

**Goran Sekulić**

**Ivana Ćipranić**

**KOMUNALNA  
HIDROTEHNIKA**

TEORIJSKE OSNOVE I RJEŠENI PRIMJERI

UNIVERZITET CRNE GORE  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

2015.

**KOMUNALNA HIDROTEHNIKA**  
**TEORIJSKE OSNOVE I RJEŠENI PRIMJERI**

Autori:

**Dr Goran Sekulić, dipl.inž.građ.**

*Vanredni profesor Građevinskog fakulteta u Podgorici*

**MSc Ivana Čipranić, dipl.inž.građ.**

*Saradnik u nastavi Građevinskog fakulteta u Podgorici*

Izdavač:

**Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore u Podgorici**

Za izdavača:

**Prof.dr Miloš Knežević, dipl.inž.građ., dekan**

Recezent:

**Prof. dr Mićko Radulović dipl.inž.geol.**

*Građevinski fakultet u Podgorici*

**Prof. dr Miloš Stanić, dipl.inž.građ.**

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu*

Lektor:

**Sandra Vukasojević**

Štampa:

*Tiraž: 300 primjeraka*

## PREDGOVOR

Knjiga je prvenstveno napisana za studente specijalističkih studija Hidrotehničkog smjera, na Građevinskom fakultetu u Podgorici, a njen sadržaj je u najvećem procentu prilagođen programu studija za predmete Komunalna hidrotehnika I i Komunalna hidrotehnika II. Naravno, želja autora je bila da njena namjena bude šira pa se ona može koristiti i u inženjerskoj praksi.

Odabrani sadržaj teorijskih poglavlja i praktični primjeri koji ih prate koncipirani su tako da se ova knjiga može čitati bez korišćenja druge literature, ali se podrazumjeva da je čitalac dovoljno obrazovan iz oblasti osnovnih hidrotehničkih disciplina, prije svega hidraulike i hidrologije.

Saglasno programu predmeta knjiga je podijeljena na tri cjeline: vodovodni sistemi, kanalizacioni sistemi i postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. U dijelu vodovodnih sistema dat je i osvrt na postrojenja za tretman vode za piće. Prve dvije cjeline, vodovodni sistemi i kanalizacioni sistemi, pored osnovnih teorijskih razmatranja problematike koja se tretira, sadrže i praktične primjere, kojima se ta teorijska izlaganja dodatno pojašnjavaju. Izborom datih primjera želio se pokriti što veći obim predmetne problematike, ali su autori svjesni da je to tek mali dio onoga sa čim će se budući inženjeri ovog usmjerenja sresti u praksi. Iz toga razloga smatramo da je ovo samo osnova za dalju nadogradnju znanja svih njenih budućih korisnika. Svaka sugestija čitaoca u smislu popravke ili poboljšanja predmetnog teksta biće dobrodošla autorima u daljem dopunjavanju ove materije.

Prilikom izrade ove knjige veoma su nam pomogli svojim primjedbama i sugestijama recenzenti prof. dr Mićko Radulović i prof. dr Miloš Stanić, na čemu smo im veoma zahvalni.

Podgorica, april 2015.

*AUTORI*

# SADRŽAJ

<b>A</b>	<b>VODOVODNI SISTEMI</b>	1
<b>A 1</b>	<b>ANALIZA POTROŠNJE VODE</b>	3
A 1.1	Vrste potrošnje vode	3
A 1.1.1	Potrošnja vode u domaćinstvima	4
A 1.1.2	Potrošnja vode u industriji	6
A 1.2	Norma potrošnje vode	6
A 1.2.1	Određivanje norme potrošnje	5
A 1.2.2	Računanje potrošnje vode	6
A 1.2.2.1	Računanje potrošnje vode za domaćinstva	9
A 1.2.2.2	Izračunavanje potrošnje vode za tehnološke potrebe	16
A 1.2.2.3	Izračunavanje potrošnje vode prilikom požara	17
A 1.3.	Gubici vode	17
A 1.3.1	Osnovne zone bilansiranja (OZB) kao sredstvo upravljanja gubicima u vodovodnim sistemima	21
A 1.3.1.1	Principi formiranja i kontrole OZB	21
<b>A 2</b>	<b>SISTEMI ZA SNABDIJEVANJE VODOM</b>	26
A 2.1	Objekti vodovodnog sistema	26
A 2.1.1	Izvorišta	27
A 2.1.2	Sistemi dovoda i raspodjele vode	29
A 2.1.2.1	Minimalni i maksimalni pritisak u vodovodnom sistemu	36
A 2.1.2.2	Hidraulički proračun vodovodnih mreža	37
A 2.1.2.3	Proračun pumpi u vodovodnom sistemu	44
A 2.1.2.4	Cijevni materijali	52
A 2.1.3	Rezervoari	69
A 2.1.3.1	Osnovni elementi rezervoara	70
A 2.1.4	Primjena savremenih softvera u procesu	73



projektovanja vodovodnih sistema	
A 2.1.4.1 Sakupljanje ulaznih podataka	75
A 2.1.4.2 Šematizacija mreže	77
A 2.1.4.3 Formiranje modela	79
A 2.1.4.4 Testiranje modela	84
A 2.1.4.5 Analiza problema	85
A 2.2 Unutrašnje instalacije vodovodnog sistema	87
A 2.2.1 Kućni vodovod	87
A 2.2.2 Protivpožarna potrošnja	95
<b>A 3 PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE</b>	97
A 3.1 Uvod – opšte o potrebi prečišćavanja vode za piće	97
A 3.2 Osnovni postupci u procesu prečišćavanja vode za piće	102
<b>A 4 VODOVODNI SISTEMI-PRIMJERI</b>	138

<b>B</b>	<b>KANALIZACIONI SISTEMI</b>	188
<b>B 1</b>	<b>PROJEKTOVANJE KANALIZACIONIH SISTEMA</b>	189
B 1.1	Podjela otpadnih voda	190
	B 1.1.1 Sanitarne otpadne vode	190
	B 1.1.2 Industrijske otpadne vode	195
	B 1.1.3 Atmosferske vode	196
	B 1.1.4 Tuđe vode	201
B 1.2	Hidraulički proračun kanalizacije	201
	B 1.2.1 Karakteristike tečenja u sistemu kanalizacije	202
	B 1.2.2 Ograničenja projektnih parametara	206
B 1.3	Cijevni materijali	212
<b>B 2</b>	<b>DIMENZIONISANJE KANALIZACIONE MREŽE</b>	226
B 2.1	Dimenzionisanje kanalizacije otpadnih voda	226
B 2.2	Dimenzionisanje kanalizacije atmosferskih voda	226
B 2.3	Objekti za sakupljanje površinskih voda s ulica	227
B 2.4	Crpne stanice u kanalizaciji	231
B 2.5	Statički proračun kanalizacionog kolektora	236
B 2.6	Unutrašnje instalacije kanalizacije	244
<b>B 3</b>	<b>KANALIZACIONI SISTEMI-PRIMJERI</b>	255

<b>C</b>	<b>PREČIŠĆAVANJE I ZAŠTITA VODA</b>	283
<b>C 1</b>	<b>KARAKTERISTIKE UPOTRIJEBLJENIH VODA IZ KANALIZACIJE</b>	284
<b>C 2</b>	<b>STANDARDI ZAŠTITE RECEPIJENATA OD ZAGAĐENJA OTPADNIM VODAMA</b>	287
<b>C 3</b>	<b>PROJEKTOVANJE UREĐAJA ZA PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH VODA</b>	290
C 3.1	Mehaničko, hemijsko i biološko opterećenje	291
C 3.2	Ekvivalentni broj stanovnika	292
C 3.3	Srednji dotok vode na postrojenje u toku dana	294
<b>C 4</b>	<b>OSNOVNI PROCESI PREČIŠĆAVANJA UPOTRIJEBLJENIH VODA</b>	297
C 4.1	Prethodni i primarni tretman	301
C 4.2	Biološko prečišćavanje	307
	C 4.2.1 Neki specifični biološki postupci tretmana upotrijebljenh voda	309
	C 4.2.1.1. Postupak sa aktivnim muljem	309
	C 4.2.2. Biološka filtracija	317
	C 4.2.3 Tretman odlaganja mulja	319
C 4.3	TERCIJARNO PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH VODA I PONOVDNA UPOTREBA PREČIŠĆENE VODE	325
<b>C 5</b>	<b>ZAJEDNIČKO ODVOĐENJE I PREČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH I KOMUNALNIH OTPADNIH VODA</b>	332
	LITERATURA	335
	Prilog-KRATKO UPUTSTVO ZA KORIŠĆENJE PROGRAMSKOG PAKETA "EPANET"-	338

# A - VODOVODNI SISTEMI

### **UVODNE NAPOMENE O VODOVODNIM SISTEMIMA**

Voda je osnovna potreba za razvoj ljudskog društva. Skoro cijela istorija ljudske civilizacije vezana je za vodu kao osnovnu komponentu opstanka čovjekovog života. Najstariji poznati ostaci civilizacija govore da je značaj vode bio oduvijek dobro shvaćen i da je nastanak, život pa i nestanak nekih naroda i kultura bio neposredno vezan za obezbjeđenje dovoljnih količina vode. Razvoj cjelokupne privrede, proizvodnja hrane, proizvodnja energije, transport ... bili su i jesu direktno zavisni od vode i mogućnosti njenog obezbjeđivanja.

Posljednjih decenija je postalo jasno kako Zemlja – „plava planeta“, ima ograničene i ranjive resurse vode, te da će takvi resursi imati odlučujući uticaj u budućem razvoju ljudskog društva. Od sve vode na Zemlji, oko 97,5% je slano, a od preostalih 2,5% slatke vode oko 70% je zamrznuto u polarnim lednicima. Manje od 1% sve slatke vode u svijetu, odnosno 0,007 % sveukupne vode, dostupno je za ljudsku upotrebu. Procjenjuje se da će broj stanovnika u svijetu do 2025. dostići 8,3 milijarde, a da će do 2050. iznositi 10 do 12 milijardi. Takođe, procjena je da danas 1,2 milijarde ljudi (20 % ukupnog stanovništva Zemlje) ne raspolaže sigurnim izvorima vode. U posljednjih deset godina globalna potražnja za vodom porasla je 6 do 7 puta, više nego dvostruko brže od porasta broja stanovnika. Potrošnja vode ima trend neprestanog porasta. Iako je čovjeku za održanje života nužno potrebno između 1 i 5 litara vode na dan, zavisno od klimatskih uslova u kojima žive, stvarna potrošnja je više stotina puta veća.

Ubrzana urbanizacija naselja u svim dijelovima svijeta dovodi do toga da veliki broj ljudi živi u gusto naseljenim područjima bez odgovarajućih sanitarnih uslova, zdrave pitke vode a samim tim i u ekološki neodrživoj sredini. Izgradnja i održavanje sistema za snabdijevanje vodom ima prvenstveno veliku higijensku važnost, jer štiti zdravlje ljudi. Pored toga, osiguranjem i dovođenjem dovoljne količine vode u naseljeno mjesto omogućava se podizanje opšteg životnog standarda ljudi i uređenje njihovog životnog prostora.

Sistemi za snabdijevanje vodom predstavljaju kompleksne objekte sastavljene od više funkcionalnih komponenti među kojima su

osnovne: zahvatni objekti, dovodni cjevovodi, postrojenja za prečišćavanje vode, pumpne stanice, rezervoari, distributivna mreža, uređaji za nadzor i upravljanje vodovodom i kućne instalacije. Takva složenost ovih sistema zahtjeva po pravilu multidisciplinarni pristup, kako prilikom prethodnih analiza i njihovog projektovanja i izgradnje tako i kasnije u njihovoj eksploataciji i upravljanju.

Sistemi za snabdijevanje vodom se stalno razvijaju, bilo da su u pitanju tehničko-tehnološka rješenja ili upravljanje, čime se poboljšavaju efektivnost i efikasnost njihove eksploatacije. U vezi s tim, treba istaći da se ovi sistemi projektuju da budu dugovječni, ali je zato neophodna njihova pravilna eksploatacija, kako projektni uslovi to nalažu, a održavanje mora da bude sprovedeno po principima najbolje prakse.

### **A 1 ANALIZA POTROŠNJE VODE**

Od tačnog određivanja potrošnje vode zavisi dimenzionisanje vodovodnog sistema.

#### **A 1.1 Vrste potrošnje vode**

Pri projektovanju sistema za snabdijevanje vodom nekog naselja, potrebno je prvo odrediti količinu i utvrditi kvalitet vode koja je potrebna za konkretno naselje. Pri tome moramo uzeti u obzir sve moguće potrošače vode i utvrditi njihove trenutne i buduće potrebe.

Potrošnju vode možemo podijeliti u tri osnovne grupe:

1. potrošnja vode u domaćinstvima;
2. potrošnja vode u industriji - tehnološka voda;
3. potrošnja vode za gašenje požara i potrošnja vode za potrebe vodovodnog sistema.

### A 1.1.1 Potrošnja vode u domaćinstvima

Osnovni faktori koji utiču na potrošnju vode u domaćinstvima su :

- broj stanovnika;
- klimatski uslovi;
- životni standard;
- kvalitet vodovodnog sistema i kućnih instalacija;
- infrastrukturna uređenost područja;
- razvijenost privrede, industrija, turizam;
- cijena vode;
- mjerenje potrošnje i gubitaka vode u sistemu.

Količina potrošene vode zavisi od brojnih konstantnih i promjenljivih faktora, koji se međusobno razlikuju od naselja do naselja. Zbog toga buduću potrošnju vode nekog naselja možemo najbolje ocijeniti na osnovu već izgrađenih vodovoda, koji imaju slične karakteristike. U tabelama A 1.1., A 1.2., A 1.3. i A 1.4. su date prosječne vrijednosti nekih vrsta potrošnje vode, koje su određene na osnovu dosadašnjih iskustava.

*Tabela A 1.1 a) Potrošnja vode u domaćinstvu u pojedinim evropskim zemljama,  $Q_d$*

Upotreba	$Q_d$ (% od srednje potrošnje )			
	Njemačka	Holandija	Švedska	V. Britanija
Lična higijena	35	32	40	35
Piće, kuvanje i pranje suđa	9	15	22	14
Pranje veša	12	20	12	10
Ispiranje WC-a	31	31	20	35
Druge namjene	13	2	6	6
<b>Ukupno</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

*Tabela A 1.1 b) Potrošnja vode u domaćinstvu za razne aktivnosti*

Aktivnost	Potrošnja l/s	Trajanje min	Q l/h
Ispiranje WC šolje	8	1	480
Tuširanje	50	6	500
Pranje ruku	2	0.5	240
Pranja lica i zuba	3	1	180
Pranje veša	60	6	600
Kuvanje	15	5	180
Pranje suda	40	6	400
Piće	0.25	0.05	300
Ostalo	5	2	150

*Tabela A 1.2 Potrošnja vode u maloj privredi,  $Q_z$*

Djelatnost	$Q_z$ (l/st.d)
Pekare	0,30
Industrija mesa	1,05
Ugostiteljstvo	2,30
Uprava i banke	2,23
Hotelijerstvo	2,62
Ukupno $Q_z$ :	9,25

*Tabela A 1.3 Potrošnja vode u javnim ustanovama,  $Q_u$*

Djelatnost	$Q_u$ (l/st.d)
Škole i fakulteti	3,20
Bolnice	4,15
Obrana i sigurnost	2,96
Pošta	0,23
Željeznice	0,20
Javna uprava	0,82
Javna kupališta	2,25
Javne potrebe	2,59
Ukupno $Q_u$ :	16,40



Tabela A 1.4 Potrošnja vode za turističke potrebe,  $Q_t$

Kategorija turističkog smještaja	$Q_t$ (l/tur.d)
De-lux hoteli	500-1000
Hoteli-A kategorija	550
B kategorija	400
Smještaj u kućnoj radinosti	250
Kampovi	110-150

Maksimum potrošnje je u ljetnim mjesecima u vremenu hidrološkog minimuma. Potrošnja za turističke potrebe zavisi od stepena udobnosti i atraktivnosti turističkog smještaja i ostalih sadržaja koji se nude gostima.

### A 1.1.2 Potrošnja vode u industriji

Potrošnja vode u industriji zavisi od primjenjenog tehnološkog procesa. Zbog jako velikih potrebnih količina vode pojedine industrije mogu da imaju svoja sopstvena izvorišta vode. Prosječno se 60-70% vode koristi za hlađenje, 25-35% se troši u tehnološkom postupku, a ostatak je industrijska otpadna voda.

Tabela A 1.5 Potrošnja vode u nekim industrijama,  $Q_{ind}$

Vrsta industrije	$Q_{ind}$ ( $m^3/t_{proizvoda}$ )
Industrija vune i pamuka	150-750
Industrija papira i čelika	10-300
Proizvodnja bakra	30-40
Industrija nafte	3 - 10
Mliječna industrija	3 - 35

### A 1.2 Norma potrošnje vode

Norma potrošnje ( $n_p$ ) je veličina koja nam pokazuje količinu vode koja je potrebna jednoj osobi na dan :

$$n_p = \frac{\text{količ. ukupne potrošene vode}}{\text{br. priklj. stanovnika} \cdot 365} \left[ \frac{l}{st \cdot dan} \right]$$

Norma potrošnje vode je osnovna količina za dimenzionisanje sistema za snabijevanje vodom. Od njenog određivanja tj. pretpostavke njene veličine zavisi rad cijelog sistema.

### A 1.2.1 Određivanje norme potrošnje

Norma potrošnje se određuje analizom svih vrsta potrošnje :

- domaćinstava;
- zalijevanje bašti;
- komunalnih potreba;
- malih preduzeća i javnih ustanova.

Za početno razdoblje razvoja naselja, normu potrošnje možemo odrediti na sljedeći način:

$$n_p = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 + C_3 \cdot Q_3 \cdot e + C_4 \cdot Q_4) \cdot m \cdot o \cdot f$$

$Q_1$	potrošnja vode u domaćinstvima;
$Q_2$	potrošnja vode za zalijevanje bašti;
$Q_3$	potrošnja vode za komunalne potrebe;
$Q_4$	potrošnja vode u malim preduzećima i javnim ustanovama;
$C_1, C_2, C_3, C_4$	koeficijenti građevinskih zona (centar, prigradsko naselje...);
$e$	koeficijent prisustva zelenila u naseljenom mjestu;
$m$	koeficijent strukture potrošača;
$o$	koeficijent opremljenosti stanova;
$f$	koeficijent klimatskog uticaja.

#### *Potrošnja tehnološke vode*

Paralelno sa razvojem naselja raste i procenat zastupljenosti industrije u ukupnoj potrošnji vode. Potrošnja vode u industriji prvenstveno zavisi od tehnološkog procesa koji ta industrija koristi. U prethodnom tekstu, u tabeli A 1.5 su date opšte norme potrošnje vode za određene vrste industrije.

#### *Potrošnja vode za gašenje požara i za potrebe vodovodnog sistema*

Zaštita od požara regulisana je zakonom i Pravilnikom o tehničkim normativima za hidrantsku mrežu za gašenje požara. Propisani su

zahtjevi za izvore vode, kapacitet, proticaj i pritisak vode u hidrantskoj mreži.

Potrošnja vode za gašenje požara u velikim naseljima predstavlja mali dio ukupne potrošnje vode, dok je u malim naseljima taj procenat veći i znatno utiče na odabir profila cijevi, pumpi i potrebnog radnog pritiska.

Razlikuje se neposredno gašenje požara primjenom hidrantskog sistema bez i sa vatrogasnim vozilom i pripadajućom opremom.

Količina vode za gašenje požara određuje se prema broju stanovnika i broju vjerovatnih istovremenih požara, a iznosi od  $q_{\text{pož}} = 10$  l/s do 90 l/s.

Hidrantska mreža dijeli se na unutrašnju i spoljašnju. Spoljašnji, ulični hidranti su najmanjeg prečnika  $\varnothing 100$  mm, ugrađuju se na udaljenosti 80-150 m, a pritisak na hidrantu mora biti najmanje 2,5 bar.

*Tabela A 1.6 Karakteristične količine vode za gašenje požara u zemljama Evrope*

Područja djelovanja hidranata		Potreba vode za pojedini požar ( $\text{m}^3/\text{min}$ )		Trajanje gašenja (h)
Gradska sredina	Stambena naselja L(m)	Početak gašenja	Tokom gašenja	
80-100	120-140	1,0-1,5	3,6-6,0	2-6

U slučaju kad je mjerodavna količina vode za stanovništvo  $q_{\text{max/h}}$  manja od potrebne protivpožarne količine  $q_{\text{pož}}$ , elementi vodovodnog sistema dimenzionišu se na  $q_{\text{pož}}$ , a ponekad i na ukupnu zajedničku potrošnju ( $q_{\text{max/h}} + q_{\text{pož}}$ ).

### A 1.2.2 Računanje potrošnje vode

Vodovodne sisteme gradimo tako da zadovoljavaju potrebe za vodom i u budućnosti. To znači da moramo predvidjeti i odrediti potrošnju vode u budućnosti, za razdoblje u kojem bi vodovodni sistem trebalo da zadovolji potražnju.

Planirano razdoblje za snabdijevanje vodom, tj. dimenzionisanje sistema je onaj broj godina u kojima će biti realizovani uslovi za koje je izvršeno projektovanje. Planirano razdoblje obično iznosi 25 do 30 godina, a ponegdje i do 50 godina.

Na odabir planiranog razdoblja utiče:

- životni vijek konstrukcije i opreme;

- početna cijena izgradnje i rada sistema;
- mogućnost finansiranja;
- mogućnost obezbjeđivanja planirane potrošnje vode na kraju planiranog razdoblja;
- mogućnost proširenja ili povećanja kapaciteta sistema;
- mogućnost zarade u planiranom razdoblju;
- ponašanje sistema u početnom razdoblju, kada još nije u potpunosti iskorišćen.

### A 1.2.2.1 Računanje potrošnje vode za domaćinstva

Potrošnju vode za domaćinstva određuju tri osnovna podatka:

- norma potrošnje vode;
- broj stanovnika na kraju planiranog razdoblja;
- koeficijenti neravnomjernosti potrošnje.

#### *Predviđanje norme potrošnje vode u planiranom razdoblju*

Norma potrošnje vode se u toku planiranog razdoblja stalno mijenja i dostiže najveću vrijednost na kraju razdoblja. Početnu vrijednost određujemo analizom svih potrošnji, kako je definisano ranije.

Vrijednosti norme potrošnje za pojedine faze razvoja sistema, kao i za vrijednosti na kraju planiranog razdoblja, potrebno je odrediti u skladu sa karakteristikama naselja u odgovarajućim fazama razvoja.

Ako sjedinimo sve uticaje na razvoj naselja u jedan faktor, kojeg možemo nazvati faktorom razvoja naselja  $R$ , dobijamo:

$$n_{p,t} = n_p \cdot R_t$$

gdje su:

$n_{p,t}$  norma potrošnje u vremenu  $t$ ;

$n_p$  norma potrošnje na početku planiranog razdoblja;

$R_t$  faktor razvoja naselja u vremenu  $t$ .

Faktor razvoja naselja je funkcija vremena, veličine naselja i nacionalnog dohotka po glavi stanovnika. Rastom nacionalnog dohotka raste i standard, a time i posredno norma potrošnje. Ako

poznamo tendenciju promjene faktora civilizacije, onda možemo predvidjeti kako će se mijenjati norma potrošnje. U većini slučajeva važi da je u naseljima sa niskim standardom potrošnja vode mala, ali će se vremenom znatno povećati, dok je u naseljima sa visokim standardom potrošnja velika, ali se ona neće mnogo povećavati, jer je potreba za vodom praktično zadovoljena.

Zadnjih godina je došlo do promjena u ovim trendovima, prije svega iz razloga nedovoljno raspoloživih količina voda, pa se norma potrošnje u najrazvijenijim zemljama administrativno ograničava (npr. EU preporuke za 150 l/st.dan).

Iz prethodnog proizilaze zaključci :

- priraštaj norme potrošnje u malim naseljima je veći nego u velikim;
- u velikim naseljima je priraštaj norme potrošnje uvijek manji i on se približava nekoj konstantnoj vrijednosti;
- u skladu sa gore navedenim, možemo pretpostaviti da norma potrošnje raste po paraboličkom zakonu.

### *Predviđanje broja stanovnika na kraju planiranog perioda*

Broj stanovnika u nekom naselju se mijenja u zavisnosti od nataliteta, mortaliteta i migracije. Te brojke zavise od mnogih faktora, među kojima su: uslovi za život, razvoj industrije, transport, školstvo, itd.

Osnovne metode proračuna budućeg broja stanovnika su:

- komponentna metoda;
- metode na temelju postojećih podataka.

*Komponentna metoda* se koristi u slučajevima kad su migracijske promjene male u odnosu na prirodni priraštaj. U slučaju većih migracionih kretanja ovu metodu je teško primjeniti zbog teškoća izračunavanja neto migracije.

*Metode za ocjenjivanje na osnovu postojećih podataka* se baziraju na podacima broja stanovnika u prošlosti i u sličnim područjima. Proračun se zasniva na produženju postojećeg trenda promjene broja stanovnika.

U osnovi razlikujemo:

a) *Kratkoročne ocjene:*

- aritmetička progresija;

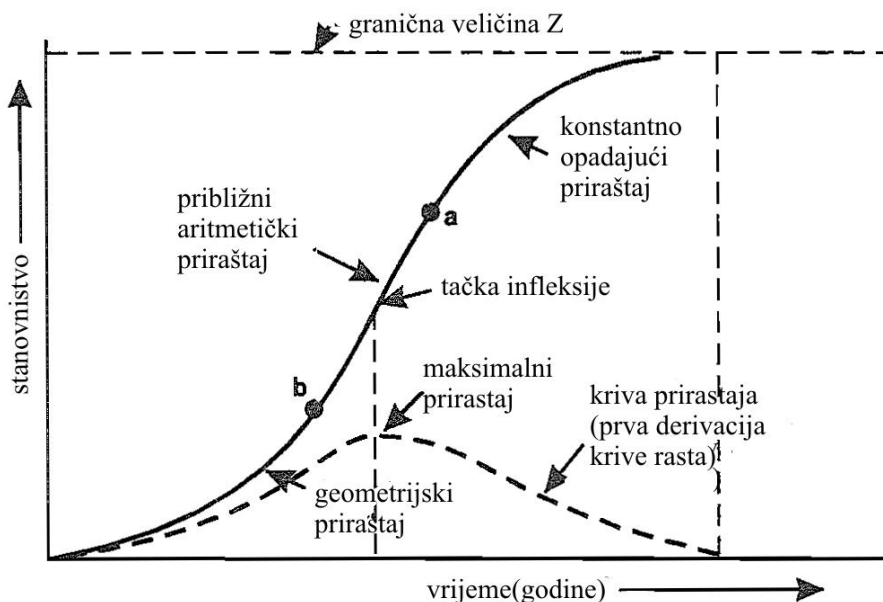
## A VODOVODNI SISTEMI

- geometrijska progresija;
- konstantno opadajući priraštaj;
- grafičko produženje.

b) Dugoročne ocjene:

- grafičko ili numeričko upoređivanje sa drugim naseljima;
- matematičko prilagođavanje krive.

Prve tri metode se zasnivaju na tipičnoj krivoj rasta stanovništva.



Slika A 1.1 Tipična kriva rasta stanovništva

a) *Kratkoročne ocjene*

*Metoda aritmetičke progresije*

Ako je :  $Y$ -stanovništvo,  $t$ -vrijeme,  $Ka$ -konstanta jednolikog priraštaja, onda je:.

$$\frac{dY}{dt} = Ka$$

$$Y = Y_1 + Ka \cdot (t - t_2)$$

$$\int_{Y_1}^{Y_2} dY = K_a \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$Y_1 - Y_2 = K_a \cdot (t_2 - t_1)$$

$$K_a = \frac{Y_1 - Y_2}{t_2 - t_1}$$

### Metoda geometrijske progresije

Ova metoda koristi pretpostavku da je veličina promjene proporcionalna broju stanovnika:

$$\frac{dY}{dt} = K_g \cdot Y$$

$$\int_{Y_1}^{Y_2} \frac{dY}{Y} = K_g \cdot \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$\ln \frac{Y_2}{Y_1} = K_g \cdot (t_2 - t_1)$$

$$K_g = \frac{\ln Y_2 - \ln Y_1}{t_2 - t_1}$$

$$\ln Y = \ln Y_1 + K_g \cdot (t - t_1)$$

gdje je:  $K_g$  -konstanta prirasta za jedinicu vremena.

Metoda konstantno opadajućeg priraštaja pretpostavlja sledeću računicu :

$$\frac{dY}{dt} = K_p \cdot (Z - Y)$$

$$\int_{Y_1}^{Y_2} \frac{dY}{Z - Y} = K_p \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$-\ln \frac{Z - Y_2}{Z - Y_1} = K_p \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Z - Y_2 = (Z - Y_1) \cdot e^{-K_p \cdot \Delta t}$$
$$Y_2 - Y_1 = Z - Y_1 \cdot \left(1 - e^{-K_p \cdot \Delta t}\right)$$

gdje su:

$K_p$  -konstanta;

Z -granična vrijednost povećanja.

---

## A VODOVODNI SISTEMI

Ove tri metode opisuju pojedine djelove krive rasta i priraštaja stanovništva neke regije:

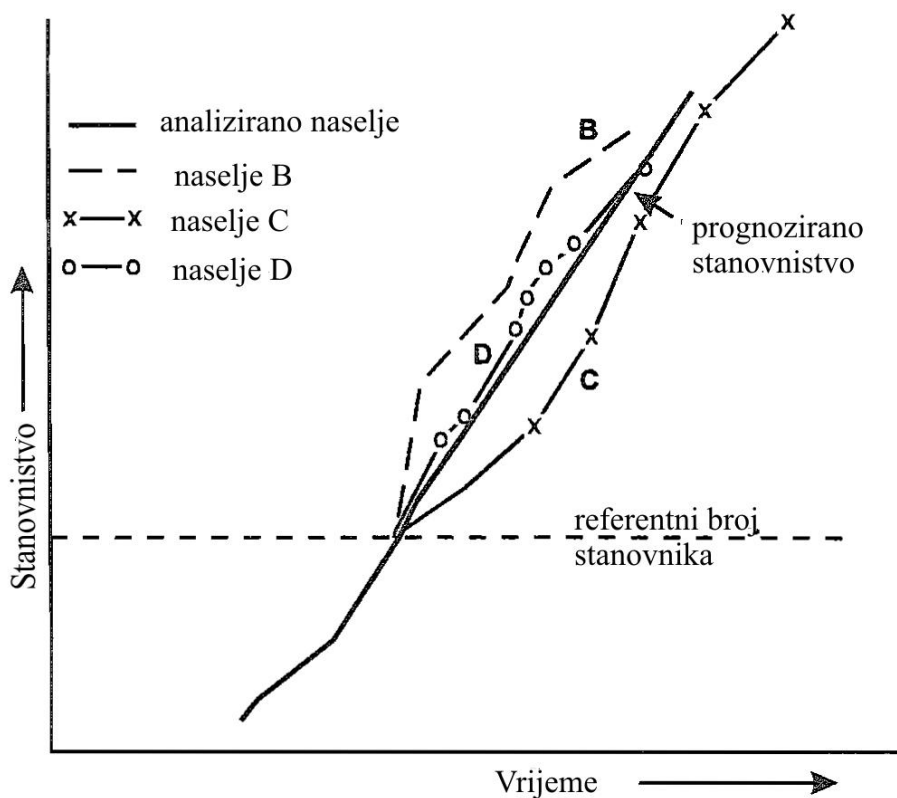
- intenzivni razvoj-geometrijski priraštaj;
- stabilni rast-aritmetički priraštaj;
- usporeni rast-konstantno opadajući priraštaj.

### b) Dugoročne ocjene

#### Grafičko ili numeričko upoređivanje sa drugim naseljima

Krivu rasta stanovništva analiziranog naselja možemo proširiti na osnovu podataka o drugim naseljima.

Krive svih naselja crtamo tako što počinju od broja koji pokazuje trenutni broj stanovnika analiziranog naselja. Kod odabira naselja za upoređivanje moramo paziti da naselja imaju slične karakteristike kao i naselje koje analiziramo.



Slika A 1.2 Grafičko prognoziranje primjenom upoređivanja



### *Matematičko prilagođavanje krive*

Ovaj metod je korisniji pri prognozi broja stanovnika u većim naseljima. Koriste se najčešće Geompetzova i logistička kriva.

### *Ostale metode*

Rast stanovništva često definišemo procentom godišnjeg priraštaja. Kod tako definisanog rasta stanovništva, upotrebljavamo sledeću formulu za prognozu broja stanovnika na kraju planiranog razdoblja:

$$N_n = N_0 \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n,$$

gdje je:

- $N_n$  - broj stanovnika kroz n godina;
- $N_0$  - početni broj stanovnika (na početku planiranog razdoblja);
- $p$  - procenat godišnjeg priraštaja;
- $n$  - planirano razdoblje.

### ***Neravnomjernost potrošnje vode***

Potrošnja vode nije konstantna veličina, ona je različita i mijenja se tokom vremena.

Razlikujemo: godišnje, mjesečne, dnevne i satne promjene, koje zavise od mnogih faktora. Faktori od kojih zavise promjene su: klima, temperatura, doba godine, raspored radnog vremena, životnih navika stanovništva itd.

Te promjene uključujemo u proračun po sljedećem principu :

- godišnje promjene se mogu zanemariti u zavisnosti od prirodnih promjena, uzimamo ih u obzir kao funkciju faktora civilizacije i aktivnosti stanovništva. Ove veličine uzimamo u obzir u proračunu sa pravilnim odabirom norme potrošnje za pojedina razdoblja rada sistema za snabdijevanje vodom;
- mjesečne promjene su važne ako se za snabdijevanje vodom upotrebljavaju akumulacije, tj. ako je potrebno godišnje bilansiranje vode;

- dnevne oscilacije potrošnje u toku godine su veoma važne i njih u proračun uključujemo kao dnevni minimum i dnevni maksimum;
- satne promjene u toku dana su potrebne radi dimenzionisanja vodovodne mreže i moramo ih obavezno uključiti u proračun.

### Dnevna neravnomjernost potrošnje

Maksimalna dnevna potrošnja je osnovna količina za dimenzionisanje: zahvata, postrojenja za prečišćavanje, pumpi i svih veza među njima. Do nje se dolazi na osnovu poznate srednje dnevne potrošnje vode u naselje  $Q_{d,sr}$ .

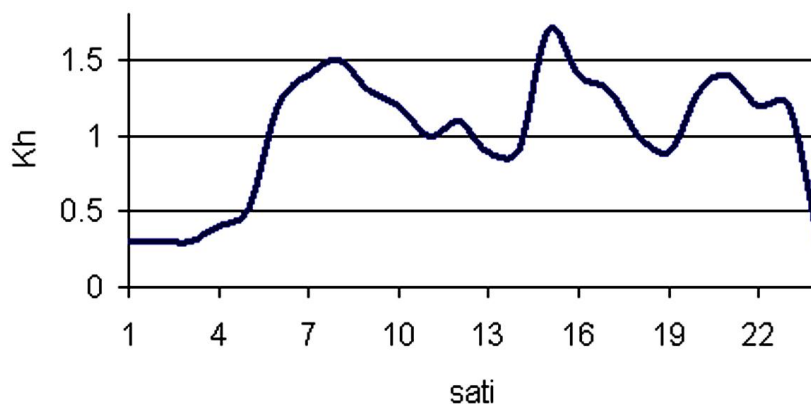
Aktivnost stanovništva u većim gradovima ne zavisi toliko od godišnjeg doba, što znači da i dnevna neravnomjernost potrošnje nije tako izrazita kao u manjim naseljima, gdje je aktivnost stanovništva direktno povezana sa godišnjim dobom. Slično važi i za turistička naselja.

Koeficijent dnevne neravnomjernosti je manji u onim naseljima gdje aktivnost stanovništva ne zavisi od godišnjeg doba.

### Satna neravnomjernost potrošnje

Oscilacije potrošnje vode u jednom danu su različite kod različitih tipova naselja i moraju se detaljno proučiti.

Dnevni maksimumi su osnov za pravilno dimenzionisanje vodovodne mreže, proračun pumpnih stanica unutar mreže, kao i glavnih cjevovoda i rezervoara.



Slika A 1.3 Dijagrama časovne neravnomjernosti potrošnje

### Proračun mjerodavnih količina

Redosled proračuna potrošnje prilikom dimenzionisanja vodovodnog sistema sažeto izgleda ovako :

$$Q_l = n_p \cdot N \cdot 365 \left[ \frac{m^3}{d} \right] \quad \text{godišnja potrošnja;}$$
$$Q_{d,sr} = \frac{Q_l}{365 \text{dani}} \left[ \frac{m^3}{d} \right] \quad \text{srednja dnevna potrošnja;}$$
$$Q_{d,max} = a_d \cdot Q_{d,sr} \left[ \frac{m^3}{d} \right] \quad \text{maksimalna dnevna potrošnja;}$$
$$Q_{u,sr} = \frac{Q_{d,max}}{24h} \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad \text{srednja časovna potrošnja;}$$
$$Q_{u,max} = a_u \cdot Q_{d,max} \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad \text{maksimalna časovna potrošnja;}$$

gdje je:

- $n_p$  norma potrošnje  $\left[ \frac{m^3}{st \cdot dan} \right]$ ;  
 $N$  broj stanovnika – korisnika vodovoda;  
 $a_d$  koeficijent maksimalne dnevne potrošnje;  
 $a_u$  koeficijent maksimalne časovne potrošnje.

#### **A 1.2.2.2 Izračunavanje potrošnje vode za tehnološke potrebe**

Za određivanje količina industrijskih voda ne postoji opšti postupak proračuna. Izračunavanje ovih količina zavisi od same tehnologije, odnosno procesa u kojem se koriste. Zato se snabdijevanje tehnološkom vodom rješava za svaki primjer posebno:

$$Q = a \cdot N$$

- $Q$  potrebna količina vode  $[m^3]$ ;  
 $a$  potrošnja vode za jedan proizvod  $[m^3/\text{jed.proizvoda}]$ ;  
 $N$  broj proizvoda.

### A 1.2.2.3 Izračunavanje potrošnje vode za protivpožarne potrebe

Količina vode za potrebe gašenja požara računa se kao :

$$Q_{pož} = q \cdot n \cdot c$$

$Q_{pož}$  potrebna protivpožarna količina vode;

$q$  potrebni protok za jedan požar;

$n$  broj istovremenih požara;

$c$  konstanta;

$$c = \frac{T \cdot 60 \cdot 60}{1000} \quad [s]$$

$T$  trajanje požara (sati).

### A 1.3 Gubici vode

Gubici vode su razlika između proizvedene i potrošačima isporučene - obračunate vode. Razlikujemo "spoljne" i "unutrašnje" gubitke.

*Spoljni gubici* su gubici na objektima zahvata, kondicioniranja, rezervoara, pumpi, dovoda i raspodjele vode.

*Unutrašnji gubici* su gubici u vodovodnim sistemima unutar zgrada, poslije kućnog vodomjera.

Uzroci spoljašnjih gubitaka:

- pukotine i lomovi cijevi zbog naglih promjena uslova proticanja (brzo zatvaranje i otvaranje ventila), neozračenosti u pogonu i poslije raznih zahvata na cjevovodu;
- propuštanje vode na spojevima, ventilima, hidrantima, armaturama;
- korišćenje neprikladnih materijala (beton, malter, premazi) ili propusti u izvođenju;
- loše, površno i neredovno održavanje;
- nesklad i netačnost rada mjernih uređaja;
- nekontrolisana potrošnja vode (krađa vode);
- velika i prekomjerna saobraćajna opterećenja;

## A VODOVODNI SISTEMI

---

- dotrajalost instalacija;
- slabo praćenje i obračun potrošnje vode.

Troškovi smanjivanja gubitaka vode su 20-30 puta manji od troškova izgradnje novih kapaciteta.

Prihvatljivi gubici su:

1. na magistralnim cjevovodima do 5,0 m<sup>3</sup>/dan·km;
2. na distributivnim vodovodnim sistemima 10-20% isporučene količine vode.

Prilikom određivanja ukupne srednje potrošnje vode za jedno naselje u proračun se moraju uključiti i očekivane vrijednosti gubitaka vode, pa tako ukupna srednja potrošnja vode iznosi :

$$Q_{sr/d} = Q_k + Q_z + Q_u + Q_t + Q_{ind} + Q_g \text{ [l/st.dan]}$$

Svako razmatranje pojave gubitaka mora prethodno početi sa čistom definicijom svih komponenti vodnog bilansa sistema i podacima koji su od značaja za snabdijevanje. Posmatrajući iskustva više zemalja u svijetu (Njemačka, Engleska, Japan, SAD, Francuska) može se definisati jedna zajednička, standardna procedura i terminologija praćenja gubitaka u vodovodnom sistemu.

Radna grupa "IWA"(evropsko udruženje vodovoda) je, na osnovu pozitivne prakse iz većeg broja država, preporučila kao međunarodni standard tabelu A 1.7 za sračunavanje bilansa vode. Tabela služi kao ključna postavka praktičnijeg proračuna gubitaka vode.

Tabela A 1.7 Preporuka za sračunavanje bilansa vode

A	B	C	D	E	
Ukupna zapremina vode unijeta u sistem m <sup>3</sup> /god	Registrovana potrošnja vode m <sup>3</sup> /god	Naplaćena registrovana potrošnja m <sup>3</sup> /god	Naplaćena potrošnja sa vodomjera Naplaćena potrošnja koja nije izmjerena	Naplaćena količina vode m <sup>3</sup> /god	
		Nenaplaćena registrovana potrošnja m <sup>3</sup> /god	Nenaplaćena izmjerena potrošnja Nenaplaćena neizmerana potrošnja		
	Gubici vode m <sup>3</sup> /god	Vidljivi gubici m <sup>3</sup> /god	Realni gubici m <sup>3</sup> /god	Neregistrovana potrošnja Gubici usljed neispravnosti mjernih uređaja	Nenaplaćena količina vode m <sup>3</sup> /god
				Gubici na glavnim dovodima Gubici i prelivanja na rezervoririma i pumpnim stanicama	
		Gubici na priključcima kod korisnika			

Iz tabele A 1.7 se može precizno definisati tok računanja naplaćenih količina i gubitaka vode, koja se sprovodi u sledećim koracima:

1. određivanje ulaza u sistem - unijetih količina vode (kol. A);
2. određivanje naplaćene izmjerene i neizmjerene količine vode (kol. D i E);
3. određivanje nenaplaćenih količina vode (kol. E) kao razlike ulaza u sistem (kol. A) i naplaćene količine (kol. E);
4. određivanje nenaplaćene izmjerene i neizmjerene količine (kol. D) odnosno njihovog zbira (kol. C );

## A VODOVODNI SISTEMI

5. sabiranje količina naplaćene registrovane potrošnje i nenaplaćene registrovane potrošnje (kol. C) što za rezultat daje registrovanu potrošnju (kol. B);
6. računanje ukupnih gubitaka kao razlike između ukupne zapremine unijete u sistem (kol. A) i registrovane potrošnje vode (kol. B);
7. procjenjivanje veličine komponenti neregistrovane potrošnje i količine gubitaka usljed neispravnosti mjernih uređaja (kol. D) uz mogućnost što manje greške i njihovo sabiranje u zajedničku vrijednost - vidljivi gubici (kol. C);
8. računanje realnih gubitaka kao razlike gubitaka vode (kol. B) i vidljivih gubitaka (kol. C).
9. procjenjivanje komponenti realnih gubitaka (kol. D) na najbolji mogući način (metodom noćne potrošnje, modeliranjem mreže, praćenjem učestalosti kvarova u toku vremena u zavisnosti od protoka i sl.) i njihova raspodjela prema zastupljenosti.

*Tabela A 1.8 Srednja dnevna potrošnja vode u nekim evropskim državama za period 1990-2005.g. (donji podaci uključuju i potrošnju vode u industriji)*

Država	1990.god.	2000god.	2005.god.
Austrija	155	170	162
	255	262	243
Belgija	104	120	120
	163	157	160
Danska	165	155	145
	261	229	215
Francuska	109	157	156
	167	215	212
Italija	211	251	249
	280	329	327
Holandija	142	171	175
	179	203	210
Njemačka	137	136	132
	211	177	168
Švedska	195	203	191
	315	276	261
Švajcarska	229	242	237
	392	362	357
Velika Britanija	154	-	-
	254	331	343

### **A 1.3.1 Osnovne zone bilansiranja (OZB) kao sredstvo upravljanja gubicima u vodovodnim sistemima**

Cilj svakog vodovodnog sistema je snabdijevanje vodom korisnika, uz minimalne gubitke. Stanje sistema se tokom eksploatacije se pogoršava, ako se njime ne upravlja na adekvatan način. Kako se stanje pogoršava vodovodne mreže postaju podložne gubicima. Osim toga, gubici su i posljedica lošeg izvođenja. Pravovremena intervencija u cilju smanjenja gubitaka, sprječava dovođenje sistema u stanje neupotrebljivosti. U ekstremnim slučajevima dešava se potpuni prestanak snabdijevanja potrošača u nekom dijelu dana. Gubici u vodovodnim mrežama su neminovni. Cilj upravljanja gubitaka je njihovo smanjivanje na prihvatljiv nivo, kao i održavanje tog nivoa.

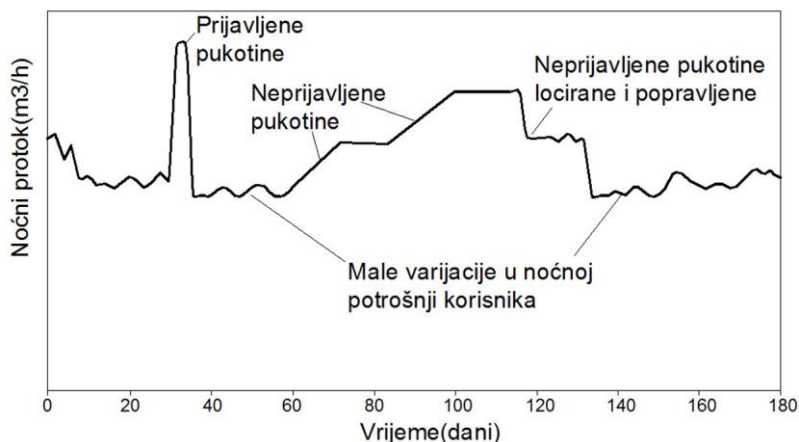
#### **A 1.3.1.1 Principi formiranja i kontrole OZB**

Rješenje upravljanja gubitaka leži u formiranju OZB (Osnovne Zone Bilansiranja), na engleskom DMA (District Meter Areas). Formiranje OZB u vodovodnom sistemu, u kome se snabdijevanje obavlja ograničenim brojem glavnih cijevi, omogućava mjerenje protoka, tj. nivoa gubitaka u svakoj OZB. Koncept upravljanja osnovnih zona bilansiranja prvi put je uveden u vodovodima u Velikoj Britaniji, osamdesetih godina prošlog vijeka. OZB je definisana kao zasebna oblast vodovodnog sistema, uobičajeno kreirana zatvaranjem zatvarača ili potpunim prekidom cjevovoda, u kojoj se mjeri količina vode koja ulazi i izlazi iz te oblasti.

Stvarni gubici predstavljaju razliku između ulaza u sistem i ukupne potrošnje korisnika u definisanoj oblasti (korigovane za netačnosti prilikom mjerenja). Oni se sastoje od gubitaka (iz glavnih vodovodnih cijevi, iz cijevi koje vode od glavnih cijevi do samih potrošača i iz rezervoara) i preliivanja (uglavnom iz rezervoara). Uobičajeno se stvarni gubici određuju kao zapremina i računaju se na godišnjem nivou. Međutim, ovakav pristup ne dozvoljava da se postigne neophodna fina kontrola gubitaka, jer može proći nekoliko mjeseci dok se otkriju velike promjene u sistemu a mjerenje gubitaka je neprecizno. Veličina gubitaka može se odrediti analizom 24-časovnog dijagrama neravnomjernosti protoka u vodovodu. Mala razlika između minimalnog i maksimalnog protoka, naročito u vodovodima gdje je mala industrijska noćna potrošnja, pokazatelj je da postoji curenje u mreži. Međutim, ovaj pristup ne omogućava direktno određivanje visine gubitaka. Ključni princip upravljanja OZB je određivanje nivoa curenja, koristeći podatke o protoku, u okviru definisane oblasti vodovodnog sistema. Formiranje OZB omogućava određivanje nivoa curenja, a samim tim i prioritet aktivnosti, u smislu određivanja lokacije curenja. Ključ za efikasno



upravljanje OZB je ispravna analiza protoka. Obim curenja se može procijeniti na osnovu analize 24-časovnog dijagrama protoka. Curenje se najpreciznije određuje kad je potrošnja minimalna, obično noću. To je tzv. princip minimalnog noćnog protoka. Na slici koja slijedi prikazane su tipične varijacije minimalnog noćnog protoka.



Slika A 1.4 Varijacija minimalnog noćnog protoka u sistemu jednog vodovoda

U cilju efikasnijeg upravljanja razvijena je naprednija i detaljnija analiza noćnog protoka na bazi komponentata gubitaka.

*Komponente gubitaka* su: bazni gubici i gubici iz pukotina.

*Bazni gubici* su pojedinačno mali, ne mogu se otkriti pomoću instrumenata i nijesu vidljivi. To su procurivanja kroz male pukotine. Njime se upravlja tako što se upravlja pritiskom u mreži. U praksi je u upotrebi sledeća veza između pritiska i protoka na mjestu curenja:

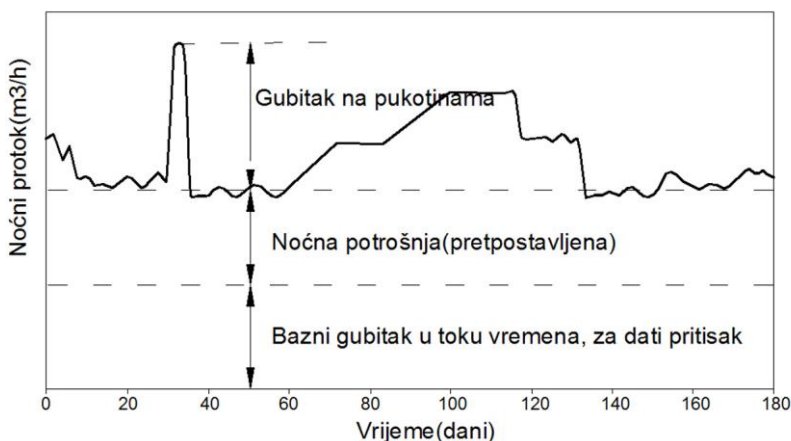
$$L_1=L_0(P_1/P_0)^{N1}$$

gdje je:

- $P_0$  početni pritisak na mjestu curenja;
- $L_0$  početni protok na mjestu curenja;
- $P_1$  korigovani pritisak na mjestu curenja;
- $L_1$  korigovani protok na mjestu curenja.

N1-eksponent koji zavisi od tipa pukotine, materijala cijevi, hidrauličkih karakteristika okolnog zemljišta u kom je cijev položena i potrošnje vode. Varira od 0,5 do 2,5:  $N=0,5$  za ustaljenu površinu pukotine,  $N=1,5$  za pukotinu čija veličina varira sa promjenom pritiska,  $N=2,5$  za podužnu pukotinu.

*Gubici iz pukotina* su gubici usljed pukotina u vodovodnoj mreži, koji mogu biti otkriveni vidno ili pomoću instrumenta. Vrijeme potrebno za sanaciju tih pukotina podrazumjeva: vrijeme svjesnosti da gubitak postoji, vrijeme lociranja i vrijeme popravke pukotine. Na sledećem dijagramu je dat prikaz odnosa baznih gubitaka i gubitaka iz pukotina.



Slika A 1.5 Odnos baznih gubitaka i gubitaka na pukotinama

Podjela mreže na OZB omogućava i formiranje sistema **stalne kontrole pritiska**, što omogućava smanjenje pritiska u okviru zone, a time i smanjenje baznih gubitaka, protoka na pojedinim pukotinama, kao i učestalost pojave pukotina na godišnjem nivou.

Upravljanje pritiskom u vodovodnoj mreži obično se sastoji od:

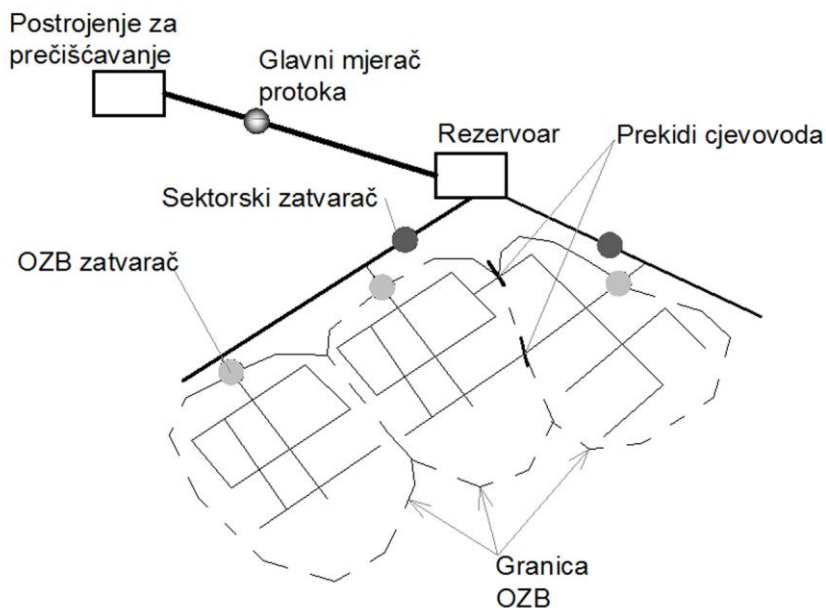
- upravljanja vrijednostima pritiska (redukcija pritiska);
- visinskog zoniranja.

Najčešće je u upotrebi redukcija pritiska.

Redukcija pritiska se može sprovesti raznim metodama:

- uspostavljanjem granica među zonama, unutar kojih se vrši redukcija, radi lakšeg upravljanja;
- kontrolom rada pumpi;

- ugrađivanjem kontrolnih reducira na izlazu iz zone;
- vremenskim podešavanjem rada reducira u određenim periodima dana;
- kontrolom protoka prema potrošnji u naselju;
- daljinskim upravljanjem sa reducirima pritiska.



*Slika A 1.6 Tipična konfiguracija OZB*

Sve ove metode imaju za cilj smanjenje gubitaka u vodovodnom sistemu, odnosno u krajnjem smanjenje troškova sistema.

Upravljanje OZB, kao jedan način borbe protiv gubitaka u sistemu, ne smije se shvatati kratkoročno. To je dugoročan proces koji, ako se primjenjuje sa puno razumijevanja, uz prihvatanje svih principa održivosti, može da bude najbolji način da se obezbjedi što ekonomičnije snabdijevanje korisnika vodom. Na sledećoj slici prikazani su neophodni uslovi i njihova interakcija, da bi ovaj sistem bio održiv.



*Slika A 1.7 Uslovi da bi koncept OZB bio održiv*

## A 2 SISTEMI ZA SNABDIJEVANJE VODOM

### A 2.1 Objekti vodovodnog sistema

Objekte vodovodnog sistema dijelimo na: objekte za zahvatanje vode, postrojenje za prečišćavanje vode za piće, objekte za dovod vode od zahvata do naselja, objekte za raspodjelu vode potrošačima, objekte za izravnavanje potrošnje i pritiska.

#### **Objekti za zahvatanje vode:**

- zahvatanje površinskih voda – rijeke i jezera;
- zahvatanje izvora;
- zahvatanje podzemnih voda – bunari, horizontalne drenaže.

#### **Postrojenja za prečišćavanje vode za piće.**

Svi objekti i tehnologije za tretman kvaliteta vode u skladu sa zakonski propisanom obavezom o kvalitetu vode za piće.

#### **Objekti za dovod vode od zahvata do naselja.**

U ovu grupu objekata spadaju cjevovodi, kanali i svi drugi objekti (npr. pumpe) koji su potrebni za dovod vode do naselja.

#### **Objekti za raspodjelu vode potrošačima.**

Tu spadaju vodovodne mreže u naseljima, preko kojih dolazi voda do korisnika i svi pripadajući objekti.

#### **Objekti za izravnavanje potrošnje i pritiska.**

Ovu grupu objekata čine: vodotornjevi, rezervoari itd., koje upotrebljavamo za izravnavanje i regulisanje pritiska i potrošnje vode u sistemu.

Sve pomenute grupe objekata potrebno je povezati u efikasnu cjelinu kojom rješavamo problem snabdijevanja vodom na optimalan način. Koje objekte ćemo upotrijebiti i kakav će biti njihov raspored zavisice od:

- količine potrebne vode;
- kvaliteta vode na izvoru;
- tipa i karakteristike zahvata i njegovog visinskog položaja;
- morfoloških i geoloških karakteristika područja.

### A 2.1.1 Izvorišta

Izvorišta su prostorno definisane tačke sa kojih se mogu dobiti određene količine vode namijenjene snabdijevanju naselja i industrije. Po pravilu, izbor izvorišta je jedan od najsloženijih i najodgovornijih zadataka kod rješavanja sistema snabdijevanja vodom, jer ono u velikoj mjeri određuje karakter budućeg sistema snabdijevanja, a time i njegove investicione i pogonske troškove.

Svako izvorište namijenjeno za snabdijevanje vodom za piće treba da obezbjedi:

- potrebne količine kvalitetne vode, uzimajući u obzir porast broja stanovnika, odnosno porast potrošnje vode za planirani projektni period,
- neprekidnost snabdijevanja vodom;
- sanitarno – higijensku sigurnost kvaliteta vode;
- što manje investicione i pogonske troškove obezbjeđenja vode;
- uklapanje u vodoprivredne sisteme šireg područja snabdijevanja.

Osnovni pokazatelji vrijednosti jednog izvorišta su kvalitet i količina vode.

Po prirodi porijekla vode, izvorišta se dijele na:

- atmosferska izvorišta;
- površinska izvorišta;
- podzemna izvorišta.

Porijeklo vode *atmosferskih izvorišta* su padavine svih oblika, u prvom redu kiše a u pojedinim slučajevima i snijeg. Po pravilu, atmosferska izvorišta se koriste u nedostatku drugih izvorišta, uglavnom za manja naselja, ostrva, industriju i sl.

U *površinska izvorišta* ubrajamo:

- rijeke;
- prirodna i vještačka jezera i kanale;
- more.

Prirodna i vještačka jezera se karakterišu visokim oscilacijama kvaliteta vode koja direktno zavisi od jačine padavina (kiše i snijega),

površinskom zagađenju koje padavine oticajem donose sa sobom a u posljednje vrijeme i od količine otpadnih voda naselja i industrijskih pogona koje se mogu upuštati u pojedina površinska izvorišta.

Karakteristična svojstvo rječne vode je njena relativno visoka mutnoća (naročito u vrijeme velikih voda), veliki sadržaj organskih materija i bakterija, a često je prisutna i obojenost.

Vode prirodnih i vještačkih jezera i kanala imaju nizak sadržaj lebdećih čestica, odnosno nisku mutnoću, osim priobalnih zona gdje se u određenim meteorološkim prilikama (vjetar) mutnoća pojavljuje kao posljedica talasa. Jezera mogu biti vrlo kvalitetna izvorišta, naročito planinska.

Morska voda se zbog sadržaja znatnih količina mineralnih soli može kao sirova da se jedino koristiti u tehnološkim procesima (npr. za hlađenje) ili za gašenje požara. U slučaju korištenja morske vode za snabdijevanje stanovništva potrebno je pristupiti vrlo skupim procesima njene prerade (desalinizaciji).

Prema tome, očigledno je da se voda iz površinskih izvorišta treba po pravilu prije distribucije potrošačima podvrći procesu prečišćavanja, što za posledicu ima da su troškovi korišćenja ovih voda visoki.

U *podzemna izvorišta* ubrajamo:

- podzemne vode sa slobodnim vodnim ogledalom;
- arteške i subarteške vode;
- izvorske vode.

Podzemna izvorišta se smatraju najprikladnijim načinom snabdijevanja vodom iz više razloga:

- vodonosi slojevi su najčešće površinski zaštićeni debljim slojem od direktnih zagađenja;
- po pravilu izdašne količine podzemnih voda su vrlo često prirodno filtrirane (bezbojne i bez mutnoće), tj. kvalitet vode (fizičko – hemijska i mikrobiološka svojstva) je daleko bolji u odnosu na površinske vode, tako da obično ne zahtijevaju višestruke i skupe faze prečišćavanja;
- podzemne vode često izbijaju na površinu, zbog čega zahvatne građevine nisu skupe;
- lokacija nalazišta podzemnih voda je najčešće bila povoljna (visinski i po udaljenosti) u odnosu položaj potrošača, tako da se voda uglavnom transportovala bez većih pogonskih troškova.

U pogledu kvaliteta problematične mogu biti podzemne vode kraških izvora u slučaju kada one predstavljaju izlaz ponornica, koje su u stvari površinska voda. Nezavisno o kojoj se vrsti izvorišta radi, potrebno je kod njegovog konačnog odabira u svrhu snabdijevanja prikupiti opsežne geološke, hidrogeološke i geomehaničke podloge, kako bi se raspolagalo sa bitnim podacima o kapacitetu i uslovima izgradnje vodozahvatnog objekta određenog izvorišta.

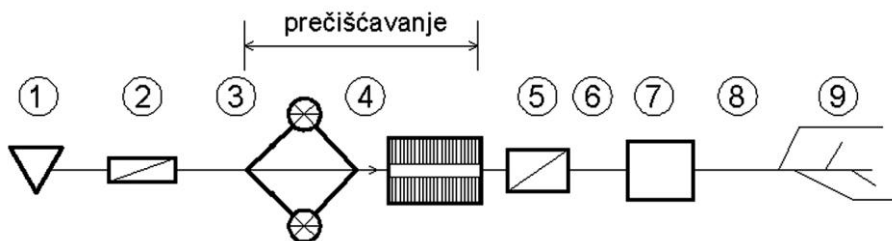
Kod analize izvorišta svakako treba spomenuti i problem koji je danas, zbog stalnog povećanja zagađenja, sve prisutniji, a to je problem zaštite izvorišta. Zaštita izvorišta ostvaruje se organizovanjem zona zdravstvene zaštite izvorišta na slivnim područjima. Te zone predstavljaju posebno izdvojene prostore koji obuhvataju vodoprijemnik (koji se koristi kao izvorište) i dio slivnog područja koje ga napaja. Na takvom je prostoru propisan sanitarni režim koji garantuje zaštitu izvorišta od zagađenja i zadržavanje potrebnog kvaliteta vode.

Svaki projekat snabdijevanja vodom, u skladu sa zakonskom regulativom, kao sastavni dio mora sadržati i projekt zaštite izvorišta – Elaborat zaštitnih zona izvorišta, čija je izrada propisana Pravilnikom o utvrđivanju zona sanitarne zaštite.

### **A 2.1.2 Sistemi dovoda i raspodjele vode**

Sistem snabdijevanja vodom čini skup građevina i uređaja kojima se voda zahvata na izvorištu, po potrebi podiže na odgovarajuću visinu, dovodi do uređaja za prečišćavanje, rezervoara, naselja i gradova i distribuira se potrošačima. Glavni dovodni cijevni vod povezuje izvorište i rezervoar i kroz njega prolazi maksimalna dnevna potrošnja. Glavni distributivni cjevovod dovodi vodu iz rezervoara u sistem raspodjele i dimenzioniše se na najveću časovnu potrošnju -  $Q_{\max/h}$ .

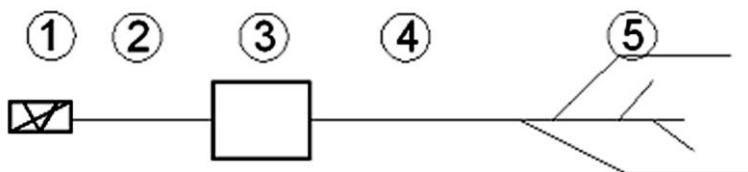




Legenda:

1. zahvat vode;
2. pumpna stanica;
3. dovod vode: zahvat – prečišćavanje;
4. uređaj za kondicioniranje sirove vode;
5. pumpna stanica;
6. cijevovod pod pritiskom;
7. glavni rezervoar;
8. glavni dovodni cijevovod;
9. sistem distribucije vode.

Slika A 2.1. Šema sistema snabdijevanja vodom



Legenda:

1. zahvat i crpna stanica;
2. glavni dovodni cijevovod;
3. rezervoar;
4. glavni distributivni cijevovod;
5. sistem distribucije vode u naselju.

Slika A 2.2 Osnovni sistem snabdijevanja vodom

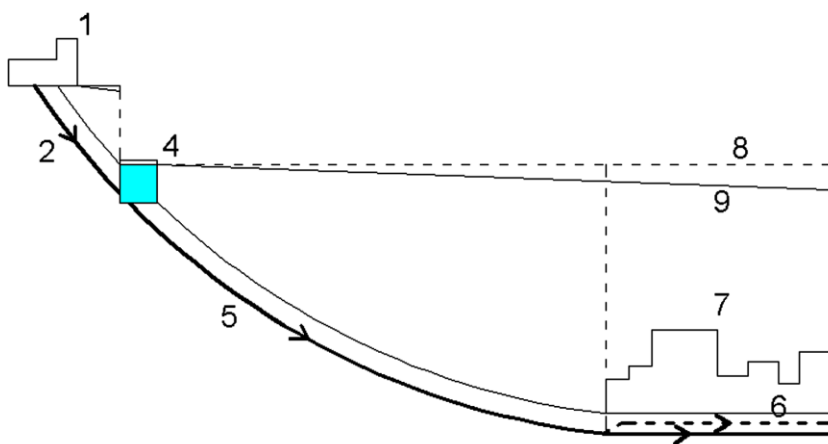
Prema načinu dovoda vode od zahvata do područja snabdijevanja, razlikuju se:

- gravitacioni;
- potisni;
- kombinovani sistemi snabdijevanja vodom.

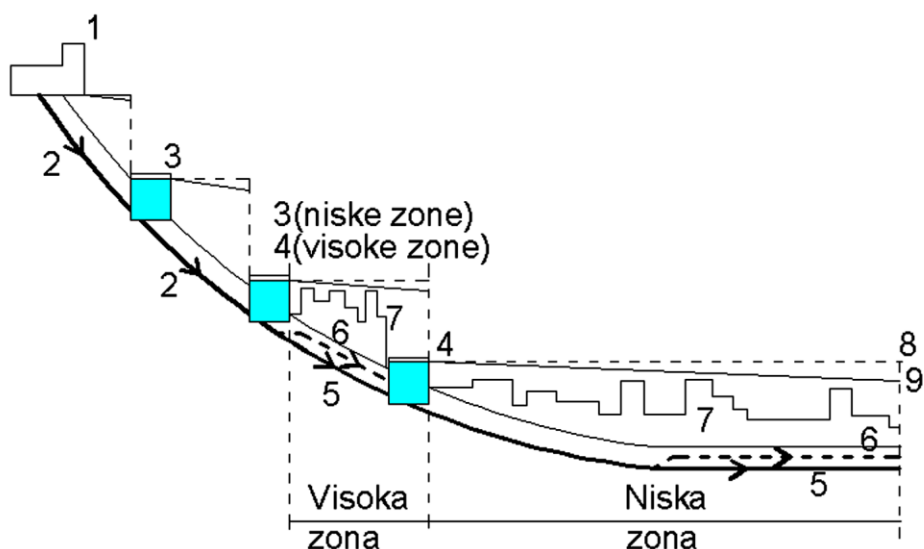
## A VODOVODNI SISTEMI

Glavno obilježje **gravitacionog sistema** je položaj zahvata iznad mjesta potrošnje, tako da cijeli sistem radi bez spoljašnjeg izvora energije - djelovanjem gravitacione sile. Sistem je pouzdan u radu i ekonomski najefikasniji.

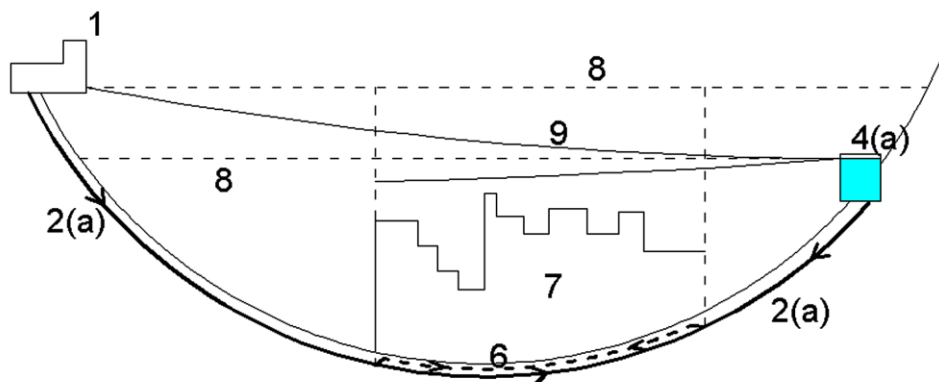
Ovakva konfiguracija vodovodnog sistema se danas rijetko može ostvariti u praksi.



Slika A 2.3 Tipični gravitacioni dovod



Slika A 2.4 Zonirani gravitacioni vodovodni sistem

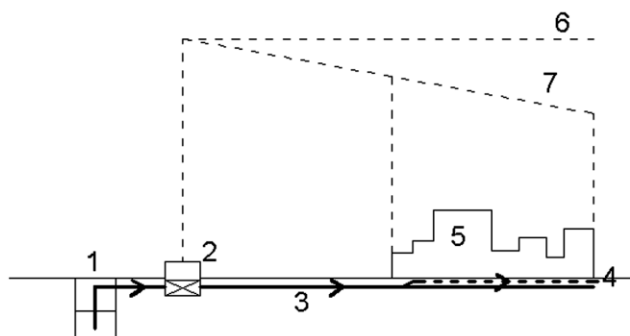


Legenda: 1–vodozahvat, 2–glavni dovodni cjevovod, 2(a) –glavni dovodni cjevovod, 3–prekidna komora, 4–rezervoar, 4(a)–kontrarezervoar, 5–glavni distributivni cjevovod, 6–distributivna mreža, 7–potrošači, 8–linija hidrostatičkog pritiska 9–linija hidrodinamičkog pritiska

Slika A 2.5 Zonirani gravitacioni vodovodni sistem sa kontrarezervoarom

### Potisni vodovodni sistem

U ovakvim sistemima, voda se potiskuje pumpama prema potrošačima. Karakterišu ih značajni pogonski troškovi usljed potrebe obezbjeđenja energije za rad pumpi.



Legenda :

1–vodozahvat, 2–pumpna stanica, 3–glavni dovodni cjevovod, 4–distributivna mreža, 5–potrošači, 6–linija hidrostatičkog pritiska, 7–linija hidrodinamičkog pritiska.

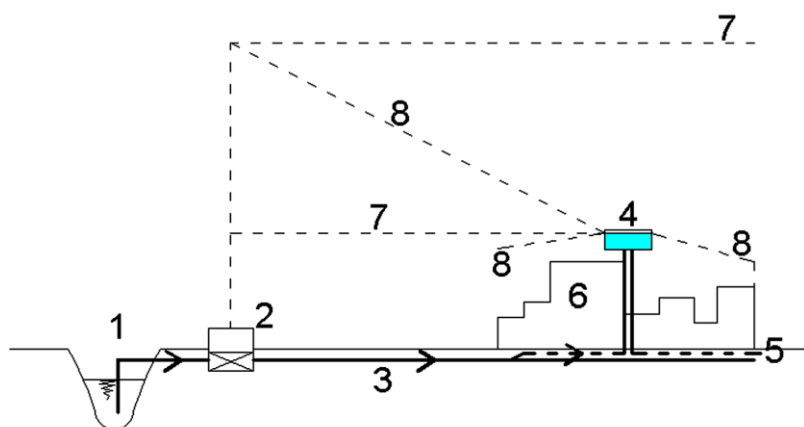
Slika A 2.6 Šema potisnog dovoda

### **Kombinovani sistem snabdijevanja vodom**

Zavisno od položaja glavnog rezervoara, razlikuju se dva osnovna kombinovana sistema:

- rezervoar ispred mjesta potrošnje;
- rezervoar iza mjesta potrošnje.

U ravničarskim područjima gdje nema mogućnosti smještaja rezervoara na višoj koti, rezervoar je u mjestu potrošnje u obliku vodotornja, kao na slici A 2.7.

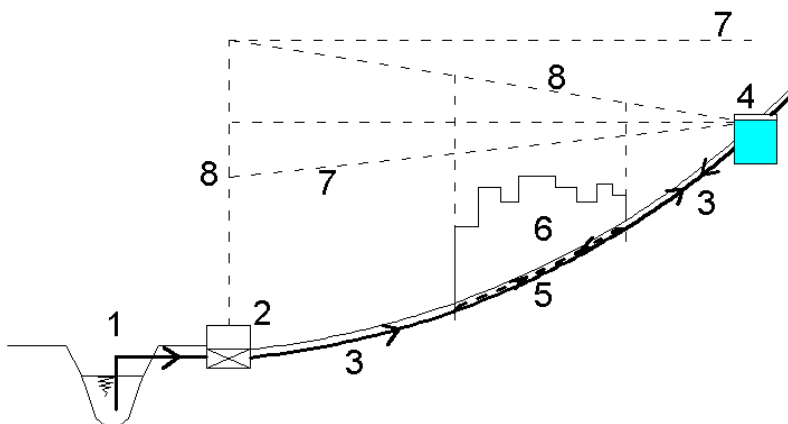


*Legenda :*

1–vodozahvat, 2–pumpna stanica, 3–glavni dovodni cjevovod, 4–vodotornj, 5–distributivna mreža, 6–potrošači, 7–linija hidrostatičkog pritiska, 8–linija hidrodinamičkog pritiska.

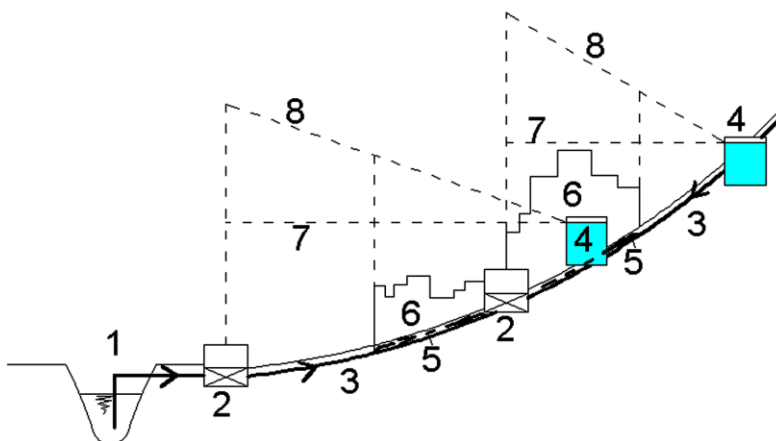
*Slika A 2.7 Šema sistema sa vodotornjem*

Primarna funkcija vodotornja je izravnjanje potrošnje u odnosu na odabrani režim rada pumpne stanice. Iz vodotornja se može osigurati kratkotrajno snabdijevanje vodom u slučaju kvara pumpe. Ovaj sistem je jeftiniji od potisnog jer su pumpe u pogonu kad je jeftinija električna energija



Legenda : 1-vodozahvat, 2-pumpna stanica, 3-glavni dovodni cjevovod, 4-kontrarezervoar, 5-distibutivna mreža, 6-potrošači, 7-linija hidrostatickog pritiska, 8-linija hidrodinamičkog pritiska.

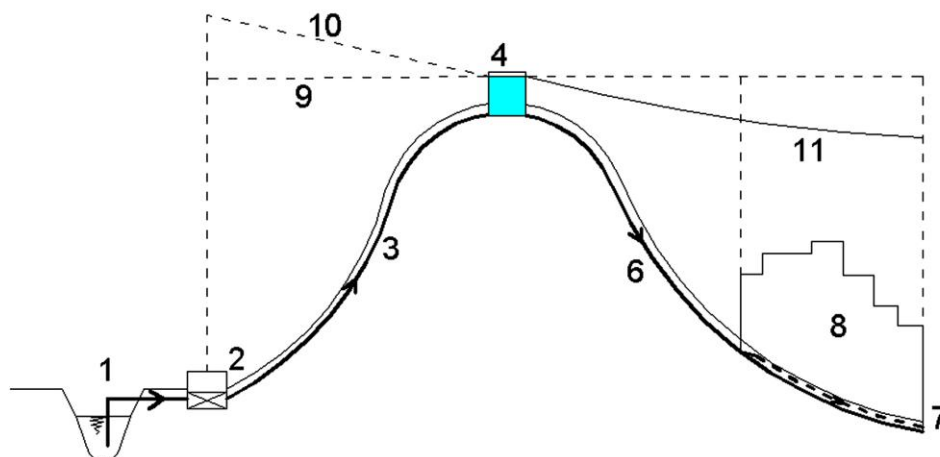
Slika A 2.8 Šema kombinovanog sistema sa kontrarezervoarom



Legenda :

1-vodozahvat, 2-pumpna stanica, 3-glavni dovodni cjevovod, 4-kontrarezervoar, 5-distibutivna mreža, 6-potrošači, 7-linija hidrostatickog pritiska, 8-linija hidrodinamičkog pritiska.

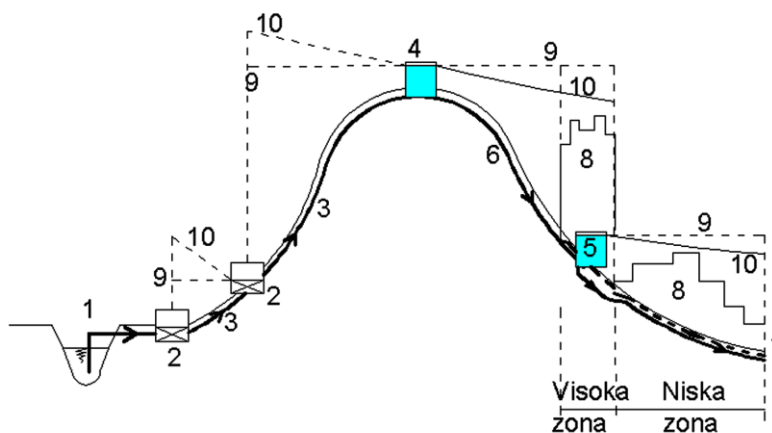
Slika A 2.9 Šema zoniranog kombinovanog sistema sa kontrarezervoarom



Legenda :

1–vodozahvat, 2–pumpna stanica, 3–glavni dovodni cjevovod, 4–rezervoar, 5–prekidna komora, 6–glavni dovodni cjevovod, 7–distributivna mreža, 8–potrošači, 9–linija hidrostatičkog pritiska, 10,11–linija hidrodinamičkog pritiska.

Slika A 2.10 Šema indirektnog kombinovanog sistema



Legenda :

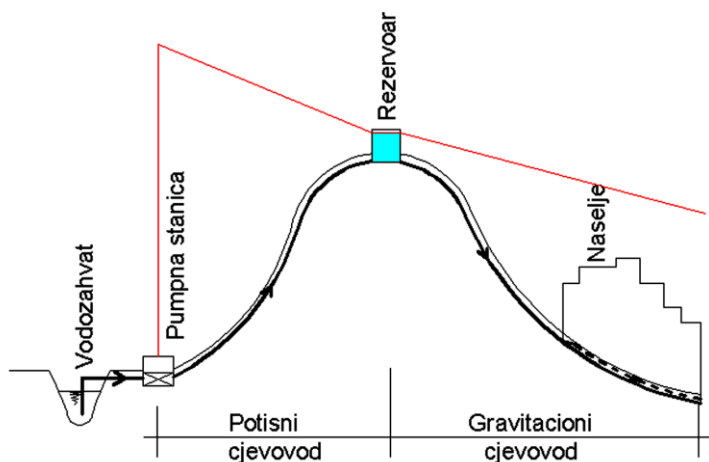
1–vodozahvat, 2–pumpna stanica, 3–glavni dovodni cjevovod, 4–rezervoar, 5–prekidna komora, 6–glavni dovodni cjevovod, 7–distributivna mreža, 8–potrošači, 9–linija hidrostatičkog pritiska, 10–linija hidrodinamičkog pritiska.

Slika A 2.11 Šema indirektnog zoniranog kombinovanog sistema

### A 2.1.2.1 Minimalni i maksimalni pritisak u vodovodnom sistemu

U zavisnosti od kapaciteta zahvata, rezervoar može biti protočan, ako je  $Q_z > q_{\max, h}$  odnosno kontrarezervoar, protivtežan, ako je  $Q_z < q_{\max, h}$ . Druga važna funkcija rezervoara je osiguravanje odgovarajućeg pritiska na mjestu potrošnje. Pritisak mora biti u granicama između minimalnih potreba i maksimalnih dozvoljenih pritisaka. Ako prilikom projektovanja proračun pokaže da pritisci u elementima sistema za snabdijevanje vodom, prelaze maksimalni dozvoljeni pritisak, moramo predvidjeti posebno uređenje mreže (dvije ili više zona pritiska).

#### Osnovni princip dimenzionisanja veličine pritiska u sistemu



Slika A 2.12 Šema sistema sa ucrtanim osnovnim elementima i linijom energije

Dovodni cijevovod, od zahvata do rezervoara, dimenzionišemo na maksimalnu dnevnu potrošnju,  $Q_{d, \max}$ , a glavni cijevovod, od rezervoara do potrošača, na maksimalnu časovnu potrošnju  $Q_{h, \max}$ .

Potrebni pritisak u naselju određujemo u odnosu na najkritičnijeg potrošača, koji može biti najudaljeniji ili potrošač koji ima najviši položaj odnosno kotu u naselju.

$$H_{pot}^{n.v.} = h_{pot}^{n.v.} + \sum \Delta h^{n.v.}$$

$$H_{pot}^{n.o.} = h_{pot}^{n.o.} + \sum \Delta h^{n.o.}$$

$$H_{pot}^k = \max(H_{pot}^{n.v.}, H_{pot}^{n.o.})$$

U odnosu na gore navedeno odredimo minimalnu kotu nivoa vode u rezervoaru:

$$Z_{v,\min} \geq Z_{por}^k + H_{pot}^k$$

Kota površine nivoa vode u rezervoaru varira od minimalne do maksimalne. Maksimalna kota površine vode u rezervoaru je definisana maksimalnim dozvoljenim pritiskom u sistemu.

Maksimalni pritisak, koji se pojavljuje prilikom najmanje potrošnje i na najnižim geodetskim tačkama, mora biti manji od maksimalnog dozvoljenog pritiska u sistemu.

$$H_{dop} \geq Z_{v,\max} - Z_{\min}$$

$$Z_{v,\max} \leq H_{dop} + Z_{\min}$$

Odabrana kota rezervoara mora zadovoljavati oba ova uslova.

Ako je to predviđeno, položaj rezervoara mora zadovoljavati i protivpožarne zahtjeve.

Kod dimenzionisanja potisnog sistema snabdijevanja postupak je veoma sličan. Razlika je u tome što kod tih sistema određujemo kapacitet pumpe odnosno napor pumpe koji zadovoljava prethodno navedene uslove pritiska u naselju.

### A 2.1.2.2 Hidraulički proračun vodovodnih mreža

Najvažniji zahtjevi koje jedna vodovodna mreža treba da ispuni jesu:

- da dovede odgovarajuće količine vode svakom korisniku kada mu je to potrebno,
- da obezbjedi dovoljne pritiske na svakom mestu korišćenja.

Hidraulički proračuni vodovodnog sistema se najčešće rade za stacionarni režim tečenja, pri čemu proračunom treba provjeriti da li su zadovoljene potrebe potrošača po količini i po pritisku, kao i uslovi ekonomičnosti. Ne ulazeći detaljnije u kriterijume za izbor prečnika u vodovodnoj mreži, dobro projektovana vodovodna mreža u hidrauličkom smislu treba da zadovolji sljedeće uslove:

- raspored pritiska u mreži mora biti što ravnomjerniji;
- pritisak na svakom točjećem mjestu treba i pri najnepovoljnijim uslovima potrošnje biti veći od usvojenog minimalnog pritiska;



## A VODOVODNI SISTEMI

---

- pijezometarske kote u mreži moraju biti takve da kod najvećeg opterećenja mreže tj. najveće potrošnje postoji dovoljna vrijednost nadpritiska za potrebe gašenja požara, koristeći vodu iz jednog ili dva hidranta;
- radi izbjegavanja velikih pogonskih troškova maksimalne brzine vode su ograničene na 1-2 m/s;

Pri proračunu vodovodne mreže polazi se od slijedećih pretpostavki:

- usvaja se da su dominantne gravitacione sile i sile trenja;
- potrošnja vode se obično usvaja kao potrošnja u čvorovima mreže. Pri tome se potrošnja malih potrošača (kućni priključci) sabiraju, te se tretiraju kao oduzimanje vode u čvorovima mreže;
- prosječne brzine vode u mreži su male pa se lokalni gubici na armaturama mogu zanemariti u odnosu na linijske ili se dodaju kao određeni procent od linijskih gubitaka;
- brzinska visina se takođe može smatrati zanemarljivo malom  $v^2/2g = 0,05m$ ;
- proračun mreža se obično radi za stacionarno strujanje u mreži pri najnepovoljnijim uslovima tečenja. Nestacionarni proračuni se obično rade za potrebe dimenzioniranja rezervoara i kontrolu rada pumpnih stanica i sastoje se od niza stacionarnih stanja. Vrlo rijetko se računaju brze nestacionarne pojave u vodovodnoj mreži pri kojima treba uzeti u obzir i efekt stišljivosti vode i cijevi.

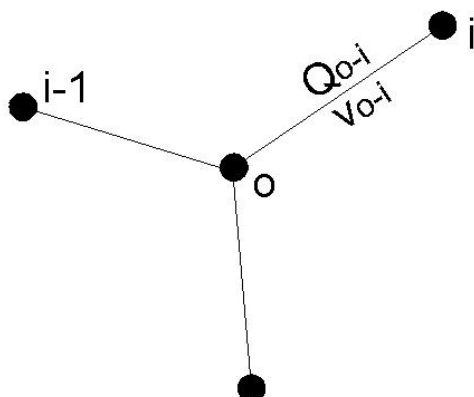
Proces hidrauličkog proračuna svodi se uglavnom na provjeru projektovane mreže. Ukoliko proračun pokaže da pojedini elementi u mreži ne zadovoljavaju, onda se oni moraju korigovati i proračun se tada ponavlja.

### **Metode proračuna**

Postoji niz metoda kojima se mogu računati vodovodne mreže. U nastavku će se objasniti principi na vrlo jednostavnim primjerima.

Osnovne jednačine koje moraju biti zadovoljene u svim čvorovima i u svim cijevima vodovodne mreže su:

- energetska jednačina;
- jednačina kontinuiteta.



Slika A 2.13 Shematski prikaz karakterističnog čvora vodovodne mreže

Posmatrajmo jedan čvor cijevne mreže u kojem se sijeku dvije ili više cijevi. Brzinske visine i lokalni otpori se mogu zanemariti kao vrlo mali u odnosu na otpore trenja. Za svaku cijev se može pisati energetska jednačina u obliku:

$$h_i = h_o + \Delta H_{oi} \dots (1)$$

gdje je:

$h_i$  piezometarska kota u čvoru  $i$ ;

$h_o$  piezometarska kota u čvoru  $o$ ;

$\Delta H_{oi}$  gubitak energetske visine uzduž cijevi  $o-i$ .

Kako je već naglašeno ovde su brzinske visine i lokalni otpori zanemareni kao vrlo mali u odnosu na otpore trenja. Na osnovu gornje jednačine pad energetske linije može pisati u obliku:

$$\Delta H_{oi} = h_i - h_o = \lambda \frac{L_{oi}}{D_{oi}} \frac{v_{oi}^2}{2g} \dots (2)$$

pri čemu je:

$\lambda_{oi}$  koeficijent otpora tečenja u cijevi  $o-i$  (iz Moodyevog diagrama ili direktno iz odgovarajućih jednačina npr. Colebrookove jednačine za prelazni režim);

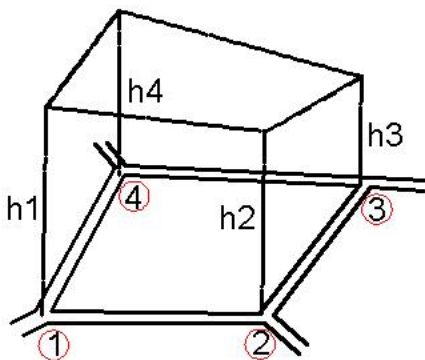
$L_{oi}$  dužina cijevi  $o-i$ ;

$D_{oi}$  prečnik cijevi  $o-i$ ;

$v_{oi}$  brzina u cijevi  $o-i$ .

Za rješenje energetske i jednačine kontinuiteta postoji više načina a dva najčešće korišćena do sada u praksi su:

**Metoda petlji** - postavljanjem jednačina kontinuiteta u svim čvorovima i energetske jednačine u zatvorenim cjevnim elementima - petljama (Hardy-Cross-ova metoda). Pristup se zasniva na činjenici da je suma svih gubitaka u zatvorenoj petlji jednaka nuli.



Slika A 2.14. Skica "petlje" za Hardy –Cross-ovu metodu

Brzina iz prethodne jednačine (2) se može izraziti pomoću protoka Q i površine poprečnog presjeka cijevi A kao :

$$\Delta H_{oi} = h_i - h_o = \lambda \frac{L_{oi}}{D_{oi}} \frac{Q_{oi}^2}{A_{oi}^2 2g} = S_{oi} Q^2 \quad \dots (3)$$

pri čemu je sa  $S_{oi}$  označen koeficijent gubitaka u cijevi  $oi$  čija je vrijednost :

$$S_{oi} = \lambda \frac{L_{oi}}{D_{oi}} \frac{1}{A_{oi}^2 2g} \quad \dots (4)$$

Linijski gubici se mogu napisati u sljedećem obliku:

$$\Delta H_{oi} = S_{oi} Q^2 = S_{oi} (Q_0 + \Delta Q)^2 \quad \dots (5)$$

gdje je :

Q stvarni protok;

$Q_0$  pretpostavljeni protok;

$\Delta Q$  greška u pretpostavljenom protoku.

Zamjenom kvadrata zbira slijedi da je :

$$\Delta H_{oi} = S_{oi} (Q^2_0 + 2Q_0 \Delta Q + \Delta Q^2) \quad \dots (6)$$

Uslov da je suma svih gubitaka u jednoj petlji jednak nuli se može prikazati kao :

$$\sum_{i=1}^n \Delta H = \Delta H_{12} + \Delta H_{23} + \Delta H_{34} + \Delta H_{41} = 0 \quad \dots (7)$$

Uvrštavanjem izraza za gubitke, jednačina kontinuiteta za jednu "petlju" poprima oblik:

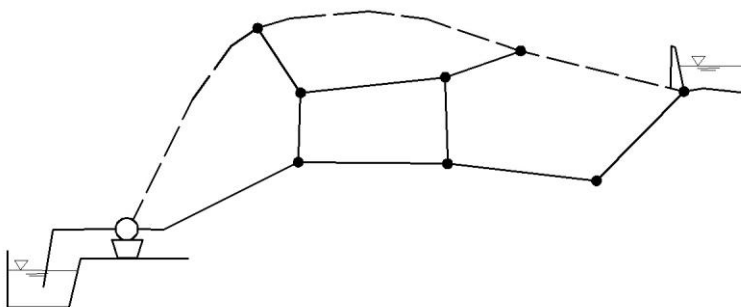
$$\sum_{i=1}^n \Delta H_{oi} = \sum S_{oi} (Q^2_0 + 2Q_0 \Delta Q + \Delta Q^2) = 0 \quad \dots (8)$$

pri čemu je sa indeksom i označena cijev u "petlji". Ako se zanemari  $\Delta Q^2$  rješenje jednačine po  $\Delta Q$  poprima oblik:

$$\Delta Q = \frac{\sum S_i Q_i |Q_i|}{\sum 2S_i |Q_i|} \quad \dots (9)$$

Sračunata vrijednost greške  $\Delta Q$  služi za korekciju prvobitno usvojene vrijednosti  $Q_0$  pa se sa novom vrijednošću  $Q_0$  ulazi u novu iteraciju.

U slučajevima kad je mreža razgranata, da bi se mogao sprovesti ovakav postupak postavljaju se fiktivne petlje u kojima se zadaje da je protok u fiktivnim cijevima jednak nuli.



Slika A 2.15 Fiktivne "petlje" u mreži

**Metoda čvorova** - postavljanje jednačine kontinuiteta u svim čvorovima i energetske jednačine u cijevima.

Brzina u svakoj cijevi o-i se može na osnovu jednačine (2) prikazati kao:

$$v_{oi} = \pm \sqrt{\frac{2gD_{oi}}{\lambda_{oi}L_{oi}}} \sqrt{|h_i - h_o|} = \mu_{oi} \sqrt{|h_i - h_o|} \quad \dots(10)$$

pri čemu se brzine čiji je smjer prema posmatranom čvoru smatraju pozitivne. U daljem proračunu može se usvojiti da je vrijednost  $\mu_{oi}$

konstanta za svaku cijev (treba imati na umu da je  $\lambda$  funkcija Reynoldsovog broja,  $Re$ , odnosno brzine toka vode, tako da ova pretpostavka nije potpuno tačna). Predznak brzine se određuje prema predznaku pada pijezometarske linije, što se može napisati u obliku:

$$v_{oi} = \frac{h_i - h_o}{|h_i - h_o|} \cdot \mu_{oi} \sqrt{|h_i - h_o|} \quad \dots (11)$$

Protok  $Q_{oi}$  u svakom ogranku će biti:

$$Q_{oi} = A_{oi} \cdot v_{oi} = \mu_{oi} A_{oi} \frac{h_i - h_o}{|h_i - h_o|} \cdot \sqrt{|h_i - h_o|} \quad \dots (12)$$

gdje je  $A_{oi}$  površina poprečnog profila cijevi u odgovarajućoj grani cijevovoda. Jednačina proticaja u cijevi o-i se može napisati kao:

$$Q_{oi} = K_{oi} \cdot (h_i - h_o) \quad \dots (13)$$

gdje je:

$$K_{oi} = \frac{\mu_{oi} A_{oi}}{\sqrt{|h_i - h_o|}} \quad \dots (14)$$

Jednačina kontinuiteta za svaki čvor "o" u mreži se može napisati u obliku:

$$\sum_{i=1}^n Q_{oi} = Q_o^v \quad \dots (15)$$

pri čemu se vanjski protok  $Q_{ov}$  smatra pozitivnim kad se radi o oduzimanju iz čvora. Uvođenjem izraza za brzinu u jednačinu kontinuiteta dobija se jednačina oblika:

$$\sum_{i=1}^n K_{oi} \cdot (h_i - h_o) - Q_o^v \quad \dots (16)$$

Gornja jednačina se može napisati za bilo koji čvor. Kako postoji  $m$  čvorova u mreži u kojima se može napisati jednačina kontinuiteta (jed. 16) i  $m$  nepoznatih pijezometarskih kota, dobija se sistem od  $m$  jednačina sa  $m$  nepoznatih. Rješavanjem sistema jednačina rješava se i raspodjela pritisaka u mreži. Kako su jednačine nelinearne uglavnom se koriste iterativni postupci za njihovo rješavanje.

Za modeliranje tečenja u vodovodnoj mreži osim prethodnih jednačina kojima je to tečenje opisano potrebno je znati *početne i granične uslove*.

## A VODOVODNI SISTEMI

---

Za uspostavljanje računskog modela vodovodne mreže potrebno je poznavati sljedeće elemente :

- geometriju mreže sa pretpostavljenim (ili postojećim) prečnicima (i ostalim karakteristikama) cijevi;
- položaj rezervoara;
- položaj pumpnih stanica;
- karakteristike rezervoara, pumpi i cijevi;
- raspored potrošnje u svim čvorovima mreže.

Proračun se može provesti za uslove tečenja u stacionarnom i nestacionarnom režimu. Pored gornjih uslova za proračun nestacionarnih režima potrebno je znati i sljedeće:

- reprezentativni dijagram potrošnje vode u toku dana, nedjelje ili godine;
- karakteristike rezervoara (površina, zapremina, preliv);
- uslove rada pumpi.

Za praktične probleme i njihovo rješavanje uobičajeno se koriste osnovne jednačine teorije mehanike fluida za proračun hidrauličkih gubitaka u cjevovodima su :

- Darcy-jeva jednačina :

$$\Delta h = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$R = \frac{d}{4} \quad \text{za kružni presjek}$$

$$\Delta h = \lambda \frac{l}{d^5} \frac{8}{g \pi^2} Q^2$$

- Manning-ova jednačina :

$$v = \frac{1}{n_G} R^{2/3} I^{1/2} = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$I = \frac{\Delta h}{l}$$

$$\Delta h = n_G^2 \frac{4^{10/3} l}{\pi^2 d^{16/3}} Q^2$$

- Hazen-Williams –ova jednačina :

$$v = 1.318 C R^{0.63} I^{0.54}$$

- Može se prikazati gubitak pritiska i u obliku:

$$\Delta h = s Q^2$$

- gdje je:

$$s = \lambda \frac{l}{d^5} \frac{8}{g \pi^2} \quad \text{po Darcy – ju}$$

$$s = n_G^2 \frac{4^{10/3} l}{\pi^2 d^{16/3}} \quad \text{po Manning – u}$$

Lokalni otpori, odnosno, lokalni gubici energije, se ne uzimaju eksplicitno u prethodnim dinamičkim jednačinama. Razlog tome je što su linijski gubici energije višestruko veći u najvećem procentu vodovodnih mreža od lokalnih gubitaka. Bitniji lokalni gubici energije mogu da se uključe direktno u energetska jednačinu preko gubitka energije,

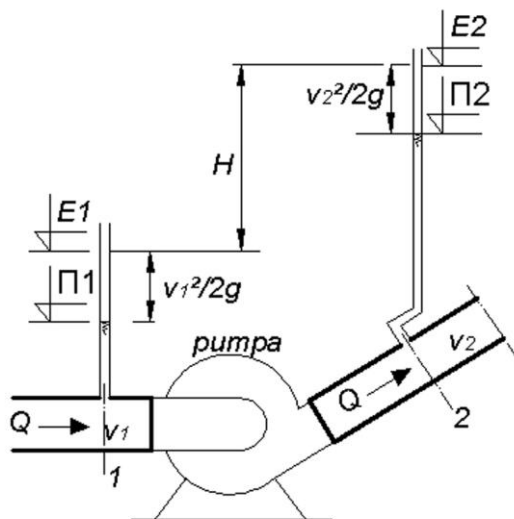
$$\Delta E = \zeta_{lok} \frac{v^2}{2g}$$

gde je ( $\zeta_{lok}$ ), koeficijent lokalnog gubitka energije, a ( $v^2/2g$ ), kinetička energija fluidne struje po jedinici težine. Najčešće se koeficijent lokalnog gubitka energije vezuje uz brzinsku visinu u preseku nizvodno od lokaliteta koji je prouzrokovao gubitak energije. Detaljan pregled lokalnih gubitaka energije može se naći u literaturi (2, 28). Sasvim je razumljivo da, u slučajevima kada se zanemaruju brzinske visine, ima smisla zadržati samo značajnije lokalne gubitke u vodovodnoj mreži (regulacioni zatvarači, reducirani pritiska itd.)

### A 2.1.2.3. Proračun pumpi u vodovodnom sistemu

Pumpa je hidraulička mašina kojom se povećava mehanička energija fluida, tako što se energija sa obrtnog kola prenosi na fluid. U sistemima vodovoda uglavnom se koriste centrifugalne crpke, koje

rade na principu transmisije centrifugalne sile na masu vode u energiju njenog strujanja (podizanja) kroz cjevovod. Kapaciteti centrifugalnih crpki su od nekoliko do više stotina litara u sekundi, sa visinom dizanja - naporom do nekoliko stotina metara.



Slika A 2.16 Energetska i pjezometarska linija uzvodno i nizvodno od pumpe

### **Manometarska visina dizanja vode**

S obzirom na osovinu pumpe, razlikuju se dvije strane, odnosno dva nivoa dizanja vode:

- usisna strana crpnog postrojenja, obilježava se kao manometarska usisna visina  $H_{man,us}$ ;
- potisna strana, obilježava se kao manometarska potisna visina  $H_{man,pot}$ .

$$H_{man} = H_{man,us} + H_{man,pot}$$

Usisna manometarska visina jednaka je:

$$H_{man,us} = H_{g,us} + \Sigma \Delta H_{us}$$

gdje je:

$H_{g,us}$  geodetska visinska razlika između nivoa vode u zahvatu i osovine pumpe (m);



$\Sigma\Delta H_{us}$  ukupni gubitak energije u usisnom cjevovodu (m).

Veličinu  $H_{man,us}$  treba stalno održavati na određenoj visini kako bi pritisak na svakom mjestu pumpe bio viši od pritiska isparavanja vode, da se ne bi desilo da u slučaju da je  $H_{man,us} < H_{isp}$  voda počne da isparava i tako dođe do razvoja kavitacije u cjevovodu. S obzirom na niz faktora koji utiču na usisnu visinu pumpe, može se usvojiti da je  $H_{man,us}$  :

$$H_{man,us} \leq 7,50 m$$

Potisna manometarska visina računa se kao:

$$H_{man,pot} = H_g + \Sigma\Delta H + \frac{v^2}{2g}$$

gdje je:

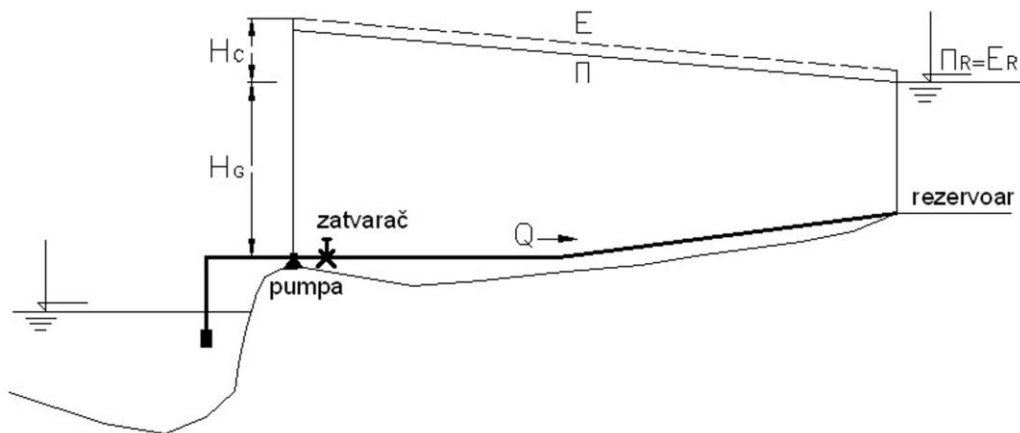
$H_g$  geodetska visinska razlika između nivoa vode u rezervoaru i osovine pumpe (m);

$v^2$  brzina toka vode u potisnom cjevovodu (m/s);

$\Sigma\Delta H$  ukupni gubitak energije u potisnom cjevovodu (m).

## **Karakteristike cjevovoda i određivanje radne tačke pumpe**

Pumpa koja je povezana na cjevovod ostvariće proticaj  $Q$ , koji zavisi od karakteristika pumpe, cjevovoda i položaja rezervoara, odnosno korisnika prema kojima se pumpa.



*Slika A 2.17 Podužni presjek kroz sistem: zahvata, pumpe, cjevovoda i rezervoara*

Ako je potrebno da pumpa ostvari proticaj  $Q$ , onda se mora postići ukupna visina dizanja koja je zbir:

$$H_G + H_C$$

gdje je :

$H_G$  geodetska visina, razlika nivoa vode u zahvatu i u rezervoaru;

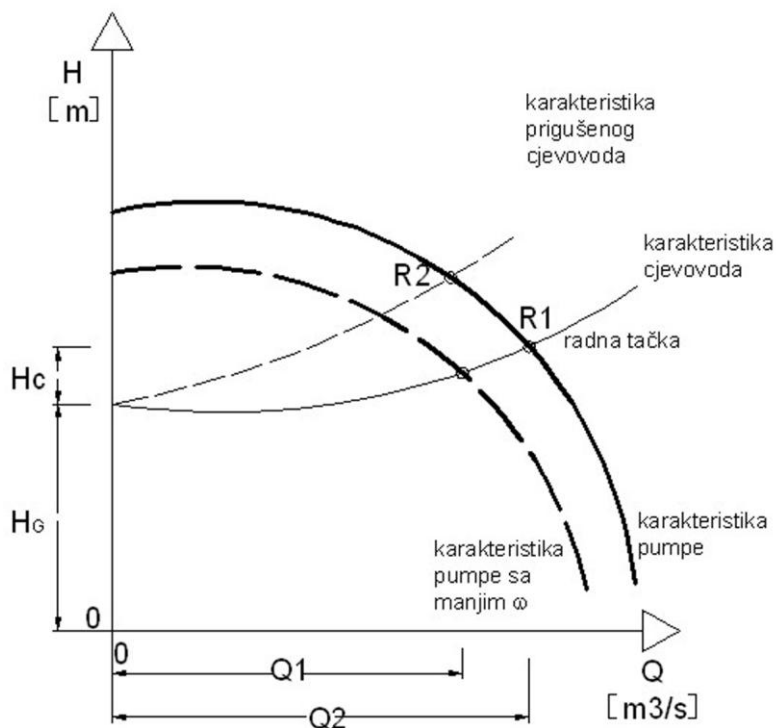
$H_C$  gubitak energije po jedinici težine, koji potiče od trenja u cjevovodu usisa i potisa i od raznih lokalnih gubitaka.

Ako je strujanje turbulentno onda važi:

$$H_C = H_C(Q^2)$$

Ova jednačina je karakteristika cjevovoda i predstavlja kvadratnu parabolu. Karakteristika cjevovoda ( $H_C$ ) je energija koju je potrebno dati cjevovodu da bi se zahtjevani proticaj doveo do potrošača.

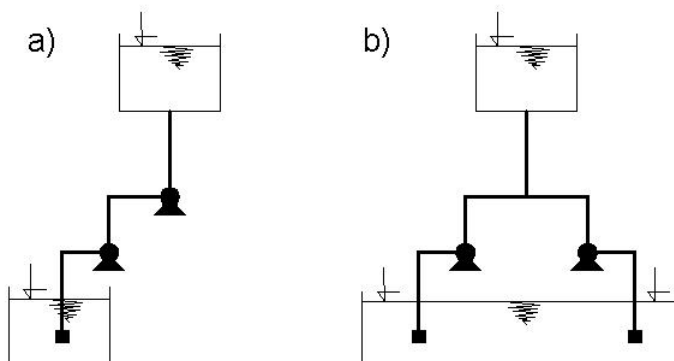
Na slici A.2.18 su prikazane karakteristike pumpe i cjevovoda. Ove dvije krive se sijeku u tački "R<sub>1</sub>", koja predstavlja radnu tačku pumpe za cjevovod datih karakteristika. Za visinu dizanja  $H_G + H_C$  pumpa će ostvariti proticaj  $Q_1$ . Može se desiti da je taj proticaj veći od potrebnog proticaja  $Q_2$ . U tom slučaju može se iskoristiti zatvarač na potisu pumpe, čijim zatvaranjem povećavamo lokalne gubitke energije. Karakteristika ovako prigušenog cjevovoda je određena sa drugim kvadratnom parabolom, koja je nacrtana isprekidanom linijom. Ona se sa dijagramom karakteristike pumpe siječe u tački "R<sub>2</sub>", koja predstavlja drugu radnu tačku kojoj odgovara potrebni proticaj  $Q_2$ . Isti proticaj može se dobiti smanjivanjem broja obrtaja pumpe, bez povećanja lokalnih gubitaka.



Slika A 2.18 Karakteristike pumpe i cjevovoda sa radnim tačkama

### Kombinacija rada pumpi

Ako karakteristike pojedinih pumpi ne odgovaraju zahtjevima, pumpe se mogu kombinovati. Različitim povezivanjem mogu se dobiti potrebne karakteristike. Na narednoj slici prikazano je redno i paralelno povezivanje pumpi.



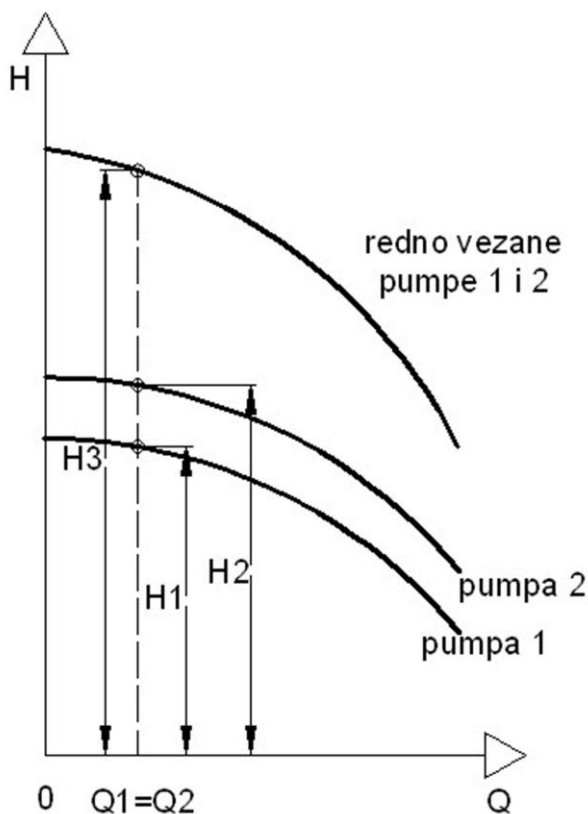
Slika A 2.19 Povezivanje pumpi a) redno i b) paralelno

## A VODOVODNI SISTEMI

Ako raspoložive pumpe nemaju dovoljnu visinu dizanja, pumpe se vezuju redno. Na slici A 2.20 prikazane su karakteristike  $H(Q)$  za dvije slične redno vezane pumpe.

Za isti proticaj  $Q_1 = Q_2$  visine dizanja  $H_1$  i  $H_2$  se sabiraju i daju:

$$H_1 + H_2 = H_3$$

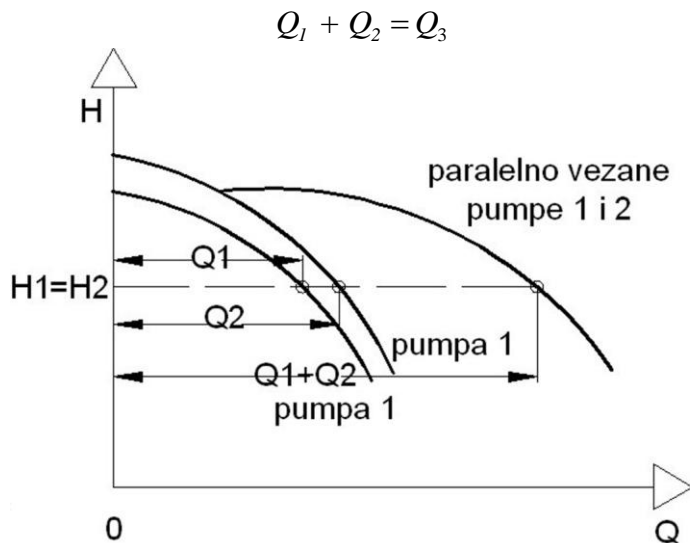


Slika A 2.20 Karakteristike redno vezanih pumpi

Obično se redno vezuju pumpe jednakih karakteristika. Najčešće se nekoliko radnih kola nalaze na istoj obrtnoj osovinu i onda su to tzv. višestepene pumpe. Redno vezane pumpe se mogu nalaziti i na većem međusobnom rastojanju.

Ako je proticaj koji obezbjeđuje pumpa nedovoljan, pumpe se vezuju paralelno. Karakteristike  $H(Q)$ , za dvije tako vezane pumpe, su date na slici.

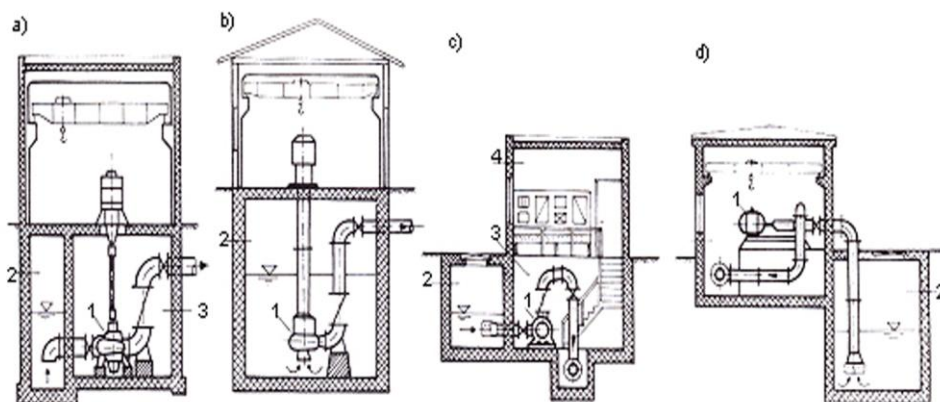
Za istu visinu dizanja,  $H_1 = H_2$ , proticaji  $Q_1$  i  $Q_2$  se sabiraju i daju:



Slika A 2.21 Karakteristike paralelno vezanih pumpi

Kod paralelne veze najčešće se vezuju pumpe istih karakteristika. Po pravilu pumpe se nalaze u istom prostoru – jednoj pumpnoj stanici.

Paralelno vezane pumpe omogućavaju podešavanje proticaja prema potrebama i značajno povećavaju sigurnost rada pumpnog postrojenja.



Legenda- (a) vertikalna pumpa na suvom; (b) potpopljena vertikalna pumpa; (c) horizontalna radijalna pumpa na suvom; (d) horizontalna aksijalna pumpa na suvom; 1 – pumpa; 2 – crpni rezervoar; 3 – mašinska prostorija; 4 – komandna prostorija.

Slika A 2.22 Djelovi pumpne stanice s vrstama centrifugalnih pumpi i načinima njihove ugradnje

Kod projektovanja pumpnih stanica izbor pumpi sprovodi se iz proizvodnih kataloga na osnovu karakteristika pumpi, tj.  $Q - H$ ,  $Q - P$  i  $Q - \eta$  krivih, budući da su svi pumpni agregati tipizirani.

Kod izbora veličine i broja pumpi treba imati u vidu činjenicu da je u pogonskom pogledu sigurnije, iako skuplje, odabrati više pumpi manjeg kapaciteta, nego samo jednu potrebne veličine. Ovakav je pristup naročito opravdan za slučaj fazne izgradnje vodovodnog sistema, kada početne potrebe za vodom u odnosu na konačne, iznose samo jedan dio. Čak i kod najmanjih pogona praksa je planiranja minimum dvije pumpe istih karakteristika, od kojih je jedna radna a jedna rezervna.

### ***Crpni rezervoar, mašinska hala i komanda***

*Crpni rezervoar* služi za sakupljanje i zadržavanje (retenziranje) vode koja se prepumpava. Njegova veličina bitno zavisi od režima rada pumpi i dotoka, pa se stoga on posebno dimenzioniše. Kod većih pumpnih stanica izvodi se više ovih rezervoara međusobno odvojenih, kako bi se omogućila revizija i popravka bez prekida rada pumpi. Voda u crpni rezervoar ulazi kroz jedan ili više otvora (dovoda), direktno ili kroz rešetke i mreže. Na otvorima treba takođe postaviti zatvarače kako bi se crpni rezervoar mogao povremeno prazniti. Kod pumpnih stanica s uronjenim pumpama, prostor crpnog bazena treba prilagoditi i gabaritima pumpi. U slučaju da su pumpe na suvom, u crpni rezervoar se postavlja početak usisne cijevi kojoj je dodata usisna korpa. Crpni rezervoar mora imati otvor i elemente za reviziju, ventilaciju i preliv koji se aktivira kad visina punjenja prelazi dopuštenu. Dno crpnog rezervoara se izvodi u padu do najniže kote, gdje se radi njegovog pražnjenja izvodi muljni ispušt.

*Mašinska hala* služi za smještaj pumpnih agregata, kontrolnih instrumenata, krajeva usisnih cijevi i početaka potisnih cjevovoda s pripadajućim fasonskim komadima i vodovodnim armaturama (radi spajanja crpnih agregata u jedinstveni sistem), i druge potrebne opreme. Mašinska hala mora biti izvedena sa odgovarajućim otvorima za komunikaciju, održavanje, montažu i demontažu opreme. U slučaju teške opreme postavlja se i dizalica. Unutar ovog prostora treba osigurati ventilaciju, a po potrebi i grijanje. Kod manjih crpnih stanica s uronjenim pumpama, mašinske hale nema.

*Komandna prostorija* je prostor koji sadrži potrebnu elektronsku opremu za automatsko upravljanje pumpne agregatima, odnosno radom pumpne stanice. Automatski rad se sastoji u uključivanju i

isključivanju pumpi saglasno njihovom režimu rada. Pored ovoga, automatika obuhvata i praćenje radnog opterećenja svih pumpi, uključujući i rezervne. U objektu pumpne stanice je potrebno realizovati i energetska priključak u skladu sa zahtjevima elektrodistribucijskog preduzeća, pa se često uz pumpnu stanicu (pumpne stanice velikog instaliranog kapaciteta) izvodi i transformatorska stanica.

Zbog starta i mogućnosti kontrolisanog ili nekontrolisanog zaustavljanja rada jednog ili svih crpnih agregata, promjene opterećenja ili brzog zatvaranja cjevovoda, kod pumpnih stanica se može javiti *hidraulički udar*. Iz tih razloga pumpne stanice najčešće sadrže i opremu za zaštitu od vodnog udara. Po pravilu, proračun mogućnosti pojave vodnog udara radi se za slučajeve kada je dužina potisnog cjevovoda veća od 50 m, a visina napora pumpe veća od 20 m. Ako se ukaže potreba, zaštita od vodnog udara se obično sprovodi ugradnjom nekog od sledećih uređaja odnosno objekata:

(1) povratnog ventila koji se sporije zatvara, tako da dio povratne vode propušta kroz pumpu nazad, u crpni rezervoar;

(2) obilaznog cjevovoda sa kontrolnim zatvaračem koji se otvara kad pritisak poraste iznad dozvoljenog, takođe propuštajući vodu natrag, u crpni rezervoar;

(3) vazdušnog kazana koji ima zadatak (a) da kompenzuje smanjenje pritiska u cjevovodu, odnosno da sprečava prekidanje vodnog stuba kada se udarni talas prostire od pumpe i (b) da amortizuje udarni talas kada se on rasprostire prema pumpi.

(4) vodne komore koja nadoknađuje vodu izgubljenu u talasanju i amortizuje povratni udarni talas. Ova se komora može graditi tamo gdje za njen smeštaj postoje povoljni visinski odnosi u okolini pumpne stanice.

### **A 2.1.2.4 Cijevni materijal za vodovodne mreže**

Vodovodnu mrežu čini sistem glavnih i sekundarnih cjevovoda sa pripadajućim fazonskim komadima i vodovodnim armaturama, međusobno spojenih u jednu funkcionalnu cjelinu, neposredno ili posredno preko posebnih objekata vodovodnog sistema a sve radi dovođenja i distribucije vode krajnjim potrošačima.

Vodovodnu distributivnu mrežu čine:

- cjevovodi, kojima se voda dovodi i distribuira unutar područja snabdijevanja;
- fazonski komadi, koji služe za usmjeravanje toka vode, promjenu prečnika cjevovoda i rješavanje različitih vrsta spojeva cijevi;
- vodovodne armature, koje služe za ispravno funkcionisanje, upravljanje i održavanje vodovodne mreže.

Osnovni zahtjevi kod svake vodovodne mreže odnose se na obezbjeđenje sledećih uslova:

- dovoljna mehanička otpornost prema spoljašnjim i unutrašnjim opterećenjima koja mreža može da trpi;
- vodonepropusnost;
- glatkoća unutrašnjih zidova cijevi, što stvara povoljnije uslove toka vode odnosno smanjuje prisutne hidrauličke gubitke;
- dugotrajnost, s obzirom na agresivno djelovanje sredine u kojoj se mreža polaže kao i samog dejstva vode kao hemijske materije;
- jednostavna, brza i sigurna ugradnje mreže;
- ekonomski isplativo rješenje.

Da bi se ispunili naprijed navedeni uslovi, kod vodovodnih mreža u hidrotehničkoj praksi je široko rasprostranjena primjena više materijala za njihovo izvođenje, ne samo kao posljedica istorijskog razvoja tehnologije proizvodnje vodovodnih cijevi, već i zbog evidentne prisutnosti različitih uslova eksploatacije cijevi.

Da bi se u konkretnim uslovima sproveo pravilan izbor vrste cijevi, najprije je potrebno poznavati osnovne karakteristike materijala od kojih se izvode.

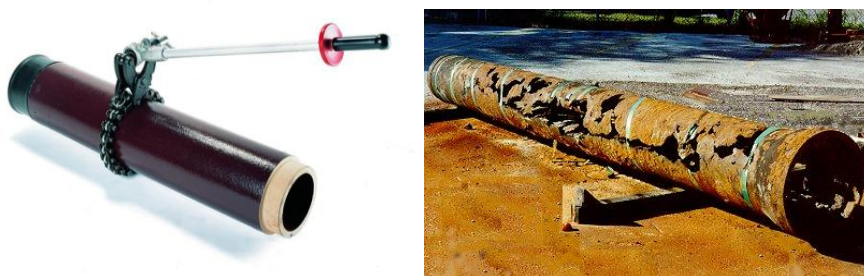
Potrebno je pri tome naglasiti da svaki proizvođač cijevi raspolaže prospektima svog proizvodnog asortimana, u kojima se mogu naći detaljniji podaci o osobinama cijevi, koje su bitne kod projektovanja vodovodnih mreža: strukturi materijala, hemijskim karakteristikama, postupku po kojem su proizvedene, standardima koje cijevi zadovoljavaju, klasama cijevi s obzirom na pritisak (nominalni, radni, probni), dimenzijama profila, dužini, masi, načinu ugradnje, međusobnom spajanju i osiguranju cijevi, hidrauličkim parametrima, proračunu opterećenja i kontroli deformacija, načinu sprovođenja ispitivanja na pritisak i načinu isporuke, rukovanja i skladištenja cijevi.



### **Liveño gvozdene cijevi**

Cijevi od ovog materijala su jako rasprostranjene i može se slobodno reći da su dugo vremena bile i osnovni materijal u izgradnji vodovodnih mreža. Koriste se zadnjih 200 godina. Vijek trajanja im se procjenjuje na preko 100 godina. Ovako dugi vijek duguju osobinama samog materijala a posebno fabrički izvedenim antikoroziivnim zaštitama.

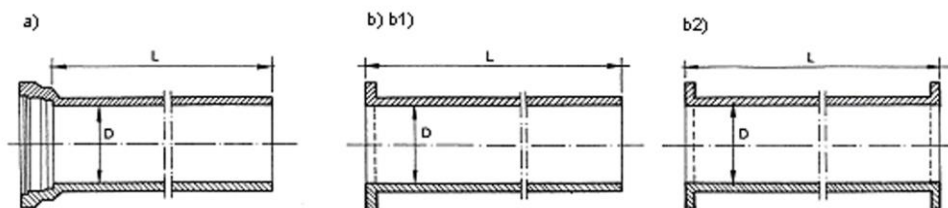
Liveño gvozdene cijevi se proizvode za pritiske 10,15 i 20 bara, unutrašnjeg prečnika  $D=50$  do 600 (700) mm i dužine (zavisno od prečnika)  $L=3$  do 4 m.



*Slika A 2.23 Izgledi nove i korodirane liveño gvozdene cijevi*

Prema obliku odnosno načinu završetka krajeva ove se cijevi dijele na dvije grupe:

- (a) sa naglavkom (kolčakom), odnosno sa proširenjem na jednom kraju, dok je drugi kraj ravan;
- (b) sa prirubnicom (flanšom) na jednom ili oba kraja.

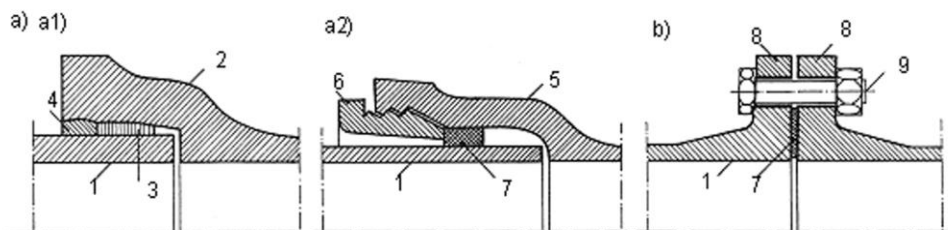


*Slika A 2.24 Liveño gvozdene cijevi (a) s naglavkom, (b1) s prirubnicom na jednom kraju, (b2) s prirubnicom na oba kraja*

Način spajanja ovih cijevi zavisi od vrste završetka cijevi. Prema njima kombinuju se i međusobni spojevi kao što je dato na slici A 2.24. Spoj s naglavkom se može izvesti na dva načina. Prvi se način sastoji u tome da se ravni kraj jedne cijevi uvede u naglavak druge cijevi, a prostor između cijevi i naglavka se popunjava zaptivkom, slika A

2.24(a). Nedostatak ovog spoja je njegova velika krutost, a otuda i mogućnost laganog popuštanja pri eventualnim deformacijama cjevovoda.

Ovaj je problem je prevaziđen kod drugog načina spajanja, gdje se koristi naglavak s navojem i gumeni zaptivni prsten, slika A 2.25(a2). Spoj s priрубnicama najviše se koristi kod ugradnje fazonskih komada i vodovodnih armatura na mreži liveno gvozdениh cijevi, slika A2.25(b). Zaptivanje se najčešće vrši gumenim prstenom između priрубnica, međusobno pritegnutih zavrtњevima sa maticama.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – naglavak; 3 – konoplјeno užе natoplјeno lanenim ulјem; 4 – nabijeno olovo ili olovna guma; 5 – naglavak s navojem; 6 – prsten s navojem; 7 – gumeni prsten; 8 – priрубnica; 9 – zavrtanj sa maticom

*Slika A 2.25 Spajanje liveno gvozdениh cijevi (a) spoj s naglavkom; (b) spoj s priрубnicama*

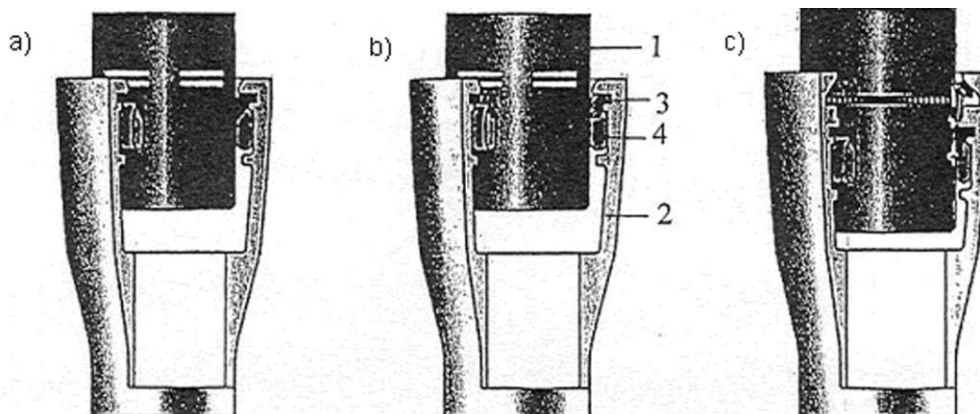
Razvojem tehnologije proizvodnje novih materijala došlo se do ideje da se liveno gvozdene cijevi proizvode i sa tzv. duktilnim livom. Otuda se ove cijevi nazivaju duktilne cijevi ili cijevi od nodularnog liva. Naime, sve izrazitija potražnja za cijevima veće otpornosti prema spoljašnjim (mehaničkim opterećenjima i koroziji) i unutrašnjim uticajima (pritisak vode), kao i nastojanja da vijek trajanja cijevi bude što duži, inicirala je razvoj nove tehnologije za proizvodnju cijevi. Tehnologija je napredovala i u dobijanju liva, budući da sivi liv (od kojega se izvode klasične liveno gvozdene cijevi) sadrži grafit u obliku listića ili pahuljica koji u određenim uslovima mogu izazvati prsline i lom cijevi.

Dodavanjem livu malih količina magnezijuma, grafit se pojavljuje u obliku malih kuglica, što doprinosi njegovom kvalitetu i povećanju otpora na sile zatezanja, pa liv dobija osobinu da može da se kuje – postaje duktilan. Ove osobine tog, može se reći novog materijala, dovele su do toga da su duktilne cijevi u potpunosti potisnule sa tržišta klasične liveno gvozdene cijevi a u nekim oblastima primjene i sve druge vrste cijevi.



Slika A 2.26 Duktilne cijevi

Duktilne cijevi se proizvode za pritiske 30 do 40 bar, unutrašnjeg prečnika  $D=60$  do 1800 mm i uobičajene dužine  $L=6$  m. Štite se od korozije spoljašnjom i unutrašnjom zaštitom. Spoljašnja zaštita se vrši galvanizacijom (metalizirani cink) i dodatno štiti bitumenskim premazom (za manje korozivna tla), polietilenskom ili poliuretanskom oblogom (za vrlo korozivna tla).



- a) TYTON-dugi tip kolčaka sa posebno velikom longitudinalnom pokretljivošću
- b) TYTON-SIT-otporan na udarce malog prečnika i pritiska
- c) TYTON –SV- otporan na udarce velikog prečnika i pritiska

1 – ravni kraj cijevi; 2 – naglavak; 3 – tvrdi dio zaptivača; 4 – mekani dio zaptivača

Slika A 2.27 Spajanje duktilnih cijevi s posebnim vrstama spojeva na naglavak (tyton spojevi)

Spajanje duktilnih cijevi se, uz već spomenute spojeve na naglavak i priрубnice (kao za obične liveno gvozdene cijevi) vrši i posebno razvijenom vrstom spojeva na naglavak, tzv. “tyton” spojevi, slika A 2.27.



Slika A 2.28, Neki liveno-gvozdeni fazonski komadi

### **Čelične cijevi**

Ove cijevi imaju značajne prednosti u odnosu na liveno gvozdene cijevi, prije svega jer posjeduju daleko veću čvrstoću (otpornost na lom) i elastičnost. Iz tih razloga njihova primjena je mnogo češća kod vodovodnih mreža u kojima vladaju veći pritisci i u uslovima izloženosti cijevi dinamičkim uticajima i savijanjima. Debljine zidova čeličnih cijevi su upola manje od liveno gvozdenih, tako da su lakše, a tržišne dužine su 2 do 3 puta veće, što znatno smanjuje troškove transporta i ugradnje.

Osnovni nedostatak ovih cijevi je mala otpornost na hemijske i elektrolitičke utjecaje tj. nedostatak je veća osjetljivost na koroziju. To je razlog da se kod ovih cijevi u fazi njihove ugradnje moraju izvoditi zaštitni premazi na bitumenskoj, cementnoj ili plastičnoj osnovi i katodna zaštita. Vijek trajanja čeličnih cijevi procjenjuje se 25 do 50 godina. Prema procesu proizvodnje razlikujemo dvije vrste čeličnih cijevi:

- (1) bešavne cijevi, koje se proizvode od valjanog čelika;
- (2) šavne cijevi, koje se proizvode uzdužnim ili spiralnim varenjem čeličnih limova.



*Slika A 2.29 Nove i korišćene čelične cijevi*

Čelične cijevi se proizvode za pritiske 10, 15, 25, 40, 65, 80 i 100 bara, unutrašnjeg prečnika  $D = 50$  do 600 mm (bešavne cijevi), odnosno  $D = 50$  do 1600 mm (šavne cijevi), i dužinama  $L = 4$  do 12 (i više) m.

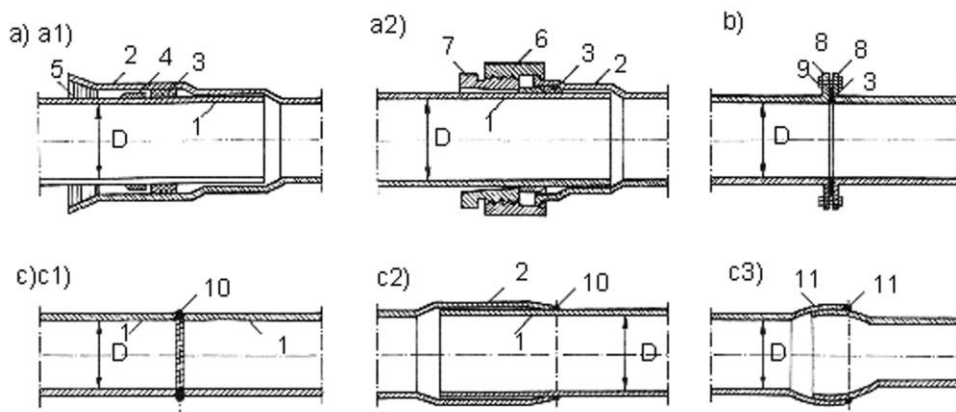
Spajanje čeličnih cijevi (slika A 2.30) moguće je na tri osnovna načina:

- (a) spoj s naglavkom;
- (b) spoj s prirubnicama;
- (c) spoj zavarivanjem.

Spojevi s naglavkom se izvode u nekoliko varijanti. Relativno najčešći spoj je tzv. SIGUR spoj, slika A 2.30(a1), koji se primjenjuje za spajanje čeličnih cijevi unutrašnjeg prečnika  $D=50$  do 800 mm. Kao zaptivač služi gumeni prsten, koji se navlači na ravni kraj cijevi, tako da pri navlačenju u naglavak druge cijevi i pri uzdužnim pomjeranjima ostaje osigurano zaptivanje. Na ravnom kraju cijevi zavaruje se zaštitni prsten koji sprječava istiskivanje gumenog prstena. Preostali dio naglavka ispunjava se nabijenim impregniranim užetom. Čest je i spoj s naglavkom na navoj, slika A 2.30(a2). Dijelovi sa navojem su od livenog gvožđa, a zaptivni prsten je od gume.

Spoj s prirubnicama, slika A 2.30(b), se po pravilu primjenjuje kod cjevovoda koji se polažu na površini terena. Zaptivanje se postiže gumenim ili metalnim prstenom koji se pritežu zavrtnjevima. Završetak čeličnih cijevi sa prirubnicama takođe je obavezan kod spoja sa liveno gvozdenim fazonskim komadima i vodovodnim armaturama, budući da oni svi zaršavaju sa prirubnicama.

Spoj zavarivanjem, slika A 2.30(c), se po pravilu koristi ako je unutrašnji prečnik čeličnih cijevi  $D > 500$  mm. Zavareni spoj može biti čeon, sa zavarenim naglavkom ili s kuglastim zavarenim naglavkom.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – naglavak; 3 – brtveni prsten; 4 – zavareni zaštitni prsten; 5 – nabijeno impregnirano uže; 6 – čep s navojem; 7 – tlačni prsten s navojem; 8 – prirubnica; 9 – zavrtnj sa maticom; 10 – var; 11 – kuglasti naglavak

Slika A 2.30. Spajanje čeličnih cijevi (a) spoj s naglavkom, (b) spoj s prirubnicama, (c) spoj zavarivanjem



### **Azbest cementne cijevi**

Sredinom prošlog vijeka ova vrsta cijevi je imala veoma veliku primjenu u izgradnji vodovodnih mreža tako da se danas veliki broj vodovodnih mreža koje su u funkciji sastoji od cijevi ovog materijala. Azbest-cementne cijevi su zastupljene i u distributivnim mrežama mnogih velikih evropskih i svjetskih vodovoda. Na primjer u Budimpešti ima 2316 km, u Barseloni 900 km, u Sofiji 640 km, u Beču i Lisabonu oko 460 km, u Varšavi 350 km, u Roterdamu 400 km ovih cijevi. Krajem 80 – tih godina prošlog vijeka ove cijevi su se prestale proizvoditi i ugrađivati u vodovodne mreže prije svega zbog zabrane upotrebe azbestnih materijala. Tako se zabrana upotrebe azbestnih materijala pominje u Direktivama Evropske Unije, 1999/77/EC i 2003/18/EC, i odnosi se na ekstrakciju (eksploataciju nalazišta), proizvodnju i preradu azbestnog materijala radi zaštite zdravlja radnika u toj proizvodnji, zbog njihove izloženosti uticaju azbestnih vlakana na respiratorne organe. U tom smislu se preporučuje da se dalja eksploatacija i proizvodnja azbestnih proizvoda ukine. Međutim treba naglasiti da ugrađene azbest-cementne cijevi koje se koriste u distributivnom sistemima mnogih vodovoda nemaju štetan uticaj na kvalitet vode ni štetno dejstvo na zdravlje ljudi. Ovo je zvaničan stav Svetske zdravstvene organizacije (WHO) kao i našeg zakonodavstva kojim se reguliše ova problematika.

Ovaj materijal se više ne koristi, a postojeće cijevi se zamjenjuju tamo gdje je to neophodno, ali ne zbog njihove navodne štetnosti po ljudsko zdravlje, već zbog dotrajalosti ove mreže koja je instalirana 50-ih i 60-ih godina prošlog vijeka.

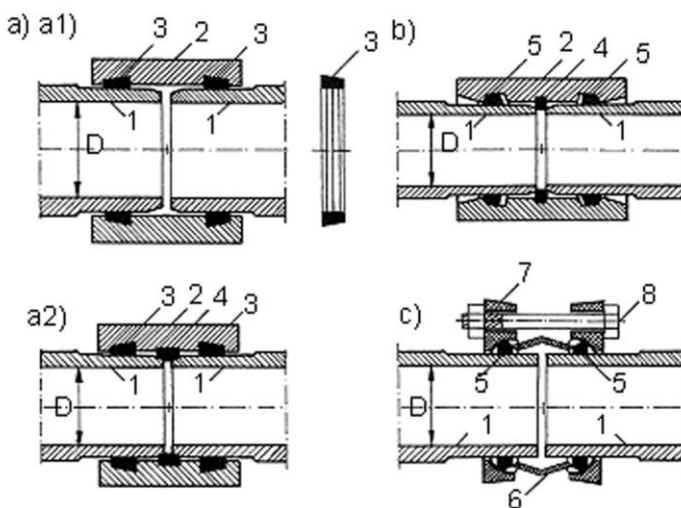
Ove se cijevi su se proizvodile fabričkim postupkom od smjese koje se (maseno) sastoji od 75 do 80 [%] visoko kvalitetnog portland cementa i 20 do 25 [%] azbestnih vlakana.

U odnosu na liveno gvozdene i čelične cijevi, azbest cementne cijevi imaju slijedeće prednosti: slabiju toplotnu provodljivost, postojanost na koroziju, električnu neprovodljivost, relativno malu gustinu materijala (što znatno olakšava transport i ugradnju cijevi), dobra hidraulička svojstva (glatkost zidova cijevi), postojanost na niske i visoke temperature, laganu montažu (obradu, rezanje i spajanje). Mane azbest cementnih cijevi su: slaba otpornost na udarce i dinamička opterećenja, relativno skupi spojevi (za veće profile), kod ugradnje fasonskih komada i vodovodnih armatura potrebni su (za prelaz na čelik i liveno gvožđe) posebni prelazni komadi od livenog gvožđa.



Slika A 2.31 Izgled i struktura zida azbest cementne cijevi

Vijek trajanja azbest cementnih cijevi se procjenjuje na preko 75 godina. Proizvodile su se u šest klasa, A do F, za pritiske 2.5, 5, 10, 15, 20 i 25 bar, unutrašnjeg prečnika  $D = 50$  do 1300 mm i dužine  $L = 3$  do 5 m. Prečnik cijevi je bio u funkciji deklarisanog pritiska, tako da se npr. klase A i B (za pritiske 2.5 i 5 bara) proizvode najvećeg prečnika, dok se klasa E (za pritisak 20 bara) proizvodila samo do unutrašnjeg prečnika  $D = 350$  mm.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – prstenasta spojnica; 3 – profilirani gumeni prsten; 4 – srednji gumeni prsten za razmak; 5 – zaptivni prsten kružnog profila; 6 – liveno gvozdена ogrlica; 7 – prirubnica; 8 – zavrtnaj sa maticom

Slika A 2.32 Spajanje azbest cementnih cijevi, (a) spoj "dalma reka", (b) spoj "vitlak", (c) spoj "gibault"

Spajanje azbest cementnih cijevi se najčešće vršilo pomoću azbest cementnih i liveno gvozdenih specijalnih prstenastih spojnica, slika A 2.32.



Na slici A 2.32(a) prikazan je patentirani spoj "dalma reka", koji se izvodi u dvije varijante. Prva varijanta spoja, slika A 2.32(a1), izvodi se bez srednjeg gumenog prstena, a druga varijanta, slika A 2.32(a2), sa srednjim gumenim prstenom. Na slici A 2.32(b) prikazan je spoj "vitlak", a na slici A 2.32(c) spoj "gibault". Ovi spojevi obezbjeđuju elastičnost, što je prilično važno za relativno krte azbest cementne cijevi. Za prelaz na cijevi drugih materijala i za spajanja različitih prečnika izrađuju se posebni naglavci.

### **Armiranobetonske cijevi**

Armiranobetonske cijevi imaju niz prednosti u odnosu na liveno gvozdene i čelične cijevi. To su:

- postojanost na koroziju;
- malu električnu provodljivost;
- dobra hidraulička svojstva.

Loše strane ovih cijevi su:

- velika težina cijevi;
- velik broj spojeva (nedovoljna vodonepropusnost);
- velika hidraulička hrapavost;
- osjetljivost betona na niz spojeva u agresivnim tlima (npr. blizina mora), zbog čega je potrebno sprovoditi posebnu zaštitu cijevi.

Armiranobetonske cijevi se proizvode:

- sa prethodno napreguntom uzdužnom i spiralnom armaturom;
- sa unutrašnjim čeličnim cilindrom (obezbjeđenje vodonepropusnosti) i prethodno napregnutom spiralnom armaturom;
- sa prethodno napregnutom armaturom i postupkom specijalnog vibriranja pod pritiskom u procesu proizvodnje.

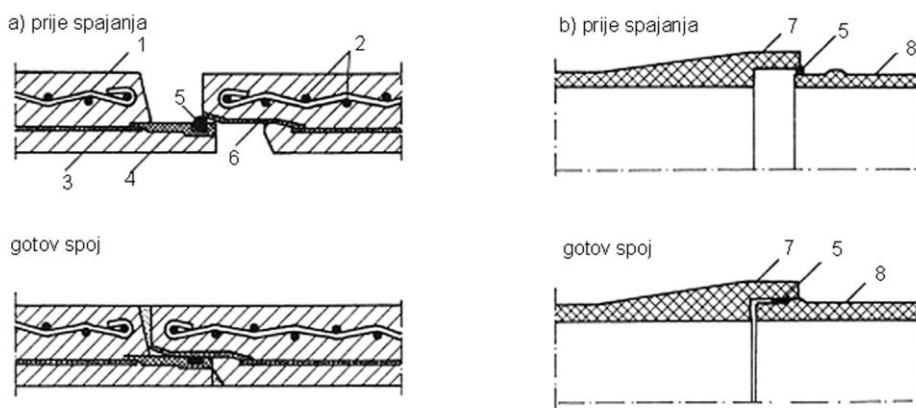
Najrasprostranjenija je upotreba cijevi sa unutrašnjim čeličnim cilindrom.

Dimenzije armiranobetonskih cijevi nisu normirane. Fabrički se obično izrađuju cijevi za pritiske 10 bara, unutrašnjeg prečnika  $D = 300$  do  $3000$  mm (uobičajeno  $D > 600$  mm), dok su najčešće dužine ovih cijevi  $L = 4$  do  $6$  m.

Cijevi se proizvode s naglavkom i ravnim krajem, tako da se prema tipu cijevi kombinuju i vrste njihovog spoja, slika A 2.34.



Slika A 2.33 Armiranobetonske cijevi sa unutrašnjim čeličnim cilindrom



1 – uzdužna armatura; 2 – spiralna armatura; 3 – cilindar od čeličnog lima; 4 – prsten ravnog kraja cijevi; 5 – gumeni prsten; 6 – prsten naglavka; 7 – naglavak; 8 – ravni kraj cijevi

Slika A 2.34 Vrste spoja armiranobetonskih cijevi (a) spoj s ravnim krajem, (b) spoj s naglavkom

U izgradnji vodovodnih sistema primjena armiranobetonskih cijevi imala je opravdanje kod glavnih cjevovoda s manjim brojem fazonskih komada i vodovodnih armatura. Od fazonskih komada upotrebljavani su čelični i liveno gvozdene fazonski komadi s pribubicama.

### **Plastične cijevi**

Plastične cijevi su relativno nove u vodovodnim sistemima i počele su se koristiti zadnjih 50-tak godina. Iz tih razloga još se ne može pouzdano tvrditi koliki je vijek trajanja ovih cijevi. Ipak one su danas

## A VODOVODNI SISTEMI

---

na tržištu dominantan materijal iz više razloga. Plastične se cijevi proizvode od sledećih materijala:

- polietilena, niske (PELD) i visoke (PEHD) gustine;
- tvrdog polivinil hlorida (PVC);
- poliesterskih materijala (PE);
- polipropilena (PP).

Dobre strane plastičnih cijevi sadržane su u:

- velikoj otpornosti prema koroziji;
- maloj težini (što olakšava transport i ugradnju);
- otpornosti na mraz;
- dielektričnosti;
- maloj toplotnoj provodljivosti;
- dobrim hidrauličkim osobinama (glatkost unutrašnjih zidova cijevi);
- laganoj montaži (obradi, rezanju i spajanju).

Loše strane ovih cijevi su:

- znatno istezanje na visokim temperaturama;
- zapaljivost;
- opadanje čvrstoće kod temperature  $T > 20$  [°C];
- opadanje krutost PVC cijevi na temperaturi  $T < 0$  [°C],
- za ugradnju fazonskih komada i vodovodnih armatura potreban je prelaz na čelične ili liveno gvozdene fazonske komade sa prirubicama.

*Polietilenske cijevi se proizvode polimerizacijom etilena. PELD cijevi se dobijaju prostom polimerizacijom etilena kod niskih temperatura, a PEHD cijevi polimerizacijom etilena u uslovima visokog pritiska i temperature.*

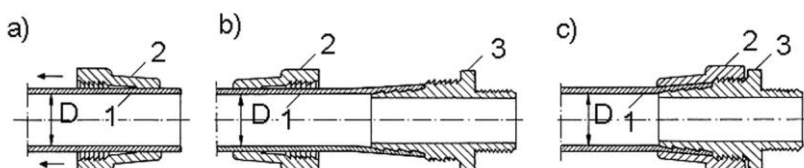


*Slika A 2.35 PEHD cijevi za vodu*

PELD cijevi se izrađuju za pritiske 2.5, 6 i 10 bar, unutrašnjeg prečnika zavisno od pritiska, uglavnom u granicama  $D = 10$  do 130 mm. Proizvode se s ravnim krajem, a isporučuju u namotajima od 300 m za  $D \leq 40$  mm i do 110 m za najveće profile.

PEHD cijevi se proizvode za pritiske 2.5, 3.2, 4,6, 10, 16 i 25 [bar], unutrašnjeg prečnika zavisno od pritiska, unutar granica  $D = 15$  do 1150 mm i dužine  $L = 6$  i 12 m.

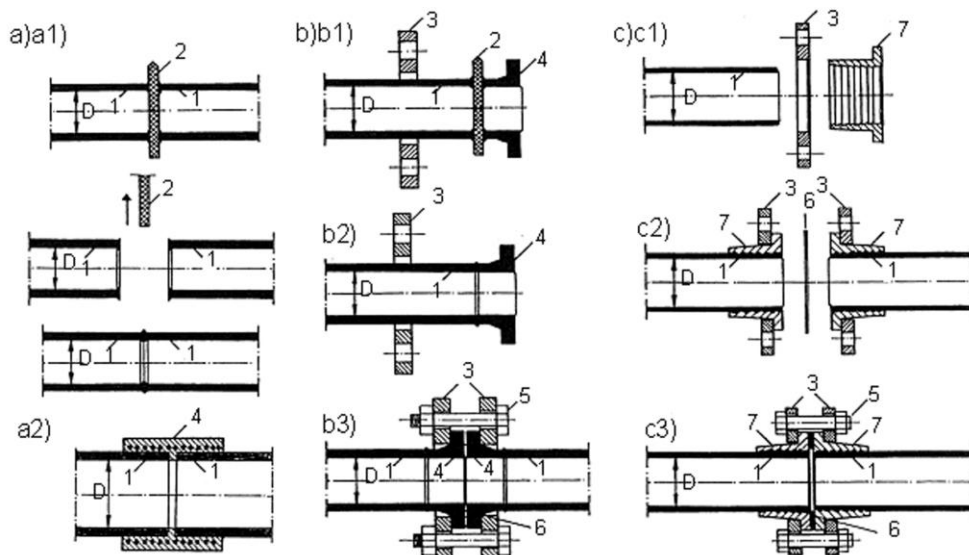
Najčešći način spajanja PELD cijevi prikazan je na slici A 2.36. Prvi korak je montaža prstena s navojem na ravni kraj, a potom se taj kraj cijevi zagrije vrućim vazduhom. Kada zagrijani kraj cijevi postane elastičan, uvuče se konusni dio spojnice i na njen navojni dio pritegne prethodno ugrađeni prsten.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – prsten s navojem; 3 – konusna spojnica s navojem

*Slika A 2.36 Spajanje PELD cijevi, (a) montaža prstena s navojem, (b) uvlačenje konusnog dijela spojnice, (c) pritezanje prstena sa spojnicom*

Spajanje PEHD cijevi, moguće je na tri načina, kako je prikazano na slici A 2.37.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – grijač; 3 – slobodna prirubnica; 4 – prirubnički tuljak; 5 – zavrtnaj s maticom; 6 – zaptivni prsten; 7 – zupčasta spojnica; 8 – elektrospojnica (prstenasta spojnica sa žicom za zavarivanje)

*Slika A 2.37 Spajanje PEHD cijevi: (a) spoj zavarivanjem, (b) spoj pomoću prirubničkog tuljka i slobodne prirubnice, (c) spoj pomoću zupčaste spojnice i slobodne prirubnice*

Spoj zavarivanjem može se izvesti u dvije varijante. U prvoj varijanti, slika A 2.37(a1), krajevi cijevi se u trajanju 30 do 250 sekundi zagrijavaju na temperaturi 200 °C i potom drže međusobno pritisnutima 4 do 25 s. Trajanje zagrijavanja i međusobnog kontakta cijevi zavisi od debljine zidova cijevi. Tankim cijevima odgovara kraće zagrijavanje i kraći međusobni kontakt. U drugoj varijanti, slika A 2.37(a2), krajevi cijevi se spajaju pomoću posebne prstenaste spojnice u kojoj se nalazi žica za zavarivanje i koja se priključi na aparat za zavarivanje.

Spoj pomoću prirubničkog tuljka i slobodne prirubnice prikazan je na slici 2.37(b). Na ravni kraj cijevi montira se slobodna prirubnica i zavari tzv. prirubnički tuljak. Spajanje cijevi se vrši pomoću zavrtnjeva sa maticama, nakon umetanja gumenog prstena koji obezbjeđuje vododrživost.

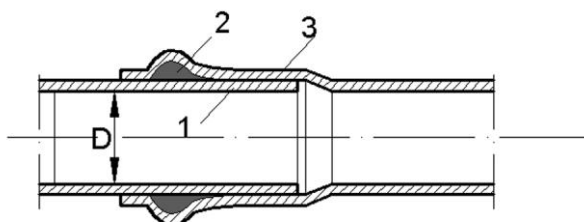
Spoj pomoću zupčaste spojnice i slobodne prirubnice prikazan je na slici 2.37(c). Na ravni kraj cijevi montira tzv. slobodna prirubnica, a potom zupčasta spojnica. Spajanje cijevi se takođe vrši pomoću zavrtnjeva sa maticama, nakon postavljanja gumenog zaptivnog prstena.

## A VODOVODNI SISTEMI

Cijevi od tvrdog polivinil hlorida (PVC) se izrađuju od vještačke mase koja se dobija sintetičkom polimerizacijom vinil hlorida, koji nastaje spajanjem acetilen gasa sa gasovitom sonom kiselinom. Postupak proizvodnje cijevi se sastoji u tome da se ugrijani granulati polivinil hlorida istiskuju kroz mlaznicu (tzv. ekstruder) i zatim hladi.

Trvde PVC cijevi proizvode se za pritiske 6 i 10 bar, unutrašnjeg prečnika  $D = 60$  do 450 mm i dužine  $L = 6$  m.

Ove se cijevi proizvode s naglavkom i ravnim krajem, tako da im spajanje zavisi od načina završetka cijevi. Spajaju se na naglavak, slika 2.38, s umetanjem gumenog zaptivnog prstena između naglavka i cijevi.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – brtveni prsten; 3 – naglavak

Slika A 2.38 Spajanje PVC cijevi



Slika A 2.39 Priprema spoja tvrdih PVC cijevi za vodovod

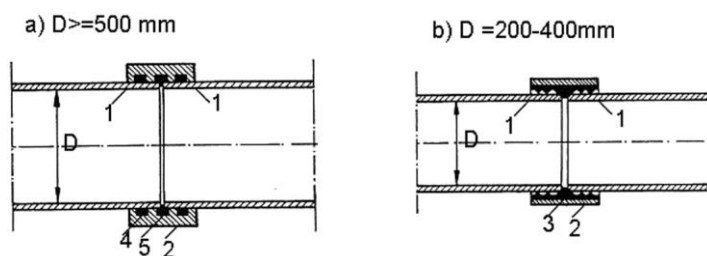
## A VODOVODNI SISTEMI

*Poliesterske cijevi se izrađuju od smjese kvarcnog pijeska, staklenih vlakana i poliesterske smole. Ove cijevi su pokazale dobre mehaničke osobine, tako da se primjenjuju i u najtežim uslovima eksploatacije. Najčešće se proizvode s ravnim krajem, za pritiske 4, 6, 10, 16, 20 i 25 bar, unutrašnjeg prečnika  $D = 200$  do  $1600$  mm, pojedinačne dužine,  $L = 6$  m. Za ove cijevi se proizvode svi potrebni fazonski komadi za vodovodne armature i za priključke cijevi od drugih materijala.*



*Slika A 2.40 Poliesterske cijevi za vodu*

Spajanje ovih cijevi se obavlja pomoću spojnika tipa A i tipa B, slika A 2.41. Vrsta spoja zavisi od unutrašnjeg prečnika. Za prečnike  $D \geq 500$  mm primjenjuje se spojnik tipa A, slika A 2.41(a), a za prečnike  $D = 200$  do  $400$  mm spojnik tipa B, slika A 2.41(b).



1 – ravni kraj cijevi; 2 – prstenasta spojnik; 3 – monolitni rebrasti gumeni prsten; 4 – zaptivni prstenovi;  
5 – srednji gumeni prsten za razmak

*Slika A 2.41. Spajanje poliesterskih cijevi: (a) spoj sa spojnicom tipa A, (b) spoj sa spojnicom tipa B*

### A 2.1.3. Rezervoari

Rezervoari u vodovodnim sistemima imaju sljedeće funkcije :

1. osiguranje operativne rezerve vode radi izravnavanja oscilacija u potrošnji vode za potrebe domaćinstava i industrije;
2. osiguranje rezerve vode za potrebe gašenja požara;
3. osiguranje sigurnosne rezerve vode za vrijeme prekida dotoka vode;
4. osiguranje zahtijevanog opsega pritiska u vodovodnoj mreži, koji se postiže izborom visinskog položaja rezervoara i nivoa vode u njima u odnosu na visinski položaj potrošača.

Osnova funkcionalnog proračuna rezervoara sastoji se u određivanju zapremine rezervoarskog prostora (vodne komore).

Ova veličina zavisi od režima potrošnje i dotoka vode, a odnosi se na maksimalnu dnevnu potrošnju,  $Q_{\max}$  [ $\text{m}^3/\text{d}$ ], na kraju projektnog razdoblja. Zato je za svaku konkretnu zonu (naselje), koja će se snabdijevati vodom iz pripadnog rezervoara, potrebno odrediti:

(a) satni režim potrošnje vode tokom dana (24 h, u danu maksimalne potrošnje),

(b) režim dotoka u rezervoar.

Pri tome, dotok u rezervoar može biti gravitacioni, pri čemu se obično pretpostavlja stalnim tokom 24 h, i potisni, tj. pomoću pumpe, kada je režim dotoka zavisian od režima rada pumpi.

Ukupan volumen rezervoarskog prostora,  $V_{\text{RU}}$  [ $\text{m}^3$ ], sastoji se od:

- (1) operativne rezerve,  $V_{\text{RO}}$  [ $\text{m}^3$ ];
- (2) požarne rezerve,  $V_{\text{RP}}$  [ $\text{m}^3$ ];
- (3) sigurnosne rezerve,  $V_{\text{RS}}$  [ $\text{m}^3$ ].

Ako se iz rezervoara podmiruje i potreba za čistom vodom uređaja za prečišćavanje vode (prvenstveno pranja brzih filtera), tada je i tu količinu vode potrebno uzeti u obzir.

Određivanje *operativne rezerve*,  $V_{\text{RO}}$ , odnosi se na proračun dijela rezervoarskog prostora kojim se osigurava izravnavanje oscilacija u potrošnji vode za domaćinstva i industrijske potrebe. Najčešće se sprovodi pod pretpostavkom dnevnog izravnavanja, dakle, za slučaj kada je dnevni dotok jednak dnevnoj potrošnji.



Iznos *požarne rezerve*,  $V_{RP}$ , regulisan je propisima o požarnoj zaštiti.

*Sigurnosna rezerva*,  $V_{RS}$ , se predviđa za slučaj prekida dotoka u rezervoar, za vrijeme dok se ne otkloni uzrok prekida (kvar ili oštećenje). Obično se preporučuje da ova rezerva iznosi 25 % zбира operativne i požarne rezerve.

Podjela rezervoara je moguća po nekoliko kriterijuma. U pogonskom pogledu ih dijelimo na visinske rezervoare i niske rezervoare.

*Visinski rezervoari* imaju visinu nivoa vode iznad potrošača, tako da voda prema njima otiče gravitaciono. Objedinjuju sve četiri prethodno nabrojene funkcije. Dijele se na ukopane rezervoare, vodotornjeve, tunelske rezervoare i hidrofore.

Rezervoari, koji su pretežnim dijelom ukopani u teren izvode se na mjestima s najpovoljnijim visinskim i horizontalnim odnosima u odnosu na potrošače.

Vodotornjevi se u cijelosti nalaze iznad terena radi postizanja potrebnog pritiska u vodovodnoj mreži. Primjenjuju se na lokacijama gdje nema topografskih uslova za izvođenje ukopanih rezervoara.

Tunelski rezervoari se izvode u brdskim masivima (čvrstoj stijeni).

Hidrofori, koji nemaju funkciju skladištenja vode, radi čega ih uslovno svrstavamo u ovu grupu, nego se koriste za lokalno povećanje pritiska, npr. kod visokih stambenih zgrada.

*Niski rezervoari* su u visinskom pogledu smješteni (ukopani) na nedovoljnoj visini za osiguranje potrebnog pritiska u vodovodnoj mreži. Voda se iz njih distribuira potrošačima pomoću pumpi, tako da su to zapravo usisne komore crpnih stanica. Objedinjuju prve tri prethodno navedene funkcije rezervoara.

U praksi su najčešći visinski ukopani rezervoari i vodotornjevi.

### **A 2.1.3.1 Osnovni elementi rezervoara**

Glavne elemente rezervoara čine:

- (1) funkcionalni elementi;
- (2) konstruktivni elementi.

Osnovni funkcionalni elementi rezervoara su:

- (a) vodna ili rezervoarska komora,
- (b) zatvaračka ili manipulativna komora.

Vodna komora služi za skladištenje potrebnih količina vode. Uobičajena dubina vode u vodnoj komori je 3 do 4 m, rijetko do 6 m. Kod ukopanih rezervoara, vodna komora ima okruglu, pravougaonu ili (rjeđe) spiralnu osnovu. Vodotornjevi se po pravilu kružne osnove. Vodna komora se može izvoditi kao jedno ili višekomorna. Radi osiguranja neprekidnosti snadbijevanja vodom obično se izvode višekomorni rezervoari.

Vodna se komora najčešće oslanja na zatvaračku komoru, a u izuzetnim slučajevima je odvojena.

Prema materijalu od kojih se rade, danas su najčešći rezervoari od armiranog betona, zatim od prednapregnutog betona i čelika, a ranije od opeke ili kamena.

Relativno visoki troškovi antikorozivne zaštite i toplotne izolacije glavna su prepreka široj primjeni čeličnih rezervoara.

Konstruktivno oblikovanje rezervoara je vrlo raznoliko. Nezavisno od konstruktivnog rješenja, kod svakog rezervoara je potrebno osigurati:

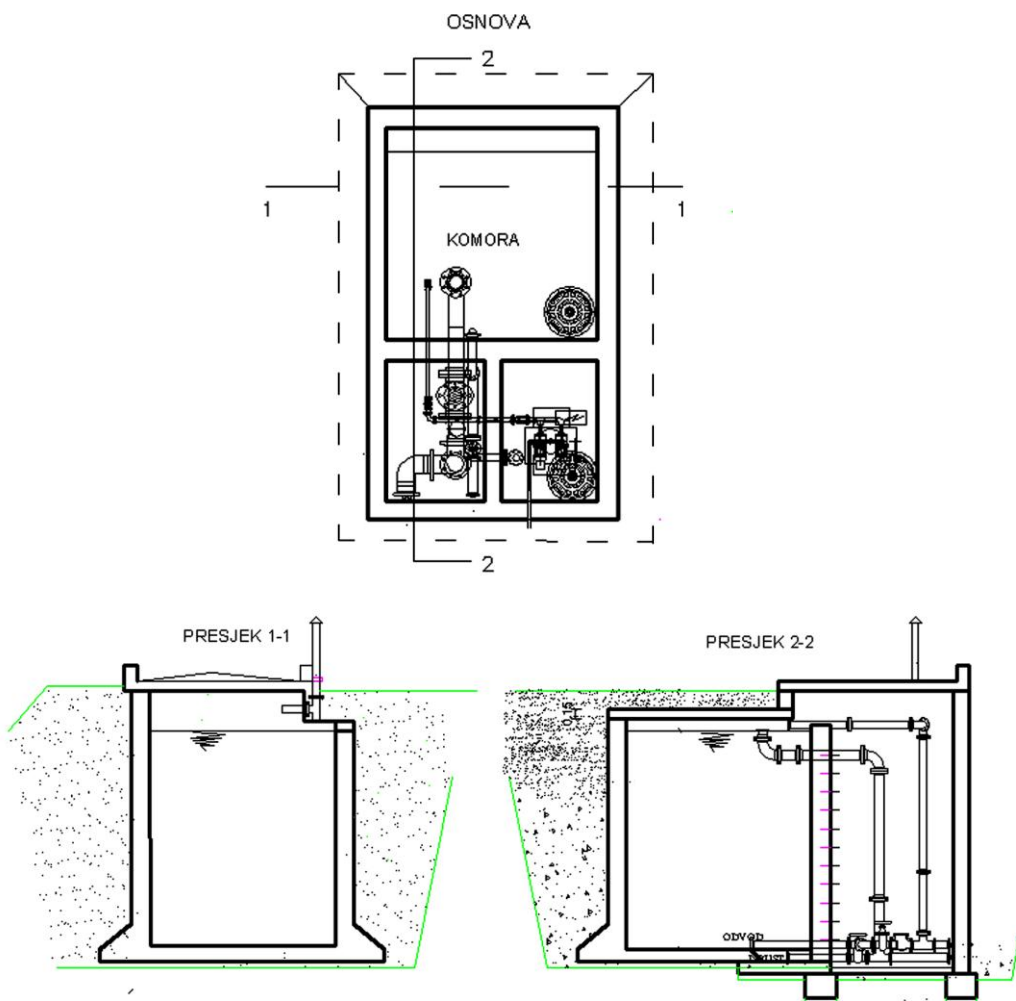
a) vodonepropusnost, koja se kod betonskih (armiranih i prednapregnutih) rezervoara postiže malterisanjem unutrašnjih zidova vodnih komora vodonepropusnim cementnim malterom ili plastičnim vodootpornim malterima;

(b) cirkulaciju vode unutar vodne komore, što se postiže izvođenjem pregradnih zidova (šikana);

(c) ventilisanje, što se postiže izvođenjem ventilacijskih otvora;

(d) pad dna u iznosu 0.5 do 1.0% prema ispustu, a radi mogućnosti čišćenja, odnosno pranja rezervoara;

(e) vanjsku izolaciju, koja se postiže izvođenjem hidro i toplotne izolacije na spoljašnjim zidovima i njenom zaštitom. Kod ukopanih rezervoara je težište na dobroj hidroizolaciji, a kod vodotornjeva na toplotnoj izolaciji.



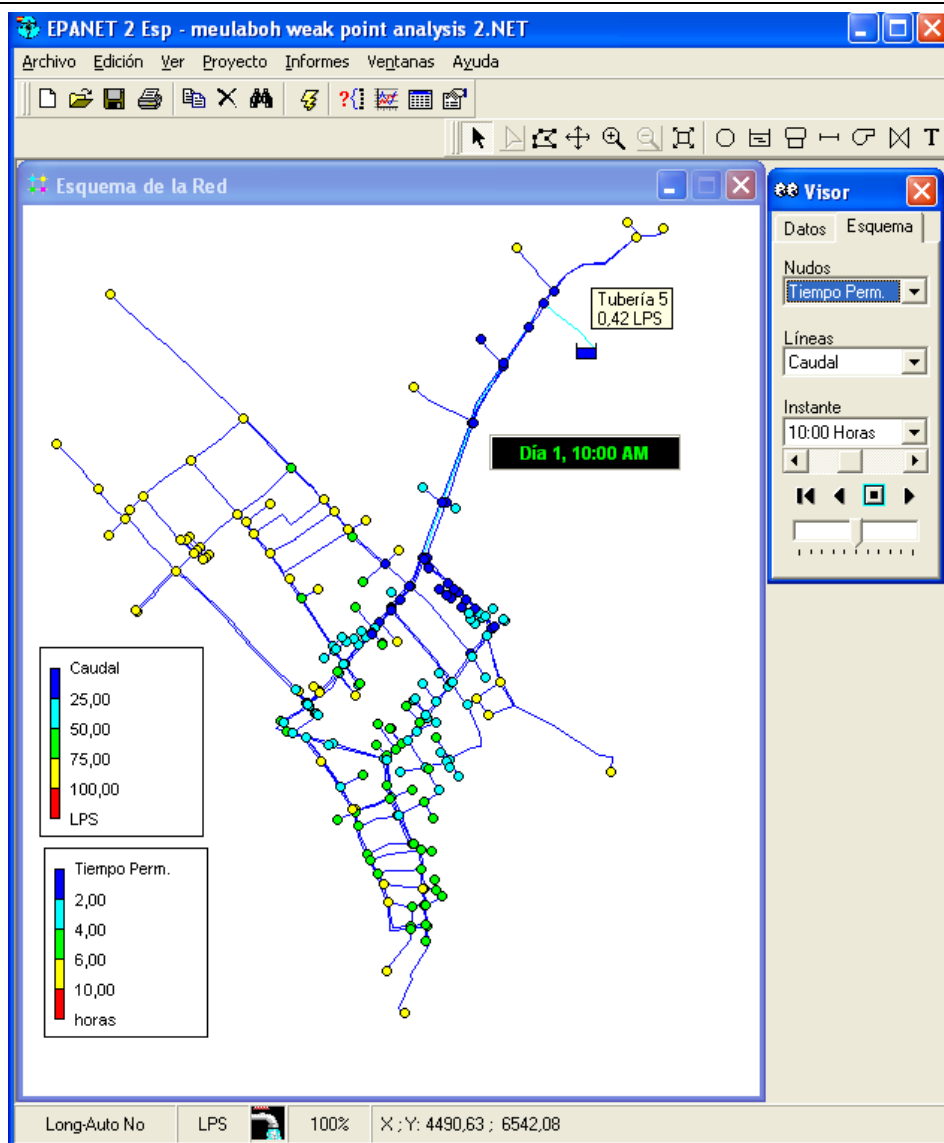
Slika A 2.42 Ukopani rezervoar sa jednom komorom za vodu i zatvaračnicom (osnova i presjeci)

### **A.2.1.4 Primjena savremenih softvera u procesu projektovanja vodovodnih sistema**

Nagli razvoj informacionih tehnologija i industrije personalnih računara, početkom 90-tih godina, doprineo je da se i oblast proračuna vodovodnih sistema drastično unaprijedi i olakša. Programski paketi koji su danas raspoloživi na tržištu omogućavaju veoma brz proračun, čak i za mreže koje sadrže na hiljade cijevi. Ovi softveri, osim primjene u projektovanju vodovodnih mreža, se koriste i za analize rada sistema, kao i za planiranje njegovog održavanja. Bespotrebno je ukazivati na prednost proračuna uz pomoć računara, u odnosu na manuelni, u smislu brzine i obima samog proračuna.

Moderni programi za proračun vodovodnih sistema su konceptualno uglavnom slični, a kao zajedničke karakteristike mogu se izdvojiti sledeće:

- proračun se zasniva na Hardy Cross-ovoj metodi (metoda balansirajućih protoka/pritisaka);
- dug period hidrauličke simulacije;
- mogućnost simulacije kvaliteta vode;
- neograničenost veličine mreže za koju je moguće izvršiti proračun;
- mogućnost proračuna veoma komplikovanih mreža u roku od par minuta;
- odličan grafički interfejs za prikazivanje rezultata.



Slika 2.43 Model mreže, primjer primjene softvera “EPANET”

Glavne razlike su u načinu unošenja podataka, kao i u načinu na koji se rezultati prezentuju.

Većina algoritama na kojima se programi zasnivaju, simuliraju rad mreže proračunavajući više uzastopnih stanja. Broj ovih stanja definisan je biranjem vremenskog intervala između njih, koji uglavnom iznosi od nekoliko minuta do jednog sata. Ulazni podaci za proračun svakog narednog stanja simulacije se automatski unose na osnovu rezultata proračuna prethodnog stanja. Unošenjem karakteristika svih dijelova mreže i ulaznih podataka, omogućava se da program izvrši

kompletnu simulaciju i na osnovu nje pruži informacije o vršnoj potrošnji, količini vode u rezervoaru, statusu pumpi itd. Krajnji rezultati simulacije su dijagrami promjene pritiska, nivoa i protoka u sistemu. Ovi rezultati se dalje mogu koristiti, na primjer, kao ulazni podaci za simulaciju kvaliteta vode.

Čitav proces modeliranja se sastoji iz sledećih koraka:

- sakupljanje ulaznih podataka;
- šematizacija mreže;
- formiranje mreže;
- testiranje modela;
- analiza problema.

### A 2.1.4.1. Sakupljanje ulaznih podataka

Preciznost ulaznih podataka koji se odnose na potrošnju, dimenzije, materijal i kvalitet održavanja je presudna za tačnost rezultata odnosno *kvalitet ulaza = kvalitet izlaza*. Kvalitetno prikupljanje podataka na terenu je veoma važan početni korak u procesu modeliranja. Informacije koje je potrebno prikupiti na terenu su:

#### a) Generalne informacije

- izgled sistema: položaj cijevi, čvorova i glavnih komponenti;
- topografija terena: kote terena na predmetnom području, eventualne posebne prirodne barijere;
- tip sistema: način snabdijevanja (gravitaciono, snabdijevanje pumpama, kombinovano), uloga svake od komponenti sistema, visinske zone;
- stanovništvo: raspored i predviđeni rast.

#### b) Informacije o potrošnji

- kategorije potrošača u sistemu: stanovništvo, industrija, turizam itd.
- prosječna potrošnja, dnevna, nedeljna i sezonska promjena potrošnje.
- način korišćenja vode u domaćinstvima: direktno snabdijevanje, hidrofori itd.; prosječna veličina domaćinstva i navike u smislu korišćenja vode;
- prognoza potrošnje.

### c) Karakteristike elemenata sistema

- čvorovi potrošnje : uglavnom se uzimaju u obzir tačke potrošnje najmanje nekoliko stotina stanovnika ili veće industrije. Za svaki od ovih čvorova određuje se :
  - lokacija u sistemu (X,Y),
  - visinska kota (Z),
  - prosječna potrošnja i dominantna kategorija potrošača.
- cijevi: uglavnom se u obzir uzimaju cijevi prečnika većeg od  $D=80\div 100\text{mm}$ . Za svaki od ovih cijevi određuje se :
  - dužina,
  - prečnik (unutrašnji),
  - materijal i starost,
  - hrapavost.
- rezervoari: tip rezervoara (ukopani, nadzemni), zapremina, kota dna i kota preliva, oblik, ulazne i izlazne cijevi.
- pumpne stanice: broj i tip pumpi( konstantne ili promjenljive brzine), krive pumpi, starost i stanje pumpi, efikasnost i potrošnja energije.
- ostalo: opis opreme koja može uticati na rad sistema ( ventili,oprema za mjerenje itd.)

### d) Informacije o funkcionisanju sistema

Potrebno je utvrditi sledeće karakteristike sistema u cilju kalibracije modela :

- pritisci u mreži,
- promjene nivoa vode u rezervoarima,
- pritisci i protoci u pumpnim stanicama,
- protoci u glavnim cijevima mreže,
- rad ventila.

U modernim vodovodnim preduzećima, mnoge od navedenih informacija su direktno dostupne na osnovu on-line monitoringa sistema. U mnogim sistemima veliki dio ovih informacija nedostaje ili su nepotpune i jedini dostupni izvor informacija su osobe zadužene za održavanje sistema na terenu. Ukoliko mjerenja navedenih veličina nisu vršena, neke informacije o sistemu vjerovatno postoje u pisanom

obliku. Npr. u kom periodu dana je određeni rezervoar pun ili prazan, određena pumpa uključena ili isključena, određeni potrošači bez vode ili odgovarajućeg pritiska itd.

e) Informacije o održavanju sistema

Potrebno je utvrditi način održavanja, bilans i kvalitet vode u sistemu, kao i nivo i strukturu gubitaka.

f) Informacije o samom vodovodnom preduzeću

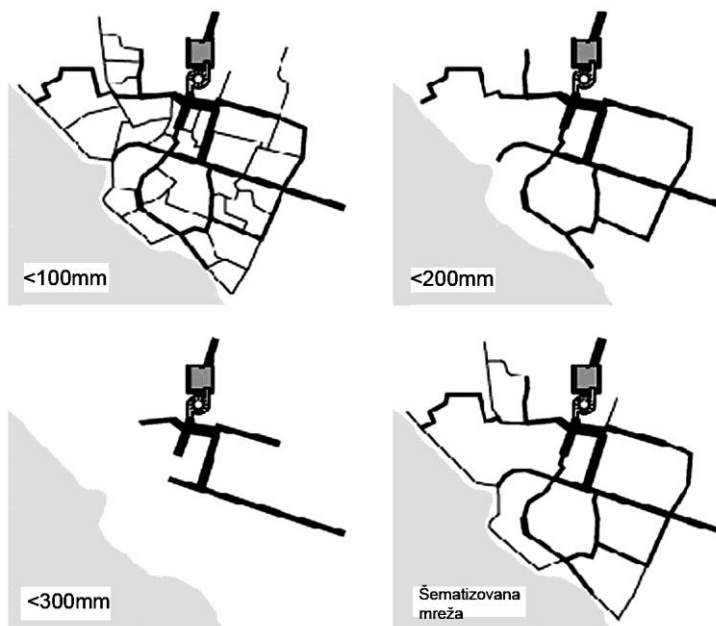
Organizacija, objekti, oprema, planovi za buduće proširenje sistema...

### A 2.1.4.2. Šematizacija mreže

Hidraulički proračun mreže se zasniva na rješavanju sistema jednačina čiji je obim direktno proporcionalan veličini sistema. Zbog toga je neophodno izvršiti šematizaciju mreže do određenog nivoa, na način da se ne ugrozi kvalitet samog modela, a istovremeno omogući brži proračun. Šematizacija je posebno bila značajna u prošlosti kada računari nisu bili u upotrebi, jer se sam postupak proračuna mogao skratiti za nekoliko dana, pa čak i nedjelja. U međuvremenu, razvojem računara, problem proračuna zapada u drugi plan i razvoj modeliranja ide u potpuno suprotnom smjeru. Uvođenjem savremenih baza podataka kao što je GIS, sve više i više informacija je uključeno u analizu, posebno pri monitoringu rada sistema. Ipak, korisnik ovih programa je suočen sa ogromnom količinom podataka, na osnovu kojih nastaju glomazni kompjuterski modeli, sa kojima nije uvijek lako izaći na kraj i razumjeti ih. Stoga šematizacija i danas ostaje atraktivna opcija pri analizi glavnih komponenti sistema, jer :

- skraćuje period proračuna;
- omogućava da se formiranje modela obavlja postepeno, te je lakše pronaći moguće greške;
- obezbjeđuje jasniju sliku o načinu rada sistema.





Slika 2.44 Primjer šematizacije mreže

Mnoge cijevi u sistemu nisu relevantne za formiranje modela. Uzimanje u obzir cijevi prečnika manjeg od 100 mm značajno uvećava veličinu modela ne pružajući značajniju tačnost u analizi. To takođe zahtjeva mnogo više detaljnih informacija o ulaznim podacima, koje uglavnom nisu na raspolaganju. Prema tome, moguće je da „manji“ model bude čak i kvalitetniji, odnosno precizniji od „većeg“.

Pojam „šematizacija mreže“ obično se odnosi na sledeće:

- grupisanje više bliskih tačaka potrošnje u jedan čvor potrošnje;
- isključivanje hidraulički nebitnih dijelova mreže kao što su „mrtvi“ dijelovi i krajevi mreže;
- zanemarivanje cijevi malih prečnika;
- uvođenje ekvivalentnih prečnika cijevi;

S druge strane pri šematizaciji nije dozvoljeno:

- zanemariti potrošnju isključenih dijelova mreže;
- zanemarivati uticaj postojećih pumpi, rezervoara i ventila.

Proces šematizacije mreže se zasniva na procjeni hidrauličke važnosti svakog od njenih dijelova. Nekad je poželjno da se uzmu u obzir sve glavne cijevi, dok u nekim situacijama cijevi ispod

određenog prečnika (npr. ispod 200 mm) je moguće isključiti. Kao opšte pravilo, cijevi malog prečnika mogu biti isključene u slučaju :

- kada stoje upravno u odnosu na uobičajan pravac toka;
- kada su brzine kretanja vode u njima veoma male;
- kada se nalaze u blizini cijevi velikog prečnika.

Koja god tehnika uprošćavanja mreže bila korišćena, osnovna struktura sistema mora ostati netaknuta, bez uklanjanja cijevi koje čine glavnu mrežu. Ukoliko se proces šematizacije kvalitetno obavi, rezultati koje pruža šematizovani model u odnosu na potpuni se razlikuju svega u nekoliko procenata.

### A 2.1.4.3 Formiranje modela

Modeli programskih paketa koji služe za matematičko modeliranje vodovodnih sistema se sastoje od :

- 1) čvorova – koji predstavljaju izvorišta, čvorove potrošnje i rezervoare;
- 2) veza – koje predstavljaju cijevi, pumpe i ventile.

Ulazni podaci koji se unose u ove modele su sledeći :

- za izvorišta: vrsta, položaj i nivo vodenog ogledala;
- za rezervoare: vrsta, pozicija, kota dna i kota preliva, opis oblika (npr. kriva nivo-zapremine), inicijalni nivo vode u rezervoaru na početku simulacije, definisanje ulaza/izlaza iz rezervoara;
- za cijevi: materijal, dužina, prečnik, hrapavost;
- za pumpe: vrsta, opis karakteristika pumpe (radni diagram), brzina, stanje (uključeno/isključeno);
- za ventile: vrsta, prečnik, kriva „pritisak – gubitak“ kad je ventil potpuno otvoren, stepen otvorenosti (otvoren/zatvoren)

Za simulaciju kvaliteta vode potrebni su dodatni podaci kao što su: početne koncentracije, krive promjene koncentracije supstanci na izvorištima, koeficijent rastvaranja itd. Konačno, moraju se odrediti i parametri koji se odnose na sam proces simulacije: trajanje simulacije, vremenski intervali, preciznost itd.

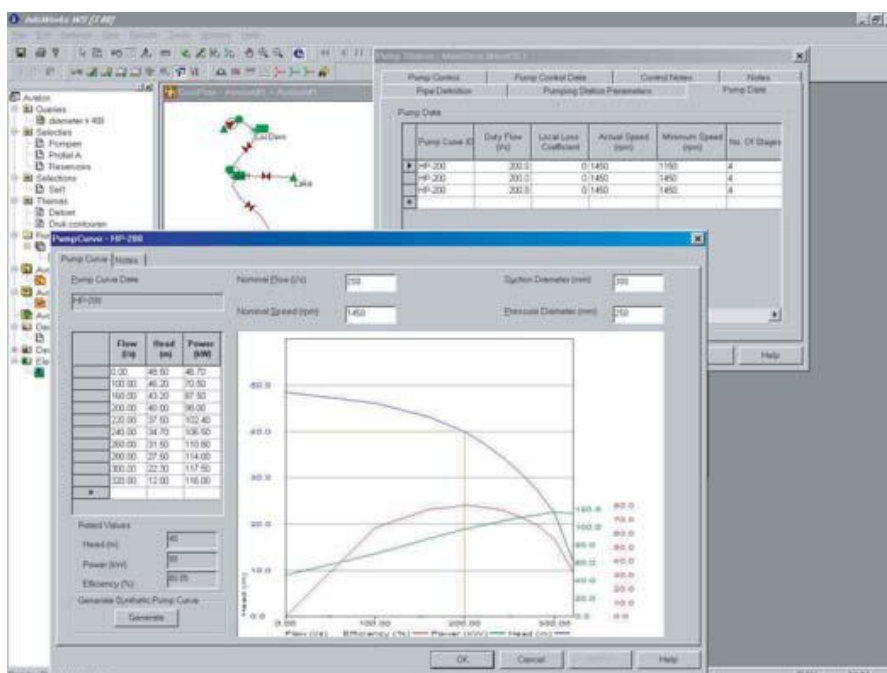
Na osnovu navedenih ulaznih podataka kao rezultat simulacije dobijaju se promjene protoka u cijevima i promjene pritiska i nivoa u čvorovima, odnosno rezervoarima. Pored toga simulacija kvaliteta vode pruža za svaki čvor rezultate koji se odnose na:

## A VODOVODNI SISTEMI

- promjenu koncentracije određene supstance;
- promjenu kvaliteta vode;
- stepen izmješanosti vode (sa različitih izvorišta);

U većini slučajeva format unošenja podataka se mora striktno poštovati, jer je to jedini način da program „razumije“ podatke. Gotovo da ne postoje dva softvera koja imaju isti format unošenja podataka, tako da je vjerovatnoća pojave greški u toku izrade modela veoma velika. Noviji softveri dopuštaju unošenje podataka na interaktivan način, što smanjuje mogućnost pojave greški usljed lošeg definisanja ulaznih podataka. Nedostatak upotrebe softvera je taj što su ulazni podaci razbacani po brojnim menijima i tabelama, tako da je mogućnost izostavljanje neke informacije veoma velika. Stoga je testiranje mreže prije proračuna standardna karakteristika današnjih softvera, a kao rezultat testiranja korisnik dobija informacije o određenim nepravilnostima i greškama.

Kao što važi za stvarnu mrežu, tako je preporučljivo i model graditi u koracima i postepeno prelaziti dublje u detalje. Ukoliko se u startu krene sa modeliranjem cjelokupne mreže sa svim njenim komponentama velika je vjerovatnoća da će se javiti problemi u toku procedure testiranja modela.



Slika 2.45 Interaktivni unos podataka u savremenim softverima

### **Određivanje čvorne potrošnja u modelima**

Poseban dio formiranja modela čini proces određivanja čvorne potrošnje. Ovaj problem potiče od potrebe da se sagledaju svi korisnici koji su nalaze duž cijele mreže i njihova potrošnja koncentriše u određeni broj tačaka kako bi se prevela u oblik koji je odgovarajući za sprovođenje simulacije softverima.

Početni korak je određivanje ukupne potrošnje za određena područja. Kako je već prethodno pojašnjeno ona se određuje na osnovu rezultata mjerenja (ukoliko su ona vršena) ili se proračunava na osnovu raspoloživih podataka (broj stanovnika, broj i vrsta industrijskih postrojenja itd.) Ovu ukupnu potrošnju potrebno je prevesti u čvornu. Ovaj postupak prevođenja se zasniva na sledećim pretpostavkama:

- ravnomjerna rasprostranjenost korisnika u okviru istog područja;
- granica između površina koju pokrivaju dva čvora, koji su međusobno fizički povezana cijevima je na sredini cijevi koja ih spaja;

Specifična potrošnja po  $m^1$  se određuje za svaki prsten koji čine cijevi na sledeći način :

$$ql = \frac{Q_l}{\sum_{j=1}^m L_{j,l}} \quad \begin{array}{l} Q_l - \text{prosječna potrošnja u prstenu } l; \\ L_{j,l} - \text{dužina cijevi } j \text{ u području } l; \end{array}$$

Cijev "l" koja pripada prstenu "l" snabdijeva korisnike količinom od:

$$Q_{i,l} = ql \times L_{jl}$$

Potrošnja čvora i koji povezuje dvije cijevi područja l je :

$$Q_{i,l} = \frac{Q_{jl} + Q_{j+1,l}}{2}$$

Obično je jedna cijev zajednička za dva susjedna prstena, odnosno jedan čvor može snabdijevati korisnike više prstenova. Konačna

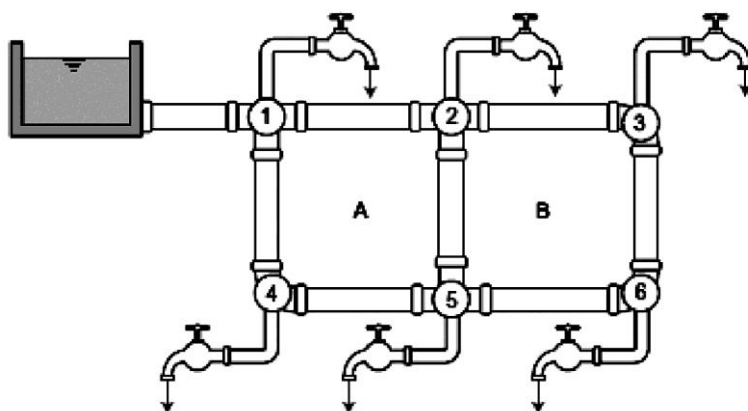
## A VODOVODNI SISTEMI

veličina potrošnje čvora je određena kada se gore veličine izračunaju za sve prstenove sistema:

$$Q_i = \sum_{l=1}^n Q_{i,l}$$

Gdje je "n" broj prstenova koje snabdijeva čvor "i".

Procedura određivanja potrošnje čvorova biće prikazana na sledećem primjeru (Slika 2.4.6.):



Slika 2.46 Primjer šeme čvornih potrošnji

Prosječna potrošnja unutar prstenova A i B, kao i dužine cijevi su poznate. Slijedi:

$$q_a = Q_A / (L_{1-2} + L_{4-5} + L_{1-4} + L_{2-5})$$

$$q_B = Q_B / (L_{2-3} + L_{5-6} + L_{2-5} + L_{3-6})$$

U prstenu A, količine koje dostavljaju cijevi su :

$$Q_{1-2} = q_{AX} L_{1-2}$$

$$Q_{4-5} = q_{AX} L_{4-5}$$

$$Q_{1-4} = q_{AX} L_{1-4}$$

$$Q_{2-5,A} = q_{AX} L_{2-5}$$

A u prstenu B:

## A VODOVODNI SISTEMI

$$Q_{2-3} = q_b \times L_{2-3}$$

$$Q_{5-6} = q_b \times L_{5-6}$$

$$Q_{2-5,b} = q_b \times L_{2-5}$$

$$Q_{3-6} = q_b \times L_{3-6}$$

Cijev 2-5 pojavljuje se dva puta u računu: jednom kao dio prstena A, a drugi put kao dio prstena B. Potrošnje čvorova se računaju na sledeći način:

$$Q_1 = (Q_{1-2} + Q_{1-4}) / 2$$

$$Q_2 = (Q_{1-2} + Q_{2-3} + Q_{2-5,A} + Q_{2-5,B}) / 2$$

$$Q_3 = (Q_{2-3} + Q_{3-6}) / 2$$

$$Q_4 = (Q_{1-4} + Q_{4-5}) / 2$$

$$Q_5 = (Q_{4-5} + Q_{5-6} + Q_{2-5,A} + Q_{2-5,B}) / 2$$

$$Q_6 = (Q_{5-6} + Q_{3-6}) / 2$$

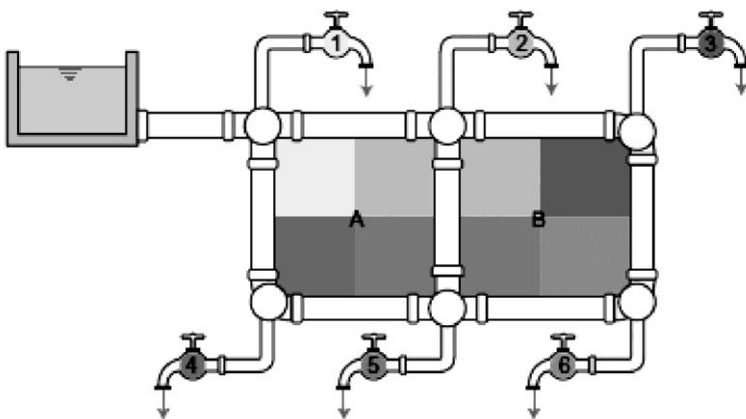
Za veće sisteme preporučuje se tabelarni proračun.

Čvorna potrošnja takođe može da se odredi direktno sa karte vezujući za svaki čvor određenu površinu odnosno njenu potrošnju. Za dati primjer:

$$Q_1 = Q_4 = 0.25 * Q_A$$

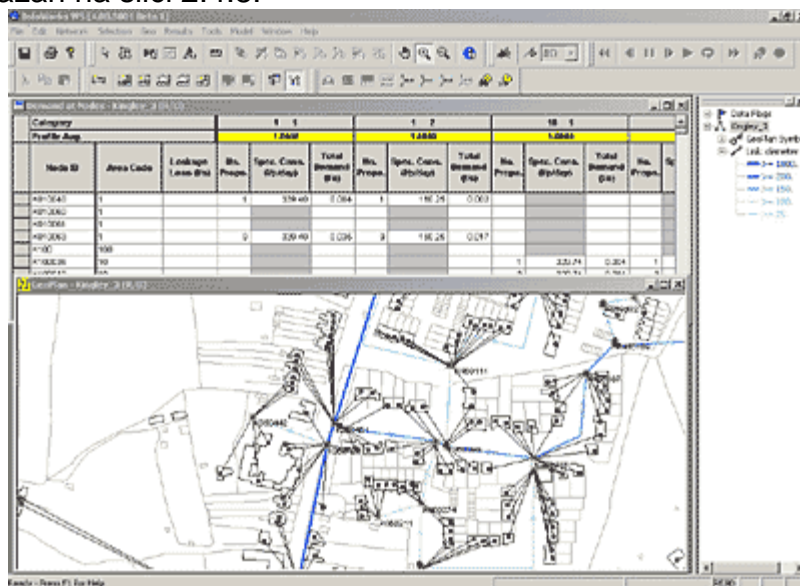
$$Q_3 = Q_6 = 0.25 * (Q_A + Q_B)$$

$$Q_5 = Q_2 = 0.25 * Q_B$$



Slika 2.47 Primjer čvornih potrošnji – pripadajuće površine

Navedene metode određivanja potrošnje predstavljaju pojednostavljivanje stvarnosti i dovoljno su dobre kao početni korak. Tokom procesa kalibracije modela, čvrne potrošnje koje su izračunate na ovaj način treba prilagoditi zbog uticaja velikih „tačkastih“ potrošača. Dobar monitoring sistema kao i informacije o isporučenim količinama vode potrošačima dobijene na osnovu ispostavljenih računa predstavljaju osnov da bi se ovo prilagođavanje potrošnje sprovelo. Kompleksniji programi pružaju mogućnost da se ove informacije direktno vežu za odgovarajuće čvorove, na način koji je prikazan na slici 2.4.8.



Slika 2.48 Primjer direktne alokacije potrošnje u programskom paketu Info Works

### 2.1.4.4 Testiranje modela

Kada se izvrši prva simulacija sistema javlja se potreba za upoređivanjem dobijenih rezultata i realnog stanja. U fazi testiranja potrebno je sprovesti više simulacija koje moraju potvrditi da se:

- model logično ponaša nakon mijenjanja ulaznih podataka (simulacije u ovom slučaju ukazuju na validnost modela);
- model ponaša u skladu sa ponašanjem stvarnog sistema (upoređivanje dobijenih rezultata sa izmjerenim vrijednostima na terenu predstavlja dio procesa kalibracije modela).

Ukoliko se ne potvrde ova dva navedena kriterijuma, kao uzrok može se javiti sledeće:

- neki ulazni podaci su loše procijenjeni, jer stvarne vrijednosti nijesu poznate;
- ulazni podaci su loše unijeti u model (greške u kucanju i izostavljanje podataka);
- napravljene su određene greške u ulaznom fajlu koje softver nije u mogućnosti da prepozna (npr. previsoko zadata preciznost proračuna, nedovoljan broj zadatah iteracija i sl.);
- mjerenja koja su obavljena na terenu su netačna;

Treba imati na umu da modeli ne mogu u potpunosti da se poklope sa stvarnim stanjem na terenu, te da o dobijenim rezultatima uvijek treba suditi na osnovu kvaliteta ulaznih podataka i mjerenja u procesu kalibracije modela.

### **2.1.4.5 Analiza problema**

Nakon uspješnog završetka prethodnih faza pristupa se analizi problema kao poslednjoj, a vjerovatno i najkraćoj fazi modeliranja. Neki od problema koji se mogu riješiti koristeći kompjuterske modele su:

- izbor optimalnih prečnika cijevi na osnovu date konfiguracije sistema i režima potrošnje;
- izbor optimalnih vrsta i karakteristika pumpi;
- izbor optimalne lokacije, kote i zapremine rezervoara;
- izbor optimalnog režima rada pumpe (kako bi se smanjili troškovi energije);
- optimizacija funkcije rezervoara (promjena dubine vode);
- optimizacija rada ventila;
- simulacija požara;
- simulacija ispiranja cijevi sistema;
- analiza mogućih havarija (analiza rizika);
- analiza kvaliteta vode u sistemu.

Kod mnogih od navedenih problema, prednost brzog proračuna omogućava da se donesu tačni zaključci o karakteristikama mreže na osnovu sprovedena serije različitih simulacija.



## A VODOVODNI SISTEMI

---

Uzimajući u obzir efikasnost, preciznost, brzinu kao i raznovrsnost proračuna koje pružaju moderni programski paketi, zaključuje se da oni čine neophodan dio modernog projektovanja, upravljanja i analiziranja vodovodnih sistema.

### A 2.2 Unutrašnje instalacije vodovodnog sistema

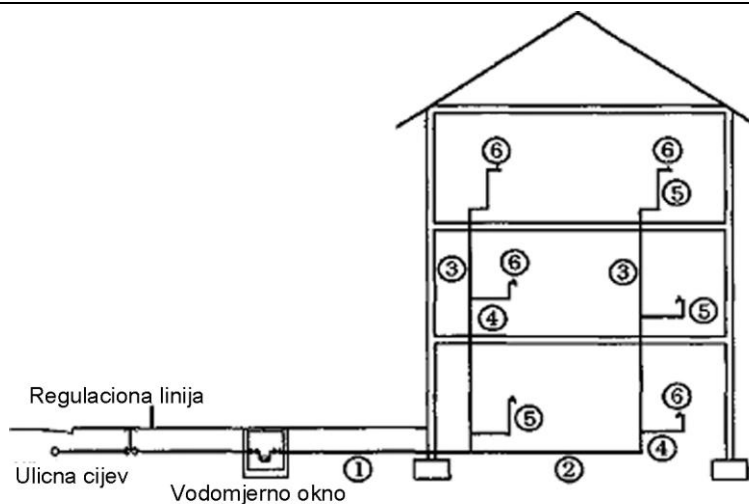
#### A 2.2.1 Kućni vodovod

Kućni vodovod, tj. unutrašnje instalacije vodovoda, obuhvataju sve elemente vodovodne instalacije, od priključka na uličnu vodovodnu mrežu do poslednjeg mjesta potrošnje u objektu. Ove se instalacije sastoje od:

- horizontalnog razvoda sa priključkom na uličnu mrežu;
- vertikalnog razvoda;
- cijevnog razvoda mokrih čvorova.



*Slika A 2.49. Unutrašnje instalacije vodovoda u objektu*

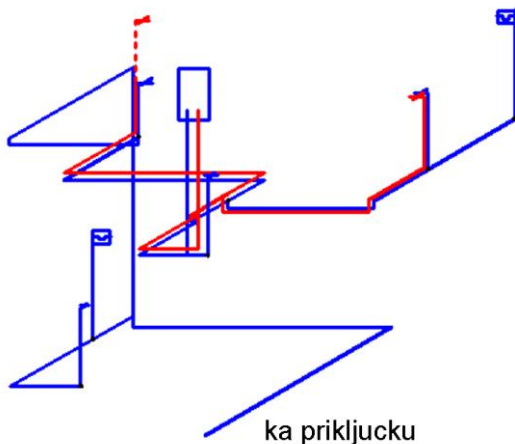


*Slika A 2.50 Elementi unutrašnje instalacije vodovoda u objektu*

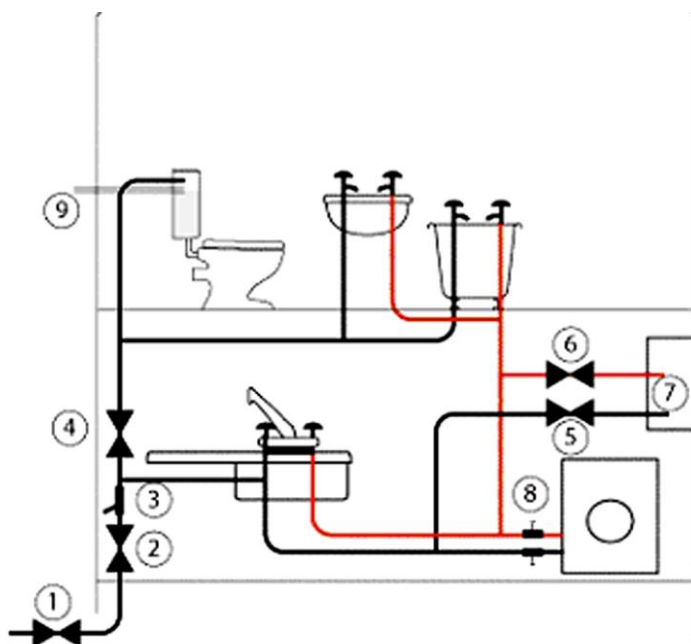
Osnovni elementi mreže sa slike su :

- dovodna cijev u objekat (1),
- donja horizontalna mreža (2),
- vertikala (3),
- horizontalna razvodna mreža ispod točecih mjesta (4),
- priključna vertikala (5) sa točecima mjestom (6).

Projektovanje, odnosno proračun unutrašnje vodovodne mreže, zasniva se na prethodno definisanom građevinskom projektu u kojem su dati svi sanitarni objekti na kojima se koristi voda. Takođe, neophodni su podaci o spoljašnjoj – priključnoj mreži i njenom položaju u odnosu na objekat. Posebno važna stavka o spoljašnjoj mreži jeste raspoloživi minimalni pritisak koji se javlja u njoj. Projektovanje unutrašnje vodovodne mreže se svodi na linijsko iscrtavanje djelova mreže na svim osnovama objekta, sa tačnim položajem točecih mjesta. Vertikalni prikaz obično se daje kroz odgovarajuću aksonometrijsku (izometrijsku) šemu. Izometrijskim crtežom svi horizontalni vodovi u osnovi ostaju horizontalni na crtežu, sve vertikale i vertikalni vodovi se prikazuju vertikalno, linije koje su upravne na horizontalu u osnovi se crtaju pod uglom od 30° ili 45°, dužine vodova se obilježavaju u realnim mjernim jedinicama (cm,m).



Slika A 2.51 Izometrijska šema vodovoda



Slika A 2.52 Presjek kroz mokri čvor sa ucrtanim instalacijama vodovoda

Osnovno pravilo projektovanja mreže je definisanje najracionalnijeg rješenja. Vodu treba najkraćim putem dovesti od spoljašnjeg priključka do točućeg mjesta u objektu. Racionalnost rješenja prije

## A VODOVODNI SISTEMI

svoga zavisi od pravilnog izbora broja i položaja vodovodnih vertikalna u objektu.

Horizontalna razvodna mreža po etažama se najčešće povlači po zidu na 20 – 30 cm iznad poda. Točeca mjesta, čija je visina definisana vrstom sanitarnog elementa se povezuju sa horizontalnom mrežom odgovarajućim vertikalnim priključkom.

*Tabela A 2.1 Visina točecog mjesta u odnosu na pod prostorije*

Vrsta točecog mjesta	Visina točecog mjesta (m)
Slavina - baterija iznad umivaonika, sudopere, mašine za pranje sudova i veša, pisoara	1,00-1,10
Baterija iznad kade, tuša	0,85 - 0,90
Priključak za WC vodokotlić visoki niski	2,00 - 2,20 0,70 - 0,95
Priključak za WC ispirać pod pritiskom	0,80-1,00
Priključak za bide	0,20 - 0,25
Protivpožami hidrant	1,20-1,35

Proračun vodovodne mreže u objektu zasniva se obezbjeđenju dovoljne količine vode pod određenim pritiskom u svakom trenutku na svim točecim mjestima. Sam proračun se svodi na izbor dimenzija mreže tako da se obezbijedi najekonomičnije rješenje. Prije početka proračuna mreže potrebno je definisati potrebnu količinu vode, karakteristične visinske uslove i kritično točece mjesto.

Svako točece mjesto troši određenu količinu vode, što se izražava kroz jedinicu opterećenja – JO. Ona predstavlja količinu vode koja protiče kroz cijev od  $\varnothing 15\text{mm}$  pod pritiskom od 5 bar,  $1\text{JO} = 0.25 \text{ l/s}$  ili Jedinica Opterećenja (J.O.). Jedinica Opterećenja (J.O.) je relativan bezdimenzionalni broj - odnos između količine vode (l/s) bilo kojeg točecog mjesta i referentnog točecog mjesta (standardna slavina sa izlivnim ventilom prečnika 13 mm)

*Tabela A 2.2 Jedinice opterećenja (JO) za različita točeća mjesta*

Točeće mjesto	JO
Klozetski rezervoar, bide, pisoar i sl.	0,25
Mali bojler, kapaciteta do 10 //min izlivi iznad umivaonika i sl.	0,5
Izlivni ventil od 10 mm, gasni bojler kapaciteta oko 15 //min i sl.	1
Izlivni ventil od 15 mm i sl.	2,5
Izlivni ventil od 20 mm i sl.	16
Izlivni ventil od 25 mm i sl.	36
Klozetski ispirać sa pritiskom, najmanjeg kapaciteta 0,6 //s 15 mm	6
Klozetski ispirać sa pritiskom, najmanjeg kapaciteta 0,8 //s 20 mm	11
Klozetski ispirać sa pritiskom, najmanjeg kapaciteta 1,3 //s 25 i 32 mm	27

Ukupna količina vode za slučaj jednovremenog rada svih točećih mjesta se računa prema formuli J. Brix-a:

$$Q = 0.25 \cdot \sum JO$$

Jednovremeni rad točećih mjesta je moguć samo u izuzetnim slučajevima i kod specifičnih objekata. Kod stambenih objekata sa sličnim režimom potrošnje vode, potrebna količina vode za objekat i dimenzionisanje mreže se određuje prema broju jednovremenog rada točećih mjesta u objektu. Na osnovu iskustva i mjerenja inženjer Brix je došao do veoma praktičnog izraza koji se uglavnom koristi u praksi, a kojim se definiše odnos između potrebne količine vode, jedinica opterećenja i broja jednovremenog rada točećih mjesta:

$$q = 0.25 \cdot \sqrt{\sum JO} (l/s)$$

Broj jednovremenog rada točećih mjesta obuhvaćen je uvođenjem korjena u gornju jednačinu. Kod objekata posebne namjene broj

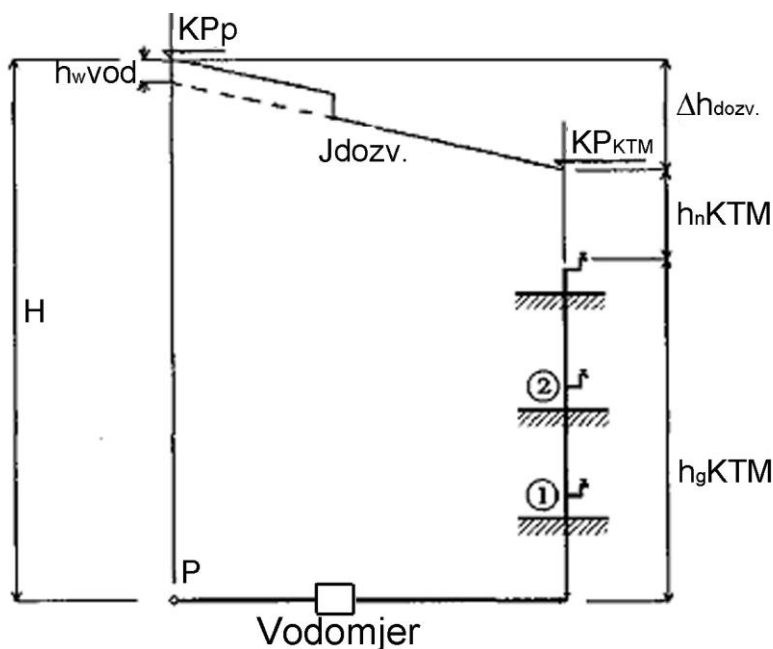
## A VODOVODNI SISTEMI

jednovremenog rada točecih mjesta se utvrđuje posebnom analizom ponašanja potrošača u objektu.

Za dalji proračun mreže potrebno je znati sljedeće visinske podatke:

- položaj spoljašnje vodovodne mreže u odnosu na objekat (sa podacima o minimalnom raspoloživom pritisku u spoljnoj mreži, na mjestu priključka);
- mjesto i položaj točecih mjesta u objektu u odnosu na položaj priključka na spoljnu mrežu.

Proračun unutrašnje vodovodne mreže se svodi na obezbjeđenje potrebne količine vode, pri zahtjevanom pritisku najnepovoljnijeg – “kritičnog” točecog mjesta. To je ono mjesto koje između kote pijezometra na mjestu priključka i zahtjevane kote pijezometra na točecem mjestu, ima najmanji pad pijezometarske linije.



Slika A 2.53 Shematski prikaz proračuna dozvoljenog pada pijezometarske linije za unutrašnju vodovodnu mrežu

Najmanji pad pijezometarske linije, od analiziranih slučajeva, se usvaja kao dozvoljeni pad pijezometarske linije i prema njemu se vrši dimenzionisanje mreže ( $I_{doz}=I_{min}$ ).

$$I_{doz} = \frac{\Delta h_{doz}}{\sum_P^{KTM} L} = \frac{(KP_P - (h_w^{Vod} + h_g^{KTM} + h_n^{KTM}))}{L_{P-KTM}}$$

gdje je :

KTM kritično točeće mjesto;

$\Delta h_{dozv}$ . dozvoljeni gubici energije u cjevnoj mreži od priključka do kritičnog točećeg mjesta.

$h_w^{vod}$  gubitak energije na vodomjeru ;

$h_g^{KTM}$  geodetska visina kritičnog točećeg mjesta u odnosu na priključak na spoljašnju mrežu ;

$h_n^{KTM}$  minimalni potreban pritisak za normalno funkcionisanje kritičnog točećeg mjesta;

$KP_p$  kota pijezometra na mjestu priključka na spoljašnju vodovodnu mrežu ;

L rastojanje koje voda pređe od mjesta priključka na spoljapnju mrežu do kritičnog točećeg mjesta u objektu

Svaka dionica mreže dimenzioniše se prema ukupnom proticaju koji prolazi kroz nizvodna točeća mjesta koja jednovremeno rade i prema dozvoljenom padu pijezometarske linije, utvrđenom prema prethodnoj proceduri. Proračun se vrši tabelarno na osnovu aksonometrijske šeme na kojoj se označavaju čvorovi mreže.



## A VODOVODNI SISTEMI

**Tabela A 2.3 Otpori u metrima vodenog stuba po jedinici dužine cjevovoda, uključujući otpore u koljenima, račvama i ventilima, ali bez otpora u vodomjeru, po inž. Brix-u**

zbir j,p,	q (l/s)	Oznaka prečnika											
		č	p	č	p	č	p	č	p	č	p	č	p
		15 <sup>x</sup>	16	20	20	25	25	32	30	40	40	50	50
0,5	0,18	0,39	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01					
1	0,25	0,78	0,29	0,16	0,09	0,05	0,03	0,01	0,01				
1,5	0,31	1,18	0,44	0,25	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01			
2	0,35	1,57	0,59	0,33	0,18	0,10	0,05	0,03	0,02	0,01			
2,5	0,40	1,96	0,73	0,41	0,22	0,12	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01		
		2,35											
3	0,43	3,13	0,88	0,49	0,26	0,15	0,08	0,04	0,03	0,01	0,01		
4	0,50		1,18	0,66	0,35	0,20	0,11	0,05	0,04	0,02	0,01		
5	0,56			0,82	0,44	0,24	0,13	0,06	0,05	0,02	0,01	0,01	
6	0,61			0,98	0,53	0,29	0,16	0,08	0,06	0,02	0,01	0,01	
7	0,66			1,15	0,61	0,34	0,18	0,09	0,07	0,03	0,01	0,01	
8	0,70			1,31	0,70	0,39	0,21	0,10	0,08	0,03	0,02	0,01	0,01
9	0,75			1,48	0,79	0,44	0,21	0,11	0,09	0,03	0,02	0,01	0,01
10	0,79			1,64	0,88	0,49	0,26	0,13	0,10	0,04	0,02	0,01	0,01
12	0,87			1,97	1,05	0,59	0,32	0,15	0,12	0,05	0,02	0,01	0,01
14	0,94			2,30	1,23	0,68	0,37	0,18	0,14	0,05	0,03	0,02	0,01
16	1,00					0,78	0,42	0,20	0,16	0,06	0,03	0,02	0,01
18	1,06					0,88	0,47	0,23	0,18	0,07	0,04	0,02	0,01
20	1,12					0,98	0,53	0,25	0,20	0,08	0,04	0,02	0,01
25	1,25					1,22	0,66	0,32	0,25	0,09	0,05	0,03	0,02
30	1,37					1,46	0,79	0,38	0,29	0,11	0,06	0,03	0,02
35	1,48							0,45	0,34	0,13	0,07	0,04	0,02
40	1,58							0,51	0,39	0,15	0,08	0,05	0,02
45	1,68							0,57	0,44	0,17	0,09	0,05	0,03
50	1,77							0,64	0,49	0,19	0,10	0,06	0,03
60	1,94							0,77	0,59	0,23	0,11	0,07	0,04
70	2,09							0,89	0,69	0,27	0,14	0,08	0,04
80	2,24							1,02	0,79	0,30	0,16	0,09	0,05
90	2,37							1,15	0,89	0,34	0,18	0,10	0,06
100	2,50									0,38	0,20	0,11	0,06
120	2,74									0,45	0,23	0,14	0,07
140	2,96									0,53	0,29	0,16	0,09
160	3,16									0,61	0,33	0,18	0,10
180	3,35									0,68	0,37	0,20	0,11
200	3,54									0,76	0,41	0,23	0,12
250	3,95											0,28	0,15
300	4,33											0,34	0,19

Napomena: x-unutrašnji prečnik cijevi u mm; č-čelične cijevi; p-cijevi od plastične mase, bakra i olova; podvučene vrijednosti odgovaraju brzini od 2,5 m/s koju ne treba prekoračivati

Zbir svih stvarnih gubitaka energije po dionicama od priključka na spoljašnju mreže do kritičnog točućeg mjesta, treba kod pravilno dimenzionisane mreže, da je jednak ili manji od dozvoljenog gubitka energije  $\Delta h_{dozv}$ . U praksi je dozvoljeno odstupanje od opisanog postupka dimenzionisanja na pojedinim dionicama, s tim da se u konačnom zbiru stvarnih dioničnih gubitaka energije ne smije prekoračiti dozvoljena veličina gubitka  $\Delta h_{dozv}$ .

**Tabela A 2.4 Proračun i dimenzionisanje vodovodne mreže**

Dionica od-do	Dužina dionice L(m)	Ukupno opterećenje (J.O)	Dozvoljeni pad $\Pi$ linije J (m/m')	Prečnik cijevi $\varnothing$ (mm)	Stvarni pad $\Pi$ linije J (m/m')	Gubitak energije $\Delta h = J_{stv} L$ (m)
(1)	(2)	(3)	(5)	(4)	(6)	(7)=(2)(6)
KTM-2	$L_{KTM-2}$	$JO_{KTM}$	$J_{dozv}$	$\varnothing_{KTM-2}$	$J_{KTM-2}$	$A_{KTM-2}$
2-1	$L_m$	$\sum_2^{KTM} JO$		$\varnothing_{2-1}$	$J_{2-1}$	$A_{2-i}$
1-P	$L_{i,p}$	$\sum_p^{KTM} JO$		$\varnothing_{1-P}$	$J_{i-P}$	$A_{i-P}$

$$Kontrola = \sum_P^{KTM} \Delta h \leq \Delta h_{dozv}$$

## A 2.2.2 Protivpožarna potrošnja u objektima

Osim vodom za sanitarnu potrošnju objekat je potrebno, u skladu sa "Pravilniku o tehničkim normativima za hidrantsku mrežu za gašenje požara", snabdijeti i vodom za gašenje požara.

Hidrantska mreža naselja se dijeli na:

- a) unutrašnju;
- b) spoljašnju.

Unutrašnja hidrantska mreža sastoji se od cijevnog razvoda i hidranata smještenih u hidrantski ormarić. Hidrantski ormarići je dimenzija 500/500/150 mm (sadrži kuglastu slavinu i namotano crijevo dužine 15 m) označen slovom H. Hidranti se postavljaju u prolaze, stepenišne prostore i na pravcima evakuacije. Međusobna udaljenost hidranata određuje se tako da se cjelokupni prostor koji se štiti od požara pokriva mlazom vode (dužina crijeva iznosi 15 m, a dužina kompaktnog mlaza 5 m). Najmanji prečnik cijevi unutrašnje hidrantske

## A VODOVODNI SISTEMI

mreže je DN 50 mm. Dimenzija unutrašnje hidrantske mreže funkcija je visine zgrade. Prema "Pravilniku o tehničkim normativima za hidrantsku mrežu za gašenje požara" za objekte visine do 22 m (tabela), potrebno je za istovremeni rad 2 hidranta po 2.5 l/s vode, odnosno ukupno 5 l/s, uz minimalni pritisak na najvišem (najudaljenijem) hidrantu 2.5bar, ( $2.5\text{bar}=2.5\times 10^5\text{Pa}=0.25\times 10^6\text{Pa}=0.25\text{MPa}$ ).

*Tabela A 2.5 Podaci za proračun unutrašnje hidrantske mreže*

Visina objekta	Najmanji protok	JO	DN	$v$	$h_t$
[m]	[l/s]	[-]	[mm]	[m/s]	[dbar/m]
do 22	5	400	DN65	1.3	0.080
23 do 40	7.5	900	DN80	1.5	0.070
41 do 75	10	1600	DN100	1.1	0.031
više od 75	12.5	2500	DN100	1.4	0.049

Spoljna hidrantska mreža se sastoji od nadzemnih hidranata (podzemni ukoliko ometaju promet). Udaljenost između dva hidranta smije iznositi najviše 80 m . Udaljenost hidranta od zida objekta mora biti najmanje 5 m, a maksimalna dopuštena udaljenost iznosi 80 m. Najmanji prečnik cijevi spoljne hidrantske mreže je DN100mm. Potreban pritisak u spoljnoj hidrantskoj mreži određuje se proračunom u zavisnosti od visine objekta i drugih uslova, ali ne smije biti niži od 2,5 bar.

## A 3 PREČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE

### A 3.1 Uvod – opšte o potrebi prečišćavanja vode za piće

Zbog izuzetnog značaja ispravnosti vode namijenjene za snabdijevanje stanovništva, svaka zemlja zakonski propisuje zahtjeve u pogledu njenog kvaliteta. U našoj zemlji je to regulisano pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, koji je saglasan sa sličnim pravilnicima u zemljama Evropske Unije.

Tim pravilnikom propisuje se:

- 1) zdravstvena ispravnost vode koja služi za ljudsku upotrebu, tj. vode koja se koristi kao voda za piće, za pripremu, proizvodnju i promet hrane;
- 2) granične vrijednosti pokazatelja zdravstvene ispravnosti vode;
- 3) vrsta i obim analiza uzoraka vode za piće kao i analitičke metode i
- 4) učestalost uzimanja uzorakavode za piće.

Sva izvorišta vode namijenjene ljudskoj upotrebi kao i objekti sistema za snabdijevanje vodom moraju biti zaštićeni od slučajnog ili namjernog zagađenja i od drugih uticaja koji mogu ugroziti zdravstvenu ispravnost vode za piće.

Granične vrijednosti pokazatelja zdravstvene ispravnosti vode propisane su za sve pravilnikom navedene parametre. U slučajevima elementarne nepogode, iznenadnog zagađenja vodovodnog sistema ili drugih odstupanja od uslova pravilnika, kada se postojećim postupcima kondicioniranja vode zagađenja ne mogu ukloniti. Ako ne postoji rezervno izvorište, niti mogućnost snabdijevanja vodom za piće na drugi način, za dalji rad, preduzeće koje obavlja djelatnost javnog snabdijevanja vodom mora zatražiti dozvolu za odstupanje od MDK vrijednosti, ako povećane vrijednosti ne predstavljaju moguću opasnost za zdravlje ljudi. Provjeru kvaliteta vode koja je namijenjena javnom snabdijevanju, odnosno poštovanje MDK vrijednosti iz pravilnika, nadzire ovlašćena institucija stalnim praćenjem.

Da bi voda za piće po fizičkim, hemijskim i sanitarnim karakteristikama odgovarala korisnicima potrebno je da se pripremi – prečisti. Prečišćavanje vode se obavlja primjenom, fizičkih, hemijskih i bioloških procesa kojima se postiže uklanjanje nepoželjnih supstanci i sastojaka iz prirodne - sirove vode. Zbog visoke cijene obrade sirove vode, pogodne tehnologije se moraju kombinovati na najbolji način

kako bi se uspostavila ravnoteža između cijene i dobijenog kvaliteta vode.

Osnovni postupci u procesuprečišćavanja vode za piće su:

- miješanje;
- aeracija;
- koagulacija i flokulacija;
- taloženje;
- flotacija;
- filtriranje;
- dezinfekcija.

Pored ovih osnovnih postupaka kod pojedinih vrsta sirove vode mogu biti potrebne i neke dopunske metode kako bi se njihov kvalitet doveo do zahtjevanog nivoa:

- oksidacija;
- sorpcija;
- odstranjivanje gvožđa i mangana,
- odstranjivanje amonijaka;
- omekšavanje;
- stabilizacija vode, i sl.

Na osnovu dosadašnjih iskustava u praksi prečišćavanja sirove vode izdvojili su se najčešće korišćeni postupci za obradu vode, zavisno od toga koji parametar odnosno sastojak vode treba obraditi. Pregled ovih metoda dat je u tabeli A 3.1.

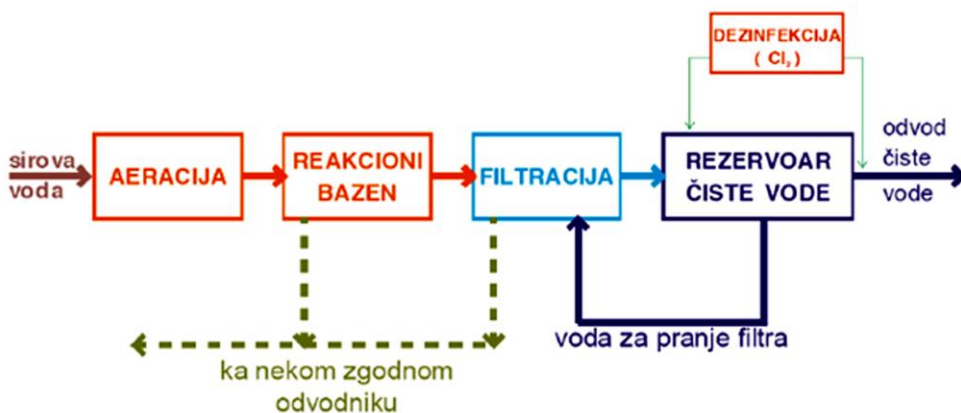
## A VODOVODNI SISTEMI

Tabela 3.1. Najčešće korišćeni postupci popravke kvaliteta parametara vode za piće

Parametar- sastojak	Najčešće korišćeni postupci korekcije
Suspendovane čestice	Odležavanje-sedimentacija-koagulacija-filtracija
Koloidno rastvorene supstance	Aeracija-koagulacija-tretman, dodatkom soli aluminijuma, gvožđa ili kalcijuma
Miris	Aeracija, obrada aktivnim ugljem
Boja	Koagulacija-sedimentacija i filtracija-ozonizacija-hlorisanje-obrada aktivnim ugljem
Ukus	Obrada aktivnim ugljem-obrada hlorom, hloraminima, ozonom ili kalijumpermanganatom
Slobodan CO <sub>2</sub> i kisjelost	Aeracija-obrada krečom, sodom, natrijumsilikatom, kredom ili magnezitom
Tvrdoća	Hemijsko omekšavanje krečom, sodom, trinatrijum sulfatom-obrada mjenjačima jona
Gvožđe i mangan	Aeracijai filtracija-obradakrečomi sodom-dodatkom sredstava za deferizaciju
Male količine rastvorenih soli	Destilacija– elektrodijaliza-reverzna osmoza-primjena izmjenjivača jona
Ulje	Dodatak stipse– filtracija-obrada krečom-obrada sodom
Alge	Dodatak bakarsulfata-dodatak hlora,hloramina ili kuprihloramina.
Bakterije	Odležavanje– filtracija-obrada hlorom, hloraminima, ozonom,UV zracima, jonima teških metalaili krečom
Toksične supstance	Obrada stipsom,zemljom za beljenje, sodom,natrijom sulfatom ili natrijum sulfidom-primjenaizmjenjivačajona.

Pri projektovanju postrojenja za tretman vode za piće preporučuje se da se prethodno pretpostave najmanje dvije moguće kombinacije navedenih procesa. Tako postavljene kombinacije je potrebno provjeriti preko "pilot" postrojenja u više varijanti i onda izvršiti izbor opredjeljenjem za tehno – ekonomski najpovoljnije rješenje. Treba naglasiti da je za adekvatan izbor tehnologije prečišćavanja neophodno uraditi detaljnu prognozu kvaliteta vode sirove vode sa izvorišta. Kvalitet voda izvorišta se određuje na osnovu određenih mjerenja, karakteristika slivnog područja i analiza (fizičkih, hemijskih, bioloških i mikrobioloških). Ovi podaci se koriste za prognozu kvaliteta vode izvorišta i za određivanje sanitarnih zona njegove zaštite.

Podaci o kvalitetu izvorišta podzemnih i površinskih voda se po pravili razlikuju. Poznato je da je kvalitet podzemnih voda prirodno bolji nego površinskih zbog svekolike izloženosti različitim vrstama zagađenja. Pojedini parametri kvaliteta su karakteristični za jedan ili drugi tip izvorišta. Na osnovu toga, opšte šeme postrojenja za tretman vode za piće razlikuju se za podzemne i površinske vode. Uopšteno, u najvećem broju slučajeva šeme tretmana izgledaju kao na slikama A3.1. i A 3.2.



Slika A 3.1 Šema uređaja na postrojenju za prečišćavanje podzemnih voda



Slika A 3.2 Šema uređaja na postrojenju za prečišćavanje površinskih voda

### Prethodni tretman vode

Po pravilu prethodni tretman vezuje se površinske vode. Ovim tretmanom iz vode se uklanjaju materijali čije bi prisustvo moglo da naruši efikasno funkcionisanje uređaja koji se koriste nakon prethodne obrade uglavnom procesu (kako je navedeno na slici A 3.2.). U predtretman površinskih voda, misleći pri tome na akumulacije, spada:

- uklanjanje grubih i krupnih otpada u vodi;
- tretman akumulacija radi boljeg miješanja slojeva vode u njoj;
- tretman akumulacija radi kontrole algi i razvoja biljaka;
- predtretman površinske vode radi kontrole mirisa i ukusa.

Miješanje, aeracija, koagulacija i flokulacija spadaju u kategoriju predtretmana sirove vode. U predtretman sirove vode takođe spada i prolazak vode kroz rešetke i sita, bilo da su one postavljene kod vodozahvata ili se nalaze ispred samog postrojenja za pripremu vode za piće. Od načina primene ovih operacija i procesa zavisi uspjeh narednih faza prečišćavanja vode.

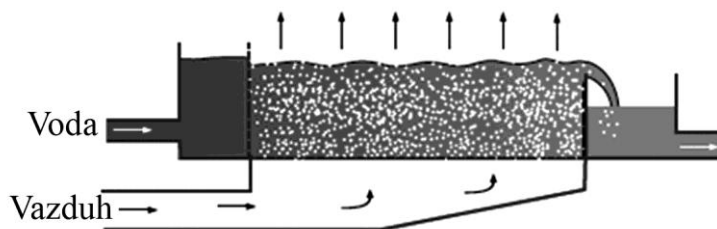


## A 3.2 Osnovni postupci u procesu prečišćavanja vode za piće

### Aeracija

Aeracija je proces razmjene materije između vode i vazduha ili čistog kiseonika preko granice dodira. Aeracija se izvodi dovođenjem u dodir vode sa vazduhom ili čistim kiseonikom. Razlozi za primjenu aeracije vode su uklanjanje rastvorenih gasova i povećanje sadržaja rastvorenog kiseonika. Uobičajna je pojava da voda koja nema dovoljno rastvorenog kiseonika ima povećani sadržaj gasova, koji se moraju ukloniti jer su štetni po kvalitet vode. Ti gasovi su: metan, vodonik-sulfid i ugljen-dioksid. Metan koji se oslobađa iz podzemnih voda, koncentriše se oko bunara i cjevovoda, može izazvati eksploziju na izvorištu, u pumpnoj stanici ili na slavini potrošača. Vodonik-sulfid daje vodi neprijatan miris i ukus koji podsjeća na pokvarena jaja, a u većim koncentracijama je korozivan i otrovan. Ugljen-dioksid rastvoren u vodi izaziva koroziju i otežava proces prečišćavanja, naročito otežava uklanjanje gvožđa i mangana iz podzemnih voda. Osim ovih gasova, u vodi se mogu naći i organske materije. Aeracija je efikasan proces za njihovo djelimično uklanjanje iz vode. Povećanje sadržaja rastvorenog kiseonika u vodi potrebno je i da bi se spriječilo stvaranje uslova za anaerobno stanje u jedinicama procesa, za biološku oksidaciju amonijaka i za oksidaciju gvožđa i mangana.

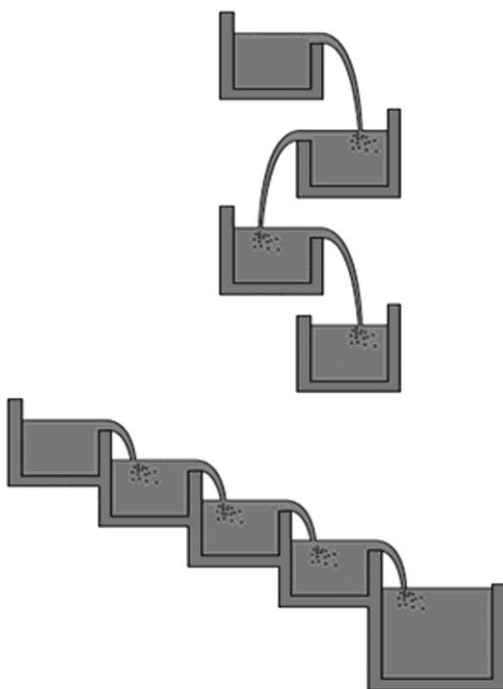
U praksi se najčešće za aeraciju koristi tehnika obrazovanja vodenog filma velike površine izložene dodiru s gasnom fazom, ili uvođenjem vazduha ili čistog kiseonika u vodu. Obrazovanje vodenog filma velike površine ostvaruje se raspršivanjem vode u vidu mlaza, prevođenjem vode preko nekog neutralnog materijala velike površine ili obrazovanjem višestepenog pada vode preko prelivnih ivica - kaskada. Uvođenje gasa u vodu ostvaruje se preko poroznih tijela - difuzora, postavljenih na dno komore ili preko turbina.



Slika A 3.3 Šema uvođenja vazduha kod aeratora

Kod kaskadnih aeratora (3÷10 kaskada), visinska razlika kaskada je 0,15÷0,30 m. Ukupan pad je 1-3m. Potrebna površina se uzima od  $30\text{m}^2 \div 1000\text{m}^3$  vode/h ili  $12 \div 16 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ .

Aeracija putem raspršivanja vode zahtijeva određeni pritisak da bi se postigla visina mlaza od oko 3 m. Pad instalacije se kreće u granicama od 2 ÷ 8 m. Minimalna potrebna površina je 30÷80 m<sup>2</sup> za produkciju vode od 1000 m<sup>3</sup>/h. Utrošak energije kod aeracije putem raspršivanja je oko 5 W za 1 l/s vode. Difuziona areacija može biti sa centralnim dovodom vazduha, sa bočnim dovodom, putem "Venturi" uređaja, sa injektorskim dovodom i sl.



*Slika A 3.4 Kaskadni aerator, šeme različitih tipova veze kaskadnih bazena*

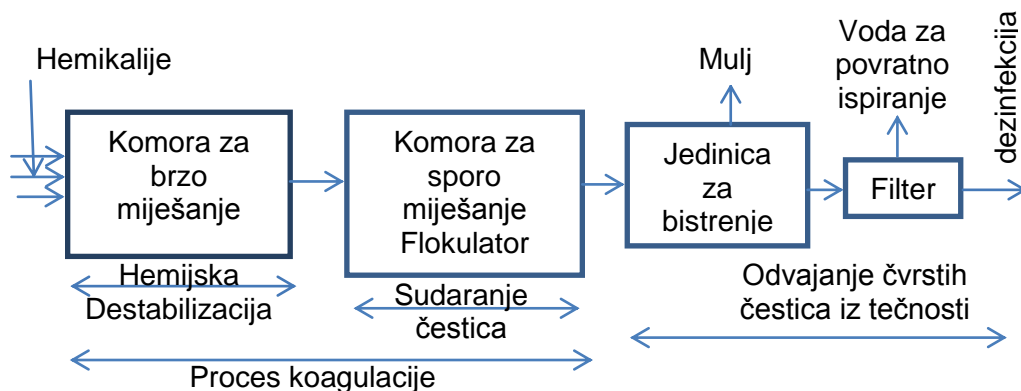


*Slika A 3.5 Primjer direktne aeracije putem raspršivanja odozgo*

### **Flokulacija / koagulacija**

Sirova voda koja ulazi u postrojenje za preradu vode može sadržati čvrsti materijal u koloidnom obliku. Koloidi su stabilne suspenzije veoma finih čestica u vodi, a njihova veličina je u opsegu  $0,1 \div 0,001$   $\mu\text{m}$ . Zbog tako male veličine pojedinačnih čestica koloidne suspenzije su praktično stabilne i pojavljuju se u vidu "oblaka" u vodi. Koloidne suspendovane materije nije moguće ukloniti upotrebom samo tehnika filtracije. Odvajanje se bazira na procesima koagulacije i flokulacije čestica odnosno taloženju. Nečistoće koje se mogu ukloniti ovim procesima podrazumevaju mutnoću, bakterije, alge, boju, organska jedinjenja, oksidisano gvožđe i mangan, kalcijum karbonat i primjese gline.

Dodatak hemijskih sredstava - koagulanata, narušava stabilnost strukturekoloida, odnosno dolazi do koagulacije. Čestice se spajaju obrazujući veće flokule izazvano dodatkom hemijskih sredstava poznatih kao "flokulanti". Ova sredstva se vezuju ili se adsorbuju na koloidne čestice koje se međusobno privlače, pa time pospješuju stvaranje flokula. Flokule postaju mnogo veće od početnih koloidnih, tako da mogu biti uklonjene u daljim koracima procesa, taloženjem i filtracijom.



Slika A 3.6 Šema procesa koagulacije

Zbog povoljne cijene nabavke, najčešće korišćeni koagulant je aluminijum sulfat -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , koji se obično dodaje u količini od  $10 \div 150 \text{ g/m}^3$  vode, gvožđe -  $\text{Fe}^{3+}$  hlorid se obično dodaje u količini  $5 \div 150 \text{ g/m}^3$  i gvožđe -  $\text{Fe}^{3+}$  sulfat se uobičajeno dodaje u količini  $10 \div 250 \text{ g/m}^3$ . Izbor koagulanta uglavnom zavisi od sastava koloida.

Tabela 3.2 Vrste koagulanta

Koagulant	Formula	Optimalno pH područje	Potrebna količina $\text{g/m}^3$	Područje primjene
Aluminijum sulfat	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$	5.5-7	10-50	Fe- i Al-soli za sve vode u datom pH području
Gvožđe Hlorid	$\text{FeCl}_3$	5.5-5.6 i 8-9	10-30	
Gvožđe sulfat	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5.5-6.5	20-50	$\text{Fe}^{2+}$ se mora prethodno oksidovati u $\text{Fe}^{3+}$ , oksidans: hlor
Natrijum aluminat	$\text{NaAlO}_2$	5.5-7.8	5-40	za karbonatne vode sa visokom MgT



*Slika A 3.7 Izgled polja flokulatora vode za piće*

U fazi koagulacije, koagulanti jonizuju, sa katjonima, primjer su joni aluminijuma i gvožđa koji se adsorbuju na površini koloida. Ovo je veoma brza reakcija koja zahtjeva veliku energiju a odvija se za vrijeme manje od 0,1s. Zato se koagulanti dodaju tokom brzog mješanja. Ovaj proces se odvija u posebnom tanku, sa kratkim vremenom zadržavanja. Nakon adsorpcije katjona koloidi više nisu stabilni ali privlače jedni druge OH - vezama koje se formiraju među njima.

### **Flotacija**

Flotacija kao i sedimentacija se zasniva na razlici u specifičnoj masi čvrstih komponenti i vode. Flotacija može biti "spontana" i "izazvana". Kod "spontane" flotacije specifična masa čestica je manja od specifične mase vode pa se čestice samostalno podižu prema površini odakle mogu biti uklonjene. Kod "izazvane" ili "podstaknute" flotacije, vazduh koji se dodaje u vodu prijanja na čestice i stvara gasna jedinjenja, koja imaju manju gustinu nego voda pa se podižu na površinu, odakle ih je moguće ukloniti.

Uobičajeno korišćena tehnika proizvodnje potrebne količine mjehurića vazduha je tehnika "rastvoreno gvađuha". Obično se zahtjeva prečnik mjehurića odnosno "mikromjehurića" u opsegu 40÷70  $\mu\text{m}$ . Vazduh se rastvara u vodi pod pritiskom. Kada se u vodi ubačenoj pod pritiskom, smanji pritisak prouzrokuje se da vazduh u obliku

mjehurića napušta rastvor. Ti mjehurići i čvrste materije prisutne u vodi formiraju gasna jedinjenja koja se podižu prema površini vode odakle se mogu uklanjati. Moguća tehnika za proizvodnju mehurića je i elektro - flotacija. Ova tehnika se zasniva na proizvodnji gasova H<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> elektrolizom vode. Na ovaj način može se proizvesti do 50 l gasa u jednom satu. Veličina mjehurića je istog reda veličine kao kod tehnike "rastvorenog vazduha". Flotacija se najčešće primjenjuje u kombinaciji sa flokulacijom. Flokule imaju veliku površinu što poboljšava prijanjanje mjehurića i njihovo kretanje prema gore.

### Taloženje

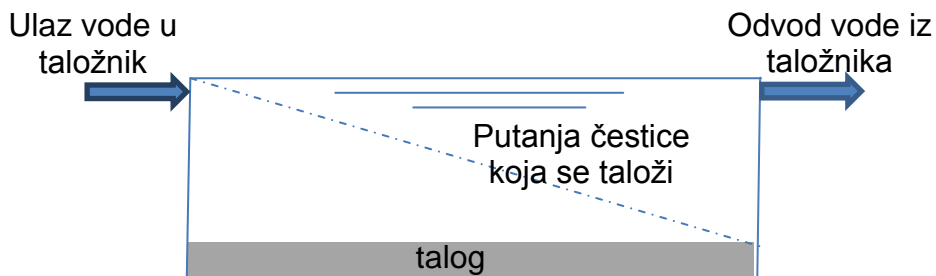
Taloženje je proces gravitacionog uklanjanja zrnastih i pahuljičastih čestica iz vode kojima je gustina veća od gustine vode. U teoriji taloženja se polazi od pojedinačne (diskretne), okrugle čestice, pretpostavljajući da je u mirnoj vodi i zanemarujući sve uticaje koji ometaju ovaj proces. Kada se diskretna okrugla čestica pusti padati u mirnoj vodi nultom početnom brzinom, ona ubrzava kretanje dok joj brzina, nakon određenog vremena (koje je gotovo uvijek beznačajno u odnosu na trajanje procesa taloženja), ne postane konstantna. Obzirom na karakter i kvalitet vode u procesu prečišćavanja, kao i na veličinu i masu lebdećih čestica, vertikalna komponenta brzine taloženja čestice,  $v$ (m/s), nalazi se u području važenja Stoksovog zakona (1851), koji glasi:

$$v = \frac{d^2 g (r_1 - r_2)}{18 \cdot h}$$

Gdje je:

- $v$  brzina taloženja čestica, m/s
- $d$  prečnik čestice, m
- $g$  ubrzanje usled gravitacije, m/s<sup>2</sup>
- $r_1$  gustina čestice, kg/m<sup>3</sup>
- $r_2$  gustina tečnosti, kg/m<sup>3</sup>
- $h$  viskozitet tečnosti, Puaz [P]=[Pa·s]

Najčešće podešena brzina u taložniku je 0,5÷1 m/h. Međutim, pošto se kod taloženja, kako prirodne tako i koagulirane suspenzije, obično susrećemo s polidisperznom suspenzijom, brzine taloženja takve suspenzije najbolje je odrediti ispitivanjima.



Slika A 3.8 Šema funkcionisanja taložnika

Pošto u praksi nikada nijesu ispunjeni uslovi savršenog taloženja, mora se računati na umanjeње efekta taloženja. Za to su zaslužna dva odlučujuća činioca:

- 1) strujanje u zoni taloženja izazvano raznim uticajima (vjetar kod nepokrivenih taložnica, konvektivno strujanje usljed temperaturnih promjena, strujanje zbog razlike u gustini) i
- 2) međusobno djelovanje čestica.

Proces taloženja odvija se u posebnim objektima (bazenima) – taložnicima. Danas se u praksi kondicioniranja vode primjenjuju dvije osnovne vrste taložnika, zavisno odsmjera toka u njima:

- (1) horizontalni taložnici;
- (2) vertikalni taložnici.

Ovo su tzv.konvencionalni taložnici. Radi ubrzavanja i povećanja efikasnosti procesa taloženja grade se i specijalni taložnici. U tu grupu taložnika spadaju :

- pločasti separatori;
- centrifugalni separatori;
- hidrocikloni.

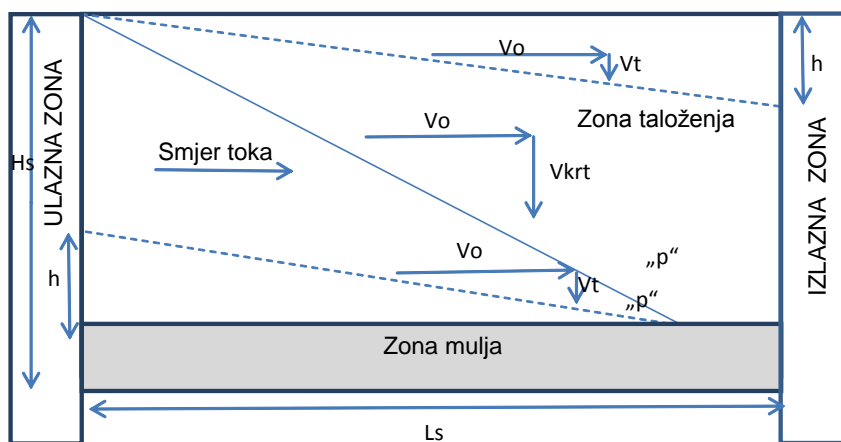
Taložnici se mogu podijeliti u nekoliko grupa,po nekoliko kriterijuma. Mogu bitiotkriveni ili pokriveni objekti, a po materijalu od kojeg se izrađuju mogu biti od betona, čelika ili plastike. U odnosu na geometriju se mogu podijeliti na kružne i pravougaone, a u odnosu na kretanje vode mogu se podijeliti na taložnike sa horizontalnim tokom vode i taložnike sa vertikalnim tokom vode.

### Horizontalni taložnici

Taloženje u horizontalnim taložnicima se može odvijati u:

- (a) pravougaonim taložnicima;
- (b) okruglim taložnicima.

Šema taloženja čestica u (savršenom) pravougaonom taložniku prikazana je na slici.



Slika A 3.9 Šema taloženja u pravougaonom taložniku

Voda u taložnik dotiče u zonu ulaza, kroz jedan od vertikalnih zidova taložnika, prolazi njegovom cijelom dužinom-zonom taloženja, do suprotnog vertikalnog zida i izlaznom zonom ističe iz taložnika. Ispod zone taloženja je zona mulja.

Horizontalnu brzinu vode u zoni taloženja, možemo definisati kao:

$$v_0 = \frac{Q}{B_s \cdot H_s}$$

Gdje je:

- $Q$  proticaj u zoni taloženja, [ $m^3/s$ ];
- $B_s$  širina zone taloženja (širina taložnika), [ $m$ ];
- $H_s$  dubina zone taloženja (dubina taložnika), [ $m$ ].



Preporučene vrijednosti horizontalne brzinesu u rasponu  $2.5 < v_0 < 35$  (50) mm/s. Kritična brzina taloženja,  $v_{krt}$  (m/s), koja mora postojati da bi se čestice istaložile, bar u krajnjoj donjoj tački zone taloženja prema zoni izlaza, određena je odnosom:

$$v_{krt} = \frac{v_0 \cdot H_s}{L_s}$$

gdje je  $L_s$  [m] dužina zone taloženja (dužina taložnika).

Sve čestice sa brzinom taloženja  $v_t \geq v_{krt}$  će biti uklonjene, jer će se kretati putanjama paralelnim sa linijom "p" ili strmijim. Isto tako, sve čestice s brzinom taloženja  $v_t < v_{krt}$  koje u zonu taloženja uđu unutar visine  $h$ , imaće putanje paralelne sa "p'" i biće takođe uklonjene, dok će sve čestice s brzinom taloženja  $v_t < v_{krt}$  koje u zonu taloženja uđu iznad visine  $h$ , biti iznijete iz zone taloženja. Zamjenom prethodnih jednačina dobija se izraz za površinsko (hidrauličko) opterećenje,  $PO$  [m/s], taložnika:

$$PO = V_{krt} = \frac{Q}{B_s \cdot L_s} = \frac{Q}{A_s}$$

gdje je  $A_s$  [m<sup>2</sup>] površina zone taloženja (površina taložnika).

Vrijeme zadržavanja vode u taložniku,  $T_s$  [s], definisano je kao :

$$T_s = \frac{H_s \cdot A_s}{Q}$$

i kreće se od 2 do 6 (7) časova.

Navedeni obrasci za taloženje u pravougaonim horizontalnim taložnicima zasnivaju se, između ostaloga, na pretpostavci da režim tečenja ne utiče na proces taloženja. Naravno, ova pretpostavka važi samo za slučaj laminarnog tečenja u taložniku. Da li će se tečenje u taložniku odvijati u laminarnom ili turbulentnom režimu zavisi, svakako, od vrijednosti Rejnoldsovog broja, koji se u ovom slučaju može izraziti:

$$R_s = \frac{Q}{v} \cdot \frac{1}{B_s + 2H_s}$$

Za laminarno tečenje u pravougaonim taložnicima treba biti ispunjen uslov:  $Re < 2000$ . Dakle, za manje vrijednosti Rejnoldsovog broja potrebni su relativno široki i duboki taložnici. Sa druge strane, potreba eliminacije tzv. kratkospojnog tečenja, kada se dotok jednoliko ne distribuira preko čitavog poprečnog presjeka taložnika zahtijeva što veći odnos sila inercije prema silama gravitacije, što se izražava Frudovim brojem:

$$F_r = \frac{v^2 \rho}{gR} = \frac{v^2 \text{ krt } L_s^2}{gR H_s^2} \left[ 1 + \frac{2H_s}{B_s} \right]$$

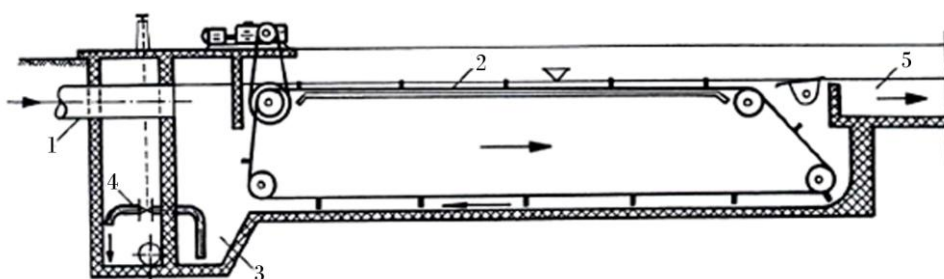
čija bi vrijednost trebala iznositi  $Fr > 10^{-5}$ . U ovome izrazu R označava hidraulički radijus.

Zadovoljenje gornjeg kriterijuma zahtijeva duge, uske i plitke taložnike s većim brzinama toka, što je u suprotnosti s prethodno izraženim zahtjevom s obzirom na tražene vrijednosti Reynoldsovog broja. Iz tog razloga su konstruktivna rješenja konvencionalnih pravougaonih taložnika sa horizontalnim tokom vode rezultat kompromisa između međusobno suprotnih hidrauličkih zahtjeva (niske vrijednosti Reynoldsovog broja i visoke vrijednosti Frudovog broja) i ekonomskih kriterijuma koji zahtijevaju ograničen odnos dubine, širine i dužine taložnika.

Vrijednost Reynoldsonog broja postaje relativno niska, a Frudeovog broja relativno visoka, akosu sledeći odnosi dimenzija taložnika:

$$L_s = (10H_s)^{1.25} \approx 8B_s$$

Iz konstruktivnih razloga dubina taložnika usvaja se od 2 do 3m. Iz istih razloga ne preporučuju se taložnici sa širinom preko 5m i dužinom preko 50m. Na slici prikazan je uzdužni presjek klasičnog horizontalnog pravougaonog taložnika. U taložniku je radi zgrtanja istaloženog mulja ugrađen zgrtač mulja. Brzina zgrtača je oko 1 cm/s.

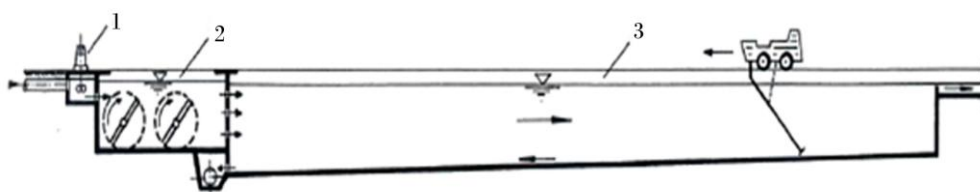


Slika A 3.10 Horizontalni pravougaonitaložnik, 1 – dovod; 2 – zgrtač mulja; 3 – muljna komora; 4 – muljni ispust; 5 – odvod

Moguće je i rješenje sa pokretnim mostom koji takođe ima zgrtač i premošćuje taložnik po širini, krećući se od jednog prema drugom kraju taložnika. Zgrtanja mulja se obavljaju suprotno od smjera toka. Postupci zgrtanja mulja obično su automatizovani. Radi što lakšeg

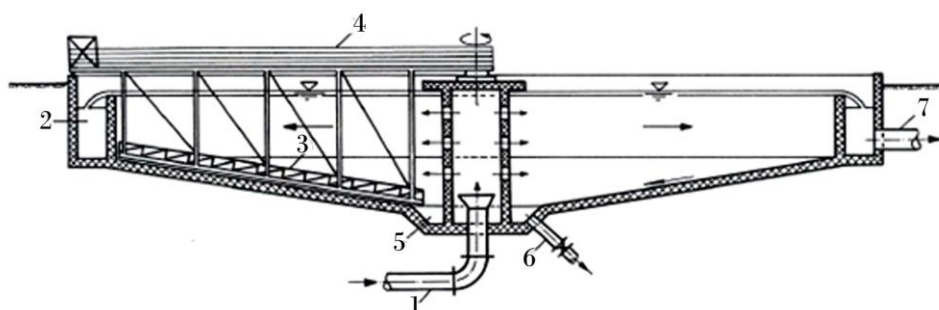
zgrtanja mulja u muljnu komoru, odakle se zatim ispušta, dno taložnika se izvodi sauzdužnim padom 1 do 2 %, takođe suprotno toku. Obično se grade dva taložnika, radni i rezervni, kako bi se nesmetano obavljalo čišćenje.

Horizontalni pravougaoni taložnici pokazali su se ekonomski opravdanim ako im je kapacitet veći od  $3000 \text{ m}^3/\text{dan}$ . Iz prethodnih analiza se može uočiti da su mješači, flokulatori i taložnici u funkcionalnom pogledu različiti objekti. U konstruktivnom smislu oni mogu biti povezani u cjelinu, kao što prikazuje slika.



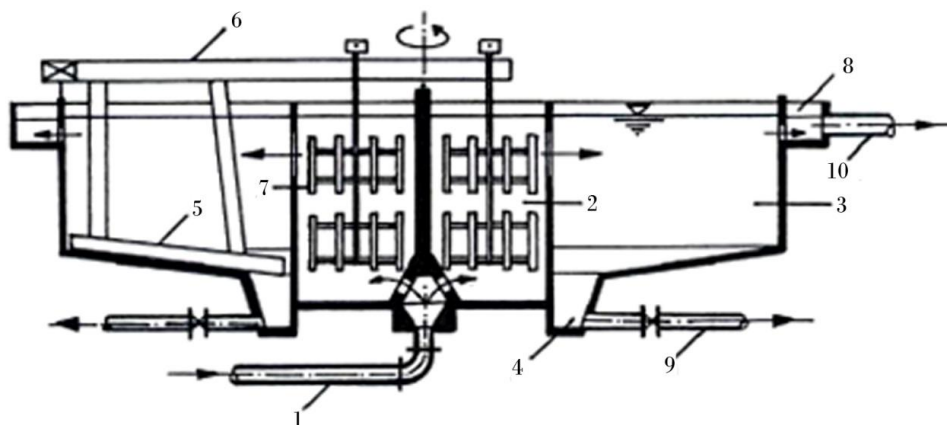
Slika A 3.11 Primjer konstruktivne povezanosti mješača, flokulatora i taložnika, 1- mješač; 2 – flokulator; 3 – taložnik

Kod okruglog taložnika, voda se dovodi u komoru, smještenu u sredini taložnika iradijalno kreće (zbog čega se ovi taložnici ponekad nazivaju radijalni taložnici) prema spoljašnjem sabirnom žlijebu, iz kojega se dalje odvođuje. Bitna osobina okruglih taložnika je promjena brzine vode u zoni taloženja od najveće vrijednosti u sredini, do najmanje na krajevima taložnika.



Slika A 3.12 Okrugli taložnik, 1 – dovod; 2 – sabirni žlijeb; 3 – zgrtač mulja; 4 – pokretni most; 5 – muljna komora; 6 – muljni ispust; 7 – odvod

Prečnik okruglih taložnika se kreće od 5 do 60m. Dubina taložnika (vode),  $H_s$ , na krajevima uzima se 1.5 do 2.5 (3.5)m ( $D_s/H_s > 3.5$ ), a nagib dna 4 do 10 %. Kao i kod pravougaonih taložnika i okrugli taložnik može biti kombinovan sa flokulatorom koji se smješta u sredini.



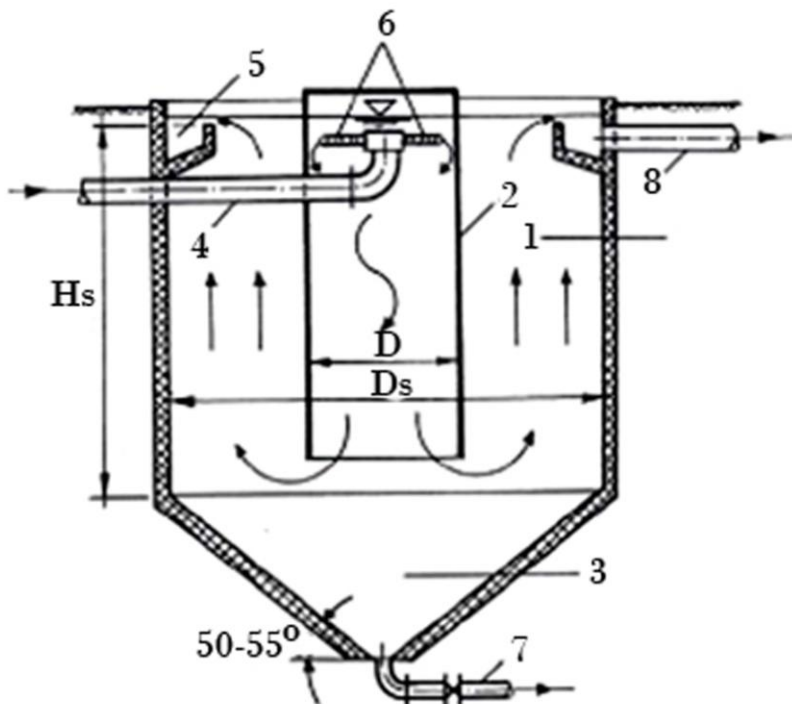
*Slika A 3.13 Okrugli taložnik s flokulatorom, 1 – dovod; 2 – flokulator; 3 – zona taloženja; 4 – muljna komora; 5 – zgrtač mulja; 6 – pokretni most; 7 – miješalice; 8 – sabirni žlijeb; 9 – muljni ispust; 10 – odvod*

### Vertikalni taložnici

Postoje dva osnovna tipa vertikalnih taložnika, po svom obliku:

- a) okrugli taložnici
- b) kvadratni taložnici.

Češća je primjena okruglih taložnika. Vertikalne taložnike, karakteriše uzlazno kretanje vode. Vertikalni taložnik je u stvari okrugli ili kvadratni bazen s konusnim, odnosno piramidalnim donjim dijelom. U sredini taložnika je najčešće ugrađen flokulator.



Slika A 3.14 Vertikalni taložnik, 1 – zona taloženja; 2 – flokulator; 3 – zona mulja; 4 – dovod; 5 – mlaznice; 6 – sabirni žlijeb; 7 – muljni ispust; 8 – odvod

Koagulisana voda se dovodi u flokulator i sistemom mlaznica jednoliko raspršuje. U flokulatoru voda struji silazno i ulazi u donji dio zone taloženja. Odavde nastavlja uzlazno strujanje prema sabirnom žlijebu, odakle se dalje odvodi.

Mulj se skuplja na dnu konusnog dijela i povremeno ispušta. Radi osiguranja gravitacionog dizanja mulja prema muljnom ispustu, preporučuje se izvođenje konusnog dijela pod uglom 50 do 55°.

Srednja (uzlazna) brzina vode u taložniku, obično se kreće u granicama  $5\div 6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Ova brzina osigurava taloženje svih čestica s brzinom taloženja koje je veća od srednje uzlazne brzine ( $v_t > v_u$ ).

Površina zone taloženja  $A_s$  računa se kao :

$$A_s = \frac{Q}{v_u}$$

Visina zone taloženja,  $H_s$ , pretežno se uzima 4 do 5 m, a odnos prečnika taložnika,  $D_s$ , i visinezone taloženja,  $H_s$ ,  $D_s/H_s$  je obično  $\geq 1,5$ .

Vertikalni taložnici se uglavnom primjenjuju kod uređaja kapaciteta do  $30.000\text{m}^3/\text{dan}$ .

### Specijalni taložnici

Specijalni tipovi taložnika odnose se prije svega nacijevne i pločaste (lamelirane) taložnike i taložnike sa lebdećim muljem.

Cijevni i pločasti taložnici su nastali kao rezultat želje da se efekat taloženja što više približi teorijskim proračunima odnosno, da se vrijeme zadržavanja vode u taložniku, kao najduže u odnosu na sve druge faze prečišćavanja, što više skрати. Naravno, pri tom sami efekti taloženja ne smiju biti ugroženi.

Ovi taložnici se uglavnom grade kao bazeni, u koje se u vidu snopa, pod određenim uglom prema horizontali, ugrađuje sistem cijevi različitog oblika profila (okruglog, pravougaonog) ili sistem paralelnih ploča (lamela). Uobičajena dimenzija profila cijevi, odnosno međusobnog razmaka lamela, iznosi  $5\div 7$  cm.

Kroz ugrađene cijevi ili ploče uzlazno protiče voda opterećena lebdećim česticama i na tom se putu oslobađa znatnog dijela suspenzije za znatno kraće vrijeme u odnosu na tradicionalne taložnike. U ovim taložnicima se postiže i bolji odnos hidrauličkih parametara. Reynoldsov broj ima vrijednosti koje osiguravaju laminarno tečenje, a Frudov broj se kreće u granicama kod kojih je upotpunosti osigurana stabilnost tečenja.

Pločasti separatori mogu biti korišćeni i za odvajanje lakših kontaminirajućih materija kao što su ulje iz vode. Vrijeme odvajanja kod pločastih separatora je mnogo kraće nego kod konvencionalnih rezervoara.

### **Filtracija**

Filtracija je proces koji se u prečišćavanju vode za piće vode koristi za uklanjanje nerastvorenih materija. Filtracija se ostvaruje prolaskom vode kroz sloj granuliranog materijala postavljenog na propusnu podlogu. Uz odgovarajući izbor filterske ispune, brzinu filtracije, prisustvo dnevne svjetlosti i sl., tokom filtracije mogu se odigravati i neki drugi procesi, kao što su biološka oksidacija amonijaka, katalitičko uklanjanje mangana, sorpcija teških metala, rastvaranje organskih materija, kao i zadržavanje bakterija i virusa.

#### Tehnika filtracije

Tehnike filtracije se dijele na filtraciju koje se odvija u kontrolisanim uslovima i filtraciju koja se odvija u prirodnim uslovima. Filtracija pod kontrolisanim uslovima čine spora, brza i mikrofiltracija, a u prirodnim uslovima obalna infiltracija i korišćenje infiltracionih bazena.

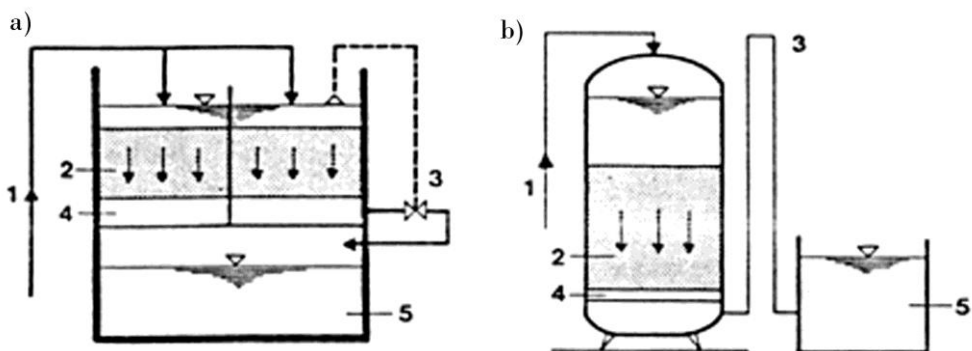
Različiti vidovi filtracije se međusobno razlikuju po smjeru kretanja vode kroz filterski sloj, brzini kretanja vode, sastavu filterske ispune, brzini filtracije i načinu ostvarivanja pogonske sile za filtracija.

Filtracija vode u kontrolisanim uslovima izvodi se u sporim filterima, brzim gravitacionim filterima i u filterima pod pritiskom. Filterska jedinica, u svim ovim slučajevima, sastoji se od objekta izgrađenog od betona ili čelika na čijem se dnu nalazi drenažni sistem preko kojeg se sakuplja filtrirana voda i odvodi van filterske jedinice. Isti drenažni sistem koristi se i za pranje filtera sa kretanjem vode za pranje odozdo na gore.

Filterska ispuna se postavlja na perforiranu podlogu direktno ili preko nosećeg sloja. Iznad ispune nalazi se prostor za vodu koja se filtrira. Kod gravitacione filtracije primjenjene u sporim i brzim filterima pogonska sila filtracije je razlika pritisaka koja se ostvaruje visinom vodenog stuba od nivoa vode u filteru do ose cijevi drenažnog sistema. Kod filtera pod pritiskom, u vidu zatvorenih sudova, pogonska sila se ostvaruje pritiskom koji obezbjeđuju pumpe. Sastavni elementi filterske jedinice su dovodne i odvodne cijevi ili kanali sa zatvaračima, kao i oprema za upravljanje radom filtera.

Mikrofiltracija je operacija propuštanja vode kroz sita i mikrosita izrađena od nerđajućeg čelika. Na površini mikrofiltera formira se tanak sloj nečistoće koji ima veliku efikasnost filtracije, i u stanju je da

zadrži suspendovane materije koje su po veličini manje nego otvori na filterskom medijumu.



Slika A 3.15 Šematski prikaz kontrolisane (brze) filtracije: a) otvoreni filter; b) filter pod pritiskom; 1 - dovod sirove vode; 2 - filterska ispuna; 3 - zatvarač (sifon); 4 - drenažni sistem; 5 - rezervoar čiste vode

Ako postoje povoljni hidrogeološki uslovi (koeficijent filtracije, koeficijent provodljivosti i sl.) zahvatanje sirove vode može se obaviti i putem tzv. infiltracionih vodozahvata koji se postavljaju uz obalu rijeke ili uz vještački formiran infiltracioni kanal, bazen ili bunar. Prirodna hidrogeološka sredina služi za prečišćavanje infiltrirane površinske vode, koja može prije infiltracije da bude prethodno tretirana (aeracija, dezinfekcija i sl.) ako za to ima potrebe. Voda zahvaćena na ovakav način, putem infiltracionih vodozahvata, skoro potpuno je oslobođena suspendovanih materija, i znatno joj je povišen opšti zdravstveni kvalitet.

### Spori filteri

Spori filteri se koriste za bistrenje vode koja nije prethodno hemijski tretirana. Ovim filterima može se postići sledeće:

- mehaničko zadržavanje čestica, koje su krupnije od međusobnog rastojanja zrnaca filterske ispune (efekat sita);
- taloženje i aglomeracija čestica u međuprostorima filterske ispune (efekat taložnika);
- elektrostatičke promjene usled kontakta suprotno nabijenih jona (elektrostatički efekat), što čini hemijske promjene na tretiranoj vodi;
- obezbjeđena aktivnost mikroorganizama koji žive na filterskoj ispuni i u njenoj unutrašnjosti (biološki efekat).



Brzina filtracije kod sporih filtera kreće se u opsegu 0,1÷0,4 m/h ( $\approx 2\div 10$  m/d).

Za jako zagađene vode uzima se brzina od 2 m/d, a za relativno čiste vode 10 m/d. Prostor iznad ispune dimenzioniše se tako da obezbijedi zadržavanje vode 3 - 15 časova, kako bi došlo do taloženja krupnijih čestica, ali i spajanja sitnijih. Pri dnevnom svijetlu razvijaju se alge koje za svoju ishranu troše ugljen-dioksid, nitrata i fosfata iz vode, i obogaćuju istu sa rastvorenim kiseonikom. Na površini ispune u sloju debljine 10÷12 m obrazuje se tanka biološka opna, od pretežno organskog materijala sa sadržajem algi, protozoa, bakterija i drugih živih organizama koji učestvuju u prečišćavanju vode uklanjanjem amonijaka, fenola, deterdženata, bakterija i boje. Zadržavanje nerastvorenih materija obavlja se u ovom površinskom sloju.

Sa sirovom vodom male mutnoće spori filter može da radi više nedjelja i mjeseci, a da ne izgubi mnogo na efikasnosti i kapacitetu. U zavisnosti od mutnoće vode čišćenje filtera vrši se svakih 30÷60 dana. Ono se vrši skidanjem gornjeg sloja pijeska debljine 1÷2 cm. Za optimalan rad sporih filtera tretirana voda bi trebalo da sadrži suspendovane materije u količini koja odgovara mutnoći 2÷5 NTU, odnosno 51÷10 mg/l SiO<sub>2</sub>. Veće mutnoće od ovih moraju se prethodno ukloniti nekim od procesa taloženja, poslije čega se voda propušta kroz mikrosita.

Spori filteri zbog malog opterećenja koje primaju zauzimaju velike površine. Zato su početni troškovi i do dva puta veći od brzih filtera. Gubitak pritiska kroz čist filter iznosi 15÷20 cm. Kad ovaj gubitak u toku rada dostigne vrednost oko 1.5 m, znak je da se filter zaprljao i da ga treba očistiti.

Krupnoća pijeska i njegova granulacija moraju biti unutar izvjesnih granica, kako bi se postigao pravilan odnos između efikasnosti filtracije i hidrauličkih karakteristika filtera. Efektivni prečnik pijeska ( $d_{ef}$ ) ili tzv. 10%-tna krupnoća treba da se kreće između 0,25 i 0,35mm. To znači, da do 10% po težini, ukupne količine pijeska može proći kroz sito sa otvorima rupica od 0,35 mm u prečniku. Ako prečnik otvora sita kroz koji može da prode 60% po težini pijeska označimo sa  $d_{60}$ , onda se odnos  $d_{60}/d_{ef} = K$  naziva koeficijent uniformnosti, koji za dati slučaj treba da se kreće u granicama 2,5÷3,5. Debljina sloja pijeska kreće se od 60÷120 cm. On leži na sloju šljunka 30÷45 cm. Prečnik šljunka varira od oko 5 cm na dnu, do oko 4 mm ili manje na vrhu. Šljunak se najčešće postavlja u šest slojeva, svaki debljine

5÷7,5 cm debljine. Sloj vode iznad pijeska iznosi 100÷150 cm. Površina filtera zavisi od potrebne dnevne količine vode i brzine filtracije i određuje se po formuli:

$$A = Q/v$$

gdje je:

Q - maksimalna dnevna količina vode (m<sup>3</sup>/d),

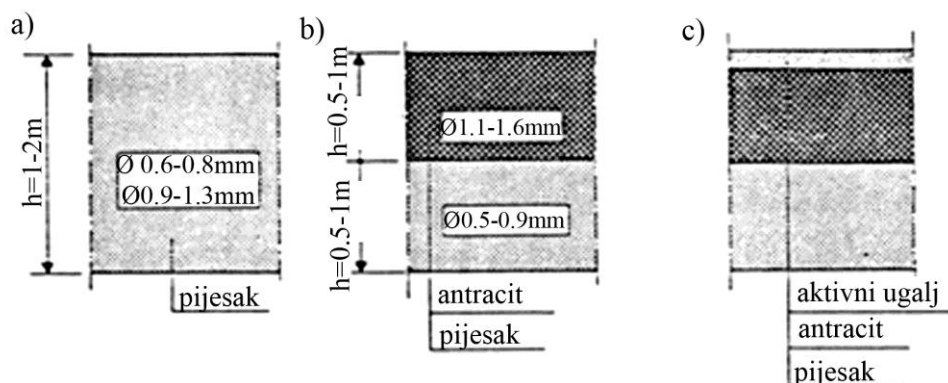
V - brzina filtracije (m/d).

Objekti sporih filtera se grade od armiranog betona sa pravougaonom ili okruglom osnovom. Objekat filtera koji je ispunjen filterskim ispunom punimo čistom vodom, odozdo prema gore, radi eliminisanja vazduha. Nakon toga, sirovu vodu dovodimo na filter i filtriramo odozgo prema dolje. Dok filter ne dostigne dovoljnu debljinu, prve količine filtrirane vode moraju se odvesti, posebnim cjevovodom, u kanalizaciju. Obično se prave najmanje dva filterska polja.

### Brzi filteri

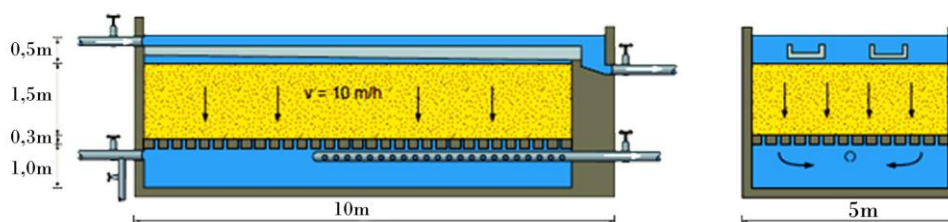
Sam naziv brzi filter potiče od brzine filtracije koja je oko 40 puta veća nego kod sporih filtera. Ona se kreće 4÷15 m/h (≈100÷360 m/d). U prosjeku, ova se brzina uzima oko 5m/h. Filterska ispuna je inače krupnija nego kod sporih filtera. Razlikujemo brze otvorene filtere i filtere pod pritiskom. Efektivni prečnik ( $d_{ef}$ ) kreće se u granicama 0,35÷0,60 mm, a koeficijent uniformnosti (K) 1,60÷1,70.

Kod procesa brze filtracije zadržavanje vode iznad ispune je 10÷20 minuta, a u samoj ispuni 5÷10 minuta. „Sazrijevanje filtera“ se postiže za 20÷30 minuta. Osnovni proces je je proces mehaničkog zadržavanja nerastvorenih čestica koje prodiru u veću dubinu ispune. Zato se voda prije brze filtracije mora dobro hemijski pripremiti (koagulisati). Filterska ispuna postavlja se u armirano-betonske rezervoare. Ispod filterske ispune leži perforirano dno sa drenažnim sistemom. U procesu filtracije voda prolazi kroz filter, prema drenažnom sistemu pod atmosferskim pritiskom. Pranje filtera se odvija odozdo prema gore. Filterska ispuna može biti jednoslojna, dvoslojna i troslojna.



Slika A 3.16 Vrste filterskih ispuna kod brzih filtera: a) jednoslojna; b) dvoslojna; c) troslojna

Kod jednoslojne ispune raspored zrna po granulaciji je takav da su na vrhu ispune sitnije čestice, a idući ka dnu ispune čestice su sve krupnije i krupnije. Ovakav raspored granulacija čini da je gornji sloj ispune manje porozan, pa se zato u prvih 10÷20 cm ispune praktično odvija proces filtracije, tj. zadržavanje suspendovanih čestica. Preostali donji sloj ispune gotovo da nema uticaja na rad filtera. Zato se ova filtracija naziva „površinska filtracija“. Za ovakve filterske ispune karakteristične su brzine filtracije 4÷7 m/h, kao i česta potreba za pranjem.

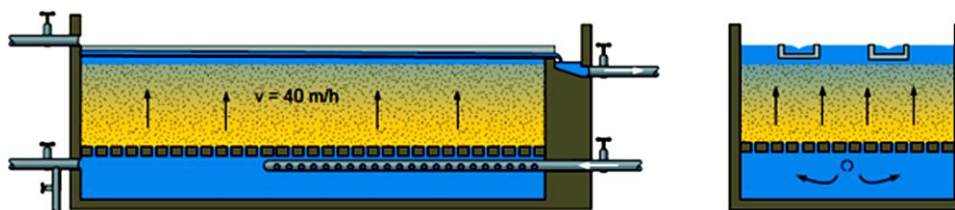


Slika A 3.17 Presjeci filterske ispune kod brzog (rapid) filtra

Prosječno vrijeme između dva pranja filtera je 30÷40 h. Trajanje filtracije znatno se skraćuje u prisustvu veće koncentracije suspendovanih čestica, kao i pri radu sa brzinama filtriranja većim od 4 m/h. Da bi se pri filtriranju omogućilo angažovanje ispune više po dubini, uvedena je dvoslojna filterska ispuna koja se sastoji od gornjeg sloja sa zrnima veće krupnoće, i to od materijala koji ima manju specifičnu težinu od donjeg sloja. Drugi, donji sloj filterske ispune ima veličinu zrna manju od gornjeg sloja. U slučaju ovakve dvoslojne filterske ispune nečistoće prodiru u veću dubinu jer je ona sada poroznija, a donji sloj ispune, manje porozan, služi kao sigurnosni sloj za zadržavanje čestica koje eventualno prođu kroz gornji ređi sloj. To je sada slučaj „filtracije po masi“. Ovakve dvoslojne ispune, odnosno dvoslojni filteri, najčešće sa antracitom i pijeskom, imaju prednosti u odnosu na filtere sa samo jednim slojem. Te prednosti se ogledaju u tome što imaju veću brzinu filtracije, koja se normalno kreće u granicama 7÷15 m/h, bolji ili jednak kvalitet filtrata i duži vremenski period između dva pranja.

### Pranje brzih filtera

Pranje filtera je jedna od najvažnijih operacija pri primjeni brzih pješčanih filtera. Nerastvorene i koloidne materije se zadržavaju u prostoru između čestica filterske ispune smanjujući slobodni prostor za prolaz vode. To dovodi do povećanja otpora filtracije koji se odražava povećanjem pada pritiska u filterskoj ispuni, i opadanjem brzine filtracije u odnosu na početno stanje. Takođe, zbog smanjenja slobodnog prostora u filterskoj ispuni dolazi do povećanja brzine prolaska vode kroz ispunu. Ovaj porast brzine izaziva prodiranje suspendovanih materija u veće dubine ispune, kao i pokretanje, ka dnu, već izdvojenih nerastvorenih čestica. Pri postizanju određenog pada pritiska pristupa se pranju filtera.



Slika A 3.18 Šematski prikaz procesa pranja filtra povratnim tokom vode odozdo

Pranjem filtera se ustvari filterska ispuna želi dovesti u početno stanje. Za pranje se koristi voda i vazduh. Intenzitet pranja treba da je takav da se postigne 30÷50% ekspanzije filterske ispune. Time se stvara mogućnost da se nečistoće izdvojene u ispuni odnesu u odvod zajedno sa vodom od pranja. Intenzitet pranja zavisi od vrste i granulacije filterskog materijala. Što je intenzivniji protok vode i vazduha efikasnije je pranje filtera, pod uslovom da se ne prekorači granica protoka kojom se ispuna iznosi iz filtera. U cilju uštede u vodi, potrebno je za svaku vrstu ispune odrediti optimalne uslove pranja. Dužina pranja od 20 minuta daje najveće efekte na uklanjanju nečistoća iz filtera (obično se kreće 5÷10 minuta).



*Slika A 3.19 Faze filtracije i pranja filtra sa vodom i vazduhom  
1.Filtracija, 2.Pranje filtera vodom, 3.Pranje filtera vodom i vazduhom*

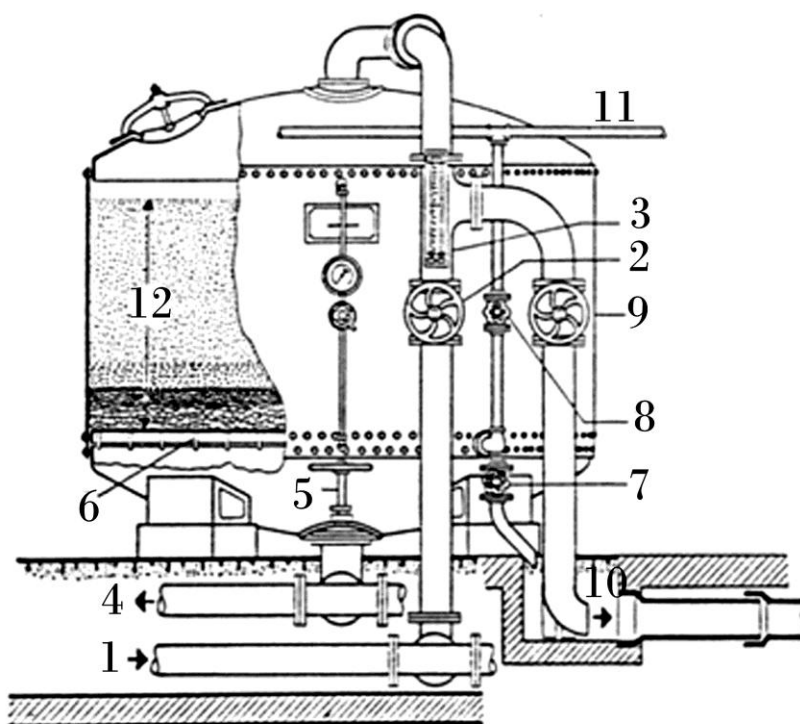
Kanali za odvođenje vode od pranja postavljaju se iznad filterske ispune dovoljno visoko kako bi se spriječila mogućnost da i najmanja količina pijeska bude izbačena preko ovih kanala u kanalizaciju

Pranje filtera vrši se jednom do dva puta dnevno (što zavisi od efikasnosti taloženja). Brzina kretanja vode obrnutog toka za pranje filtera iznosi 35÷40 m/h. Količina vode za ovu svrhu kreće se od 1÷4% ukupne količine profiltrirane vode, a potrošnja vode po 1m filterske površine iznosi oko 650 l/min. Brzina kretanja vode pri pranju filtera, da bi se postigla potrebna ekspanzija, zavisi uglavnom od krupnoće pijeska i temperature vode. Naime, u ljetnjim mjesecima zahtjeva se veća brzina kretanja vode nego u zimskim i ljeti ona obično iznosi 50÷60 m/h. U cilju poboljšanja pranja filtera, pored pranja obrnutim tokom vode i vazduhom, primjenjuje se i tzv.površinsko pranje filtera. Ono se sastoji iz sistema perforiranih cijevi, postavljenih neposredno iznad površine filterske ispune, kroz koje voda ističe velikom brzinom razbijajući na taj način nataloženi materijal na gornjoj površini

filterskog sloja, čime se u velikoj mjeri potpomaže normalno pranje filtera.

### Brzi filteri pod pritiskom

Ovi filteri su zatvorene čelične posude (cilindri) sa precizno raspoređenim kvarcnim pijeskom iznad drenažnog sistema koji je ugrađen na dnu cilindra. Voda koja se filtrira ulazi u filter na gornjem delu cilindra, prolazi kroz filterski sloj i kroz drenažni sistem izlazi iz filtera.



Slika A 3.20 Vertikalni filter pod pritiskom: 1 - dovod sirove (koagulisane) vode; 2 - zatvarač na dovodu vode; 3 - indikator protoka; 4 - odvod filtrirane vode; 5 - zatvarač na odvodu filtrirane vode; 6 - mlaznice; 7 - zatvarač na ispustu; 8 - zatvarač na dovodu vazduha; 9 - zatvarač na odvodu od pranja; 10 - odvod od pranja; 11 - dovod vazduha; 12 - sloj vode i filterska ispuna

Rad ovog filtera je sličan radu gravitacionog filtera, s tom razlikom što se koagulirana voda dovodi najčešće direktno na filtersku ispunu (bez prethodnog mješanja, flokulacije i taloženja). Gubitak pritiska kroz ovu vrstu filtera je približno isti kao i kod gravitacionih.

Pranje filtera se i ovdje vrši obrnutim tokom vode. Nakupljeni materijal na gornjoj površini filtera se tom prilikom ispira i sa vodom odvodi u kanalizaciju. Pored pranja obrnutim tokom vode, u cilju boljeg ispiranja, neki filteri pod pritiskom imaju na gornjem dijelu filtera ugrađene specijalne rotirajuće brizgaljke koje pod pritiskom razbijaju nataloženi materijal i time potpomažu da se filter brže i bolje očisti. Pranje filtera može se obaviti i duvanjem vazduha odozdo na gore. U tom slučaju je pritisak vazduha oko 2 bar.

Filteri pod pritiskom mogu biti vertikalni i horizontalni. Vertikalni su ograničenog prečnika (0,3÷3m), pa se za veće kapacitete koriste horizontalni (prečnika oko 2,5 m sa dužinom cilindra 3÷7 m, pa i više), iako nijesu najekonomičniji u odnosu na iskorišćenje zapremine. Filteri pod pritiskom se najčešće upotrebljavaju kada se sirova voda dovodi pod pritiskom i na tretman, a u cilju korišćenja jednog pumpnog agregata. Isto tako, primjenjuju se za manje količine vode gdje visoka cijena brzih gravitacionih filtera nije opravdana, kao i u kombinaciji sa drugim tipovima filtera u cilju odstranjivanja tvrdoće ili mangana, odnosno gvožđa.

Ovim filterima se najčešće uklanja mutnoća, gvožđe, mangan, ulje, organske materije, boja i bakterije. Ako se koristi neki adsorbent (aktivni uglj), onda se može odstraniti i neprijatan ukus i miris.

Pritisak za prolaz vode kroz filter formira se ili putem pumpe ili visinskim rezervoarom. Pritisci pod kojim ovi filteri rade kreću se od 1,5÷4 pa čak i 6 bar. Brzina filtracije je 100÷120 m/d. U praksi je poznat i tzv. automatski gravitacioni pješčani filter (bez zatvarača) sa sifonom koji služi za odvod vode od pranja filtera.

### **Dezinfekcija vode za piće**

U prethodnim procesima taloženja i filtracije znatno se smanjuje količina mikroorganizama u vodi, ali to još ne znači da su oni potpuno uklonjeni. Kao sledeći obavezni postupak u procesu prečišćavanja vode nameće se proces dezinfekcije vode. Tim procesom obezbeđuje se potpuno uništenje svih živih mikroorganizama u vodi kao npr. sterilizacijom, većda voda u bakteriološkom pogledu bude zdravstveno ispravna i sigurna za ljudsku upotrebu. To znači da

## A VODOVODNI SISTEMI

se dezinfekcijom mora obezbjediti eliminacije infektivnih mikroorganizama, u prvom redu intestinalnih i fekalnih vrsta bakterija.

Dezinfekcija je obično posljednji proces prilikom prečišćavanja vode, a ponekad i jedini, ali po pravilu obavezan.

Teorijske postavke na kojima se zasnivaju današnje tehnike dezinfekcije vode zasnivaju se na Čik –Votsonovoj teoriji (1908) koja, u pojednostavljenom obliku, kaže da je brzina razgradnje patogenih organizama proporcionalna njihovom broju i koncentraciji dezinfektanta:

$$\frac{dN}{dt} = k \cdot C^n \cdot N$$

ili u obliku:

$$\ln \frac{N}{N_0} = k \cdot C^n \cdot t$$

gdje je:

N – broj prisutnih patogenih organizama u vodi;

N<sub>0</sub> – broj patogenih organizama pristunih u trenutku t=0;

t – vrijeme;

k – koeficijent specifične smrtnosti;

n – koeficijent razblaživanja.

U narednoj tabeli dati su koeficijenti specifične smrtnosti za četiri grupe mikroorganizama pri upotrebi različitih dezinfekcionih sredstava.

*Tabela A 3.3 Specifična smrtnost različitih mikroorganizama [1/(mg/L·min)] kod različitih dezinfekcionih sredstava, pod pretpostavkom da je n = 1*

Dezinfekciono sredstvo	Trbušni tifus	Virusi	Spore	Ciste ameba
O <sub>3</sub>	500	5	2	0.5
ClO <sub>2</sub>	10	1.5	0.6	0.1
HOCL	20	1.0	0.05	0.005
OCL	0.2	0.02	0.0005	0.0005
NH <sub>2</sub> Cl	0.1	0.005	0.001	0.002



Iz gornje tabele se može zaključiti da je ozon ( $O_3$ ) najefikasnije dezinfekciono sredstvo za sve patogene organizme koji se mogu naći u vodi, dok  $ClO_2$  i  $HOCl$  imaju slične efekte a  $OCl$  i  $NH_2Cl$  nemaju neku posebnu efikasnost.

Dezinfekcija vode za piće može da se obavi na nekoliko načina: prokuvavanjem, primjenom UV zraka, jodiranjem, ozonizacijom, hlorinacijom, filtracijom, mješanom oksidacijom itd. Usaglašavanje najpogodnijih tehnika i činilaca za primjenu u dezinfekciji vode je podložno stalnom preispitivanju.

Dezinfekcija prokuvavanjem vode za piće obavlja se na  $100^\circ C$  u trajanju od 10 minuta. Prilikom prokuvavanja uništavaju se živi mikroorganizmi ali njihovi termostabilni toksini ne bivaju uništeni. Nakon prokuvavanja, voda ima neprijatan ukus (bljutava je). Ovoj tehnici dezinfekcije pribegava se samo u vanrednim prilikama ili u odsustvu nekog drugog, pogodnijeg načina dezinfekcije.

Primjena UV zraka pretpostavlja korišćenje ultraljubičastih zraka talasne dužine 280 nm u procesu dezinfekcije vode. Za proizvodnju ultraljubičastih zraka upotrebljavaju se kvarcne lampe. One se montiraju iznad vode koja polako teče u veoma tankom sloju debljine 5 mm. Lampe se mogu uroniti i u vodu koja u tankom sloju teče oko lampe. Voda mora biti veoma čista i bistra jer povećana koncentracija suspendovanih materija i gvožđa u vodi, kao i posledično povećana mutnoća vode ometaju dejstvo UV zraka.



Slika A 3.21 Primjer UV sterilizatora većeg protoka

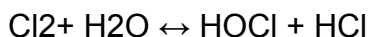
Ovaj način dezinfekcije uništava sve vegetativne oblike prisutnih mikroorganizama. Metoda je veoma skupa a preporučuje se za dezinfekciju već prečišćene vode, vode koja se koristi u industrijskim procesima kao i vode u manjim vodovodnim sistemima.

Dezinfekcija hlormi njegovim derivatima ogleda se prvenstveno u uništavanju bakterija, zatim određenih vrsta virusa i parazita, oksidaciji organske i neorganske materije, kao i otklanjanju mirisa i ukusa vode. Ovaj proces se smatra jednim od najčešće korišćenih metoda u najvećem broju država na svijetu.

Baktericidno svojstvo hlora zasniva se na razaranju enzima koji pretvaraju skrob u šećer i koji suprijeko potrebni za životpristunih mikroorganizama u vodi.

Dodavanje hlora može biti u obliku gasa ( $Cl_2$ ) ili u obliku tečnosti, kada se doziraju neka od jedinjenja hlora. Po dodavanju hlora, jedan dio se utroši na inicijalnu dezinfekciju vode u vodovodu, a drugi dio preostane u vodi koja se distribuira potrošačima. Ova preostala količina (uobičajeno se naziva "*rezidual*"), se kontroliše i održava na zadatom nivou, obično od  $0,2 \pm 0,5$  mg/l hlora. Kontrola reziduala se vrši povremenim uzimanjem uzorka vode i mjerenjem pomoću hemijskih metoda - komparatorom hlora ili pomoću uređaja za kontinuirano merenje-analizatora rezidualnog hlora.

Pri uvođenju hlora u vodu on se rastvara, obrazujući HOCl – hipohlorit i hlorovodoničnu kiselinu:



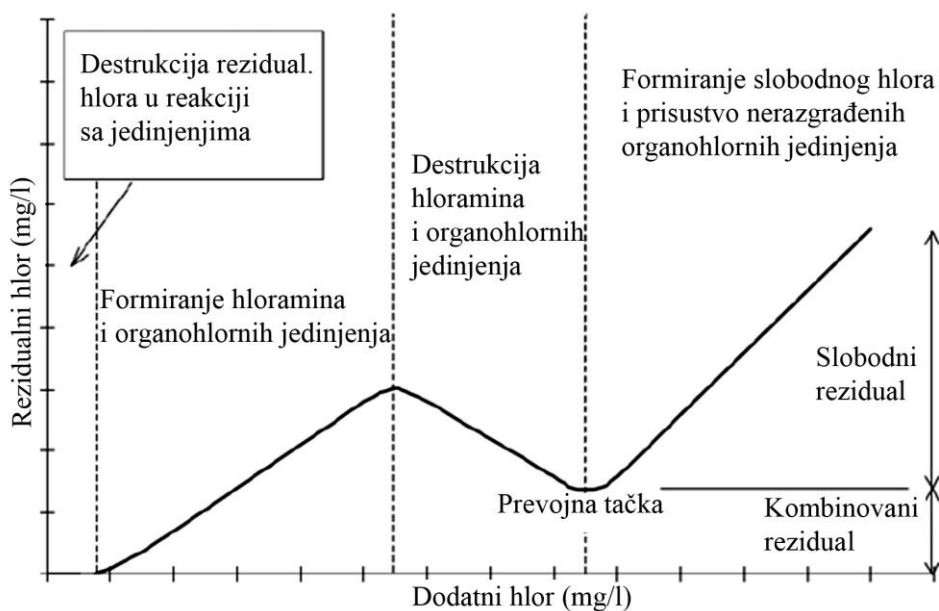
U kisjeloj sredini ravnoteža ove reakcije pomjerena je ulijevo i u vodi je prisutan slobodni hlor. Pri vrijednostima  $pH > 4$  slobodni hlor iz vode praktično nestaje. Hlor vezan u hloramine naziva se vezani hlor. Količina slobodnog hlora  $Cl_2$ , HOCl,  $OCl^-$  i hlora vezanog u hloramine naziva se aktivni hlor.

Kao efikasno sredstvo za dezinfekciju može se koristiti hlor-dioksid ( $ClO_2$ ). Za razliku od hlora, hlor-dioksid ne stvara štetna organohlorna jedinjenja. Značajna prednost hlor-dioksida u odnosu na hlor je i ta što ne reaguje sa amonijakom. Prilikom obrade vode hlor-dioksidom nisu problem organski sporedni proizvodi, ali jesu neki neorganski sporedni proizvodi: hloritni ( $ClO_2^-$ ) i hloratni ( $ClO_3^-$ ) jon, koji su potencijalno opasni po zdravlje.

U zavisnosti od sadržaja rezidualnog hlora u vodi, po isteku određenog vremena, razlikujemo:

1. Hlorisanje do probojne tačke – Kada se u vodu koja sadrži amonijak dodaje hlor i poslije svakog dodavanja određuje sadržaj rezidualnog hlora, a dobijene vrijednosti se prikazuju grafički u zavisnosti od ukupne količine dodatog hlora, dobija se karakteristična kriva prikazana na slici. Oblik krive je funkcija, odnosno posljedica načina reagovanja hlora i amonijaka, a na krivoj se uočava tačka proboja. Na krivoj se uočava prvi dio, na početku reakcije između amonijaka i hlora, kada nastaju monohloramin i dihloramini. Maksimalna vrijednost krive odgovara molskom odnosu  $\text{Cl}_2/\text{NH}_3=1$ . Dalji procesi doprinose opadanju sadržaja rezidualnog hlora zbog oksidativne razgradnje prethodno obrazovanog hloramina. Na krivoj se zatim uočava "tačka proboja", koja odgovara molskom odnosu  $\text{Cl}_2/\text{NH}_3=2$ . Daljim dodavanjem hlora iznad tačke proboja dolazi do pojave "slobodnog" hlora. Hlorisanje do tačke proboja se izvodi zbog efikasne dezinfekcije vode.

2.

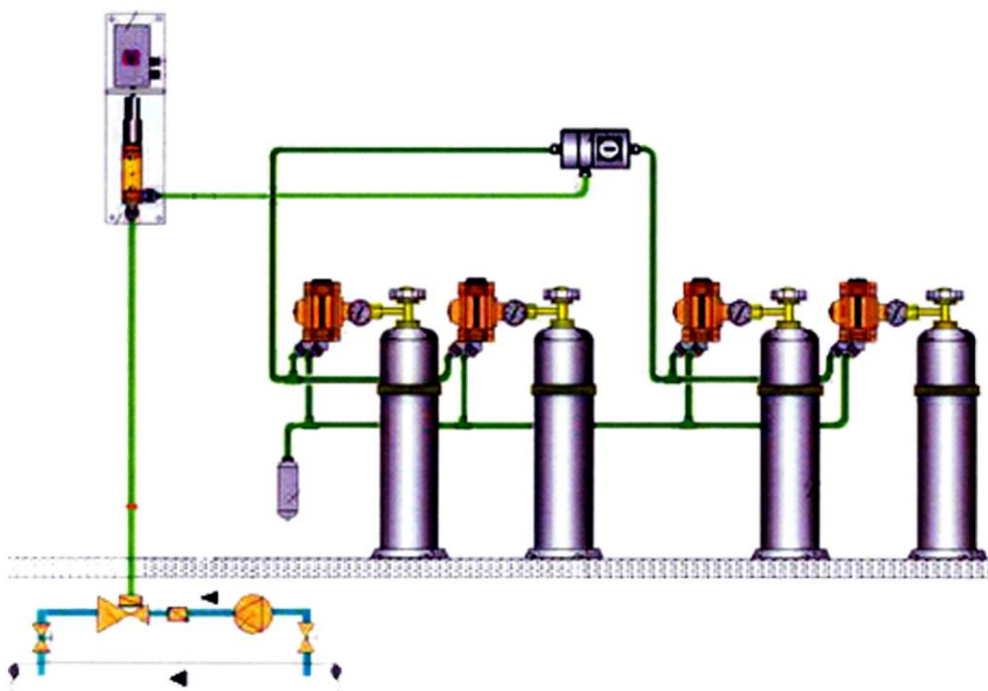


Slika A 3.22 hlorisanje vode za piće u prisustvu amonijaka so probojne tačke

3. Hlorisanje uz dobijanje slobodnog hlora - U vodama sa malom potrebom za hlorom, odnosno dezinfekcijom, relativno lako se ostvaruje postojanje slobodnog hlora u vodi. Prisustvo slobodnog hlora moguće je ostvariti i u vodama sa većom količinom zagađivača, hlorisanjem iznad probojne tačke. Održavanjem slobodnog hlora u postrojenju za pripremu vode za piće minimiziran je razvoj mikroorganizama i bioloških filmova u peščanim filtrima i taložnicima.

Hlorisanje uz dobijanje vezanog (rezidualnog) hlora - Ovaj način hlorisanja pogodan je za obezbjeđivanje naknadne dezinfekcione aktivnosti. Vezani (rezidualni) hlor u reakciji sa amonijakom u obliku hloramina je manje reaktivan od slobodnog hlora i zato može duže vremena ostati sposoban za dezinfekciju. Hlorisanje uz dobijanje vezanog hlora može se ostvariti na nekoliko načina u zavisnosti od hemijske prirode vode. Vode koje sadrže malo (ili nimalo) amonijaka zahtjevaju dodavanje i amonijaka i hlora, da bi se dobio vezani hlor, odnosno izvela hloraminacija. Ukoliko voda sadrži dovoljno amonijaka, dovoljno je jednostavno dodati hlor, odnosno izvesti hlorisanje. Ukoliko voda već sadrži slobodni hlor, on se može prevesti u vezani dodavanjem amonija.

Prema pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće propisana je maksimalna dozvoljena koncentracija hlora (ukupnog), kao dezinfekcionog sredstva, do 3 mg/l, a slobodnog (rezidualnog) hlora do 0,5mg/l. Ukoliko se pretjera sa količinom hlora koja je dodata u vodu, radi ubrzavanja procesa dezinfekcije, dolazi do pojave viška hlora. Višak hlora, iznad željene koncentracije slobodnog, rezidualnog hlora (0,2÷1,0 mg/l) može se ukloniti na različite načine. Jedan od načina je hemijskim procesom, redukcijom sa SO<sub>2</sub>, NaHSO<sub>3</sub> ili Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, propuštanjem kroz slojaktivnog uglja ili aeracijom, pri određenoj vrednosti pH.

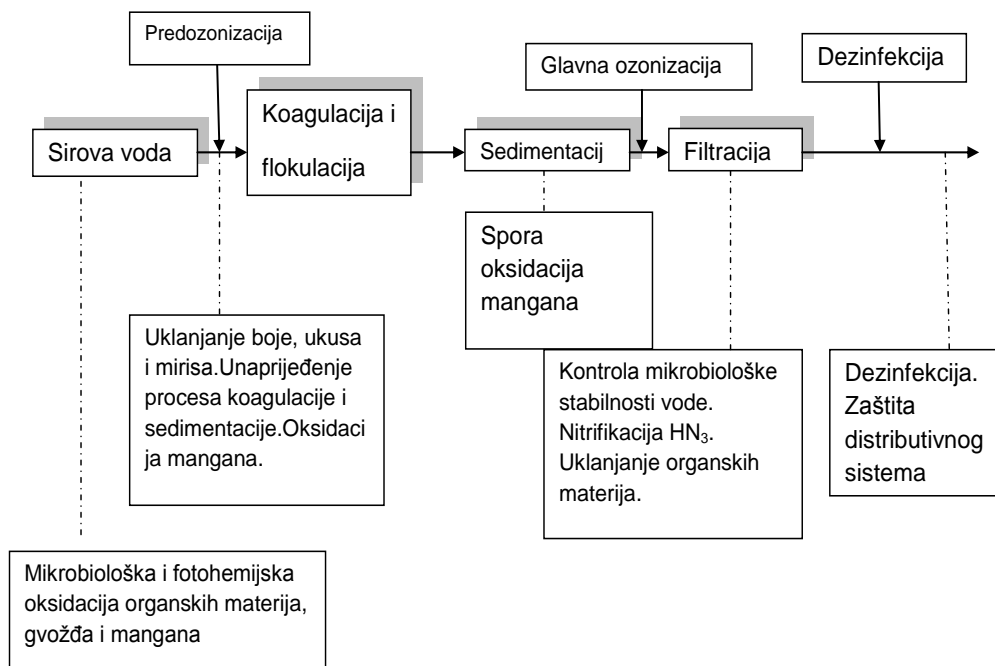


*Slika A 3.23 Tipična šema manjeg sistema za hlorisanje sa dvije linije i automatskim prekidačem*

Dezinfekcija ozonom zasniva se na propuštanju kroz vodu ozona, tj. vazduha u kojemu je kiseonik usljed električnog pražnjenja proveden u triatomski oblik –  $O_3$ .

Ozon se dobija na taj način da se struja čistog i suhog vazduha propušta između dviju elektroda sa razlikom potencijala od 10.000÷20.000 V. Zbog nepostojanosti toga oblika, ozon brzo prelazi ukiseonik –  $O_2$ , a atom kiseonika koji se pri tome oslobađa djeluje kao jaki oksidant na protoplazmu mikroorganizama, koji se nalaze u vodi i ubija ih.

Ozon je vrlo pogodan za dezinfekciju pitkih voda jer nema neugodnog mirisa ni otrovnogdjelovanja, ali su troškovi rada uređaja sa ozonom još uvijek relativno vrlo visoki i teško dostupni. Uobičajeno potrebna doza ozona za dezinfekciju čiste vode je oko 1 mg/l, a vrijeme kontakta ozona svodom iznosi oko 5 min.



Slika A3.24 Primjena ozona na postrojenju za prečišćavanje vode za piće

### Ostali dopunski procesi

Pored naprijed opisanih osnovnih metoda u procesu prečišćavanja vode za piće koriste se i još neki dopunski procesi, samostalno ili u kombinaciji sa prethodnim osnovnim metodama.

### Sorpcija

Sorpcija se primjenjuje prvenstveno da se iz vode uklone rastvorene organske materije. Ona je zasnovana na osobini nekih materija - sorbenata da na svojoj površini sakupljaju organska jedinjenja prisutna u vodi. Proces se odvija prenosom mase iz vode preko granice dodira na površinu sorbenta. Ključna osobina sorbenata je njihova velika specifična površina, koja se kreće u rasponu od  $50 \div 500 \text{ m}^2$  po 1 gramu za prirodne sorbente, pa do  $1000 \div 1500 \text{ m}^2$  po 1 gramu za vještačke, npr. aktivni ugalj. Sorpcija se rijetko primjenjuje kao osnovni ili jedini proces prečišćavanja vode. Uobičajna je njena primjena kao dopunskog procesa kojim se uklanjaju materije koje nije

bilo moguće odstraniti osnovnim procesima. Razlog tome je cijena sorbenata i njihov relativno kratak vek trajanja kada se nalaze u dodiru sa vodom koja nije prethodno obrađena. Organoleptičke osobine koje se u vodi mogu uspješno popraviti sorpcijom su: ukus, miris, boja i preterano pjenušanje. Ovim procesom uklanjaju se i neke toksične materije iz vode: pesticidi, hlor-organska jedinjenja, policiklični aromati, organski rastvarači i metali. Aktivni ugalj je sorbent koji je našao najveću primjenu u kondicioniranju vode. Karakteristika aktivnog uglja je velika specifična površina koja se postiže specijalnom termičkom obradom ugljaili nekih drugih sirovina. Aktivni ugalj se primjenjuje u dva oblika, granulama i prahu. Koji će se od ova dva oblika primjeniti zavisi od dužine perioda pojave štetnih materija u vodi. Ugalj u prahu se primjenjuje ako su to kraći periodi sa ukupnim trajanjem u toku godine - do 2 mjeseca, uključujući i sezonska i slučajna zagađenja. Granulisani aktivni ugalj se primjenjuje u slučajevima trajnog pogoršanja kvaliteta sirove vode. U zavisnosti od oblika aktivnog uglja razlikuje se i tehnika pripreme.

U praksi prečišćavanja vode za piće postoji kombinacija ozonizacija-filtriranje na granulisanom aktivnom uglju. Pozitivni efekti postupka ozonizacija-filtriranje na granulisanom aktivnom uglju odražavaju se na produženje vijeka aktivnosti granulisanog uglja između dvije regeneracije. Utvrđeno je da ako ozonizacija vode prethodi kontaktu sa aktivnim ugljem, tada se period između dvije regeneracije produžava za 2 - 4 puta. Time se postižu značajne uštede u procesu prečišćavanja.

### **Odstranjivanje gvožđa i mangana**

Gvožđe i mangan nalaze se u vodi u rastvorenom i nerastvorenom obliku. U rastvorenom obliku su u podzemnim vodama u vidu divalentnih hidrokarbonata. U površinskim vodama, za koje su karakteristične pH vrijednosti 6,5÷8,5 i prisustvo rastvorenog kiseonika, gvožđe i mangan se nalaze pretežno u nerastvorenom obliku. Prisustvo organskih materija sa tendencijom obrazovanja kompleksa, kao i ortofosfata utiče da se u površinskim vodama nađu veće količine gvožđa i mangana. U vodama akumulacija neke organske materije mogu uticati i na pojavu nerastvorenog mangana u vidu koloidnog  $MnO_2$ . Postupak odstranjivanja gvožđa i mangana, zajedno ili samo jednog od njih, ako drugi nije prisutan, zasnovan je na njihovoj oksidaciji i pretvaranju u nerastvoren oblik koji se u procesu filtriranja odvaja od vode. Način oksidacije koji se mora primjeniti zavisi od hemijskog oblika gvožđa i mangana u vodi. Gvožđe i mangan u vidu hidrokarbonata se jednostavno i efikasno

oksidisu aeracijom vode. Međutim, ako su oni vezani u komplekse ili su u vodi dispergovani u vidu nerastvorenih koloida, neophodna je primjena jačih oksidacionih sredstava. Odstranjivanje gvožđa i mangana iz podzemnih voda u kojima su ovi metali vezani u vidu hidrokarbonata obavlja se procesima kao što su: aeracija, retenzija i filtriranje. Aeracijom se iz sirove vode uklanjaju do određenog stepena slobodni  $\text{CO}_2$  i ostali rastvoreni gasovi ( $\text{H}_2\text{S}$  i  $\text{CH}_4$ ) i vrši rastvaranje kiseonika iz vazduha. Od navedenih pojava za proces prerade bitni su smanjenje koncentracije rastvorenog slobodnog  $\text{CO}_2$  i povećanje koncentracije rastvorenog kiseonika. Aeraciona polja se dimenzionišu na opterećenje  $1,5\div 2,0 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ . Poslije aeracije, a prije filtriranja, voda se zadržava u retenzionim bazenima da bi se dovršila oksidacija  $\text{Fe(II)}$  u  $\text{Fe(III)}$  i to  $90\div 95\%$ . Voda iz retenzije ide na filtriranje. Prolaskom vode kroz filtersku ispunu smanjuje se koncentracija mangana i amonijum jona. Zadržavanje mangana pripisuje se katalitičkom dejstvu sloja oksida gvožđa i mangana izdvojenog na zrnima pijeska.

Odstranjivanje gvožđa i mangana primjenom hlora i kalijum-premanganata odvija se na identičan način kao i kod aeracije. Dodavanjem samo hlora ili hlora i kalijum-permanganata ubrzava se proces oksidacije koji je započeo aeracijom vode. Primjenom ovih hemikalija povećava se efikasnost uklanjanja gvožđa i mangana.

### **Odstranjivanje amonijaka**

Prisustvo povećanih koncentracija amonijaka u sirovoj vodi otežava proces njenog prečišćavanja i to se naročito odražava na dejstvo hlora. Bilo da se vrši predhlorisanje ili završno hlorisanje u cilju dezinfekcije vode, potrošnja hlora se znatno povećava u prisustvu amonijaka. Štetnost prisustva amonijaka u prečišćenoj vodi koja se šalje potrošačima ogleda se u tome što je moguć razvoj bakterija u cjevovodima i rezervoarima. Može doći i do pojave mutnoće, neprijatnog mirisa, korozije cjevovoda, povećanja sadržaja bakterija u vodi, smanjenja sadržaja rastvorenog kiseonika i moguće pojave nitrita - veoma otrovnog jedinjenja.

Amonijak se može iz vode odstraniti jedan od sledećih načina: aeracijom, elektrodijalizom, jonskom izmjenom, oksidacijom sa hlorom i biološkom nitrifikacijom. Postupci sa aeracijom, elektrodijalizom i jonskom izmjenom nisu pogodni za primjenu u prečišćavanju vode za piće. Hlorisanjem vode koja sadrži amonijum-soli u koncentracijama većim od  $0,1 \text{ mg/l}$  dolazi do prelaska amonijaka u hloramine, odnosno u elementarni azot. U kojem stepenu će se obrazovati pojedini od ovih



produkata, kao i slobodni aktivni hlor, zavisi od pH vrijednosti vode, temperature, doze hlora kao i hemijske vrste u kojoj je amonijak (belančevine ili amonijum-soli). To je spora reakcija i da bi se potpuno završila potrebno je vrijeme 0,5÷2 sata, u zavisnosti od pH vrijednosti i temperature vode.

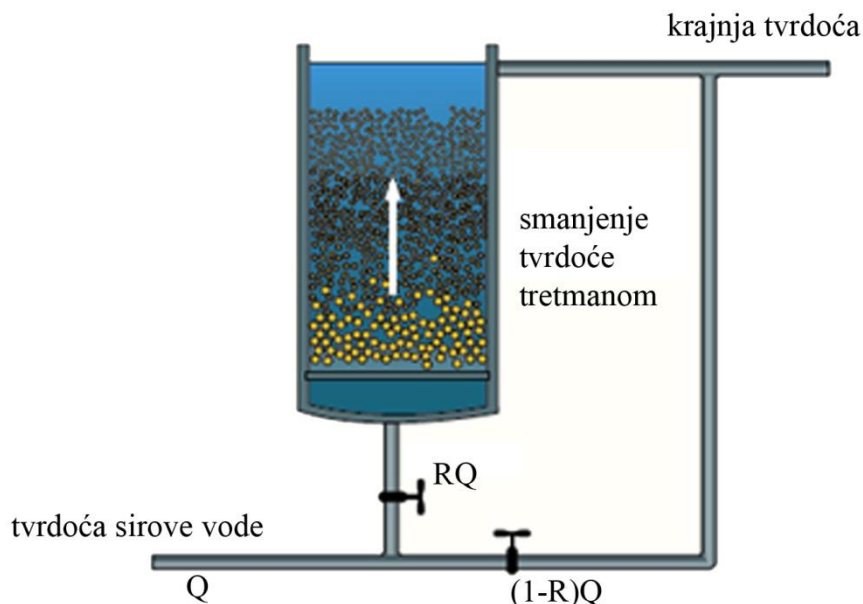
Biološkom nitrifikacijom uz pomoć autotrofnih bakterija amonijak se pretvara u nitrate. Proces se odvija u dvije faze. U prvoj se soli amonijaka oksidišu putem bakterija nitrosomonas u nitrite. U drugoj fazi se obrazovani nitriti pretvaraju u nitrate. Proces se odvija preko bakterija tipa nitrobakter, koje su osjetljive na pH vrijednost sredine i na sadržaj nekih hemijskih jedinjenja. Za oksidaciju 1 mg amonijaka utroši se 4,5 mg kiseonika.

U postrojenju za prečišćavanje vode biološka oksidacija se vrši u filterskoj ispuni. Materijal ispune je pijesak, antracit ili granulirani aktivni ugalj. Prilikom puštanja novog postrojenja u rad potrebno je određeno vrijeme da se filterska ispuna naseli bakterijama i da filteri postanu aktivni u uklanjanju amonijaka. Treba pomenuti da se ovaj proces biološke oksidacije već odvija u prvom stepenu filtriranja, ali sa nedovoljnom efikasnošću. Proces sa kombinovanom biološkom i hemijskom oksidacijom amonijaka je fleksibilan i najpouzdaniji. Osnovna karakteristika ove alternative je da se voda prvo biološkim postupkom prečisti od amonijaka do najvećeg mogućeg stepena, a ostatak amonijaka se hemijski oksidiše.

### **Omekšavanje**

Omekšavanje je proces smanjenja sadržaja soli kalcijuma i magnezijuma u vodi. Osnovni cilj omekšavanja vode za piće je zaštita kućnih instalacija tople i hladne vode od kamenca. Za omekšavanje se koristi reagensni metod sa kalcijum hidroksidom i natrijum karbonatom, kao i jonski izmjenjivači.

Reagensni metod omekšavanja - za uklanjanje kalcijuma i magnezijuma vezanih u vidu hidro-karbonata, koji čine karbonatnu tvrdoću, primjenjuje se kalcijum-hidroksid. Reakcije koje se odvijaju zavise od doze kalcijum-hidroksida kojima se postiže određena pH vrijednost vode. Primjenom natrijum-karbonata uklanja se kalcijum vezan u vidu hlorida ili sulfata koji čine nekarbonatnu tvrdoću vode. Postupci omekšavanja vode obavljaju se u objektima identičnim onim za bistrenje vode: brzo miješanje, flokulacija i taloženje.



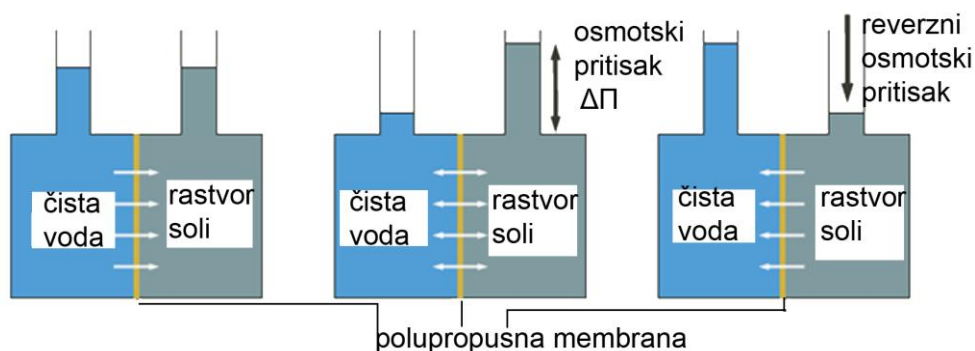
*Slika A 3.25 Omekšavanje vode tzv. „split tretmanom“. Dio vode ide na tretman gdje se tvrdoća jako smanjuje a dio vode prolazi bez tretmana. Nakon miješanja tretirane i netretirane vode dobija se krajnja, zadovoljavajuća tvrdoća vode*

Omekšavanje vode jonskim izmjenjivačima bazira se na njihovom svojstvu da vrše izmjenu svojih pokretnih katjona ili anjona u kontaktu s vodom, sa katjonima ili anjonima iz vode. Izmjenjivačka masa ima određeni kapacitet koji se, posle iscrpljenja, može povratiti regeneracijom. Kapacitet se izražava u gramima jona koji se uklanjaju iz vode po jedinici zapremine izmjenjivačke mase. Jonskom izmenom iz vode se mogu odstraniti samo elektroliti, tj. materije koje se u vodi elektrostatičkom disocijacijom razlažu na jone. Nejonizovane materije, kao što su koloidne i suspendovane čestice, ulja i druge organske materije ne mogu se iz vode udaljiti jonskom izmenom, ali se u izmjenjivačkoj masi mogu mehanički zadržati i iz nje teško ukloniti. Takva izmjenjivačka masa, ispunjena pomenutim nečistoćama gubi efikasnost i propada. Zbog toga se voda mora prije jonske izmjene osloboditi ovih materija (taloženjem sa ili bez hemijske pripreme i filtriranjem). Jonski izmjenjivači najviše se koriste za pripremu tehnološke vode i kao jedan od načina demineralizacije morske vode.

### **Membranski procesi**

Membranski procesi, ultrafiltriranje i reverzna osmoza, sve više se primenjuju za separaciju i odvajanje organskih i neorganskih supstanci iz vode. Reverzna osmoza se uglavnom primjenjivala kod desalinacije morske vode za potrebe naselja i gradova, ali se sve više proširuje i na tretman vode u medicinske i farmaceutske svrhe. Osnovna komponenta u tom procesu je polupropustljiva membrana na čijoj površini se dešavaju sve promjene. Pod dejstvom pritiska kroz nju prolazi produkt, čista voda, a koncentrovani rastvor komponenata smeše ostaje. Od kvaliteta membrane i radnog pritiska postrojenja zavisi stepen prečišćavanja vode, kapacitet, ekonomičnost i namena postrojenja. Osnovni problemi koji se javljaju pri projektovanju i konstrukciji reverzno-osmotskih postrojenja jesu obezbeđenje membrana koje treba da izdrže visoke razlike pritisaka (do 16 bara) i zadrže odgovarajuću propustljivost, kao i odgovarajući kvalitet reverzno-osmotskog modula u pogledu hermetičnosti i dugotrajnosti u radu. Glavna prednost reverzno-osmotskog postrojenja nad postrojenjima sa adsorpcionim i jonoizmenjivačkim materijalima je njegova trajnost u radu, bez regeneracije ili zamjene modula sa membranama.

Karakteristično je i za reverznu osmozu i za ultrafiltriranje da se voda mora prethodno izbistriti korišćenjem konvencionalnih postupaka koagulacije, taloženja i filtriranja. Pod pojmom reverzne osmoze, danas se u praksi, uglavnom podrazumevaju oni procesi separacije rastvora kod kojih, pod dejstvom spoljnog hidrostatickog pritiska, većeg od ravnotežnog osmotskog pritiska rastvora, dolazi do iznuđenog proticanja rastvarača u pravcu rastvor - čist rastvarač, kroz polupropustljivu membranu, kojom su rastvor i čist rastvarač fizički razdvojeni. Smjer ovog proticanja suprotan je (tj. reverzan) smjeru proticanja rastvarača koji bi se pod istim uslovima, samo bez spoljašnjeg hidrostatickog pritiska, tj. spontano, ostvario kod klasične osmoze: sa mjesta višeg ka mjestu nižeg hemijskog potencijala, tj. u pravcu rastvarač - rastvor, pa je na osnovu ove izrazito uočljive razlike i izveden, danas već odomaćen, naziv ovog procesa - „reverzna osmoza“.



*Slika A 3.26 Princip rada postrojenja reverzne osmoze na primjeru desalinacije morske vode*

Reverzna osmoza se primjenjuje u predtretmanu polazne vode, u sistemima kod kojih se voda u finalnom postupku dobija procesom destilacije, ali se može primjeniti i u finalnom postupku za dobijanje vode za infuzione rastvore. Na kvalitet vode dobijen postupkom reverzne osmoze utiče pre svega vrsta materijala od koga su izrađene membrane u pogledu osjetljivosti na prisustvo bakterija i kompatibilnost sa sredstvima za sterilizaciju, kontaminacija membrane mehaničkim i organskim materijalom, kapacitet i očuvanje integriteta membrane, kao i volumen otpadne vode.

## A 4 VODOVODNI SISTEMI-PRIMJERI

**Zadatak A1.** Prema podacima popisa stanovništva broj stanovnika u jednom naselju u aprilu 1998. godine iznosi 113.000, a u aprilu 2008. godine iznosi 129.000. Izračunati koliki će broj stanovnika biti u januaru 2017. godine koristeći:

- aritmetički metod;
- metod konstantnog porasta;
- opadajući metod rasta.

**Rješenje:**

- Aritmetički metod

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 10 \text{ godina}$$

$$Ka = \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1} = \frac{129000 - 113000}{10} = 1600$$

Predviđanja za januar 2018. god.:

$$t = 8.75 \text{ god}$$

$$N_t = N_2 + Ka \cdot t = 129000 + 1600 \cdot 8.75 = 143000 \text{ st}$$

- Metoda konstantnog porasta

$$Kp = \frac{\ln p_2 - \ln p_1}{t_2 - t_1} = \frac{\ln 129000 - \ln 113000}{10} = 0.013243$$

$$\ln Nt = \ln N_2 + Kp(t - t_2) = \ln 129000 + 0.013243 \cdot 8.75 = 11.8834$$

$$Nt = 144800 \text{ st}$$

- Opadajući metod rasta

pretpostavka:

$$Npr = 200000$$

$$Kmp = -\frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{Npr - N_2}{Npr - N_1} = -\frac{1}{10} \ln \frac{200000 - 129000}{200000 - 113000} = 0.02032$$

$$\begin{aligned}
 Nt &= No + (Npr - No)(1 - e^{-K_{mp}t}) \\
 &= 129000 + (200000 - 129000)(1 - e^{-0.02032 \times 8.75}) \\
 &= 129000 + 71000 \cdot 0.163 \\
 &= 140600_{st}
 \end{aligned}$$

**Zadatak A2.** U naselju koje broji 80.000 stanovnika, specifična potrošnja vode je 180 l/st.dan (uključujući gubitke). Izračunati potrošnju za period od 20 godina, ako je godišnji prirast broja stanovnika  $p=2\%$ . Zadatak uraditi koristeći linearnu i eksponencijalnu metodu.

**Rješenje:**

Prosječna potrošnja iznosi:  $Q_{sr} = 80000 \cdot 180 \cdot 365 / 1000 = 5256 \text{ m}^3 / \text{god}$

Koristeći linearni model, potrošnja nakon 20 godina iznosiće:

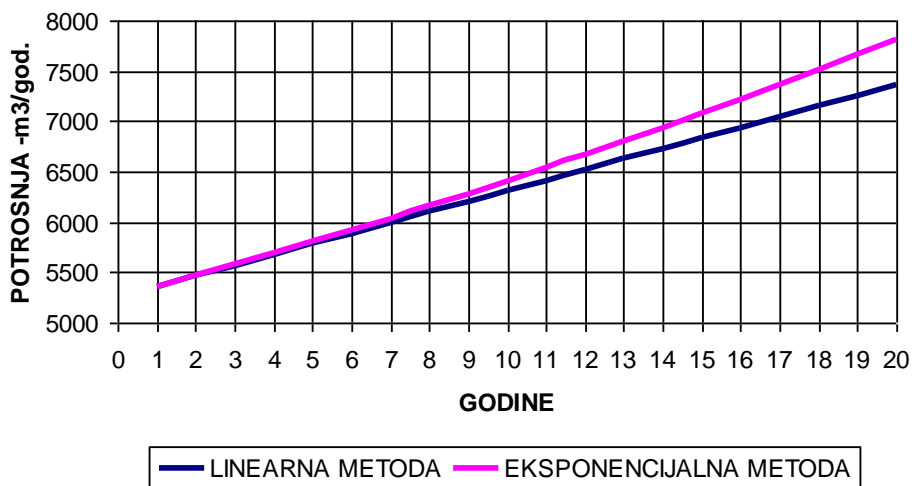
$$Q_{20} = 5256 \left( 1 + 20 \cdot \frac{2.0}{100} \right) = 7358,4 \text{ m}^3 / \text{god}$$

Što predstavlja porast od 40% u odnosu na sadašnju potrošnju vode.

Koristeći eksponencijalni model, potrošnja nakon 20 godina iznosiće:

$$Q_{20} = 5256 \left( 1 + \frac{2.0}{100} \right)^{20} = 7810,1 \text{ m}^3 / \text{god}$$

Što predstavlja porast od 48,5% u odnosu na sadašnju potrošnju vode.



**Zadatak A3.** Vodovodni sistem isporučuje godišnje 24.000.000 m<sup>3</sup> vode gradu koji broji 300.000 stanovnika. Izračunati specifičnu potrošnju vode po glavi stanovnika. Zatim izračunati potrošnju po glavi stanovnika, uzimajući u obzir gubitke u sistemu, koji iznose 15% ukupne potrošnje. U proračunu uzeti u obzir potrošnju za ostale potrebe (van domaćinstava), koja iznosi 3.000.000 m<sup>3</sup>/god.

**Rješenje:**

Specifična potrošnja po glavi stanovnika iznosi:

$$q_{sp} = 24000000 \cdot \frac{1000}{300000 \cdot 365} = 219,2 \text{ l/st.dan}$$

Ako se od ukupne količine vode, koja se isporučuje gradu, oduzmu gubici u sistemu i voda isporučena za ostale potrebe, dobijamo da specifična potrošnja vode po glavi stanovnika iznosi:

$$q_{sp} = (24000000 \cdot 0.15 + 3000000) \cdot \frac{1000}{300000 \cdot 365} = 158,91 \text{ l/st dan}$$

**Zadatak A4.** U naselju koje broji 10.000 stanovnika specifična potrošnja vode je 100 l/st.dan, uključujući i gubitke. Za vrijeme vrlo gledanog "show" programa lokalne televizije, registrovan je protok od 24 l/s, što je 60% iznad uobičajene potrošnje za to doba dana. Koliki je u tom slučaju koeficijent maksimalne potrošnje? Koliki bi bio uobičajeni koeficijent maksimalne potrošnje u danu kad nema emitovanja pomenute emisije?

**Rješenje:**

Prosječna potrošnja u naselju iznosi:

$$Q_{sr} = 10000 \cdot \frac{100}{86400} = 11,6 \text{ l/s}$$

Uobičajen protok je 60% niži od protoka koji je registrovan tog dana, kada je emitovan popularni program, pa je:

$$Q = \frac{24}{1.6} = 15 \text{ l/s}$$

Slijedi:

Koeficijent maksimalne potrošnje je:

$$24/11.6 = 2,07, \text{ u toku emitovanja programa,}$$

$$15/11.6 = 1,29, \text{ u uobičajenim situacijama.}$$

**Zadatak A5.** Vodovodni sistem isporučuje naselju godišnje 10.000.000 m<sup>3</sup> vode (uključeni gubici od 20%). U danu maksimalne potrošnje registrovana je potrošnja data u tabeli. Odrediti koeficijente časovne potrošnje.

sat	1	2	3	4	5	6	7	8
m <sup>3</sup>	989	945	902	727	844	1164	1571	1600
sat	9	10	11	12	13	14	15	16
m <sup>3</sup>	1775	1964	2066	2110	1600	1309	1091	945
sat	17	18	19	20	21	22	23	24
m <sup>3</sup>	1092	1455	1745	2139	2110	2037	1746	1018

**Rješenje:**

Prosječna potrošnja vode u naselju, na godišnjem nivou iznosi:

$$\frac{10000000}{365 \cdot 24} = 1141,55 \text{ m}^3/\text{h}$$

Srednja potrošnja u danu maksimalne potrošnje iznosi:

$$Q_{sr} = (989 + 945 + 902 + 727 + \dots + 1746 + 1018) / 24 = 1454,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

Koeficijent dnevne neravnomjernosti potrošnje je:

$$K_{dn} = \frac{1454,75}{1141,55} = 1,274$$

Prosječni gubici od 20%, na nivou jednog sata iznose:

$$0,2 \cdot 1141,55 \text{ m}^3/\text{h} \sim 228,3 \text{ lm}^3/\text{h}$$

Slijedi da koeficijenti potrošnje u toku dana iznose:

sat	1	2	3	4	5	6	7	8
m <sup>3</sup>	761	717	674	499	616	936	1343	1372
K	0.62	0.584	0.549	0.407	0.502	0.763	1.095	1.118
sat	9	10	11	12	13	14	15	16
m <sup>3</sup>	1547	1736	1838	182	1372	1081	863	717
K	1.261	1.415	1.498	1.534	1.118	0.881	0.703	0.584
sat	17	18	19	20	21	22	23	24
m <sup>3</sup>	834	1227	1517	1911	1882	1809	1518	790
K	0.680	1.00	1.237	1.558	1.534	1.475	1.237	0.644



**Zadatak A6.** Venturijeva cijev prečnika 120 mm je postavljena na cijevi prečnika 250 mm da mjeri proticaj. Izračunati proticaj kada je razlika pritisaka između cijevi i Venturijeve cijevi 2,5 m vodenog stuba i  $C_d=0,97$ .

**Rješenje:**

Energetska jednačina:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2,$$

kako je Venturijeva cijev horizontalna:

$$z_1 = z_2$$

Slijedi:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

kako je :

$$\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = 2,50m$$

to je i:

$$\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = 2,50m \dots (1)$$

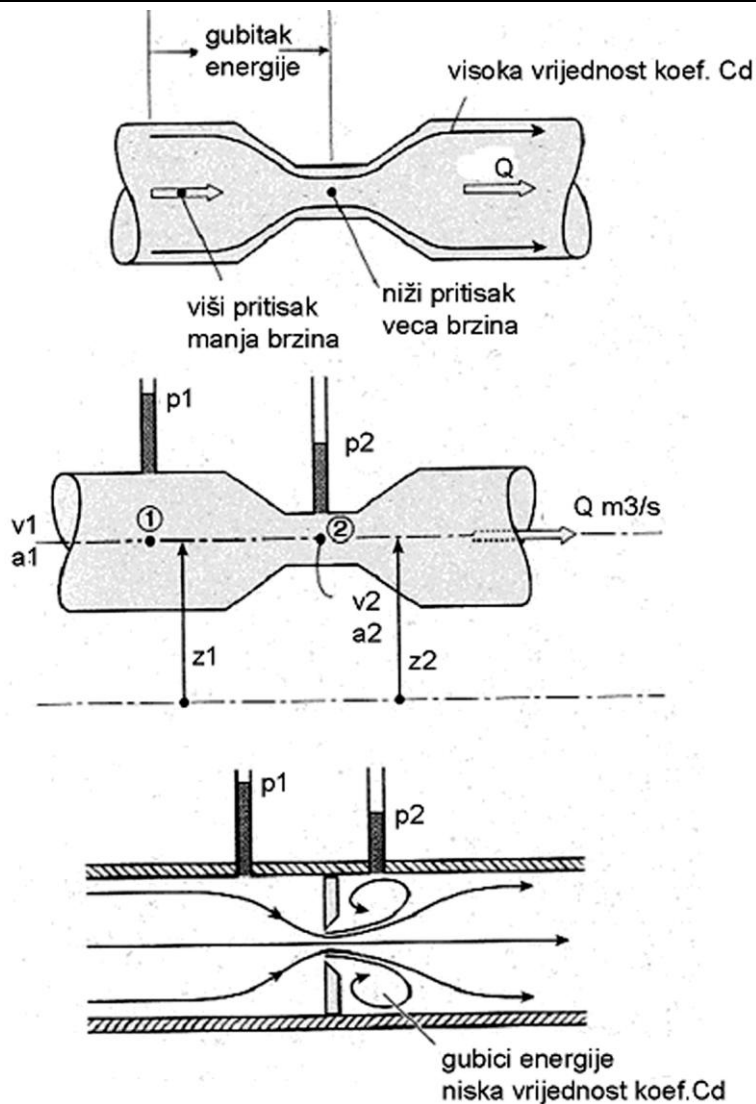
Ova jednačina ima dvije nepoznate  $v_1$  i  $v_2$ , uvodi se jednačina kontinuiteta:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1$$

Površina poprečnog presjeka cijevi:

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi 0,25^2}{4} = 0,05m^2$$



Slika. Princip rad Venturijeve cijevi

Površina poprečnog presjeka Venturijeve cijevi:

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = \frac{\pi 0.12^2}{4} = 0,011 \text{ m}^2$$

pa je:

$$v_2 = \frac{0,05}{0,011} v_1 = 4,55 v_1 \dots (2)$$

Zamjenom (2) u (1) dobijamo:

$$\begin{aligned}\frac{4,55^2 v_1^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} &= 2,50m \\ 20,7v_1^2 - v_1^2 &= 2,5 \cdot 2 \cdot 9,81 \\ 19,7v_1^2 &= 49,05 \\ v_1 &= \sqrt{\frac{49,05}{19,7}} = 1,58m/s\end{aligned}$$

Slijedi da je:

$$Q = C_d v_1 A_1 = 0,97 \cdot 1,58 \cdot 0,05 = 0,077m^3/s$$

**Zadatak A7.** Za cijev dužine  $L=450$  m, prečnika  $D=300$  mm, kroz koju protiče  $120$  l/s, sračunati gubitke koristeći Darcy-Weisbach, Hazen-Williams i Manningovu jednačinu ( $k=0,2$ ). Pretpostaviti temperaturu vode  $10^\circ\text{C}$ .

**Rješenje:**

Brzina tečenja u cijevi je:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot 0,12}{0,3^2 \cdot \pi} = 1,7 \frac{m}{s}$$

Kinematski koeficijent viskoznosti iznosi:

$$\nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42,5)^{1,5}} = 1,31 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Rejnoldsov broj iznosi:

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{1,7 \cdot 0,3}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 3,9 \cdot 10^5$$

Kako je relativna hrapavost  $k/D=0,2/300=0,00067$  i  $Re \gg 4000$ , koef. trenja iznosi:

$$\lambda = \frac{0,25}{\log^2 \left[ \frac{5,1286}{Re^{0,89}} + \frac{k}{3,7D} \right]} = 0,019$$

Gubici, prema Darcy-Weisbach-u iznose:

$$hf = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} Q^2 = 4,18m$$

## A VODOVODNI SISTEMI

---

Gubici, prema Hazen-Williamsu (za koef.  $C=125$ ) iznose:

$$hf = \frac{10,68L}{D^{4,87} C^{1,852}} Q^2 = 4,37m$$

Gubici, prema Manningu (za koef.  $n=0,01$ ) iznose:

$$hf = \frac{10,29N^2L}{D^{16/3}} Q^2 = 4,10m$$

**Zadatak A8.** Kroz cjevovod dužine 1.000 m transportuje se 100 l/s vode. Sračunati gubitak energije u cjevovodu za usvojene prečnike cijevi od 150, 200, 250 i 300 mm i koef.hrapavosti cijevi  $\lambda = 0,04$ .

**Rješenje :**

Prvi korak je sračunavanje brzine toka vode u cijevima za predložene prečnike korišćenjem jednačine toka:

$$Q = v \cdot A, \text{ odnosno } v = \frac{Q}{A}.$$

Koristeći ovu jednačinu i obrazac Darcy Weisbach–a:

$$h_L = \frac{\lambda L v^2}{2gD},$$

izračunate su vrijednosti gubitka energije u cijevima:

Prečnik (mm)	Površina presjeka cijevi (m <sup>2</sup> )	Brzina vode (m/s)	Gubitak energije u cijevima (m)
150	0,018	5,55	418,6
200	0,031	3,22	103,7
250	0,049	2,04	33,3
300	0,07	1,43	13,6

**Zadatak A9.** Cjevovod dužine 2.500 m povezuje akumulaciju sa manjim rezervoarom iznad naselja. Odrediti prečnik cjevovoda ako se kroz njega transportuje 350 l/s a razlika nivoa vode u akumulaciji i u rezervoaru iznosi 30 m. Koeficijent hrapavosti cijevi je  $\lambda=0,03$ .

**Rješenje :**

Problem se može rešiti postavljanjem energetske jednačine za dva presjeka u sistemu. Prvi presjek je presjek u akumulaciji a drugi u rezervoaru:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \dots (1)$$

Ovakva jednačina je jednostavna za rješavanje jer:

a) se prvi sabirak sa lijeve strane i prvi sabirak sa desne strane anuliraju;

b) brzina vode  $v_1$  i  $v_2$  u akumulaciji i rezervoaru je veoma mala tako da se drugi sabirak sa lijeve strane i drugi sabirak sa desne strane zanemaruju.

Iz toga slijedi da se gornja jednačina svodi na:

$$z_1 - z_2 = h_L \dots (2)$$

Darsi Vajsbahova jednačina za  $h_L$ :

$$h_L = \frac{\lambda L v^2}{2gD} \dots (3)$$

Iz (2) i (3) slijedi:

$$\frac{\lambda L v^2}{2gD} = z_1 - z_2 \dots (4)$$

Prečnik cijevi i brzina vode u cijevi su nepoznati. Zbog toga je potrebno prethodno odrediti brzinu vode:

$$v = \frac{Q}{A} \dots (5)$$

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} \dots (6)$$

Koristeći gornje izraze može se sračunati brzina kao funkcija prečnika:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,35}{3,14 \cdot D^2} = \frac{0,446}{D^2} \dots (7)$$

Zamjenom jednačine (7) u jednačinu (3):

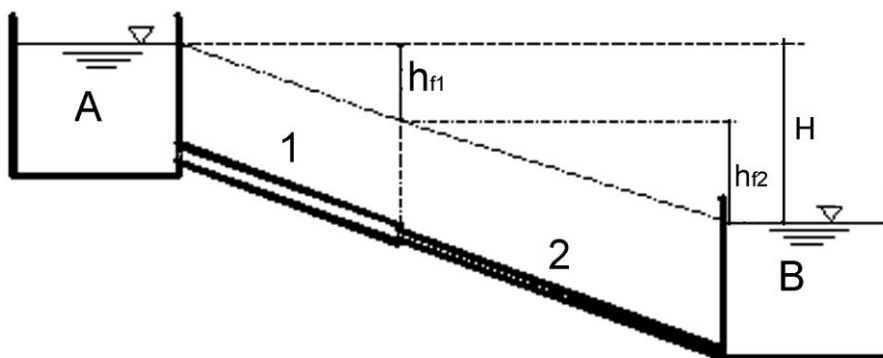
$$\frac{0,03 \cdot 2500 \cdot 0,198}{19,62 \cdot D \cdot D^4} = 30 \dots (8)$$

Rješavanjem jednačine (8) dobija se da je prečnik cijevi  $D = 0,47$  m.

**Zadatak A10.** Kao što je prikazano na slici, cjevovod sastavljen od dvije cijevi različitog prečnika povezuje dva rezervoara A i B. Prečnici uzvodne i nizvodne cijevi su 0,6 m i 0,45 m, njihova dužina je 300 m i

## A VODOVODNI SISTEMI

150 m a relativne hrapavosti  $\lambda_1 = 0,0015$  i  $\lambda_2 = 0,0020$ . Proticaj kroz sistem, od rezervoara A do rezervoara B je  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Koeficijent lokalnog gubitka na ulaska iz rezervoara u cijev iznosi  $K_e = 0,5$ , koeficijent kontrakcije  $K_c = 0,13$  i koeficijent gubitka na ulasku u donji rezervoar  $K_d = 1,0$ . Odrediti kotu nivoa vode u rezervoaru B kada nivo vode u rezervoaru A iznosi 100 m.



### Rješenje:

Određivanje brzine i Reynoldsovog broja:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,4 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,6 \text{ m})^2} = 1,41 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0,4 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} (0,45 \text{ m})^2} = 2,52 \text{ m/s}$$

Za temperaturu vode  $T=15^\circ\text{C}$  kinematski koeficijent viskoznosti iznosi  $\nu=1,131 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Vrijednosti Reynoldsovog broja su:

$$R_1 = \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{1,41 \text{ m/s} \cdot 0,6}{1,131 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 7,48 \cdot 10^5$$

$$R_2 = \frac{V_2 D_2}{\nu} = \frac{2,51 \text{ m/s} \cdot 0,45}{1,131 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 9,99 \cdot 10^5$$

Usvajajući vrijednosti koeficijenata lokalnog gubitka  $\lambda$  za cjevovode 1 i 2 kao:  $\lambda_1 = 0,022$  i  $\lambda_2 = 0,024$ .

Gubici energije u sistemu:

-lokalni gubitak na ulazu u system:

$$H_i = K_e \frac{V_1^2}{2g} = 0,5 \frac{V_1^2}{2g}$$

-linijski gubitak u cijevi 1:

$$H_{l1} = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} = 0,022 \frac{300}{0,6} \frac{V_1^2}{2g} = 11 \frac{V_1^2}{2g}$$

-gubitak usljed kontrakcije:

$$H_k = K_c \frac{V_2^2}{2g} = 0,13 \frac{V_2^2}{2g}$$

-linijski gubitak u cijevi 2:

$$H_{l2} = \lambda_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} = 0,024 \frac{150}{0,45} \frac{V_2^2}{2g} = 8 \frac{V_2^2}{2g}$$

-gubitak na ulasku u donji rezervoar:

$$H_u = K_d \frac{V_2^2}{2g} = 1,0 \frac{V_2^2}{2g}$$

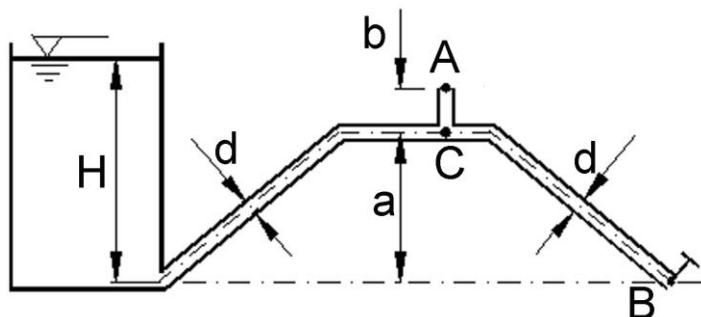
Ukupni gubitak energije u sistemu jednak je :

$$\begin{aligned} H &= H_i + H_{l1} + H_k + H_{l2} + H_u = 0,5 \frac{V_1^2}{2g} + 11 \frac{V_1^2}{2g} + 0,13 \frac{V_2^2}{2g} + 8 \frac{V_2^2}{2g} + 1,0 \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 11,5 \frac{V_1^2}{2g} + 9,13 \frac{V_2^2}{2g} = 11,5 \frac{1,41^2}{2 \cdot 9,81} + 9,13 \frac{2,52^2}{2 \cdot 9,81} = 4,1 \text{ m} \end{aligned}$$

**Zadatak A11.** Iz rezervoara za vodu dubine  $H= 3$  m ističe voda cjevovodom prečnika  $d$ . Na kraju cjevovoda u tački B ugrađen je regulacioni ventil sa kojim se može regulisati protok kroz cjevovod. Potrebno je odrediti minimalne i maksimalne vrijednosti proticaja kroz cjevovod ( $Q_{\max}$  i  $Q_{\min}$ ) pod uslovom da :

a) u tački A voda ne smije isticati;

b) u tački C ne smije doći do uvlačenja vazduha u cjevovod.



$d = 20 \text{ cm}$ ,  $a = 2 \text{ m}$ ,  $b = 0.6 \text{ m}$ ,  $H = 3 \text{ m}$

**Rješenje:**

Maksimalno mogući oticaj vode iz sistema dobiti ćemo kada cijev u tački A zatvorimo a ventil u tački B potpuno otvorimo.

Voda ne ističe u tački A:

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = H - (a + b) \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot [H - (a + b)]} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot [3 - (2 + 0,6)]} = 2,8014 \text{ m/s}$$

$$Q_{\min} = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2,8014 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,088 \text{ m}^3/\text{s} = 88 \text{ l/s}$$

Vazduh se ne usisava u cijev:

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = H - a \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot [H - a]} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot [3 - 2]} = 4,4294 \text{ m/s}$$

$$Q_{\max} = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4,4294 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,1392 \text{ m}^3/\text{s} = 139,2 \text{ l/s}$$

Maksimalno moguće isticanje:

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} = H \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 7,672 \text{ m/s}$$

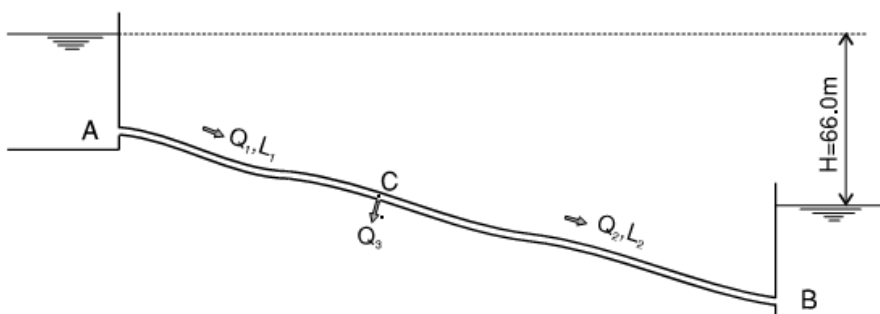
$$Q_{\max} = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 7,672 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,24 \text{ m}^3/\text{s} = 241 \text{ l/s}$$

**Zadatak A12.** Dva rezervoara imaju konstantnu razliku nivoa vode od 66 m i povezana su cjevovodom dužine 4.0 km, prečnika 225 mm i hrapavosti po Manningu  $n=0.011 \text{ m}^{1/3} \text{ s}$ . Poslije izvesnog vremena, na 1.6 km od gornjeg rezervoara došlo je do havarije cijevi što je izazvalo pad pritiska na tom mjestu za 2 bar. Sračunati za koliko je povećano isticanje vode iz rezervaora



## A VODOVODNI SISTEMI

A i koliki je gubitak vode iz cijevovoda na mjestu havarije ako se zanemare lokalni gubici u cjevovodu.



### Rješenje :

Iz jednačine gubitka energije u dovodnom cjevovodu od rezervoara A do rezervoara B:

$$H = \lambda \frac{L_{AB}}{D_i} \frac{v^2}{2g}$$

Za poznate vrijednosti  $H = 66 \text{ m}$ ,  $L = 4000 \text{ m}$ ,  $D = 225 \text{ mm}$  i sračunati faktor trenja za poznatu vrijednost Manningovog koeficijenta hrapavosti  $n = 0,001$ :

$$\lambda = 124,6 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} = \lambda = 124,6 \frac{0,001^2}{\sqrt[3]{0,225}} = 0,025$$

može se sračunati brzina tečenja vode u cjevovodu kao:

$$60 = 0,025 \frac{4000}{0,225} \frac{v^2}{2g} \text{ odakle slijedi da je } v = 1,71 \text{ m/s}$$

Za poznatu vrijednost brzine odgovarajući proticaj u cijevi će biti

$$Q = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot v = Q = \frac{0,225^2 \pi}{4} \cdot 1,7 = 0,068 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Gubitak energije u cjevovodu od rezervoara A do tačke C može se sračunati za poznate gornje vrijednosti kao :

$$\Delta H_1 = 0,025 \frac{4000}{0,225} \frac{1,71^2}{2 \cdot 9,81} = 26,49 \text{ m}$$

Gubitak energije od tačke C do rezervoara B iznosi :

$$\Delta H_2 = H - \Delta H_1 = 66,0 - 26,49 = 39,51 \text{ m}$$

Ako je u tački C pritisak smanjen za 2 bar to je za :

$$h = \frac{p}{\gamma} = \frac{200 \text{ kN/m}^2}{9,81 \text{ kN/m}^3} = 20,39 \text{ m}$$

## A VODOVODNI SISTEMI

---

Gubitak energije tečenja u cjevovodu od rezervoara A do tačke C

$$\Delta H_1 = 26,49 + 20,39 = 46,88m$$

Sada se brzina tečenja vode u dijelu cjevovoda od rezervoara A do tačke C može dobiti kao:

$$\Delta H_1 = \lambda \frac{L_{AC}}{D} \frac{v_1^2}{2g} = 46,88 = 0,025 \frac{1600}{0,225} \frac{v_1^2}{2g}$$

odakle je  $v_1 = 2,27$  m/s

Proticaj od rezervoara A do tačke C jednak je :

$$Q_1 = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot v$$

$$Q_1 = \frac{0,225^2 \pi}{4} \cdot 2,27 = 0,090m^3 / s = 90l / s$$

Iz rezervoara A ističe više vode za:

$$\Delta Q = 90,0 - 68,0 = 22l / s$$

Gubitak energije u cjevovodu od tačke C do rezervoara B jednak je :

$$\Delta H_2 = 66,0 - \Delta H_1 = 66,0 - 46,88 = 19,12m$$

Iz jednačine za gubitak energije:

$$\Delta H_2 = \lambda \frac{L_{CB}}{D} \frac{v_2^2}{2g}$$

dobija se brzina tečenja u dijelu cjevovoda od tačke C do rezervoara B :

$$19,12 = 0,025 \frac{(4000 - 1600)}{0,225} \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = 1,19m/s$$

Proticaj koji odgovara ovoj brzini u ovom dijelu cjevovoda iznosi :

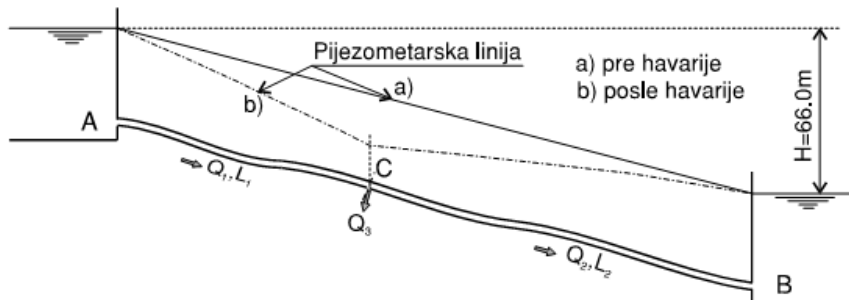
$$Q_2 = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot v_2$$

$$Q_2 = \frac{0,225^2 \pi}{4} \cdot 1,19 = 0,047m^3 / s = 47l / s$$

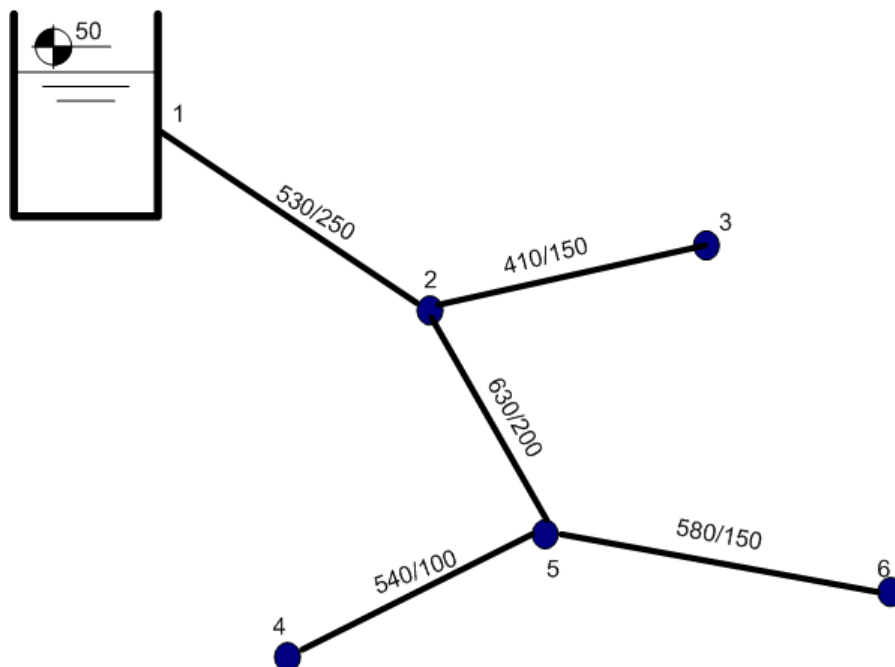
Iz jednačine kontinuiteta ukupni proticaj  $Q_1 = Q_2 + Q_3$  , gdje je  $Q_3$  traženi gubitak vode u tački C , pa je  $Q_3 = Q_1 - Q_2$ :

$$Q_3 = 90,0 - 47,0 = 43,0l/s$$

Pijezometarske linije za dva stanja, prije i nakon havarije cjevovoda imaju sledeći izgled:



**Zadatak A13.** Za vodovodni sistem prikazan na slici i podatke koji se odnose na njegove karakteristike, sračunati proticaj kroz cijevi i pritisak u čvorovima. Za sve cijevi pretpostaviti  $k=0,1\text{ mm}$  i temperaturu vode  $10^\circ\text{C}$ .



## A VODOVODNI SISTEMI

oznaka	1	2	3	4	5	6
Z(mnm)	-	12	22	17	25	20
Q(l/s)-čvorna potrošnja	-75.6	10.4	22.1	10.2	18.5	14.4

Dionica	D(mm)	L(m)
1-2	250	530
2-3	150	410
2-5	200	630
5-4	100	540
5-6	150	580

### Rješenje:

Ukupna potrošnja vode u sistemu je 75,6 l/s. Primjenjujući jednačinu kontinuiteta za sve čvorove, dobijamo sljedeće vrijednosti za protoke i brzine u dionicama:

Dionica	D(mm)	Q(l/s)	v(m/s)
1-2	250	75.6	1.54
2-3	150	22.1	1.25
2-5	200	43.1	1.37
5-4	100	10.2	1.30
5-6	150	14.4	0.81

Da bi se izračunali gubici duž pojedinih dionica potrebno je sračunati koef. trenja duž svake od njih. Kako su vrijednosti za Re, dobijene prema jednačini:

$$Re = \frac{vD}{\nu} ,$$

veće od vrijednosti  $Re=4000$ , koef. trenja računamo po jednačini:

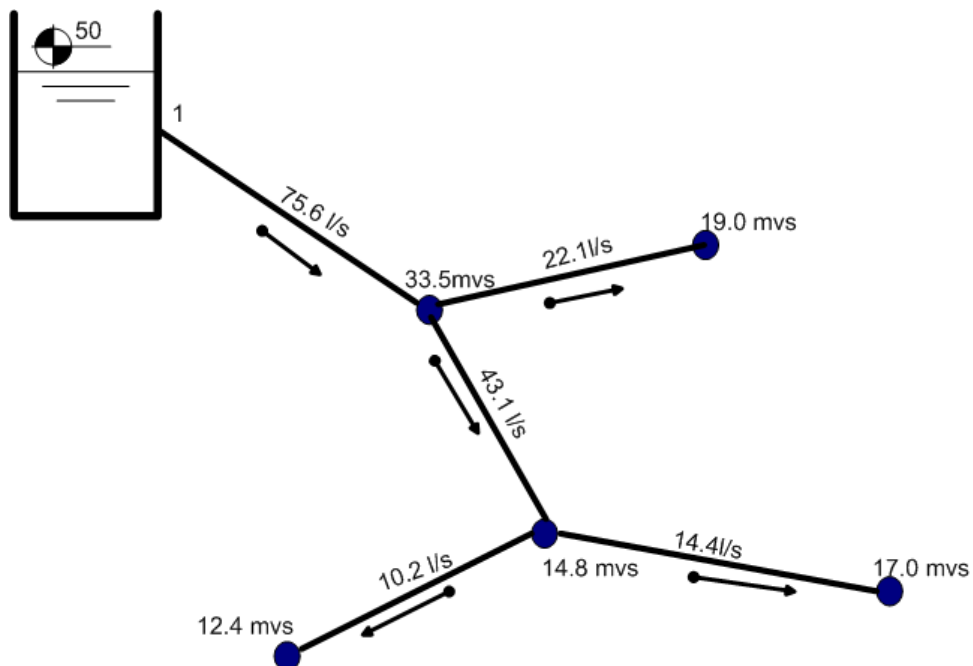
$$\lambda = \frac{0,25}{\log^2 \left[ \frac{5,1286}{Re^{0.89}} + \frac{k}{3,7D} \right]}$$

Dionica	Re(-)	$\lambda$ (-)	L(m)	h(m)
1-2	$2.9 \cdot 10^5$	0.018	530	4.55
2-3	$1.4 \cdot 10^5$	0.02	410	4.43
2-5	$2.1 \cdot 10^5$	0,19	630	5.70
5-4	$9.9 \cdot 10^5$	0.022	540	10.38
5-6	$9.4 \cdot 10^5$	0.021	580	2.78

## A VODOVODNI SISTEMI

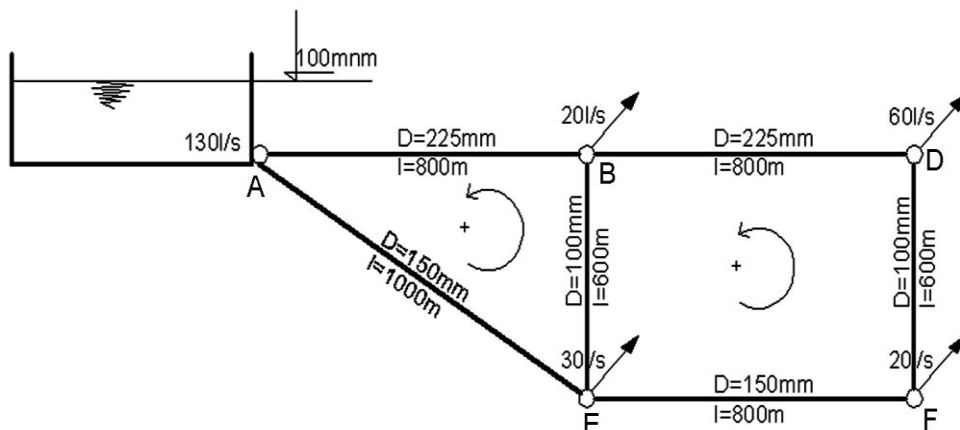
Pritisak u čvorovima je:

oznaka	1	2	3	4	5	6
H(m)	50	45.45	41.02	29.37	39.75	36.96
p(mvs)	-	33.45	19.02	12.37	14.75	16.96



**Zadatak A14.** Prstenasta vodovodna mreža prikazana na slici snabdijeva se vodom preko rezervoara gravitacionim dovodom. Dužine cijevi, prečnici, potrošnja u čvorovima i apsolutna kota rezervoara date su na slici.

Potrebno je odrediti proticaj i brzinu vode u svakoj cijevi kao i pjezometarske kote čvorova.



**Rješenje:**

(Teorijske napomene: Za proračun prstenaste mreže postoji više načina. Najčešće primjenjivan je metod Krosa koji se zasniva na zadovoljenju dva uslova:

- (I) suma svih količina koje utiču ili ističu u pojedinim čvorovima mreže jednaka je nuli
- (II) suma gubitaka pritiska po pojedinim prstenovima je jednaka nuli.

U nekoj vodovodnoj meži, koja ima  $p$  linija,  $m$  čvorova i  $n$  prstenova, važi odnos:

$$p = m + n - 1.$$

Ako se za svaku liniju znaju karakteristike voda, tj. njegova dužina, prečnik i koeficijent trenja, ako se znaju čvorna opterećenja (količine koje utiču i ističu u čvorovima) i ukupni doticaj u sistem, onda ostaju kao nepoznate veličine proticaji ili gubici pritiska u  $p$  linija (vodova). Dovoljno je naći proticaje, jer se po bilo kome od izraza zatim nalaze gubicii pritiska. Koristeći jedan od eksplicitnih izraza, na primjer Maningovu formulu, imamo:

$$h = sq_{ik}^2$$

Da bi se za  $p$  linija našli proticaji, postavlja se sistem od  $p$  jednačina:  $m-1$  jednačina prema (I) uslovu za  $m-1$  čvorova, i  $n$  jednačina prema (II) uslovu, za isti broj prstenova. Tada imamo:

$$m-1 \text{ linearnih jednačina tipa } \sum q_{i-k} + Q_i = 0 \dots I$$

$$n \text{ nelinearnih jednačina tipa } s_{i-k} q_{i-k}^2 = 0 \dots II$$

Za jednu mrežu, ako se pretpostave proticaji po pojedinim linijama, vodeći računa da bude zadovoljen prvi uslov bilansa količina u čvorovima, mala je

## A VODOVODNI SISTEMI

vjerovatnoća da će jednovremeno biti zadovoljen i drugi uslov izjednačenih pritisaka u prstenovima. Biće očigledno potrebno uvesti određene korekcije u proticajima da bi se jednovremeno zadovoljio i drugi uslov. Za dalji proračun se u tom slučaju koristi iterativni postupak, uz stalno uvođenje popravki ( $\Delta q$ ) u proticajima.

Početni raspored proticaja u cijevima je pretpostavljen pod uslovima da usvojene vrijednosti zadovoljavaju princip kontinuiteta u svakom čvoru. Ovaj princip se mora održavati i tokom dalje iteracije u procesu primjene metode proračuna.

U trenutku kada iteracija bude konvergirala tj. kada  $\Sigma h_L = 0$  za sve prstenove mreže i popravka proticaja bude jednaka nuli, utvrditi će se brzine vode u cijevima koje odgovaraju konačnim proticajima i usvojenim prečnicima cijevi.)

Proračun mreže metodom prstenova

ks (m)= 0,00006		L (m)	D (m)	f	K=8fL/ 96,8D <sup>5</sup>	Q (l/s)
prsten	cijev					
AEBA	AE	1000	0,150	0,0159	17281	40,0
	EB	600	0,100	0,0174	86219	-9,0
	BA	800	0,225	0,0036	417	-90,0
BEFDB	BE	600	0,100	0,0174	86219	9,0
	EF	800	0,150	0,0159	13825	19,0
	FD	600	0,100	0,0043	21555	-1,0
	DB	800	0,225	0,0036	417	-61,0

## A VODOVODNI SISTEMI

Prva iteracija					
cijev	$hL(m)$ $=KQ Q $	$\frac{dhL}{dQ}$ m/(l/s)	$dQA = \frac{\Sigma(hL)}{\Sigma(dhL/dQ)}$	dQB (l/s)	Qrac. (l/s)
AE	27,65	1,38	-5,74		34,3
EB	-6,98	1,55	-5,74	-4,79	-10,0
BA	-3,38	0,08	-5,74		-95,7
$\Sigma$	17,29	3,01			
BE	6,98	1,55	-4,79	-5,74	10,0
EF	4,99	0,53	-4,79		14,2
FD	-0,02	0,04	-4,79		-5,8
DB	-1,55	0,05	-4,79		-65,8
$\Sigma$	10,40	2,17			

Druga iteracija					
cijev	$hL(m)$ $=KQ Q $	$\frac{dhL}{dQ}$ m/(l/s)	$dQA = \frac{\Sigma(hL)}{\Sigma(dhL/dQ)}$	dQB (l/s)	Qrac. (l/s)
AE	20,28	1,18	-2,65		31,6
EB	-8,54	1,72	-2,65	-3,65	-9,0
BA	-3,83	0,08	-2,65		-98,4
$\Sigma$	7,91	2,98			
BE	8,54	1,72	-3,65	-2,65	9,0
EF	2,79	0,39	-3,65		10,6
FD	-0,72	0,25	-3,65		-9,4
DB	-1,81	0,05	-3,65		-69,4
$\Sigma$	8,81	2,41			



## A VODOVODNI SISTEMI

Treća iteracija					
cijev	$hL(m)$ $=KQ Q $	$\frac{dhL}{dQ}$ m/(l/s)	$dQA = \frac{\Sigma(hL)}{\Sigma(dhL/dQ)}$	dQB (l/s)	Qrac. (l/s)
AE	17,26	1,09	-2,31		29,3
EB	-6,92	1,55	-2,31	-1,97	-9,3
BA	-4,04	0,08	-2,31		-100,7
$\Sigma$	6,30	2,72			
BE	6,92	1,55	-1,97	-2,31	9,3
EF	1,54	0,29	-1,97		8,6
FD	-1,92	0,41	-1,97		-11,4
DB	-2,01	0,06	-1,97		-71,4
$\Sigma$	4,53	2,30			

Četvrta iteracija					
cijev	$hL(m)$ $=KQ Q $	$\frac{dhL}{dQ}$ m/(l/s)	$dQA = \frac{\Sigma(hL)}{\Sigma(dhL/dQ)}$	dQB (l/s)	Qrac. (l/s)
AE	14,82	1,01	-1,16		28,1
EB	-7,47	1,60	-1,16	-1,49	-9,0
BA	-4,23	0,08	-1,16		-101,9
$\Sigma$	3,12	2,70			
BE	7,47	1,60	-1,49	-1,16	9,0
EF	1,02	0,24	-1,49		7,1
FD	-2,80	0,49	-1,49		-12,9
DB	-2,13	0,06	-1,49		-72,9
$\Sigma$	3,56	2,39			

Peta iteracija					
cijev	$h_L(m)$ $=KQ Q $	$\frac{dh_L}{dQ}$ m/(l/s)	$dQ_A = \frac{\Sigma(h_L)}{\Sigma(dh_L/dQ)}$	$dQ_B$ (l/s)	$Q_{rac.}$ (l/s)
AE	13,68	0,97	-0,92		27,2
EB	-6,95	1,55	-0,92	-0,78	-9,1
BA	-4,33	0,09	-0,92		-102,8
$\Sigma$	2,40	2,61			
BE	6,95	1,55	-0,78	-0,92	9,1
EF	0,70	0,20	-0,78		6,3
FD	-3,58	0,56	-0,78		-13,7
DB	-2,22	0,06	-0,78		-73,7
$\Sigma$	1,85	2,36			

Konačni rezultati proračuna

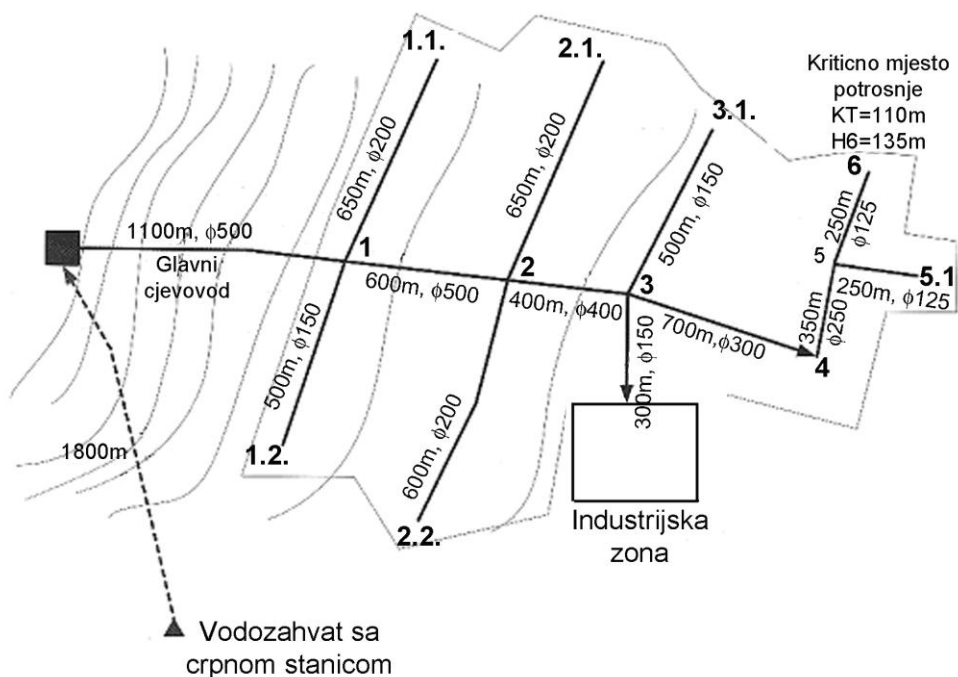
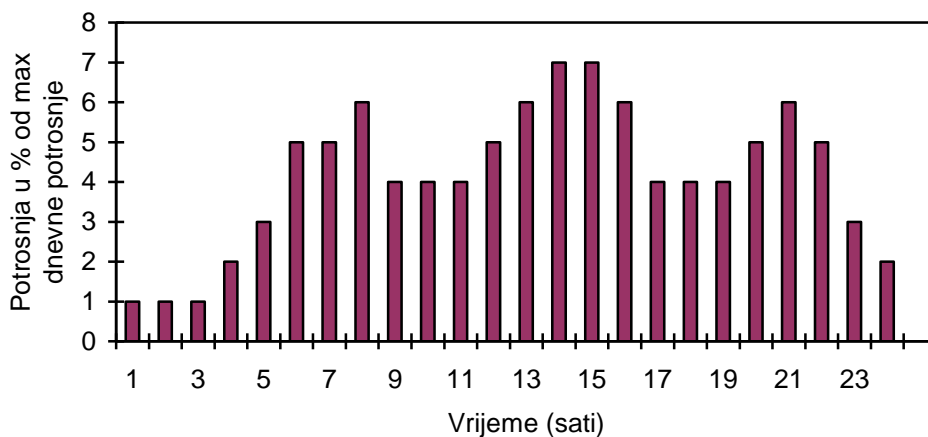
čvor	Hd.m	cijev	Brzina vode (m/s)
A	100	AB	2,38
B	85	BD	1,65
D	77,79	BE	1,14
E	77,93	AE	2,01
F	74,98	EF	0,82
		DF	0,7

**Zadatak A15.** Za planirano naselje na blagoj padini, koje je prikazano na slici potrebno je projektovati novu vodovodnu mrežu, čije je izvorište prethodno odabran izvor podzemne vode, koji se nalazi u neposrednoj blizini naselja. Minimalna izdašnost izvora je 200 l/s. Na osnovu plana razvoja naselja na kraju planskog perioda od 20 godina, naselje će imati ukupno 55.000 stanovnika, sa specifičnom normom potrošnje  $q_{spec}=180$  l/st.dan. Na osnovu poznatih parametara industrijskih procesa koji se planiraju, pretpostavljena je potrošnja industrije u toku dana, po smjenama kao :

$$q_{i,6-14h}=22 \text{ l/s} = 79,20 \text{ m}^3/\text{h}, q_{i,14-22h}=16 \text{ l/s} = 57,60 \text{ m}^3/\text{h}, q_{i,22-6h}=10 \text{ l/s} = 36,0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

## A VODOVODNI SISTEMI

Dinamika potrošnje vode za domaćinstava, pretpostavljena je na osnovu literaturnih podataka i tipa naselja, data je dijagramom:



Za proračun količina vode potrebnih za gašenje požara usvojena je vjerovatnoća pojave jednog požara u naselju sa dvije faze gašenja: lokalizacija požara sa dva hidranta u trajanju od jednog sata i konačno gašenje sa jednim hidrantom u trajanju od dva sata.

Pretpostavka je da će se mreža izvoditi od duktilnih cijevi čija je pogonska hrapavost  $k=0,4\text{mm}$ . Koeficijent kinematičke viskoznosti pri temperaturi vode od  $10^\circ\text{C}$  je  $\nu=1,31\cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ .

Potrebno je:

- odrediti mjerodavne količine vode za dimenzionisanje sistema;
- odrediti potrebnu zapreminu rezervoarskog prostora za naselje;
- odrediti najnižu kotu rezervoara i nacrtati podužni profil pijezometarske linije od rezervoara do kritičnog čvora mreže.

### **Rješenje :**

Određivanje mjerodavnih količina vode za  $N = 55.000$  stanovnika i  $q_{\text{spec}}=180 \text{ l/st.dan}$ :

$$Q_{\text{sr.dnev}} = N \cdot q_{\text{spec}} = 55000 \cdot 180/1000 = 9900 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Za usvojeno  $K_d = 1,5$ :

$$Q_{\text{max.dnev}} = K_d \cdot Q_{\text{sr.dnev}} = 1,5 \cdot 9900 = 14850 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Iz dijagrama dinamike promjene potrošnje u toku dana vidljivo je da je najveća časovna potrošnja u periodu između 13 i 15 časova i da iznosi 7% od najveće dnevne potrošnje. Prema tome :

$$Q_{\text{max.cas}} = 0,07 \cdot Q_{\text{sr.dnev}} = 0,07 \cdot 14850 = 1039 \text{ m}^3/\text{dan} = 288,75 \text{ l/s}$$

Ukupna dnevna industrijska potrošnja na osnovu datih ulaznih parametara iznosi:

$$Q_{\text{ind..dnev}} = (79,20 + 57,60 + 36,0) \cdot 8 = 1382,4 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Maksimalna dnevna potrošnja predstavlja zbir potrošnje u domaćinstvima i potrošnje u industriji:

$$Q_{\text{max.dnev ukupno}} = 14850 + 1382,4 = 16232,4 \text{ m}^3/\text{dan} = 187,88 \text{ l/s}$$

Ovo je količina vode koja bi trebala da bude obezbjeđena na izvorištu što je u ovom slučaju obezbjeđeno jer je minimalna izdašnost izvora 200 l/s.

Količine vode propisane su na osnovu pravilnika odnosno date pretpostavke o vjerovatnoći pojave jednog požara u naselju sa dvije faze gašenja: lokalizacija požara sa dva hidranta u trajanju od jednog sata i konačno gašenje sa jednim hidrantom u trajanju od dva sata. Ako se uzme u obzir i poznati prečnik hidranta od 80 mm sa

## A VODOVODNI SISTEMI

izdašnošću na mlaznici vatrogasnog crijeva od 3 l/s, onda slijedi da je za gašenje požara potrebno osigurati:

$$\text{faza I: } 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \frac{3600}{1000} = 21,6 \text{ m}^3, \text{ faza II: } 1 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \frac{3600}{1000} = 21,6 \text{ m}^3$$

ukupno = 43,2 m<sup>3</sup>.

Ovo je dio korisne zapremine rezervoara koji se mora obezbjediti u slučaju pojave požara.

Sati Od-do	POTROŠNJA			DOTOK m <sup>3</sup>	
	%	Stan. m <sup>3</sup> /h	Ind. m <sup>3</sup> /h		
0-1	1	148,5	36,0	184,5	676,35
1-2	1	148,5	36,0	184,5	676,35
2-3	1	148,5	36,0	184,5	676,35
3-4	2	297,0	36,0	333,0	676,35
4-5	3	445,5	36,0	481,5	676,35
5-6	5	742,5	36,0	778,5	676,35
6-7	5	742,5	79,2	821,70	676,35
7-8	6	891,0	79,2	970,2	676,35
8-9	4	594,0	79,2	673,2	676,35
9-10	4	594,0	79,2	673,2	676,35
10-11	4	594,0	79,2	673,2	676,35
11-12	5	742,5	79,2	821,7	676,35
12-13	6	891,0	79,2	970,2	676,35
13-14	7	1039,5	79,2	1118,7	676,35
14-15	7	1039,5	57,6	1097,1	676,35
15-16	6	891,0	57,6	948,6	676,35
16-17	4	594,0	57,6	651,6	676,35
17-18	4	594,0	57,6	651,6	676,35
18-19	4	594,0	57,6	651,6	676,35
19-20	5	742,5	57,6	800,1	676,35
20-21	6	891,0	57,6	948,6	676,35
21-22	5	742,5	57,6	800,10	676,35
22-23	3	445,5	36,0	481,5	676,35
23-24	2	297,0	36,0	333,0	676,35
24	100	14850	1382,4	16232,4	16232,40

## A VODOVODNI SISTEMI

Zapremina rezervoara je definisana dinamikom pumpanja vode, dinamikom potrošnje i zapreminom koja je obavezna (potrebe protivpožarne zaštite, ispiranja sistema i sl.). Pošto je izdašnost izvorišta manja nego što je satna potrošnja u ovom slučaju je potreban konstantan rad pumpe u toku 24 časa.

Proračun korisne zapremine rezervoara dat je u tabeli. Proračun je sproveden na osnovu predviđene varijacije potrošnje i konstantnog pumpanja vode. Negativne vrijednosti su dobijene jer se u proračun ušlo sa pretpostavkom da je rezervoar bio potpuno prazan.

Višak dotoka $m^3$	Višak dotoka $m^3$	$V_r$ $m^3$	$\Sigma V_{pump.}$ $m^3$	$\Sigma V_{potr.}$ $m^3$
491,85		491,85	675,35	184,5
491,85		983,7	1352,70	369,0
491,85		1475,55	2029,05	553,5
343,35		1818,9	2705,40	886,5
194,85		<b>2013,75</b>	3381,75	1368,0
	-102,1	1911,6	4058,10	2146,5
	-145,3	1766,25	4734,45	2968,2
	-293,8	1472,4	5410,8	3938,4
3,15		1475,55	6087,15	4611,6
3,15		1478,7	6763,50	5284,8
3,15		1481,85	7439,85	5958,0
	-145,3	1336,5	8116,2	6779,7
	-293,8	1042,65	8792,55	7749,9
	-442,3	600,30	9468,9	8868,6
	-420,7	179,55	10145,25	9965,7
	-272,2	-92,7	10821,6	10914,3
24,75		-67,95	11497,95	11565,9
24,75		-43,20	12174,3	12217,5
24,75		-18,45	12850,65	12869,1
	-123,7	-142,20	13527,0	13669,2
	-272,2	-414,45	14203,35	14617,8
	-123,7	<b>-538,2</b>	14879,7	15417,9
194,8		-343,35	15556,05	15899,4
343,3		0,00	16232,40	16232,40

Na osnovu podataka iz tabele korisna zapremina rezervoara je :

$$V = 2013,75 + |-538,20| = 2251,95 m^3$$

## A VODOVODNI SISTEMI

---

Ovoj zapremini treba dodati zapreminu potrebnu za protivpožarnu zaštitu, pa je ukupna zapremina rezervoara jednaka :

$$V_r = 2551,95 + 43,20 = 2595,15 \text{ m}^3$$

Proračun distributivne mreže:

Na šemi mreže prikazan je cjevovod sa pripadajućim dužinama. Mjerodavni protoci kroz mrežu definišu se na osnovu maksimalne časovne potrošnje stanovništva i industrije uz dodatak protivpožarnog proticaja, koji iznosi 6 l/s za rad dva hidranta izdašnosti od po 3 l/s.

Maksimalni časovni proticaj za stanovništvo je:

$$Q_{\text{max, cas.}} = 288,75 \text{ l/s}$$

Najveći proticaj za industriju:

$$Q_{\text{max, ind}} = 22,0 \text{ l/s}$$

Glavnim dovodnim cjevovodom prema prethodnom u času maksimalne potrošnje treba da protекne:

$$Q_{\text{max, v-1}} = 288,75 + 22 + 6 = 316,75 \text{ l/s}$$

Ovaj dotok se dijeli potrošačima u mreži. Mjerodavni protok za svaku dionicu mreže u nedostatku podataka o tačnom broju i vrsti potrošača može se sračunati linearnim osrednjavanjem potrošnje po jedinici dužine vodovodne mreže. Maksimalna časovna potrošnje se dijeli linerano na cijelu mrežu :

$$Q_{\text{lin}} = \frac{Q_{\text{max, cas}}}{\Sigma L_i}$$

$L_i$  -su dužine cijevi u konkretnom slučaju  $\Sigma L_i = 5,450 \text{ m}$ , pa je :

$$Q_{\text{lin}} = 288,75 / 5450 = 0,0530 \text{ l/s} \cdot \text{m}$$

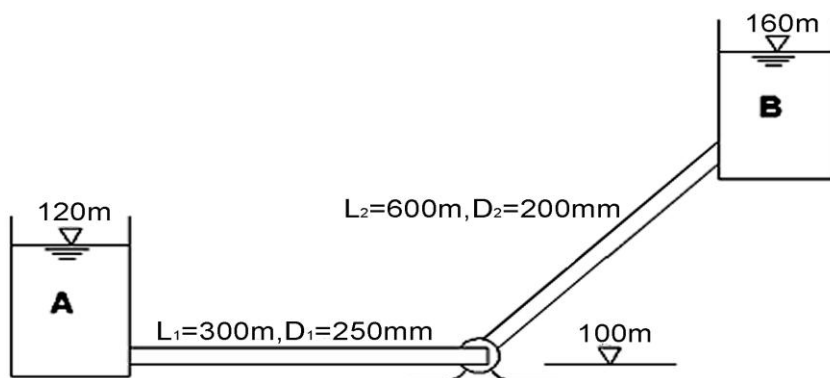
Na osnovu ovih vrijednosti sračunata je čvorna potrošnja mreže, na osnovu koje je sproveden hidraulički proračun. Hidraulički proračun je sproveden korišćenjem programskog paketa "EPANET", što je poslužilo i kao kontrola prethodnog "ručnog" proračuna. Profili cijevi usvojeni su na osnovu opšteprihvaćenog kriterijuma tzv. ekonomičnih brzina toka vode ( $v=1-2 \text{ m/s}$ ). Za odabrani profil cijevi, mjerodavnu potrošnju, hrapavost i kinematički koeficijent viskoznosti, iz tabela, prema Darcy-Weisbach-Colebrook-White-u može se odrediti pad pijezometarske linije.

## A - VODOVODNI SISTEMI

od-do	L (m)	Q <sub>lin</sub> (l/sm)	P R O T O K (l/s)			Ukupni protok (l/s)	Požarni Protok (l/s)	Mjer. Protok (l/s)	Φ (mm)	V (m/s)	I (mVs/m)	Δh (m)
			Vlastiti	Tranzitni								
				Stan.	Ind.							
v-1	1100			288,75	22,0	310,75	6,0	316,75	500	1,62	0,0051	5,61
1-1.1	650	0,053	34,44	0,00	0,00	34,44	6,0	40,44	200	1,30	0,0105	6,83
1-1.2	500	0,053	26,49	0,00	0,00	26,49	6,0	32,49	150	1,88	0,0313	15,65
1-2	600	0,053	31,79	196,03	22,0	249,82	6,0	255,82	500	1,30	0,0033	1,98
2-2.1	650	0,053	34,44	0,00	0,00	34,44	6,0	40,44	200	1,30	0,0105	6,83
2-2.2	600	0,053	31,79	0,00	0,00	31,79	6,0	37,79	200	1,21	0,0091	5,46
2-3	400	0,053	21,19	108,61	22,0	151,81	6,0	157,81	400	1,27	0,0042	1,68
3-3.1	500	0,053	26,49	0,00	0,00	26,49	6,0	32,49	150	1,88	0,0313	15,65
3-IZ	300	0,053	22,0	0,00	0,00	22,0	6,0	28,0	150	1,60	0,0227	6,81
3-4	700	0,053	37,09	45,03	0,00	82,12	6,0	88,12	300	1,26	0,0059	4,13
4-5	350	0,053	18,54	26,49	0,00	45,03	6,0	51,03	250	1,04	0,0051	1,79
5-6	250	0,053	13,25	0,00	0,00	13,25	6,0	19,25	125	1,57	0,0278	6,95
5-5.1	250	0,053	13,25	0,00	0,00	13,2	6,0	19,25	125	1,57	0,0278	6,95
Σ	6850		310,75									



**Zadatak A16.** Odrediti potrebnu snagu pumpe kojom se  $Q=70$  l/s vode iz rezervoara A podiže u rezervoar B i nacrtati liniju energije i piezometarsku liniju za dati cjevovod. Temperatura vode je  $10^{\circ}\text{C}$  a apsolutna hrapavost cijevi  $k=0,25$  mm. Ostali podaci su dati na slici.



**Rješenje:**

Snaga pumpe je

$$N = \frac{\rho Q H}{\eta} \text{ (kW)}$$

gdje su:

Q-proticaj u  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

H-napor pumpe u m;

$\mu$ -koeficijent efikasnosti rada pumpe.

Napor pumpe je:

$$H = H_u + h_{Lu} + H_p + h_{LP}$$

sa slike :  $H_u = -20\text{m}$ ,  $H_p = 60\text{m}$

$$h_{Lu} = \left( K_{ul} + \lambda \frac{L_1}{D_1} + K_{iz} \right) \frac{V_1^2}{2g}$$

$$h_{LP} = \left( K_{ul} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2} + K_{iz} \right) \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{1,426^2}{2g} = 0,104m$$

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{Q}{\frac{D^2\pi}{4}} = \frac{0,07}{\frac{0,25^2\pi}{4}} = 1,426m/s$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{2,228^2}{2g} = 0,253m$$

Pri temperaturi od 10°C kinematički koeficijent viskoziteta vode je  $\nu=1,3\cdot 10^{-6}m^2/s$ , te je Rejnoldsov broj:

a) za cijev 1:

$$R_{e1} = \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{1,426 \cdot 0,25}{1,3 \cdot 10^{-6}} = 0,274 \cdot 10^6$$

b) za cijev 2:

$$R_{e2} = \frac{V_2 D_2}{\nu} = \frac{2,228 \cdot 0,2}{1,3 \cdot 10^{-6}} = 0,343 \cdot 10^6$$

Iz Kolbrukove jednačine, iterativnim postupkom, dobija se faktor trenja,

a) za cijev 1:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7 D_1} + \frac{2,51}{Re_1 \sqrt{\lambda_1}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = -2 \log \left( \frac{0,25}{3,7 \cdot 250} + \frac{2,51}{0,274 \cdot 10^6 \sqrt{\lambda_1}} \right)$$

$$\lambda_1 = 0,0207$$

b) za cijev 2:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7 D_2} + \frac{2,51}{Re_2 \sqrt{\lambda_2}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} = -2 \log \left( \frac{0,25}{3,7 \cdot 200} + \frac{2,51}{0,343 \cdot 10^6 \sqrt{\lambda_2}} \right)$$

$$\lambda_2 = 0,0215$$

## A - VODOVODNI SISTEMI

Sada je, za  $K_{ul}=0,5$  i  $K_{iz}=1$ :

$$h_{Lu} = \left( 0,5 + 0,0207 \frac{300}{0,25} + 1 \right) 0,104 = 2,74m$$

$$h_{LP} = \left( 0,5 + 0,0215 \frac{600}{0,2} + 1 \right) 0,253 = 16,7m$$

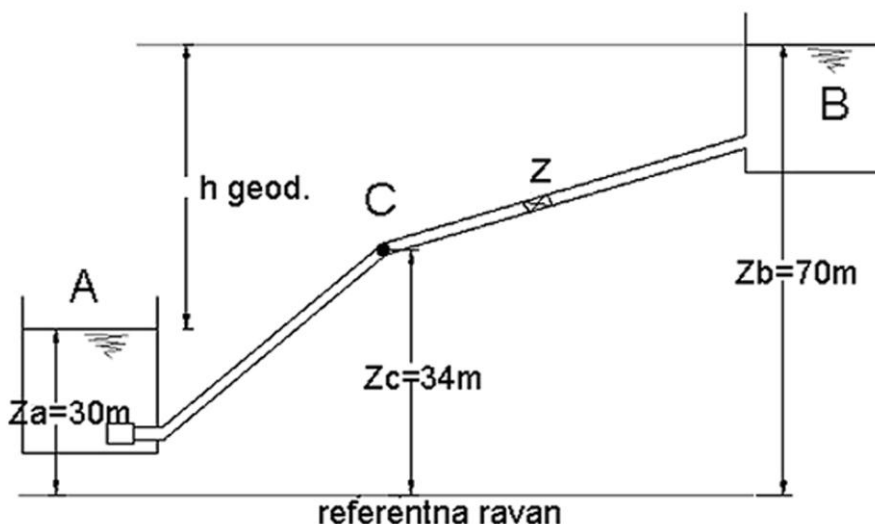
a ukupan napor pumpe:

$$H = -20,0 + 2,74 + 60 + 16,7 = 59,44m$$

Ako je za maksimalnu efikasnost pumpe, koeficijent  $\mu=0,8$ , tada je potrebna snaga pumpe:

$$N = \frac{\gamma Q H}{\eta} = 51,02kW$$

**Zadatak A17.** Iz rezervoara A se uz pomoć pumpe u presjeku C, snage  $N=50$  kW i koeficijenta maksimalne efikasnosti  $\eta=0,8$ , podiže voda u rezervoar B. Od rezervoara A do pumpe cjevovod je dužine  $L_1=400$  m i prečnika  $D_1=250$  mm a od pumpe do rezervoara B dužine  $L_2=2.000$  m i prečnika  $D_2=200$  mm. Manningov koef.hrapavosti je  $n=0,011$  m<sup>-1/3</sup>s. Na polovini potisnog dijela cjevovoda je regulacioni zatvarač koji ima koeficijent lokalnog gubitka  $K_z=2$  a koeficijent lokalnog gubitka na usisnoj korpi je  $K_{uk}=1,5$ . Sračunati proticaj kroz cjevovod i nacrtati liniju energije i pijeziometarsku liniju.



### Rješenje:

Za poznatu snagu pumpe  $N=50$  kW i zadati koeficijenti maksimalne efikasnosti  $\eta=0,8$  iz jednačine za snagu pumpe:

$$N = \frac{\gamma QH}{\eta} \text{ (kW)}$$

dobija se:

$$50 = \frac{9,81QH}{0,8} \text{ (kW)}$$

$$Q \cdot H = 4,077 \text{ m}^4/\text{s}$$

gdje je Q-proticaj u  $\text{m}^3/\text{s}$  a H-napor pumpe u m.

Napor pumpe je:

$$H = h_{\text{geod}} + h_{LU} + h_{Lp} \text{ m}$$

gdje je:

$h_{\text{geod}}$  razlika nivoa tečnosti u rezervoarima;

$h_{LU}$  gubitak energije tečenja kroz usisni dio cjevovoda;

$h_{Lp}$  gubitak energije tečenja kroz potisni dio cjevovoda.

Gubitak energije tečenja kroz usisni dio cjevovoda je:

$$h_{Lu} = \left( K_{uk} + \lambda_1 \frac{L_1}{D_1} \right) \frac{V_1^2}{2g}, \text{ kako je}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{\frac{D_1^2}{4}} = \frac{4Q}{D_1^2 \pi}$$

$$h_{Lu} = \left( K_{uk} + \lambda_1 \frac{L_1}{D_1} \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_1^4}$$

Gubitak energije tečenja kroz potisni dio cjevovoda je:

$$h_{Lp} = \left( K_z + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2} \right) \frac{V_2^2}{2g}, \text{ kako je } V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{Q}{\frac{D_2^2}{4}} = \frac{4Q}{D_2^2 \pi}$$

$$h_{Lp} = \left( K_z + \lambda_2 \frac{L_2}{D_{21}} \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_2^4}$$

Faktor trenja za usisnu cijev je:

$$\lambda_1 = 124,6 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D_1}} = 124,6 \frac{0,011^2}{\sqrt[3]{0,25}} = 0,0239$$

Faktor trenja za potisnu cijev je:

$$\lambda_2 = 124,6 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D_2}} = 124,6 \frac{0,011^2}{\sqrt[3]{0,2}} = 0,0258$$

Sada je napor pumpe:

$$H = h_{geod} + \left( K_{uk} + \lambda_1 \frac{L_1}{D_1} \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_1^4} + \left( K_z + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2} \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_2^4}$$
$$H = 40 + \left( 1,5 + 0,0239 \frac{400}{0,25} \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 0,25^4} + \left( 2 + 0,0258 \frac{2000}{0,2} \right) \frac{8Q^2}{g\pi^2 0,2^4}$$
$$H = 40 + 860,60Q^2 + 1342686Q^2$$

Slijedi:

$$\frac{4,077}{Q} = 40 + 840,60Q^2 + 1342686Q^2$$
$$4,077 = 40Q + 840,60Q^3 + 1342686Q^3$$
$$Q = 0,052m^3 / s$$
$$h_{Lu} = \left( 1,5 + 0,0239 \frac{400}{0,25} \right) \frac{8 \cdot 0,052^2}{g\pi^2 0,25^4} = 2,27m$$
$$h_{Lp} = \left( 2 + 0,0258 \frac{2000}{0,2} \right) \frac{8 \cdot 0,052^2}{g\pi^2 0,2^4} = 36,31m$$

Brzinska visina u usisnoj cijevi je:

$$\frac{V_1^2}{2g} = \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_1^4} = \frac{8 \cdot 0,052^2}{9,81\pi^2 0,25^4} = 0,057m$$

Brzinska visina u potisnoj cijevi je:

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_2^4} = \frac{8 \cdot 0,052^2}{9,81\pi^2 0,2^4} = 0,14m$$

## A - VODOVODNI SISTEMI

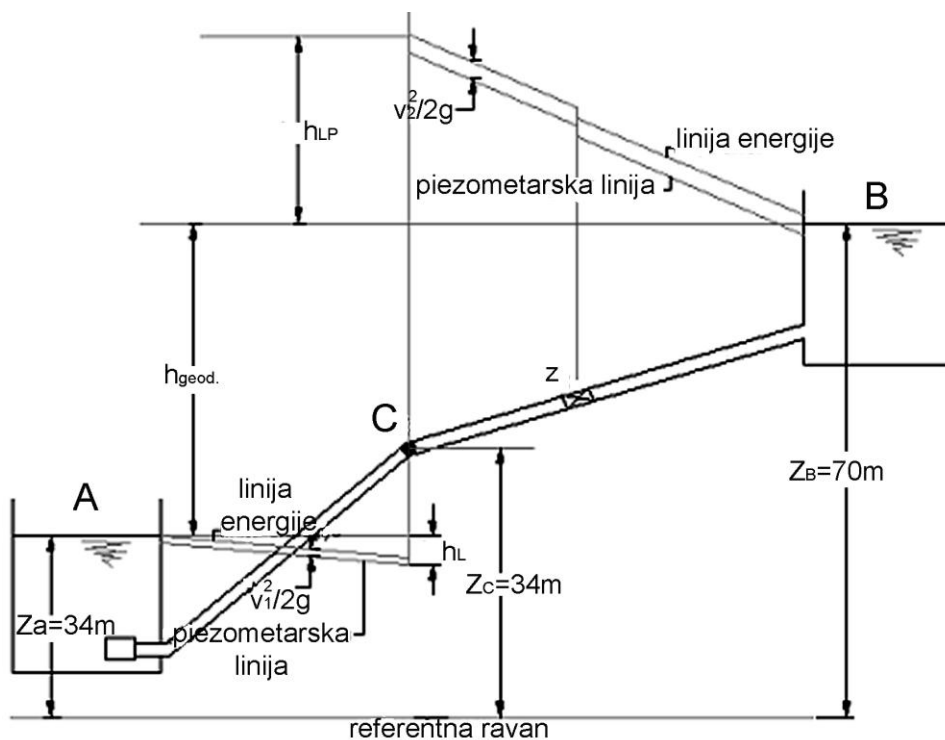
Lokalni gubitak tečenja na ulazu u cijev je:

$$h_{uk} = K_{uk} \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_1^4} = 1,5 \frac{8 \cdot 0,052^2}{9,81\pi^2 \cdot 0,25^4} = 0,086m$$

Lokalni gubitak tečenja na zatvaraču je:

$$h_z = K_z \frac{8Q^2}{g\pi^2 D_2^4} = 2,0 \frac{8 \cdot 0,052^2}{9,81\pi^2 \cdot 0,2^4} = 0,28m$$

Pijezometarska i linija energije imaju sledeći izgled :



**Zadatak A18.** Voda se pumpa iz rijeke, kroz cijev prečnika 150 mm, dužine 950 m, u otvoreni rezervoar, u kom je nivo vode 45 m iznad nivoa rijeke. Odrediti radnu tačku pumpe, ako je koeficijent trenja materijala od kog je napravljena cijev  $\lambda=0,04$ . U tabeli su date karakteristike pumpe.

H(m)	30	50	65	80
Q(l/min)	2000	1750	1410	800

### **Rješenje:**

Na slici se nalaze dijagrami krive pumpe i karakteristike cjevovoda.

Linijski gubici u cjevovodu:

$$h_{lin} = \frac{\lambda v^2}{2gd}$$

kako je :

$$\lambda=0,04; l=950\text{m i } d=0,15\text{m,}$$

slijedi:

$$h_{lin} = \frac{0,04 \cdot 950 \cdot v^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,15} = 12,9v^2$$

kako je:

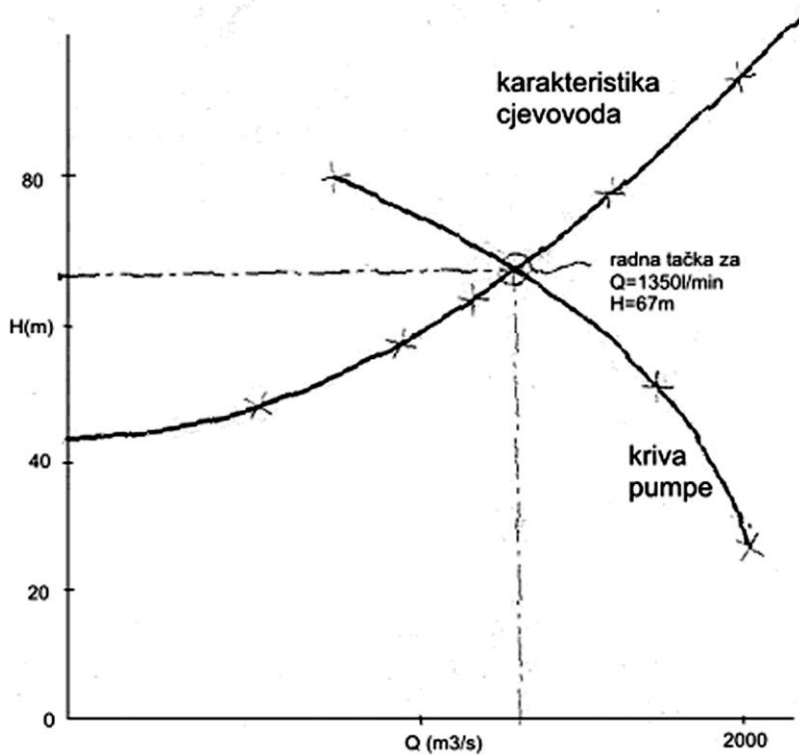
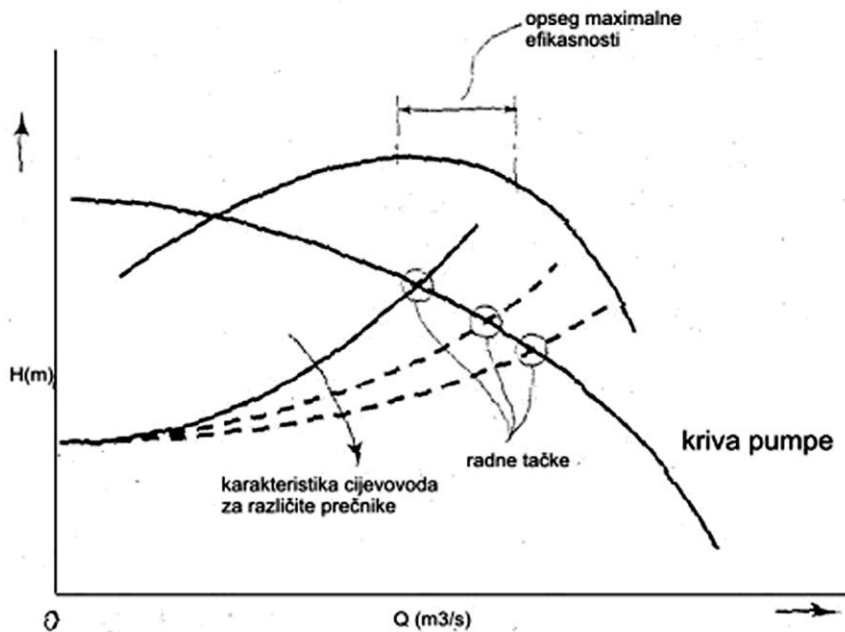
$$v = \frac{Q}{A}$$

$$\text{tj. } v^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} = 0,017\text{m}^2$$

slijedi da je:

$$h = 12,9 \cdot \frac{Q^2}{0,017^2} = 44,636Q^2$$



Slika. Dijagrami krive pumpe i karakteristike cijevovoda



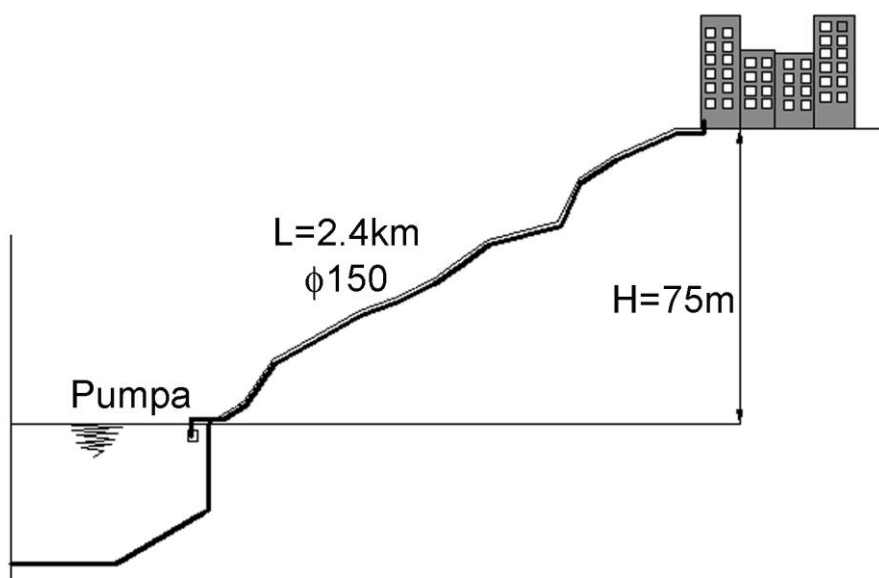
Linijski gubici za razne vrijednosti proticaja Q date su u tabeli:

Q (l/min)	Q (m <sup>3</sup> /s)	linijski gubitak h (m)	linijski gubitak h (m) + 45m
2000	0,033	48,6	93,60
1600	0,027	32,53	77,53
1200	0,02	17,85	62,85
1000	0,017	12,3	57,30
500	0,008	2,85	47,80

Sa dijagrama na slici očitavamo:

$$Q = 1,350 \frac{l}{\text{min}} \text{ za } H = 67m.$$

**Zadatak A19.** Za potrebe snabdijevanja naselja izgrađen je cjevovod od liveno-gvozdenih cijevi dužine  $L=2,4$  km. Pumpa obezbjeđuje 25 l/s vode naselju koje se nalazi na visini  $h=75$  m iznad nivoa jezera i time ostvaruje nadpritisak u naselju od 3 bara. Nakon desetogodišnje eksploatacije potrebe za vodom su se povećale, tako da je potrebno obezbjediti 25% više vode za isti nadpritisak od 3 bara. Uslijed korozije hrapavost cijevi se povećala na  $k=0,045$  mm. Odrediti koliko puta se povećala potrebna snaga za transport vode. Pri proračunu lokalne gubitke zanemariti. Poznati su: prečnik cjevovoda 150 mm,  $v=1,52 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s i  $\rho=998$  kg/m<sup>3</sup>.



**Rješenje:**

Koeficijent trenja na početku eksploatacije je:

$$\lambda_1 = \lambda(k_1, D, \text{Re})$$

$$\lambda_1 = 0,115 \left( \frac{k}{D} + \frac{60}{\text{Re}} \right)^{1/4}$$

$$\text{Re} = \frac{Dv}{\nu} = \frac{4Q_1}{D\pi\nu} = \frac{4 \cdot 0,025}{0,15 \cdot 3,14 \cdot 1,52 \cdot 10^{-6}} = 0,139 \cdot 10^6$$

$$\lambda_1 = 0,115 \left( 0 + \frac{60}{0,139 \cdot 10^6} \right)^{1/4} = 0,017$$

Energetska jednačina na početku eksploatacije glasi:

$$h_{p1} = H + \frac{p_n}{\rho g} + \lambda_1 \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 75 + \frac{30}{\rho g} + 0,017 \frac{2400}{0,15} \frac{8 \cdot 0,025^2}{0,015^4 \cdot \pi^2 \cdot g} = 132,997m$$

Nakon deset godina eksploatacije koeficijent trenja iznosi:

$$\lambda_2 = 0,115 \left( \frac{0,045}{0,15} + \frac{60}{\text{Re}_2} \right)^{1/4}$$

$$\text{Re}_2 = \frac{Dv}{\nu} = \frac{4Q_2}{D\pi\nu} = \frac{4 \cdot 1,25 \cdot 0,025}{0,15 \cdot 3,14 \cdot 1,52 \cdot 10^{-6}} = 0,173 \cdot 10^6$$

$$\lambda_2 = 0,115 \left( \frac{0,045}{0,15} + \frac{60}{0,173 \cdot 10^6} \right)^{1/4} = 0,018$$

Energetska jednačina nakon deset godina eksploatacije glasi:

$$h_{p2} = H + \frac{p_n}{\rho g} + \lambda_2 \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 75 + \frac{30}{\rho g} + 0,018 \frac{2400}{0,15} \frac{8 \cdot 0,031^2}{0,015^4 \cdot \pi^2 \cdot g} = 151,752m$$

Povećanje potrebne snage računamo prema:

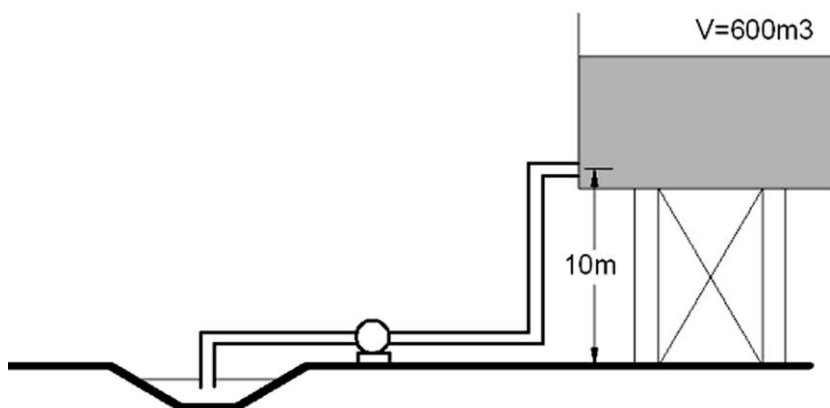
$$\Delta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = \rho g h_{p1} Q_1 = \rho g \cdot 132,997 \cdot 0,025 = 3,254 \cdot 10^4 W$$

$$P_2 = \rho g h_{p2} Q_2 = \rho g \cdot 151,7527 \cdot 0,025 = 4,641 \cdot 10^4 W$$

$$\Delta = \frac{4,641}{3,254} = 1,426$$

**Zadatak A20.** Svakog dana zapremina od  $600 \text{ m}^3$  vode se pumpa u rezervoar koji se nalazi 10 m iznad zemlje. Izračunati utrošak energije i snage za potrebe pumpanja vode.



**Rješenje:**

Proračun potrošnje energije:

$$E(kWh) = \frac{V(m^3) \cdot H(m)}{367} = \frac{600 \cdot 10}{367} = 16,35kWh$$

Proračun potrošnje snage (za rad pumpe u toku 24h):

$$P(kW) = \frac{16,35kWh}{24h} = 0,68kW$$

Proračun potrošnje snage (ako pumpa radi 12h dnevno):

$$P(kW) = \frac{16,35kWh}{12h} = 1,36kW$$

Proračun potrošnje snage (ako pumpa radi 6h dnevno):

$$P(kW) = \frac{16,35kWh}{6h} = 2,73kW$$

Drugi mogući način proračuna utroška snage je:

$$P(kW) = 9,81QH = 9,81 \cdot 0,028 \cdot 10 = 2,74kW$$

$$Q = \frac{V(m^3)}{t_p(s)} = \frac{600}{6 \cdot 3600} = 0,028 \frac{m^3}{s}$$

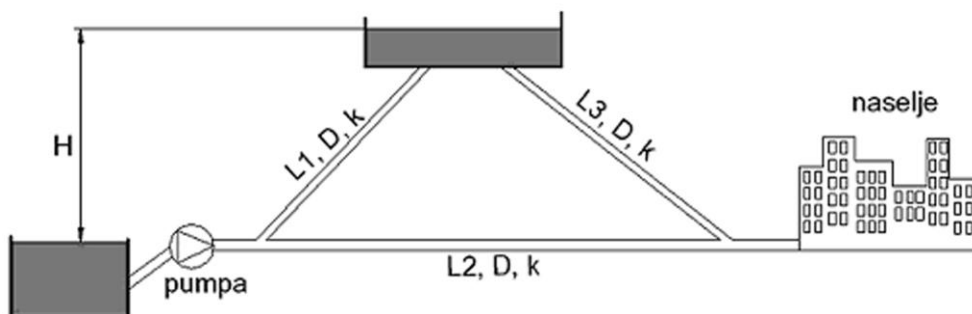
gdje je :

V zapremina vode koja se pumpa;

$t_p$  vrijeme pumpanja (u ovom slučaju 6 sati dnevno).

**Zadatak A21.** U normalnom režimu rada cjevovodom  $L_2$  transportuje se naselju  $Q=0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  vode gustine  $\rho=999,8 \text{ kg/m}^3$ , koef. viskoznosti  $\nu=1,52 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Zahtjevani nadpritisak u naselju iznosi 3,2 bar. Predpostaviti da je potrošnja vode u naselju konstanta svih 24 sata i da se 16 sati za pogon pumpe koristi električna energija standardne cijene, a 8 sati električna energija koja je 30% jeftinija. Odrediti uštedu (u %) ukoliko bi se naselje 16 sati snabdijevalo cjevovodom  $L_3$  iz rezervoara (pri tom je isključena pumpa), a 8 sati (za vrijeme jeftinije tarife) pumpa istovremeno cjevovodom  $L_2$  snabdijeva naselje a cjevovodom  $L_1$  puni akumulaciju. Dato je:  $H=37 \text{ m}$ ,  $L_1=2,3 \text{ km}$ ,  $L_2=4,3 \text{ km}$ ,  $L_3=2,2 \text{ km}$ ,  $D=0,3 \text{ m}$ ,  $k=0,015 \text{ mm}$ . Zanimariti sve lokalne gubitke, kao i gubitke ispred pumpe.

Koliki će biti nadpritisak u naselju kada se ono snabdijeva samo iz akumulacionog rezervoara?



### Rješenje:

Potrebno je sračunati potisnu visinu i snagu pumpe za standardni režim rada. Energetska jednačina u tom slučaju glasi:

$$h_{p1} = \frac{p_n}{\rho g} + \lambda_2 \frac{L_2}{D} \frac{v^2}{2g} \dots (1)$$

$$\text{Re}_2 = \frac{Dv}{\nu} = \frac{4Q}{D\pi\nu} = \frac{4 \cdot 0,01}{0,3 \cdot 3,14 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6}} = 4,081 \cdot 10^4$$

$$\lambda_2 = \frac{1,325}{\left( \ln \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right)^2} = 0,022$$

ako se vratimo u jednačinu (1) dobijamo:

$$h_{p1} = \frac{32}{\rho g} + 0,022 \frac{43000,14 \text{ l}^2}{0,3 \cdot 2g} = 33,01 \text{ m}$$

Energetska jednačina za slučaj pumpanja vode u akumulacioni rezervoar:

(uzet je u obzir dvostruki protok, jer za period pumpanja od 8 sati, mora se obezbjediti količina vode za 16 sati potrošnje)

$$h_{p2} = H + \left(1 + \lambda_1 \frac{L_1}{D}\right) \frac{4 \cdot 8 \cdot Q^2}{D^4 \pi^2 g} = 37,596 \text{ m}$$

$$\text{Re}_2 = \frac{Dv}{\nu} = \frac{4Q}{D\pi v} = \frac{4 \cdot 0,02}{0,3 \cdot 3,14 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6}} = 8,162 \cdot 10^4$$

$$\lambda_1 = \frac{1,325}{\left(\ln\left(\frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}}\right)\right)^2} = 0,019$$

Ušteda u tom slučaju iznosi:

$$\eta = \frac{h_{p2}(3Q \cdot 8 \cdot 0,7)}{h_{p1} \cdot Q \cdot (16 + 8 \cdot 0,7)} = 0,886$$

(ušteda je izračunata iz odnosa uloženih snaga pomnoženih sa relativnom cijenom).

Ukupni pritisak u naselju se računa iz energetske jednačine:

$$H = \frac{P_n}{\rho g} + \lambda_3 \frac{L_3}{D} \frac{8Q^2}{D^4 \pi^2 g}$$

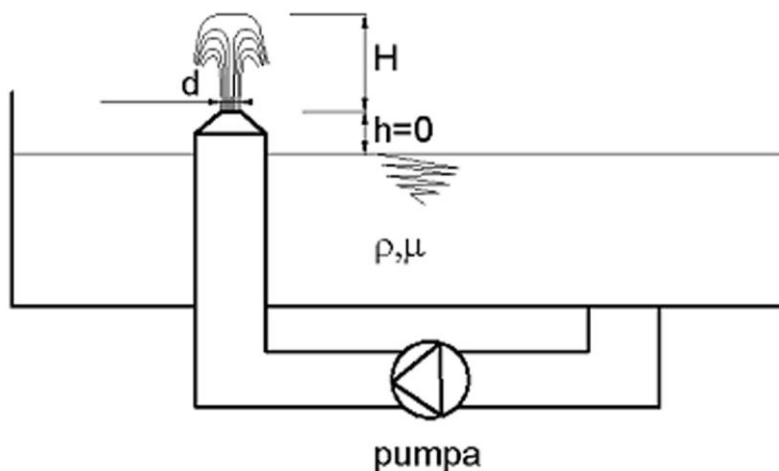
$$\lambda_2 = \lambda_3 = 0,022$$

$$p_n = \rho g \left[ H - \lambda_3 \frac{L_3}{D} \frac{8Q^2}{D^4 \pi^2 g} \right] = 3,606 \text{ bar}$$

$$p_n = \rho g \left[ H - \lambda_2 \frac{L_2}{D} \frac{8Q^2}{D^4 \pi^2 g} \right] = 3,649 \text{ bar}$$

Iz rješenja je vidljivo da je ušteda 11,4%, i da će ukupni pritisak u naselju biti veći od traženog, tj. 3,649 bara tokom 8 sati i 3,61 bara tokom 16 sati.

**Zadatak A22.** Odrediti radnu tačku pumpe tako da visina mlaza vode vodoskoka fontane na slici, bude  $H=3,4$  m. Date su sljedeće veličine:  $\rho=998,2$  kg/m<sup>3</sup>,  $\mu=1,52 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $K_k=2,7$ ,  $K_v=4,5$ ,  $K_s=1,2$  (koeficijenti lokalnih gubitaka),  $L=7,2$  m (ukupna dužina svih cijevi),  $D=0,3$  m (prečnik cijevi),  $d=0,1$  m. Sve cijevi su od čelika.



**Rješenje:**

Iz poznate visine mlaza, pomoću Toričelijeve formule, moguće je odrediti brzinu mlaza na izlazu:

$$v_1 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,4} = 8,16 \text{ m/s}$$

Koristeći jednačinu kontinuiteta moguće je odrediti brzinu vode u cijevovodu:

$$v_2 = v_1 \frac{d^2}{D^2} = 8,16 \frac{0,1^2}{0,3^2} = 0,1 \text{ m/s}$$

Na osnovu prethodnih veličina moguće je odrediti Reynoldsov broj u cijevi a zatim i koeficijent linijskog trenja :

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{0,3 \cdot 0,11 \cdot 998,2}{1,52 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}} = 22 \cdot 10^6$$

$$\lambda = \frac{1,325}{\left( \ln \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} = 0,017$$

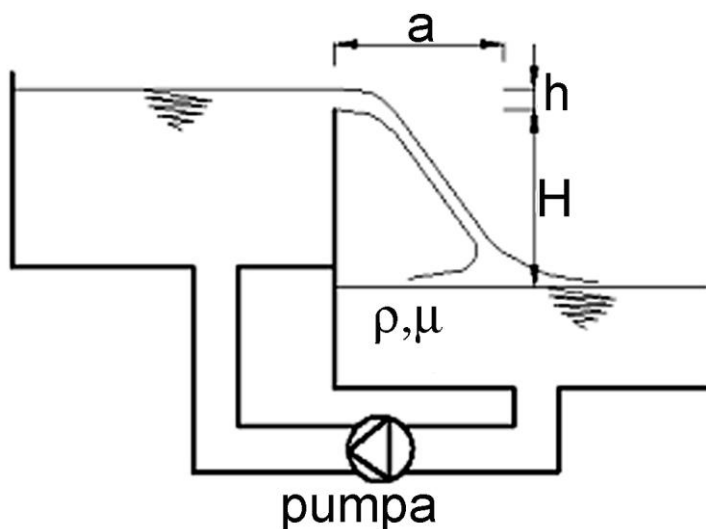
Upotrebom Energetske jednačine moguće je izračunati napor pumpe:

$$h = \left( \lambda \frac{L}{D} + 2K_k + 2K_v \right) \frac{v_2^2}{2g} + (K_s + 1) \frac{v_1^2}{2g} = 8,102 \text{ m}$$

Ukupni proticaj je konstantan i iznosi :

$$Q = v \frac{d^2 \pi}{4} = 0,064 \text{ m}^3 / \text{s}$$

**Zadatak A23.** Odrediti radnu tačku pumpe da bi domet mlaza u projektovanoj kaskadnoj fontani bio  $a=1,4$  m, a njegova debljina na jedinici dužine  $h=12$  cm. Dati su sledeći podaci:  $\rho=998,2$  kg/m<sup>3</sup>,  $\mu=1,52 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s,  $K_k=2,7$ ,  $K_v=4,5$  (koeficijenti lokalnih gubitaka),  $L=7,2$  m (ukupna dužina svih cijevi),  $D=0,3$  m,  $H=2,7$  m. Sve cijevi su od čelika. Pretpostaviti jednoliku raspodelu brzina na prelivu.



**Rješenje:**

Brzina vode na prelivu može se odrediti iz jednačine kosog hica:

$$H = \frac{g}{2} t^2, \quad t = \frac{a}{v_x}, \quad H = \frac{g \cdot a^2}{2 \cdot v_x^2}$$

$$v_x = \frac{1}{2H} \sqrt{2a} \sqrt{Hg} = 1,887 \text{ m/s}$$

Brzinu vode unutar cjevovoda moguće je odrediti iz jednačine kontinuiteta:

$$v = v_x \frac{hB^4}{D^2 \pi} = 3,203 \text{ m/s}$$

Reynoldsov broj za tečenje u cjevovodu iznosi:

$$\text{Re} = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{0,3 \cdot 3,203 \cdot 998,2}{1,52 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}} = 6,3 \cdot 10^8$$

$$\lambda = \frac{1,325}{\left( \ln \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}} \right) \right)^2} = 0,015$$

Iz Energetske jednačine slijedi:

$$h = \left( \lambda \frac{L}{D} + 2 \cdot Kk + 2Kv + 1 \right) \frac{v^2}{2g} + H$$

Slijedi da je visina pumpanja:

$$h = 10,939 \text{ m}$$

Protok kroz pumpu:

$$Q = v \frac{D^2 \pi}{4} = 0,226 \text{ m}^3 / \text{s}$$

**Zadatak 24.** Sračunati potrebne elemente za dimenzionisanje pumpne stanice za usputno povećanje pritiska, koja opslužuje zonu snabdijevanja veličine 420 korisnika. Pumpa će biti montirana iza postojećeg rezervoara a u postrojenje je uključen i hidropneumatski tank za održavanje potrebnih pritisaka u mreži. Norma potrošnje korisnika sistema iznosi 450 l/st.dan, dok je potreba za protivpožarnom zaštitom, koja se mora obezbjediti u zoni, jednaka 10 l/s. Kote nivoa vode u usisnom rezervoaru variraju u granicama: 100 mnm - 103,9 mnm. Buster pumpa će se smjestiti na koti 98,1mnm. Najvisočija kota naselja je 104,9 m, a najniža 89,9 mnm. Prema uslovima izgradnje u naselju potrebno je obezbjediti pritiske u sistemu u rasponu maksimalnog od 5,0 bar do minimalnog (za sat maksimalne potrošnje) 2,0 bar, a za slučaj pojave požara 1,40 bar.

**Rješenje :**

*Utvrđivanje potrošnje vode u sistemu koji snabdijeva buster pumpa*

Srednja dnevna potrošnja:

$$420 \text{ st} \cdot 450 \text{ l/st.dan} = 2,18 \text{ l/s}$$

Maksimalna dnevna potrošnja:

$$2,18 \cdot 1,5 = 3,27 \text{ l/s}$$



## A - VODOVODNI SISTEMI

Maksimalna časovna potrošnja:

$$3,27 \cdot 2,0 = 6,54 \text{ l/s}$$

*Proračun maksimalne količine vode koja se podiže buster pumpom*

Za proračun buster pumpe koristi se maksimalna dnevna potrošnja i potrebna protivpožarna zaštita:

$$3,27 + 10 = 13,27 \text{ l/s}$$

*Proračun varijacija pritiska koje treba obezbjediti u hidropneumatskom tanku*

Maksimalni dopušteni radni pritisak koji treba da se obezbjedi tankom je onaj pritisak koji, tokom hidrostatičkih uslova, stvara maksimalno dopušteni pritisak kod najniže lociranog korisnika u mreži. Uz pretpostavku da je tank podignut 1,5 m iznad kote terena, maksimalni dopušteni radni pritisak u tanku će biti:

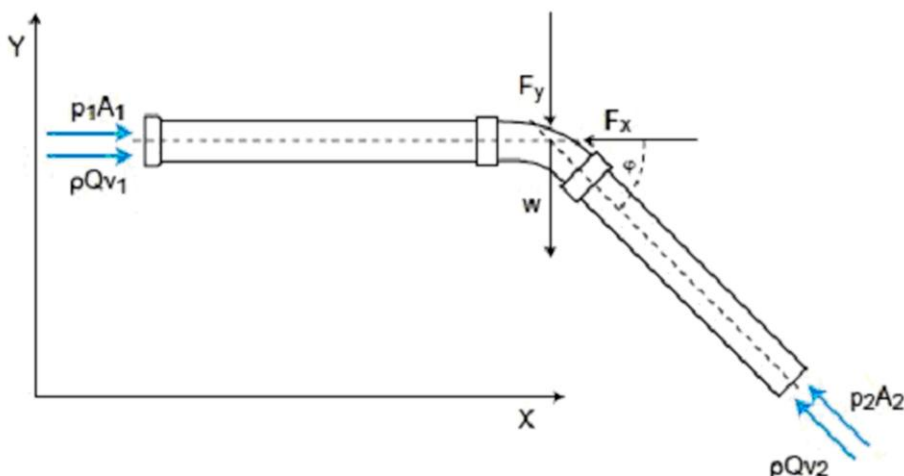
$$(50\text{m} + 89,9\text{m}) (98,1\text{m} + 1,5\text{m}) = 40,3\text{m}$$

a minimalni radni pritisak mora da bude veći od :

- pritiska koji treba da obezbjedi maksimalnu časovnu potrošnju (2,0 bar) i
- pritiska koji treba da obezbjedi uredno snabdijevanje za slučaj pojave požara (1,40 bara)

$$(14\text{m} + 104,9\text{m}) + 10\text{m}(98,1\text{m} + 1,5\text{m}) = 29,3\text{m}.$$

**Zadatak A25.** Izračunati ukupnu silu u koljenu cjevovoda, prikazanom na slici, ako su poznati sledeći podaci: prečnik cijevi  $D=300$  mm, protok vode kroz cijev  $Q=26$  l/s, ugao  $\varphi=45^\circ$ , pritisak u cijevi  $p=100$  kPa.



## A - VODOVODNI SISTEMI

### Rješenje:

Brzina toka kroz cijev je:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,026}{0,3^2 \cdot \pi/4} = \frac{0,026}{0,07} = 0,37 \text{ m/s}$$

Jednačina ravnoteže sila za x pravac glasi:

$$\begin{aligned} -F_x &= p_1 A_1 + \rho Q v_1 - \cos \varphi \cdot (p_2 A_2 + \rho Q v_2) = 0,29 \cdot (pA + \rho Q v) \\ &= 0,29 \cdot (100000 \cdot 0,07 + 1000 \cdot 0,026 \cdot 0,37) = 2032,8 \text{ N} \end{aligned}$$

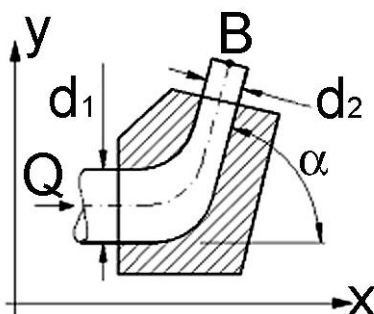
Jednačina ravnoteže sila za y pravac glasi:

$$-F_y = \sin \varphi \cdot (p_2 A_2 + \rho Q v_2) = 0,71 \cdot (100000 \cdot 0,07 + 1000 \cdot 0,026 \cdot 0,37) = 4976,8 \text{ N}$$

Ukupna sila iznosi:

$$F = \sqrt{2032,8^2 + 4976,8^2} = 5375,9 \text{ N}$$

**Zadatak A26.** Sračunati intenzitet i smjer sile sa kojom moramo sidriti koljeno vodovodne cijevi u kojem je došlo do redukcije prečnika sa  $d_1$  na  $d_2$ , a kojom teče stalna količina vode  $Q$ . U tački B voda slobodno ističe.



$$Q = 100 \text{ l/s}, d_1 = 30 \text{ cm}, d_2 = 15 \text{ cm}, \alpha = 75^\circ$$

### Rješenje:

a) Smjer i intezitet sile

$$\begin{aligned} F_{xr} &= \rho \cdot Q \cdot (v_{2x} - v_{1x}) + (p_2 \cdot S_2)_x - (p_1 \cdot S_1)_x = 1000 \cdot 0,1 \cdot (1,4646 - 1,4147) - 106103 = \\ &= -10560432 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{yr} = \rho \cdot Q \cdot (v_{2y} - v_{1y}) + (p_2 \cdot S_2)_y - (p_1 \cdot S_1)_y = 1000 \cdot 0,1 \cdot (5,466 - 0) = 5466 \text{ N}$$

$$v_{1x} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{0.1 \cdot 4}{\pi \cdot 0.3^2} = 1,4147 \text{ m/s}$$

$$v_{1y} = 0$$

$$v_2 = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_2^2} = \frac{0.1 \cdot 4}{\pi \cdot 0.15^2} = 5,6588 \text{ m/s}$$

$$v_{2x} = v_2 \cdot \cos \alpha = 5.6588 \cdot \cos 75^\circ = 1,4646 \text{ m/s}$$

$$v_{2y} = v_2 \cdot \sin \alpha = 5,6588 \cdot \sin 75^\circ = 5,466 \text{ m/s}$$

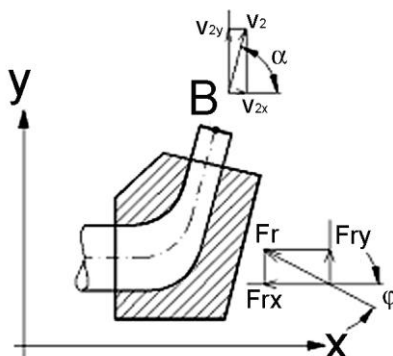
$$\rho \cdot \frac{v_1^2}{2} + p_1 = \rho \cdot \frac{v_2^2}{2} + p_2 \Rightarrow p_1 = \frac{\rho}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1000}{2} \cdot (5,659^2 - 1,4147^2) = 1501055 \text{ N/m}^2$$

$$P_1 = p_1 \cdot S_1 = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = 1501055 \cdot \frac{\pi \cdot 0.3^2}{4} = 10610332 \text{ N} = P_{1x}$$

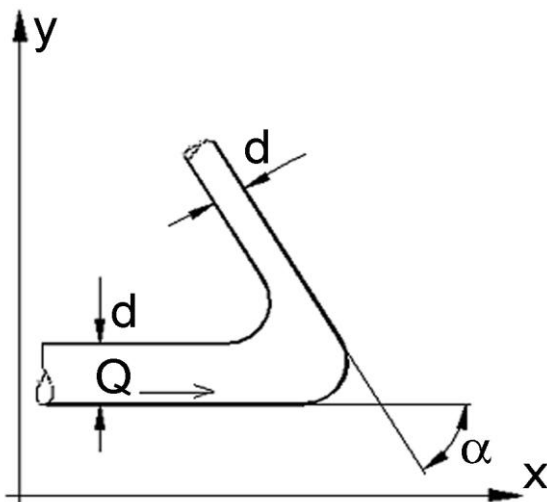
$$P_{1y} = 0$$

$$F_r = \sqrt{F_{xr}^2 + F_{yr}^2} = \sqrt{105604^2 + 546,6^2} = 1189,11 \text{ N}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{|F_{yr}|}{|F_{xr}|} = \frac{546,6}{105604} = 0,51759 \Rightarrow \varphi = 27,3658^\circ$$

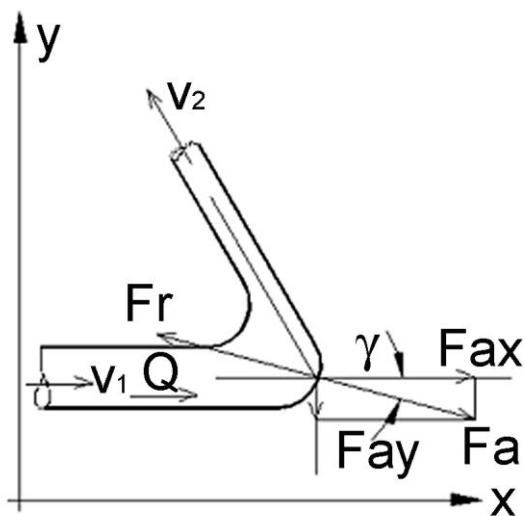


**Zadatak A27.** Sračunati silu na koljeno vodovodne cijevi da bi se dimenzionisao anker blok koji će je prihvatiti. Potrebni podaci dati su na slici.



$Q=50\text{l/s}$ ,  $d_1=20\text{cm}$ ,  $d_2=10\text{cm}$ ,  $\alpha=60^\circ$ ,  $p_1=0,4077\text{bar}$ .

**Rješenje:**



Komponente sile u pravcima:

$$F_{ax} = \rho \cdot Q \cdot (v_{1x} - v_{2x}) + (p_1 \cdot S_1)_x - (p_2 \cdot S_2)_x$$

$$F_{ay} = \rho \cdot Q \cdot (v_{1y} - v_{2y}) + (p_1 \cdot S_1)_y - (p_2 \cdot S_2)_y$$

Brzine vode u cijevima:

$$v_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 0,05}{\pi \cdot 0,2^2} = 1,5915 \text{ m/s}$$

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = 1,5915 \cdot \left(\frac{0,2}{0,1}\right)^2 = 6,3662 \text{ m/s}$$

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho \cdot (v_1^2 - v_2^2)}{2} = 0,4077 \cdot 10^5 + \frac{1000 \cdot (1,5915^2 - 6,3662^2)}{2} = 21772,28 \text{ N/m}^2$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v_{1x} = v_1 = 1,5915 \text{ m/s}$$

$$v_{1y} = 0$$

$$v_{2x} = -v_2 \cdot \cos \alpha = -6,3662 \cdot \cos 60^\circ = -3,1831 \text{ m/s}$$

$$v_{2y} = v_2 \cdot \sin \alpha = 6,3662 \cdot \sin 60^\circ = 5,5133 \text{ m/s}$$

$$(p_1 \cdot S_1)_x = p_1 \cdot S_1 = 40770 \cdot 0,0314 = 1280,83 \text{ N}$$

$$(p_1 \cdot S_1)_y = 0$$

$$(p_2 \cdot S_2)_x = -(p_2 \cdot S_2) \cdot \cos \alpha = -(21772,28 \cdot 7,854 \cdot 10^{-3}) \cdot \cos 60^\circ = -85,5 \text{ N}$$

$$(p_2 \cdot S_2)_y = -(p_2 \cdot S_2) \cdot \sin \alpha = -(21772,28 \cdot 7,854 \cdot 10^{-3}) \cdot \sin 60^\circ = -148,09 \text{ N}$$

$$F_{ax} = 1000 \cdot 0,05 \cdot (1,5915 + 3,1831) + 1280,83 + 85,5 = 1605,06 \text{ N}$$

$$F_{ay} = 1000 \cdot 0,05 \cdot (0 - 5,5133) + 0 - 148,09 = -423,75 \text{ N}$$

Ukupna sila:

$$F_a = \sqrt{F_{ax}^2 + F_{ay}^2} = \sqrt{1605,06^2 + 423,75^2} = 1660,06 \text{ N}$$

Pravac sile:

$$\operatorname{tg} \gamma = \left| \frac{F_{ay}}{F_{ax}} \right| = \frac{423,75}{1605,06} = 0,264 \Rightarrow \gamma = 14,7893^\circ$$

**Zadatak A28.** Postrojenje za prečišćavanje vode za piće potroši 49,9 kg/dan hlora za tretman 0,438 m<sup>3</sup>/s vode. Količina rezidualnog hlora nakon 30 minuta je 0,55 mg/l. Odrediti količinu unijetog hlora i potrošnju hlora u vodi.

**Rješenje:**

$$\text{hlor} = \frac{49,9 \text{ kg/dan}}{37,850 \text{ m}^3/\text{dan}} = 1,32 \text{ kg/m}^3 = 1,32 \text{ mg/l}$$
$$(0,438 \text{ m}^3/\text{s} = 37,850 \text{ m}^3/\text{dan})$$

Potrošnja hlora nakon 30 minuta:

(potrošnja hlora = ukupni hlor - rezidualni hlor)

$$\text{Potrosnja} = 1,32 \text{ mg/l} - 0,55 \text{ mg/l} = 0,77 \text{ mg/l}$$

**Zadatak A29.** Kalcijumhipohlorid, koji sadrži 70% dostupnog hlora, koristi se za dezinfekciju vode u dovodnoj cijevi. Sračunati koliko kilograma suvog kalcijumhipohlorida je potrebno da bi se napravio dvoprocentni rastvor hipohlorida u sudu zapremine 190 l. Zapremina dovodnog cijevovoda je 60,6 l. Koliko 2%-og rastvora hipohlorida je potrebno za zadovoljenje potreba za hlorom od 55 mg/l?

**Rješenje:**

Za spravljanje 190 litara dvoprocentnog rastvora hipohlorida, potrebno je:

$$M = \frac{190 \cdot 1,0 \text{ kg/l} \cdot 0,002}{0,70} = 5,42 \text{ kg} \text{ suvog kalcijumhipohlorida.}$$

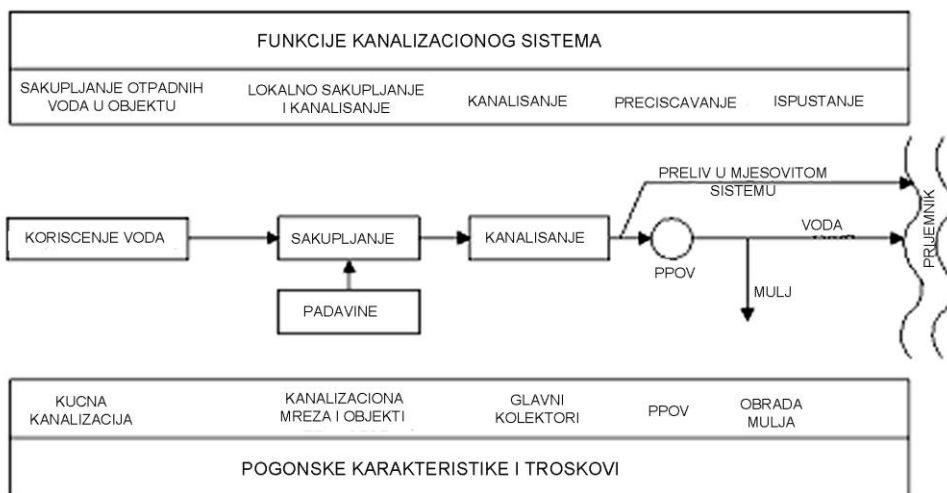
Potrebna zapremina 2%-og rastvora hipohlorida za dovodni cjevovod, za zadovoljenje potreba za hlorom od 55 mg/l:

$$20 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot X(\text{l}) = 55 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 60,6 \text{ l}$$
$$X = 167 \text{ l}$$

# **B - KANALIZACIONI SISTEMI**

### B 1 PROJEKTOVANJE KANALIZACIONIH SISTEMA

Kanalizacioni sistem čini skup, prije svega građevinskih objekata, koji služe za što brže i efikasnije odvođenje otpadnih voda iz čovjekove neposredne okoline i njihovo odvođenje do uređaja za prečišćavanje ili do direktnog ispusta u odgovarajući prijemnik.



Slika B 1.1 Shematski prikaz kanalizacionog sistema

Otpadne vode su sve vode koje su upotrijebljene u određene namjene i pri tome su opterećene određenim zagađenjem. Pod pojmom otpadnih voda podrazumijevaju se i atmosferske vode dospjele u sisteme kanalizacije kao i tzv. tuđe vode.

Osnovu proračuna kanalizacionog sistema predstavlja analiza mjerodavnih količina otpadnih voda koje je potrebno prikupiti i odvesti ovim sistemom. Osnovna baza podataka crpi se iz podataka vodovoda (podaci o potrošnji vode) i hidroloških podloga (podaci o padavinama).



### B 1.1 Podjela otpadnih voda

Prema porijeklu i karakteru zagađenja, otpadne vode možemo razvrstati u četiri osnovne grupe:

- upotrijebljene vode iz domaćinstva (sanitarne otpadne vode);
- industrijske otpadne vode;
- atmosferske vode;
- tuđe vode.

#### B 1.1.1 Sanitarne otpadne vode

Sanitarne otpadne vode su vode upotrijebljene u domaćinstvima, javnim i uslužnim ustanovama (bolnice, škole i dr.) i ostalim neproizvodnim djelatnostima. Sanitarne otpadne voda se dijele na:

- fekalne vode (iz sanitarnih uređaja);
- potrošne vode (od pranja, kuvanja, lične higijene itd.).

U postupku određivanja količina sanitarnih otpadnih voda potrebno je znati:

- broj stanovnika za predviđeni projektni period (N);
- specifični dotok otpadne vode  $q_{sp}$  (l/st.d).

Broj stanovnika (N) zavisi od lokalnih i socijalno - ekonomskih uslova naselja i vremenski je promjenljiva kategorija. Broj stanovnika definisan je planskim dokumentima za usvojeni projektni period (20-50 godina). Ako za naselje takav plan ne postoji, broj stanovnika se procjenjuje na bazi predviđene stope priraštaja npr. prema sledećoj formuli (detaljnije objašnjenje u dijelu vodovoda):

$$N_p = N_s \left( 1 + \frac{P}{100} \right)^n$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

gdje je:

$N_p$  ..... budući prognozirani broj stanovnika;

$N_s$  ..... sadašnji broj stanovnika;

$P$  ..... godišnja stopa priraštaja stanovništva;

$n$  ..... projektni period za koji se gradi sistem kanalizacije.

Specifični doticaj otpadne vode -  $q_{sp}$  (l/st.d), definiše se kao srednji dnevni doticaj po jednom stanovniku. Zavisí od niza faktora kao što su: životni standard, cijena i kvalitet vode, klimatski uslovi, sanitarno-tehnička opremljenost stanova i izgrađenosti sistema kanalizacije.

*Tabela B 1.1 Specifična potrošnja vode u domaćinstvu*

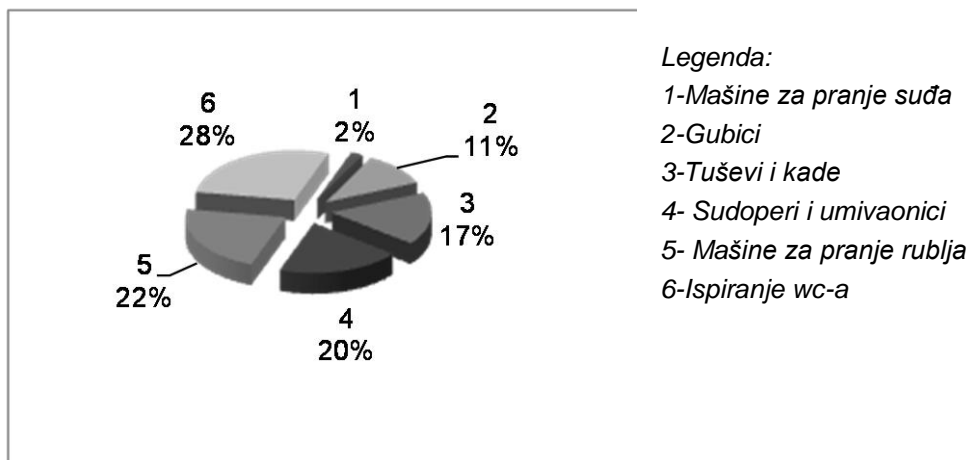
Tip otpadnih voda	Količina(l/st.dan)
Kuhinjske	20-40
Sanitarne	35-95
Tuševi	35-105
Otpadne vode od pranja	30-60
UKUPNO	120-300

*Tabela B 1.2 Specifična potrošnja vode u domaćinstvu prema ATV-A118*

Veličina naselja	Specifični dotok otpadnih voda (l/st.dan)
< 5.000	150
5.000-10.000	180
10.000-50.000	220
50.000 - 250.000	260
> 250.000	300

Tabela B 1.3 Specifični dotok otpadnih voda za različite objekte

Tip objekta	Jedinica	Specifični dotok (l/jed.dan)	
		raspon	prosjek
Stambeni prostor (stan, kuća)	Stanovnik	150-300	190
Kancelarija	Zaposleni	26-61	49
Škola - osnovna	Učenik	19-64	42
Škola - srednja	Učenik	38-79	57
Zdravstvena ustanova	Zaposleni	19-57	38
	Krevet	470-910	630
Starački dom	Zaposleni	19-57	38
	Stanovnik	190-450	340
Restoran	Zaposleni	30-45	38
	Gost	30-38	34
Kafe bar	Zaposleni	30-45	38
	Gost	8-15	11
Hotel (motel)	Zaposleni	30-49	38
	Gost	150-230	190
Kamp	Gost	50 - 350	150
Javni wc	Korisnik	11-23	19
Trgovački centar (trgovina)	Zaposleni	26-49	38
	Parking mjesto	4-11	8
Industrija (manja proizvodnja) pogonipogon)	Zaposleni	26-61	49
Bioskop	Sjedište	8-15	11
Servisne stanice	Zaposleni	34-57	49
	Automobil	30-57	45



Slika B 1.2 Udio pojedinih sanitarnih predmeta i uređaja u ukupnoj potrošnji vode u domaćinstvu

U slučajevima kada se specifični dotok otpadnih voda računa na osnovu podatka o potrošnji vode, treba imati u vidu da se dio pitke vode troši za namjene koje ne podliježu odvođenju u kanalizacioni sistem (piće, pranje auta, zalivanje i gubici u vodovodnoj mreži). Dosadašnja iskustva pokazuju da specifični dotok otpadnih voda u prosjeku iznosi 85-90% specifične dnevne potrošnje vode u vodovodu. Zavisno od tipa naselja i održavanja vodovodnih sistema mogući su i drugačiji odnosi i količine. Na osnovu podataka o broju stanovnika za predviđeni projektni period i specifičnog dotoka otpadnih voda može se odrediti srednji dnevni proticaj otpadnih voda  $Q_{sr,dn}$  (l/dan) :

$$Q_{sr,dn} = q_{sp} \cdot N_k$$

Kod hidrauličkog dimenzionisanja sistema kanalizacije mjerodavne su sljedeće količine vode:

a) Maksimalni dnevni proticaj otpadnih voda  $Q_{max,dn}$  (l/dan) dobije se kao proizvod srednjeg dnevnog proticaja i koeficijenta dnevne neravnomjernosti:

$$Q_{max,dn} = K_d \cdot Q_{sr,dn}$$

b) Maksimalni časovni proticaj  $q_{max,h}$  (l/h) u odnosu na  $Q_{max,dn}$  izražava se koeficijentom časovne neravnomjernosti:

$$Q_{max,dn} = \frac{K_h \cdot Q_{max,dn}}{24} = \frac{K_h \cdot K_d \cdot Q_{sr,dn}}{24}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Tabela B 1.4 Maksimalni satni proticaj domaćih otpadnih voda prema ATV-A118

Veličina naselja	Specifični dotok otpadnih voda (l/st.dan)	Maksimalni časovni proticaj	
		Proizvod koeficijena dnevnne i satne neravnomjernosti	$Q_{\max,h}$ (l/s/1000st)
<5000	150	2,88	5,0
5.000÷10.000	180	2,40	5,0
10.000÷50.000	220	1,96	5,0
50.000÷250.000	260	1,66	5,0
>250.000	300	1,44	5,0

Tabela B 1.5 Koeficijent dnevne neravnomjernosti

Kategorija potrošača	K1	K2	K1/K2
Naselje seoskog tipa	2,00	0,40	5,00
Naselje mješovitog tipa	1,70	0,50	3,40
Naselje gradskog tipa;			
do 10.000 stanovnika	1,50	0,60	2,50
10.000 do 50.000 stanovnika	1,40	0,65	2,20
50.000 do 100.000 stanovnika	1,30	0,70	1,90
preko 100.000 stanovnika	1,25	0,70	1,80
Turistički objekti:			
de luxe i A kategorija	1,40	0,60	2,35
ostale kategorije	1,60	0,60	2,70
privatni smještaj	1,80	0,50	3,60
kampovi	2,00	0,40	5,00
bolnice	1,50	0,60	2,50
stoka	1,50	0,60	2,50
<i>K1 -koeficijent maksimalne dnevne odnosno mjesečne neravnomjernosti;</i>			
<i>K2 -koeficijent minimalne dnevne odnosno mjesečne neravnomjernosti.</i>			

Tabela B 1.6 Koeficijent satne neravnomjernosti

Kategorija potrošača	K3	K4	K3/K4
Naselje seoskog tipa	3.00	0,10	30,00
Naselje mješovitog tipa	2.40	0.10	24.00
Naselje gradskog tipa:			
do 10.000 stanovnika	1.80	0.25	7.00
10.000 do 50.000 stanovnika	1,60	0.30	5.50
50.000 do 100.000 stanovnika	1,50	0.30	5,00
preko 100.000 stanovnika	1,40	0,35	4,00
Turistički objekti:			
de luxe i A kategorija	2.50	0.25	10.00
ostale kategorije	2,20	0,25	9,00
privatni smještaj	2,20	0,25	9,00
kampovi	2.30	0.00	
bolnice i sanatoriji	2.20	0.00	
stoka	3,00	0,10	
<i>K3 -koeficijent maksimalne časovne neravnomjernosti;</i>			
<i>K4 -koeficijent minimalne časovne neravnomjernosti.</i>			

### B 1.1.2 Industrijske otpadne vode

Industrijske otpadne vode nastaju korišćenjem voda u različitim tehnološkim procesima. Njihov kvalitet bitno se razlikuje od kvaliteta upotrijebljenih voda iz domaćinstava. Jedino su vode iz sanitarnih uređaja u industriji jednakih osobina kao i sanitarne otpadne vode. Mjerodavne količine industrijskih otpadnih voda teško je generalno odrediti zbog primjene različitih tehnoloških procesa. Svaka industrija mora se posebno analizirati. U stručnoj literaturi mogu se naći brojni podaci o količinama industrijskih otpadnih voda, izraženi uglavnom kao količina vode po jedinici proizvoda. Imajući u vidu da se tehnološki procesi s vremenom usavršavaju, što utiče na promjenu potrošnje vode, literaturni podaci mogu poslužiti samo kao orijentacioni. Anketom ili neposrednim mjerenjem jednostavno se mogu utvrditi mjerodavne količine industrijskih otpadnih voda. Kod novih industrijskih postrojenja problem je znatno složeniji.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

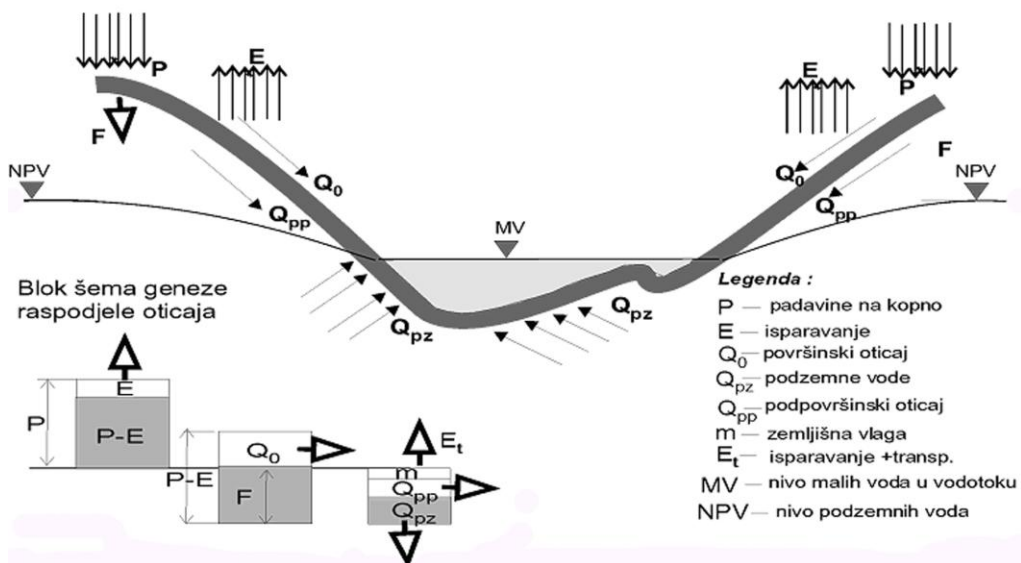
Ukoliko se ne raspolaže informacijama na osnovu kojih bi se mogla odrediti količina otpadnih voda iz pojedine industrije, ATV-A-118 predlaže sljedeće jedinične količine:

- tehnološki procesi s malom potrošnjom - 0,5 l/s-ha;
- tehnološki procesi sa srednjom potrošnjom -1,0 l/s-ha;
- tehnološki procesi s velikom potrošnjom -1,5 l/s-ha.

Poznavanje količina otpadnih voda iz pojedinih tehnoloških procesa nije dovoljno za određivanje mjerodavnih proticaja. Prilikom rješavanja kanaliziranja industrijskih otpadnih voda od značaja je poznavanje režima ispuštanja iz pojedinih tehnoloških procesa.

### B 1.1.3 Atmosferske vode

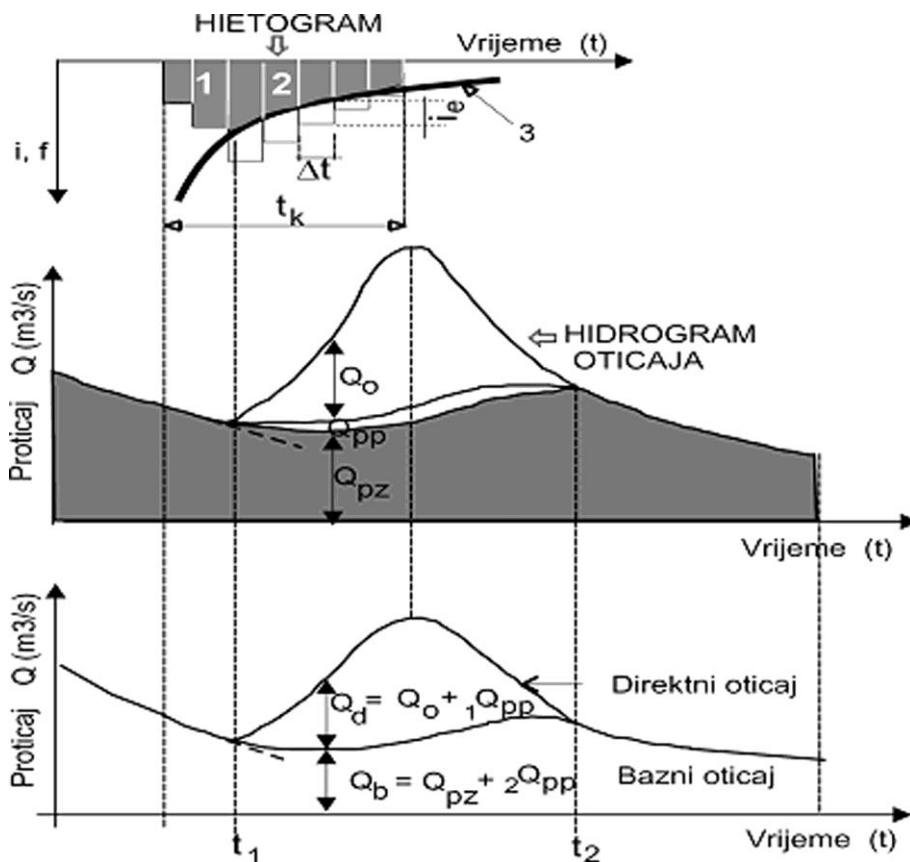
Određivanje mjerodavnih količina atmosferskih voda koje dolaze u sistem kanalizacije je zadatak hidrologije. Svodi se na određivanje maksimalnog proticaja i cjelokupnog hidrograma oticanja, sa nekog sliva čije se atmosferske vode kanališu. Vršni proticaj je mjerodavan za dimenzionisanje kanala, a cjelokupni hidrogram za dimenzionisanje objekata na kanalskoj mreži (crpne stanice, prelivi, retenzioni bazeni...).



Slika B 1.3 Šematski prikaz elementa jednačine bilansa hidrološkog ciklusa

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Pojedine komponente u sklopu ciklusa oticaja zavise od hidrogeoloških i hidroloških karakteristika predmetnog slivnog područja.



Slika B 1.4 Komponente hidrograma oticaja

Proračun maksimalnog proticaja najčešće se vrši primjenom racionalne formule:

$$Q_{\max} = i \cdot A \cdot c$$

gdje je:

$Q_{\max}$ .....maksimalni proticaj(l/s);

$i$  .....intenzitet padavina (l/s-ha);

$A$ ..... površina slivnog područja (ha);

$c$ .....koeficijent oticanja.

Racionalna metoda se primjenjuje za male slivove (do~10,0km<sup>2</sup>). Pretpostavka je da se maksimalno oticanje u kontrolnom profilu

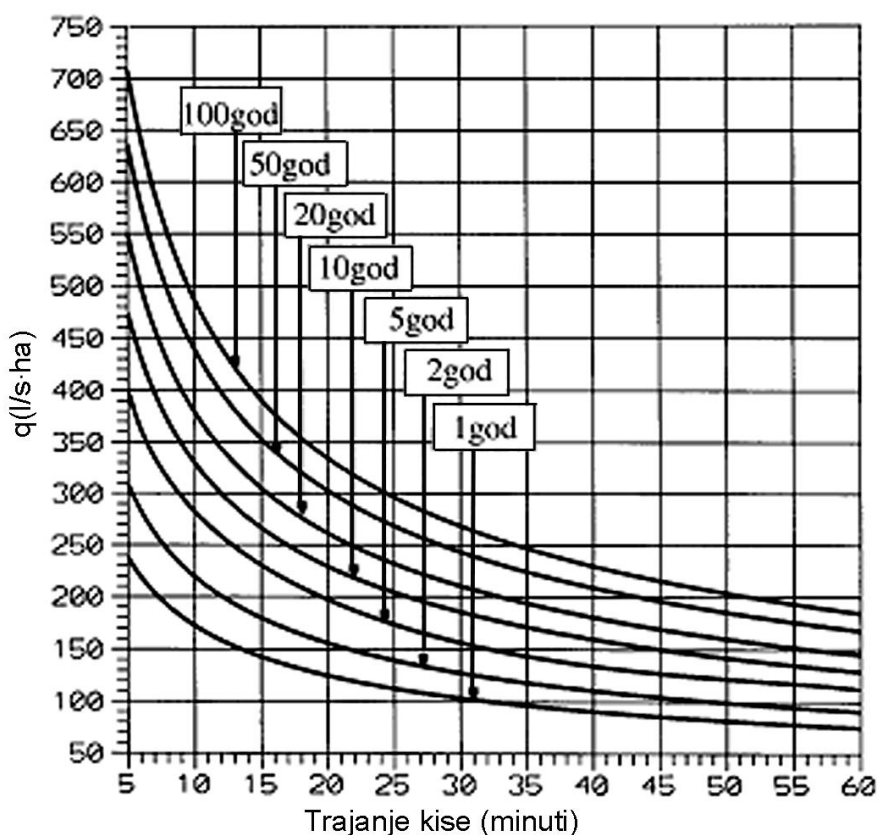


## B- KANALIZACIONI SISTEMI

pojavljuje kada čitavo slivno područje učestvuje u formiranju oticanja (vrijeme trajanja padavina je jednako vremenu koncentracije). Druga pretpostavka ja da je intenzitet padavina jednak na čitavom slivu.

Proračun vršnog proticaja prema racionalnoj metodi svodi se na određivanje mjerodavnog intenziteta padavina korišćenjem ITP-krivih i određivanje koeficijenta oticaja.

Intenzitet padavina je u funkciji njihovog trajanja, odnosno vremena koncentracije  $t_c$  i perioda ponavljanja. Međusobni odnos intenziteta, trajanja i ponavljanja kiše prikazuje se ITP-krivima.



Slika B 1.5 ITP- krive za povratne periode od  $T=1,2,5,10,20,50$  i 100 godina za grad Podgoricu

Vrijeme koncentracije predstavlja vrijeme potrebno da elementarna efektivna zapremina pale kiše sa najudaljenije tačke sliva dotekne do mjesta mjernog profila u vodotoku.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Izbor povratnog perioda (PP) zasniva se prije svega na "cost-benefit" ekonomskoj analizi, koja se zasniva na poređenju šteta i troškova izgradnje kanalizacionog sistema. Kod nas se najčešće koriste sledeći povratni periodi:

- za sekundarnu kanalizacionu mrežu: PP = 1 god;
- za primarnu kanalizacionu mrežu: PP = 2 god;
- za glavne kanale: PP = 5 god;
- za kanalisanje važnih djelova grada: PP = 5÷50 god.

Koeficijent oticaja predstavlja odnos efektivne kiše i ukupne kiše pale na slivno područje. Zavisí od karakteristika slivnog područja: hidrogeoloških, klimatskih, evapotranspiracije, tipa tla i vrste površine.

*Tabela B 1.7 Koeficijent oticaja za različita područja*

Karakteristike područja	C
Gradska područja, urbanizovana: stari dio grada predgrađe	0,7-0,95 0,5-0,7
Područja stanovanja: rijetka izgradnja porodičnih kuća gusta izgradnja porodičnih kuća gusta stambena izgradnja	0,3-0,5 0,4-0,6 0,6-0,8
Industrijska područja: područja rijekto izgrađena područja guste izgradnje	0,3-0,7 0,6-0,9
Parkovi, livade i slično	0,10-0,25
Igrališta i slično	0,20-0,35
Željezničke stanice	0,20-0,40
Neizgrađene površine	0,10-0,30

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Tabela B 1.8 Koeficijent oticanja prema vrsti površine

Karakteristike površine	C
Ulice: asfalt beton cigla tucanik	0,70-0,95 0,80-0,95 0,70-0,85 0,25-0,45
Šetališta, trotoari i slično: betonske ili asfaltne trotoar sa spojnicama mozaik od kamenih ploča i sl.	0,75-0,85 0,70-0,80 0,40-0,55
Krovovi	0,75-0,95
Prirodne površine: pjeskoviti teren: ravan, 2% . pjeskoviti teren: srednji nagib, 2-7% pjeskoviti teren: strmo, 7% i više	0,05-0,10 0,10-0,15 0,15-0,20
Teško, manje propusno tlo: ravno, 2% srednje, 2-7% strmo, 7% i vise	0,13-0,17 0,18-0,22 0,25-0,35

Kada su unutar slivnog područja prisutne različite vrste površina, onda se računa srednji koeficijent oticaja prema formuli:

$$C_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

gdje je:

$c_1, c_2, \dots, c_n$  koeficijenti oticaja različitih vrsta površina;

$A_1, A_2, \dots, A_n$  pripadajuće površine.

Najprecizniji proračun količine atmosferske vode danas se zasniva na primjeni numeričkih modela koji simuliraju tečenje u kanalizaciji i u sebi sadrže module koji računaju količine vode na osnovu ulaznih podataka sa hidroloških stanica.

### **B 1.1.4 Tuđe vode**

To su sve vode koje dopijevaju u sistem kanalizacije, a nijesu uzete u obzir kod određivanja količina upotrijebljenih voda iz domaćinstva i industrijskih otpadnih voda. U tu grupu spadaju podzemne vode koje se procjeđuju u kanalsku mrežu kroz spojeve i pukotine, atmosferske vode koje se ulivaju kroz poklopce revizionih okana i druge otvore i ilegalni priključci upotrijebljenih ili atmosferskih voda.

Tuđe vode se ne uzimaju u obzir kod opšteg sistema kanalizacije, već jedino kod proračuna separacionog sistema kanalizacije. Količina tuđih voda zavisi od hidrogeoloških i hidroloških karakteristika područja, kvaliteta izvođenja sistema kanalizacije (vrsta i kvaliteta spojeva, upotrijebljeni materijali), održavanje kanalizacione mreže i sl.

S obzirom na navedene uticaje, količine tuđih otpadnih voda variraju od mjesta do mjesta i teško ih je precizno odrediti. Najčešće se izražavaju kao određeni procenat srednjeg dnevnog proticaja svih otpadnih voda. Mogu se još izraziti u [l/s-ha] posmatranog područja ili u [l/s-km], odnosno po kilometru kanalizacione mreže.

### **B 1.2 Hidraulički proračun kanalizacije**

Od trenutka početka toka kroz sistem kanalizacije, otpadna voda mijenja svoje karakteristike i sastav što utiče na oticanje unutar sistema i na sigurnost njegovog rada. To je rezultat različitih procesa koji se odvijaju u kanalizacionoj mreži. Ovi procesi, odnosno promjene zavise od više faktora koji su takođe promjenljivi, te ih je vrlo teško pouzdano predvidjeti u proračunu. Zbog toga se kod proračuna sistema kanalizacije koriste najvjerovatniji ulazni podaci koji su znatno opterećeni pretpostavkama.

Projektovanje sistema kanalizacije nije samo rezultat teorijskih znanja, već daleko više praktičnih iskustava. Tako se danas kod proračuna primjenjuje cijeli niz smjernica i preporuka koje su nastale kao rezultat praktičnih dugogodišnjih iskustava kao i pojednostavljenja nekih teorijskih znanja. Smjernice treba posmatrati samo kao dobru polaznu osnovu za projektovanje, odnosno donošenje odluka i rješenja, koje uvijek treba prilagođavati lokalnim uslovima i iskustvima. Ovo se posebno odnosi kod preuzimanja smjernica koje su razvijene u drugim zemljama i koje su rezultat njihovih dugogodišnjih iskustava.

### B 1.2.1 Karakteristike tečenja u sistemu kanalizacije

Hidrauličke režime tečenja u kanalizaciji odlikuje veliki broj mogućih istovremenih oblika tečenja, kako se može vidjeti u sledećoj tabeli:

Tabela B 1.9 Oblici tečenja u kanalizacionom sistemu

Oblik tečenja	Kriterijum	Oblik tečenja	Kriterijum
Stacionaran	$\frac{\delta(\cdot)}{\delta t} = 0$	Nestacionaran	$\frac{\delta(\cdot)}{\delta x} \neq 0$
Jednolik	$\frac{\delta(\cdot)}{\delta x} = 0$	Promjenljiv	$\frac{\delta(\cdot)}{\delta x} \neq 0$
Stalan	$q = 0$	Nestalan	$q \neq 0$
Mimi	$Fr < 1$	Silovit	$Fr > 1$
Laminaran	$Re < 2320$	Turbulentan	$Re > 2320$
Jednofazni	Otpadna voda	Višefazni	Otpadna voda + vazduh

gdje je:

$\frac{\delta(\cdot)}{\delta t} = 0$  promjene dimenzija proticaja (Q, h, v itd.) u jedinici vremena t;

$\frac{\delta(\cdot)}{\delta x} = 0$  promjene dimenzija proticaja (Q, h, v itd.) duž kanala x;

q bočni dotok po jedinici dužine kanala;

Fr Froude-ov broj;

Re Reynolds-ov broj.

Iako u stvarnosti ne postoji jedan trajniji karakteristični režim tečenja, u proračun se moraju unijeti pojednostavljena koja za posledicu nemaju velike greške u rezultatima proračuna. Greške koje se unose u proračun preko ulaznih parametara (mjerodavne količine otpadnih voda, pogonska hrapavost itd.) su sa mnogo većim posledicama po krajnji rezultat. U skladu s tim, kod proračuna tečenja u kanalizacionim sistemima se pretpostavlja da se radi o stacionarnom, jednolikom tečenju.

Hidraulički proračun, odnosno dimenzionisanje mreže se vrši u odnosu na mjerodavne količine otpadnih voda i karakteristike kanalizacione mreže (materijal, padovi terena itd.). Pri tome se poštuje osnovni princip da projektovani sistem kanalizacije u svakom trenutku mora omogućiti nesmetano odvođenje svih otpadnih voda.

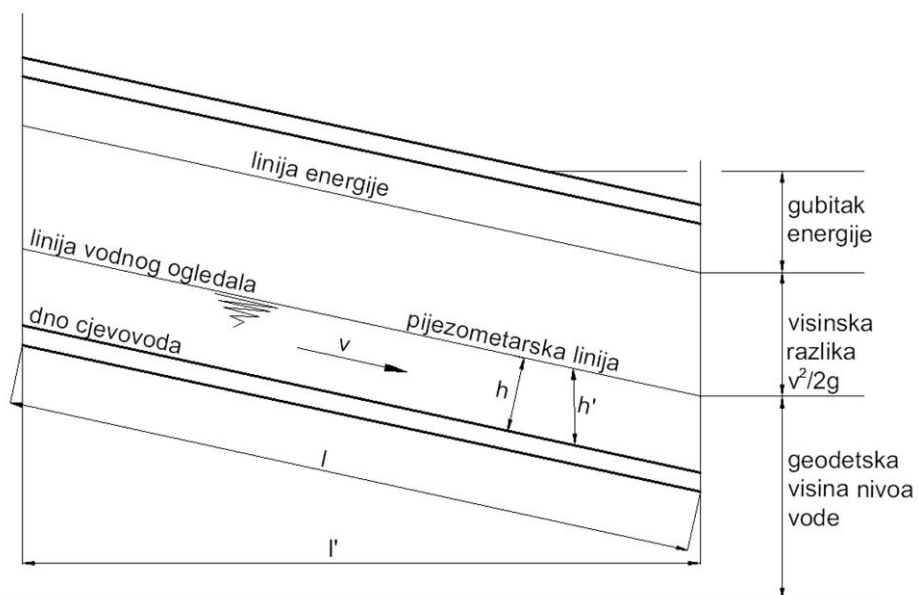
Hidraulički proračun i dimenzionisanje kanalizacione mreže sprovodi se za maksimalnu časovnu količinu otpadnih voda, po svim pripadajućim dionicama mreže. Kako se režim tečenja u

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

kanalizacionoj mreži razlikuje po njenim djelovima, moguće su dvije vrste proračuna:

- hidraulički proračun tečenja sa slobodnim vodnim ogledalom;
- hidraulički proračun tečenja pod pritiskom.

Hidraulički proračun toka sa slobodnim vodnim ogledalom je najčešći slučaj tečenja u kanalizaciji. Polazi se od pretpostavke jednolikog, stacionarnog tečenja (konstantna dubina vode tj. isti uzdužni pad dna kanala, vodnog ogledala i linije energije).



Slika B 1.6 Jednoliko tečenje u djelimično ispunjenom kanalu (cijevi)

Osnovna jednačina za proračun jednolikog tečenja je Šezijeva formula za brzinu, koja uz zamjenu Manningovog koeficijenta hrapavosti ima oblik:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

pa je proticaj jednak:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} I^{1/2}$$

Koeficijent hrapavosti,  $n$ , zavisi od vrste cijevnog materijala i starosti odnosno stanja unutrašnjih zidova cijevi.

Tabela B 1.10 Vrijednosti koeficijenta hrapavosti po Manningu za različite vrste kanalske obloge

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

Danas se u praksi više koriste Darcy-Weisbachova i Colebrook-Whiteove jednačina, pošto je dokazano da tečenje u kanalizacionoj mreži spada u turbulentno prelazni režim tečenja:

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

gdje je:

$\lambda$  koeficijent trenja;

L dužina dionice koja se računa (m);

v srednja brzina tečenja (m/s);

D unutrašnji prečnik cjevovoda (m);

g ubrzanje uslijed sile teže (m/s<sup>2</sup>);

I pad energetske linije.

Izraz za koeficijent trenja mijenja se zavisno od režima tečenja. Praksa je da se kod hidrauličkog dimenzionisanja kanalizacione mreže

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

proračun sprovodi u skladu s Colebrook-Whiteovom formulom opštog oblika:

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

gdje je:

$\varepsilon$  apsolutna hidraulička hrapavost (mm);

Re Reynolds-ov broj.

Kombinacijom dviju prethodnih jednačina dobija se izraz za brzinu tečenja:

$$v = -2 \sqrt{2gDI} \cdot \log \left( \frac{2,51v}{D \sqrt{2gDI}} + \frac{\varepsilon}{3,71D} \right)$$

Odnosno proticaj za cijevi okruglog presjeka se računa kao:

$$Q = \frac{D^2 \pi}{4} \left[ -2 \sqrt{2gDI} \cdot \log \left( \frac{2,51v}{D \sqrt{2gDI}} + \frac{\varepsilon}{3,71D} \right) \right]$$

Proticaj se takođe određuje iz jednačine kontinuiteta:

$$Q = v \cdot A.$$

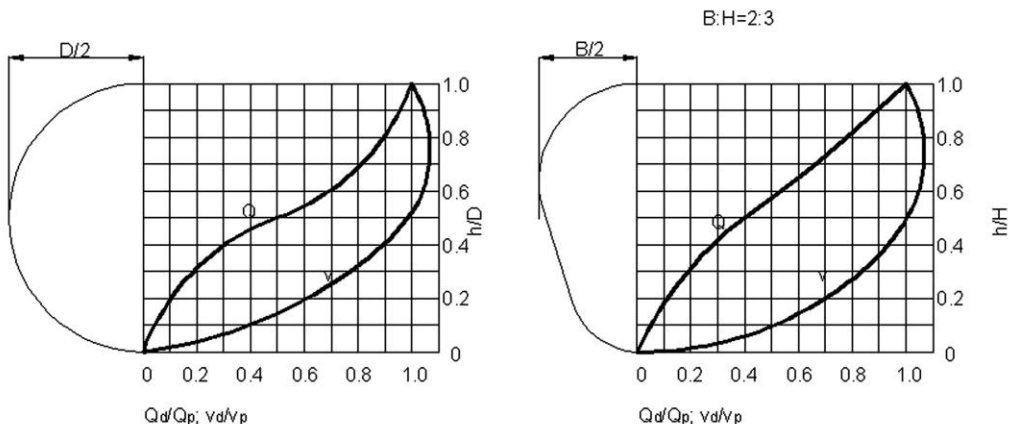
Da bi se prethodni proračun uprostio i ubrzao koriste se tablice koje su izrađene u funkciji profila, brzine, kapaciteta, hidrauličkog gradijenta i hrapavosti.

Gornje jednačine se koriste za proračun kanalizacionih cijevi ispunjenih do vrha, dok se za djelimično ispunjene cijevi koriste funkcije:

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

$$\frac{v_d}{v_p} = f_1 \left( \frac{R_d}{R_p} \right)^{5/8}, \frac{Q_d}{Q_p} = \frac{A_d}{A_p} \left( \frac{R_d}{R_p} \right)^{5/8}.$$





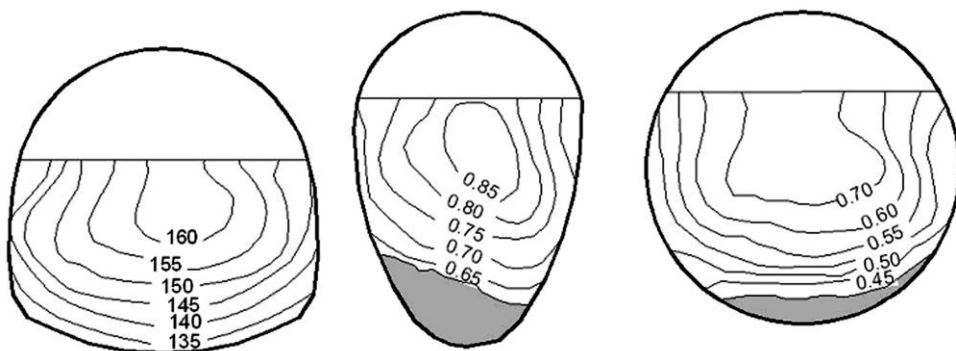
Slika B 1.7 Hidraulički parametri kanalizacionih cijevi za proračun djelimično ispunjenih profila

Lokalni gubici u kanalizacionim kolektorima ne ulaze u proračun jer su uključeni u pogonsku hrapavost. Ovo ne važi kod proračuna za pojedine prateće objekte u kanalizaciji (sifoni, ispusti itd.) i kanale pod pritiskom kada se svi lokalni gubici moraju uzimati pojedinačno.

### B 1.2.2. Ograničenja projektnih parametara

#### Ograničenje brzina

U sistemima kanalizacije nijesu poželjne ni pretjerano male ni pretjerano velike brzine. Male brzine tečenja pogoduju taloženju i mogućnosti začepjenja, a usljed velikih brzina dolazi do abrazije cijevi (djelovanjem suspenzija u vodi). Iz tog razloga se moraju se ograničiti, kako minimalne tako i maksimalne brzine u kanalima.



Slika B 1.8 Raspored brzina u poprečnom profilu kolektora različitih poprečnih presjeka

Na slici B 1.8. je prikazan raspored brzina u poprečnom profilu kolektora. Vidi se da su brzine pri dnu najmanje i da procesi taloženja i abrazije zavise primarno od njih. Zbog jednostavnosti proračuna, ograničenje se odnosi na srednju brzinu tečenja u kanalu.

Kod jednolikog tečenja sa slobodnim vodnim ogledalom brzina toka je u funkciji hrapavosti, pada i hidrauličkog radijusa. Za istu vrstu cijevnog materijala i isti pad, brzina je jedino funkcija hidrauličkog radijusa, odnosno oblika poprečnog presjeka kanala.

### *Minimalne brzine*

Za proračun kritične brzine (kod koje neće doći do taloženja organskih i anorganskih suspenzija) koristi se formula Fedorova:

$$v_{\min} = 1,57 \cdot R^{1/K_p}$$

gdje je:

$$k_p = 3,5 + 0,5R;$$

R hidraulički radijus.

Prema njemačkim standardima preporučuju se sljedeće vrijednosti minimalno dopuštenih brzina, kod kojih neće doći do taloženja u cijevima:

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

$$n = 3,5 + 0,5\sqrt{R}$$

Tabela B 1.11 Najmanje dozvoljene brzine u okruglim kanalima za visinu punjenja u kanalu  $h=D/2$

Širina kanala ili prečnik(mm)	Kritična brzina(m/s)	Kritični pod(%)
150	0,48	2,72
200	0,50	2,04
250	0,52	1,63
300	0,56	1,51
350	0,62	1,48
400	0,67	1,45
450	0,72	1,48
500	0,76	1,40
600	0,84	1,37
700	0,91	1,33
800	0,98	1,31
900	1,05	1,29
1000	1,12	1,26
1100	1,18	1,25
1200	1,24	1,24
1300	1,28	1,22
1400	1,34	3,20
1500	1,39	1,19
1600	1,44	1,18
1800	1,54	1,16
2000	1,62	1,14
2400	1,79	1,10
2600	1,87	1,10
2800	1,96	1,09
3000	2,03	1,08

U mnogim praktičnim uslovima teško je ostvariti ove veličine najmanjih brzina, pa se dopuštaju i manje brzine. Kod mješovite i atmosferske kanalizacije, najmanja dozvoljena brzina za kolektore ispunjene 50% profila ili više iznosi:

$$v_{\min}=0,6 \text{ m/s.}$$

Za kanalizaciju za upotrijebljene vode iz domaćinstava :

$$v_{\min}=0,5 \text{ m/s.}$$

Kao najmanju brzina za kolektore za upotrijebljene vode iz domaćinstava dopušta se:

$$v_{\min}=0,3 \text{ m/s,}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

jer kod nje još uvijek neće doći do taloženja organskih materija, međutim, može doći do taloženja neorganskih materija.

### *Maksimalne brzine*

Ograničavanje maksimalnih brzina mora se sprovesti iz razloga zaštite cijevi od abrazije (struganja i ispiranja zidova cijevi i njihovih spojeva). Jedna od preporuka je da maksimalne brzine ne bi trebale prelaziti vrijednosti:

$$v_{\max} = 2,5 - 3,0 \text{ m/s.}$$

Vrsta i osobine cijevnog materijala posebno utiču na maksimalno dozvoljene brzine tečenja. Za pojedine vrste cijevnog materijala maksimalne preporučene brzine su: za betonske cijevi  $v_{\max} = 3,0 \text{ m/s}$ , za armiranobetonske cijevi  $v_{\max} = 4,0 \text{ m/s}$ , za azbestno-cementne cijevi  $v_{\max} = 4,5 \text{ m/s}$ , za PVC cijevi  $v_{\max} = 5,0 \text{ m/s}$  za čelične cijevi  $v_{\max} = 7,0 \text{ m/s}$ . Preporuka je da se ove brzine dopuštaju na pojedinim kraćim dionicama, a ne u dugim kanalima ili cijeloj mreži.

### **Ograničenje podužnih padova**

Podužni padovi kanala su u direktnoj proporciji sa vrijednostima brzine. Prema tome, kada se govori o minimalnim i maksimalnim brzinama, može se govoriti i o minimalnim i maksimalnim padovima. Brzina u cjevovodu je posljedica podužnog nagiba cijevi, pa se projektovanje pojednostavljuje ako se zna ograničenje padova. Padovi su u funkciji oblika i veličine profila, kao i veličine hrapavosti cijevnog materijala. Usvojena vrijednost uzdužnog pada mora se uvijek provjeriti preko odgovarajuće vrijednosti brzine.

### *Minimalni padovi*

Minimalni padovi se mogu odrediti na više načina. Korišćenjem formule Fedorova za minimalne brzine i zamjenom ograničenja za pojedine okrugle profile u formulu za brzine, dobiju se pripadajući podužni padovi, slika B 1.9.

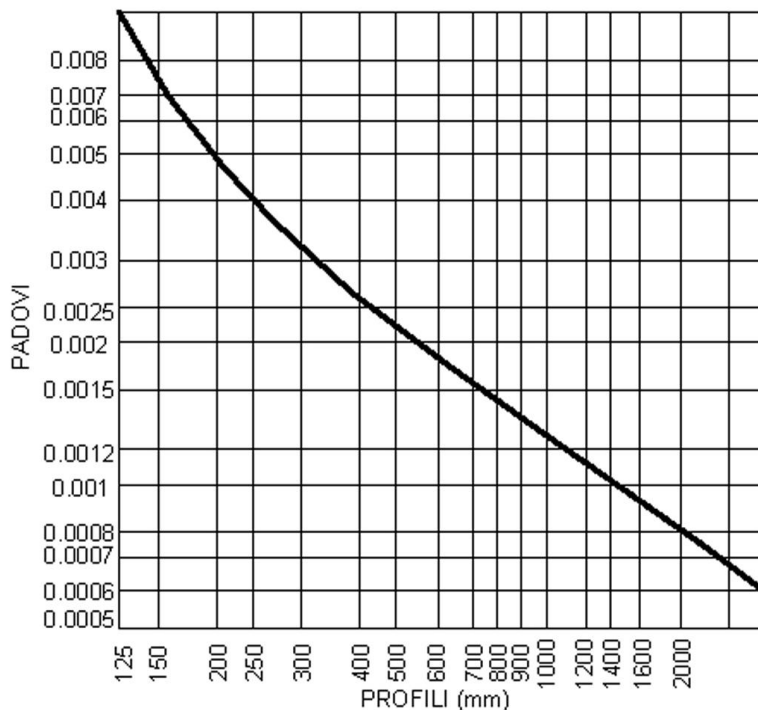
Za praktične svrhe veoma dobre rezultate daje i primjena jednostavne empirijske formule:

$$I_{\min} = \frac{1}{D}$$

gdje je:

D unutrašnji prečnik kanalizacione cijevi (mm);

$I_{\min}$  minimalni uzdužni pad kanala.



Slika B 1.9 Minimalni padovi u funkciji profila, prema Fedorovu

### Maksimalni padovi

Za orijentaciju i praktični proračun takođe se može koristiti empirijska formula:

$$I_{\max} = \frac{1}{D}$$

gdje je:

D unutrašnji prečnik kanalizacione cijevi (cm);

$I_{\min}$  minimalni uzdužni pad kanala.

Po pravilu, u svakom graničnom i konkretnom slučaju, minimalne i maksimalne padove treba izračunati na osnovu minimalno i maksimalno dopuštenih brzina tečenja u kanalu.

### Ograničenje minimalnih profila

Sastav otpadnih voda svakog porijekla često čine i krupne otpadne materije koje mogu prouzrokovati začepljenje cjevovoda, ili u boljem slučaju smanjenje slobodnog profila kanala. Iz tog razloga se u kanalizaciji ograničava korišćenje minimalnih profila, nezavisno od

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

toga da li su oni ispunili uslove minimalne brzine toka i ispunjenosti profila.

Kao minimalni profili u svim uobičajenim uslovima, koriste se :

- $\varnothing_{\min}=250$  - 300 mm, za sistem za upotrijebljene vode iz domaćinstva;
- $\varnothing_{\min}=300$  - 400 mm, za mješoviti i atmosferski sistem kanalizacije.

### **Ograničenje visine punjenja cijevi**

Tečenje u kanalizaciji je najčešće tečenje sa slobodnim vodnim ogledalom što omogućava pravilno priključenje kućnih priključaka, odnošenje plivajućih materija, ventilaciju kanala i sl. Zbog toga mora postojati i ograničenje visine punjenja cijevi, zavisno od prečnika cijevi. Preporučuju se sljedeće visine punjenja za okrugle profile:

$$D = 250 - 300\text{mm} \quad hp=0,60D$$

$$D = 350 - 450\text{mm} \quad hp=0,70D$$

$$D = 500 - 900\text{mm} \quad hp=0,75D$$

$$D > 900\text{mm} \quad hp=0,80D$$

Za ostale oblike poprečnog presjeka cijevi važe ograničenja:

$$H < 300\text{mm} \quad hp=0,60H$$

$$H = 300 - 450\text{mm} \quad hp=0,70H$$

$$H = 450 - 900\text{mm} \quad hp=0,75H$$

$$H > 900\text{mm} \quad hp=0,80H$$

gdje je:

hp .....visina punjenja;

H.....visina kanala.

Iz ovoga slijedi da računski visina punjenja (za mjerodavni proticaj) mora biti jednaka ili manja od maksimalno dopuštenih veličina. Kod sistema atmosferske kanalizacije i mješovitih sistema kanalizacije maksimalni proticaj traje relativno kratko, tako da se može dopustiti i potpuno punjenje kanala na nekim dionicama.

### **Ograničenje dubine ugradnje kanala**

Na dubinu ugradnje kanalizacionih cijevi utiče više faktora: klimatski uslovi (dubina smrzavanja), hidrogeološke osobine tla, spoljašnje opterećenje, dubina priključaka, položaj ostalih instalacija, veličina profila kanala, materijal, način izvođenja kanala... Prilikom određivanja

optimalne dubine ugradnje potrebno je sagledati sve ove faktore. Kod određivanja najmanje dubine ugradnje kanala potrebno je najprije definisati najniža mjesta na predviđenoj trasi. Ukoliko lokalne prilike dozvoljavaju, preporučuju se sljedeće minimalne dubine polaganja, do tjemena cijevi:

- teren do IV kategorije  $d_{\min} = 1,2$  m;
- teren V ili VI kategorije  $d_{\min} = 1,0$  m.

Maksimalne dubine polaganja su isključivo stvar ekonomskih proračuna. Dubine do 6 m se smatraju prihvatljivim.

### B 1.3 Cijevni materijali

Kriterijumi za izbor materijala za izvođene kanalizacionih mreža su višestruki. U načelu oni se mogu svesti na sljedeće:

- količina i kvalitet otpadnih voda koje se kanališu;
- uslovi sredine u kojoj se kanali ugrađuju - prije svega geomehanički i hidrogeološki;
- način izvođenja kanala: kanali od prefabrikovnih elemenata (montažnih ili polumontažnih) i kanali koji se grade na licu mjesta;
- kvalitet materijala: čvrstoća, elastičnost, trajnost, vodonepropusnost i antikorozivnost;
- hidraulički uslovi toka u kanalima;
- troškovi nabavke, transporta i montaže kanala;
- pogonska sigurnost kanala.

Za izgradnju kanalizacionih mreža pretežno se koriste materijali koji se primjenjuju u izgradnji vodovodnih mreža. Ovdje će se opširnije opisati one vrste kanala ili cijevi koje su specifične za kanalizacione sisteme. Za cijevi koje se koriste i kod vodovoda ukazat će se samo na određene posebnosti s obzirom na njihovu primjenu u kanalizaciji.

#### ***Betonske cijevi i kanali***

Beton kao materijal u kanalizaciji se uglavnom primjenjuje kod kanalizacionih mreža sa tečenjem sa slobodnom vodnom površinom – bez mogućnosti pojave uspora, odnosno tečenja pod pritiskom.

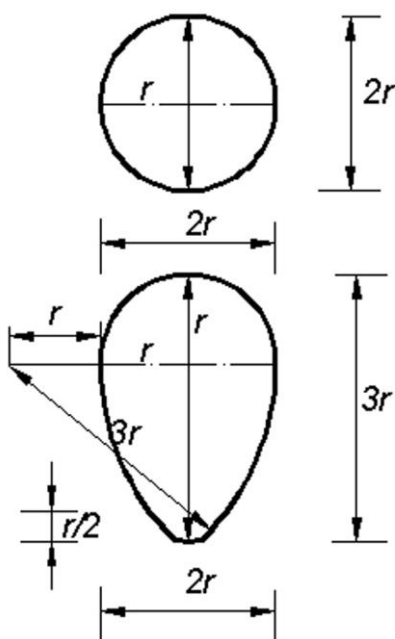
## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

Betonski kanali se mogu graditi kao:

- kanali od fabrički proizvedenih cijevi;
- kanali građeni na licu mjesta.

Fabrički proizvedene betonske cijevi su obično kružnog i jajolikog oblika. Kružne cijevi se proizvode u prečnicima  $D=100$  do  $1200$  mm, a jajolike najčešće dimenzija  $B/H = 300/450$ ,  $400/600$ ,  $500/750$  i  $600/900$  mm. Dužina svih cijevi je najčešće  $L=1$  m, a za manje profile može dostići maksimum  $3$  m.



*Slika B 1.10 Okrugli i normalni jajoliki oblik kanalizacionih cijevi*

Betonske cijevi se pretežno koriste za kanalisanje atmosferskih voda, pošto upotrijebljene i industrijske otpadne vode obično sadrže agresivne materije koji mogu razgraditi zidove cijevi.

Kod primjene u kanalisanju agresivnih voda ove cijevi se štite unutrašnjim premazom nekim antikorozivnim sredstvom (npr. dvokomponentna epoksidna boja za hemijsku zaštitu betona).

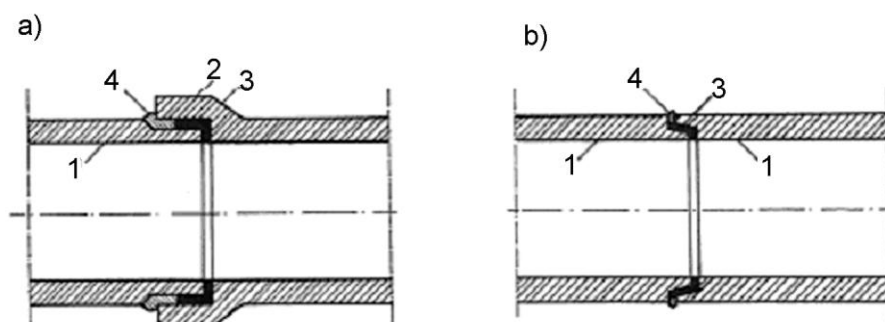




*Slika B 1.11 Kraj betonske cijevi*

Jedna od ključnih mana betonskih cijevi jeste potreba relativno velikog broja spojeva (zbog male dužine cijevi). Ti spojevi su posebno osjetljivi jer su nedovoljno sigurni na vodonepropusnost. Zbog toga se primjena betonskih cijevi ne predlaže kod kanalizacionih mreža položenih ispod nivoa podzemnih voda (mogućnost procjeđivanja), kao i kod kanalizacionih mreža iznad nivoa podzemnih voda (mogućnost zagađenja) koje se koriste u snabdijevanju vodom. Ovu vrstu cijevi karakteriše i relativno velika hrapavost, što dovodi do smanjenja proticaja i veće mogućnosti taloženja čvrstih otpadnih materija.

Cijevi se proizvode s naglavkom i ravnim krajem, tako da se prema tipu cijevi kombinuju i spojevi, kao na slici B 1.12.



1 – ravni kraj cijevi; 2 – naglavak; 3 – plastična traka; 4 – zaštitni cementni malter

*Slika B 1.12 Spajanje betonskih cijevi (a) spoj s naglavkom, (b) spoj na pero i žljeb*

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Prikazani načini spajanja betonskih cijevi s gumenim i plastičnim trakama za obezbjeđenje vodonepropusnosti danas je postao dominantan i u potpunosti je potisnuo doskorašnju praksu kompletnog spajanja cementnim malterom.

Kanali koji se grade na licu mjesta uglavnom se koriste kod izgradnje većih profila koji se ne proizvode fabrički. Drugi razlozi su: veoma skup prevoz velikih profila cijevi na veće udaljenosti, složenost njihove montaže i nemogućnost izvođenja hidraulički najpovoljnijih oblika profila (kružnog, izduženog). Nedostaci ovih cijevi su slični kao i kod fabrički proizvedenih cijevi.

### **Armiranobetonske cijevi i kanali**

Kao i kod betonskih, ovi kanali mogu biti izgrađeni od fabrički proizvedenih cijevi i kanala izgrađenih na licu mjesta.

Fabričke proizvedene cijevi su obično kružnog oblika, unutrašnjeg prečnika,  $D = 500$  do  $2000$  mm, dužine,  $L = 1.0$  m (manji profili) i  $2.0$  m (veći profili), jednostrano ili dvostrano armirane. Primjena (s obzirom na vrste otpadnih voda), mane i načini spajanja slični su kao i kod betonskih cijevi.



*Slika B 1.13 Izgled armirano betonske cijevi za kanalizaciju*

Kanali građeni na licu mjesta izvode se iz istih razloga kao i betonski kanali, s tim da dodatni razlog može biti uslovljen izloženošću kanala znatnom spoljnjem opterećenju (npr. saobraćajnom u slučaju prolaska kanala ispod željezničke pruge).



*Slika B 1.14 Armirano betonska cijev u kanalizaciji – prolaz ispod saobraćajnice*

### **Azbest cementne cijevi**

Pošto je njihova primjena u vodovodu praktično ukinuta, iz razloga koji su već navedeni, to se ove cijevi sve manje proizvode, samim tim se manje koriste i u kanalizaciji. Inače cijevi za kanalizaciju proizvode se na isti način kao i vodovodne AC cijevi, s tim da postoje dva osnovna tipa cijevi: laki tip, AC – L i teški tip AC – T.

Primjena jednog od ova dva tipa cijevi zavisi od veličine spoljnog opterećenja, dubine ugradnje cijevi i osobina tla u koje se cijevi ugrađuju.

Tip AC – L se koristi kada se ne očekuju veća spoljašnja opterećenja, dok se tip AC–T upotrebljava u svim teškim uslovima izgradnje i kod većih spoljašnjih opterećenja.

Ove se cijevi proizvode u prečnicima  $D = 50$  do  $1300$  mm, dužine  $L = 5.0$  m. Veća dužina azbest cementnih cijevi ukazuje da kanali izvedeni od ovih cijevi imaju relativno mali broj spojeva, a time i znatno smanjenu mogućnost procjeđivanja podzemnih voda.

Spajanje azbest cementnih cijevi u kanalizaciji izvodi se na isti način kao i kod vodovodnih AC cijevi.



*Slika B 1.15 Izgled azbest cementnih cijevi za kanalizaciju*

### **Plastične cijevi**

Plastične cijevi su cijevi od sintetičkih materijala novijeg datuma i čine savremeni materijal za izgradnju kanalizacionih mreža. One su po načinu proizvodnje, osobinama i načinu spajanja iste kao vodovodne plastične cijevi. Zbog dobrih osobina i relativno povoljne cijene, plastične cijevi se danas najčešće primenjuju u izgradnji kanalizacionih mreža.

Plastične cijevi za kanalizaciju, prema obliku zidova, dijele se na:

- glatke;
- strukturirane.

Prema vrsti plastike od koje se proizvode, dijele se na:

- polietilenske (PE);
- polivinilhlorid cijevi (PVC);
- polipropilenske (PP);
- polimerne ojačane staklenim vlaknima (GRP – poliestarske).

Prema području otpornosti na unutrašnji pritisak, dijele se na:

- cijevi za transport tečnosti bez pritiska (do 1 bara)
- cijevi za transport tečnosti pod pritiskom većim od 1 bara.

Polietilenske (PE cijevi) proizvode se kao glatke, jednoslojne ili dvoslojne, i kao orebrene – spiralne. Prečnici se kreću od DN 200-3000 mm, dužine L= 6-12 m. Odlikuje ih mala hrapavost unutrašnjih

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

zidova, odnosno dobre hidrauličke karakteristike i vrlo laka ugradnja bez posebnih zahtjeva i mehanizacije.



*Slika B 1.16 Izgled korugovanih PE cijevi za kanalizaciju*

Poliester cijevi se proizvode kombinacijom staklenih vlakana, termostabilne smole i odgovarajućih punilaca. Ovakvom kombinacijom dobijaju se cijevi širokog raspona fizičkih i hemijskih karakteristika, otporne na temperature od  $-40$  do  $+100^{\circ}\text{C}$  sa hidrauličkim karakteristikama koje dugo ostaju nepromijenjene. Poliester cijevi za kanalizaciju se izrađuju od  $\varnothing 200$  mm do  $\varnothing 3000$  mm, dužine od 6 i 12 m i imaju izuzetno glatke zidove. Izrađuju se u klasama krutosti: 1250, 2500, 5000 i 10000 Pa.

Ugradnja poliesterski cijevi je tehnološki jednostavna, bez zahtjeva za specijalnom opremom za montažu, tako da je jeftina i brza. Zbog izuzetne dužine koristi se manji broj komada cijevi, odnosno pravi se manji broj spojeva. Za spajanje nisu potrebni posebni alati i posebna spojna sredstva. Spojevi su fleksibilni tako da je cjevovod elastičan.



*Slika B 1.17 Montaža kanalizacionih cijevi i okna od poliestera*



### **Čelične cijevi**

Mada se ove cijevi rijetko primjenjuju u sistemima kanalizacije, ipak su u nekim specijalnim slučajevima nezamjenjive. Ako su u pitanju kanali kod strmih terena, gdje bi zbog ograničenja brzine za cijevi od ostalih materijala bilo potrebno izgraditi čitav niz prekidnih kaskadnih okana, ove su cijevi idealno rješenje. Takođe, svuda u mreži gdje se očekuju znatna dinamička opterećenja, kod podvodnih kolektora, sifona, potisnih dijelova kanalizacionih sistema, pumpnih stanica i sl. njihova primjena je neophodna.

Način proizvodnje ovih cijevi, njihove osobine i načini spajanja već su opisani u poglavlju A 2.1.2.4. Potrebno je napomenuti da se od raspoloživih načina spajanja, zbog veličine profila najčešće koristi zavarivanje.

### **Keramičke cijevi**

Ove cijevi imaju najdužu tradiciju primjene u kanalizacionim mrežama ali se danas sve manje koriste prije svega zbog male mehaničke otpornosti što zahtijeva brižljivo rukovanje i posebnu pripremu podloge rova kod njihove montaže.



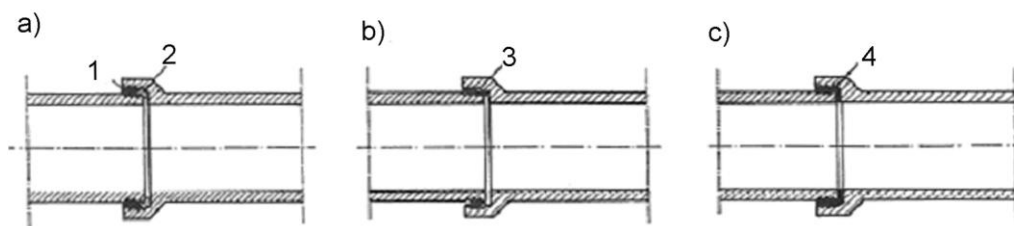
*Slika B 1.18 Zamjena keramičkih cijevi u gradskoj kanalizaciji*

Primjenjuju se za ulične i dvorišne vodove kanalizacione mreže. Dobijaju se pečenjem gline do sinterovanja i glaziraju se za vrijeme pečenja. Otporne su na hemijske uticaje otpadne vode (sem za

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

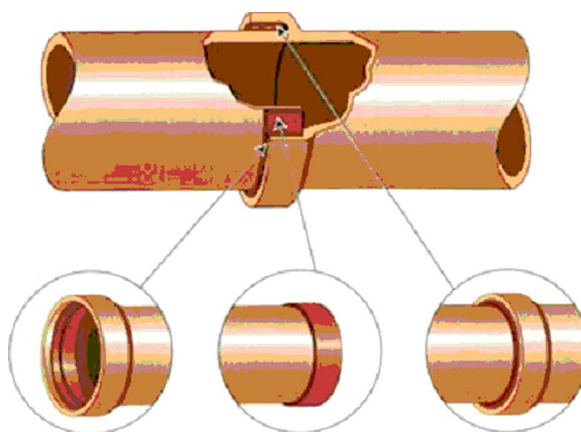
fluorovodoničnu kiselinu i jake alkalije). Proizvode se u prečnicima od 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 i 600 mm u dužini od 1,00 m (za prečnike 50 i 75mm dužine su 0,5 i 0,75 m). Spajanje se vrši na naglavak (muf), a zaptivanje spoja kudeljom je isto kao za livene cijevi.

Budući da se keramičke cijevi proizvode s naglavkom i ravnim krajem, njihovo spajanje se vrši na jedan od tri načina prikazana na slici.



1 – asfaltni kit; 2 – konoplja; 3 – konusni gumeni zaptivni prsten; 4 – plastična zaptivna masa

*Slika B 1.19 Spajanje keramičkih cijevi pomoću naglavka*



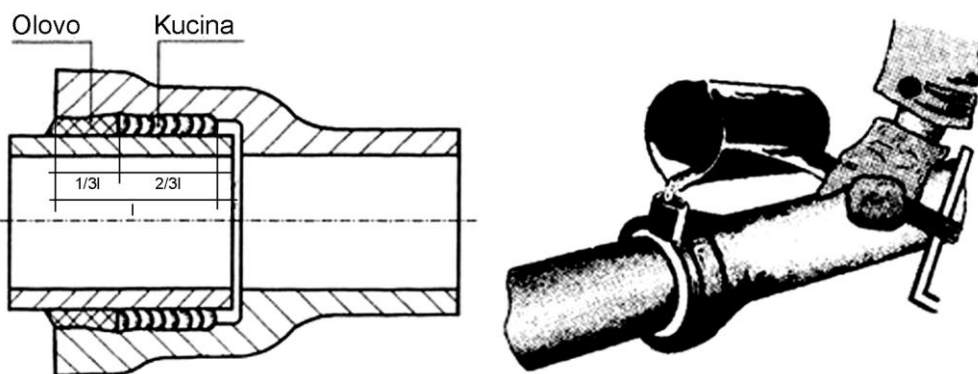
*Slika B 1.20 Izgled spoja keramičkih cijevi za kanalizaciju*

### **Liveo gvozdene cijevi**

Po načinu proizvodnje, osobinama i načinu spajanja ove cijevi su iste kao vodovodne liveo gvozdene cijevi.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Primjene ovih cijevi u kanalizaciji danas gotovo da i nema, osim u potisnim dijelovima sistema kanalizacije, kod pumnih stanica, kada se obično koriste duktilne cijevi. Veliki procenat ovih cijevi i danas postoji u unutrašnjim instalacijama kanalizacije ali se nove cijevi ne ugrađuju. Glavni razlozi napuštanja primjene liveno gvozdениh cijevi su: smanjenje njihovog vijeka trajanja kod kanalisanja otpadnih voda s agresivnim sastojcima i u agresivnom tlu, povećanje hrapavosti unutrašnjih zidova cijevi tokom eksploatacije i neelastičnost spojeva kod slijeganja tla.



*Slika B 1.21 Starinski način spajanja cijevi od sivog liva sa olovom i kućinom*

### **Ugradnja i ispitivanje kanalizacionih cijevi**

Ugradnja kanalizacionih cijevi usko je povezana sa već pomenutim ograničenjima: dubinom ugradnje kanala, osobinama terena i cijevnog materijala.

Ugradnja kanalizacionih cijevi dosta je slična ugradnji vodovodne mreže. Sličnost se ogleda u izradi posteljice, zasipanju kanala do tjemena cijevi i načinu izvođenja nadsloja iznad cijevi.

Potrebna širina rova je ista kod standardnih uslova, za neobložene kanale, zavisi samo od prečnika kanala u oba slučaja.



## B- KANALIZACIONI SISTEMI

*Tabela B 1.12 Minimalna širina rova u zavisnosti od nominalnog prečnika DN*

DN	Minimalna širina rova (OD +x)		
	m		
	Rov sa podgradom	Rov bez podgrade	
$\beta > 60^\circ$		$\beta \leq 60^\circ$	
$\leq 225$	OD + 0,40	OD + 0,40	
$> 225$ do $\leq 350$	OD + 0,50	OD + 0,50	OD + 0,40
$> 350$ do $\leq 700$	OD + 0,70	OD + 0,70	OD + 0,40
$> 700$ do $\leq 1200$	OD + 0,85	OD + 0,85	OD + 0,40
$> 1200$	OD + 1,00	OD + 1,00	OD + 0,40

Kod vrijednosti OD+x, x/2 je jednako minimalnom radnom prostoru između cijevi i zida rova ili podgrade.

OD- spoljašnji prečnik u metrima;

$\beta$  - ugao nagiba zida bez podgrade mjeran prema horizontali.

*Tabela B 1.13. Minimalna širina rova u zavisnosti od dubine rova*

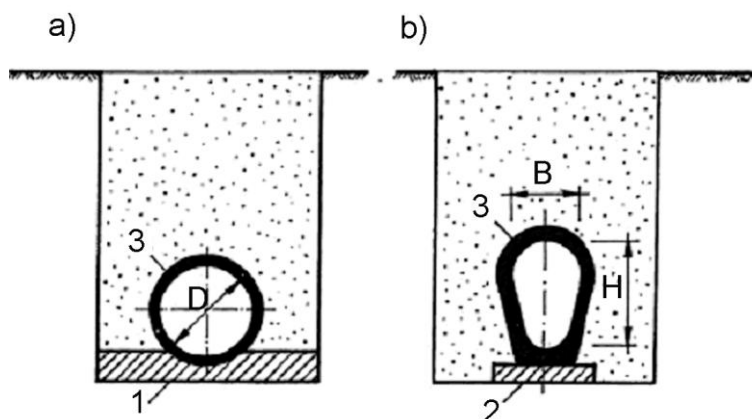
Dubina rova m	Minimalna širina rova m
$\leq 1,00$	Ne zadaje se minimalna širina
$\geq 1,00$ $\leq 1,75$	0,80
$\geq 1,75$ $\leq 4,00$	0,90
$> 4,00$	1,0

Razlike u ugradnji u odnosu na vodovodne cijevi su :

- A. Obzirom na veću dubinu u kojoj se izvode kanali od one na koju se ugrađuju vodovodne cijevi, iskop rova se u mekšim terenima izvodi sa kosim stranama rova. Zakošenje zavisi od geomehaničkih osobina materijala, u funkciji spriječavanja klizanja bočnih strana rova. Međutim, ako se iskop rova obavlja u gusto izgrađenom naselju, ovakav način izvođenja je najčešće nemoguć, jer rov i deponija iskopanog materijala ili zauzimaju prekomjerno prostora ili rov ugrožava stabilnost temeljnih zidova okolnih objekata. Tada se kopaju rovovi s vertikalnim ili blago nagnutim stranama, kod kojih je ugao nagiba znatno strmiji od ugla prirodnog unutrašnjeg trenja za

okolno tlo. Za takve rovove je onda potrebno vršiti razupiranje rova, kako ne bi došlo do urušavanja bočnih strana;

- B. Obzirom na relativno veću dubinu ugradnje kanalizacije moguće je kod visokih nivoa podzemne vode procjeđivanje znatnih količina vode u rov. U tom slučaju je potrebno pored rova izvesti bunare, iz kojih će se crpjeti voda. Ovi bunari se izvode i hidraulički proračunavaju istom metodologijom kao za svrhu snabdijevanja vodom. Za nesmetano kopanje rova potrebno je da nivo podzemne vode bude snižen ispod dna rova za najmanje 0,5 m, i to na mjestu gdje je ona najviša, tj. na sredini između dva posljednja i susjedna bunara u nizu.
- C. Za kanalizaciju koja se izvodi u tvrdim terenima i ispod nivoa podzemne vode u mekim terenima, treba posebnu pažnju posvetiti njihovoj mehaničkoj otpornosti i stabilnosti. Takvi kanali moraju biti obavezno položeni na betonsku posteljicu, ili na betonski ležaj (ako je riječ o kanalima na tvrdom tlu), kao na slici B 1.22.



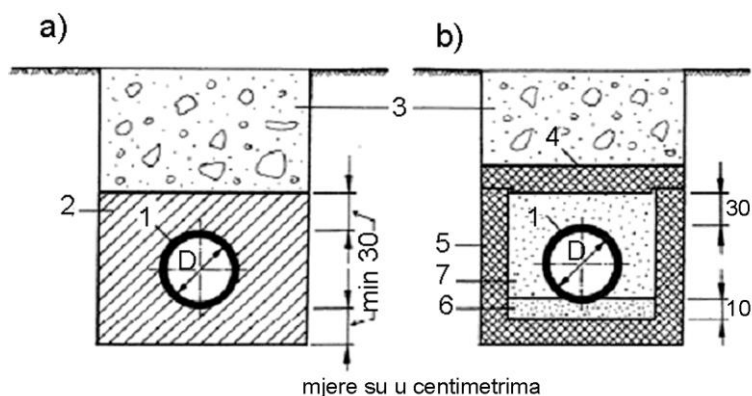
1 – betonska posteljica; 2 – betonski ležaj; 3 – kanalizaciona cijev

Slika B 1.22 Polaganje kanala na posebne podloge (a) u mekim terenima,  
(b) u tvrdim terenima

U slučajevima kada je nivo podzemne vode, u odnosu na kanalizacionu cijev, visok pa kod male ispunjenosti kanala otpadnom vodom djelovanje uzgona može narušiti njegovu stabilnosti, sprovodi se potpuno ili djelimično oblaganje kanala betonom, kao na slici B 1.23. Oblaganje se vrši i ako se radi o znatnom iznosu nekog spoljašnjeg opterećenja. U prvom slučaju oblaganjem betona postiže se povećanje težine i na taj način sprečava isplivavanje, a u drugom beton povećava otpornost na spoljašnje opterećenje. Umjesto livenja

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

betona na licu mjesta ovaj način zaštite može se sprovesti i primjenom montažnih armiranobetonskih sanduka.



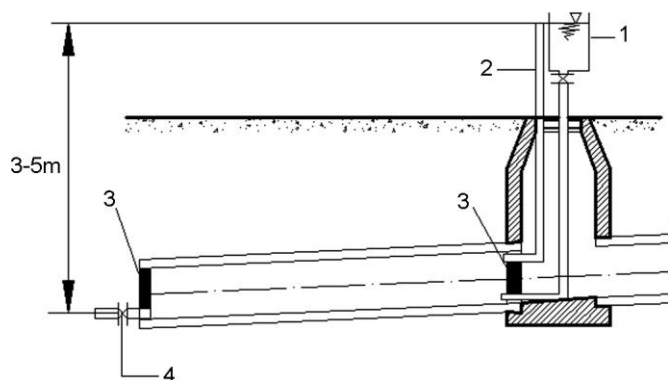
1 – kanalizaciona cijev; 2 – betonska obloga; 3 – materijal iz iskopa; 4 – armiranobetonski poklopac; 5 – armiranobetonski sanduk; 6 – pješčana posteljica; 7 – pješčani nasip

Slika B 1.23 Zaštita kanala (a) betonskom oblogom, (b) armiranobetonskim sandukom

Za svaki pojedinačni slučaj ugradnje kanalizacionih cijevi potrebno je statičkim proračunom provjeriti veličinu naprezanja i na osnovu toga utvrditi da li postoji potreba za dodatnom zaštitom kanala. Parametre i metodologiju ovog proračuna, obzirom na osobine cijevnog materijala, geomehaničke osobine tla i vrstu i iznos opterećenja daju proizvođači cijevi.

Nakon završene montaže kanalizaciona mreža se ispituje na vodonepropusnost. Ako se radi o dionici pod pritiskom onda je postupak ispitivanja isti kao kod vodovodne mreže.

Ako je u pitanju mreža kod koje je tečenje sa slobodnim vodenim ogledalom, ispitivanje na vodonepropusnost sprovodi se sa mnogo manjim ispitnim pritiskom nego kod vodovodnih mreža. Ispitivanje se sprovodi po dionicama između dva reviziona okna, kanal se napuni vodom čiji nivo osigurava hidrostatički pritisak od 0,3 do 0,5 bara, kao na slici B 1.24. Nakon određenog vremena (obično 2 do 3 sata) utvrdi se eventualan gubitak vode na ispitivanoj dionici, koji ne smije biti veći od propisanog vezanog za vrstu kanalizacionih cijevi.



1 – punjenje cijevi; 2 – cijev za ispuštanje vazduha; 3 – zaptivke; 4 – ventil za ispuštanje vode

*Slika B 1.24 Shema ispitivanja kanalizacione cijevi na vodonepropusnost*

Jedan od bitnih parametara ugradnje kanala i kolektora je njihov prostorni položaj ispod površine terena i saobraćajaca.

Ne postoje neka posebna pravila pomoću kojih se dolazi do optimalnog rješenja. Potrebno je poći od urbanističkih karakteristika područja, odnosno planova, postujući potrebu usklađenosti s ostalim instalacijama (vodovod, toplovod, gasovod, električni i telefonski kablovi,...) ali i s javnim zelenilom, stubovima javne rasvjete, temeljima drugih objekata i sl.

## B 2 DIMENZIONISANJE KANALIZACIONE MREŽE

### B 2.1 Dimenzionisanje kanalizacije otpadnih voda

Uobičajena je praksa da se dimenzionisanje sprovodi tabelarno, na osnovu usvojene šeme rasporeda dionica. U tabeli B 2.1 dat je prikaz potrebnih koraka za dimenzionisanje kanalizacije.

*Tabela B 2.1 Prikaz dimenzionisanja kanalizacije otpadnih voda*

Broj	Dionica		Kota terena		Dužina dionice (m)	Sušni protok (l/s)
	Uzvodni čvor	Nizvodni čvor	Uzvodna (mnm)	Nizvodna (mnm)		
1	2	3	4.1	4.2	5	6

Kota dna cijevi		Pad (%)	Hrapavost (mm)	Prečnik D (mm)	Puni profil	
Uzvodna (mnm)	Nizvodna (mnm)				Qpp(l/s)	Vpp(l/s)
7.1	7.2	8	9	10	11	12

Punjenje kanala		Stvarna brzina	
d/D	d(mm)	Uzvodna (m/s)	Nizvodna (m/s)
13	14	15	16

Kišni protok [6]+tuđe vode(l/s)	Punjenje kanala		Stvarna brzina	
	d/D	d(mm)	Uzvodna (m/s)	Nizvodna (m/s)
17	18	19	20	21

### B 2.2 Dimenzionisanje kanalizacije atmosferskih voda

Uobičajena je praksa da se dimenzionisanje sprovodi tabelarno, na osnovu usvojene šeme rasporeda dionica. U tabeli B 2.2 dat je prikaz potrebnih koraka za dimenzionisanje kanalizacije.

*Tabela B 2.2 Prikaz dimenzionisanja kanalizacije otpadnih voda*

Broj	Dionica		Kota terena		Dužina dionice (m)	Kišni protok (l/s)
	Uzvodni čvor	Nizvodni čvor	Uzvodna (mnm)	Nizvodna (mnm)		
1	2	3	4.1	4.2	5	6

Kota dna cijevi		Pad (%)	Hrapavost (mm)	Prečnik D (mm)	Puni profil	
Uzvodna (mnm)	Nizvodna (mnm)				Qpp(l/s)	Vpp(l/s)
7.1	7.2	8	9	10	11	12

Punjenje kanala		Stvarna brzina	
d/D	d(mm)	Uzvodna (m/s)	Nizvodna (m/s)
13	14	15	16

### B 2.3 Objekti za sakupljanje površinskih voda s ulica

Atmosferska voda koja pada na teren djelimično ispari, a ostatak odlazi u pravcu objekata za evakuaciju tih voda (slivnika). Slivnici zahvataju vode sa ulica i uvode ih u kanalizaciju, sa rešetkom pored ivičnjaka ili preko kolovoza, zavisno od očekivanog proticaja kišnice i drugih lokalnih uslova.

Mora se obratiti velika pažnja na konstrukciju slivnika i na kapacitet odvodnih organa. Oni su izloženi velikom opterećenju pa može doći do znatnih deformacija kolovoza, smetnji u saobraćaju i oštećenja slivnika i odvoda u kanalizaciju.

Različiti su tipovi i konstrukcije slivnika. Najčešće se primjenjuju slivnici sa rešetkom na površini kolovoza, pored ivičnjaka trotoara.

Kritičan element za prijemnu moć slivnika je slivnička rešetka.

Prema poznatim eksperimentalnim laboratorijskim istraživanjima prijemna moć slivnika zavisi od: konstrukcije i položaja slivničke rešetke, od njene zapušenosti, od oblika rigola pored ivičnjaka i od podužnog i poprečnog nagiba kolovoza.

Zaključci dosadašnjih istraživanja pružaju sljedeće preporuke:

- slivničku rešetku treba postaviti tako da su otvori paralelni sa ivičnjakom, tj. u pravcu toka vode;
- prvi otvor rešetke treba da je na rastojanju najviše 10 do 15 cm od ivičnjaka;

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

- gornja površina rešetke ne smije biti na višoj koti od površine kolovoza;
- efikasnost slivnika (razmjera proticaja koji slivnik prima i onoga koji dotiče) raste sa povećanjem poprečnog nagiba kolovoza (do izvjesne mjere, 2 do 3 %), za konstantan podužni nagib;
- efikasnost slivnika opada sa povećanjem dotoka, iako prijemna moć raste;
- efikasnost slivnika raste sa povećanjem podužnog nagiba, ali samo do izvesne mjere, poslije čega opada;
- udvojene rešetke treba izbjegavati, bolje je postaviti jednostruke rešetke na manjem razmaku, udvajanjem efikasnost se nedovoljno povećava.

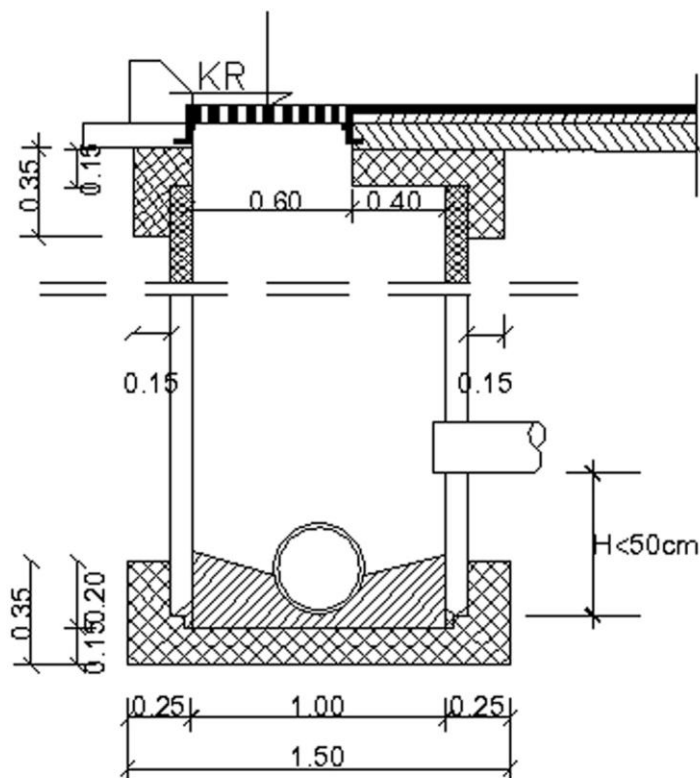
Spajanje slivnika se izvodi direktno ili indirektno posredstvom manjih bazena. Direktna priključak radi se kada je atmosferska voda čista, bez pijeska i sličnih suspenzija koje mogu izazvati taloženje u kolektoru. Ukoliko se želi spriječiti unošenje krupnih suspenzija u kolektor, ispred slivnika se rade manje retenzije, odnosno taložnici za skupljanje suspenzija.

Tijelo slivnika ima zadatak da poveže sve njegove osnovne elemente. Najčešće se izvodi od betonskih cijevi ili betona izvedenog na licu mjesta. Pojedine specifične situacije zahtijevaju izvođenje i specifičnih objekata. U njihovom projektovanju se uvijek treba držati navedenih ograničenja i smjernica.

Taložnik postavljamo na dno objekta. Njegova dubina mora biti 1 m ispod izlazne cijevi. Kada očekujemo vrlo male količine suspenzija, taložnik može izostati. Taložnik mora biti dostupan radi čišćenja koje se obavlja uglavnom specijalnim cistijernama.

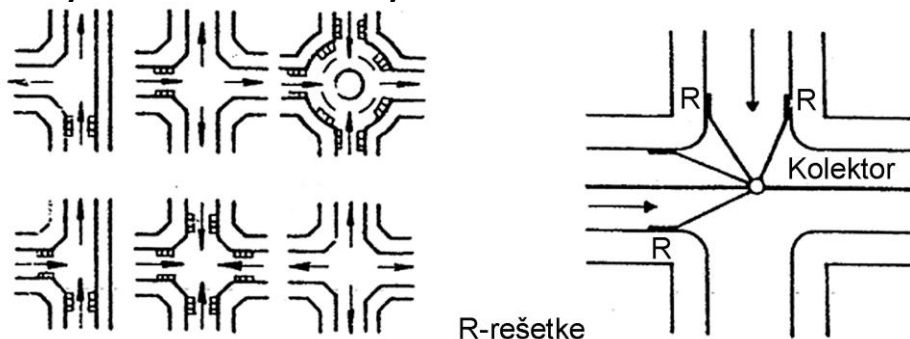
Priključak na kanalizaciju ima zadatak da poveže vode iz okna sa kanalizacionu mrežu. Minimalni profil priključka mora biti Ø100 mm. Priključak može biti direktan ili sifonski. Sifonski priključak služi za spriječavanje širenja mirisa iz kanalizacionih cijevi, te se postavlja na mjestima gdje se ljudi duže zadržavaju (trgovi, trgovačka središta i tome slično).

Da bi sifon ispravno funkcionisao u njemu uvijek mora biti vode, što znači da se za vrijeme sušnog perioda ulice moraju prati. Sifoni se primjenjuju isključivo na mješovitoj kanalizaciji.



Slika B 2.1 Presjek kroz konstrukciju slivničkog okna bez sifona

U svim drugim slučajevima sifone treba izbjegavati, jer sprječavaju ovazdušenje kanalizacionih cijevi, a time i eliminisanje metana s jedne i dovođenja kiseonika za razgradnju s druge strane. Sifoni se teško održavaju, često dolazi do začepljenja. Iz tog razloga su opremljeni otvorima za reviziju.



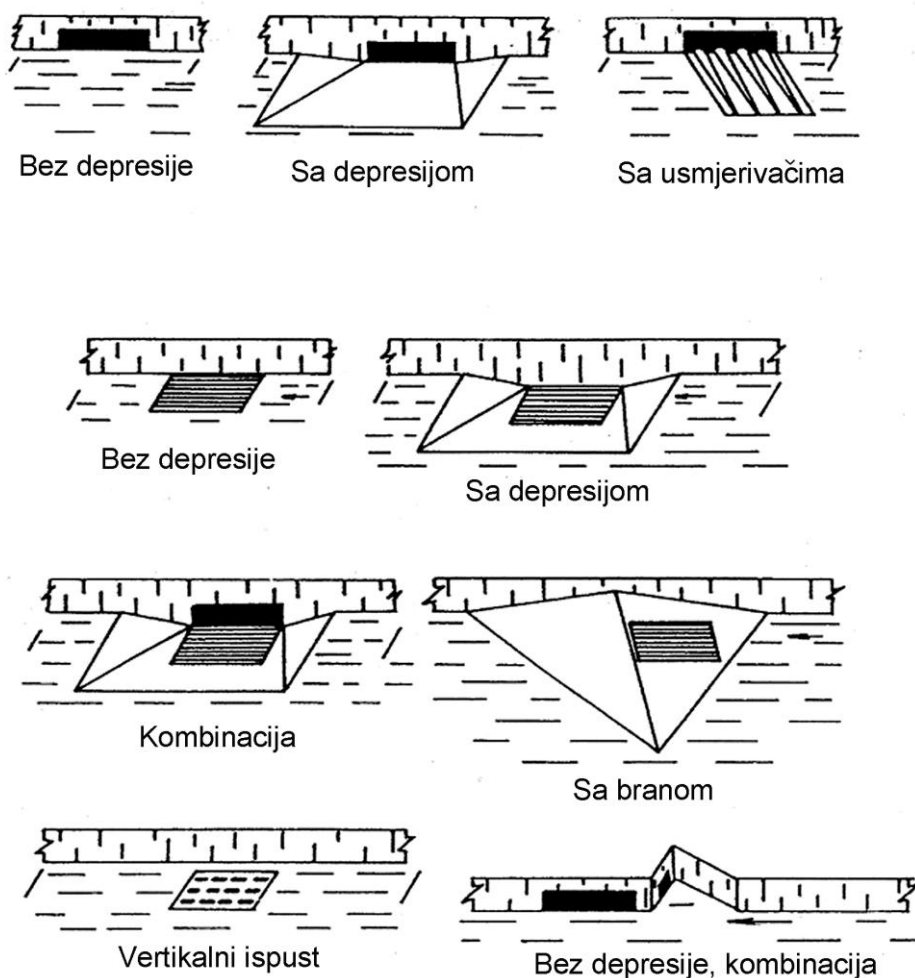
Slika B 2.2 Postavljanje rešetke na raskrsnicama

U svim uslovima gdje se površinske vode ne mogu sakupiti pojedinačnim objektom, postavljaju se linijski objekti, linijske



## B- KANALIZACIONI SISTEMI

rešetke, linijski prihvatni kanali i slično. Ovi objekti se postavljaju upravno na smjer tečenja vode. Linijske rešetke mogu biti različitih dimenzija, zavisno od urbanističkog rješenja područja, a često se izvode na specifičan način, od kamena i drugih materijala. U slučaju kada se odvodnjavaju velike površine (parkirališta, trgovi, aerodromi,...) grade se linijski hvatači atmosferskih voda. Oni su neophodni zbog malih padova terena. Tehnički je teško izvodljivo nivelisanje velikih površina ka slivnicima, kao tačkastim mjestima odvodnje.



Slika B 2.3 Bočni otvori, rešetke i kombinacije

Dimenzionisanje objekata za prihvat atmosferskih voda se ne sprovodi pojedinačno, već se ono sastoji u razmještanju objekata u skladu s njihovim pojedinačnim kapacitetom. Kapacitet objekta zavisi od veličine otvora na njemu, od karakteristike vode koju on mora primiti i od ugla pod kojim dotiče voda u objekat. Ne postoji

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

određeni način na koji bi se ovi objekti mogli dimenzionisati, pa se zato dimenzionišu u skladu sa iskustvom i preporukama. U skladu sa preporukom "Institute of Highway Engineers" (SAD) proračun razmaka uličnih rešetki je:

$$L = \frac{280\sqrt{S}}{D}$$

gdje je:

L – razmak rešetki [m];

S – pad rigola [%];

D – širina površine koja pripada rigolu[m].

Engleske preporuke za veličinu pripadajuće površine u odnosu na pad saobraćajnice ili površine koja se drenira, date su u tabeli B 2.3:

*Tabela B 2.3 Preporuka za veličinu pripadajuće površine u odnosu na pad saobraćajnice ili površine koja se drenira*

pad [%]	pripadajuća površina jednog slivnika [m <sup>2</sup> ]
0,5	160
1,0	167
1,25	180
1,67	200
2,5	240
3,3	275
5,0	330
6,6	330

Uobičajeno je da jednoj rešetki pripada površina od oko 200 m<sup>2</sup>. Ukoliko sumnjamo u kapacitet rešetke, tada se postavlja više rešetki u nizu ili se oko rešetki rade udubljenja ili usmjerivači toka.

### B 2.4 Crpne stanice u kanalizaciji

Potreba za vještačkim podizanjem vode uz pomoć pumpi u kanalizaciji se javlja na raznim mjestima: u kanalima da bi se izbjeglo njihovo duboko ukopavanje, kod dovoda vode na postrojenje za prečišćavanje, u samom postrojenju, radi savlađivanja terenskih prepreka na trasi kanala, kod prebacivanja vode iz kanala u recipijent (na mjestu ulivanja kod visokih voda u recipijent), u kućnoj kanalizaciji

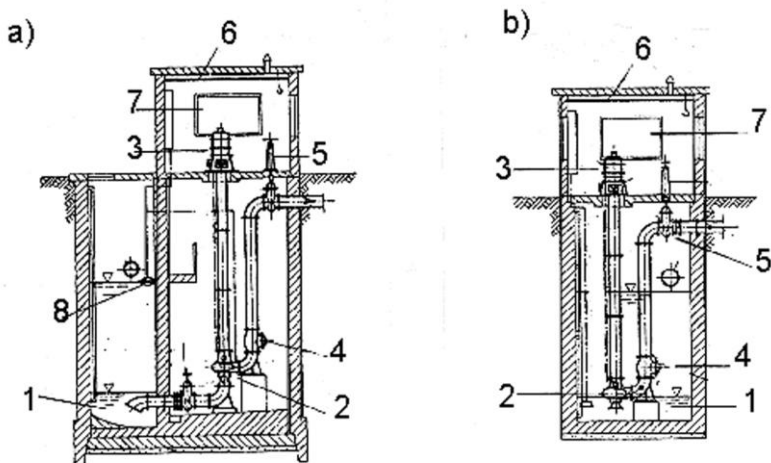
## B- KANALIZACIONI SISTEMI

u slučaju evakuacije vode iz duboko ukopanih prostorija.... U postrojenjima za prečišćavanje pumpe se koriste i za podizanje mulja.

U kanalizaciji se koristi više tipova pumpi, među kojima su najzastupljenije centrifugalne, propelerne i pužne pumpe.

Centrifugalne pumpe za otpadnu vodu, za razliku od pumpi istog tipa koje se koriste u vodovodima, imaju šire prolaze u radnom kolu i u kućištu imaju otvore za čišćenje. Proizvode se za proticaje do  $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$  i visine potiskivanja do 100m. Za velike količine, do  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  i male visine dizanja (10-20m) upotrebljavaju se zavojne i propelerne pumpe. Pužne pumpe se koriste za srednje i veće proticaje i male visine dizanja. Pužne pumpe su najmanje osjetljive na poseban sastav otpadnih voda, ali zahtjevaju veći prostor i bučnije su u radu.

Centrifugalne pumpe za otpadne vode, isto kao i pumpe za čistu vodu, rade se kao horizontalne sa pogonskim motorom na zajedničkom postolju ili kao vertikalne sa motorom povezanim sa pumpom vertikalnom osovnom. Posebnog tipa su uronjene pumpe, koje su prenosive, pa se mogu upotrebljavati i za crpljenje vode u interventnim situacijama ili na gradilištu za crpljenje vode iz rova ili jame.



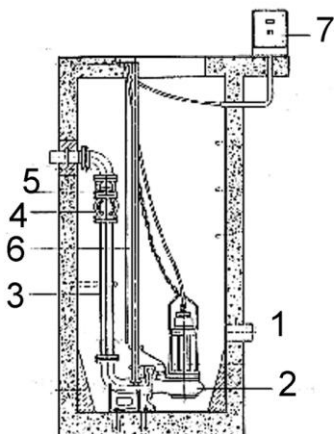
(1) sabirni bazen, (2) pumpa, (3) elektromotor, (4) povratna klapna, (5) zatvarači, (6) dizalica, (7) uklopni ormar, (8) kontaktni plovak

*Slika B 2.4 Pumpna stanica (a) sa odvojenim sabirnim bazenom i (b) bez odvojenog sabirnog bazena, sa instalisanom vertikalnom centrifugalnom pumpom*

Za smještaj kanalizacionih pumpi izvode se građevine – pumpne stanice. Te građevine se sastoje od sabirnog bazena u koji dotiče otpadna voda i koja istovremeno predstavlja crpni bazen, zatim

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

prostora u kojem su smještene pumpe i cijevne instalacije i prostorije koja se obično nalazi iznad terena i u kojoj se nalaze elektromotori, mehanizmi za rukovanje sa zatvaračima i ostala elektrooprema. Sabirni bazen i prostor u kojem se nalaze pumpe može biti objedinjen i tada su pumpe uvijek u vodi (slika B 2.4b ), što je manje povoljno ako je potrebno vršiti neke popravke na njima, nego kada se nalaze u suhoj prostoriji. Uronjene (potopljene) prenosive pumpe mogu se postaviti u kanalizacionom oknu, ništa većih dimenzija od standardnog kontrolnog okna (slika B 2.5b).

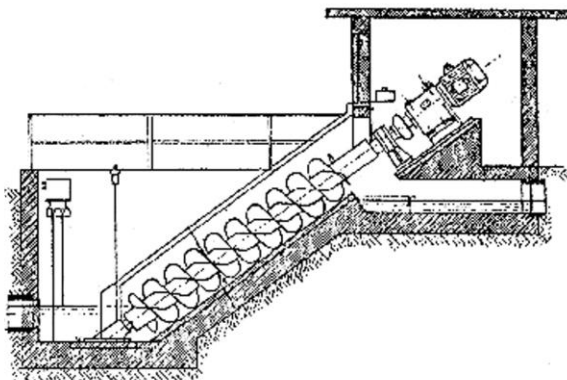


*Legenda:*

(1) dovodni kanal, (2) pumpa sa elektromotorom, (3) potisna cijev, (4) povratni ventil (5) zatvarač, (6) vođica i lanac za podizanje pumpe, (7) elektrorazvodni ormar, (8) odvodni kanal

*Slika B 2.5 Uronjena pumpa smještena u povećanom oknu*

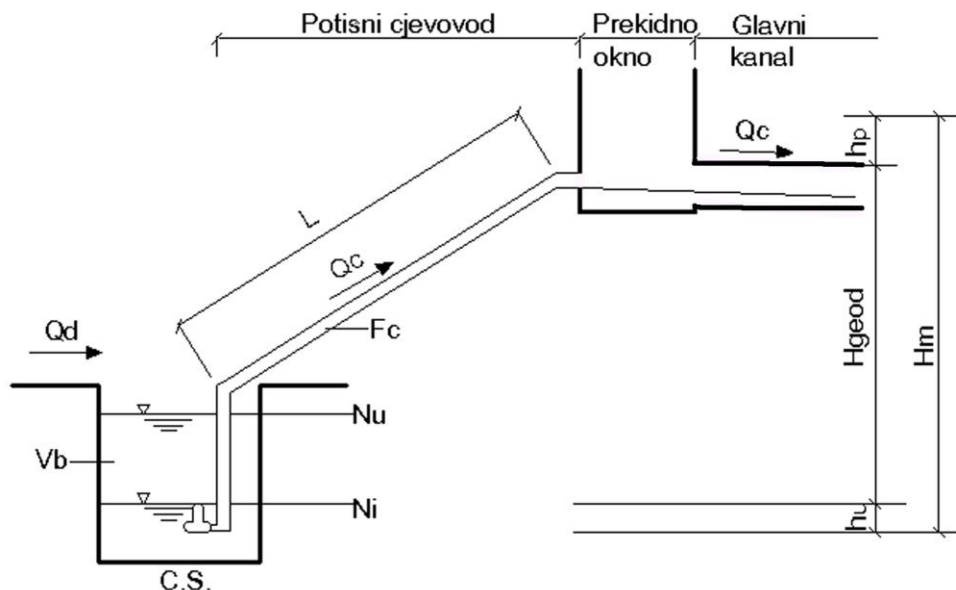
Pužne pumpe se postavljaju u betonska korita polukružnog dna, koja su kao i crpni bazen otvorena. U zatvorenoj prostoriji nalazi se elektromotor i ostala upravljačka oprema (slika B 2.6).



*Slika B 2.6 Pumpna stanica sa instalisanim pužnim pumpama*

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Način proračuna snage pumpnih agregata je isti kao kod pumpi koje se koriste u vodovodima. Kanalizacione pumpe se po pravilu postavljaju, po visini gledano, ispod nivoa vode u sabirnom (crpnom) bazenu, tako da je geodetska visina predstavljena samo njenim potisnim dijelom. Koeficijent korisnog dejstva pumpi za otpadne vode, posebno pužnih pumpi, je manji nego kod pumpi za čistu vodu.



Legenda:

PO - prekidno okno; CS - crpna stanica;  $N_u$  - nivo uključenja pumpi;  $N_i$  - nivo isključenja pumpi;  $Q_d$  - dotok vode;  $Q_c$  - količina koju pumpa crpi i potiskuje;  $V_c$  - zapremina cijevi ( $=F_c \cdot L$ );  $V_b$  - zapremina bazena;  $H_g$  - geodetska visina podizanja vode;  $h_u, h_p$  - hidraulički gubici u usisnoj odnosno potisnoj cijevi;  $H_m$  - manometarska (ukupna) visina podizanja vode

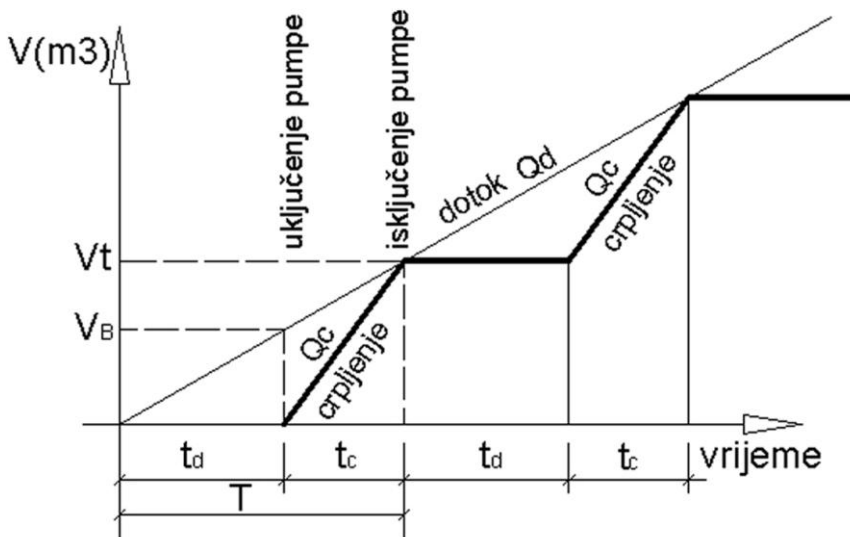
Slika B 2.7 Šematski prikaz podizanja vode iz sabirnog bazena u prekidno okno kanalizacije

Rad kanalizacionih pumpi treba da je prilagođen dotoku vode, pri čemu zapremina crpnog (sabirnog) bazena omogućava akumulisanje vode u periodima kad pumpe ne rade (sl. B 2.8). Uključivanje i isključivanje pumpi obavlja se automatski u zavisnosti od nivoa vode u crpnom bazenu. Zapremina bazena treba da je veća od zapremine potisne cijevi:

$$V_b > V_c$$

Iz dijagrama takođe slijedi da je:

$$V_i > V_b$$



$V_t$  - zapremina crpljene vode  
 $t_d$  - vrijeme punjenja  $V_B$   
 $t_c$  - trajanje crpljenja  
 $T$  - trajanje jednog ciklusa

Slika B 2.8 Dijagram punjenja i crpljenja vode iz crpnog bazena

Kod poznatog dotoka vode  $Q_d$  (l/s) i količine koju crpi i potiskuje pumpa  $Q_c$  (l/s), vrijeme pražnjenja  $t_c$  (s) sabirnog bazena crpne stanice zapremine  $V_B$  iznosiće:

$$t_c = \frac{V_B}{Q_c - Q_d}$$

Da bi se sabirni bazen te zapremine napunio biće potrebno vrijeme  $t_d$ :

$$t_d = \frac{V_B}{Q_d}$$

Trajanje jednog ciklusa  $T$ , koji obuhvata vrijeme pražnjenja i punjenja bazena iznosi:

$$T = t_c + t_d = V \left( \frac{1}{Q_c - Q_d} + \frac{1}{Q_d} \right)$$

odakle se može odrediti potrebna zapremina sabirnog bazena:

$$V_B = T \frac{Q_d(Q_c - Q_d)}{Q_c}$$

Veličina dotoka kod kojeg se pojavljuje potreba za najvećom zapreminom sabirnog bazena dobija se iz gornjeg izraza:

$$\frac{dV}{dQ_d} = T - 2T \frac{Q_d}{Q_c} = 0$$

$$Q_d = \frac{Q_c}{2}$$

Tada zapremina (V) iznosi:

$$V_B = \frac{T \cdot Q_c}{4}$$

Vrijeme jednog ciklusa T zavisi od broja uključivanja pumpi u jednom satu n:

$$T = \frac{3600}{n} \text{ (s)}$$

pa je, kod  $Q_p$  (l/s)

$$V_B = \frac{0,9 \cdot Q_p}{n} \text{ (m}^3\text{)}$$

Prema preporukama proizvođača pumpi zapremina sabirnog bazena treba da je takva da broj uključivanja pumpi u jednom satu ne bude veći od 5-6, izuzetno 10.

Zapremini bazena, određenoj na prethodni način, treba dodati mrtvi prostor,  $V_o$ , pa je ukupna zapremina sabirnog bazena crpne stanice:

$$V_{uk} = V_o + V_B$$

### B 2.5 Statički proračun kanalizacionog kolektora

Kolektor ukopan u zemlju je opterećen nadslojem zemlje, kao i vanjskim opterećenjem koje se javlja iznad cijevi i saobraćajnim opterećenjem.

Cijevi su dimenzionisane za određena naprezanja koja su u slučajevima većih opterećenja treba provjeriti, da ne bi došlo do loma cijevi.

Iskop rova remeti prirodne karakteristike tla, pa pri zatrpavanju rova dolazi do novih naprezanja i deformacija zavisno od tla, dimenzija i oblika kanalizacionog rova, postignutom stepenu zbijenosti tla iznad cijevi i krutosti samih cijevi.

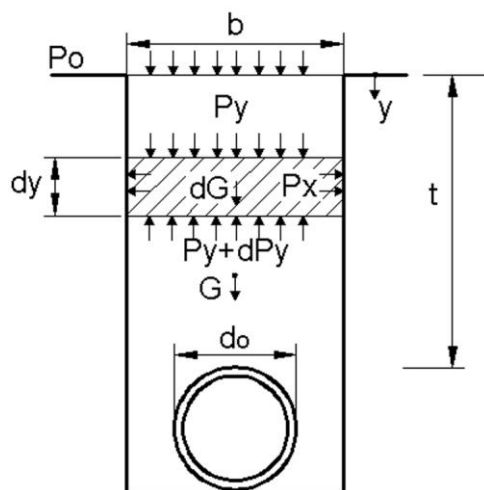
## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Naprezanja u cijevima zavise od:

- načina ugradnje cijevi;
- izvođenju nabijanja tla iznad njih;
- veličini vanjskog i saobracajnog opterećenja.

Kanalizacioni kolektori polažu se u rovove izvedene sa:

- vertikalnim zidovima;
- kosim zidovima.



Legenda:

$p_o$  – površinsko opterećenje;

$p_x$  – sila u x-smjeru;

$p_y$  – sile izazvane masom tla, odnosno ispunom rova u y-smjeru

Slika B 2.9 Raspored sila u rovu (prema Janssensu)

Specifični vertikalni pritisak mase ispunne na dubini tjemena cijevi iznosi:

$$p_t = \frac{\gamma b}{2K\mu'} (1 - e^{-2K\mu' t/b})$$

gdje je:

$\gamma$  jedinična težina materijala;

$b$  širina rova u dubini tjemena cijevi;

$K$  odnos između horizontalnog i vertikalnog pritiska zavisi od načinu ugradnje i zbijenosti tla ( $K \sim 0,5$ );

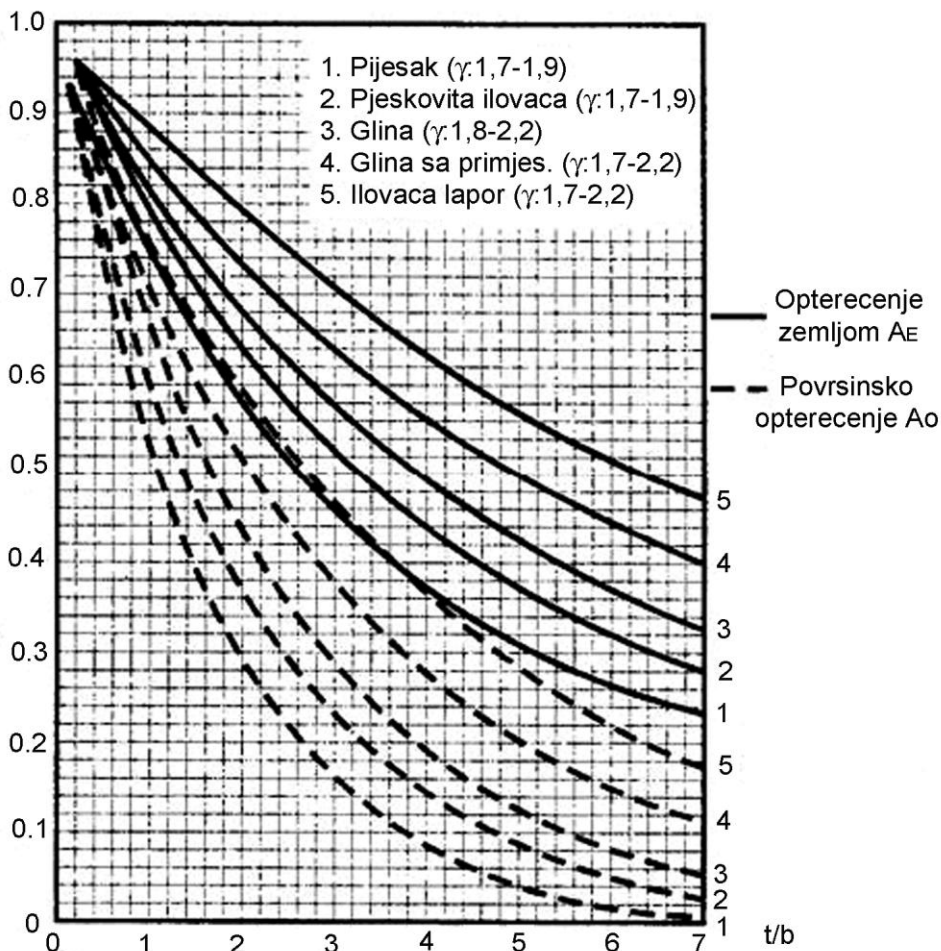


## B- KANALIZACIONI SISTEMI

$\mu'$  koeficijent trenja~uglu unutrašnjeg trenja materijala;

t visina ispune iznad tjemena cijevi.

Veličina ovog pritiska, uz površinsko opterećenje, čini ukupno opterećenje ukopanog cjevovoda.



Slika B 2.10 Vrijednosti  $A_0$  i  $A_E$

Teorijske veličine se umanjuju uvođenjem faktora umanjenja ( $A_E$ ) za težinu ispune:

$$A_E = \frac{1 - e^{-\mu' t/b}}{\mu'} \frac{b}{t}$$

i  $A_0$  za površinsko opterećenje:

$$A_0 = e^{-\mu' t/b}$$

Uz  $K=0,5$  dobije se izraz za proračun sile pritiska na tjeme cijevi:

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

-od težine ispune (MN/m):

$$P_E = A_E \gamma b t$$

-od površinskog opterećenja (MN/m):

$$P_o = A_o p_o$$

Raspodjela naprezanja zavisi od vrste materijala cijevi (krutosti);

- krute cijevi (armiranobetonske, azbestno-cementne, keramičke);
- elastične cijevi (čelik);
- plastične cijevi (tvrdi polietilen, PVC...).

Ove karakteristike različito definišu i deformacije cijevi, a time i naprezanja u njima. Cijevi imaju i različitu krutost u odnosu na okolni teren pa se uvodi koeficijent  $n$ :

$$n = \frac{E_s}{E} \left( \frac{r_m}{s} \right)^3,$$

gdje je:

$E_s$  modul elastičnosti tla;

$E$  modul elastičnosti cijevi;

$r_m$  prečnik cijevi;

$s$  debljina zidova cijevi;

$n < 1$  cijev ima manju krutost nego okolno tlo;

$n = 1$  cijev ima istu krutost kao okolno tlo;

$n > 1$  cijev ima veću krutost od okolnog tla.

Veličine modula elastičnosti za razne vrste tla [N/mm<sup>2</sup>]:

- šljunkoviti pijesak 100 – 200;
- zbijeni pijesak 50 - 80;
- zaglinjeni pijesak 10 - 20;
- mršava glina 3 - 0;
- polutvrda glina 8 - 15;
- lako do teško gnječena glina 4 - 8;
- lako gnječena glina 1.5- 4;

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

- mulj 0,5 - 3;
- treset 0,1 - 0,5.

Ukoliko je  $n=1$  tjemeni pritisak na cijev iznosi:

$$P' = \frac{D_v}{b} P$$

gdje je:

$P'$  pripadajući tjemeni pritisak;

$P = P_o + P_E$  ukupni pritisak po širini rova;

$D_v$  spoljašni prečnik cijevi.

Ukoliko je  $n < 1$  tjemeni pritisak na cijev se povećava, odnosno ukoliko je  $n > 1$  tjemeni pritisak na cijev se smanjuje, stoga se proračunava iz izraza:

$$P' = m \frac{D_v}{b} P$$

gdje je:

$m=1,5$  kod krutih cijevi;

$m=0,5$  kod veoma mekih cijevi;

$$m = \frac{5 - 3n}{(1 + n)(3 + n)}$$

Saobraćajna sredstva na terenu iznad cijevi imaju statičko i dinamičko dejstvo. Saobraćajno opterećenje se računa po formuli:

$$P_p = f p_p D_v$$

gdje je:

$P_p$  pritisak od saobraćajnog opterećenja;

$f$  udarni faktor;

$p_p$  jedinično saobraćajno opterećenje na horizontalnu projekciju površine cijevi;

$p_p D_v$  statičko saobraćajno opterećenje.

Uticaj saobraćajnog opterećenja za dubine manje od 1m je dosta velik. Udarni faktor  $f$  izražava se u funkciji dubine ukopavanja cijevi.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Za slučaj čestog drumskog saobraćaja udarni faktor  $f$  se izražava kao:

$$f = 1 + \frac{0.3}{t},$$

a za slučaj željezničkog i aerodromskog saobraćaja:

$$f = 1 + \frac{0.6}{t},$$

gdje je:

$t$  dubina do tjemena cijevi.

### *Koeficijent nalijeganja*

Bolja ugradnja znači manje naprezanje i obrnuto. Bolja i kvalitetnija ugradnja cijevi podrazumjeva bolje i veće naslanjanje cijevi na podlogu (veća je površina cijevi koja se naslanja na podlogu). Uticaj ugradnje se opisuje koeficijentom ugradnje ili koeficijentom nalijeganja -  $K_u$ . Nosivost položene cijevi  $P_u$ :

$$P_u = K_u P_i$$

gdje je:

$P_i$  nosivost u laboratorijskim uslovima.

### *Kontrola naprezanja u kanalizacionim cijevima*

Kontrola naprezanja razlikuje se za krute, elastične ili plastične cijevi. U nastavku je prikazan proračun naprezanja krutih cijevi. Ukupno opterećenje treba da bude manje od fabričkog  $P_i$ :

$$P_i > \frac{k_1 P' + K_2 P'}{K_u}$$

gdje je:

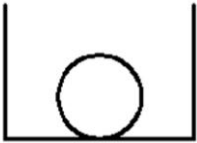
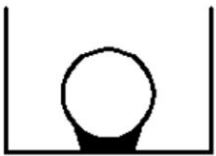
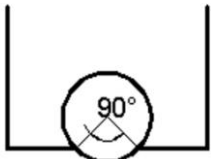
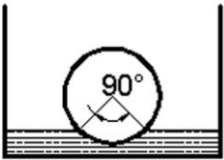
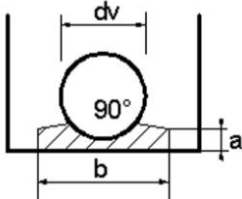
$k_1$  koef. sigurnosti za statičko opterećenje (1,5 – za povoljno tlo; 1,8 - za nepovoljno tlo);

$k_2$  koef. sigurnosti za dinamičko opterećenje (1,5 – za dubine veće od 1,0m; 1,5÷2,0 - za dubine od 0,5 do 1,0 m).


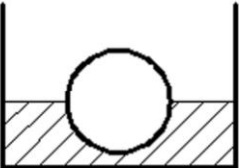
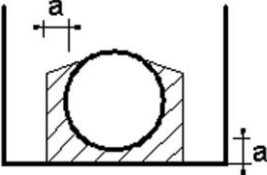
Ukoliko je izračunato opterećenje preveliko može se:

- koristiti čvršća cijev ili obloga cijevi;
- ukopati cijev na veću dubinu;
- promjeniti način ugradnje cijevi.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Izgled rova i cijevi	Ku	Opis ugradnje
	1.1	nepravilna ugradnja cijevi, položena cijev na dnu rova
	1.5	cijev sa postoljem na ravnom dnu rova
	1.5	cijev upuštena u dno rova, pod uglom od 90°
	1.5	cijev, podbijena pijeskom
	1.8	cijev na pripremljenoj bet. posteljici pod uglom od 90°, $a=5\text{cm}+d/10$ , min 10cm; $b>d_v$

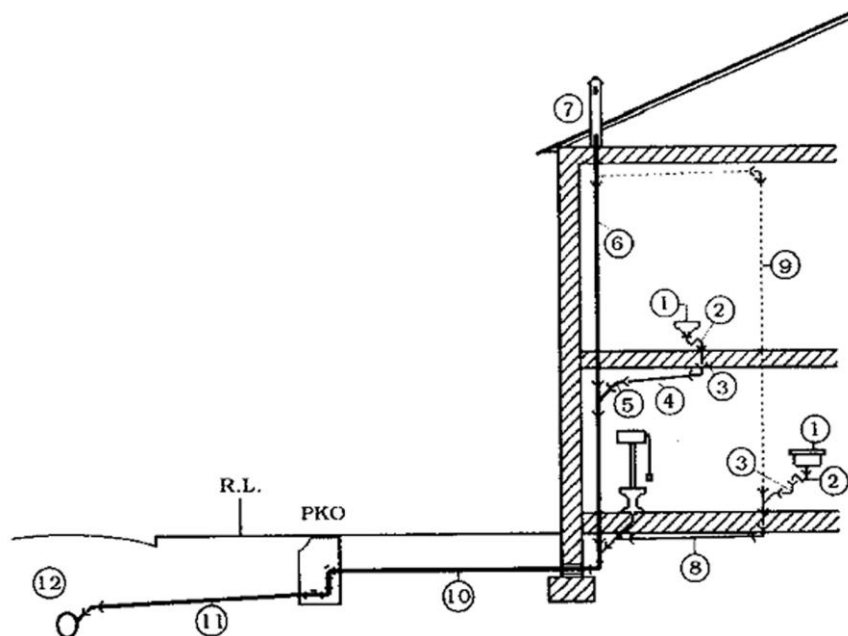
## B- KANALIZACIONI SISTEMI

	2.0	cijev na pripremljenoj bet. posteljici pod uglom od 120°, $a=5\text{cm}+d/10$ , min 10cm; $b>d_v$
	2.0	cijev do polovine ubetonirana
	3÷6	cijev iznad polovine ubetonirana, $a=1.4d$ ; min 10cm

Slika B 2.11 Koeficijent nalijezanja ( $K_u$ ) za različite uslove ugradnje

## B 2.6. Unutrašnje instalacije kanalizacije

Kanalizacija objekata, obuhvata dio sistema od priključka na ulični kolektor do objekta i unutrašnju sabirnu mrežu sa sanitarnim elementima i uređajima.



Legenda:

1. sanitarni element
2. sifon – vodeni čep za sprječavanje prodora gasova iz mreže u sanitarni prostor
3. priključna cijev
4. odvodna cijev
5. kanalizaciona vertikala
6. ventilaciona vertikala
7. ventilacioni završetak
8. donja sabirna mreža objekta
9. dodatna ventilaciona vertikala ( za slučaj dužine horizontalnog ogranka većeg od 3m)
10. glavni odvod iz objekta
11. reviziono okno – priključno
12. priključak na uličnu kanalizaciju

Slika B 2.12 Elementi sistema unutrašnje kanalizacije

Postupak projektovanja unutrašnje kanalizacione mreže započinje definisanjem položaja kanalizacionih vertikala u objektu. Pri tome je potrebno se držati sledećih elemenata:

- vertikala treba da što manje skreće po vertikalnom pravcu;

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

- položaj vertikale treba da obezbijedi najekonomičnije i najefikasnije sakupljanje voda iz objekta, sa što kraćim horizontalnim dovodima ;
- dužina horizontalnih ogranaka ne treba da prelazi 3 m ;
- vertikala se polaže po zidu ili u pripremljenim nišama u zidu;

Kanalizaciona vertikala ne bi smjela da se planira:

- na spoljnom zidu ( u posebnom slučaju mora se termički izolovati);
- kroz sklonište;
- kroz stambene i administrativne prostore ( u specijalnim slučajevima mora se izolovati zvučno, postaviti u žljebove, ne smije se postavljati revizija u tom dijelu prostora);
- kroz prostorije za čuvanje i pripremu hrane;
- kroz prostor trafostanica, telefonskih centrala i drugih elektroinstalacija.

Prikaz kanalizacione mreže u objektu obično se daje kroz niz vertikalnih presjeka u kojima se daju svi elementi od značaja za ugradnju cijevi. Posebno treba naglasiti mjesta fazonskih komada za reviziju.

Prije nego što se počne proračun unutrašnje kanalizacije potrebno je utvrditi sljedeće :

- količinu voda koju treba odvesti iz objekta;
- tačan položaj spoljnih instalacija u odnosu na instalacije kanalizacije u objektu;
- važeće propise za projektovanje i izvođenje mreže.

Proračun kanalizacione mreže u objektu se svodi na provjeru usvojenih dimenzija cijevi, koje se pretpostavljaju prema važećim propisima i zahtjevima izliva sanitarnih elemenata. Za tu svrhu postoje gotove tabele izrađene na osnovu osnovnih zakona hidraulike. Tečenje u kanalizacionim mrežama objekta je po pravilu gravitaciono, sa jako promjenljivim režimom oticaja što je posljedica neravnomjernog korišćenja vode u objektu.

Količine upotrijebljenih otpadnih voda su direktna funkcija načina korišćenja i ispusta upotrijebljene vode iz sanitarnih elemenata.

Slično kao i kod projektovanja vodovodne mreže, da bi se postupak određivanja količina vode pojednostavio, uveden je bezdimenzionalni broj nazvan *Ekvivalenta Jedinica EJ*. To je relativan broj koji



## B- KANALIZACIONI SISTEMI

predstavlja odnos između količina otpadnih voda posmatranog i referentnog sanitarnog elementa, gdje je kao referentni element usvojen umivaonik iz koga ističe 0,25 l/s. Na osnovu toga slijedi da je količina upotrijebljenih voda:

$$Q = 0.25 \cdot \sum EJ \text{ (l/s)}, \text{ ovdje je } EJ = 0,25 \text{ l/s.}$$

*Tabela B 2.4 Vrijednost EJ za sanitarne elemente*

Vrsta uređaja	Vrijednost EJ	Prečnik izlivne cijevi(mm)
Umivaonik	1,0	32
Sudoper	1,5	40
Kada	3,0	50
Tuš	2,0	50
WC šolja	6,0	100
Pisoar	1,5	40
Mašina za pranje veša	1,5	40
Mašina za pranje suda	1,5	40
Slivnik u podu	3,0	50
Bide	1,0	32

Količina atmosferskih voda odnosi se na vode koje se sakupljaju na krovnim površinama i terasama. Kako je naglašeno u dijelu proračuna oticaja atmosferskih voda sa neke površine, one se računaju po racionalnoj formuli, što znači da su funkcija veličine slivne površi, inteziteta padavina, i koeficijenta oticaja:

$$Q_A = A \cdot i \cdot \Psi$$

gdje je:

A slivna površina je površina sa sa koje se računa oticaj;

i intezitet kiše je definisan ranije preko ITP krivih;

$\Psi$  koeficijent oticaja je takođe dat u dijelu opisa proračuna atmosferske kanalizacije.

Tabela B 2.5 Srednje vrijednosti koeficijenta oticaja za različite tipove naselja

Vrlo gusta izgradnja	0,7-0,9
Zatvorena izgradnja (kuća do kuće)	0,5-0,7
Otvorena izgradnja	0,3-0,5
Predgrađa bogata vrtovima	0,2-0,3
Neizgrađeno zemljište, sportska igrališta	0,1-0,2
Parkovi	0,0-0,1

Za područja sa umjerenom klimom može se iskazati količina atmosferskih voda i preko ekvivalentne jedinice upotrebljenih voda EJ, kao :

$$1EJ = \frac{16.7m^2}{\Psi}$$

Za područja sa izraženim intezitetima padavina preporučuje se klasični proračun primjenom racionalne formule.

### **Dimenzije unutrašnje kanalizacione mreže**

Polazne dimenzije unutrašnje kanalizacione mreže se usvajaju na osnovu važećih propisa za ovu vrstu mreže. Kontrola usvojenih dimenzija vrši se prema sledećim tabelama B 2.6 i B 2.7.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

**Tabela B 2.6 Prečnici kanalizacionih cijevi prema mjestu upotrebe**

Prečnik cijevi (mm)	Mjesto upotrebe
Ø50	- Samo u ograncima gornjih odvodnika za spajanje 1-2 objekta za umivanje
Ø70	- U ograncima gornjih odvodnika kao nastavak od slivanja 3 ili više pribora za umivanje. - Kao ogranak gornjeg odvodnika za kupatilo i tuš - Kao vertikalni gornji odvodnik pribora za umivanje i pisoara
Ø100	- Vertikalni gornji odvodnik za klozete i pomijare (trokadere) - Ogranak vertikalnih odvodnika za klozete i pomijare
Ø125	- Vertikalni odvodnik za kišnicu - Eventualno kao gornji vertikalni odvodnik za izuzetno veliki broj klozeta
Ø150	- Gornji odvodnik (vertikala) za veliki broj grupnih klozeta po spratovima. - Kao ogranak gornjeg odvodnika za grupne klozete u nizu.

**Tabela B 2.7 Maksimalna propusna moć (u EJ) kanalizacione vertikale u objektu**

Prečnik (mm)	Priključak horizontalnog ogranka preko T račve		Priključak horizontalnog ogranka preko kose Y račve		Maksimalna dužina vertikale (m)
	opterećenje		opterećenje		
	dionično	ukupno	dionično	Ukupno	
50	9	16	15	36	26
75	24	48	45	72	65
100	144	256	240	384	91
125	324	680	540	1020	119
150	672	1380	1122	2070	155
200	2088	3600	3480	5400	229

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Dionično opterećenje u gornjoj tabeli podrazumjeva opterećenje između dva priključka horizontalnih ogranaka. Horizontalne ogranke je povoljnije priključiti preko kose račve, odnosno pod uglom od 45°. Ukupno opterećenje je ono koje se pojavi na kraju vertikale, prije njenog priključka na donju sabirnu mrežu. Ukupno opterećenje predstavlja zbir svih EJ od sanitarnih elemenata koji su povezani preko horizontalnih ogranaka na nju.

Prema propisima, glavni kanal zgrade (priključak na uličnu cijev), mora imati prečnik najmanje 150mm, bez obzira na veličinu zgrade. Ostale cijevi odvodne mreže se ne proračunavaju nego im se određuje prečnik prema mjestu upotrebe.

Maksimalna količina upotrijebljene vode za jednu zgradu se dobija kada se saberu proizvodi jediničnih izliva grupe ekvivalentnih izlivnih mjesta i njihovog broja. Pri tome se ne uzima u račun da sva izlivna mjesta rade jednovremeno, jer bi se dobili nerealno veliki prečnici odvodnih cijevi, nego se uzima samo izvestan procenat koji će se vjerovatno jednovremeno izliti.

Jedan od empirijskih obrazaca za određivanje maksimalnih količina upotrebljenih voda je po Samginu:

$$Q = \frac{N_o \cdot P_o \cdot q_o}{100}$$

gdje je:

Q      količina upotrijebljene vode (l/s);

N<sub>o</sub>    broj sanitarnih elemenata iste vrste;

P<sub>o</sub>    vjerovatnoća jednovremenog rada sanitarnih elemenata iste vrste;

q<sub>o</sub>    oticaj upotrijebljene vode iz jednog sanitarnog uređaja.

U narednim tabelama dati su ekvivalentni faktori  $K_e$ , raznih tipova sanitarnih uređaja kao i veličine oticaja otpadne vode  $q_o$  (l/s) za svaki sanitarni uređaj posebno.

Vjerovatnoća jednovremenog sadejstva sanitarnih elemenata istog tipa  $P_e$ , se određuje prema ekvivalentnom broju sanitarnih uređaja-  $N_o \cdot K_e$ . U tabeli B 2.8. su prikazane ove vjerovatnoće u zavisnosti od ekvivalentnog broja sanitarnih uređaja posebno za stambene zgrade a posebno za javne ustanove.

Tabela B 2.8 Određivanje procenta istovremenog izliva sume ekvivalentnih sanitarnih objekata

Stambene zgrade		Društvene zgrade	
$N_oK_e$	$P_o$ (%)	$N_oK_e$	$P_o$ (%)
do 10	19,8	do 10	14,3
15	16,2	12	12,9
20	14,0	14	12,0
25	12,5	16	11,2
30	11,5	18	10,5
35	10,6	20	10,0
40	9,9	25	9,9
45	9,4	30	9,2
50	8,9	35	7,6
60	8,1	40	7,1
70	7,5	45	6,7
80	7,1	50	6,3
90	6,6	60	5,8
100	6,3	70	5,4
120	5,7	80	5,0
140	5,3	90	4,7
160	5,0	100	4,5
180	4,7	120	4,1
200	4,4	140	3,8
250	4,0	160	3,6
300	3,6	180	3,4
350	3,4	200	3,2
400	3,1	250	2,8
450	3,0	300	2,6
500	2,8	350	2,4
600	2,6	400	2,2
700	2,4	500	2,0
800	2,2	600	1,8
900	2,1	700	1,7
1000	2,0	800	1,6
1500	1,6	900	1,5
2000	1,4	1000	1,4

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Tabela B 2.9 Određivanje količina oćicanja raznih tipova sanitarnih elemenata i pripadajućih ekvivalentnih faktora

Vrsta sanitarnog objekta	Ekvivalentni faktor $K_e$	Izliv zagađene vode $q_o$ (l/s)
izlivna školjka	1,00	0,33
wc šolja sa visoko smještenim vodokotlićem	3,60	1,20
klozet sa nisko smještenim vodokotlićem	6,00	2,00
pisuar	0,50	0,17
umivaonik	0,50	0,17
sudopera	2,00	0,67
kada	2,00	0,67
tuš	0,70	0,22
bide	0,50	0,17
mala ćesma	0,25	0,08
mašina za pranje veša	2,71	0,89
mašina za pranje suda	2,62	0,86

Procedura proraćuna kolićina otpadne vode za jednu vertikalu prikazana je u narednoj tabeli.

Tabela B 2.10 Proraćun kolićina otpadne vode

Vrsta sanitarnog pribora	Ukupan broj sanit. uređaja $N_o$	Ekvivalentni faktor $K_e$	Ekvivalentni broj sanit. uređaja $N_o K_e$	$P_o$ (%)	$q_o$ (l/s)	$Q = \frac{N_o P_o q_o}{100}$ (l/s)
1	2	3	4=2x3	5	6	7
Ukupno Q (l/s) =						

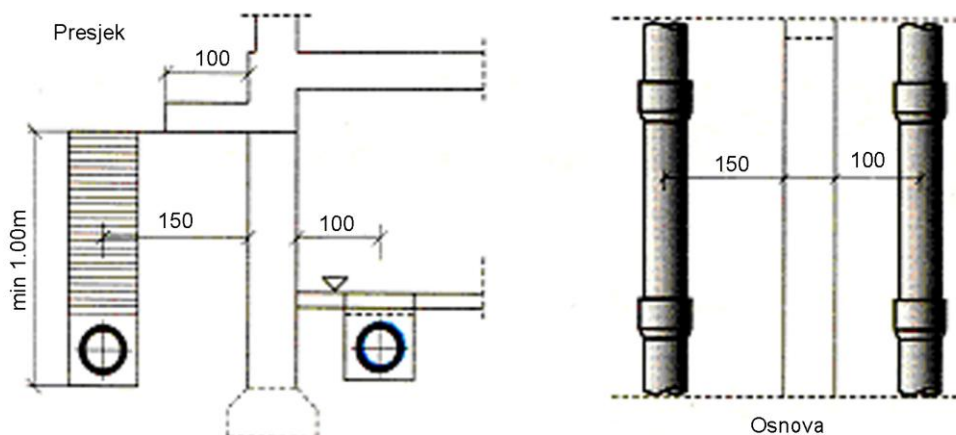
## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Obrazac Samgina je empirijske prirode a kako se može videti on ne zadovoljava jednačinu kontinuiteta, tako da se kolektori u koje se uliva otpadna voda iz dvije ili više vertikala ne smiju dimenzionisati na odgovarajuću sumu pojedinačnih protoka iz svake vertikale nego se obrazac Samgina mora primjeniti za svaku od odvodnih cijevi posebno. Glavni odvodni kanal iz zgrade treba da ima najmanji prečnik 150 mm, a njegov nagib treba da je najmanje 1,33% a najviše 6%.

### Vođenje cijevi kroz objekat

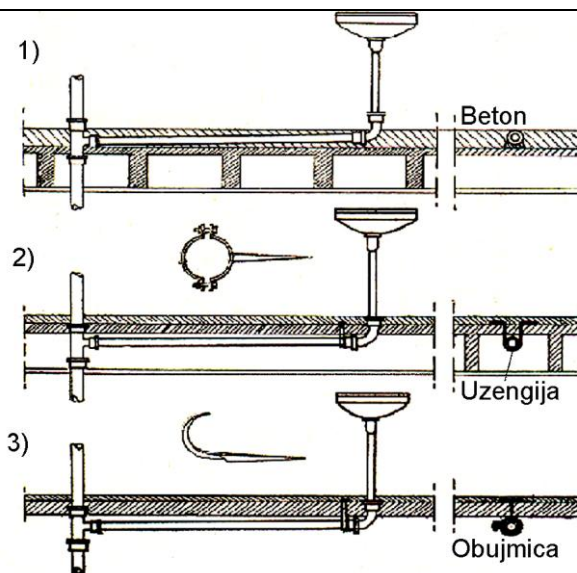
Posebno treba voditi računa o postavljanju cijevi pored zidova, kroz zidove, tavanice i temelje:

- pored zidova: na 1m od zida sa unutrašnje strane, na 1,5m sa spoljne strane zida, zbog postavljanja zaštite zida i hidroizolacije;
- kroz zidove: otvor pod uglom od 90°, 5 cm veći od prečnika cijevi, cijev se na mjestu otvora zaštićuje izolacionom trakom;
- vertikale se moraju kačiti i poduhvatati za zid obujmicama ili kukama na rastojanju od 2m.;



Slika B 2.13. Vođenje cijevi kanalizacije pored zidova

Vođenje horizontalnog razvoda kroz tavanice – međuspratne konstrukcije, prikazano je na slici B 2.14.



Legenda:

1-u debljini samog poda (u sloju cementne košuljice);

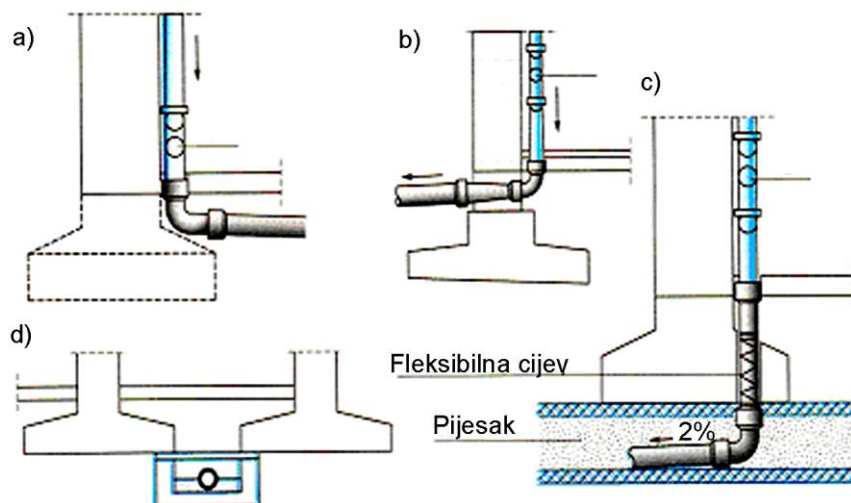
2-u sastavu međuspratne konstrukcije vješanjem za uzengije ili u prostoru između dva rebra;

3-ispod međuspratne konstrukcije- horizontalni razvod potpuno vidan.

Slika B 2.14 Vođenje horizontalnog razvoda kroz tavanice – međuspratne konstrukcije

Vođenje cijevi u odnosu na temelje:

- cijev se može voditi ispod trakastog temelja;
- cijev se ne smije voditi ispod temelja samca.



Slika B 2.15 Prolaz kanalizacione cijevi kroz temelje



### **Provjetravanje kanalizacione mreže**

Provjetravanje kanalizacione mreže je u funkciji spriječavanja pojave gasova i neprijatnog mirisa. Svaka kanalizaciona vertikala iznad zadnjeg izlivnog mjesta mora imati ventilacioni kanal, koji se završava sa ventilacionom glavom koja ima ventilacionu kapu sa otvorima. Prečnik ove glave je uvećan za 50 mm u odnosu na vertikalu. Kao vrlo važan element ovog sistema naravno pojavljuje se i sifon koji spriječava prodor neprijatnog mirisa i gasova u prostorije preko sanitarnih uređaja. Mjesto sifona je između odvodne cijevi i sanitarnog pribora. Nekada se proizvodio od livenog gvožđa ili poniklovanog mesinga, danas uglavnom od plastike, može se ugraditi naknadno ili je već u sastavu samog uređaja. Funkcioniše automatski, tako što se pri korišćenju pribora voda iz sifona prazni i puni se svježom vodom.

### **Ispitivanje ispravnosti kućne kanalizacione mreže**

Po završenoj montaži unutrašnje mreže pristupa se njenom ispitivanju. Posebno se ispituju djelovi horizontalne mreže a posebno vertikale.

Ispitivanje horizontalne mreže pretpostavlja kontrolu nagiba, ispravnosti i spojeva cijevi. Ispitivanje se vrši samo vodom ili vodom obojenom krečnim mlijekom.

Ispitivanje vertikalne mreže sprovodi se tako što se mreža puni vodom ili vazduhom pod pritiskom 3,00 bar u vremenu od 15 min. Ako su spojevi vrijednost pritiska koji pokazuje manometar ne pada ispod 3 bar.

Ispitivanje po postavljanju sanitarnih elemenata vrši se dimom ili nekim mirisom u trajanju od 15 min, sifoni se napune vodom, a onda se specijalnim aparatom dim ubacuje u donji dio mreže, kada se dim pojavi otvori se zatvore i pristupa se pregledu instalacija, ako svi sifoni drže vodu instalacija je ispravna.

### B 3 KANALIZACIONI SISTEMI - PRIMJERI

**Zadatak B1.** Specifična potrošnja vode u naselju iznosi  $q_{\text{spec}}=200$  l/st.dan. Pretpostavka je da je 80% naselja pokriveno kanalizacionim sistemom. Odrediti srednji i maksimalni časovni proticaj ako je ukupan broj stanovnika 10.000 a koeficijent maksimalne časovne potrošnje  $k_h=2,5$ .

**Rješenje :**

Najprije se računa srednji dnevni proticaj upotrijebljenih voda:

$$Q_{\text{sr.dn}} = 200 \text{ l/st.dan} \cdot 0,80 \cdot 10000 \text{ st} \cdot 0,001 \text{ m}^3/\text{l} = 1.600 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Prosječna časovna potrošnja:

$$Q_{\text{sr.cas}} = 1.600 \text{ m}^3/\text{dan} \cdot 1/24 \text{ h} = 66,67 \text{ m}^3/\text{h}$$

Maksimalna časovna potrošnja:

$$Q_{\text{max.cas}} = 66,67 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2,5 = 166,67 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Zadatak B2.** Za jedan kanalizacioni sistem separacionog tipa dati su sledeći podaci:

- specifični proticaj upotrijebljenih voda 250 l/st.dan;
- gustina naseljenosti 120 st/ha;
- BPK<sub>5</sub> u upotrijebljenoj vodi 188 mg/l;
- BPK<sub>5</sub> u efluentu separatora u postrojenju PPOV 30 mg/l;
- intenzitet padavina 25 mm/dan;
- procenat pokrivenih površina sliva 72%.

Uporediti proticaje i vrijednosti BPK<sub>5</sub> u upotrijebljenoj vodi nakon tretmana i u slučaju miješanja sa prečišćenom atmosferskom vodom.

**Rješenje:**

Proticaj upotrijebljene vode:

$$Q = 250 \text{ l/st.dan} \cdot 120 \text{ st/ha} = 30.000 \text{ l/dan.ha} = 30 \text{ m}^3/\text{dan.ha}$$

BPK<sub>5</sub> za upotrijebljene vode:

$$\text{BPK}_5^{\text{uv}} = 30.000 \text{ l/dan.ha} \cdot 188 \text{ mg/l} = 5.640.000 \text{ mg/dan.ha} = 5.640 \text{ g/dan.ha}$$

BPK<sub>5</sub> za efluent separatora:

$$BPK_5^{es} = 30.000\text{ l/dan.ha} \cdot 30\text{ mg/l} = 900.000\text{ mg/dan.ha} = 900\text{ g/dan.ha}$$

Procenat uklanjanja BPK<sub>5</sub>:

$$BPK_5^{uklonjeno} = (5.640 - 900)\text{ g/dan.ha} = 4.740\text{ g/dan.ha}$$

$$\% BPK_5^{uklonjeno} = 84\%$$

Proticaj i BPK<sub>5</sub> za atmosferske vode:

$$Q = 25\text{ mm/dan} \cdot 10.000\text{ m}^2/\text{ha} \cdot 0,72 \cdot 0,001\text{ m/mm} \cdot 1.000\text{ l/m}^3 = 180\text{ m}^3/\text{dan.ha}$$

$$BPK_5^{atm} = 180.000\text{ l/dan.ha} \cdot 30\text{ mg/l} = 5.400.000\text{ mg/dan.ha} = 5.400\text{ g/dan.ha}$$

Upoređenje BPK<sub>5</sub>:

$$BPK_5^{atm} = 180.000\text{ l/dan.ha} \cdot 30\text{ mg/l} = 5.400.000\text{ mg/dan.ha} = 5.400\text{ g/dan.ha}$$

$$BPK_5^{atm} : BPK_5^{es} = 5.400 : 900 = 6 : 1$$

**Zadatak B3.** Dužina glavnog kolektora atmosferske kanalizacije koji sakuplja vodu sa jednog sliva iznosi 1.800 m. Prosječna brzina vode u kolektoru je 1,0 m/s. Vrijeme putovanja vode površinom sliva do slivnika iznosi 8 minuta. Odrediti vrijeme koncentracije oticaja atmosferske kanalizacije.

**Rješenje :**

Vrijeme toka u glavnom kolektoru:

$$T_k = \frac{L}{v} = \frac{1.800}{1} = 1.800\text{ s} = 30\text{ min}$$

Vrijeme koncentracije:

$$T_c = T_k + T_s = 30 + 8 = 38\text{ min}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

**Zadatak B4.** Odrediti vezu između padavina i oticaja koristeći linearnu zavisnost i metod srednjih vrijednosti. Date su sljedeće vrijednosti:

godina	padavine(cm)	oticaaj (l/km <sup>2</sup> )
1988	67,31	173,80
1989	79,25	212,05
1990	98,04	261,24
1991	82,55	229,54
1992	95,00	271,08
1993	102,11	292,94
1994	98,30	277,64
1995	92,46	265,61
1996	100,58	300,59
1997	87,63	248,12

**Rješenje:**

Potrebno je definisati f-ju oblika:

$$y = ax + b$$

godina	$y = ax + b$	godina	$y = ax + b$
1988	$67,31 = 173,80a + b$	1989	$79,25 = 212,05a + b$
1990	$98,04 = 261,24a + b$	1991	$82,55 = 229,54a + b$
1992	$95,00 = 271,08a + b$	1993	$102,11 = 292,94a + b$
1994	$98,30 = 277,64a + b$	1995	$92,46 = 265,61a + b$
1996	$100,58 = 300,59a + b$	1997	$87,63 = 248,12a + b$

$$459,23 = 1284,35a + 5b \dots (1)$$

$$444 = 1248,26a + 5b \dots (2)$$

Rješavanjem sistema jednačina (1) i (2) dobijamo vrijednosti za  $a$  i  $b$ :

$$a = 1,453$$

$$b = -281,31$$

Funkcija između padavina i oticaja može se predstaviti jednačinom:

$$Y = 1,453 X - 281,31, \text{ gdje je:}$$

Y padavine(cm); X oticaaj(l/km<sup>2</sup>).

**Zadatak B5.** Godišnje padavine na površini od 1.000 ha iznose 927 mm. Pretpostavljeni godišnji gubici na evaporaciji su 292 mm. Godišnji gubici vode na infiltraciju vode su procijenjeni na 89 mm. Izračunati zapreminu vode koja se može formirati na toj površini i koja bi teorijski mogla da dotekne u kišnu kanalizaciju.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

### Rješenje:

Bilansna jednačina glasi:

$$P_{neto} = P_{br} - E - G \text{ gdje su:}$$

$P_{neto}$  neto padavine;

$P_{br}$  bruto padavine;

$E$  evaporacija;

$G$  oticaj u podzemne vode.

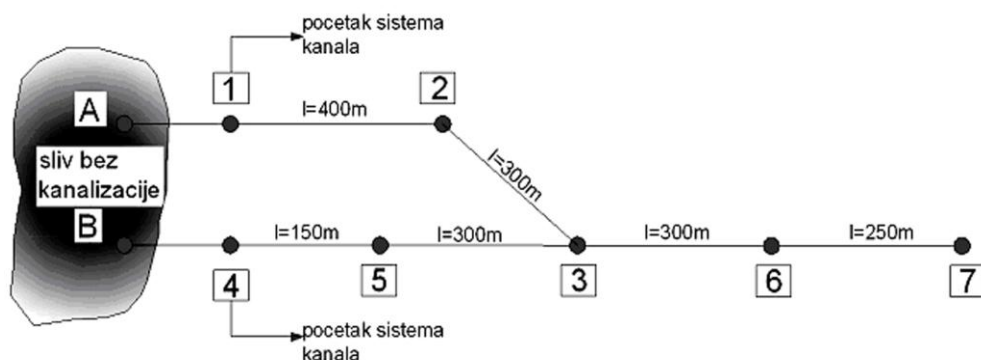
$$P_{neto} = 927\text{mm} - 292\text{mm} - 89\text{mm} = 546\text{mm}$$

Godišnja količina vode (u  $\text{m}^3$ ):

$$P_{neto} = 564 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot 1.000 \cdot 10^4 \text{m}^2$$

$$P_{neto} = 5,64 \cdot 10^6 \text{m}^3 = 5,64 \cdot 10^9 \text{l}$$

**Zadatak B6.** Za dio naselja projektovan je sistem atmosferske kanalizacije. Ulazni podaci za hidraulički proračun uzeti su iz postojeće hidrološke baze podataka.



Slivne površine koje gravitiraju pojedinačnim kanalima su:

A-1=8ha, B-4=10ha, 3-6 =7ha, 1-2=9ha, 4-5=4ha, 2-3=5ha, 5-3=8ha.

Intenzitet kiše, povratnog perioda 1 godine, trajanja 15min je  $i=100$  l/s·ha. Vrijeme koncentracije za dionicu kanala A-1 je 9,3 minuta a za dionicu B-4 je 8,7 minuta.

Izvršiti hidraulički proračun i dimenzionisanje datog sistema atmosferske kanalizacije.

### **Rješenje :**

Primjer proračuna za jednu dionicu kanala (1-2):

Količina vode koja se sakuplja na podslivu:

$$Q_{112} = Fi\psi \cdot r_{15}$$

$$Q_{112} = 9 \text{ ha} \cdot 0,3 \cdot 100 \text{ l/(sha)}$$

$$Q_{112} = 270 \text{ l/s}$$

$$\Sigma Q_{12} = 320 + 270 = 590 \text{ l/s}$$

$Q=320 \text{ l/s}$  je proticaj koji se stvara u uzvodnoj dionici sistema A-1.

Kod kanala velike dužine može se desiti da kod kratkotrajnih kiša vrijeme trajanja kiše bude manje od vremena koje je potrebno da voda koja je ušla na uzvodnom kraju kanala protekne do najnižvodnije tačke kanala. U tom slučaju kada kiša prestane da pada još uvijek će voda isticati na nizvodnom kraju kanala. To produženje oticanja vode u kanalu preko vremena trajanja kiše se izražava kao zakašnjenje u oticanju pale kiše, što se odražava na smanjenje protoka u kanalu, koji je mjerodavan za njegovo dimenzionisanje. Smanjenje protoka se vrši preko koeficijenta zakašnjenja ( $\varphi$ ) računске kiše. Koristi se više načina za određivanje tog koeficijenta. Prema uprošćenoj empirijskoj formuli koeficijent  $\varphi$  je:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[n]{F}} \text{ gdje su :}$$

$F$  površina slivnog područja (ha);

$n$  koeficijent koji zavisi od oblika i pada sliva .

Primjer za dionicu kanala 1-2:

$$Q_R = \Sigma Q_{12} \varphi$$

$$Q_R = 590 \text{ l/s} \cdot 2,254$$

$$Q_R = 1329,86 \text{ l/s}$$

Vrijeme toka se dobija kao:  $t_r = \frac{L}{v_{full} \cdot 60}$

Primjer za dionicu kanala 1-2:  $t_r = \frac{400}{1,8 \cdot 60} = 3,7 \text{ min}$

Cio postupak proračuna dat je u narednoj tabeli .

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Tabela. Postupak proračuna atmosferske kanalizacije ( za dimenzionisanje korišćen dijagram iz zadatka B.7 odnosno tabele iz zadatka B.13)

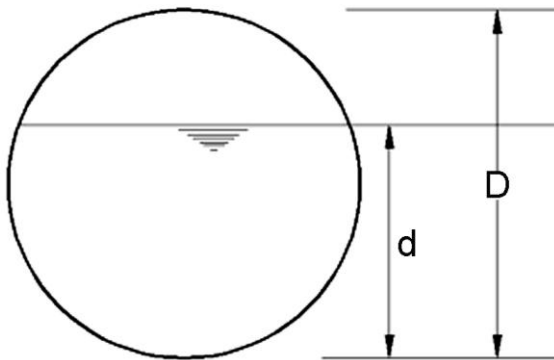
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dionica	Uzvodna dionica	Dužina	$F_i$	$\psi$	$Q_{15}=F_i\Psi_{115}$	$\Sigma Q_{15}$	$t_r$	$\varphi$	$Q_C$	Prečnik D	Pad I	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$t_r$	$\Sigma t_r$
/	/	m	ha	/	l/s	l/s	min	/	l/s	mm	‰	s/s	m/s	min	min
A-1	1-2	-	8	0,4	320	320	9,3								9,3
1-2	2-3	400	9	0,3	270	590	10	2,254	1329,88	1000	4	1400	1,8	3,7	13
						590	13	1,947	1148,73	1000	4	1400	1,8	3,7	13
2-3	3-6	300	5	0,4	200	790	13	1,947	1538,13	1000	6	1800	2,3	2,17	15,17
						790	15,17	1,771	1399,09	1000	6	1800	2,3	2,17	15,17
B-4	4-5	-	10	0,3	300	300	8,7								8,7
4-5	5-3	150	4	0,3	120	420	10	2,254	946,68	800	7	1100	2,2	1,14	9,84
						420	9,84	2,254	946,68	800	7	1100	2,2	1,14	9,84
5-3	3-6	300	8	0,4	320	740	11	2,141	1584,34	1000	8	2100	2,7	1,85	11,69
						740	11,69	2,068	1530,32	1000	8	2100	2,7	1,85	11,69
3-6	6-7	300	7	0,5	350	1880	13	1,947	3660,36	1400	8	5000	3,3	1,52	13,21
						1880	13,21	1,927	3622,76	1400	8	5000	3,3	1,52	13,21
6-7	-	250	-	-	-	1880	14	1,862	3500,56	1400	6	4200	2,8	1,49	14,7
						1880	14,7	1,806	3395,28	1400	6	4200	2,8	1,49	14,7

**Zadatak B7.** Betonska kanalizaciona cijev je položena u padu 1/400.

- Koliki prečnik je dovoljan da propusti proticaj od  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , pod uslovom da je ispunjeno 60% pune visine?
- Kolika je brzina tečenja u toj cijevi?
- Da li je to brzina koja može izazvati samočišćenje cijevi?

**Rješenje:**

- Iz uslova zadatka imamo:  $\frac{d}{D} = 0,60$



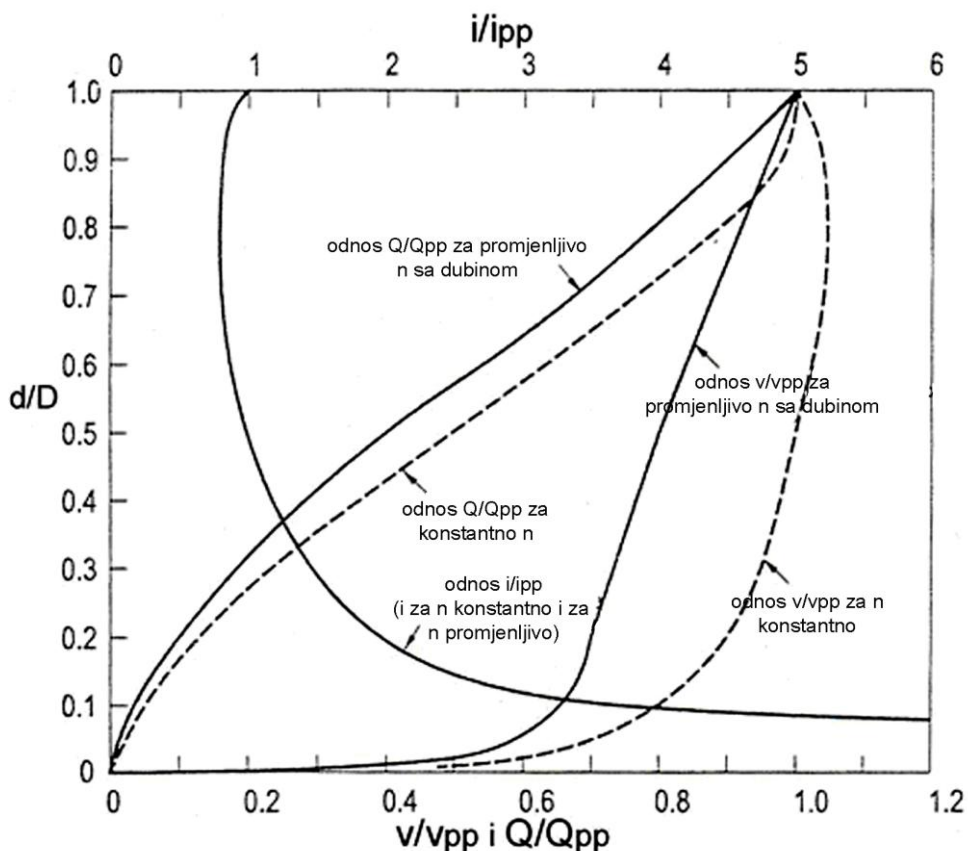
Iz dijagrama sa naredne slike slijedi:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = 0,68$$

$$Q_{pp} = \frac{Q}{0,68} = \frac{0,1 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,68} = 0,147 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$Q_{pp}$  -proticaj punog profila.





*Hidraulički elementi kanalizacionih kanala kružnog presjeka koji posjeduju jednaku brzinu samoprečišćavanja na svim dubinama*

Sledeći korak je određivanje prečnika D:

$$D = ?$$

Za pun proticajni profil važe jednakosti:

$$A_{pp} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$R_{pp} = \frac{D}{4}$$

Koristeći Manningovu jednačinu:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

za  $n=0,013$  i pad  $i=1/400=0,0025$  dobijamo:

$$Q = Av = A \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{1}{0,013} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} (0,0025)^{1/2}$$

$$0,147 = 1,2D^{8/3}$$

$$D = 0,455m$$

b) brzina tečenja u cijevi,  $v_{pp}=?$

$$v_{pp} = \frac{1}{0,013} \left(\frac{0,455}{4}\right)^{2/3} (0,0025)^{1/2}$$

$$v_{pp} = 0,903m/s$$

Iz dijagrama na slici slijedi:

$$\frac{v}{v_{pp}} = 1,07$$

$$v = 1,07v_{pp} = 1,07 \cdot 0,903m/s = 0,966m/s$$

c) Kako je  $v = 0,966m/s > v_s = 0,3m/s$  ( $v_s$ -brzina potrebna za samočišćenje cijevi), može se zaključiti da će doći do samočišćenja cijevi.

**Zadatak B8.** Kanalizaciona cijev prečnika 0,3 m je položena u padu 0,0036. Proticaj u cijevi je  $0,057m^3/s$ . Do koje visine je ispunjena cijev ako je Manningov koeficijent  $n=0,012$ ?

**Rješenje:**

Proticaj punog kanala:

$$Q_{pp} = Av = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{1}{0,012} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} (0,0036)^{1/2}$$

$$Q_{pp} = 0,07 \cdot 83,33 \cdot 0,178 \cdot 0,06$$

$$Q_{pp} = 0,062m^3/s$$

$$v_{pp} = 0,877m/s$$

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = \frac{0,057}{0,0622} = 0,862$$

$$\frac{d}{D} = 0,72 \text{ slijedi } d = 0,72 \cdot 0,3m = 0,216m$$

Iz dijagrama na slici iz zadatka B7 slijedi:

$$\frac{v}{v_{pp}} = 1,13$$

$$v = 1,13 \cdot 0,877m/s = 0,99m/s$$

**Zadatak B9.** Kroz kanalizacionu cijev prečnika 25 cm protiče količina od 0,01 m<sup>3</sup>/s, brzinom koja je dovoljna za samočišćenje cijevi. Pri punom proticajnom profilu brzina tečenja je 0,9 m/s. Odrediti visinu i brzinu toka kao i potrebni podužni pad kanalizacione cijevi, ako je n=0,013.

### Rješenje:

Najprije je potrebno odrediti proticaj punog profila Q<sub>pp</sub>:

$$Q_{pp} = \frac{\pi D^2}{4} v_{pp} = 0,049m^2 \cdot 0,9m/s = 0,044m^3/s$$

Manningova formula:

$$Q_{pp} = \frac{1}{n} R^{2/3} \sqrt{i}$$

$$\left( R = \frac{A}{O} = \frac{0,049m^2}{0,785m} = 0,062m \right)$$

$$0,044 = \frac{1}{0,013} 0,062^{2/3} \sqrt{i}$$

$$\sqrt{i} = 3,58 \cdot 10^{-3}$$

$$i = 0,0013\%$$

Sada je potrebno odrediti dubinu u kanalu (d), brzinu (v) i pad (i), uz korišćenje podataka sa slike iz zadatka B7.

$$\text{Za } Q/Q_{pp} = 0,01/0,044 = 0,227$$

iz dijagrama očitavamo (za n=const):

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

$$d/D = 0,29$$

$$v/v_{pp} = 0,95$$

$$i/i_{pp} = 1,20$$

odakle slijedi:

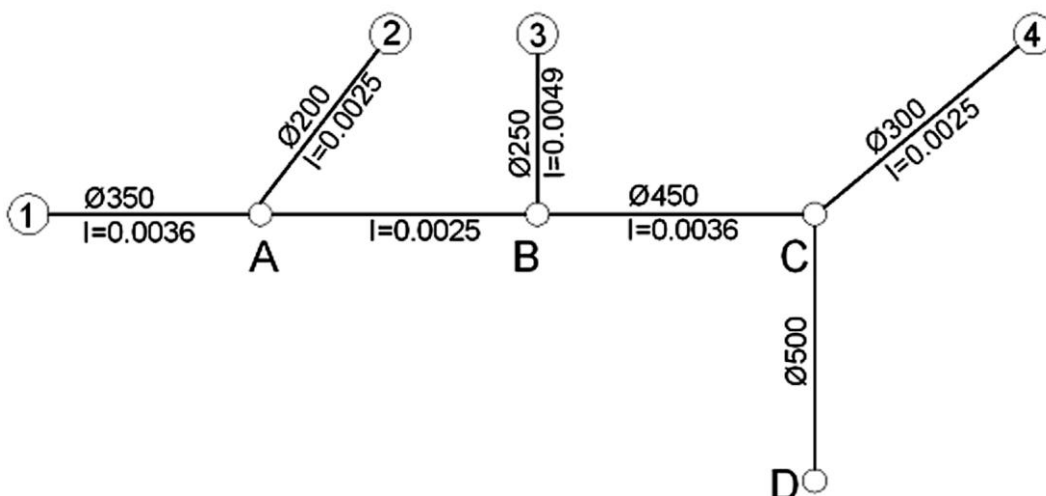
$$d = 0,29 \cdot D = 0,29 \cdot 0,25m = 0,0725m$$

$$v = 0,95 \cdot v_{pp} = 0,95 \cdot 0,9m/s = 0,855m/s$$

$$i = 1,20 \cdot i_{pp} = 1,20 \cdot 0,0013\% = 0,0015\%$$

**Zadatak B10.** Za kanalizacioni sistem prikazan na slici, dati su prečnici cijevi, njihovi padovi, revizionna okna i smjer proticanja vode. Sve cijevi su od plastike (PVC) sa  $n=0,013$ . A,B,C i D predstavljaju oznake revizionnih okana. Potrebo je odrediti:

- proticaj i minimalni prečnik cijevi za dionicu AB;
- proticaj, dubinu vode u kanalu i brzinu za dionicu BC;
- nagib potreban za održavanje punog protoka za dionicu CD.



### Rješenje:

Prvi korak:

Računanje osnovnih geometrijskih i hidrauličkih parametara, površina poprečnih presjeka i hidraulički radijusi.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

Dionica	D(m)	A(m <sup>2</sup> )	O(m)	R(m)
1-A	350	0,096	1,099	0,087
2-A	200	0,031	0,628	0,049
A-B	250	0,049	0,785	0,062
3-B	250	0,049	0,785	0,062
B-C	450	0,158	1,413	0,111
4-C	300	0,070	0,942	0,074
C-D	500	0,196	1,57	0,124

Drugi korak:

Proračun proticaja.

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$Q_{1-A} = 0,096 \frac{1}{0,013} 0,087^{2/3} 0,0036^{1/2}$$

$$Q = 0,087 m^3 / s$$

$$Q_{2-A} = 0,031 \frac{1}{0,013} 0,049^{2/3} 0,0025^{1/2}$$

$$Q = 0,015 m^3 / s$$

$$Q_{A-B} = Q_{1-A} + Q_{2-A} = 0,087 + 0,015$$

$$Q_{A-B} = 0,102 m^3 / s$$

Treći korak:

Proračun prečnika cijevi na dionici A-B.

Polazeći od formule :

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

znajući da je  $R=D/4$  za kružni profil, slijedi:

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$Q_{A-B} = 0,785D^2 \frac{1}{0,013} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} 0,0025^{1/2}$$

$$0,102 = 0,785D^2 \frac{1}{0,013} \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} 0,05$$

$$0,102 = 1,198D^{8/3}$$

$$D = 0,396m$$

Usvojena je vrijednost  $D=400$  mm.

Četvrti korak:

Određivanje proticaja na dionicama 3-B, B-C i odnosa  $Q_{B-C}/Q_{PP}$ .

$$Q_{3-B} = 0,049 \frac{1}{0,013} 0,062^{2/3} 0,0049^{1/2}$$

$$Q_{3-B} = 0,041 m^3 / s$$

$$Q_{B-C} = Q_{A-B} + Q_{3-B} = 0,102 + 0,041$$

$$Q_{B-C} = 0,143 m^3 / s$$

Brzina vode u cijevi na dionici BC:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$V_{PP} = \frac{1}{0,013} 0,111^{2/3} 0,0036^{1/2}$$

$$V_{PP} = 1,06 m^3 / s$$

$$Q_{PP} = AV = 0,158 \cdot 1,06$$

$$Q_{PP} = 0,167 m^3 / s$$

Odnos  $Q_{B-C}/Q_{PP}$ :

$$\frac{Q_{B-C}}{Q_{PP}} = \frac{0,143}{0,167} = 0,85$$

Peti korak:

Određivanje dubine vode u kanalu na dionici B-C.

Na osnovu prethodno sračunatog odnosa

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

$$\frac{Q_{B-C}}{Q_{PP}} = \frac{0,143}{0,167} = 0,85$$

i dijagrama za geometrijske i hidrauličke karakteristike kružnog poprečnog profila očitano je  $h/D=0,738$  pa je:

$$d = 0,738 \cdot 450 = 332,1 \text{ mm}$$

Istovremeno moguće je očitati odnos

$$\frac{V}{V_{PP}} = 1,07$$

pa je:

$$V = V_{PP} \cdot 1,07 = 1,06 \cdot 1,07 = 1,13 \text{ m/s}$$

Šesti korak:

Određivanje pada kanala na dionici C-D.

$$Q_{4-C} = 0,070 \frac{1}{0,013} 0,074^{2/3} 0,025^{1/2}$$

$$Q_{4-C} = 0,047 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{C-D} = Q_{4-C} + Q_{B-C} = 0,047 + 0,143$$

$$Q_{C-D} = 0,190 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Tečenje na dionici C-D je u punom profilu:

$$0,190 = 0,196 \frac{1}{0,013} 0,124^{2/3} I^{1/2}$$

$$I^{1/2} = 0,050$$

$$I = 0,0025$$

**Zadatak B11.** Jedno naselje ima prosječni dnevni proticaj upotrijebljenih voda 144.000 l/dan. Minimalni časovni proticaj je 20.000 l/dan a maksimalni proticaj je 500.000 l/dan. Potrebno je odrediti uslove rada pumpne stanice, u kojoj se vode naselja prepumpavaju.

**Rješenje:**

Maksimalni proticaj u l/min iznosi:

$$Q_{\max} = 500.000 \text{ l/dan} \cdot \frac{1 \text{ dan}}{1.440 \text{ min}} = 347 \text{ l/min}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

Prosječni proticaj u l/min iznosi:

$$Q_{\max} = 144.000 \text{ l/dan} \cdot \frac{1 \text{ dan}}{1.440 \text{ min}} = 100 \text{ l/min}$$

Minimalna zapremina crnog bazena, za uslov da je uključenje pumpi svakih 2 minuta, je:

$$V_1 = 347 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 2 \text{ min} = 394 \text{ l}$$

Zapreminu crnog bazena, za uslov da je uključenje pumpi svakih 5 minuta i za prosječni dnevni proticaj, računamo iz:

$$t = \frac{V_2}{Q_{\max} - Q_{sr}} + \frac{V_2}{Q_{sr}}$$

$$5 = \frac{V_2}{347 - 100} + \frac{V_2}{100}$$

$$V_2 = 356 \text{ l}$$

Kako je  $V_1 > V_2$ , to je vrijeme startovanja pumpi osnovni kontrolni faktor. Na osnovu gornjih rezultata za dalji proračun može se usvojiti  $V_1 = 700 \text{ l}$ . Vrijeme uključivanje pumpi je:

$$t = \frac{700}{347 - 100} + \frac{700}{100} = 9,83 \text{ min}$$

**Zadatak B12.** Malo naselje proizvodi prosječno 120.000 l/dan upotrijebljenih voda. Minimalni proticaj se može ocjeniti na 15.000 l/dan dok je maksimalni 420.000 l/dan. Za potrebe prepumpavanja ovih voda na višu kotu na koju se nalazi kanalizacioni sistem naselja predviđa se pumpna stanica sa dvije pumpe i zajedničkim crpilištem. Pretpostavka je da je vrijeme neophodno za start pumpi 2 minuta a vrijeme njihovog jednog ciklusa pumpanja 5 minuta. Definirati kapacitet pumpanja predviđenih pumpi i zahtjevanu zapreminu crpilišta.

### Rješenje :

Obje pumpe moraju biti u stanju da prepumpaju maksimalni proticaj (420.000 l/dan) koji se očekuje u toku dana jer u slučaju otkaza ili havarije jedne pumpe druga mora preuzeti njenu ulogu. Vrijeme starta pumpe se dobija kada se radna zapremina crnog bazena podijeli sa



## B- KANALIZACIONI SISTEMI

---

neto proticajem koji predstavlja razliku količine vode koja se pumpa i dotoka u crpni bazen.

$$t_r = \frac{V}{Q_{izl} - Q_{dot}}$$

Vrijeme punjenja crpnog bazena kada je pumpa isključena jednako je:

$$t_p = \frac{V}{Q_{dot}}$$

Ukupno vrijeme ciklusa startovanja i punjenja crpnog bazena je:

$$t_c = t_r + t_p = \frac{V}{Q_{izl} - Q_{dot}} + \frac{V}{Q_{dot}}$$

Ako se zna da je neophodno vrijeme za start pumpi 2 minuta onda će zapremina crpnog bazena biti:

$$V = \frac{2}{1.440} (420.000 - 15.000) = 562,5l$$

Da bi se obezbjedilo neophodno vrijeme od 5 minuta za trajanje ciklusa pumpanja prvo je neophodno sagledati uslove pod kojima će vrijeme ciklusa pumpanja biti najkraće. To će se desiti kada je količina vode koja se dotiče u crpni bazen ( $Q_{dot}$ ) jednaka polovini količine koje se pumpa ( $Q_{izl}$ ). Prema tome slijedi:

$$5 = \frac{V}{Q_{dot} - 0,5Q_{izl}} + \frac{V}{0,5Q_{izl}}$$

Zatim slijedi da je zapremina crpnog bazena jednaka:

$$V = \frac{2}{1.440} \cdot \frac{0,5 \cdot 420.000}{2} = 365l$$

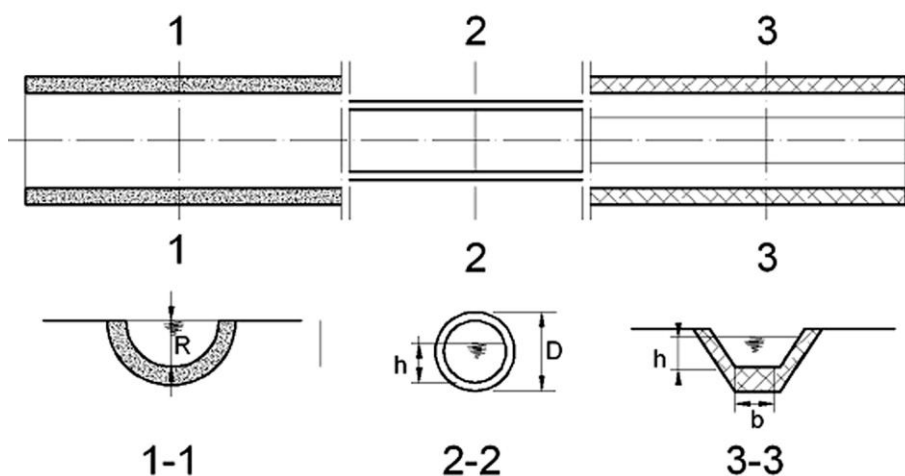
Iz ovoga slijedi da se kao radna zapemina crpnog bazena mora usvojiti zapremina dobijena kao neophodna za neophodno vrijeme starta pumpi što približno iznosi 600 litara.

**Zadatak B13.** Za potrebe odvođenja atmosferskih voda sa jednog sliva a usljed uslova na terenu, projektovan je kolektor čiji se poprečni presjek mijenja duž pojedinih dionica. Između dva otvorena kanala polukružnog i trapeznog poprečnog presjeka bilo je potrebno ubaciti cjevasti propust. Za poznate podatke koji su dati potrebno je izračunati propusnu moć i dimenzionisati predmetne kanale, pod uslovom da je

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

odnos  $h/D$  u cjevastom propustu manji od 0,75. Poznati su: poluprečnik prve dionice  $R=1\text{m}$ , pad prve dionice  $l_1=0,2\%$ , pad dionice cijevnog propusta  $l_2=0,1\%$ , pad dionice trapeznog kanala  $l_3=0,15\%$ , nagib strana trapeznog kanala  $45^\circ$ . Manningovi koeficijenti su:

- za dionicu polukružnog kanala  $n_1=0,025\text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ;
- za cijevasti propust  $n_2=0,018\text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ;
- za trapezni kanal  $n_3=0,03\text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .



### Rješenje:

Maksimalna propusna moć kanala polukružnog profila može se sračunati kao :

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{I_E}$$

gde je  $I_E=I_H=I_D$  za jednoliko tečenje.

( $I_E$  – nagib linije energije,  $I_H$  – nagib linije nivoa, odnosno  $\Pi$  linije,  $I_D$  – nagib dna kanala,  $A$ – proticajna površina,  $R$  – hidraulički radijus definisan kao odnos proticajne površine i okvašenog obima  $R=A/O$ ,  $n$ – dimenzionalni koeficijent trenja po Manning-u sa dimenzijom [ $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ ]).

Dubina pri kojoj važi pretpostavka iz jednačine o jednolikom tečenju zove se normalna dubina, pa se može napisati:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{I_D}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Iz uslova zadatka i za poznatu geometriju dobija se  $A=1,57 \text{ m}^2$  a  $O=3,14 \text{ m}$ , odnosno  $R=0,5 \text{ m}$ , pa je proticaj, odnosno propusna moć ovog kanala, poslije zamjene svih činilaca  $Q=1,77 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### *Proticaj kroz cijevni propust*

Iz uslova da je odnos  $H/D=0,75$  slijedi da je odnos stvarnog proticaja i proticaja punog profila:

$$\frac{Q}{Q_{pp}} = 0,88 \text{ (iz tabele na kraju zadatka),}$$

odnosno proticaj punog profila  $Q_{pp}$  iznosi:

$$Q_{pp} = \frac{Q}{0,88} = \frac{1,77 \text{ m}^3}{0,88 \text{ s}} = 2,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Iz jednačine:

$$Q_1 = Q_2 = \frac{1}{n_2} A_2 R_2^{2/3} \sqrt{I_{D_2}}$$

dobijamo:

$$2,01 = \frac{1}{0,018} \frac{\pi D^2}{4} \left( \frac{\pi D^2}{\pi D} \right)^{2/3} \sqrt{\frac{0,1}{100}}$$

Pa je traženi prečnik cijevnog propusta:

$$D = 1,63 \text{ m}$$

### *Proticaj kroz trapezni kanal*

Iz jednačine:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \frac{1}{n_3} A_3 R_3^{2/3} \sqrt{I_{D_3}}$$

i uslova da je nagib strana trapeznog kanala  $45^\circ$  ( $b=h$ ), dobijamo:

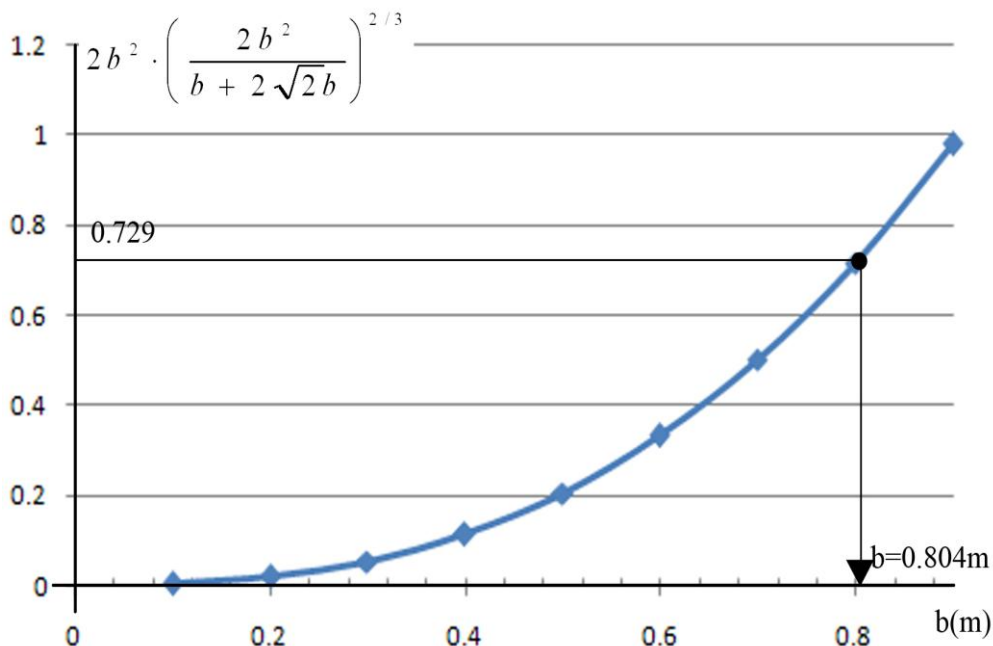
$$1,77 = \frac{1}{0,03} 2b^2 \cdot \left( \frac{2b^2}{b + 2\sqrt{2}b} \right)^{2/3} \sqrt{\frac{0,15}{100}}$$

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

$$2b^2 \cdot \left( \frac{2b^2}{b + 2\sqrt{2}b} \right)^{2/3} = \frac{0,0387}{0,03 \cdot 1,77} = 0,729$$

Dimenzije trapeznog kanala dobićemo pomoću sledeće tabele i grafika:

$b(m)$	$2b^2$	$b + 2\sqrt{2}b$	$2b^2 \cdot \left( \frac{2b^2}{b + 2\sqrt{2}b} \right)^{2/3}$
0.1	0.02	0.382842	0.0027922
0.2	0.08	0.765684	0.0177333
0.3	0.18	1.148526	0.0522908
0.4	0.32	1.531368	0.1126256
0.4	0.32	1.531368	0.1126256
0.5	0.5	1.91421	0.2042189
0.6	0.72	2.297052	0.3321026
0.7	0.98	2.679894	0.5009789
0.8	1.28	3.062736	0.7152929
0.9	1.62	3.445578	0.9792819



Iz dijagrama se očitava vrijednost za širinu trapeznog kanala  $b$ , i ona iznosi 0,804 m.

## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Tabela za proračun kanalizacionih okruglih cijevi  
po Prantl-Kolbrukovoj formuli za  $k_b=1,5 \text{ mm}$

Nagib	Prečnik cijevi u mm													
	200		250		300		400		500		600		700	
	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$Q_{pp}$	$V_{pp}$	$Q_{pp}$	$V_{pp}$
(‰)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)
0,2											85,2	0,3	128	0,33
0,25									58,8	0,3	95,4	0,33	143	0,37
0,3							35,7	0,28	64,6	0,33	105	0,37	157	0,41
0,4							41,4	0,33	74,8	0,38	121	0,43	182	0,47
0,5					21,5	0,3	46,3	0,37	83,7	0,43	136	0,48	204	0,53
0,6			14,6	0,3	23,6	0,33	50,8	0,4	91,8	0,47	149	0,53	224	0,58
0,8	9,5	0,3	16,8	0,34	27,4	0,39	58,8	0,47	106	0,54	172	0,61	259	0,67
1	10,4	0,33	18,9	0,38	30,7	0,43	65,8	0,52	119	0,61	193	0,68	289	0,75
1,25	11,6	0,37	21,1	0,43	34,3	0,49	73,7	0,59	133	0,68	216	0,76	324	0,84
1,5	12,8	0,41	23,2	0,47	37,7	0,53	80,8	0,64	146	0,74	236	0,84	355	0,92
2	14,8	0,47	26,8	0,55	43,5	0,62	93,5	0,74	169	0,86	273	0,97	410	1,07
2,5	16,6	0,53	30	0,61	48,7	0,69	105	0,83	188	0,96	306	1,08	459	1,19
3	18,2	0,58	32,9	0,67	53,4	0,76	115	0,91	207	1,05	335	1,19	503	1,31
4	21	0,67	38	0,78	61,8	0,87	133	1,05	239	1,22	387	1,37	582	1,51
5	23,5	0,75	42,6	0,87	69,1	0,98	148	1,18	268	1,36	433	1,53	650	1,69
6	25,8	0,82	46,7	0,95	75,8	1,07	162	1,29	293	1,49	475	1,68	713	1,85
7	27,8	0,89	50,4	1,03	81,9	1,16	176	1,4	317	1,61	513	1,81	770	2
8	29,8	0,95	53,9	1,1	87,6	1,24	188	1,49	339	1,73	548	1,94	824	2,14
10	33,3	1,06	60,3	1,23	98	1,39	210	1,67	378	1,93	613	2,17	921	2,39
12	36,5	1,16	66,1	1,35	107	1,52	230	1,83	415	2,11	672	2,38	1009	2,62
14	39,5	1,26	71,5	1,46	116	1,64	249	1,98	449	2,28	728	2,57	1090	2,83
16	42,2	1,34	76,4	1,56	124	1,75	266	2,12	480	2,44	776	2,75	1166	3,03
18	44,8	0,43	81,1	1,65	132	1,86	282	2,24	509	2,59	824	2,91	1237	3,21
20	47,2	1,5	85,5	1,74	139	1,96	297	2,37	537	2,73	868	3,07	1304	3,39
22	49,5	1,58	89,7	1,83	146	2,06	312	2,48	563	2,87	911	3,22	1367	3,55
24	51,7	1,65	93,7	1,91	152	2,15	326	2,59	588	2,99	951	3,36	1428	3,71
25	52,8	1,68	95,6	1,95	155	2,2	333	2,65	600	3,06	971	3,43	1458	3,79
26	53,9	1,71	97,5	1,99	158	2,24	339	2,7	612	3,12	990	3,5	1487	3,86
28	55,9	1,78	101	2,06	164	2,32	352	2,8	635	3,23	1028	3,63	1543	4,01
30	57,9	1,84	105	2,13	170	2,41	364	2,9	657	3,35	1064	3,76	1597	4,15
32	59,8	1,9	108	2,2	176	2,48	376	3	679	3,46	1099	3,89	1650	4,29
34	61,6	1,96	112	2,27	181	2,56	388	3,09	700	3,58	1133	4,01	1701	4,42
36	63,4	2,02	115	2,34	186	2,64	399	3,18	720	3,67	1166	4,12	1750	4,55
38	65,2	2,07	118	2,4	191	2,71	410	3,28	740	3,77	1197	4,24	1798	4,67
40	66,8	2,13	121	2,47	196	2,78	421	3,35	759	3,87	1229	4,35	1845	4,79
42	68,5	2,18	124	2,53	201	2,85	431	3,43	778	3,96	1259	4,45	1890	4,91
44	70,1	2,23	127	2,59	206	2,91	441	3,51	796	4	1289	4,56	1935	5,03
46	71,7	2,28	130	2,64	211	2,98	451	3,59	814	4	1318	4,66	1978	5,14
48	73,3	2,33	133	2,7	215	3,04	461	3,67	832	4,24	1346	4,76	2021	5,25
50	74,8	2,38	135	2,76	220	3,11	471	3,75	849	4,32	1374	4,86	2063	5,36
60	80,3	2,58	146	2,97	237	3,35	510	4,06	924	4,71	1504	5,32		
70	88,8	2,76	157	3,21	256	3,62	551	4,33	999	5,09				
80	92,8	2,95	168	3,43	274	3,87	589	4,69						
100	103,7	3,30	188	3,83	306	4,33	658	5,24						

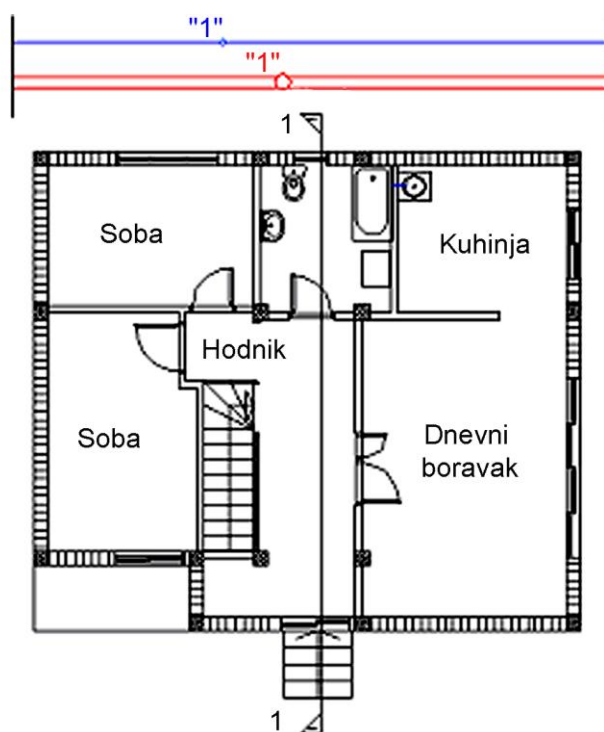
## B- KANALIZACIONI SISTEMI

Prečnik cijevi u mm												Nagib
800		900		1000		1100		1200		1300		
Qpp	vpp	Qpp	vpp	Qpp	vpp	Qpp	vpp	Qpp	vpp	Qpp	vpp	
(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	(l/s)	(m/s)	
182	0,36	249	0,39	329	0,42	423	0,44	531	0,47	658	0,48	0,2
204	0,4	278	0,44	368	0,47	473	0,5	595	0,53	734	0,55	0,25
224	0,45	306	0,48	404	0,51	519	0,55	652	0,58	805	0,61	0,3
259	0,52	354	0,56	467	0,59	600	0,63	755	0,67	931	0,7	0,4
290	0,58	396	0,62	523	0,67	672	0,71	845	0,75	1042	0,79	0,5
318	0,63	434	0,68	573	0,73	736	0,77	926	0,82	1143	0,86	0,6
368	0,73	502	0,79	662	0,84	851	0,9	1070	0,95	1321	1	0,8
412	0,82	562	0,88	741	0,94	953	1	1197	1,08	1478	1,11	1
461	0,92	628	0,99	829	1,06	1066	1,12	1340	1,18	1653	1,25	1,25
505	1	689	1,08	909	1,16	1168	1,23	1468	1,3	1812	1,37	1,5
584	1,16	796	1,25	1050	1,34	1350	1,42	1697	1,5	2094	1,58	2
653	1,3	890	1,4	1175	1,5	1510	1,59	1898	1,68	2342	1,76	2,5
716	1,42	976	1,53	1288	1,64	1654	1,74	2080	1,84	2566	1,93	3
827	1,64	1128	1,77	1488	1,89	1911	2,01	2403	2,12	2965	2,23	4
925	1,84	1261	1,98	1664	2,12	2138	2,25	2687	2,36	3316	2,5	5
1013	2,02	1382	2,17	1823	2,32	2343	2,46	2944	2,6	3633	2,74	6
1095	2,18	1493	2,35	1970	2,51	2531	2,66	3181	2,81	3925	2,96	7
1171	2,33	1596	2,51	2106	2,68	2706	2,85	3401	3,01	4196	3,16	8
1309	2,6	1785	2,81	2355	3	3026	3,18	3803	3,36	4693	3,57	10
1435	2,85	1958	3,07	2581	3,29	3318	3,49	4167	3,68	5142	3,87	12
1550	3,08	2113	3,32	2788	3,55	3582	3,77	4502	3,98	5554	4,18	14
1657	3,3	2259	3,55	2981	3,8	3829	4,03	4813	4,26	5938	4,47	16
1758	3,5	2397	3,77	3162	4,03	4062	4,27	5105	4,51	6299	4,75	18
1853	3,69	2527	3,97	3333	4,24	4282	4,51	5382	4,76	6640	5	20
1944	3,87	2650	4,17	3496	4,45	4492	4,73	5645	4,99	6965	5,35	22
2030	4,04	2768	4,35	3652	4,65	4692	4,94	5896	5,21			24
2072	4,12	2825	4,44	3727	4,75	4789	5,04					25
2113	4,2	2881	4,53	3801	4,85	4883	5,14					26
2193	4,36	2990	4,7	3945	5,02							28
2270	4,52	3096	4,87	4084	5,2							30
2345	4,67	3197	5,03									32
2417	4,81	3296	5,18									34
2488	4,95	3391	5,33									36
2556	5,08											38
2622	5,22											40
2687	5,35											42
												44
												46
												48
												50

## Geometrijske i hidrauličke karakteristike kružnog poprečnog profila

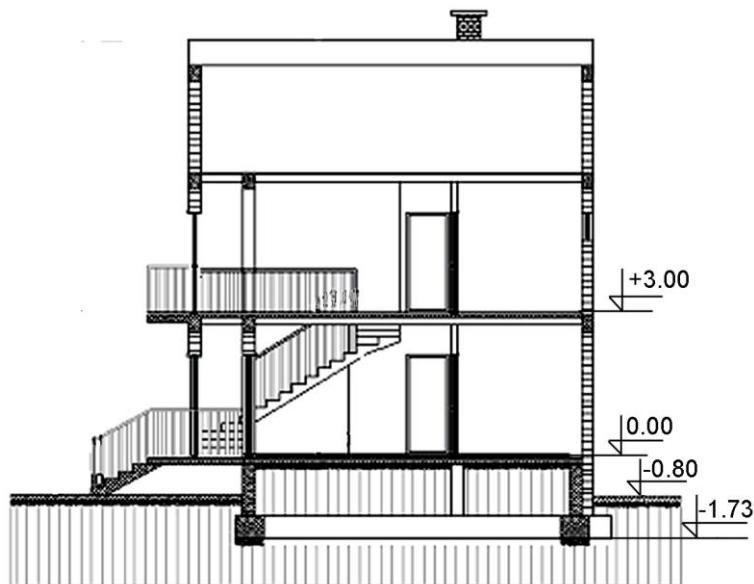
Q/Q <sub>pp</sub>	h/D	v/v <sub>pp</sub>	R/D	Q/Q <sub>pp</sub>	h/D	v/v <sub>pp</sub>	R/D	Q/Q <sub>pp</sub>	h/D	v/v <sub>pp</sub>	R/D	Q/Q <sub>pp</sub>	h/D	v/v <sub>pp</sub>	R/D
0,001	0,023	0,17	0,0152	0,095	0,205	0,640	0,1233	0,41	0,445	0,95	0,2313	0,805	0,701	1,08	0,2964
0,002	0,032	0,21	0,0210	0,100	0,211	0,650	0,1265	0,42	0,451	0,96	0,2334	0,810	0,705	1,08	0,2969
0,003	0,038	0,24	0,0249	0,105	0,216	0,660	0,1291	0,43	0,458	0,96	0,2359	0,815	0,709	1,08	0,2974
0,004	0,044	0,26	0,0287	0,110	0,221	0,670	0,1317	0,44	0,464	0,97	0,2380	0,820	0,713	1,08	0,2979
0,005	0,049	0,28	0,0319	0,115	0,226	0,680	0,1343	0,45	0,470	0,97	0,2401	0,825	0,717	1,08	0,2984
0,006	0,053	0,29	0,0345	0,120	0,231	0,690	0,1369	0,46	0,476	0,98	0,2420	0,830	0,721	1,08	0,2989
0,007	0,057	0,30	0,0370	0,125	0,236	0,690	0,1395	0,47	0,482	0,99	0,2441	0,835	0,725	1,08	0,2993
0,008	0,061	0,32	0,0395	0,130	0,241	0,700	0,1421	0,48	0,488	0,99	0,2461	0,840	0,729	1,07	0,2997
0,009	0,065	0,33	0,0420	0,135	0,245	0,710	0,1441	0,49	0,494	1,00	0,2481	0,845	0,734	1,07	0,3002
0,010	0,068	0,34	0,0439	0,140	0,250	0,720	0,1466	0,50	0,500	1,00	0,2500	0,850	0,738	1,07	0,3006
0,011	0,071	0,35	0,0458	0,145	0,255	0,720	0,1491	0,51	0,506	1,00	0,2519	0,855	0,742	1,07	0,301
0,012	0,074	0,36	0,0476	0,150	0,259	0,730	0,1511	0,52	0,512	1,01	0,2538	0,860	0,747	1,07	0,3014
0,013	0,077	0,36	0,0495	0,155	0,263	0,740	0,1531	0,53	0,519	1,01	0,2559	0,865	0,751	1,07	0,3018
0,014	0,080	0,37	0,0513	0,160	0,268	0,740	0,1556	0,54	0,525	1,02	0,2577	0,870	0,756	1,07	0,3022
0,015	0,083	0,38	0,0532	0,165	0,272	0,750	0,1575	0,55	0,531	1,02	0,2595	0,875	0,761	1,07	0,3025
0,016	0,086	0,39	0,0550	0,170	0,276	0,760	0,1950	0,56	0,537	1,02	0,2612	0,880	0,766	1,07	0,3028
0,017	0,088	0,39	0,0562	0,175	0,281	0,760	0,1619	0,57	0,543	1,03	0,2629	0,885	0,770	1,07	0,3031
0,018	0,091	0,40	0,0581	0,180	0,285	0,770	0,1638	0,58	0,550	1,03	0,2649	0,890	0,775	1,07	0,3033
0,019	0,093	0,41	0,0593	0,190	0,293	0,780	0,1676	0,59	0,556	1,03	0,2665	0,895	0,781	1,07	0,3036
0,020	0,095	0,41	0,0605	0,200	0,301	0,790	0,1714	0,60	0,562	1,04	0,2681	0,900	0,786	1,07	0,3038
0,022	0,100	0,42	0,0635	0,210	0,309	0,800	0,1751	0,61	0,568	1,04	0,2697	0,905	0,791	1,07	0,304
0,024	0,104	0,43	0,0659	0,220	0,316	0,810	0,1784	0,62	0,575	1,04	0,2715	0,910	0,797	1,07	0,3041
0,026	0,108	0,45	0,0683	0,230	0,324	0,820	0,1820	0,63	0,581	1,05	0,2731	0,915	0,803	1,06	0,3042
0,028	0,112	0,45	0,0707	0,240	0,331	0,830	0,1851	0,64	0,587	1,05	0,2745	0,920	0,808	1,06	0,3043
0,030	0,116	0,46	0,0731	0,250	0,339	0,840	0,1887	0,65	0,594	1,05	0,2762	0,925	0,814	1,06	0,3043
0,032	0,120	0,47	0,0755	0,260	0,346	0,850	0,1918	0,66	0,600	1,05	0,2776	0,930	0,821	1,06	0,3043
0,034	0,123	0,48	0,0772	0,270	0,353	0,860	0,1948	0,67	0,607	1,06	0,2793	0,935	0,827	1,06	0,3042
0,036	0,127	0,49	0,0796	0,280	0,360	0,860	0,1978	0,68	0,613	1,06	0,2806	0,940	0,834	1,05	0,304
0,038	0,130	0,50	0,8130	0,290	0,367	0,870	0,2007	0,69	0,620	1,06	0,2821	0,945	0,841	1,05	0,3037
0,040	0,134	0,50	0,0837	0,300	0,374	0,880	0,2037	0,70	0,626	1,06	0,2834	0,950	0,849	1,05	0,3033
0,045	0,141	0,52	0,0877	0,310	0,381	0,890	0,2066	0,71	0,633	1,06	0,2848	0,955	0,856	1,05	0,3029
0,050	0,149	0,54	0,0923	0,320	0,387	0,890	0,2090	0,72	0,640	1,07	0,2862	0,960	0,865	1,04	0,3022
0,055	0,156	0,55	0,0963	0,330	0,394	0,900	0,2118	0,73	0,646	1,07	0,2874	0,965	0,874	1,04	0,3014
0,060	0,163	0,57	0,1002	0,340	0,401	0,910	0,2146	0,74	0,653	1,07	0,2887	0,970	0,883	1,04	0,3004
0,065	0,170	0,58	0,1042	0,350	0,407	0,920	0,2170	0,750	0,660	1,07	0,29	0,975	0,894	1,03	0,2989
0,070	0,176	0,59	0,1075	0,360	0,414	0,920	0,2197	0,760	0,667	1,07	0,2912	0,980	0,905	1,03	0,2972
0,075	0,182	0,60	0,1108	0,370	0,420	0,93	0,2220	0,770	0,675	1,07	0,2925	0,985	0,919	1,02	0,2946
0,080	0,188	0,61	0,1141	0,380	0,426	0,93	0,2243	0,780	0,682	1,07	0,2936	0,990	0,935	1,02	0,2908
0,085	0,194	0,620	0,1174	0,390	0,433	0,940	0,2269	0,790	0,689	1,07	0,2947	0,995	0,956	1,01	0,2844
0,090	0,200	0,630	0,1206	0,400	0,439	0,950	0,2291	0,800	0,697	1,07	0,2958	1,000	1,000	1,00	0,2500

**Zadatak B14.** U oknu "1" gradske kanalizacione mreže predviđa se priključenje kanalizacije stambene kuće spratnosti P+1. U čvoru "1" vodovodne mreže predviđa se priključenje vodovoda te kuće. Raspoloživi pritisak na mjestu priključka je 2 bar. Osnova tipskog sprata kuće data je na slici. Kota vodovodne cijevi na mjestu priključka iznosi  $-1.5$  m, a kota dna cijevi kolektora upotrijebljenih voda  $-1.8$  m, sve u odnosu na kotu prizemlja. Dimenzionirati vodovodne i kanalizacione cijevi u objektu, skicirati šemu unutrašnjeg razvoda instalacija, nacrtati aksonometrijsku šemu vodovodne mreže i ucrtati kanalizacionu mrežu na presjeku 1-1 (slika).



Slika 1. Osnova tipskog sprata





Slika 2. Presjek 1-1

### Rješenje:

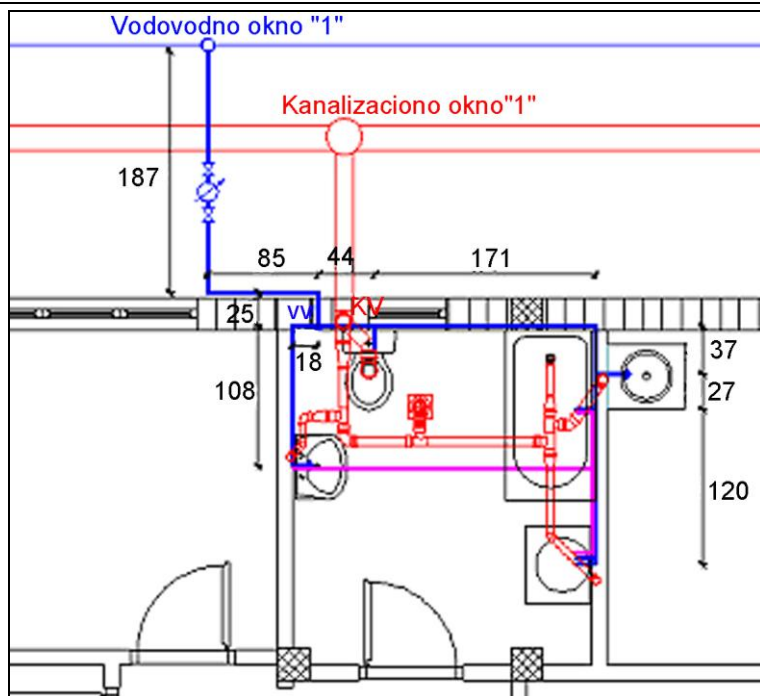
#### Vodovod

Priključenje objekta je u čvoru "1". Registrovanje potrošnje se vrši vodomjerom prečnika 1/2". Vodovodno okno je od betona, u njemu je garnitura zatvarača koja omogućava kontrolu rada vodovodne mreže. Vodovodna vertikala je smještena uz zid u kupatilskom prostoru. Raspoloživi pritisak na mjestu priključka je 2 bar. Hidraulički proračun je sproveden klasičnom metodom Briksa, vodeći računa o dozvoljenom padu pijezometarske linije u objektu.

Priključna horizontalna vodovodna mreža i vertikale su od polipropilenskih cijevi projektovanog profila. Razvodna mreža za kupatila i kuhinje koja se polaže u podovima i šlicevima je od polipropilenskih cijevi i fazonskih komada za 10 bara koji se spajaju varenjem. Unutrašnja vodovodna mreža je djelimično u zidu, u posebnim šlicevima, sa potrebnom izolacijom, iznad čega dolaze pločice ili malter, a djelimično u podu uz isto propisano termičko obezbjeđenje.

Na slici 3. je prikazana šema unutrašnjeg razvoda instalacija vodovoda i kanalizacije kupatila i kuhinje.

## B KANALIZACIONI SISTEMI



Slika 3. Šema unutrašnjeg razvoda instalacija vodovoda i kanalizacije

Kritično točeće mesto (KTM) – kritični potrošač, je najudaljeniji sanitarni objekat, od mjesta priključka. U konkretnom slučaju tačka KTM je mašina za veš na spratu, kako je dato u aksonometrijskoj šemi.

Najmanji pad pijezometarske linije od mjesta priključka do KTM proračunat je na osnovu podatka da je raspoloživi pritisak na mjestu priključka na gradsku vodovodnu mrežu 2.0 bara.

$$I_{doz} = (KP_{pr.} \cdot (h_g + h_n)) / L_{pr - KTM}$$

$$KP_{pr.} = 2 \text{ bar} = 20 \text{ mvs}$$

$$h_g = 6,5 \text{ m}$$

$$h_n = 5 \text{ m}$$

$$L_{pr - KTM} = 10,76 \text{ m}$$

$$I_{doz} = [20 (6,5 + 5)] / 10,76 = 0,79$$

Izbor prečnika cijevi za pojedine dionice je izvršen, vodeći računa da otpori na jedinici dužine ne budu veći od dozvoljenog  $I_{doz} = 0,79$  (tabela na kraju zadatka) .

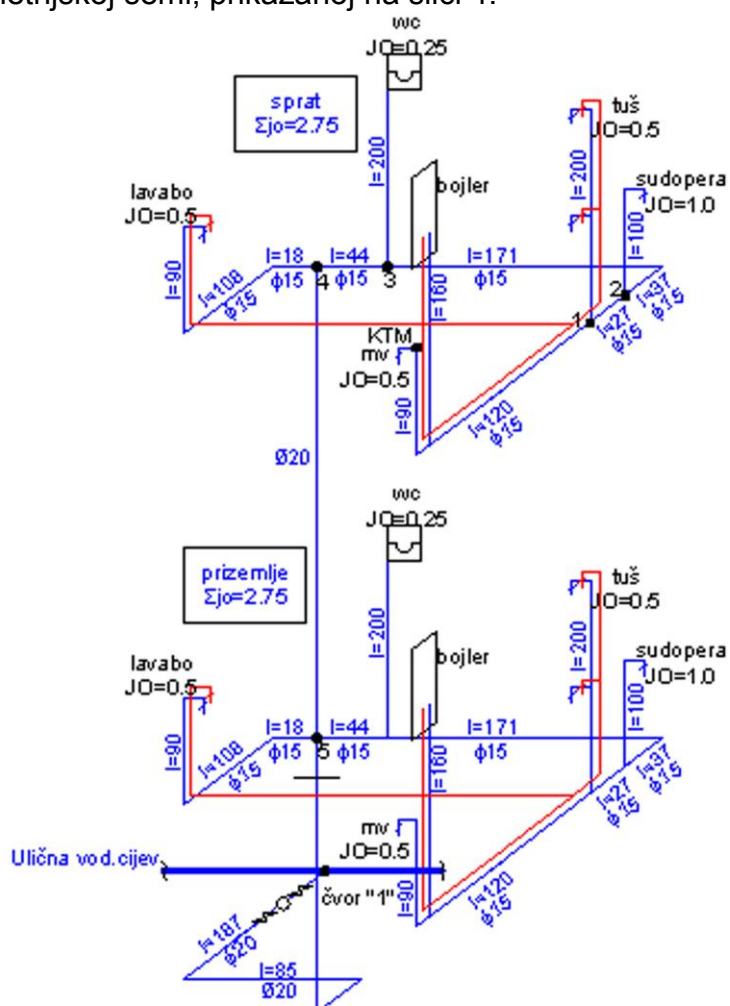
## B KANALIZACIONI SISTEMI

Dimenzionisanje cijevi na "kritičnom" putu:

Dionica	Broj JO	Količina vode Q (l/s)	Prečnik cijevi	Dužina dionice (m)	Otpor u cijevi na m <sup>1</sup> (m)	Ukupan otpor (m)
čvor "1"-5	5.5	0.59	Ø20	4.47	0.53	2.37
5-4	2.75	0.41	Ø20	3.00	0.26	0.78
4-3	2.25	0.38	Ø15	0.44	0.73	0.32
3-2	2.0	0.35	Ø15	1.71	0.59	1.01
2-1	1.0	0.25	Ø15	0.27	0.29	0.08
1-KTM	0.5	0.18	Ø15	2.1	0.15	0.32

Ukupno: 4.88

Dimenzije cijevi u mokrim čvorovima i u vertikali date su u aksonometrijskoj šemi, prikazanoj na slici 4.



Slika 4. Aksonometrijska šema vodovodnog sistema

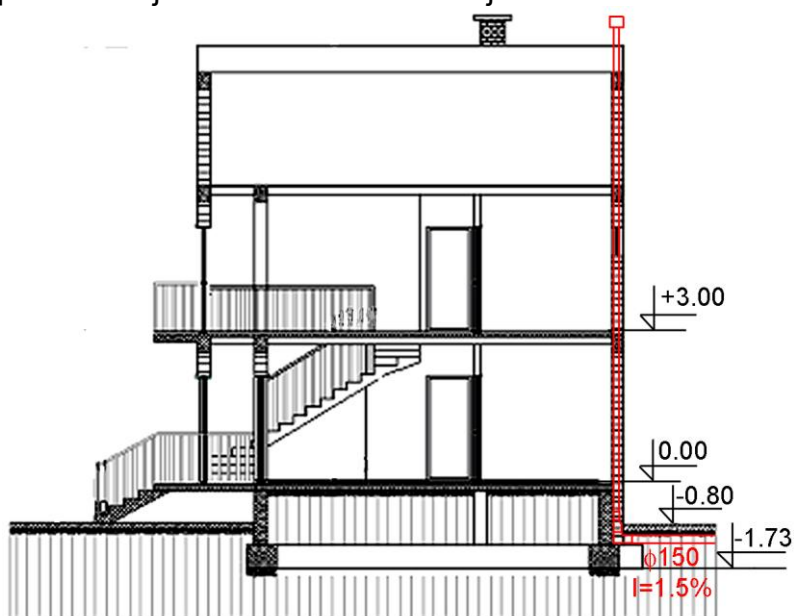
### Kanalizacija

Sve upotrijebljene vode iz objekta izvedene su u pravcu kanalizacione vertikale, koja putem horizontalnog razvoda odvodi vodu u okno "1" (slika 3).

Prilikom rješavanja horizontalne kanalizacione mreže vodi se računa da se što je moguće kraćim razvodima, obezbijedi efikasno odvođenje otpadnih voda do priključenja na gradsku kanalizaciju.

Dobro ventilisanje kanalizacione instalacije obezbijeđeno je preko projektovane vertikale Ø100 mm.

Horizontalna i vertikalna kanalizaciona mreža u objektu su od polipropilenskih cijevi za kućnu kanalizaciju.



Slika 5. Presjek 1-1 sa ucrtanom kanalizacionom vertikalom i odvodom ka oknu "1"

Mjerodavna količina vode za dimenzionisanje računata je prema:

$$Q = \frac{N \cdot p \cdot q}{100} (l/s);$$

gdje je :

- N broj sanitarnih objekata iste vrste;
- p procenat jednovremenog rada istih sanitarnih objekata (%);
- q količina otpadne vode koja se izliva iz sanitarnog objekata (l/s).

## B KANALIZACIONI SISTEMI

Hidraulički proračun za sabirni kanal, od kanalizacione vertikale do okna "1":

Vrsta sanitarnog objekta	Broj pribora N	$K_e$	P (%)	$K_e N$	Q (l/s)
Klozetska šolja	2	3.6	19.8	7.2	1.42
Kada	2	2.00	19.8	4.0	0.79
Umivaonik	2	0.50	19.8	1.0	0.19
Sudoper	2	2.00	19.8	4.0	0.79
Veš mašina	2	2.71	19.8	5.4	1.07

Ukupno:4.2  
6 l/s

$K_e$ -ekvivalentni faktor sanitarnog objekta.

Usvojen je kanal  $\varnothing 150$  mm sa padom  $I=1.5\%$

# **C - PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA**

### C 1 KARAKTERISTIKE UPOTRIJEBLJENIH VODA IZ KANALIZACIJE

Prethodno je rečeno da su upotrijebljene vode one vode koje su tokom upotrebe na bilo koji način zagađene. Upotrijebljene vode se međusobno razlikuju po količini, sastavu, biološkoj aktivnosti i higijenskom značaju

Glavni pokazatelji upotrijebljenih voda su:

- Krupni otpaci;
  - Čvrste materije;
  - Mikroorganizmi;
  - Hranljive soli;
  - Postojane materije;
  - Otrovnne materije;
  - Radioaktivne materije;
  - Rastvoreni gasovi;
  - Povišena temperatura vode.
1. Krupni otpaci koji se mogu naći u upotrijebljenim vodama su: papir, krpe, kore od voća i ostali organski i sintetski otpaci. Za razgradnju krupnih organskih otpadaka troši se kiseonik, pa se tako smanjuje količina rastvorenog kiseonika u vodi. U odnosu na čvrste materije, krupni otpaci nemaju veći ekološki značaj.
  2. Čvrste materije mogu biti organskog i neorganskog porijekla, a u upotrijebljenim vodama se mogu naći kao:
    - Rastvorene (dimenzije čestica do 1 nm);
    - Koloidne (dimenzije čestica od 1 nm do 1 µm);
    - Lebdeće (dimenzije čestica > 1 µm).
  3. Mikroorganizmi su jednoćelijski i višećelijski organizmi koji se nalaze u svim upotrijebljenim vodama. Mikroorganizmi razlagači razgrađuju organsku materiju do neorganske, troše rastvoreni kiseonik, pa se može pojaviti deficit kiseonika – anaerobno stanje. Sa zdravstvenog aspekta posebno je bitno prisustvo mikroorganizama iz digestivnog trakta ljudi i životinja

(fekalni mikroorganizmi) u upotrijebljenim vodama. Putem otpadnih voda mogu se prenijeti paraziti kao što su nematode crvi i pantljičara, ili bolesti: dizenterija, lepra, tuberkuloza, paratifus, tifus, trovanje salmonelom, bacilarna dizenterija, kolera, poliomijelitis, hepatitis (poslednja dva su virusna oboljenja) i dr. U komunalnoj otpadnoj vodi nalazi se veliki broj koliformnih organizama, koji obično nijesu patogeni, a koji u otpadnu vodu dopijevaju iz gastro-intestinalnog trakta ljudi i životinja. Pošto je prisustvo i broj patogenih organizama u otpadnoj vodi teško odrediti, a koliformnih organizama ima mnogo i njihovo određivanje je znatno jednostavnije, to se oni koriste kao indikator fekalnog zagađenja.

4. Hranljive soli – nutrijenti, kao što su N, P, K.....kao i njihova jedinjenja su veoma često prisutni u upotrijebljenim vodama. Ispuštanjem većih količina upotrijebljenih voda bogatih nutrijentima u vodene ekosisteme sa slabijom izmjenom vode (jezera, akumulacije, morski zalivi...) znatno se povećava količina hranljivih soli. Uz povoljne ostale uslove kao što su kiseonik, svjetlost i temperatura može doći do pojave eutrofnog stanja takvih prijemnika. U upotrijebljenoj vodi iz domaćinstva ukupan azot se nalazi u količinama od 25-85 mg/l (kao zbir amonijačnog, nitritnog, nitratnog i organskog azota). U sirovoj upotrijebljenoj vodi iz domaćinstva sadržaj ukupnog fosfora se kreće u opsegu od 2-20 mg/l.
5. Postojane materije su organske ili sintetičke biološki nerazgradljive ili teško razgradive materije. U periodu dok traje njihova eventualna razgradnja nepovoljno djeluju na akvatične organizme, a mogu se i akumulirati u organizmima. U ove materije spadaju mineralna ulja, pesticidi, deterdženti i plastične materije. Mineralna ulja dopijevaju u vodene ekosisteme sa upotrijebljenim vodama iz naselja i industrije. Pesticidi dopijevaju u vodotoke ispiranjem poljoprivrednog zemljišta, ali mogu biti porijeklom i iz industrijskih voda. Deterdženti su prisutni u upotrijebljenim vodama različitog porijekla. Sa deterdžentima se unose i određene količine fosfata što utiče na eutrofikaciju vodotoka. Plastične materije se nalaze u upotrijebljenim vodama domaćinstva i industrije u obliku, konca, vrećica, mrežica i sl.
6. Otrovne materije su materije koje u zavisnosti od količine i karakteristika mogu uzrokovati bolesti živih organizama, kancerogene i genetičke promjene, fiziološke smetnje, fizičke



deformacije i smrt. U upotrijebljenim vodama (prvenstveno industrijskim) često prisutne opasne materije su: teški metali (Hg, Cd, Pb, Zn, Ag, Se, Mn, Cr, Cu, Fe) i otrovna jedinjenja (cijanidi, hromati, floridi)

7. Radioaktivne materije potiču iz prirodnih ili vještačkih izvora zračenja. Prirodni izvori zračenja su radioaktivni elementi litosfere i svemirska zračenja. Vještački izvori zračenja su radioaktivne materije koje se nalaze u industrijskim upotrijebljenim vodama, prvenstveno vodama nuklearnih elektrana, a potom vodama iz industrijskih pogona u kojima se koriste radionukleidi. Radioaktivne materije ulaze u biokemijske procese, koncentrujući se od nižih ka višim organizmima prehrambenog lanca, te mogu biti vrlo opasne po život čovjeka.
8. Rastvoreni gasovi ( $O_2$ ,  $CO_2$ , ...) jedan su od bitnih pokazatelja kvaliteta vode. Količina rastvorenog kiseonika predstavlja osnovni kriterijum čistoće, odnosno onečišćenja (zagađenja) vodotoka. Ispuštanjem upotrijebljenih voda u prijemnike, može doći do značajnog smanjenja rastvorenog kiseonika, a u ekstremnim situacijama može i sasvim nestati, tako da može nastupiti potpuno izumiranje akvatičnih organizama. U prijemnicima se javlja tendencija obnavljanja kiseonika (iz vazduha i procesom fotosinteze). Međutim prisustvo (plivajućih) mineralnih ulja i tvrdih deterdženata, koloidnih i lebdećih materija u vodi znatno umanjuje oksigenaciju. Obnavljanje kiseonika takođe usporavaju i upotrijebljene vode sa povišenom temperaturom jer je kiseonik slabije rastvorljiv u toplijoj nego u hladnijoj vodi.
9. Povišena temperatura vode je posljedica ispuštanja voda iz industrijskih postrojenja, posebno termoelektrana i nuklearnih elektrana. Topla voda sadrži manje rastvorenog kiseonika, ubrzava metabolizam živih organizama, što dovodi do brze potrošnje kiseonika, pa manjak kiseonika postaje sve izraženiji. Kao posljedica toga nastupa promjena životnih uslova staništa, potpuno isčezavaju organizmi koji zahtjevaju veće koncentracije kiseonika i počinje anaerobna razgradnja organske materije porijeklom od uginulih organizama.

Kao što se vidi iz napred navedenog, otpadne vode mogu na različite načine zagađivati životnu sredinu, pri čemu karakter i intenzitet ovih uticaja zavisi od konkretnih uslova: količine i sastava otpadnih voda, karakteristika vodoprijemnika, postojanja drugih korisnika voda, i dr.

U standardnim uslovima glavno zagađenje upotrijebljenih voda (naročito voda iz domaćinstva) predstavljaju organske materije za čiju se razgradnju troši rastvoreni kiseonik iz vode.

### **C 2 STANDARDI ZAŠTITE RECIPIJENATA OD ZAGAĐENJA OTPADNIM VODAMA**

Radi smanjenje ili potpune eliminacije negativnih uticaja otpadnih voda na prijemnike, i životnu sredinu uopšte, neophodno je prije ispuštanja otpadne vode u prijemnik izvršiti njeno prečišćavanje. Zadatak prečišćavanja je da ukloni zagađujuće materije iz otpadne vode u određenom stepenu. Stepen prečišćavanja otpadnih voda definisan je izrazom:

$$SP = \left( 1 - \frac{C_{izl}}{C_{ul}} \right) 100\%$$

gdje je:

SP - stepen prečišćavanja (uklanjanja) određene materije iz otpadne vode (%);

$C_{ul}$  - koncentracija neke materije prije prečišćavanja (ulazna koncentracija);

$C_{izl}$  - koncentracija neke materije nakon prečišćavanja (izlazna koncentracija).

Pored svog tehničkog značenja stepen prečišćavanja je i veoma bitna ekonomska kategorija. U najvećem broju slučajeva mala povećanja potrebnog ili zahtjevanog stepena prečišćavanja iziskuju primjenu komplikovanijih i skupljih tehnoloških postupaka.

Stepen prečišćavanja otpadnih voda definiše se odgovarajućim administrativnim mjerama koje propisuje država u cilju zaštite životne sredine, dok se njegovo ostvarenje postiže primjenom različitih postupaka prečišćavanja otpadnih voda. Sprovođenje ovih mjera kontrolišu nadležne institucije. U praksi određivanja potrebnog stepena prečišćavanja otpadnih voda (PSP) javljaju se dva osnovna pristupa:

- Standard za recipijent – pretpostavlja određivanje PSP-a na osnovu zahtjevanog kvaliteta vode u recipijentu. Prema ovoj metodologiji zahtjeva se određeni kvalitet vode u recipijentu

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

(koji je definisan uredbom o klasifikaciji vodotoka) nakon mješanja sa prečišćenom otpadnom vodom. Odgovarajućom vodoprivrednom analizom, uz primjenu matematičkog modela kvaliteta vode u recipijentu, mogu se dobiti različiti stepeni prečišćavanja otpadnih voda različitih zagađivača, u zavisnosti od sastava i količine efluenta, i zahtjevanog kvaliteta recipijenta.

- Standard za efluent - određivanje PSP-a na osnovu zahtjevanog kvaliteta prečišćene vode, koji se primjenjuje u Evropskoj Uniji. Na osnovu Direktive evropskog savjeta od 21. 05. 1991. godine, sve gradske otpadne vode moraju se prečišćavati do određenog nivoa datog u tabeli 1.1, a u osjetljivim oblastima u kojima se odigrava proces eutrofikacije propisuju se i uslovi dati u tabeli 1.2.

U praksi se primjenjuje i kombinacija navedena dva pristupa.

Sa aspekta makroekonomije slivnog područja primjena standarda za recipijent daje jeftinija rešenja jer svi zagađivači ne moraju ostvariti isti stepen prečišćavanja otpadnih voda (mali zagađivači pored velikih rijeka mogu imati samo mehaničko prečišćavanje). Međutim primjenom standarda za efluent vrši se pravičnija raspodjela ukupnih troškova za prečišćavanje i lakše se obavlja nadzor i kontrola rada postrojenja za prečišćavanje od strane odgovarajućih državnih institucija. Kako troškove prečišćavanja otpadnih voda uglavnom snosi sam zagađivač, to se primjenom ove metodologije svi zagađivači dovode u ekonomski ravnopravan položaj.

*Tabela C 3.1 Zahtjevi za izlive iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadne vode (primjenjuju se vrijednosti koncentracije ili procenta smanjenja)*

Parametar	Koncentracija	Najmanji % smanjenja (1)
Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK5 na 20°C) bez nitrifikacije(2)	25 mg/l O <sub>2</sub>	70 -90
Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	125 mg/l O <sub>2</sub>	75
Ukupne suspendovane materije	35 mg/l	90
	35 mg/l (3) (više od 10 000 ES)	90 (3) (više od 10000 ES)
	60 mg/l (3) (od 2000 do 10000 ES)	70 (3) (od 2000 do 10000 ES)

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

ES - veličina postrojenja izražena brojem ekvivalentnih stanovnika

- (1) Smanjenje u odnosu na opterećenje ulazne vode;
- (2) Parametar može biti zamenjen nekim drugim: ukupan organski ugljenik ili ukupna potrošnja kiseonika, ukoliko se može uspostaviti zavisnost između ovih parametara;
- (3) Na planinama višim od 1500 mm ako nema štetnih efekata po okolinu.

*Tabela C 3.2 Zahtjevi za izlive iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda osjetljive oblasti u kojima se odigrava eutrofikacija. Jedan ili oba parametra mogu biti primjenjeni, zavisno od mjesnih uslova. Primjenjuju se vrijednosti koncentracija ili procenta smanjenja.*

Parametar	Koncentracija	Najmanji % smanjenja <b>(1)</b>
Ukupan fosfor	2 mgP/l (od 10 000 do 100 000 ES) 1 mgP/l (više od 100 000 ES)	80
Ukupan azot <b>(2)</b>	15 mgN/l (od 10 000 do 100 000 ES) 10 mgN/l (više od 100 000 ES) <b>(3)</b>	70 - 80

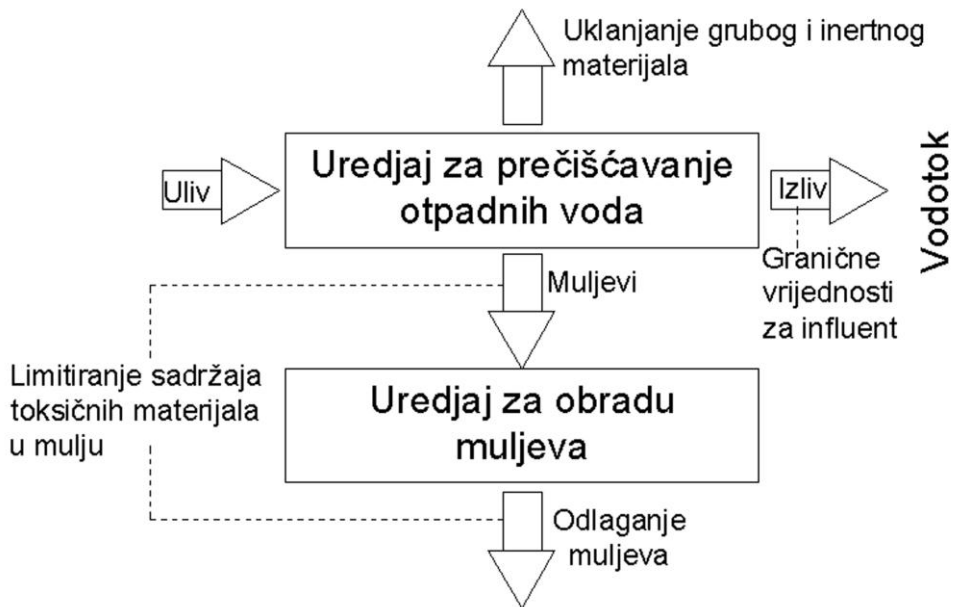
ES - veličina postrojenja izražena brojem ekvivalentnih stanovnika

- (1) Smanjenje u odnosu na opterećenje ulazne vode;
- (2) Ukupan azot znači zbir: ukupnog Kjeldahl azota (organski N plus  $\text{NH}_4$ ), nitrata  $\text{NO}_3\text{-N}$  i nitrita  $\text{NO}_2\text{-N}$ ;
- (3) Alternativno dnevna prosječna vrijednost ne smije preći 20 mg/l N. Ovaj zahtjev se odnosi na vodu sa temperaturom od  $12^\circ\text{C}$  ili više tokom rada biološkog reaktora postrojenja za prečišćavanje otpadne vode. Kao zamjena za uslov koji se odnosi na temperaturu, može se primjeniti ograničenje vremena rada, koje uzima u obzir klimatske uslove.

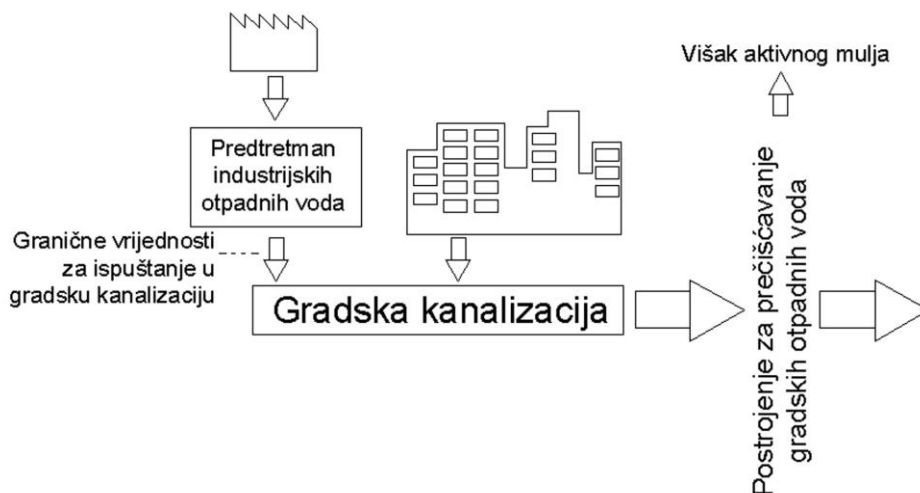
Usljed štetnog djelovanja upotrijebljenih voda neophodno je projektovati procese i uređaje za prečišćavanje na osnovu pouzdanih parametara koji se dobijaju u metodološki dobro organizovanim ispitivanjima karakteristika upotrijebljenih voda, procesa prečišćavanja i lokalnih karakteristika recipijenta.

### C 3 PROJEKTOVANJE UREĐAJA ZA PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH VODA

Uređaji za prečišćavanje upotrijebljenih voda se projektuju da bi se zadovoljile potrebe koje će se javiti narednih 15 do 20 godina, nakon završetka njihove izgradnje. Veličina postrojenja zavisi od više faktora među kojima su tri ključna: broj stanovnika, standarda stanovništva i razvijenosti industrije.



Slika C 3.1 Šema sistema za prečišćavanje upotrijebljenih voda komunalnog porijekla



Slika C 3.2 Šema sistema za zajedničko prečišćavanje komunalnih upotrijebljenih voda i otpadnih voda industrije

Da bi se postrojenje za prečišćavanje pravilno dimenzionisalo neophodno je raspolagati sa osnovnim podacima:

- Količina upotrijebljenih voda;
- Sastav upotrijebljenih voda.

Količina upotrijebljenih voda koja dolazi na postrojenje za prečišćavanje definiše se kao hidrauličko opterećenje postrojenja i zavisi od:

- Budućeg broja stanovnika priključenih na kanalizaciju koja dovodi vodu do postrojenja;
- Specifične potrošnje vode po stanovniku;
- Priključene industrije na zajedničku kanalizaciju;
- Tipa kanalizacije (opšti, separacioni, kombinovani);
- Mogućnosti infiltracije podzemnih voda u kanalizaciju.

Ove vrijednosti su već precizno definisane u dijelu količina vode u kanalizaciji.

### C 3.1 Mehaničko, hemijsko i biološko opterećenje

Mehaničko, hemijsko i biološko opterećenje u kanalizacionim vodama opredjeljuju izbor postupaka i vrstu postupaka u postrojenju za

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

prečišćavanje otpadnih voda. Iz tog razloga veoma je značajno poznavati, kako veličine opterećenja, tako i efikasnosti pojedinih postupaka i operacija za njihovo uklanjanje, prilikom izbora neophodnih postupaka za postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda.

Upotrijebljene otpadne vode predstavljaju sanitarne otpadne vode iz domaćinstava, stambenih jedinica i javnih ustanova, koje se ispuštaju u kanalizacioni sistem naselja. Ove vode se relativno lako mogu normirati po mehaničkom, hemijskom i organskom opterećenju, pošto su dosta ujednačnog sastava. U tabeli C.3.3 su navedena neka specifična opterećenja komunalnih otpadnih voda, preko koncentracija za jako, srednje i slabo opterećene kanalizacije.

*Tabela C 3.3 Karakteristični sastav upotrijebljene optadne vode iz domaćinstava*

Sastojak	Koncentracija sastojaka u upotrijebljenoj vodi (mg/l)		
	jaka	srednja	slaba
ukupni suvi ostatak	1200	720	350
Ukupni rastvoreni ostatak	850	500	250
Mineralni	525	300	145
volatilni	275	165	80
Taložive materije	20	10	5
BPK <sub>5</sub>	400	220	110
HPK	1000	500	250
Ukupni organski ostatak	290	160	80
Azot kao N	85	40	20
Organski N	35	15	8
NH <sub>4</sub>	50	25	12
Fosfor kao P	18	8	4
Organski P	5	3	1
Neorganski P	10	5	3
hloridi	100	50	30
Masti i ulja	150	100	50

### C 3.2 Ekvivalentni broj stanovnika

Kod zajedničkog prečišćavanja komunalnih i industrijskih upotrijebljenih voda postavlja se problem raspodjele troškova prečišćavanja i procjene uticaja industrijskih voda na postrojenje za prečišćavanje ili recipijente. Zagađenje upotrijebljene vode neke

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

industrije izražava se pored analize sastava i brojem ekvivalentnih stanovnika ES. Ekvivalentni broj stanovnika se najčešće definiše tako što se svojstva neke upotrijebljene vode u pogledu sadržaja  $BPK_5$  uporede sa uobičajenim vrijednostima za komunalne upotrijebljene vode. Usvajajući da svaki stanovnik priključen na kanalizacionu mrežu unosi za jedan dan 60g  $BPK_5$  u upot. vodu, ES se može definisati:

$$ES = \frac{\sum BPK_5}{BPK_5}, \frac{g / dan}{g / (st.dan)}$$

gdje je:

$\sum BPK_5$  – ukupno opterećenje zagađenja neke industrijske otpadne vode;

$BPK_5$  – opterećenje zagađenja kanalizacionih voda po stanovniku za jedan dan, kod separacionih sistema iznosi 60g  $BPK_5$  po stanovniku na dan a kod mješovitih sistema od 65 -70g  $BPK_5$  po stanovniku na dan.

Tabela C 3.4. Vrijednosti opterećenja industrijskih otpadnih voda svedenih na ES na bazi  $BPK_5$  od 60 g/st.dan

Vrsta industrije	Jedinica proizvodnje	ES na bazi $BPK_5$ od 60 g/st.dan
Mljekara sa sirenjem	Na 1000 lit mlijeka	50-250
Pivara	Na 1000 lit piva	300-2000
Pekara	Na 1000 tona žita	1500-2000
Klanica	Za jednog vola ili 3 svinje	70-200
Fabrika celuloze	Na jednu tonu celuloze	3000-4000

Kvalitet industrijskih otpadnih voda, koje se upuštaju u zajednički kanalizacioni sistem, ne smije biti niže da mijenja kvalitet upotrijebljenih voda iz domaćinstava. Sve industrijske otpadne vode, osim čisto sanitarnih upotrijebljenih industrijskih otpadnih voda, moraju se odgovarajućim predtretmanima svoditi na nivo kvaliteta upotrijebljenih voda domaćinstava, prije upuštanja u kanalizacioni sistem.



### C 3.3 Srednji dotok vode na postrojenje u toku dana

Dotok otpadne vode na postrojenje za prečišćavanje varira po količini i sastavu. Zbog toga se u procesu njegovog dimenzionisanja primjenjuju prosječne vrijednosti opterećenja a za dotok se uzima srednja vrijednost u toku dana, od 6 do 18 časova, pri suvom vremenu. Ta se vrijednost izračunava kao:

$$Q_{sr} = \frac{ES \cdot q_{sp}}{t \cdot 1000}, \frac{m^3}{h}$$

gdje je :

ES - Ekvivalentni broj stanovnika;

$q_{sp}$  - specifična potrošnja vode (l/st.dan);

t - vrijeme – redukovani broj sati dotoka vode u toku dana (h/dan).

Preporuke za određivanje srednjeg dotoka u toku dana prema broju ES odnosno redukovanom broju sati u toku dana date su u sledećoj tabeli :

Tabela C 3.5 Određivanje srednjeg dotoka, prema broju ES

Q <sub>sr</sub> (m <sup>3</sup> /sat)	t (sati)	ES
Q <sub>sr,10</sub>	10	Do 1000
Q <sub>sr,112</sub>	12	1000-5000
Q <sub>sr,14</sub>	14	5000-10000
Q <sub>sr,16</sub>	16	10000-20000
Q <sub>sr,18</sub>	18	20000-100 000

Illustraciju primjene navedenih preporuka najbolje je prikazati na primjeru jednog grada od 20000 ES.

Ako se primjeni napred navedeni obrazac  $Q_{sr} = \frac{ES \cdot q_{sp}}{t \cdot 1000}$ , za rad postrojenja u toku dana od ukupno t = 18 sati i specifičnu potrošnju vode  $q_{sp} = 200$  l/st.dan dobija se:

$$Q_{sr} = \frac{20000 \cdot 200}{18 \cdot 1000} = 222 \frac{m^3}{h}, \text{ što je neko srednje opterećenje postrojenja.}$$

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

---

Osim srednje vrijednosti opterećenja za rad postrojenja je značajno i utvrđivanje ekstrema dnevnog hidrauličkog opterećenja. Ovi ekstremi se odnose na maksimalno  $Q_{dn,max}$  i minimalno  $Q_{dn,min}$  hidrauličko opterećenje kanalizacije tokom dana. Kako je već ranije naglašeno, ovi ekstremi se određuju preko usvojenih ili procijenjenih dnevnih koeficijenata neravnomjernosti. Njihove vrijednosti se najčešće izračunavaju po dobro poznatim obrascima:

$$Q_{max}^{dn} = k_{max}^{dn} \cdot Q_{sr}$$

$$Q_{min}^{dn} = k_{min}^{dn} \cdot Q_{sr}$$

gdje je:

$k_{max}^{dn}$  - maksimum koeficijent dnevne neravnomjernosti potrošnje vode ( $\leq 1.5$ );

$k_{min}^{dn}$  - minimum koeficijent dnevne neravnomjernosti potrošnje vode ( $> 0.5$ ).

Ekstremi hidrauličkog opterećenja se mogu izračunavati i preko takozvanih angažovanih vremena opterećenja, po sledećim relacijama:

- maksimalno dnevno hidrauličko opterećenje, kao 14 – satno opterećenje

$$Q_{max}^{dn} = Q_{14} = \frac{24}{14} \cdot Q_{24} = 1,7143 \cdot Q_{24}$$

- minimalno dnevno hidrauličko opterećenje, kao 40 – satno opterećenje

$$Q_{min}^{dn} = Q_{40} = \frac{24}{40} \cdot Q_{24} = 0,60 \cdot Q_{24}$$

- srednje dnevno hidrauličko opterećenje, kao 18 – satno opterećenje

$$Q_{sr}^{dn} = Q_{18} = \frac{24}{18} \cdot Q_{24} = 1,34 \cdot Q_{24}$$

Za izradu hidrauličkog proračuna postrojenja prethodno je potrebno znati, pored poznatih protoka:

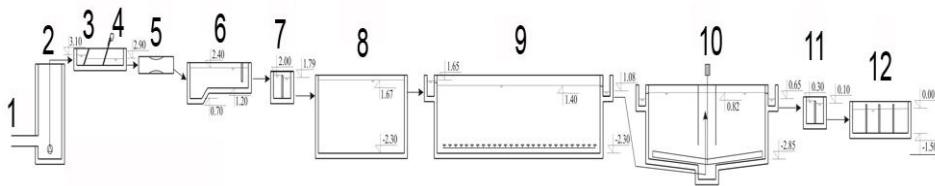
- veličinu i oblik poprečnog presjeka, kota dna i procenat punjenja kanizacionog kolektora kojim se voda dovodi na postrojenje;
- topografske uslove na terenu na kojem se gradi postrojenje;

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

- situaciju i presjeka profila na mjestu recipijenta na mjestu ispuštanja efluenta;
- podatke o nivoima podzemnih voda na mjestu buduće lokacije postrojenja.

Hidrauličkim proračunom treba da se definišu sledeći elementi postrojenja :

- Visinski raspored objekata u postrojenju ( osnovna težnja da tok kroz postrojenje bude gravitacioni);
- Karakteristike pumpnih postrojenja kroz postrojenje (za podizanje vode na ulazu u postrojenje, za usputno prepumpavanje kroz postrojenje, za povratni mulj, za recirkulaciju vode, evakuaciju pijeska iz pjeskolova i sl.);
- Uslovi za spriječavanje plavljenja postrojenja.



Legenda:

- 1- dovod vode iz kanalizacije
- 2- pumpna stanica
- 3- gruba rešetka
- 4- fina rešetka
- 5- mjerač protoka
- 6- aerisani pjeskolov
- 7- razdjelni šaht
- 8- anaerobni –anoksični bazen
- 9- aeracioni bazen
- 10- sekundarna taložnica
- 11- sabirni šaht
- 12- kontaktni bazen za hlorisanje - dezinfekciju

Slika C 3.3 Primjer šeme hidrauličkog profila jednog standardnog postrojenja za prečišćavanje upotrijebljenih voda

Proračun treba da ostvari vezu između objekata u okviru postrojenja tj. da definiše dimenzije transportnih sistema (cjevovoda i kanala) kojima se transportuju voda i mulj. Hidraulika tih objekata radi se klasičnim jednačinama iz teorije, usvajajući da su karakteristike otpadne vode iste kao i karakteristike čiste vode. Za transport mulja se ne mogu koristiti koeficijenti trenja za čistu vode već se koeficijenti trenja za

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

---

transport mulja dobijaju tako što se koeficijenti trenja za čistu vodu množe sa faktorom proporcionalnosti  $k_1$ . Vrijednosti ovog faktora zavise od težinskog odnosa SM u vodi.

*Tabela C 3.6 Koeficijent proporcionalnosti čiste vode i mulja za koeficijent trenja*

Težinski odnos SM(%)	0	2	4	6	8.5	10
$k_1$	1.0	1.48	2.50	4.90	8.25	13.03

## C 4 OSNOVNI PROCESI PREČIŠĆAVANJA UPOTRIJEBLJENIH VODA

Prečišćavanje upotrijebljene vode obuhvata niz operacija i postupaka kojima se iz vode uklanjaju suspendovane i rastvorene supstance, odnosno vrši se smanjenje zagađujućih materija do onih količina ili koncentracija, s kojima prečišćene upotrijebljene vode ispuštene u prirodne vodene sisteme ne predstavljaju opasnost za žive organizme i ne uzrokuju neželjene promjene u životnoj sredini.

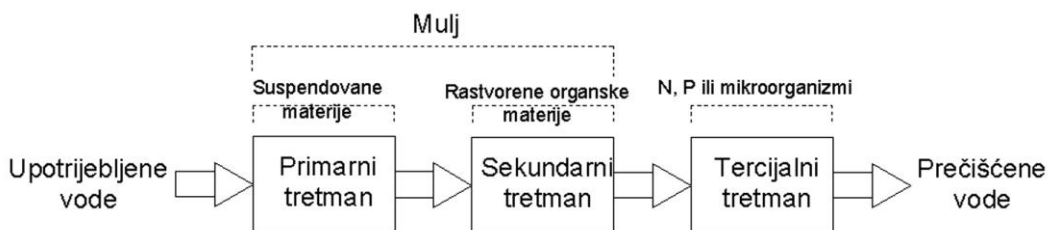
Nema jedinstvenog sistema obrade upotrijebljenih voda, jer svaka upotrijebljena voda ima posebne karakteristike.

Za prečišćavanje upotrijebljenih voda mogu se koristiti sljedeći osnovni procesi:

- Mehanički;
- Hemijski;
- Fizičko - hemijski;
- Biološki.

Prema stepenu gradacije postupci prečišćavanja upotrijebljenih voda se mogu podjeliti na:

- Primarni;
- Sekundarni;
- Tercijarni.



Slika C 4.1 Postupci tretmana upotrijebljenih voda

Primarno prečišćavanje upotrijebljenih voda može da obuhvata sljedeće postupake:

- ujednačavanja količine i opterećenja upotrijebljenih voda;
- uklanjanja krupnog (grubog) materijala upotrijebljenih voda;
- uklanjanja lako taloživih suspendovanih čestica;
- uklanjanja slobodnih ulja i masti;
- postupke uklanjanja suspendovanih čestica

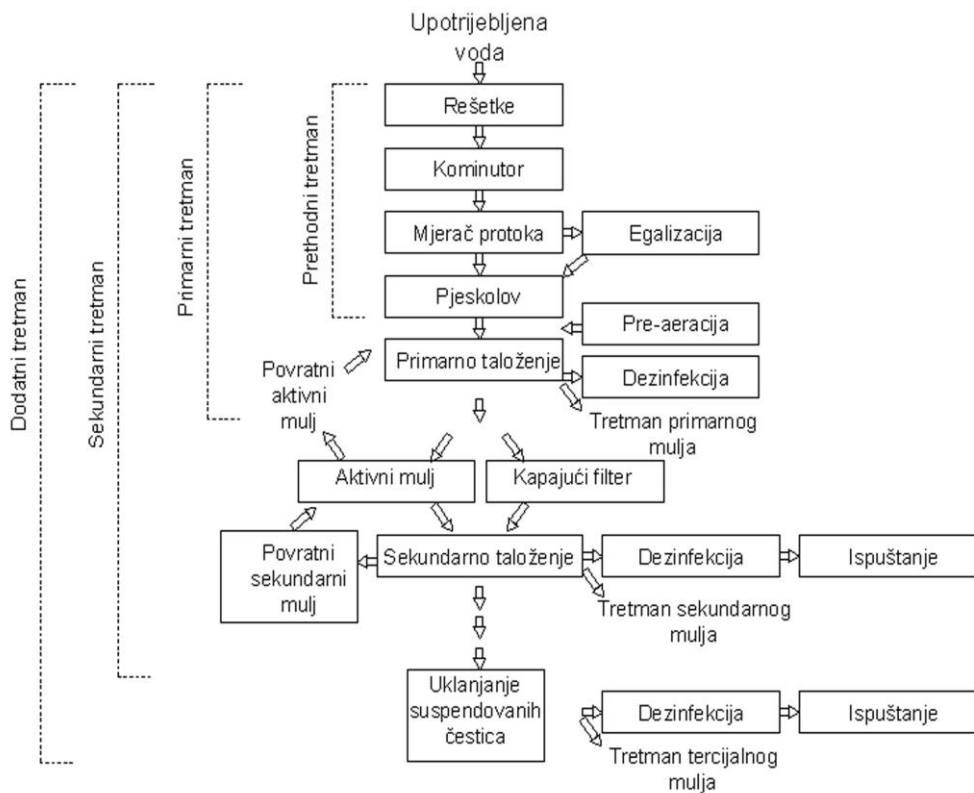
Fizičkim procesima sedimentacije se u primarnim taložnicima postiže uklanjanje približno 50-70% ukupnih suspendovanih supstanci (TSS) iz upotrijebljene vode i 25-35 % BPK<sub>5</sub>. Kada se u toku primarnog taloženja primjene određeni koagulantni uklanja se veći dio koloidnih materija, taloživih materija, a postiže se veoma efikasno uklanjanje TSS, oko 80- 90%.

Sekundarno prečišćavanje upotrijebljenih voda obuhvata postupke uklanjanja koloidno dispergovanih i rastvorenih biološki razgradljivih organskih zagađujućih materija. Postupci sekundarnog prečišćavanja su zasnovani na aktivnosti odgovarajuće mikroflore, koja koristi biološki razgradljive organske materije kao svoj supstrat. Sekundarnim prečišćavanjem se u većini slučajeva upotrijebljena voda prečišćava do stepena koji dopušta njeno direktno ispuštanje u prijemnik. Primjenom postupaka sekundarnog tretmana može da se postigne uklanjanje oko 85% BPK<sub>5</sub>. Ne postiže se potpuno uklanjanje nutrijenata (azot i fosfor).

Tercijalno prečišćavanje upotrijebljenih voda obuhvata postupke uklanjanja azota i fosfora. Postupci tercijalnog prečišćavanja mogu se uključiti u sistem sekundarnog prečišćavanja ili izvesti kao poseban stepen prečišćavanja, nakon primjenjenog sekundarnog prečišćavanja.

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

Postizanje kvaliteta efluenta u skladu sa Direktivom 91/271/EEC moguće je samo primjenom nekih od postupaka tercijarnog prečišćavanja.



Slika C 4.2 Detaljna šema postupaka u procesu prečišćavanja upotrijebljenih voda

## C PREČIŠČAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

Tabela C 4.1 Ostvaren stepen prečiščavanja nekih od postupaka prečiščavanja odpadnih voda

Postupak prečiščavanja	Ostvareni stepen uklanjanja (%)					
	Susp. materije	BPK <sub>5</sub>	HPK	Azot*	Fosfor	Koliformne klice
Samo primarno taloženje	40-70	15-40	15-35	-	≤20	-
Taloženje s hemijskom flokulacijom (neorganske soli)	60-90	35-65	30-55	-	≤80	-
Bakterijski sloj, velike opterećenosti s primarnim taloženjem	85-95	60-85	50-80	≅30	≤30	-
Aktivni mulj velike opterećenosti s primarnim taloženjem	85-95	60-90	50-80	≅10	≤30	-
Aktivni mulj s malim opterećenjem mase	85-95	75-95	60-85	≤90	≤30	-
Aktivni mulj s malim opterećenjem + hlorisanje	85-95	75-95	65-90	≤90**	≤30	>99,9
Aktivni mulj s malim opterećenjem + filtriranje na pijesku + hlorisanje	≤99	≤97	≤92	≤90**	≤30	>99,99
Aktivni mulj s malim opterećenjem + filtriranje na pijesku + filtriranje na aktivnom uglju + hlorisanje	≤99,5	≤99,5	≤97	≤90*	≤30	>99,99

\* po Kjeldahl-u

\*\* Djelimično preostali azot u obliku hloramina

### C 4.1 Prethodni i primarni tretman

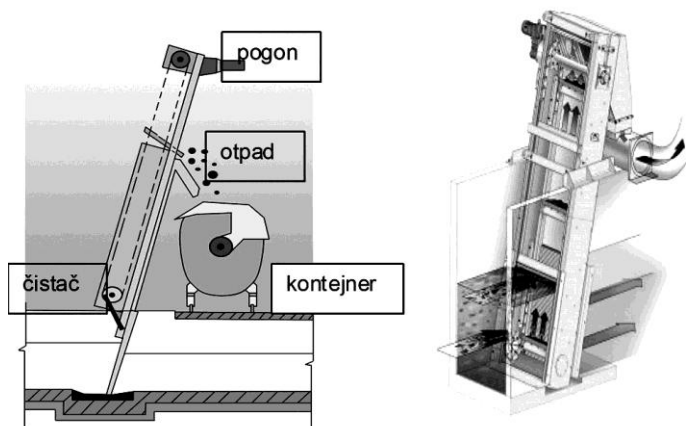
U toku prethodne obrade iz upotrijebljenih voda se uklanjaju materije čije bi prisustvo moglo da naruši efikasno funkcionisanje uređaja koji se koriste nakon prethodne obrade. Ovaj tretman podrazumjeva propuštanje vode kroz rešetke, sita ili kominutore, zatim pjeskolove ili egalizacioni bazen.

**Rešetke** se sastoje od metalnih šipki postavljenih pod nekim nagibom u odnosu na horizontalu i uređaj za čišćenje. U kanal kojim se voda šalje na uređaj za prečišćavanje rešetke se postavljaju ukoso pod određenim nagibom. Podjela odnosno tipovi rešetki zavise od načina njihovog čišćenja - rešetke sa povremenim ručnim čišćenjem i rešetke sa automatskim čišćenjem; oblika roštilja- lučne i ravne rešetke i od svijetlog razmaka štapova - grube, sa razmakom štapova 40-80 mm i fine sa razmakom štapova 10-40 mm

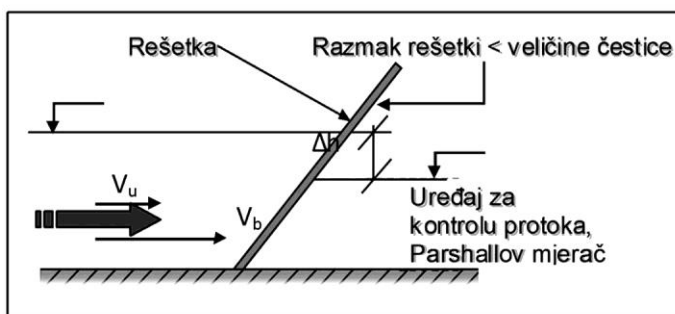
**Sita** se koriste za uklanjanje suspendovanog i plivajućeg materijala dimenzija oko jedan do nekoliko milimetara. Dije se na gruba sita,  $d = 0,8-6$  mm; srednje fina sita,  $d=0,25-1,5$  mm i fina sita,  $d=0,015 - 0.06$  mm.

**Kominutori** su gruba sita koja su opremljena uređajem za usitnjavanje materijala bez njegovog uklanjanja iz otpadnih voda. Koriste se tamo gde se ne ugrađuju grube rešetke. Usitnjeni materijal ostaje u vodi, pa se uklanja ili sitom, ili finom rešetkom.





Osnovni elementi za proračun dimenzija rešetke :



Razmak rešetki:

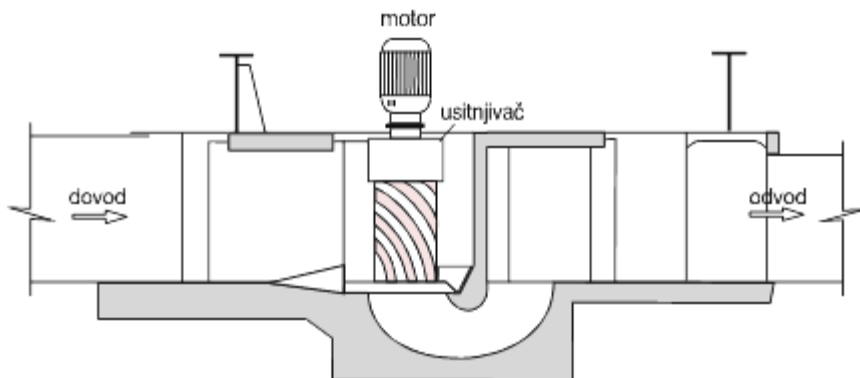
$V_b$  - brzina između otvora rešetki, manje od 1.2m/s,

$V_u$  - brzina uzvodno u kanalu, veća od 0.40 m/s,

$V_b, V_u$  - Kontroliraju se nizvodnim uređajem za regulaciju proticaja,

$\Delta h$  - Razlika visina vodnog lica (uzvodno - nizvodno)

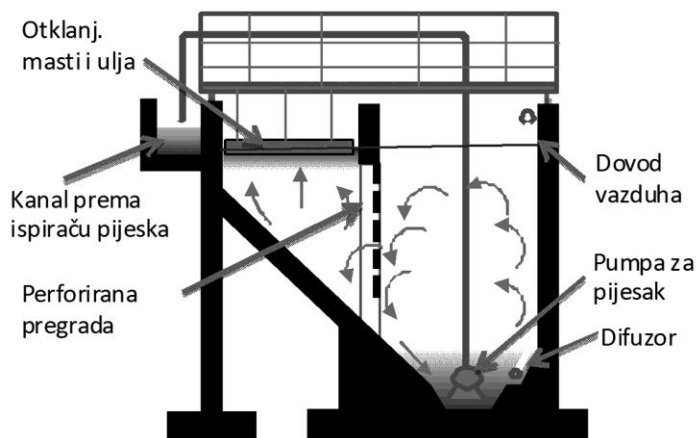
Slika C 4.3 Osnovni elementi rešetke



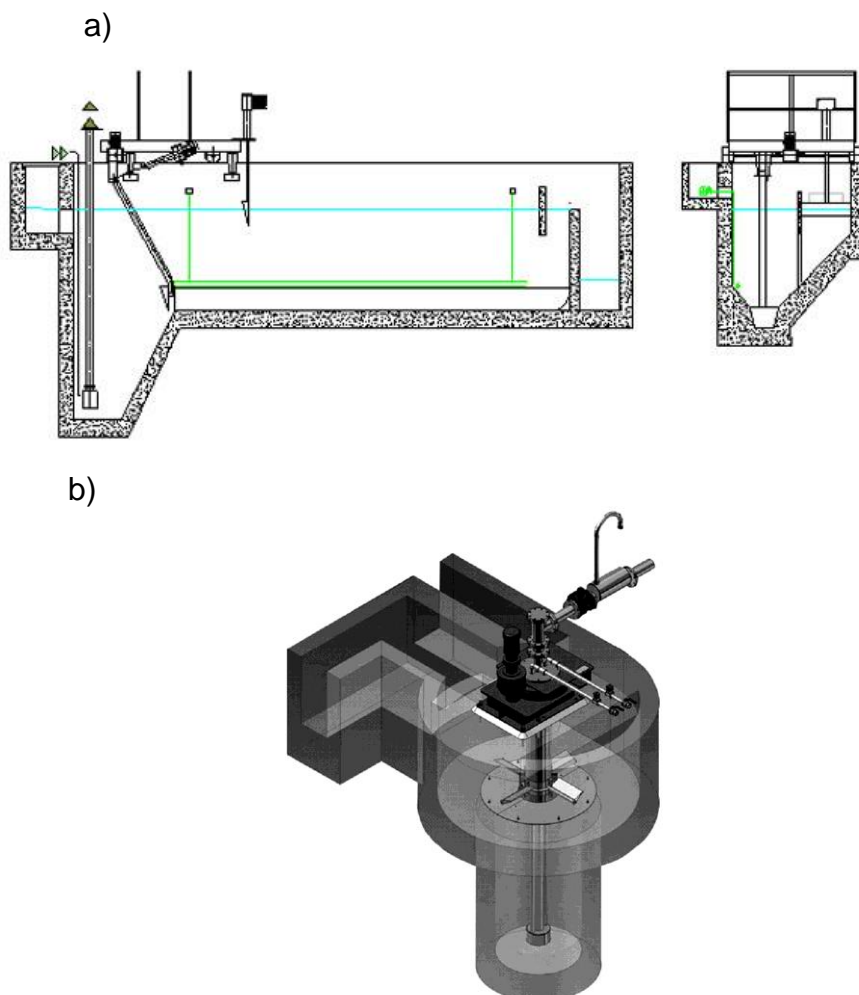
Slika C 4.4 Šema komunitora

**Pjeskolovi** funkcionišu na principu smirivanja vode da bi se omogućilo taloženje čestica pijeska koje voda nosi. Prema načinu kretanja upotrijebljene vode pjeskolovi mogu biti: pjeskolovi sa horizontalnim tokom, pjeskolovi sa kružnim tokom i aerisani pjeskolovi. Dimezije čestica koje se tokom ove operacije uklanjaju veće su od 200 nm. Čestice koje su nižeg granulometrijskog sastava odstranjuju se tokom procesa dekantacije ili odstranjivanja mulja. U teoriji proces odstranjivanja pijeska veže se za fenomen sedimentacije pri slobodnom padu čestica zrna, uz korišćenje formule Stoksa za laminarni tok, formule Njutna za turbulentni tok i formule Alena za prelazni režim tečenja.

Nedostatak pjeskolova sa horizontalnim tokom je u tome što se zajedno sa pijeskom talože i organske materije (i preko 50 % od ukupnog istaloženog materijala), što nameće potrebu za pranjem istaloženog materijala prije odlaganja. Za vađenje pijeska se koriste različiti uređaji (pumpe, grajferi i dr.)



Slika C 4.5 Princip rada pjeskolova sa mastolovom



*Slika C 4.6 a) Podužni aerisani pjeskolov i b) vrtložni tip pjeskolova*

Primjenom aerisanih pjeskolova se mogu prevazići nedostaci pjeskolova sa horizontalnim tokom. Istaloženi materijal ima različite karakteristike, zavisno od tipa pjeskolova, vrste kanalizacionog sistema, karakteristika područja i karakteristika same otpadne vode. Procenat vode u njemu kreće se u vrlo širokom rasponu od 10 – 85% a gustina od 600 – 1000 kg/m<sup>3</sup>.

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

Tabela C 4.2 Tipične vrijednosti parametara pjeskolova sa horizontalnim tokom vode za specifičnu težinu zrna  $2,65 \text{ kN/m}^3$

Parametar	Vrijednost veličine	
	Opseg vrijednosti	Najčešća vrijednost
Vrijeme zadržavanja vode	45-90	60
Horizontalna brzina toka (m/s)	0.215-0.40	0.30
Brzina tonjenja zrna $d=0,21 \text{ mm}$	1.0-1.3	1.15
$d=0,15 \text{ mm}$	0.6-0.9	0.75
Povećanje dužine pjeskolova zbog turbulencije	2h- 0.5L	/

U gornjoj tabeli  $h$  je maksimalna dubina vode u pjeskolovu a  $L$  dužina pjeskolova prema teoriji idealnog taloženja.

Tabela C 4.3 Tipične vrijednosti parametara za dimenzionisanje aerisanih pjeskolova

Parametar	Dimenzija	Vrijednost veličine	
		Opseg vrijednosti	Najčešća vrijednost
Dimenzija : dubina	m	2.0-2.5	-
Dužina	m	7.5-20	-
Širina	m	2.5-7.0	-
Vrijeme zadržavanja pri maksimalnom protoku	min	2-5	3
Potreba za vodom	$\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$	0.15-0.45	0.30
Količina istaloženog materijala	$\text{m}^3/10^3 \text{m}^3 \cdot \text{o.v}$	0.004-0.700	0.015

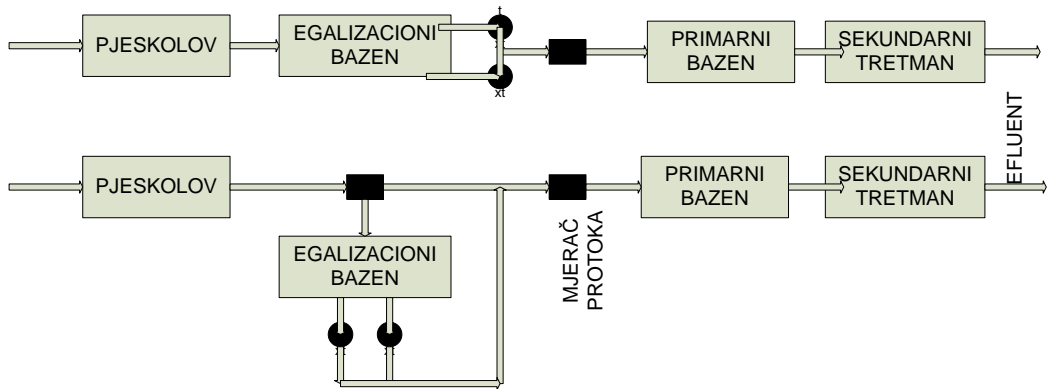
### Egalizacioni bazen

Postrojenja za obradu upotrijebljenih voda rade optimalno kada su protok i zagađenje upotrijebljene vode relativno konstantni. Uređaji za ujednačavanje protoka i sastava upotrijebljene vode su: bazen za ujednačavanje protoka, oprema za miješanje i unošenje vazduha i uređaj za evakuaciju vode iz bazena.

Načini primjene ujednačavanja protoka u procesu prečišćavanja upotrijebljenih voda mogu biti:

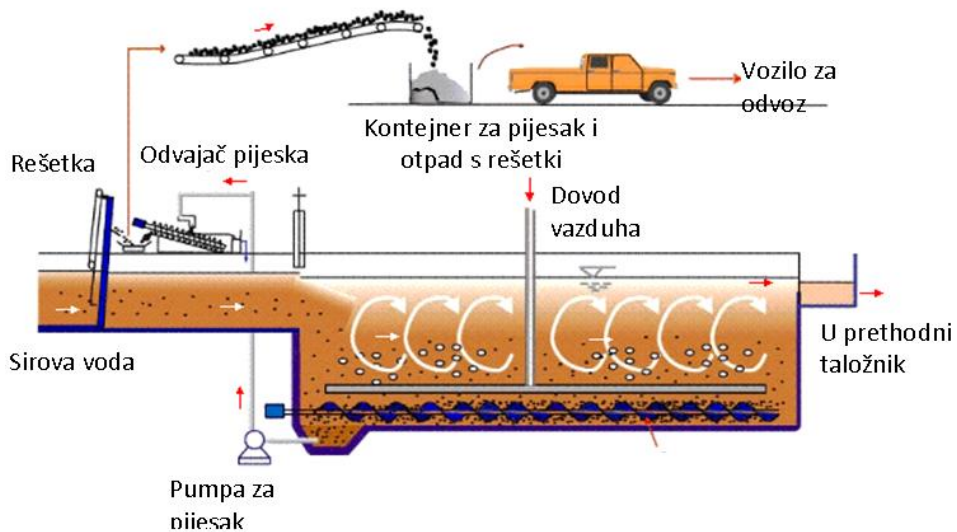
- u glavnom toku (in-line);
- u sporednom toku (of-line).

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA



*Slika C 4.7 Mjesto egalizacionih bazena u procesu tretmana upotrijebljenih voda*

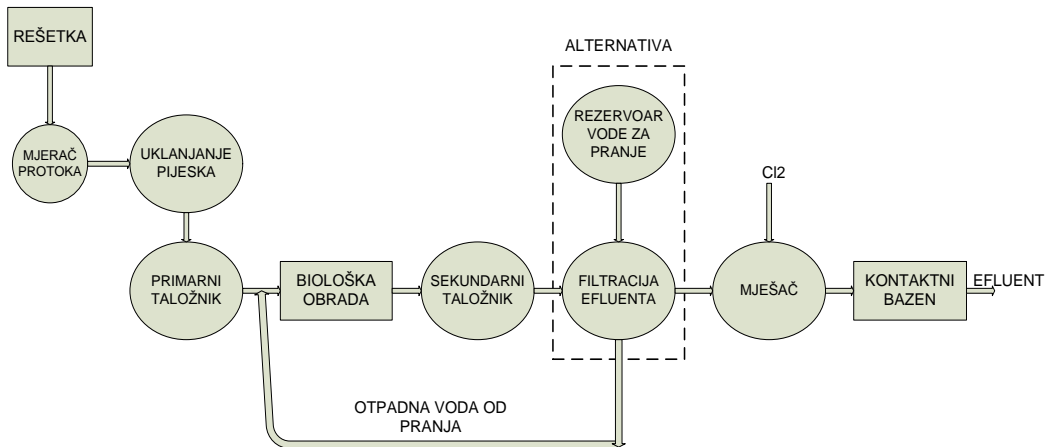
Egalizacioni bazeni proračunavaju se iz bilansa dotekle i istekle vode u određenom periodu, a iz razloga sigurnosti se uvećavaju još za 10-20% (efektivna zapremina).



*Slika C 4.8 Šematski prikaz mogućeg rješenja prethodnog prečišćavanja komunalnih otpadnih voda*

## C 4.2 Biološko prečišćavanje

Biološko prečišćavanje upotrijebljenih voda obuhvata uklanjanje rastvorenih organskih materija i netaloživih koloidnih čestica. U sistemu postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda biološka obrada se odvija kao sekundarni tretman, poslije primarnog odnosno mehaničkog tretmana a u izvjesnim uslovima može se pojaviti i kao nezavisan postupak.



Slika C 4.9 Šema biološkog procesa

Biološko prečišćavanje se primjenjuje za :

- Uklanjanje organskih materija;
- Uklanjanje azota pomoću postupaka nitrifikacije i denitrifikacije;
- Razgradnju primarnog mulja iz procesa primarne obrade otpadnih voda;
- Razgradnju sekundarnog mulja iz procesa biološke obrade otpadnih voda pomoću postupaka stabilizacije muljeva ili digestije.

Uopšteno, organske materije u upotrijebljenim vodama se mogu ukloniti pomoću tri različita metoda, tj procesa :

- Biološka razgradnja;
- Adsorpcija (uglavnom za organsku materiju koja se teže ili uopšte ne razgrađuje);

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

- Aeracija (za lako isparljive organske materije).

U suštini biološka obrada upotrijebljenih voda predstavlja simulaciju i forsiranje procesa autopurifikacije koji savršeno funkcionišu u prirodi. Tim procesom se simultano odvijaju tri suštinski različita procesa:

### Oksidacija :

$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{bakterija} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{ostali proizvodi} + \text{energija}$   
(organska materija )

### Biosinteza :

$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{bakterija} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_3$   
(organska materija ) (nove ćelije)

### Autooksidacija :

$\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 5\text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{energija}$   
(bakterija)

Mikroorganizmi mogu razgraditi skoro sve organske materije, koje im služe kao hrana za rast i razmnožavanje uz obezbjeđenje drugih potrebnih uslova kao što su temperatura, hranljive materije kao azot i fosfor, pH vrijednost, kiseonik i sl. Mikroorganizme dijelimo u tri grupe :

- Aerobne: potreban im je kiseonik za održavanje i razvoj;
- Anaerobne: opstaju bez prisustva kiseonika;
- Fakultativne: mogu opstati u skoro svim uslovima, sa ili bez kiseonika.

S obzirom na način održavanja mikroorganizama na uređajima s biološkim procesima prečišćavanja otpadnih voda, u praksi se najčešće sreću sledeći objekti, prikazani u tabeli:

*Tabela C 4.4 Objekti za biološke procese prečišćavanja otpadnih voda*

Način održavanja mikroorganizama	Tip objekata	
	Aerobni procesi	Anaerobni procesi
Mikroorganizmi suspendovani u vodi	1. Aeracioni bazeni sa aktivnim muljem 2. Aerobne lagune	1. Digestori 2. Anaerobne lagune
Mikroorganizmi pričvršćeni na neku podlogu, u obliku biološkog filma	1. Prokapnici/biološki filtri 2. Pokretni biološki nosači/biodiskovi	1. Anaerobne lagune 2. Anaerobne proceđivači

Efikasnost prerade zavisi od tipa postrojenja i uobičajeno iznosi:

- 45% kod postrojenje sa aktivnim muljem;
- 55% kod visoko opterećenih bioloških filtra;
- 80% kod nisko opterećenih bioloških filtra;
- 100% kod filtra u zemlji.

Sadržaj azota se smanjuje u otpadnim vodama višestrukim postupkom, koji se sastoji od sljedećih operacija:

- 1) prethodnog taloženja,
- 2) degazacije amonijaka,
- 3) kombinacijom nitrifikacije i
- 4) denitrifikacije.

Sadržaj fosfora se uklanja iz otpadnih voda složenim postupkom, koji se sastoji od:

- 1) djelimičnog mehaničkog prečišćavanja (precipitacija) i
- 2) djelimičnog biološkog prečišćavanja.

Osnovni faktori koji utiču na efikasnost biološkog prečišćavanja su: pH, temperatura, sadržaj hranljivih sastojaka, sadržaj mikroelemenata, određena konc. kiseonika (ili njegovo odsustvo), održavanje homogenizacije kod aktivnog mulja (debljine sloja kod filtra) i vrijeme kontakta faza.

### **C 4.2.1 Neki specifični biološki postupci tretmana upotrijebljenih voda**

#### **C 4.2.1.1 Postupak sa aktivnim muljem**

Aeracijom otpadnih voda stvaraju se pogodni uslovi za intezivan proces biorazgradnje, koji prati redukcija sadržaja organskih materija u upotrijebljenoj vodi do oko 95%. Nakon aeracije slijedi proces taloženja u kojem se odvaja fini mikrobiološki mulj od efluenta. Dio toga mulja se vraća nazad u proces da bi se aktivirao i održavao cijeli biološki proces. Tzv. „zreli“ mulj se odvodi dalje, na uređaj za obradu mulja. Cijeli proces je zasnovan na velikoj gustini mikrobiološkog sadržaja koji se intezivno miješa u suspenziji sa otpadnom vodom i kojem se obezbjeđuju aerobni uslovi vještačkim putem. Organska



## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

---

materija može biti prevedena u krajnje oksidacione proizvode kao što su CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> i PO<sub>4</sub> ili procesom biosinteze u biomasu.

Osnovni segmenti ovog procesa su:

- Aeracioni reaktor;
- Sistem za aeraciju i mješanje;
- Taložnik;
- Aktivni mulj;
- Povratni mulj.

Osnovni projektni parametri u procesu sa aktivnim muljem su:

- SRT – Vrijeme zadržavanja mulja ( Sludge Residence Time ), jednako odnosu ukupne količina mulja u sistemu (kg) / brzina izdvajanja mulja iz sistema (kg/dan), (dan)
- HRT = Hidrauličko vrijeme zadržavanja ( Hydraulic retention time) (sati)

$$HRT = \frac{V}{Q}$$

gdje su: V–neto zapremina aeracionog reaktora, (m<sup>3</sup>), Q-proticaj ulazne otpadne vode, m<sup>3</sup>/h;

- r – koeficijent povratka mulja;

$$r = \frac{Q_r}{Q}$$

gdje je: Q<sub>r</sub> - proticaj povratnog mulja (m<sup>3</sup>/h) i Q - dotok ulazne otpadne vode (m<sup>3</sup>/h)

- OL – Organsko opterećenje – unos organske materije

$$OL = \frac{Q \cdot BPK \cdot 24}{V \cdot 1000}, \text{kgBPK} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dan}^{-1}$$

gdje su: Q – proticaj ulazne otpadne vode m<sup>3</sup>/h, BPK – biohemijska potrošnja kiseonika, gBPK/m<sup>3</sup>, V – neto zapremina aeracionog reaktora, m<sup>3</sup>.

Različiti sistemi obrade sa aktivnim muljem razlikuju se po organskom opterećenju i klasifikovani su na sledeći način:

- visoko opterećenje: > 1,5 kg BPK5 po m<sup>3</sup> zapremine aeracionog reaktora

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

- srednje opterećenje : BPK5 = 0,6 – 1,5 kg /m<sup>3</sup>
- nisko opterećenje : BPK5 = 0,35 – 0,6 kg /m<sup>3</sup>

$\frac{f}{m}$  - odnos hrane i biomase

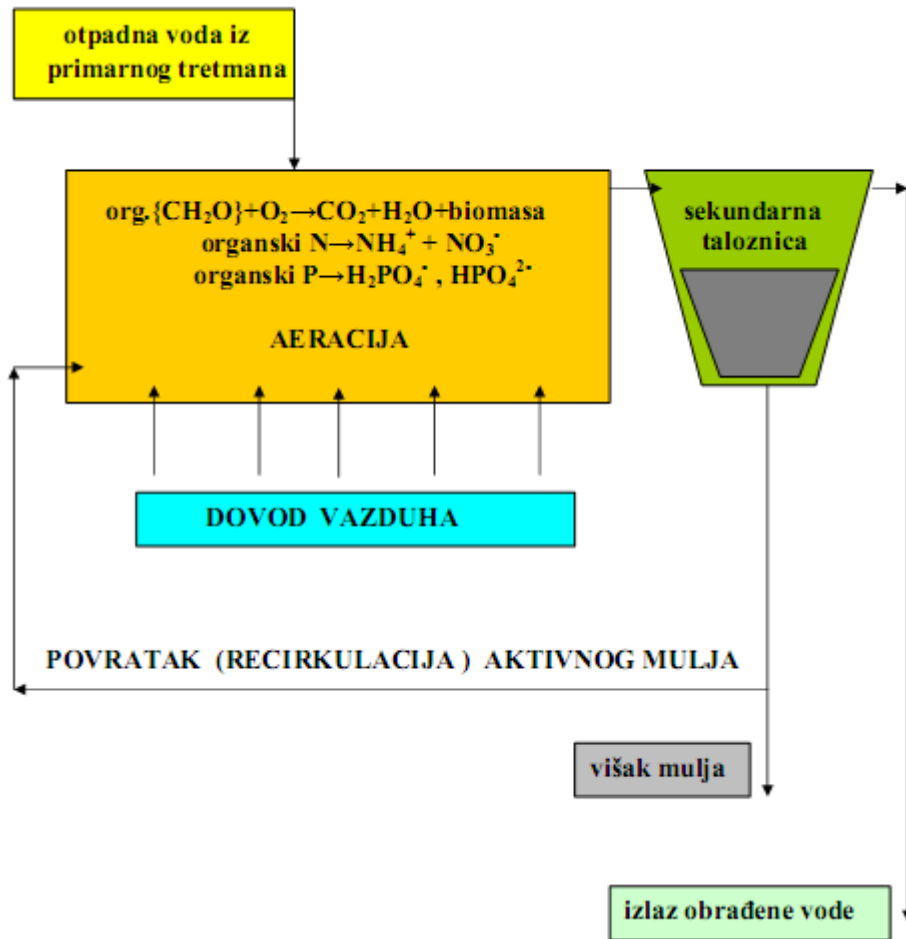
$$m = \text{organski unos / zapremina biomase} = \frac{Q * BPK}{V * BSS}, \text{ kg BPK/(kg BM dan)}$$

gdje je :Q – proticaj ulazne otpadne vode m<sup>3</sup>/h, BPK – biohemijska potrošnja kiseonika, gBPK/m<sup>3</sup>, V – neto zapremina aeracionog reaktora, m<sup>3</sup>, BSS – ukupna koncentracija biomase BM kao suspendovane materije u aeracionom reaktoru, gBM/m<sup>3</sup>.

Tabela C 4.5. Rasponi navedenih tehnoloških parametara u postupku sa aktivnim muljem

Parametar	Vrijednosti veličina	Mjesto pojave
SRT , dan	<0.5 3-4 >6	Kao predtretman, velika količina mulja Konvencionalni uređaji, dobra taloživost mulja Proužena aeracija, visoki kvalitet efluneta, slaba taloživost mulja
HRT, h	5 1-5	Suvo vrijeme Kišovito vrijeme
OL, kgBPK · m <sup>-3</sup> · dan <sup>-1</sup>	0.4-1.2 >2.5 <0.3	Konvencionalni uređaji Visoko opterećenje uređaja Produžena aeracija
$\frac{f}{m}$	0.08-2.0 >2.0 <0.08	Konvencionalni uređaji Visoko opterećenje uređaja Produžena aeracija
r	0.25-0.5 0.75-1.5	Konvencionalni uređaji Produžena aeracija

Konvencionalna postrojenja sa aktivnim muljem predstavljaju klasična postrojenja, koja se već odavno primjenjuju u postupcima za tretman komunalnih otpadnih voda. Uglavnom se sastoje od prethodne taložnice, bioaeracionog bazena sa klipnim strujanjem i naknadne taložnice.



Slika C 4.10 Šema uobičajenog postrojenja sa aktivnim muljem

Dio mulja iz bioaeracionog bazena, takozvani povratni mulj, izdvojen na naknadnoj taložnici, vraća se u proces na ulazu u bioaeracioni bazen, čime se u otpadnoj vodi stalno održava nivo mikroorganizama i pritom se čestice mulja ukрупnjavaju i bolje mineralizuju u procesu. Višak mulja iz naknadne taložnice se odvodi na poseban tretman proreagovalog mulja, ili se mješa sa sirovim muljem iz primarne taložnice i odvodi na zajednički tretman kombinovanog mulja.

U zavisnosti od načina dodavanja kiseonika otpadnoj vodi odnosno od stepena opterećenja mulja postoji veći broj varijanti ovih konvencionalnih postrojenja. Tako, postoje postrojenja sa tzv. klipnim strujanjem, sa stepenastim dodavanjem kiseonika, sa stepenastim dodavanjem otpadne vode, sa tzv. modifikovanom aeracijom, visoko opterećena postrojenja, postrojenja sa tzv. kontaktom stabilizacijom

(biosorpcijom), postrojenja sa potpunim mješanjem, postrojenja sa produženom aeracijom i postrojenja sa čistim kiseonikom. Sva ova postrojenja su jednostepena i zbog toga uglavnom zahtjevaju dosta veliku zapreminu aeracionih bazena.

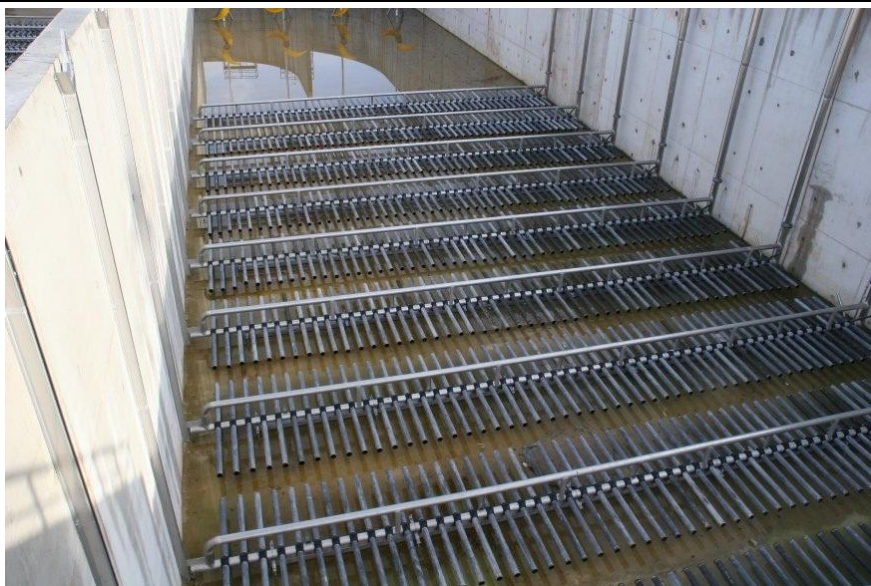
Efikasnost pojedinih procesa varira zavisno od uslova ali se uglavnom kod svih postrojenja kreće od 60 – 95 %. Ubacivanje vazduha ili kiseonika u aeracione reaktore moguće je postići na dva osnovna načina: (a) dubinskom aeracijom i (b) površinskom aeracijom.

Dubinska aeracija se izvodi pomoću, po dnu raspoređenih, rasprskivača (difuzora), kojima se uduvava komprimovani vazduh ili kiseonik pod pritiskom 0,6 do 0,8 bar za aeraciju i miješanje.

Za postizanje dobrih efekata dubinske aeracije preporučuje se da zapremina bioaeracijskog bazena ne bude veći od 150 m<sup>3</sup>, s odnosom širine prema dubini 1:1 i najvećom dubinom 4,0 m.

Površinska aeracija se najčešće izvodi pomoću centrifugalnih turbinskih aeratora. Oni se projektuju tako da se u visini nivoa vode na vertikalnoj osovini okreće turbina koji usisava vodu, vrtloži je i rasprskava iznad površine. Step en aeracije bitno zavisi od oblika i prečnika turbine i njene promjenjive dubine uronjenja i brzine rotacije (4÷6 m/s).

Na tržištu postoji velika ponuda različitih tipova uređaja za aeraciju za koje proizvođači definišu određene parametre koji se odnose na kapacitete, dimenzije, otpore strujanju, efikasnost transporta kiseonika, sklonost zaprljanju i slično. Ovi parametri su osnova za izbor odgovarajućeg tipa aeratora, kao i izbor prateće opreme koja obuhvata kompresorsku stanicu, sistem cjevovoda, sistem zatvarača i regulacije, i dr. Pored prethodno pomenutih parametara kod izbora i odluke u korist jednog ili drugog tipa uređaja, odlučuju još i parametri kao što su investicioni troškovi, pouzdanost u radu, učestalost kvarova i popravki, širenje buke i troškovi održavanja.



Slika C 4.11 sistem za dubinsku aeraciju u aeracionom bazenu



Slika C 4.12 Sistem za površinsku aeraciju otpadnih voda

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

Tabela C 4.6 Efikasnost uklanjanja BPK<sub>5</sub> bioloških procesa konvencionalnih jednostepenih postrojenja

Vrsta tretmana	Vrsta toka vode u aeracionom bazenu	Sistem aeracije	% smanjenja BPK <sub>5</sub>
Klasični postupak	klipno	Dubinska aeracija, površinska aeracija	85-95
Stepenasto dodavanje kiseonika	klipno	Dubinska aeracija	85-95
Modifikovana aeracija	klipno	Dubinska aeracija	60-75
Visoko opterećeno postrojenje	potpuno mješanje	površinska aeracija	75-90
Stepenasto dodavanje otpadne vode	klipno	Dubinska aeracija	85-95
Kontaktna stabilizacija	klipno	Dubinska aeracija, površinska aeracija	80-90
Potpuno mješanje	potpuno mješanje	površinska aeracija	85-95
Produžena aeracija	potpuno mješanje	Dubinska aeracija, površinska aeracija	75-95
Postrojenje sa čistim kiseonikom	potpuno mješanje	površinska aeracija	85-95

Kombinacijom dva, redno vezana, konvencionalna postupka, od kojih prvi radi na visokom opterećenju, a drugi na niskom opterećenju mulja, dobijaju se postrojenja sa dvostepenim postupkom bioaeracije. Njih karakteriše manja zapremina aeracionih bazena pa je samim tim i prostor za njihov smještaj lakše obezbjediti.

Minimalna količina kiseonika za aerobne procese, potrebna za biorazgradnju organskih materija, endogenu respiraciju mikroorganizama i održavanje aktivnog mulja u suspenziji iznosi 1 -2 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

Rastvoreni kiseonik mikroorganizmi koriste za procese sinteze nove biomase, za oksidaciju organske materije, za endogenu respiraciju i za nitrifikaciju. Sa smanjenjem opterećenja postrojenja raste potrošnja kiseonika za endogenu respiraciju i nitrifikaciju u odnosu na ukupnu potrošnju.

Kod konvencionalnih postrojenja sa opterećenjem mase mulja  $> 0.3$  kg BPK<sub>5</sub> /dan.kg suve materije potrošnja iznosi 30-35 m<sup>3</sup> vazduha po kilogramu uklonjenog BPK<sub>5</sub> , a za niža opterećenja potrošnja ide u granicama 75-115 m<sup>3</sup> vazduha / kg uklonjenog BPK<sub>5</sub>.

Kod uređaja sa dubinskom aeracijom unošenje kiseonika zavisi od veličine mjehura (obrnuto proporcionalno), dubine uduvanja, temperature, sastava otpadne vode (na primjer: deterdženti smanjuju unos kiseonika). Kod površinske aeracije mehaničkih aeratorima sastav vode nema uticaja na efikasnost zbog turbulencije koja se stvara, ali ovi uređaji izbacuju aerosole u atmosferu.

Nakon biološke aeracije i završenog procesa biološki obrađena voda i mulj prelaze u taložnik. U taložniku se završava biološka razgradnja i dolazi do izdvajanja izbistrene vode i tečnog aktivnog mulja. U taložniku dolazi do mineralizacije izdvojenog aktivnog mulja i značajnog smanjenja njegove zapremine. Jedan deo aktivnog mulja recirkuliše u zonu denitrifikacije aktivacionog bazena, a drugi u rezervoar za mulj. Za recirkulaciju mulja i njegovo odlaganje u rezervoar za mulj, primjenjuju se muljne pumpe.

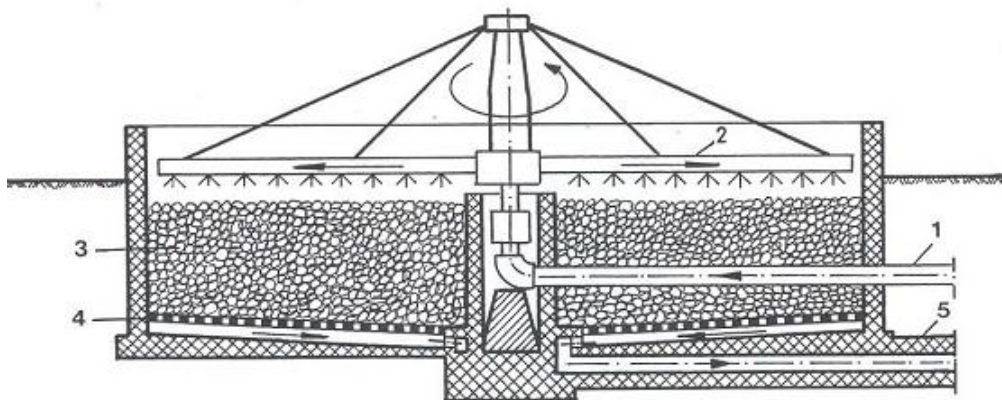
*Tabela C 4.7 Vrijednosti osnovnih tehnoloških parametara nekih postupaka sa aktivnim muljem*

Vrsta procesa	opterećenje		Hidrauličko zadržavanje (sati)	Starost mulja (dana)	Odnos recirkulacije mulja Q <sub>r</sub> /Q	Uklonjeno BPK <sub>5</sub> (%)
	kgBPK <sub>5</sub> /kgSM. dan	kgBPK <sub>5</sub> /kgSM. dan				
Konvencionalni postupak	0.2-0.5	0.3-0.6	4-8	3-15	0.25-0.75	85-95
Potpuno mješanje	0.2-1.0	0.8-1.9	3-5	1-15	0.25-1.0	85-95
Produžena aeracija	0.05-0.15	0.16-0.4	18-36	20-30	0.5-1.5	75-95

### C 4.2.2 Biološka filtracija

Upotrijebljene otpadne vode se prečišćavaju preko sloja inertnog materijala na kojem se razvija tanki mikrobiološki sloj, tzv. „biofilm“. Ispuna na kojoj se formira ovaj sloj može biti od različitih materijala. Ranije su korišćeni prirodni materijali kao koks, porculan, kameni obluci, šljunak, a danas se koriste i plastični materijali različite strukture. Bez obzira na porijeklo ispune ona mora da bude takva da ima veliku specifičnu površinu za razvoj biofilma, da ne dolazi do njenog brzog začepjenja, da je dugotrajna i da ima relativno nisku cijenu. Aeracija u ovim postrojenjima se odvija ili prirodnim putem ili vještački. Njome se obezbjeđuje dovoljno kiseonika za održavanje mikroorganizama u stanju aerobioze. Zavisno od debljine filma ispod aerobnog sloja može se stvoriti i anaerobni sloj .

Biološki film se sastoji od heterotrofnih bakterija koje se nalaze blizu površine i autotrofnih bakterija (nitrifikacionih) koje se nalaze uz površinu nosača biološkog materijala. Gljivice su češće u gornjim slojevima a zelene alge u donjim slojevima. BPK koji se eliminiše u biološkim filterima zavisi od vrste otpadnih voda, hidrauličkog opterećenja, temperature i tipa filtarske ispune. Efikasnost prečišćavanja zavisi od debljine sloja biološkog filtra. Na primjer, kod sloja visine  $h = 2$  m učinak prečišćavanja je veći od 60%. Organsko opterećenje biofiltera se izražava kao  $\text{kgBPK5/m}^3$  ispune. Hidrauličko opterećenje biofiltera je vrlo važan tehnološki parametar i izražava se kao:  $\text{m}^3$  otpadne vode /  $\text{m}^2$  poprečne površine ili po  $\text{m}^3$  ispune.



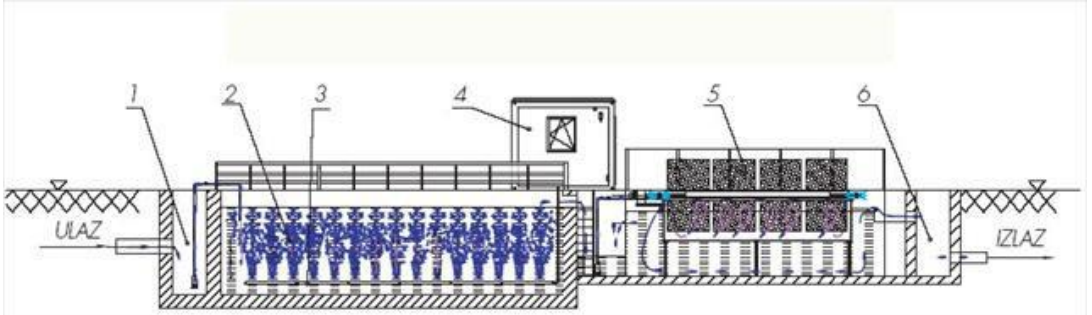
*Slika C 4.13 Biološki prokapnik, 1 – dovod vode na prokapnik, 2- prskalice, 3 – ispuna, 4-drenažni sloj, 5- odvod prečišćene vode*

Posebnu modifikaciju procesa biološke filtracije predstavlja proces prečišćavanja vode sa rotirajućim biodiskovima. Ovdje se takođe radi



## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

o vezanoj kulturi mikroorganizama koja rotira na čvrstom nosaču u bazenu sa otpadnom vodom. Mikroorganizmi se nalaze vezani na velikim diskovima od sintetičkih materijala koji rotiraju na jednoj osovini sa elektromotorom, uronjeni oko 40 % u bazenu sa vodom. Obično su diskovi 3-3,5 m u prečniku i rotiraju sa perifernom brzinom od 0,3 m/s.



1. Prihvatna ulazna komora - fizička obrada otpadnih voda
2. Prepumpna stanica i priprema biomase
3. Aeracioni bazen - biološki predtretman, obogaćivanje vode kiseonikom i uklanjanje amonijaka.
3. Aeratori vazduha
4. Primarni bazen-dozator bio mase
5. Rotor ispunjen polipropilenskim protočnim sačastim blokovima.
6. Sekundarni taložni bazen prečišćene otpadne vode.

Slika C 4.14 Šema uređaja za biološku filtraciju – rotirajući biodisk, kapaciteta od 1000 do 10000 ES

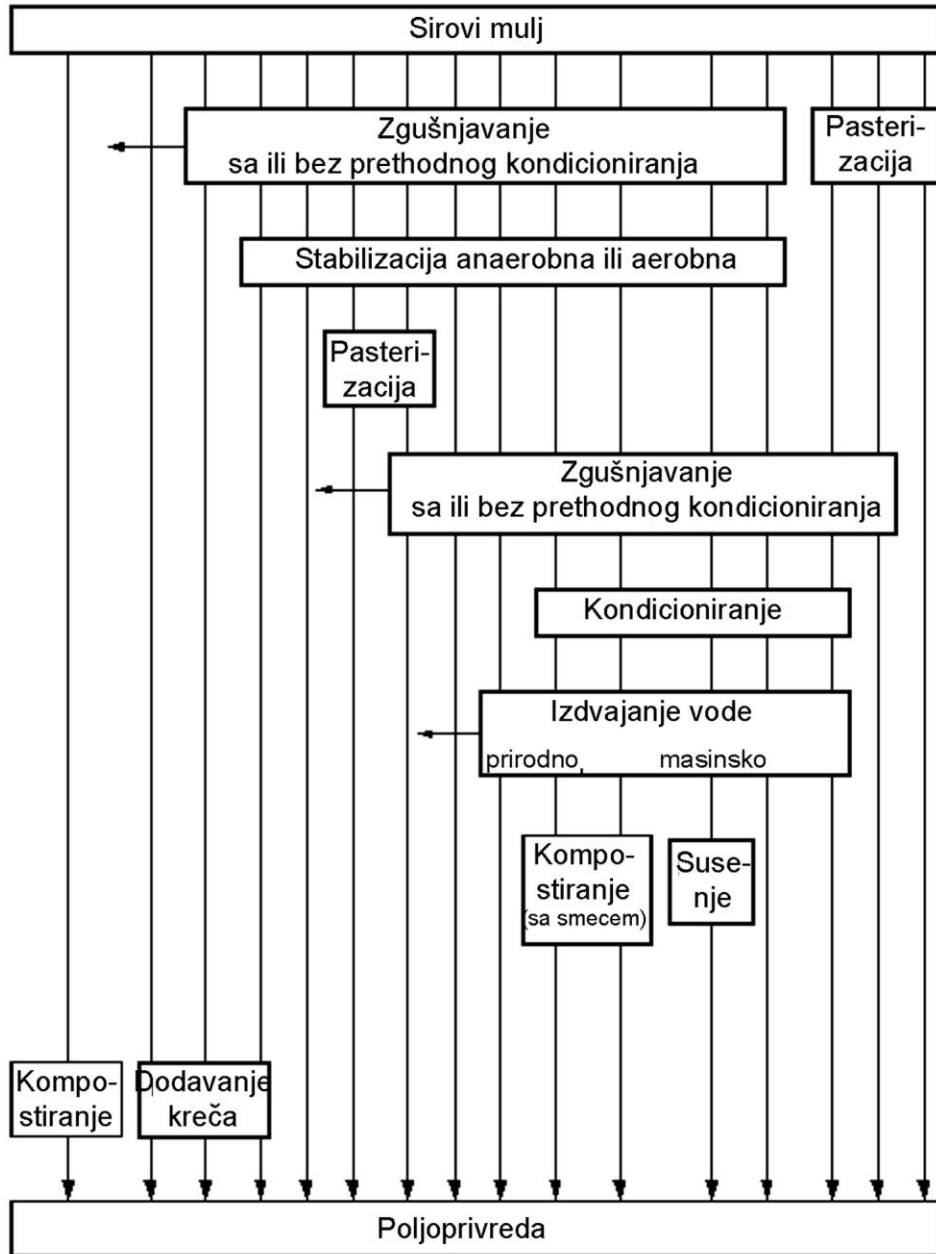


Slika C 4.15 Izvedeni biorotor u funkciji

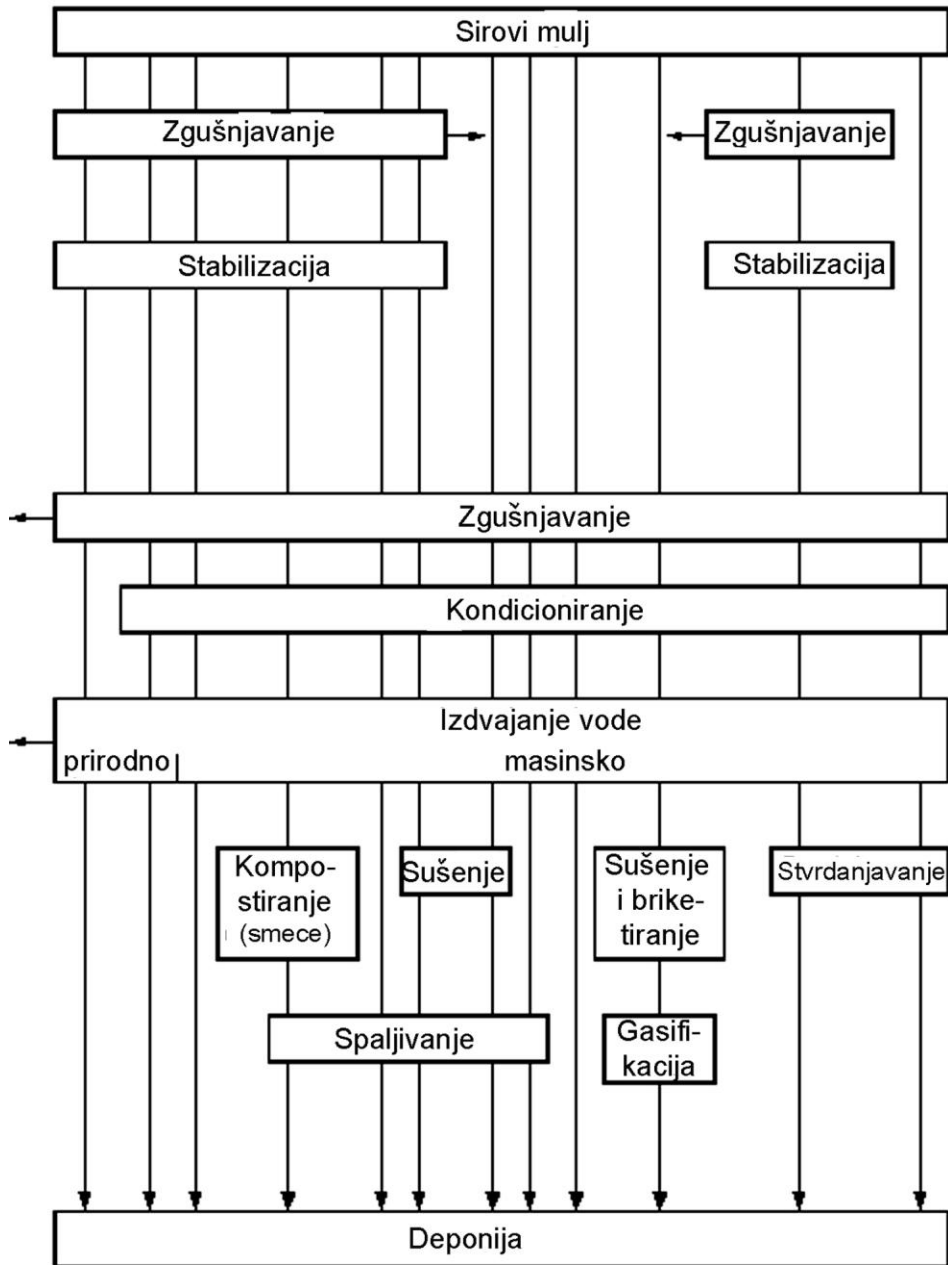
### C 4.2.3 Tretman odlaganja mulja

Proizvod procesa obrade otpadnih voda su i čvrste materije. Osnovni proizvod tretmana su različite vrste otpadnih muljeva koje je potrebno odgovarajuće tretirati i kasnije bezbjedno odložiti. Iskustva na postrojenjima govore da se oko 70-80% organskog ugljenika prilikom biološkog prečišćavanja pretvara u suve, odnosno čvrste materije. Dobijeni talog i muljevi spadaju u visoko toksične zagađivače opasne po okolinu i sa vrlo neugodnim mirisom. U sebi absorbuju i zadržavaju patogene organizme i otrovne materije. Količina mulja koja se izdvoji sa postrojenja prije svega zavisi od kvaliteta vode koja se tretira ali i od same tehnologije prečišćavanja. Što je proces potpuniji to su i količine mulja veće. Prema dosadašnjim iskustvima količina izdvojenog mulja se kreće od 40 do 60 grama suve materije po ekvivalent stanovniku na dan.

Nekoliko je razvijenih i dokazanih postupaka obrade mulja koji su po svojoj prirodi veoma različiti. Oni se mogu međusobno kombinovati na razne načine što zavisi od veličine samog uređaja i načina daljeg korišćenja mulja. Cilj svih postupaka je isti, smanjenje zapremine mulja odnosno uklanjanje što većeg procenta vode iz mulja. Procesima kojima se to postiže su odvajanje vode, zgušnjavanje i sušenje mulja, stabilizacija mulja, upotreba mulja u privredne svrhe, odlaganje i spaljivanje mulja.



Slika C 4.16 Postupci obrade mulja (a), konačno korišćenje u poljoprivredi



Slika C 4.17 Postupci obrade mulja(b)- konačno odlaganje na deponiju

Zgušnjavanje mulja obavlja se gravitacijom, taloženjem ili isplivavanjem u posebnim taložnicima gdje se mulj zadržava od jednog dana do dana i po. Gravitacioni zgušnjivači mogu biti statički ili dinamički, sa svom neophodnom opremom i elementima za skupljanje

mulja. Isplivavanje se koristi kod muljeva male gustoće a sam proces se potpomaže upumpavanjem vazduha.



*Slika C 4.18 Objekat zgušnjivača mulja na kovencionalnom postrojenju*

Osnovni postupak u cijelom procesu prerade mulja je njegova stabilizacija kojom se spriječava dalja razgradnja mulja i postiže se bolje izdvajanje vode iz mulja, pa se samim tim i njegova zapremina smanjuje. Na klasičnim uređajima za prečišćavanje upotrijebljenih voda najzastupljenija je biološka stabilizacija mulja a koriste se još hemijska i termička. Biološka stabilizacija se dijeli na aerobnu ( istovremeno ili posebno od biološkog procesa prečišćavanja) i anaerobnu (digestija, truljenje). Hemijska stabilizacija se obavlja dodavanjem kreča ili hlora.



*Slika C 4.19 Reaktori za aerobnu stabilizaciju mulja*

Nakon završetka zgušnjavanja i stabilizacije mulj još uvijek sadrži velike količine vode i nije pogodan za dalju, na primjer, termičku obradu. Zbog toga se vrši postupak odvajanja vode iz mulja koji može biti prirodan, odlaganje mulja na otvorenim poljima gdje voda isparava i vještačkim putem, na mehaničkim cjediljkama pomoću pritiska ili vakuma ili na centrifugama za mulj.

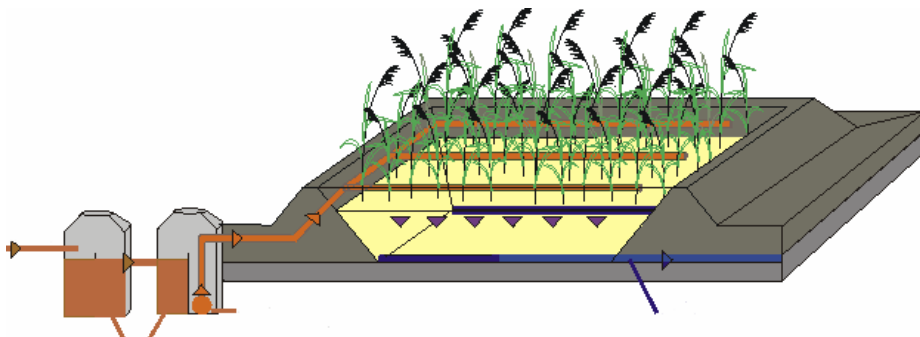
Nakon svih naprijed sprovedenih postupaka prije konačnog ispuštanja mulja on se tretira termički. Danas postoji veliki broj kombinacija termičke obrade mulja sa velikim spektrom različitih uređaja. Tako, postoje peći sa višestrukim ložištem, tzv. mokro spaljivanje sa varijacijama, postupak pirolize na visokim temperaturama (do 1600 °C). Oblast termičke obrade mulja je jedno posebno područje koje je često u vezi sa spaljivanjem komunalnog čvrstog otpada.

Postupak kompostiranja mulja, što ustvari predstavlja aerobnu razgradnju mulja dejstvom mikroorganizama, za konačni proizvod ima kompost koji je po svojim karakteristikama sličan humusu i kao takav može se koristiti u poljoprivredi. Kompostiranje se najčešće odvija na otvorenom prostoru, često miješanjem mulja i gradskog otpada koji se prethodno mora osloboditi inertnih materija.



Slika C 4.20 Kompostiranje digestivnog mulja

Među novijim postupcima, koji su se pokazali efikasnim u konačnom uklanjanju mulja iz postrojenja, ističe se postupak ispuštanja mulja u tlo koje je prethodno pripremljeno tako što je izgrađen poseban filtarski sloj (drenaža i supstrat) na kojem je zasejano bilje (uobičajeno trska). Ovaj postupak se zove „mokra polja“. Filtarsko tijelo i mulj su životni prostor biljaka i mikroorganizama koji žive u posebnoj simbiozi omogućavajući procese ragradnje i mineralizacije mulja koji se tu ispušta. Na ovakvim poljima mogu se uklanjati svi muljevi iz klasičnih uređaja za tretman upotrijebljenih voda kao i vršiti dehidracija muljeva iz septičkih jama, laguna, industrijskih otpadnih voda i sl.



Slika C 4.21 Mokra polja – sistem sa slobodnom vodenom površinom-vertikalni filter

Na ovim poljima efikasno se uklanjaju jedinjenja azota, fosfora, teških metala i drugih otrovnih materija (70- 90%). Takođe, smanjuje se broj fekalnih i drugih bakterija (90%-99%). Za rad sistema uglavnom nisu potrebni električna energija i mašinska oprema.



Rukovanje i održavanje je jednostavno, bez većih troškova. Sa povećanjem broja stanovnika 'mokra polja' se jednostavno dograđuju.

Treba posebno naglasiti da u procesima korišćenja i odlaganja muljeva treba postupati veoma pažljivo zbog realne opasnosti od njihovog mogućeg štetnog dejstva po okolinu i zdravlje ljudi. Negativne posljedice neadekvatnog korišćenja i odlaganja muljeva mogu biti sljedeće:

- zagađenja (npr. teškim metalima);
- infekcija ljudi i životinja parazitima;
- zagađenja vodnih resursa i podzemne vode;
- neprijatan miris u blizini područja primjene muljeva itd.

Potrebno je raditi na poboljšanju kvaliteta mulja koji nastaje na postrojenjima za prečišćavanje upotrijebljenih voda uvođenjem efikasnije kontrole upotrebljenih voda i posebno kontrole zagađenja u industrijskim upotrebljenim vodama, ako i one dospijevaju na postrojenje.

### **C 4.3 TERCIJARNO PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH VODA I PONOVA UPOTREBA PREČIŠĆENE VODE**

Tercijarni stepen prečišćavanja upotrijebljenih otpadnih voda primjenjuje se u slučajevima kada je neophodan vrlo visoki stepen prečišćavanja, odnosno kada je iz otpadnih voda potrebno ukloniti neke specifične materije kao što su: neke rastvorene soli, mikroorganizmi, pesticidi, deterdženti, otrovne i radioaktivne materije i drugo.

Nakon prečišćavanja upotrijebljenih voda mehaničkim i biološkim postupcima, u okviru primarnog i sekundarnog prečišćavanja, u prečišćenoj vodi je i dalje prisutan dio zagađujućih materija pa se javlja potreba da se obrađene vode dodatno tretiraju. Taj zahtjev je prisutan u slučajevima kada:

1. Prečišćene vode nakon sekundarnog tretmana svojim kvalitetom prema nekom od propisanih pokazatelja ne odgovoraju zadanim uslovima;
2. Prijemnik vode je osjetljiv na sadržaj organskih materija i hranljivih materija koje se ispuštaju iz uređaja, pa bi njihovo



povećanje dovelo do procesa eutorfikacije i narušavanja kvaliteta prijemnika;

3. Prečišćene vode se žele ponovo koristiti kao tehnička voda ili za navodnjavanje.

U okviru tercijarnog prečišćavanja može se primjeniti čitav niz postupaka što zavisi od više faktora:

- Tipa upotrijebljene vode;
- Karakteristika i koncentracije zagađenja;
- Načina ispuštanja ili upotrebe prečišćene upotrijebljene vode;
- Oblika u kome se zagađenje odlaže i načina odlaganja;
- Kompatibilnosti određenih postupaka;
- Ekonomičnosti postupaka...

Kod komunalnih otpadnih voda tercijarni stepen prečišćavanja se najčešće primjenjuje kada se žele ukloniti soli azota i fosfora nakon obavljenog prethodnog sekundarnog tretmana kako bi se u prirodnim prijemnicima spriječio mogući proces eutrofikacije tih voda.

Uopšteno, postupci koji se primjenjuju u tercijarnom stepenu prečišćavanja primjenjuju se i u industrijskim, tehnološkim, procesima (vrlo čest slučaj u prehrambenoj industriji), ali su oni za potrebe prečišćavanja otpadnih voda na odgovarajući način modifikovani.

Prečišćavanje otpadnih voda tercijarnim stepenom zasnovano je na:

1. Fizičkim procesima (procjeđivanju, adsorpciji, membranskim procesima), kojima se iz vode uklanjaju mutnoća, miris, boja, rastvorene soli kao i mikroorganizmi,
2. Hemijskim procesima (neutralizaciji, hemijskom obaranju ili hemijskoj precipitaciji, jonskoj izmjeni, oksidaciji i redukciji, dezinfekciji), kojima se iz vode uklanjaju rastvorene materije, teški metali, mikroorganizmi, mijenja pH vrijednost i sprovodi prevođenje opasnih jedinjenja u manje opasne,
3. Biološkim procesima (uklanjanju azota i fosfora), kojima se uklanjaju ili redukuju azotna i fosforna jedinjenja.

Uglavnom se navedni postupci primjenjuju kombinovano, kako bi se postigao traženi standard prečišćene vode.

Analogno naprijed navedenom opisu primarnog i sekundarnog stepena prečišćavanja i tercijarni stepen prečišćavanja sadrži neke

procesu koji su prethodno objašnjeni odnosno koji se ponavljaju, tako da se neće ponovo posebno obrazlagati. Za ostale procese tercijarnog prečišćavanja, koji nijesu prethodno opisani, dati će se samo neke osnovne informacije zbog njihove specifičnosti. Naime ovi procesi pripadaju oblastima koje se posebno izučavaju u nekim drugim naukama, i za čiju primjenu se posebno angažuju stručnjaci tih profila ( hemičari, fizičari, tehnolozi, itd.)

**A) Procjeđivanje** se prije svega koristi radi uklanjanja raspršenih i koloidnih materija koje mogu zaostati u otpadnim vodama nakon prethodnih bioloških ili hemijskih procesa.

Kod završnog prečišćavanja otpadnih voda (uključujući i obradu mulja) procjeđivanje se može sprovesti na:

(a) površinskim procjeđivačima, kod kojih se voda procjeđuje prolaskom kroz djelimično poroznu podlogu (mikro-sita) ili kroz platno (trakasti procjeđivači, gravitacioni ili procjeđivači pod pritiskom),

(b) dubinskim procjeđivačima (gravitacioni, vakuumski, pod pritiskom), kod kojih se voda silazno, uzlazno ili dvosmjerno procjeđuje kroz filtarski sloj sastavljen od finog zrnastog -granuliranog materijala.

U tehnologiji prečišćavanja otpadnih voda mnogo je češća primjena dubinskih procjeđivača, dok se površinski procjeđivači češće koriste u obradi mulja.

Efekte procjeđivanja otpadnih voda na dubinskim procjeđivačima ogledaju se u sledećem:

- 1) ukupni fosfor smanjuje se za 70 do 98 %,
- 2) smanjenje HPK za 20 do 45 %,
- 3) smanjenje BPK za 40 do 70 %.

Zbog svoje specifičnosti učinak procjeđivanja, izbor filtarskog materijala i hidrauličko dimenzionisanje dubinskih procjeđivača najbolje je odrediti ispitivanjem na fizičkim i danas razvijenim softverskim modelima u ovoj oblasti.

**B) Adsorpcija** je proces u kojem se, tokom procjeđivanja kroz sloj zrnastog materijala, rastvorene i koloidne materije vezuju na površinu tog materijala. Materijal na čijoj se površini odvija ovaj proces naziva se adsorbent, a materija koja se vezuje za nju adsorbat.

Kao adsorbenti se za filtarski materijal najčešće se koriste fina ilovača, silicijum, aktivna glina i u poslednje vrijeme posebno aktivni ugalj.

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA

---

Adsorpcijom preko aktivnog uglja se iz otpadnih voda uklanjaju deterdženti, fosfati, nitrati, fenoli, mirisi i boje i smanjuje HPK. Efekat adsorpcije je vrlo visok, do 99%, pa zbog toga ona uvijek predstavlja završnu fazu prečišćavanja otpadnih voda.

**C) Membranski procesi** su procesi prečišćavanja otpadnih voda u kojima se koriste polupropusne membrane koje mogu propuštati vodu, ali zadržavaju na sebi one materije koje treba izdvojiti i ukloniti iz vode.

U tehnologiji prečišćavanja otpadnih voda od membranskih procesa se primjenjuju:

C.1– reverzna osmoza;

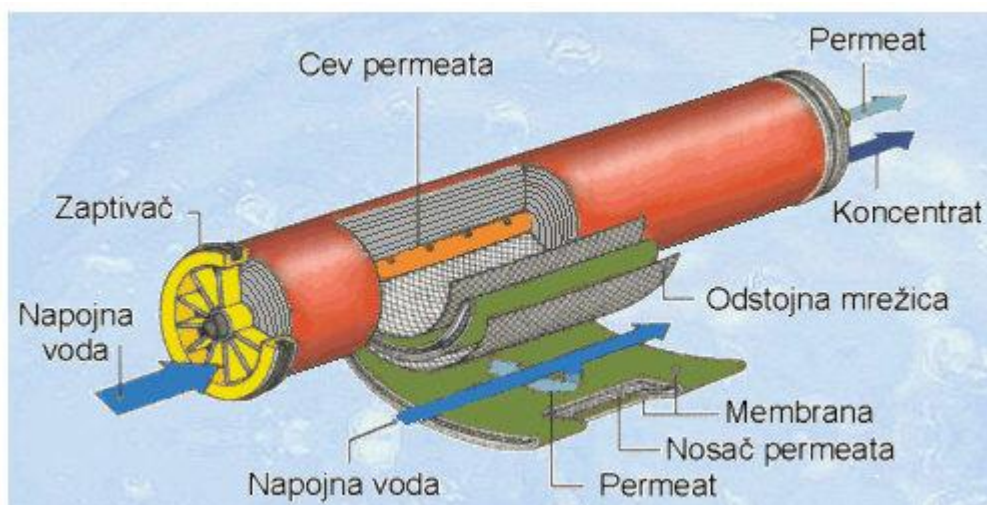
C.2 – elektrodijaliza;

C.3 – ultrafiltracija;

C.4 – mikroprocjeđivanje.

Bez obzira na tip membranskog procesa za njihovu primjenu je neophodno da je otpadna voda prethodno prečišćena konvenconalnim procesima, tokom kojih su iz vode uklonjene rastvorene i koloidne materije.

**C.1 Reverzna osmoza** je proces koji se zasnovan na zakonima osmoze, s tim da se u komori sa većom koncentracijom (otpadnom vodom) povećava pritisak iznad osmotskog, tako da voda iz komore sa većom koncentracijom dotiče u komoru sa manjom kocentracijom (čistom vodom). Zbog obrnutog toka vode u odnosu na tok osmoze, proces je nazvan reverznom osmozom. Proces reverzne osmoze se primjenjuje za uklanjanje rastvorenih organskih materija (soli kalcijuma, magnezijuma, natrijuma) i rastvorenih organskih materija (saharoza, proteina) iz otpadnih voda.



*Slika C 4.22 Princip odvajanja rastvorenih materija u procesu reverzne osmoze*

**C.2 Elektrodijaliza** je proces uklanjanja iz vode jona (katjona i anjona) koji prolaze kroz polupropusne membrane usljed djelovanja električnog polja. Membrane su selektivne, tako da jedne propuštaju katjone, a druge anjone, a u međuprostoru ostaje prečišćena voda. Proces elektrodijalize se primjenjuje u procesu desalinizacije vode, kod uklanjanja nekih teških metala iz otpadnih voda, prečišćavanje nekih rastvora i sl.

**C.3 Ultrafiltracija** je proces u kojem se otpadne vode propuštaju kroz membrane koje mogu propuštati samu vodu, a zadržavaju makromolekule u otpadnoj vodi, koji su veći od pora same membrane.



*Slika C 4.23 Izgled membrane sa šupljim vlaknima*

Ova metoda se prije svega primjenjuju u prehrambenoj industriji za uklanjanje rastvorenih materija kada se želi postići ponovna upotreba industrijskih otpadnih voda. Njome se takođe može postići uklanjanje virusa prisutnih u otpadnoj vodi i može se koristiti kao prethodno prečišćavanje vode kod primjene procesa reverzne osmoze i elektrodijalize.

**C.4 Mikroprocjeđivanje** se koristi za poboljšanje kvaliteta prethodno prečišćene otpadne vode, uglavnom za smanjenje mutnoće vode, redukciju prisutnog fosfora, bakterija i smanjenje BPK.

**D) Neutralizacija** je dobro poznati proces kojim se postiže promjena vodonikovih, H-jona (vrijednost  $pH$ ) u industrijskim otpadnim vodama. Pošto ove vode sadrže vrlo često kisjele i bazne sastojke u koncentracijama u kojima nije dozvoljeno njihovo ispuštanje u prirodne sredine, onda se one moraju dovesti na vrijednosti koje se dozvoljavaju pravilnicima ( $pH$  od 6.5 do 9.5.)

Neutralizacija se najjednostavnije postiže miješanjem otpadnih voda različitih vrijednosti  $pH$ , odnosno miješanjem kiselih s baznim otpadnim vodama. Druga je mogućnost dodavanje određenih reagensa (npr. natrijumove sode u kisjele vode, a sumporne kiseline u bazne vode). Izbor reagensa i količina za doziranje po pravilu se utvrđuje probanjem eksperimentom.

**E) Hemijsko taloženje** je proces kojim se uklanjaju nepoželjne rastvorene materije iz otpadnih voda dodavanjem određenih hemijskih sredstava, pri čemu se u tim hemijskim reakcijama formiraju nerastvorljiva jedinjenja (soli kalcijuma, magnezijuma i silicijuma, kao i fluoridi i fosfati) koji talože na dnu prostora u kojem se reakcija odvija.

Na ovaj način se iz otpadnih voda mogu ukloniti i teški metali (bakar, hrom, nikl, cink, olovo, gvožđe i srebro).

**F) Jonska izmjena** je proces u kojem se koristi fenomen zamjene jona između jonskog izmjenjivača i vode odnosno rastvora elektrolita. Za procese prečišćavanja otpadnih voda jonski izmjenjivači se izvode kao zatvoreni dubinski procjeđivači. Ovaj se proces najčešće primjenjuje kod tretmana industrijskih otpadnih voda koje sadrže teške metale, fosfate i azot.

**G) Oksidacija i redukcija** su procesi odvijanja oksidaciono - redukcijskih reakcija u kojima se gube (oksidacija) ili stvaraju (redukcija) elektroni. U postupcima prečišćavanja otpadnih voda oksidacija se primjenjuje za dezinfekciju, smanjenje BPK, boje i mirisa i uklanjanje gvožđa i mangana. Proces redukcije se primjenjuje za uklanjanje hroma iz otpadnih voda.

**H) Biološko uklanjanje azota** iz upotrijebljenih otpadnih voda odvija se procesom biološke razgradnje složenih organskih spojeva koji sadrže azot koji se nakon toga, u prvoj fazi oksidira u nitrite. Daljom biološkom razgradnjom, uz prisutvo bakterija, ova jedinjenja prelaze u amonijak a u drugoj fazi u nitrate. Ovo je dobro poznati proces nitrifikacije. Daljom biološkom razgradnjom nitrati se, u uslovima bez prisustva kiseonika i uz dodavanje jedinjenja ugljenika, redukuju u gasoviti azot, koji odlazi u atmosferu. Ovaj proces nazivamo denitrifikacija.

**I) Biološko uklanjanje fosfora** zasnovano je na procesima adsorpcije i ugradnje fosfora u biomasu. U upotrijebljenim otpadnim vodama fosfor se pojavljuje kao organski fosfor, P, i u obliku fosfata, PO<sub>4</sub>, kojima se, kao hranjivim solima, koriste bakterije za izgradnju novih stanica. Uklanjanje fosfora biološkim postupkom sprovodi se uvođenjem otpadne vode najprije u anaerobni, a potom u aerobni prostor – bazen, rezervoar, u kojima mikroorganizmi koriste fosfate iz vode za izgradnju novih stanica.

U aerobnom prostoru moguće je odvijanje i postupka nitrifikacije, pa se zbog toga vrlo često koriste zajednički rezervoari sa istovremenim

tretmanom odnosno redukcijom azotnih i fosfornih jedinjenja u upotrijebljenim otpadnim vodama.

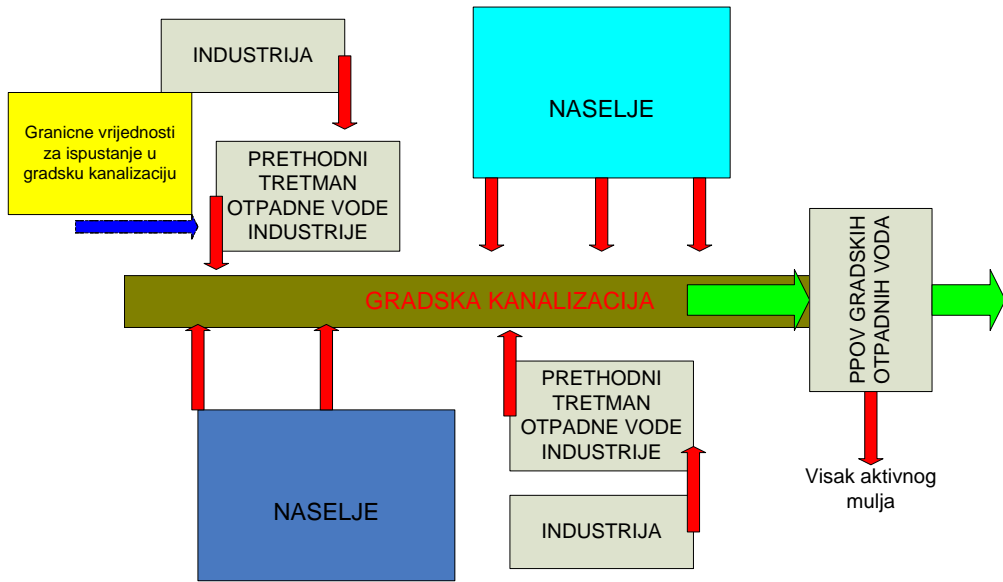
### **C.5 ZAJEDNIČKO ODVOĐENJE I PREČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH I KOMUNALNIH OTPADNIH VODA**

Tehnoekonomska analiza često pokazuje da je opravdano zajednički odvoditi i prečišćavati komunalnu i industrijsku otpadnu vodu. Upotrijebljena voda iz industrijskih pogona uvodi se u gradsku kanalizaciju uz prethodno prečišćavanje, ili bez njega kada nije zagađena više od komunalne otpadne vode, odnosno kada ne sadrži sastojke koji ometaju proces prečišćavanja, ni sastojke koji mogu izazvati zapušenje i oštećenje kanala i škoditi zdravlju osoblja koje održava kanalizaciju.

Projektovanje uređaja za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda prije upuštanja u gradsku kanalizaciju zahtjeva detaljno poznavanje industrijskog postupka, kao i količina i sastava otpadnih voda. Poznavanje količina i osobina industrijskih otpadnih voda iziskuje redovno obimna i smišljena ispitivanja na terenu. Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda prije njihovog upuštanja u gradsku kanalizaciju ima zadatak da iz nje ukloni nepoželjne materije koje mogu ugroziti kanalizacioni sistem, proces prečišćavanja na zajedničkom postrojenju ili na bilo koji način osoblje koje održava kanalizaciju.

Prečišćavanje ovih otpadnih voda obavlja se primjenom različitih postupaka. Često se primjenjuju fizički i hemijski postupci, pri čemu treba poznavati hemijske reakcije i njihovu kinetiku da bi se na osnovu njih sračunale dimenzije kontaktnih bazena - reaktora i potrebne doze reagensa.

## C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA



Slika C 4.24 Zajednički tretman upotrijebljenih gradskih i industrijskih voda

Kod zajedničkog odvođenja i prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda postavlja se problem raspodele troškova prečišćavanja i procjene uticaja industrijskih otpadnih voda na postrojenje za prečišćavanje ili na prirodne prijemnike otpadnih voda.

Zbog toga se u praksi uvodi pojam ekvivalentni broj stanovnika (ES). Opterećenja industrijskih otpadnih voda se izražavaju odgovarajućim ekvivalentnim brojem stanovnika čime se pojednostavljaju tehno-ekonomski i tehnički proračuni. Ekvivalentni broj stanovnika najčešće se definiše tako što se osobine neke otpadne vode u pogledu sadržaja  $BPK_5$  uporede sa uobičajenim vrijednostima za komunalne otpadne vode. Usvajajući da svaki stanovnik priključen na kanalizacionu mrežu unosi za jedan dan  $60 \text{ gBPK}_5$  u otpadnu vodu, ekvivalentni broj stanovnika može se definisati:

$$ES = \frac{BPK_5 \text{ g} / d}{60 \text{ g} / \text{st.d}}$$

U literaturi se mogu naći primjeri drugačijeg definisanja ES. Na primjer, uvođenjem u analizu i ukupnih organskih materija i drugih pokazatelja, ili analizom i poređenjem uticaja na vodoprijemnik industrijske i komunalne otpadne vode.



## *C PREČIŠĆAVANJE UPOTRIJEBLJENIH OTPADNIH VODA*

---

Prilikom zajedničkog odvođenja i prečišćavanja industrijskih i komunalnih otpadnih voda moraju se definisati uslovi za upuštanje otpadnih voda u gradsku kanalizaciju, kako bi se zaštitio kanalizacioni sistem i sistem za prečišćavanje (naročito kod biološkog prečišćavanja). U tom cilju komunalno preduzeće (ili opština) propisuje pravilnik o tehničkim i sanitarnim uslovima za upuštanje otpadne vode u gradsku kanalizaciju. Ovim pravilnikom definišu se uslovi koje industrijske otpadne vode, koje se ispuštaju u kanalizaciju, treba da ispune kako bi se:

- obezbjedilo pravilno funkcionisanje kanalizacije;
- zaštitili objekti kanalizacije od oštećenja;
- spriječile havarije usljed unošenja zapaljivih i eksplozivnih materija u kanalizaciju;
- zaštitilo zdravlje osoblja koje održava kanalizaciju;
- spriječili poremećaji u prečišćavanju otpadnih voda na gradskom postrojenju za prečišćavanje (to podrazumjeva ograničenje unosa toksičnih i štetnih materija).

Ukoliko industrijske otpadne vode ne ispunjavaju ove kriterijume, onda je u krugu industrije potrebno izvršiti djelimično prečišćavanje otpadnih voda, prije njihovog ispuštanja u gradsku kanalizaciju (predtretman industrijskih otpadnih voda).

## LITERATURA:

1. Anđelković, M., *Priručnik za projektovanje pumpnih postrojenja*, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1995.
2. Boreli, M., *Hidraulika*, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
3. *Bermad Control Valves*, Catalogue, Bermad, Evron, Israel, 1995.
4. Bogner, M., Stanojević, M. *O vodama*, Beograd, 2006.
5. Bogner, M. i dr., M. *O vodama*, Beograd, 2013.
6. Cesario, L., *Modeling, Analysis and Design of Water Distribution Systems*, AWWA, Denver, USA, 1995.
7. Cheremisinoff, N., *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*, Butterworth-Heinemann, 2002.
8. Davis, Sorensen, *Handbook of Applied Hydraulics*, Mc GRAW - HILL BOOK
9. Degremont, *Tehnika prečišćavanja voda*, Građevinska knjiga, Beograd, 1976.
10. District Metered Areas, *Guidance Notes*, IWA, 2007.
11. Fair, G.M., Geyer, J.C., Okun, D.A., *Water and Waster-Water Engineering*, Vol. 2, Water Purification and Waste Water Treatment and Disposal, John Wiley and Sons, New York, 1968.
12. Grupa autora, *Dezinfekcija vode za piće*, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 1998.
13. Gulić, I., *Kondicioniranje vode*, Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb, 2003.
14. Hajdin, G., *Mehanika fluida II-uvođenje u hidrauliku*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2002.
15. Hajdin, G., *Mehanika fluida I-osnove*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2001.
16. Imhof, K., *Priručnik za kanalisanje gradova i prečišćavanje upotrebljenih voda*, Izdanje komiteta za vodoprivredu NRS, Beograd, 1950.
17. Ivetić, M., *Računska hidraulika- tečenje u cevima*, Beograd, 1996.
18. Jahić, M., *Urbani kanalizacioni sistemi*, Sarajevo, 1985
19. Jahić, M., *Urbani vodovodni sistemi*, Sarajevo, 1985.
20. Jahić, M., *Priprema vode za piće*, Novi Sad, 1990.

21. Lambert, A., Brown, T.G., Takizawa, M., Weimer, D. A., *Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems*, AQUA, 1999.
22. Ljubisavljević, D., Đukić A., Babić B., *Prečišćavanje otpadnih voda*, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd, 1995.
23. Ljubisavljević D., Đukić A., Babić B., Jovanović B., *Komunalna hidrotehnika primeri iz teorije i prakse*, Beograd, 2001.
24. Mays, L., *Stormwater Collection Systems Design Handbook*, The McGraw-Hill Companies, 2004.
25. Metclaf, Eddy, *Wastewater Engineering, Treatment Disposal, Reuse*, McGraw-Hill, 1979.
26. Milenković, S., *Vodovod i kanalizacija zgrada*, Niš, 1994.
27. Milojević, M., *Snabdevanje vodom i kanalisanje naselja*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1987.
28. Milojević, M., *Hidraulički proračun distribucione mreže za snabdevanje vodom domaćinstava i industrije*, Savetovanje: Optimizacija rada i postupaka u sistemima vodovoda i kanalizacije, Zagreb, 1988.
29. Obradović, D., *Savremeni vodovodi, informatika i operativno upravljanje*, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 1999.
30. Margeta, J., *Vodopskrba naselja: Planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode*, Split : Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2011.
31. Margeta, J., *Kanalizacija naselja ; odvodnja i zbrinjavanje otpadnih i oborionskih voda*, Split : Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2009.
32. Prodanović, D., *Mehanika fluida*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2007.
33. Radojković, M., Klem, N., *Primena računara u hidraulici*, Građevinska knjiga, Beograd, 1989.
34. Radojković, M., Obradović, D., Maksimović, Č., *Računari u komunalnoj hidrotehnici*, Beograd, 1989.
35. Radonjić, M., *Vodovod i kanalizacija u zgradama*, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
36. Ruth F. Weiner, Robin Matthews, *Environmental Engineering*, Elsevier Science, USA, 2003.
37. Stanisavljević, M. *Tehnologije prerade otpadnih voda i industrijskog opasnog otpada*, Požarevac, 2010.
38. Šavar, M., *Hidrodinamika cijevnih mreža*, Zagreb, 2005.

39. TEHNIČAR 4 - Građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.
40. TEHNIČAR 6 - Građevinski priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1989.
41. Trifunović, N., *Introduction to Urban Water Distribution*, Taylor & Francis Group, London, UK, 2006.
42. Tušar, B., *Ispuštanje i pročišćavanje otpadne vode*, Croatia knjiga, Zagreb, 2004.
43. Twort, A., Ratnayaka, D., Brandt, M., *Water Supply*, Fifth Edition, Butterworth-Heinemann, 2000.
44. Vidić, B., *Hemija vode*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2005.
45. Vuković, Ž., *Opskrba vodom i odvodnja*, Zagreb, 2011.
46. Walski, T, Chase, D., Savić, D., Grayman, W., Beckwith S., Koelle, E., *Advanced Water Distribution Modeling and Management*, Bentley Institute Press, 2002.
47. Water treatment: Principles and design, MWH (2005), (ISBN 0 471 11018 3) (1948 pgs), 2005.

## PRILOG

### **KRATKO UPUTSTVO ZA KORIŠĆENJE PROGRAMSKOG PAKETA "EPANET"-**

Kako je matematičko modeliranje postalo praksa, može se reći i obaveza, studenata u njihovom osposobljavanju za poslove hidrotehničkog inženjera, tako je korišćenje odgovarajućih softvera skoro potpuno zamijenilo klasične, ručne proračune. Isti je slučaj i sa inženjerima, sa manje ili više iskustva u praksi, jer količine informacija koje svakodnevno trebaju da obrade odavno prevazilaze mogućnosti tradicionalnog pristupa (bez korišćenja računara i softverskih paketa). Iz ovih razloga daje se kratko uputstvo za korišćenje jednog od najpopularnijih i najkorisnijih softvera za simulaciju stanja vodovodnog sistema "EPANET", koje bi trebalo da pomogne, kako studentima koji osvajaju prvi put znanja o vodovodnom sistemu i modelu, tako i već iskusnim inženjerima koji su na većem ili manjem nivou upoznati sa mogućnostima ovog programskog paketa.

#### ***O "EPANET" softveru***

"EPANET" je besplatni softver, koji radi u Windows okruženju. Služi za simulaciju rada vodovodnih i kvaliteta vode u njima. Razvijen je od strane američke EPA agencije ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)) .

"EPANET" obezbjeđuje integrisano okruženje za računarske mreže, lako uređivanje podataka za unos, simulaciju hidrauličkih stanja i stanja kvaliteta, kao i prikazivanje rezultata u različitim formatima. Rezultati simulacije se mogu prikazati u grafičkom obliku, što omogućava njihovo lako praćenje. Omogućen je prikaz rezultata kroz dva osnovna tipa grafike: dijagrama i šema. Dijagrami daju vremensku komponentu promjena nivoa vode, protoka, potrošnje, pritiska itd. Šeme se koriste da prikažu stanje u sistemu u odabranom trenutku.

Neke od mogućnosti koje ovaj program preporučuju za šire korišćenje u projektovanju i održavanju vodovodnih sistema su:

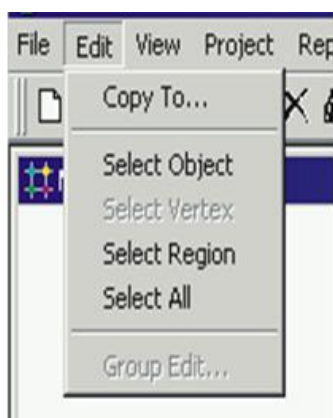
- neograničena veličina sistema koji se može simulirati;
- korišćenje tri formule za gubitke na trenje, poznate iz teorije hidraulike: Hazzen Williams, Darcy-Weissbach i Colebrook-White;
- lokalni gubici mogu se detaljno sagledati, ako je neophodno;
- moguća simulacija konstantne ili varijabilne brzine motora pumpnih postrojenja;
- moguć proračun utrošene energije i koštanje pumpanja vode u sistemu;
- mogućnost modeliranja različitih tipova zatvarača;
- mogućnost modeliranja različitih tipova i oblika rezervoara;
- mogućnost analize više kategorija potrošača sa sopstvenim vremenskim neravnomjernostima;
- mogućnost simulacije kretanja ne-reaktivnog trasa kroz mrežu;
- mogućnost simulacije kretanja i stanja reaktivnog materijala kroz mrežu;
- mogućnost modeliranja "starosti" vode u sistemu;
- mogućnost praćenja procenta toka vode koji iz jednog presjeka stiže u različite delove mreže;
- mogućnost modeliranja reakcije i u toku i na zidovima cijevi u sistemu;
- dozvoljava vremenski promenljiv ulaz koncentracije ili mase na bilo kojoj lokaciji mreže;
- posjeduje veoma pregledan i lako razumljiv korisnički interfejs sa editorom za vizuelni prikaz mreže;
- moguće je tabelarno, grafičko i topološko prikazivanje rezultata simulacije;
- mogući su različiti specijalni izveštaji rezultata simulacije.
- ovako širok spektar mogućnosti otvara i velike mogućnosti primjene ovog softvera:
- za održavanje distribucionih sistema i poboljšanje kvaliteta vode;
- projektovanje potpuno novih sistema;

- procjena alternativnih strategija za poboljšanje rada postojećih sistema;
- planiranje i poboljšanje sistemskih performansi.

### **Organizacija "EPANET" radnog okruženja**

Za uvod u primjenu "EPANET" softvera potrebno se prethodno upoznati sa njegovim radnim okruženjem. Osnovne komande koje stoje u tom okruženju date su na slikama i u daljem opisu.

#### Komanda Edit



**Select Object** – Selektovanje (izbor) objekta koji se koriste u modelu

**Select Vertex** – Selektovanje prelomnih tačaka cijevi mreže sistema

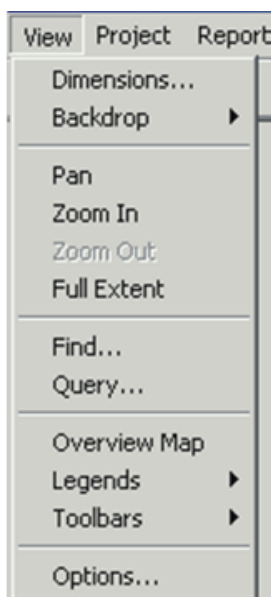
**Select Region** – Selektovanje određene oblasti mreže

**Select All** – Selektovanje cijelog vidljivog dijela mape

**Group Edit...** – Promjena karakteristika grupe objekata koji se nalaze u označenoj oblasti modela

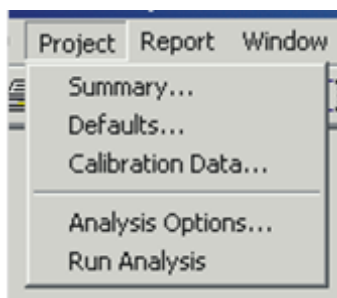
**Copy To...** – Kopiranje aktivnog prozora na clipboard ili u fajl radi dalje manipulacije sa podacima dobijenim u modelu

## Komanda - View



**Dimensions...** – Utvrđivanje dimenzije karte koja se koristi kao podloga modela

## Komanda Project



**Summary** – Sumarni opis karakteristika projekta

**Backdrop** – Unos podloge modela

**Pan** – Pomjeranje duž karte

**Zoom In** – Uvećanje dijela mreže  
**Zoom Out** – Povećanje vidljivog dijela mreže

**Full Extent** – Vidljivost cijele mreže

**Find...** – Lociranje određenog objekta u mreži

**Query...** – Pronalaženje objekata po određenom kriterijumu (manje, veće, jednako)

**Overview Map** – Mapa cijelog sistema

**Legends** – Izbor legendi za opis pojedinih objekata odnosno stanja sistema

**Toolbars** – Izbor toolbar-ova u programu

**Options...** – Opcije za podešavanje izgleda mreže vodovodnog sistema

**Defaults** – Podešavanje osnovnih parametara projekta

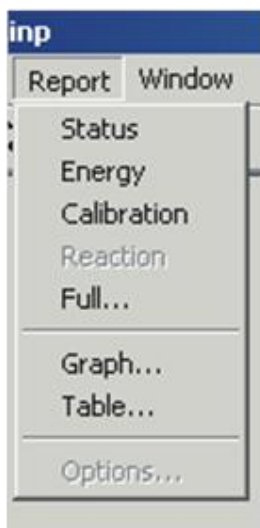
**Calibration Data** – Podaci za kalibraciju modela nakon izvršene simulacije

**Analysis Options** – Podešavanje opcija pri analizi sistema

**Run Analysis** – Startovanje simulacije



## Komanda – Report



**Status** – Izveštaj o promjenama statusa elemenata sistema kroz vrijeme

**Energy** – Izveštaj o radu pumpe – potrošnja energije kroz vrijeme

**Calibration** – Izveštaj o razlici između simuliranih i mjenjenih vrijednosti koje su korišćene u kalibraciji modela

**Reaction** – Izveštaj o parametrima kvaliteta vode

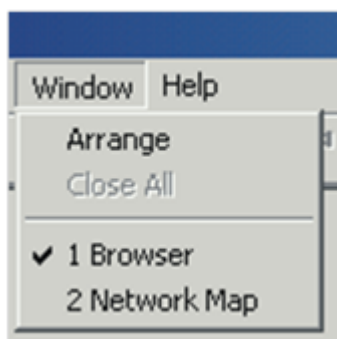
**Full** – Kompletan izvještaj o svim elementima sistema i rezultatima dobijenim simulacijom

**Graph** – Crtanje grafika za pojedine elemente i parametre (pritisak, protok, brzina, potrošnja, kvalitet ...)

**Table** – Tabela prikaz podataka dobijenih simulacijom

**Options** – Podešavanje izgleda izvještaja rezultata modela

## Komanda - Window

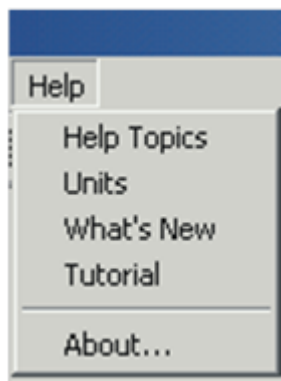


**Arrange** – Pomera sve unutrašnje prozore da budu vidljivi u glavnom prozoru

**Close All** – Zatvara sve otvorene prozore (osim Map i Browser)

**Window List** – Lista svih otvorenih prozora

## Komanda - Help



**Help Topics** – Lista za pretraživanje opisa funkcija programa

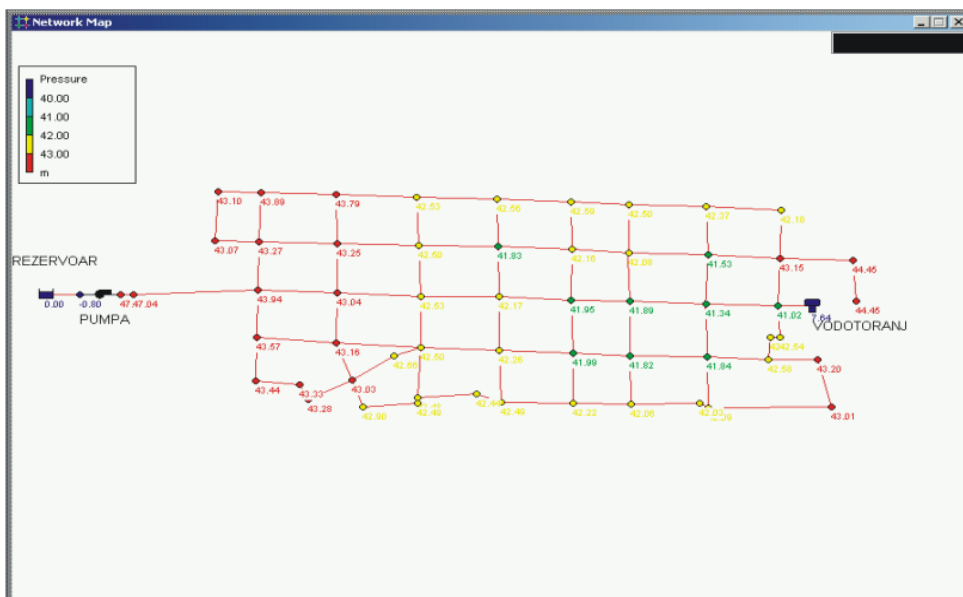
**Units** – Lista mjernih jedinica koje se mogu usvojiti za “EPANET” parametre

**Tutorial** – Primjer za vežbanje

**About..** – Podaci o verziji “EPANET”-a koja se koristi

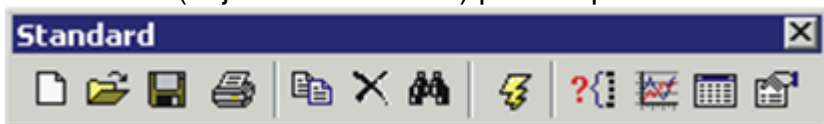
## Network Map

Predstavlja ravansko, šematsko prikazivanje objekata od kojih se sastoji distributivna mreža vodovodnog sistema. Na njoj se mogu prikazati sve karakteristike sistema odnosno njegovih objekata kako prije (ulazni podaci) tako i nakon simulacije modela (rezultati).



## Toolbars

Standardne (najčešće korišćene) prečice pri radu sa modelom -



Sa lijeva na desno ikonice imaju sledeću funkciju :

Otvaranje novog projekta (**File >> New**)

Otvaranje postojećeg projekta (**File >> Open**)

Čuvanje projekta (**File >> Save**)

Štampanje aktivnog prozora (**File >> Print**)

Kopiranje označenog dela mreže na clipborad ili u fajl (**Edit >> Copy To**)

Brisanje označenih objekata (**Delete**)

Pronalaženje objekata (**View >> Find**)

Pokretanje simulacije (**Project >> Run Analysis**)

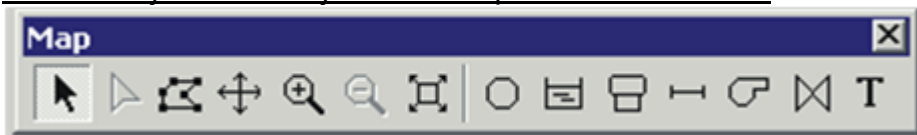
Pokretanje vizuelnog upitnika za pronalaženje objekata po nekom kriterijumu (**View >> Query**)

Crtanje grafika (**Report >> Graph**)

Izrada tabela (**Report >> Table**)

Podешavanje izgleda mreže (**View >> Options**)

Prečice koje se uobičajeno koriste pri radu sa mrežom



Sa lijeva na desno ikonice imaju sledeću funkciju :

Označavanje objekta (**Edit >> Select Object**)

Označavanje prelomnih tačaka cijevi (**Edit >> Select Vertex**)

Označavanje dijela mreže (**Edit >> Select Region**)

Pomjeranje duž mreže (**View >> Pan**)

Uvećavanje dijela mreže (**View >> Zoom In**)

Povećanje vidljivog dijela mreže (**View >> Zoom Out**)

Prikaz cijele mreže (**View >> Full Extent**)

Unos čvora (**Add Junction**)

Unos rezervoara (**Add Reservoir**)

Unos tanka (**Add Tank**)

Unos cijevi (**Add Pipe**)

Unos pumpe (**Add Pump**)

Unos zatvarača (**Add Valve**)

Unos tekstualnih oznaka (**Add Label**)

Status Bar – koristi se za informacije o statusu određenih funkcija



**Auto-Length** - Da li je uključeno automatsko računanje dužina cijevi (on-off)

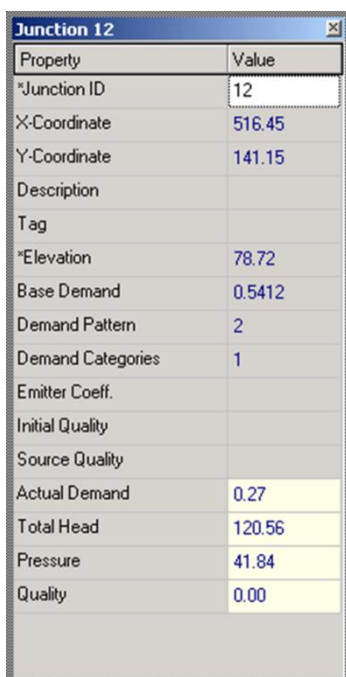
**Flow Units** – Pokazuje koje se jedinice za protok koriste (LPS – litri u sekundi)

**Zoom Level** – trenutni nivo vidljivosti (100% je puna skala)

**Run Status** – stanje simulacije pokazuje slavina:

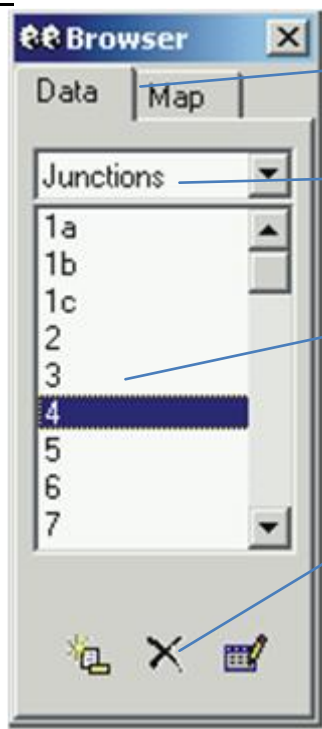
- voda ne teče ako nema rezultata simulacije;
- voda teče kada je simulacija uspješna;
- slomljena slavina kada rezultati simulacije nisu važeći jer su menjani podaci o mreži;
- XY Location – koordinate trenutne pozicije na kojoj se nalazi strelica kursora.

Property Editor – osnovni editor prilikom unosa podataka o objektima sistema, Koristi se za promjenu karakteristika čvorova i veza tekstualnih oznaka i opcija analize.

The image shows a window titled 'Junction 12' with a close button in the top right corner. The window contains a table with two columns: 'Property' and 'Value'. The table has the following rows:

Property	Value
*Junction ID	12
X-Coordinate	516.45
Y-Coordinate	141.15
Description	
Tag	
*Elevation	78.72
Base Demand	0.5412
Demand Pattern	2
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	0.27
Total Head	120.56
Pressure	41.84
Quality	0.00

## Browser



Omogućava pristup podacima objekata po kategorijama

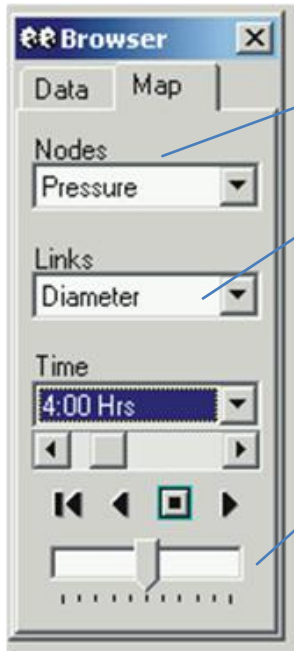
Omogućava Selekciju kategorije objekta (čvor, cev, pumpa, .....)

Daje Listu objekata u okviru jedne kategorije objekata

Dodavanje, brisanje i editovanje objekata

## Map

Izbor parametara i vremenskog perioda koji će biti prikazani na mapi



Parametar čvora koji se prikazuje

Parametar veze koji se prikazuje

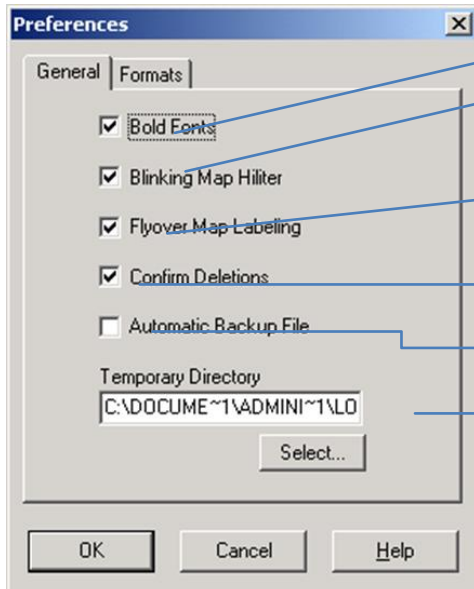
Izbor vremenskog perioda za prikaz

Animacija izgleda karte kroz vrijeme

Podešavanje brzine animacije

## Podešavanje "EPANET" grafičkog okruženja – opcija Program Preferences

### **File >> Preferences >> General**



Korišćenja tamnih slova  
Treperenje označenih objekata

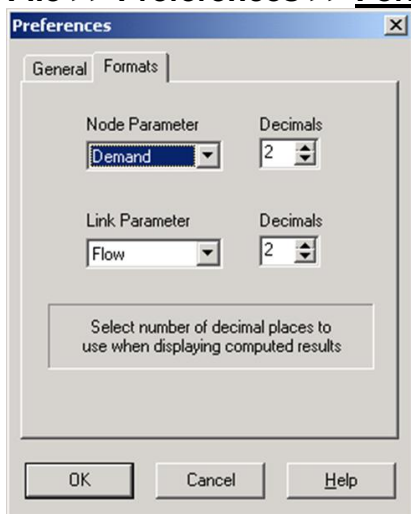
Pokazivanje oznake čvora i  
vrijednosti parametra kada se  
na njega stane mišem

Potvrda brisanja objekta

Automatsko čuvanje back-up  
file \*.bak

Ime direktorijum gdje  
"EPANET" čuva privremene  
fajlove

## File >> Preferences >> Formats



Podešavanje koliko će decimalnih mesta biti prikazano u izveštaju o dobijenim rezultatima. Može se podesiti različito za svaki parametar sistema.

## Rad sa projektima u “EPANET”-u

U radu sa projektima koristi se nekoliko formata fajlova. Ako se određeni gotovi fajl želi sačuvati onda je procedura sledeća :

### File>>Save (SaveAs)

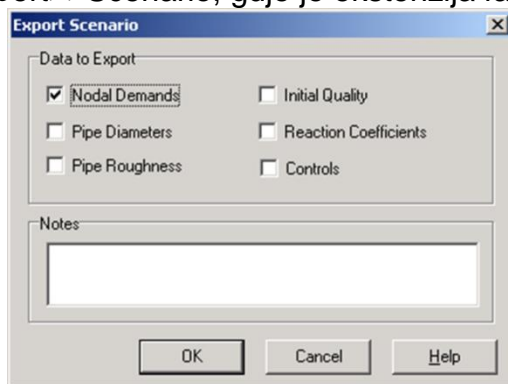
“EPANET” projekat se uvek čuva kao binarni fajl sa ekstenzijom \*.NET

Da bi se projekat sačuvao kao ASCII fajl procedura je sledeća :

File>>Export>>Network, u tom slučaju ekstenzija fajla je \*. INP

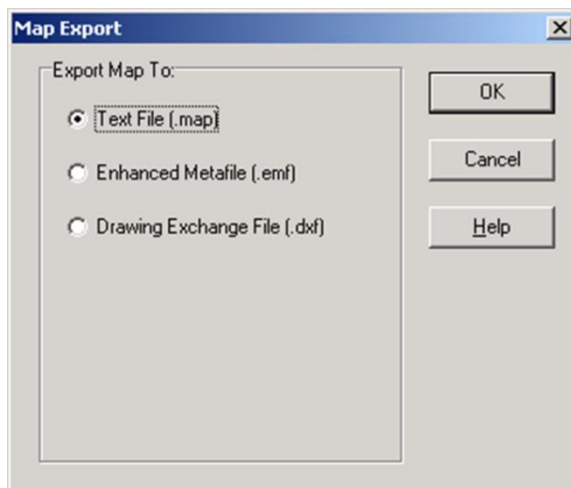
Čuvanje scenarija projekta je po sličnoj semi :

File>>Export>>Scenario, gdje je ekstenzija fajle \*. SCN



Čuvanje položaja čvorova u (x,y) sistemu vrši se komandama :

File>>Export>>Map

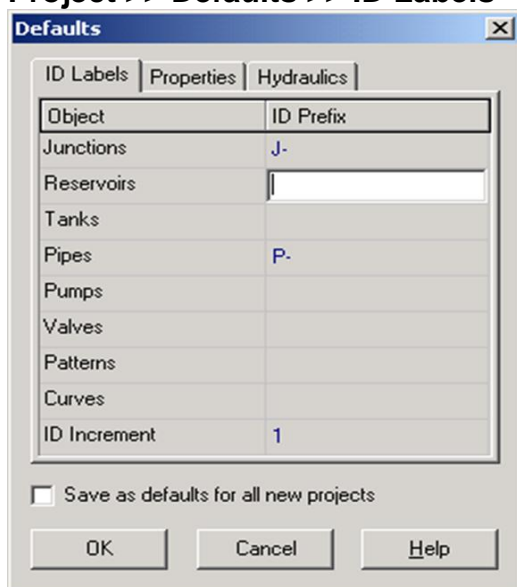


Vidi se da na raspolaganju stoje tri tipa fajlova : \*. MAP, \*. EMF i \*. DXF, koje korisnik može da izabere u zavisnosti kako će dalje koristiti navedene podatke o sistemu. Tako, na primjer, ako želi da mapu sistema dalje obrađuje u AUTO CAD –u izabrali će DXF fajl.

### Project Defaults

Svaki projekat u “EPANET”u ima skup zadatih vrijednosti koje se dodjeljuju novim objektima, osim ako ih korisnik sam ne promjeni. Prije početka rada na svakom novom projektu obavezno prvo provjeriti ove parametre.

### **Project >> Defaults >> ID Labels**



Identifikacione oznake koje se koriste za označavanje čvorova i veza kada se prvi put unesu u projekat.



## Project >> Defaults >> Properties

Property	Default Value
Node Elevation	0
Tank Diameter	50
Tank Height	20
Pipe Length	1000
Auto Length	Off
Pipe Diameter	12
Pipe Roughness	100

Save as defaults for all new projects

OK Cancel Help

Dodjeljivanje brojčanih vrijednosti elementima sistema kada se prvi put unesu u projekat.

## Project >> Defaults >> Hydraulics

Option	Default Value
Flow Units	LPS
Headloss Formula	H·W
Specific Gravity	1
Relative Viscosity	1
Maximum Trials	40
Accuracy	0.001
If Unbalanced	Continue
Default Pattern	1
Demand Multiplier	1.0

Save as defaults for all new projects

OK Cancel Help

Zadavanje parametara za hidrauličku analizu. Izborom Flow Units – LPS kao jedinica protoka definiše se l/s a istovremeno i SI sistem mjera za ostale parametre. Najbitnije stavke koje obavezno prethodno treba provjeriti i podesiti su :

- Flow Units
- Headloss Formula
- Default Pattern.

## Calibration Data

**Project>>Calibration Data** – za validaciju dobijenih rezultata simulacije nekog od parametara sistema potrebno je uraditi kalibraciju. Za to je potrebno imati spremne tzv. kalibracione fajlove koji će poslužiti za upoređenje. Pozivom na ime kalibracionog fajla obezbeđuje se početak kalibracije određenog parametra sistema (potrošnja, pritisak, kvalitet , ...).

Parameter	Name of Calibration File
Demand	
Head	
Pressure	
Quality	Nat2-FL.dat
Flow	
Velocity	

Buttons: Browse, Edit, OK, Cancel, Help

```
;Fluoride Tracer Measurements
;Location   Time   Value
;-----
N1          0     0.5
           6.4   1.2
           12.7  0.9
N2          0.5   0.72
           5.6   0.77
```

**Project Summary** - ako se želi potpuni pregled ukupnog broja elemenata i osnovnih parametara sistema onda se preko naredbe **Project>>Summary** dobija brz uvid u sistem.

Project Summary

Title: \_\_\_\_\_

Use as header for printing

Notes: \_\_\_\_\_

Statistics

Number of Junctions	57
Number of Reservoirs	1
Number of Tanks	1
Number of Pipes	87
Number of Pumps	1
Number of Valves	0
Flow Units	LPS

OK

Opis projekta sa statističkim podacima o elementima mreže i hidrauličkim parametrima

## RAD SA OBJEKTIMA

"EPANET" prepoznaje i simulira sve osnovne objekte vodovodnog sistema.

1. **Junction** – čvor vodovodne mreže



2. **Reservoir** – Rezervoar – izvor sa stalnom kotom piježometra



3. **Tank** – Tank – distributivni rezervoar u sistemu



4. **Pipe** – Cijev u sistemu



5. **Pump** – Pumpa



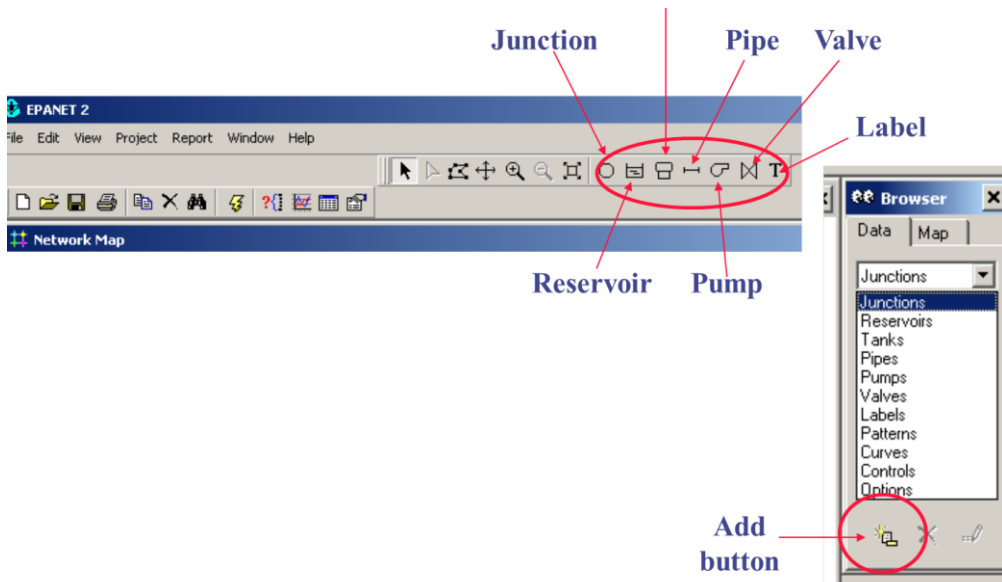
6. **Valve** – Zatvarač



7. **Map Label** – Tekstualne oznake

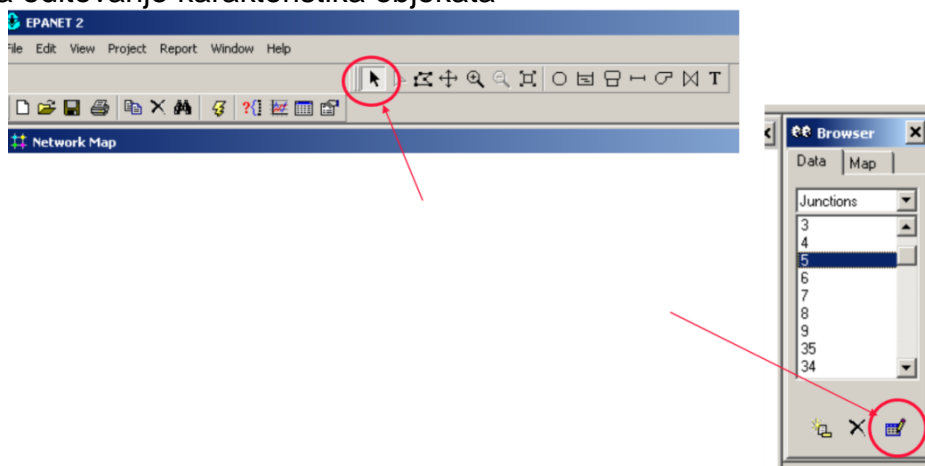
Pumpa

Unos objekata – kako je već prethodno rečeno unos objekata se može vršiti dvojako : preko Map Toolbar... i preko Browsera



## Izbor objekta

**Edit Properties** – oznake koje u Map Toolbar i Browser –u koje služe za editovanje karakteristika objekata



**Junction Properties** – opisuje karakteristike čvorova vodovodne mreže

**kota dna (mnm)**  
**čvorna potrošnja (l/s)**  
**oznaka dijagrama**  
**neravnomjernosti potrošnje**

	Base Demand	Time Pattern	Category
1	0	2	stanovnistvo
2	15	1	pozaj
3			
4			
5			
6			

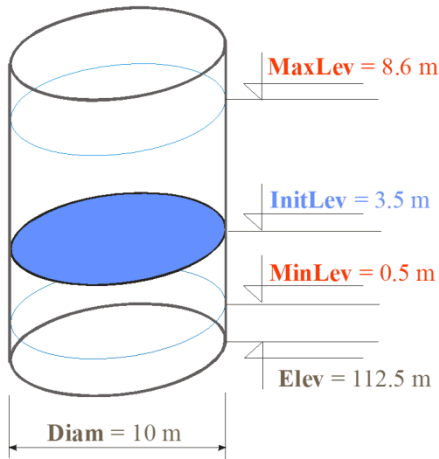
Property	Value
*Junction ID	27a
X-Coordinate	625.24
Y-Coordinate	224.44
Description	
Tag	
*Elevation	76
Base Demand	0
Demand Pattern	2
Demand Categories	2 ...
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	0.00
Total Head	116.66
Pressure	40.66
Quality	0.00

**Reservoir Properties** - koristi se uglavnom kod izvorišta ( bunara, akumulacija, kaptaza) koja u procesu simulacije moraju imati fiksnu pijezometarsku kotu, pa je tako ta kota osnovni ulazni element ovog objekta

Property	Value
*Reservoir ID	1
X-Coordinate	25.00
Y-Coordinate	194.90
Description	
Tag	
*Total Head	79
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	-20.26
Elevation	79.00
Pressure	0.00
Quality	0.00

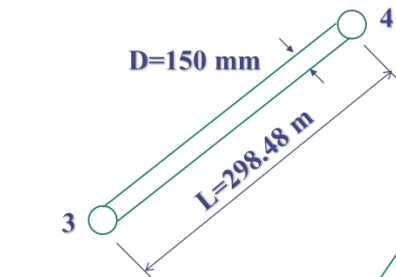
**kota nivoa (m)**

**Tank Properties** – koristi se za opis klasičnog distributivnog rezervoara u mreži i ulaznim podacima se definiše njegova zapremina i kota dna



Property	Value
*Tank ID	2
X-Coordinate	595.00
Y-Coordinate	185.21
Description	
Tag	
*Elevation	112.5
*Initial Level	3.5
*Minimum Level	0.5
*Maximum Level	8.6
*Diameter	10
Minimum Volume	0
Volume Curve	
Mixing Model	Mixed
Mixing Fraction	
Reaction Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	14.42

**Pipe Properties** – daje osnovne karakteristike cjevnih veza u sistemu

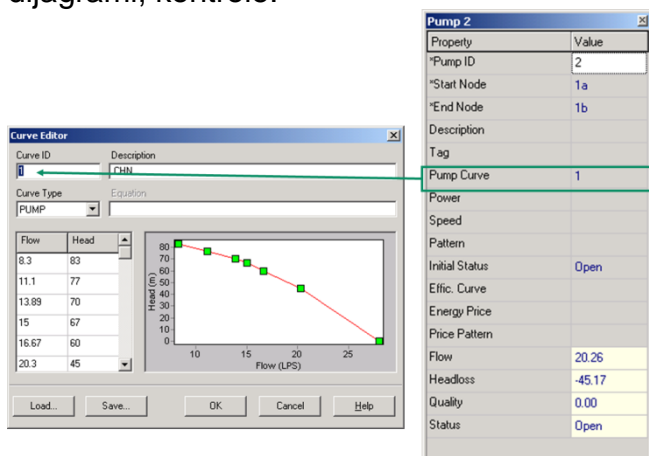


**Trenje**

<b>Hazen-Williams</b>	<b>C (l)</b>
<b>Chezy-Manning</b>	<b>n (m<sup>-1/3</sup>*s)</b>
<b>Darsy-Weisbach</b>	<b>k (mm)</b>

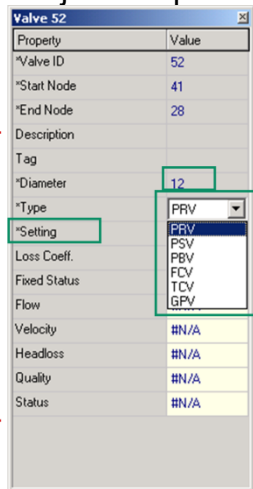
Property	Value
*Pipe ID	6
*Start Node	3
*End Node	4
Description	
Tag	
*Length	298.48
*Diameter	150
*Roughness	0.1
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	8.19
Velocity	0.46
Unit Headloss	1.62
Friction Factor	0.022
Reaction Rate	0.00
Quality	0.00

**Pump Properties** - definiše unos pumpe u sistemu. Osnovni podatak je broj krive koja je prethodno pripremljena (nacrtana) u Browser- u (curves), što je detaljnije pojašnjeno u nastavku u dijelu krive, dijagrami, kontrole.

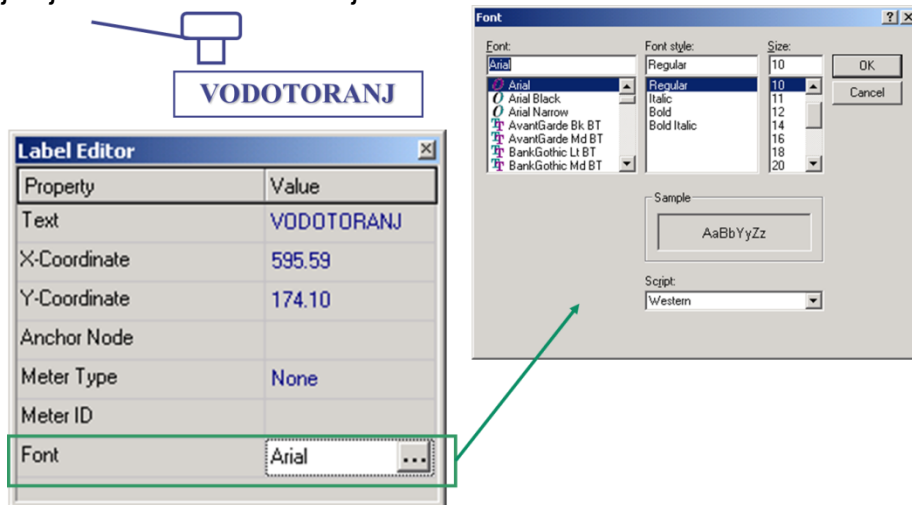


**Valve Properties** – “EPANET” prepoznaje odnosno simulira ukupno šest tipova zatvarača čije su funkcije date na narednoj slici. Za izabrani tip setuje se određena vrijednost pritiska, protoka ili procenta.

<b>PRV</b>	<b>redukcija pritiska</b>	<b>p (m)</b>
<b>PSV</b>	<b>održavanje pritiska</b>	<b>p (m)</b>
<b>PBV</b>	<b>potrošnja setovane energije</b>	<b>p (m)</b>
<b>FCV</b>	<b>kontrola protoka</b>	<b>Q (l/s)</b>
<b>TCV</b>	<b>prigušenje</b>	<b>x (/)</b>
<b>GPV</b>	<b>opšta namena</b>	<b>ID</b>



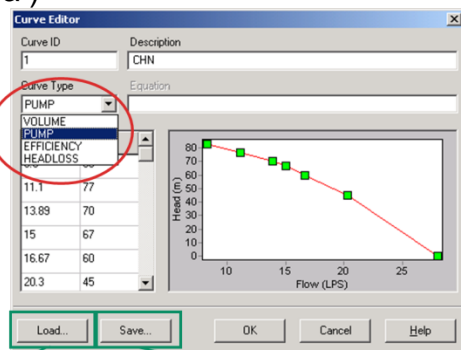
**Map Label Properties** – kod unosa prethodno navedenih objekata sistema moguće je podesiti i način ispisa podataka koji će se pojavljivati na ekranu uz objekte.



**Krive, dijagrami neravnomernosti, kontrole** – za opis određenih objekata sistema potrebno je definisati određene zakonitosti njihovog rada , koristeći pomoćne krive, dijagrame ili definisati način kontrole njihovog rada.

**Curves** – Postoji više tipova krivih u “EPANET”-u koje definišu rad pumpi, promjene zapremine rezervoara, efikasnost rada pumpe , lokalne gubitke i sl . na

Krive se definišu u Browser >> Data >> Curves. Pored definisanja novog tipa krive moguće je iskoristiti i već postojeće krive (load naredba )



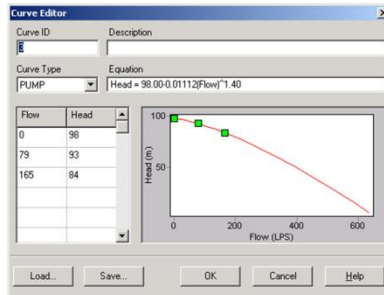
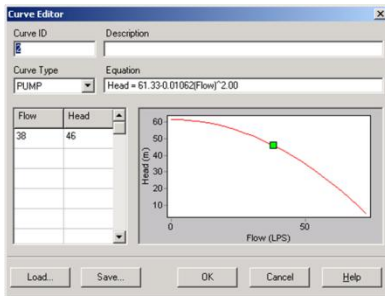
**Load** – unos postojeće krive iz fajla

**Save** – čuvanje podataka u fajlu \*.crv

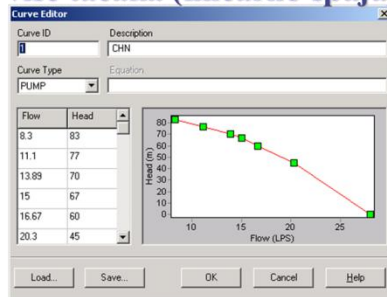


**Pump curves** – najčešće korišćena opcija za definisanje Q-H krive pumpe , može da se definiše na vise načina ( preko jedne ili više tačaka).

### 1 tačka (provlači parabolu)

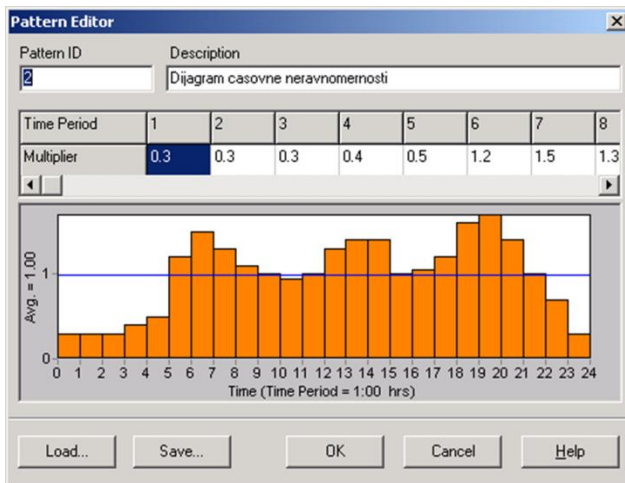


### više tačaka (linearno spaja)



**Time Patterns** – Dijagrami neravnomjernosti rada vodovodnog sistema su neophodni u svakoj simulaciji jer bez njih se ne može steći realna slika o ponašanju sistema.

Browser >> Data >> Patterns



**Controls** - Upravljanje sistemom, vrlo često potrebno uspostaviti odnosno simulirati kontrolu rada sistema po pojedinim objektima odnosno parametrima .

Browser >> Data >> Controls

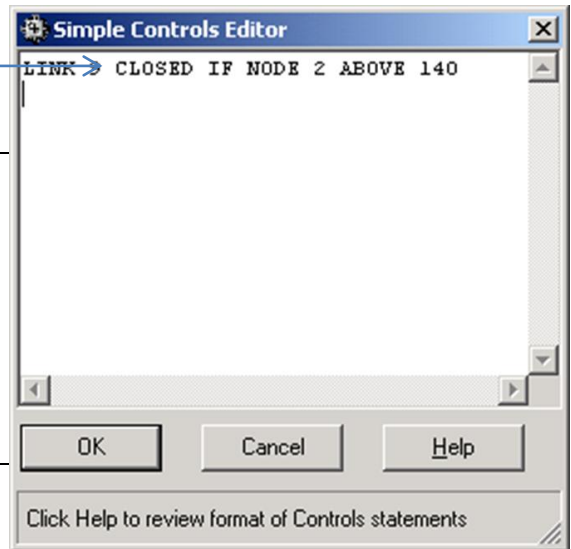
Simple – jednostavne kontrole

Rule Based – kontrole koje se baziraju na nekom pravilu

```

RULE 1
IF TANK 1 LEVEL ABOVE 19.1
THEN PUMP 335 STATUS IS CLOSED
AND PIPE 330 STATUS IS OPEN

RULE 2
IF TANK 1 LEVEL BELOW 17.1
THEN PUMP 335 STATUS IS OPEN
AND PIPE 330 STATUS IS CLOSED
    
```



Promjene izgleda mreže

**Copy & Paste Properties** – Kopiranje karakteristika objekata istog tipa

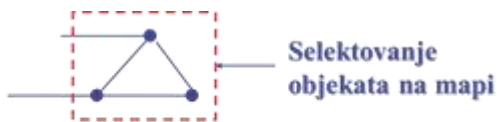
**Shape & Reverse Link** – Promjena izgleda cijevi

**Delete Object** – Brisanje objekta

**Move Object** – Pomjeranje objekta

**Select a Group** – Selektovanje grupe objekata

**Edit a Group** – Editovanje grupe objekata



**Edit >> Group Edit..**



### Definisanju vremenskih kategorija

Veoma bitna opcija kojom se obezbeđuje simulacija stanja sistema u realnim vremenskim okvirima . Mogu se podesiti svi bitni vremenski koraci i okviri

#### **Browser >> Data >> Options >> Time**



Property	Hrs:Min
Total Duration	24:00
Hydraulic Time Step	0:10
Quality Time Step	0:05
Pattern Time Step	1:00
Pattern Start Time	0:00
Reporting Time Step	1:00
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	0 am
Statistic	NONE

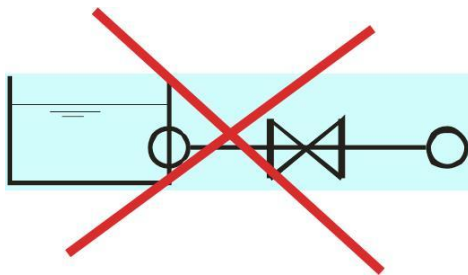
## **MODELIRANJE NEKIH SPECIJALNIH SLUČAJEVA**

Poznato je da se u vodovodnim sistemima mogu javiti različiti slučajevi veza elemenata sistema kao i da elementi sistema mogu da se nađu u različitim stanjima tokom svoje eksploatacije. Korišćenjem osnovnih elemenata sistema u “EPANET”-u je moguće da se neki od tih, nazovimo ih specijalnih slučajeva, simuliraju na zadovoljavajući način, odnosno da vjerno preslikaju realni sistem.

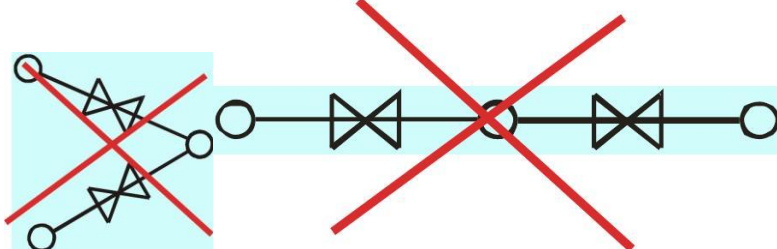
### Vezivanje regulacionih zatvarača u “EPANET”-u

Regulacioni zatvarači zbog svojih specifičnih funkcija i podešavanja imaju određena ograničenja kada je u pitanju njihov položaj i povezivanje u sistemu.

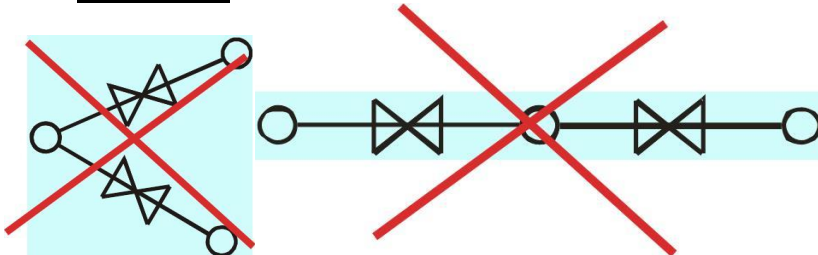
PRV, PSV, FCV NE MOGU se direktno vezati za reservoir ili tank.



PRV NE MOGU biti u vezi:



PSV NE MOGU biti u vezi



### Modeliranje bunara

Često pitanje odnosno dilema kod korišćenja "EPANET"a. Moguće je modelirati bunar u sistemu na dva načina :

#### I način

- Predstaviti bunar kao *Reservoir* sa P kotom podzemnog akvifera.
- Pumpom povezati Reservoir sa ostalim djelom mreže.

#### II način

- Ako se zna proticaj  $Q$ , može se sistem *Reservoir-Pump* zameniti čvorom sa negativnom potrošnjom  $= Q$ .

### Dimenzionisanje pumpe za zahtevani proticaj $Q$

- Namestiti status pumpe CLOSED.
- U ulaznom čvoru postaviti Demand= $Q$ .
- U izlaznom čvoru postaviti Demand=  $-Q$ .

- Posle simulacije, razlika dobijenih P kota u ulaznom i izlaznom čvoru je  $H_p$ .

#### Dimenzionisanje pumpe za zahtevano $H_p$

- Umesto pumpe staviti PBV zatvarač orjentisan u suprotnom pravcu.
- Prevesti  $H_p$  u ekvivalentan pritisak i sa njim setovati zatvarač.
- Posle simulacije, dobijeni proticaj kroz zatvarač je traženi  $Q_p$ .

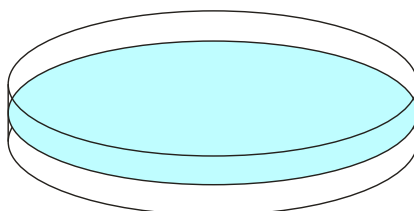
#### Modeliranje potrošnje za gašenje požara

- Za određivanje maksimalnog pritiska u čvoru kada se iz njega uzima voda za gašenje požara, dodati potrošnji u čvoru novu kategoriju – sa odgovarajućom potrošnjom za požar.

#### Modeliranje vazdušnog kazana

Ako je varijacija pritiska zanemarljiva

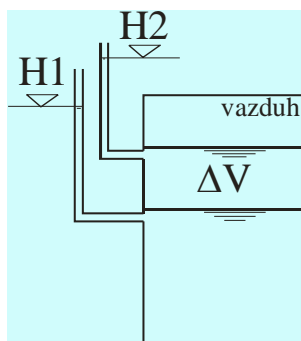
- Koristiti vrlo kratak, a širok cilindrični Tank čija *Elevation* je postavljen blisko P koti kazana.
- Dimenzije *Tanka* izabrati tako da promjena zapremine izaziva vrlo male promjene nivoa.



Ako je varijacija pritiska između  $H_1$  i  $H_2$  sa zapreminama  $V_1$  i  $V_2$

- Koristiti ekvivalentni cilindrični *Tank* čija je površina poprečnog presjeka.

$$(V_2 - V_1) / (H_2 - H_1)$$



### Modeliranja ulaza u Tank; ulazna cijev je iznad površine vode

- Ulaz u Tank se sastoji od PSV zatvarača koga prati cijev sa velikim prečnikom
- Setovanje PSV treba da bude 0, i kota izlaznog čvora treba da bude jednaka koti na kojoj prava cijev ulazi u Tank.
- Koristiti CV zatvarač da spriječi reverzni tok.

