se te komponente odstranile.

Također, gdje je cirkulacija podzemnih voda usporena zna biti povećana mineralizacija, naročito u tzv. hidrogeološkim bazenima.

U pogledu kvaliteta vode, najviše odgovaraju arteške i subarteške podzemne vode, jer su najbolje zaštićene od eventualnog zagađenja. Sem toga, i njihova eksploatacija zbog visokog pritiska je jeftinija u poređenju s drugim vidovima podzemnih voda. Što se tiče prirodnih izvora prednost imaju više uzlazni nego silazni izvori, jer su stabilniji po kapacitetu, a i sigurniji u pogledu kvaliteta vode. Svaki izvor u višegodišnjem periodu jedanput ima apsolutni minimum koji je mjerodavan za ocjenu povoljnosti. S obzirom da je izvorska voda u stvari podzemna voda, to u pogledu hemijskog i bakteriološkog sastava,

kao i temperature odgovara osobinama podzemne vode od koje se prihranjuje, to znači da je dovoljno mineralizovana, u većini slučajeva sterilna i ima skoro stalnu temperaturu (7-12 °C). Čim su veće varijacije temperature vode, znak je da se izvor snabdijeva sa podzemnim vodama bliže površini terena, a to znači i veća mogućnost zagađenja.

Kod kartsnih sredina pošto su filterska svojstva veoma mala, voda je često bakteriološki neispravna, a za vrijeme jakih kiša jako mutna, pa je treba kondicionirati.

Površinske vode

Česta je praksa korištenja riječne vode kao izvorišta, te vode iz jezera i akumulacija, kad je nedostatak podzemnih voda. Velike i srednje rijeke, su po kvantitetu veoma pouzdane izvorišta, ali se ta voda uvijek treba kondicionirati. Korištenje malih rijeka vezano je sa kolebljivim režimom, naročito ljeti kad mogu i da presuše. Za vrijeme topljenja snijega i za vrijeme olujnih kiša, ovi tokovi postaju bujičarski, sa puno zagađenja mineralnog i organskog porijekla.

Pri nedovoljnim količinama vode u vodotoku vrši se regulisanje riječnog oticaja putem akumulacija, i na taj način osigurava odgovarajuća zapremina vode. Jezera mogu biti veoma kvalitetna izvorišta, naročito ako su planinskog porijekla. Kao izvorišta vode mogu se koristiti i vještački kanali različitih tipova - odvodni, za navodnjavanje, lagune i sl.

U bakteriološkom pogledu rijeke su najviše zagađene, a najmanje jezera. Na sastav površinskih voda općenito utiče sveukupni biljni i životinjski svijet koji se u njima nalazi, a prije svega *plankton* u suspendovanom stanju i *bentos* na dnu korita vodotoka. Svemu ovom i čovjek doprinosi zagađenju vode nekontroliranim izbacivanjem tečnog i čvrstog otpada.

Morska voda također može da se koristi za vodosnadbjevanje, pri čemu se mora vršiti veoma skupo kondicioniranje, uključivo i desalinizaciju morske vode.

Istražni radovi

Istražni radovi izvorišta jedan su od najvažnijih zadataka u okviru rješavanja vodosnabdjevanja. Oni obuhvataju ispitivanje izvorišta u pogledu svojstva vode, njenog kapaciteta i načina zahvatanja.

Posebno su složena i skupa istraživanja podzemnih voda koja obuhvataju hidrološka i geološka ispitivanja prirodnih i antropogenih odnosa područja.

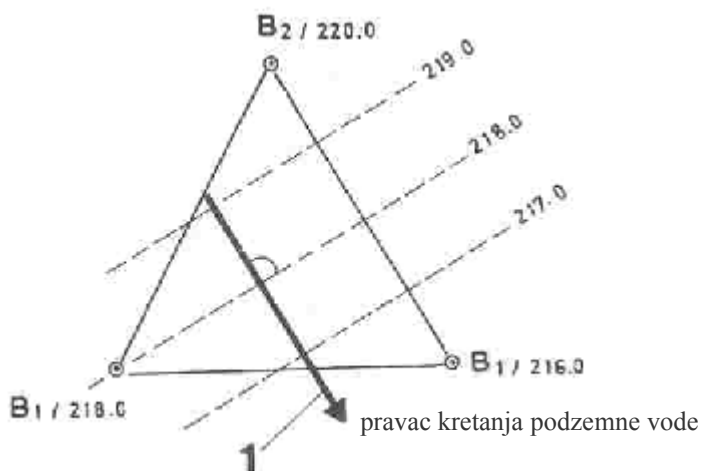
Hidrološkim istraživanjima utvrđuju se raspoložive količine vode i njihove promjene u vremenu (izdašnost, protok, oscilacije, nanos i dr.), uključivo i uticajni faktori kao što su padavine, topografski uslovi sliva, obraslost terena i sl.

Geološka istraživanja su osnova specijalnih istraživanja koja se odnose na *hidrogeologiju, inženjersku geologiju i geomehaniku*.

Geološkim istraživanjima treba da se prouče geomorfološki, stratigrafski, litološki i tektonski odnosi na lokalitetu koji se proučava. Ovi radovi obuhvataju terenske, laboratorijske i kabinetske aktivnosti, uključivo i razna modelska istraživanja.

Važna aktivnost hidrogeoloških istraživanja je izrada hidrogeoloških karata. Putem njih se dobiju hidrogeološki odnosi područja, te položaj podzemnih voda i vodonosnih horizonata, njihov sastav, koeficijent filtracije, smjer kretanja podzemnih voda, odnos podzemnih voda sa površinskim vodama, itd. Pri tome su nezaobilazni terenski radovi vezani za izradu istražnih bušotina, i pratećih osmatračkih bušotina tzv. pijezometara.

Na osnovu pijezobušotina (sl. 3.2) moguće je putem niveliranja nivoa podzemne vode odrediti pravac njihovog kretanja, tako što se povlači linija okomito na hidroizhipse



Slika 3.2 Određivanje pravca kretanja podzemnih voda pomoću tri pijezo bušotine

Najvažniji hidrogeološki istražni radovi vezani su za **geofizičke radove** i **istražno bušenje**. Geofizički radovi prethode istražnom bušenju, jeftiniji su i umnogome smanjuju ukupan obim istraživanja.

Hidrogeološkim bušenjem, koje se odvija u više faza, jako je skupo, dobijaju se tzv. **hidrogeološki parametri** vodonosne sredine, na bazi kojih se vrše odgovarajući proračuni i određuje vrsta vodozahvatnog objekta.

Paralelno sa kvantitativnim analizama vrši se i analiza kvaliteta vode, u početku to se vrši kroz tzv. *skraćenu hemijsku* i *bakteriološku analizu*, a kasnije preko *kompletne hemijske* i *sanitarne analize* vode.

Izbor izvorišta

Najdelikatniji zadatak pri planiranju vodovoda je izbor izvorišta vode, jer od toga zavisi karakter ostalih elemenata sistema. Kod jednog vodovoda može biti i više izvorišta, ali se uvijek daje prednost izvorištu podzemne vode. Kao ilustracija ovom može da bude činjenica, da npr. cijena 1 m³ vode iz površinskog izvorišta sa kondicioniranjem košta 3 do 5 puta više nego 1 m³ vode sa izvorišta podzemnih voda bez kondicioniranja. Veoma važan parametar kod konačnog izbora izvorišta su dužina transporta (dovoda vode), potrošnja električne energije i način upravljanja. Važan faktor a i prednost, je onog izvorišta koje je pored stalnog kapaciteta i kvaliteta vode najbolje zaštićeno od mogućeg zagađenja.

3.1.3 Vodozahvati

Vodozahvatni objekti su prvi i najvažniji elementi vodovodnog sistema. Od hidrauličkih i konstruktivnih osobina vodozahvata, njegovog položaja i kvaliteta rada, zavisi i rad ukupnog sistema.

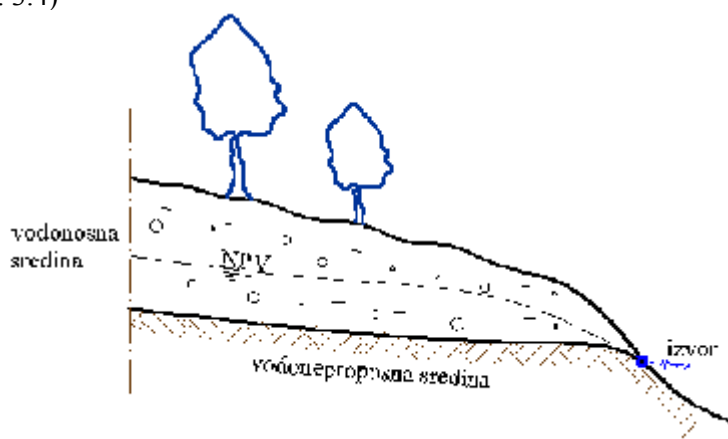
Vodozahvati, trebaju u svim hidrološkim uslovima da obezbjeđuju potrebnu količinu vode ($Q_{\max}^d$) vodovodnom sistemu. Projekat vodozahvata mora da sadrži i rješenje *zona sanitarne zaštite*.

Najvažnije vrste vodozahvatnih objekata prema tipu izvorišta su:

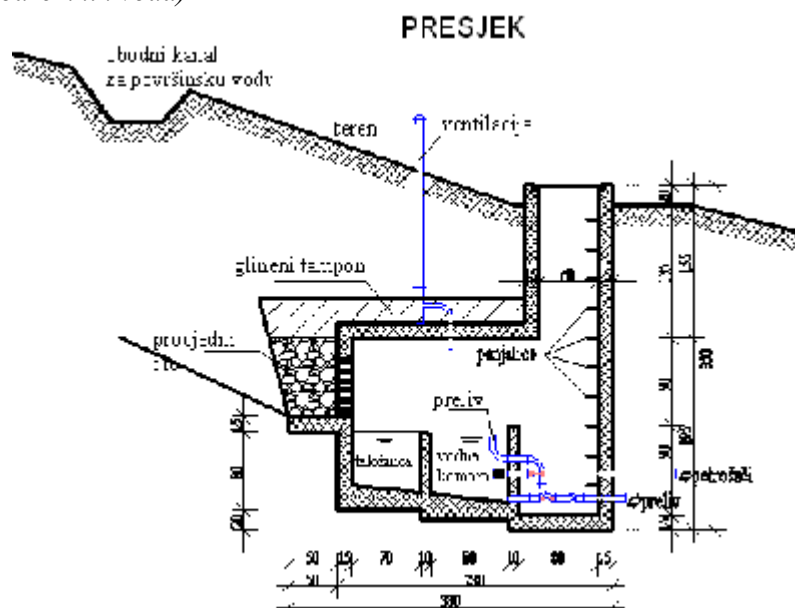
- kaptaže izvorske vode,
- vodozahvati podzemnih voda i
- vodozahvati površinske vode.

Kaptaže izvorske vode

Objekti za zahvatanje izvorske vode su kaptaže, koje su različite u odnosu na vrstu mehanizam isticanja vode. Slika 3.3 pokazuje šemu silaznog izvora, koji je najčešći u praksi, i s tim u vezi kaptažni objekat (sl. 3.4)



Slika 3.3 Šematski prikaz silaznog izvora (NPV – nivo podzemnih voda)



Slika 3.4 Kaptaza silaznog izvora

Kod izrade kaptaže, veoma je važno izbjeći formiranje prepreke prirodnom oticaju vode, jer može doći do gubljenja vode.

Svaki kaptažni objekat treba da ima:

- dovoljno otkriven i zahvaćen izvor po površini i dubini,
- zaštitu od površinskog zagađenja,
- mjere za sprečavanje rasipanja vode (ekrani, baraže i sl.),
- ventilaciju.

Voda iz vodne komore preko usisne korpe otiče cjevovodom preko zatvaračke komore. Pored odvodnog cjevovoda moraju još da budu: preliv, ispušt, vodomjer i penjalice. Često se praktikuje i izgradnja taložnice za pijesak.

Slično kaptaži silaznog izvora, rade se i kaptaže tzv. prelivnih izvora, s tim što se sabirna građevina izvodi odvojeno od kaptaže. U kršu su česti vodozahvati tipa potkopa.

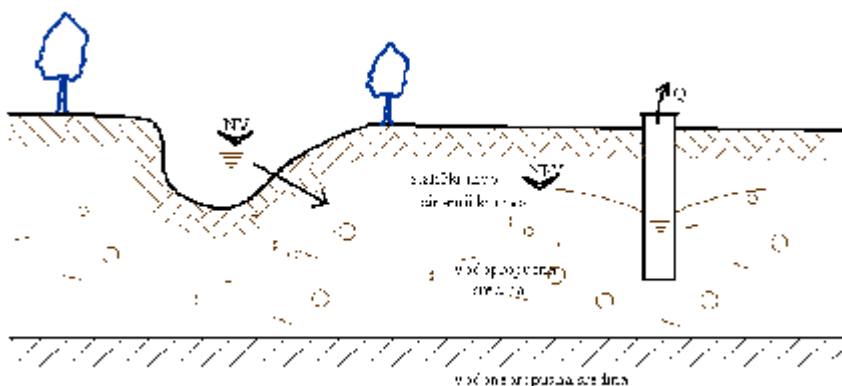
Vodozahvati podzemnih voda

U zavisnosti od geoloških i hidrogeoloških uslova, zatim hidroloških i sanitarnih, zahvatanje podzemne vode može biti:

- vertikalnim
- horizontalnim i
- infiltracionim objektima.

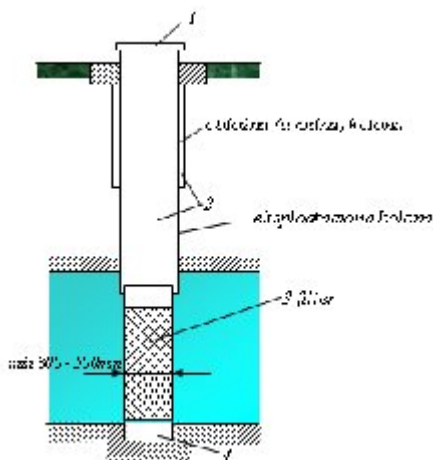
Vertikalni vodozahvati, najčešći u praksi su **bušeni bunari** (sl.3.5). Omogućavaju veliku izdašnost uz najbolju sanitarnu zaštitu. Konstrukcija bunara zavisi od hidrogeoloških uslova, litoloških karakteristika probušenih slojeva, dubine vodonosnih sredina, prečnika bunara, metode bušenja i dr.

Bušeni bunar može biti potpun kad dopire do vodonepropusne sredine, i nepotpun ili upušten kad to nije slučaj, kao na datoj slici.



Slika 3.5 Šematski prikaz bušenog nepotpunog bunara u vodonosnoj sredini sa slobodnim nivoom podzemnih voda

Bušeni bunar se sastoji iz: (1) bunarske glave, (2) bunarske cijevi (kolone), (3) vodoprijemnog dijela i (4) taložnika (slika 3.6).



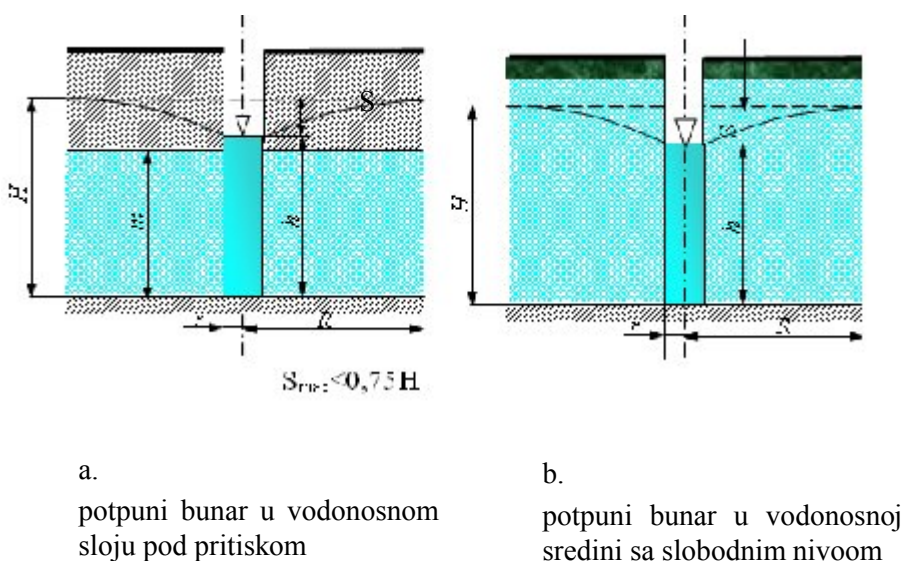
Slika 3.6 Bušeni bunar i njegovi glavni dijelovi

Iznad bunarske glave, radi se šaht ili šaht sa kućicom, gdje se vrši smještaj armatura i mjernih uređaja. Bunarske cijevi su najčešće od čelika i postavljaju se odmah iznad filterske cijevi (eksploataciona kolona i uvodna kolona).

Filtarske cijevi različitih konstrukcija ugrađuju se gotovo uvijek (nekad se izostavljaju kod raspucalih stijena), jer preko njih dolazi podzemna voda u bunar, i moraju biti od dobrog materijala. Dužina im je 2m, i međusobno se spajaju posebnim spojevima.

Taložnik je najniži dio bunarske konstrukcije, dužine do 1m. Filtarski šljunak se postavlja između filtarske cijevi i zida bušotine, radi zadržavanja krupnijeg materijala i smanjenja ulaznih brzina u bunar. Debljina filtra je 100 - 150 mm, prečnika zrna 12 - 35 mm.

Proračun bušenih bunara, podrazumijeva određivanje optimalnog kapaciteta (Q) bunara sniženje nivoa podzemnih voda (S), i radijusa uticaja (R) prema šemi na slici 3.7.



Slika 3.7 Računske šeme potpunog bunara u različitim hidrogeološkim uslovima

$$Q_a = \frac{2,73 \cdot k_f \cdot m \cdot S}{\log R/r} (m^3/s); \quad Q_b = \frac{1,36 \cdot k_f \cdot S(2H - S)}{\log R/r} (m^3/s) \quad (3.6)$$

Prema formuli Sichardta, radijus uticaja bunara (R) jednak je:

$$R = 3000 \cdot S \cdot \sqrt{k_f} \quad (m); \quad S (m); \quad k_f (m/s) \quad (3.7)$$

S - sniženje nivoa podzemne vode utvrđeno probnim crpljenjem u (m),
 k_f – koeficijent filtracije (m/s),

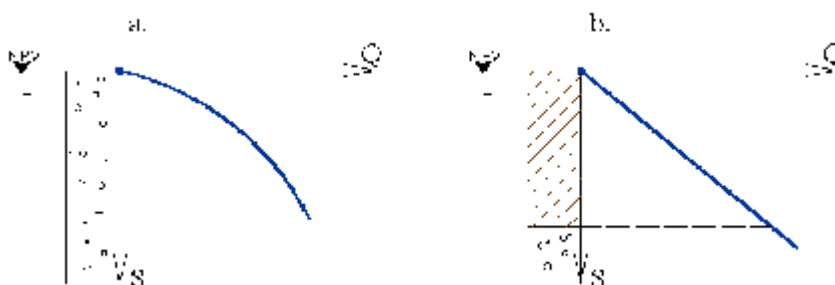
$$k_f = \frac{v_f}{I} \quad (m/s) \text{ prema zakonu Darcy-a} \quad (3.8)$$

v_f – brzina filtracije (m/s)

I – hidraulički gradijent, za $I = 1$ izlazi da je

$$v_f = k_f \quad (3.9)$$

U principu izdašnosti svakog bunara određuje se probnim crpljenjem, sa najmanje tri sniženja, odnosno tri različite vrijednosti crpljene količine vode, kako bi se konstruisala kriva zavisnosti kapaciteta bunara od sniženja nivoa podzemne vode (sl. 3.8).



Slika 3.8 Krivulje zavisnosti kapaciteta bunara (Q) od sniženja nivoa podzemnih voda (S): a – vodonosni sloj sa slobodnim nivoom; b – vodonosni sloj pod pritiskom

Za grubo određivanje izdašnosti bunara probno crpljenje traje 24-48 sati, ali kod glavnog crpljenja ono treba da traje dok se ne postigne ustaljenje nivoa sniženja(S), odnosno najmanje oko 100 sati.

Horizontalni vodozahvat podzemnih voda koji se koriste su:

- drenovi i
- vodosabirne galerije,

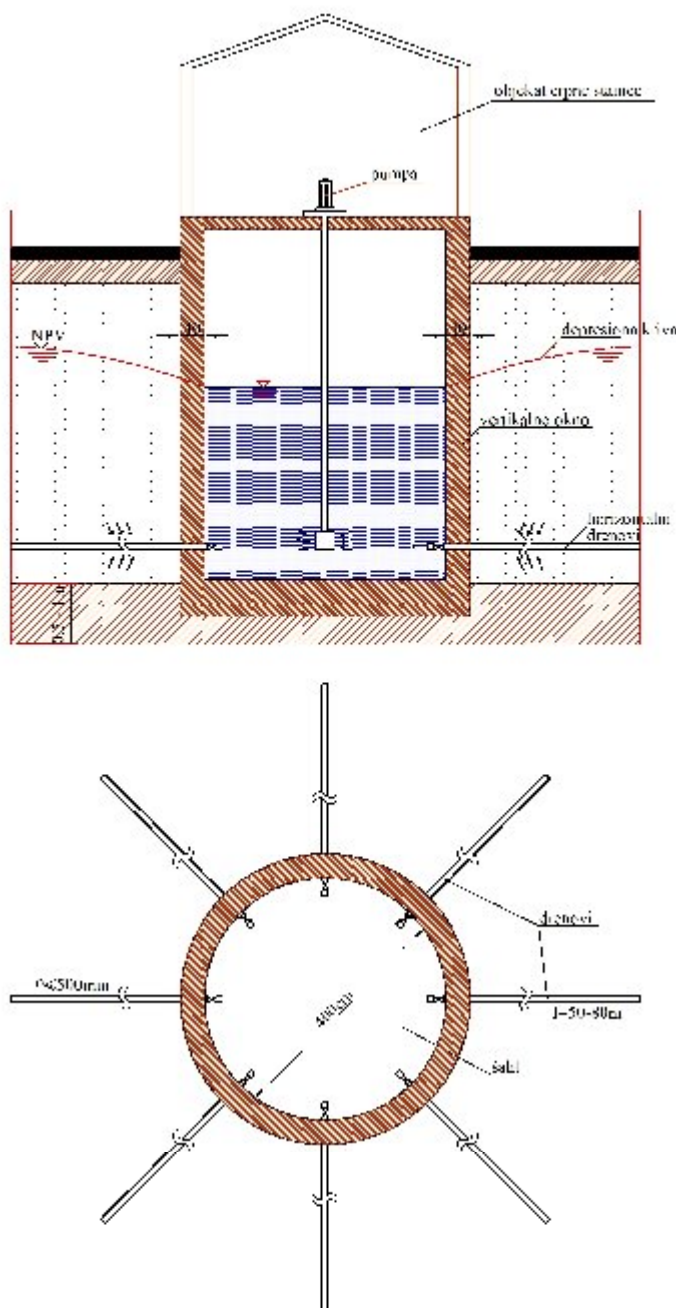
Oni se slično postavljaju u vodonosne sredine manjih debljina.

Horizontalni vodozahvati razlikuju se od vertikalnih, ne samo po načinu postavljanja u vodonosnu sredinu i po konstrukciji, nego i time što se kod njih zahvatanje vode vrši gravitacionim putem do centralnog sabirnog šahta, pa je eksploatacija vode jeftinija nego kod vertikalnih zahvata.

U opštem slučaju vodozahvati horizontalnog tipa sastoje se iz vodoprijemnog (drenaže, galerije) i vodotransportnog dijela, kontrolnih i ventilacionih šahtova i sabirnog šahta.

Poseban tip horizontalnog vodozahvata je tzv. lepezasti vodozahvat, i to najpoznatiji Reni (Renny) bunar (slika 3.9).

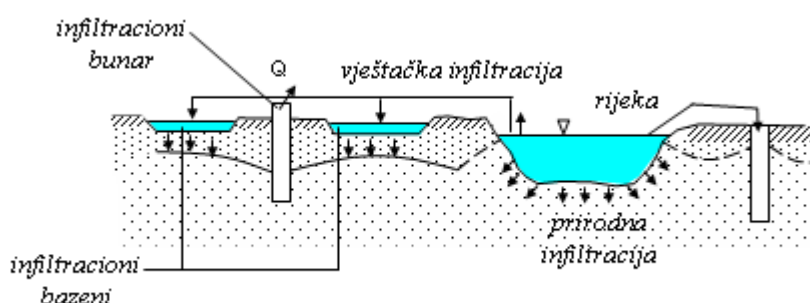
U praksi izvođenja lepezastih vodozahvata koriste se još Fehlmann-ova i Preus..... metoda, te specijalna metoda Manesmanovog kosog zahvatanja vode iz sabirnog bunara. Primjenom kosog zahvatanja vode gradi se sabirni bunar manjeg prečnika, obično oko 2,0m.



Slika 3.9 Horizontalni vodoznavat tipa Renny bunara

Renny bunari se grade kod moćnijih vodonosnih slojeva (15-20m) sa manjim koeficijentom filtracije (k_f), mada idu i kod slojeva debljine do 5m. Iz vertikalnog okna utiskuju se horizontalni drenovi dužine 5-80m, $\varnothing$ do 500mm, oblika lepeze. Dubina bunara ide od 5, 10, 15, pa do 30m. Objekti su dosta skupi, mada zauzimaju manju površinu zemljišta za građenje i organizaciju zaštitnih zona, nego pojedinačni bušeni bunari.

Infiltracioni vodozahvati su oni vodozahvati čije se eksploatacione rezerve popunjavaju na račun vještačke ili prirodne infiltracije iz nekog akvatorija (vodotoka), slika 3.10.



Slika 3.10 Infiltracioni vodozahvati

Najčešći objekti ovog tipa su infiltracioni bazeni i bunari. Infiltracioni bazeni su širine 15-30m a dužine i do 200m. Na dnu bazena postavlja se filterni sloj debljine 0,5-0,8m. Dubina vode u bazenu je 1-2m. Ako je voda u akvatoriju zagađena, treba je onda prečišćavati do određenog stepena, prije nego se upusti u infiltracioni bazen. Na intenzitet infiltracije vode iz bazena, velik uticaj ima tzv. *kolmacija* i zamućenje dna bazena.

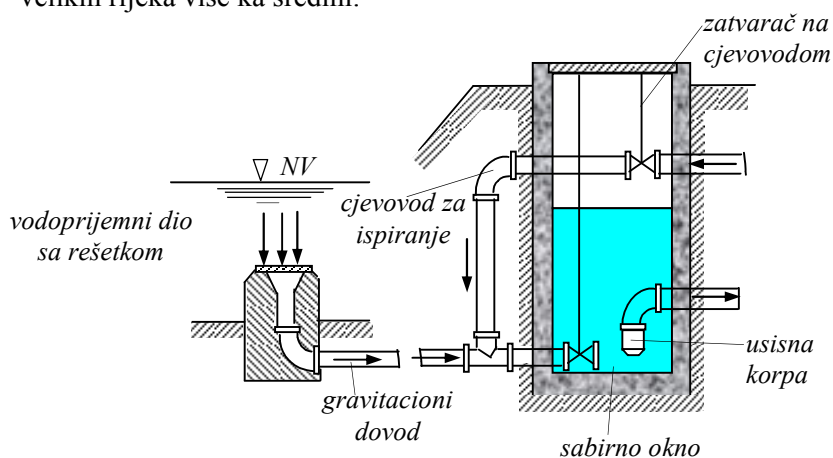
Vodozahvati površinske vode

U zavisnosti od vrste površinske vode, razlikuju se vodozahvati iz rijeke, jezera, akumulacije, kanala i mora. Pošto su površinske vode izložene raznovrsnim zagađenjima, naročito rijeke, od velike je važnosti izbor lokacije i vrste vodozahvatnog objekta. Normalno, na ovo utiču i drugi faktori kao što su: hidrološki, geološki, geomehanički, topografski i dr.

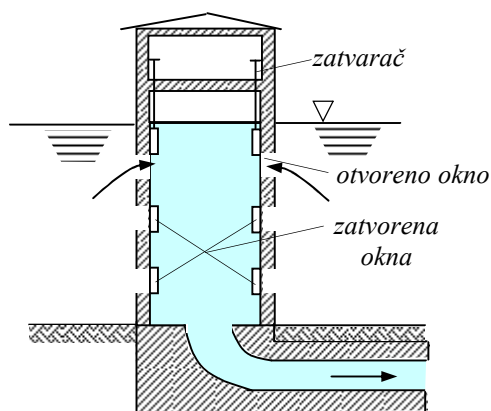
Vodozahvat površinske vode obično ima (slika 3.11):

- vodu prijemni dio,
- sabirno okno (šah),
- pumpnu stanicu i
- sistem spojnih cjevovoda.

Vodozahvatom se rješava i **predtretman** vode, odnosno otklanjaju grubi otpaci, korištenjem rešetki, sita i taložnica. Zahvat treba postaviti tamo gdje je voda najčistija i gdje se ne primjećuje intenzivno taloženje nanosa. Kod manjih vodovoda i rijeka zahvatanje se vrši na obali, a kod velikih rijeka više ka sredini.



a. vodozahvat u koritu rijeke



b. vodozahvat u obliku tornja na jezeru ili akumulaciji

Slika 3.11 Neki tipovi vodozahvata površinske vode

Kod jezera i akumulacija treba izbjegavati zahvatanje površinskih slojeva vode gdje su velike temperaturne oscilacije i bogatija organska supstanca. Za zahvatanje veće količine vode kod ovih izvorišta koriste se zahvati oblika tornja.

Zaštita vodozahvata i izvorišta

Da bi se izvorište i vodozahvat zaštitili od zagađenja, uspostavljaju se tzv. *zone sanitarne zaštite*. Njime se obezbjeđuju zaštitne mjere, kojima se vodozahvati i područje izvorišta čuvaju (štite) od mogućeg zagađenja. Neposredno na vodozahvatu i okolnom zemljištu definiraju se tri zone zaštite:

1. zona strogog režima,
2. zona ograničenja i
3. zona osmatranja.

Ove zone se projektuju paralelno sa projektovanjem cjelokupnog vodovoda, odobravaju ih nadležni organi uprave, o čemu *donose svoju odluku*.

Zona strogog režima obuhvata teritoriju vodozahvata i izvorišta vode, kao i drugih objekata pumpnih stanica (PS), rezervoara (Rz), postrojenja za kondicioniranje i sl. Kod rijeke kao izvorišta u prvu zonu ulazi potez 300-500m uzvodno od vodozahvata i 100-300m nizvodno od njega, kao i bočno po 100-500m od obale. Svaki vodovodni objekat, kao i prva zona zaštite trebaju biti ograđeni i u njih je strogo zabranjen ulaz nezaposlenim. Kad je izvorište podzemnih voda, pojas strogog režima obuhvata prostor prečnika 50-80m oko vodozahvata (bunara, kaptaze). U ovoj zoni zabranjene su sve aktivnosti oko građenja i obrade zemljišta, korištenje gnojiva te zabrana stanovanja.

Zona ograničenja kod površinskog izvorišta obuhvata kompletan sliv rijeke, kad su one manje, odnosno dio sliva kod velikih rijeka u prečniku i do 50km. Kod podzemnih voda ova zona se određuje na bazi rezultata hidrogeoloških istražnih radova i za svaki slučaj posebno se definira. U ovoj zoni nije dozvoljeno graditi smetlišta, ispuštati zagađene vode i sl., dok za druge aktivnosti mora se prethodno dobiti saglasnost sanitarnih i vodoprivrednih organa.

Zona osmatranja, služi da se na određenim mjestima prati kvalitet vode i preduzimaju blagovremeno mjere zaštite, odnosno vrši likvidacija izvora zagađivanja.

3.2 Kondicioniranje vode

Kondicioniranje ili priprema vode za piće, sastoji se u obezbjeđenju takvog kvaliteta vode, koja po svom sastavu treba da odgovara propisanim zahtjevima. Na bazi rezultata izvršene analize vode sa izvorišta, određuje se karakter i broj operacija kondicioniranja.

Za različite metode kondicioniranja vode projektuju se i izvode često veoma kompleksni hidrograđevinski objekti, koji zajedno sa hidromašinskom i elektro opremom čine *postrojenje za kondicioniranje vode*.

3.2.1. Metode kondicioniranja

Kondicioniranje vode za piće vrši se primjenom fizikalnih, hemijskih i bioloških postupaka.

Fizikalne postupke čine sedimentacija, filtracija, flotacija, membranska obrada, te korištenje sita i rešetki za zadržavanje krupnijih čestica.

Hemijski postupci su oksidacija, redukcija, flokulacija, deferizacija i demanganizacija, odstranjivanje amonijaka, omekšavanje, stabilizacija itd.

Biološke postupke predstavljaju spora filtracija, dezinfekcija, denitrifikacija i sl.

Sastavni dio procesa kondicioniranja vode je obrada i odstranjivanje mulja sa postrojenja. U zavisnosti od kvaliteta "sirove vode" kombinacije procesa i operacija mogu da budu:

- dezinfekcija,
- flokulacija, filtracija, dezinfekcija,
- flokulacija, taloženje, filtracija, dezinfekcija,
- flokulacija, flotacija, filtracija, dezinfekcija.

U slučajevima izuzetno lošeg kvaliteta sirove vode dodatno se uključuju:

- aeracija,
- oksidacija,
- sorpcija i
- membranska tehnologija i sl.

Predtretman

Miješanje, aeracija, koagulacija i flokulacija spadaju u kategoriju *predtretmana* vode. U predtretman, kad se radi o veoma zagađenim površinskim vodama spada korištenja finih rešetki, raznih tipova sita sa ručnim i automatskim čišćenjem i sl. Širina otvora na sitima u vidu trake, iznosi 0,8-9,5 mm, dok su otvori na finim rešetkama nešto veći.

Miješanje se primjenjuje u svrhu ravnomjernijeg rasporeda dodatnih hemikalija po cjelokupnoj zapremini vode i njihovog bržeg rastvaranja.

Koriste se različite tehnike miješanja: mlaznicama i injektorima, kruženjem vode, mehaničkim miješanjem (elisama, lopaticama ili turbinama), hidrauličkim miješanjem turbulencijom (suženja, pragovi, denivelacije i sl.) i dr.

Aeracija je proces dovođenja vode u dodir sa vazduhom ili čistim kiseonikom. Razlozi za primjenu aeracije vode su uklanjanje rastvorenih gasova i povećanje sadržaja rastvorenog kiseonika u vodi. Za aeraciju se najčešće koristi tehnika obrazovanja vodenog filma velike površine izložene dodiru sa vazduhom. Ovaj način se ostvaruje rasprskavanjem vode u vidu mlaza, prevođenjem vode preko neutralnog materijala velike površine ili obrazovanjem višestepenog pada - kaskade. Uvođenje vazduha vrši se pomoću difuzora postavljenih na dno komore ili putem turbina na površini vode.

Koagulacija i flokulacija su procesi pripreme vode uz primjenu hemikalija, kojima se nerastvorene i koloidne materije pretvaraju u krupniji oblik, koji se onda sa 95-99% odstranjuje iz vode putem:

- taloženja i filtracije,
- flotacije i filtracije,
- direktnom filtracijom.

Kao *koagulant* najčešće se koriste soli aluminijuma i željeza, a kao *flokulant* aktivni silicijum dioksid i polimerni elektroliti. Najširu upotrebu od koagulanata ima aluminijumsulfat koji se proizvodi u čvrstom i tečnom stanju $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$. Dozira se gravitaciono ili pomoću dozir pumpi. Flokulanti su pomoćna koagulaciona sredstva, koja se primjenjuju u cilju poboljšanja dejstva koagulanata, time što se obrazuju krupnije i jače flokule.

Proces koagulacije i flokulacije vrši se u posebnim komorama - *flokulatorima* koje su pregradama razdjeljene na bar tri dijela, gdje se voda sa dodatnim hemikalijama miješa uz zadržavanje 15-30 minuta.

Bistrenje

Poslije faze predtretmana voda se podvrgava bistrenju, koje se najčešće ostvaruje taloženjem, a rjeđe putem flotacije. Objekti u kojima se vrši taloženje suspenzije flokula iz vode nazivaju se *taložnici*, koji mogu biti različitog oblika:

- pravougaoni,
- kružni,
- cijevni i
- lamelni.

Taložnici rade na bazi gravitacionog izdvajanja čestica, gdje je brzina taloženja definirana Stoksovim (Stokes) zakonom:

$$v_t = k \cdot d_c^2 (\rho_c - \rho_v) \quad (m/s) \quad (3.10)$$

$$k - \text{konstanta, } k = \frac{g}{18\eta}$$

η - dinamički viskozitet vode (Ns/m^2)

ρ_c, ρ_v - gustoća čestice (flokule) odnosno vode (kg/m^3)

d_c - prečnik čestice (flokule) (m)

Osnovni projektni kriterijumi za proces bistrenja vode su:

- vrijeme zadržavanja vode,
- površinsko opterećenje i
- ukupna površina taložnika.

Vrijeme zadržavanja vode (t) u satima (h) računa se po formuli:

$$t = \frac{24 \cdot V}{Q_s^d} \quad (h) \quad (3.11)$$

V - zapremina taložnika (m^3)

Q_s^d - srednja dnevna potrošnja vode (m^3/h)

Hidrauličko ili površinsko opterećenja (V_0) jednako je:

$$V_0 = \frac{Q_s^d}{A} \text{ (m}^3/\text{m}^2\text{h)} \quad (3.12)$$

A - ukupna površina taložnika (m^2)

Značajno poboljšanje kvaliteta bistrenja vode postiže se primjenom flokulanata. Zbog toga se u praksi najviše i koristi lamelni taložnik sa recirkulacijom i zgušnjivanjem mulja, uz obaveznu upotrebu flokulanata.

Flotacija je proces uklanjanja iz vode nerastvorenih materija putem vazduha. Zasniiva se na pojavi, da su flokule vezane sa mjehurićima vazduha lakše od vode, i usljed toga isplivavaju na površinu. Flotacija vazduhom, umjesto taloženja primjenjuje se kad se u sirovoj vodi nerastvorene materije sastoje pretežno od algi, a sadržaj mineralnih nerastvorenih materija je zanemarljiv.

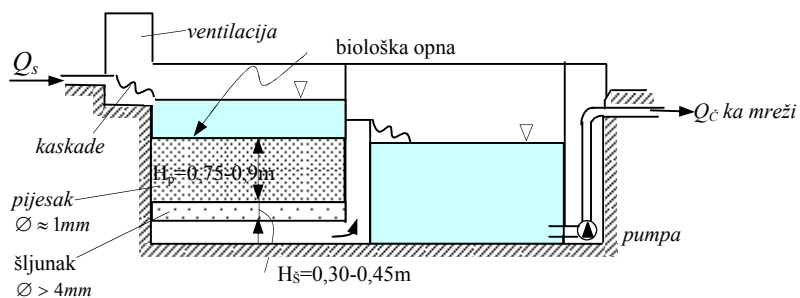
Filtriranje

Filtriranje je proces koji se koristi za uklanjanje nerastvorenih materija iz vode. Ostvaruje se prolaskom vode kroz sloj granulisanog materijala postavljenog na neku podlogu. Izborom pogodne filtarske ispune mogu se pri filtraciji odvijati i drugi procesi kao npr., biološka oksidacija amonijaka, katalitičko uklanjanje mangana, sorpcija teških metala, zadržavanje bakterija i virusa i dr.

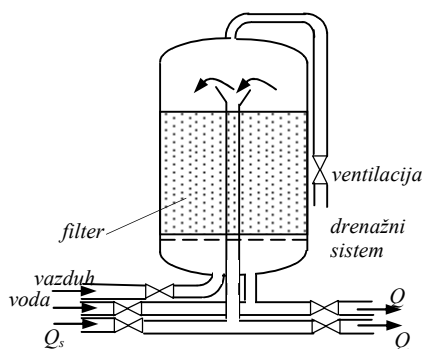
Zavisno od tehnike filtracije koja se primjenjuje, razlikuje se *filtracija u kontrolisanim i prirodnim uslovima*.

U filtraciju pod kontrolisanim uslovima ubraja se *spora i brza filtracija*, (sl.3.12), a u filtraciju u prirodnim uslovima obalna infiltracija i korištenje infiltracionih bazena.

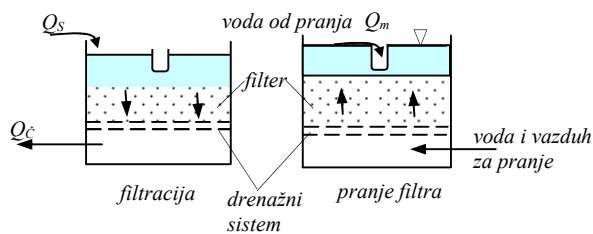
Filtracija vode odvija se u filtracionim jedinicama, koje se sastoje od posude (beton ili čelik) ispunjene zrnastim materijalom na čijem je dnu drenažni sistem. Preko njaga se sakuplja profiltrirana voda i odvodi izvan filtarske jedinice. Isti drenažni sistem, kod brzih filtera, se koristi i za pranje filtra sa kretanjem vode za pranje odozdo prema gore.



a. spori filter



b. brzi zatvoreni filter



c. brzi otvoreni filter

d.

Slika 3.12 Tipovi filtera kod kontrolirane filtracije

Kod tzv. *gravitacione filtracije* primjenjene u sporim i brzim otvorenim filterima, pogonska sila filtriranja je razlika pritiska koja se ostvaruje

visinom vodnog stuba od nivoa vode u filtru do ose cijevi drenažnog sistema.

Kod *filtera pod pritiskom* u vidu zatvorene posude, pogonska sila se ostvaruje pomoću pumpi. Sastavni elementi filtarske jedinice su dovodne i odvodne cijevi za sirovu i profiltriranu vodu, za vodu radi pranja filtera i za odvod vode (filtrata) od pranja filtera, kao i zatvarači te oprema za upravljanje radom filtera.

Spori filtri su ranije bili šire u upotrebi, da bi kasnije a i danas najveću primjenu imali brzi filtri. Međutim, sve češće se koriste spori filtri radi dodatnog poboljšanja kvaliteta površinske vode iza tretmana taloženja i brze filtracije.

Brzina filtracije kod sporih filtera je 0,1-0,4 m/h, dok kod brzih iznosi 4-15 m/h. Filtarska ispuna je kod sporih filtera sitnija nego kod brzih. Zadržavanje vode kod sporih filtera je 3-15h, a kod brzih 10-20 minuta. Spori filtri na gornjem dijelu formiraju tzv. *biološku opnu* tj. sloj, organske supstance (alge, protozoe, bakterije i dr.) koja učestvuje u kondicioniranju vode i uklanjanju: amonijaka, fenola, deterdženata, bakterija i sl. Kod brzih filtera ova biološka opna ne postoji, i u procesu filtracije angažovana je veća dubina filtarske ispune.

Veoma važna aktivnost u radu filtera je čišćenje odnosno pranje filtarske ispune. Kod sporih filtera čišćenje se obavlja skidanjem gornjeg sloja pijeska debljine 1-2cm, a kod brzih, pranjem vodom i vazduhom pod pritiskom u obrnutom smjeru od pravca filtracije.

Filtarska ispuna može biti jednoslojna, dvoslojna i troslojna. Materijal ispune je kvarcni pijesak, antracit i aktivni ugalj.

Potrebna površina filtra dobije se prema formuli:

$$A = \frac{Q_{\max}^d}{v} (m^2) \quad (3.13)$$

v - brzina filtracije (m/d) ili (m/h)

Treba znati, da na spore filtre ne dolazi koagulisana voda jer jako opterećuje filtre koji se onda moraju često čistiti.

Dezinfekcija

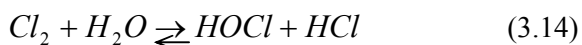
Dezinfekcija vode je uništavanje bakterija, virusa i protozoa u cilju sprečavanja prenosa zaraznih bolesti putem vode. Dezinfekcijom se uništavaju i alge i drugi živi organizmi u vodi.

Za dezinfekciju vode koriste se fizičke (UV – sistemi), hemijske i biološke metode. U praksi najveću primjenu imaju hemijske metode. Kao dezinfekciono sredstvo koriste se: *hlor*, *hlordioksid* i *ozon*.

Uređaji kojima se kontinuirano vrši doziranje dezinfekcionog sredstva zovu se *hlorinatori*. Kad se kao dezinfekciono sredstvo upotrebljava hlor-gas uređaj se naziva gasni *hlorator*, a kad su u pitanju rastvori hlornih preparata *hipohlorinatori*.

Prvi se koristi u većim vodovodima $Q > 15$ l/s, a drugi kod manjih. Uređaji za hlorinaciju smještaju se u posebnim prostorijama - *hlornim stanicama*.

Mehanizam djelovanja hlornog preparata odvija se po relaciji:



Hipohlorasta kiselina (*HOCl*) kao nepostojana, ustvari je najaktivnije jedinjenje u baktericidnom smislu a ne hlor (Cl_2).

Za dezinfekciju vode teoretska doza hlora predstavlja vrijednost *aktivnog hlora* (mg/l), uvećanu za potrebu tzv. *rezidualnog*, koja mora ostati neutrošena kao višak, radi reakcije ako bi došlo do naknadnog zagađenja. Vrijednost reziduala je obično 0,5 mg/l.

Na koncentraciju dezinfekcionog sredstva i vrijeme kontakta utiču:

- vrsta dezinfekcionog sredstva,
- vrsta mikroorganizama u vodi i
- hemijski karakter i temperatura vode.

Obrada mulja

U procesu kondicioniranja vode, mulj nastaje pri bistrenju, omekšavanju i filtraciji. On se skuplja u taložniku 95-99% od ukupne količine, a ostatak (1-5%) na filtrima. Mulj iz procesa bistrenja sastoji se od suspendovanih materija sirove vode i hemikalija koje su primjenjene kod koagulacije i flokulacije. Mulj iz procesa omekšavanja

sadrži nerastvorene soli kalcija i magnezija i dio dodatih hemikalija. Obje vrste mulja sadrže još organske materije, alge i druge nečistoće iz vode.

U praksi se koriste dva načina obrade mulja:

- odlaganje mulja na polja za sušenje,
- koncentrisanje mulja u zgušnjivačima i njegovo mehaničko ocjeđivanje.

Muljni kolači ili pogače se dobijaju na kraju oba načina obrade i odlažu na deponije smeća, gdje služe kao inertni materijal.

3.2.2 Membranska tehnologija

Korištenje propustljivih membrana u kondicioniranju vode novijeg je datuma. Kod ovog postupka voda prolazi kroz membranu ostavljajući za sobom dio primjesa kao koncentrat. Prolaz vode kroz membranu ostvaruje se zahvaljujući pogonskoj sili ili kombinaciji tih sila. Vrsta membrane, primjenjena pogonska sila, te karakteristike vode određuju vrstu odstranjenih primjesa i efikasnost uklanjanja. Proces koji se koristi su membranskoj tehnologiji kondicioniranja vode su:

- mikrofiltracija
- ultrafiltracija i
- povratna osmoza

Kod najjednostavnijeg procesa razdvajanja, membrane djeluju kao porozna prepreka. Membrane se rade od različitih materijala, celulozni acetati i poliamidi. Broj otvora i njihova forma na membrani mogu znatno da variraju, utičući na proizvodnost i kvalitet vode. Kod začepljenja membrane istu treba zamijeniti, što je skupo, s tim što sem začepljenja može doći i do njenog savijanja, a i mjenjanja karakteristika zbog međudejstva membrane i nekih rastvorljivih ili koloidnih supstanci u vodi koja se tretira.

Da bi membrana bila praktična, čvrste čestice u stanju suspenzije treba prije ukloniti klasičnom (dubinskom) filtracijom. Najčešće jedinice za membransku filtraciju su: (1) cijevi u PVC blokovima, (2) spiralno savijene konstrukcije, (3) konstrukcije ravne ploče i (4) membrane sa šupljim vlaknima.

3.3 Transport, distribucija i uskladištenje vode

Transport, distribucija i uskladištenje vode u vodovodnom sistemu ostvaruje se putem različitih objekata:

- dovodi,
- distribuciona (razvodna) mreža,
- rezervoari i
- pumpne stanice.

Na razvodnu mrežu vrši se priključenje potrošača i voda distribuira kućnim instalacijama do svakog izlivenog mjesta.

3.3.1. Dovodi i distribuciona mreža

Dovodi vode su objekti koji se nalaze između vodozahvata, pumpne stanice, postrojenja za kondicioniranje i područja vodosnabdijevanja. Njihova propusna moć zavisi od količine vode i položaja rezervoara. U odnosu na visinski položaj vodozahvata (postrojenja), voda se do mjesta potrošnje transportuje objektima - cjevovodima gravitaciono ili pumpanjem, odnosno kombinovano.

Kad je dovod vode pod pritiskom isključivo se koriste cijevi kružnog presjeka (hidraulički najpogodnije) izrađene od različitih materijala.

Trasu dovoda najbolje je polagati ili sa strane ili u neposrednoj blizini puteva, radi lakše kontrole rada cjevovoda i pogodnijeg izvođenja radova. Na mjestima promjene pravca (u situaciji i uzdužnom presjeku) postavljaju se "koljena" - lukovi, a kod manjih skretanja do 3^0 , može cjevovod da leži u blagoj krivini.

Na najnižim mjestima dovoda stavljaju se *muljni ispusti* radi ispuštanja vode i taloga, a na najvišim *vazdušni ventil* radi ispuštanja vazduha iz cijevi a i za upuštanje istog u slučaju pražnjenja. Optimalno rastojanje između dva vazdušna ventila je cca 2km, isto kao što se na svakih 2km, dovoda postavljaju tzv. *sekcioni zatvarači* koji služe za zatvaranje pojedinih dionica kod popravljanja kvara ili radi nečeg drugog.

Dovodi se ukopavaju na dubinu veću od 0,5m od dubine smrzavanja. Kod gravitacionih dovoda, gdje je izvorište iznad rezervoara ili mjesta potrošnje više od 100 m, grade se tzv. *prekidne komore* (komore za umanjenje pritiska).

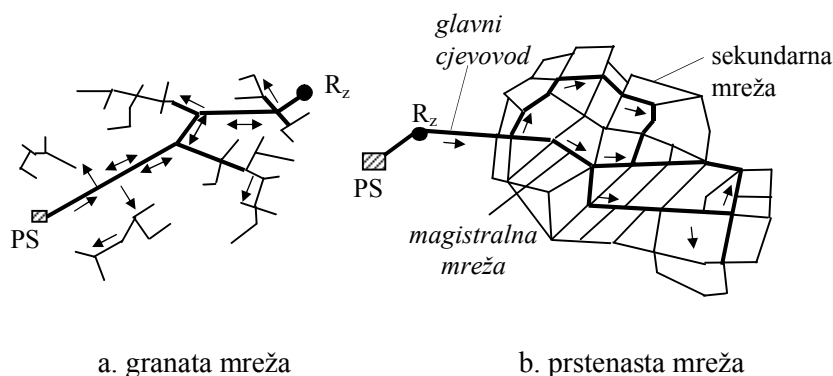
Vodovodna mreža

Razvođenje vode u području korištenja (naselje, grad, industrijska zona i sl.) vrši se putem *cijevne distribucione mreže* i to *magistralne* i *sekundarne*.

Kad je rezervoar udaljen od mjesta potrošnje, između rezervoara i distribucione mreže postavlja se *glavni cjevovod*, koji pripada distribucionoj mreži, jer se i na njemu mogu raditi priključci za potrošače, što se ne čini sa glavnog dovoda.

Principijelno razlikuju se dva oblika distribucione mreže (slika 3.13):

- prstenasta ili cirkularna i
- granata.



Slika 3.13 Vrste distribucionih mreža

Prstenasta mreža čini najbolju šemu za raspodjelu vode. Veoma je sigurna u pogonu, ali i skuplja od granate, gradi se kod većih naselja. *Granata šema* izvodi se u manjim naseljima i u novim dijelovima većeg naselja. Jeftinija je od prstenaste ali i manje pouzdana. Vremenom se granata mreža transformiše u prstenastu mrežu.

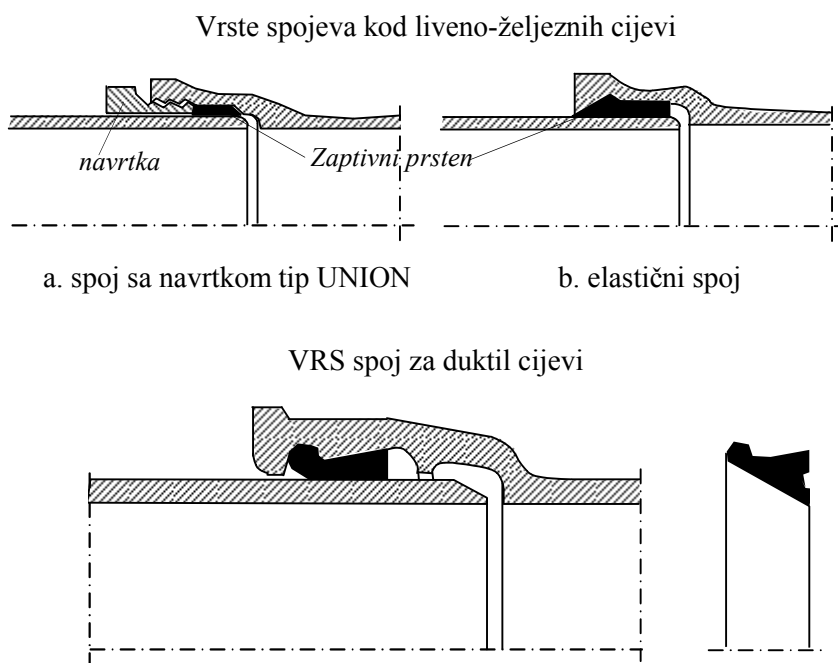
Minimalni profili cijevi u mreži kreću se od $\varnothing 100-150\text{mm}$, a maksimalni do $\varnothing 1200\text{mm}$. Cijevna mreža vodovodnog sistema košta 50 - 70 % od ukupnog investicionog ulaganja za vodovod.

Vodovodna mreža obično se polaže ispod trotoara ili krajem ivice u profilu ulice ili u zelenom pojasu.

Cijevni materijal i prateći dijelovi

U dovodnim cjevovodima i distribucionoj mreži koriste se: čelične, duktil, plastične i liveno-željezne cijevi (rijetko betonske, a izbačene su azbest-cementne).

Cijevi se međusobno povezuju *spojnicama*, koje moraju biti vodonepropusne, s tim da su spojevi kod čeličnih i plastičnih cijevi zavareni. Neke vrste spojeva pokazuje slika 3.14.



Slika 3.14 Vrste spojeva kod vodovodnih cijevi

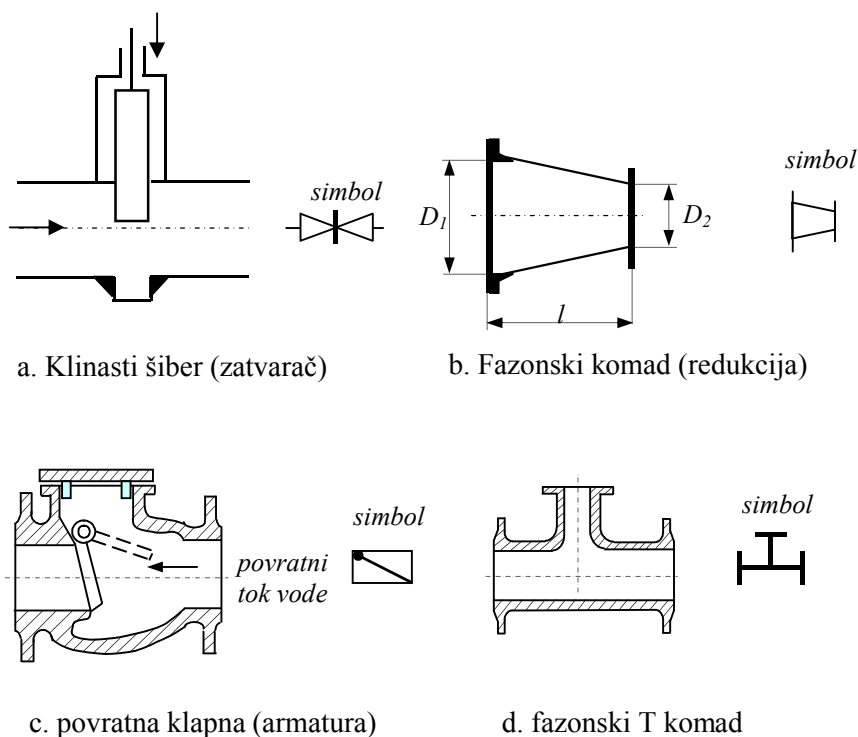
Liveno-željezne cijevi koriste se najčešće u distribucionoj mreži (manje za dovode). Imaju dug vijek trajanja ali su slabo otporne na dinamičke uticaje. Radi zaštite od korozije, presvučene su antikorozijskom masom.

Duktil cijevi su moderne cijevi sa novom vrstom livenog željeza, koji ima osobine čelika u pogledu otpornosti a livenog željeza u zaštiti na koroziju.

Čelične cijevi se najčešće koriste za glavne dovode kao i kod potisnih cjevovoda u pumpnim sistemima. Jako su otporne i podnose velike pritiske, ali njihova najveća mana je slaba otpornost na koroziju. Zbog toga se kod njih mora vršiti tzv. *katodna antikorozijska zaštita*.

Plastične (polietilen) cijevi nalaze sve širu primjenu u praksi, zbog svojih hidrauličkih i mehaničkih karakteristika.

Za normalno funkcionisanje cijevnog sistema, na mreži se ugrađuju različite *armature* (zatvarači, hidranti, povratni ventili, reducir ventili, muljni ispusti i sl.) i *fazonski komadi* (specijalni dijelovi kad se spajaju različiti prečnici cijevi, promjena pravca trase itd.). Primjeri nekih armatura i fazonskih komada vidljivi su sa slike 3.15.



Slika 3.15 Primjeri nekih armatura i fazonskih komada

3.3.2 Hidraulički proračun vodovoda

Zadatak hidrauličkog proračuna vodovodne mreže sastoji se u određivanju gubitka pritiska i prečnika cjevovoda, glavnog dovoda, glavnog cjevovoda i distribucione mreže.

Hidraulički pad ili gubitak pritiska (h_p) računa se prema izrazu Darcy – Weisbacha:

$$h_p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} (m) \quad (3.15)$$

λ - koeficijent trenja, bezdimenzionalna vrijednost i kreće se u relacijama $0,02 < \lambda < 0,05$

l – dužina cijevi (m)

d – prečnik cijevi (m)

v – srednja brzina tečenja (m/s)

g - gravitacija (m/s^2)

Koeficijent (λ) zavisi od vrste tečenja i za turbulentni režim glasi (Prandtl – Colebrook):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \cdot \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right) \quad (3.16)$$

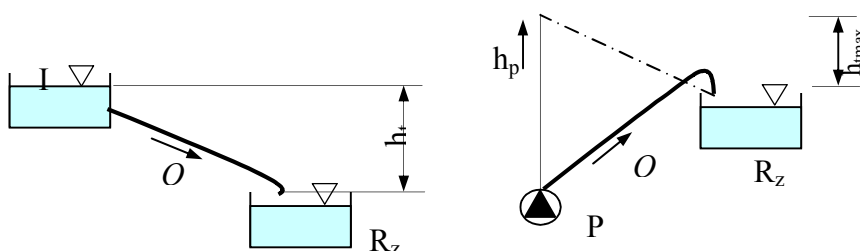
$$Re - \text{Reynolds-ov broj, } Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (3.17)$$

ν - kinematski viskozitet (m^2/s)

Na bazi gornjih formula rade se nomogrami pomoću kojih se mogu očitati vrijednosti hidrauličkog pada ($h_p = \frac{H}{l}$) za dati profil (Q), prečnik cijevi (d) i odabrana vrijednost apsolutne hrapavosti (k).

Postupak proračuna

Glavni dovod se računa na maksimalnu dnevnu količinu vode ($Q_{\max}^d$) za slučaj gravitacionog doticaja u toku 24 h, dok kod dovoda sa pumpanjem (ako pumpanje nije neprekidno), računska količina (Q_p) se povećava u odnosu na broj sati pumpanja (t_p), slika 3.16.



a. gravitacioni dovod

b. dovod sa pumpanjem

Slika 3.16 Hidrauličke šeme za proračun glavnih dovoda

$$Q = \frac{Q_{\max}^d(l)}{24(h) \cdot 3600(s/h)} (l/s) \quad ; \quad Q_p = \frac{Q_{\max}^d(l)}{t_p(h) \cdot 3600(s/h)} (l/s) \quad (3.18)$$

Dopuštene brzine tečenja vode u cjevovodima su:

- Kod gravitacionih vodovoda - minimalne 0,60-1,00 (m/s); maksimalne 1,00-1,25 (m/s); brzinu od 2,00 (m/s) ne bi trebalo prelaziti. Minimalna brzina ne bi trebala da je ispod 0,4 (m/s). Ako se očekuje inkrustacija u cjevovodu, onda bi brzinu trebalo uzimati 0,60-0,70 (m/s).
- Kod vodovoda sa pumpanjem - kod cijevi manjeg prečnika brzinu uzimati od 0,40-0,80 (m/s); kod manjih dužina može se dopustiti brzina i do 2,00 (m/s).

Kod većih dužina cjevovoda za potiskivanje vode, brzina zavisi od tzv. *ekonomičnog prečnika* tj. onog, kod kojeg su najmanji troškovi izgradnje, pogona i eksploatacije.

Za praksu je interesantan obrazac:

$$d = 1,5\sqrt{Q_p} \quad (m) \quad (3.19)$$

Q_p - količina vode za pumpanje (m^3/s)

d - prečnik cijevi (m)

Razvodna mreža računa se na više načina i to na bazi ($Q_{\max}^h$). Bilo koji način da se koristi, prvo se treba utvrditi raspored potrošnje vode po pojedinim dionicama (vodovima).

Proticaj u pojedinim vodovima može se dobiti na dva načina:

- prema proporcionalnom odnosu dužine voda i ukupne dužine svih vodova u mreži,
- prema proporcionalnoj pripadajućoj površini (što se koristi i kod kanalizacije).

Proticaj q_0 (l/s m) predstavlja specifičnu potrošnju vode po 1 m' cjevovoda.

$$q_i = \frac{Q_{\max}^h}{\sum l} \cdot l_i = q_0 \cdot l_i \text{ (l/sm')}; \quad q_i = \frac{Q_{\max}^h}{A} \cdot a_i = q_0 \cdot a_i \text{ (l/sha)} \quad (3.20)$$

l – dužina cjevovoda (m)

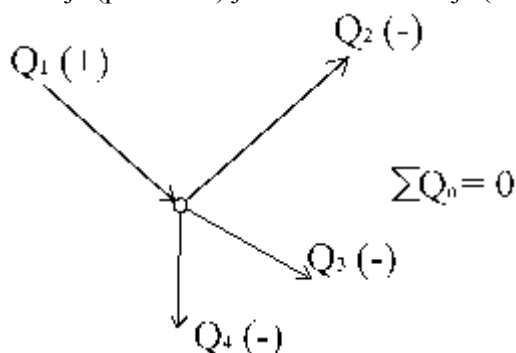
a – pripadajuća površina (ha)

$\sum l$ – ukupna dužina cjevovoda (m)

A – ukupna pripadajuća površina (ha)

Najčešće primjenjivana metoda hidrauličkog proračuna vodovodne mreže je Hardy Cross-a. Radi se o iterativnom postupku koji se sastoji u slijedećem:

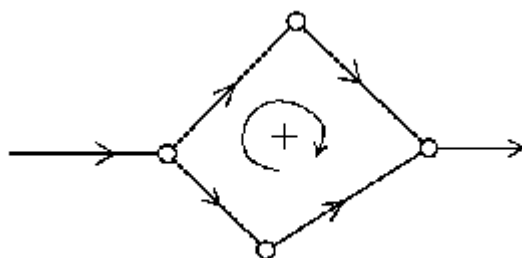
- pretpostave se protoci (Q) kroz svaku cijev mreže, tako da bude zadovoljen uslov kontinuiteta u svakom čvoru (sl. 3.17) tj. suma doticaja (pozitivno) jednaka sumi otcicaja (negativno).



Slika 3.17 Uslov čvora

- sračunaju se gubici (h_p) za svaki cjevovod sistema, prema pretpostavljenim proticajima i provjeri da li je zadovoljen drugi

uslov, da je suma gubitaka svakog prstena (sl. 3.18) jednaka nuli.



$$\sum h_p = 0$$

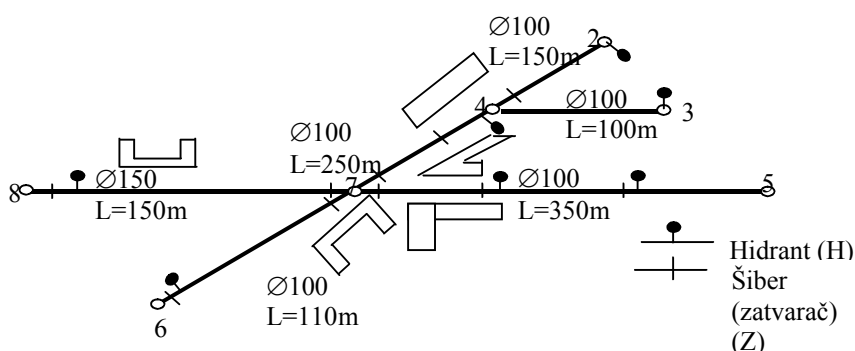
Slika 3.18 Uslov prstena

Ukoliko sračunate sume nisu jednake ili bliske nuli, postupak se ponavlja, tako što se pretpostavljene protoke poprave i iteracija nastavlja sve dok se ne postigne traženo rješenje.

Konstruisanje vodovodne mreže

Vodovodna mreža se polaže u iskopane roveve minimalne dubine 1,50m od gornje površine cijevi. U iskopani rov prije polaganja cijevi (ako je tlo od čvrstih stijena) stavlja se sloj pijeska od $d=15\text{cm}$. Treba voditi računa o dodatnom osiguranju cjevovoda od uticaja saobraćaja, nestabilnog terena (klizišta i sl.). Širina rova se kreće od 0,60-1,50m što zavisi od prečnika cijevi i uslova za montažu spojnika. Ako se vodovod nalazi slučajno na istoj dubini sa kanalizacijom, mora od nje biti udaljen minimalno 1,5-3,0m. Inače, u principu, vodovodna mreža je uvijek iznad kanalizacione, bar 30 cm.

Vodovodna mreža se u projektima prikazuje **planom razvodne mreže** (slika 3.19), s tim da magistralni i glavni cjevovodi (a obavezno glavni dovod) moraju imati i uzdužne profile sa podacima kao što su: kote terena, kote dna rova, dubine iskopa, odstojanja, kilometražu, katastar ostalih instalacija i sl.



Slika 3.19 Plan razvodne mreže

Na planu razvodne mreže ucrtavaju se mjesta hidranata (H), šibera ili zatvarača (Z), kao i podaci o vrstama cijevi, prečnicima i dužinama. Pojedini fazonski komadi i armature mogu se montirati u šahtove, naročito u ulicama gdje je gust saobraćaj.

Ugradnja cjevovoda na posebnim mjestima kao što je ukrštanje sa prugom, rijekom, kanalom i sl. vrši se uz posebna osiguranja, vodeći računa o zaštiti na radu i drugim mjerama sigurnosti.

3.3.4 Ispitivanje i dezinfekcija mreže

Dionice montiranog cjevovoda podliježu probnom pritisku radi provjere vodonepropusnosti i kvaliteta urađenih spojeva. Ispitivanje se vrši na pritisak za 500kPa veći od maksimalnog radnog. Dionice za ispitivanje su dužine $300\text{--}500\text{m}$. Po izvršenom ispitivanju, o čemu postoji zapisnik, zatrpavaju se položeni cjevovodi. Prije puštanja vodovoda u pogon treba dezinfikovati mrežu i ostale objekte u sistemu. Ona se vrši tečnim hlorom, hlornim krečom, kalijumhipermanganom, itd. Hlorna voda u cijevima ostaje 24 sata, poslije čega se ispušta, a kompletna mreža ispire čistom vodom i predaje u eksploataciju.

3.3.5 Rezervoari

Rezervoari (Rz) ili objekti za uskladištenje vode, u okviru vodovodnog sistema imaju više zadataka. Služe za izravnanje neizbježnog kolebanja potrošnje vode, održavaju ravnomjeran pritisak u distribucionoj mreži, snabdijevaju vodom potrošače za vrijeme prekida dovoda vode, čuvaju obaveznu rezervu vode za gašenje požara, služe za snižavanje pritiska, čuvaju rezervu vode kod pumpnog sistema itd.

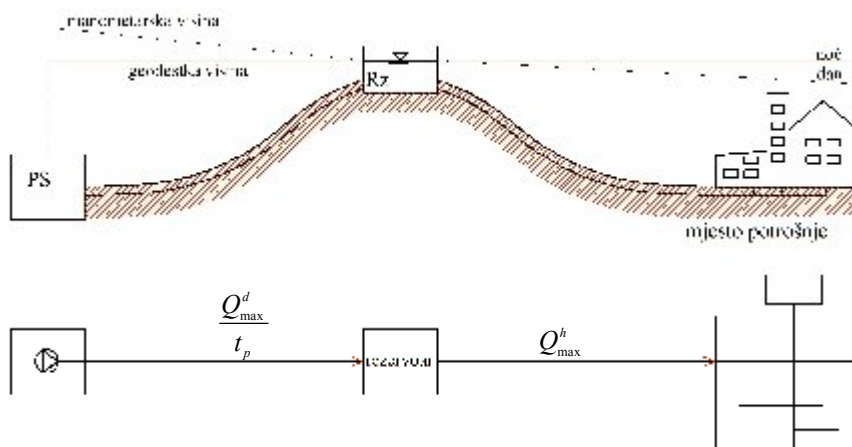
U okviru vodovodnog sistema razlikuje se više vrsta rezervoara:

1. visinski rezervoari,
2. niski rezervoari,
3. rezervoari za gašenje požara i
4. hidroforski rezervoari

Visinski rezervoari su u stvari najviše zastupljeni u vodovodskoj praksi. Kod njih je nivo vode uvijek na većoj visini od mjesta potrošnje, tako da voda gravitaciono otiče u distribucionu mrežu (sliku 3.20).

Po načinu građenja visinski rezervoari mogu biti:

- ukopani (pod zemljom) i
- kule (tornjevi za vodu) u ravničarskim područjima.



Slika 3.20 Položaj visinskog zervoara

Niski rezervoari su ustvari objekti uz crpne stanice, kod postrojenja za kondicioniranje vode i sl., u kojima je nivo vode niži nego pritisak u mreži.

Rezervoari za gašenje požara rade se samo onda (kad je granata mreža) kad nema visinskog rezervoara ili kad mu zapremina ne obuhvata protupožarnu količinu.

Hidroforski rezervoari su sa najmanjom zapreminom i koriste se gdje nema dovoljno pritiska (uvijek je uz njih pumpna stanica) ili je neekonomično graditi visinski rezervoar.

Zapremina rezervoara ovisna je od perioda za koji se želi izvršiti izravnanje kolebanja potrošnje, kao i od ravnomjernosti doticaja vode. Obično se vrši dnevno izravnanje.

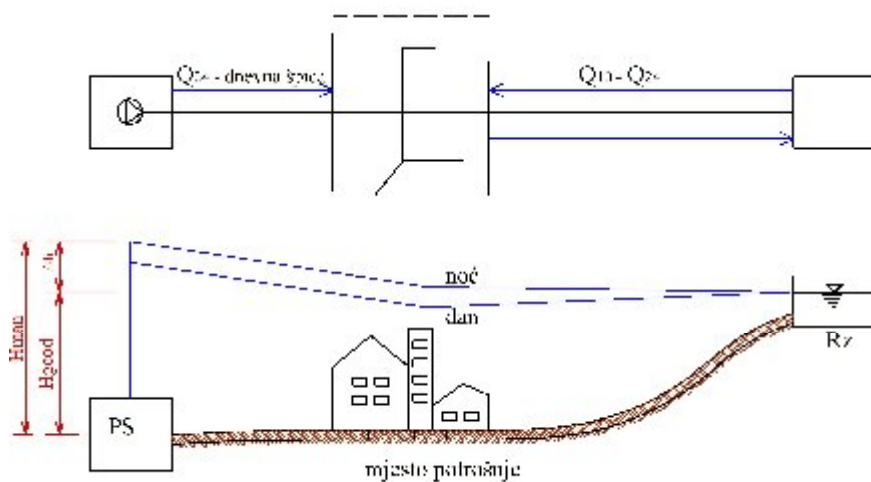
Potrebna zapremina se određuje računski ili grafički.

Radi orijentacionog određivanja zapremine rezervoara mogu se koristiti preporuke (% od $Q_{\max}^d$):

- Kod gravitacionog vodovoda 33%
- Kod vodovoda sa pumpanjem
 - za rad pumpi 20h - 22%,
 - za rad pumpi 16h - 35%
 - za rad pumpi 14h - 43% itd.

Rezervoari po položaju treba da budu locirani što bliže području snabdijevanja i da su na uzvišenju dovoljne visine. Pri maksimalnoj potrošnji pritisak u najnepovoljnijoj tački mreže treba da bude minimalno 25 - 30m.

U zavisnosti od položaja rezervoara u odnosu na mjesto vodozahvata i područja snabdijevanja, visoki rezervoari se označavaju kao **protočni**, **težišni** (centralni) i **kontrarezervoari** (slika 3.21).

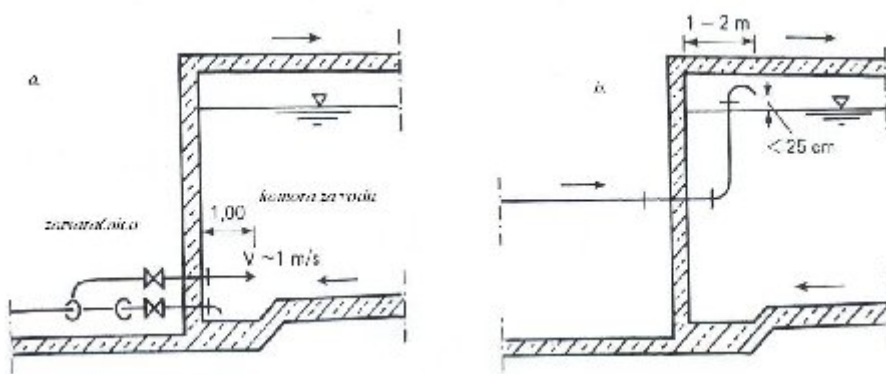


Slika 3.21 Kontrarezervoar

Svaki rezervoar ima dva karakteristična dijela:

1. komoru za vodu i
2. zatvaračnicu (komoru za cijevi i armature)

Dovod vode u rezervoar može biti dvojak, sa gornje i donje strane (slika 3.22).



Slika 3.22 Varijante dovoda vode u rezervoar: a – dovod s donje strane; b – dovod odozgo

Zatvaračnica posjeduje dovod, i odvod vode, zatim preljev i ispušt. Svaki cjevovod snabdjeven je zatvaračem i po potrebi povratnom klapnom.

Kod kontrarezervoara dovodna cijev je istovremeno i odvodna. Najpogodniji oblik ukopanih rezervoara je pravougaoni ili kružni, što zavisi od upotrebljenog građevinskog materijala (armirani beton, prenapregnuti beton, montažni elementi) te raspoložive lokacije (površina zemljišta, geomehnički uslovi, mogućnost proširenja i dr.).

Dubina vode u rezervoaru zavisi od usvojene konstrukcije i zapremine rezervoara. Obično se uzima 2,5-9,0m. Rezervoar mora da ima dobru hidroizolaciju, ali i termoizolaciju, naročito kad je u pitanju toranj za vodu.

3.3.6 Pumpne stanice

Pumpne stanice (PS) su građevinski objekti sa pumpama i pratećom elektro-mašinskom opremom. Zadatak (PS) je povećanje kinetičke energije vode koja protiče kroz stanicu. Dobijena energija vode koristi se za prebacivanje sa niže na višu kotu, kao i za povećanje pritiska. Pumpna stanica dobija energiju iz spoljnih izvora, najčešće iz elektro-mreže, može se koristiti i dizel agregat na naftu a i snaga vjetra.

Mehanička energija prenosi se na vodu preko pumpi različitih vrsta i principa rada. U vodovodnoj praksi najčešće su tzv. dinamičke-centrifugalne pumpe sa lopaticama.

Pumpne stanice po svom mjestu u vodovodnom sistemu mogu biti:

- distribucijske,
- vodozahvatne,
- stanice za pojačanje pritiska u mreži ("booster"),
- stanice u okviru postrojenja za kondicioniranje i
- hidroforske stanice u zgradama (neboderima ili javnim objektima).

Prema načinu upravljanja razlikuju se:

1. pumpne stanice sa posadom,
2. stanice sa daljinskim komandovanjem i
3. stanice sa lokalnom automatskom kontrolom.

U pumpnoj stanici potrebno je kod svakog agregata na potisnom vodu ugraditi povratnu klapnu i zatvarač. Kod dugačkih potisnih vodova i

većih visina potiskivanja, radi paralisanja hidrauličkog udara ugrađuje se poseban uređaj.

Da bi rad pumpnog agregata bio sigurniji, treba svaka pumpa da ima svoj posebni usisni dio. Dužina usisnog dijela treba da je što kraća i sa što manje spojeva kako bi mogućnost uvlačenja spoljnog vazduha bila svedena na minimum. Za kontrolu rada pumpe potrebno je na potisnom vodu ugraditi manometar.

U pumpnoj stanici uvijek se ugrađuju minimalno dvije pumpe (radna i rezervna). Na donjem dijelu usisne cijevi ugrađuje se podnožni ventil sa usisnom korpom, koja treba da je pri najnižem vodostaju uronjena minimalno 0,50m.

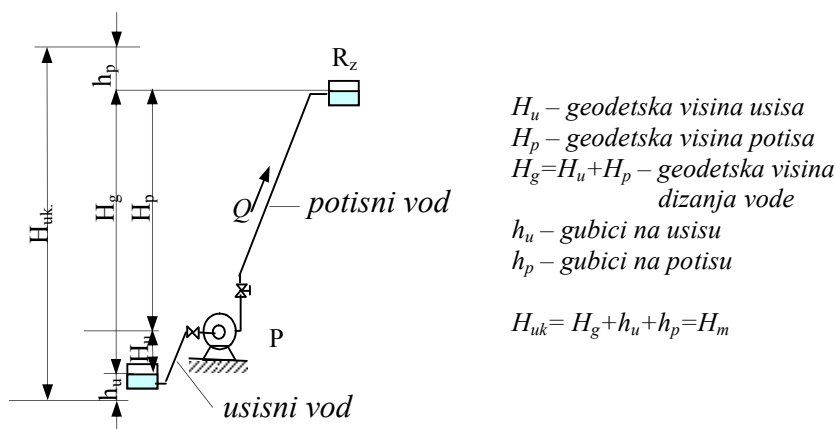
Osnovni elementi pumpne stanice su:

- pumpe sa motorom,
- usisni vod sa bazenom,
- potisni cjevovod,
- uređaji za regulaciju rada pumpne stanice,
- sistem napajanja energijom,
- uređaj za zaštitu od hidrauličnog udara i
- pomoćne instalacije i oprema.

Osnovni parametri pumpi su:

1. kapacitet (protok) pumpe, Q (l/s)
2. radni pritisak, H (m)
3. broj obrtaja, n (o/min)
4. koeficijent korisnog dejstva pumpe η i
5. snaga koju pumpa dobija od pogonskog motora P (kW).

Ukupna visina potiskivanja vode (manometarska visina) sastoji se od geodetske visine i sume gubitaka pritisa u cjevovodima i armaturama (slika 3.23)



Slika 3.23 Proračunska šema pumpanja vode

Snaga (P) pumpe računa se prema izrazu:

$$P = \frac{Q \cdot H_m}{102 \cdot \eta} \text{ (kW)} \quad (3.21)$$

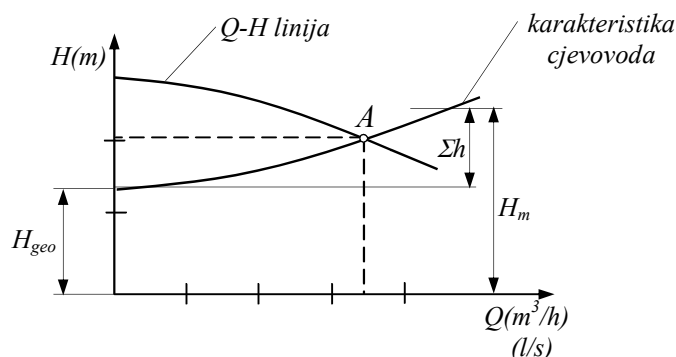
Q - količina vode za dizanje (l/s)

H_m - manometarska visina dizanja vode jednaka je zbiru geodetske visine (H_g) i gubitaka na usisu (h_u) i potisu (h_p)

η - koeficijent korisnog dejstva pumpe (0,68-0,90)

Kod centrifugalnih pumpi između proticaja (Q) i visine pumpanja (H) postoji zavisnost, koja se daje karakteristikom pumpe (Q - H linija) od strane proizvođača pumpe. Za svaku pumpu proizvođač daje i krivulje zavisnosti od proticaja koeficijenta korisnog dejstva (η), snage pumpe (P) i vrijednosti (NPSH).

Kad se ima (Q - H) linija i s druge strane karakteristika cjevovoda (tj. krivulja zavisnosti ukupne visine pumpanja od proticaja) može se u presjecištu te dvije linije dobiti radna točka (A) pumpe (Slika 3.24).



Slika 3.24 Radna tačka pumpe

$$H_m = H_{geo} + \sum h \quad (3.22)$$

$$\sum h = f(Q) \quad (3.23)$$

Iz karakteristike pumpe je vidljivo da snaga (učinak) pumpe raste sa povećanjem protoka, odnosno opada povećanjem potisne visine.

NPSH - "neto energija na ulazu u pumpu" ("Net Positive Suction Head"), treba da bude veća od lokalnog pada pritiska i kinetičke energije, kako bi se izbjegla situacija nastanka **kavitacije** (oštećenje čvrste površine pumpe i turbina zbog lokalnog isparavanja tečnosti).

Rad pumpe u pumpnoj stanici

Pumpe u PS mogu da rade pojedinačno, zatim u paralelnoj sprezi, u nizu i kombinovano. Njihov rad se reguliše:

1. prigušivanjem,
2. promjenom broja obrtaja i
3. obradom lopatica rotora pumpe.

U vodovodnoj praksi često se primjenjuje rad pumpe u paralelnoj sprezi. Ona omogućava brzu promjenu protoka vode (Q), u skladu sa potrebama, i veću pogonsku sigurnost pumpne stanice.

3.4 Kanalizacija

Kanalizaciju čini kompleks inženjerskih objekata kojima se vrši prijem i transport zagađenih voda sa područja grada do mjesta prečišćavanja, odnosno ispusta u neki recipijent ili prijemnik. Recipijent može biti rijeka, jezero, akumulacija, more i hidrogeološki medij.

Moderan kanalizacioni sistem sastoji se od:

- sekundarne i primarne mreže sa kolektorima,
- objekata na mreži (slivnici, šahtovi, kišni preljevi, retencioni bazeni, pumpne stanice i dr.)
- postrojenja za prečišćavanje kanalizacionih voda i
- ispusta u recipijent.

Kanalizacioni sistem je veoma skup, nekad i do 2,5 puta skuplji od vodovodnog za isti grad. Radi visokih investicija koja je teško odjedanput obezbijediti, obično se ovaj sistem realizuje fazno.

Lokacija postrojenja za prečišćavanje kanalske vode treba uvijek da budu nizvodno od naselja, kako bi se budući objekti bez problema mogli priključiti na kanalizacioni sistem. Od usvojenog sistema kanalizacije često zavisi plan trasa gradskih saobraćajnica te njihovi poprečni i uzdužni profili. Dubine uličnih kanala zavise od pada i širine ulice, kao i od prosječne dubine podrumskih prostorija.

Visok nivo podzemnih voda može da dovede do velikih troškova kod izvođenja ali i eksploatacije kanalizacije.

3.4.1 Zagađene vode i njihove karakteristike

Zagađenim vodama smatraju se sve vode koje su zbog određene upotrebe dobile dodatne zagađujuće materije, koje su izmijenile njen prvobitni fizički, hemijski i biološki sastav. U zagađene vode računaju se i atmosferske vode dospjele u kanalizaciju sa gradskih površina.

Zagađene vode obzirom na njihov kvalitet i kvantitet, kao i način evakuacije, dijele se na:

- sanitarne ili fekalne,
- industrijske,
- atmosferske i
- infiltracione vode.

1. Sanitarne (fekalne) vode

Vode od domaćinstva nastale poslije pranja i kupanja, od održavanja kućne higijene, pranja veša i dr., kao i one nastale u fiziološkom procesu (fekalije) čine sanitarne vode.

Sanitarne vode karakterišu se postojanim sastavom i visokim stepenom zagađenja organskog i mineralnog porijekla.

Fekalne vode od ljudi i životinja su ustvari najopasnije u epidemiološkom pogledu, jer sadrže bakterijske i biološke agense. Mineralni dio zagađenja ovih voda sastavljen je od: soli, kiselina, baza, djelića gline, pijeska itd.

2. Zagađene vode industrije

Zagađene vode industrije su veoma različite po svom sastavu i koncentraciji zagađenja. Njihov sastav treba utvrditi za svaki konkretan tehnološki proces. Zagađenja ovih voda mogu biti: inertna, organska i toksična.

Posebnu su složene za obradu toksične vode. Naime, toksične materije biološki su aktivne i pri veoma malim koncentracijama, pa je potreban visok stepen prečišćavanja. Stoga je nužno ove vode prečistiti unutar industrijskog pogona, tj. izvršiti tzv. predtretman, pa iza toga upustiti ih u gradsku kanalizaciju. Vode industrije mogu biti i uslovno čiste kao npr. rashladne vode.

3. Atmosferske vode

Atmosferske vode formiraju se za vrijeme kiša i topljenja snijega. One se zagađuju najrazličitijim materijama koje se nalaze u atmosferi i na saobraćajnim površinama, te u okviru industrijskih kompleksa. U ovu kategoriju zagađenih voda ubrajaju se i tzv. **komunalne vode** nastale od pranja ulica.

4. Infiltracione vode

Infiltracione vode su neminovnost u kanalizaciji. To su najčešće podzemne vode koje preko spojeva na mreži infiltriraju u kanalizaciju. One mogu posebno štetno uticati na proces prečišćavanja u

postrojenjima, jer razvodnjavaju organsku supstancu sanitarnih voda, a mogu i koroziono djelovati na kanalizacione cijevi. Ako nisu precizno sračunate, mogu uticati na preopterećenje kanalske mreže.

Zagađene vode sastoje se od tečne i čvrste faze. Količina tečne faze najviše zavisi od količine upotrijebljene vode. Što se tiče količine čvrstih materija one su s obzirom na uslove prijemnih uređaja (sifoni, rešetke i sl.) vrlo male obično 0,1% po težini. Ipak, predstavljaju osnovni problem u održavanju kanalizacione mreže i prečišćavanja kanalskih voda (mulj) i njihovoj dispoziciji.

Količina čvrstih materija u kanalskoj vodi bilo organskih ili mineralnih definiira njen kvalitet. Nestabilne kanalske vode su one koje sadrže velike količine čvrstih materija, naročito organskih, dok kanalska voda sa malo organskih čvrstih materija može da se okarakterise kao stabilna.

Stepen zagađenosti kanalske vode organskom materijom određen je količinom kiseonika koji je potreban za oksidaciju te materije.

Biohemijska potreba kiseonika (BPK) mjeri se količinom kiseonika u jedinici zapremine kanalske vode. BPK se određuje za 5 ili 20 dana izraženo u $[mg/l$ ili $g/m^3]$ i označava sa BPK_5 ili BPK_{20} . Količina potrebe u kiseoniku je funkcija vremena i temperature.

Pošto dio organskih materija ne oksidira biohemijski, to je radi potpune ocjene zagađenja kanalske vode potrebno utvrditi još i hemijsku potrebu kiseonika (HPK). Za sanitarne vode HPK je 1,2-2 puta veće od $BPK_{pot.}$

Kanalska voda sadrži veliki broj živih organizama, koji imaju važnu ulogu u prečišćavanju zagađenih voda. To su **bakterije** i **kompleksni mikroorganizmi**. Razlikuju se **parazitne** bakterije (posebno patogene) i saprofitne, koje se hrane mrtvom organskom materijom. Da bi se mogle održati u životu **saprofitnim** bakterijama, pored hrane i kiseonika, potrebna je vlaga i odgovarajuća temperatura. Veći dio saprofitnih baktrija uspijeva na temperaturi između 20^0 i 40^0C , **mezofilne baktrije**, dok druge najbolju životnu sredinu imaju kod viših temperatura $55^0 - 60^0C$ **termofilne baktrije**.

Vrlo mali broj tipova bakterija živi u sredini sa niskim temperaturama (0^0-5^0C) - to su tzv. *psihrofilne bakterije*. Prema tome, temperatura je od velike važnosti za odvijanje procesa prečišćavanja zagađenih voda.

Što se tiče kompleksnih mikroorganizama oni također imaju ulogu u dekompoziciji organskih materija. Tu spadaju crvi i insekti različitog stepena razvoja. Neki aktivno djeluju u procesu prečišćavanja, a neki se

međutim, pretežno nalaze u vodotocima koji su jako zagađeni kanalskom vodom ili drugim organskim otpacima.

U dekompoziciji i tretiranju čvrstih materija u kanalskoj vodi također specifičnu ulogu imaju rastvoreni gasovi. Među najvažnijim je kiseonik, zatim ugljen dioksid, azot, sumpor-vodonik itd.

Prisustvo rastvorenog kiseonika u zagađenoj vodi, obezbjeđuje život i aktivnost *aerobnih mikroorganizama*. U protivnom, u odsustvu rastvorenog kiseonika, dolazi do procesa *anaerobne dekompozicije* tj. djelovanja anaerobnih bakterija i s tim u vezi do formiranja septičkog stanja u kanalskoj vodi uz razvijanje neprijatnog mirisa i karakterističnog izgleda kanalske vode.

Kvalitet zagađenih voda utvrđuje se analizom njenih fizičkih, hemijskih, tehnoloških i bioloških osobina.

Fizičke osobine koje se ispituju su: temperatura, miris, ukus, boja, mutnoća i rezidualne čvrste materije (posebno važne).

Hemijske karakteristike koje se ispituju se: aktivna reakcija (pH), BPK, HPK, oksidativnost, rastvoreni gasovi, materije koje sadrže azot, ukupne količine rastvorenih čvrstih materija, alkaličnost i kiselost, specifične toksične i karakteristične primjese (fenoli, cijanidi, razna organska jedinjenja i dr.).

Tehnološke karakteristike su pokazatelji zagađene vode u vezi njene sposobnosti za koagulaciju, filtriranje, stabilnost, potrebe za hlorom i sl.

Biološkim karakteristikama zagađene vode određuju se bakteriološke i saprobiološke specifičnosti.

Saprobiološko ispitivanje više se odnosi na vode recipijenta, gdje se kao indikatori zagađenja javljaju izvjesne biljke i životinje, koje žive u sredini gdje se odvija proces razgradnje organskih materija.

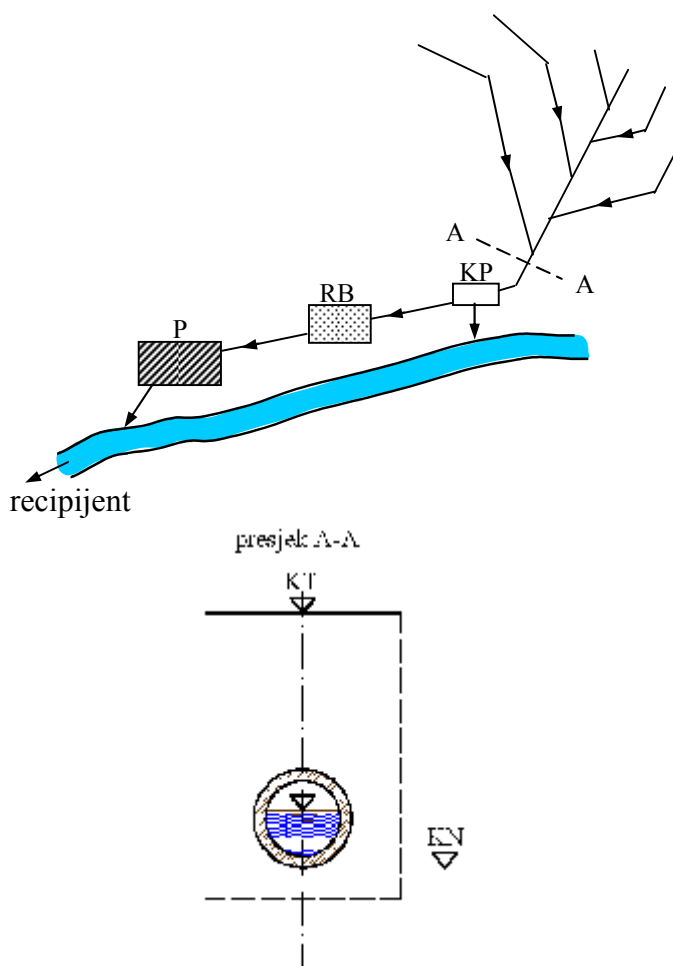
Sastavni dio ispitivanja zagađenih voda je i ispitivanje voda recipijenta posebno na mjestu budućeg ispusta efluenta, ali i drugdje. Posebno su interesantni pokazatelji, o sadržaju kiseonika, BPK, HPK, sadržaju bakterija i dr.

3.4.2 Sistemi i šeme kanalizacije

Pod sistemom kanalizacije podrazumijeva se skup objekata, odabran za evakuaciju i transport različitih zagađenih voda sa područja grada.

U zavisnosti kako se vrši transport različitih zagađenih voda - zajedno ili odvojeno, sistemi kanalizacije mogu biti:

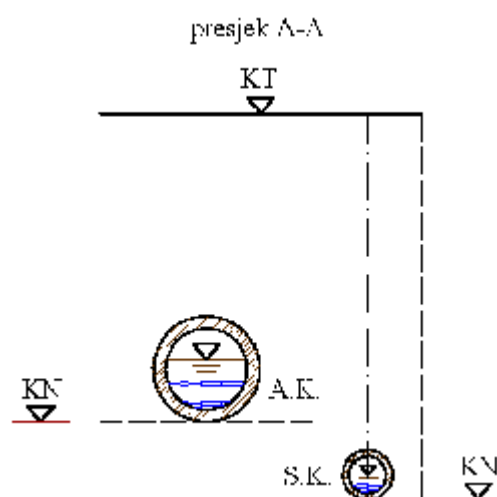
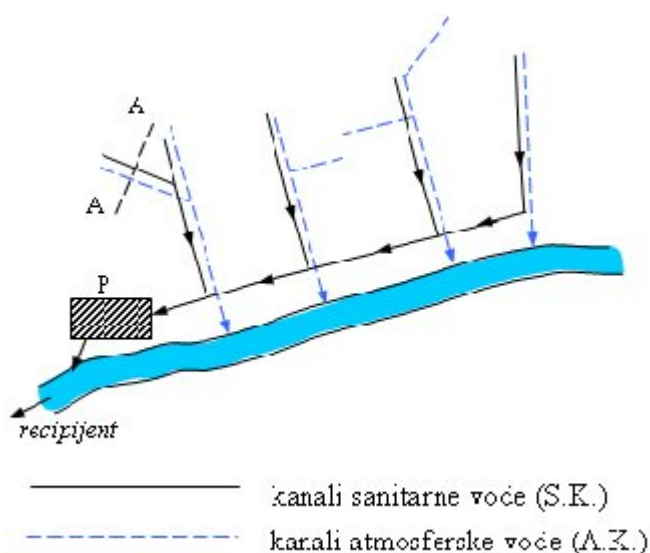
- mješoviti ili opšti,
- odvojeni ili separadni (sa modifikacijama), i
- kombinovani (najčešće kod rekonstrukcije gradova).



Slika 3.25 Mješoviti ili opšti sistem kanalizacije

Mješoviti sistem (slika 3.25) za sve vrste zagađenih voda ima jedinstvenu kanalizacionu mrežu do postrojenja za prečišćavanje (P) ili do recipijenta.

Kod odvojenog sistema, pojedine vrste zagađenih voda transportuju se samostalnim kanalizacionim mrežama (slika 3.26).



Slika 3.26 Odvojeni ili separatni sistem kanalizacije

Prednosti mješovitog sistema su u tome što je kod njega jeftinije održavanje i čišćenje, jer je samo jedna mreža, i što je sveobuhvatnija evakuacija zagađenih voda sa slivnog područja. Mane su, što se kod jakih kiša ispušta mješavina zagađenih voda bez prečišćavanja u recipijent, a nužna je i izgradnja većeg broja **kišnih preljeva**. Za

vrijeme sušnog perioda postoji opasnost taloženja čvrstih materija u kanalskoj mreži, pa je potrebno češće ispiranje.

Retencioni bazeni imaju višestruki značaj, od čega najvažniji da zadrže izvjesno vrijeme određenu količinu kišnih voda, što omogućava ekonomičnije dimenzioniranje kanalizacione mreže.

Što se tiče prednosti odvojenog sistema, kod njega nema direktnog ispusta sanitarnih voda u recipijent, jer se sve transportuju do postrojenja za prečišćavanje (P), što ima veliki značaj u zaštiti vodnih resursa od zagađenja. Najveći nedostatak ovog sistema su dvije odvojene mreže, a zauzima i veći prostor u okviru podzemnog urbanizma.

Zbog svega rečenog, kod planiranja kanalizacije od ključnog je značaja pravilan izbor sistema kanalizacije, stim u vezi šeme kanalizacije, tj. projektnog rješenja kanalizacionog sistema.

Rješenje *šeme kanalizacije* zavisi također od mnogih faktora kao što su konfiguracija kanalizacionog područja i njegova veličina, vrsta recipijenta, geološki i hidrogeološki te geomehanički uslovi terena, sanitarni uslovi, odabrani sistem i dr.

Najčešće šeme kanalizacije su: **paralelna** (uzdužna), **zonirana**, **okomita**, **ukrštena** (obuhvatna), **radijalna**, **prstenasta** i **vakuum** kanalizacija. Za ilustraciju šema kanalizacije daju se tri karakteristična primjera (slika 3.27)

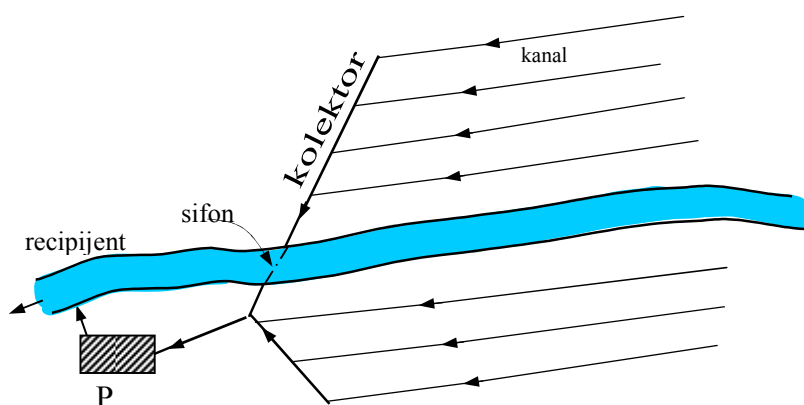
Paralelna šema ima većinu kanala paralelno riječnom recipijentu. Ako je naselje samo sa jedne strane obale, šema je jednostrana, a ako je sa obje strane onda je lepezasta. Ova šema može biti i zonarna, ako se neki dijelovi naselja ne mogu gravitaciono priključiti na kolektore nego preko pumpnih stanica (PS).

Zonarna šema primjenjuje se kod terasastog terena ili brežuljkastog reljefa. Naselje se dijeli na zone sa samostalnim mrežama. Često se koristi prilikom proširenja starih naselja, gdje se novi dijelovi jedino putem PS mogu spojiti na postojeću kanalizaciju.

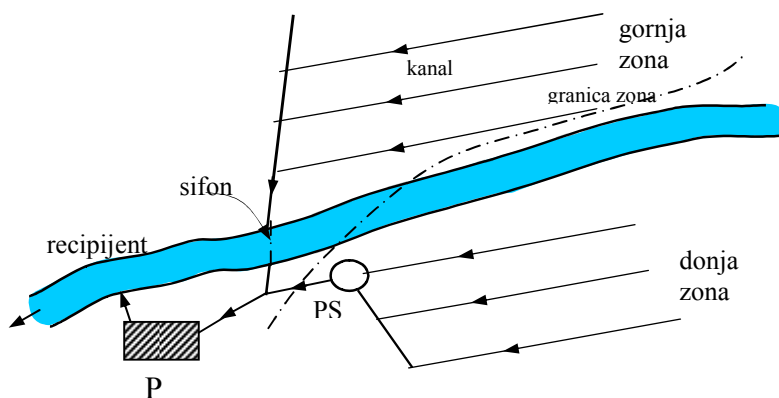
Pošto je u principu tečenje u kanalizacionoj mreži gravitaciono, to je veoma važno pravilno izabrati šemu kanalizacije sa što je moguće manjim brojem PS zbog visokih troškova eksploatacije.

Vakuum kanalizaciona šema koristi se kod ravničastih terena gdje je klasičnu šemu teško ostvariti zbog dubokih ukopavanja koja se vrše radi postizanja adekvatnih hidrauličkih efekata (odgovarajućim padom kanala i brzine tečenja). Transport zagađene vode odvija se mrežom plitko ukopanih kanala, na bazi djelovanja vakuma preko vakuum

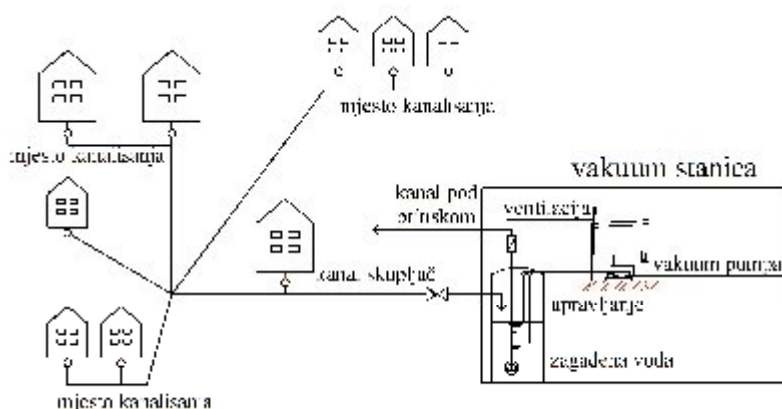
stanice. Ustvari, vakuumska tehnologija bazira na razlici pritiska unutar vakuumske kanalizacione mreže i atmosferskog pritiska u vakuumskom šahtu. Vakuum pumpe, smještene su u vakuum stanici, proizvode radni pritisak 0,8 do 0,4 bara koji se kanalizacionom mrežom širi do svakog individualnog vakuumskog šahta kućnog priključka.



a. Paralelna ili uzdužna šema



b. Zonarna šema



c. Vakuum kanalizacija

Slika 3.27 Primjeri kanalizacionih šema

3.5 Kanalizacione mreže

Kanalizacione mreže i pratećih objekt (šahтови, sifoni, preljevi i sl.), uključivo i pumpne stanice, su glavni, a ponekad i jedini dijelovi kanalizacionog sistema.

3.5.1. Trasiranje mreže

Kanalizaciona mreža se planira prema urbanističkim i geodetskim podlogama, a za glavne projekte vrši se i geodetsko snimanje trasa i prave uzdužni profili pojedinih kanala.

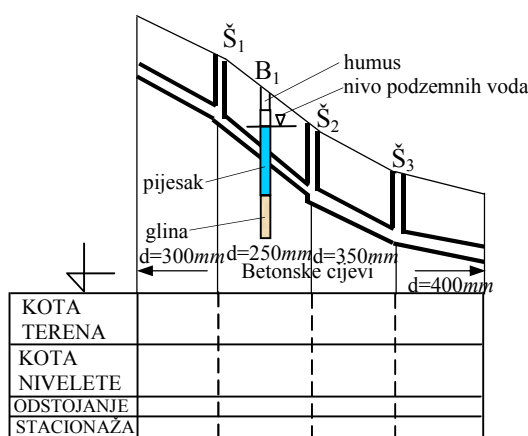
Kod projektovanja važno je raspolagati sa **katastrom podzemnih i nadzemnih objekata** (instalacija), kako bi se riješila sva mjesta presjecanja kanala sa drugim instalacijama. Prva tačka kanalizacione mreže koju treba odrediti je lokacija postrojenja, odnosno kanalskog ispusta u recipijent.

Trasiranje mreže se vrši po slivnim bazenima, i to najnižim kotama sliva. Prvo se trasiraju kolektori i na njih priključeni glavni kanal te sekundarna mreža. Teži se da oticanje zagađenih voda bude gravitaciono. Gdje to nije moguće, predviđaju se pumpne stanice. Treba nastojati da bude što manji broj presjecanja sa vodotocima, željezničkim prugama i sl., kako bi se izbjegli skupi objekti tipa sifona, propusta, PS i sl.

Trasiranje mreže zavisi od reljefa područja, odabranog sistema kanalizacije, raspoložive lokacije postrojenja za prečišćavanje, perspektivnog razvoja naselja, geoloških, hidrogeoloških i geomehaničkih uslova, rasporeda industrije i drugih zona iz urbanističkog plana.

Kad su se odredile sve linije trasa u situaciji, vrši se crtanje uzdužnih profila (Slika 3.28). Uz pomoć situacije i uzdužnog profila određuju se padovi pojedinih kanala. Suviše veliki pad na nekom potezu smanjuje se pomoću **kaskada**.

Definitivni uzdužni profili rade se po izvršenom hidrauličkom proračunu kanalske mreže. Potrebno je težiti da nivo vode u kanalima ima jednoličan pad bez uspora i kaskada.



Slika 3.28 Uzdužni profila kanala

Posebno je važno da uzdužni profil sadrži visinske vrijednosti - kote terena, kote nivelete i kote dna kanala. Na važnijim potezima kao što su glavni kanali i kolektori, potrebno je uraditi geološko-hidrogeološki i geomehanički uzdužni profil, posebno ako je dublje ukopavanje kako bi se pravilno izvršila organizacija gradilišta i izvršio izbor mehanizacije za izvođenje radova na kopanju kanala. U tu svrhu potrebno je uraditi određeni broj istražnih bušotina i utvrditi litološki sastav terena, dubinu podzemnih voda i dr.

Sanitarna kanalizacija

Mreža sanitarne ili fekalne kanalizacije služi za transport sanitarnih i industrijskih zagađenih voda, u principu do postrojenja za prečišćavanje. Pri tome se padovi kanala biraju tako, da se omogući samoprečišćavanje taloga koji se vremenom sakuplja na dnu kanala. Ovo je moguće ako je brzina tečenja min. $0,6 \text{ m/s}$, pri punom profilu.

Ako brzina tečenja u kanalima prelazi vrijednost $4,5 \text{ m/s}$, treba predvidjeti specijalne mjere zaštite cijevi i revizionih šahtova od uticaja erozije i dejstva naprezanja. Dubina polaganja sanitarne kanalizacije usvaja se tako da se spriječi smrzavanje i da se omogući gravitaciono priključenje svih korisnika. Po pravilu sanitarna kanalizacija se polaže krajem ulice, na dubini koja ispod najviše kote temelja okolnih objekata treba da je min. $3,5 \text{ m}$.

Ako su ulice uske, onda se kanali postavljaju po sredini ulice; u tom slučaju su zbog saobraćaja otežani uslovi izrade priključaka, a i održavanje mreže. Minimalni prečnik cijevi sanitarne kanalizacije je 200 mm , iz razloga lakšeg održavanja.

Atmosferska kanalizacija

Atmosferske vode u kanizacionu mrežu dopijevaju putem slivnika, koji se postavljaju kraj ivičnjaka na uličnoj površini, zatim preko slivnika u dvorištima, parkovima i dr.

U odnosu na sanitarnu kanalizaciju atmosferska se polaže pliće. Ona se obično nalazi u sredini ulice. Padovi kanala su često identični padovima ulice i ovisni su od brzine tečenja, koja se preporučuje u granicama od $0,9$ do max. 3 m/s .

Radi smanjenja uticaja saobraćajnog opterećenja, nadsloj zemlje iznad kanala treba da je min. $0,6 - 1,2 \text{ m}$. Razlika između sanitarne i atmosferske kanalizacije je i u tome, što se kod druge dopušta s vremena na vrijeme preopterećenje (izbijanje vode na površinu ulice), dok kod sanitarne to nije dozvoljeno.

Razlog ovom je, neekonomično dimenzioniranje atmosferske kanalizacije na ekstremne kiše rijetke pojave. Druga razlika između atmosferske i sanitarne kanalizacije je u veličini prečnika cijevi, koji je po nekoliko puta veći kod atmosferske u odnosu na sanitarnu.

Mješovita kanalizacija

Tamo gdje se iz bilo kojih razloga ide na mješoviti sistem kanalizacije, onda su principi projektovanja kanala (padovi, dubine, priključci itd.), objedinjeni i od sanitarne, a i atmosferske kanalizacije. Npr., to znači, da kanali moraju imati dimenzije prema kišnim vodama, dubinu prema sanitarnim priključcima, padove prema minimalnim količinama zagađenih voda itd.

3.5.2 Hidraulički proračun kanalizacije

Za hidrauličko dimenzioniranje kanalske mreže treba odrediti mjerodavne količine zagađenih voda i kišne vode određene vjerovatnoće pojave, trajanja i intenziteta:

1. Zagađene vode:

$$Q_z = Q_s + Q_i + Q_{in} \text{ (sušni period)} \quad (3.24)$$

Q_s - sanitarne ili fekalne vode od domaćinstva (na 1000 stanovnika)

$$Q_s = 5l / s \cdot 1000s \quad (3.25)$$

Q_i - zagađene vode industrije (u zavisnosti od vrste)

$$Q_i = 0,5 - 1,5l / s \cdot ha \quad (3.26)$$

Q_{in} - infiltracione vode

$$Q_{in} = cca 3l / s \cdot 1000s \text{ (na 1000 stanovnika)} \quad (3.27)$$

2. Kišne vode:

$$Q_k = k_{15(1)} \cdot A \cdot \varphi \cdot \psi \quad (\text{za vrijeme kiša}) \quad (3.28)$$

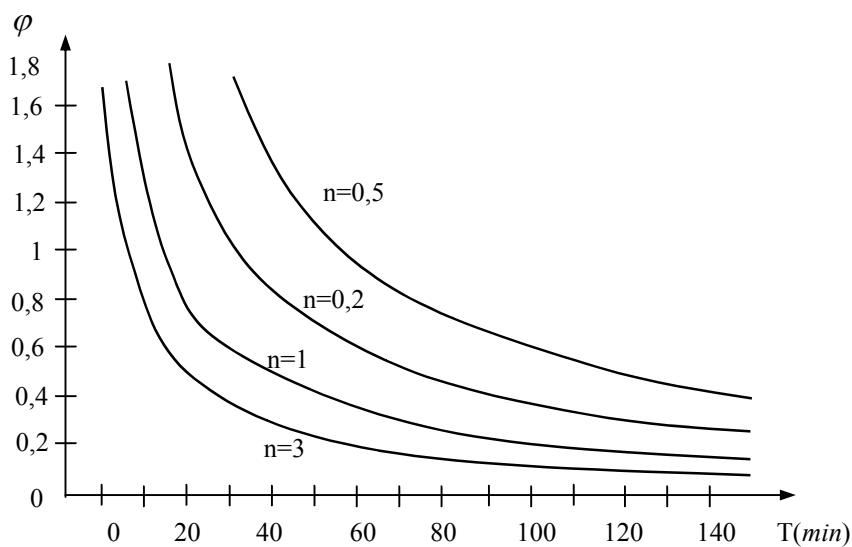
$k_{15(1)}$ - intenzitet kiše ($l / s \cdot ha$), trajanja $T=15min.$, učestalosti $n=1$

φ - koeficijent zakašnjenja (retardacije); $f(n, T)$ prema dijagramu na slici 3.29

ψ - koeficijent oticaja, tj. odnos oticajnih i palih kiša

$$\psi = \frac{Q_0}{Q_p} \leq 1 \quad (3.29)$$

A - slivno područje (ha)



Slika 3.29 Koeficijent zakašnjenja

$$k = k_{15(1)} \cdot \varphi \quad (3.30)$$

$$k = k_{15(1)} \cdot \frac{38}{T} + 9 \left(1/\sqrt[4]{n} \cdot 0,369 \right) \quad (3.31)$$

$$k = k_{15(1)} \cdot \frac{24}{T} + 9 \quad (\text{za } n=1) \quad (3.32)$$

Koeficijenta oticaja (ψ), zavisi od oblika i veličine sliva, izgrađenosti područja odnosno obraslosti, geološkog sastava terena i dr. Obično se računa srednja vrijednost, koja se kreće od 0,15-0,95.

Na bazi utvrđene količine zagađenih voda vrši se hidraulički proračun kojim se određuje prečnik kanalizacione cijevi (d), pad kanala (J) i predviđeni režim tečenja za date uslove (v -srednja brzina i h -punjenje cijevi).

Hidraulički proračun se vrši na bazi jednačine kontinuiteta:

$$Q = A \cdot v \quad (3.33)$$

Q - proticaj u punom profilu cijevi (m^3/s)

A - poprečni presjek cijevi (m^2)

v - srednja brzina tečenja pri punom profilu (m/s)

$$v = C\sqrt{R \cdot J} \quad (3.34)$$

C - Šezijev koeficijent brzine ($m^{1/2} / s$); $C = \sqrt{8g / \lambda}$

R - hidraulički radijus (m)

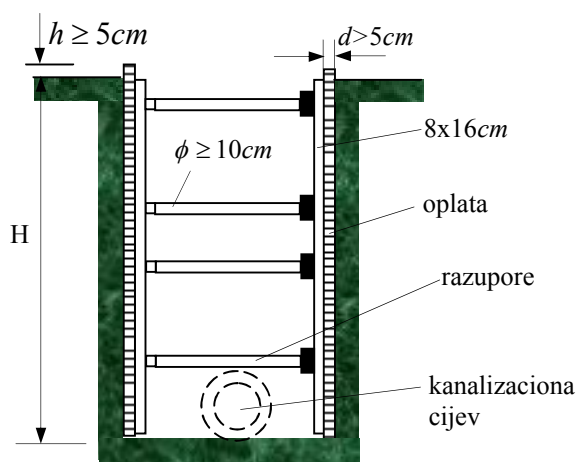
$$J\text{- hidraulični pad; } J = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (3.35)$$

Kod određivanja prečnika kanala potrebno je voditi računa o punjenju profila fluidom. Kod kanala sanitarne kanalizacije maksimalno punjenje je 0,6 - 0,70 visine profila. Ostatak prostora ostavlja se za ventilaciju.

Kod kišnih kanala i kanala opšteg sistema, za vrijeme maksimalnog pljuska, dozvoljen je pun profil tečenja. Za određivanje visine punjenja, količine vode i brzine toka za tu visinu postoje odgovarajući grafikoni i tablice.

3.5.3 Specifičnost građenja kanalizacije

Izgradnja kanalizacione mreže, spada u red složenijih građevinskih radova. Radovi se izvode otvorenim putem ili tunelskim načinom (kad su veće dubine npr. preko 7m i na raskršćima sa gustim saobraćajem). Zemljani radovi vrše se putem odgovarajuće mehanizacije sa oplaćivanjem i razupiranjem rova (slika 3.30).



Slika 3.30 Izgled kanalizacionog rova i njegove zaštite

Oplaćivanje, odnosno zaštita rova od obrušavanja, ovisni su od dubine rova, geološko-hidrogeoloških uslova zemljišta, prečnika cijevi, saobraćajnih uslova i sl. Kod polaganja kanalizacionih cijevi posebno je važno kontrolisanje nagiba, odnosno nivelete, prema projektnom rješenju putem geodetskih metoda. Ugradnja cijevi ide od niže kote ka višoj. Važna aktivnost je kvalitetno izvođenje spojeva kanalizacionih cijevi.

Izvedena kanalizaciona mreža, treba da se provjeri završnom hidrauličkom kontrolom vodopropusnosti.

Kvalitet kanalizacionih cijevi treba da je takav, da nema infiltracije podzemnih voda, ali ni propuštanje kanalske vode. Cijevi treba da su čvrste i otporne na statičko i dinamičko opterećenje, bez mogućnosti deformacije. Također treba da su otporne na dejstvo korozije izvana ali i iznutra, i da imaju glatku unutrašnju površinu.

Opisane uslove u većini zadovoljavaju cijevi od keramike, betona, armiranog betona, azbest-cementa i plastike. Često se za veće proticajne profile (kolektori) rade kanali na licu mjesta od betona

odnosno armiranog betona. Kanalizacione cijevi su najčešće kružnog poprečnog presjeka, dok su se ranije koristile jajolikog oblika.

Kad se rade kanali na licu mjesta, u iskopanom rovu, tada poprečni profili mogu imati specijalne oblike, što je uslovljeno hidrauličkim i konstruktivnim razlozima. Kanali izgrađeni na licu mjesta obično su prohodni. Unutrašnje površine kanala glatko se malterišu (ako je potrebno), a dno (kineta) i bokovi oblažu keramičkim korubama ili pločama, radi zaštite od kiselina i habanja.

Kanalizacione cijevi se u rovu polažu neposredno na tlo, ili vještački pripremljenu podlogu. Kvalitet podloge zavisi od vrste tla i njegovih geomehaničkih osobina, zatim od vrste cijevi odnosno spojnice. Kod glinastih ili suglinastih tala, ispod cijevi, radi se betonska podloga. U vodonosnim sredinama cijevi se polažu na sloj krupnijeg pijeska, šljunka ili tucanika. Za sniženje nivoa podzemnih voda (kod kolektora) ispod kanalizacionih cijevi ili paralelno, na nižoj koti od nivelete kanala postavlja se drenaža.

Rovovi se zatrpavaju materijalom iz iskopa, ali je u određenim uslovima (gdje je gust saobraćaj) korisno iznad tjemena cijevi staviti sloj pijeska u visini od 30 cm, pa tek iznad toga materijal iz iskopa. U izuzetnim prilikama (zbog saobraćajnog opterećenja i plice ukopanih kanala) zasipanje rova treba u potpunosti da bude sa šljunkom.

Širina kanalizacionog rova određuje se u ovisnosti od vanjskog prečnika cijevi, s tim što je nužno proširenje rova na mjestima izvođenja spojeva (Tabela 3.19)

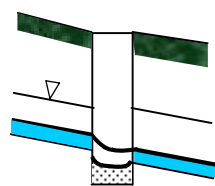
Tabela 3.1 Širine kanalizacionog rova

Prečnik cijevi u mm	Puna širina rova (m) do dubine polaganja					
	do 2 m	2-4 m	do 2 m	od 2-4 m	do 2 m	2-4 m
	Azbest-cementne cijevi		Keramičke cijevi		Armirano-betonske cijevi	
150-200	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0
250-350	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2
400-450	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
500-600	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
700-800	1,7	1,8	-	-	1,9	2,0
900-1000	1,9	2,0	-	-	2,1	2,2

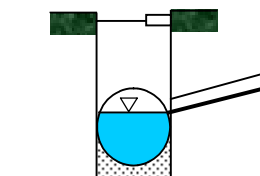
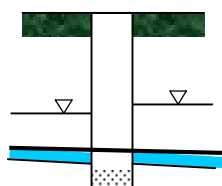
3.5.4 Objekti na kanalizacionoj mreži

U okviru kanalizacione mreže radi se vrše vrsta objekata, kao što su slivnici, revizionna okna (šahtovi), kaskade, kišni preljevi, sifoni, pumpne stanice i sl. (slika 3.31).

a. Revizionna

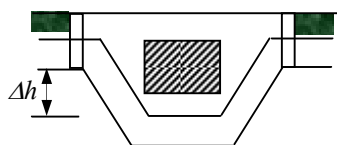


na promjeni profila

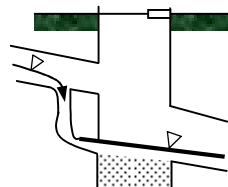


na mjestu priključka

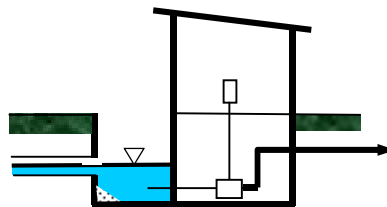
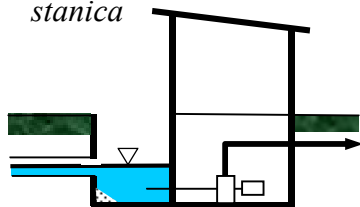
b. Sifon



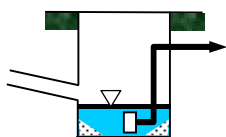
c. Kaskada



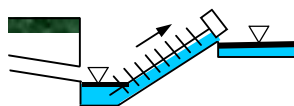
d. Tipovi pumpnih stanica



Pumpe u suhom



Potopljena pumpa



Pužna pumpa

Slika 3.31 Šematski prikaz kanalizacionih objekata

Za prijem kišnih voda i voda od pranja ulica postavljaju se slivnici. Razmak između uličnih slivnika na uličnim površinama ide od 50 - 100 m. Ako su veći nagibi ulica onda je taj razmak 30 m. Radi kontrole rada, tj. održavanja kanalizacione mreže i za njenu ventilaciju koriste se *reviziona okna*. Ona se postavljaju na razmaku 50 - 100 m, zatim na mjestima promjene profila cijevi, na mjestima priključka, te kod promjene pravca kanala i sl.

Reviziona okna mogu biti montažna ili se rade na licu mjesta, obično od armiranog betona. U samom šahtu koji je opremljen penjalicama, kanalizaciona cijev se prekida i tečenje se odvija preko tzv. kinete (otvoren kanal radi kontrole i čišćenja).

Na kanalizacionoj mreži rade se i specijalni šahtovi - *kaskade* radi smanjenja dubine polaganja kanala i umanjenja energije toka i dr. Ako su dimenzije kanala veće od 600 mm kaskade se oblikuju u vidu brzotoka sa više stepenica.

Radi prolaza kanala ispod rijeke, pruge ili sličnih prepreka, gdje nije moguće ostvariti tečenje sa slobodnim nivoom, rade se *sifonski objekti*.

Pumpne stanice

Pumpne stanice služe za podizanje kanalske vode sa niže na višu kotu (visinu). Sastoje se iz prijemnog rezervoara, mašinske prostorije, crpnog agregata, prateće elektro-regulacione opreme, usisnog i potisnog cjevovoda, pomoćnih uređaja i dr.

Prijemni rezervoar služi za izravnjanje neravnomjernog doticaja zagađenih voda. Regulirajuća zapremina prijemnog rezervoara određuje se na bazi zbirnog satnog grafikona doticaja zagađene vode i njenog crpljenja, uzimajući u obzir periode uključenja pumpi.

Radi zadržavanja krupnih otpadaka na ulazu u prijemni rezervoar postavlja se rešetka, koja se čisti ručno ili automatski. Prostor prijemnog rezervoara mora biti odjeljen od mašinske hale i prostora za personal, kad se pumpe postavljaju u suhu prostoriju. Obrnuto, kod potopljenih pumpi i mjesta gdje su pužne pumpe tog odvajanja nema.

Pumpne stanice mogu biti kako na kanalizacionoj mreži, tako i u okviru postrojenja za prečišćavanje zagađenih voda. Lokacija pumpne stanice bira se u odnosu na racionalnu dubinu ukopavanja kolektora, geološke, hidrogeološke i geomehaničke uslove, te uslove sanitarno-higijenskog značaja uključivo i urbanističke.

Pumpne stanice treba da su automatizovane i da se uključuju u rad preko releja u zavisnosti od nivoa vode u prijemnom rezervoaru.

3.6 Prečišćavanje zagađenih voda

Prečišćavanje gradskih zagađenih voda najčešće može biti:

- ☐ mehaničko (preliminarno i primarno) i
- ☐ biološko (sekundarno) prečišćavanje.

Kad se želi postići veći efekat u prečišćavanju gradskih zagađenih voda, pogotovo ako je u njima značajan dio zagađenih voda od industrije, tada se praktikuje i treći stepen tretmana (tercijarno) i to:

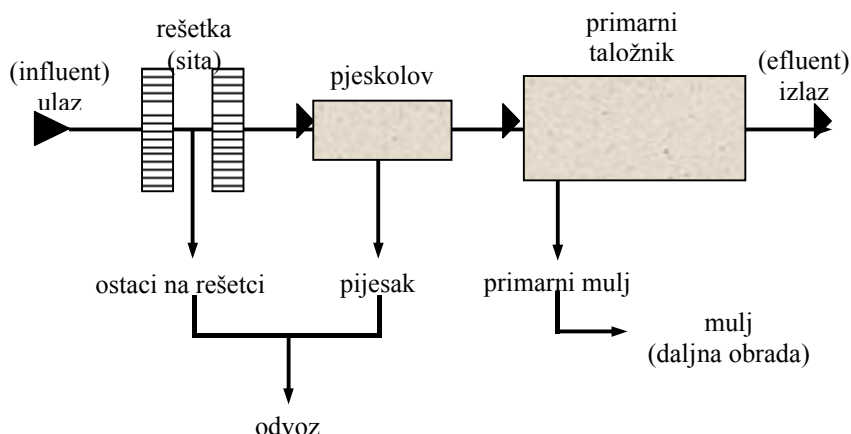
- ☐ hemijsko i
- ☐ fizičko-hemijsko prečišćavanje.

Sastavni dio procesa prečišćavanja zagađenih voda je i obrada mulja, koji se formira kod pojedinih postupaka prečišćavanja. Prečišćavanje zagađene vode odvija se kroz postrojenje kojeg čine različiti hidrotehnički objekti međusobno povezani u jednu cjelinu, sa ugrađenom pratećom elektro-mašinskom opremom.

Mehaničko prečišćavanje

Mehaničko prečišćavanje omogućava da se iz kanalske vode uklone preliminarnim i primarnim procesom sastojci koji mogu začepiti ili oštetiti pumpne uređaje ili nepovoljno uticati na ostale procese prečišćavanja (drvo, papir, pijesak, ulja i masti), te najveći dio taložnih čvrstih materija kao i 40 – 60 % suspendovanih materija.

Objekte za mehaničko prečišćavanje obično čine: rešetke (grube i fine) ili rešetke drobilice (kominatori), taložnice za pijesak (pjeskolovi), bazeni za prethodnu aeraciju, separatori masti i ulja i primarne taložnice (slika 3.32).



Slika 3.32 Objekti mehaničkog prečišćavanja

Rešetke, grube i fine postavljaju se ispred taložnica za pijesak i mulj.

Redukcija bakterija na rešetki iznosi do 5% a BPK oko 5%. Čišćenje rešetki može biti ručno i mašinski. Skinuti materijal se odvozi na deponiju otpada ili spaljuje. Kod većih postrojenja, najčešće se ovaj materijal ponovo ubacuje u kanalizaciju poslije isitnjavanja. U materijalu je sadržaj vode oko 85%. Količine zadržanog materijala kreću se od 5-50 l/st/g. Fine rešetke imaju otvore između šipki 0,5-0,8 mm, pa i preko 1,0 mm. One se obično koriste u procesu prečišćavanja zagađenih voda industrije. Ove rešetke zadržavaju sitnije čestice koje formiraju kiselu koru u bazenima za taloženje. Zadržavanjem ovog materijala postiže se znatna ušteda u hloru, kod hlorisanja efluenta. Fine rešetke zadržavaju 50-200 l/st/g materijala na svakih 1000 m³ kanalske vode, 10-20% bakterija i 8-10% BPK.

Pjeskolovi služe za izdvajanje teških, uglavnom mineralnih materija (šljunak, pijesak, pepeo i sl.) iz kanalske vode. Postavljaju se ispred taložnice za mulj, ispred pumpnih stanica i ispred sifona. Izvode se sa dvije ili više komora, dužine do 30m (obično 10-15m). Jedna komora je uvijek u rezervi. Vrijeme zadržavanja kanalske vode u pjeskolovima je 20-60 s. Taložnice za pijesak mogu biti i kružnog oblika, ponekad i sa aeracijom.

Količina materijala koji se istaloži u pjeskolovnu kreće se je od 10-30 l/d na svakih 1000 s, sa sadržajem vode od 50-60%.

Bazeni za prethodnu aeraciju (ne uvijek) postavljaju se ispred primarnog taložnika iz slijedećih razloga:

- da pospješe uklanjanje čvrstih suspendovanih materija u sedimentacionom tanku,
- da pomognu uklanjanje ulja i masti iz kanalske vode,
- da osvježe septičku, kanalsku vodu prije njenog daljeg prečišćavanja i
- da redukuju BPK.

Prethodna aeracija se sastoji od ubacivanja zraka u kanalsku vodu u trajanju od 20-30 minuta. Komprimirani zrak se ubacuje najčešće difuziono.

Separatori masti i ulja ugrađuju se kao posebni uređaji i lociraju samo ispred većih primarnih taložnika, najčešće kad kanalska voda sadrži značajne količine masti i ulja.

Masnoće i ulja čine velike teškoće kod biološkog prečišćavanja, posebno kad se koriste biološki filteri (formiraju nepropusnu opnu). Vrijeme zadržavanja kanalske vode u separatorima je od 3-5 minuta.

Primarni taložnici služe da se iz kanalske vode fizičkim procesom sedimentacije izdvoje taložive i suspendovane materije, te dio koloidnih materija ako se primjeni i koagulacija.

Najviše se za sedimentaciju koriste slijedeće vrste objekata:

1. taložnice (horizontalne i vertikalne),
2. Imhoff-tankovi, a za manje količine kanalske vode
3. septičke jame.

U većini slučajeva poslije mehaničkog prečišćavanja efluent se može ispustiti u recipijent bez veće opasnosti po kvalitet njegove vode.

Taloženje je ustvari osnovni način prečišćavanja zagađenih voda. Temelji se na tome što se zagađeni fluid dovodi u širi prostor taložnika, u kojem se brzina strujanja smanjuje, što omogućava sedimentaciju suspendovanih materija.

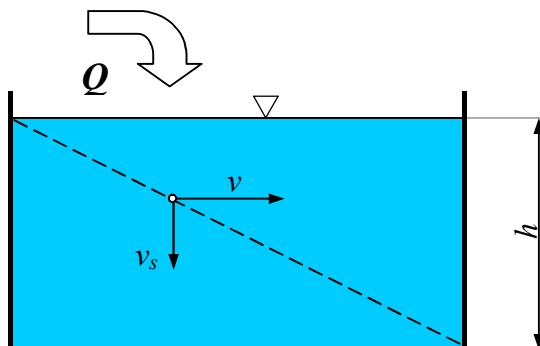
Brzina taloženja jednaka je:

$$v_s = \frac{Q}{A} \text{ (m/h)} \quad (3.36)$$

$$v_s = f(\phi, \rho) \quad (3.37)$$

Q - srednja dnevna količina zagađene vode (m^3/h)

A - površina taložnika (m^2)



Slika 3.33 Proces sedimentacije u taložniku

$$h \leq v_s \cdot t_R \quad (m) \quad (3.38)$$

t_R - vrijeme retencije (h), i iznosi 1,5 do 2,5h

V - Zapremina taložnika (V) jednaka je

$$t_R = \frac{V}{Q} \quad (h) \text{ ide od 1,5-2,5 sati} \quad (3.39)$$

$$V = Q \cdot t_r \quad (m^3) \quad (3.40)$$

Dubina taložnika računa se prema izrazu:

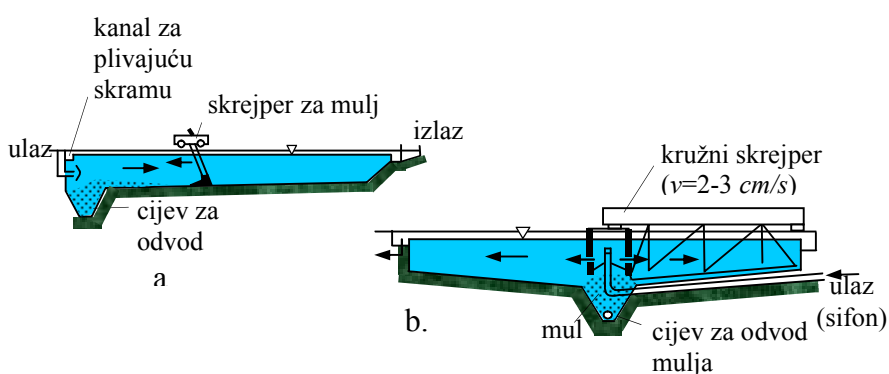
$$h = \frac{V}{A} \quad (m) \quad (3.41)$$

$$h \leq \frac{V}{A} = v_s \cdot \frac{V}{Q} \text{ odnosno } \frac{Q}{A} \leq v_s \quad (3.42)$$

Koeficijent Q/A se definira kao površinsko opterećenje q_A za koje važi da je

$$q_A \leq v_s \text{ (m/h) ide od 1,5-5 m/h} \quad (3.43)$$

U praksi se najčešće rade horizontalne i radijalne taložnice (slika 3.34).



Slika 3.34 Osnovni tipovi primarnih taložnica:
a. horizontalna, b. radijalna s centralnim dovodom

Istaložene čvrste materije tzv. **primarni mulj** treba vaditi iz taložnika kontinuirano ili u češćim intervalima (ispumpavanjem ili razlikom hidrostatickog pritiska).

Efikasnost sedimentacije u prvom redu zavisi od površine taložnika i retencije. Dubina primarne taložnice obično iznosi $h=3m$.

Efekat prečišćavanja je takav da se u taložnicima ukloni 90-95% taložljivih čvrstih materija i 40-60% od ukupnih suspendovanih materija. BPK se može ukloniti 25-35%, što posebno zavisi od vremena retencije.

Redukcija vrijednosti BPK_5 može biti i veća kad se proces sedimentacije čini efikasnijim primjenom hemikalija, kao što su: aluminijum sulfat, fero-sulfat sa krečom, feri-sulfat i ferihlorid sa ili bez kreča.

Naime, hemijskom precipitacijom BPK_5 se može redukovati i do 70%, a suspendovane čvrste materije do 90%. Zapremina mulja koji se dobija

hemijskom precipitacijom znatno je veća, što i postrojenje čini skupljim.

Hemijska precipitacija je vrlo pogodan metod za tretiranje kanalske vode koja sadrži visoku koncentraciju industrijskog zagađenja, koje je u principu vrlo nepovoljno za daljnje biološko prečišćavanje.

3.6.2 Biološko prečišćavanje

Ako primarno prečišćavanje nije dovoljno, primjenjuje se naredno sekundarno ili biološko prečišćavanje.

Postoje dvije osnovne metode sekundarnog prečišćavanja:

- putem filtera prokapnika i
- procesom sa aktivnim muljem.

Obe metode baziraju na biološkoj aerobnoj dekompoziciji ili oksidaciji organskih materija. Iako i filteri prokapnici i proces sa aktivnim muljem zavise od organizama koji vrše aerobnu biološku dekompoziciju, ipak među njima postoji jedna funkcionalna razlika. Kod prokapnika organizmi se nalaze na filterskoj ispuni gdje im se dovodi organska supstanca koju oni obrađuju, dok kod procesa sa aktivnim muljem organizmi se dovode do organske supstance koja je u kanalskoj vodi.

Za uspjehnost procesa kod obe metode potrebno je obezbjediti aerobno stanje u životnom ciklusu organizama, kao i potrebnu količinu organskih materija koje služe kao hrana za organizme koji vrše njihovu dekompoziciju.

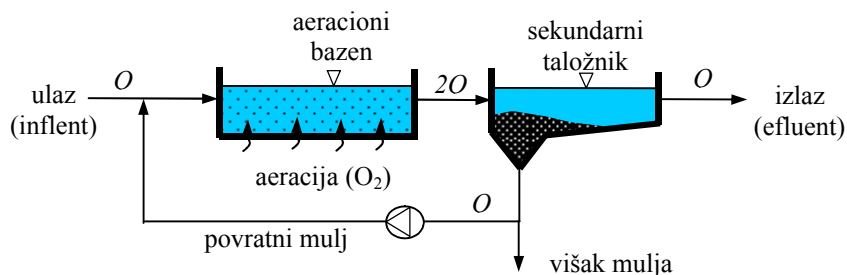
Filter prokapnik se sastoji od tri dijela:

- a) filteranskog sloja,
- b) drenažnog sistema i
- c) mehanizma za ravnomjernu distribuciju kanalske vode na površinu filtra.

Materijali koji se najviše koriste za filteranski medij su: opeka, šljunak, lomljeni kamen, antracit, plastični materijali i sl. Oblik filtra može biti pravougaoni ili kružni. Kod pravougaonih, distribucija kanalske vode na površinu filtra je pomoću fiksnih prskalica, a kod kružnih pomoću rotirajućih. Ravnomjerno doziranje kanalske vode vrši se pomoću dozirajućeg sifona, koji povremeno tj. sa prekidima izbacuje kanalsku vodu na gornju filteransku površinu. Opterećenje filtra obično se izražava kao hidrauličko i organsko opterećenje. Hidrauličko opterećenje je broj litara kanalske vode na 1 m² filteranske površine na dan, ili što je mnogo

tačnije na 1 m^3 na dan. Organsko opterećenje se izražava u gramima BPK na 1 m^3 filtarskog materijala. Standardni prokapnici, uključujući primarnu i sekundarnu sedimentaciju, mogu pod normalnim uslovima ukloniti 80 - 85% BPK tretirane kanalske vode i redukovati broj bakterija za 90 - 95%. Površina filtra treba se stalno čistiti i to ispiranjem, hlorisanjem, isključenjem filtra za nekoliko dana i sl. Kod prokapsnika prisutna je i pojava filtarskih muha - psychoda, koje su neprijatne za bližu okolinu. Pošto filtri prokapsnici samo mijenjaju karakter kanalske vode, ne uklanjajući iz nje čvrste materije, to iz efluenta treba odstraniti suspendovane čvrste materije i čestice biološke skrme sa filtra, prije konačne dispozicije u prijemni recipijent. U ovu svrhu koriste se **sekundarne taložnice**, slične primarnim taložnicama. Sekundarni taložnici dolaze poslije biološkog prečišćavanja. Suspenzija u sekundarnim taložnicama više je flokularne prirode, zbog čega su efikasniji tankovi sa vertikalnim strujanjem. Dubine ovih taložnica su veće nego primarnih i obično se kreću oko $4,5 \text{ m}$. Za manja postrojenja minimalna dubina je 3 m . Vrijeme retencije iznosi 0,5 - 1,5 sata. Organska materija u sekundarnoj taložnici sadrži 96,5 - 97% vode. Mulj iz sekundarne taložnice može se odmah po taloženju prepumpati natrag u primarnu taložnicu, ili odvesti na polje za sušenje mulja ili u digestor (trulište) na dalju preradu.

Proces ili postupak sa aktivnim muljem (Slika 3.35) je proces, gdje se živi aerobni mikroorganizmi i organske materije u kanalskoj vodi, dovode u sredinu, koja je pogodna za obavljanje aerobne dekompozicije čvrstih materija. Pošto je ta sredina sama kanalska voda u aeracionom bazenu, za uspješnu funkciju ovog procesa je neophodno da se kroz cijeli tok prečišćavanja, obezbjedi dovoljna količina rastvorenog kiseonika, kao i dosta živih organizama.



Slika 3.35 Šematski prikaz procesa sa aktivnim muljem

Suspendovane i koloidne materije u prisustvu vazduha (ili čistog kiseonika), formiraju jezgra aktivnog mulja na kojima se razvija biološki život.

To su ustvari flokule mrke boje, koje sadrže mnogo organskih materija iz kanalske vode uz bezbroj bakterija i drugih formi biološkog života. Aktivni mulj, ima osobinu da absorbuje koloidne i otopljene organske materije, uključujući i amonijak iz kanalske vode, tako da dolazi do redukcije suspendovanih materija.

Organizmi koriste absorbovani materijal kao hranu i transformišu ga u nerastvorljive, odnosno, netruljive čvrste materije. Aktivni mulj mora se održavati u suspenziji za vrijeme kontakta sa kanalskom vodom koja treba da se prečišćava, što se postiže stalnom agitacijom - kretanjem kanalske vode u bioaeracionom bazenu.

Sastavni dio procesa sa aktivnim muljem je pored miješanja, aeracije i agitacije i odvajanje aktivnog mulja iz mješavine u tzv. sekundarnom taložniku, zatim vraćanje odgovarajuće količine aktivnog mulja u aeroacni bazen radi miješanja sa kanalskom vodom, te odstranjivanje i dispozicija viška aktivnog mulja.

Dodavanje vazduha obično se vrši na dva načina:

- površinski, mehaničkom aeracijom i
- ubacivanjem, difuziono, pod pritiskom.

U kanalsku vodu treba dovesti toliko vazduha, da se obezbjedi količina rastvorenog kiseonika minimalno 2 mg/l , odnosno 60 m^3 vazduha na kg BPK.

Vrijeme aeracije je obično 6 - 8 sati, kad je dodavanje vazduha difuziono, a 9-12 sati kod mehaničke aeracije. Prije ispuštanja efluenta u neki recipijent, potrebno je ukloniti aktivni mulj iz aeracionog bazena.

Obrada mulja

Kod prečišćavanja zagađenih voda formira se velika količina mulja i otpadaka, koji sadrže organske materije. To su prije svega otpaci zadržani na rešetkama, zatim mulj iz primarnih taložnica i aktivni mulj koji se taloži u sekundarnoj taložnici poslije aeracije.

Opšta zapremina mulja može dostići do 1% zapremine prečišćenih zagađenih voda. Mulj se sastoji od čvrstog i tečnog dijela. Npr., vlažnost sirovog mulja iz primarne taložnice kreće se oko 95%, a aktivnog mulja čak do 99,2%.

U mulju sanitarnih voda sadržano je do 75% organskih materija, u okviru čega i značajne komponente za đubrenje zemljišta - azot, fosfor i kalij. Zbog toga se uspješno može koristiti u poljoprivredi.

S druge strane, veliki sadržaj organskih materija uslovljava da mulj brzo truhne, pri čemu se širi smrad, a visoki sadržaj bakterijskog zagađenja i jaja parazita predstavljaju opasnost širenja infekcije.

Sve to zahtijeva da se nastali mulj mora obraditi - stabilizovati ili neutralisati - zatim ugustiti, stisnuti na što manju zapreminu kako bi se mogao nesmetano transportovati do mjesta korištenja ili do mjesta dispozicije.

Stabilizovan i isušen mulj može se koristiti kao đubrivo, sam ili u kombinaciji sa čvrstim organskim (biorazgradljivim) otpadom - **kompost**, zatim kao gorivo i sl. Ako potpuna neutralizacija mulja nije moguća i ekonomski neopravdana, podvrgava se spaljivanju ili odlaganju na komunalnoj deponiji. Za spaljivanje mulja koriste se reaktori ili peći u kombinaciji sa spaljivanjem čvrstih otpadaka.

Stabilizacija mulja

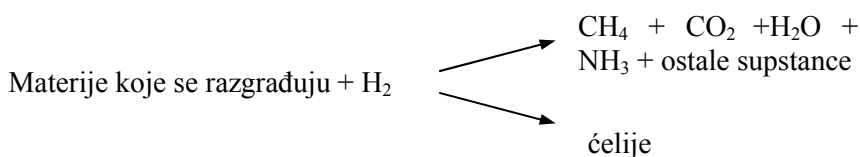
Stabilizacija mulja može se odvijati u:

- aerobnim i
- anaerobnim uslovima.

a. Aerobna stabilizacija mulja je proces kod kojeg se pomoću aerobnih bakterija razgrađuju organske materije i bakterije prisutne u mulju. Postupak se do mineralizacije odvija u bazenu sličnom onom kao basen za bioaeraciju.

Stabilizovani mulj odvodi se iz bioaeracionog bazena u zgušćivač mulja. Iza ovog mulj ide na polje za sušenje ili u uređaj za mehaničko zgušćivanje.

b. Anaerobna stabilizacija mulja ili digestija odnosno truljenje, odvija se u zatvorenim tankovima bez prisustva vazduha. Hemijski proces kod anaerobne stabilizacije odvija se prema relaciji:



Objekti u kojima se vrši anaerobna stabilizacija mulja su:

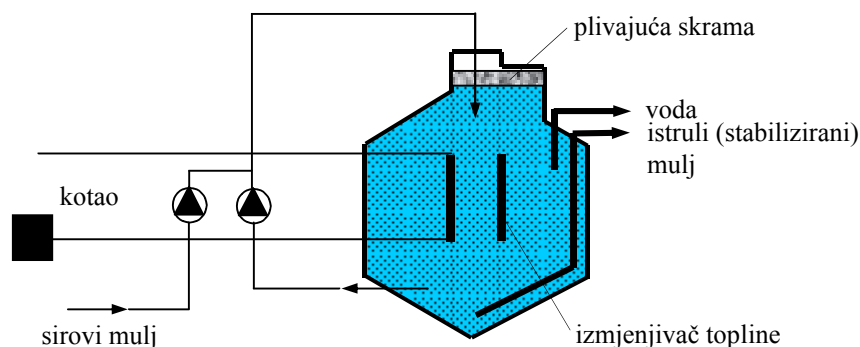
- septičke jame (Senkgrub),
- dvospratni taložnici (Imhoff - tank) i
- digestori ili trulišta, za gradska postrojenja, najčešće u upotrebi.

3. Digestori (trulišta)

Digestori ili trulišta zvan metan tankovi su cilindrični ili pravougaoni rezervoari sa konusnim ili piramidalnim dnom, i pokretnim ili nepokretnim krovom. Obično su hermetički zatvoreni.

Anaerobna stabilizacija mulja u digestoru odvija se u više faza. Rezultat toga je i produkcija različitih gasova i to 60 - 70% metana, 25 - 35% ugljen dioksida, 2 - 4% ugljen monoksida, do 1% nitrogena i do 0,1% sumporvodonika. Gas se može koristiti za zagrijavanje trulišta ili za proizvodnju električne energije. Radi ubrzanja procesa stabilizacije mulj se u metantanku zagrijava od 33 - 53 °C, i miješa. Zagrijavanje može biti unutar trulišta ili izvan njega (Slika 3.36).

Dužina procesa stabilizacije pri mezofilnim uslovima ($t=33^{\circ}\text{C}$) traje 10 - 15 dana, a pri termofilnim ($t=53^{\circ}\text{C}$) iznosi 5 - 7 dana. Miješanje mulja u trulištu uobičajeno se vrši pomoću cirkulacione pumpe.



Slika 3.36 Šematski prikaz digestora sa izmjenjivačem toplote

Zgušćivanje i dehidracija mulja

Nakon stabilizacije mulja potrebno je smanjiti njegovu zapreminu (sadrži samo 1,5 - 3% suhe materije) tj. zgusnuti ga. Da bi se zgušćivanje moglo izvesti, mulj se ispušta prvo u gravitacioni zgušnjivač, a onda uz dodatak flokulanta i koagulanta ugusti u uređaju za dehidraciju.

Postoje statični i mehanizovani zgušćivači. Oni čine tzv. gravitacione zgušćivače, koji mogu da rade kontinualno ili diskontinualno. Mehanički zgušćivači (češći u primjeni) imaju ugrađenu sporovrteću mješalicu i zgrtač, koji omogućava brže zgušćivanje.

Za izdvajanje vode iz mulja (dehidracija) ranije je korišteno prirodno cijeđenje na poljima za sušenje mulja. Danas se uglavnom koriste uređaji tipa centrifuge, vakuum-filtera i filter-prese. Sa filter-presama može se postići maksimalan sadržaj suhih materija - normalno oko 40%, a najviše do 60%.

Da bi se mulj mogao filtrirati, mora se prethodno izvršiti flokulacija i koagulacija. Tad se obično koriste kationski polielektrolit ili mineralni flokulant npr., $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

3.6.4 Postrojenja za prečišćavanje zagađenih voda

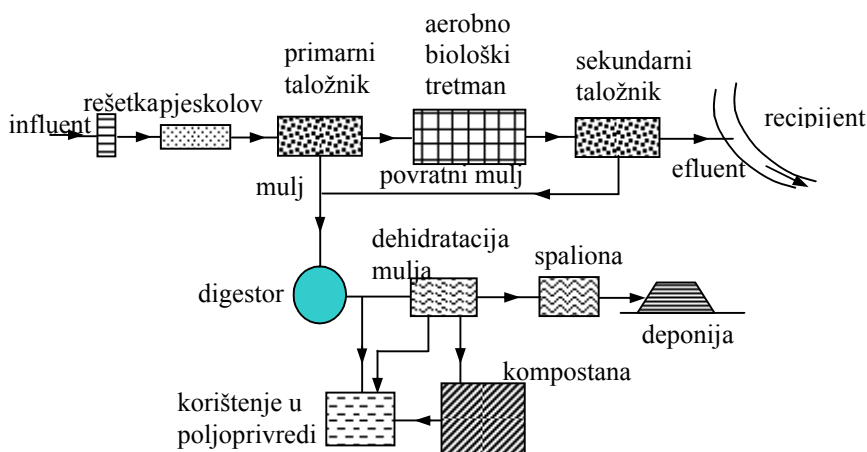
Prečišćavanje zagađenih voda vrši se u postrojenjima, koja čine skup objekata, uređaja, opreme i pratećih sadržaja za tretman kanalske vode i preradu mulja. Proces prečišćavanja odvijaju se u fazama, ovisno o koncipiranom projektnom rješenju, odnosno odabranoj tehnološkoj šemi.

Izbor tehnologije na bazi dobijene vodoprivredne saglasnosti (uslova) podrazumijeva izbor i dimenzioniranje pojedinih objekata postrojenja, na osnovu ulaznih parametara (količine i kvaliteta zagađenih voda), uslova recipijenta i lokalnih uslova (lokacije, urbanističkih sadržaja, zaštitnih zona, ekoloških zahtjeva i sl.).

Budući da objekti postrojenja predstavljaju složene građevinske jedinice, za izgradnju i kasnije održavanje odnosno eksploataciju postrojenja od izuzetne su važnosti geomehaničke i hidrogeološke karakteristike odabrane lokacije.

Pošto koštanje postrojenja zahtijeva velike investicije (od 20 - 55% ukupnog koštanja kanalizacionog sistema) to se optimalan izbor objekata vrši na bazi tehničko-ekonomskih analiza više varijantnih rješenja uključivo i uvažavanje troškova za eksploataciju postrojenja.

Prikaz klasične šeme prečišćavanja zagađene vode vidljiv je sa slike 3.37.



Slika 3.37 Klasična šema postrojenja za prečišćavanje zagađenih voda

Dimenzioniranje postrojenja za prečišćavanje zagađenih voda vrši se na osnovu karakterističnog hidrauličkog i biološkog opterećenja.

Mjerodavno hidrauličko opterećenje je srednja dnevna količina vode (Q_{sr}^d) i to tokom 6-18 sati. Kod proračuna pumpi treba uzeti u obzir maksimalnu i minimalnu satnu količinu zagađenih voda.

Mjerodavno biološko opterećenje je koncentracija zagađenja izražena vrijednošću BPK₅ (kg/d).

Stepen prečišćavanja kanalizacionih voda određuje se na bazi uslova preciziranih zakonskim odredbama, te prema uslovima recipijenta vezanim za važeću klasifikaciju voda na određenom području. Kod toga su važni parametri o kvalitetu efluenta koji se trebaju postići, a odnose se na BPK₅, suspendovane materije, količinu fekalnih i koliformnih bakterija i pH vrijednost.

4. JAVNA HIGIJENA

Čišćenje naseljenih mjesta, posebno gradova, predstavlja složen sistem planskih, organizacionih, tehničkih, sanitarnih i privrednih mjera vezanih za sakupljanje, transport i neutralizaciju čvrstog otpada. Radi se o javnoj higijeni, koja se sprovodi u interesu zaštite zdravlja stanovništva i održavanja sanitarnih radova urbane sredine i njegovog okoliša.

Urbani sistemi upravljanja čvrstim otpadom, podrazumijevaju kontinuirani proces redovnog čišćenja javnih i drugih gradskih površina, evakuaciju produkvarnog otpada i njihov tretman. Oni su sastavni dio ukupne gradske infrastrukture s kojom su funkcionalno povezani, a posebno sa komunalnom hidrotehnikom.

Čvrsti otpad je nužno brzo učiniti neškodljivim, tako što se treba prije izdvojiti koristan dio kao sekundarne sirovine, a ostatak preraditi. Samo nekorisni otpad se deponira.

Gradske ulice i javne površine redovno se čiste tokom čitave godine. Na taj način, pored ljetnog postoji i zimsko čišćenje od snijega i leda, čime se pored higijene doprinosi i bezbjednosti saobraćaja.

Najjednostavniji, ali i najjeftiniji način neutralizacije sakupljenog komunalnog otpada je putem **sanitarnog deponovanja**. Međutim, zbog zaoštrenih ekoloških uslova, sve više se insistira na selekciji odnosno **reciklaži komunalnog otpada** i odlaganju samo onog dijela koji je **inertan** i koji nema neku upotrebnu vrijednost. Dosadašnji način odlaganja otpada na **smetljištima** morao bi se napustiti, a s tim što se lokaliteti smetljišta trebaju sanirati.

Savremeni način rješavanja komunalnog otpada podrazumijeva **integrirano rješavanje** što znači:

1. sprečavanje nastanka i smanjenje otpada,
2. ponovnu upotrebu otpada nakon primarnog recikliranja,
3. korištenje termičke i biološke prerade otpada,
4. deponovanje otpada, i to samo inertnog porijekla.

Bilo kakva aktivnost vezana za realizaciju integrisanog koncepta upravljanja otpadom, zahtijeva poznavanje količine i vrste otpada, te njihove fizičke, hemijske i biološke osobine. Karakteristike otpada utvrđuju se odgovarajućim istraživanjima za svaki grad posebno, kako

bi se pravilno predvidjeli način i dinamika čišćenja i tretman svih vrsta otpada, a posebno komunalnog, koji je dominantan.

4.1 Čišćenje gradova

Osnovni zadatak čišćenja gradova sastoji se u tome da se urbana teritorija održava u odgovarajućem sanitarnom stanju, a također time učini bezbjednim i saobraćaj po gradskim ulicama. Karakter izvršenja radova na čišćenju gradske teritorije je različit i zavisi od godišnjeg doba.

Ljetno čišćenje, podrazumijeva sistematsku evakuaciju smeća sa urbanog područja, a i periodično izvršenje niza drugih radova kao što su odstranjenje zemljanog materijala i nanosa koji se formira u proljeće poslije zimskog perioda i za vrijeme olujnih kiša, sakupljanje opalog lišća, čišćenje slivnika i šahtova te atmosferske kanalizacije. Od karakteristika zagađenja na uličnim površinama zavisi izbor tipa mašina za čišćenje, a također i šema kretanja čistača ulica pri izvršenju predviđenih radnji.

Za vrijeme jakih vrućina radi sniženja zagađenosti zraka i poboljšanje mikroklimata ulica, vrši se njihovo polivanje i pranje. Jako se polivanje ne odnosi na proces čišćenja, ono je ipak jedno moćno sredstvo za sniženja prašine u zraku, naročito gdje su još uvijek makadamski kolovozi.

Osnovnu mehanizaciju za ljetno čišćenje čine različite mašine za pranje ulica i usisavanje zagađenja sa uličnih površina.

Zimsko čišćenje, za razliku od ljetnog, mnogo je složenije, teže i skuplje i iznosi 65-70% od ukupne vrijednosti koštanja čišćenja. Čišćenje u zimsko vrijeme podrazumijeva otklanjanje snijega sa trotoara i kolovoza, te borba protiv formiranja leda na tim površinama. Naročito je izražen zadatak sprečavanja formiranja ledenih površina, što se ostvaruje primjenom različitih hemijskih reagenata, i specijalne mehanizacije.

4.1.1 Sastav i svojstva gradskog otpada

Gradski otpad je prilično raznovrstan po svom porijeklu. Izvorom formiranja **komunalnog otpada** javljaju se domaćinstva, javni administrativni i drugi objekti i također teritorija opšteg korištenja (ulice, skverovi, parkovi itd.). Industrijski pogoni utiču na formiranje **industrijskog otpada** u čijem sastavu mogu da se nađu specifične

komponente, na prvom mjestu hemijskog porijekla. Klasifikacija gradskog otpada vidljiva je iz tabele 4.1.

Poznavanje karakteristika (sastava i svojstva) čvrstog komunalnog otpada neophodno je radi izbora sistema njihove evakuacije, neutralizacije i iskorištavanja, odnosno radi projektovanja i tehničko – ekonomske ocjene razmatranih varijanti sanitarnog čišćenja.

Kod istraživanja čvrstog komunalnog otpada utvrđuje se njihov morfološki i frakcioni sastav, srednja gustoća, hemijski sastav i specifičan toplinski kapacitet.

Utvrdjivanje karakteristika komunalnog otpada vrši se putem uzorkovanja i to tako da sse kod produkcije otpada više od 100 t uzorci uzimaju ne manje od 15% iz transportnih vozila , kod 40 – 50 t iz 30 % vozila, kod 20 – 30 t iz 50 % vozila i kod 10 – 15 t iz 100 % vozila. Uzeti uzorci trebaju maksimalno odražavati sastav ispitivanog otpada.

Tabela 4.1 Klasifikacija gradskog otpada

Čvrsti	Komunalni otpad od domaćinstva, ustanova, lokala i prodavnica, te industrijskih pogona i sl.	Kuhinjsku otpad (ostaci hrane), kućni otpad (papir, krpe, karton, predmeti od gume, drveta, stakla, kože itd.) Općenito njihov sastav je fermentabilan i inertan.
	Otpad sa javnih površina (ulice, trotoari, pijace, parkovi, parkinzi i sl.) uključivo i glomazni.	Ulično smeće, otpad bilja, papir, opušci, otpad od hrane i životinja, pijesak, blato, zemlja i sl. Namještaj, kućne mašine i dr.
	Bolnički otpad: - sličan onom od domaćinstva, - infektivni otpad, - toksični otpad, uključivo i radioaktivni.	Tekstil , papir, staklo, plastika. Otpad sa infektivnih odjela, Lijekovi, laboratorijski materijal i sl.
	Industrijski otpad organskog i neorganskog porijekla, uključivo i opasni otpad	Proizvodi hemijske, metalne, mesne, i drugih industrija (tehnološki otpad, radio-aktivni, toksični i sl.
Tečni *	Komunalni Atmosferski Industrijski	Fekalije, sanitarne vode, kišne vode i vode od otopljenog snijega. Vode iz industrijskih procesa
Gasoviti **	Gradska sredina	Dim, produkti sagorijevanja automobila i industrije, domaćinstava i sl.

* Rješava se kanalizacijom

** Rješava svaka industrija posebno

Karakteristike otpada zavise od stepena uređenosti objekata i naselja općenito, načina zagrijavanja, klimata, lokalnih uslova i drugih faktora (vrsta industrije) itd.

Sastav i svojstva otpada mijenjaju se po godišnjim dobima i u toku niza godina, shodno standardu življenja i primjeni novih tehnologija i različitih ambalaža. U vezi s tim, nužno je izvršiti ispitivanje gradskog otpada bar jedanput svake 5-te godine. Pri projektovanju šeme sanitarnog čišćenja, neophodno je prognozirati izmjenu sastava i svojstva komunalnog otpada za planski period (10-tak pa i više godina) na osnovu perspektivnog razvoja urbane sredine, a posebno inženjerske opremljenosti gradske teritorije, računskih normi i nivoa industrijske proizvodnje vezane za svakidašnju potrošnju stanovništva itd.

Morfološki sastav

Pod morfološkim sastavom otpada podrazumijeva se sadržaj pojedinih vrsta otpadaka u odnosu na ukupnu masu. Tako npr., u otpadu od stanovništva sadržaj papira se kreće od 42-57%, metala 1,5-8%, stakla 2-15%, organskih materija 13-40%, tekstila 2-11% itd. Morfološki sastav komunalnog otpada prema klimatskim zonama je različit. Razvoj novih ambalaža, ali i inače standarda življenja, utiče na povećanje sadržaja u otpadu plastike i papira. Nasuprot ovom, zbog sve veće primjene prirodnog gasa u zagrijavanju objekata, smanjen je sadržaj pepela i šljake.

Fracioni sastav

Na tehnološke procese upravljanja čvrstim otpadom (sakupljanje, uskladištenje, transport i tretman), konstruktivne karakteristike komunalnih mašina i mehanizacije, procese reciklaže i dr., utiče fracioni sastav otpada, pod kojim se podrazumijava sadržaj komponenti različitih dimenzija, izražen u (%) od opšte mase.

Fracioni sastav određuje se putem prosijavanja probnih uzoraka otpada kroz sita čiji su otvori 350, 250, 100, 50 i 15mm, i utvrđivanjem morfološkog sastava na svakom situ. Osnovna masa otpada ima dimenzije manje od 100mm (od 70% mase neograđenog otpada). Komponente veličine 350, 250mm čine oko 5% (papir, tekstil). Posebno se izdvajaju glomazni otpaci.

Srednja gustoća

Važan parametar pri proračunu veličine potrebnog prostora za deponovanje otpadaka, kao i za ostale proračune vezane za broj i veličinu kontejnera, broj i tipove transportnih sredstava, mehanizaciju za rad na deponijama, uopšte dispoziciju otpadaka, je njihova srednja gustoća.

Srednja gustoća zavisi od morfološkog sastava, srednje gustoće pojedinih komponenata i vlažnosti otpadaka.

Srednja gustoća npr. za otpatke od hrane je $0,48 \text{ t/m}^3$, za papir $0,04\text{--}0,06 \text{ t/m}^3$, za tekstil $0,16\text{--}0,18 \text{ t/m}^3$ itd. Za otpatke domaćinstva ona se kreće u granicama od $0,18\text{--}0,30 \text{ t/m}^3$.

Općenito, tendencija je smanjenja srednje gustoće, zbog sve većeg prisustva lakih frakcija kao papira i plastične ambalaže, pa je za očekivati da će se ona u perspektivi kretati od $0,12\text{--}0,17 \text{ t/m}^3$.

Vlažnost

Važno svojstvo otpada bitno za dimenzioniranje transportnih sredstava, za njihovu antikorozijsku zaštitu, za izbor metoda dispozicije, a naročito za regulisanje biohemijjskih procesa pri tretiranju otpadaka, je vlažnost.

Vlažnost otpada od domaćinstva, što je posebno interesantno, zavisi od odnosa u masi pojedinih vrsta otpadaka, naročito od osnovnih komponenata papira i otpadaka od hrane i njihove vlažnosti, kao i od uslova lokaliteta gdje se oni sakupljaju (uticaj atmosferlija).

Vlažnost otpadaka od domaćinstva se kreće u granicama od 30-60% i najveća je u jesenje doba.

Hemijski sastav

Hemijski sastav otpada veoma je važan parametar za tehničko-ekonomsko analiziranje izbora varijanti konačnog tretmana, odnosno korištenja otpada kao sekundarnih sirovina. Osnovni hemijski pokazatelji koji se utvrđuju laboratorijskim putem su : organska tvar, opšti, amonijačni i nitratni azot, opšti fosfor i kalij, kalcij, ugljik, hloridi, sulfati i pH vrijednost.

Npr.sadržaj azota, fosfora i kalija kod otpadaka od domaćinstva se kreće u granicama od 2-4%, organskih tvari 40-80%, ugljika 35-40%, pH 5-6,5% itd.

Toplinski kapacitet

Specifički toplinski kapacitet otpadaka važno je svojstvo za konačan izbor metoda dispozicije. Utvrđuje se računskim putem ili eksperimentalno spaljivanjem.

Toplinski kapacitet zavisi prije svega od vlažnosti, te od sastava otpadaka i njihove mogućnosti gorenja (**dobar** papir, tekstil, plastične mase, drveni otpaci i sl., **loš** metal, staklo, kamen i sli.). Sadržaj komponenata koje dobro gore u otpacima od domaćinstva je 50-80%.

Toplinski kapacitet pojedinih vrsta otpadaka kreće se u prosijeku od 800-6000 kJ/kg., pa nekad i više.

4.1.2 Količine čvrstog otpada

Količina čvrstog otpada, koja se formira u gradu dnevno ili godišnje, računa se na osnovu normativa ili utvrđuje obavljenim mjerenjem.

Za stanovništvo ona se utvrđuje kao **srednja dnevna** ili **specifična produkcija** po jednom stanovniku, npr. 0,5 do 2,5 pa i 3kg na dan, za javne objekte po jednom zaposlenom, za magacine, javne površine i sl. po 1m²

Norme formiranja otpada zavise od stepena opremljenosti stambenih objekata, njihove spratnosti, načina zagrijavanja a također i od opšteg standarda življenja, kulture ponašanja i dr. Stepenn uticaja svakog od ovih faktora na normu produkcije otpada je različit.

Opremljenost stanova centralnim grijanjem smanjuje obim otpada za 20-25% a posebno njenu specifičnu zapreminu, zbog sve većeg učešća papira i plastike kako je to već istaknuto.

Kod postojanja u stambenim objektima kanala za vertikalni transport otpada, njihova količina se povećava za 20-25% [12], zbog uslova brze evakuacije kućnog otpada u svako doba dana, sa isključenjem da se on neorganizovano sakuplja i izbacuje eventualno u kanalizaciju (npr ostaci hrane).

Srednja dnevna količina otpada za jednu godinu (Q_o^d) može se odrediti prema formuli:

$$Q_o^d = \frac{Q_p + Q_{lj} + Q_j + Q_z}{4} [kg / st] \quad (4.1)$$

Q_p , Q_{lj} , Q_j , Q_z – srednje dnevna produkcija otpada (kg/st) u proljeće, ljeto, jesen i zimu.

Srednja gustoća otpada (γ) izražena u (kg/l) ili (kg/m³) jednaka je:

$$\gamma = \frac{Q_o^d}{V_o} \quad (4.2)$$

V_o - srednje sezonska dnevna zapremina otpada (l/st)

Prognozna količina otpada po masi Q_o^{pr} može se odrediti metodom složenog procentnog računa po formuli: [10]:

$$Q_o^{pr} = Q_o^s (1 + 0,005)^t \quad (4.3)$$

Q_o^s - početna (sadašnja) masa otpada (kg).

0,005 - koeficijent godišnjeg prirasta količine otpada u težinskim jedinicama,

t - period ili vrijeme prognoze (npr.10-20 godina)

Količine industrijskog otpada, od slučaja do slučaja, treba se utvrditi na bazi broja zaposlenih i proizvedene količine robe, ovisno o tehnološkom procesu i finansijskim vrijednostim produkata.

Za ilustraciju kretanja produkcije količine i zapremine komunalnog otpada (uključivo mali pogoni i glomazni otpad) daju se podaci za Njemačku u tabeli 4.2 [1], period 1975-1993.godine.

Tabela 4.2 Kretanje produkcije komunalnog otpada u Njemačkoj

Godina	Ukupna masa [Mio,Mg] *	Specifična težina [kg/st·g]	Specifična zapremina [m ³ /st·g]
1975	23,20	363,90	1,40
1977	23,43	366,60	1,74
1980	22,45	380,40	2,00
1982	23,07	374,90	2,34
1984	22,12	361,70	2,53
1987	22,90	375,00	2,61
1990	30,46	382,00	2,30
1993	34,80	428,00	2,57

* - 1Mg=10³kg

Interesantni su i podaci iz tabele 4.3, gdje je vidljiv procentualni odnos komunalnog otpada od domaćinstva, otpada od dućana i glomaznog otpada [1]:

Tabela 4.3 Udio pojedinih vrsta otpada u komunalnom otpadu u Njemačkoj za period 1975 do 1993.

Komponente otpada	1975 [%]	1980 [%]	1984 [%]	1990 [%]	1993 [%]
otpad od domaćinstva	64,7	65,0	65,8	71,4	68,7
otpad od dućana	9,0	8,9	8,4	8,6	10,9
glomazni otpad	26,3	26,1	25,8	20,0	20,3
UKUPNO	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pošto se često u upravljanju čvrstim otpadom ide i na realizaciju **pretovarnih stanica**, onda je važno da se sračuna i njen kapacitet, u odnosu na broj stanovnika koji će biti opsluživan preko takvog objekta.

Kapacitet pretovarne stanice (Q_{pr}^s) jednak je:

$$Q_{pr}^s = S \cdot V_o \cdot k_n \quad (4.4)$$

- S - broj stanovnika koji se opslužuje
- V_o - srednje dnevna količina otpada po stanovniku u (t)
- k_n - koeficijent neravnomjernosti akumulacije otpada

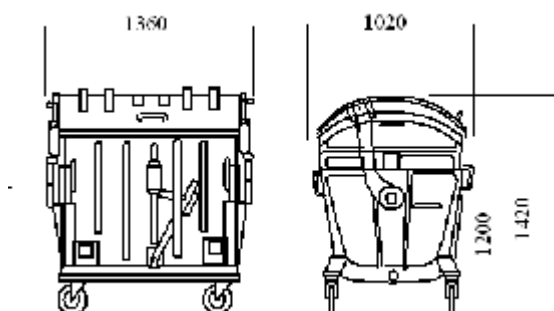
4.2 Sakupljanje, pretovar i transport otpada

Komunalni otpad može se sakupljati putem zajedničkih ili odvojenih posuda ili kontejnera. Prednost je odvojeno sakupljanje, čime se vrši tzv. **primarna reciklaža** tj. odlaže se u posebne posude bio-otpad, papir, staklo, metal, plastika i sl. Posude koje se najčešće postavljaju u posebne prostorije u zgradi ili u boksove, slobodno stojeće ispred zgrade mogu biti metalne ili plastične, dok su kontejneri obično od metala.

Zapremina posuda je različita i ide od 30-240 l, dok kontejneri mogu biti od 5-12m³.

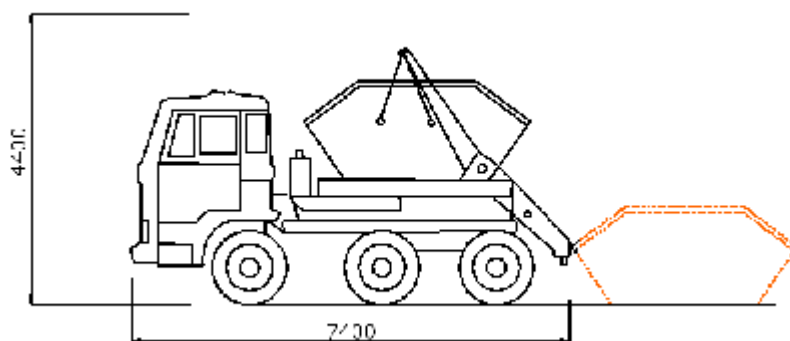
Zajedničko sakupljanje otpada, ali i odvojeno, vrši se najčešće upotrebom metalnih posuda sa točkićima (sl. 4.1) tzv. hajfiši.

Stambeni objekti sa više katova opremaju se zajedničkim vertikalnim kanalima, obično od azbestnih ili metalnih cijevi ϕ 50cm, putem kojih se mješavina komunalnog otpada sakuplja u prizemlju, gdje je lociran veći kontejner, i to u posebnoj prostoriji.



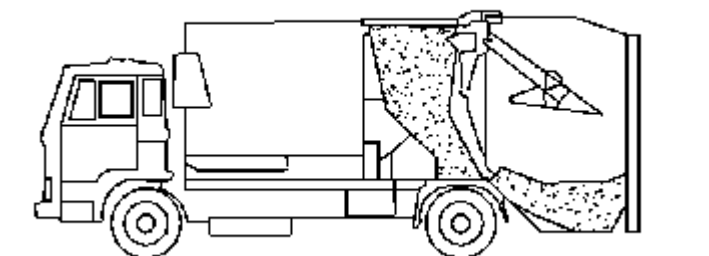
Slika 4.1 Metalna posuda za sakupljanje čvrstog otpada tzv. hajfiš

Donji dio otvora mora imati zatvarač, kako bi se zadržao otpad u kanalu, dok se vrši pražnjenje kontejnera. Prijemna prostorija u kojoj se nalazi kontejner mora biti propisno ventilisana, i odgovarajuće povezana sa vanjskom prilaznom saobraćajnicom kojom se kreće specijalno vozilo za transport kontejnera sa otpadom (sl.4.2).



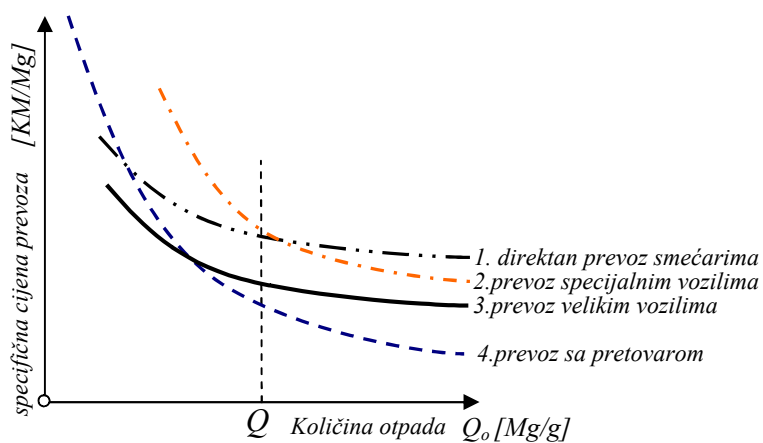
Slika 4.2 Specijalno vozilo za prevoz kontejnera sa otpadom

Za transport odnosno prevoz otpada koji je sakupljen putem posuda koriste se tzv. smećari (sl. 4.3) sa potisnom daskom.



Slika 4.3 Vozilo za transport otpada tzv. smećar sa potisnom daskom

Kod većih gradova (preko 80-90.000 stanovnika) gdje je lokacija deponije ili mjesto prerade otpada od grada udaljeno više od 15-20 km korisno je organizovati pretovarne stanice, jer se korištenjem vozila malog kapaciteta (smećarima) smanjuje produktivnost rada i poskupljuju eksploatacioni troškovi (sl.4.4).



Slika 4.4 Usporedba specifične cijene koštanja transporta otpada (Q) između direktnog prevoza i sa pretovarom [1]

U slučaju pretovarnih stanica sakupljanje i transport otpada odvija se kroz dvije etape: (1) sakupljanje otpada u manjim mjestima putem smećara i transport do pretovarne stanice i (2) pretovar otpada na pretovarnoj stanici u specijalna vozila većeg kapaciteta i odvoz na daljnji tretman.

4.3 Tretman komunalnog otpada

Tretman komunalnog otpada podrazumijeva završnu fazu procesa sanitarnog čišćenja teritorije sa koje je izvršena evakuacija otpada tj. njegovu neutralizaciju ili obradu.

Neutralizacija komunalnog otpada može biti putem odlaganja na smetlištima, i putem sanitarnog deponovanja, dok obrada podrazumijeva primjenu različitih tehničko-tehnoloških postupaka.

4.3.1 Odlaganje otpada na smetlištima

Odlaganje komunalnog otpada na smetlištima je najnesavršeniji u tehnološkom i sanitarnom smislu način tretmana otpadaka i eliminacije njihovog štetnog utjecaja na okolinu. Kao najjeftiniji način, on se široko koristi i u drugim zemljama (75%-85% svih gradskih otpadaka se odlaže na smetlištima), ali se sve više i napušta.

Otpaci se odlažu u vidu nabacanih gomila na ravnom terenu ili u jamama i jarugama.

Ravnanje, sabijanje i prekrivanje otpadaka izolirajućim slojem inertnog materijala se ne praktikuje.

Smetlišta su izvor zagađenja okoline sitnim frakcijama otpadaka, muhama, dimom od stalnog gorenja, kao i pojavom metana koji u datim uslovima može eksplodirati i da nanese velike ljudske i materijalne štete. Zbog odsustva nepropustljivog sloja na lokaciji smetlišta moguće je zagađenje podzemnih a i površinskih voda filtracijom procjedne vode. Smetlišta su i izvor klica zaraznih bolesti, obično nisu ograđena, pa je moguć pristup kako ljudi, tako i domaćih i divljih životinja, koje prenose te bolesti. Izdvajanje korisnog otpada na smetlištima nije dozvoljeno, mada je u praksi prisutno. Smetlišta se moraju kao način odlaganja otpada napustiti, a lokalitet sanirati i taj prostor rekultivirati.

4.3.2 Sanitarno deponovanje

Sanitarno deponovanje komunalnog otpada je postupak gdje se potpuno sprečava negativan uticaj dekompozicije organske mase na okoliš. Smatra se da je to i najjeftiniji način neutralizacije komunalnog otpada, mada se tim postupkom uništava dosta sekundarnih sirovina, ako one prethodno nisu izdvojene.

Tehnologija sanitarnog deponiranja podrazumijeva prije svega postojanje lokacije sa nepropusnom podlogom, te svakodnevno prekrivanje slojeva otpada zaštitnim inertnim materijalom, koji deponuju čini zatvorenim tzv. **bioreaktorom**. Izbor lokacije deponije predstavlja složen zadatak ne samo sa tehničkog i ekonomskog aspekta, nego i socijalno-političkog, jer je nužan i pristanak javnosti za takav ekološki projekat, kojeg ona najčešće osporava.

4.3.3 Metode obrade otpada

U upravljanju otpadom treba težiti što više reciklaži i korištenju izdvojenog otpada. Dosadašnja iskustva potvrđuju da se kroz reciklažu koristi najviše do 30% otpada, tako da još uvijek ostaje velika količina koju prije deponiranja treba preraditi na odgovarajući način.

Mogući način prerade otpada su različiti a najčešće se koriste slijedeće metode:

- biotermičke,
- fizičko-mehaničke,
- termičke i
- hemijske.

- 1) **Biotermičke metode** baziraju na biološkim procesima raspadanja organske materije koja se nalazi u otpacima, usljed djelovanja mikroorganizama. Konačan produkt biotermičke prerade je kompost. Koji se koristi kao organsko đubrivo i biogorivo u poljoprivredi. Služi kao sredstvo za kondicioniranje tla, a utiče i na suzbijanje korova. U posljednje vrijeme zbog prisustva teških metala, kao i visoke koncentracije iona natrija, kalcija i kalija u kompostu, smanjena mu je upotreba. Stoga se insistira, da se za kompostiranje koristi isključivo "čisto" bio-smeće. U zavisnosti od tehnološke šeme i opreme koja se koristi kod kompostiranja ovaj metod se ostvaruje na više načina: putem poljskog kompostiranja na

otvorenim površinama, bez prethodne pripreme otpadaka, isto kao prethodni način ali sa prethodnom pripremom otpadaka, prerada u specijalnim postrojenjima bez prethodne pripreme otpadaka (biotermske komore, potrojenja bez komora, staklenici i tople bašte), ubrzano kompostiranje u specijalnim komorama sa prethodnom pripremom otpadaka i industrijsko biotermsko prečišćavanje i prerada otpadaka.

- 2) **Fizičko mehaničke metode** baziraju na pogonima za sortiranje i iskorištavanje otpadaka kao sekundarnih sirovina. Iz ukupne mase otpadaka vrši se izdvajanje pojedinačnih komponenata (papir, tekstil, staklo, metal, kosti i sl.) u svrhu njihovog daljnjeg korištenja u industriji (proizvodnja papira, kartona, tehničke vate, netkanog platna i sl.). Modifikovani način ove metode je izrada ploča i blokova od otpada, što je uobičajeno u svjetskoj praksi.
- 3) **Termičke metode** su zasnovane na potpunom uništenju otpadaka putem **spaljivanja, sušenja** ili **pirolize** u specijalnim postrojenjima. U modernoj spalionici otpad nakon što se potpali uz dovodenje vazduha samostalno gori, na temperaturi između 800 i 1200°C. Otpad se odgovarajućim transportnim uređajima upućuje kroz ložište, koje je podjeljeno u nekoliko dijelova. Za nešto manje od jednog sata organski dijelovi otpada budu potpuno eliminisani. Šljaka se odvodi u vodene kupke i zatim dalje obrađuje. Dimni gasovi se nakon različitih sistema čišćenja ispuštaju kroz dimnjak. Alternativa spaljivanja otpada, mada rjeđe je termička metoda zvana piroliza. Pirolizom se vrši termička obrada putem zatvorenog dovoda vazduha. Ovom procesu prethodi usitnjavanje otpada što povećava troškove, a i iskorištenje toplote je u odnosu kod spalionica oko 70% manje. Nakon pirolize ostaje do 10% više ostataka nego kod spaljivanja. Prednosti termičkih metoda sastoje se u tome da se lokalitet postrojenja može izabrati relativno blizu područja opsluživanja, što utiče na smanjenje troškova transporta otpadaka za razliku od drugih metoda, te se mogu postići značajne uštede u građevinskom zemljištu. Daljnje prednosti se ogledaju u korištenju gorivih gasova koji se formiraju prilikom izgaranja otpadaka i toplote za proizvodnju električne energije, snabdjevanju toplotom stanica za spaljivanje otpadaka i okolnih objekata; zajedničkom

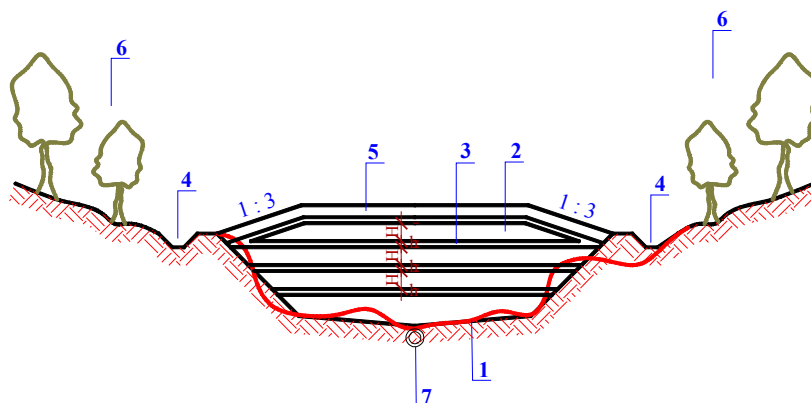
tretiranju čvrstih otpadaka i dehidriranog mulja za postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda, koji predstavlja balast u smislu odlaganja; šljaka i pepeo se koriste za građevinske svrhe, a metal kao sekundarna sirovina. Nasuprot prednostima koje pruža spaljivanje otpada postoje suprotstavljena mišljenja koja ističu da je otpad najotrovnije gorivo za koje se zna i da njegovim spaljivanjem nastaju **dioksini** i **furani** kao ultraotrovne materije (dioksini su oko 1000 puta otrovniji od cijankalija) koje prouzrokuju oštećenje jetre, teške kožne povrede i pretpostavlja se da su kancerogeni. Također se osporava i da je šljaka iz spalionice dobra kao građevinski materijal, a u isto vrijeme opasna i kada se odlaže na deponijama. Elektrofiltre, mokri elektrofiltre i uređaji za pranje gasova ne mogu toliko izdvojiti dioksina, furana i drugih otrovnih materija, da ostatak koji izlazi sa dimnim gasovima ne bi štetio ljudskom zdravlju.

- 4) **Hemijske metode** tretmana otpadaka predviđaju primjenu tehnoloških šema sa komplikovanom opremom i visokim eksploatacionim troškovima, tako da nisu našle širu primjenu u praksi.

4.4 Deponije

Objekti gdje se vrši odlaganje komunalnog otpada primjenom sanitarnog deponovanja nazivaju se **sanitarne** ili **reaktorke deponije** ili (kraće deponije). Na njima se obezbjeđuje potpuna sanitarno – epidemiološka neutralizacija otpada i postiže sigurnost za okolna naselja i okoliš, te personal koji upravlja deponijskim objektom. Svaka deponija ima dva bitna dijela, **prijemno – otpremnu zonu** i **zonu deponovanja otpada** što se definira kroz izradu odgovarajućeg projekta. Radi normalnog pogona deponije, nužno je da ista ima rješenu infrastrukturu kao što su pristupni put, vodovod, električna, kanalizacija, PTT mreža i sl.

Komunalni otpad se odlaže na pripremljenu vodonepropusnu podlogu (bazu) deponije, i to u slojevima debljine 0,2-0,3m i zbija buldozerom, ili još bolje, kompaktorom. Operacije se ponavljaju sve dok se ne postigne visina sloja $H = 2 \div 2,5\text{m}$ (slika 4.5).



Slika 4.5 Formiranje sanitarne deponije u procesu odlaganja komunalnog otpada : 1 - bazis deponije; 2 - zbijeni sloj otpada (H); 3 - prekrivni sloj inertnog materijala (h); 4 - obodni kanal za površinske vode; 5 - završni prekrivni sloj; 6 - zeleni zaštitni pojas; 7 - drenaža

Polaganje svakog novog sloja otpada (H) počinje minimum kroz godinu dana, tamo gdje je počeo prethodni sloj (radi ravnomjernije zbijenosti i zbog efikasnijeg otplinjavanja).

Svaka sekcija zbijenog otpada (H) prekriva se tzv. dnevnim prekrivnim slojem (h) internog materijala, debljine 15-30cm u prosjeku 20cm. **Dnevni prekrivni sloj** koji se također nabija ljeti se izvodi svakodnevno, a zimi svaki treći dan, i na taj način predstavlja dobru zaštitno-sanitarnu mjeru na deponiji. Izolirajuća prekrivka inertnog materijala koji je uskladišten po obodu deponije, može biti od pješčano – glinovitog materijala, isitnjenog građevinskog šuta, pepela, netoksičnog industrijskog otpada, obrađenog mulja sa postrojenja za prečišćavanje kanalskih voda i sl.

Pored dnevne prekrivke, izvodi se i **završna prekrivka** debljine najmanje 70cm. Ako se želi područje zatvorene deponije koristiti u poljoprivredne svrhe (još se koristi za izgradnju igrališta, masovni odmor i sl.), onda je ova debljina veća i iznosi 1,30m na koju dolazi humusni sloj od 20cm. Završno planiranje nagiba površine deponije treba da bude izvedeno sa tačnošću bar od 2 do 4%, kako bi se izbjeglo zadržavanje vode i mogući procesi erozije.

4.4.1 Procesi na deponiji

Na deponiji, kao u ostalom i na smetlištu, odvijaju se dugotrajni procesi razlaganja otpada u **aerobnim** (pri dovoljnoj prisutnosti kisonika) ili **anaerobnim** uslovima (pri nedostatku kiseonika). U površinskom sloju, na dubini do 3m, oni traju kroz period od 15-20 godina po zatvaranju deponije, a u dubljim slojevima taj proces je mnogo duži i iznosi 50-100 godina.

Razlaganje otpada na deponiji vrši se uz produkciju gasova i filtrata, (specifičan tamno-mrki fluid s povećanim sadržajem BPK, HPK, nitrata, hlorida i sulfata) te neznatne količine toplote. Temperatura odloženog otpada pri vlažnosti 40-50% ne prelazi 30-40°C. Izdvajanje gasova (metana, sumporvodonika i dr.) odvija se u toku 5-10 godina i više, od momenta zatvaranja deponije.

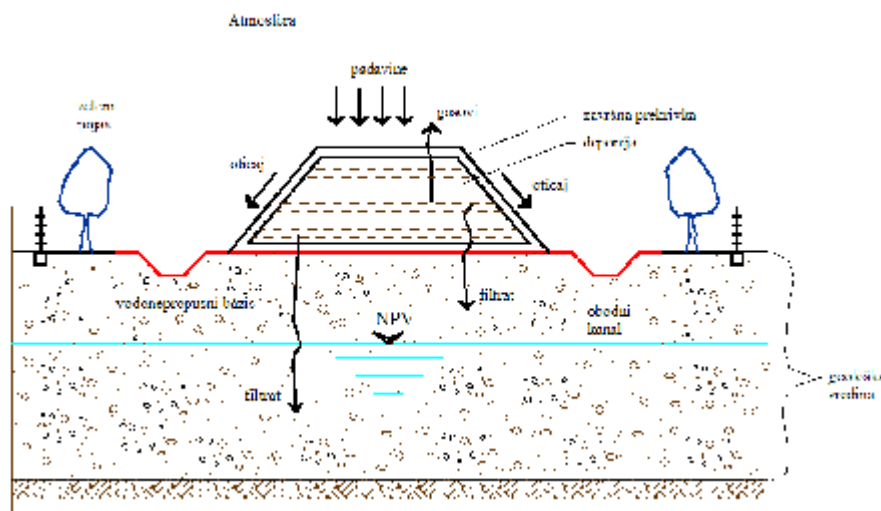
Kod primjene izolirajućih slojeva zagađenje atmosferskog zraka gasovima ukoliko se oni organizovano ne sakupljaju i koriste za proizvodnju toplote ili struje, vrši se na rastojanju najviše 50-100m od granice deponije.

Odloženi otpad sliježe se za 30-50% od prvobitne visine, posebno u prvih 5 godina. U vezi stim, a i zbog izdvajanja gasova nije za preporuku izgradnja „jačih“ građevinskih objekata na površini zatvorene deponije.

4.4.2 Zaštita okoliša

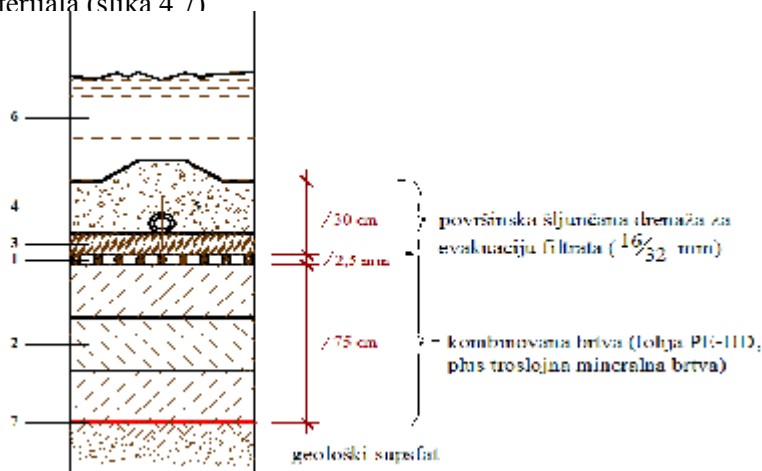
Za razliku od smetlišta, koje djeluje kao jedna neuređena deponija, gdje se zbog procesa razgradnje otpadne materije, zagađuju svi fizički parametri okoliša (voda, zrak i zemljište), kod deponija to se ne dešava, zbog primjene tehnologije sanitarnog odlaganja otpada i stim u vezi preduzetih mjera zaštite okoliša.

Osnovni princip u vezi zaštite okoliša kod deponija je obezbjeđenje bazisa deponije da bude vodonepropusan (sl. 4.6), kako bi se kontrolisano sakupljao filtrat i gasovi te odgovarajuće tretirali i kasnije bezbjedno didponirali odnosno koristili.



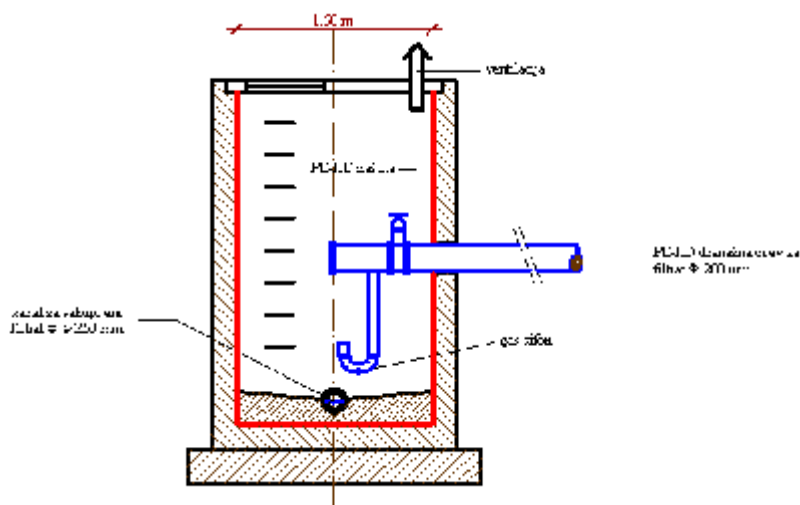
Slika 4.6 Deponija i okoliš

Idealno je ako se može obezbijediti da lokacija deponije bude na prirodno vodonepropusnom terenu debljine 3-5m, gdje je koeficijent filtracije $k_f < 10^{-9} \text{ m/s}$, a nivo podzemnih voda (NPV) ispod vodonepropusnog dijela na većoj dubini od 1,0m. Ako prirodni uslovi terena ne pružaju garanciju vodonepropusnosti, onda se radi vještačka podloga (brtva), najčešće kao kombinovana od folije i mineralnog materijala (slika 4.7)



Slika 4.7 Šematski pikaz kombinovane bazisne brtve: 1- folija PE-HD, 2- troslojna mineralna brtva, 3- geotekstilana zaštita, 4- površinska šljunčana drenaža, 5- drenažna cijev $\phi \geq 200 \text{ mm}$, 6- otpad, 7- planum deponije

Na taj način se sprečava da filtrat izlazi nekontrolisano iz tijela deponije, nego se on sakuplja po nepropusnom bazu, najčešće tzv. površinskom šljunčanom drenažom i skupljačem filtrata, drenažnom cijevi $\phi \geq 200\text{mm}$ izvodi preko armirano betonskog šahta (sl. 4.8) van tijela deponije, na odgovarajući tretman (prečišćava ili recirkulacijom vraća na tijelo deponije), čime se izbjegava zagađenje podzemnih a i površinskih voda.



Slika 4.8 Kontrolni armirano-betonski šaht za filtrat van tijela deponije

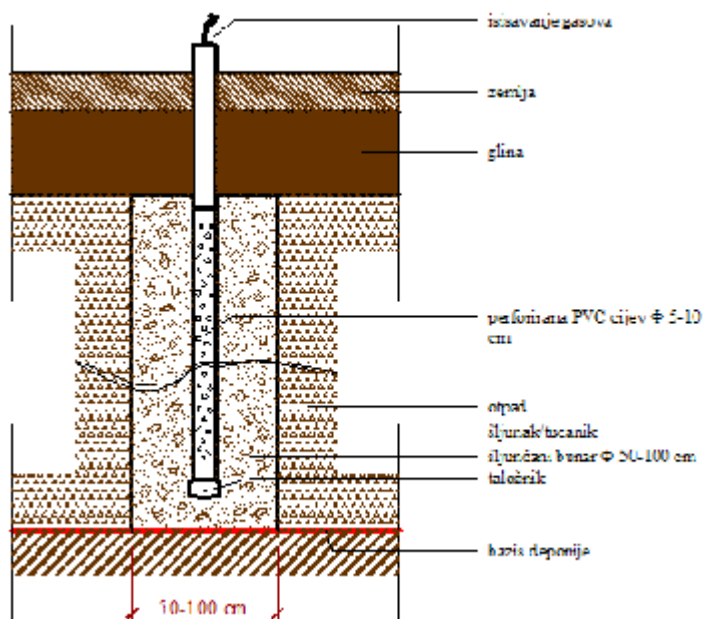
Osnovna mjera zaštite površinskih voda od zagađenja, je sprečavanje njihovog doticaja do tijela deponije. U svrhu toga, izvodi se sistem obodnih kanala sa vodonepropusnom oblogom.

Za smanjenje filtrata značajna je uloga kako dnevnog, tako posebno, završnog prekrivnog sloja.

Od gasova koji se produkuju u tijelu deponije najopasniji je metan (CH_4) koji prisutan u zraku u koncentracijama 5 do 15% postaje eksplozivan (specifična težina metana je manja od specifične težine zraka). Zbog toga je, ali i radi zaštite okoliša od gasova, nužno iste sakupljati i koristiti za proizvodnju energije.

Kod manjih deponija prakticira se samo odzračivanje deponije određenim brojem odzračnih bunara (sl. 4.9), jer se radi o manjim količinama produkovanih gasova (podaci govore da se iz 1m^3 otpada izdvaja približno $1,5\text{--}1,8\text{m}^3$ gasova), koje nije racionalno koristiti za

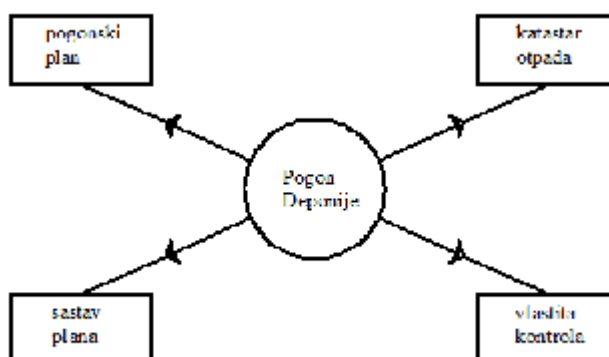
energetske svrhe. broj i prostorni raspored svih bunara, kao i njihova konstrukcija zavise od veličine i oblika tijela smetljišta, te sastava odlaganog otpada.



Slika 4.9 Odzračni bunar za deponijske gasove

Izvođenjem prekrivnog dnevnog sloja, od inertnog materijala, na prostoru deponije onemogućena je pojava požara, neprijatnog mirisa te zagađenje zraka. Ukoliko ipak, dođe do požara, on se onda mora vrlo brzo gasiti pomoću zasipnog materijala, vode ili hemikalija.

Potpuna sigurnost u zaštiti okoliša na području deponije, pored rečenog, postiže se i pravilnom eksploatacijom deponije uz redovnu kontrolu (moritoring) doveženog otpada, kontrolu filtrata i gasova i njihovog tretmana, a sve na osnovi pogonskog plana (sl. 4.10) i njegovih pojedinih dijelova (primjena projektovnih mjera zaštite, korištenje odgovarajuće mehanizacije dr.).



Slika 4.10 Pretpostavke za zaštitu okoliša pri eksploataciji deponije izradom pogonskog plana

Sastavni dio mjera za zaštitu okoliša je i organizacija sanitarno – zaštitne zone oko deponije. Ona se projektuje paralelno sa izradom projekta deponije, minimalne širine 300-500m.

Zona sanitarne zaštite se organizuje oko fizički ograđenog deponijskog prostora, i popunjava odgovarajućim hortikulturnim sadržajem, i čini prostornu cjelinu po zatvaranju deponije sa njenom rekultivisanom površinom.

4.4.3 Izbor lokacije deponije

Izbor lokacije deponije je najvažniji zadatak kod planiranja deponije, ne samo sa tehničkog i ekonomskog aspekta, nego i socijalno-političkog stajališta, budući to najdirektnije zadire u interese opslužujućeg stanovništva i administrativno-političke granice naseljenih mjesta i širih regija. Problem je posebno zaoštren kod realizacije regionalnih deponija, koje imaju prednost u odnosu na pojedinačna rješenja za svaki grad. U tu svrhu, veoma je važno izvršiti niz istraživačkih radova uključivo izraditi i odgovarajući elaborat o izboru optimalnog rješenja. Izbor lokacije deponije vrši se na osnovu niza uticajnih faktora:

- planirani rok korištenja deponije, ne manji od 5 godina, a najbolje za period 15-30 godina,
- broj obuhvaćenih stanovnika za planski period,

- količina otpada, na bazi specifične produkcije za sadašnje buduće stanje,
- dimenzije i geometrijski oblik površine deponije,
- dozvoljena visina tijela deponije,
- stepen zbijenosti otpada pri odlaganju na deponiji,
- prirodni uslovi okoliša (topografija, klimatski i hidrološki uslovi, geološko-hidrogeološka građa terena, inženjersko-geološki i geomehanički uslovi, uslovi obezbjeđenja prekrivnog materijala, uslovi flore i faune, pedološki uslovi i sl.),
- transportne udaljenosti,
- uslovi zaštite okoliša,
- postojanje odgovarajuće infrastrukture itd.

5. ENERGETSKA INFRASTRUKTURA

Najčešće korišteni energenti na gradskom području su električna energija, prirodni gas, tečna i čvrsta goriva. Shodno tome, nezamjenljiv je energent električna energija, danas prisutna i kod svakog seoskog naselja. Veći gradovi, pogotovo gdje ima uslova, sve više koriste i prirodni gas kao energetska sredstvo, kako iz ekonomskih tako i iz ekoloških razloga.

Zagrijavanje većih stambenih naselja, ali i cjelokupnih gradskih područja, naročito u našim uslovima gdje nema drugih mogućnosti, uobičajno je da se vrši putem toplana koje rade na tečno ili čvrsto gorivo.

Svaki od nabrojanih energenata ima svoje sisteme čiji su osnovni dijelovi mreže, kao sastavni dio ukupne gradske infrastrukture i to najčešće ukopane ispod površine terena. Zbog određenih specifičnosti mogu se odvojeno posmatrati tri vrste energetske sistema: elektroenergetski, gasni i toplifikacijski.

5.1 Elektroenergetika

Općenito, **elektrifikacija** je osnova progresa svih grana privrede i nezamjenljiva u životu i djelovanju naseljenih mjesta, posebno gradova.

Elektroenergetski sistem podrazumijeva sveukupno proizvodnju, prenos i distribuciju električne energije. Osnovni elementi toga sistema su elektroenergetska postrojenja, mreže i niz drugih elektroenergetskih transformatorskih podstanica različitog kapaciteta i namjene.

Razvoj i formiranje objedinjenog elektroenergetskog sistema bazira na proizvođačima električne energije, kao što su termoelektrane (TE) i hidroelektrane (HE). Sve češće, tamo gdje nema drugih uslova podižu se nuklearne elektrane (NE), same ili objedinjene sa (TE) i (HE).

Da bi se u što većoj mjeri smanjili gubici u prenosu i obezbijedilo što kvalitetnije snabdijevanje električnom energijom, na području grada često egzistiraju elektro-energetske mreže napona 110kV i više. Tim elektroenergetskim mrežama prenosi se električna energija u samo središte konzuma - pojedine gradske rejone, a zatim putem transformatorskih podstanica u distributivnu mrežu. Za prolaz trasa elektroenergetskih vodova napona 110kV i više, neophodni su pojasevi određene širine. Za elektroenergetska postrojenja i transformatorske

podstanice naponskih nivoa 110kV i više, potrebna površina teritorije se određuje prema važećoj zakonskoj regulativi.

Termoelektrane kao što je slučaj u Tuzli, Ugljeviku, Kaknju i dr., locirane su na periferiji grada u industrijskoj zoni, sa obezbijeđenom odgovarajućom sanitarno-zaštitnom zonom. Za rad TE nužno je raspolagati sigurnim izvorom vode (npr. akumulacija Modrac za TE Tuzla), u svako doba godine.

U cilju smanjenja gubitaka u elektroenergetskim mrežama napona 10(20)kV i sniženja troškova, za njihovo građenje u gradovima je praksa izgradnje "dubljih" linija, koje ulaze u gradske zone naponom 35kV i više, i to najčešće u vidu ukopanih kablovskih mreža.

Unutar gradskog područja (s izuzetkom maloetažnih objekata i seoskih naselja) kablovima se izvode vodovi za prenos napona 10(20)kV i više.

Transformatorske podstanice napona 35/10(20)kV do kojih su izvedeni dugi vodovi visokog napona u gradske zone, trebaju biti obezbijeđene pristupnim putevima i površinom za ulaz i izlaz kablovskih vodova. Za takve objekte je nužno obezbijediti teritorij površine koju propisuje važeća zakonska regulativa.

Električne napojne mreže vozila u gradskom prevozu (tramvaji i trolejbusi) su uglavnom jednosmjerne mreže ili pak elektroenergetske mreže sa sniženom frekvencijom i najčešće nominalnim naponom 550-650kV.

5.1.1 Gradske električne mreže

Elektroenergetske mreže na području grada, prije svega, treba da budu sigurne u eksploataciji. To se postiže projektovanjem elektroenergetskih mreža prema važećim propisima. Korisnici su osim toga, zainteresovani za visok kvalitet električne energije (neprekidno napajanje, odgovarajući napon, frekvencija, itd.). Elektroenergetske mreže u gradu također je potrebno da budu takve da se u perspektivi bez problema mogu proširiti.

Sistem snabdijevanja električno energijom (šema električne mreže) grada zavisi od potrebnog stepena sigurnosti u napajanju električnom energijom i saglasnosti sa kategorijom korisnika.

Prvu kategoriju čine korisnici gdje prekid u snabdijevanju električnom energijom može prouzrokovati opasnost po život ljudi, proizvesti značajnu štetu privredi ili izazvati poremećaj u funkcionisanju posebno važnih gradskih objekata.

U gradovima prvoj kategoriji pripadaju grupe korisnika s opšim opterećenjem većim od 10000kW, a također korisnici električne

energije tipa liftova, protivpožarnih pumpi i sl., zatim sistemi radio veze, telegraf, telefonske stanice, vodovodni i kanalizacioni uređaji, rejonske kotlane itd. Tu pripadaju i objekti za masovno okupljanje ljudi (pozorišta, kina, univerziteti, stadioni i sl.), a također i posebni bolnički i klinički centri (npr., operacione sale).

Drugu kategoriju čine korisnici gdje je prekid u snabdijevanju električnom energijom vezan s masovnim posljedicama i narušenošću normalne djelatnosti velikog broja ljudi.

Ovo se odnosi na grupe gradskih korisnika s opštim opterećenjem od 300-10000kW za kablovsku mrežu ili od 1000kW i više za vazдушnu mrežu, svi objekti viši od pet etaža, administrativno-javni objekti, zdravstveni objekti, dječija obdaništa, škole, kasarne i biblioteke.

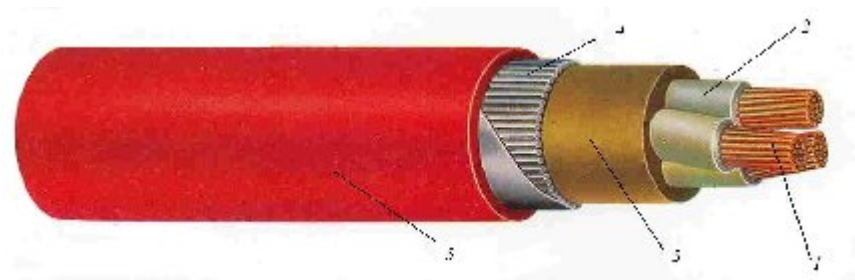
Treću kategoriju čine svi ostali potrošači električne energije.

Korisnici električne energije prve kategorije obezbjeđuju se sa dva nezavisna izvora napajanja, sa automatskim uključenjem rezervnog, čije beznaponsko trajanje ne prelazi jednu sekundu.

5.1.2 Kablovske linije

Na gradskom području uobičajno je korištenje kablovskih vodova. Sastav energetskog kabela vidljiv je sa sl.5.1

Vodiči za provođenje električne struje rade se od aluminijuma ili iz bakra. Prednost se daje, zbog niže cijene koštanja, aluminijumskim vodičima.

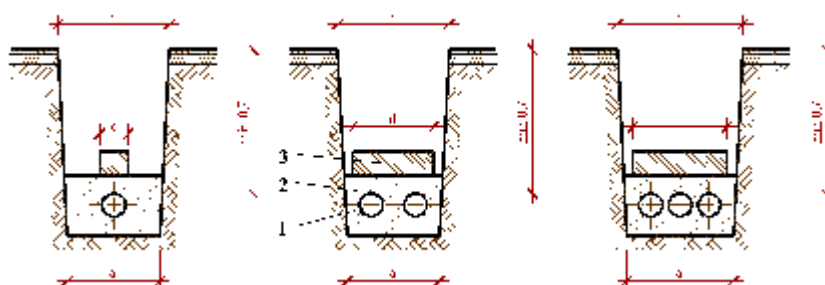


Slika 5.1 Energetski kabel [3]: 1- provodnici; 2 - izolacija; 3- ispun; 4-armatura; 5- plašt

Najekonomičniji način polaganje kablova je u iskopane rovove uzduž objekata u trotoarima. Kod planiranja novih dijelova naselja pripadajuće kvartalne mreže polažu se u podrumskim prostorijama.

Kod izbora trase treba izbjegavati zemljište koje je agresivno na metalne dijelove.

Pri polaganju kablova u iskopane rovove kod uobičajnih terenskih uslova, dubina je 70cm računajući od gornje površine kabla (sl.5.2). Nije preporučljivo zajedničko polaganje više od šest kablova. Dopusšteno rastojanje među kablovima reguliše se odgovarajućim propisima.



Slika 5.2 Polaganje elektrokablova u iskopane rovove: 1- kabel; 2- pijesak ili rastresita zamlja; 3- cigla

Po dnu kanala ugrađuje se posteljica od nasutog pijeska, a nad kablom zasip od pijeska i rastresite zemlje koja ne sadrži kameni agregat, građevinski šut ili šljaku.

Kabel se polaže vijugavo, sa odstupanjem od pravca 1-3% i štiti od mehaničkih oštećenja ciglom.

Prije zasipanja rova provjerava se ispravnost susjednih podzemnih objekata, poslije čega se rov zasipa slojem zemlje debljine do 20 cm, s laganim ručnim nabijanjem i polijevanjem vodom.

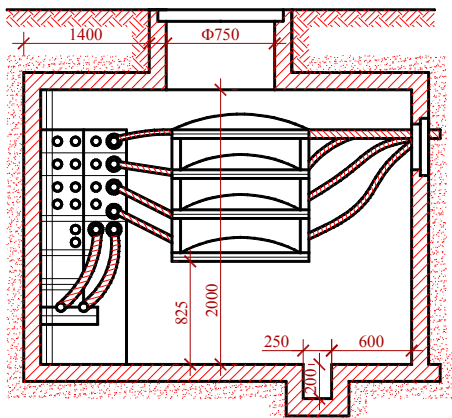
Nad podzemnim kablovima napona višim od 1000V obezbjeđuje se zaštitna zona širine po 1m, s obje strane od krajnjih kablova.

Pri ukrštanju kablova sa ulicama i trgovima, željeznim prugama (tramvajskim), vodovodom itd., kao i slučajevima kad treba smanjiti rastojanje među kablovima i između njih i drugih podzemnih komunikacija, kablovi se polažu u cijevi.

Kada velik broj kablova presijeca ulice i trgove s modernim kolovozom i intezivnim saobraćajem gdje je isključeno njihovo otkopavanje, kablovi se polažu u cijevne blokove (kablovice) u kojima su predviđeni i rezervni otvori. Materijal cijevi (čelik, azbest-cement, beton i dr.) bira se u odnosu na osobine zemljišta (agresivnost) i druge.

Šahtovi. Na rastojanju, koje je definisano mogućnošću polaganja kablova na mjestima promjene pravca trase, a također i na mjestima

prelaska kablova iz cijevnih blokova u zemlju, izgrađuju se šahtovi raznih konstrukcija od različitog materijala. Najčešće su to šahtovi od betona i armiranog betona (slika 5.3).



Slika 5.3 Betonski kablovski šaht [3]

5.1.3 Izvođenje elektroenergetskih vodova

U rejonima sa razvijenim podzemnim komunikacijama, a također pri izlazu velikog broja kablova iz elektroenergetskog postrojenja, opravdano ih je polagati u **kolektore i tunele**.

U kolektorima kablovi se polažu zajedno sa toplovodima i vodovodom. Pri tome, odozdo prema gore polažu se toplovodi i vodovodi u skladu sa odgovarajućim propisima. Kod dostignutog rasporeda komunikacija, s jedne strane polažu se s vrha kablovi veze, a niže toplovodi, a s druge strane, odozgo energetske kablovi a niže vodovodi. Među različitim komunikacijama postavljaju se vatrostalne i druge pregrade i neophodan prolaz. Temperatura u kolektoru ne treba da bude viša od 5°C, zbog čega je toplovođe neophodno izolovati. Iznad kolektora nasipa se sloj zemlje visine najmanje 0,5m. Perforirani blokovi i kolektori grade se u padu (ne manji od 0,1%) radi mogućnosti odvodnjavanja.

Na mjestima ukrštanja kablova i toplovoda u zemlji, temperatura zemljišta ne bi trebala da bude veća od 10°C.

Razmatranje varijanti vrste i načina izgradnje elektroenergetskih mreža bazira na upoređenju eksploatacionih i investicionih troškova (T):

$$T = T_e + \frac{T_i}{T_o} \text{ (KM/g)} \quad (5.1)$$

T_e - godišnji eksploatacioni troškovi (KM/g)

T_i - investicioni troškovi (KM)

T_o - normativni rok otplate do (8 god)

Kod usporedbe varijanti uvažavaju se i uzimaju u obzir također, troškovi koštanja obojenog metala, gubici električne energije, vrste izolacija itd.

5.2 Gasifikacija

Savremeni gradovi, nastanjeni velikim brojem stanovnika i razvijenom industrijom trebaju značajnu količinu toplote. Najsavršeniji oblik toplote za stanovništvo, komunalne i industrijske potrebe je ona dobijena na bazi prirodnog gasa.

Po upoređenju sa čvrstim, gasno gorivo ima niz prednosti:

- najekonomičnije,
- poboljšava sanitarno-higijensko stanje gradova (ne postoji izbacivanje u atmosferu ugljene prašine, pepela i štetnih sumpornih gasova),
- olakšava napore čovjeka u življenju i radu,
- oslobađa unutargradski transport od prevoza goriva i teritoriju grada od skladištenja goriva i odlaganja pepela i šljake.

Osim toga, gasno gorivo moguće je transportovati cjevovodima na velika rastojanja, i centralizovano raspodijeliti po teritoriji grada. Primjena gasa olakšava automatizaciju toplotnih proizvodnih procesa i smanjuje broj opslužujućeg personala.

Sastav prirodnog gasnog goriva predstavlja smjesu nekoliko vrsta gasova, pri čemu su osnovni dijelovi gorući gasovi- ugljikovodici (metan, etan, propan i dr.), vodik i ugljikov oksid. Ostatak čine negoreći gasovi (azot, ugljična kiselina), koji se nazivaju balastom.

Gorući gasovi dobijaju se iz prirodnih izvora tj. unutrašnjosti litosfere (prirodni gas) i iz tečnog i čvrstog goriva putem njihove termičke obrade (vještački gas).

Stanje gorućeg gasa definiše se njegovom količinom, pritiskom i temperaturom.

Izvijesno, mnogi vidovi gorućih gasova različiti su po fizičko-hemijskim svojstvima i toplotnoj vrijednosti. Također, proizilazi iz tehničko-ekonomske analize, da se za snabdijevanje gasom gradova koriste samo gasovi čija je toplotna moć veća od $12560\text{--}14650\text{ J/nm}^3$.

Prirodni gasovi imaju visoku toplotnu sposobnost, nizak sadržaj balasta i za većinu odsustvo sumporvodika i drugih štetnih primjesa.

Prirodni gasovi imaju toplotnu sposobnost $31400\text{--}35588\text{ J/nm}^3$, specifičnu težinu $0,73\text{--}0,75\text{ kg/nm}^3$ i sadržaj (po zapremini) 75-98% metana, 0,5-11% etana, propana, butona i pentona, 0,1-0,7% ugljične kiseline i 1-15% azota.

Vještački gorući gasovi dijele se na dvije grupe.

U prvu grupu spadaju visokotemperaturni gasovi (1000°C) i srednjotemperaturni ($500\text{--}600^\circ\text{C}$), koji se dobijaju destilacijom pri zagrijavanju čvrstog ili tečnog goriva bez dostupa vazduha. Predstavnikom te grupe javljaju se koksno-hemijski, koksno-gasni, škriljasti gasovi i dr.

U drugu grupu spadaju gasovi tzv. neprekidne gasifikacije, dobijeni pri zagrijavanju goriva s djelimičnim sagorijevanjem u toku vazduha, kisika ili njihove smjese s vodenom parom. Njihovi predstavnici su gasovi iz generatora i iz visokih peći.

U gorućim i to posebno vještačkim gasovima, sadržane su štetne i balastne primjese. U štetne i otrovne primjese spadaju sumporvodoničnik, amonijak, cianidna jedinjenja i ugljična kiselina. Najopasnijom i štetnom komponentom gorućeg gasa javlja se sumporvodoničnik, visokotoksični otrov, koji također jako korodirajuće djeluje na metale.

Postojanje u gorućem gasu balastnih primjesa snižava njihovu toplotnu sposobnost i povećava specifičnu težinu.

To i drugo dovodi do povećanja prečnika gasovoda, a tim i do većih rashoda metala i kapitalnih ulaganja kod magistralnih vodova.

Sadržaj kiseonika u gorućem gasu može biti najviše 1% (po zapremini), kako bi se isključila mogućnost nastanka smjese koja bi se transformisala s vazduhom u tečno stanje.

Neki oblici gorućih gasova (npr., propan, butan i njihove smjese) inače koriste se u tečnom stanju.

Sistem raspodjele gasa računa se na maksimalnu satnu potrošnju, koja je određena prema ukupnom dnevnom grafikonu potrošnje gasa svih potrošača. Računska satna potrošnja gasa (V_h) za stanovništvo i komunalne potrebe određuje se kao dio godišnje potrošnje gasa po formuli:

$$V_h = k_h \times V_g \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (5.2)$$

k_g - koeficijent satnog maksimuma

V_g - godišnja potrošnja gasa (m³/h)

5.2.1 Gasni sistemi

Sistem snabdijevanja gasom nekog grada sastoji se od slijedećih osnovnih objekata: stanica za raspodjelu gasa, gradske podzemne gasovodne mreže različitog pritiska, regulirajućih punktova gasa, priključaka za objekte, a također gasnih instalacija u objektima i odgovarajućih uređaja koji koriste gas.

U zavisnosti od maksimalnog radnog pritiska gasa, gasovodi se dijele na slijedeće kategorije:

- niski pritisak, do 0,05 bara,
- srednji pritisak od 0,05 do 3 bara,
- visoki pritisak od 3 do 6 bara i pritisak od 6 do 12 bara.

Gasovodi niskog pritiska koriste se za snabdijevanjem gasom stambenih i javnih objekata, a također manjih industrijskih pogona i komunalnih preduzeća.

Gasovodi srednjeg i visokog pritiska (do 6 bara) polažu se radi napajanja distribucionih gasovoda niskog i srednjeg pritiska (preko regulacionih stanica), a također industrijskih pogona (preko mjesnih regulacionih gasnih stanica i uređaja).

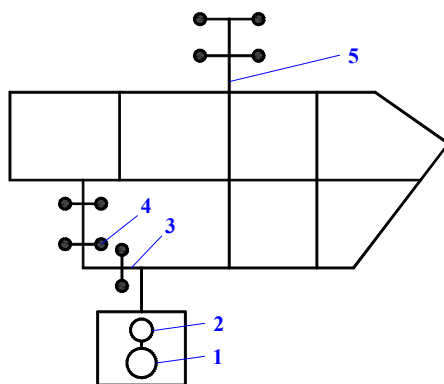
Gasovodi visokog pritiska (sa pritiskom većim od 6 bara) predviđeni su za dotur gasa gradskim regulacionim stanicama, kao i mjesnim regulacionim stanicama krupnih potrošača koji trebaju visoki pritisak.

Po obliku u situaciji sistemi raspodjele gasa, po analogiji sa sistemom distribucije vode, mogu biti kao granata, prstenasta i mješovita gasna mreža.

Konfiguracija gasne mreže, a također u njoj odabranih pritiska u gradskim uslovima, zavise od razmještaja stanica za raspodjelu gasa i regulirajućih gasnih punktova.

Na sl. 5.4 predstavljena je šema jednostepenog sistema raspodjele gasa, sastavljena od gasne stanice niskog pritiska(1), završnog regulacionog gasnog punkta niskog pritiska (2), prstenaste gasne mreže niskog pritiska (3), priključaka (4) i granate gasovodne mreže niskog pritiska (5).

Sem jednostepene gasne šeme, mogu da budu još dvostepena i trostepena šema, gdje je raspodjela gasa visokog, srednjeg i niskog pritiska.



Slika 5.4 Jednostepena šema raspodjele gasa putem gasne mreže niskog pritiska

Koja će biti odabrana šema zavisi od nekoliko uticajnih faktora:

- dostave svim potrošačima računске količine gasa prema zadatom pritisku
- najmanji investicioni i eksploatacioni troškovi i
- pouzdanost pogona.

5.2.2 Trasiranje i hidraulički proračun gasovoda

Radi obezbjeđenja uspješnog snabdijevanja gasom najčešće se projektuje prstenasta i mješovita mreža. Granata mreža obično se planira kad je moguć neprekidan dotur gasa potrošačima.

Pri trasiraju gasovoda, iz ekonomskih razloga, treba težiti da se gas dotura najkraćim putem. Mrežu i objekte na njoj treba projektovati tako, da je moguće kasnije proširenje.

Gasovodi visokog pritiska trasiraju se po periferiji naselja ili u rejonima gdje je mala gustina naseljenosti.

Gasovodi srednjeg i niskog pritiska, prisutni su u svim ulicama, težeći pri tome da se oni većeg prečnika polažu u ulicama gdje je manji intezitet saobraćaja.

Gasna mreža obično se ukopava u teren (podzemna mreža). Na području industrijskih i komunalnih pogona moguće je i nadzemno polaganje.

Dozvoljeo je polaganje dva ili više gasovoda u jednom rovu.

U tom slučaju rastojanje među cjevovodima treba da je takvo, da je omogućena njihova normalna montaža i održavanje (remont).

Gasovodi, koji transportuju vlažni gas polažu se niže nivoa smrzavanja tla, računato od vrha cjevovoda.

Radi oticaja i odvođenja kondenzovane vlage oni se izvode u padu, a na najnižim mjestima postavljaju se sabirni šahtovi kondenzata.

Gasovodi, koji transportuju suhi gas, polažu se u zoni smrzavanja tla, na dubini ne manjoj od 0,8m, od površine terena do vrha cijevi.

Gasovodna mreža izvodi se od metalnih cijevi. Njihov prečnik i dužina u značajnoj mjeri zavise od količine i položaja gasnih raspodjelnih stanica.

Hidraulički proračun vrši se na bazi računске šeme gasovodne mreže, koja se definira po izvršenom trasiranju na geodetskoj podlozi odgovarajuće razmjere. Kod hidrauličkog proračuna gasne mreže razlikuju se zapreminska i težinska brzina, te količina gasa ili protok.

Zapreminska brzina gasa (v_z) računa se po formuli:

$$v_z = \frac{V}{A} \text{ [m/s]} \quad (5.3)$$

V - zapremina količine gasa (m^3/s)

A - površina poprečnog presijeka cijevi (m^2)

Težišna brzina (v_t), može se odrediti po formuli:

$$v_t = \frac{G}{A} = \frac{V_\gamma}{A} \text{ (kg/m}^2\text{s)} \quad (5.4)$$

G - težinski protok gasa (kg/s)

V_γ - specifična težina gasa pri datom pritisku i temperaturi (kg/m^3)

U području računskih brzina kretanje gasa se u cjevovodima uglavnom odvija po turbulentnom režimu. Samo u cjevovodima malog prečnika, kod manjih brzina kretanja gasova, može se računati da vlada laminarni režim.

U procesu kretanja gasa kroz cjevovod, u vezi izmjene pritiska, mijenja se i njegova zapremina, tj. nastaju promjene stanja gasa.

Razlikuju se tri procesa izmjene stanja gasa:

1. adiabatičko,
2. izotermičko i
3. politropično.

Pošto se obično gasovodi polažu ukopavanjem u tlo, gdje je izmjena temperature za vrijeme kretanja gasa zanemarljiva, to su za podzemne cjevovode najvjerojatniji izotermički procesi promjene stanja gasa.

Gubici na gasovodima računaju se prema formuli Darsy-Vajsbaha:

$$p_1 - p_2 = \lambda \frac{v^2 l \gamma}{2gd} \quad (5.5)$$

λ - bezdimenzionalni koeficijent trenja, zavisan od karaktera kretanja fluida i stanja površine stjenki cjevovoda,

v - brzina kretanja gasa (m/s)

l - dužina cjevovoda (m)

γ - specifična težina gasa (kg/m³)

g - gravitacija (m/s²)

d - prečnik cjevovoda (m)

Za hidraulički proračun gasovoda koriste se izrazi, formulisani na osnovu jednačine (5.5).

Hidraulički proračun prstenaste mreže dosta je složen, budući su neizvjesne dvije veličine-prečnik gasovoda i računski protok po ukupnoj mreži.

Za proračun gasne prstenaste mreže postavljaju se dva uslova:

1. suma protoka, koji dotiču ka čvoru treba da je jednaka sumi otačajnih protoka iz tog čvora,
2. u prstenu mreže gubici pritiska na dijelu sa smjerom kretanja gasa u pravcu kretanja kazaljki na satu, treba da su jednaki sumi gubitaka pritiska na dijelu sa smjerom kretanja gasa u protivnom smjeru kazaljki na satu, tj.

$$\sum(-H_d) + \sum(+H_i) = 0 \quad (5.6)$$

Obično pravac kretanja gasa prema smjeru kretanja kazaljki na satu ima pozitivan znak (+), a u suprotnom pravcu negativan znak (-).

Ispunjenje drugog uslova proračuna obezbjeđuje minimum troškova energije na savlađivanju otpora u mreži tj. postižu se najracionalniji rezultati proračuna.

Metodika proračuna gasne prstenaste mreže analogna je metodici proračuna prstenaste vodovodne mreže.

5.2.3 Izgradnja gasne mreže i objekata

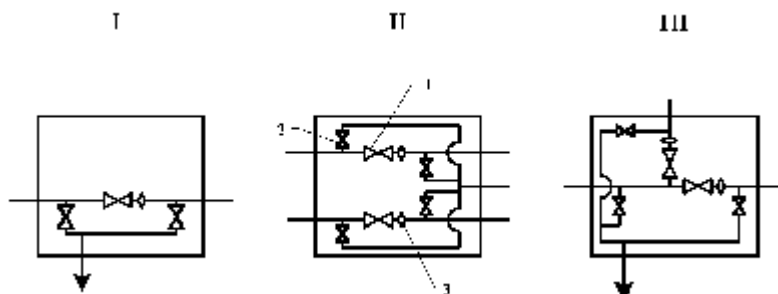
U savremenim uslovima gasovodna mreža izvodi se od **čeličnih bešavnih i šavnih cijevi**. Osnovna karakteristika ovih cijevi je stalnost mehaničkih svojstava po čitavom perimetru poprečnog presijeka.

Čelične bešavne cijevi rade se dijametra 57 do 426mm, dok su one elektrovarene dimenzija 426 do 1620mm, s debljinom stjenka od 7 do 16mm. Postoje i druge dimenzije u zavisnosti od proizvođača i tehnologije izvršenja.

Spojevi na cjevovodima izvode se varenjem u rovu. Spoj sa navojem nije dopušten kad se polaganje gasovoda izvodi ispod površine terena. Spojevi sa flanšama dopušteno je da se izvode samo u šahtovima, na mjestima veze armature sa falanšom, a također i kod kompezatora i drugih detlja.

Na mreži gasovoda ugrađuju se različite **armature** (zatvarači i sl.) i **fuzonski komadi**. Za izvođenje krivina i odvojaka, a također prelaska sa jednog dijametra na drugi, koriste se fazonski komadi.

Zatvarači se ugrađuju u šahtove ili ukopavaju u teren sa odgovarajućom zaštitom. U zavisnosti od uloge i broja zatvarača i drugih uređaja, njihov razmještaj u šahtu može biti po različitim montažnim šemama (slika 5.5).

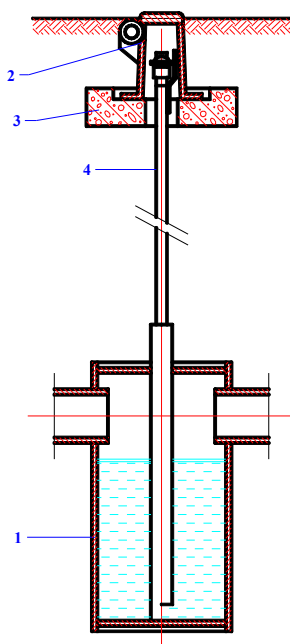


Slika 5.5 Različite montažne šeme u šahtovima gasovodne mreže [3]:
(I-III); 1 i 2 – zatvarači; 3- komenzator

Kako u prirodnom, tako i u vještačkom gasu obično ima određena količina vodene pare, koja se pri kretanju gasovodom kondezuje na stjenkama gasovoda. Radi sakupljanja vlage i njenog odstranjenja primjenjuju se kondenzacioni lonci, koji se ugrađuju na najvišim tačkama gasovoda (slika 5.6).

Konstrukcija kondenzacionog lanca bira se u zavisnosti od količine vlage, koja se formira u odnosu na sastav gasa i veličine pritiska u mreži.

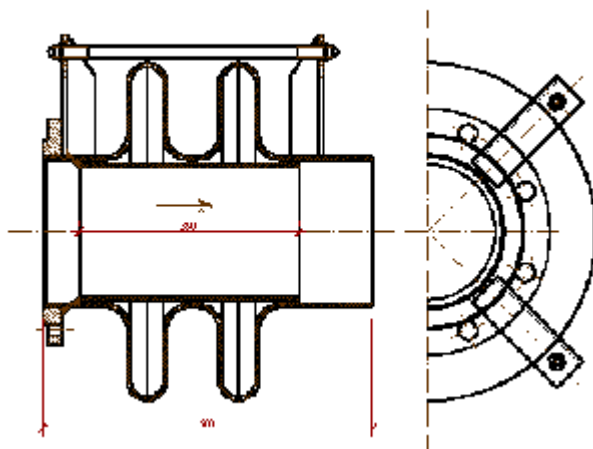
Kolebanje temperature zemljišta izaziva promjenu naprezanja u gasovodima i armaturama koje su na njima montirane. S ciljem da se smanje ta naprezanja, a također radi demontaže i montaže narednog zatvarača, primjenjuju se kompenzatori.



Slika 5.6 *Primjer sabirnika kondenzata kod gasovoda koji transportuje vlažni gas niskog pritiska [3]: 1- sabirnik; 2- zaštitna kapa; 3- betonski podmetač; 4- cijevčica za evakuaciju kondenzata*

Kod podzemnog polaganja gasovoda najrasprostranjeniji kompenzator je oblika sočiva koji se ugrađuje u šahtovima zajedno sa zatvaračima.

Dvosočivni kompenzator s jednom flanšom pokazuje slika 5.7. Sočivni kompenzatori proizvode se od tankih čeličnih limova.



Slika 5.7 Dvosočivni kompenzator s jednom flanšom: 1- polusočivo (četiri komada); 2- nosač; 3-obruč; 4- spoj; 5- flanša; 6- poluga zavrtnja

Šahtovi u pravilu izvode se na ukopanim gasovodima gdje se ugrađuju zatvarači i kompenzatori. Oni se najčešće izvode od armiranog betona monolitne izvedbe ili od montažnih elementa. Tamo gdje postoji podzemna voda šahtovi treba da se urade sa hidroizolacijom.

Specijalni objekti dolaze u obzir na mjestima gdje gasovod presijeca rijeke, kanale, tramvanjsku prugu, željezničku prugu itd. U gradskim uslovima gasovodi se polažu pod vodne tokove u obliku sifona. Obično se sifoni grade sa dvije ili više linija. Trasa im zavisi od opšte šeme gasne mreže.

Sifon se sastoji od osnovnog cijevovoda i rezervne linije i šahtova sa zatvaračima. Propusnost svake linije sifona mora biti najmanje 70% propusnosti dovodnih gasovoda.

Pri transportovanju vlažnog gasa podvodni dijelovi gasovoda polažu se s padom. U najnižim tačkama ugrađuju se sabirnici kondenzata, snabdijevani cjevovodom, koji se izvodi van objekta. Tečnost iz sabirnika kondenzata odstranjuje se pumpama pomoću vakum cisternih. Pri konstrukciji nadzemnih prelaza gasovodi se vješaju o konstrukciju mosta (čeličnog ili armirano betonskog) ili se za njih izvode posebni mostovi.

Kod presijecanja gasovoda visokog pritiska sa željeznicom ili tramvajnskom prugom, vrši se provlačenje kroz čelične cijevi većeg prečnika.

5.3 Toplifikacija

Kompleks objekata i opreme koji služe za proizvodnju toplote, njen transport i potrošnju čine sistem **centralizovanog snabdijevanja toplotom**. Centralizovano snabdijevanje naseljenih mjesta toplotom tzv. toplifikacija treba da obezbijedi potrebe zagrijavanja, ventilacije, snabdijevanja toplom vodom, a također i potrebe industrijske proizvodnje.

Po upoređenju s centralizovanim snabdijevanjem toplotom, drugi sistemi zagrijavanja (putem peći i centralnog grijanja) imaju suštinske nedostatke. Tako, zagrijavanje pećima traži velike količine goriva, njegov transport i uskladištenje na gradskim područjima u objektima, gdje postoji povećana požarna opasnost. Osim toga, koeficijent korištenja toplote pri takvom obliku zagrijavanja je veoma nizak. Centralno zagrijavanje ima također nedostatak, budući je koeficijent iskorištenja toplote svega 50-55%.

Centralizovano snabdijevanje toplotom podrazumijeva jedan ili nekoliko većih uređaja (postrojenja), koji proizvode toplotnu energiju za snabdijevanje toplotom velikog broja potrošača.

Po upoređenju s drugim oblicima snabdijevanja toplotom centralizovano ima niz prednosti:

- ekonomično grijanje i iskorištavanje goriva niskih vrijednosti,
- poboljšanje sanitarnog stanja grada, budući se kod elektrostanica odnosno termoelektrana (TE) koriste savremene metode čišćenja gasova i odstranjenja šljake i pepela,
- sniženje koštanja izgradnje objekata i mreže, te smanjenje eksploatacionih troškova,
- smanjenje opasnosti od požara,
- oslobađanje gradske površine od izgradnje kotlovnica i skladišta goriva,
- rasterećenje unutargradskog transporta.

U velikim gradovima kao izvor snabdijevanja toplotom javljaju se termoelektrane (TE), u kojima se proizvodi električna energija, a određeni dio pare koristi se za potrebe snabdijevanja toplotom.

Postupak jednovremene proizvodnje električne energije i toplote naziva se kombinovanim, a sistem centralizovanog snabdijevanja toplotom toplifikacija.

Toplifikacija je postupak sa izraženim preduslovima industrijskog organizovanja snabdijevanja toplotom i jedan od osnovnih načina povećanja efikasnosti TE. Gradski rejonu dobiju toplotu po pravilu preko toplovodne mreže. Jedino pri odsustvu TE i utvrđenoj tehničko-ekonomskoj neopravdanosti njenog građenja ili neopravdanosti priključenja korisnika na gradsku toplovodnu mrežu (u vezi sa uslovima izgrađenosti, značajnoj udaljenosti stambenih područja od toplovodne mreže, reljefnih teškoća i sl.), slijedi planiranje snabdijevanja toplotom putem kotlovnica.

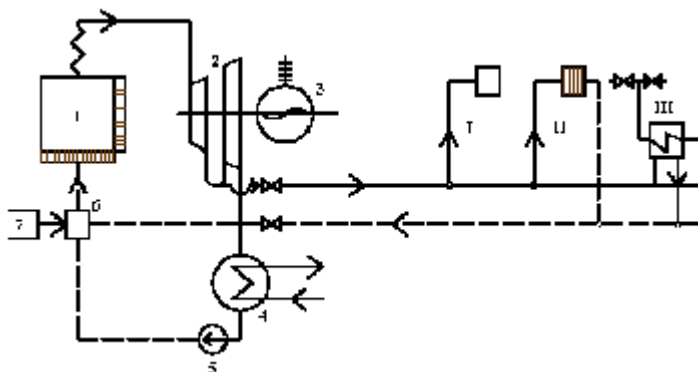
5.3.1 Toplovodni sistemi

Razlikuju se dva sistema centralizovanog snabdijevanja toplotom:

1. toplifikacija i
2. snabdijevanje putem kotlovnica.

Toplifikacija podrazumijeva dobijanje toplote od TE. Kod rejonskog načina snabdijevanje toplotom, izvor toplote su velike kotlovnice. Prema načinu prenosa toplote sistemi centralizovanog snabdijevanja toplotom mogu biti vodni i parni.

Na sl. 5.7 data je šema toplifikacije, u kojoj je prenosilac toplote para. Iz TE, odnosno njene kotlovnice para dolazi na turbinu, gdje se obogaćeni tok ponovo vraća na turbinu, a potom u elektrogenerator koji proizvodi električnu struju.



Slika 5.8 Principijelna šema toplifikacije[4]: 1- kotlovnica TE; 2- turbina; 3- generator; 4- kondenzator; 5 – pumpa; 6- regeneratore; 7- hemijski očišćena voda; I, II, i III korisnici pare

Iz turbine dio pare se odvaja i usmjerava korisnicima I, II i III, gdje se odajući svoju toplotu ista transformira u vodu – kondenzat koji se sakuplja u kondenzatoru. Iz kondenzatora, kondenz se pumpom upućuje prema regeneratoru, gdje prošavši proces regenerativnog zagrijavanja i deaeracije, u mješavini sa hemijski tretiranom vodom popunjava gubitke u mreži i dospijeva do kotla. Dalje se ciklus ponavlja.

Ukoliko je prenos toplote vodom, to se kao dopunski uređaj ugrađuje grijač vode, pa tehnološka šema donekle postaje složenija.

Za priključenje korisnika mogu biti iskorištene slijedeće šeme:

- a. bez povrata prenosioca toplote u mrežu (šema I) i
- b. s povratom prenosioca toplote u TE (šeme II i III).

Korisnici toplote mogu biti priključeni na toplotnu mrežu ili egzistirati kao neposredno – otvoreni sistemi (šema I i II), odnosno nezavisno – zatvoreni sistemi (šema III) kroz površinski izmjenjivač toplote.

Kod neposrednog priključenja objekata hidraulički i toplotni režim jako su ovisni od režima rada toplotne mreže. U drugom slučaju, objekti lokalnog sistema hidraulički i u toplotnim odnosima su izolovani od toplotne mreže i mogu imati svoj neovisni režim.

Parni sistemi primjenjuju se obično u slučajevima kad se tehnološke potrebe korisnika nemogu zadovoljiti toplom vodom. Budući vodni sistemi toplifikacije daju veliku ekonomičnost zagrijavanja, oni se gotovo uvijek primjenjuju za zagrijavanje, ventilaciju i snabdijevanje toplom vodom, naseljenih mjesta.

Kod sistema sa gradskim kotlovnicama snabdijevanje toplotom, voda iz kotlovnice, zagrijana do potrebne temperature, putem mreže dotura se potrošačima. Cirkulacija vode u mreži obezbjeđuje se mrežnim pumpama. Za pokrivanje gubitaka u mreži voda se dodaje u kotao poslije odgovarajuće hemijske pripreme (prečišćavanja) pomoću potisne pumpe. Korisnici se priključuju također, kao i kod šema toplifikacije.

Treba napomenuti, da se mogu primjenjivati sem navedenih i druge šeme toplifikacije i rejonskog snabdijevanja toplotom.

Sistemi snabdijevanja toplotom mogu biti jednocijevni, tro i četverocijevni.

Jednocijevni sistemim ima tu osobinu da se prenosioc toplote od priključenih korisnika ne vraća se ka izvoru. On se ili potpuno rashoduje u objektima, ili se poslije korištenja višak nosioca toplote ispušta u mrežu druge namjene (drenaža, kanalizacija).

Dvocijevni sistem snabdijavanja toplom vodom ima osnovni cjevovod – za dotur i pomoćni cjevovod za povrat ili cirkulaciju.

Spajanjem dvocijevnog sistema zagrijavanja sa jednocijevnim ili dvocijevnim sistemom snabdijavanja toplom vodom dovodi do formiranja trocijevnog ili četverocijevnog sistema.

Za snabdijevanje toplotom gradova primjenjuje se obično dvocijevni toplovodni sistem. Vodni sistem zagrijavanja stambenih i javnih objekata smatra se najhigijenskim, a ujedno obezbjeđuje i najekonomičniju toplotu odnosno zagrijevanje.

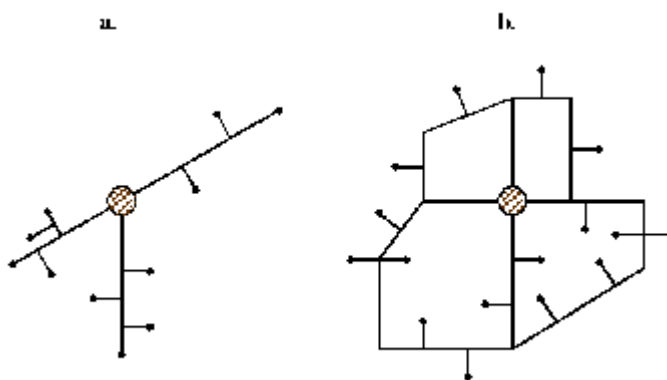
U vezi s činjenicom da se TE obično grade na gradskoj periferiji i to često na značajnoj udaljenosti od centra potrošnje toplote, u nizu slučajeva pokazuje se opravdanim izgradnja samo jednog cjevovoda (toplovoda). Kod toga višak toplote vode biva ispuštan, van sistema.

5.3.2 Trasiranje i hidraulički proračun toplovoda

Trasirane toplovodne mreže u urbanističkom planu, odnosno glavnom projektu zavisi od položaja TE, radijusa dejstva mreže, reljefa grada, hidrogeoloških uslova, karaktera prostornog rasporeda potrošača, odnosno gradskih zona itd.

Prema konfiguraciji toplovodne mreže naseljenih mjesta dijele se na granate i prstenaste (sl. 5.9).

Granate mreže su jednostavne za gradnju, ekonomične i pouzdane u eksploataciji. Njihov osnovni nedostatak u poređenju sa prstenastim je opasnost prekida dotura toplote korisnicima kod kvarova na mreži.



Slika 5.9 Konfiguracija toplovodnih mreža: a- granata, b- prstenasta

Navedeni nedostatak može biti djelimično odstranjen, ukoliko se u šemu uvedu rezervni priključci koji povezuju pojedine grane pod pritiskom. Prečnik tih priključaka treba biti jednak dijametru cjevovoda koji se spajaju priključkom.

Prstenaste mreže sigurnije obezbjeđuju korisnike toplotom nego granate. Međutim, vrijeme popravke kvarova se povećava, jer je u ovom sistemu teže odrediti mjesto kvara i izvršiti neophodno priključenje prebacivanjem zasuna.

Prstenaste mreže i granate mreže sa rezervnim spojevima po konfiguraciji u planu vrlo su slične jedne drugoj. Razlike se sastoje u tome što su kod prstenastih mreža dijametri pojedinih prstenova na svim potezima konstantni.

U slučaju, ako je prekid u doturu toplote nedopustiv, grade se dvojni toplovodi. Svaka cijev dvojnog toplovoda dimenzionira se na 50-75% količine opšte maksimalnog dotura toplote.

Šemu snabđivanja toplotom neophodno je razraditi na bazi planskog vremena razvoja grada, vodeći računa o faznoj izgradnji. Kod projektovanja kotlovnica po rejonima, koji će kasnije biti toplificirani neophodno je predvidjeti mogućnost korištenja već izgrađene toplovodne mreže.

Gradske kotlovnice treba graditi takve, koje će opsluživati veći broj korisnika i racionalno ih razmjestiti na prostoru većeg grada, po mogućnosti bliže centru toplotnog opterećenja.

Njih je potrebno odvojiti od stambenih i javnih objekata sanitarno-zaštitinom zonom. Širina ove zone zavisi od vrste korištenog goriva:

- gas15m,
- tečno gorivo.....od 25 do 100m i
- čvrsto gorivood 25 do 500m.

Potrebnu toplotu za domaćinstva i komunalne potrebe treba odrediti prema važećim propisima.

Potrebe za toplotom u industriji, vanjskom transportu itd. uzimaju se prema podacima postrojenja koja su u radu ili koja su projektovana, ili na osnovu podataka od pogona koji su analogni tretiranim po karakteru i kapacitetu.

Temperatura vode u toplovodnoj mreži varira u zavisnosti od temperature vanjskog vazduha. Maksimalna temperatura vode u dovodnom cjevovodu dostiže 130-140°C, a u povratnom cjevovodu (voda iz sistema) do +70°C [4].

Pritisak u toplovodu na izlazu iz termoelektrane dostiže 8-14 bara i utvrđuje se u zavisnosti od radijusa dejstva mreže i reljefa gradskog

područja. Pritisak u distribucionoj mreži utvrđuje se proračunom. **Radnim pritiskom** se naziva razlika između pritiska u dovodnom i povratnom cjevovodu u zadatoj tački. Pritisak je potrebno da bude dovoljan kako bi se priključeni korisnici tople vode, odnosno sistema, mogli normalno snabdijevati. Važan zadatak pri projektovanju toplovodne mreže je izbor trase toplovoda. Taj zadatak posebno je složen u velikim gradovima, gdje se podzemni urbanizam sastoji iz vodovoda, kanalizacije, gasne mreže i niza drugih podzemnih komunikacija. Pri izboru trasa toplovodne mreže treba težiti da ona bude pouzdana i besprijekorna u radu, sa što manjom dužinom. Također, pri trasiranju mreže neophodno je uzeti u obzir položaj drugih podzemnih objekata, kvalitet kolovozne konstrukcije i različitih elemenata gradskog uređenja. Trase toplovodne mreže, kao po pravilu, trebaju da budu pravolinijske i da idu paralelno osovini ulice ili građevinskoj liniji.

Većina toplovodne mreže ukopava se ispod površine terena. Izvode se i vazdušne linije. Trase vazdušnih linija biraju se tako, da ne bi podupirači i cjevovodi ometali odvijanje saobraćaja i po mogućnosti da su uklopljeni u okoliš.

Pri trasiranju toplovodne mreže, kao uostalom i drugih podzemnih objekata, nužno je uvažiti hidrogeološke uslove terena. Rastojanja od trasa toplovodne mreže do drugih objekata i paralelno položenih komunikacija treba da su dovoljna radi njihove zaštite

Dubina ukopavanja toplovodne mreže određuje se u ovisnosti od postojanja različitih vrsta podzemnih objekata, stanju nivoa (režima) podzemnih voda, a također i od gabarita toplovoda i šahtova.

Hidraulički proračun toplovodne mreže

Pri kretanju (tečenju) nosioca toplote kroz cjevovode uslijed trenja o stijenke cijevi i unutarnjeg trenja fluida, nastaju linijski gubici pritiska. Ti gubici se određuju putem formule:

$$H_l = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g} \cdot l \quad (5.7)$$

Linijski gubici pritiska proporcionalni su dužini cjevovoda i mogu biti izraženi zavisnošću:

$$H_l = l \cdot h \quad (5.8)$$

$$h = \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g} \quad (5.9)$$

Ako se u formuli 5.9 uvrsti vrijednost

$$v = 0,354 \cdot \frac{G^2}{d^2 \gamma} \quad (5.10)$$

dobije se

$$h = \lambda \cdot \frac{0,64}{100} \cdot \frac{G^2}{d^5 \gamma} \quad (5.11)$$

λ - koeficijent trenja,

v - brzina tečenja (kretanja) nosioca toplote (m/s)

γ - specifična težina nosioca toplote (kg/m³)

d - dijametar cjevovoda (m)

G - količina nosioca toplote (t/h)

h - gubitak pritiska (N/m²) na m' dužine cjevovoda ili u (mm) vodnog stuba po m'.

Vrijednost koeficijenta λ za čelične cijevi, koje ne podliježu koroziji, može se odrediti po formuli:

$$\lambda = \frac{0,065}{\sqrt[4]{d}} \quad (5.12)$$

Ako se vrijednost λ uvrsti u formulu (5.9) dobije se slijedeća zavisnost za proračun toplovoda:

$$h = \frac{7,15}{10_4} \cdot \frac{v^2 \gamma}{d^{1,25}} \left(\frac{\text{kg/m}^2}{\text{m}} \right) \text{ ili (mm vodenog stuba cm/m)} \quad (5.13)$$

Količina, dijametri i specifični gubici pritiska određuju se obično putem nomograma.

Osim linijskih gubitaka pri kretanju prenosioca toplote kroz tzv. lokalne prepreke (zatvarači, ostali fuzonski komadi i armature), nastaju lokalni gubici pritiska koji se računaju po formuli:

$$H_{lok} = \sum \xi \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g} = \sum \xi \frac{0,638}{100} \cdot \frac{G^2}{\gamma d^4} \quad (5.14)$$

$\sum \xi$ - suma koeficijenata lokalnih otpora (fazonskih dijelova)

Sumarni gubici pritiska:

$$H_{sum} = H_l + H_{lok} \quad (5.15)$$

Kod proračuna toplovoda (određeni dijametar cijevi i gubitak pritiska) neophodno je znati veličinu računskog protoka (maksimalni protok). On se sastoji iz različitih protoka pojedinih abonenata toplovodne mreže, koji imaju različite vidove potrebe za toplotom.

5.3.3 Izgradnja toplovodne mreže

Izgradnja toplovoda, kao po pravilu vrši se sa bešavnim čeličnim cijevima dijametra 50-350mm, izrađenim po odgovarajućem standardu. U nedostatku bešavnih cijevi velikog dijametra toplovodi dijametra većeg od 400mm grade se od čeličnih elektrovarenih cijevi s podužnim šavom.

Pri polaganju toplovoda u mjestima, nedostupnim za kontrolu i remont, dopuštena je primjena gasnih pojačanih cijevi sa varenim šavom.

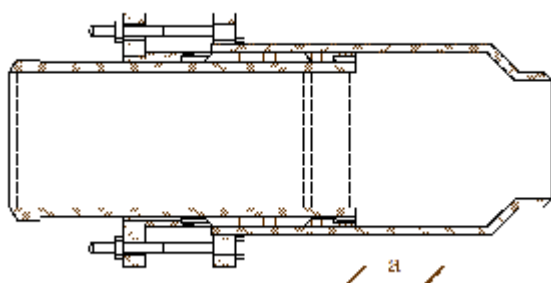
Najveći nedostatak čeličnih cijevi je njihova podložnost koroziji, kako po unutrašnjim tako i po vanjskim površinama.

Osim čeličnih cijevi za izgradnju toplovoda koriste se još i azbestcementne cijevi. Njihova osnovna prednost u osnovu na čelične cijevi je otpornost na koroziju. Čelične cijevi spajaju se pomoću električnog i gasnog vara. Taj način spajanja pokazao se najsigurnijim. Fazonski dijelovi urađeni od čelika vare se direktno sa cjevovodom. Pomoću flanše spajaju se cijevi i lijevane armature. Najrasprostranjenije su ravne zavarene flanše sa zavrtnjima. Veličina flanši zavisna je od uslova pritiska u cjevovodu.

Savijeni dijelovi cjevovoda izvode se uglavnom iz bešavnih cijevi, sa radijusom zakrivljenosti, jednakim 4/5 dijametra cijevi.

Kompenzatori. Kod kretanja nosioca toplote sa visokom temperaturom kroz cjevovode i njihove stijenke dolazi do naprezanja. Za kompenzaciju toplinskog produženja obično se koriste zavojni i naborani cjevovodi, a samo pri njihovom nedostatku izvode se kompenzatori. Najveću primjenu imaju zaptivački prstenovi (simering) i savijeni (naborani) kompenzatori.

Jednostruki zaptivački kompenzator koji radi po principu teleskopskog cjevovoda, pokazuje sl.5.10.a.



Slika 5.10 Kompenzatori: a- jednostruki zaptivački; b- naborani

Kompenzator ovog tipa ima male gabarite, ali traži periodičnu kontrolu radi obezbjeđenja odgovarajuće čvrstoće zaptivačkog prstena. Oni se ugrađuju u šahtovima i samo na pravolinijskim dionicama. Kompenzirajuća sposobnost takvih uređaja iznosi 100-400mm.

Jednostruki zaptivački prstenovi preporučuju se na toplovodima pri pritisku do 12 bara. Oni se obično rade iz livenog željeza dijametra do 300mm i iz čelika kod većih dijametara.

Također, se primjenjuju dvostruki zaptivački kompenzacioni prstenovi koji imaju povišenu kompenzacionu sposobnost, što omogućava smanjenje broja neophodnih kontrolnih šavova.

Široko rasprostranjenu upotrebu imaju i savijeni kompenzatori (sl.5.10,b) s različitim formama (pravugaonika Π , lire i sl.).

Preimущество ovih kompenzatora je u mogućnosti njihove ugradnje bez šahtova, a nedostatak u odnosu na zaptivačke prstenove povećanje hidrauličnih gubitaka i veliki gabariti.

Armature. Na toplovodnoj mreži ugrađuje se regulirajuće i zatvaračke armature. Na cjevovodima malih dijametara idu ventili, a na cjevovodima dijametara većih od 50mm zatvarači. Pri postojanju zavojnih napreznja (na savijanje) neophodno je ugraditi čelične zatvarače.

Zatvarači se montiraju na horizontalnom dijelu cjevovoda. Ako su zatvarači velikih dijametara, pod njih se ugrađuju temelji, pomični ili fiksni. Osnovni zadatak pokretnih oporaca je smanjenje napreznja na savijanje i napreznja koja nastaju od sila trenja pri temperaturnom produženju cjevovoda.

Toplovodi se polažu ili nad površinom terena kao nadzemna mreža ili ukopavaju u teren kao podzemna mreža.

Uvažavajući neophodnost normalnog nadzemnog kretanja, izgled arhitektonskih objekata i dr., u gradovima je dozvoljena samo podzemna ugradnja toplovodne mreže.

U uslovima grada nužna je izgradnja toplovodnih mreža industrijskim metodama u što je mogućim kraćem vremenu. Osim zemljanih radova, koji se vrše mehanizovano, na trasama toplovoda izvode se i montažerski radovi tj. vezivanje elemenata koji su dovezeni kao gotovi proizvodi iz industrijskih pogona. Podzemna izgradnja može biti putem:

- a. beskanalne metode (ukopavanje),
- b. poluprohodnih kanala i
- c. prohodnim kanalima.

Toplovodna mreža, po pravilu, treba imati toplotnu i hidro izolaciju, u protivnom gubici toplote putem cjevovoda rastu 5-10 puta. Razlikuje se nekoliko vidova toplotne izolacije:

- omotavanje,
- putem segmenata,
- napunjen obruč i od
- mastike.

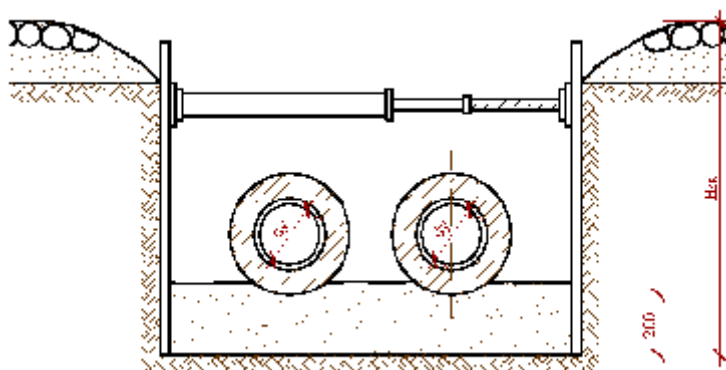
Beskanalna podzemna mreža izgradnje koja je dosta raširena, ima toplotnu izolaciju u neposrednom dodiru sa zemljom. Zbog toga ona treba da je čvrsta i vodonepropusna.

Beskanalna izgradnja za 25-35% smanjuje koštanje mreže u poređenju sa koštanjem mreže, položene u neprohodne kanale. Ispitivanja pri eksplataciji beskanalne mreže potvrđuju njenu dugovječnost.

Konstrukcija izolacije toplovodne mreže u tom slučaju, može biti napunjen obruč, livena, mješovito-izlivena izolacija i dr. Konstrukcija napunjeni obruč po izvođenju je najjednostavnija, relativno jeftina u

izvođenju, međutim može se primjenjivati samo kada je prenosilac toplote voda i to pri temperaturi ne višoj od 150°C i kod polaganja toplovoda van kolovoza ulice gdje nema slijeganja. Takve mreže polažu se na dijelovima gdje nema podzemnih voda i lutajućih električnih struja, što je bitno za eksploataciju.

Livena konstrukcija termoizolacije iz pjeno-betona (sl. 5.11) ugrađuje se na mjestima polaganja cjevovoda s primjenom pokretne oplata, gdje nije dozvoljeno korištenje industrijske izgradnje toplovodne mreže.

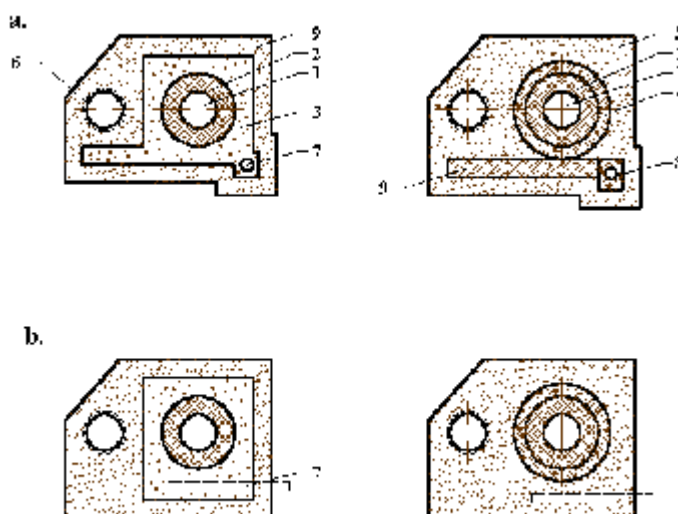


Slika 5.11 Livena konstrukcija toplotne izolacije od pjeno-betona

Takva metoda izvođenja izolacije omogućava njenu izradu termo i hidroizolacije u industrijskim pogonima s primjenom cilindričnih metalnih obloga i odgovarajućim proparivanjem proizvoda u autoklavu.

Cijevi toplovodne mreže sa monolitnom armopjenobetonskom izolacijom kod beskanalne izgradnje spuštaju se u rov, odgovarajućim eskavatorom. Poslije varenja i ispitivanja cjevovoda spojevi se izoliraju korugama (ljuskama) od pjenobetona.

Postoje i druge konstrukcije toplovoda sa izolacijom kod beskanalnog građenja (sl. 5.12).



Slika 5. 12 Beskanalna izgradnja toplovoda:

a. podužna drenaža; b. poprečna drenaža; 1- cijev; 2- toplotna izolacija; 3- šljunčani zasip; 4- porozni obruč; 5- pijesak; 6- antikoroziona zaštita; 7- drenažna cijev; 8- filterska cijev; 9- drenažni zasip

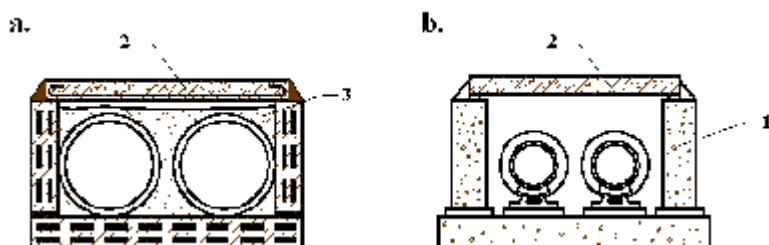
Umjesto hidrozaštitnog obruča toplovod se okružuje rastesitim slojem materijala debljine 80-100 mm, koji se sastoji od šljunčanog zasipa (ϕ 3-15mm) ili segmenata (koruga) iz krupnošupljikavog betona. Za toplotnu izolaciju u ugradnji sa rastresitim slojem primjenjuje se monolitni autoklavni pjenobeton. Površina toplotne izolacije prekriva se cementnom žbukom po metalnoj stijenci.

U zemljištu s visokim nivoom podzemnih voda polaganje se vrši s podužnom, a pri odsustvu podzemnih voda sa poprečnom drenažom. U pješčanim zemljištima kod odsustva podzemnih voda drenaža se ne polaže.

U praksi je prisutna beskanalna izgradnja toplovoda s monolitnom gasosilikatnom izolacijom cjevovoda. Sloj gasosilikata armira se mrežom. Po upoređenju sa izgradnjom toplovodne mreže u kanalima, ovaj metod daje ekonomske efekte u relacijama 25-40%.

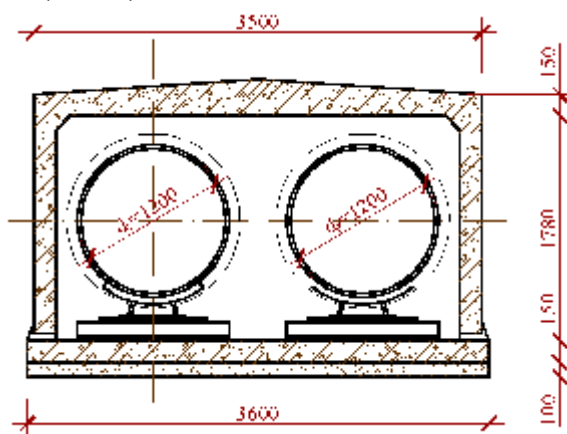
Izgradnja toplovodnih mreža u kanalima. Kod izgradnje toplovodne mreže u kanalima konstrukcija kanala može biti neprohodna, poluprohodna i prohodna (tuneli).

Neprohodni kanali mogu biti pravougli, cilindrični i sa armirano-betonskim svodom. Najjednostavnija konstrukcija je montažni kanali pravougule forme. Oni se sastoje od betonskih blokova i armirano-betonskih ploča za prekrivku (sl. 5.13).



Slika 5.13 Pravougli neprohodni betonski kanali za polaganje toplovoda: a- nabijena izolacija; b- izolacija od pjenobetona; 1- bočne stijenske; 2- ploča za prekrivku; 3- nabijena izolacija

Neprohodni kanali od opeke u savremenim uslovima grade se samo kod manjeg obima građenja. Neprohodni kanali sa prefabrikovanim armirano-betonskim svodovima primjenjuju se kod građenja toplovodne mreže dijametra 350-400mm. Kod velikih dijametara cijevi svodovi su teški za transport, a bivaju i oštećeni pri prevozu i montaži. Primjenu u praksi imaju i kanali pravouglog presjeka od montažnih panela izgrađeni od armiranog betona i to za velike profile dijametra 1000-1200mm (sl.5.14).

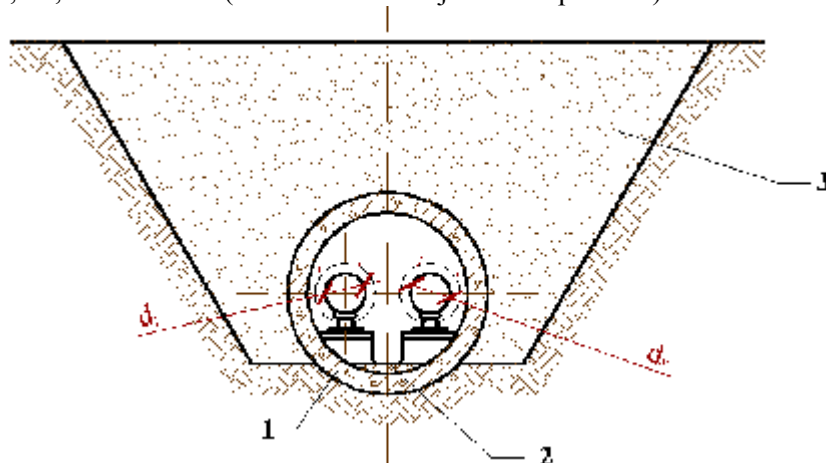


Slika 5.14 Kanal ramovske konstrukcije za cjevovode velikog profila: 1- armirano-betonski ram; 2- ravne armirano-betonske ploče; 3- sloj nabijenog pijeska (posteljica)

Radi odvoda drenažnih i drugih voda, koje mogu doteći u kanal, kanali se polažu u padu minimum 0,002.

Poluprohodni kanali koriste se za polaganje toplovoda u području gradskih prolaza i to sa savremenim konstrukcijama. Unutrašnji gabariti ovih kanala biraju se u ovisnosti od dijametra toplovodne mreže. Npr, za dva toplovoda dijametra 150mm neophodan je kanal širine 1,28m i visine 1,41m, a dijametar 700mm zahtijeva dimenzije 2,5 i 1,61m [4].

Poluprohodni kanali izvode se s kružnim poprečnim presjekom (sl.5.15). Pri tome se koriste armirano-betonske cijevi dijametra 1,7-3,0m, dužine 2-4m (u zavisnosti od dijametra toplovoda).



Slika 5.15 Poluprohodni kanal kružnog presjeka:

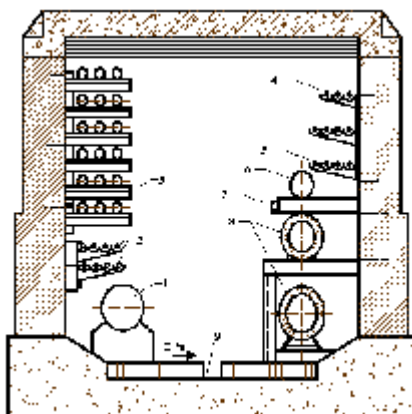
1- armirano-betonska cijev; 2- betonska podloga; 3- pješčani zasip

Prohodni kanali praktikuju se graditi kod industrijskih postrojenja i u krugu TE. Oni su jako pogodni za eksploataciju, jer omogućavaju stalni pristup opslužujućeg персонала, koji nadzire toplovođe i vrši njegov remont.

To omogućavaju veliki gabariti, s tim da oni utiču i na visoku investicionu vrijednost ovakog građenja.

U gradskim uslovima prohodni kanali mogu se iskoristiti ne samo za montažu toplovodne mreže, nego i za jednovremeno polaganje i drugih podzemnih instalacija kao što su vodovod, kablovi elektrone mreže, PTT-a i dr. (sl.5.16).

Prohodni kanali (tuneli) mogu biti pravouglonog i okruglog presjeka.



Slika 5.16 Prohodni kanal (kolektor ili tunel) za smještaj većeg broja podzemnih instalacija:

- 1- kanalizacija; 2- kablovi PTT-a radija i televizije; 3- energetski kablovi;
4- kablovi vanjske rasvijete; 5- vojni kablovi; 6- vodovod; 7- vodovod za
pranje ulica; 8- toplovodi; 9- kineta za odvod vode

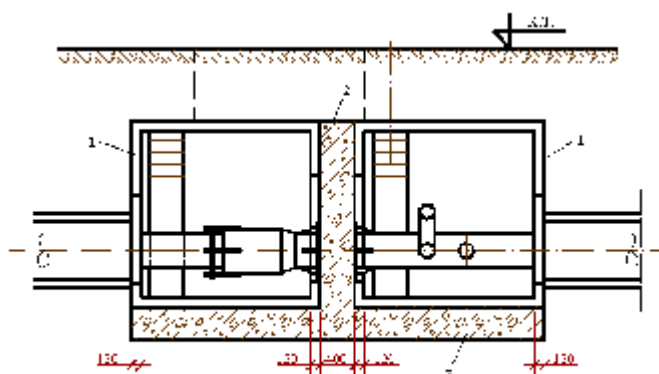
Konstrukcija prohodnih kanala zavisi od odabrane metode izvođenja radova. Kod tunelske metode, obično se koristi postupak proboja sa štitom. To ima svojih prednosti, jer se ne remeti odvijanje saobraćaja na površini uličnog profila. Kod otvorenog polaganja prohodnih kanala, široko se primjenjuje tunelska konstrukcija pravouglog presjeka izrađena od montažnih prefabrikovanih armirano-betonskih elemenata.

Šahtovi. U šahtovima na toplovodnoj mreži vrši se montaža kompenzatora i različitih zatvaračko-regulacionih armatura. U njima se vrši i priključenja različitih odvojaka. Konstrukcija i dimenzije šahtova su različite. Izvode se kao monolitni objekti ili od armiranog betona, a rjeđe od cigle. Praktikuje se i korištenje montažnih šahtova izrađenih na industrijski način.

Dimenzije šahtova zavise od mogućnosti polaganja podzemnih cijevovoda, količine armatura, dijametra toplovoda i dr.

Montažni armirano-betonski šahtovi mogu u planu biti kružnog i pravouglog presjeka. Kružni presjeci obično se koriste dijametra 1,5-2m, a za toplovode prečnika do 150mm.

Kod pravouglavih šahtova povoljnije se može izvršiti montaža opreme, a lakše je i održavanje. Primjer pravouglog šahta i to iz dva dijela koji se gradi od montažnih elemenata pokazuje slika 5.17.

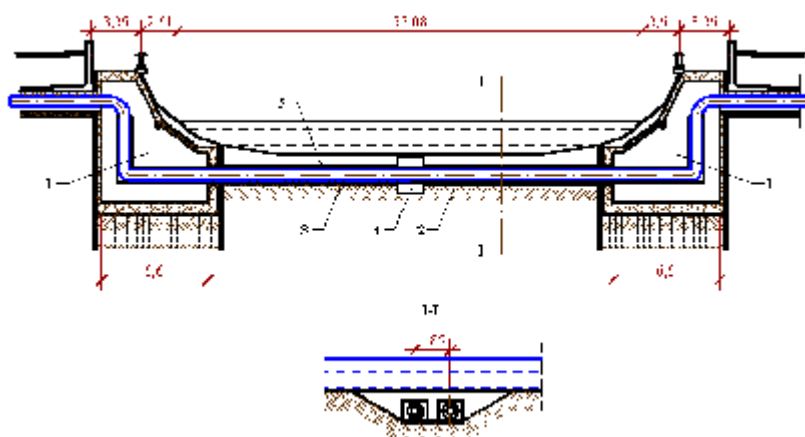


Slika 5.17 Pravougaoni šaht na toplovodnoj mreži:
1- odvojene komore; 2- razdjelni zid; 3- temeljna ploča

Šahtovi sa zatvaračima rade se na svakih 500-1000m, a sa kompenzatorima na 140-200m.

Specijalni objekti. Kod presijecanja toplovodne mreže sa vodnim tokovima, željezničkim prugama, jarugama, podzemnim komunikacijama i sl., izvode se prolazi tipa sifona i tunela, mostovske konstrukcije, estakade i dr.

Najjednostavniji su objekti tipa sifona koji se radi od čeličnih cijevi (sl.5.18).



Slika 5.18 Sifon na toplovodnoj mreži:
1- dva obalna šahta; 2- zaštitni plašt od čeličnih cijevi dijametara 1000mm; 3- dva cijevovoda toplovoda; 4- betonski oporci; 5- armirano betonski prag koji štiti toplovode od ispiranja vode

Cjevovodi toplovoda izvode se paralelno jedan drugom u nagibu 0,002-0,003, prema jednom od šahtova.

6. HORTIKULTURA

Zelene površine kao dio gradskog organizma čine jedan od osnovnih higijenskih elemenata u gradu, a imaju i rekreacijski, te estetski značaj. One su u znatnoj mjeri regulator mikroklimata, amortizuju gradsku buku i smanjuju zagađenje zraka.

Uticaj zelenila, općenito na ljudski organizam, na njegovo fizičko i psihičko stanje ima ogroman značaj. To je posebno važno za gradsko stanovništvo, gdje se zelenilo ili hortikulturni sadržaji (od latinske riječi hortus-vrt, bašta) koriste za popravku ukupnih uslova življenja kao i za ublažavanje negativnih meteoroloških pojava.

Najdirektnije se zdravstvena uloga zelenila osjeća u regulisanju toplinskog i radijacijskog mikroklimata, te u njegovoj zaštitnoj ulozi od jakih vjetrova. Temperaturni režim je u sklopu zelenila ravnomjerniji, a tim i povoljniji za čovjeka nego na čistom prostoru, koje je bez zelenila. Temperatura zidova i kaldrme uključivo i kolovoznog zastora veća je za 7-10° od temperature okolnog zraka, dok je temperatura rastinja, trave i lišća, uvijek niža za 3-5° od okolnog zraka [13]. Zbog toga, ljeti zelenilo ima nisku radijacionu temperaturu. Ustvari, ono djeluje rashlađujuće.

Veći kompleksi hortikulturnog sadržaja djeluju kao filtri u kondicioniranju zraka, a time i na njegov hemijski sastav. Zatravnjene površine smanjuju izvore prašine a štite i od reflektovanog zračenja toplote, koju daju noću zidovi i asfaltne površine uličnog zastora.

Krupno rastinje, odnosno drveće ima još jače dejstvo u popravci klimata od niskog rastinja. Naime, zbog niže temperature lišća i granja, drveće rashlađuje svoj okoliš, čime se umanjuju zračna strujanja.

Krune drveća ublažavaju jakost sunčeve svjetlosti; dok drvoredi u uličnom profilu, pored zaštite pješaka od insolacije štite znatan dio trotoara i kolovoza od zagrijavanja, što sve zajedno doprinosi svježijem mikroklimatu uličnih koridora.

Zelenilo reguliše vlažnost zraka čak i kada se radi o uskim trakama-drvoredima.

Kompleksi visokog rastinja koriste se u urbanističkom projektovanju kao zaštita protiv jakih i hladnih vjetrova.

Zaštitne zone sa visokim zelenilom štite dijelove grada od industrijskih objekata gdje se formiraju značajne količine dima, čađi i prašine. Tu su posebno važne breze i topole čije lišće ima ljepljivu površinu koja

zadržava zagađujuće materije. Masa visokog rastinja amortizuje gradsku buku, koja je posebno nepovoljna za centralni nervni sistem i organe sluha.

Pored sanitarno-higijenskog i zdravstvenog značaja koje zelenilo pruža čovjeku, podjednako važno, hortikultura ima svoju ulogu u arhitektonsko-umjetničkom oblikovanju naseljenog mjesta. Stoga je uvođenje zelenila u gradski prostor jedan od osnovnih principa savremenog urbanizma, a kod rekonstrukcije starih gradskih područja nezaobilazno sredstvo za humanizaciju grada i poboljšanje higijenskih uslova.

6.1 Planiranje zelenila

Razni vidovi zelenih površina i njihov razmještaj u gradu predstavljaju jedan od najvažnijih zadataka pri racionalnom planiranju urbanog područja. Opremanje gradskog područja hortikulturnim sadržajem treba da bude podjednako obavljeno po svim gradskim zonama, kako bi sistemi zelenila ostvarili različite funkcije, počevši od higijensko-sanitarnih pa preko estetskih i do rekreacionih.

Pravilima i normama definišu se potrebne površine u gradu koje treba da budu pod zelenilom.

Obično se ide na potrebnu zelenu površinu koja otpada na jednog stanovnika (tabela 6.1):

Tabela 6.1 Potrebna površina pod zelenilom na gradskom području [14]

Normativi Gradske zone	Površina pod zelenilom na jednog stanovnika (m ²)					
	veliki gradovi		srednji gradovi		mali gradovi	
	kod norme 9m ² urb. pov.	u perspektivi	kod norme 9m ² urb. pov.	u perspektivi	kod norme 9m ² urb. pov.	u perspektivi
opšte gradsko područje	5	8	4	4	7	7
stambeno područje	7	11	5	7	-	-
mikro rejon	3	5	3	5	3	5
Svega	15	24	12	16	10	12

Zelene površine locirane van urbanog dijela (šumski parkovi, nacionalni parkovi i sl.) i zeleni rasadi specijalnog značaja se ne normiraju, i njihova organizacija zavisi od konkretnih uslova.

6.2 Sistemi zelenih površina

Principijelno, sistemi zelenih površina mogu biti dvojaki (a) gradski i (b) vangradski.

Gradsko zelenilo ima određenu površinu i namjenu. Razlikuju se slijedeći oblici:

- gradski parkovi,
- ulični drvoredi i travnjaci,
- skverovi,
- unutrašnje blokovsko zelenilo,
- zelene površine oko javnih objekata,
- dječija igrališta,
- botanički vrtovi i dr.

Vangradsko zelenilo nema posebnog ograničenja, niti graničnu površinu. Tu se ubrajaju:

- zaštitni pojasevi,
- šumski parkovi i kompleksi,
- slobodne livade i sl.

Po sistemu rasporeda zelenila i njihovom povezivanju sa ostalim urbanim sadržajem, razlikuju se različiti sistemi kao što su:

- rešetkasti,
- radijalni klinovi i
- koncentrični prstenovi [6].

Sistemi rešetkastog zelenila, primjenjuju se kod širokih ulica i gradskih arterija, koje su obrađene kao parkovske zelene trake između stambenih blokova ili kao zaštitne površine i zelene trake između glavnih saobraćajnica i stambenih blokova.

Radijalni klinovi, su sistemi zelenila koji zrakasto povezuju gradske dijelove sa vangradskim zelenilom, centralnim parkom i blokovskim zelenilom.

Sistemi koncentričnih krugova povezuju se direktno sa zelenim klinovima, zrakasto prema gradu, čime povezuju stambene dijelove sa zelenim zasadima.

Hortikulturni sadržaji po namjeni mogu biti:

- površine za rekreaciju,
- gradski parkovi opšteg i posebnog tipa,
- zabavni parkovi,
- dječija igrališta, skverovi,
- površine za fiskulturu (sportski tereni),
- kupališta,
- groblja,
- rasadnici itd.

6.3 Parkovi

Park se naziva krupni zeleni masiv ili hortikulturni kompleks raspoređen na određenoj površini radi odmora i rekreacije gradskog stanovništva.

Raspored jednog ili većeg broja parkova na gradskom području ovisan je o veličini i karakteru grada, od rasporeda funkcionalnih zona, gustine naseljenosti i sl.

Također, prirodni uslovi kao što su reljef, vodni tokovi (akvatoriji), geološki sastav zemljišta, važniji su uticajni faktori pri rasporedu parkova ili općenito zelenila.

Položaj industrije, željezničkih postrojenja i autoputeva, pored pravca vladajućih vjetrova, uslovljavaju raspored zaštitnih pojaseva zelenila.

Kod manjeg grada potreba za javnim zelenilom može biti zadovoljena bar jednim gradskim parkom, koji ima ulogu i društvenog centra.

U gradu srednje veličine potreba za javnim zelenilom je veća. Stambeni dijelovi su udaljeniji od gradskog parka, pa je nužno razviti mrežu zelenila koja pojedine dijelove grada povezuje sa gradskim parkom.

Često je korisno da svaka stambena zajednica ima svoj park, u okviru čega sportsko i dječije igralište te šetalište.

Kod velikih gradova problem zelenila je najsloženiji. Tu su problemi i sa lociranjem centralnog parka veći, zbog kompaktne izgrađenosti gradskog centra. Ide se za tim da glavni park bude negdje bliže periferiji i na taj način povezan sa kompleksom šumskog parka.

Međugradsko zelenilo, treba da je povezano saobraćajnim arterijama koje imaju drvorede, te veći broj stambenih zelenih površina.

Generalno, parkovi treba da dobiju najpovoljnije i najljepše prirodne položaje, najbolje pristupe iz glavnih stambenih dijelova grada i društvenih centara, te da imaju najljepše vidike na okoliš.

U okviru parka često se planiraju sportska igrališta, dječija igrališta, različiti muzeji, izloženi arheološki i kulturno-historijski predmeti i sl.

Veći parkovi, mogu da posjeduju pored raznolikog hortikulturnog sadržaja i izvjesne manje uslužno-ugostiteljske objekte, čija je arhitektura prilagođena parkovskom ambijentu.

Veličina parka utvrđuje se prema usvojenoj lokalnoj normi po stanovniku, prema prirodnim uslovima i prema njegovom značaju u okviru grada.

Kao norma po jednom posjetiocu parka može se uzeti površina od 60 m² [13].

Računa se da će maksimalna posjećenost parka iznositi oko 15%, od broja stanovnika, pa u tom slučaju norma po jednom stanovniku iznosi

$$N_p = 0,15 \cdot 60 = 9,0 \text{ m}^2 \quad (6.1)$$

Što se tiče hortikulturnog sadržaja parkovskih kompleksa, kao i inače vrsta rastinja zelenila u gradskim uslovima, nužno je od slučaja do slučaja utvrditi optimalne biološke vrste koje mogu odgovoriti postavljenoj svrsi. U užim centrima velikih gradova uslovi za opstanak pojedinih vrsta rastinja su takvi da one ne mogu da se održe. Na to pored ostalog, posebno negativno utiče aerozagađenje, zatim ekscesivno zračenje toplote od strane građevinskog materijala, te skraćena insolacija od visokih građevina.

Pri ozelenjavanju gradova, naročito kod parkovskih površina, koriste se biljne vrste sa većom biološkom, higijenskom i estetskom vrijednošću. Kao primjer navode se vrste drveća izdržljiva u gradskim uslovima, a to su:

- a. *Platanus spec.* (vrsta platana),
- b. *Abies concolor* (dugoigličasta jela),
- c. *Acer negundo* (crni javor),
- d. *Salix spec.* (vrbe razne),
- e. *Rabinia hispida* (bagrem),
- f. *Pinus spec.* (vrste borova) i
- g. *Tilia spec.* (vrste lipa) itd.

Bitno je da se znaju i vrste drveća koje su jako podložne biljnim bolestima kao:

1. *Sesculus spec.* (vrsta divljeg kestena),
2. *Betula spec.* (vrste breza),
3. *Fraxinus spec.* (vrste jasena) i
4. *Ulmus spec.* (vrste bresta) itd.

Izbor biljnih vrsta vezan je za specijaliste hortikulture, uz općenitu preporuku da se što više koriste domaće provjerene vrste rastinja i to sa biološkom vrijednošću za tretirani ambijent. Što se tiče stranih vrsta rastinja, njih treba obazrivo koristiti u manjim količinama i isključivo tamo, gdje za to postoje opravdani razlozi (veća vrijednost, efikasnost, biološka i higijenska svrsishodnost i sl.).

6.4 Drvoredi

Gradski drvoredi postavljaju se duž širokih bulevari saobraćajnica, zatim na prostorima koji su određeni za šetnju itd. Pri planiranju drvoreda mora se voditi računa o širini ulice, blizini i visini građevinskih objekata, širini trotoara, stanju podzemnog urbanizma, itd. Praksa potvrđuje ako su građevine suviše visoke, onda planiranje drvoreda dolazi u obzir samo, ako su trotoari širi od četiri metra. Doduše, ako su trotoari užji, mogu doći u obzir samo one vrste drveća koja imaju manji obim krune i koja podnose potkresivanje.

Rastojanje među drvećem zavisi od vrste drveća i načina održavanja, te od kvaliteta zemljišta gdje se vrše zasadi, inače u prosjeku inosi 6 do 8m.

Kod realizacije drvoreda jedan od najvažnijih zadataka je izbor vrste drveta prema uslovima koji stoje na raspolaganju. Na širokim ulicama i drugim širim površinama upotrebljavaju se otporne vrste koje se brzo razvijaju, dok na uskim ulicama treba upotrijebiti drveće koje se sporije razvija i koje podnosi vještačko formiranje krune.

Razne kulture, različito reaguju na zasjenjivanje što je čest slučaj u uskim ulicama i iulicama sa visokim objektima. Tako npr. lipa, kesten, breza, bukva dobro podnose zasjenu, dok bagrem, jablan, hrast, breza i dr. lošije.

Veoma je važno da drvored u jednoj ulici bude od iste vrste drveća. Promjenu vrste drveća treba vršiti samo na mjestima gdje se lomi linija ulice ili na mjestima prelaza u krivinu.

U našim uslovima najčešću upotrebu imaju slijedeće vrste drveća:

- divlji kesten (*Aesculus hippocastanum*), visine 15-20m,
- platan (*Platanus occidentalis*), visine 20-30m,
- lipa (*Tilia platyphilia*), visine 15-20m,
- bagrem (*Robinia pseudoacacia*), visine 15-20m,
- orah (*Juglans nigra*), visine 15-20m, itd.

Skromne zahtjeve u pogledu kvaliteta zemljišta imaju bagrem, platan, vrba, breza, topola i jablan,. Prosječne zahtjeve traže kesten, hrast i dr., dok posebne uslove treba obezbijediti za lipu, jasen i sl. (plodno i duboko zemljište).

Obezbijedenje sadnica za budući drvored, tehnika zasađivanja, njegovanje i zaštita, trebaju biti u skladu sa hortikulturnim propisima i uslovima koje preporučuje šumarski stručnjak, specijalista za taj posao.

7. RASPORED, KONSTRUKCIJA, MOGUĆNOSTI GRAĐENJA I EKSPLOATACIJE OBJEKATA KOMUNALNE INFRASTRUKTURE

Kod rekonstrukcije postojećih i izgradnje novih naselja bitnu aktivnost predstavlja inženjersko opremanje, tj. projektovanje i izgradnja objekata komunalne infrastrukture. Objekti komunalne infrastrukture projektuju se u obliku kompleksnih sistema za vodosnabdijevanje, kanalizaciju, toplifikaciju, elektroosnabdijevanje, javnu higijenu, hortikulturu i dr., pri čemu osnovni prostor za smještaj i raspored pojedinih instalacija čine gradske ulice (sl.7.1).



Slika 7.1 Detalj polaganja podzemnih mreža u okviru izgradnje "SJEVERNE LONGITUDINALE" potez od II-ge do III-će transversale u Sarajevu (Foto: Grcić O., 2006.)

Pojedini kapitalni objekti svakog komunalnog sistema obično su van gradskog područja (npr. izvorišta vode, postrojenja za prečišćavanje vode, termoelektrane, hidroelektrane, rasadnici, deponije i sl.), dok na području grada egzistiraju podzemne mreže kao **elementi podzemnog**

urbanizma, koje su ukopane u trupu uličnog profila prema određenim pravilima i propisima.

O svim instalacijama koje su sastavni dio podzemnog urbanizma trebaju da postoje snimljeni podaci geodetskim metodama, što predstavlja **katastar podzemnih objekata (mreža)**, veoma bitan materijal za ukupno gradsko planiranje i eksploataciju.

7.1 Raspored podzemnih mreža na gradskom području

Kod projektovanja odnosno trasiranja podzemnih mreža, neophodno je pridržavati se važećeg urbanističkog plana grada, kako bi se uvažili svi planski elementi definirani za određeni period, uključivo i faze realizacije planskih dokumenata. To se posebno odnosi na veličinu i raspored pojedinih funkcionalnih zona, plan cestovne i ulične mreže, mreže željezničke i vodne infrastrukture, reljef, inženjersko-geološke, hidrogeološke i geomehaničke uslove, uslove hidroloških, klimatskih i ekoloških prilika, raspored i udaljenosti izvora energetike, vode, kapitalnih objekata (postrojenja za prečišćavanje vode, pumpnih stanica, gasnih podstanica, trafostanica i sl.) itd.

U zavisnosti od položaja i funkcije koju imaju podzemne mreže dijele se na:

- vanjsku (dovodnu i odvodnu) po kojima se dovodi od izvorišta: voda, gas, toplota u gradsku magistralnu mrežu i odvodi sa gradskog područja oticaj kanalizacijom gravitaciono ili pod pritiskom, povratni toplovod do TE od stambenih zona itd.,
- gradsku (magistralnu), koja u osnovi transportuje tranzitne količine,
- razvodnu, uličnu mrežu od koje se vrši distribucija korisnicima,
- mikrorejonsku mrežu, koja opslužuje samo naseljeni mikrorejon,
- kućni priključci.

Pri formiranju poprečnog profila ulice neophodno je uzeti u obzir potrebe za razmještaj podzemnih mreža, po visini i horizontali.

Za većinu starih gradova karakterističan je razmještaj mreža (često bez nekog posebnog reda) ispod saobraćajnog (kolovoznog) dijela ulice. (sl.7.2)



Slika 7.2 Postojeći razmještaj podzemnih mreža na jednom dijelu sjeverne longitudinalne u Sarajevu (Foto: Grgić O., 2006.)

Kod savremenog građenja teži se racionalnijem polaganju komunikacija, pa se ide i ispod trotoara i zelenih površina, što pruža mogućnost lakše popravke i rekonstrukcije, bez da se narušava odvijanje gradskog transporta.

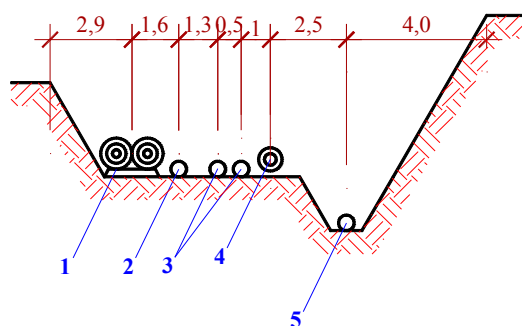
Generalno, u sastav gradskih mreža spadaju:

1. cjevovodi,
2. kablovi i
3. kolektori (profili velikog prečnika) za zajedničko ili odvojeno postavljanje više cjevovoda i kablova.

Kao po pravilu, magistralne podzemne mreže trasiraju se kroz gusto naseljeni dio stambenih zona i usmjeravaju prema krupnim potrošačima.

Magistralne gradske mreže polažu se duž saobraćajnih arterija, često kroz specijalne objekte (kolektori, tuneli), dok magistralne rejonske mreže idu duž stambenih ulica i prilaza. Težnja je, naročito kod velikih gradova **zajedničko** polaganje većeg broja podzemnih komunikacija u

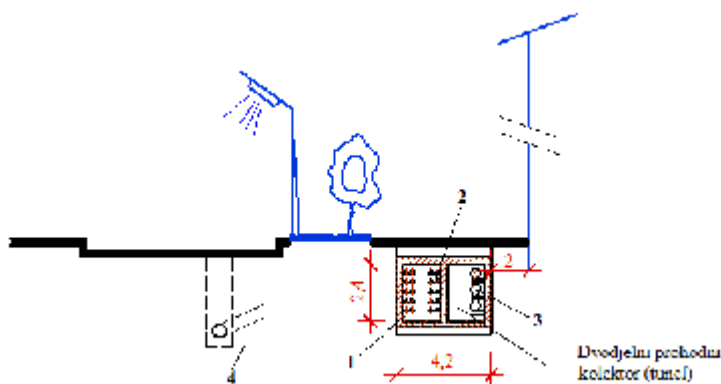
jednom rovu (slika 7.3) ili u zajedničkom kanalu, odnosno kolektoru (slika 7.4).



Slika 7.3 Šema polaganja podzemnih mreža u zajedničkom rovu: 1- toplovodi; 2- vodovod; 3- gasovodi; 4- kišna kanalizacija; 5- fekalna kanalizacija

Zajedničko polaganje većeg broja podzemnih instalacija pruža povoljnije uslove vezane za racionalizaciju troškova, te za eksploataciju i popravak mreža, a kod kolektora (tunela) pri tome nema potrebe za otkopavanjem s površine saobraćajnica.

Kod kolektora, koji su obično prohodni objekti, polažu se najčešće vodovod, toplovodi i različiti kablovi. Gasovode moguće je također polagati ali se tada mora obezbijediti posebna ventilacija.

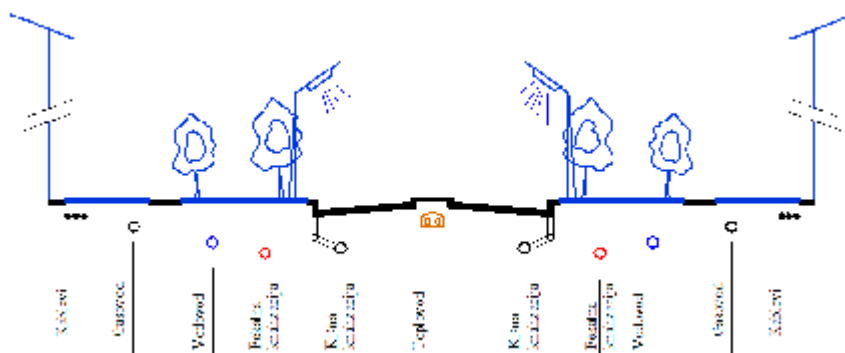


Slika 7.4 Šema polaganja podzemnih mreža u zajedničkom prohodnom kolektoru (tunelu): 1- elektro kablovi; 2- kablovi veze; 3- vodovod i toplovod; 4- kišna kanalizacija

Kolektori mogu biti sem za više i samo za jednu vrstu mreža, kao npr. za kablove, za gasovode, toplovode itd.

Kod starih i manjih gradova i naselja polaganje komunalnih instalacija obično se vrši ukopavanjem u pliće rovove (zavisno od vrste mreže) i to najčešće pojedinačno u okviru poprečnog profila ulice (sl. 7.5).

Dubina ukopavanja podzemnih mreža zavisi od dubine zamrzavanja tla i od uzajamnog položaja različitih vrsta mreža. Razlikuju se dvije zone dubine ukopavanja, pliće i dublje.



Slika 7.5 Šema razmještaja podzemnih mreža ispod gradskih ulica kod pojedinačnog polaganja

U zonu plitkog ukopavanja (60-150cm) polažu se kablovi i cjevovodi toplifikacije. U zonu dubokog ukopavanja (preko 150cm) idu ostali cjevovodi i kolektori.

Razmještaj mreža u poprečnom profilu ulice vrši se u zavisnosti od njihove dubine. Mreže sa plićim ukopavanjem polažu se bliže objektima (zgradama), a sa dubljim dalje od njih.

U vezi sa stalnim razvojem gradova i povećanjem njihove uređenosti odnosno opremljenosti, broj i vrste podzemnih mreža neprestano se povećavaju.

Posebno je važno voditi računa da vodovodna mreža bude ukopana pliće od fekalne kanalizacije, koja je uvijek dublja. Također su važna i međusobna rastojanja pojedinih podzemnih komunikacija (Tabela 7.1). Maksimalnu dubinu ukopavanja ima mreža kanalizacije i to kod mješovitog sistema 6,5-8m, kao što to važi i kod separatnog sistema za fekalnu kanalizaciju.

Toplovodi se ukopavaju i polažu iznad vodovoda, kanalizacije i gasovoda.

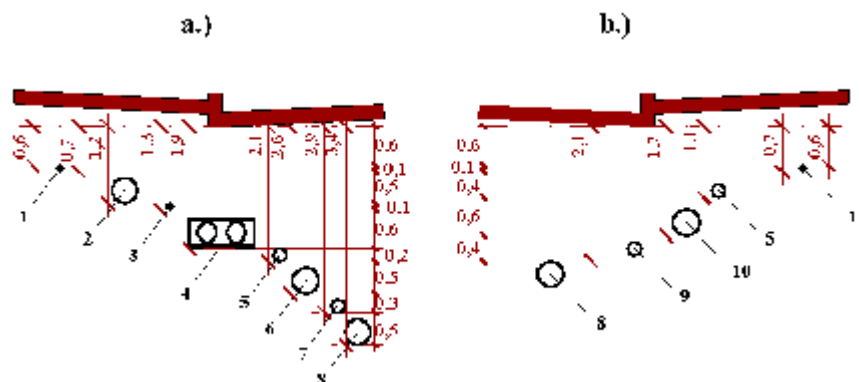
Tabela 7.1 Minimalna rastojanja u situaciji od podzemnih mreža do objekata i drvoreda [3]

Podzemna mreža	Rastojanje (m)							
	do ivice temelja	najbliže šine		kontaktna i kablovsaka mreža	do tunelske obloge	do donje ivice ili gornje kanala	do osovine drvoreda	do ivičnjaka
		željeznica	tramvaj					
Vodovod	5	3,2	2	1,5	5	1	1,5	2
Kanalizacija								
- bez pritiska	3	3,2	1,5	3	3	1	1,5	1,5
- pod pritiskom	5	3,2	2	1,5	5	1	1,5	2
Toplovod (od stjenke kanala)	5	3,2	2	1,5	2	1	2	1,5
Gasovodi								
- niski pritisak do 0,05 bara	2	3	2	0,5	3	1	1,5	1,5
- srednji pritisak 0,05-3 bara	5	4	2	0,5	5	2	1,5	2
- visoki pritisak 3-6 bara	9	7	3	0,5	10	5	1,5	2
- visoki pritisak 6-12 bara	15	10	3	0,5	15	7	1,5	
Cjevovod tople vode	3	3,2	2	1,5	3	2,5	1,5	1,5
Drenaža	3	3,2	2	1,5	1	1	1,5	1,5
Kablovi slabe i jake struje	0,6	2,2	2	0,5	0,5	1	2	1,5

Varijante vertikalnog i horizontalnog zoniranja podzemnih mreža vidljive su sa sl. 7.6 (Ruski propisi SN i P II – K. 3-62).

U podnožju trotoara ne manje 0,5m od građevinske linije polažu se kablovi slabe struje (požarna signalizacija, radio, TV kablovi, međugradske PTT mreže i specijalne linije), zatim kablovi jake struje napona do 10 kV.

Kablovi za javni transport (trolejbus, tramvaj, metro) polažu se 0,5m od krajeva kablova jake struje, dok se kablovi visokog napona 35 kV polažu ispod zelenih nasada ili ispod kolovoza na rastojanju bar 2m od najbliže podzemne mreže. Ostale podzemne mreže raspoređuju se u planu počevši od građevinske linije prema osovini ulice na odgovarajućim dubinama.



Slika 7.6 Varijante (a) i (b) vertikalno-horizontalnog zoniranja podzemnih instalacija

1- kablovi slabe struje; 2- kablovi telefonske mreže; 3- kablovi jake struje; 4- toplovod; 5- gasovod; 6- kišna kanalizacija; 7- vodovod; 8- fekalna kanalizacija; 9- distribucioni vodovod; 10- magistralna mreža; 11- kablovi

Radi povećane sigurnosti u snabdijevanju vodom, toplotom i gasom ponekad se projektuju mreže u dvije ili više paralelnih linija. Opravdanost takvog pristupa zahtijeva ekonomsku analizu varijanti u ovisnosti od potreba i širine uličnog profila.

7.2 Konstrukcija kolektora

Izbor konstrukcije kolektora zavisi od hidrogeoloških i geomehaničkih uslova i seizmičnosti područja. U svakom slučaju, kod projektovanja ovih građevinskih konstrukcija treba predvidjeti mogućnost industrijske proizvodnje. Pri tome, treba da se primjene montažne konstrukcije, koje se izvode prema tipskim projektima i važećim standardima za tu vrstu objekata.

Najčešći tipovi kolektora u praksi su:

- Kolektori pravouglog presijeka iz monolitnog armiranog betona i opeke,
- Montažni armiranobetonski kolektori pravouglog presijeka,
- Kolektori kružnog presijeka, koji se izvode metodom proboja, putem štita i
- Kolektori u vidu cijevi (većeg prečnika) koji se polažu u iskopane rovove.

Monolitni armirani beton za kolektore pravouglog presijeka u kombinaciji sa zidovima od opeke, primjenjuje se kad nema ekonomske opravdanosti (mali obim radova, nedostatak industrijskog pogona i sl.) korištenja armirano-betonskih montažnih kolektora.

Od armiranog betona obično se projektuju noseće konstrukcije kolektora. Marke betona za ove vrste objekata su uobičajene i kreću se od M20 do MB30, u zavisnosti od uslova građenja (klime, visine smrzavanja tla, prisustva podzemnih voda, agresivnosti tla i voda i dr.). Kod montažnih armirano betonskih kolektora prakticiraju se dva oblika konstrukcija:

- od više sastavnih elemenata i
- jedinstvene konstrukcije (sekcije).

Drugi oblik je sa većom težinom i obaveznom upotrebom kрана kod polaganja, odnosno montaže. Prednost je u smanjenju obima radova, skraćenju roka izvođenja a isključeni su tzv. mokri procesi.

Kod većih dužina kolektora u specifičnim klimatskim uslovima kod ovog oblika treba predvidjeti na rastojanju 20-60m temperature dilatacije, koje se popunjavaju vodonepropusnim materijalom.

Posebna se pažnja mora posvetiti izradi hidroizolacije, uključivo i potrebi primjene hidrotehničkog betona, jer se zahtijeva da kolektor bude suh.

U cilju obezbijeđenja normalne eksploatacije kolektora potrebno je:

- izraditi šahtove za montažu cjevovoda i armatura, bar na svakih 300m dužine,

- obezbijediti ventilaciju i odvodnju,
- osvijetljenje, automatiku i signalizaciju i
- dispečersku opremu (puktove).

Proračun podzemnih mreža i kolektora čini jedan od najsloženijih zadataka građevinskih konstrukcija i inženjerskih objekata, zbog svojstava tla na kome se ti objekti fundiraju i statičkih okolnosti koje su promjenljive i ponekad neodređene. Sve to utiče da se na bazi znanja iz mehanike tla i fundiranja ovi proračuni rade kao približni, s mogućnošću utvrđivanja i eksperimentalnih podataka.

Kod proračuna konstrukcije cjevovoda, kolektora i njihovog fundiranja uzimaju se u obzir slijedeći vidovi opterećenja:

1. **stalno opterećenje**-sopstvena težina konstrukcije, težina zemlje na objektu, pritisak podzemnih voda,
2. **promjenljivo opterećenje**- vertikalno opterećenje od gradskog transporta i pritisak tla zbog uticaja promjenljivog vertikalnog opterećenja,
3. **ostalo opterećenje i uticaji**- uticaj kolebanja temperature, unutrašnji pritisak tečnosti u cjevovodu, pritisak tla kod privremenog uskladištenja materijala iz iskopa kao i cjevnog materijala kraj rova, građevinsko opterećenje.

Gdje je potrebno uzeti u proračun važan je i uticaj seizmičkih sila u trasnom području.

Sopstvena težina konstrukcije računa se prema geometrijskim dimenzijama i zapreminskoj težini materijala.

Pritisak od težine zemlje na cijevi (G_t), položenih u rov određuje se prema formuli:

$$G_t = B^2 \cdot C \cdot \gamma \text{ (kN/m)} \quad (7.1)$$

B - širina rova u visini tjemena cijevi (m)

C - koeficijent zavisao od karaktera zemlje i odnosa dubina / širina rova [6]

γ - zapreminska težina nasipnog materijala (kN/m^3).

Kod širokih i plitkih rovova pri odnosu $\frac{H}{B} < 1$ (H -dubina rova do vrha

cijevi) koeficijent $C \approx 1$ i vertikalno opterećenje na cijev jednako je težini zasipa.

Horizontalni aktivni pritisak tla na položenu cijev, ima zanemarljiv uticaj, jednak $1/6$ vrijednosti vertikalnog pritiska [3].

7.3 Specifičnosti građenja podzemnih mreža i kolektora

Gradske inženjerske mreže polažu se u tlo **otvorenim iskopom** ili **tunelski**. Najširu primjenu ima iskop rova sa površine terena. Tunelski način polaganja cjevovoda primjenjuje se uglavnom u suženim gradskim uslovima, kao i u slučaju kad je otvoreni način nemoguć ili nepoželjan.

Kod novih naselja trebalo bi prvo graditi osnovne magistralne vodove prije izgradnje stambenih objekata na osnovu regulacionih planova, odnosno glavnih projekata pojedinih instalacija. Paralelno se izvode i tranzitni vodovi, odnosno kolektori gdje je to predviđeno.

Kvartalna mreža i priključci rade se u periodu tzv. nultog ciklusa i završavaju paralelno sa završetkom stambenih objekata.

Polaganje podzemnih mreža principijelno ide u ulicama gdje su u toku zemljani radovi (slika 7.7), ali uz predhodno razrađen tehnološki projekat izvođenja radova, usaglašen sa svim podfazama različitih aktivnosti, shodno i različitim instalacijama.



Slika 7.7 Izgradnja dijela sjeverne longitudinalne u Sarajevu uz polaganje kablovskih mreža (Foto: Grcić O., 2006.)

Pri polaganju cjevovoda najobimniji su zemljani radovi na iskopu rovova, bilo da se oni izvode mašinski ili ručno (u izuzetno specifičnim uslovima).

Obično se dužina dionice iskopa rova (L_r) može odrediti prema izrazu:

$$L_r = \frac{P_e \alpha}{A} \text{ (m)} \quad (7.2)$$

P_e - eksploataciona produktivnost rovokopača (ekskavator) u jednoj smjeni (m^3)

α - koeficijent koji uzima u obzir povećanje produktivnosti

A - površina poprečnog presjeka rova (m^2)

Izgradnja objekata komunalne infrastrukture, posebno podzemnih mreža na području grada, zahtijeva veoma seriozan projekat organizacije radova, koji mora do u detalj da predvidi sve mjere kako bi svakidašnji život stanovništva tekao normalno. To znači, u skućenim uslovima odvijanje bez većeg zastoja motornog i pješačkog saobraćaja, vozila hitne pomoći, vatrogasnih i policijskih vozila, pri paralelnom izvođenju podzemnih mreža i pratećih priključaka.

U **projektu organizacije radova** treba biti naznačen tip i presjek rova, način njegovog osiguranja i metod izvođenja zemljanih i drugih radova. Moraju biti definisana mjesta kretanja pješaka i način regulisanja odvijanja motornog saobraćaja. Također, trebaju da su određeni i projektovani privremeni prelazi i pokretni mostovi za sve vrste saobraćaja, uključivo i određena mjesta gdje treba da bude angažovana saobraćajna policija za regulisanje saobraćaja, kao i postavljena privremena signalizacija.

U uskim ulicama treba da bude riješen način iskopavanja i uskladištenje iskopanog materijala te cjevovoda, armatura i dr, tako i stavljene oznake obavještenja za radove koji se izvode.

Pri postojanju podzemnih voda, kao i u vlažnim uslovima treba razraditi način evakuacije voda iz rova, bilo crpljenjem ili upuštanjem u izbušene bunare.

U projektu organizacije radova, posebno moraju biti riješeni detalji oko polaganja mreža ispod željezničkih pruga i tramvajskih kolosijeka, magistralnih ulica i gusto opterećenih raskršća. Također, blagovremeno treba da bude riješeno na koji način izvršiti premoštenje novopoloženih mreža sa postojećim, što se ustvari radi na bazi podataka vezanih za katastar podzemnih instalacija.

Veoma važno pitanje odnosi se na način zatrpavanja rova, uključivo da li se to radi sa autohtonim iskopanim materijalom ili materijalom koji se mora dovući sa strane (šljunak, pijesak i sl.), radi uspostavljanja kvalitetne ulične kolovozne konstrukcije. Ulična kolovozna konstrukcija radi se ne dugo poslije izvršenog zatrpavanja rova i završava u što kraćem roku. Materijal kojim se zatrpava rov neophodno je propisano nabiti, kako bi se izbjeglo naknadno slijeganje i pucanje kolovozne konstrukcije što može nepovoljno da utiče na bezbjednost saobraćaja, a i na daljnje oštećenje ukupne konstrukcije zbog zadržavanja i procurivanja površinskih voda od atmosferilija i pranja ulica.

Kod izvršenja radova otvorenim putem aktivnosti koje se odvijaju su slijedeće: razrada trase cjevovoda u situaciji i po visinama, razrada kolizionih tačaka (ukrštanje sa postojećim instalacijama) i snimanje odnosno inventarisanje objekata oko rova (sl. 7.8).

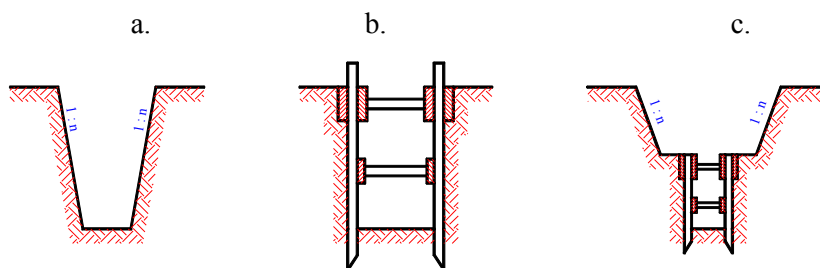


Slika 7.8 *Geodetsko snimanje objekata u okviru izgradnje dijela sjeverne longitudinalne u Sarajevu (Foto: Grcić O., 2006.)*

Razrada trase vrši se uz primjenu geodetskih principa, što će kasnije omogućiti i njeno iskolčavanje na terenu. U tu svrhu na terenu mora biti razvijena odgovarajuća geodetska mreža (poligone i reperne tačke) s koje će se izvršiti iskolčavanje trase i vršiti praćenje njenog napredovanja sa kontrolom svih lomova u horizontalnom i vertikalnom pogledu.

7.3.1 Izgradnja rovova

Za polaganje podzemnih mreža otvorenim načinom izvođenja radova vrši se iskop rova sa stijenkama u nagibu, s vertikalnim stijenkama ili stijenkama mješovitog tipa (sl.7.9).



Slika 7.9 Tipovi rovova za polaganje podzemnih mreža: a- stijenke u nagibu; b- vertikalne stijenke; c- stijenke mješovitog oblika

Rovovi sa vertikalnim stijenkama imaju najmanji obim zemljanih radova, ali njihovo izvođenje bez oplačivanja i razupiranja u zemljištu s pripadnom vlažnošću ima ograničenu dubinu [3]:

- u rastresitom šljunčanom i pjeskovitom zemljištu..... 1,00m
- u zaglinjenom pijesku..... 1,25m
- u glinovitom materijalu..... 1,50m
- u posebno čvrstom nestjenovitom materijalu..... 2,00m

U nevezanim ili malo vezanim zemljištima, kao i u zemljištima zasićenim vodom, vertikalne stijenke rova potrebno je zaštititi i učvrstiti, što usložnjava i jako produžava rok izvođenja radova.

Izgradnja rovova sa stijenkama u nagibu uzrokuje maksimalni obim zemljanih radova, ali u isto vrijeme taj tip rova ne treba učvršćenje stijenki. Ovaj tip rova je jeftiniji nego sa vertikalnim stijenkama i oplačivanjem odnosno razupiranjem. Osim toga, u rovovima bez oplata i razupora značajno je jednostavnije polaganje i montaža cjevnog materijala (sl. 7.10).



Slika 7.10 Polaganje gasovodne mreže u plice iskopanom rovu bez zaštitne oplata u okviru izgradnje dijela sjeverne longitudinalne u Sarajevu (Foto: Gracić O., 2006)

Tip rova bira se na osnovu tehničko-ekonomskog upoređenja varijanti uz uvažavanje lokalnih uslova.

Rovovi sa oplaćivanjem primjenjuju se u skućenim gradskim uslovima, kada širina ulice ne dozvoljava izgradnju kanala sa stjenkama u nagibu, gdje bi trasa cjevovoda prolazila u blizini objekata čiji bi temelji bili ugroženi.

Rovovi sa stjenkama u nagibu uvijek se primjenjuju u zemljištu s prirodnom vlažnošću i kad postoji dovoljna širina za izvođenje radova. Mješoviti tip rova obično se primjenjuje kod većih dubina i visokog nivoa podzemnih voda.

Dimenzije poprečnog presijeka rova zavise od dijametra i dubine polaganja cjevovoda, hidro-geoloških uslova i mogućnosti izvođenja spojeva na cjevovodu.

Oplaćivanje rova

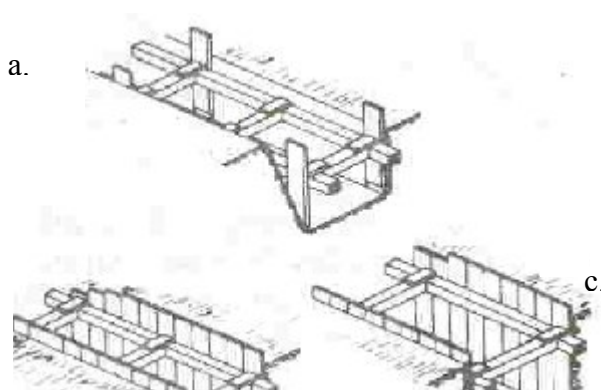
Kod izvođenja dubljih rovova sa vertikalnim stjenkama vrši se njihovo oplaćivanje i razupiranje. Konstrukcija oplata i razupora bira se u zavisnosti od uslova tla, dubine rova i mogućnosti njegove razrade (tabela 7.2).

Tabela 7.2 Oblici oplaćivanja stijenki rovova [3]

Uslovi tla	Oplaćivanje kod dubine iskopa	
	$\leq 3m$	3-5m
Tlo normalne vlažnosti; sa isključenjem osipanja	Horizontalno sa prerezima	Površinsko horizontalno
Tlo povećane vlažnosti i sa osipanjem	Površinsko horizontalno ili vertikalno	
Tlo svih karakteristika sa doticanjem podzemnih voda	Površinsko horizontalno do dubine 0,75m od dna rova	

Kod izvođenja horizontalnog oplaćivanja sa prerezima samo sa jednom daskom, ugrađuju se vertikalni nosači i vrši njihovo razupiranje. Razupore se postavljaju, u zavisnosti od izvršenog proračuna, na međusobnom rastojanju, te dubini na 0,5 do 1,5m (sl. 7.10). Vertikalni nosači (stubovi) dolaze na svakih 1,5m horizontalnog rastojanja. Nosači i razupore su u obliku drvenih gredica dimenzija 12x18sm, a daske za oplaćivanje debljine 50mm.

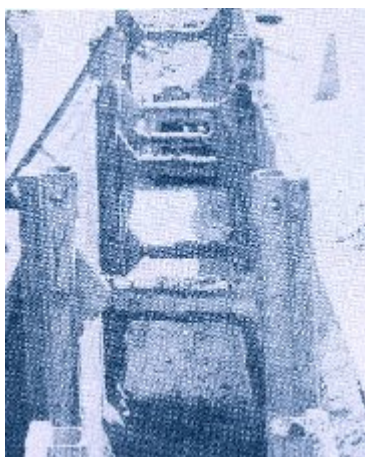
Oplaćivanje počinje kad je rov iskopan do dubine 0,5 do 1,0m i dalje se nastavlja sa njegovim produbljivanjem.



Slika 7.11 *Različiti primjeri oplaćivanja i razupiranja rova s drvenom građom:*

a- plitak rov samo razupiranje; b- srednja dubina rova sa vertikalnim oplaćivanjem; c- velika dubina rova sa dvospratnim vertikalnim oplaćivanjem

Oplate i razupore od drvene konstrukcije su neekonomične i naporne za izvođenje. Izvode se ručno uz malu upotrebu mehanizacije. Zemljani radovi se u ovom slučaju također izvode ručno. Određena ušteda drveta postiže se primjenom željeznih razupora kao inventarskog materijala. Kod savremenog građenja oplaćivanje i razupiranje stjenki rova vrši se gotovim montažnim konstrukcijama od čelika ali i drugih vrsta metala, koji se mogu koristiti više puta i duže vremena. Postoji veći broj proizvođača ovih konstrukcija, od čega jednu takvu pokazuje slika 7.12.



Slika 7.12 Šema montažne čelične konstrukcije ("Vienna Trench Control") za oplaćivanje i razupiranje rova

Iskop rova u vodonosnom i slabovezujućem tlu, a također u blizini objekata i podzemnih prepreka može biti realizovano samo pod zaštitom predhodno pobijenih čeličnih talpi (ponekad mogu i drvene). Dubina pobijanja ide najmanje 0,5 do 0,75m ispod nivelete rova.

Pri presijecanju rova s malom širinom i dubinom sa čeličnim cjevovodima, iste nije potrebno posebno osiguravati-podupirati, što nije slučaj kad su širi i dublji rovovi a i veći prečnici cjevovoda koji se ukrštaju. Naime, tada je potrebno odgovarajućim podupiranjem obezbjediti cjevovod na koji se naišlo, isto i kablove koji se također moraju poduhvatiti, pri čemu podupirači ostaju i po zatrpavanju rova.

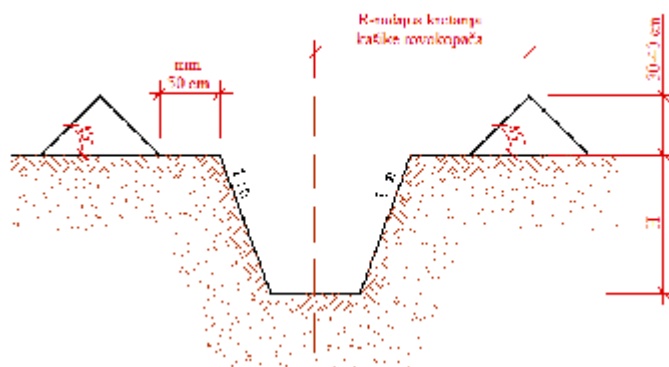
Mehanizovana razrada rova

Zemljani radovi kod građenja podzemnih mreža su najobimniji poslovi, koji se uspješno mogu izvršiti samo uz primjenu odgovarajuće mehanizacije. Najčešće se koriste razne vrste bagera-rovokopača (sl. 7.13) i eskavatora sa više kašika. Ustvari, radi se o samohodnim mašinama točkašima ili sa gusjenicama. Koriste se za iskop u svim vrstama materijala, izuzev gdje su stjenoviti uslovi kad je nužno miniranje [6].



Slika 7.13 Bager, rovokopač angažovan na iskopu rova u okviru izgradnje dijela sjeverne longitudinalne u Sarajevu (Foto: Grcić O., 2006.)

Iskopani materijal obično se odlaže sa jedne strane rova, dok je na drugoj strani lociran cijevni materijal i prateći dijelovi. Ponekad se može iskopani materijal odlagati i s obje strane rova (sl.7.14).



Slika 7.14 Šematski prikaz rova i dvostranog odlaganja iskopanog materijala

Odvodnjavanje rova

Postojanje vode u rovu ne samo što otežava polaganje cjevovoda i drugih mreža, nego ponekad onemogućava izvršenje ukupnih radova,

počevši od iskopa pa do montaže, naročito spojeva na cjevnom materijalu.

Radi odstranjenja vode u rovu u zavisnosti od veličine doticaja primjenjuje se crpljenje ili vještačko sniženje nivoa podzemnih voda. Iscrpljena voda upušta se u kanalizaciju ili u odvodne kanale odnosno prirodni vodotok.

Otvoreno crpljenje primjenjuje se kad je priliv podzemnih voda relativno mali i poslije većih kiša, odnosno pljuskova. U ovom slučaju se na svakih 25-50m u rovu izvode prijemni rezervoari dubine 0,5m ispod dna nivoa gdje se sakuplja voda i crpkama izbacuje van njega.

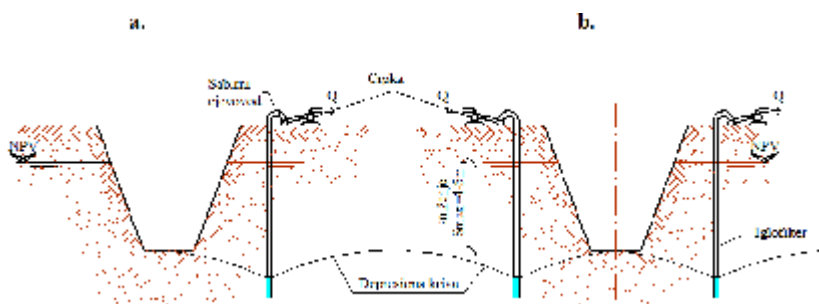
Ovaj način odvodnjavanja rova ima niz nedostataka:

- stalni dotok vode u rov koja ometa radne procese,
- kvašenje dna rova i njegovo ispiranje, što mu smanjuje nosivost,
- voda ispira materijal i sa bokova rova, što može izazvati deformacije i poremetiti stabilnost okolnih objekata i
- nužnost oplućivanja stjenki rova.

Odvodnjavanje otvorenim putem iskopanih rovova, ne daje uvijek željene rezultate, naročito kod jako zasićenog zemljišta, pa se mora organizovati **vještačko snižavanje nivoa podzemnih voda**, najčešće pomoću iglo filtera.

Prije projektovanja ovog sistema odvodnjavanja trebaju se izvršiti odgovarajuća hidrogeološka istraživanja i proračunom definirati ukupni parametri (rejon podzemnih voda, koeficijent filtracije i dr.) i na bazi toga odrediti planirani broj i način rasporeda iglofiltera [6].

Sistem vertikalno postavljenih iglofiltera funkcionira tako, da se tokom izvođenja radova neprekidno iscrpljuje podzemna voda i na taj način zemljana sredina meliolira (sl. 7.15).



Slika 7.15 Šematski prikaz sistema sniženja nivoa podzemnih voda putem iglofiltera (a-jednostrani; b- dvostrani)

Sniženje nivoa podzemnih voda obično ide do dubine 4-5m. Ako je potrebno veće sniženje onda se iglofilteri rade sa dva nivoa, ili se koriste ejektorski iglofilteri.

Priprema posteljice rova

Cijevi se u iskopanom rovu polažu na prirodnu ili vještački pripremljenu posteljicu. Posteljica se na projektovanom kotu dna rova izvodi od zrnastog materijala, najčešće od pijeska ili šljunka (sl. 7.16).



Slika 7.16 Pješčana posteljica rova gdje se polažu kanalizacione cijevi
(Foto: Grcić O.,2006)

Visina posteljice iznosi 7,5-15cm u kamenitom rovu, a u mekšim materijalima do 5cm. Ako je dno rova u izuzetno mekanom materijalu posteljica se izvodi sa betonskom podlogom debljine 10-15 cm. Ravnomjerno nalijeganje cijevi na posteljicu ima prevashodan značaj za održavanje projektovanog nagiba nivelete, ali i za stabilnost položene mreže.

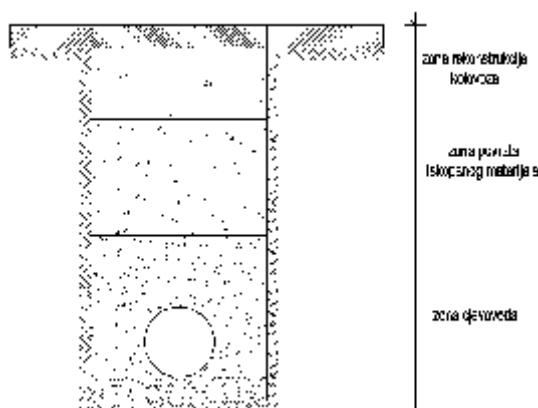
Montaža cjevovoda

Za polaganje i montažu cijevi u rov, što se radi po sekcijama koriste se automobilske kranove od 3,5 i 10t, u zavisnosti o kojim se cijevima radi (čelične, betonske, azbest-cementne, plastične itd). Prije spuštanja cijevi u rov, što može biti i ručno uz odgovarajuća pomagala, vrši se provjera kota nivelete dna putem ravnjače i podravnjače, geodetskim instrumentima ili laserski [6]. Poslije svake položene sekcije cijevi i montaže spojeva i drugih dijelova specijalnim priborom, vrši se provjera postignute nivelete. Inače, samo polaganje i montaža cijevi ide od nižih kota nivelete ka višim. Na mjestima gdje se radi spoj na cijevima ili priključak, zatim šaht i sl., vrši se proširenje rova i posteljice i obavlja predviđena radnja. Montirane cijevi treba uz fiksirane kote nivelete podbiti pijeskom sa strane. Cijevi moraju ravnomjerno nalijegati na posteljicu po čitavoj dužini, da se ne desi da djeluju kao "greda" ili "konzola".

Zatrpavanje rova

Poslije provjere pravilnosti ugrađenosti cjevovoda i kontrolnog ispitivanja na čvrstoću i hermetičnost vrši se zatrpavanje rova iskopanim materijalom. Zatrpavanje rova vrši se u slojevima, uz lagano nabijanje vibracionim, pneumatskim ili ručnim nabijačem. Najniži dio rova, **zona cjevovoda** (sl.7.16) do visine iznad tjemena cijevi 0,25 do 0,50m (u zavisnosti od dijametra i materijala cijevi) zasipa se zrnastim materijalom, bez stjenovitih komada. Iza ovog slijedi druga faza zasipanja rova, **zone povrata iskopanog materijala**, do njegove površine. Završetak zatrpavanja ove zone korisno je da se obavi mehanizovano.

Ispod saobraćajnih površina zasipanje rova je ponekad nužno da bude sa šljunkom koji se dovozi sa strane. Zasipanje materijalom u kojem je veći sadržaj organskih komponenti nije dozvoljeno.



Slika 7.17 Karakteristične zone kod zatrpavanja iskopanog rova

Zadnja faza zatrpavanja rova je uređenje **zone rekonstrukcije kolovoza** (gdje je rov urađen ispod kolovozne konstrukcije), čiji je kvalitet u direktnoj ovisnosti od kvaliteta obavljenog prethodnog zatrpavanja.

Jedan od najvažnijih postupaka kontrole uspješnosti zatrpavanja rova je ispitivanje zbijenosti zasipa. Stepem zbijenosti zasipa vrednuje se koeficijentom zbijenosti (K_z). Rovovi u dijelu ispod kolovozne konstrukcije po čitavoj dubini zasipa treba da imaju ovaj koeficijent $K_z \geq 0,98$.

Pri zajedničkoj ugradnji podzemnih mreža u jednom rovu zasipanje počinje od najdublje položenog cjevovoda. Prije zasipanja ukupnog rova ispod svake instalacije posebno mora da se izvrši pojedinačno podbijanje i zasipanje od gornjeg tjemena sitnozrnim materijalom do visine 20-25cm.

7.3.2 Bezrovovska izgradnja

Izgradnja podzemnih mreža i kolektora otvorenim načinom u gradovima, posebno gdje je gustina naseljenosti ali i izgrađenih objekata velika, veoma je otežana zbog otkopavanja kolovozne konstrukcije, složenosti odlaganja iskopanog materijala, rada mehanizacije za iskop, lociranja cjevnog materijala i sl. Kod izgradnje rovova u uskim ulicama, nužna je zaštita njihovih stjenki putem

oplaćivanja, otežani su uslovi montaže instalacija u krajnjem, značajno je gubljenje vremena ali i povećanje troškova građenja.

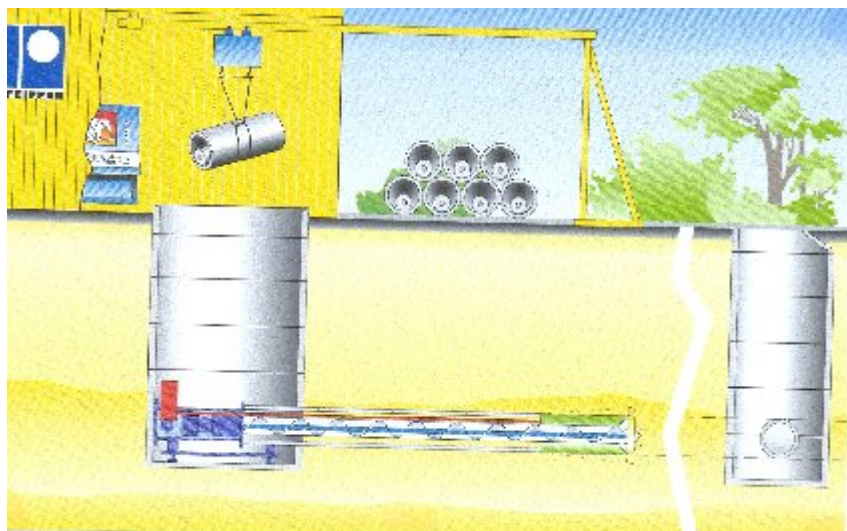
Posebno je složeno i dugotrajno, otvorenim načinom, izvođenje magistralne kanalizacione mreže, čija dubina ukopavanja ne rijetko iznosi 6-7m. Kod presijecanja podzemnih cjevovoda u magistralnim ulicama, tramvajskih i željezničkih pruga i slično, nije dopušteno prekidanje saobraćaja, pa je metod otvorenog iskopa kanala neprihvatljiv.

U vezi tim, u svim navedenim slučajevima za polaganje podzemnih mreža i izgradnju kolektora koriste se različite bezrovovske metode radova kao što su: putem štolni, štita, ispiranjem zemljišta, horizontalnim bušenjem (mikrotunelisanje), vibrovakumskim načinom razrade horizontalnih bušotina, te upotrebom hidromehaničke metode. Oblast primjene svake od nabrojanih metoda ovisna je od dijametra cjevovoda, njegove dužine, karaktera kolizionog mjesta, uslova tla, te zahtijeva u vezi tačnosti polaganja instalacije u horizontalnom i vertikalnom pogledu. Dubina polaganja cjevovoda ne utiče na izbor metode, izuzev kod korištenja štita, kojeg je korisno upotrijebiti pri dubinama polaganja većim od 6-7m.

Za ilustraciju bezrovovskog načina polaganja podzemne instalacije navodi se primjer mikrotunelisanja po postupku firme PFEIFFER, koja je posebno aktuelna sa ekološkog aspekta.

Postupak se sastoji u tome da se prvo iskopaju početni i krajni šaht sl. 7.18. Od početnog šahta se izvodi bušenje u pravcu drugog šahta, uz korištenje laserskog usmjeravanja.

Iznad početnog šahta postavlja se kontejner sl. 7.19, koji sadrži upravljačku jedinicu i dizalicu za spuštanje uređaja cijevi u šaht.



Slika 7.18 Postupak mikrotunelisanja za polaganje podzemnih mreža prema firmi PFEIFFER

Dati postupak je primjenljiv kod svih vrsta tala, s tim da se mogu postići dionice i do dužine od 180m.



Slika 7.19 Kontejner kod realizacije mikrotunelisanja

Bezrovovski način polaganja podzemnih mreža pored značajnog skraćenja roka izvođenja radova i minimalnog ometanja odvijanja saobraćaja, ima niz prednosti koje se ogledaju u slijedećem:

- građenje ne zavisi od vremenskih uslova,
- otpada sniženje nivoa podzemnih voda,
- ne ugrožavaju se hortikultuorni sadržaji,
- smanjena je produkcija buke i prašine,
- smanjena gotovo u potpunosti mogućnost ugrožavanja stabilnosti nadzemnih objekata, odnosno njihovih temelja itd.

7.4 Eksploatacija podzemnih mreža i kolektora

Eksploatacija podzemnih mreža različita je za svaku vrstu instalacije a i kolektora, u zavisnosti što je sve u njim položeno.

7.4.1 Vodovod i kanalizacija

Eksploatacijom vodovoda i kanalizacije obično se bave specijalizovane firme iz te oblasti. Pri eksploataciji ovih mreža prati se ispunjenje osnovnih funkcija:

1. ispravnost stanja i zaštićenosti mreža i objekata na njima (šahтови, mjerni instrumenti, armature i dr.),
2. hidraulički režim rada mreže i pratećih elemenata sistema s ciljem postizanja optimalnih uslova rada i daljnjeg proširenja mreže,
3. istraživanje kvarova na mreži sa mjerama popravke, sanacije ili zamjene pojedinih dijelova,
4. nadzor nad novom izgradnjom i prijemom tih dijelova za eksploataciju,
5. spremnost ljudstva i mehanizacije za brze intervencije i
6. vođenje tehničke statistike i inventarizacije objekata mreže te katastra svih mržnih linija.

Osnovni dokument tehničke inventarizacije vodovodne mreže je **plan ili šema mreže** sa koje je vidljivo dijametar cijevi, dužina, materijal cijevi i dubina ukopavanja, vrste spojeva, šahтови, padovi, godina izgradnje i sl. Osim toga, trebaju biti označena sva mjesta priključaka i šahtova sa trima pravouglim koordinatama. Svaki priključak treba imati svoj karton iz kojeg je vidljivo godina izgradnje, dijametar, materijal izvedbe i dubina ukopavanja.

Dokumenti tehničke inventarizacije kanalizacione mreže sadrže plan (situaciju) mreže, mjesta ispusta, dijametre i dužinu kanala, padove, dubinu ukopavanja, mjesta svih šahtova, rastojanja među šahtovima, pravce oticanja vode, mjesta priključenja uličnih kanala na glavne kanale tehničke karakteristike svakog uličnog kanala i sl. Za operativno održavanje normalnog režima rada mrežnih objekata, naročito u većim gradovima, organizuje se dispečerska služba. Ona može biti opšta ili podijeljena za vodovod odnosno kanalizaciju.

Dispečerska služba raspolaže sa neophodnom tehničkom dokumentacijom, na bazi koje se:

- upravlja i rukovodi sa ukupnom mrežom i objektima sistema,
- obezbjeđuje normalan režim rada ukupne mreže vodovoda i kanalizacije,
- kontroliše poštovanje pravila eksploatacije s pravilnikom o zaštiti na radu,
- vode operativne aktivnosti na sanaciji oštećenja i kvarova i narušenosti režima rada mreže, pumpnih stanica, postrojenja za pročišćavanje i dr.

Važan zadatak eksploatacije vodovodne mreže i ostalih objekata sistema je održavanje njihovog ispravnog stanja u cilju obezbjeđenja kontinuiranog snabdijevanja vodom u dovoljnoj količini i kvalitetu sa potrebnim pritiskom, svih priključenih potrošača.

Taj zadatak se sprovodi održavanjem i sanacijom mreže, prema utvrđenim planovima koji se sastoje od:

1. redovnih obilazaka trasa vodovodnih linija i provjere njihovog stanja, utvrđivanjem kvarova i drugih neispravnosti;
2. provjere tehničkog stanja armatura mreže i ostalih mrežnih uređaja;
3. utvrđivanje tehničkog stanja priključaka, sifona i prolaza ispod željeznih pruga i automobilskih puteva, uličnih čvorišta i njihov rad;
4. proučavanje režima rada mreže, stanja pritisaka provjerom na određenim repnim tačkama (putem mjerenja manometrima);
5. ispiranja slijepih ogranaka mreže sa brzinom kretanja vode min. 1m/s, sve dok kvalitet dotičuće vode i odlazeće ne bude izjednačen;
6. zaštita objekata od zamrzavanja, kao što su hidranti i zatvarači ugrađeni u šahtovima (pilotinom, slamom i sl.).

Rad na sanaciji mreže obuhvata tekuće i investicione aktivnosti. Tekuće poslove, koji su manjeg obima, obavlja radni personal koristeći

eksploatacione troškove. Investicioni radovi na mreži obuhvataju zamjenu dijelova mreže, bunara, šahtova, hidranata i dr. Njih pored redovno zaposlenih izvršavaju i specijalizovane firme. Poslije završetka građevinskih radova, obavljenih na mreži istu je nužno isprati i dezinfikovati, i to najmanje sa 25gr aktivnog hlora na 1m³ vode. Hlorni sastav treba da ostane u mreži minimalno 1 sat, poslije čega se cjevovod ponovo ispire čistom vodom, do potpunog nestanka mirisa hlora.

Osnovni zadatak eksploatacije kanalizacione mreže sastoji se u nesmetanom prijemu i transportu kanalizacione vode. Ispunjenje tog zadatka od strane zaposlenih vrši se preduzimanjem slijedećih mjera:

1. osmatranje (praćenje) rada i stanja mreže;
2. čišćenje kanala i šahtova;
3. tekući i investicioni radovi odnosno održavanje;
4. popravak kvarova i odstranjenje slučajnih začepljenja.

Osim nabrojanih mjera, zaposleni na eksploataciji kontrolišu sastav i količinu kanalske vode, uz ispunjenje pravilnika o korištenju kanalizacije na svim objektima spojenim na gradsku kanalizaciju; nadzor nad izgradnjom novih priključaka; preduzimanje mjera protiv preopterećenja kanalizacije i eventualnog plavljenja, naručito poslije topljenja snijega i provale oblaka; proučavanje mreže u svrhu sastavljanja planova za njenu rekonstrukciju i proširenje; ostvarivanje kontrole nad izgradnjom novih kanalizacionih mreža i njihov prijem za eksploataciju.

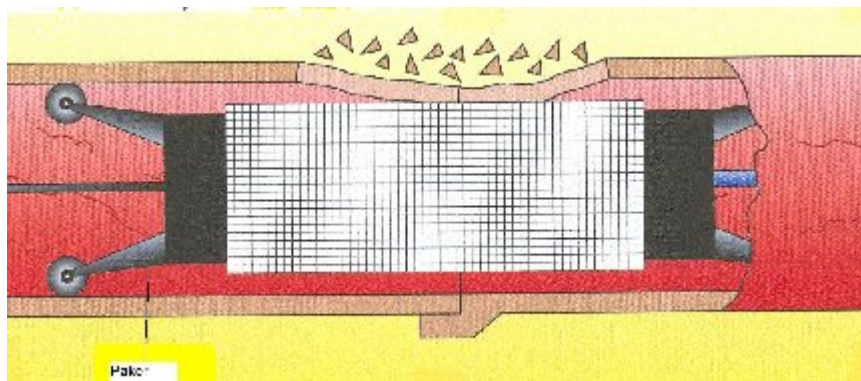
Saniranje cjevovoda

Jedan od veoma važnih zadataka kod održavanja podzemnih mreža, a prije svega cjevovoda je njihovo saniranje. Ne samo kod vodovoda, gdje je zbog smanjena gubitaka, posebno važno redovno saniranje kvarova, nego i kod drugih cjevovoda iz istih razloga veoma je bitna ista aktivnost kao što je transport toplote, gasa i dr. Saniranje cjevovoda, zahtijeva primjenu savremenih metoda koje su u svijetu već dovoljno razrađene, a koje pružaju optimalne rezultate poslije obavljenog posla.

U nizu metoda sanacije cjevovoda, danas veliku primjenu imaju postupci "Short-line" i "Berstlining" firme "PFEIFFER".

"Short-line" postupak je jeftin način pri kome se saniraju parcijalna oštećenja cjevovoda, bez građevinskih radova, i ometanja saobraćaja.

Oštećena cijev se čisti i putem kamere lokalizuje mjesto kvara. U cijev se uvlači tzv.paker (sl.7.20) koji je obavijen smolom, koja je impregnirana tkivnim šlaufom.

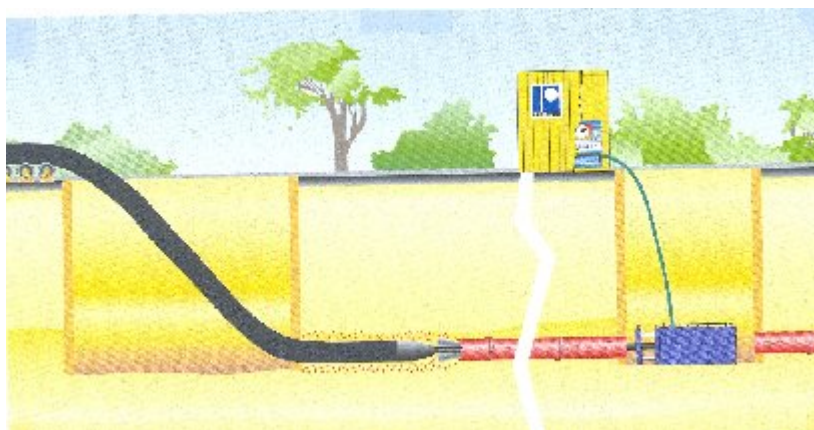


Slika 7.20 Paker kod sanacije cjevovoda postupkom "Short-line"

Paker, odnosno njegov obim, se pod pritiskom proširuje na mjesto kvara i na taj način šlauf na kome je smola sanira tretirani kvar (rupe ili prsline). Višak smole izlazi van, a poslije kratkog vremena čvrsta smola zajedno sa šlaufom i s tjenkama cijevi formira čvrstu masu. Nakon očvršćavanja paker se provjetri i izvlači iz cijevi.

"Berstlining" postupak je način obnove starih cjevovoda (betonskih, keramičkih, azbest-cementnih, čeličnih, livenih ili plastičnih) postavljanjem novih na istu poziciju (trasu) uz minimalne građevinske radove.

Stari cjevovodi se vežu i proširuju (sl.7.21) do pucanja. Nakon uvlačenja šipke-poluge u stari cjevovod, vrši se pričvršćivanje noža za rezanje. Hidrauličnom ručnom silom nož reže staru cijev, a njegov nastavak statičkim uvlačenjem osigurava odgovarajući dijametar otvora. Povećanje dijametra je lahko izvodljivo.



Slika 7.21 Šematski prikaz postupka "Berstlining" saniranja starog cjevovoda

Nakon procesa lomljenja starog cjevovoda slijedi uvlačenje novog cjevovoda, bilo kao kratke ili duge cijevi, odnosno koluta.

Ovaj postupak pruža znatnu ekonomičnost u odnosu na klasičan način sanacije, jer je smanjen obim građevinskih radova, uz mogućnost primjene novih cijevi od različitog materijala.

7.4.2 Toplovodne i kablovske mreže

Eksploatacija gradskih toplovodnih i kablovskih energetskih mreža treba da bude prema pravilnicima za tu vrstu instalacija.

Energetski sistemi sastoje se iz elektrostanica, linija prenosa energije, podstanica i toplovodnih mreža međusobno povezanih u zajednički režim procesa proizvodnje i raspodjele električne i toplotne energije.

Osnovni zadaci službe eksploatacije toplovodnih i kablovskih mreža su:

1. ispunjenje planova proizvodnje električne i toplotne energije na odgovarajućem nivou,
2. obezbijedenje potrebnog rada svih uređaja i besprijeckorno snadbijevanje toplotom i električnom energijom korisnika tih sistema,
3. održavanje normalnog kvaliteta distribucione elektro energije po pitanju stalnosti i napona, pritiska i temperature pare i tople vode,
4. obezbijedenje maksimalne ekonomičnosti energosistema pri racionalnoj potrošnji toplote i hidro resursa sa

najmanjim gubicima kod proizvodnje, transporta i distribucije toplote i električne energije.

Eksploatacija toplovodne mreže u manjim gradovima organizuje se ili u okviru nekog od pogona TE ili preko samostalne firme.

Eksploatacija toplovodne mreže

Osiguranje kvalitetnog rada toplovodne mreže može biti dostignuto samo njenom pravilnom eksploatacijom na bazi profilaktičkog redovnog obilaska, tekućeg i investicionog održavanja.

Za cijevovode se organizuje sistematična kontrola i obilazak, u šta spada vanjski pregled izolacije i spojnica od flanši; pregled armatura, njihove zatvorenosti ili otvorenosti; procijene stanja kompenzatora i cijevovoda; provjere rada drenaža i stanja građevinskih konstrukcija. Svake godine poslije grejne sezone, toplotna mreža se podvrgava ispitivanju na pritisak, kako bi se utvrdili eventualni defekti.

Održavanje toplovodne mreže posebno podrazumijeva poštivanje uslova pravilnika zaštite na radu. Svi zaposleni moraju biti upoznati s tim pravilnikom, kao što moraju biti svi certificirani što se tiče zdravstvenog stanja, što je slučaj i kod zaposlenih u vodovodu i kanalizaciji. Posebna se pažnja treba posvetiti onim mjestima (šahtovi, tuneli i sl.) gdje se može pojaviti gas i ta mjesta se moraju posebno obilježiti, a trebaju biti obilježena i na operativnoj šemi dispečera.

Eksploatacija kablovske mreže

Služba eksploatacije kablovske energetske mreže provodi profilaktičke mjere, a također tekuće i investiciono održavanje u cilju obezbjeđenja redovnog snabdijevanja električnom energijom odgovarajućeg napona priključenih korisnika.

Profilaktičke mjere sastoje se u sistematskom osmatranju i ispitivanju kablovskih mreža. Periodičnost osmatranja zavisi od konstrukcije i uslova pod kojim su položeni kablovi. Kablovska mreža napona do 35kw kontroliše se u slijedećim vremenskim rokovima [3]:

- položeni u tlu prema lokalnim instrukcijama ili bar jedanput u 3 mjeseca,
- položeni u kolektorima, tunelima i ispod mostova, jedanput u 3 mjeseca,

- položeni pod vodom, prema lokalnim instrukcijama,
- šahtovi, bar jedanput u 6 mjeseci ovisno od napona, a ponekad jedanput tokom godine.

Defekti uočeni prilikom obilaska, fiksiraju se u specijalnim dnevnicima i otklanjaju u najkraćem roku.

Svi objekti kablovske mreže (tuneli, kanali, kolektori, šahtovi i dr.) moraju se održavati u čistom stanju, kablovi i metalne konstrukcije, gdje su oni položeni trebaju biti presvučeni antikorozijskom zaštitom.

Posebna pažnja kod procesa eksploatacije treba biti posvećena zaštiti kablova od korozije lutajućih struja. Radi toga, kablovi se polažu u nemetalične cjevovode, kanale ili kolektore, ili se oblažu bitumenskom masom ili sličnim materijalom. Postojanje lutajućih struja utvrđuje se mjerenjem na kontrolno-mjernim punktovima.

Zaposleni na održavanju kablovskih mreža nužno je da budu obučeni dokumentima odnosno **pravilima o zaštiti na radu**. Ta znanja tehnike zaštite provjerava stručna komisija, uz izdavanje odgovarajućih certifikata.

Sprovođenje radova na kablovskoj mreži dozvoljeno je samo onda, kada je ona isključena iz pogona, tj. kad je bez napona, uz vidno upozorenje "Ne uključuj-rade zaposleni".

Kod vršenja iskopa zemlje, gdje su ukopani kablovi, prvih 0,4m dubine otvarati ručno lopatom uz krajnju opreznost, poštujući pri tome odgovarajući dokument o katastru podzemnih instalacija.

Posebnu pažnju posvetiti kod radova u šahtovima i tunelima, da u njima nema sakupljivih štetnih i zapaljivih gasova.

7.4.3 Gasna mreža

Eksploatacija gasnog sistema naseljenih mjesta sastoji se u provođenju mjera koje obezbjeđuju:

1. ispravno stanje svih objekata sistema snabdijevanje gasom, a također, pribora, uređaja, i agregata koji se koriste uz upotrebu gasa kao goriva;
2. besprekorno i bezopasno snabdijevanje gasom svih korisnika;
3. održavanje neophodnog pritiska gasa radi njegovog racionalno i bezbijednog korištenja.

Održavanje gasnih mreža i gasnih uređaja može biti samo od firme koje imaju specijalizirane radnike, koji vode odgovarajući inženjersko-tehnički kadrovi.

Za uspješno upravljanje i eksploataciju gasne mreže i uređaja, treba imati na raspolaganju slijedeću tehničku dokumentaciju:

- plan (šemu) položaja podzemnih gasovoda na koje su priključeni svi korisnici, sa označenim mjestima gasnih stanica za raspodjelu i regulirajućim punktovima,
- izvedbeni projekat gasne mreže sa svim uređajima i podzemnim objektima, uključivo i vrste cijevi njihovi profili, armature i dr.
- detalji o izvršenim varovima kao i priključcima pojedinih korisnika.

Nadzor i obilazak gasovodne mreže mora biti po određenom planu i to jedanput u 3 dana kod gasovoda srednjeg i visokog pritiska, a dva puta mjesčno kod gasovoda niskog pritiska.

Na mjestima gdje su gasovodi izgrađeni ispod saobraćajnog profila, u objektima i sl. kontrola bi trebala da bude svakodnevna. Posebna pažnja nadzora je svaki šaht na gasnoj mreži. Rezultati osmatranja i kontrole trasa gasovoda i drugih uređaja upisuju se u dnevnik utvrđene forme, u koji se još unose podaci o:

- visini provjerenog pritiska u mreži,
- stanju zatvarača i drugih armatura,
- mjestu eventualnog začepjenja gasovoda itd.

Paralelna aktivnost na održavanju gasovodne mreže su tekući i investicioni poslovi, uz striktno poštovanje pravilnika o zaštiti na radu. Poznavanje pravilnika o zaštiti na radu treba da se kod svakog zaposlenog radnika provjerava jedanput godišnje, a kod višeg stručnog osoblja jedanput u 3 godine.

Posebno je važno, da ekipa na održavanju sa bar tri radnika ima prenosivi uređaj za ventilaciju i zaštitne pojaseve i drugu opremu, bitnu kod spuštanja u šahtove.

Također je veoma važno, poznavati uslove u gasnoj mreži kada se vrše zavarivački radovi, prije svega visina pritiska koji mora da bude veći od 10 bara i ne manji od 4 bara [3].

7.4.4 Cjevovodi i kablovi u kolektorskim objektima

Radovi, vezani za eksploataciju cjevovoda različite namjene i kablova koji su položeni u opšte kolektore, ne razlikuju se od radova, koji se izvršavaju kod eksploatacije pojedinačno položenih podzemnih instalacija.

Za normalnu eksploataciju kolektora, temperatura zraka u njima ne bi trebala prelaziti 35-40°C [3]. Povećanje temperature zbog pregrijavanja toplovoda treba smanjiti stalnom ventilacijom kolektora. Ventilatori se automatski uključuju u rad putem gasnog relejnog sistema ili sličnog uređaja, ali i preko otvora, na pojedinim šahtovima. Pravila zaštite na radu koji se treba pridržavati, pored ovih koji se odnose na održavanje pojedinih instalacija, sastoje se u tome, da se kolektori redovno moraju čistiti i osloboditi od predmeta koji smetaju normalnu prohodnost.

Na svakih najmanje 300m, kolektori treba da su opremljeni sa revizionim šahtovima, kroz koje ne može doticati površinska ni podzemna voda.

Svi cjevovodi i kablovi u kolektoru moraju imati svoju boju, znači da su prefarbani radi identifikacije.

Zaposleni na održavanju, zbog mogućeg prisustva gasova u kolektoru moraju biti opremljeni i osposobljeni da mogu konstatovat prisustvo gasa i blagovremeno preduzet potrebne mjere zaštite.

Kolektori po pravilu, trebaju biti osvijetljeni stalnim izvorom električne energije, napona min. 12V.

7.5 Katastar podzemnih instalacija

Gotovo svaki grad, a posebno veći, ispod površine terena, najčešće na području uličnih profila ima značajne podzemne objekte, koji se sastoje od različitih vrsta cjevovoda i kablova, preko kojih se korisnici snabdjevaju potrebnom infrastrukturom, kao što su vodovod, kanalizacija, toplovodi, gasovdi, električna energija, telefonija, kablovska televizija i sl.

U interesu eksploatacije i održavanja, ukupna podzemna mreža instalacija se raspoređuje:

1. pod kolovoznom površinom,
2. ispod trotoara i zelenih površina,
3. u opštim kolektorima i tunelima te
4. ispod mostova.

Pravilan razmještaj podzemnih objekata ima pored ostalog važan sanitarni značaj, jer u slučaju havarije može se ugroziti čovjek i njegov okoliš:

- doticaj kanalizacionih voda u vodovodnu mrežu,
- doticaj gasa u stambene objekte,
- uništenje zelenila zbog kvarova na gasovdu, toplovodu i elektro kablovima itd.

U današnje vrijeme, a još više u budućnosti, izgradnja podzemnih objekata neće biti ograničena samo na cjevovode i kablove, jer biće tu i drugih sadržaja posebno transportnog karaktera (podzemne željeznice, garaže, tuneli, pješački prolazi itd.).

Na taj način, već je značajno aktualizovan problem tzv. podzemnog urbanizma, kome se povećaje sve veća pažnja. S tim u vezi veoma hitna aktivnost je izrada i postojanje **katastra ili evidencije podzemnih instalacija i objekata**.

Potreba i sve šire korištenje podzemnog prostora u kome također treba da se uspostavi red, naročito je prisutno u većim i velikim gradovima, što iz ekoloških razloga što i zbog nedostatka prostora na površini, ali i sigurnosnih okolnosti.

Katastar podzemnih instalacija vezan je za postojanje kvalitetne geodetske mreže, na koju se oslanjaju sva snimanja u horizontalnom i vertikalnom, odnosno visinskom pogledu. Rezultat izrade katastra podzemnih instalacija je prateća analitička i grafička dokumentacija, bez koje nije moguće valjano izvršavati bilo kakve investicione zahvate na rekonstrukciji, modernizaciji i novoj izgradnji, odnosno proširenju površinskih, a posebno podzemnih objekata.

Na bazi urađenog katastra podzemnih instalacija, planiraju se normativi i pravilnici po kojima u budućnosti treba da se izvode svi radovi ispod površine terena, što će u mnogome olakšati i eksploataciju odnosno održavanje objekata podzemnog urbanizma.

REZIMÉ

Problem rekonstrukcije i modernizacije gradskih sredina nezamisliv je bez adekvatnog rješavanja i objekata komunalne infrastrukture. To se posebno odnosi na gradske ulice i prateće elemente tzv. podzemnog urbanizma kao što su, mreže vodovoda, kanalizacije, električne, toplovoda, gasovoda i dr. Bitan sanitarni i ekološki značaj pri tome imaju javna higijena, odnosno rješavanje problema čvrstog otpada, te hortikultura, odnosno gradsko zelenilo.

Sve nabrojano posebno dolazi do izražaja kada je u pitanju uređenje gradova i naselja poslije ratnih dejstava kao što je slučaj u BiH, ali i šire.

LITERATURA

1. Bilitewski B., Härdtle G., Marek K., : Abfall – Wirtschaft; Springer, Berlin, 2000.
2. Damrath/Cord-Landwehr N.: Wasserversorgung; B.O. Teubener, Stuttgart, 1998.
3. Dobrović N.: Tehnika urbanizma - Saobraćaj; Građevinska knjiga, Beograd, 1958.
4. Fedorov N.F, Veselov S.F.: Gorodskie podzemnie seti i kolektori; SI, Moskva, 1972.
5. Gujev W.: Siedlungs-wasserwirtschaft; Springer, Berlin...Tokio, 1999.
6. Jahić M.: Deponije i zaštita voda; INZA, Sarajevo, 1980.
7. Jahić M.: Urbani kanalizacioni sistemi ; Geoinženjering, Sarajevo, 1985.
8. Jahić M.: Urbani vodovodni sistemi; Udruženje za tehnologiju vode, Beograd, 1988.
9. Jahić M.: Hidrotehnika; Tehnički fakultet, Bihać, 2003.
10. Jahić M.: Prostorno planiranje i zaštita okoline; Tehnički fakultet, Bihać, 2004.
11. Jahić M.: Urbani sistemi upravljanja čvrstim otpadom; Tehnički fakultet, Bihać, 2005.
12. Jahić M.: Sanitarne deponije; Tehnički fakultet, Bihać, 2006.
13. Jaroševski O. A., Meljnikov J. F., Korsakova I. N.: Sanitarna tehnika gorodov; SI, Moskva, 1990.
14. Maksimović B.: Urbanizam; Građevinska knjiga, Beograd, 1965.
15. Marinković A.–Uzelac: Prostorno planiranje; DOM, Svijet, Zagreb, 2001.
16. Martz G.: Siedlungswasserbau, Teil 1, Wasserversorgung; 4 Auflage; Wernwr –Verlag, Düsseldorf, 1993.
17. Marzeev A. N., Žabotonski V.M.: Komunalnaja gigiena; Medicina, Moskva, 1979.
18. Kainz/Kauch/Renner: Siedlung Wasserbau und Abfall-wirtschaft; MANZ, Wien, 2005.
19. Katanić J., Andjus V., Maletin M., : Projektovanje puteva; Građevinska knjiga , Beograd, 1983.
20. Korte J. V.: Osnovi projektovanja gradskog i međugradskog putnog saobraćaja; (prevod) Građevinska knjiga, Beograd, 1968.
21. Kroiss H.: Vorlesung Wassergütewirtschaft; IWAG, TU, Wien, 2000.
22. Kupusović T.: Mehanika fluida, IP „Svjetlost“ d.d., Sarajevo, 1998. Zagreb, 1966.
23. Ramzin S. I saradnici: Priručnik za komunalnu higijenu; Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb, 1966.

24. Stramentov A. E., Merkulov E.A.: Gorodskie ulici i dorogi; SI; Moskva, 1965.
25. Tehničar 2; Građevinska knjiga, Beograd, 1964
26. Tehničar 3; Građevinska knjiga, Beograd, 1960.
27. Tosunova M.I.: Planirovka gorodov i naseljenih mest; Visšaja škola, Moskva, 1975.
28. Twort A.C. i dr.: Water Supply, Third edition; Edward Arnold, London, 1985.
29. Vresk M.: Grad i urbanizacija; Školska knjiga, Zagreb, 2002.