

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Транспорт флуида

Број индекса: 353/2012

Драган Р. Николић

ВОДОСНАБДЕВАЊЕ

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Добрица Миловановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. Снабдевање водом.....	1
1.2. Системи за водоснабдевање	3
1.2.1. Системи за водоснабдевање према погонском режиму	4
1.2.1.1. Гравитацијски системи за водоснабдевање.....	4
1.2.1.2. Пумпни системи за водоснабдевање	5
1.2.1.3. Комбиновани системи за водоснабдевање	5
1.2.2. Системи за водоснабдевање према врсти водоснабдевања	7
1.2.2.1. Системи за водоснабдевање са отвореним водоснабдевањем	7
1.2.2.2. Системи за водоснабдевање са затвореним водоснабдевањем	7
1.3. Пројектни период.....	8
2. ПОТРОШЊА ВОДЕ	9
2.1. Потрошња воде за кућне потребе	9
2.2. Потрошња воде за индустријске потребе	12
2.3. Потрошња воде за гашење пожара и за властите потребе водовода.....	13
2.3.1. Потрошња воде за гашење пожара	13
2.3.2. Потрошња воде за властите потребе водовода	13
2.3.3. Пројектне количине воде	14
3. ИЗВОРИШТА	15
4. ВОДОЗАХВАТИ.....	18
4.1. Водозахвати атмосферских изворишта	18
4.2. Водозахвати површинских изворишта	19
4.2.1. Водозахвати на рекама	19
4.2.2. Водозахвати на језерима, вештачким акумулацијама и каналима	22
4.2.3. Водозахвати на морима	23
4.2.4. Водозахвати подземних изворишта.....	24
4.2.4.1. Хоризонтални водозахвати	24
4.2.4.2. Вертикални водозахвати	26
4.2.4.3. Грађевине за каптажу извора	33
5. ПУМПНЕ СТАНИЦЕ.....	35
5.1. Пумпе.....	35
5.2. Црпни резервоар, машинска станица, командна просторија	40
6. КОНДИЦИОНИРАЊЕ ВОДЕ.....	41
6.1. Захтеви квалитетне воде	41

6.2. Фазе кондиционирања воде.....	41
6.2.1. Отапање и дозирање коагуланта. Згрушавање	42
6.2.2. Мешање	43
6.2.3. Пахуљичење	44
6.2.4. Таложeње	46
6.2.5. Филтрација.....	53
6.2.6. Дезинфекција.....	60
7. РЕЗЕРВОАРИ	62
7.1. Врсте резервоара	62
7.2. Основни елементи резервоара	62
7.2.1. Функционални елементи резервоара	62
7.2.2. Конструкцијски елементи резервоара	63
7.2.3. Оперативна резерва	66
7.2.4. Сигурносна резерва	66
7.2.5. Укупана запремина резервоарског простора	66
8. ВОДОВОДНЕ МРЕЖЕ	67
8.1. Подела водовода (система водоснабдевања)	67
8.2. Водоводне мреже према начину израде.....	71
8.2.1. Цеви од ливеног гвожђа	72
8.2.2. Челичне цеви	73
8.2.3. Азбестно-цементне цеви	74
8.2.4. Армирано-бетонске цеви.....	76
8.2.5. Пластичне цеви	77
8.3. Хидраулични прорачун водоводне мреже	80
8.3.1. Хидраулички прирачун разгранате водоводне мреже.....	85
8.3.2. Хидраулички прирачун прстенасте водоводне мреже	88
8.4. Фазонски комади.....	92
8.5. Водоводне арматуре.....	93
8.5.1. Уградња, испитивање и дезинфекција цевовода	95
9. ЗАКЉУЧАК	100
LITERATURA:	101

РЕЗИМЕ

У овом раду се свеобухватно обрађује проблематика водоснабдевања. Полази се од значаја водоснабдевања, представљања расположивих система за водоснабдевање и дефинисања потребних количина воде за задовољавање потреба насеља, индустрије и гашења пожара. Разматрају се потенцијална изворишта воде и даје преглед водозавхвата на различитим извориштима. Даље се обрађује транспорт воде од водозавхвата до резервоара помоћу пумпи, и посебно, кондиционирање воде, као предуслов за обезбеђење, пре свега здраве пијаће воде, али и воде која ће испунити и захтеве друге врсте. Нарочита пажња је посвећена дистрибуцији воде до крајњих потрошача. У оквиру тога представљени су различити типови водоводних мрежа, прорачун разгранате и прстенасте водоводне мреже, израда цеви, фазонских комада и одговарајуће арматуре. На крају се дају упутства за уградњу, испитивање, отклањање кварова и дезинфекцију цевовода.

Кључне речи: водоснабдевање, цевовод, водозавхват, пумпа, резервоар, прорачун.

ABSTRACT

This paper deals with a water supply problem in a comprehensive manner. It starts with pointing out the importance of water supply, presenting the available water supply systems and defining the required amount of water to meet the needs of the households, industry and fire fighting. The potential water sources are discussed, and an overview of the different sources of water intake is presented. It is further processed by the transport of water from the intake to the tank by using pumps and, in particular, water conditioning, as a precondition for the provision of healthy drinking water, but also water that will fulfill the other requirements. A special attention was paid to the distribution of water to the end users. Here, the different kinds of water supply networks are presented, as well as the calculation of branched and looped pipe systems, then plumbing, pipes and related fittings. Finally, the instructions for the installation, testing, troubleshooting and pipeline disinfection are given.

Key words: water supply, pipes, intake, pump, tank, calculation.

1. Увод

1.1. Снабдевање водом

Снабдевање водом, водоснабдевање или водовод је систем објеката и мера за осигурање потреба водом разних потрошача. Међу многим гранама савремене технике усмерених на повећање животног стандарда, урбанизацију насеља и развој индустрије, водоснабдевање заузима истакнуто место. Снабдевање становништва чистом (квалитетном) водом има првенствено велику хигијенску важност, јер штити људе од разних обољења која се преносе водом. Осигурањем и довођењем довољне количине воде у насељено место омогућује се подизање животног стандарда човека и уређење његове околине. Потрошња воде утолико је већа уколико је вода доступнија. Да би се задовољиле потребе данашњих вишемилионских градова, потребне су знатне количине воде, које се дневно мере милионима кубних метара. Ради осигурања потребне количине воде, као и високог квалитета здравствене (санитарне) пијаће воде, нарочита пажња се посвећује избору природних изворишта, њиховој заштити од загађења, и евентуалној потреби побољшања квалитета воде (кондиционирања воде) на водоводним уређајима. Данас је у свету здраве и чисте воде све мање, углавном због континуираног загађивања. Са друге стране, све је већа потражња и потрошња нових количина воде, због повећања броја становника и капацитета индустрије, пољопривреде, енергетике и др. За дефинисање потребних количина воде неопходно је што потпуније узимање у обзир свих могућих потрошача (па и самих губитака воде из водоводне мреже), који воду троше за најразличитије потребе. Потрошња воде може да се групише у три следеће категорије:

- 1) потрошња воде за кућне потребе (снабдевање становништва)
- 2) потрошња воде за индустријске (технолошке) потребе
- 3) потрошња воде за гашење пожара и властите потребе водовода

1) Потрошња воде за кућне потребе обухвата утрошак воде која се користи за подмирење животних потреба становништва: пиће, припрему хране (кување), производњу намирница, прање рубља и посуђа, одржавање хигијене људи и станова, заливање вртова и слично, као и потрошњу воде која се користи у комуналне сврхе: прање улица и дворишта, поливање паркова и терена, ситну индустрију, занатство и јавне установе.



Слика 1.1 Потрошња воде за кућне потребе

Потрошња воде код ове категорије потрошача зависи од низа чинилаца, од којих су најутицајнији: (а) климатски услови, (б) животни стандард и менталитет потрошача, (в) активност становништва, (г) цена воде, (д) постојање канализације, (ђ) квалитет и количина воде, (е) особине система за водоснабдевање, (ж) мерење воде и њени губици.

2) Потрошња воде за индустријске потребе односи се на потрошњу воде у индустријским погонима (као сировине за израду разних производа, производњу и кондензацију водене паре, хлађење, испирање и слично), за транспорт у енергетици, пољопривреди, итд.

Удео индустрије у укупној потрошњи воде код високо развијених земаља је доминантан и може се рећи да расте са развојем земље, регије или града.

3) Потрошња воде за гашење пожара састоји се од пожарних количина воде које се у свету третирају различито, мање или више с великим мерама предострожности због значаја овог проблема у погледу заштите људских живота и материјалних добара.



Слика 1.2 Потрошња воде за гашење пожара

Потрошња воде за властите потребе водовода односи се на потрошњу воде предузећа које управља водоводом (водоснабдеваним системом) и то за потребе одржавања технолошког процеса кондиционирања воде, као и целокупног система. У пракси не постоје нормативи који прописују ове количине, већ се оне одређују у складу са примењеном технологијом кондиционирања воде и особинама водоснабдевених система, или се користе искуства са сличних система.

Свака од наведених категорија потрошача има посебне захтеве (у погледу количина воде, квалитета и режима потрошње) које код решавања водоснабдевања треба детаљно размотрити.

Тако, на пример, захтеви који се постављају у смислу квалитета воде зависе од карактера њеног коришћења. У случају пијаће воде постављају се, пре свега, захтеви санитарног карактера, пошто таква вода мора бити нешкодљива за здравље, односно, не сме садржати патогене микроорганизме, мора бити бистра и без боје и мириса. Код индустријских предузећа квалитет и цена производа у знатној мери зависе од количина и квалитета коришћене воде, као и од организације водоснабдевања. Према томе, правилна организација снабдевања водом индустријских предузећа има и велики економски значај. Претежан део ове категорије потрошача (на пример, термоелектране, железаре, рафинерије нафте) обично не постављају високе захтеве у погледу квалитета воде. За гашење пожара, практично, може да се користи вода било којег квалитета. Све ове чињенице указују на велику сложеност решавања питања водоснабдевања.

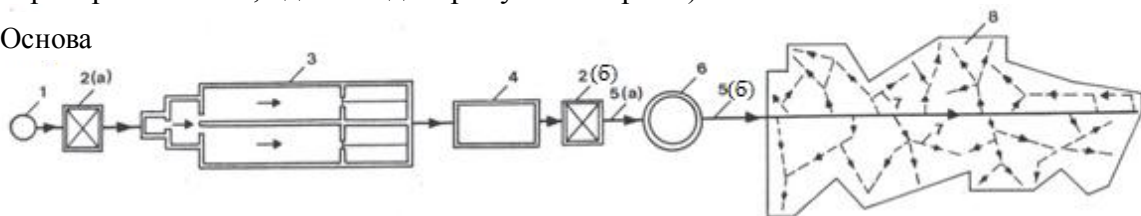
1.2. Системи за водоснабдевање

Систем за водоснабдевање је систем објеката и мера повезаних у функционалну целину са циљем осигурања довољне количине квалитетне воде на што економичнији начин. Систем за водоснабдевање (слика 1.3), чине следеће главне групе објеката:

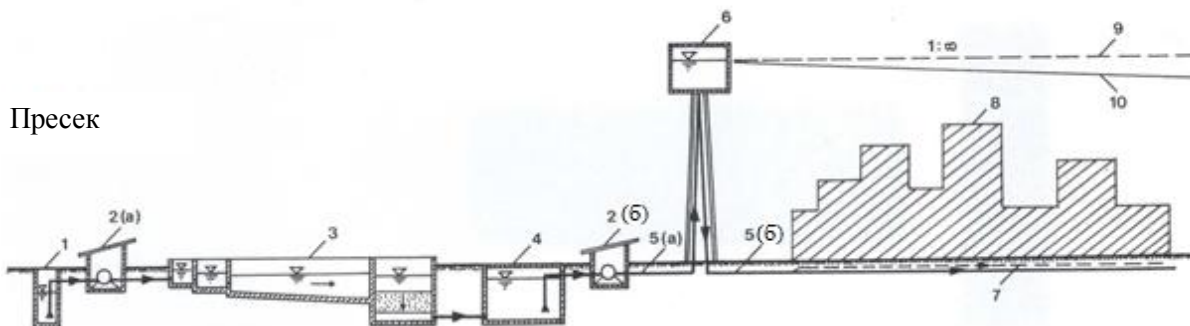
- 1) водозахвати, којима се вода захвата из природних изворишта;
- 2) црпне станице (пумпне станице), којима се вода црпи и потискује, или од изворишта до места кондиционирања, спремања, потрошње и слично, или између појединих објеката за водоснабдевање система;
- 3) уређаји за кондиционирање воде, којима се постиже захтевани квалитет воде;
- 4) резервоари, који имају улогу складишних и регулационих објеката у систему водоснабдевања;
- 5) главна (магистрална) и разводна (дистрибутивна) водоводна мрежа, са пратећим објектима, којима се вода транспортује између појединих објеката система за снабдевање водом (главна мрежа) и дистрибуира потрошачима (разводна мрежа).

Цевоводи главне мреже могу бити доводни (између изворишта и уређаја за кондиционирање воде или између уређаја и резервоара) и водоснабдевени (између резервоара и насеља, односно дистрибутивне мреже).

Основа



Пресек



Слика 1.3. Шема система за снабдевање водом

1 - водозахват; 2(а) – нископритисна пумпна станица; 2(б) – високопритисна пумпна станица; 3 - уређај за кондиционирање воде; 4 - сабирни базен; 5(а) - главни доводни цевовод; 5(б) - главни цевовод за снабдевање; 6 - резервоар; 7 - дистрибутивна мрежа; 8 - потрошачи; 9 - линија хидростатичког притиска; 10 - линија хидродинамичког или погонског притиска.

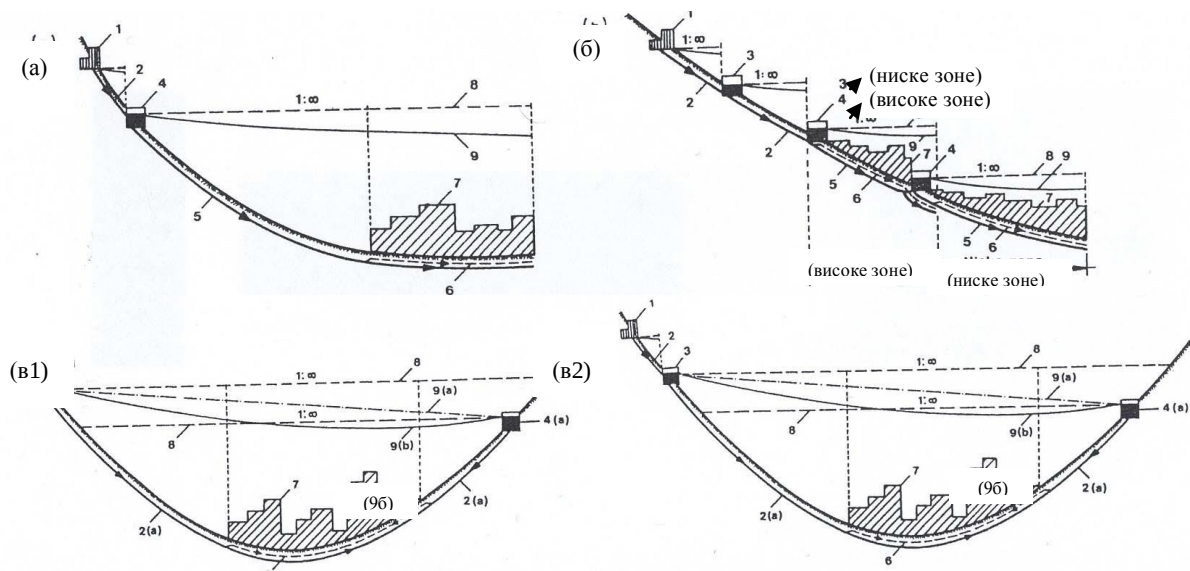
Слика 1.3 је начелног карактера, тако да у конкретном случају (зависно од висинског положаја водозахвата, односно топографских особина водоснабдеваног подручја) редослед објеката у систему може бити и другачији од приказаног. Исто тако, неки од наведених објеката могу изостати, као на пример, уређај за кондиционирање, ако изворишна вода задовољава тражене стандарде квалитета, или резервоар, када се вода пумпама (након или без кондиционирања) директно потискује у дистрибутивну мрежу. Ови елементи регулишу односе у систему, који су дефинисани техничким и економским разлозима погона система за снабдевање водом, и заједно чине основну шему система за снабдевање водом.

Поделу на пумпне и комбиноване системе треба схватити доста условно, јер један систем може у одређеним условима рада бити само пумпни, а у другима комбиновани, дакле гравитационо-пумпни. Зато је у пракси понекад прикладно такве системе анализирати заједно.

1.2.1. Системи за водоснабдевање према погонском режиму

1.2.1.1. Гравитацијски системи за водоснабдевање

Код гравитационих система за водоснабдевање због деловања силе теже струјање воде се примарно одвија под притиском (слика 1.4) или комбиновано (под притиском и са слободним водним лицем). Дакле, потисни режим је код гравитационих система за водоснабдевање најчешћи и мора се из функционалних разлога обезбедити код главних снабдених и разделних цевовода, док код главних доводних цевовода, ако топографске прилике омогућују, течење може бити и са слободним водним лицем (мада из здравствених разлога, ако се ради о отвореним каналима, није пожељно). Предности гравитационог система су поузданост у раду и минимални погонски трошкови (без утрошка електричне енергије). Код приказа шеме оваквог система (што ће важити и за наредне), није уцртан уређај за кондиционирање воде, јер би се због вишеструких могућности његовог смештаја број приказа система за водоснабдевање само мултиплицирао, али без битних погонских разлика. Локација уређаја за кондиционирање је диктирана топографским приликама и величином (капацитетом) уређаја, а обавезна је пре резервоара чисте воде. Зависно о висинским односима у систему (слика 1.4(б)), могу се ради регулисања тласних односа (ако би притисак прелазео допуштени) интерполирати прекидне коморе, између водозавхата и водоспреме, или између водоспреме и потрошача. Тада се добије систем са више висинских зона, тј зонираним систем за водоснабдевање.



Слика 1.4. Шеме гравитацијских система за водоснабдевање

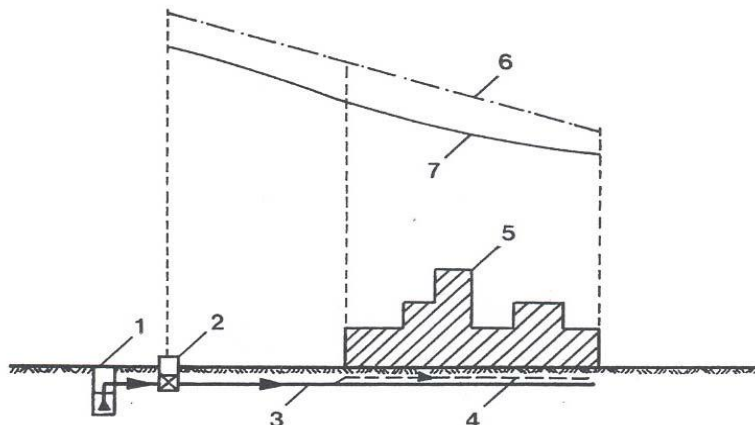
(а) типични гравитациони систем; (б) зонирани гравитациони систем;

(в) гравитациони систем са контрарезервоаром

1 - водозахват; 2 - главни доводни цевовод; 2(а) - главни доводно-снабдени цевовод; 3 - прекидна комора; 4 - водоспрема; 4(а) - противодоспрема; 5 - главни снабдени цевовод; 6 - разводна мрежа; 7 - потрошачи; 8 - линија хидростатичког притиска; 9 - линија хидродинамичког притиска; 9(а) - линија хидродинамичког притиска у сату најмање потрошње; 9(б) - линија хидродинамичког притиска у сату највеће потрошње.

1.2.1.2. Пумпни системи за водоснабдевање

Код пумпног система (слика 1.5), вода се потискује пумпама директно из изворишта ка потрошачима. Ови се системи углавном примењују за мања насеља, првенствено због знатних погонских трошкова условљених готово непрекидним радом пумпи.



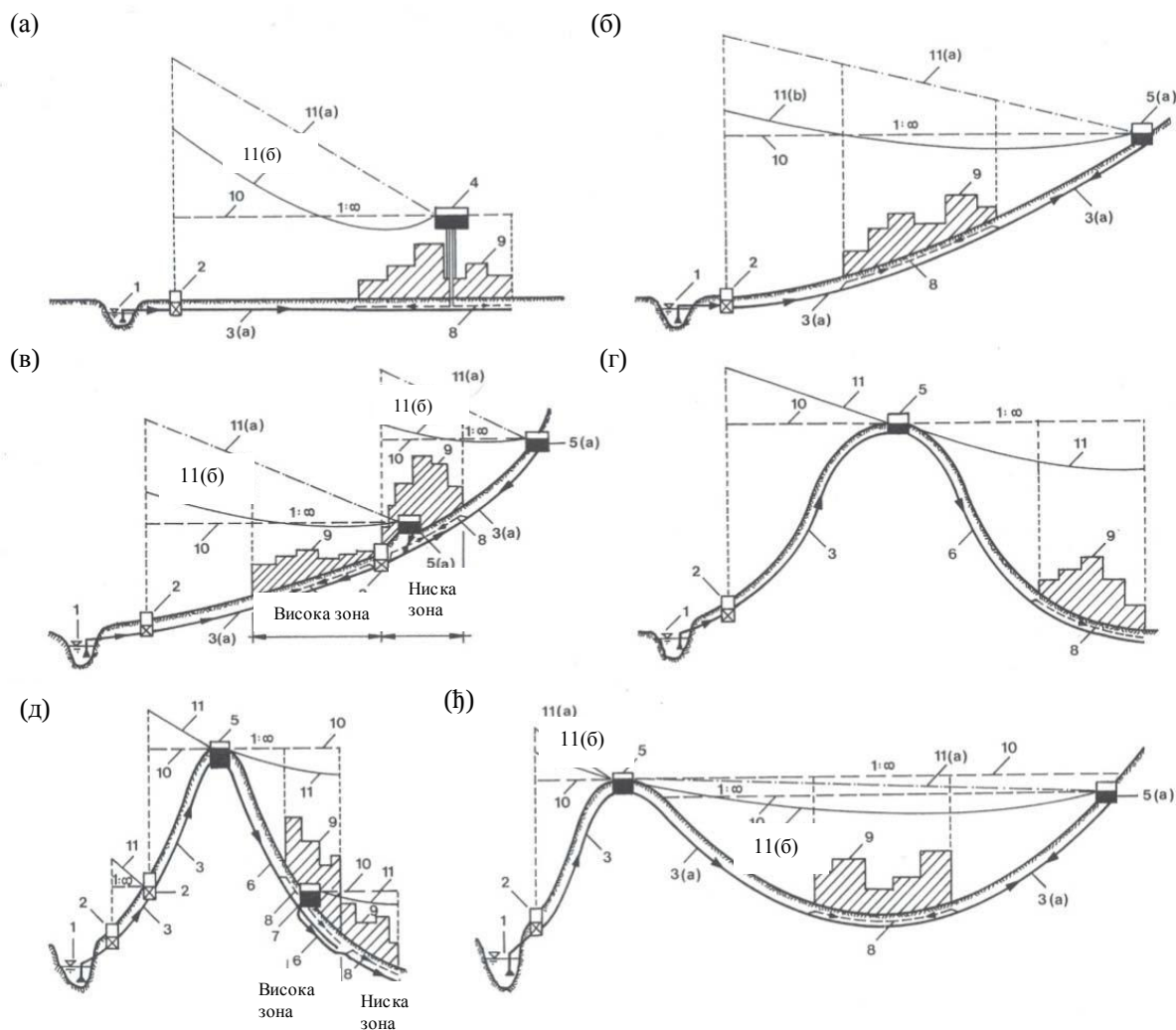
Слика 1.5. Шема пумпног или потисног система

1 - водозахват; 2 - пумпна станица; 3 - магистрални цевовод; 4 - дистрибутивна мрежа; 5 - потрошачи; 6 - линија хидродинамичког притиска у сату најмање потрошње; 7 - линија хидродинамичког притиска у сату највеће потрошње

1.2.1.3. Комбиновани системи за водоснабдевање

Код комбинованих система (слика 1.6), могући су различити подсистеми, али струјање воде је увек под притиском.

У пракси је честа комбинација потисног и гравитационог система са водоторња (слика 1.6а), где све водне количине треба црпити, пошто је водозахват на нижим котама од насеља. Примарна функција водоторња је изравнање потрошње у односу на изабрани режим рада црпне станице. Ово је поузданија шема у односу на претходну, јер се из водоторња може обезбедити (краткотрајно) водоснабдевање у случају кvara пумпи. Осим тога, овакав је систем и јефтинији од потисног, јер се због деломичног изравнања потрошње воде из водоторња смањује потребни капацитет црпне станице и омогућава њен економичнији погон у периодима јефтиније електричне енергије. Један од система је комбинација потисног и гравитационог система са контрарезервоаром (слика 1.6(б)). Доток у село је могућ истовремено са обе стране или одвојено, зависно од варијација у потрошњи и режиму рада пумпне станице. Погонске особине овога система истоветне су особинама комбинованог система са водоторњем. У односу на претходну шему система за снабдевање водом могуће је у случају неповољних висинских односа зонирање система са две или више пумпних станица и резервоара (слика 1.6(в)). У пракси се јавља и комбиновани индиректни систем за водоснабдевање (слика 1.6(г)), код којег је водозахват одвојен од потрошача природном препреком (виши терен) на којој је (у начелу) резервоар. Потисни део система за снабдевање водом је довод воде до резервоара, док је снабдевање потрошача гравитационо. У складу са висинским односима може се појавити потреба за интерполацијом пумпних станица на потисном доводном цевоводу (вишестепено црпљење) и прекидних комора на ланцу цевоводу (зонирање) (слика 1.6(д)). У односу на овај систем за водоснабдевање могућа је и комбинација са контрарезервоаром (слика 1.6(ђ)).



Слика 1.6. Шеме комбинованих система за водоснабдевање

(а) комбиновани систем са водоторњем; (б) комбиновани систем са контрарезервоаром; (в) зонирани комбиновани систем; (г) комбиновани индиректни систем; (д) зонирани комбиновани индиректни систем; (ђ) комбиновани индиректни систем са контрарезервоаром.

1 - водозахват; 2 - црпна станица; 3 - главни доводни цевовод; 3 (а) главни доводно - опскрбни цевовод; 4 - водоторањ; 5 - водоспрема; 5 (а) протуводоспрема; 6 - главни снабдевање цевовод; 7 - прекидна комора; 8 - разделна мрежа; 9 - потрошачи; 10 - линија хидростатичког притиска; 11 - линија хидродинамичког притиска; 11 (а) - линија хидродинамичког притиска у сату најмање потрошње; 11 (б) линија хидродинамичког притиска у сату највеће потрошње.

Предлог шеме водоснабдевања система је први корак у решавању проблематике водоснабдевања неког подручја. Коначан избор треба спровести тек након свеобухватне анализе свих чинилаца, првенствено економских, који могу утицати на усвојено решење.

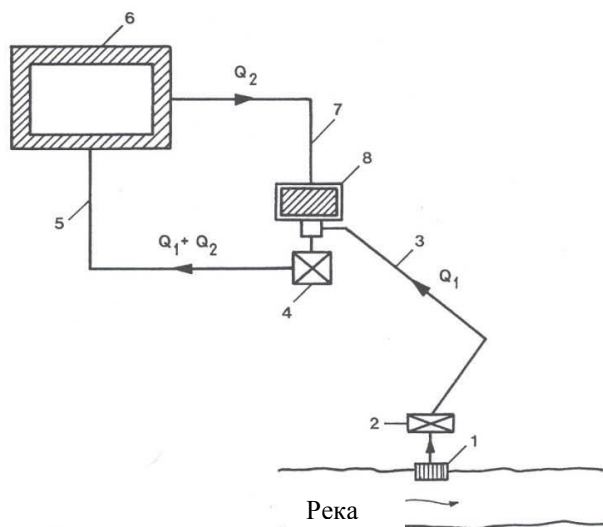
1.2.2. Системи за водоснабдевање према врсти водоснабдевања

1.2.2.1. Системи за водоснабдевање са отвореним водоснабдевањем

Под системима за водоснабдевање са отвореном водоснабдевањем, односно са једнократним коришћењем воде, подразумевамо системе код којих вода намењена потрошачима улази само једном у систем водоснабдевања. Примена ових система је чешћа код водоснабдевања становништва, док се код одређених врста индустрије користе и циркулациони системи.

1.2.2.2. Системи за водоснабдевање са затвореним водоснабдевањем

Код система са затвореном водоснабдевањем (слика 1.7) потребе за водом обезбеђују се циркулацијом већ коришћене воде, док се она из водозавода користи само ради надокнађивања изгубљене воде у процесу циркулације.



Слика 1.7. Шема система са затвореном водоснабдевањем

1 - водозахват; 2 - пумпна станица свеже воде; 3 - довод свеже воде; 4 - пумпна станица за прочишћену и свежу воду; 5 - довод прочишћене и свеже воде; 6 - индустријски погон; 7 - одвод коришћене воде; 8 - уређај за пречишћавање

Овакви системи се, као што је истакнуто, чешће примењују у индустрији него у водоснабдевању становништва, односно код коришћења воде за кућне потребе. Наиме, у случају водоснабдевања становништва циркулационим системима потребно је већ коришћену воду пре њене поновне дистрибуције потрошачима обавезно подвргнути вишеструко сложеним и врло скупим процесима пречишћавања, што у знатној мери сужава могућност широке примене оваквих система за водоснабдевање.

Основни разлози примене циркулационих система за водоснабдевање, првенствено у индустријске сврхе, су:

(а) недовољна издашност изворишта за непрекидно снабдевање, (б) захтеви квалитета воде која циркулише у производном процесу, (в) погонске особине система за снабдевање водом.

а) Први разлог се односи на индустријске погоне који користе велике количине технолошке воде, на пример у расхладне сврхе, а које издашност природних изворишта не може обезбедити.

б) Други разлог се односи на квалитет воде која се испушта из технолошког процеса. Ако је квалитет коришћене (отпадне) воде лош, а услови испуштања (законска регулатива) строги, тада се показује да је економски повољније делимично пречишћавање коришћене воде и њено враћање у технолошки циклус, него делимично пречишћавање до захтеваних критеријума и испуштање у пријемник. То се посебно односи на случајеве када је из коришћене воде могуће добити одговарајуће секундарне сировине и/или када технолошки процес не захтева висок квалитет воде.

в) Трећи разлог се односи на системе код којих се целокупне количине воде обезбеђују црпљењем, што у случају велике удаљености водозахвата и знатних висинских разлика, а тиме и осетних погонских трошкова, може условити оправданост примене циркулационог система. Дакле, понекад је чак економски повољније пречишћавање коришћене воде, него стално црпљење свеже воде из удаљенијег изворишта.

1.3. Пројектни период

Битан параметар приликом пројектовања система за водоснабдевање је избор пројектног периода, као периода за које пројектујемо систем и у којем ће систем уз исправно управљање и потребна редовна одржавања технички функционисати. Пројектни период зависи од низа чинилаца од којих су најзначајнији:

- а) век трајања појединих објекта и / или опреме система за снабдевање водом (који у начелу нису истоветни),
- б) могућност евентуално потребног проширења (фазност изградње) објекта водоснабдевање система,
- в) понашање система у почетном периоду, кад није потпуно искориштен,
- г) пораст броја становника и потрошње,
- д) камате и отплата дуга инвестиционог,
- ђ) промена вредности новца.

За праксу се могу усвојити оријентациони подаци из табеле 1.1.

Табела 1.1 Пројектни период за објекта система за снабдевање водом

ВРСТА ОБЈЕКТА	КАРАКТЕРИСТИКЕ	ПРОЈЕКТНО РАЗДОБЉЕ $R_p[\text{godina}]$
Главни цевоводи, тунели и отворени канали	Скупо и тешко повећање капацитета	25 до 50
Водозахвати, црпне станице, водоспреме, уређај и за кондиционирање воде	Уз претпоставку мањег пораста становништва и мање камате ($< 3 [\%]$ годишње)	20 до 25
Цевоводи за водоснабдевање профила преко 300 [mm]	Замена мањих цеви је кроз дужа раздобља скупља	20 до 25

2. Потрошња воде

Потрошња воде је количина (утрошак) воде по појединим категоријама потрошача, или укупно, изражена у временској јединици.



Слика 2.1. Потрошња воде

Дакле, анализа потрошње воде односи се на дефинисање потребних количина воде појединих категорија потрошача, тј:

- 1) за кућне потребе (снабдевање становништва),
- 2) за индустријске (технолошке) потребе,
- 3) за гашење пожара и властите потребе водовода.

Зато ће се у наставку приказати методологија прорачуна потрошње воде за све три категорије потрошача.

2.1. Потрошња воде за кућне потребе

Као основни подаци код одређивања потрошње воде за кућне потребе користе се:

- 1) норма потрошње воде изражена специфилном потрошњом воде,
- 2) број становника.

1) Специфичну потрошњу воде, q_{sp} [*л/становник/д*], дефинишемо као утрошак воде по једном становнику у једним дану (24h).

Ова количина воде се састоји од утрешка за најразличитије потребе и зависи од степена санитарно–техничке опремљености станова, квалитета и цене воде, уређења насеља, постојања канализације, климатских прилика и слично.

Специфична потрошња воде је основна величина за функционално димензионисање система за снабдевање водом. Од правилности њеног одређивања зависи и то хоће ли пројектовани водовод током свог пројектног периода задовољити тражене потребе. Одређује се првенствено на основу искуства у експлоатацији постојећих водовода. У већини земаља се регулише законским прописима у складу са величином насеља (града). Како код нас такви прописи не постоје, у пракси се користе стране препоруке, на пример руске, према којима је у табели 2.1 приказана специфична потрошња воде зависно од карактера опреме зграде санитарно–техничким уређајима. Ове вредности треба, схватити оријентационо, јер су у конкретним случајевима могућа знатна одступања.

Табела 2.1. Специфична потрошња воде

Карактер опреме зграде санитарно - техничким уређајима	Специфична потрошња q_{sp} [l/становник/dan]
Насеља са зградама које нису опремљене водоводима и канализацијом	30 до 50
Насеља са зградама опремљеним унутрашњим водоводом и канализацијом без купатила	125 до 150
Насеља са зградама опремљеним водоводом, канализацијом и купатилом	150 до 230
Насеља са зградама опремљеним унутрашњим водоводом, канализацијом и системом централног снабдевања топлотом водом	250 до 400

Једино је битно да се код одређивања специфичне потрошње воде јасно истакне да ли је у њој садржана само потрошња воде за становништво или су обухваћени утросци воде и за остале категорије потрошача, најпре индустрије (пољопривреде).

2) Број становника водоснабдевног подручја зависи од локалних и општих социјално-економских фактора, па временски није сталан. Као што је истакнуто, пројектовање система за снабдевање водом се спроводи за неки пројектни период који обично износи 20-25 (50) година и где се најчешће претпоставља прираст становништва.

Дакле, проблем се своди на дефинисање броја становника водоснабдевног подручја за усвојени пројектни период, односно за коначну фазу развоја. До овог се податка првенствено долази из просторног плана, а у случају да он не постоји, или се у погледу прогнозе броја становника оцени нереалним, примењује се неки од поступака прогнозирања броја становника. Тако, на пример, претпостављајући геометријски прираст, број становника, N_k , на крају пројектног периода дефинисан је изразом:

$$N_k = N_0 \left[1 + \frac{p}{100} \right]^{R_p} \quad (1.1)$$

где су:

N_0 - садашњи број становника, [становник],

p - годишњи проценат прираста, [%]. Овај параметар зависи од величина насеља, развијености привреде (првенствено индустрије и туризма), миграционих кретања, итд.

R_p - пројектни период, [година].

На основу података о специфичној потрошњи воде, q_{sp} , и броју становника, N_k , могуће је одредити средњу дневну потрошњу воде, Q_{sp} [l/d], применом израза:

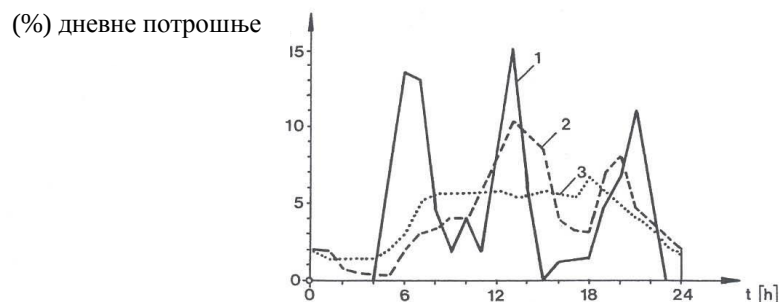
$$Q_{sr} = q_{sp} N_k \quad (1.2)$$

и средњу часовну потрошњу воде, q_{sr} [l/h], помоћу израза:

$$q_{sr} = \frac{Q_{sr}}{24} = \frac{q_{sp} N_k}{24} \quad (1.3)$$

Међутим, очигледно је да за хидрауличко димензионисање појединих објеката система за снабдевање водом (капацитет водозахвата и пумпи, запремина резервоара, капацитет

уређаја за кондиционирање воде, димензије магистралних и разводних цевовода) треба познавати и режим потрошње воде. Ова величина зависи од низа чинилаца повезаних са режимом живота и делатношћу људи. Ради тога потрошња воде варира, односно осцилира (више или мање) око раније наведених средњих вредности (слика 2.2).



Слика 2.2. Варијација потрошње воде током дана

1 - мање насеље; 2 - већи град без индустрије; 3 - већи град са индустријом

Та је чињеница израженија уколико се период смањује са нпр године или месеца на дан или сат и уколико је мање насеље, односно мањи број становника. Тако се у мањим насељима (углавном приградског и сеоског карактера) знатно мање воде троши ноћу него дању, а у самом дану већа потрошња је у јутарњим,

поподневним и касним послеподневним сатима него у раним дневним и раним послеподневним сатима. Насупрот томе, у великим градовима је та осцилација мања, не само дању, него и у компарацији с ноћном потрошњом воде.

Количину воде која се годишње троши у данима највеће потрошње називамо највећа (максимална) дневна потрошња воде, Q_{max} [l/d]. Дата је изразом:

$$Q_{max} = K_d Q_{sr} = 24 K_d q_{sr} \quad (1.4)$$

где је K_d [-] коефицијент неравномерности највеће дневне потрошње.

Вредности овог коефицијента приказане у табели 2.2 у функцији величине насеља, односно броја становника. Количина воде која се троши у сату највеће потрошње назива се највећа (максимална) сатна потрошња воде, q_{max} [l/h], и она износи:

$$q_{max} = K_h \frac{Q_{max}}{24} = K_d K_h q_{sr} = K_d K_h \frac{q_{sr} N_k}{24} \quad (1.5)$$

где је K_h [-] коефицијент неравномерности највеће сатне потрошње, табела 2.2.

Табела 2.2. Вредности коефицијената неравномерности највеће дневне и највеће часовне потрошње воде

Величина насеља потрошача	Коефицијент неравномерности	
	K_d [-]	K_h [-]
Летовалишта и бање	1,6 до 1,7	2,5
Села и мања насеља	1,5 до 1,6	2,0
Градови испод 25000 становника	1,4 до 1,3	1,6
Градови од 25000 до 50000 становника	1,3 до 1,4	1,4
Градови од 50000 до 100000 становника	1,3	1,3
Градови преко 100.000 становника	1.2	1.3

2.2. Потрошња воде за индустријске потребе

Код одређивања потрошње воде за индустријске потребе само на основу препорука из литературе треба бити веома обазрив, јер потрошња воде по јединици производа знатно варира и често је врло различита чак и у аналогним предузећима, будући да зависи од типа примењене опреме, шеме технолошког процеса и локалних услова. Зато се потрошња воде у индустрији најбоље одређује анкетом производних технолога, дакле, на лицу места (посебно од случаја до случаја), јер разлике у односу на уобичајене просечне вредности могу бити вишеструке.



Слика 2.3. Пример потрошње воде

Такође, често се количине воде потребне за индустрију морају рачунати за поједине групе предузећа која постављају различите захтеве у смислу квалитета воде. Зато је (поготово ако се ради о великим количинама) економски неприхватљиво и воду за индустријску потрошњу кондиционирати до захтеваних стандарда за пијаћу воду, ако тај степен квалитета није потребан. За илустрацију потрошње воде у технолошке сврхе може се навести податак из литературе да, на пример, фабрика црне металургије за 1 kg готовог производа просечно троши 150-165 l воде, затим да фабрика папира за производњу 1 kg финог папира просечно троши 700-1000 l воде, док фабрика аутомобила за производњу једног аутомобила потроши 150.000 l воде.

На слици 2.3 дати су примери потрошње воде за производњу различитих производа.

2.3. Потрошња воде за гашење пожара и за властите потребе водовода

2.3.1. Потрошња воде за гашење пожара

Код савремених система за гашење пожара предвиђа се његово гашење (а) спољном хидрантском мрежом и (б) унутрашњом хидрантском мрежом. Захтеви за хидрантске мреже за гашење пожара и случајеви у којима се за заштиту од пожара обавезно примењује хидрантска мрежа прописано је Правилником о хидрантској мрежи за гашење пожара. Овиме се Правилником, између осталог, прописују три основна параметра за гашење пожара хидрантском мрежом:

- 1) потребна количина воде (проток) за гашење пожара, која је у функцији специфичног пожарног оптерећења,
- 2) најмањи притисак код потребне пожарне количине воде,
- 3) најмање трајање за које је потребно обезбедити прописани проток и притисак.

Потребна количина воде за гашење пожара хидрантском мрежом мора се обезбедити независно од других потрошача који се снабдевају водом из истог извора.

а) Спољна хидрантска мрежа за гашење пожара изводи се ван грађевине и простора који се штити, а завршава надземним или подземним хидрантом. За заштиту грађевине и простора спољном хидрантском мрежом за гашење пожара потребно је обезбедити најмањи проток, зависно о специфичном пожарном оптерећењу објекта који се штити.

б) Унутрашња хидрантска мрежа за гашење пожара изводи се у објекту који се штити, а завршава бубњем са намотаним цевима сталног пресека и млазницом или ватрогасном цеви са спојницама и млазницом. На најнеповољнијем месту сваког пожарног сектора унутрашња хидрантска мрежа за гашење пожара мора имати одговарајући проток, зависно од специфичног пожарног оптерећења.

2.3.2. Потрошња воде за властите потребе водовода

Ова се потрошња односи на количину воде коју сваки систем за водоснабдевање троши на прање (испирање) и извођење (реконструкцију) водоводних објеката. У пракси не постоје одговарајући нормативи који прописују ове количине, већ се оне одређују искуствено. Оријентационо, ова потрошња износи 5-10% средње дневне потрошње.



Слика 2.4. Потрошња воде за комунално одржавање

2.3.3. Пројектне количине воде

Приликом хидрауличног димензионисања објеката за водоснабдевање разматрају се следеће количине воде:

- 1) највећа дневна потрошња, Q_{max} , за хидраулично димензионисање:
 - а) водозахвата,
 - б) пумпних станица (за све системе за водоснабдевање осим потисних),
 - в) уређаја за кондиционирање воде,
 - г) резервоара,
 - д) главних доводних цевовода који повезују ове објекте.
- 2) највећа сатна потрошња, q_{max} , за хидраулично димензионисање:
 - а) пумпних станица (код потисних система),
 - б) главних цевовода за снабдевање,
 - в) главних доводно-дистрибутибних цевовода,
 - г) разводних (дистрибутибних) мрежа.



Слика 2.5. Пример пројектне количине воде

3. Изворишта

Извориште је локацијски дефинисан део простора са којег се могу добити одређене количине воде намењене водоснабдевању. Избор изворишта је један од најсложенијих и најодговорнијих задатака код решавања водоснабдевања, будући да он у великој мери одређује карактер система за снабдевање водом, а тиме и његове инвестиционе и погонске трошкове. Извор је место одакле почиње неки водоток, река или поток, или настаје језеро, бара или мочвара. Извор у хидрологији, је отвор на површини земље из којег излази вода из подземља. Извор је дакле преломна тачка из које подземне воде излазе на површину.

Свако извориште треба обезбедити:

- а) потребне количине квалитетне воде, узимајући у обзир пораст броја становника, односно пораст потрошње воде,
- б) непрекидност водоснабдевања,
- в) санитарно - хигијенску сигурност квалитета воде,
- г) што мање инвестиционе и погонске трошкове добијања воде,
- д) уклапање у водно господарење ширег подручја.

Основни показатељи вредности изворишта су квалитет и количина воде



Слика 3.1. Пример атмосферског изворишта

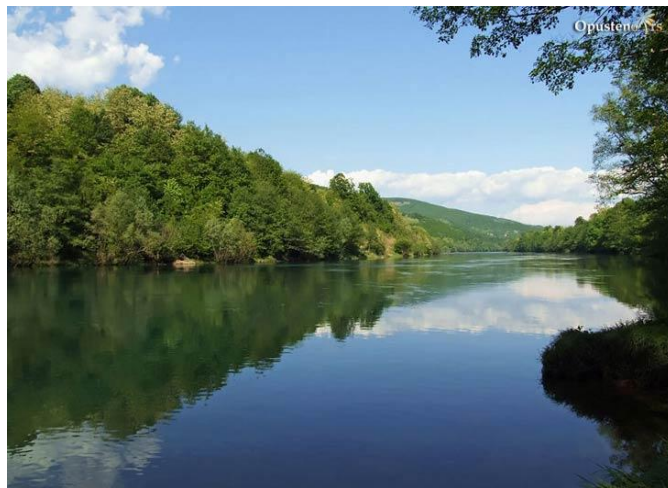
По природи порекла воде, уобичајена је подела изворишта на:

- 1) атмосферска изворишта,
- 2) површинска изворишта,
- 3) подземна изворишта.

1) Порекло воде атмосферских изворишта је од падавина, у првом реду кише, а у неким случајевима и снега. Атмосферска се изворишта користе у недостатку других изворишта, углавном за мања насеља.

2) У површинска изворишта убрајамо:

- а) реке,
- б) језера (природне акумулације), вештачке акумулације и канале,
- ц) мора (океане).



Слика 3.2. Пример површинског изворишта (река)

У основи, прве две групе ове врсте изворишта (реке, језера, вештачке акумулације и канале) карактеришу изражене осцилације квалитета воде која директно зависи од јачине падавина (кише и снега), површинског загађења које падавине сливањем понесу са собом и количине отпадних вода насеља и индустријских погона које се могу испустити у поједино површинско извориште. Уз ове опште особине површинских изворишта постоје и неке посебне. Тако је карактеристично својство речне воде њена релативно висока замућеност (нарочито у време великих вода), велики садржај органских материја и бактерија, а често је присутна и обојеност.

Воде језера, вештачких акумулација и канала имају по правилу низак садржај лебдећих честица, дакле ниску замућеност, изузев приобалних зона где се у одређеним метеоролошким приликама (ветар) замућеност појављује као последица таласања. Језера могу бити врло квалитетна изворишта, нарочито ако су планинског порекла.

Морска вода се због садржаја знатних количина минералних соли може у некондиционираном облику једино користити у технолошким процесима (нпр. за хлађење), за рекреативне потребе или за гашење пожара. У случају коришћења морске воде за снабдевање становништва потребно ју је подврћи врло скупим процесима кондиционирања (десалинизацију).

3) У подземна изворишта убрајамо:

- а) подземне воде са слободним водним лицем,
- б) подземне воде под притиском (артешке и субартешке воде),
- в) изворске воде.

Подземна изворишта се уопштено за водоснабдевање сматрају најприкладнијим, тако да их је због следећих разлога потребно преферирати:

1. водоноси су слојеви најчешће површински заштићени дебљим слојем од директних загађења.
2. издашне количине подземних вода су врло често природно филтриране (безбојне и без замућености), тј квалитета воде (физичко-хемијска и микробиолошка својства) је далеко боља у односу на површинске воде, тако да обично не захтевају вишеструке и скупе фазе кондиционирања,
3. подземне воде често избијају на површину, због чега захватне грађевине нису скупе,

4. локација налазишта подземних вода је најчешће повољна (висински и по удаљености) према потрошачу, тако да се вода углавном транспортује без већих погонских трошкова.

Једино су у погледу квалитета проблематичне подземне воде крашких извора у случају када оне представљају излаз понорница, које су у ствари површинска (лажна подземна) вода.

Независно о којој се врсти изворишта ради, потребно је код његовог коначног одабира у сврху водоснабдевања прикупити опсежне геолошке, хидрогеолошке и геомеханичке подлоге, како би се располагало са битним подацима о искористивости и условима изградње водозахватног објекта одређеног изворишта.

Код анализе изворишта свакако треба споменути и проблем који је данас, због сталног повећања загађења, све присутнији, а то је проблем заштите изворишта.

Заштита изворишта остварује се организовањем зона здравствене заштите изворишта на сливним подручјима. Те зоне представљају посебно издвојене просторе који обухватају водопријемник (који се користи као извориште) и део сливног подручја које га напаја. На таквом је простору прописан здравствени режим који гарантује заштиту изворишта од загађења и одржавање потребне квалитете воде.

4. Водозахвати

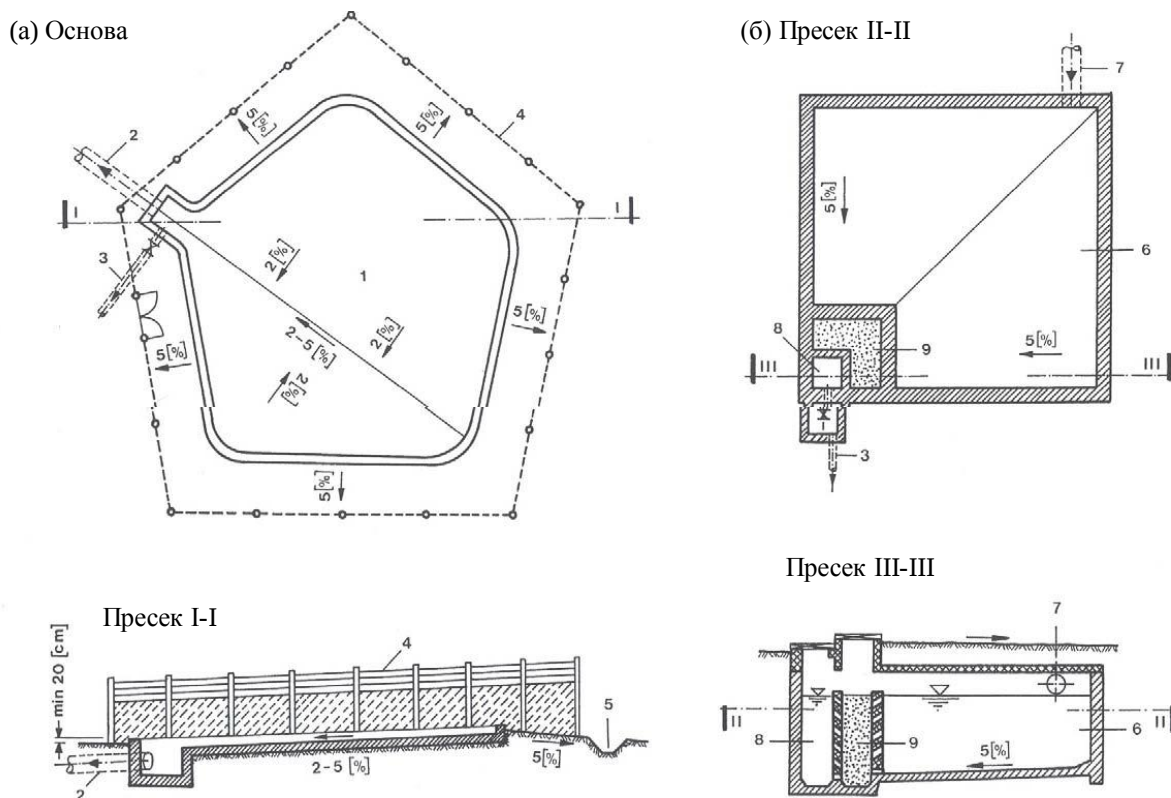
Водозахвати су грађевине којима се захвата вода из изворишта и одводи према потрошачима.

Врста водозахвата зависи од карактера изворишта, тако да разликујемо:

- 1) водозахвате атмосферских изворишта,
- 2) водозахвате површинских изворишта,
- 3) водозахвате подземних изворишта.

4.1. Водозахвати атмосферских изворишта

Примена ових водозахвата је најчешћа на кршким теренима и примерена за мања места. Основу водозахвата атмосферских изворишта чини захватна грађевина чија је површина обрађена да прихвати и усмери пале падавине према једној тачки (слика 4.1).



Слика 4.1. Водозахвати атмосферских извора

1 – сабирна површина; 2 – одвод прикупљене воде; 3 – муљни испуст; 4 – ограда; 5 – дренажи канал; 6 – сабирна комора (резервоари); 7 – довод сакупљене воде; 8 – захватна комора; 9 – пешчани филтер

Водозахват се најчешће састоји од захватне грађевине (сабирне површине) и цистерне за воду. Цистерном се решава варијација у потрошњи воде у односу на приспелу количину падавина.

Функционалне димензије ових грађевина начелно се одређују помоћу рачуна вероватноће за најдужу сушу и најмање годишње падавине у пројектном периоду (15-

30 година). Но, у пракси се приступ поједностављује претпостављајући да најдужи сушни период траје m [d] (обично $m = 90$ d), а податак о најмањој годишњој висини падавина, $H_{g,min}$ [mm], за усвојен пројектни период добија се обрадом података са најближе метеоролошке станице

Ако је N_k [становник] број становника на крају пројектног периода, q_{sp} [l/становник/d] специфична за потрошња воде и c [-] коефицијент отицања са површине прикупљања, онда је његова минимално потребна величина A_p [m²], дефинисана изразом:

$$A_p = \frac{365 N_k q_{sp}}{c H_{g,min}} \quad (4.1)$$

Запремина резервоара, V_c [m³], требало би да буде довољана за укупну потрошњу у време суше, односно m [d], тако да је дефинисан изразом:

$$V_c = 10^{-3} N_k q_{sp} m \quad (4.2)$$

Сабирне површине и резервоари су израђени од водонепропусног бетона. Такође је потребно сабирну површину заштити оградом од најмање 1,5 m, а цистерну затворити (из здравствених разлога) и уградити пешчани филтер испред коморе (за добијање филтриране воде). Код цистерне се изводи термичка изолација која се углавном попуњавањем дебљине слоја земљишта од око 0,5 m.

4.2. Водозахвати површинских изворишта

Водозахвате површинских изворишта можемо класификовати на:

- 1) водозахвате на рекама (у природном или у регулисаном стању),
- 2) водозахвате на (2а) језерима (природним акумулацијама), (2б) вештачким акумулацијама и (2в) каналима,
- 3) водозахвате на морима.

4.2.1. Водозахвати на рекама

Четири основне врсе речних водозахвата:

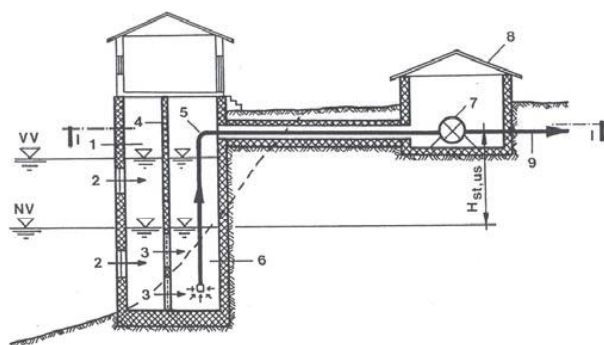
- 1) фиксни приобални водозахвати,
- 2) водозахвати у речном кориту,
- 3) пловни водозахвати,
- 4) покретни приобални водозахвати.

У пракси су најчешћислучајеви прве две врсте водозахвата.

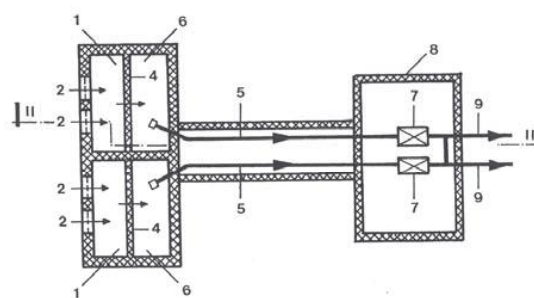
1) **Фиксни приобални водозахвати**, слика 4.2, лоцирају се на обали и захватају воду непосредно из речногог корита. Пумпе, помоћу којих се вода транспортује до уређаја за кондиционирање воде, могу бити смештене у посебној згради црпне станице, као што је приказано на слици 4.2 (а), или у самом водозахвату, слика 4.2. (б), (в), и (г).

Основни део ове врсте водозахвата је захватна комора, обично армирано-бетноска, чији предњи зид залази непосредно у речно корито. У захватну комору вода улази кроз отворе са решеткама, смештеним у предњем зиду, и захвата црпљењем кроз усисну цев. Решетке се уграђују ради спречавања уласка у захватну комору релативно крупнијих предмета које доноси река.

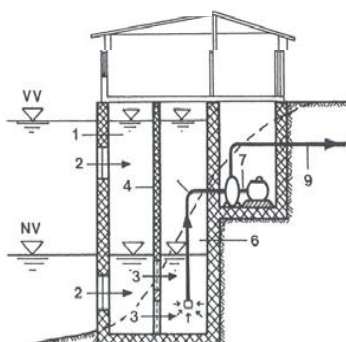
(а) Пресек II-II



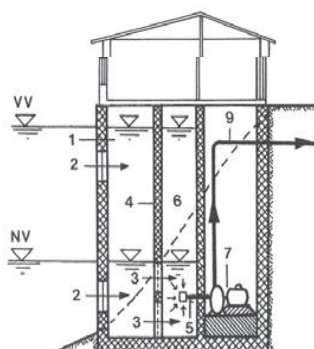
Пресек I-I



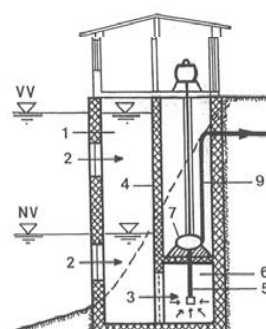
(б)



(в)



(г)



Слика 4.2. Шеме фиксних приобалних водозахвата

(а) са пумпама у посебној згради; (б), (в) и (г) са пумпама у водозахвату

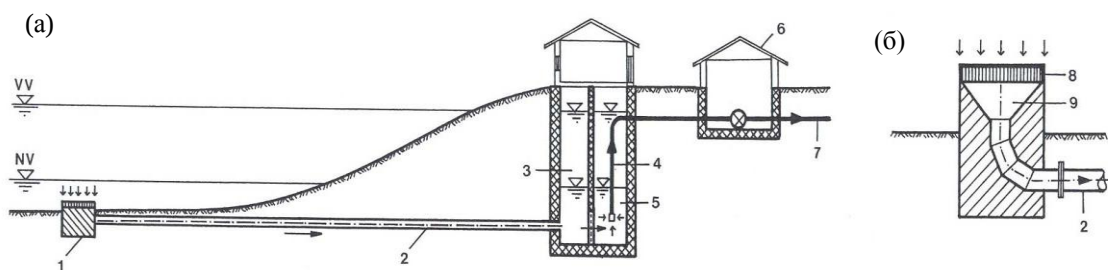
1 - захватна комора; 2 - улазни отвори са решеткама; 3 - мрежа; 4 - преграда; 5 - усисна цев; 6 - пумпни резервоар; 7 - пумпа; 8 - зграда црпне станице; 9 - потисни цевовод;

NV - ниски водостај; VV - високи водостај; $H_{st,us}$ - усисна статичка висина дизања

Тиме се истовремено обавља и претходно грубо механичко чишћење воде. Такође, ради задржавања нечистоћа која се налази у води (на пример планктони, водно биље), односно због заштите усисних цеви и црпних агрегата, у прегради која дели захватну комору од пумпног резервоара (пумпног базена) додатно се уграђују мреже. Фиксни приобални водозахвати са пумпама у самом водозахвату, слика 4.2(б), (в), и (г), примењују се у случају повољних геомеханичких прилика. Зграда пумпне станице може бити прислоњена уз водозахват (слика 4.2(б)), или са њима конструкцијски чинити целину (слика 4.2(в) и (г)). Да би се осигурала непрекидно снабдевање водом потребне су барем две захватне коморе са по два црпна базена са пумпама. Код решења водозахвата приказаних на слици 4.2(в) и (г) потребно је за смештај пумпи извести водонепропусне коморе. Примена центрифигалних пумпи (слика 4.2(г)), омогућује знатно смањење запремине објекта.

2) **Водозахвати у речном кориту** (слика 4.3) окарактерисани су лоцирањем захватне грађевине (водозахватне главе) у речном кориту. Ова врста водозахвата најчешће се примењује код релативно благо нагнутих обала, где се потребне дубине за хватање воде налазе на већој удаљености од обале.

У кориту реке, на одабраном месту захватања воде, поставља се водозахватна глава на коју се (до сабирне коморе) наставља гравитациони потисни цевовод. Целокупна конструкција и опрема водозахвата ове врсте је у суштини истоветна фиксном приобалном водозахвату са слике 4.2, с том разликом што овде вода не улази кроз отворе него гравитационим цевоводом. Ради непрекидности водоснабдевања потребна су најмање два гравитациона цевовода са по две пумпе.

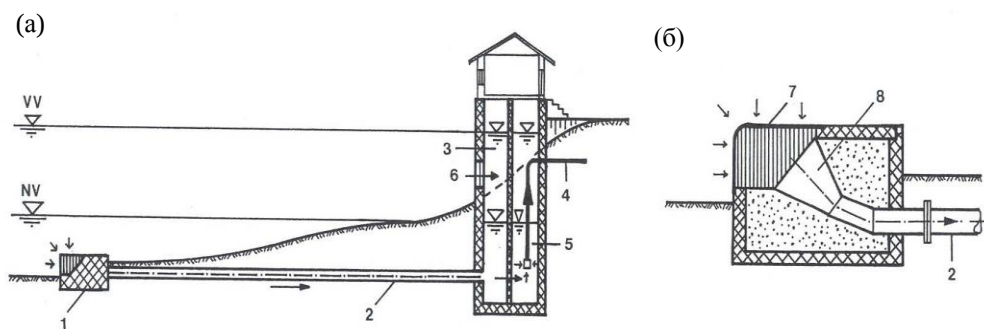


Слика 4.3. Шема водозахвата у речном кориту

(а) водозахват; (б) детаљ водозахватне бетонске главе

1 - водозахватне глава; 2 - гравитациони потисни цевовод; 3 - сабирна комора; 4 - усисна цев;
5 - пумпни резервоар; 6 - црпна станица; 7 - потисни цевовод; 8 - решетка; 9 - улазни дифузор

У одређеним условима могуће је код високих водостаја воду захватати и кроз отворе предвиђене у предњем зиду сабирне коморе (слика 4.4), дакле, као и код фиксног приобалног водозахвата.



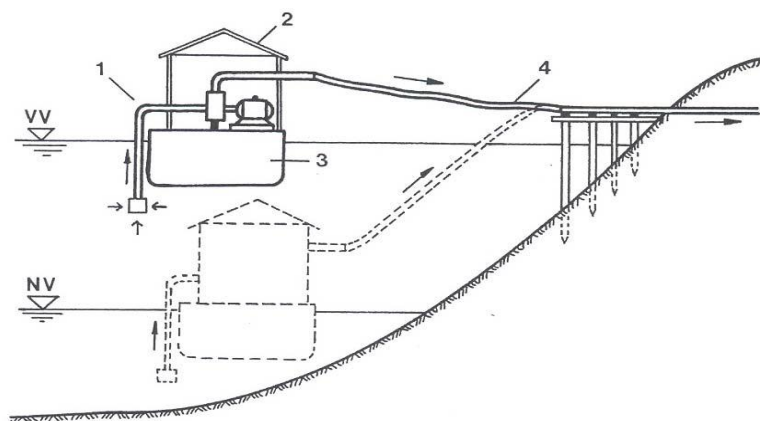
Слика 4.4. Шема комбинованог водозахвата у речном кориту

(а) водозахват; (б) детаљ армиранобетонске водозахватне главе

1 - водозахватне глава; 2 - гравитациони потисни цевовод; 3 - сабирна комора; 4 - усисна цев;
5 - пумпни резервоар; 6 - улазни отвор са решетком; 7 - решетка; 8 - улазни дифузор

3) **Пловни водозахвати**, слика 4.5, су заправо пловне пумпне станице које се састоје од пумпи постављених на баржу или понтон, тако да се висински положај пумпи мења са осцилацијама водостаја, при чему усисна висина остаје стална, док се потисна висина мења променом водостаја (нижи водостај - већа потисна висина, и обрнуто). Ове водозахвате треба сместити у речним заливима где су елиминисана могућа оштећења водозахвата проузрокована ударом леда или балвана које доноси вода.

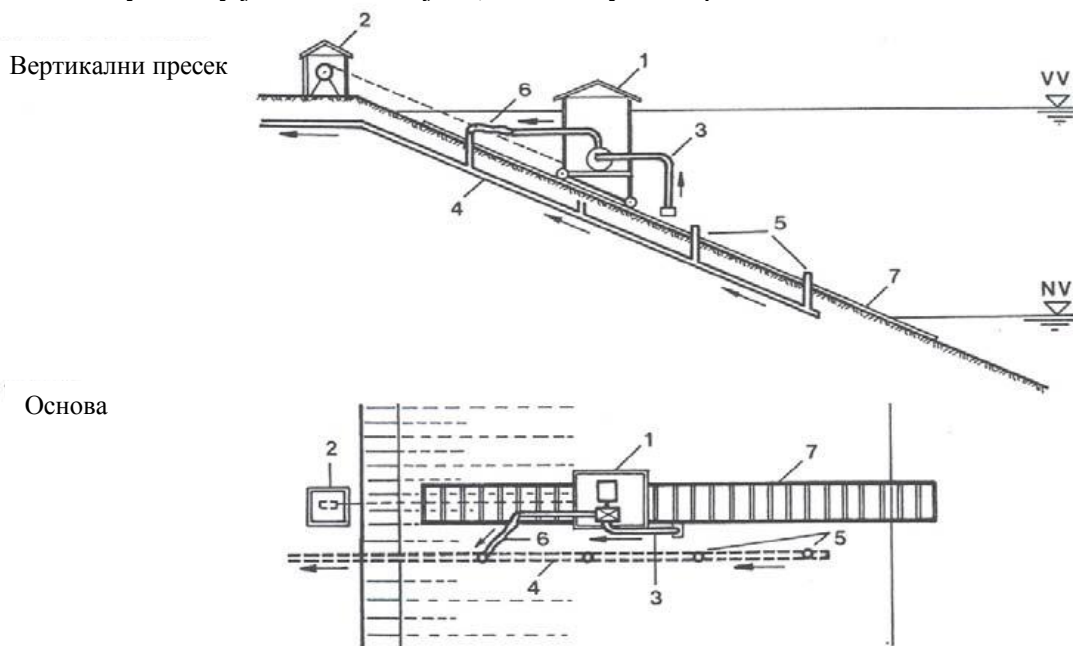
Ради задржавања пловне црпне станице на једном месту потребно је њено осигурање сидрима.



Слика 4.5. Шема пловног водозахвата

1 - Усисна цев; 2 - црпна станица; 3 - баржа или понтон; 4 - еластични потисни цевовод

4) **Приобални водозахвати** приказани су на слици 4.6. Пумпе су смештене на колицима или вагону који се у границама промене водостаја крећу по колосеку положеном вертикално на речни ток. Вода се захвата пумпама из реке кроз крајеве усисних цеви заштићених ситима. Уздуж колосека се полаже фиксни потисни цевовод са вертикалним одвојцима на које се прикључује еластични потисни цевовод. При потискивању воде у један од одвојака, остали су затворени.



Слика 4.6. Шема покретног приобалног водозахвата

1 - покретна црпна станица; 2 - витло; 3 - усисна цев; 4 - фиксни потисни цевовод; 5 - вертикални одвојци; 6 - еластични потисни цевовод; 7 - колосек

4.2.2. Водозахвати на језерима, вештачким акумулацијама и каналима

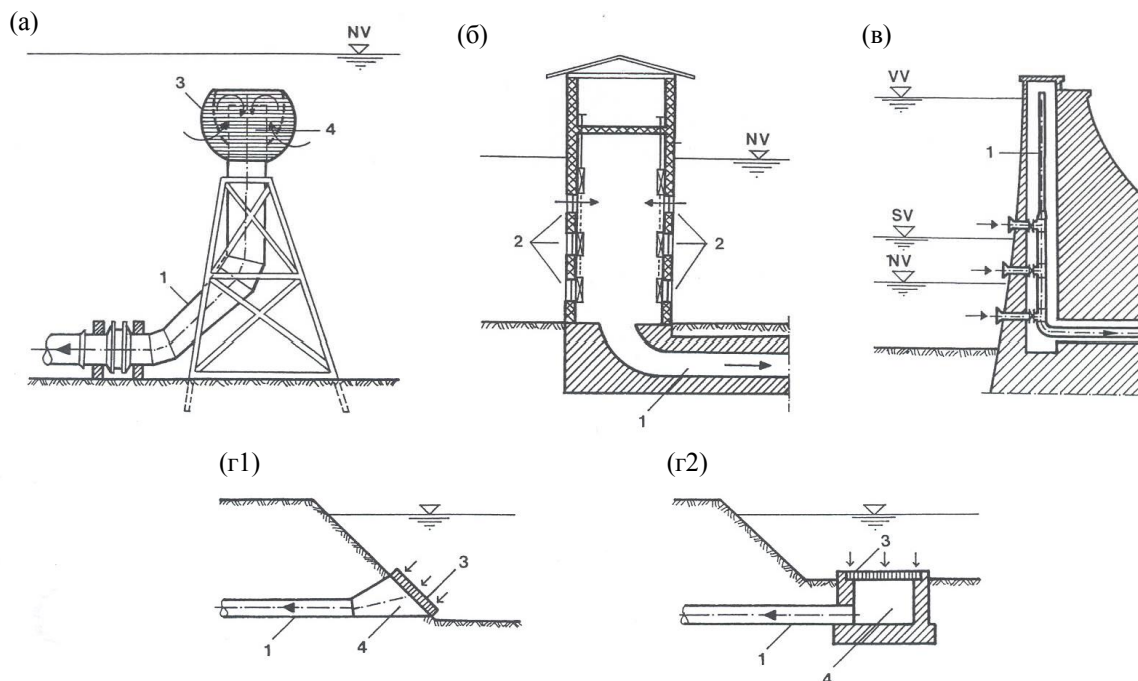
1) **Водозахвати на језерима** се у односу на речне водозахвате углавном разликују по решењу захватне грађевине. За захватање мањих количина је на (слици 4.7 (а)) приказана водозахватна глава изведена од челичних или пластичних водоводних цеви, заштићена решетком и издигнута од дна 5-6 m.

Код захватања већих количина воде могуће је као захватну грађевину користити водозахватни торањ, (слика 4.7(б)), где су улазни отвори за воду постављени на неколико висина како би се у свако доба године могла захватити најквалитетнија вода. Оваква врста захватне грађевине користи се и код акумулација.

2) **Водозахвати на акумулацијама** такође могу бити засновани на неколико принципа захватања воде, од којих су најчешће приказани на слици 4.7 (б) и (в). Овај принцип захватања воде односи се на случај када је захватна грађевина изведена у склопу бетонске преграде (броне).

3) **Водозахвати на каналима** су по конструкционим особинама већином аналогни са речним водозахватима.

Захватне грађевине су најчешће обалног типа, (слика 4.7(д₁)), или смештене на дну канала, (слика 4.7(д₂)).



Слика 4.7. Шема захватних грађевина

(а) на језеру; (б) на језеру и акумулацији; (в) на акумулацији; (г) на каналу

1 - гравитациони потисни или усисни цевовод; 2 - улазни отвори са решеткама; 3 - решетка;
4 - улазни дифузор; NV - ниски водостај; SV - средњи водостај; VV - високи водостај

4.2.3. Водозахвати на морима

Приликом избора начина захватања морске воде неопходно је сагледати специфичности морског приобаља:

1. Утицај деловања морских таласа, морских струја и промена морских нивоа,
2. Геолошке и геомеханичке прилике приобалног појаса и евентуални донос наноса,
3. Присуство акватичне флоре и фауне у морској води (обрастање),
4. Корозивно деловање морске воде.

Захват морске воде може бити смештен на:

- а) отвореној обали,
- б) природно заштићеном заливу,
- в) унутар акваторијума заштићеног грађевинама типа лукобран.

У погледу безбедности конструкције водозахвата (динамичко деловање морских таласа и струја), највеће погодности пружа смештај морских водозахвата у акваторијуму. Међутим, ако се ради о лучком акваторијуму, то су по правилу и зоне највеће концентрације загађења, што може бити елиминаторно у смислу коришћења такве локације за водоснабдевање. Без обзира која се врста и место морског водозахвата бира, добро познавање технологије извођења поморских радова и понашања објекта у условима експлоатације (с обзиром на специфични карактер морске средине), остају темељни параметри успешног захватања морске воде.

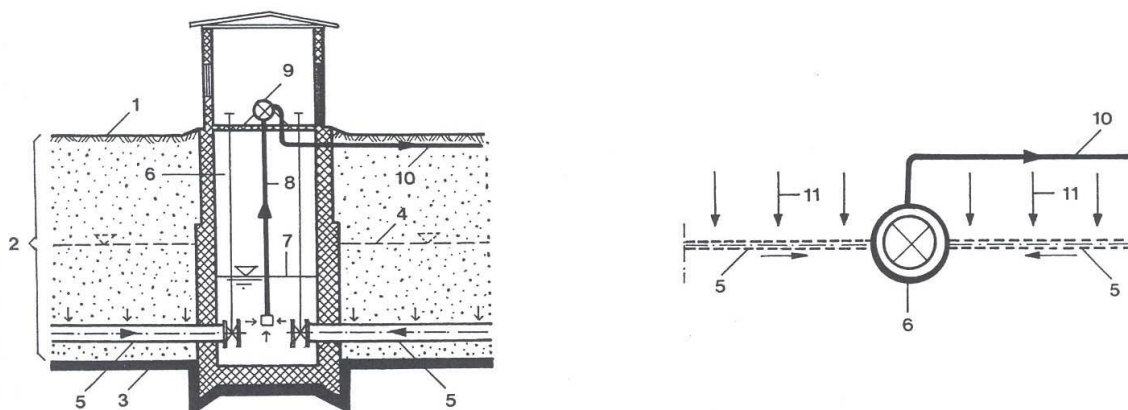
4.2.4. Водозахвати подземних изворишта

Врста грађевине за захватање подземних вода првенствено зависи о дубини њиховог распрострања, дубини (тока) подземне воде и његовој издашности. У складу са овим показатељима, водозахвати подземних изворишта се могу сврстати у три групе:

- 1) хоризонтални водозахвати,
- 2) вертикални водозахвати: копани, пресовањем и забијени зденци,
- 3) грађевине за каптажу извора.

4.2.4.1. Хоризонтални водозахвати

Ова врста водозахвата (слика 4.8) користи се када је ток подземне воде са слободном површином релативно плитак (5-7 m испод површине терена).



Слика 4.8. Дефиницијска шема хоризонталног водозахвата

1 - површина терена; 2 - водоносни слој; 3 - водонепропусни слој; 4 - статички ниво подземне воде; 5 - хоризонтални водозахват; 6 - сабирни бунар; 7 - ниво воде у сабирном бунару; 8 - усисна цев; 9 - пумпа; 10 - потисни цевовод; 11 - смер струјања подземне воде

Хоризонтални водозахвати се првенствено изводе као дренажне цеви и водозахватне галерије, положене у доњој зони водоносног слоја (обично непосредно на подину) и најчешће вертикално на смер струјања подземне воде. У цеви и галерије вода дотиче гравитацијски и отиче са слободним водним лицем у сабирни бунар, одакле се даље потискује пумпама. Око дренажних цеви и водозахватних галерија уграђује се пешчани филтер. Његов је задатак да спречи уношење (у цеви и галерије) чврстих честица из водоносног слоја.

Конструкције хоризонталних водозахвата можемо класификовати на:

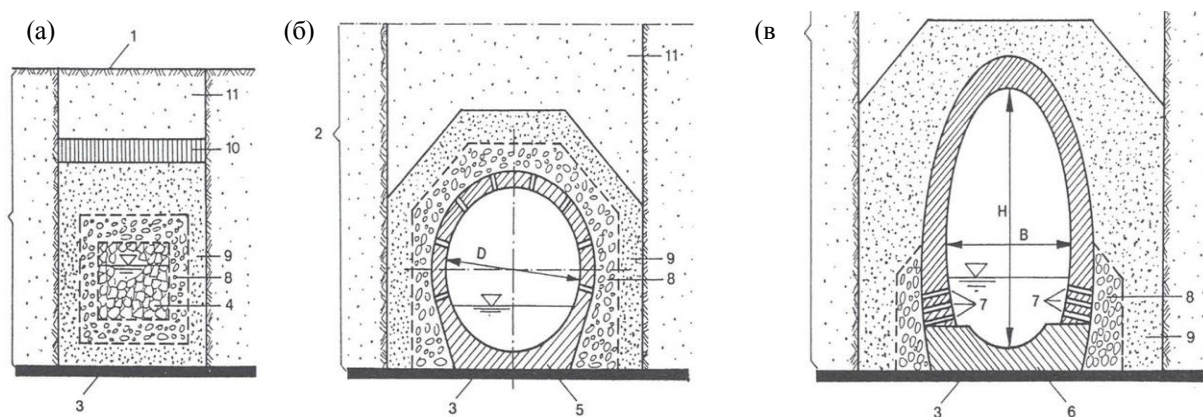
- 1) рововске водозахвате ,
- 2) цевне водозахвате ,
- 3) водозахватне галерије или галеријске водозахвате .

1) **Рововски водозахвати**, (слика 4.9(а)), су хоризонтални водозахвати са каменом испуном, филтерским пешчано-шљунчаним засипом и непропусним глиненим слојем (екраном), који има функцију заштите водозавата од загађења са површине терена.

2) **Цевни водозахвати**, (слика 4.9 (б)), се најчешће изводе од керамичких, бетонских, армирано-бетонских или пластичних цеви, перфорираних на горњој половини. Цеви су кружног или јајоликог профила, са филтерским пешчано-шљунчаним засипом и глиненим екраном.

3) **Водозахватне галерије** се обично изводе од бетона и армираног бетона. Служе за хватање релативно већих количина воде. Углавном су проходне, кружног или јајоликог профила. Стога су минималне димензије јајоликог профила, $B/H = 700/1600$ mm, а кружних, $D = 1000$ mm.

На слици 4.9 (в) приказан је попречни пресек проходне, јајолике, армирано-бетонске галерије са бочним отворима у зидовима.

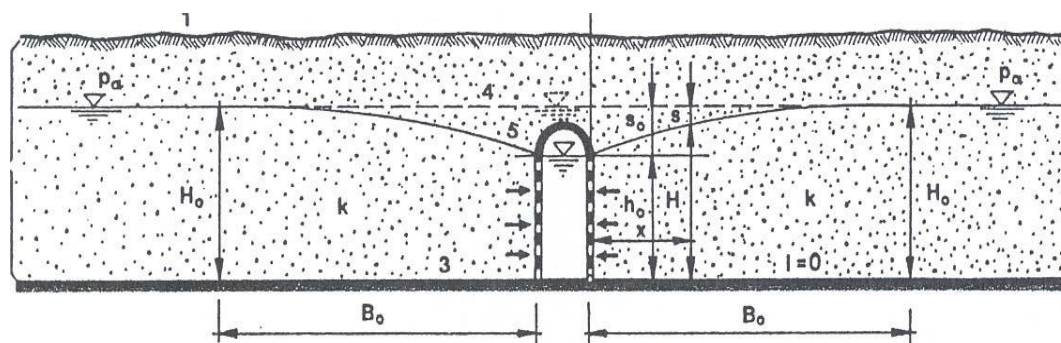


Слика 4.9. Шеме хоризонталног водозавата

(а) рововски водозахват; (б) цевни водозахват; (в) водозахватна галерија

1 - површина терена; 2 - водоносни слој; 3 - водонепропусни слој; 4 - камена испуна; 5 - перфорирана цев; 6 - галерија; 7 - бочни отвори; 8 - шљунчани засип; 9 - пјешчани засип; 10 - непропусни глинени слој; 11 - материјал од ископа

Прорачун дотока у хоризонталне водозахвате (галерије) положене на хоризонталном водонепропусном слоју, односно у доњој зони тока подземне воде са слободним водним лицем, слика 4.10, заснива се на Дупуитовој поставци и анализи устаљеног струјања када је количина црпљења у равнотежи са дотоком.



Слика 4.10. Струјање подземне воде према галерији

1 - површина терена; 2 - водоносни слој; 3 - водонепропусни слој; 4 - статички ниво подземне воде; 5 - депресијска плоча (динамички ниво подземне воде)

Тада је доток, $Q [m^3/s]$, у хоризонталну галерију правоугаоног попречног профила за случај њеног двостраног прихрањивања дат изразом:

$$Q = Q_{dvo} = kL_g \frac{H_o^2 - h_o^2}{B_o} \quad (4.3)$$

а за случај једностраног прихрањивања изразом:

$$Q = Q_{dvo} = kL_g \frac{H_o^2 - h_o^2}{2B_o} \quad (4.4)$$

где су:

- k - коефицијент процеђивања, $[m/s]$,
- L_g - дужина галерије, $[m]$,
- H_o - дубина (тока) подземне воде, $[m]$,
- h_o - дубина воде у галеријском водозахвату, $[m]$,
- B_o - ширина утицаја галерије, $[m]$.

4.2.4.2. Вертикални водозахвати

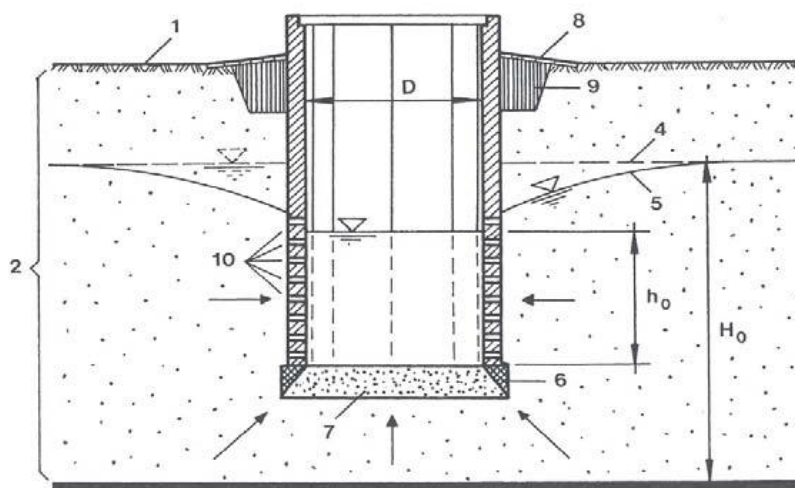
Ови се водозахвати изводе као:

- 1) копани бунари,
- 2) бушени бунари,
- 3) забијени бунари.

За јавне водоводе најраспрострајенија је примена бушених бунара, а у неким случајевима и копаних бунара. Зато ће се овде анализирати ове две групе бунара. Забијени бунари су примерени за индивидуално водоснабдевање.

1) **Копани бунари** се обично користе ради добијања подземне воде са слободним водним лицем која се налази на дубинама до 20 (изузетно до 40) $[m]$.

Само у ретким случајевима ови се бунари користе за добијање артешких и субартешких вода под мањим притиском. Копани бунари се претежно изводе као непотпуни, тако да је доток кроз дно и кроз отворе у зидовима бунара, (слика 4.11).

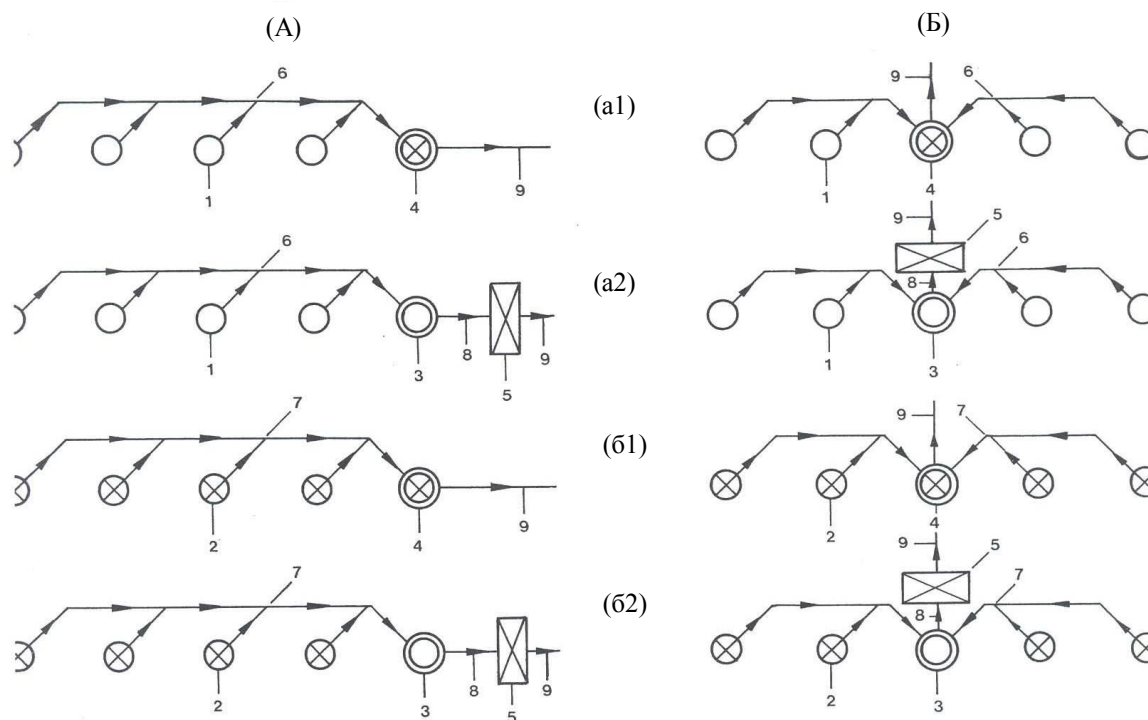


Слика 4.11. Шема непотпуног копаног бунара

- 1 - површина терена; 2 - водоносни слој; 3 - водонепропусни слој; 4 - статички ниво подземне воде;
- 5 - динамички ниво подземне воде; 6 - нож; 7 - нешчано-шљунчани филтар; 8 - поплочење; 9 - глинена заптивка; 10 - отвори

Унутрашњи пречник бунара, D , углавном не прелази 3-4 m , док дубина воде у бунару, h_0 треба (ради њеног захватања) да износи најмање 1 (боље 2) m . Код мањих дубина подземне воде изводе се и потпуни бунари.

Пречник доводног цевовода се идући према сабирном извору сукцесивно повећава. Ради самочишћења профила, сифонски се цевоводи полажу са незнатним успоном према сабирном извору, а гравитациони и потисни са незнатним падом. Захватање приспеле воде остварује се по правилу из сабирног бунара, који се често користи и као објекат у којем су смештене пумпе за даљње потискивање воде, слика 4.12. При томе положај сабирног бунара и црпне станице може бити ивично (на крају групе бунара), слика 4.12(А) или централно, слика 4.12(Б).



Слика 4.12. Ситуацијска шема спојених копаних бунара

(А) ивични положај сабирног бунара и црпне станице; (Б) централни положај сабирног бунара и црпне станице

(а) спајање бунара помоћу сифонских или гравитационих цевовода под притиском (б) спајање бунара помоћу потисних цевовода и подводних пумпи (а1), (б1) са пумпом у сабирном извору; (а2), (б2) са засебном црпном станицом

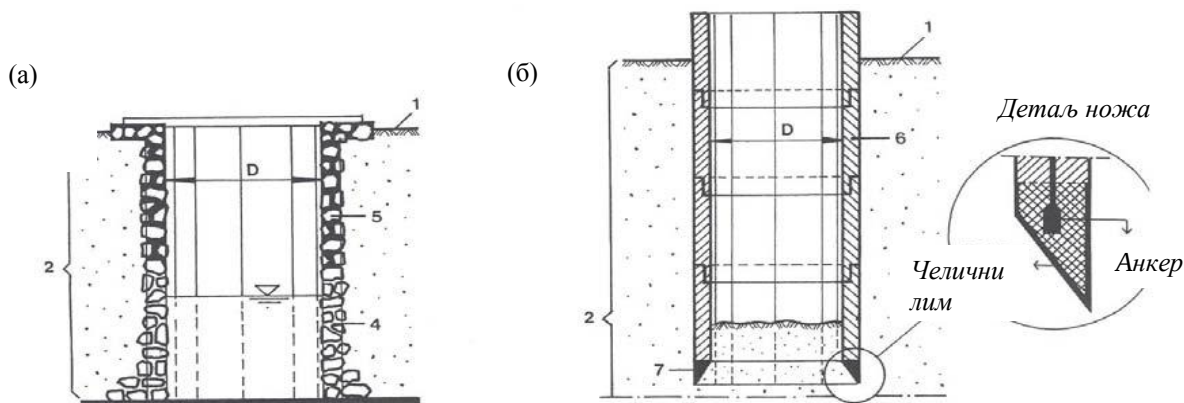
1 - копани бунар; 2 - копани бунар с подводном пумпом; 3 - сабирни бунар; 4 - сабирни бунар са пумпом; 5 - засебна црпна станица; 6 - сифонски или гравитациони цевовод под притиском; 7 - доводни потисни цевовод; 8 - усисна цев; 9 - одводни потисни цевовод

Копани бунари се могу изводити:

- а) на лицу места,
- б) монтажном.

а) Израда копаних бунара на лицу места је примерена ако подземна вода није дубока, ако код ископа нема обрушавања материјала и у случају већих пречника бунара. Након ископа зидање се врши месним материјалом (ломљеним каменом или опеком), у горњем делу у малтеру, а у доњем делу, који прима воду, у суво, слика 4.13 (а). Копани бунари се на лицу места могу изводити и од калупног бетона и армираног бетона.

б) Израда копаних бунара монтажно представља савремени начин градње ових бунара. Састоји се у спуштању готових (монтажних) бетонских или армирано-бетонских прстенова, најчешће поступком поткопавања.



Слика 4.13. Израда копаних бунара

(а) на лицу места; (б) монтажно

1 - површина терена; 2 - водоносни слој; 3 - водонепропусни слој; 4 - зидање у суво; 5 - зидање у малтеру; 6 - бетонски прстен; 7 - нож

Овај поступак се састоји у томе да се на месту израде бунара постави први (најдоњи) прстен, који на доњем ободу има изведен ливени, челични или армирано-бетонски нож, чија је функција лакше продирање прстенова у тло. Затим се бунар по целом унутрашњем ободу лагано и равномерно поткопава тако да постављени прстен полагано тоне услед сопствене тежине. Када први прстен буде потпуно утиснут у тло, над њим се поставља следећи, поступак се понавља све док се не постигне пројектована дубина. Ако приликом израде копаног бунара силе трења надвладају оптерећење сопственом тежином прстенова, поставља се додатно оптерећење (на пример, врећама цемента, челичним профилима и слично). У прстеновима који су у зони тока подземне воде изводе се отвори за улазак воде у бунар. Дужина прстенова је обично 1 m. Разлози постављања филтера и глинене заптивке истоветни су онима код хоризонталних водозавхвата.

2) **Бушени бунари** се примењују за добијање подземне воде на већим дубинама распрострањања њеног тока, од десетак до неколико стотина метара. Ова се врста бунара може користити за добијање подземних вода са слободним водним лицем и под притиском (артешких и субартешких вода). У оба случаја бунари могу бити изведени као потпуни и непотпуни.

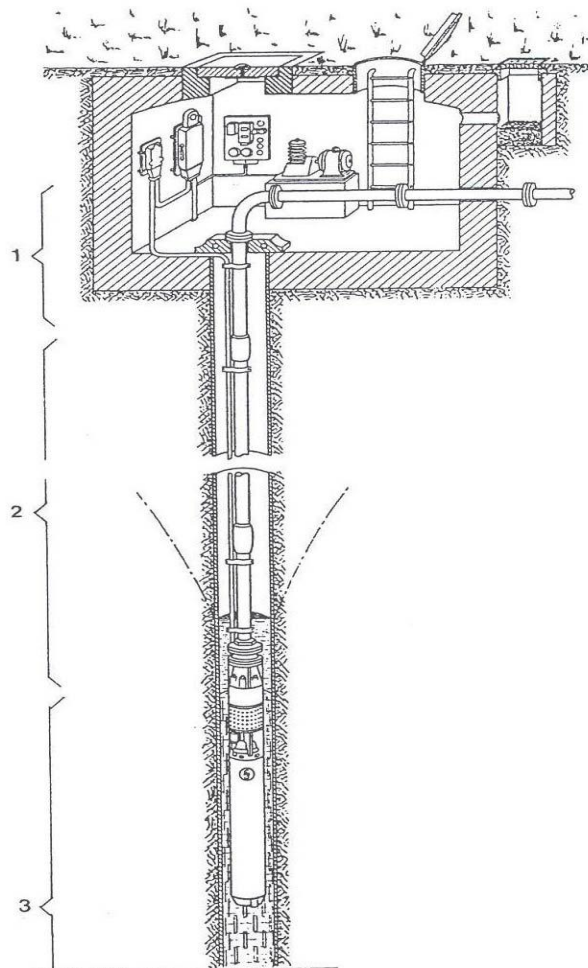


Слика 4.14. Пример бушења бунара

Бушени бунари се изводе бушењем у тлу вертикалних цилиндричних бушотина заштићених (најчешће) челичним цевима које аутоматски формирају бунар. Пречник избушеног бунара је реда величине 0,3 до 1,0 m.

Основни делови бушеног бунара су:

- а) глава бунара,
- б) тело бунара,
- в) филтер.



Слика 4.15. Основни делови бушеног бунара

1 - глава; 2 - тело; 3 – филтар

а) **Глава бунара** у конструкционом погледу представља везу ушћа бушотине са телом бунара при излазу на површину тла. Њен је задатак темељна заштита бунара од продирања површинских нечистоћа у бунар. У ширем смислу под главом бунара подразумевамо и остале елементе који служе за мерење и контролу (нивоа воде, притиска, температуре, узимање узорака) као и за одвод воде (потисне цеви, пумпни агрегати).

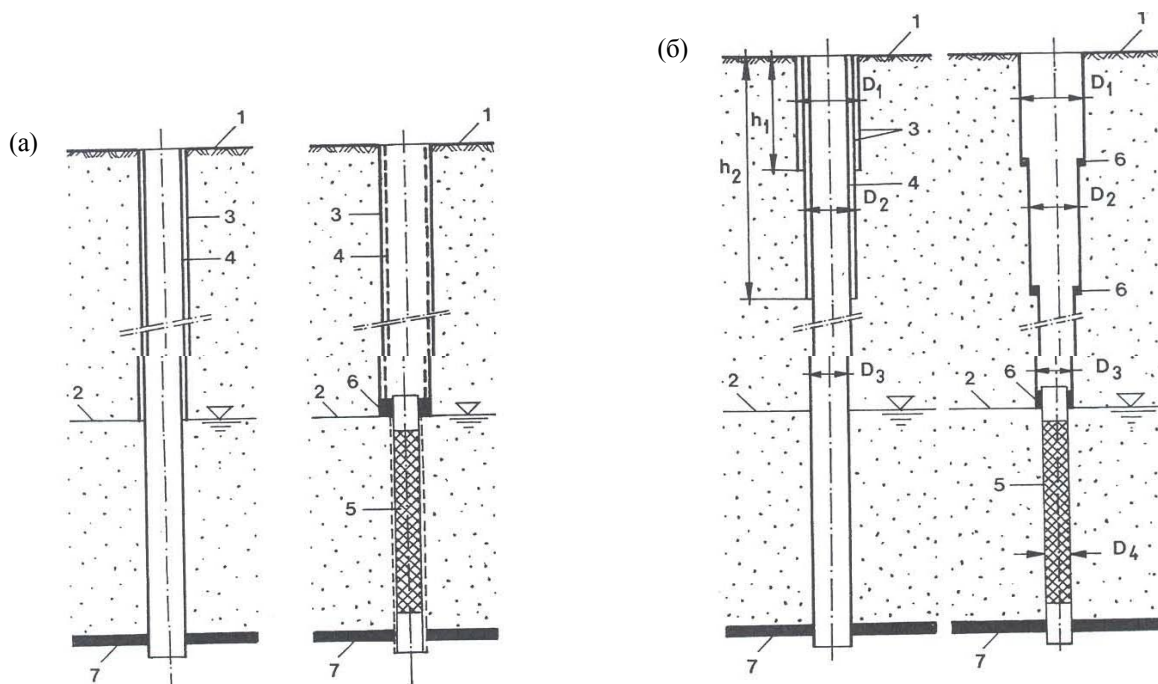
б) **Тело бунара** се састоји од једног или више концентричних низова цеви, чији је главна задатак да омогуће довод воде на површину терена. Додатно, тело бунара пружа ефикасну заштиту против обрушавања зидова бушотине, штити усисну цев и кућиште подводне пумпе и спречава губитак воде у друге (суве) слојеве на њеном путу до површине.

в) **Филтер** је део бунара који има задатак да прихвати подземну воду из водоносног слоја и истовремено онемогући уношење чврстих честица тла у бунар. То је најважнији и најосетљивији део бунара о којем битно зависи издашност (капацитет) и погонска трајност бунара.

У конструкционом погледу филтере можемо поделити на:

- Мрежасте филтере, који се састоје од перфориране цеви омотане специјалним месинганим, бакарним, (нерђајућим) челичним или пластичним мрежама. Перфорације су кружне, овалне или четвртасте, а густина мреже је у функцији доминантног пречника чврстих честица водоносног слоја,
- Перфориране филтере, који се састоје од перфорираних челичних цеви. Зависно о конструкцији перфорације постоји више врста ових филтера,
- Шљунчане филтере, који се састоје од перфориран цеви око које је постављен шљунчани омотач одговарајуће гранулације, изведен у једном или више слојева. Однос средњег пречника зрна шљунка и материјала водоносног слоја треба износити 5 до 10. Овај се однос примењује и за суседне слојеве шљунчаног омотача, чија дебелина не сме бити мања од 50 mm.

Приликом одабира конструкције филтера треба водити рачуна да хидраулички отпор филтера буде што мањи. Начини извођења бушених бунара, слика 4.16, понајвише зависе од дубине простирања подземне воде, карактера геолошких слојева кроз које пролази бушотина и од потребне дубине бунара.



Слика 4.16. Шема извођења бушених бунара

(а) са једном заштитном цевом; (б) са низом заштитних цеви

(а1) након спуштања заштитне и радне цеви; (а2) након уградње филтера и извлачења радне цеви
(б1) након спуштања низа заштитних цеви; (б2) након уградње филтера и одсецања заштитних цеви
1 - површина терена; 2 - статички ниво подземне воде; 3 - заштитна цев; 4 - радна цев; 5 - филтар; 6 - заптивка; 7 - водонепропусни слој.

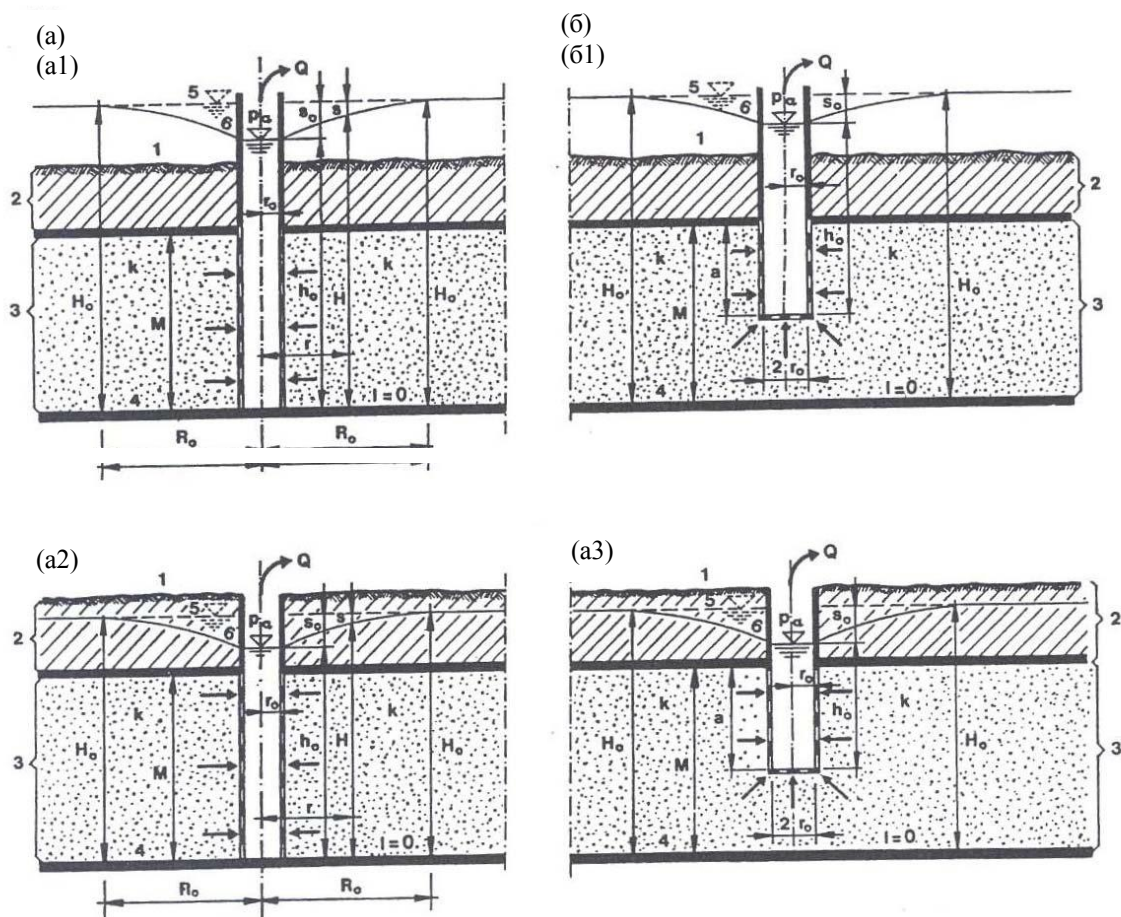
(б) Доток, Q_{no} [m^3/s], према непотпуном обичном бунару, слика 4.17 (б), не може бити добијен на основу Дупуитове поставке, јер постоји струјање и са изразитим вертикалним компонентама брзине, које није занемарљиво. Ради тога је извод формула за доток према овоме типу бунара врло сложен (може се употребити теорија потенцијалног струјања), тако да се за практичне потребе користи готовим формулама као што је формула Гиринског:

$$Q = Q_{no} = \pi k \frac{(2h_o - s_o)s_o}{\ln \frac{2h_o - s_o}{1.2r_o}} \quad (4.6)$$

где је S_o [m] снижење нивоа подземне воде у бунару.

Формула важи ако је $h_o < H_o/3$.

Доток воде према артешком или субартешком бунару такође се посматра као доток према (а) потпуном артершком или субартешком бунару и према (б) непотпуном артешком или субартешком бунару (слике 4.18).



Слика 4.18. Струјање подземне воде према артешком и субартешком бунару

(а) потпуни бунар; (б) непотпуни бунар

(а₁) и (б₁) артешки бунар; (а₂) и (б₂) субартешки бунар

1 - површина терена; 2 - водонепропусни кровински слој; 3 - водоносни слој; 4 - водонепропусни слој;
5 - статички ниво подземне воде; 6 - депресијска плоча

Наиме, са слике 4.18 је очито да је за хидраулички прорачун артешког или субартешког бунара сасвим неважно да ли је ниво подземне воде у бунару изнад површине терена (артешки бунар) или унутар висине кровинског водонепропусног слоја (субартешки бунар). Зато ће се наредне анализе односити на оба ова типа бунара.

(а) Доток, Q_{pas} [m^3/s], према потпуном артешком, слика 4.18(а₁), или потпуном субартешком бунару, слика 4.18(а₂), аналогно као и код потпуног обичног бунара, дат је изразом:

$$Q = Q_{pas} = 2\pi k M \frac{H_o - h_o}{\ln \frac{R_o}{r_o}} \quad (4.7)$$

где је M [m] дебљина слоја подземне воде под притиском, а H_o [m] висина која одговара притиску подземне воде у водоносном слоју.

(б) Доток, Q_{nas} [m^3/s], према непотпуном артешком, слика 4.18(б₁), или непотпуном субартешком бунару, слика 4.18(б₂), такође не може бити добијен на основу Дупуитове поставке, тако да се за прорачун таковог бунара може користити формула Бабушкина:

$$Q = Q_{nas} = 2 \pi k \frac{a s_o}{\ln \frac{1.26}{r_o}} \quad (4.8)$$

где је a [m] дубина уроњења прорупчаног дела бунара у водоносном слоју.

Формула важи ако је $a < M/3$.

4.2.4.3. Грађевине за каптажу извора

Извори представљају природно излажење подземних вода на површину терена. Због (по правилу) високе здравствене квалитете изворске воде, као и релативно једноставног начина њеног захватања, настоји се увек за водоснабдевање, ако је икако могуће, користити изворску воду.

Постоје две врсте извора:

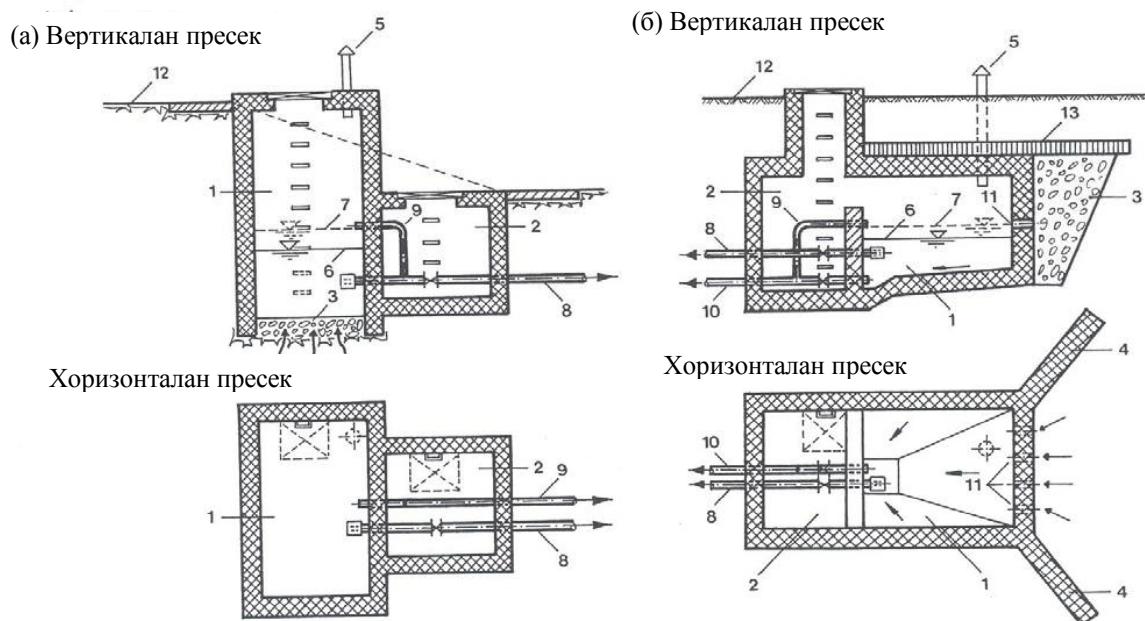
- 1) улазни извори,
- 2) силазни извори.

1) **Улазни извори** се формирају пробијањем у површинске слојеве тла подземних вода под притиском, а као резултат нарушавања чврстоће водонепропусних кровинских слојева.

2) **Силазни извори** настају као резултат исклињавања на површину тла водоносних слојева који леже на водонепропусној подлози и садрже воду без притиска.

Грађевине за захватање изворске воде називају се каптаже, а процес сакупљања изворске воде назива се каптирање извора. Ове грађевине се различито изводе, у зависности од врсте извора.

а) **Каптирања улазних извора**, слика 4.19(а), се спроводи каптажном грађевином у виду водне коморе (резервоара) која се изводи над местом најјачег извирања воде. Ако вода извире кроз испуцали стенски површински слој, тада тај слој треба очистити и у случају изношења чврстих честица уградити филтер. Филтер треба извести и ако вода извире кроз површински песковито-шљунчани слој.



Слика 4.20. Шема каптирања

(а) узлазног извора; (б) силазног извора

1 - водна комора; 2 - засунска комора; 3 - филтар; 4 - коса крила; 5 - вентилационе цеви; 6 - нормални (радни) ниво воде; 7 - највиши дозвољени ниво воде; 8 - одводни цевовод; 9 - преливна цев; 10 - испусни-преливна цев; 11 - отвори; 12 - површина терена; 13 - непропусни глинени слој

б) **Каптирања силазних извора** такође се остварује посредством водне коморе смештене на месту најјачег извирања воде. У већини случајева, ради што потпунијег захватања воде, изводе се грађевине у облику брана или успорних зидова, вертикално на основни смер струјања подземне воде. На слици 4.20(б) приказан је пример каптажне грађевине за захватање воде силазних извора. Вода улази у водну комору кроз отворе у предњем зиду, засуте са спољне стране (шљунчаним) филтром. Према водној комори се обострано прикључују коса крила која преграђују водни ток. Ради одвођења воде потрошачима, могућности њеног преливања и пражњења водне коморе, предвиђена је код обе каптажне грађевине изведба засунске коморе, опремљена цевима и водоводним арматурама. Могућност преливања воде из водне коморе је потребно обезбедити да би се искључило евентуално формирање успора воде, јер би то могло изазвати смањење издашности извора, а у неповољнијем случају чак и појаву да извор нађе други излаз на површину, заобилазећи каптажну грађевину.

5. Пумпне станице

Пумпне станице су грађевине са припадном електро опремом, којом се вода црпи и подиже (потискује) на потисну висину потребну за осигурање захтеване расподеле воде потрошачима. Црпне станице се користе ако извориште нема енергијског потенцијала у односу на водоснабдевано подручје, или је расположиви недовољан, па га треба постићи (осигурати) на вештачки начин.

Основне делове црпне станице, (слика 5.1.) чине:

- 1) пумпе (пумпни агрегати),
- 2) пумпни резервоар,
- 3) машинска станица,
- 4) командна просторија.

Пумпне станице по правилу садрже и опрему за елиминисање и ублажавање водног удара.



Слика 5.1 Пример пумпне станице

5.1. Пумпе

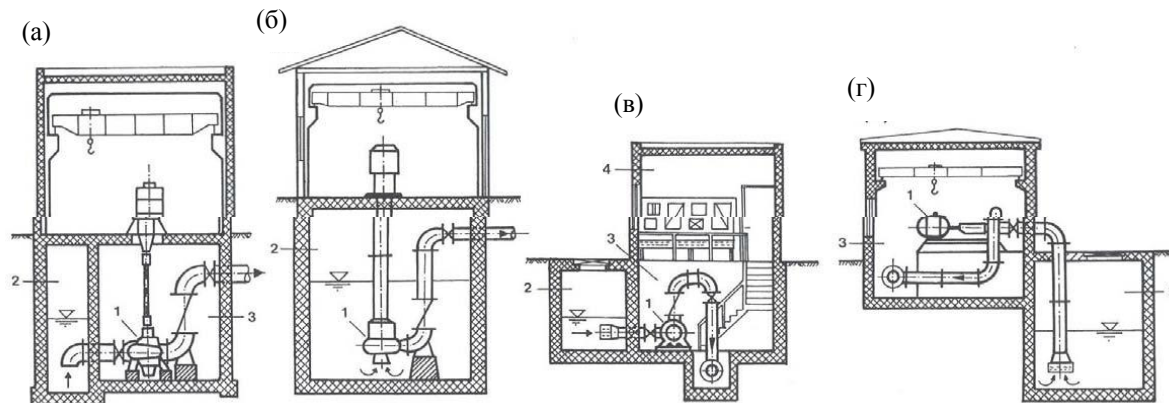
Пумпе су основни елемент пумпне станице, којима је подређена њена целокупна конфигурација и конструкција. Пумпа, одговарајућег капацитета и висине дизања, са погонским стројем (по правилу електромотором) одређене снаге и постољем, заједно чине пумпни агрегат. У водоснабдевању се углавном користе центрифугалне пумпе, које раде по принципу трансмисије центрифугалне силе на масу воде у енергију њеног струјања (дизања) кроз цевовод. Капацитети центрифугалних пумпи су од неколико до више стотина литара у секунди, са висином дизања такође до неколико стотина метара.

Подела центрифугалних пумпи могућа је по различитим критеријумима, као нпр према:

1. броју окретних кола: једностепене и вишестепене,
2. прикључку усисне цеви: радијалне, аксијалне и мешовите,
3. положају електромотора: у сувом (суве извођења) и у мокром (мокре извођења, потопљене, урођене или подводне),

4. положају осе пумпе: хоризонталне и вертикалне,
5. висини дизања воде, $H [m]$: нискоталасне, $H < 80m$, средњеталасне, $80 m < H < 200 m$ и високоталасне, $H > 200 m$.

Неке од поменутих врста и начина уградње центрифугалних пумпи приказани су на (слици 5.2.):



Слика 5.2. Делови пумпне станице са врстама центрифугалних пумпи и начинима уградње

(а) вертикална пумпа суве извођења; (б) вертикална пумпа мокре извођења; (в) хоризонтална радијална пумпа суве извођења; (г) хоризонтална аксијална пумпа суве извођења 1 - пумпа; 2 - пумпни резервоар; 3 - стројарница; 4 - командна просторија

Израз за снагу, $P [kW]$, на осу пумпе произлази из енергије потребне за обављање одређеног рада у јединици времена и савладавање унутрашњих отпора пумпе. Ако се ради о води тада израз за снагу има облик:

$$P = \frac{9,81QH_{man}}{\eta} \quad (5.1)$$

где су:

Q - проток (количина црпљења), $[m^3/s]$,

H_{man} - манометарски висина дизања (воде), $[m]$,

Горњи израз даје теоретску снагу пумпе. За савладавање трости система (полазни отпори) потребно је још око 15% резервне снаге. Износ резерве зависи, како о величини система, тако и од услова рада. Снага пумпе која укључује и резервну снагу, назива се инсталисана снага пумпе, P_i .

1) **Проток**, односно количина црпљења, Q , зависи са једне стране о потребним количинама воде, а са друге стране о режиму рада пумпи, односно трајању црпљења. Ако у систему за водоснабдевање постоји и уређај за кондиционирање воде, тада се у првом случају вода најпре потискује до уређаја, а затим (ако је са обзиром на локалне висинске односе потребно) од уређаја до резервоара, или од уређаја у главни доводно - снабдевени цевовод. У другом случају вода се такође најпре потискује до уређаја за кондиционирање воде, а потом у главни снабдевени цевовод и разделну мрежу.

Према томе, у првом ће случају количина црпљења износити:

$$Q = \frac{Q_{max}}{t_p} \quad (5.2)$$

а у другом, у сату највеће потрошње:

$$Q = q_{\max} \quad (5.3)$$

где су:

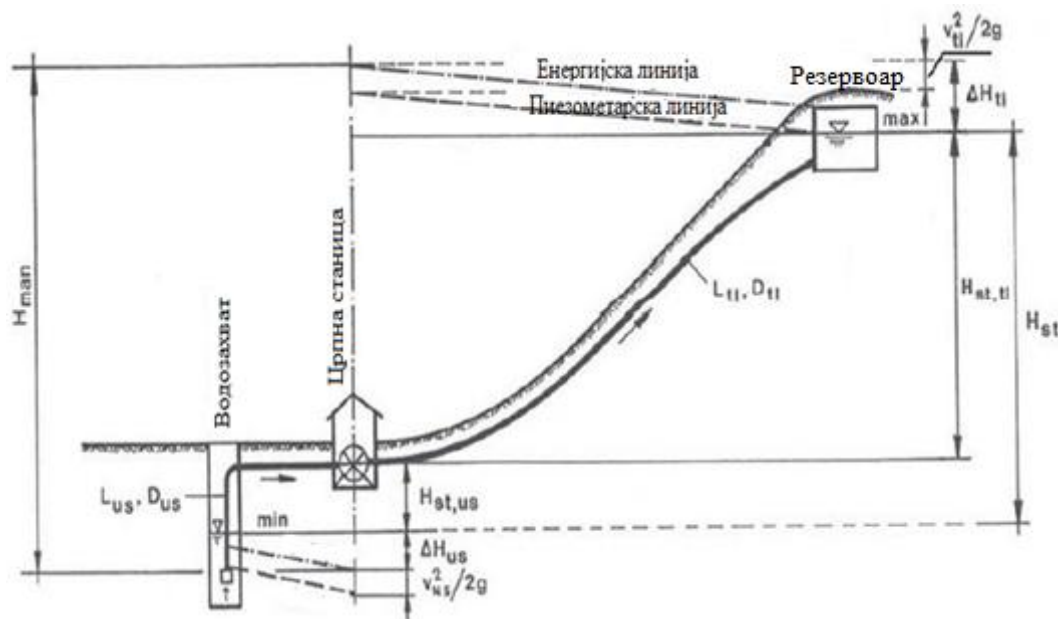
$Q_{\max}$ - највећа дневна потрошња воде, $[m^3/d]$,

$q_{\max}$ - највећа сатна потрошња воде, $[m^3/s]$,

t_p - време црпљења $[s/d]$

Време црпљења је код прорачуна црпних станица веома значајан економски фактор, за који треба настојати да не пређе укупно 16 h дневно, а само изузетно 20 h дневно.

2) **Манометарска висина дизања, H_{man}** , је висина коју пумпа треба савладати да би се вода могла препумпавати, (слика 5.3.)



Слика 5.3. Дефиницијска шема манометарске висине дизања

Дефинисана је изразом:

$$H_{man} = H_{st} + \Delta H = H_{st,us} + H_{st,tl} + \Delta H_{us} + \Delta H_{tl} \quad (5.4)$$

где су:

H_{st} - статичка висина дизања, $[m]$,

ΔH - укупни хидраулички губици због протицања воде кроз усисну цев и потисни цевовод, $[m]$,

$H_{st,us}$ - усисна статичка висина дизања, $[m]$, једнака геодетској висинској разлици између најнижег нивоа воде у црпном базену (водозахвату) и оси пумпе,

$H_{st,tl}$ - потисна статичка висина дизања, $[m]$, једнака геодетској висинској разлици између осе пумпе и највише нивоа воде у пезервоару,

ΔH_{us} - хидраулички губици (линијски и локални) због протицања воде кроз усисну цев, $[m]$,

ΔH_{tl} - хидраулички губици (линијски и локални) због протицања воде кроз потисни цевовод, $[m]$.

Дакле, статичка висина дизања, H_{st} , и укупни хидраулички губици, ΔH , приказани су као:

$$H_{st} = H_{st,us} + H_{st,tl} \quad (5.5)$$

$$\Delta H = \Delta H_{us} + \Delta H_{tl} \quad (5.6)$$

Хидраулички губици, ΔH_{us} , дефинисани су изразом:

$$\Delta H_{us} = \Delta H_{lin,us} + \sum_{i=1}^m \Delta H_{lok,us} \quad (5.7)$$

а хидраулички губици, ΔH_{tl} , изразом:

$$\Delta H_{tl} = \Delta H_{lin,tl} + \sum_{i=1}^m \Delta H_{lok,tl} \quad (5.8)$$

где је m [-] број места локалних губитака на уисној цеви и потисном цевоводу.

Уз ове, поједине ознаке са (слике 5.3.), имају следеће значење:

v_u - брзина воде у уисној цеви, [m/s],

L_u - дужина уисне цеви, [m],

L_p - дужина потисног цевовода, [m],

D_u - унутрашњи пречник уисне цеви, [mm],

D_p - унутрашњи пречник потисног цевовода, [mm].

Пошто је најчешће:

$$D_{us} = D_{tl} \Rightarrow v_u = v_{tl} \quad (5.9)$$

где је v_p брзина воде у потисном цевоводу, [m/s].

У практичним се проблемима обично изостављају локални губици у потисном цевоводу, због њиховог незнатног доприноса манометарској висини дизања.

Исто тако, не треба заборавити да је због елиминације дисконтинуитета тока у уисној цеви и појаве кавитације практично потребно обезбедити:

$$H_{st,us} + \Delta H_{us} + \frac{v_{us}^2}{2g} \leq 7 \quad (5.10)$$

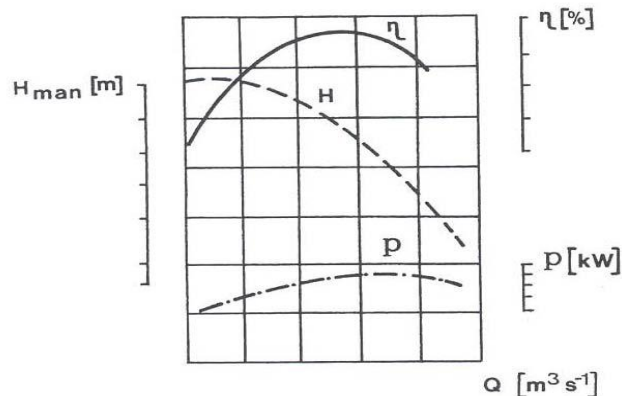
У претходним анализама је потисни цевовод од црпне станице до резервоара назван потисним. То је учињено стога што се у инжењерској пракси потисни цевоводи чешће називају потисним, дакле, према начину а не према узроку протицања, јер је (за разлику од гравитационих) код потисних система протицање увек под притиском. Код веће дужине, нарочито потисног цевовода, његов унутрашњи пречник је битна економска категорија, који произлази на бази анализе трошкова изградње и одржавања (погона) пумпног система. За практичне потребе може се код прелиминарних анализа узети да је економичан пречник, D [mm]:

$$D = K_p \sqrt{Q} \quad (5.11)$$

где је K_p [-] коефицијент зависан о трајању црпљења, tp , а Q количина црпљења у [m³/s]. Оријентациони се обично узима $K_p = 1.50$.

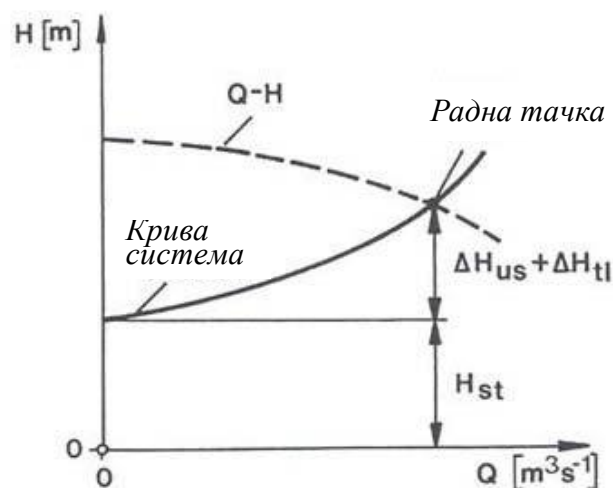
(3) **Коефицијент корисног дејства**, η је променљива величина за поједине односе Q и H_{max} црпних агрегата, слика 5.4, и битно зависи од њихове конструкције.

Наиме, сваки агрегат има своје унутрашње губитке услед трења, тако да се увек унета енергија не искористи 100 [%], већ редуковано на коефицијент корисног дејства, η . Најсврсисходније је користити црпне агрегате код η_{max} .



Слика 5.4. Однос $Q-H$, $Q-P$ и $Q-\eta$,

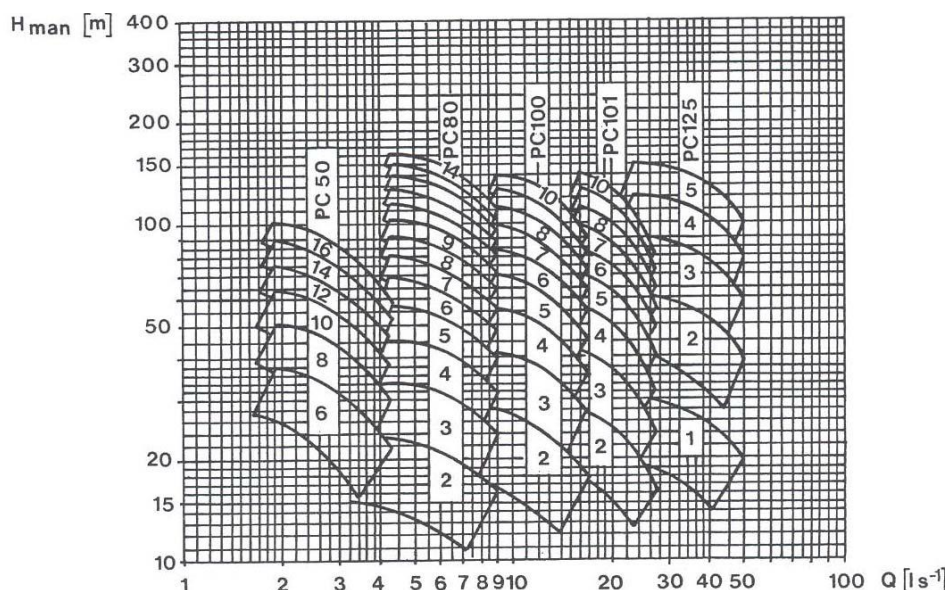
Криве $Q-H$, $Q-P$ и $Q-\eta$ са слике 5.4, су три основне криве карактеристика пумпе. Осим ових крива, код анализе рада пумпи често је од интереса и крива пумпног система. Ова се крива добије рачунањем манометарски висине дизања за различите протоке, слика 5.5. Њена је полазна тачка у статичкој висини дизања, H_{st} , за проток $Q = 0$. Ако се на исти график нацрта и $Q-H$ кривих пумпе, добије се пресек ових двеју крива. Тачка пресека је радна тачка пумпног система која показује остварени капацитет и висину његовог дизања.



Слика 5.5. Крива пумпног система и радна тачка

Код пројектовања црпних станица избор пумпи спроводи се из производних каталога на основу карактеристика пумпи, тј $Q-H$, $Q-P$ и $Q-\eta$ крива, будући да су сви пумпни агрегати типизирани. Један такав дијаграм карактеристика подводних пумпи, примерених за црпљење воде из бушених бунара, приказан је на дијаграму 5.1

С овога дијаграма можемо очитати да је нпр за количину црпљења $Q = 30 \text{ l/s}$, и манометарски висину дизања $H_{man}=50 \text{ [m]}$, потребна пумпа типа PC 125 – 2 или две пумпе (свака за $Q = 15 \text{ l/s}$) типа PC 100 – 5, спојене у паралелном раду.



Дијаграм 5.1. Дијаграм карактеристика подводних пумпи

Код избора величине и броја пумпи треба посматрати чињеницу да је у погонском погледу сигурније, иако скупље, одабрати више пумпи мањег капацитета, него само једну потребне величине. Овакав је приступ нарочито оправдан за случај фазне изградње система за снабдевање водом, када почетне потребе за водом, у односу на коначне, износе само део. И код најмањих погона увек предвиђамо барем две пумпе истих карактеристика, од којих је једна радна а једна резервна.

5.2. Црпни резервоар, машинска станица, командна просторија

1) **Црпни резервоар** је простор који служи за сакупљање и задржавање воде која се препумпава. Величина му битно зависи од режима рада пумпи и дотока, па се стога он посебно димензионише. Код већих црпних станица изводи се више црпних резервоара међусобно одвојених, како би се омогућила ревизија у поправци без прекида рада пумпи. Вода у пумпни резервоар улази кроз један или више отвора (довода), директно или кроз решетке и мреже. На отворима треба такође поставити резе како би се пумпни резервоар могао повремено празнити. Пумпни резервоар мора имати отвор и елементе за комуникацију (ревизију), вентилациони отвор и прелив који се активира код висине пуњења која прелази допуштену. Такође, дно пумпног резервоара се изводи у паду до најниже коте (тачке) где се (ради пражњења резервоара) изводи муљни испуст.

2) **Машинска станица** служи за смештај црпних агрегата, контролних инструмената, крајева уисних цеви и почетака потисних цевовода са припадајућим фасонским комадима и водоводним арматурама (ради спајања црпних агрегата у јединствени потисни систем), и друге опреме. Машинска станица мора бити изведена са одговарајућим отворима за комуникацију, одржавање, монтажу и демонтажу опреме. У случају тешке опреме поставља се и дизалица. И унутар овог простора треба обезбедити вентилацију, а по потреби и грејање.

3) **Командна просторија** је простор који садржи потребну електронску опрему за аутоматско управљање пумпним агрегатима, односно радом црпне станице. Аутоматски рад се састоји у укључивању и искључивању пумпи у складу са њиховим режимом рада. Поред овог, аутоматика обухвата и равномерно радно оптерећење свих пумпи, укључујући резервне.

6. Кондиционирање воде

Кондиционирање воде је процес за постизање здравствене исправности воде за људску потрошњу. Дакле, кондиционирање воде је увек неопходно ако се утврди да изворишна вода не одговара прописаним стандардима квалитета. Стога је увек потребно одредити захтеване параметре квалитета воде природног изворишта, како би се могла установити неопходност и карактер њеног кондиционирања.

6.1. Захтеви квалитетне воде

Због изузетног значаја здравствене исправности воде намењене за снабдевање становништва, свака земља законски прописује захтеве у погледу њеног квалитета.

Вода намењена за људску потрошњу је:

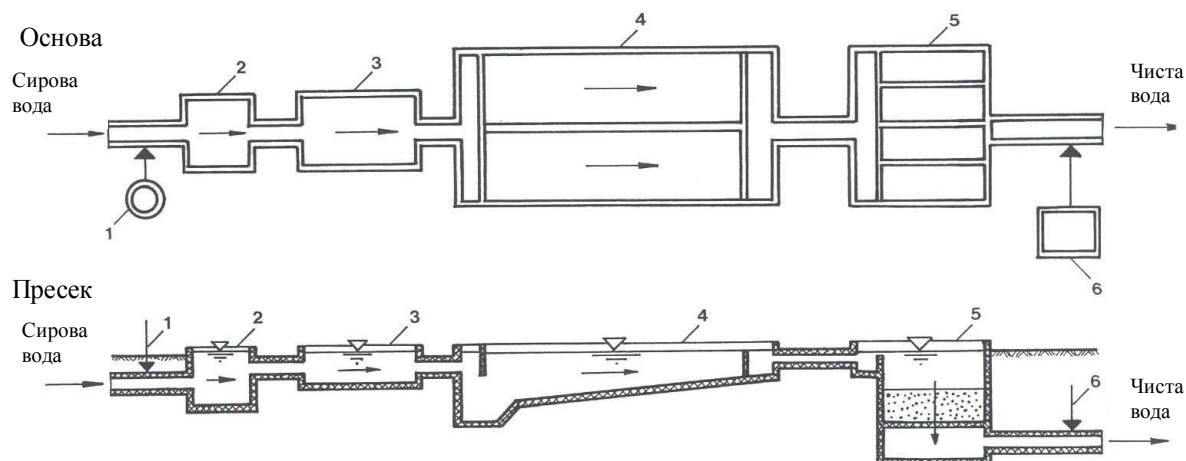
- а) сва вода која је у свом изворном стању или након кондиционирања намењена за пиће, кување, припрему хране или друге потребе куће, независно од њеног порекла и независно од тога да ли потиче из система јавног водоснабдевања, из цистерни, или из боца односно посуда за воду,
- б) сва вода која се користи у индустрији за производњу хране у сврху производње, обраде, очувања или стављање на тржиште производа или материја намењених за људску потрошњу, осим ако надлежно тело не утврди да квалитет воде не може утицати на здравствену исправност хране у њеном коначном облику.

6.2. Фазе кондиционирања воде

Разноврсни задаци који се у пракси најчешће решавају поступком кондиционирања воде углавном се свode на:

1. уклањање из воде распршених (суспендованих) материја, односно смањење мутноће воде,
2. уклањање из воде супстанци које узрокују њену обојеност,
3. уклањање из воде растворених гасова (дегазација) и укупних соли (десалинизација),
4. уклањање органске материје,
5. промене тврдоће воде,
6. уништавање патогених микроорганизама у води (дезинфекција).

У одређеним случајевима процес кондиционирања воде може бити допуњен специјалним фазама, нпр уклањањем соли гвожђа (деферизација) или уклањањем масти и уља (испливање (флотација)). Побољшање квалитета воде спроводи се на објектима са припадајућом електро опремом, које заједнички називамо уређаји за кондиционирање воде. На слици 6.1, приказана је основна конфигурација, односно једноставнија технолошка шема међусобног распореда појединих објеката уређаја за кондиционирање воде. Представљена шема представља гравитационо кретање воде приликом њеног узастопног пролажења кроз поједине објекте уређаја за кондиционирање воде. Такође, ова шема, у складу са параметрима квалитета воде природног изворишта, може бити проширена и додатим, претходно наведеним, технолошким фазама кондиционирања воде.



Слика 6.1. Основна технолошка шема уређаја за кондиционирање воде

1 - отапање и дозирање коагуланта, згрушавање; 2 - мешање; 3 - пахуљчење; 4 - таложење; 5 - процеђивање; 6 – дезинфекција

У овом случају поступак кондиционирања воде предвиђа следеће фазе засноване на физичким, хемијским и биолошким дејствима:

- 1) отапање и дозирање коагуланта у сирову воду, згрушавање (коагулацију),
- 2) мешање (коагуланата и сирове воде),
- 3) пахуљичење (флокулацију),
- 4) таложење (седиментацију),
- 5) филтрација (филтрацију),
- 6) дезинфекцију.

6.2.1. Отапање и дозирање коагуланта. Згрушавање

Главни проблем код смањења мутноће, као честог недостатка воде, везана је за присуство врло ситних распршених честица - колоида, димензија од 1 nm до 1 mm.

Због истоимених (негативних) електростатичких набоја колоиди се међусобно одбијају и остају распршени у води. Зато је време потребно за издвајање колоида из воде, првенствено процесом таложења, услед њихове тзв. агрегатне стабилности, практично бесконачно. То је у техници кондиционирања воде резултирало тражењем процеса ремећења стабилности колоида и могућности њиховог каснијег међусобног спајања у веће честице које ће се у води лакше таложити. Такав процес ремећења стабилности (дестабилизација) колоида у сировој води назива се згрушавање. Дестабилизација колоида се постиже додавањем води одређених хемијских реагенаса - коагуланата.

У практичне сврхе, као неоргански коагуланти најчешће се користе соли алуминијума и гвожђа, односно алуминијум сулфат, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, познатији под комерцијалним називом алаун, и гвоздени сулфат, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, тј зелена галица. Још се користе и калцијум-оксид, CaO (живи креч), калцијум-хидроксид, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гашени креч) и натријум-карбонат, Na_2CO_3 (сода). У савременој техници кондиционирања воде све се више користе органски коагуланти, тзв. полиелектролити, као макромолекули дугачког низа добијени спајањем простих мономера. На процес коагулације у знатној мери утичу квалитет сирове (природне) воде, количина и карактер суспендованих колоида, потрошња кисеоника, количина соли, рН вредност и температура воде. Стога се врста и оптимална доза коагуланта одређује испитивањем изворне воде. Ради оријентације, просечна доза алауна за воду мутноће 40 °NTU износи 25-35 mg/l, док за воду мутноће 400 °NTU просечна доза алауна износи 60-90 mg/l. Коагуланти се у воду додају у

облику раствора. Постоје посебни уређаји за припрему раствора и дозирање – дозатори. Раствор коагуланта се дозира зависно од мутноће воде. Данас је поступак дозирања потпуно аутоматизован, и зависно од мутноће и протока, додаје се оптимална доза коагуланта.

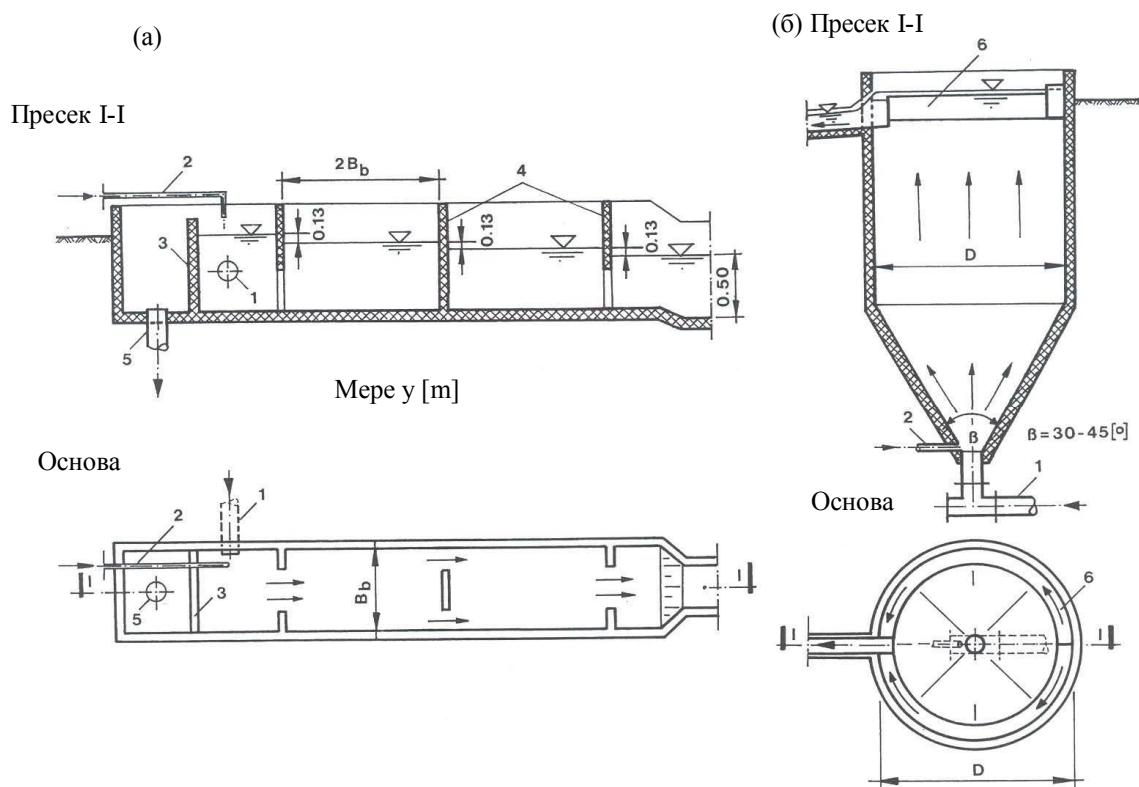
6.2.2. Мешање

Да би згрушавање било што ефикасније, потребно је одмах након додавања коагуланта обезбедити његово интензивно (турбулентно) мешање са сировом водом. То се постиже у посебним објектима (базенима) - мешачима, у којима се вода задржава до 5 min. Обично се примењују следеће две врсте мешача:

- 1) гравитациони мешачи (мешачи са гравитационим мешањем),
- 2) механички мешачи (мешачи са механичким мешањем).

1) **Гравитациони мешачи**, слика 6.2, могу бити изведени као:

- а) хоризонтални мешачи (мешачи са хоризонталним током),
- б) вертикални мешачи (мешачи са вертикалним током).



Слика 6.2. Гравитациони мешачи

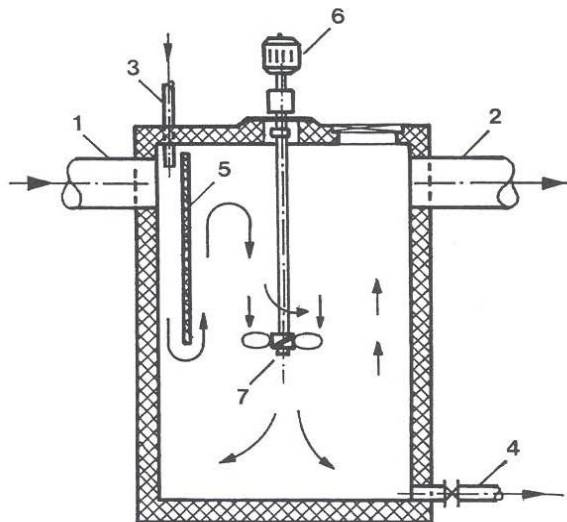
(а) хоризонтални мешач; (б) вертикални мешач

1 - довод сирове воде; 2 - дозирање коагуланта; 3 - правоугаони прелив; 4 - вертикалне преграде; 5 - испуст; 6 - кружни прелив

На слици 6.2(а) приказан је хоризонтални мешач. Изведен је као правоугаони базен у коме је уграђено више узастопних вертикалних преграда са отворима постављеним тако да стварају непрестану промену брзине и смера течења воде. Брзина воде у мешачу обично је око 0,6 m/s, а у отворима око 1 m/s. Размак преграда је најчешће две ширине базена, B_b [m], а дубина воде иза последње преграде је до 0,5 m. При тим условима снижење нивоа воде између суседних преграда је око 0,15 m.

Рад вертикалног мешача, (слика 6.2(б)), базиран је на начелу турбулентног струјања проузрокованог знатном променом проточног пресека. Брзина у најужем делу конуса је око 1 m/s , а у цилиндричном око 25 mm/s .

2) **Механички мешачи** (слика 6.3) заснивају се на механичком мешању воде и коагуланта помоћу пропелерне мешалице.



Слика 6.3. Механички мешач

1 - довод сирове воде; 2 - одвод коагулиране воде; 3 - дозирање коагуланта; 4 - испуст; 5 - вертикална преграда; 6 - погонски мотор; 7 - пропелерне мешалице

Понекад се мешање постиже и директним дозирањем коагуланта у усисну цев пумпе или у цевовод којим се вода транспортује до уређаја за кондиционирање воде. При томе треба водити рачуна да дужина цевовода, с обзиром на брзину воде, осигура потребно време мешања.

6.2.3. Пахуљичење

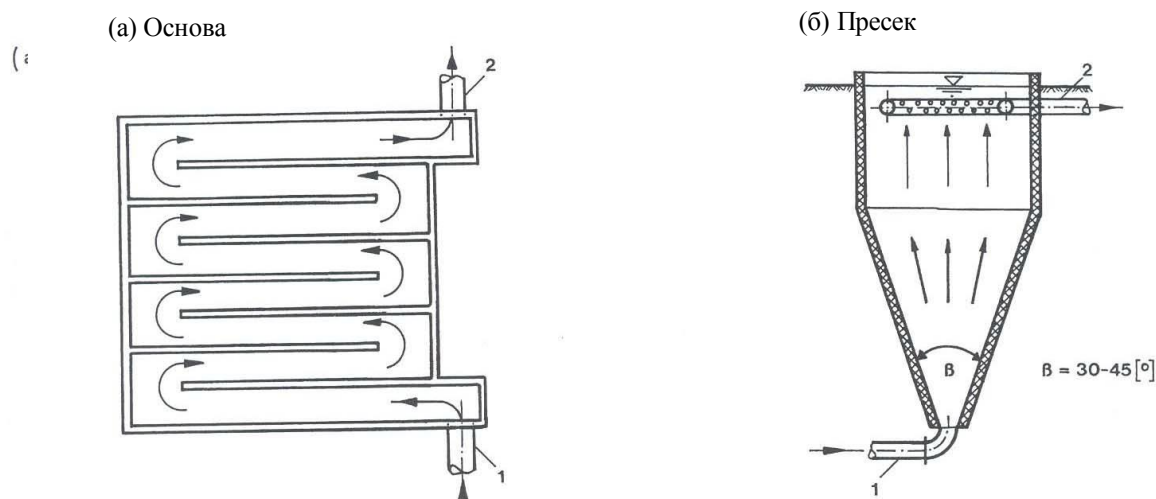
Пахуљичење је процес стварања пахуљица (флокула) спајањем колоида, претходно дестабилизованих процесом згрушавања. Стварање пахуљица се одвија у посебним објектима (базенима) - флокулаторима. Њихов је задатак да осигурају стварање пахуљица, које почиње одмах након мешања воде и коагуланта. Овај процес се одвија релативно споро и да би се добиле довољно крупне флокуле (величине $0,5$ до $0,6\text{ mm}$) потребно је $10-30\text{ min}$. Додатно повећање пахуљица може се постићи додавањем средстава за пахуљичење - флокуланата. Количина и врста флокуланта утврђује се испитивањем воде. Процесу стварања пахуљица потпомаже лагано и равномерно мешање воде, што уједно спречава и њихово таложење у флокулатору. Гранична вредност брзине воде детерминисана је са могућношћу разбијања већ слепљених пахуљица и износи $0,2$ до $0,3\text{ m/s}$.

У пракси се најчешће користе, аналогно као и мешачи:

- 1) гравитациони флокулатори,
- 2) механички флокулатори.

1) **Гравитациони флокулатори**, слика 6.4, могу бити изведени као:

- а) хоризонтални флокулатори,
- б) вертикални флокулатори.



Слика 6.4. Гравитациони флокулатори

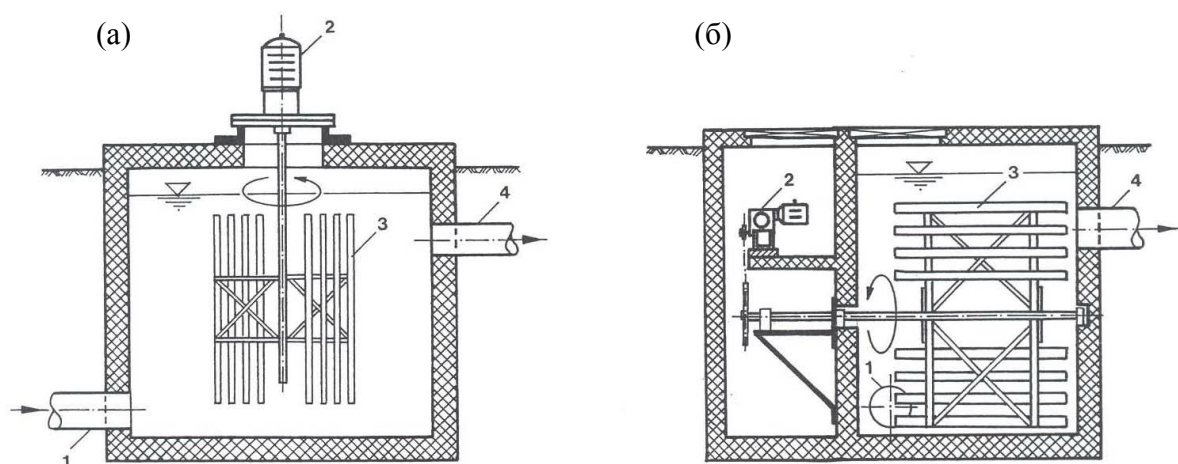
(а) хоризонтални флокулатор; (б) вертикални флокулатор

1 - довод коагулиране воде; 2 - одвод воде након пахуљичења

На слици 6.4(а) приказан је хоризонтални флокулатор. Изведен је као базен преграђен низом коридора којима протиче вода. Број заокрета тока обично се узима 8 до 10. Дужина коридора је у функцији брзине воде и времена задржавања воде у флокулатору.

Рад вертикалног флокулатора, слика 6.4(б), базиран је на истом принципу као и рад вертикалног мешача. Вода се доводи у доњи део конуса са узлазном брзином око 0,7 m/s, да би по доласку у горњи део опала на свега 4-5 mm/s. Из горњег цилиндричног дела флокулатора вода се обично одводи перфорираним цевима.

2) **Механички флокулатори** се заснивају на механичком мешању коагулиране воде помоћу мешалица, слика 6.5. На слици 6.5(а) приказан је флокулатор са вертикалном осом окретања лопатица, а на слици 6.5(б) са хоризонталном осом.



Слика 6.5. Механички флокулатори

(а) са вертикалном осом окретања лопатица; (б) са хоризонталном осом обртања лопатица 1 - довод коагулиране воде; 2 - погонски мотор; 3 - мешалица; 4 - одвод воде након пахуљичења

6.2.4. Таложeње

Таложeње је процес гравитационог уклањања зрнастих и пахуљичастих честица из воде којима је густина већа од густине воде. У теорији таложeња се полази од (а) појединачне (дискретне), (б) округле честице, претпостављајући (в) мирну воду и (г) занемарујући све утицаје који ометају овај процес.

Када се дискретна округла честица пусти да пада у мирној води нултом почетном брзином, она убрзава кретање док јој брзина, након одређеног времена (које је готово увек безначајно у односу на трајање процеса таложeња), не постане константна. С обзиром на карактер и квалитет воде у процесу кондиционирања, и на величину и масу честица, вертикална брзина таложeња честице, v_t [m/s], налази се у подручју важења Стоксовог закона (1851), који гласи:

$$v_t = \frac{gd^2}{18\nu} \left[\frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right] \quad (6.1)$$

где су:

g - убрзање поља силе теже, [m/s²],

d - пречник честице, [m],

ν - кинематички коефицијент вискозности воде, [m²/s]

ρ_p - густина честице, [kg/m³]. На пример, за песак је $\rho_p = 2650 \text{ kg/m}^3$, а за муљ коагулиран алауном, $\rho_p = 1180 \text{ kg/m}^3$,

ρ - густина масе воде, [kg/m³].

Међутим, пошто се код таложeња, како природне тако и коагулиране суспензије, обично сусрећемо са полидисперзном суспензијом, брзине таложeња такве суспензије најбоље је одредити испитивањима.

Исто тако, будући да у пракси никада нису испуњени услови савршеног (идеалног) таложeња, мора се рачунати на умањење ефекта таложeња. Овоме доприносе два одлучујућа чиниоца: струјање у зони таложeња изазвано разним утицајима (дувањем ветра по непокривеним таложнику, конвективним струјањем због температурних промена, струјање због разлике у густини) и међуделовање честица.

Процес таложeња одвија се у посебним објектима (базенима) – таложницима.

Данас се у пракси кондиционирања воде примењују две основне врсте таложника, зависно од смера тока у њима:

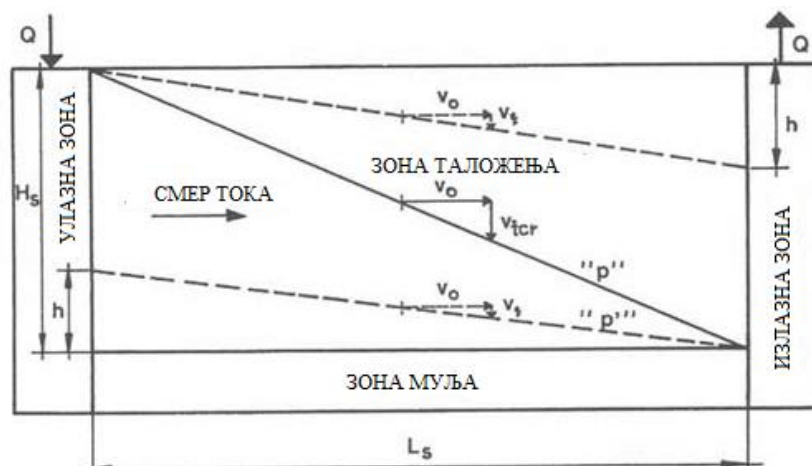
- 1) хоризонтални таложници,
- 2) вертикални таложници.

Ово су такозвани, конвенционални таложници. Ради интензивирања процеса таложeња граде се и специјални таложници који ће се анализирати накнадно.

1) **Таложeње у хоризонталним таложнику** се може одвијати у:

- а) правоугаоним таложницима,
- б) округлим таложницима.

а) Шема таложeња честица у (савршеном) правоугаоном таложнику приказана је на слици 6.6.



Слика 6.6. Таложјење честица у хоризонталном правоугаоном таложнику

Вода у таложник дотиче улазном зоном кроз један од вертикалних зидова таложника, пролази његовом дужном зоном таложјења до супротног зида вертикалног и излазном зоном отиче из таложника. Испод зоне таложјења је зона муља.

На слици 6.6, v_o [m/s], означава хоризонталну брзину воде у зони таложјења, дефинисану изразом:

$$v_o = \frac{Q}{B_s H_s} \quad (6.2)$$

где су:

Q - проток зоном таложјења, [m³/s],

B_s - ширина зоне таложјења (ширина таложника), [m],

H_s - дубина зоне таложјења (дубина таложника), [m].

Вредност хоризонталне брзине треба да се налази у границама $2,5 < v_o < 35(50)$ mm/s.

Критична брзина таложјења, v_{tc} [m/s], која мора постојати да би се честице исталожиле бар у крајњој доњој тачки зоне таложјења према зони излаза, одређена је односом:

$$v_{tcr} : v_o = H_s : L_s \quad (6.3)$$

односно:

$$v_{tcr} = \frac{v_o H_s}{L_s} \quad (6.4)$$

где је L_s [m] дужина зоне таложјења (дужина таложника).

Све честице са брзином таложјења $v_t > v_{tc}$ биће 100% уклоњене, јер ће се кретати путањама паралелним са "p" или стрмије. Исто тако, све честице са брзином таложјења $v_t < v_{tcr}$ које у зону таложјења уђу унутар висине h [m], имаће путање паралелне са "p" и биће такође уклоњене, док ће све честице са брзином таложјења $v_t < v_{tcr}$ које у зону таложјења уђу изнад висине h , бити изнете из зоне таложјења.

Израз за површинско (хидрауличко) оптерећење:

$$PO = v_{tcr} = \frac{Q}{B_s L_s} = \frac{Q}{A_s} \quad (6.5)$$

где је A_s [m] површина зоне таложјења (површина таложника).

Време задржавања воде у таложнику, T_s [s], дефинисано је изразом:

$$T_s = \frac{H_s A_s}{Q} \quad (6.6)$$

и креће се 2-6 (7) h.

Претходне анализе таложења у правоугаоним хоризонталним таложнику започете су, између осталог, и на претпоставци да режим протицања не утиче на процес таложења. Наравно, ова претпоставка важи само за случај ламинарног протицања у таложнику. Да ли ће се протицање у таложнику одвијати у ламинарном или турбулентном режиму зависи, од вредности Реинолдсовог броја, Re [-], који се у овом случају може изразити као:

$$Re = \frac{Q}{\nu} \frac{1}{B_s + 2H_s} \quad (6.7)$$

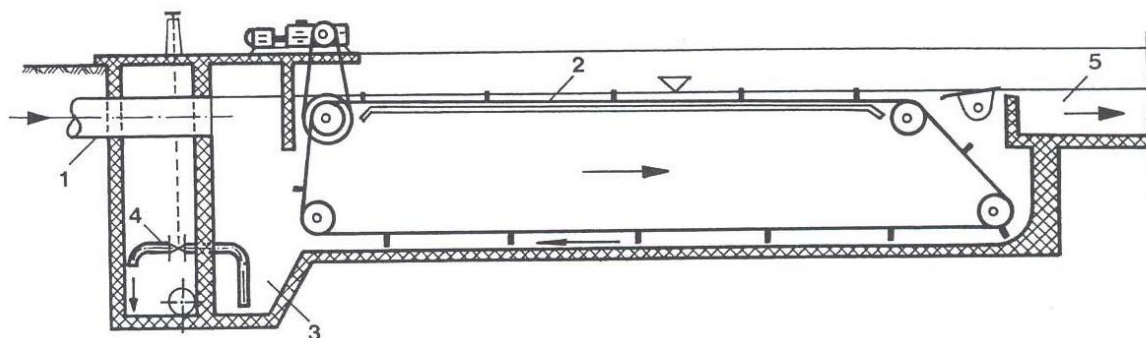
За ламинарно струјање у правоугаоним таложнику треба бити испуњен услов, $Re < 2000$. Дакле, за мање вредности Рејнолдсовог броја, Re , потребни су релативно широки и дубоки таложници. С друге стране, потреба елиминације краткоспојног струјања, када се доток равномерно не дистрибуира преко читавог попречног пресека таложника, захтева што већи однос сила инерције према силама гравитације, што се изражава Фраудовим бројем:

$$Fr = \frac{v_o^2}{gR} = \frac{v_{ocr}^2}{g} \frac{L_s^2}{H_s^2} \left[1 + \frac{2H_s}{B_s} \right] \quad (6.7)$$

чија вредност треба да износи $Fr > 10^{-5}$. У овоме изразу R [m] означава хидраулички радијус. Задовољење горњег критеријума захтева дуге, уске и плитке таложнике са већим брзинама струјања, што је у супротности са претходно израженим захтевом имајући у виду тражене вредности Рејнолдсовог броја.

Стога су конструкцијска решења конвенционалних правоугаоних таложника са хоризонталним током воде резултат компромиса између међусобно супротних хидрауличких захтева (ниске вредности Рејнолдсовог броја и високе вредности Фраудовог броја) и економских критеријума који захтевају ограничен однос дубине, ширине и дужине резервоара.

На слици 6.7, приказан је уздужни пресек хоризонталног правоугаоног таложника. У таложнику је ради скупљања исталоженог муља уграђен сакупљач муља. Брзина сакупљања је око 1 cm/s.



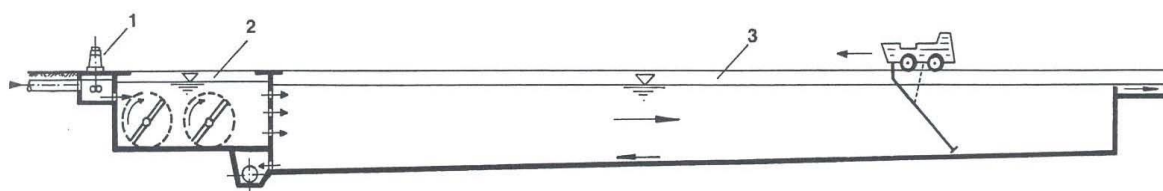
Слика 6.7. Хоризонтални правоугаони таложник

1 - довод; 2 - сакупљач муља; 3 - муљна комора; 4 - муљни испуст; 5 - одвод

Могуће је и решење са покретним мостом који такође има сакупљач и премешћује таложник по ширини, крећући се од једног према другом крају таложника. Сакупљање муља се обавља супротно од смера тока. Поступци сакупљања муља обично су аутоматизовани. Ради што лакшег сакупљања муља у муљну комору, одакле се затим испушта, дно таложника се изводи са уздужним падом 1-2 %, такође супротно току.

Обично се граде два таложника, радни и резервни, како би се несметано обављала чишћења. Хоризонтални правоугаони таложници показали су се економски оправданим ако им је капацитет већи од $3000 \text{ m}^3/\text{d}$.

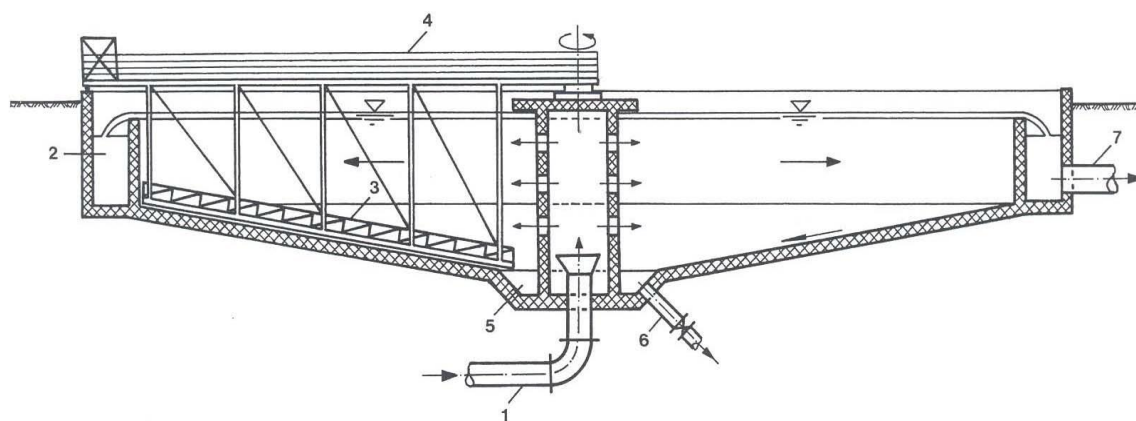
Из претходних анализа је видљиво да су мешачи, флокулатори и таложници у функционалном погледу различити објекти. Но, у конструкционом погледу они могу бити повезани у целину, као што је приказано на слици 6.8.



Слика 6.8. Пример конструкционе повезаности мешача, флокулатора и таложника

1 - мешач; 2 - флокулатор; 3 – таложник

б) У **округли таложник**, слика 6.9, вода се доводи у комору, смештену у средини таложника, и радијално креће (због чега се ови таложници понекад називају радијални таложници) према ивичном сабирном жљебу, из којег се даље одводи. Битна особина округлог таложника је промена брзине воде у зони таложења од највеће вредности у средини, до најмање на ивицама таложника.

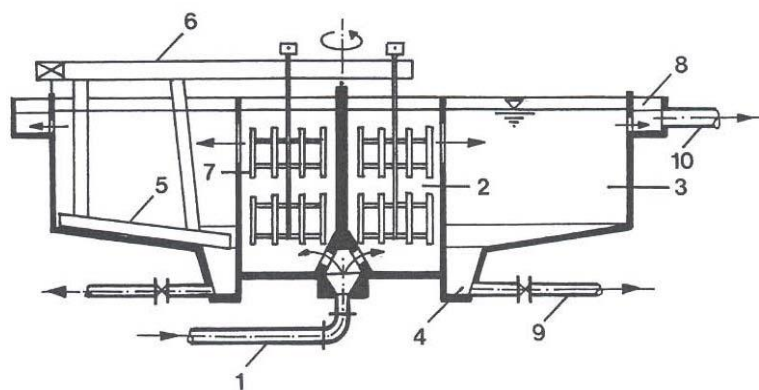


Слика 6.9. Округли таложник

1 - увод; 2 - сабирни жлеб; 3 - сакупљач муља; 4 - покретни мост; 5 - муљна комора; 6 - муљни испуст; 7 – одвод

Систем за сакупљање муља најчешће је решен ротационом решеткастом конструкцијом. Округли таложници имају пречнике $D_s=5-60 \text{ m}$. Дубина таложника (воде), H_s , на ивици узима се да је 1,5-2,5(3,5) m ($D_s / H_s > 3.5$), а нагиб дна 4-10 [%].

Округли таложник може у средини имати смештен флокулатор (слика 6.10).



Слика 6.10. Округли таложник са флокулятором

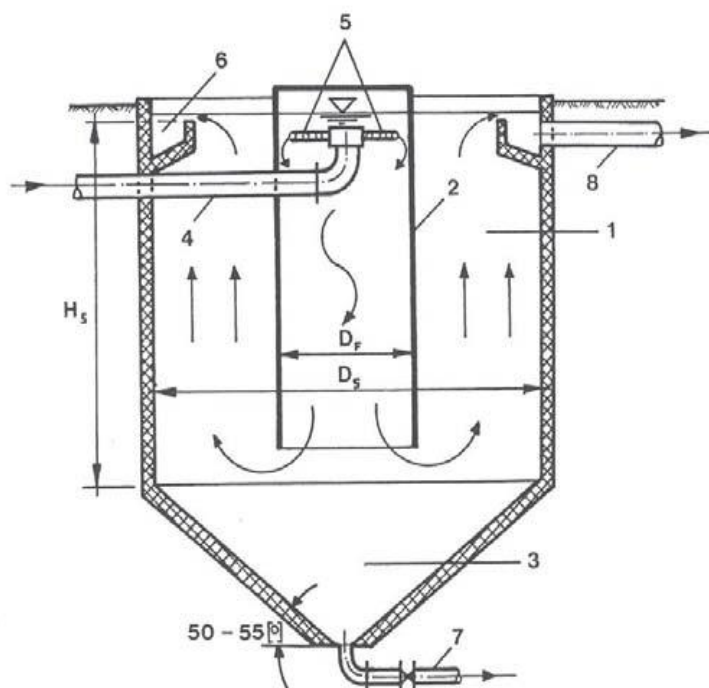
1 - довод; 2 - флокулятор; 3 - зона таложјења; 4 - муљна комора; 5 - сакупљач муља; 6 - покретни мост; 7 - мешалице; 8 - сабирни жлеб; 9 - муљни испуст; 10 - одвод

2) **Таложјење у вертикалним таложнику** се може одвијати у:

- а) округлим таложнику,
- б) квадратним таложнику.

Чешћа је примена округлих таложника.

Вертикалне таложнике, слика 6.11, карактерише узлазно кретање воде. Овакав таложник је у ствари округли или квадратни базен са конусним, односно пирамидалним доњим делом. У средини таложника је најчешће уграђен флокулятор.



Слика 6.11. Вертикални таложник

1 - зона таложјења; 2 - флокулятор; 3 - зона муља; 4 - довод; 5 - млазнице; 6 - сабирни жлеб; 7 - муљни испуст; 8 - одвод

Коагулирана вода се доводи у флокулатор и системом млазница равномерно дистрибуира. У флокулатору вода струји силазно и улази у доњи део зоне таложења. Одавде наставља узлазно струјање према сабирном жљебу, одакле се даље одводи. Муљ се скупља на дну конусног дела и повремено испушта. Ради осигурања гравитационог клизања муља према муљном испусту, препоручује се извођење конусног дела под углом од 50 до 55°.

Средња (узлазна) брзина воде у таложнику, v_u [m/s], обично износи око 0,5 mm/s. Ова брзина осигурава таложење свих честица са брзином таложења $v_t > v_u$. Површина зоне таложења A_s дефинисана је изразом:

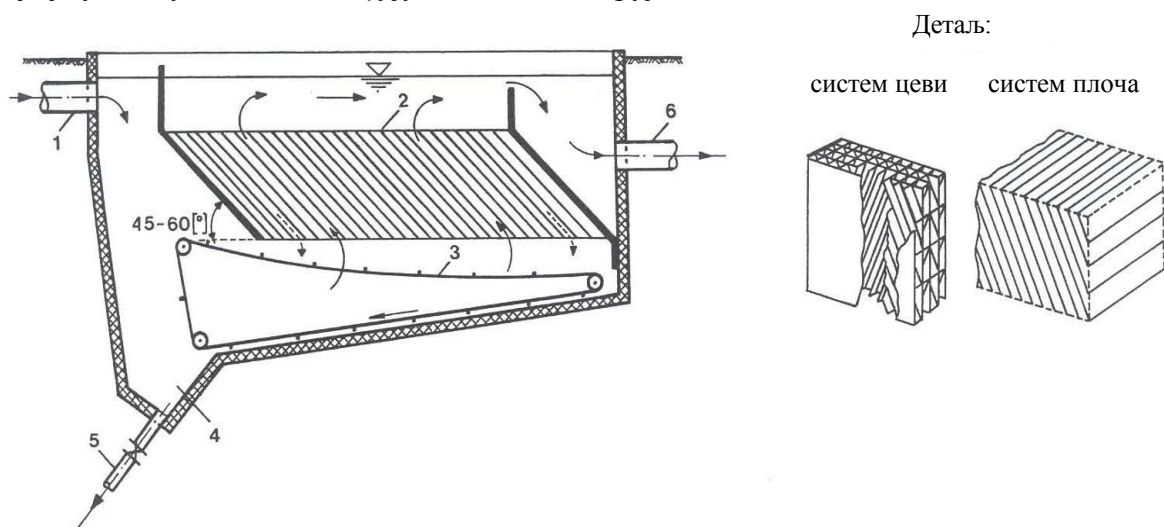
$$A_s = \frac{Q}{v_u} \quad (6.9)$$

Вертикални таложници се углавном примењују код уређаја капацитета до 30.000 m³/d.

3) **Таложење у посебним (специјалним) таложнику** односи се на таложење у:

- а) цевним и плочастим (ламелираним) таложницима,
- б) таложници са лебдећим муљем.

а) **Цевни и плочасти таложници** су настали као резултат настојања да се учинак таложења приближи теоретски очекиваном, и да се време задржавања воде у таложнику, које је иначе прилично дуго у односу на друге фазе кондиционирања воде, што више скрати, уз постизање жељеног степена таложења. Ови таложници се граде као базени, слика 6.12, у које се у виду снопа, под одређеним углом према хоризонталу, уграђује систем цеви различитог облика профила (округлог, четвороугаоног, шестоугаоног), или систем паралелних плоча (ламела). Карактеристична димензија профила цеви, односно међусобног размака ламела, износи 5-7 cm. Кроз уграђене цеви или плоче струји вода оптерећена лебдећим честицама и на том се путу ослобађа знатног дела суспензије за осетно краће време у односу на конвенционалне таложнике. Овим се постиже и оптималност хидрауличких параметара. Рејнолдсов број добија вредности које осигуравају ламинарно струјање, а Фраудов број се креће у границама које је у потпуности обезбеђују стабилност струјања.



Слика 6.12. Цевни или плочасти таложник

1 - довод; 2 - систем цеви или плоча; 3 – сакупљач муља; 4 - муљна комора; 5 - муљни испуст;
6 – одвод

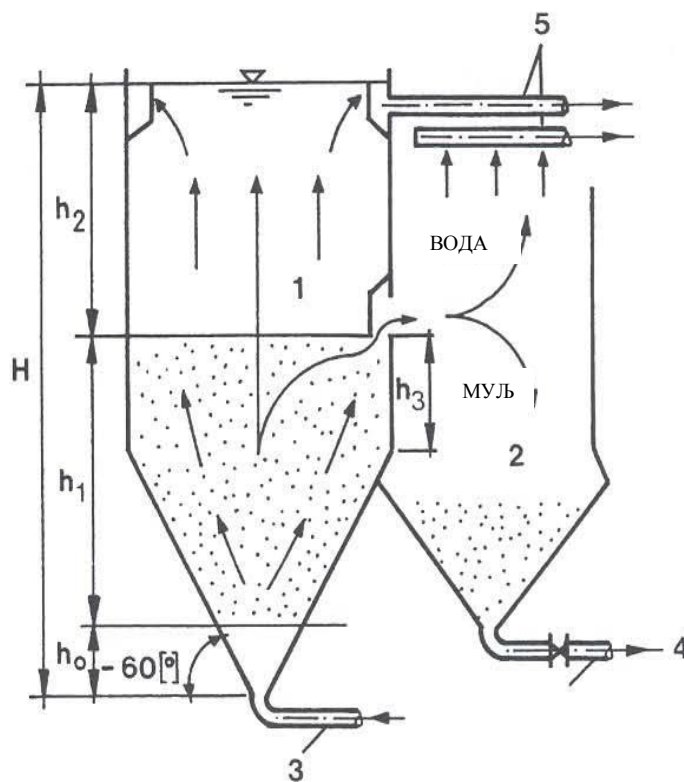
Анализе и испитивања везани за проблеме уклањања муља резултирали су утврђивањем оптималног угла нагиба проточних елемената у границама 45-60°. Тиме је обезбеђено непрекидно гравитационо клизање муља. Дужина проточних елемената је приближно једнака двадесетострукој вредности карактеристичне димензије проточног елемента, што у коначности резултира смањењем потребне дубине воде у таложнику (за око 30 % у односу на конвенционалне таложнике).

Површинско оптерећење, PO , односно критична вертикална брзина таложења честица, v_{cr} , дефинисани су изразом:

$$PO = v_{cr} = K_s \frac{Q}{A_s} \quad (6.10)$$

где је K_s [-] коефицијент чија вредност зависи од нагиба и дужине проточних елемената. Вредност коефицијента K_s је осетно мања од 1. Према томе, код цевних и плочастих таложника се постиже вишеструко смањење критичне брзине таложења, или другим речима, задржавањем исте критичне брзине таложења могуће је вишеструко повећати доток, односно вишеструко смањити површину зоне таложења у односу на конвенционалне таложнике. Предности цевних и плочастих таложника садржане су у високом учинку који се постиже за осетно краће време, мањем волумену објекта, па према томе и мањим инвестиционим трошковима.

б) **Таложници са лебдећим муљем** се данас широко користе у техници кондиционирања воде. С обзиром на одређене посебности, ови се таложници изводе најчешће под називима: акцелератори, преципитатори и пулзатори. Њихов рад (слика 6.13) је заснован на пропуштању коагулиране воде кроз слој лебдећег муља.



Слика 6.13. Начело рада таложника са лебдећим муљем

1 - таложник; 2 - згушњивач муља; 3 - довод; 4 - испуст згуснутог муља; 5 - одвод

Коагулирана вода се доводи у доњи део таложника и струји узлазно. Честице (пахуљице) коагуланта и са њима повучене честице суспензије подижу се узлазним током до тренутка када њихова брзина талочења постане једнака узлазној брзини тока. Претпоставимо да ће се то догодити на висини h_0 изнад довода воде. Изнад тог нивоа ће се формирати слој лебдећег муља кроз који ће пролазити и на одређени начин филтрирати вода. Висина слоја муља, h_1 , треба обезбедити потребан степен талочења. Та је висина ограничена и положајем уређаја за одузимање муља који се уклања у згушњивач муља. Вода која је прошла кроз зону лебдећег муља наставља узлазно струјање до нивоа одвода воде. Висина воде изнад лебдећег муља, h_2 , треба да обезбеди задржавање честица мутноће које су се провукле кроз слој муља и да заштити површину лебдећег муља од усисавања суспензије уређајима за одвод воде. У слоју муља одвија се процес слеplивања честица суспензије са пахуљицама коагуланта, односно, процес додирног згрушавања (контактне коагулације). Ако брзина узлазног струјања премаши брзину талочења при датој концентрацији суспензије, тада ће се та концентрација смањити, тако да може бити поремећен биланс пристизања суспензије у таложник и уклањања њеног вишка у згушњивач талоба. Тада долази до подизања суспендованог муља и изношења суспензије из таложника. Стога се код дефинисања технологије рада ових таложника основни проблем своди на правилно одређивања висине слоја лебдећег муља, h_1 , и узлазне брзине воде, v_u . Ове величине за подразумевани степен талочења зависе од квалитета сирове воде и од поступака њене хемијске обраде.

6.2.5. Филтрација

Филтрација је процес пропуштања воде кроз порозну средину - филтерски материјал. Примењује се за уклањање колоидних честица и микроорганизама (бактерија првенствено) који су након процеса талочења заостали у води, нарочито најситнији колоиди који се нису успели слепити у флокуле, већ су наставили струјањем воде даље. Код филтрације ће и те честице заостати у контакту са филтерским материјалом. У водоводној се пракси као основни филтерски материјал примењује кварцни песак. Ова врста песка садржи силицијум диоксид, SiO_2 , који врло повољно неутралише преостале потенцијалне силе колоида заосталих у води након процеса талочења.

Филтрација је сложен процес који обједињује:

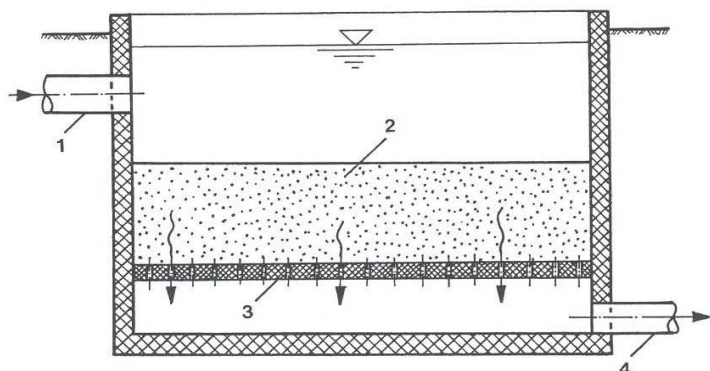
- а) механичко деловање, које се састоји у одстрањивању честица већих од пора филтерског материјала,
- б) адхезијско деловање, које се огледа у пријањању честица на површини филтерског материјала,
- в) адсорпцијском деловању, које се огледа у припијању (на површини филтерског материјала) честица које с водом продиру у порозну средину,
- г) таложно деловање, које се састоји у гравитационом издвајању честица које с водом продиру у унутрашњост филтерског материјала,
- д) хемијско деловање, које се огледа у растављању (дисоцирању) мутног садржаја на ситније делове или у његовом претварању у нетопиљиву масу која се потом уклања из воде,
- ђ) биолошко деловање, које се огледа у стварању биолошке опне или превлаке (филма, мембране) од микроорганизама.

Процес филтрације се одвија у посебним објектима - филтерима.

Зависно од начина кретања воде кроз филтерски материјал, филтери се деле на:

1. гравитационе филтере,
2. потисне филтере,
3. вакуумске филтере,

1) **Гравитациони филтери** су отворени резервоари у којима се изнад филтерског слоја налази вода, слика 1.56. Филтрација настаје због деловања силе теже при висинској разлици довода и одвода воде на филтеру.



Слика 6.14. Шема гравитационог процеђивача

1 - довод воде након таложења; 2 - филтерски слој; 3 - дренажа; 4 - одвод филтриране воде

2) **Потисни филтери** су затворени (челични) цилиндрични резервоари у које се вода доводи под притиском. Филтрација настаје због разлике притиска на доводу и одводу воде.

3) Вакуумски филтери су она врста филтера код којих на одводу влада подпритисак.

Код кондиционирања воде, нарочито ако се ради о уређајима већих капацитета, најчешће се примењују гравитациони филтери.

Основни параметри који се одређују приликом прорачуна процеђивања, односно код пројектовања филтера, јесу:

- а) брзина филтрирања,
- б) допуштени хидраулички губици на филтеру,
- в) оптимално време рада филтера између два прања, односно чишћења.

а) **Брзина филтрирања**, v_f [m/h], дефинисана је изразом:

$$v_f = \frac{Q}{A_f} \quad (6.11)$$

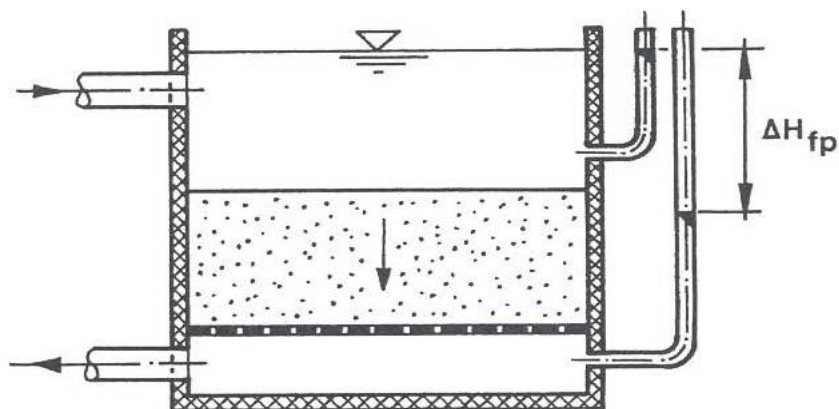
где су:

Q - доток на филтер, [m³/h],

A_f - површина филтера, [m²]

Дакле, под брзином филтрирања се не подразумева стварна брзина воде у порама филтерског материјала, него вертикална брзина колоне воде која пролази филтером.

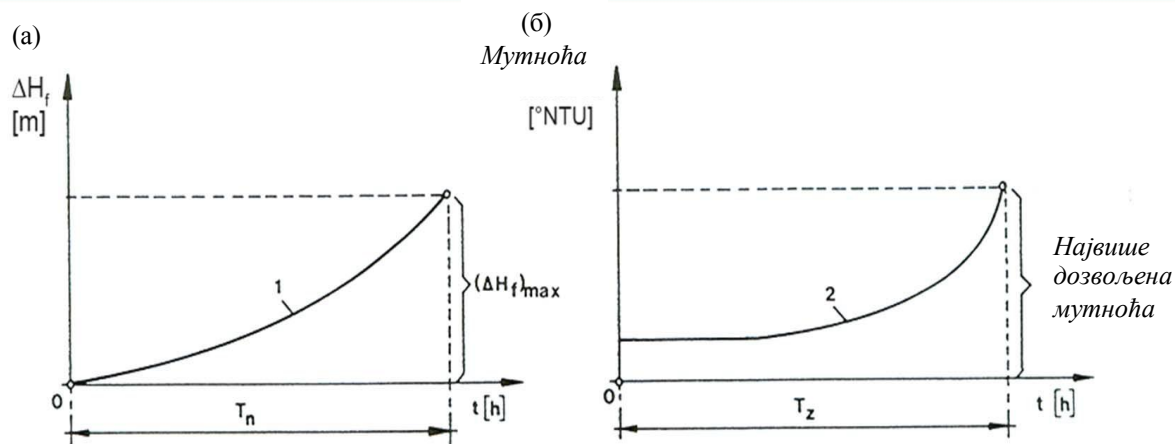
б) **Допуштени хидраулички** губици на филтеру, ΔH_f [m], ограничени су разликом нивоа воде у филтеру и у резервоару чисте воде. Ови губици, осим губитака због филтрирања воде, ΔH_{fp} [m], укључују линијске и локалне губитке због протицања воде кроз водоводне цеви и арматуре којима се филтрирана вода одводи до резервоара чисте воде. Хидраулички губици, ΔH_{fp} , слика 6.15, првенствено зависе од особина филтерског материјала (дебљини слоја, порозности, димензијама и проценту удела појединих фракција), затим од брзине филтрирања, вискозности воде и гравитационог деловања.



Слика 6.15. Приказ потисних губитака код гравитационог филтрирања

в) **Оптимално време** рада филтрирања одређује се из два услова.

1. Први услов се односи на чишћење филтерског материјала, због чега у процесу филтрирања постепено долази до смањења порозности филтерске испуне, односно до зачепљења пора, а тиме и до повећања хидрауличких губитака, слика 6.16(а), што називамо колматацијом. Ти губици се повећавају кроз период, T_n [h], током кога њихова вредност достигне вредност расположивог притиска.
2. Други услов се односи на чињеницу да порастом чишћења филтерског материјала долази до повећања брзине воде у порама, што доводи до делимичног изношења честица суспензије које су се претходно задржале у порама. Као резултат тога почиње се погоршавати квалитет филтриране воде.



Слика 6.16. Одређивање оптималног времена рада филтера

(а) према критеријуму дозвољених хидрауличких губитака; (б) према критеријуму траженеог квалитета филтриране воде 1 - промена хидрауличких губитака; 2 - промена мутноће

Дакле, према другом критеријуму трајања рада филтера између два прања је период, T_z [h], током којег се гарантује тражени квалитет филтриране воде, слика 6.16(б). Обе вредности, T_n и T_z , зависе од брзине филтрирања, квалитета воде и особина суспензије и филтерског материјала. У случају најекономичније пројектованог филтера важи једнакост:

$$T_s = T_n \quad (6.12)$$

Међутим, ради осигурања здравствене исправности филтриране воде пожељно је да T_z буде нешто веће од T_n , односно препоручује се узети:

$$T_z = (1.2 \text{ до } 1.5) T_n \quad (6.13)$$

Тиме су дефинисани основни параметри процеса филтрирања.

По карактеру механизма задржавања суспендованих честица разликују се:

- 1) спора филтрација,
- 2) брза филтрација

1) **Спора филтрација** настаје филтрацијом кроз биолошку опну коју образују микроорганизми на површини филтерског слоја. Зато се оно назива и површинска филтрација. Процес споре филтрације се одвија на спорим филтерима, који се примењују за филтрирање некоагулиране воде која садржи ниску мутноћу (ретко преко 8 [°NTU]). Раде при малим брзинама процеђивања, обично 0,1 до 0,3 (најчешће 0,2) m/h и капацитета до 1000 m³/d. Зато им је потребна велика површина, што условљава релативно високе инвестиционе трошкове. Одлика им је врло високо смањење мутноће и велики проценат задржавања бактерија (98-99 %).

Недостаци спорих филтера су, уз високе трошкове изградње, врло сложен, скуп и са санитарног аспекта, несавршен начин чишћења. Као што је истакнуто, рад спорих филтера заснива се на филтрирању некоагулиране воде кроз биолошку мембрану, на којој се задржавају само оне честице чије су димензије веће од пора опне, док пешчани филтерски слој служи као ослонац за сакупљање колоида и микроорганизма на његовој површини. Учинак прочишћавања се повећава пропорционално формирању биолошке опне над филтерским слојем. Сакупљање филтриране воде спроводи се помоћу жлеба уграђеног на дну филтера. Код већих филтерских површина изводи се дренажни систем, најчешће од перфорираних цеви. Препоручљиве вредности основних параметра спорих филтера јесу:

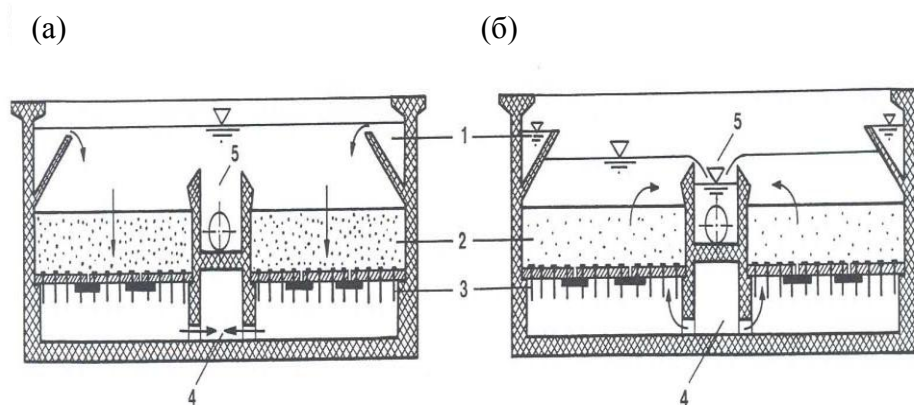
- а) ефективни пречник, $d_e = 0,25 - 0,35 \text{ m}$,
- б) коефицијент једноликости, $K_d = 2,75$,
- ц) почетна дебљина потпорног (филтерског) слоја, $h_f = 1,5 \text{ m}$,
- д) дубина воде изнад филтерског слоја, $h_v = 1,2 \text{ m}$.

Мала брзина филтрирања и мале димензије честица суспензије узрокују релативно споро сазревање биолошке опне (1-2 дана), док нормално време рада спорих филтера (од завршетка сазревања опне до чишћења) износи обично 2 (4) месеца. Приликом чишћења филтера скида се нечишћени површински слој песка дебљине 1-2 cm, све док се дебљина филтерског слоја не смањи на 0,75 m. Тада се сав претходно одстрањен песак опере и врати на филтер. Због релативно велике површине спорих филтера, њихово чишћење је сложен и скуп поступак који може да потраје и дан - два. Стога се

увек граде барем две филтерске јединице које се, ради континуитета водоснабдевања, чисте одвојено.

2) **Брза филтрација** настаје филтрацијом кроз цео филтерски слој. Зато се она назива и дубинска филтрација. Процес брзог филтрирања се одвија на брзим филтерима који се примењују за филтрирање воде која је прошла процес таложења и има мутноћу највише 8 [°NTU]. Раде при релативно великим брзинама филтрирања, обично 5-7 (изузетно 15) m/h , зависно од гранулометријских особина филтерског слоја и врсте филтера. Због велике брзине филтрирања, потребна површина ових филтера је вишеструко мања у односу на споре. Међутим, са друге стране, код брзих филтера је присутно знатно брже прљање, а тиме и потреба њиховог чешћег прања (у просеку 1-2 пута дневно).

На слици 6.17. дата је начелна шема рада брзих филтера.



Слика 6.17. Шема рада брзих процеђивача

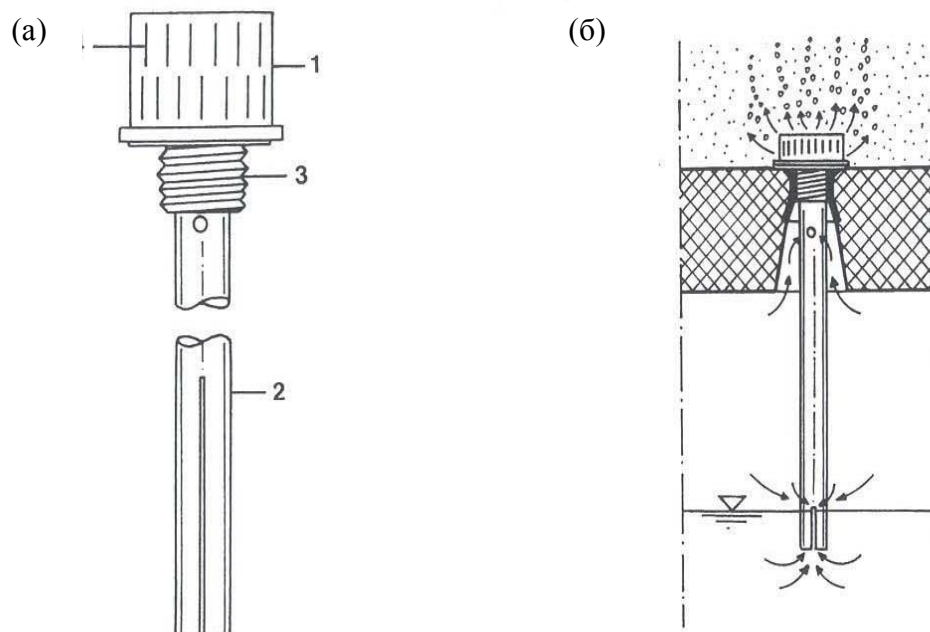
1 - доводни жлеб воде намењене процеђивању; 2 - филтерски слој; 3 - млазнице; 4 - сабирни канал филтриране воде и доводни канал воде за прање; 5 - одводни жлеб воде од прања

Посредством жлеба, слика 6.17(а), вода намењена филтрирању равномерно се распоређује изнад филтерског слоја и филтрирајући пролази тим слојем. Филтерски слој је положен на носећу конструкцију, најчешће монтажне армирано-бетонске плоче, у које је уграђен систем млазница, обично 64 млазнице по m^2 . Кроз млазнице се вода цеди у доњи део базена. Филтрирана вода се затим сакупља у сабирном каналу и одводи главним каналом (цевоводом) према резервоару чисте воде.

Препоручљиве вредности основних параметара брзих филтера јесу:

- а) ефективни пречник, $d_e = 0,45 - 0,55 \text{ mm}$,
- б) коефицијент једноликости, $K_u = 5/1-1/7$,
- ц) дебљина филтерског слоја, $h_f = 0,7$ до $0,8 \text{ m}$,
- д) дубина воде изнад филтерског слоја, $h_v = 0,7$ до $1,0 \text{ m}$.

Када дође до чишћења филтера, односно максимално дозвољеног губитка притиска (реда величине 1,5 m воденог стуба), приступа се његовом искључењу из рада и прању (слика 6.17(б)). Прање се може спровести помоћу воде или у комбинацији воде и ваздуха. Други начин прања је чешћи. Прање филтера помоћу воде и ваздуха заснива се на наизменичном довођењу чисте воде и заједно воде и ваздуха под одређеним притиском у доњи део базена, због чега настаје узлазно струјање кроз систем млазница и филтерски слој. Ради што равномерније расподеле воде и ваздуха, млазнице имају најзначајнију улогу управо код прања филтера (слика 6.18).



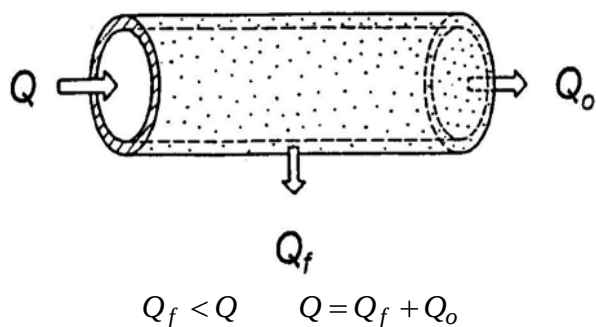
Слика 6.18. Млазница

(а) изглед; (б) начело рада за време прања

1 - глава; 2 - дршка; 3 - навој; 4 – прорези

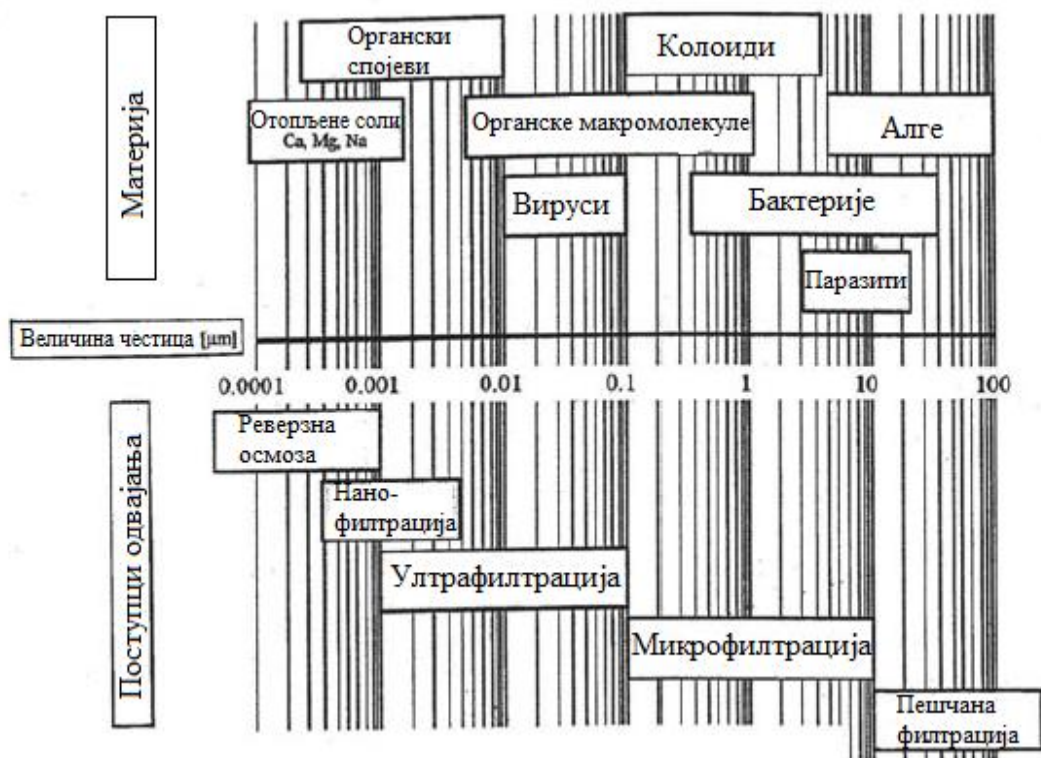
Изводе се као пластичне (најчешће) и металне, а састоје се од дршке и главе. На дршци је навој, ради уградње млазнице у армирано-бетонско дно, и отвор на горњем делу, као и прорез на доњем. Глава се изводи са системом прореза чије димензије (обично 0,35 до 0,70 mm) морају онемогућити изношење филтерског материјала у фази рада филтера. Кроз те се прорезе цеди се вода у процесу рада филтера, а убацује вода и ваздух у фази његовог прања. Вода од прања одводи се сабирним жлебом и испушта у канализацију. Преливни руб жлеба мора бити смештен на таквој висини изнад површине филтерског слоја да се песак приликом прања не може водом за испирање изнети у жлеб. Ради непрекидности рада уређаја за кондиционирање воде, увек се изводи више филтерских јединица које се перу одвојено. Ваздух за прање осигурава се компресором, чији капацитет зависи од броја млазница на филтерским јединицама при њиховом истовременом прању, док је потребан притисак ваздуха 0,5 bara, мерено од површине филтерског слоја. Чиста вода за прање филтера налази се у посебној цистерни за воду, одакле се под притиском од 0,5 bara (у односу на површину филтерског слоја) доводи засебним цевоводом до филтерског базена.

Наставак претходно описаног процеса гравитационог филтрирања представљају процеси мембранског филтрирања у којима се користи својство полупропусних средина (мембрана). Принцип функционисања мембрана је такав да се вода намењена филтрирању, Q , доводи у носиви елемент (мембранско кућиште) у којем се налазе мембране. На мембранама се раздваја филтрирана вода - филтрат (пермеат), Q_f , која је прошла кроз мембране, и издвојене отпадне материје (ретенат), Q_o , које се заустављају на мембрани и одстрањују (слика 6.19).



Слика 6.19. Принцип (попречно - проточне) мембранске филтрације

Подручје деловања процеса мембранске филтрације првенствено зависи од величине честица (материје) које треба издвојити из воде, слика 6.20.



Слика 6.20. Класификација честица у односу на величину и поступак одвајања (сепарације)

Према слици разликују се четири поступка одвајања мембранама:

- 1) микропроцеђивање (микрофилтрација), *MP (MF)*, са мембранама величине пора (отвора) 0,1 до 10 μm ;
- 2) ултрапроцеђивање (ултрафилтрација), *UP (UF)*, са мембранама величине пора 0,001 μm = 1,0 nm до 0,1 μm;
- 3) нанопроцеђивање (нанофилтрација), *NP (NF)*, са мембранама величине отвора 0,4 nm до 5,0 nm;
- 4) реверзна осмоза, *RO*, са мембранама величине пора 0,1 nm до 1,0 nm

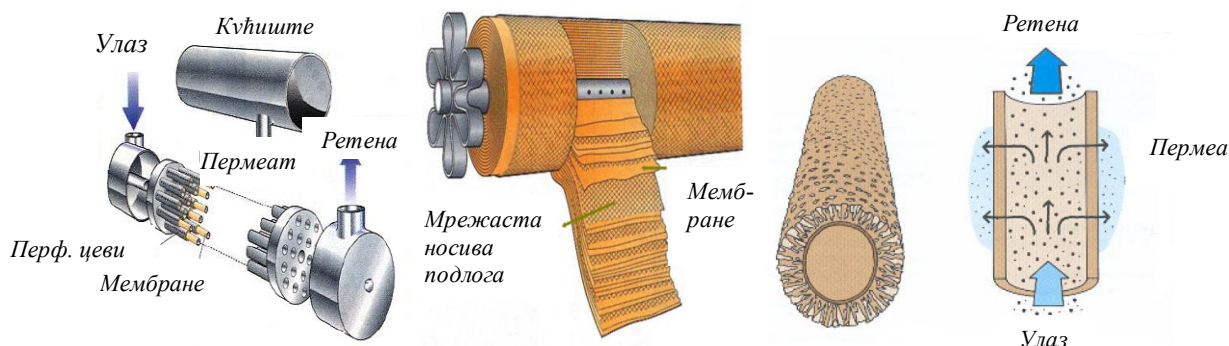
Дакле, подела је учињена у функцији величине честица (материје) распршених (суспендованих) и растворених у води које могу бити уклоњене посредством мембрана. *RO* и *NP* се претежно примењују за издвајање растворених минералних и органских материја, а *UP* и *MP* за уклањање суспендованих честица и микроорганизама. Поступци сепарације материје из воде базирани су на разлици притиска при проласу воде кроз мембрану. Код *UP* и *MP* типичне вредности притиска су 1,0 до 2,5 *bara*, код *NP* се користе притисци 6-14 *bara*, док код *RO* уобичајено вредности притиска износе 7-20 (80) *bara*.

Као материјали за израду мембрана данас се најчешће користе:

1. полимери (нпр. полипропилен, *PP*; полиетарсулфонима, *PES*; полисулфон, *PS*; поливинилиден, *PVDF*),
2. метали (нпр. алуминијум, цирконијум, титанијум, никл),
3. керамика.

Мембране се производе у облику порозних (шупљих) цевчица - влакана и вишеслојних фолија, уграђених у кућиште с којим обликују модул филтрације. Модули филтрације се најчешће производе као (слика 6.21):

- а) цевни модули, са мембранама постављеним унутар више перфорираних цеви уграђених у потисно кућиште,
- б) модули спирално намотаних мембрана, са спирално намотаним мембранама око централне цеви,
- б) модули са шупљим влакнима, са мембранама од више стотина хиљада шупљих влакана уграђених у потисну цев (кућиште).



Слика 6.21. Модул филтрације

(а) цевни модул; (б) модул спирално намотаних мембрана; (ц) модул са шупљим влакнима

6.2.6. Дезинфекција

Процесима таложења и филтрације знатно се смањује количина микроорганизама у води, али то још не значи да су они потпуно уклоњени. За њихово уклањање се примењује дезинфекција. Њоме се не постиже потпуно уништење свих живих микроорганизама у води као на пример стерилизацијом, већ је сврха дезинфекције да воду у бактериолошком погледу учини здравствено исправном (сигурном). Стога је задатак дезинфекције уништење инфективних микроорганизама. Дезинфекција је обично последњи процес приликом кондиционирања воде, а понекад и једини, али обавезан.

Од поступака дезинфекције питких вода данас су најраспрострањенији:

- 1) дезинфекција хлором и његовим дериватима,
- 2) дезинфекција озоном,
- 3) дезинфекција ултраљубичастим зрацима.

(1) **Дезинфекција хлором** и његовим дериватима огледа се првенствено у уништавању бактерија, затим одређених врста вируса и паразита, оксидацији органске и неорганске материје, и сузбијању укуса страних мириса воде.

У савременој пракси кондиционирања питких вода овај се поступак најчешће примењује. Бактерицидно својство хлора заснива се на разарању ензима који претварају скроб у шећер и који су преко потребни за живот микроорганизама. Најчешће се користи гасовити хлор или хипохлорит натријума, као и хипохлорит калцијума. Хлор је погодан као дезинфекционо средство због учинка који постиже у релативно кратком времену и уз прихватљиве трошкове. Међутим, хлор може узроковати непријатан мирис воде. Потребна доза хлора зависи од укупне органске и анорганске материје у води која оксидира. Показатељ хлорне дозе је количина неутрошеног, такозваног слободног (резидуалног) хлора који остаје у води након извршене оксидације органске и неорганске материје. Према томе, у процесу дезинфекције се доза хлора непрекидно повећава док се у хлорисаној води не појави резидуални хлор (највише $0,5 \text{ mg/l}$). Оријентациона доза хлора код питких вода износи $0,5$ до $1,0 \text{ mg/l}$ уз време контакта око 30 min .

2) **Дезинфекција озоном** заснива се на пропуштању кроз воду озона, тј ваздуха у којем се кисеоник услед електричног пражњења налази у триатомном облику – O_3 . Озон се добија тако да се струја чистог и сувог ваздуха пропушта између две електроде са разликом потенцијала $10.000 - 20.000 \text{ V}$. Због непостојаности тог облика, озон брзо прелази у кисеоник – O_2 , а атом кисеоника који се при томе ослобађа делује као јаки оксидант на протоплазму микроорганизама који се налазе у води и убија их. Озон је врло погодан за дезинфекцију питких вода јер нема непријатног мириса ни отровног деловања, али су трошкови пословања уређаја са озоном данас још увек релативно врло високи. Потребна доза озона за дезинфекцију чисте воде је око 1 mg/l , а време контакта озона са водом износи око 5 min .

3) **Дезинфекција ултраљубичастим зрацима** састоји се у уништењу бактерија у води изложеној зрачењу ултраљубичастим зрацима. Њихово бактерицидно деловање је код таласних дужина $200-300 \text{ nm}$ а максимално код 250 nm . Производе се у сијалицама са живиним парама под малим притиском. Снага сијалице је до 200 V , а век трајања $2000-4000 \text{ h}$. Вода подвргнута поступку дезинфекције ултраљубичастим зрацима мора бити савршено чиста и кружити око сијалице у танком слоју. Предност овог поступка дезинфекције је релативно једноставан погон и непромењен укус воде, а недостатак је садржан у потреби високог претходног степена кондиционирања воде.

7. Резервоари

Резервоари су грађевине чије су функције (а) осигурање оперативне резерве воде ради изравнавања осцилација у потрошњи воде за кућне и индустријске потребе, (б) осигурање пожарне резерве воде, (в) осигурање безбедносне резерве воде за време прекида дотока у резервоар и (г) осигурање захтеване расподеле притиска у водоводној мрежи, дефинисањем висинског положаја резервоара и нивоа воде у водним коморама потрошача.

7.1. Врсте резервоара

Подела резервоара је могућа по неколико критеријума. У погонском погледу разврставамо их у:

1. висинске резервоаре,
2. ниске резервоаре.

1) **Висински резервоари** имају ниво воде изнад потрошача, тако да вода према потрошачима струји гравитацијски. Ови резервоари обједињују све четири претходно набројане функције резервоара. Деле се на:

- а) укопане резервоаре, које су претежним делом укопани у терен. Изводе се на местима са најповољнијим висинским и хоризонталним положајем у односу на потрошаче,
- б) водоторњеве, који се у целости налазе изнад терена ради постизања потребног притиска у водоводној мрежи. Примењују се на локацијама где нема топографских услова за израду укопаних резервоара (равничарски терен),
- в) тунелске резервоаре, који се изводе у брдским масивима (чврстој стени).
- г) хидрофоре, који немају функцију чувања воде, ради чега их условно сврставамо у ову групу, него се користе за локално повећање притиска, на пример код високих стамбених зграда.

2) **Ниске резервоаре** који су у висинском погледу смештени (укопани) на недовољној висини за осигурање потребног притиска у водоводној мрежи. Вода се из њих дистрибуира потрошачима помоћу пумпи, тако да су то заправо усисни резервоари пумпних станица. Ови резервоари обједињују прве три претходно наведене функције резервоара.

7.2. Основни елементи резервоара

Главне елементе резервоара чине:

- 1) функционални елементи,
- 2) конструкцијски елементи.

7.2.1. Функционални елементи резервоара

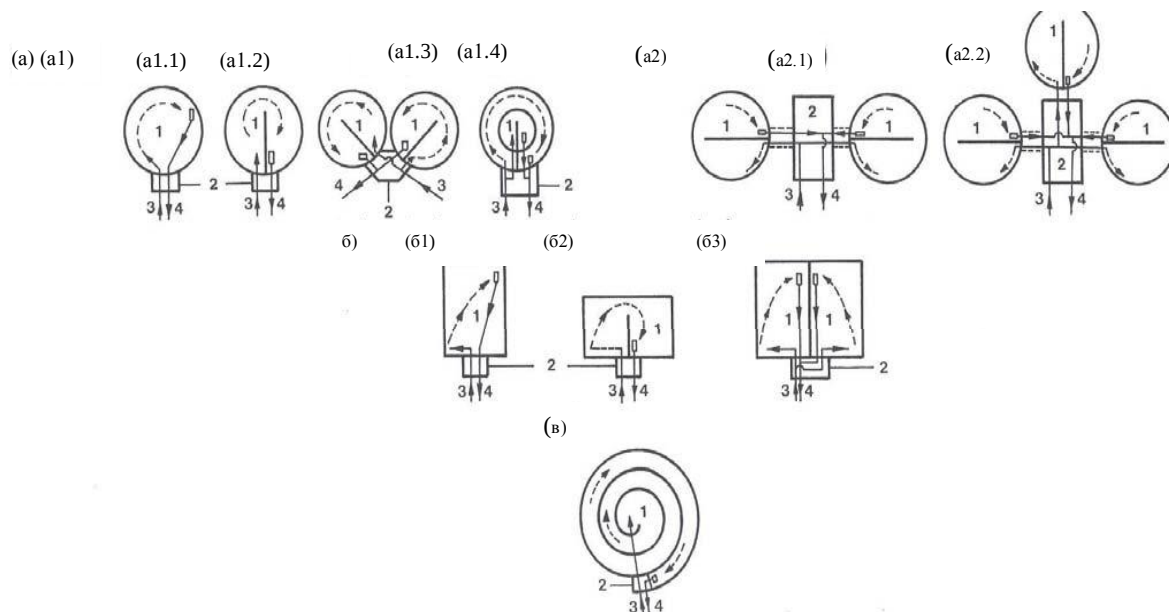
Основни функционални елементи резервоара јесу:

- а) водна или резервоарска комора,
- б) засунска или манипулативна комора.

а) **Водна комора** служи за чување резервних водних количина. Уобичајена дубина воде у водној комори је 3-4 m, ретко до 6 m.

Код укопаних резервоара, водна комора има округли, правоугаони или (ређе) спирални облик (слика 7.1). Водоторњеви по правилу имају округле основе.

На слици 7.1 види се да водна комора може бити једнокоморна или вишекоморна. Ради осигурања непрекидности водоснабдевања обично се изводе вишекоморни резервоари. Водна се комора најчешће ослања на засунску комору, (слика 7.1(a1), (б), и (в)), а само је у изузетним случајевима одвојена, (слика 7.1(a2))



Слика 7.1. Нацртни облици једно и вишекоморних укопаних резервоара

а) округли; (б) правоугаони; (в) спирални (a1.1), (a1.2), (б1), (б2) и (в) једнокоморни резервоари; (a1.3), (a1.4), (a2.1) и (б3) двокоморни резервоари; (a2.2) трокоморни резервоари (a1), (б) и (в) водна комора наслоњена на засунску комору; (a2) водна комора одвојена од засунске коморе 1 - водна комора; 2 - засунска комора; 3 - довод; 4 - одвод

б) **Засунска комора** служи за смештај водоводних (манипулативних) арматура, краја доводног и почетка одводног цевовода, испуста, прелива и индикатора нивоа воде. Водоводне арматуре служе за управљање водним резервама, испустом се осигурава комплетно пражњење коморе (нпр. ради чишћења), док прелив осигурава највиши дозвољени ниво воде у водној комори, како не би дошло до преливања преко преградних зидова и потапања засунске коморе.

7.2.2. Конструкцијски елементи резервоара

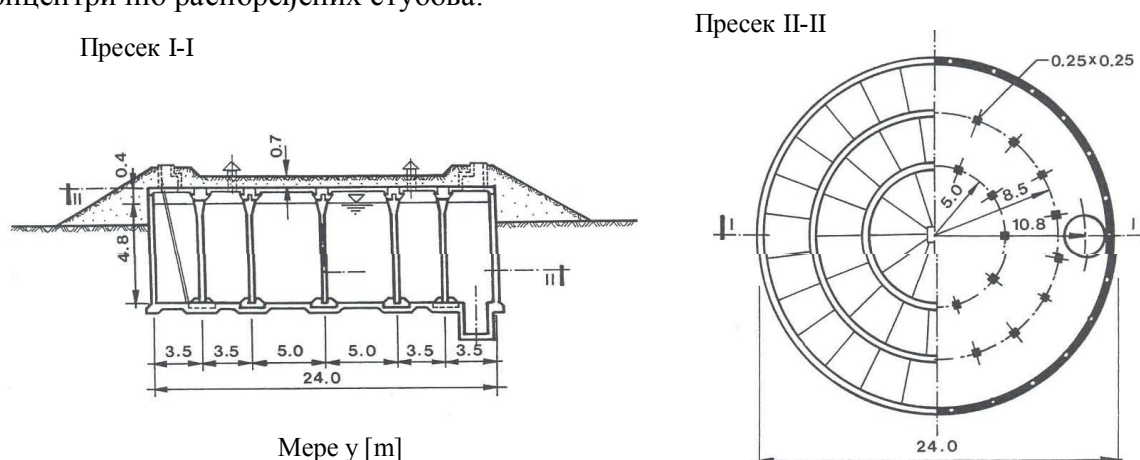
Основни конструкциони елементи резервоара јесу:

- 1) дно,
- 2) вертикални зидови и стубови,
- 3) греде и (равна) покривна плоча,
- 4) носећа конструкција (код водоторњева).

Са овим елементима резервоари се изводе на лицу места, као монтажне или комбиноване конструкције.

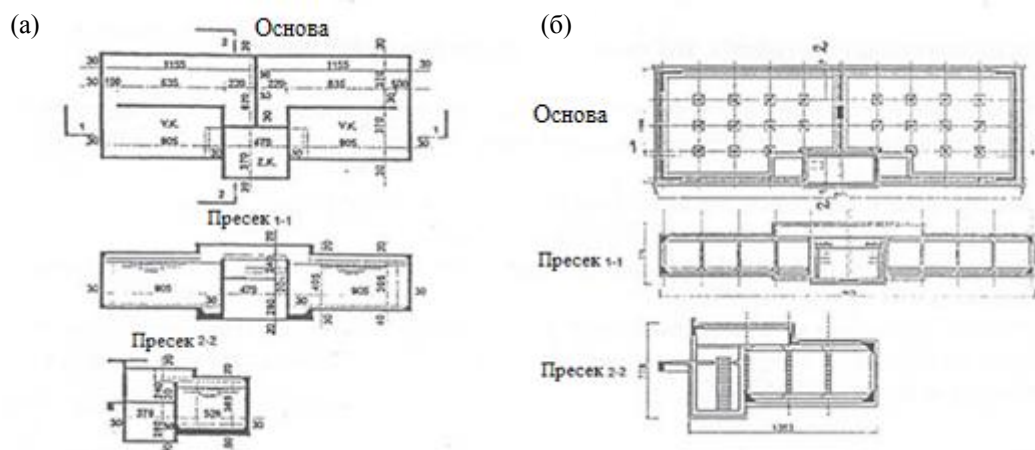
Као монтажни елементи обично се изводе стубови, греде, плочни панели за формирање вертикалних зидова. Према материјалу извођења данас су најчешћи резервоари од армираног бетона, потом од преднапрегнутог бетона и челика, а раније од опеке и ломљеног камена. Релативно високи трошкови антикорозивне заштите и топлотне изолације главна су препрека широј примени челичних резервоара. Конструкцијско обликовање резервоара је врло разнолико.

На слици 7.2. приказана је типска конструкција укопаног, једнокоморног округлог резервоара, изведеног од монтажних армирано-бетонских елемената. Армирано-бетонско равно дно изведено је на лицу места. Вертикални зидови су изведени монтажно од ребрастих панела који се спајају заваривањем челичних лимова испуштених из панела. Покривна плоча је монтирана од равних радијалних и трапезних плоча које се ослањају на вертикални зид резервоара, и на средишњи и систем концентрично распоређених стубова.



Слика 7.2. Пример укопаног, једнокоморног, округлог армирано-бетонског резервоара

Слика 7.3, такође приказује укопане, двокоморне, правоугаоне резервоаре, изведене од армираног бетона на лицу места. На слици 7.3(а) приказан је укопан резервоар са зидовима, а на слици 7.3(б) са стубовима унутар водних комора. армирано-бетонског

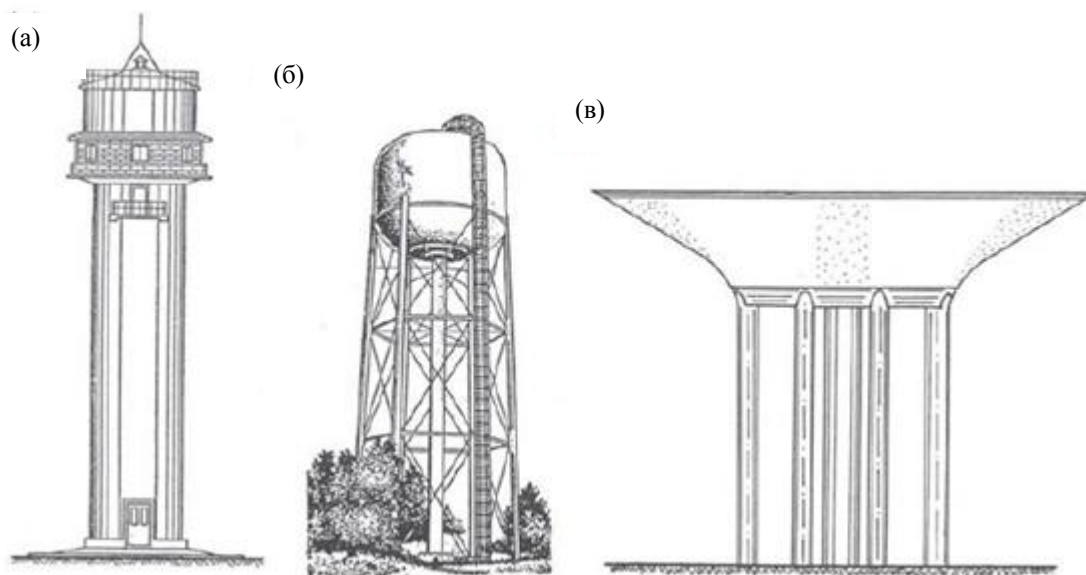


Слика 7.3. Примери укопаних, двокоморних, правоугаоних армиранобетонских резервоара

(а) са зидовима; (б) са стубовима

Израда водоторњева је, будући да садрже носећу конструкцију, знатно сложенија од израде укопаних резервоара, тако да су и трошкови њихове израде (за исти обим резервоарског простора) најмање четвороструко већи. Висина носиве конструкције обично износи 25 до 30 [m], а само ретко прелази 40 m. Зато је потребно посветити максималну пажњу проналажењу минимално потребног волумена водоторња. У пракси се настоји да он не буде већи од 20-30% највеће дневне потрошње. Код водоторњева се засунска комора, за разлику од укопаних резервоара, обично изводи одвојено од резервоарског простора, претежно у подземном делу објекта.

На слици 7.4 приказани су примери водоторњева према материјалу израде. Резервоарски простор је претежно цилиндричног облика са равним или сферним дном



Слика 7.4. Примери водоторњева према материјалу извођења

(а) армиранобетонски; (б) челични; (в) од преднапрегнутог бетона

Основа функционалног прорачуна резервоара састоји се у одређивању запремине резервоарског простора (водне коморе). Ова величина зависи од режима потрошње и дотока, а односи се на максималну дневну потрошњу, Q_{max} [m^3/d], на крају пројектног периода. Зато је за сваку конкретну водоводну зону која ће се снабдевати водом из припадајућег резервоара, потребно одредити:

- а) часовни режим потрошње воде током дана (24 h, у дану максималне потрошње),
- б) режим дотока у резервоар, било директно са изворишта (водозахвата) или са уређаја за кондиционирање воде.

Према томе, доток у резервоар може бити гравитацијски, при чему се обично претпоставља да је сталан у току 24h, или потисни, односно, посредством пумпи, када је режим дотока завистан од режима рада пумпи.

Укупана запремина резервоарског простора, V_{RU} [m^3], састоји се од:

- 1) оперативне резерве, V_{RO} [m^3],
- 2) пожарне резерве, V_{RP} [m^3],
- 3) безбедносне резерве V_{RS} [m^3].

Ако се из резервоара подмирује и потреба за чистом водом уређаја за кондиционирање воде (првенствено за прање брзих филтера), тада је и ту количину воде потребно узети у обзир.

7.2.3. Оперативна резерва

Одређивање оперативне резерве, V_{RO} , односи се на део резервоарског простора којим се осигурава изравнање осцилација у потрошњи воде за кућне и индустријске потребе. Најчешће се спроводи под претпоставком дневног изравнавања, дакле, за случај када је дневни доток једнак дневној потрошњи.

7.2.4. Сигурносна резерва

Сигурносна резерва, V_{RS} , се предвиђа за случај прекида дотока у резервоар, за време док се не отклони узрок прекида (квар или оштећење). Обично се препоручује да ова резерва износи 25 % збир оперативне и пожарне резерве, дакле:

$$V_{RS} = 0.25(V_{RO} + V_{RP}) \quad (7.1)$$

7.2.5. Укупана запремина резервоарског простора

Укупана запремина резервоара, V_{RU} , одређује се према изразу:

$$V_{RU} = V_{RO} + V_{RP} + V_{RS} = 1,2(V_{RO} + V_{RP}) \quad (7.2)$$

8. Водоводне мреже

Под водоводима се, у ширем смислу гледано, не подразумевају само цевоводи за транспорт и дистрибуцију воде, већ и сва постројења и уређаји који су у функцији разматраног водоснабдевања. Шта ће, поред цевовода, водовод да садржи зависи од намене водовода, врсте и места изворишта – водозхвата и других утицајних фактора. У општем случају, поред цевовода, водовод чине и водозхватни објекат, пумпна или пумпне станице, постојења за пречишћавање и припрему воде, резервоари, уређаји за заштиту од хидрауличког удара и друго.

Основни захтеви код водоводне мреже садржани су у осигурању:

- довољне чврстоће (механичке отпорности на спољна и унутрашња оптерећења),
- водонепропусности,
- глаткости унутрашњих зидова (ради што мањих хидрауличких губитака),
- дуготрајности (с обзиром на агресивно деловање средине),
- једноставне, брзе и сигурне уградње (монтаже),
- највеће економичности.

8.1. Подела водовода (система водоснабдевања)

Према намени воде разликују се:

- водоводи за пијаћу воду (регионални, градски, сеоски и кућни водоводи)
- водоводи за индустријску (технолошку) воду
- водоводи за противпожарно снабдевање
- водоводи за поливање зелених градских површина и прање улица
- водоводи за наводњавање
- вишефункционални водоводи.

Према функцији водоводи се деле на

- главне (магистралне) (доводне, доводно - снабдевне)
- разводне,

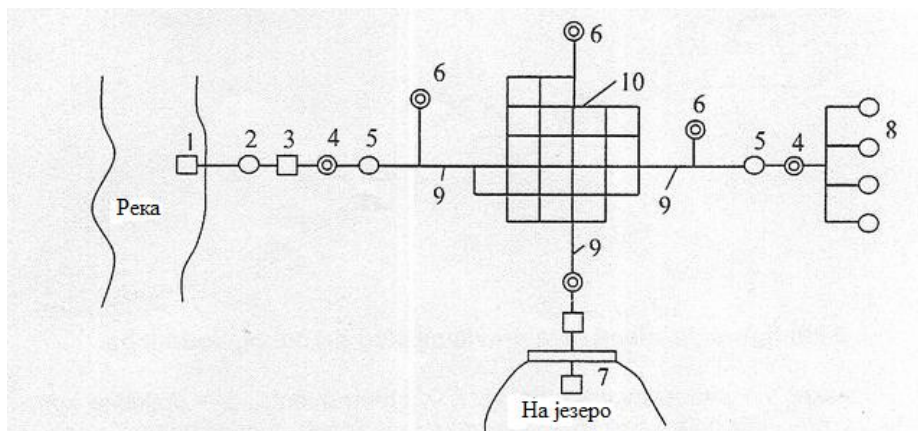
Градски водоводи су по правилу вишефункционални, јер поред обезбеђења потреба за пијаћом водом, обезбеђују и воду за гашење пожара, а врло често, што је дугорочно гледано потпуно неекономично, обезбеђују и воду за поливање зелених површина и прање улица, па и потребе индустријске воде која не захтева квалитет воде за пиће.

Према природи извора водоснабдевања водоводи могу бити:

- са површинским изворима водоснабдевања (реке и језера)
- са подземним изворима водоснабдевања (бунарски) и
- са обе врсте извора (и са површинским и са подземним изворима водоснабдевања).

Већи градски водоводи обично се снабдевају са више различитих изворишта. Као илустрација овога, на слици 8.1 шематски је приказан један градски водовод са три изворишта сирове воде (реке, језера и бунара). На слици је (позиција 10) приказана само прстенаста градска разводна мрежа. Разводне гране које иду ка потрошачима нису приказане на слици. Сва потрошња воде може се фиктивно редуковати као потрошња из чворова прстенасте мреже (као да се вода одводи потрошачима из чворова прстенасте мреже). Позицијом 6, на слици 8.1, означени су напорни резервоари.

Напорним резервоарима називају се резервоари из којих вода може гравитацијски да дође са натпритиском до потрошача. У равничарским крајевима напорни резервоари се изводе у форми водоторњева. Напорним цевоводима (позиција 9 на слици 8.1.) називају се цевоводи којима се вода доводи до разводне водоводне мреже.



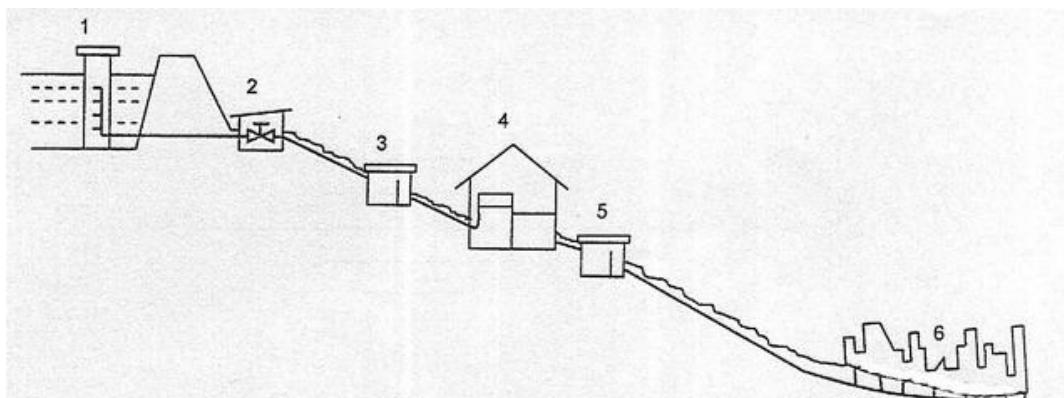
Слика 8.1. Шема једног градског водовода

1 – водозахватни објект, 2 – црпна пумпна станица, 3 – станица за пречишћавање воде, 4 – резервоар чисте воде, 5 – потисна пумпна станица, 6 – напорни резервоар, 7 – потрошачи

Подела комплетних водоводних мрежа или њихових делова могућа је по неколико критеријума. Према узроку струјања водоводи могу бити:

- 1) гравитацијске,
- 2) потисне (са пумпном станицом) и
- 3) комбиноване

На слици 8.2 приказана је конфигурација једног гравитацијског водовода. У случају када је хидроакумулација на много већој висини од потрошача (насеља које се снабдева водом), да би се смањио притисак у напорном цевоводу, траса напорног цевовода се прекида са једном или више прекидних комора (позиција 3 на слици 8.2).

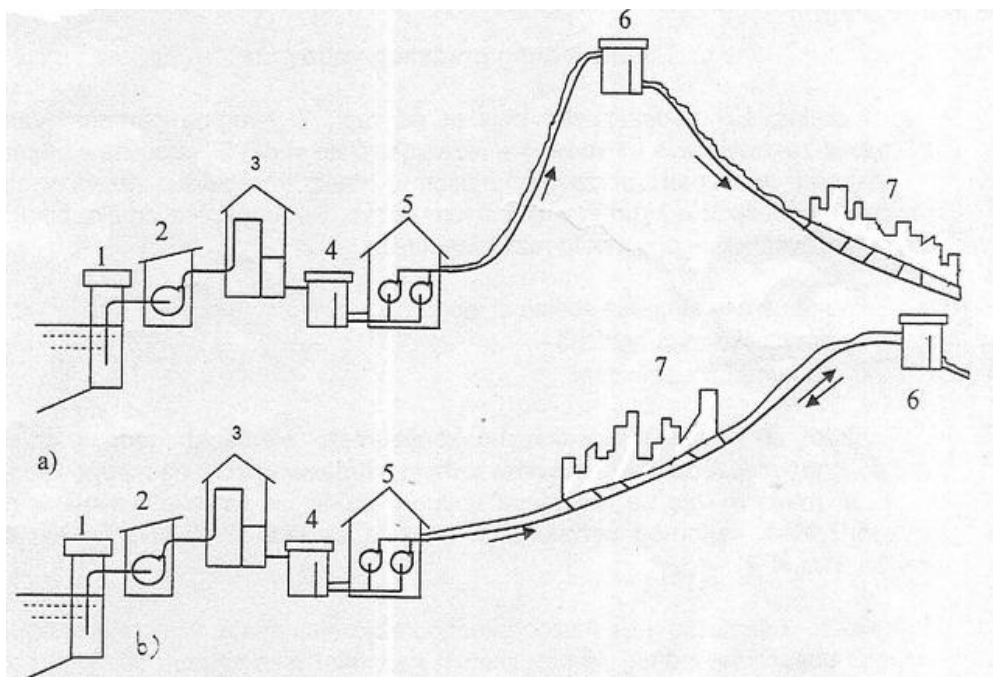


Слика 8.2. Конфигурација елемената гравитацијског градског водовода

1 – водозахватни објект, 2 – заборни вентил, 3 – прекидна комора, 4 – станица за пречишћавање воде, 5 – резервоар пречишћене воде (напорни резервоар), 6 – потрошачи

На слици 8.3 шематски су приказане конфигурације елемената два градска водовода са пумпним станицама, једног са претходним напорним резервоаром (слика 8.3.(а)) и другог са контрарезервоаром (слика 8.3.(б)). Напорни резервоар има функцију регулатора протока – компензира разлику протока потисних пумпи и протока

потрошача и у случајевима када се овај резервоар налази испред потрошача говори се о водоводу (водоводном систему) са претходним резервоаром. У оваквим системима потисна пумпна станица напаја напојни резервоар, а из напорног резервоара вода гравитацијски отиче потрошачима, па режим рада потисних пумпи не зависи од протока који иде потрошачима. У случајевима када је претходни напорни резервоар на великој висини у односу на црпиште (извор водоснабдевања), а и напорни цевовод је дугачак, да би се избегао висок притисак у напорном цевоводу (цевовод који повезује потисну пумпну станицу са резервоаром) напорна линија се пројектује са једном или више међупумпних станицама.



Слика 8.3. Конфигурација градског водовода са:

а) претходним напорним резервоаром и б) контрарезервоаром

Ознаке: 1 – водозахватни објекат, 2 – црпна пумпна станица, 3 – станица за пречишћавање воде, 4 – резервоар чисте воде, 5 – потисна пумпна станица, 6 – напорни резервоар, 7 – потрошачи

У случајевима кад се потрошачи воде налазе између потисне пумпне станице и напорног резервоара ради се о водоводима са контрарезервоаром, слика 8.3.(б). Режим рада потисних пумпи, у оваквим водоводним системима, зависи од протока воде коју користе потрошачи.

Црпне пумпе имају задатак да усисавају воду из водозахватног објекта и преко постројења за пречишћавање транспортују је до резервоара чисте воде, који је у саставу пумпне станице. Црпне пумпе могу бити смештене у засебном грађевинском објекту, (као на слици 8.3), а често су оне смештене у заједничком грађевинском објекту са водозахватом. Примењује се и треће решење, по којем су црпне и потисне пумпе смештене у заједничкој машинској хали.

Потисне пумпе имају задатак да воду из резервоара пречишћене воде транспортују до напорног резервоара (у водоводима са претходним напорним резервоаром), односно, до потрошача и напорног резервоара (у водоводима са контрарезервоаром).

Водозахватни објекат приказан на слици 8.3 је приобалског типа. За разлику од овог користе се и водозахвати који се налазе у кориту реке или језера (слика 8.2). Задатак

водозахватног објекта је да прихвати воду из реке или језера, онемогући продор грубе механичке нечистоће и створи повољне услове за усисавање воде.

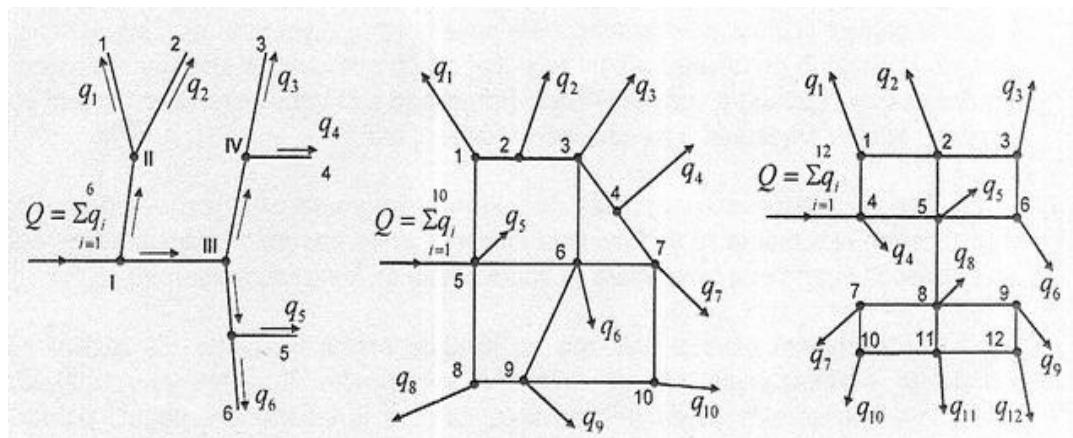
Пумпне станице не морају да имају одвојене црпне и потисне пумпе. Једне те исте пумпе (или једна те иста пумпа), у извесним случајевима, могу да обаве и једну и другу функцију. Такав је нпр. случај код пумпних станица за наводњавање индустријских, кућних и сеоских водовода (код којих не постоје постројења за пречишћавање воде).

Пумпна станица индустријског водоводног система може да има пумпе различитих намена. Тако на пример у једној оваквој пумпној станици једна група пумпи снабдева водом производне погоне, друга група транспортује отпадну воду до пречистача или до расхладне куле, а трећа група пумпи враћа пречишћену и охлађену воду поново у радни циклус.

Број пумпи у пумпној станици одређује се на основу техничко-економског прорачуна и важности водоводног система. Према важности водоводног система одређује се број резервних пумпи и асортиман резервних делова којима мора да се располаже.

Према конфигурацији водоводне мреже се могу поделити на: разгранате, прстенасте и мешовите водоводне мреже.

Чворовима мреже зову се места рачвања цеви и места прикључивања потрошача, а деоницама мреже зову се цевоводи који повезују чворове мреже. У деоницу мреже не рачуна се напорни цевовод који напаја мрежу водом ($Q = \sum q_i$). Сва потрошња воде може се фиктивно редукovati као потрошња из чворова мреже, како је на слици 8.4, и приказано. Код разгранатих водоводних мрежа токови су једнозначно дефинисани (у сваки од чворова мреже вода може да дође само једним путем), па се прекидом протока у једној деоници мреже (хаваријски – због прскања цеви или намерни – затварањем вентила) прекида довод воде свим потрошачима низводно од ове деонице.



Слика 8.4. Водоводне мреже: а) разграната, б) прстенаста, в) мешовита

У прстенастим водоводним мрежама постоји више путева (најмање два) којима вода из једног чвора може да стигне до другог чвора, па и у случају прекида у једној од деоница мреже сви потрошачи добијају воду. Водоводне мреже противпожарне заштите по правилу су прстенасте.

У прстенастим мрежама било која два чвора могу бити повезана преко неколико различитих ланаца деоница. Два било која ланца деоница који повезују два чвора образују прстен. Прстен кога не секу никакве деонице назива се елементарним прстеном. Мрежа приказана на слици 8.4.(б) има четири елементарна прстена.

Мешовите водоводне мреже су комбинација прстенастих и разгранатих мрежа, па у неким својим деловима имају својства прстенасте мреже, а у другим својства разгранате мреже. Мрежа приказана на слици 8.4.(в) има својства разгранате мреже само у деоници између чворова 5 и 8, док у свим осталим деловима имају својства прстенасте мреже. Прекид протока у деоници 5 – 8 оставља без воде потрошаче прикључене у чворовима 7, 8, 9, 10, 11 и 12, док при прекиду протока у било којој другој деоници сви потрошачи добијају воду.

Код градских и сеоских водовода прави се разлика између спољашње (уличне) и унутрашње (дворишне и кућне) водоводне мреже. Од прикључка на спољашњу мрежу све надаље је унутрашња водоводна мрежа. Ако је притисак воде на прикључку за спољашњу мрежу недовољан да потисне воду до свих спратова вишеспратних зграда или је притисак воде на прикључцима потрошача на вишим спратовима недовољан за њихов нормалан рад, притисак у унутрашњој мрежи повећава се у хидрофорском постројењу. За нормалан рад потрошача воде у домаћинствима потребан натпритисак на прикључку за спољашњу мрежу је 1 бар за приземље, плус приближно 0,5 бара за сваки спрат зграде.

Спољашње водоводне мреже мањих насеља су разгранате, какве су и унутрашње водоводне мреже градских породичних кућа и сеоских домаћинстава.

Спољашње градске водоводне мреже су мешовите конфигурације; прстенастом мрежом обухватају се блокови зграда и значајни друштвени, здравствени и привредни објекти, а из чворова и деоница ове мреже простиру се разгранате мреже. У чворовима прстенасте мреже налазе се противпожарни хидранти (за напајање ватрогасних возила). Захтевани минимални притисак у хидрантима је 2,5 бара.

Унутрашња водоводна мрежа у вишеспратним зградама је, такође, мешовите конфигурације, с тим да су противпожарни хидранти у згради повезани у прстенасту мрежу.

Због заштите воде од спољашњих температурских услова, спољашња водоводна мрежа се укопава испод зоне спољашњих температурских утицаја, а то је $0,8 \div 1$ метар испод коте терена.

8.2. Водоводне мреже према начину израде

Ради постизања претходно набројаних захтева код водоводних мрежа, у хидротехничкој је пракси широко распрострањена примена више материјала за њихову израду, не само као последица историјског развоја производње водоводних цеви, већ и због постојања различитих услова експлоатације. Према материјалу који се користи за њихову израду цеви се деле на:

1. ливене,
2. челичне,
3. азбестно-цементне,
4. армирано-бетонске и
5. пластичне

Сваки произвођач цеви располаже са проспектима производног асортимана, одакле се могу добити детаљнији подаци о особинама цеви, битним код пројектовања водоводних мрежа: структури, хемијској постојаности, производном поступку, стандардима које цеви задовољавају, класама цеви с обзиром на притисак (номинални,

радни, пробни), димензијама профила, дужини, маси, начину уградње, међусобном спајању и осигурању цеви, хидрауличким параметрима, прорачуну оптерећења и контроли деформација, начину испоруке, о руковању и складиштењу цеви.

8.2.1. Цеви од ливеног гвожђа

Ове цеви су најраспрострањеније код израде водоводних мрежа и свој примат имају последњих 200 година. Век трајања им се процењује на преко 100 година, што им омогућује и фабрички изведена антикорозивна заштита.

У пракси постоје две врсте ливено гвоздених цеви:

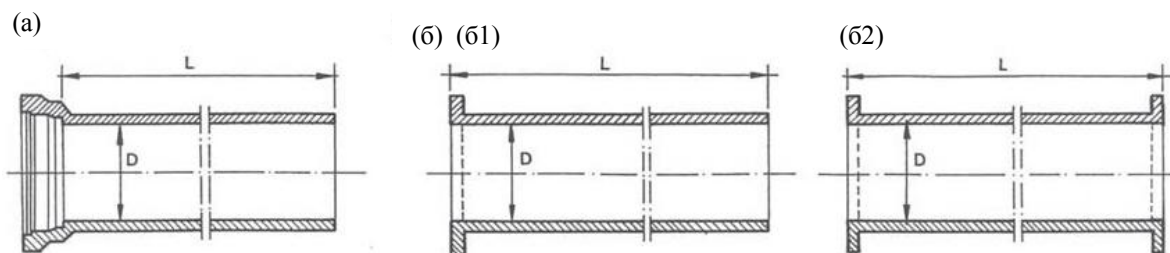
- цеви од сивог лива, SL
- цеви од нодуларног лива, NL.

Развој технологије добијања нодуларног лива (у Европи се производи од 1951. године) постала је све изразитија потражња за цевима веће отпорности према спољним (ударцима, корозији) и унутрашњим утицајима (притиску) и настојања да цеви што дуже трају.

Хемијски састав нодуларног лива разликује се од сивог лива по томе што садржи већи проценат угљеника, силицијума и магнезијума и знатно мање сумпора. Сиви лив садржи графит у облику листића или пахуљица који у одређеним условима могу изазвати напрсине и пуцање цеви, док се код нодуларног лива графит појављује у облику малих куглица (нодула), што доприноси његовој жилавости и повећању отпорности на истезање, ради чега се цеви од ове врста лива у пракси зову и еластичне цеви. Нодуларни лив има знатно већу затезну чврстоћу (до 700 N/mm) од сивог лива (до 300 N/mm), тако да су цеви од нодуларног лива у потпуности потиснуле цеви од сивог лива које се данас више и не производе, али су један од најзаступљенијих цевних материјала у постојећим водоводним мрежама. Цеви од сивог лива постоје за притиске 10, 15 и 20 *bara*, унутрашњег пречника, $D = 50 - 600 (700) \text{ mm}$, и дужине (зависно од пречника), $L = 3 - 4 \text{ m}$. Цеви од нодуларног лива производе се за притиске 30 - 40 *bar*, унутрашњег пречника, $D = 60 - 2000 \text{ mm}$ и уобичајене дужине, $L = 6 \text{ m}$. Ове цеви се заштићују од агресивне воде спољном и унутрашњом заштитом. Спољна заштита се спроводи галванизацијом (метализирани цинк) и додатно битуменским премазом (за лако корозивна тла), полиетиленском или полиуретанском облогом (за врло корозивна тла).

Обе врсте ливени цеви (слика 8.5) могу се завршавати:

- а) са наглавком, односно са проширењем на једном крају, док је другом крају раван, слика 8.5.(а),
- б) са прирубницом на једном, слика 8.5.(б1), или оба краја, слика 8.5.(б2).



Слика 8.5. Цеви од ливеног гвожђа

(а) са наглавком; (б) са прирубницом

(б1) са прирубницом на једном крају; (б2) са прирубницом на оба краја

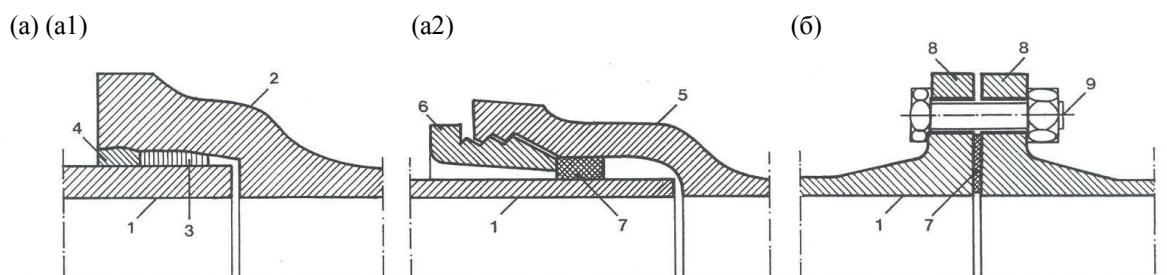
Према врсти завршетка цеви комбинују се и међусобни спојеви (слика 8.6).

а) **Спој са наглавком** се може извести на два начина.

Први начин, слика 8.6.(a1), се састоји у томе да се равни крај једне цеви увлачи у наглавак друге цеви, а простор између цеви и наглавка се попуњава заптивним материјалом. Недостатак овог споја је његова крутост, а отуда и могућност лаганог попуштања при евентуалним деформацијама.

Овај је проблем избегнут код другог начина спајања, коришћењем наглавка са навојем и гуменим заптивним прстеном, слика 8.6.(a2).

б) **Спој са прирубницама**, слика 8.6.(б), највише се користи код уградње (ливено гвоздених) обликовних комада и водоводних арматура. Заптивање се најчешће спроводи гуменим прстеном између прирубница, међусобно притегнутих завртњима са матицама.



Слика 8.6. Спајање цеви од ливеног гвожђа

(а) спој са наглавком; (б) спој са прирубницама

1 - равни крај цеви; 2 - наглавак; 3 - уље од конопље натопљено ланеним уљем; 4 - набијено олово или оловна гума; 5 - наглавак са навојем; 6 - потисни прстен са навојем; 7 - (гумени) заптивни прстен; 8 - прирубница; 9 - завртањ са навртком

8.2.2. Челичне цеви

Ове цеви имају значајне предности у односу на цеви од ливеног гвожђа, садржане првенствено у далеко већој чврстоћи (отпорности на лом) и еластичности. Зато је њихова примена израженија код водоводних мрежа са већим притисцима и у условима који захтевају израженији отпор динамичким утицајима и савијање. Дебљине зида челичних цеви су упола мање од ливених цеви, тако да су релативно лакше, а тржишне дужине 2-3 пута веће, што осетно смањује трошкове транспорта и уградње. Главни недостатак челичних цеви у односу на ливене је у малој отпорности против хемијских и електролитичких утицаја (корозије). Зато се код ових цеви у фази уградње изводе заштитни премази (на битуменској, цементној или пластичној основи) и катодна заштита. Век трајања челичних цеви износи 25-50 година.

Према процесу производње разликујемо две врсте челичних цеви:

- 1) бешавне цеви, које се производе од ваљаног челика,
- 2) шавне цеви, које се производе уздужним или спиралним варењем челичних лимова.

Челичне цеви се производе за притиске 10, 15, 25, 40, 64, 80 и 100 bar, унутрашњег пречника, $D = 50 - 600 \text{ mm}$ (бешавне цеви), односно, $D = 50 - 1600 \text{ mm}$ (шавне цеви), и

дужина (зависно од пречника и транспортним могућностима), $L = 4 - 12 \text{ m}$ (и више). Спајање челичних цеви (слика 8.6) могуће је на три основна начина.

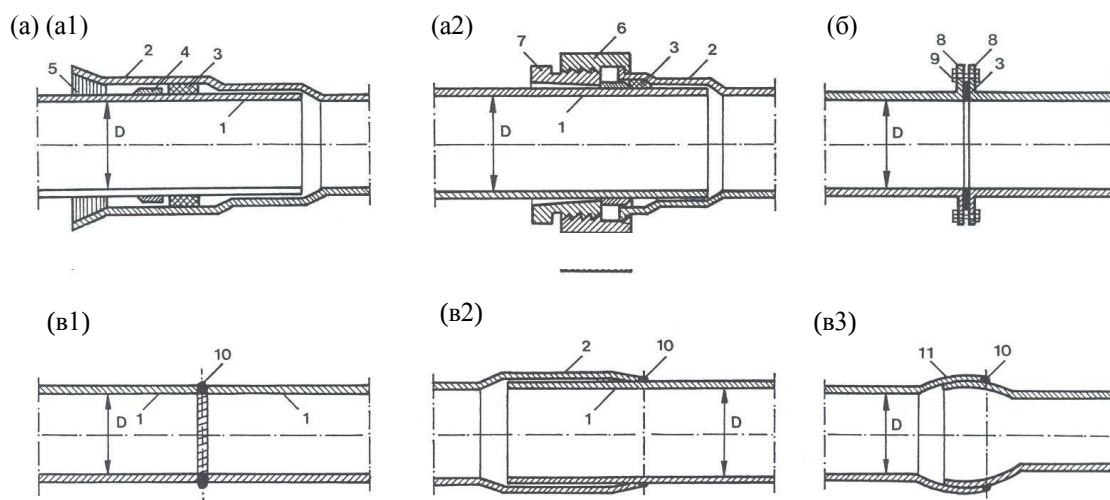
а) **Спојеви са наглавком** (слика 8.6.(а)).

Релативно најчешћи спој је *SIGUR*, слика 8.6.(а1), који се примењује за спајање челичних цеви унутрашњег пречника, $D = 50 - 800 \text{ mm}$. Као заптивка слижи гумени прстен, који се навлачи на раван крај цеви, тако да је при навлачењу у наглавак друге цеви и при уздужним помацима осигурано заптивање. На равном крају цеви заварује се заштитни прстен који спречава истискивање гуменог прстена. Преостали део наглавка испуњава се набијеним импрегнираним ужетом. Чест је и спој са наглавком на навој, слика 8.6.(а2). Делови са навојем су од ливеног гвожђа, а заптивни прстен од гуме.

б) **Спој са прирубницама** (слика 8.7.(б)) се по правилу примењује код ценовода положених на површину терена. Заптивање се постиже гуменим или металним прстеном постављеним између прирубница које се притежу завртњима.

Завршетак челичних цеви са прирубницама такође је обавезан код преласка на коришћење ливених гвоздених фасонских комада и водоводних арматура, будући да се они завршавају са прирубницама.

в) **Спој заваривањем** (слика 8.7.(в)) се користи готово по правилу ако је унутрашњи пречник челичних цеви, $D > 500 \text{ mm}$. Заварени спој може бити чеони, слика 8.7.(в1), са завареним наглавком, слика 8.7.(в2) или са кугластим завареним наглавком, слика 8.7.(в3).



Слика 8.7. Спајање челичних цеви

(а) спој са наглавком; (б) спој са прирубницама; (в) спој заваривањем

1 - равни крај цеви; 2 - наглавак; 3 - заптивни прстен; 4 - заварени заштитни прстен; 5 - набијено импрегнирано уже; 6 - чеп са навојем; 7 - потисни прстен са навојем; 8 - прирубница; 9 - век са матицом; 10 - вар; 11 - кугласти наглавак

8.2.3. Азбестно-цементне цеви

Ове се цеви производе фабричким поступком од смесе која садржи (масено) 75-80 % високо квалитетног портланд цемента и 20-25 % азбестних влакана. У односу на цеви од ливеног гвожђа и челичне цеви, азбестно-цементне цеви имају следеће предности:

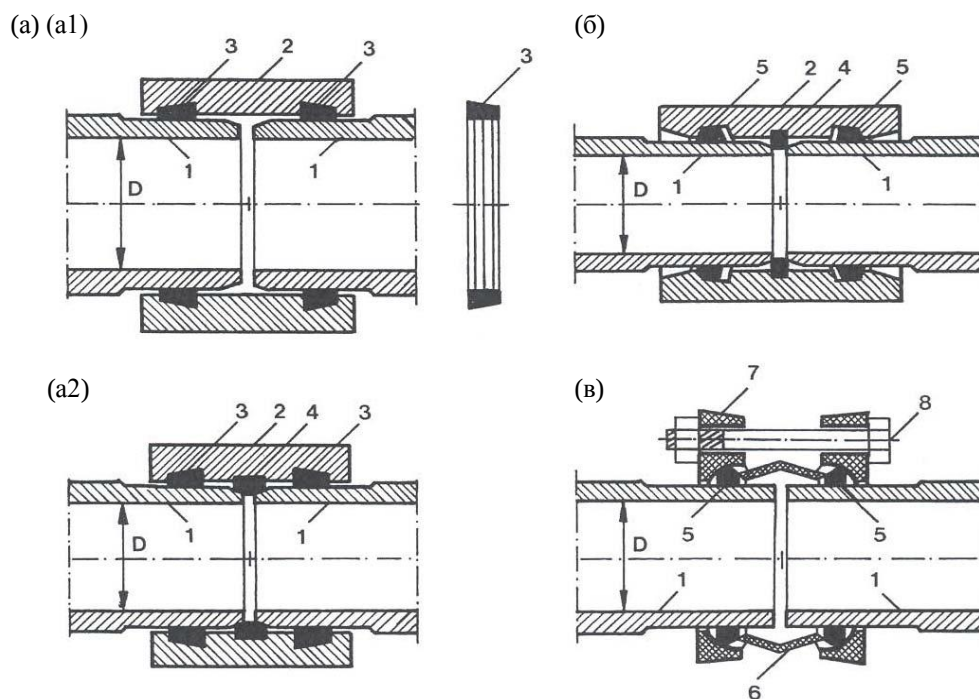
- слабија топлотна проводљивост,

- постојаност на корозију,
- електрична непроводљивост (диелектричност),
- релативно мала густина материјала (што знатно олакшава транспорт и уградњу цеви),
- добра хидрауличка својства (глаткост површине),
- постојаност на ниске и високе температуре,
- лагана монтажа (обрада, сечење и спајање).

Недостаци азбестно-цементних цеви су:

- слаба отпорност на ударце и динамичка оптерећења,
- релативно скупи спојеви (за веће профиле),
- код уградње фасонских комада и водоводних арматура потребни су (за прелаз на челик и ливено гвожђе) посебни прелазни комади од ливеног гвожђа.

Век трајања азбестно-цементних цеви је преко 75 година. Производе се у 6 класа, *A* до *F*, за притиске 2,5, 5, 10, 15, и 25 *bar*, унутрашњег пречника, $D = 50 - 1300 \text{ mm}$, и дужине, $L = 3 - 5 \text{ m}$. Пречник цеви је у функцији декларисаног притиска, тако да се, на пример, класе *A* и *B* (за притиске 2,5 и 5 *bar*) производе највећег пречника, док се класа *E* (за притисак 20 *bar*) производи само до унутрашњег пречника $D = 350 \text{ mm}$. Спајање азбестно-цементних цеви се најчешће одвија помоћу азбестно-цементних или ливених специјалних прстенастих спојница (слика 8.8).



Слика 8.8. Спајање азбестно-цементних цеви

(а) спој DALMA REKA; (б) спој VITLAK; (в) једињење GIBAULT

1 - равни крај цеви; 2 - прстенаста спојница; 3 - профилисани гумени прстен; 4 - средњи гумени прстен за размак; 5 - зативни прстен кружног профила; 6 - огрлица; 7 - прирубница; 8 - савртањ са навртком

На слици 8.8.(а) приказан је патентирани спој DALMA REKA, који се изводи у две варијанте. Прва варијанта споја, слика 8.8.(а1), изводи се без средњег гуменог прстена,

а друга варијанта, слика 8.8.(a2), са средњим гуменим прстеном. На слици 8.8.(б) приказан је спој *VITLAK*, а на слици 8.8, (в) спој *GIBAULT*.

Ови спојеви осигуравају њихову потребну еластичност, што је прилично важно за релативно крхке азбестно-цементне цеви. За прелаз на цеви из других материјала и за спајања различитих пречника израђују се посебни наглавци.

8.2.4 Армирано-бетонске цеви

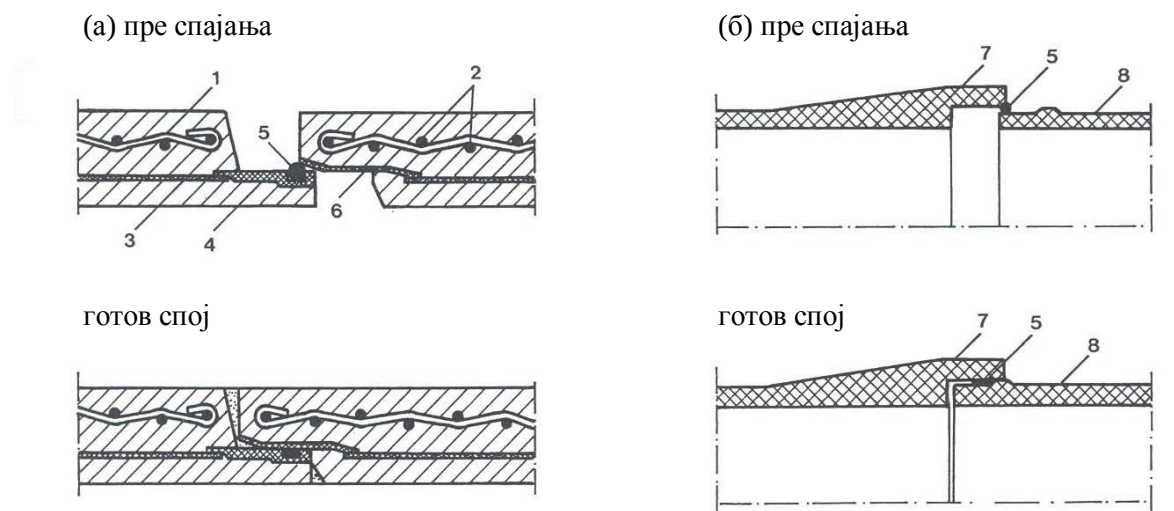
Као и азбестно-цементне цеви и армирано-бетонске цеви имају низ предности у односу на цеви од челика и ливеног гвожђа:

- постојаност на корозију,
- малу електричку проводљивост,
- добра хидрауличка својства (глаткост површине).

Армирано-бетонске цеви се производе:

- 1) са преднапрегнутом уздужном и спиралном арматуром,
- 2) са унутрашњим челичним цилиндром (ради водонепропусности) и преднапрегнутом спиралном арматуром,
- 3) са преднапрегнутом арматуром и поступком специјалног вибрирања под притиском у процесу производње.

Најраспрострањенија је употреба друге врсте цеви. Фабрички се обично израђују цеви за притиске до 10 bar, унутрашњег пречника, $D = 300 - 3000 \text{ mm}$ (препоручљиво $D > 600 \text{ mm}$), док су тржишне дужине, $L = 4 - 6 \text{ m}$. Цеви се производе са наглавком и равним крајем, тако да се према типу цеви комбинују и спојеви (слика 8.9).



Слика 8.9. Спајање армирано-бетонских цеви

(а) спој са равним крајем; (б) спој са наглавком 1 - уздужна арматура; 2 - спирална арматура; 3 - цилиндар од челичног лима; 4 - прстен равног краја цеви; 5 - гумени прстен; 6 - прстен наглавка; 7 - наглавак; 8 - равни крај цеви

Спој са равним крајем приказан је на слици 8.9.(а), а спој са наглавком на слици 8.9.(б).

8.2.5 Пластичне цеви

Пластичне се цеви производе од:

- 1) полиетилена (PE): ниске (енгл. *LDPE* или *PELD* – *low density* PE), средње (енгл. *MDPE* – *medium density* PE) и високе густине (енгл. *HDPE* или *PEHD* – *high density* PE),
- 2) тврдог поливинил хлорида (PVC),
- 3) полиестерских материјала, GRP (енгл. *glass reinforced plastic*),
- 4) полипропилена (PP), (примарно за кућне водоводе).

Примена ових цеви је новијег датума, уназад 50-ак година, тако да још нема коначних података и њиховом веку трајања.

Добре стране пластичних цеви садржане су у:

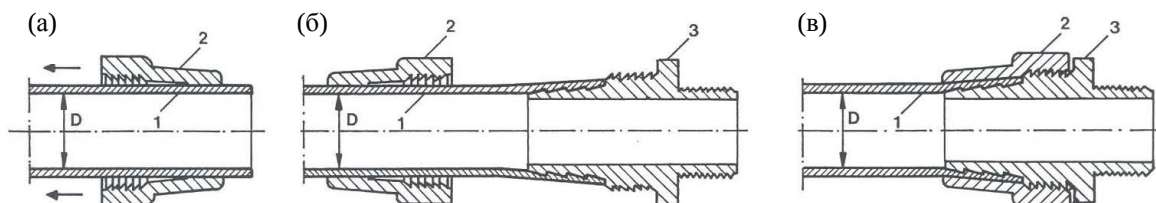
- великој отпорности према корозији,
- малој маси (што олакшава транспорт и уградњу),
- отпорности на мраз,
- диелектричности,
- малој топлотној проводљивости,
- добрим хидрауличким особинама (малим трењем),
- лаганој монтажи (обради, сечењу и спајању).

Лоше стране су:

- знатно ширење на високим температурама,
- запаљивост,
- опадање чврстоће код температуре $T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- крутост PVC цеви на температури $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- за уградњу обликовних комада и водоводних арматура потребан је прелаз на челичне или ЛГ фазонске комаде са прирубницама.

1) **Полиетиленске цеви** се производе полимеризацијом етилена. У пракси се најчешће користе *PELD* и *PEHD* цеви. *PELD* цеви се добију безпотисном полимеризацијом етилена код ниских температура, а *PEHD* цеви полимеризацијом етилена код високог притиска и високе температуре. *PELD* цеви се израђују за притиске 2,5 и 10 bar, унутрашњег пречника зависно од притиска, али унутар граница $D = 10 - 130\text{ mm}$. Производе се са равним крајем, а испоручују у намотајима од 300 m (за $D < 40\text{ mm}$) до 110 m (за највеће профиле). *PEHD* цеви се производе за притиске 2,5, 4, 6, и 10 bar, унутрашњег пречника такође зависно од притиска, али унутар граница $D = 15 - 1150\text{ mm}$, и дужине, $L = 6\text{ i }12\text{ m}$.

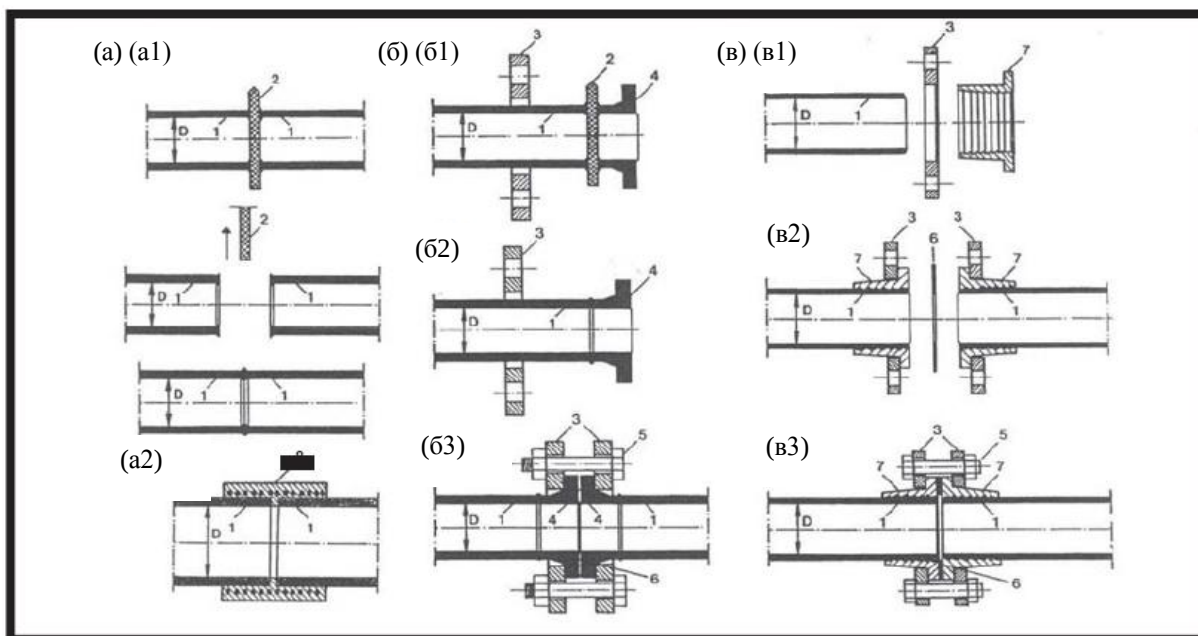
Најчешћи начин спајања *PELD* цеви приказан је на слици 8.10. Најпре се на равни крај цеви монтира прстен са навојем, а потом се тај крај цеви загреје врућим ваздухом или врућом водом. Када загрејани крај цеви постане еластичан, увуче се конусни део спојнице и на њен навојни део притегне претходно уграђени прстен.



Слика 8.10. Спајање PELD цеви

(а) монтажа прстена са навојем; (б) увлачење конусног дела спојнице; (ц) притезање прстена са спојницом 1 - равни крај цеви; 2 - прстен са навојем; 3 - конусна спојница са навојем

Спајање PEHD цеви (слика 8.11) могуће је на три начина.



Слика 8.11. Спајање PEHD цеви

(а) спој заваривањем; (б) спој помоћу прирубница;
(в) спој помоћу зупчасте спојнице и слободне прирубнице

1 - равни крај цеви; 2 - грејач; 3 - слободна прирубница; 4 – заварена прирубница; 5 - завртањ са навртком; 6 - заптивни прстен; 7 - зуч аста спојница; 8 - електроспојница (прстенаста спојница са жицом за заваривање)

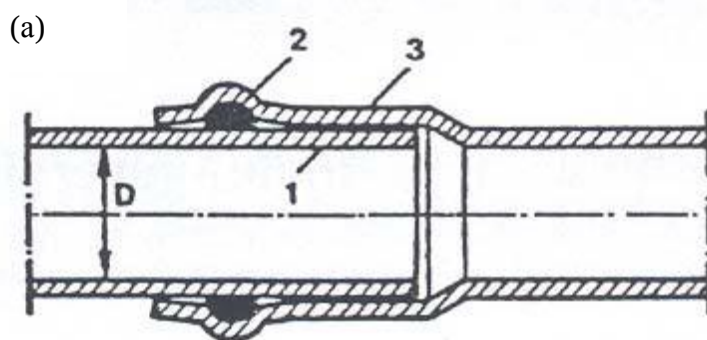
а) **Спој заваривањем** (слика 8.11.(а), може да се изведе у две варијанте. У првој варијанти, слика 8.11.(а1), крајеви цеви се најпре у трајању 30 - 250 s загревају на температуру 200 °C и потом држе међусобно притиснути 4 - 25 s. Трајање загревања и међусобног контакта цеви зависно је од дебљине зидова. Танким цевима одговара краће загревање и краћи међусобни контакт. У другој варијанти, слика 8.11.(а2), крајеви цеви се спајају помоћу посебне прстенасте спојнице у којој се налази жица за заваривање и која се прикључи на апарат за заваривање.

б) **Спој помоћу прирубница** приказан је на слици 8.11.(б). На равни крај цеви завари се прирубница и монтира друга слободна прирубница. Спајање цеви се врши помоћу завртњева, након убацивања гуменог прстена.

в) **Спој помоћу зупчасте спојнице** и слободне прирубнице приказан је на слици 8.12.(в). Најпре се на раван крај цеви монтира слободна прирубница, а потом зупчаста спојница. Спајање цеви се такође врши помоћу завртњева, након постављања гуменог заптивног прстена.

2) **Цеви од тврдог поливинил хлорида** се израђују од вештачке масе добијене синтетичком полимеризацијом винил хлорида, који настаје спајањем ацетилена са гасовитом соном киселином. Поступак производње се састоји у томе да се угрејани гранулат поливинил хлорида истискује кроз млазницу (тзв. екструдер) и затим хлади.

PVC тврде цеви производе се за притиске 6 и 10 bar, унутрашњег пречника, $D = 60 - 450$ mm, и дужине, $L=6$ m. Ове се цеви производе са наглавком и равним крајем, тако да им спајање зависи од начина завршетка. Спајају се на наглавак, слика 8.12, са уметањем заптивног прстена између наглавка и цеви.



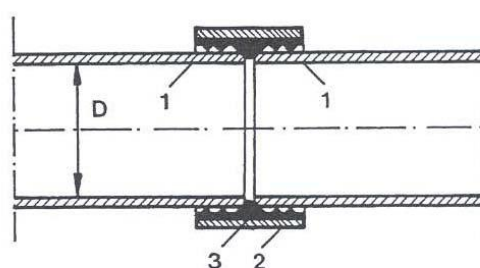
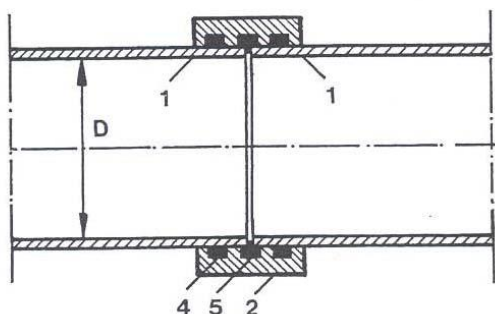
Слика 8.12. Спајање PVC цеви

1 - равни крај цеви; 2 - заптивни прстен; 3 – наглавак

3) **Полиестерске цеви** (слика 8.13) израђују се од смесе кварцног песка, стаклених влакана и полиестера смоле. Цеви су показале изванредне механичке особине, тако да се примењују у најтежим условима експлоатације. Најчешће се производи са равним крајем, за притиске 4, 6, 10, 16, 20 и 25 bar, унутрашњег пречника, $D = 200 - 1600$ mm, појединачне дужине, $L=6$ m. Такође се производе и сви потребни фазонски комади за водоводне арматуре и за прикључке цеви од других материјала.

(а) $D \geq 500$ [mm]

(б) $D = 200 - 400$ [mm]



Слика 8.13. Спајање полиестерских цеви

(а) спој са спојницом типа А; (б) спој са спојницом типа Б

1 - равни крај цеви; 2 - прстенаста спојница; 3 - монолитни ребрасти гумени прстен; 4 - заптивни прстенови; 5 - средњи гумени прстен за размак

8.3. Хидраулични прорачун водоводне мреже

У складу са пројектним карактеристикама (материјал израде, положај и режим рада објекта на мрежи, топографски услови) увек је потребно хидраулички димензионисати водоводну мрежу, тако да она у сваком тренутку задовољава потребе за протоком и притисцима. С обзиром на режим струјања у водоводној мрежи, односно њеном делу, у општем случају могуће су две врсте прорачуна:

- хидраулички прорачун струјања са слободном површином,
- хидраулички прорачун струјања под притиском.

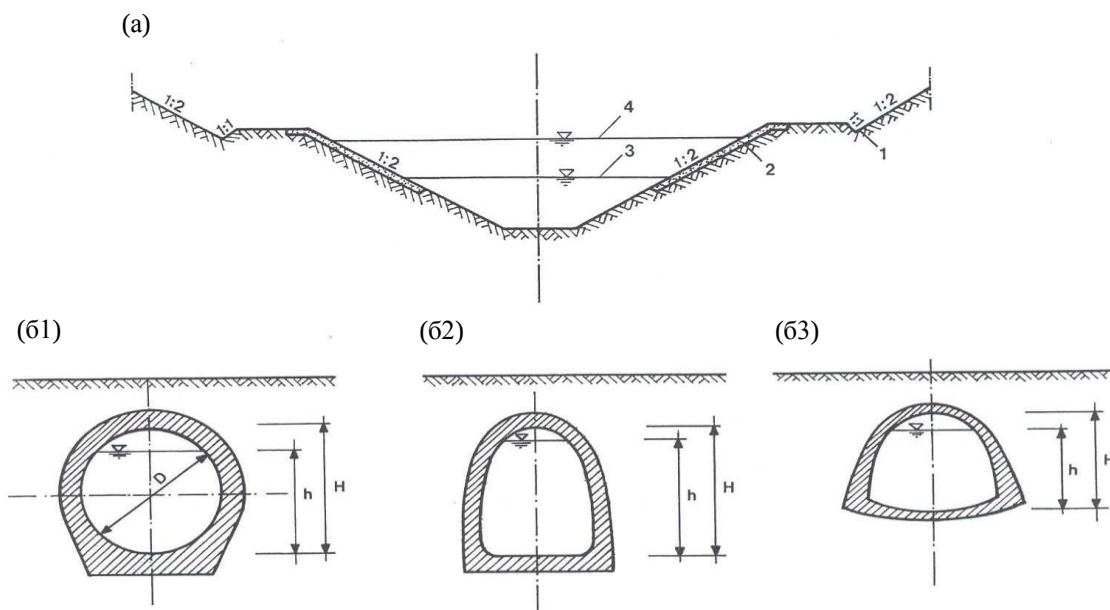
Хидраулички прорачун струјања са слободном површином воде може се односити само на магистрални довод воде који се изводи као:

- 1) (отворени) канал,
- 2) цевовод.

1) **Примена канала** је дозвољена (мада из здравствених разлога не и пожељна) за довод сирове (некондициониране) воде из водозавода до уређаја за кондиционирање воде.

2) **Цевоводима** се транспортује природно чиста (од водозавода до резервоара) и кондиционирана вода (од уређаја за кондиционирање до резервоара).

Иза резервоара се, због потребе обезбеђења потребног притиска, никако не може применити режим струјања са слободном површином воде. Осим тога, осигурање константног уздужног пада код оваквог довода воде врло често захтева знатно повећање земљаних радова (усецање) и изградњу објекта (сифона, мостова, аквадуката, тунела) за савладавање препрека (долина, јаруга, узвишења). Све то доводи до знатног повећања инвестиционих трошкова, тако да је у водоводној пракси примена канала и цевовода са слободном површином изузетно ретка. На слици 8.14, (а) приказан је пример попречног пресека трапезног канала, а на слици 8.14, (б) примери цевовода округлог, издуженог и сабијеног облика.



Слика 8.14. Канал и цевоводи са слободним водним лицем

(а) трапезни канал; (б) цевоводи (б1) округлог облика; (б2) издуженог облика; (б3) сабијеног облика
1 - ободни канал; 2 - заштита покоса туцаником; 3 - најнижи ниво воде; 4 - највиши ниво воде

Хидраулички прорачун канала и цевовода, претпостављајући константан проток, спроводи се помоћу Шезијеве (1796) формуле за брзину,

$$v = C \sqrt{R_h I} \quad (8.1)$$

где се Шезијев коефицијент најчешће рачуна по је Манинговој формули

$$C = \frac{1}{n} R_h^{1/6} \quad (8.2)$$

после чега израз за брзину гласи:

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{I} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{I_e} \quad (8.3)$$

где су:

R_h - хидраулички радијус, [m],

I - хидраулични нагиб цевовода (H/L) [-], једнак пијезометарском паду I_e [-],

n - коефицијент храпавости цеви.

Проток, Q [m^3/s], кроз цев износи:

$$Q = vA = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{I} \quad (8.4)$$

где је A [m^2] површина попречног пресека.

Хидраулички прорачун струјања под притиском се у пракси најчешће односи на комплетну водоводну мрежу, а свакако на главне снабдевне и снабдевно - доводне цевоводе, и на разводну мрежу. Струјање под притиском може у водоводној мрежи бити гравитационо и комбиновано (гравитационо - потисно). Тада се, за разлику од претходног случаја, не захтева једнолики уздужни пад цевовода, већ они практично следе линију терена. Међутим, услови за њихово функционисање изискују примену цеви које могу издржати притисак који се јавља у мрежи.

У инжењерској пракси се хидраулички прорачун водоводне мреже под притиском најчешће спроводи под претпоставком стационарног струјања кроз деоницу константног попречног пресека, односно константног унутрашњег пречника цеви, применом Бернулијеве једначине, која у складу са претходним претпоставкама, за два пресека цеви има облик:

$$\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Delta H_{tr} \quad (8.5)$$

где су:

z_1, z_2 - висине положаја пресека 1 и 2 у односу на референтни ниво, [m],

p_1, p_2 - притисци у пресецима 1 и 2, [N/m^2],

v_1, v_2 - средње брзине у пресецима 1 и 2, [m/s],

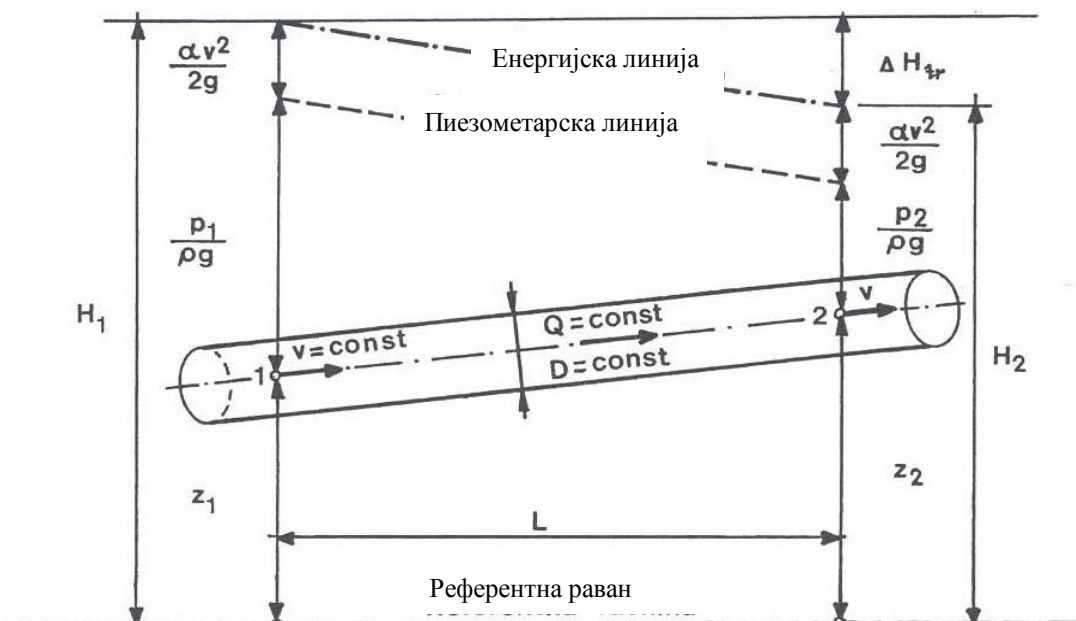
g - убрзање силе поља Земљине теже, [m/s^2],

ρ - густина воде, [kg/m^3],

- Кориолисов број, [-], ($\alpha = 2$ за ламинарно; $\alpha = 1,1$ за турбулентно струјање),

ΔH_{tr} - губици услед трења на деоници између два посматрана пресека, [m].

Графички приказ ове једначине дат је на слици 8.15.



Слика 8.15. Графички приказ Бернулијеве једначине за устаљено струјање реалних течности у цеви

Претходним изразом нису узети у обзир локални губици. Овакав приступ је код хидрауличног прорачуна водоводних мреже уобичајен због тога што су локални губици, због знатне дужине водоводне мреже занемарљиви у односу на губитке на трење, који се обично израчунавају коришћењем Дарсијеве (Darcy) формуле.

$$\Delta H = \Delta H_{tr} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (8.6)$$

где су, уз претходне ознаке:

λ - коефицијент отпора протицања због трења, [-],

L - дужина деонице, [m].

Дарсијев и Шезијев коефицијент зависе од режима струјања и релативне храпавости унутрашње површине цеви. На слици 8.16 дата је ова зависност према експериментима Никурадзеа са вештачки охрапљеним цевима.

Код турбулентних струјања, каква су по правилу струјања воде у водоводним мрежама, коефицијент трења у општем случају, зависи од Рејнолдсовог броја и релативне храпавости унутрашњег зида цеви.

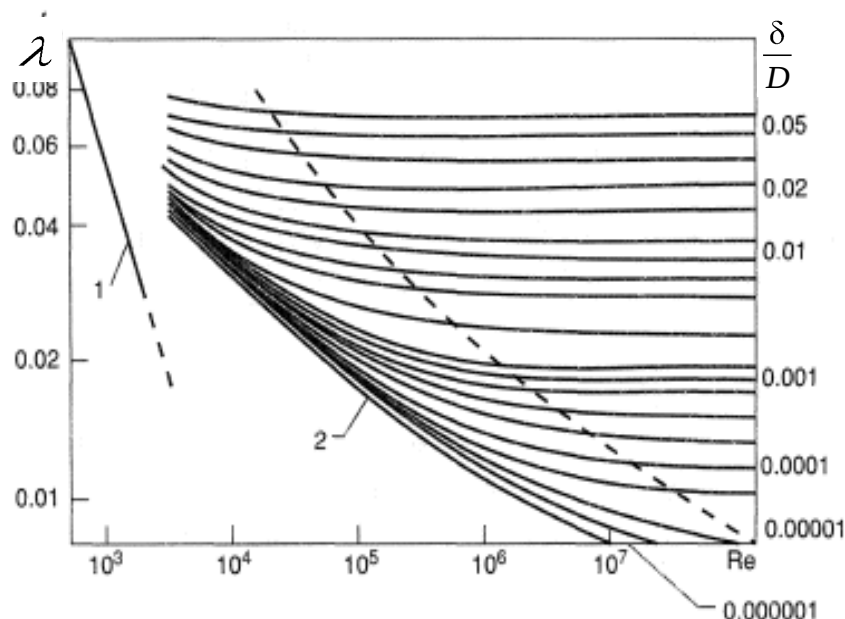
$$\lambda = \lambda \left(Re, \frac{\delta}{D} \right) \quad (8.7)$$

За његово израчунавање у пракси се најчешће користе формула Алтшула (Altsul):

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\delta}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (8.8)$$

и формула Колбрука-Вајта (Colebrook-White):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + 0,27 \frac{\delta}{D} \right) \quad (8.9)$$



Слика 8.16. Зависности коефицијента трења од Re броја и релативне храпавости

где су:

δ - апсолутна храпавост зида цеви, [mm],

Re - Рејнолдсов број, [-], дефинисан изразом:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (8.10)$$

где је ν [m^2/s] коефицијент кинематске вискозности воде.

Хидраулички магиб I_e [-], који је једнак пиезометарском паду, I [-] се дефинише као:

$$I = \frac{\Delta H_{tr}}{L} = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (8.11)$$

Будући да се код водоводних мрежа користе округле цеви чија је проточна површина:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} \quad (8.12)$$

уз коришћење израза за проток:

$$Q = vA \quad (8.13)$$

израз (8.11) прелази у облик:

$$I = \lambda \frac{16}{\pi^2} \frac{Q^2}{2gD^5} = 0,0826 \lambda \frac{Q^2}{D^5} \quad (8.14)$$

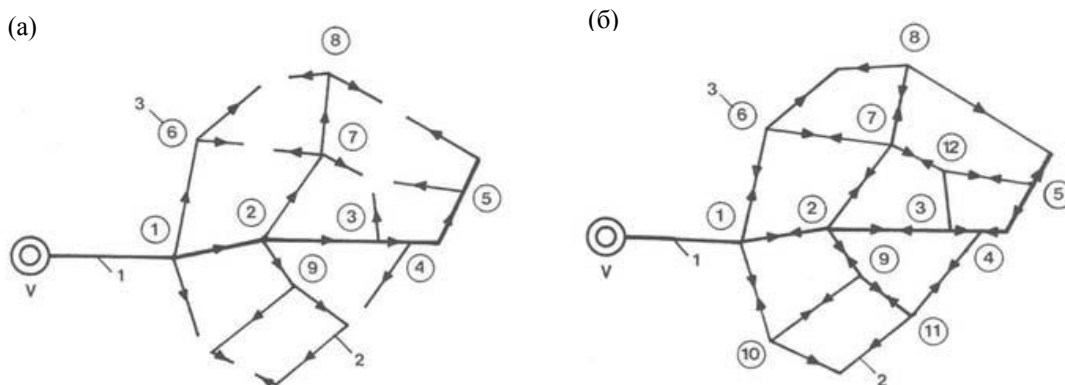
Према томе, хидраулички прорачун посматране деонице водоводне мреже познате дужине и врсте цеви своди се на одређивање следећа 3 параметара:

- за задати проток Q и пречник цевовода D треба одредити пиезометарски пад I
- за задати пиезометарски пад I и пречник цевовода D треба одредити проток Q
- за задати пиезометарски пад I и проток Q треба одредити пречник цевовода D .

Хидраулички прорачун дистрибутивне мреже, која за разлику од магистралних цевовода садржи и успутну потрошњу, карактеришу одређене посебности условљене шемом дистрибутивне (разводне) водоводне мреже.

Постоје две основне шеме дистрибутивних водоводних мрежа, слика 8.17:

- а) шема разгранате мреже,
- б) шема прстенасте мреже.



Слика 8.17. Основне шеме дистрибутивних водоводних мрежа

(а) разграната; (б) прстенаста

V - резервоар (пумпна станица); 1 - главни снабдевни цевовод; 2 - разводна мрежа; X - ознака чвора

а) Разгранату мрежу карактерише струјање само у једном смеру, од резервоара према потрошачима. У хидрауличком погледу предност овакве мреже је што су подлоге за њен прорачун једнозначно одређене. Недостаци су повећани губици и појава устајале воде на многобројним местима, а нарочито, у случају квара, прекид снабдевања свих потрошача који се налазе низводно.

б) Прстенаста мрежа у свакој тачки може бити напајана барем из два смера, пошто су крајеви цевовода међусобно спојени. Ово знатно повећава погонску сигурност, јер се у случају квара на цевоводу може искључити релативно уско подручје потрошача. Предност прстенасте мреже је и знатно прилагођавање осцилацијама у потрошњи, и ублажавању феномена хидрауличног удара. Недостатак ове мреже у односу на разгранату је већа укупна дужина и недефинисаност расподеле протока у мрежи.

При прорачуну водоводних мрежа потребно је на почетку усвојити брзине у појединим гранама. За то најчешће служи табела која даје препоручене вредности по Есеману.

Табела 8.1 Препоручене брзине струјања

D (mm)	v (m/s)	$\dot{V}$ (l/s)	D (mm)	v (m/s)	$\dot{V}$ (l/s)
60	0,70	2	400	1,25	155
100	0,75	6	500	1,40	275
150	0,80	14	600	1,60	450
200	0,90	28	800	1,80	900
250	1,00	50	1000	2,00	1550
300	1,10	78	1200	2,20	2100

8.3.1 Хидраулички прорачун разгранате водоводне мреже.

Прорачун разгранате водоводне мреже биће изложен на примеру мреже чија је конфигурација приказана на слици 8.18. Нека су задате следеће величине:

– протоци на крајевима мреже,

$$Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$$

– притисци на крајевима мреже,

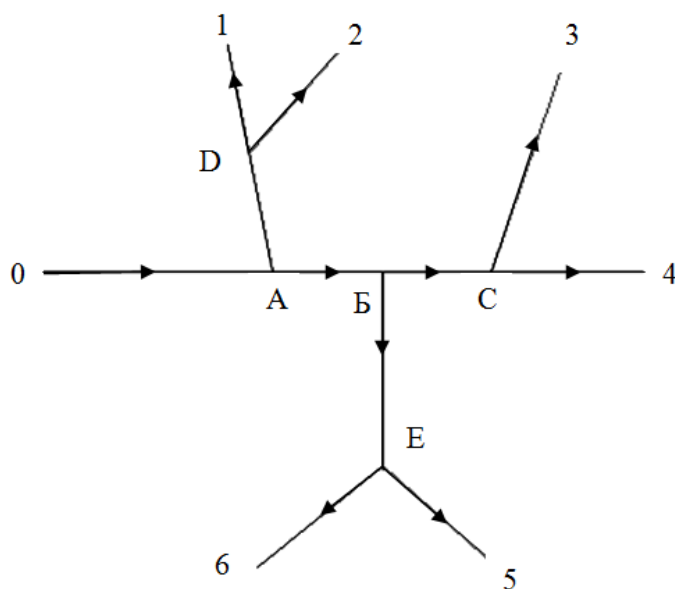
$$P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$$

– дужине свих деоница,

$$L_{OA}, L_{AD}, L_{D1}, L_{D2}, L_{AB}, \dots, L_{E6}$$

– геодезијске висине поштрошача у односу на место напајања,

$$(z_1 - z_0), (z_2 - z_0), \dots, (z_6 - z_0)$$



Слика 8.18. Разграната водоводна мрежа

Задатак хидрауличног прорачуна је да се одреде пречници свих деоница цевовода $D_{OA}, D_{AD}, D_{D1}, D_{D2}, D_{AB}, \dots, D_{E6}$) и притисак напајања мреже p_0 . Према притиску p_0 одређује се висина напорног резервоара, или се бира пумпа.

Ток прорачуна је следећи:

1. Најпре се одреде протоци Q_{ij} у свим деоницама према следећим једначинама:

$$\begin{aligned} Q_{OA} &= \sum_{i=1}^6 Q_i & Q_{AD} &= Q_1 + Q_2, & Q_{D1} &= Q_1, & Q_{D2} &= Q_2, \\ Q_{AB} &= Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, & Q_{BC} &= Q_3 + Q_4, & Q_{C3} &= Q_3, \\ Q_{C4} &= Q_4, & Q_{BE} &= Q_5 + Q_6, & Q_{E5} &= Q_5, & Q_{E6} &= Q_6. \end{aligned} \quad (8.15)$$

2. Затим се на основу усвојених брзина (из табеле 8.1) воде у деоницама, израчунају њихови пречници,

$$D_{ij} = \sqrt{\frac{4Q_{ij}}{\pi v_{ij}}} \quad (8.16)$$

који се стандардизују на први већи пречник.

У разматраном примеру:

$$- \text{ за усвојену брзину } v_{OA} \Rightarrow D_{OA} = \sqrt{\frac{4Q_{OA}}{\pi v_{OA}}} \Rightarrow \text{ стандардно } D_{OA}$$

$$- \text{ за усвојену брзину } v_{AD} \Rightarrow D_{AD} = \sqrt{\frac{4Q_{AD}}{\pi v_{AD}}} \Rightarrow \text{ стандардно } D_{AD}$$

3. Израчунавају се губици енергије Y_{gij} у свим деоницама. Код цевовода нормалне храпавости препоручује се примена Манинговог обрасца ($C = 66 D^{1/6}$) према којем је,

$$Y_{trij} = 0,0144 \frac{L_{ij}}{D_{ij}^{5,33}} Q_{ij}^2$$

а узимајући у обзир и локалне губитке,

$$Y_{trij} = 0,015 \frac{L_{ij}}{D_{ij}^{5,33}} Q_{ij}^2 \quad (8.17)$$

4. Израчунава се притисак на почетку мреже идући дуж струјног тока сваког потрошача.

$$\begin{aligned} p_0(1) &= p_1 + \rho g(z_1 - z_0) + \rho Y_{gOA} + \rho Y_{gAD} + \rho Y_{gD1} \\ p_0(2) &= p_2 + \rho g(z_2 - z_0) + \rho Y_{gOA} + \rho Y_{gAD} + \rho Y_{gD2} \\ p_0(3) &= p_3 + \rho g(z_3 - z_0) + \rho Y_{gOA} + \rho Y_{gAB} + \rho Y_{gBC} + \rho Y_{gC3} \\ p_0(4) &= p_4 + \rho g(z_4 - z_0) + \rho Y_{gOA} + \rho Y_{gAB} + \rho Y_{gBC} + \rho Y_{gC4} \\ p_0(5) &= p_5 + \rho g(z_5 - z_0) + \rho Y_{gOA} + \rho Y_{gAB} + \rho Y_{gBE} + \rho Y_{gE5} \\ p_0(6) &= p_6 + \rho g(z_6 - z_0) + \rho Y_{gOA} + \rho Y_{gAB} + \rho Y_{gBE} + \rho Y_{gE6} \end{aligned} \quad (8.18)$$

где је $p_0(1)$ притисак на почетку мреже који одговара првом потрошачу, $p_0(2)$ притисак на почетку мреже који одговара другом потрошачу, и тако редом, до притиска $p_0(6)$ који одговара шестом потрошачу.

Да би сви потрошачи добили захтевану количину воде одређеног притиска мора бити задовољена једнакост,

$$p_0(1) = p_0(2) = p_0(3) = p_0(4) = p_0(5) = p_0(6) \quad (8.19)$$

По правилу, претходним прорачуном се једнакост притисака (8.19) не постиже. Један од струјних праваца пружа највећи отпор, односно захтева највећи притисак на почетку

мреже и он је “меродаван” за остваривање једнакости (8.19) ако се остане при вредностима раније израчунатих пречника дуж тог струјног правца. Да би се задовољио услов (8.19) мора да се повећају губици механичке енергије дуж осталих струјних праваца чиме се постиже да њима одговарајући притисак на почетку мреже (8.18) достигне вредност “меродавног” притиска. Тек када се ово постигне биће задовољена оба закона хидраулике и сваки потрошач ће добити захтевану количину воде предвиђеног притиска.

Повећање губитка енергије у “немеродавним” струјним правцима може да се изврши на више начина. На пример, могуће је повећати отпоре уградњом вентила. Међутим, најцелисходније је то урадити смањењем пречника цеви у задњим деоницама чиме се појевтињује инвестиција. Нека је, на пример, “меродаван” струјни правац ка потрошачу 3. Да би се притисци $p_0(1)$, $p_0(2)$, $p_0(4)$, $p_0(5)$ и $p_0(6)$ довели на вредност $p_0(3)$, у осталим струјним правцима треба повећати губитке енергије Y_g ,

Да би се вредност притиска на почетку цевовода повећала од вредности која одговара “немеродавном” правцу 1, на вредност која одговара “меродавном” правцу 3, губитке механичке енергије у задњој деоници овог правца (D_1) треба повећати са вредности $Y_{g_{D_1}}$ на вредност $Y'_{g_{D_1}}$:

$$Y'_{g_{D_1}} = \frac{p_0(3) - p_0(1)}{\rho} + Y_{g_{D_1}} \quad (8.20)$$

Према изразу (8.17) оволики губитак енергије омогућава цевовод пречника

$$D'_{D_1} = \left(\frac{0,015 L_{D_1} Q_1^2}{Y'_{g_{D_1}}} \right)^{\frac{1}{5,33}} \quad (8.21)$$

Најчешће, по изразу (8.21) добија се нестандартни пречник који је мањи од претходно усвојеног стандардног пречника D_{D_1} . Пошто пречник цевовода треба да буде стандардан усваја се на делу l' деонице L_{D_1} први мањи стандардни пречник, док на делу $l'' = L_{D_1} - l'$ деонице L_{D_1} остаје претходно усвојени стандардни пречник. Дужина деонице l' мањег пречника израчунава се помоћу израза:

$$Y'_{g_{D_1}} = 0,015 Q_1^2 \left(\frac{L_{D_1} - l'}{D_{D_1}^{5,33}} + \frac{l'}{(D'_{D_1})^{5,33}} \right)$$

одакле следи:

$$l' = \frac{\frac{Y'_{g_{D_1}}}{0,015 Q_1^2} - \frac{L_{D_1}}{D_{D_1}^{5,33}}}{\frac{1}{(D'_{D_1})^{5,33}} - \frac{1}{D_{D_1}^{5,33}}} \quad (8.22)$$

Аналогним поступком одређују се пречници задњих деоница у осталим „немеродавним“ правцима.

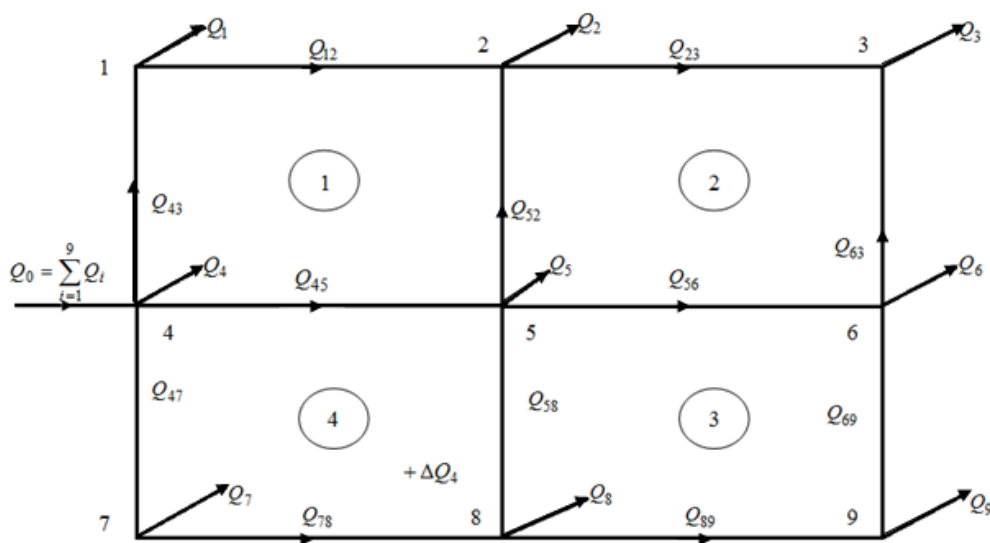
8.3.2. Хидраулички прирачун прстенасте водоводне мреже

Хидраулички прирачун прстенасте мреже обично је базиран на једном од следећа 3 поступка:

- 1) поступак еквивалентних цевовода,
- 2) поступак пресецања,
- 3) Crossov поступак (1936).

У пракси је најчешћа примена Кросовог (Cross) (итеративног) поступка.

Прорачун прстенасте мреже размотриће се на примеру мреже приказане на слици 8.19.



Слика 8.19. Прстенаста водоводна мрежа

Задате величине су:

1. Протоци у чворовима из којих се одводи вода потрошачима Q_i , $i = 1, 2, \dots, 9$
2. Дужине свих деоница, L_{ij}
3. Геодезијске висине свих чворова, z_i , или висинске разлике у односу на чвор у којем се мрежа напаја из магистрале ($z_i - z_4$).
4. Најмањи дозвољени радни притисак у мрежи, а некад и место где овај треба да се одржава. Место у мрежи где треба одржавати најмањи дозвољени притисак одређује где мрежа треба да се напаја и да ли ће напајање бити на једном или више места.

Проток напајања мреже Q_0 једнак је збиру протока који се из чворова шаљу потрошачима,

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (8.23)$$

притисак напајања (у овом случају притисак p_4), под условом да сви потрошачи добијају тражене протоке и раде на одговарајућим притисцима. Решење задатка треба да задовољи оба закона хидраулике. По првом закону, алгебарски збир протока у сваком чвору мреже треба да је једнак нули,

$$\sum_i (Q_i + Q_{ij}) = 0 \quad (8.24)$$

што значи да збир протока који улазе у чвор (+) треба да је једнак збиру протока који из њега излазе (-).

За разматрани пример могу да се напишу следећих 8 независних једначина

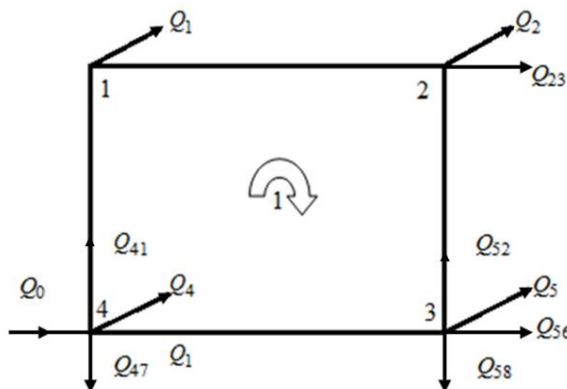
$$\begin{aligned} Q_{41} &= Q_1 + Q_{12} & Q_{45} &= Q_5 + Q_{52} + Q_{56} + Q_{58} \\ Q_{12} + Q_{52} &= Q_2 + Q_{23} & Q_{56} &= Q_6 + Q_{63} + Q_{69} \\ Q_{23} + Q_{63} &= Q_3 & Q_{47} &= Q_7 + Q_{78} \\ Q_0 &= Q_{45} + Q_{41} + Q_{47} + Q_4 & Q_{78} + Q_{58} &= Q_8 + Q_{89} \end{aligned} \quad (8.25)$$

Уместо једне од једначина (8.19) може се узети једначина за чвор 9 ,

$$Q_{89} + Q_{69} = Q_9$$

По другом закону хидраулике који мора бити задовољен, губици механичке енергије у сваком прстену морају бити уравнотежени. Посматрајући први прстен (слика 8.20), од чвора 4 до чвора 2 постоје два струјна тока, један преко чвора 1, а други преко чвора 5. Како је разлика енергија у чворовима једнака губицима енергије на путу између чворова, мора бити задовољен следећи услов:

$$Y_{g_{41}} + Y_{g_{12}} - (Y_{g_{45}} + Y_{g_{52}}) = 0$$



Слика 8.20. Први прстен мреже

Према горњем изразу алгебарски збир губитака механичке енергије у прстену мора бити једнак нули, узимајући са негативним знаком губитке у деоницама са смером струјања супротним од смера казаљке на сату. За остале прстенове важе следеће једначине:

$$Y_{g_{52}} + Y_{g_{23}} - (Y_{g_{63}} + Y_{g_{56}}) = 0$$

$$Y_{g_{56}} + Y_{g_{69}} - (Y_{g_{89}} + Y_{g_{58}}) = 0$$

$$Y_{g_{45}} + Y_{g_{58}} - (Y_{g_{78}} + Y_{g_{47}}) = 0$$

Губици механичке енергије могу да се изразе формулом:

$$Y_{g_{ij}} = K_{ij} Q_{ij}^2 \quad (8.26)$$

тако да услови уравнотежења губитака механичке енергије гласе:

$$\begin{aligned}
 K_{41}Q_{41}^2 + K_{12}Q_{12}^2 - (K_{52}Q_{52}^2 + K_{45}Q_{45}^2) &= 0 \\
 K_{52}Q_{52}^2 + K_{23}Q_{23}^2 - (K_{63}Q_{63}^2 + K_{56}Q_{56}^2) &= 0 \\
 K_{56}Q_{56}^2 + K_{69}Q_{69}^2 - (K_{89}Q_{89}^2 + K_{58}Q_{58}^2) &= 0 \\
 K_{45}Q_{45}^2 + K_{58}Q_{58}^2 - (K_{78}Q_{78}^2 + K_{47}Q_{47}^2) &= 0
 \end{aligned} \tag{8.27}$$

где се, сходно (8.17) коефицијенти карактеристика губитака рачунају по изразу:

$$K_{ij} = 0,015 \frac{L_{ij}}{D_{ij}^{5,33}} \tag{8.28}$$

Да би се одредили пречници цевовода D_{ij} по деоницама потребно је претходно одредити протоке Q_{ij} у њима. Пошто протоци у деоницама зависе од пречника цеви задатак се мора решавати итеративно.

Ако се са s означи број прстенова у мрежи, са r број деоница, а са n број чворова, укупан број једначина облика (8.25) и (8.27) је $(n-1) + s$, а по Ојлеровој теореме о броју страна, рогљева и ивица код полиедра је $r = (s-1) + n$, што значи да је број једначина једнак броју деоница у мрежи.

У почетном приближењу претпостављају се протоци у деоницама, али тако да задовољавају услове (8.25). Ово практично значи да се претпостави s (у примеру 4) протока, а осталих (у примеру 8) рачунају се по једначинама (8.25). По одређивању протока Q_{ij} , пречници D_{ij} рачунају се по формули (8.16), усвајајући препоручене брзине струјања из табеле 8.1.

После одређивања пречника проверава се ваљаност претпостављених протока. Код тачно одређених протока морају бити задовољени услови (8.27). У почетном приближењу до овога може доћи само случајно, па се због тога рачунају одступања од нуле разлика губитака енергије у једначинама (8.27):

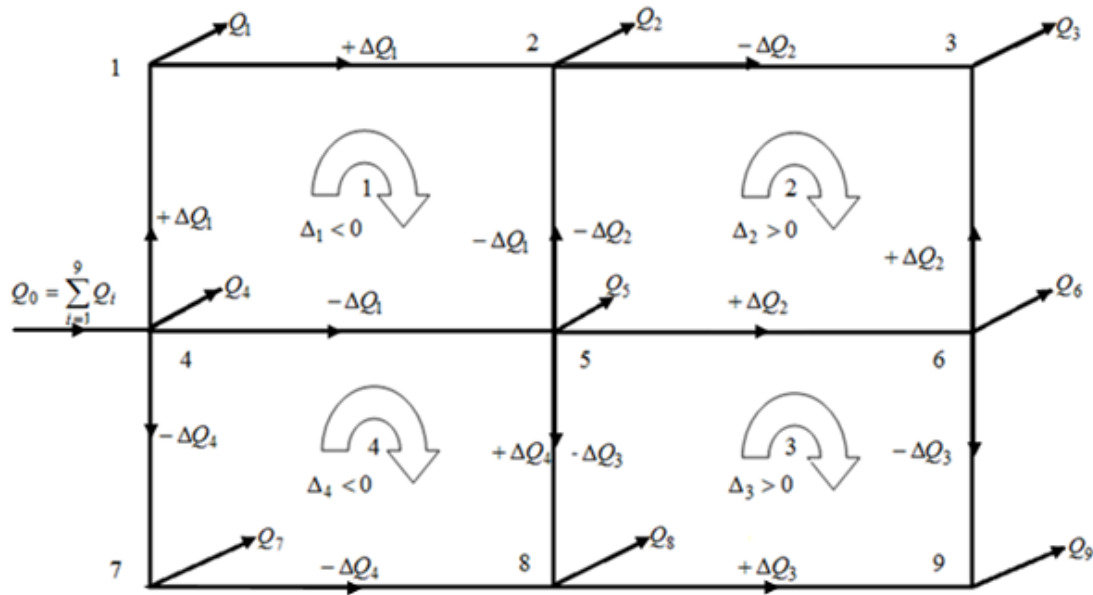
$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= K_{41}Q_{41}^2 + K_{12}Q_{12}^2 - (K_{52}Q_{52}^2 + K_{45}Q_{45}^2) \\
 \Delta_2 &= K_{52}Q_{52}^2 + K_{23}Q_{23}^2 - (K_{63}Q_{63}^2 + K_{56}Q_{56}^2) \\
 \Delta_3 &= K_{56}Q_{56}^2 + K_{69}Q_{69}^2 - (K_{89}Q_{89}^2 + K_{58}Q_{58}^2) \\
 \Delta_4 &= K_{45}Q_{45}^2 + K_{58}Q_{58}^2 - (K_{78}Q_{78}^2 + K_{47}Q_{47}^2)
 \end{aligned}$$

Када се одреде одступања Δ_s ($s = 1, 2, 3, 4$) одређују се нови протоци Q_{ij} (у првом приближењу), тако да буду задовољени услови (8.27), односно да одступања Δ_s буду испод договорене вредности која је блиска нули. Најчешће се сматра да је то испуњено када су одступања $\Delta_s < 5 \text{ J/kg}$ (што одговара губитку притиска испод 0,05 бара).

Одређивање нових протока врши се по методи Hardi Krosa (Hardy Cross). Нови протоци Q_{ij} одређују се тако што се претходно утврђени протоци Q_{ij} коригују за вредност ΔQ_s

$$Q'_{ij} = Q_{ij} \pm \Delta Q_s \tag{8.29}$$

при чему се ΔQ_s мења од прстена до прстена, а бројчана вредност му зависи од раније утврђеног одступања Δ_s .



Слика 8.21. Уз одређивање поправних протока

Нека су Δ_1 и Δ_4 негативне, а Δ_2 и Δ_3 позитивне вредности и по апсолутној величини веће од дозвољеног одступања (на пример $|\Delta_s| > 5 \text{ J/kg}$) (слика 8.21). Да би се новим протоцима задовољиле једначине (8.27) у прстеновима са $\Delta_s < 0$ треба повећати протоке на путевима са струјањем у смеру казаљке на сату, а смањити протоке на путевима са струјањем супротним смеру казаљке на сату. У прстеновима где је $\Delta_s > 0$ треба поступити супротно, односно, смањити протоке на путевима са струјањем у смеру казаљке на сату, а повећати протоке на путевима са струјањем супротним смеру казаљке на сату. У разматраном примеру је,

– за први прстен $\Delta_1 < 0$,

$$Q'_{41} = Q_{41} + \Delta Q_1, \quad Q'_{12} = Q_{12} + \Delta Q_1, \quad Q'_{52} = Q_{52} - \Delta Q_1, \quad Q'_{45} = Q_{45} - \Delta Q_1$$

– за други прстен $\Delta_2 > 0$,

$$Q'_{52} = Q_{52} - \Delta Q_2, \quad Q'_{23} = Q_{23} - \Delta Q_2, \quad Q'_{63} = Q_{63} + \Delta Q_2, \quad Q'_{56} = Q_{56} + \Delta Q_2$$

– за трећи прстен $\Delta_3 > 0$,

$$Q'_{56} = Q_{56} - \Delta Q_3, \quad Q'_{69} = Q_{69} - \Delta Q_3, \quad Q'_{89} = Q_{89} + \Delta Q_3, \quad Q'_{58} = Q_{58} + \Delta Q_3$$

– за четврти прстен $\Delta_4 < 0$,

$$Q'_{45} = Q_{45} + \Delta Q_4, \quad Q'_{58} = Q_{58} + \Delta Q_4, \quad Q'_{78} = Q_{78} - \Delta Q_4, \quad Q'_{47} = Q_{47} - \Delta Q_4$$

Величине поправних протока ΔQ_s у прстеновима одређују се (по методи Харди Кроса) коришћењем израза:

$$\Delta Q_s = \frac{|\Delta_s|}{2 \sum_s K_{ij} Q_{ij}} \quad (8.30)$$

После одређивања поправних протока ΔQ_i ($i = 1,4$) одређују се у првом приближењу протоци Q'_{ij} у деоницама мреже. У деоницама које су заједничке за два прстена, да се не би нарушила равнотежа алгебарског збира протока у чворовима, проток Q'_{ij} се коригује и с обзиром на ΔQ_n и ΔQ_m проток, при чему су n и m прстенови којима је ij деоница заједничка. Према слици 8.20 протоци у првом приближењу износе:

$$\begin{aligned} Q'_{41} &= Q_{41} + \Delta Q_1 & Q'_{56} &= Q_{56} + \Delta Q_2 - \Delta Q_3 & Q'_{12} &= Q_{12} + \Delta Q_1 \\ Q'_{69} &= Q_{69} - \Delta Q_3 & Q'_{52} &= Q_{52} - \Delta Q_1 - \Delta Q_2 & Q'_{89} &= Q_{89} + \Delta Q_3 \\ Q'_{45} &= Q_{45} - \Delta Q_1 + \Delta Q_4 & Q'_{58} &= Q_{58} + \Delta Q_3 + \Delta Q_4 & Q'_{23} &= Q_{23} - \Delta Q_2 \\ Q'_{78} &= Q_{78} - \Delta Q_4 & Q'_{63} &= Q_{63} + \Delta Q_2 & Q'_{47} &= Q_{47} - \Delta Q_4 \end{aligned}$$

По одређивању протока Q_{ij} у првом приближењу, одређују се нове вредности Δ_s одступања једначина (8.27) од нуле. Итеративни поступак одређивања протока Q_{ij} наставља се све док одступања Δ_s у свим чворовима не буду мања од унапред договорене вредности.

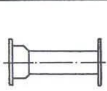
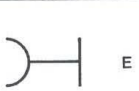
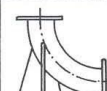
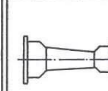
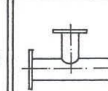
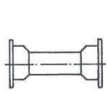
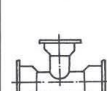
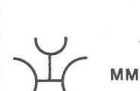
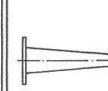
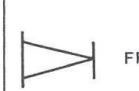
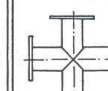
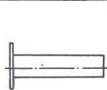
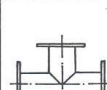
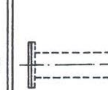
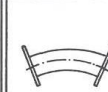
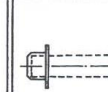
Према задатој вредности минималног притиска сада се може одредити притисак напајања мреже, као и притисци у осталим чворовима мреже.

8.4. Фазонски комади

Приликом пројектовања и извођења водоводне мреже потребно је савладати честе промене правца, профила и врсте спојева, и извести гранање цевовода. Ови задаци се решавају посебним комадима које зовемо обликовни или фазонски комади. Фазонски комади се најчешће производе фабрички од ливеног гвожђа, ређе од других материјала (челика, азбестног цемента или пластике). Спојнице су са наглавком, са прирубницом и комбиновано. Производе се истих особина, осим дужина, као и цеви. Врсте, величина, шеме и ознаке обликовних комада су стандардизоване.

У табели 8.1, приказане су шеме и ознаке неких ливених фазонских комада. Ознаке су према Немачком индустријском стандарду (Deutsche Industrie Norm – DIN).

Табела 8.1. Шеме и ознаке (према DIN -у) неких ливено гвоздених фазонских комада

У пракси се може указати потреба и за нестандардизоване фазонске комадима. Њих треба посебно наручити, због чега су скупљи, рок испоруке је дужи, па их треба максимално избегавати.

8.5. Водоводне арматуре

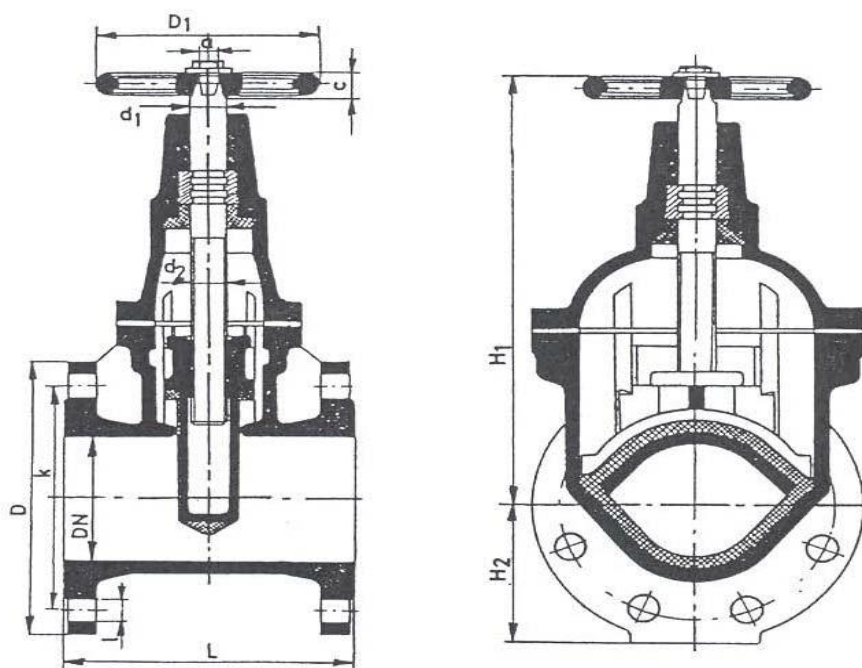
Водоводна мрежа такође садржи и различите уређаје који служе за њено исправно функционисање, управљање и одржавање. Ови се уређаји општим именом зову водоводне арматуре. Изводе се од ливеног гвожђа и челика, истих називних пречника и притисака као и водоводне цеви.

Генерално постоје три врсте арматура:

- 1) арматуре за затварање и регулацију,
- 2) арматуре за узимање воде,
- 3) заштитне арматуре.

1) **Арматуре за затварање и регулацију** представљају бравице, који се обавезно постављају на свим водоводним огранцима и на равним потезима на удаљености 300 - 500 m. Најраспрострањенија је примена (а) клинастих, (б) прстенастих (EV) и (в) лептирастих реза.

На слици 8.22, приказана је прстенаста реза.



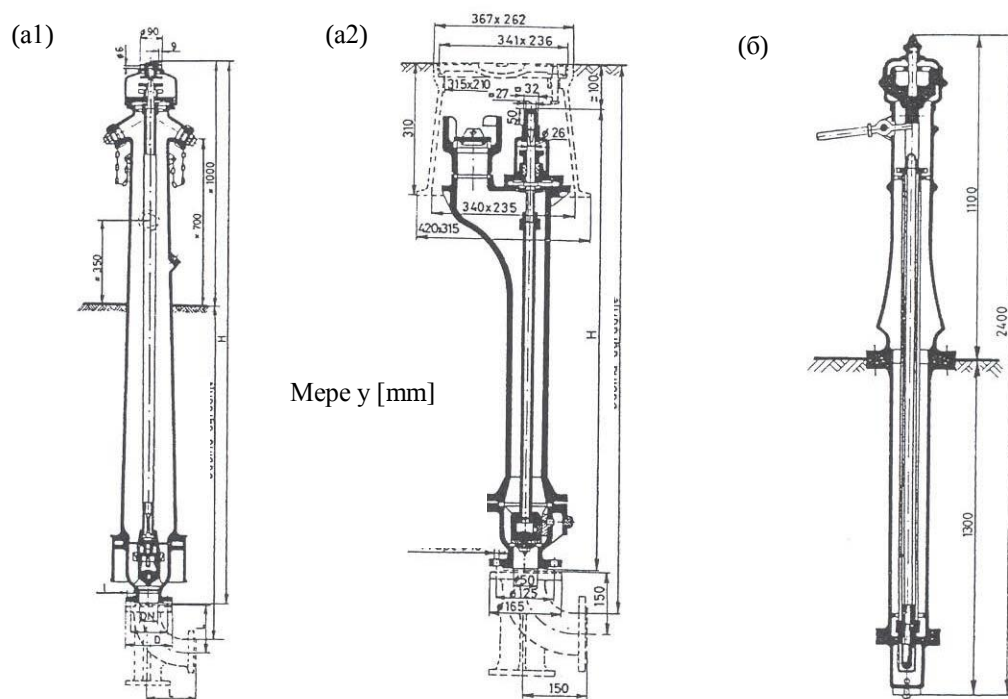
Слика 8.22. Прстенаста реза

2) **Арматуре за узимање воде** су:

- а) хидранти (надземни и подземни),
- б) јавни бунари.

а) **Хидранти**, слика 8.22.(a1) и (a2) служе за узимање воде за гашење пожара (пожарни хидранти), прање улица, поливање јавних зелених површина, испирање мреже и слично. Постављају се на размаку 150 - 200 m (наизменично са обе стране пута).

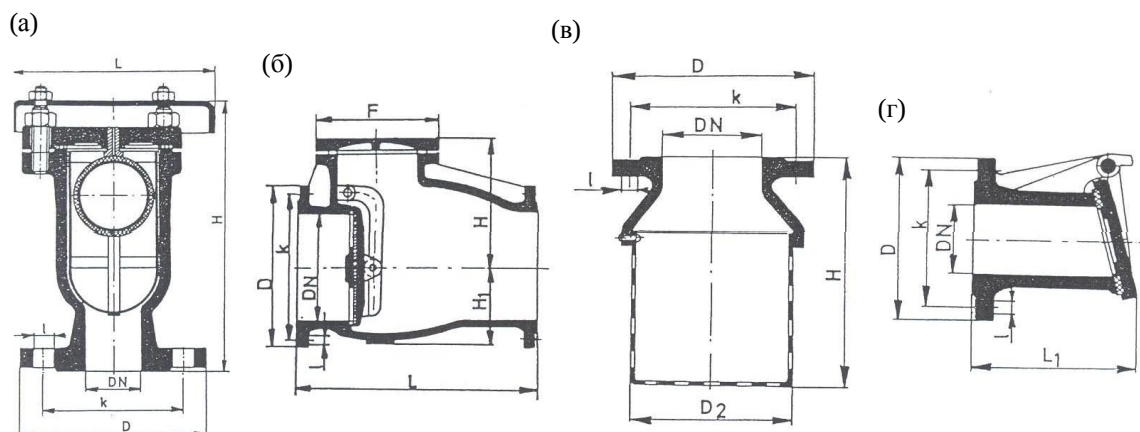
б) **Јавни бунари**, слика 8.22.(б), служе за узимање питке воде на јавним местима.



Слика 8.23. Арматуре за узимање воде

(a1) надземни хидрант; (a2) подземни хидрант; (б) јавни бунар

3) Заштитним арматурама припадају: а) одзрачни вентили, б) повратни вентили, в) усисне корпе, г) жабљи поклопци, д) муљни испусти, итд.

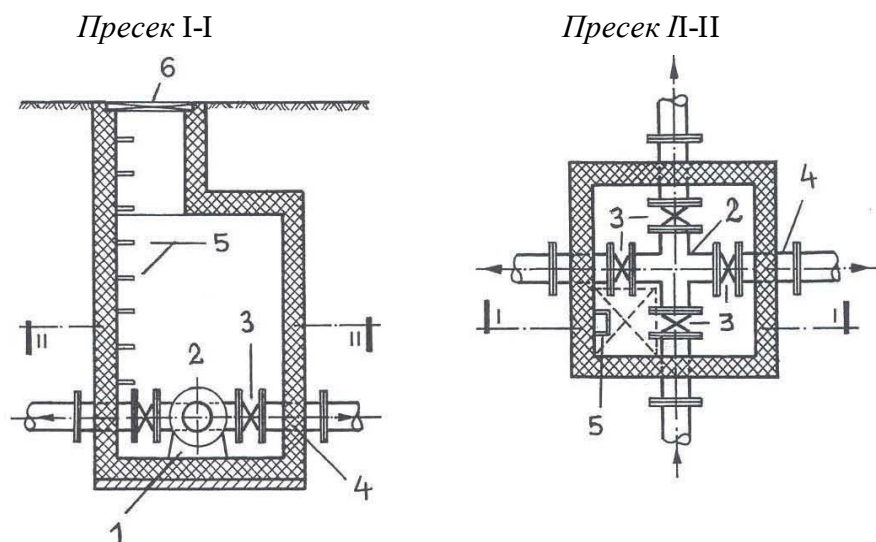


Слика 8.24. Заштитне арматуре

(a) одзрачни вентил; (б) повратни вентил; (в) усисна корпа; (г) жабљи поклопац

- а) Одзрачни вентили, слика 8.24.(a), уграђују се на високим превојним тачкама мреже ради аутоматског испуштања ваздуха који се у њима скупља.
- б) Повратни вентили, слика 8.24.(б), обезбеђују струјање воде само у једном смеру.
- в) Усисна корпа, слика 8.24.(в), спречава улажење већих страних тела у усисне цеви.
- д) Жабљи поклопци, слика 8.24.(г), служе за спречавање повратног струјања и улажења страних тела у цевовод.
- е) Муљни испусти су уређаји за испуштање воде и муља на ниским тачкама мреже.

Ради омогућавања приступа и заштите, по правилу се све водоводне арматуре са припадним фазонским комадима смештају унутар специјалних шахти. Величине шахти зависе од димензија цеви, фазонских комада и арматура које се у њих уграђују, и усвојеној дубини полагања цеви. Претежно се изводе од армираног бетона, на лицу места или монтажном, округлог и полигоналног (правоугаоног или квадратног) облика. На слици 8.25, приказано је правоугаоно армирано-бетонско засунско окно.



Слика 8.25. Правоугаоно армиранобетонско засунско окно

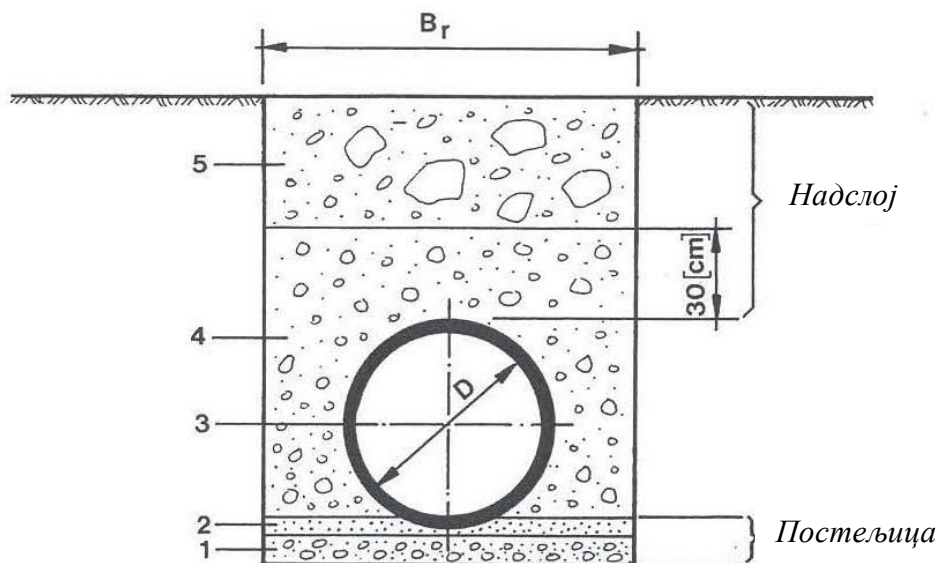
1 - подложни (бетонски) блок; 2 - ТТ комад; 3 - бравице; 4 - ФФ комад; 5 - типске металне ступалке; 6 - типски поклопац

8.5.1. Уградња, испитивање и дезинфекција цевовода

1) **Уградња цевовода.** Један од основних параметара уградње цеви је дубина уградње, која зависи од (а) дубине смрзавања, (б) спољашњег оптерећења (нпр. саобраћајном), (в) спољнег загревања и (г) температуре воде у цеви. Сматра се да је за заштиту од смрзавања за наше континенталне прилике довољна уградња на дубини од 1,0 m, мерено од горњг темена цеви. Ову дубину је потребно проверити и за случај спољнег оптерећења цевовода. Ради заштите од загревања, дубина уградње не би требала бити мања од 0,5 m, мерено од темена цеви. Приликом уградње цевовода није довољно водити бригу само о дубини полагања цеви у рову, већ и о потреби израде постељице и надслоја, слика 8.26.

Наиме, на дну рова могу након ископавања местимично заостати концентрисане неравнине и крупнији комади, нпр ломљеног камена, па би директно полагање цеви на такву подлогу могло након затрпавања изазвати локалну концентрацију напрезања, а тиме и могућност оштећења или лома цеви. Стога се ради поравнања дна рова најпре насипа пешчано - шљунчани основни слој, са величином зрна до 30 mm, и равномерно врши његово збијање по целој дужини рова тако да дебљина збијеног темељног слоја износи око 10 cm. За цеви мањих пречника ($D < 500$ mm) дозвољена је и мања дебљина темељног слоја, али је онда обавезна и употреба ситнијих фракција. На темељни слој се потом насипа око 5 cm изравнавајућег пешчаног слоја у којем цев приликом уградње сама обликује лежиште. Темељни и изравнавајући слој чине постељицу. Након полагања цеви спроводи се њено затрпавање земљом или шљунком у хоризонталним слојевима дебљине до 30 cm како би се истовремено са затрпавањем обавило и сабијање засипа. Када висина затрпавања досегне 30 cm изнад темена цеви, преостали

део рова до површине терена може се, такође уз збијање, засути материјалом од ископа, максималне крупноће зрна 15 *cm*. У случају знатног износа спољног оптерећења потребно је извести додатну заштиту цевовода, на пример облагањем бетоном или уградњом цевовода у армирано-бетонске канале.



Слика 8.26. Нормални попречни пресек рова

1 - пешчано - шљунчани основни слој; 2 - пешчани изравнавајући слој; 3 - цев; 4 - земљани или шљунчани засип; 5 - материјал од ископа

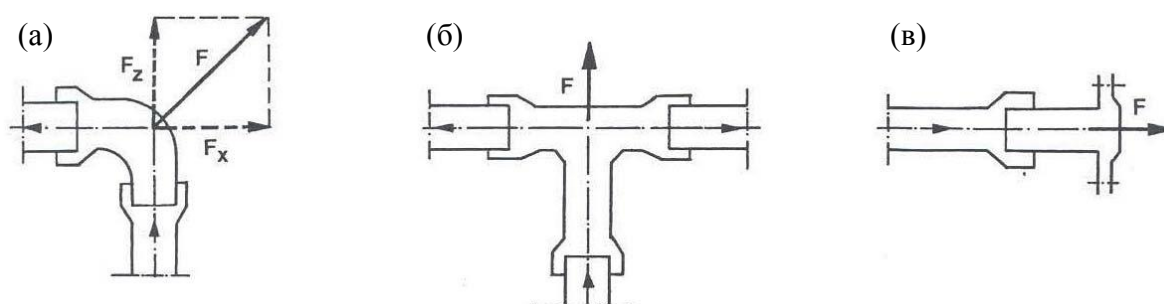
Наиме, на дну рова могу након ископавања местимично заостати концентрисане неравнине и крупнији комади, нпр ломљеног камена, па би директно полагање цеви на такву подлогу могло након затрпавања изазвати локалну концентрацију напрезања, а тиме и могућност оштећења или лома цеви. Стога се ради поравнања дна рова најпре насипа пешчано - шљунчани основни слој, са величином зрна до 30 *mm*, и равномерно врши његово збијање по целој дужини рова тако да дебелина збијеног темељног слоја износи око 10 *cm*. За цеви мањих пречника ($D < 500 \text{ mm}$) дозвољена је и мања дебелина темељног слоја, али је онда обавезна и употреба ситнијих фракција. На темељни слој се потом насипа око 5 *cm* изравнавајућег пешчаног слоја у којем цев приликом уградње сама обликује лежиште. Темељни и изравнавајући слој чине постељицу. Након полагања цеви спроводи се њено затрпавање земљом или шљунком у хоризонталним слојевима дебелине до 30 *cm* како би се истовремено са затрпавањем обавило и сабијање засипа. Када висина затрпавања досегне 30 *cm* изнад темена цеви, преостали део рова до површине терена може се, такође уз збијање, засути материјалом од ископа, максималне крупноће зрна 15 *cm*. У случају знатног износа спољног оптерећења потребно је извести додатну заштиту цевовода, на пример облагањем бетоном или уградњом цевовода у армирано-бетонске канале.

Осим дубине, важан параметар уградње цевовода је ширина рова, $B_r \text{ m}$, коју је потребно обезбедити ради могућности уградње цеви и израде споја у рову. Потребна ширина рова зависи од пречника цеви (табела 8.2).

Табела 8.2. Потребна ширина рова

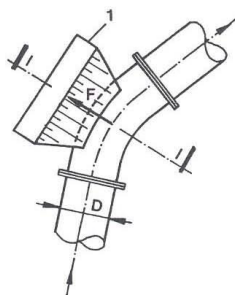
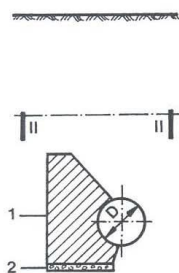
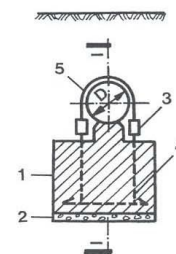
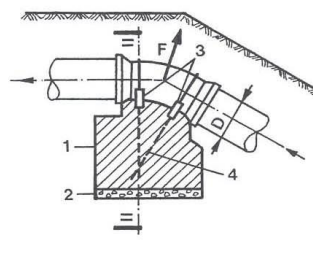
Пречник цеви D [mm]	Ширина рова, B_r [m]
< 200	$D + 0,4$
$200 - 400$	$D + 0,6$
$450 - 800$	$D + 0,8$
$850 - 1500$	$D + 1,0$
> 1500	$D + 1,2$

Такође, на основу закона о одржању количине кретања, на местима хоризонталних и вертикалних ломова трасе, гранања и крајева слепих акција цевовода појављује се сила притиска са тенденцијом кидања спојева и фазонских комада (слика 8.23).

**Слика 8.25.** Деловање силе притиска

(а) на колено, (б) на рачву; (в) на завршетак цеви

Ради тога је потребно посебно осигурање таквих места на траси цевовода, што се постиже израдом упоришних блокова. Ови се блокови најчешће изводе као бетонски масиви. На слици 8.24.(а) приказан је пример конструкције бетонског упоришног блока за осигурање цевовода у хоризонталној кривини, а на слици 8.24.(б), пример конструкције бетонског упоришног блока за осигурање у вертикалној кривини (за деловање силе притиска према горе).

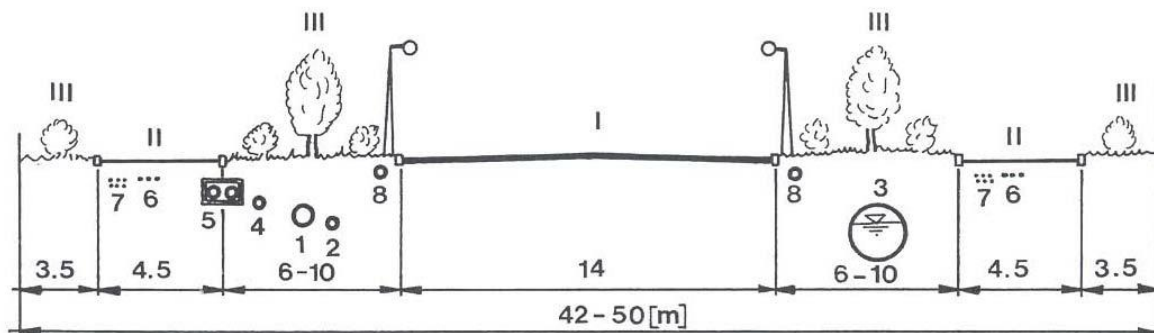
(а) Пресек I-I**Пресек II-II****(б) Пресек I-I****Пресек II-II****Слика 8.26.** Референтни бетонски блокови

(а) у хоризонталној кривини; (б) у вертикалној кривини

1 - бетонски блок; 2 - постелица од шљунка; 3 - стезници; 4 - сидра; 5 - челична огрлица

Потреба за израду референтних блокова је утолико израженија колико се ради о већим пречницима цевовода ($D > 400 \text{ mm}$).

Код уградње водоводних цевовода потребно је сагледати и њихов међуоднос са осталим инфраструктурним елементима градске улице (слика 8.25).

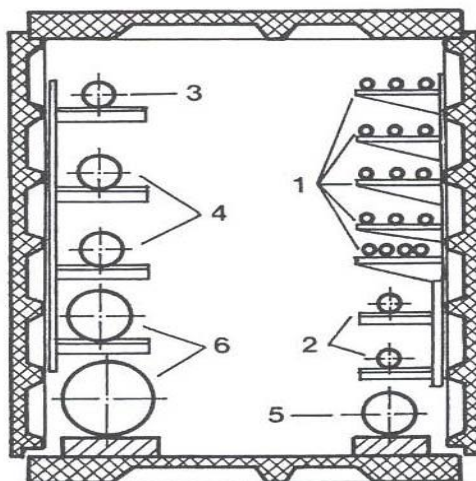


Слика 8.27. Пример распореда цеви у попречном пресеку улице

I - саобраћајни део улице; II - тротоари; III - зелени појасеви

1 - главни водоводни цевовод; 2 - разводни водоводни цевовод; 3 - канализациони колектор; 4 - гасовод; 5 - топловод; 6 - каблови високог напона; 7 - каблови ниског напона; 8 - каблови јавне расвете

У великом градовима са мноштвом цевних инфраструктурних водова различите намене често се изводе посебни проходни тунели (слика 8.26), који омогућују брз приступ и обављање поправки без раскопавања рова. Овакав тип решења је нарочито чест код мостова.



Слика 8.28. Проходни тунел

1 - водови под напоном; 2 - птт водови; 3 - гасовод; 4 - топловод; 5 - водовод; 6 - канализација

2) **Испитивање цевовода.** Пре пуштања у погон целокупна се водоводна мрежа испитује на чврстоћу и водонепропусност тзв. потисном пробом. Пре потпуног затрпавања рова постепено се испитују поједине деонице мреже, како би се у случају потребе поправки лакше детектовало место квара и не би морала раскопавати целокупна мрежа. Временско трајање испитивања и величина испитног притиска прописани су за поједине врсте цеви.

3) **Дезинфекција цевовода.** Нова или реконструисана водоводна мрежа мора се пре употребе подврћи дезинфекцији. Ово се спроводи тако да се деонице пуне водом која садржи 20-30 *mg* хлора на литру воде. Хлорисање траје минимум 24 *h*, а након тога се водоводна мрежа испере чистом водом.

9. Закључак

Критеријуми за оцену одрживог управљања системима за водоснабдевање и одвођење отпадних вода треба да обухвате еколошке, друштвене и економске аспекте комуналне инфраструктуре. Ови аспекти треба да обезбеде ниво услуга свим грађанима заједнице без угрожавања целокупности природних, изграђених и друштвених система од којих пружање ових услуга зависи. Системи за водоснабдевање и одвођење отпадних вода обезбеђују основне услуге које омогућавају економски и друштвени развој и истовремено имају утицаја на начин како се друштво односи према води као ресурсу за развој. Снабдевање становништва чистом (квалитетном) водом има првенствено велику хигијенску важност, јер штити људе од разних обољења која се преносе водом. Осигурањем и довођењем довољне количине воде у насељено место омогућује се подизање животног стандарда човека и уређење његове околине. Данас је у свету здраве и чисте воде све мање, углавном због континуираног загађивања. Са друге стране, све је већа потражња и потрошња нових количина воде, због повећања броја становника и капацитета индустрије, пољопривреде, енергетике и др. За дефинисање потребних количина воде неопходно је што потпуније узимање у обзир свих могућих потрошача (па и самих губитака воде из водоводне мреже), који воду троше за најразличитије потребе.

Литература:

1. Vuković, Ž.: *Opskrba vodom i odvodnja*, Sveučilište u Zagrebu, Gradjevinski fakultet, Zagreb, 2014.
2. Миловановић, Д.: *Транспорт флуида*, интерна скрипта у електронској форми, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2012.
3. Vuković, Ž.: *Osnove hidrotehnike*, Prvi dio, Druga knjiga, Zagreb, 1996.
4. Gulić, I.: *Opskrba vodom*, Zagreb, 2000.
5. Margeta, J.: *Kanalizacija nase1ja*, Split, 1998.
6. Јахић М.: *Урбани водоводни системи*, Удружење за технологију воде, Београд, 1988.
7. Ђурић Д.: *Снабдевање водом за пиће*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2006.